http://www.kim.or.kr/

2024 대한금속·재료학회 추계학술대회 초록집

[초록집 QR]



2024.10.28 MON - 30 WED

평창 알펜시아 컨벤션센터

주최 : (사)대한금속 · 재료학회

후원 : 포스코, 현대제철, KOFST, 세아그룹, 동국제강, 신양금속, MTDI

KIM 대한금속·재료학회
THE KOREAN INSTITUTE OF METALS AND MATERIALS

KIM 대한금속·재료학회
THE KOREAN INSTITUTE OF METALS AND MATERIALS
2024추계학술대회
2024년 10월 28-30일

2024 Fall Conference of the Korean Institute of Metals and Materials

초록집 목차

+ 초대의 글 1
+ 위원장 인사 2
+ 행사 및 발표 진행 안내 3
+ 추계학술행사 행사 일정 6
+ 구두 발표일정 19
+ 포스터 발표일정 65
+ 구두 발표 91
+ 포스터 발표 328
+ 발표자 색인 490
+ 2024년도 정기총회 학회상 수상자 495
+ 포스터배치 497
+ 부스배치 500
+ 경품 추첨 안내 501

발표장 안내도

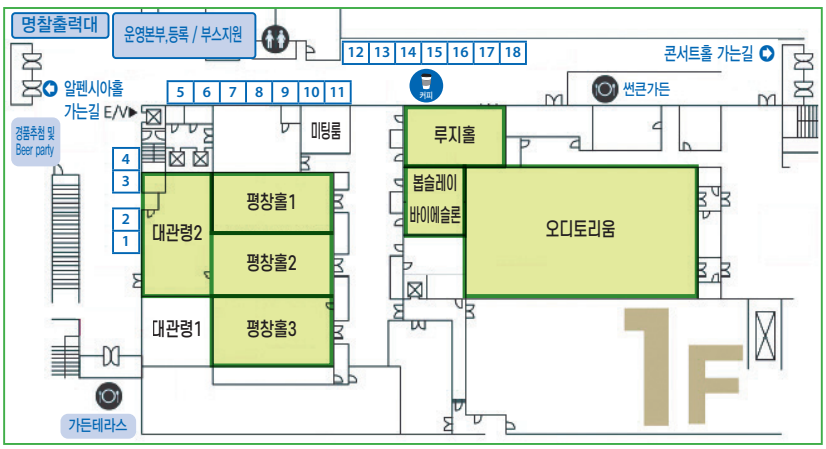
알펜시아컨벤션센터

알펜시아홀1F, 콘서트홀1F 발표장



알펜시아컨벤션1F

명찰출력데스크, 운영본부,
등록지원, 부스지원, 전시부스1,
경품추첨 및 Beer party, 평창홀
1~3, 대관령2, 루지홀,
봅슬레이+바이에슬론 발표장



알펜시아컨벤션2F

구두/포스터 지원, 전시부스2,
정기총회/학회상시상식/간친회,
Beer party, 포스터 발표,
메도우홀, 레이크홀,
포레스트홀 발표장





초대의 글

회원 여러분, 안녕하십니까?

2024년도 정기총회 및 추계학술대회는 강원도 평창에 위치한 알펜시아 컨벤션센터에서 개최하게 되었습니다. 학회 회원님들과 금속 및 재료 관련 산업에 종사하시는 모든 분들을 초대하오니 참석하여 주시면 감사하겠습니다.

금번 추계학술대회에서는 그동안 각 분야 회원님들께서 열심히 연구한 약 1,260여 편의 수준 높은 논문이 35개의 일반 세션과 28개의 전문분야 심포지엄에서 3일간 발표될 예정입니다. 이번에 제100회를 맞이하는 철강기술 심포지엄은 “철강의 사회적 가치 재인식: 수요 산업과 협업을 통한 미래 변화에 대한 대응방안 모색”을 주제로 개최되며, New Horizon 심포지엄은 “미래 에너지 · 모빌리티 소재의 다중환경 영향 평가 심포지엄”, “배터리 혁신을 위한 소재 시뮬레이션 심포지엄”, “K-방산 경쟁력 제고를 위한 소재부품 고도화 심포지엄” 3개의 다양한 주제의 심포지엄으로 개최가 될 예정입니다. 특히 특별 세션은 “창업 및 실용화 소재 기술”을 주제로 개최되어 연구자는 첨단소재기술이 어떻게 산업현장에 적용되는지 그 과정을 이해하고, 기업 회원은 연구계로부터의 산업현장 적용 기술의 고도화를 위한 새로운 아이디어 습득, 우수 기술의 홍보, 대한/연구소 연구자와의 협력 기회를 획득을 위한 장을 제공하고자 하오니 회원님들의 많은 관심과 참여를 부탁드립니다.

아울러 29개 업체의 회사 홍보, 기기 전시 등을 위한 부스를 제공하여 회원 여러분과 사업체의 관심 및 요구에 부응하고 적극적인 교류 및 홍보를 통해 학계와 산업계가 서로 상생할 수 있는 자리를 마련할 예정입니다.

회원 여러분께서도 잘 아시는 바와 같이 학술대회는 우리 학회 회원들의 연구 역량과 발전 의지를 확인하고 산 · 학 · 연이 교류하는 뜻깊은 자리입니다. 이번 학술대회에서도 대한금속 · 재료학회 회원들의 학문적 발전과 성과를 만끽할 수 있도록 회원 여러분들의 적극적인 참여와 애정을 기대하며, 이 자리에 참석하신 회원 여러분 모두의 학문적 발전을 위해 서로의 관심을 공유하고 좋은 의견을 개진하는 뜻깊은 자리가 되길 기원합니다.

2024년 10월

대한금속 · 재료학회 회장 주 세 돈





위원장 인사

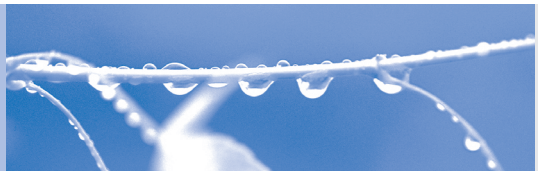
회원 여러분, 안녕하십니까?

이번 2024년도 추계학술대회는 2018년 동계올림픽이 열렸던 평창 알펜시아에서 개최가 됩니다. **지난 5월에 당초 추계학술대회 개최지로 예정되었던 횡성 웰리힐리파크에서 피치 못한 사정으로 장소 예약을 취소하게 되었다며 간곡하게 양해를 구해 왔습니다. 이에 학술대회 조직위원회에서는 사무국의 협조를 받아 긴급하게 전국적으로 대체 후보지들을 조사, 검토하였습니다. 그 결과, 우리 학회 참석 인원과 논문발표 및 전시를 위해 필요한 공간을 고려할 때, 평창 알펜시아가 유일한 대안임을 확인하였습니다. 그러나, 이마저도 예년과 동일한 날짜(요일)에는 이용할 수 없는 상황이어서 부득이 이사회 의결을 거쳐 학회장소 및 개최 날짜를 동시에 변경하게 되었습니다. 이로 인해 본의 아니게 혼선을 드리게 되어 매우 송구스럽게 생각합니다. 그러나, 이러한 대회 준비과정에서의 예상치 못한 우여곡절에도 불구하고, 이번 학술대회에서 1260 여편의 연구논문 발표와 28 개의 심포지엄을 진행하게 되었습니다. 이는 제주도에서 개최된 학술대회를 제외하면 역대 최대 규모입니다. 이 모든 것이 회원 여러분들께서 이해해주시고 적극 협조해주셨기 때문이며, 이에 머리 숙여 깊이 감사를 드립니다.**

회원여러분! 대한민국의 금속 및 재료분야 학술연구와 산업발전의 수준은 이제 세계 정상급에 도달해 있습니다. 이러한 성과를 얻기까지 대한금속재료학회가 그 중심에서 큰 기여를 해왔다고 자부하고 있습니다. 특히 매년 봄, 가을에 개최하고 있는 학술대회는 산 · 학 · 연 전문가들이 새로운 연구성과를 공유하고 정보를 교류하는 장으로서 우리나라 재료공학 발전에 큰 기여를 해 왔습니다. 그러나 이에 안주하지 않고 대한금속재료학회 학술대회는 글로벌 표준에 부합하고, 나아가 새로운 표준을 만드는 학술대회가 될 수 있도록 노력하고자 합니다. 회원 여러분들과 함께 참여자간 교류의 질적 강화, 참가자 및 발표논문의 다양성 확대, 가족 프로그램 활성화, 과제책임자급 연구자 발표 확대, 학생연구원 참여 활성화, 정부사업 기획활동 강화 등을 추진하고자 합니다. 이번 학술대회도 회원 여러분 모두에게 알차고, 유익한 시간이 되시길 바라며, 대회가 성황리에 진행될 수 있도록 적극 참여를 부탁드립니다. 대단히 감사합니다.

2024 추계학술대회 조직위원장 이 영 국, 석 현 광

행사 및 발표 진행 안내



❖ 대회 기간 : 2024년 10월 28일 월요일 ~ 10월 30일 수요일, 3일간
❖ 대회 장소 : 평창 알펜시아 컨벤션센터
❖ 등록 기간 : 2024년 8월 26일(월) ~ 10월 18일(금) 17:00
– 위의 등록 기간 안에 신청 및 납부까지 완료 되셔야 합니다. 미납부 시 신청 내역은 삭제 됩니다.
– 온라인 등록만 진행하며, 당일 현장등록은 불가합니다.
❖ 학술대회 등록비
– 28일(월)~30일(수) 중식 및 29일(화) 간친회 석식 만찬이 포함됩니다.

구분	1차등록 (8월 26일~10월 4일)		2차등록 (10월 7일~10월 18일)	
	회원	비회원	회원	비회원
일반	16만 원	23만 원	18만 원	25만 원
학생	7만 원	12만 원	9만 원	14만 원

※ 등록취소 및 환불은 10월 18일(금)까지 가능합니다. 이후 취소 및 환불이 불가합니다
※ 2차등록 마감일(10/18) 이후 참가등록비는 25만원 단일가이며, 온라인등록(카드결제)만 가능 합니다.
※ 만65세 이상 정회원은 등록비가 면제되오니, 참가를 희망하시는 분은 10월 18일까지 사무국으로 메일을 보내주시면 면제 처리를 해드립니다. (kimhak@kim.or.kr)

구두세션 안내

❖ 구두 발표자료 준비

– 발표자료는 개인별로 이동용 저장 장치에 담아 오시기 바랍니다.(MS오피스)
– 발표자료는 휴게시간을 이용하여 발표장 노트북에 미리 옮겨 두시기 바랍니다.
– 강연장에는 연사용 노트북이 준비되어 있으며, 개인 노트북 연결 사용은 불가합니다.
– 발표자께서는 발표시간 20분 전까지 입장을 하셔야 합니다.

❖ 구두 발표 시간

– 일반발표: 15분 발표, 10분발표 후 5분간 질의응답으로 진행
– 초청강연: 20분~40분 (질의 및 응답 5분 포함)
※심포지엄의 발표시간은 심포지엄 별로 발표시간이 다르게 배정 됨.

포스터세션 안내

– 포스터 세션은 모두 대면 발표로 진행 됩니다.
– 포스터 발표 보드 부착 공간은 가로(폭) 100cm × 세로(높이) 120cm 크기로 준비하며, A4 기준으로 12장이 (가로 또는 세로로)부착 될 수 있습니다.
– 포스터 보드판 상단에 발표 번호가 마킹이 되어 있으므로 해당 포스터 번호에 포스터 부착물을 부착해주시기 바랍니다.
부착도구는 행사장 내에 비치된 부착물품을 이용 해 주시기 바랍니다.
– 발표부착물은 첫 장에(또는 서두에) 발표제목, 발표자 성명, 발표자 재직처가 명시될 수 있도록 준비 바랍니다.
– 포스터 질의 및 응답시간에는 본인 발표 포스터 앞에 정위치 하여야 합니다.
– 포스터 발표시간이 종료된 이후는 종료 후 10분 이내에 부착물을 탈착 하여야 하며 15분 이후 부착된 발표물은 학회 진행 요원에 의하여 임의 탈착되어 임의 처리 됩니다.
– 포스터발표자 출석체크는 질의 및 응답시간에 게시된 부착물 여부로 출석을 체크합니다.

학생구두발표 및 학생포스터발표 우수상 시상안내

– 학생구두발표에 대해서 심사를 거친 후 우수 발표에 대하여 시상을 하게 됩니다.
– 학생포스터발표에 대해서 심사를 거친 후 우수 포스터발표를 선정하여 시상을 하게 됩니다.

좌장위원, 포스터 심사위원 출석 확인

– 좌장위원 : 좌장위원은 해당 발표장에 20분전에 입실 해 주시고 발표장 운영 요원에게 출석을 확인 해 주시기 바랍니다.
– 포스터 심사위원: 포스터 심사위원은 2층 포스터 운영 부스로 오셔서 출석 확인 후 심사용지를 수령 해 주시기 바랍니다.

학술대회 기간중 셔틀버스 운행일정표

날짜 \ 방향	진부역 → 알펜시아 컨벤션센터	
	출발	도착
10/27(일)	17:00	17:20
	18:10	18:30
	20:00	20:20
	21:30	21:50
10/28(월) 10/29(화)	07:55	08:15
	09:00	09:20
	10:50	11:10
	13:00	13:20
	15:00	15:20
	16:55	17:10
	18:00	18:20
	20:00	20:20
10/30(수)	07:55	08:15
	09:00	09:20
	10:50	11:10
	13:00	13:20

날짜 \ 방향	알펜시아 컨벤션센터 → 진부역	
	출발	도착
10/28(월) 10/29(화)	10:10	10:30
	12:05	12:25
	14:20	14:40
	16:20	16:40
	17:15	17:35
	18:25	18:45
	19:20	19:40
	21:10	21:30
10/30(수)	10:10	10:30
	12:05	12:25
	14:20	14:40
	16:20	16:40

셔틀버스 이용 안내사항

1) 날짜 별로 운행 시간이 다르니 일정을 꼭 확인해주세요.
2) 대형버스 1대 선착순 무료 탑승 운영 예정이며, 안전을 위하여 입석은 허용하지 않습니다.
3) 정시 출발입니다. 출발 5분 전까지 출발 정류장에 도착해 주시기 바랍니다.
4) 도로 사정에 따라 도착 시간이 지연될 수 있습니다.
5) 알펜시아 리조트에서 운영하는 셔틀버스와는 별개로 운영됩니다.

[참고] 알펜시아 리조트 셔틀버스-웰컴센터 앞 승차/하차, 25인승, 주중주말 모두 운행
진부역 출발 11:00, 15:00 / 알펜시아(웰컴센터) 출발 : 12:08, 16:08

택시 이용

KTX 진부역 → 알펜시아리조트
소요시간 : 약 20분
택시 이용요금 : 약 20,000원 내외
도로 사정에 따라 도착 시간이 지연될 수 있습니다.
진부택시 : 033-335-0088

탑승 위치 안내

[진부역(오대산역)]



1번 출구 횡단보도 건너편 2번 승강장(버스탑승전용)

[알펜시아 컨벤션센터]

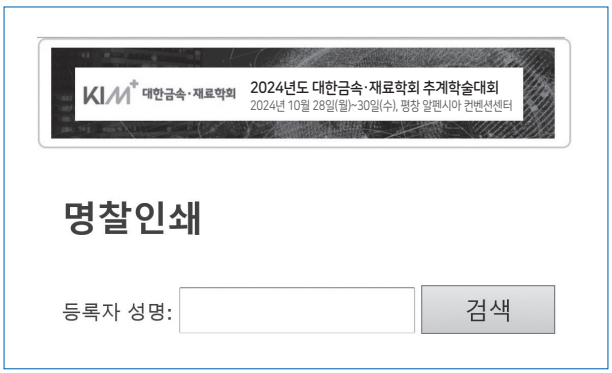


* 학회 운영 셔틀버스: 컨벤션센터 앞 탑승
* 알펜시아리조트 셔틀버스: 웰컴센터 앞 탑승
(웰컴센터-컨벤션센터 도보 6분 소요)

무인 셀프 명찰출력 데스크 운영 안내
(참가자 명찰 셀프 출력)

금번 추계학술대회는 등록대 셀프 명찰 출력을 진행할 예정입니다. 참가 등록이 완료된 행사 참가자는 명찰 셀프 출력대로 오시면 총 6대의 셀프 등록대에서 명찰 출력이 가능 합니다. 각 PC에는 아래와 같이 명찰 검색 화면이 떠 있으며, 여기에 참가자 본인 성명을 입력 후 검색하시면 등록자 본인 이름이 검색되고, 인쇄 버튼을 클릭하면 명찰 인쇄가 완료됩니다. 명찰은 1번 인쇄 후 재출력이 불가하오니, 분실에 유의해 주시기 바랍니다. (현장 지원스텝 상주예정)

❖명찰 출력 PC 기본 화면



❖참가자명 검색 결과 화면



추계학술행사 행사 일정

10월 28일 월요일

시간	행사 일정	비고
08:10–18:00	참가자 명찰수령(셀프 출력)	1층 등록대
08:30–12:00	구두세션 발표	각 발표장
10:00–18:00	포스터세션 발표	2층 로비
09:00–18:00	전시부스 홍보 진행	1,2층 로비
11:30–12:30	Beer party	1,2층 로비
11:30–13:00	점심시간	식당(B1층/1층)
13:00–19:00	구두세션 발표	각 발표장
13:00–13:30	포스터 세션 질의 및 응답시간	2층 로비
18:30–20:00	학회상 수상자 및 역대회장 초청만찬	알펜시아홀

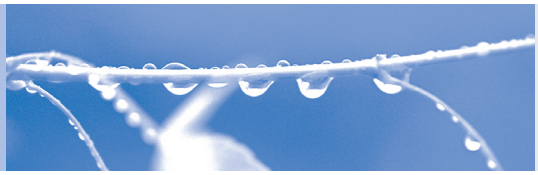
10월 29일 화요일

시간	행사 일정	비고
08:10–18:00	참가자 명찰수령(셀프 출력)	1층 등록대
08:30–12:00	구두세션 발표	각 발표장
09:00–18:00	전시부스 홍보 진행	1,2층 로비
10:00–18:00	포스터 세션 발표	2층 로비
11:30–12:30	Beer party	1,2층 로비
11:30–13:00	점심시간	식당(B1층/1층)
12:30–13:00	경품 추첨	1층 로비
13:00–18:30	구두세션 발표	각 발표장
13:00–13:30	포스터 세션 질의 및 응답시간	2층 로비
18:30–18:45	총회 강연	2층 레이크+포레스트
18:45–20:00	정기총회 / 학회상 시상식 / 간친회	2층 레이크+포레스트

10월 30일 수요일

시간	행사 일정	비고
08:10–13:00	참가자 명찰수령(셀프 출력)	1층 등록대
08:30–15:30	구두세션 발표	각 발표장
09:00–14:00	포스터 세션 발표	2층 로비
09:00–13:30	전시부스 홍보 진행	1,2층 로비
11:30–13:00	점심 식사	식당(B1층/1층)
12:30–13:00	경품 추첨	1층 로비
13:00–13:30	포스터 세션 질의 및 응답시간	2층 로비

발표일정



10월 28일(월) 발표일정

- 총 진행: 이영국, 석현광 학술부회장
- 구두 및 포스터 세션 진행위원: 박원일, 홍순직 학술이사
- 학생구두발표 및 학생포스터발표 우수상 선정위원: 남호석, 황병철, 김용주 위원
- 튜토리얼 진행위원: 김민철, 김영무 학술이사

발표장 / 시간	알펜시아컨벤션 2F			알펜시아 컨벤션 1F							외부, 홀리데이인	외부1층
	메도우	레이크	포레스트	평창1	평창2	평창3	오디토리움	대관령2	루지홀	봅슬레이 + 바이에슬론	알펜시아홀	콘서트홀 1층
08:10 ~18:00	행사 참가자 명찰 수령(셀프 출력)											
08:30 ~12:00	타이타늄	제3회 수소경제 구현을 위한 수소 운송 및 저장소재 심포지엄	역학측정	복합재료	재료분석	전산재료 과학	튜토리얼	적층제조 및 분말	비철금속	회절 분석을 통한 미세 조직학적 특성의 정량적 평가:현황과 전망 ——— 집합조직	재료강도	철강A- 제선, 제강, 환경, 에너지
11:30 ~13:00	점심 식사(B1층, 1층)											
13:00 ~19:00	[New Horizon I] 미래 에너지. 모빌리티 소재의 다중환경 영향 평가 심포지엄	CO2 저감 제철기술 심포지엄	제2회 가공 심포지엄: 차세대 반도체 가공분과 심포지엄	제20회 중성자 및 방사광 X-선 이용 금속 및 나노구조 재료 분석 국제 심포지엄 (BSS 기술교류회)	수소재료	전산재료 과학	국가전략 산업용 금속간 화합물 심포지엄	적층제조 및 분말	기능성 마그네슘 응용기술 심포지엄	제22회 소재부품 안전 및 신뢰성 심포지엄	재료강도 (16:00 ~18:30) ※학회상 수상자 및 역대 회장 초청 만찬 준비시간	철강A- 제선, 제강, 환경, 에너지

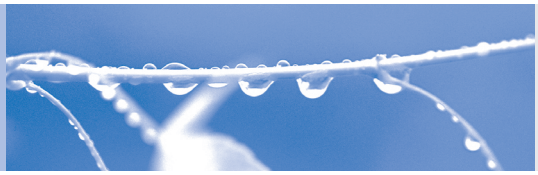
발표일정

10월 29일(화) 발표일정

◈ 총 진행: 이영국, 석현광 학술부회장
◈ 구두 및 포스터세션 진행위원: 김주영, 박현순 학술이사
◈ 학생구두발표 및 학생포스터발표 우수상 선정위원: 정은진, 김태훈, 이기영 위원

발표장 / 시간	알펜시아컨벤션 2F			알펜시아 컨벤션 1F							외부, 홀리데이인	외부1층
	메도우	레이크	포레스트	평창1	평창2	평창3	오디토리움	대관령2	루지홀	봅슬레이 + 바이에슬론	알펜시아홀	콘서트홀 1층
08:10 ~18:00	행사 참가자 명찰 수령(셀프 출력)											
08:30 ~12:00	The 23rd KIM-JIMM Symposium	[New Horizon II] 배터리 혁신을 위한 소재 시뮬레이션 심포지엄	[New Horizon III] K-방산 경쟁력 제고를 위한 소재부품 고도화 심포지엄	마그넷	상변태	첨단산업용 고청정 특수봉강 소재부품 기술개발 심포지엄	[특별세션1] 창업 및 실용화 소재기술 [특별세션2] 대한금속·재료학회 정부 사업 기획 [특별세션3] 정부 R&D 사업 소개	제1회 RIST-KICET 고도분석 기술 심포지엄	고온재료	철강산업 재도약 기술개발 사업 가공·후처리 기술 분야 심포지엄	(09:00 ~10:45) 금속역사 (10:45 ~12:00) 융합재료 과학	첨단반도체 후공정 패키징 소재기술 심포지엄 (09:00 ~11:50)
11:30 ~13:00	점심 식사(1층, B1) / 경품 추첨(1층 로비, 12시 30분)											
13:00 ~18:30	The 23rd KIM-JIMM Symposium [특별세션4] 학회상 수상기념 강연 (16:30 ~18:15)	[New Horizon II] 배터리 혁신을 위한 소재 시뮬레이션 심포지엄 (16:00~18:30) ※정기총회 준비시간	[New Horizon III] K-방산 경쟁력 제고를 위한 소재부품 고도화 심포지엄	열전 (13:00 ~14:00) 마그네슘 (14:30 ~18:20)	상변태 (13:00 ~14:45) 제32회 피로 및 파괴 심포지엄 (15:00 ~17:25)	여성세션-여성수상자 기념강연 2024WISET 결과발표 대회	반도체 (13:00 ~15:15) 재료공정과 미세구조 시뮬레이션 심포지엄 (15:30 ~18:25)	복합화력 발전 가스터빈용 소재기술 개발 심포지엄	제13회 터빈 소재 및 내열합금 심포지엄	소성가공 (13:00-14:45) ※AR/VR 및 초미세 디스플레이 기술 (15:00 ~17:30)	철강B-압연, 강종개발, 후처리	제100회 철강기술 심포지엄
18:30 ~20:00	총회강연 / 정기 총회 / 학회상 시상식 / 간친회 장소: 2층 레이크+포레스트홀											

발표일정



10월 30일(수) 발표일정

◈ 총 진행: 이영국, 석현광 학술부회장
◈ 구두 및 포스터세션 진행위원: 문준오, 심재혁 학술이사
◈ 학생구두발표 및 학생포스터발표 우수상 선정위원: 김문조, 김명균, 이준민 위원

발표장 / 시간	알펜시아컨벤션 2F			알펜시아 컨벤션 1F							외부, 홀리데이인	외부1층
	메도우	레이크	포레스트	평창1	평창2	평창3	오디토리움	대관령2	루지홀	봅슬레이 + 바이에슬론	알펜시아홀	콘서트홀 1층
08:10 ~13:00	행사 참가자 명찰 수령(셀프 출력)											
08:30 ~12:00	복합화력 발전용 증기터빈 소재부품 기술개발 심포지엄	소재 연구데이터 심포지엄	알루미늄	항공재료	인공지능 재료과학	용접 및 접합	표면처리	고엔트로피 합금	에너지재료	(08:30 ~10:45) ※나노소재 ——— (11:00 ~12:15) 표면계면	철강B-압연, 강종개발, 후처리	이차전지 원료소재
11:30 ~13:00	점심 식사(1층, B1) / 경품 추첨(1층 로비, 12시 30분)											
13:00 ~15:30	복합화력 발전용 증기터빈 소재부품 기술개발 심포지엄	소재 연구데이터 심포지엄	알루미늄	생체재료	인공지능 재료과학	용접 및 접합		고엔트로피 합금	에너지 재료	표면계면	철강B-압연, 강종개발, 후처리	이차전지 원료소재

발표일정

포스터 발표 일정

*포스터 배치는 일정집 98, 99, 100쪽 참고(발표장: 2층 로비)

날짜 / 시간	10월 28일(월)	10월 29일(화)	날짜 / 시간	10월 30일(수)
발표시간 10:00~18:00 질의응답 13:00~13:30	P1 적층제조 및 분말 P2 전산재료과학 P3 타이타늄 P4 철강–제선, 제강, 환경, 에너지 P5 비철금속 P6 역학측정 P7 복합재료 P8 재료분석 P9 집합조직 P10 금속역사	P11 수소재료 P12 열전 P13 마그넷 P14 상변태 P15 마그네슘 P16 고온재료 P17 디스플레이재료 P18 나노소재 P19 항공재료 P20 반도체 P21 융합재료과학 P22 가공–열처리 P23 가공–주조 및 응고 P24 재료강도	발표시간 09:00~14:00 질의응답 13:00~13:30	P25 에너지재료 P26 고엔트로피합금 P27 철강–압연, 강종개발, 후처리 P28 알루미늄 P29 가공–용접및접합 P30 생체재료 P31 가공–표면처리 P32 이차전지 원료소재 P33 표면계면 P34 인공지능재료과학 P35 가공–소성가공

총회 강연

2층 레이크+포레스트홀, 10월 29일(화) 18:30–18:45

좌장 : 이영국 학술부회장

AW–1 철강 생산 기술의 미래(Future of steel production technologies)

이경우 (서울대학교)

인류가 4000년 전에 철강 생산 기술을 개발해서 철기 시대를 연 이래 철은 지금까지 문명을 건설하는 기초 재료로 인류의 생존과 번영에 큰 역할을 해오고 있다. 인구가 늘고 문명이 발전하면서 철의 수요가 늘어나고 품질에 대한 요구도 높아졌으며, 철 전문가들은 다양한 기술을 개발해 가면서 이에 대응해 왔다. 그동안 철을 만드는 제철 기술은 철광석과 탄소 공급원을 층층이 쌓고 강한 바람을 불어 넣어 철을 만들기 시작한 히타이트 시대 이후 현재까지 큰 틀을 유지하면서 적층 방법, 송풍 방법 그리고 탄소 공급원을 바꾸면서 발전해왔고, 그 결과 현재 매년 20억 톤에 달하는 고품질의 철을 생산하고 있다.

그런데 현재 철강 산업에서는 4천 년을 유지했던 철강 생산의 기본 틀을 바꾸는 새로운 기술을 개발해야 한다는 압력을 받고 있다. 물론 기술 개발에 대한 압력은 지난 4000년간 계속 이어져 왔고, 철강 전문가들은 새로운 기술을 개발해 오면서 이를 극복해 왔다. 다만, 그동안의 압력은 생산량 증대나 품질 향상, 자원 고갈 등 기술적인 측면의 문제였고 더 좋은 기술을 개발하면서 극복해 왔던데 반해서 이번 압력은 기후변화 대응이라는 정치적이거나 사회적인 측면을 가지고 있다는 것이 특징이고 그 이유는 모두 알고 있는 것처럼 기후변화의 주범으로 인식되는 온실가스를 철강 산업에서 10% 이상 배출하고 있기 때문이다.

따라서 철강 산업과 철강 전문가들 앞에는 지난 4000년간 철 생산 과정에 중요한 역할을 했던 탄소의 도움을 받지 않아야 한다는 전제 조건을 가지고 있으며, 새롭게 개발해야 하는 기술이 지난 200년 이상 발전하면서 거의 완성형에 가깝게 발전해온 용광로 법과 경쟁할 수 있어야 한다는 조건도 충족시켜야 하는 난제가 주어진 것이다. 사실 이 문제는 철강 기술만으로 해결할 수 있는 것은 아니며, 사회 전체의 노력이 합쳐져야 한다.

본 강연에서는 이러한 문제가 어떻게 진행될 것이며 어떠한 기술과 어떤 경로로 해결할 수 있을 것인가에 대한 전망을 제시하고자 한다.

NEW-HORIZON I : 미래 에너지 · 모빌리티 소재의 다중환경 영향 평가 심포지엄

10월 28일(월), ROOM 메도우

시간	내용	발표자
세션1. 좌장: 최현주 (국민대학교)		
13:00–13:25	국가전략기술소재와 데이터 기반의 소재 허브	이상관 (한국재료연구원)
13:25–13:50	Cryogenic 변형 조건에서 다결정 소재의 미세조직 변화 거동에 관한 연구	최시훈 (순천대학교)
13:50–14:15	초내열 구조용금속 적용을 위한 Nb 합금의 적용 가능성 탐색	서진유 (한국과학기술연구원)
14:15–14:40	Unique Relationship of Composition–Microstructure–Mechanical Property and Technical Issues on the Additively Manufactured Ni–Based Superalloys	Hyun Uk Hong (Changwon National University)
14:40–14:50	Break Time	
세션2. 좌장: 주수현 (단국대학교)		
15:00–15:25	수소환경에서의 금속소재와 용접부의 수소취성 이해 및 대응기술	강남현 (부산대학교)
15:25–15:50	금속 부식 거동의 환경 및 재료적 영향 인자의 개괄	하헌영 (한국재료연구원)
15:50–16:15	Computational Design of Metal Alloys with Minimal Galvanic Corrosion: application to biodegradable Mg alloys	Pil Ryung Cha (Kookmin University)
16:15–16:40	How to Get Your Articles Published in The High Impact Journals?	Guangchen Xu (Wiley China)

The 23rd KIM-JIMM Symposium

10/29(TUE), ROOM Meadow

Time	Title	Speaker	Affiliation
09:00–09:05	Welcome Address	Jae–Hyeok Shim	Korea Institute of Science and Technology (KIST)
Session1 (Chair: Jae–Hyeok Shim, Korea Institute of Science and Technology (KIST))			
09:05–09:25	Carbon Neutral Society: Challenges and Strategies of the Korean Steel Industry	Joonho Lee	Korea University
09:25–09:45	Ammonia Synthesis via Catalytic and Chemical Looping Process by Alkali Metal Compounds	Hiroki Miyaoka	Hiroshima University
09:45–10:05	Technology to prohibit hydrogen embrittlement in metals and welds	Namhyun Kang	Pusan National University
10:05–10:25	Room Temperature Hydride Ion Conduction in Rare–Earth Metal Oxyhydrides	Soshi Iimura	National Institute for Materials Science (NIMS)
10:25–10:40	Break		
Session2 (Chair: Hiroyuki Saitoh, National Institutes for Quantum Science and Technology (QST))			
10:40–11:00	Structural and chemical affinity engineering for improved hydrogen trapping and embrittlement behavior	Seok Su Sohn	Korea University
11:00–11:20	Synthesis of Lightweight High–Entropy Alloys and Their Application to Hydrogen Storage	Shigehito Isobe	Hokkaido University
11:20–11:40	Vanadium–based metallic membranes for hydrogen separation	Jin–Yoo Suh	Korea Institute of Science and Technology (KIST)
11:40–12:00	Temperature and Pressure Dependent Solubility of Hydrogen in Hydrogen Permeable Alloys: A First–Principles Description	Akihiro Mitsuhara	Nagoya University
Lunch (~13:00)			
Session3 (Chair: Namhyun Kang, Pusan National University)			
13:00–13:20	I knew you were trouble: analyzing hydrogen	Prof. Se–Ho Kim	Korea University
13:20–13:40	Hydrogenation Reactions of Aluminum–Based Alloys Under High Pressure	Hiroyuki Saitoh	National Institutes for Quantum Science and Technology (QST)
13:40–14:00	Metastable Hexagonal Close–packed Palladium–hydride through radiation chemistry	Dong Won Chun	Korea Institute of Science and Technology (KIST)
14:00–14:20	Customizing of Additional Functions of Hydrogen Storage Materials: Compression and Purification of Hydrogen	Kohta Asano	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
14:20–14:35	Break		
Session4 (Chair: Kohta Asano, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST))			
14:35–14:55	Surface–Engineered Metal Hydride for Low–Purity Hydrogen Storage	Eun Seon Cho	Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)
14:55–15:15	Local Structures in Hydrogen Storage Materials and Their Hydrides	Kouji Sakaki	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
15:15–15:35	Industrial applications and technology trends of hydrogen storage alloys	Tae–Wook Na	Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)
15:35–15:55	Hydrogen Absorption Reactions on an AB3–Based Intermetallic Compound, (Y, Mg)Co3	Toyoto Sato	Tohoku University

NEW-HORIZON II : 배터리 혁신을 위한 소재 시뮬레이션 심포지엄

10월 29일(화), ROOM 레이크

시간	제목	발표자
08:50–08:55	개회사	서동화 (한국과학기술원) 남대현 (고려대학교)
08:55–09:00	축사	권용우 (홍익대학교)
세션1. 좌장: 서동화 (한국과학기술원)/ 남대현 (고려대학교)		
09:00–09:30	DX를 활용한 LG에너지솔루션의 소재 연구개발의 미래	박병천 (LG에너지솔루션)
09:30–10:00	배터리 신산업 혁신을 위한 소재 주도 계산/데이터 과학	김두호 (경희대학교)
10:00–10:30	능동학습에 의한 베터리 소재 개발	손기선 (세종대학교)
10:30–11:00	제일원리와 머신러닝을 접목한 지속가능 배터리용 유기물 양극재 개발 가속화	이동화 (POSTECH)
11:00–11:30	해석 가능한 머신러닝에 기반한 리튬이차전지 전극 재료 특성 분석	박인철 (포스코 홀딩스)
11:30–13:20	점심 식사	
세션2. 좌장: 서동화 (한국과학기술원)/ 남대현 (고려대학교)		
13:20–13:50	Powder Simulation for Li–ion Battery Development	김상필 (삼성SDI)
13:50–14:20	전고체전지 범용 설계 인자 개발 및 적용	김진수 (한국에너지기술연구원)
14:20–14:50	Machine–Learned Potential Based Materials Design and Analysis for Solid–State Electrolyte	이상욱 (성균관대학교)
14:50–15:20	제일원리 계산 기반 리튬전고체전지용 고이온전도성 고체전해질 설계 및 개발	류승호 (KIST)
15:20–15:50	분자 레벨 시뮬레이션을 통한 전고체전지 소재 연구	고정현 (SK On)
15:50–16:00	폐회사	신병하 (KAIST)

NEW-HORIZON III : K-방산 경쟁력 제고를 위한 소재부품 고도화 심포지엄

10월 29일(화), ROOM 포레스트

시간	제목	발표자
세션1. 좌장: 김영무 (국방과학연구소)		
10:00–10:25	첨단 국방 금속재료 개발 현황 및 전략	조장현 센터장 (국방과학연구소)
10:25–10:50	국방핵심소재 자립화 실태 분석 및 공급망 강화 방안	권용남 센터장 (한국재료연구원)
10:50–11:15	미래 국방전략센터 중점 추진 개발과제 현황 및 전략	천명국 실장 (KIST)
11:15–11:40	Review of Aircraft and Engine Design Philosophy	이홍철 대령 (공군 항공기술연구소)
11:40–13:00	점심 식사	
세션2. 좌장: 정유인 (한국항공우주산업(주))		
13:00–13:25	K-방산의 지속적인 성장을 위한 공군의 역할	유재문 소장 (공군 군수사령부)
13:25–13:50	STRONG Army 추진전략	최선락 대령 (육군 군수사령부)
13:50–14:15	K-방산 생태계 확장을 위한 항공용 가스터빈의 이해 및 발전 방향	최재호 수석 (한화에어로스페이스)
14:15–14:40	육군 지상 무기에서 발생한 문제점과 해결 사례	김상식 교수 (경상국립대학교)
14:40–14:50	Break Time	
세션3. 좌장: 권용남 (한국재료연구원)		
14:50–15:15	방위산업 연계된 항공산업 현황 및 발전 전략	박경은 전무 (한국항공우주산업(주))
15:15–15:40	항공 무기체계 기체 구조 신뢰성 향상을 위한 도전과 과제	진승우 팀장 (한국항공우주산업(주))
15:40–16:05	가스터빈 고온부품 열유동 계측 기술	황원태 교수 (서울대학교)

2024 WISET 공학연구팀제 심화과정 결과발표대회

–금속 · 소재분과–

10월 29일(화), ROOM 평창3

진행: 신혜영 (충남대학교)
류채우 (홍익대학교)

시간	연구주제	책임연구자
15:20–15:30	개회사 및 인사말	
15:30–15:45	다이나믹 사슬 네트워크 구조를 이용한 리튬 이온 배터리 양극용 소재 개발	남연정 (가천대학교)
15:45–16:00	탄소소재 개질을 통한 차세대 이차전지용 고효율 리튬 담지 소재 개발	김정아 (강원대학교)
16:00–16:15	X선 고도 분석을 통한 리튬/소듐 이온 삽입에 따른 베를린 그린 양극 소재의 결정학적/물리화학적 상전이 거동 비교	허정연 (경북대학교)
16:15–16:30	전기화학적 활성촉매를 활용한 당뇨병 모니터링 및 심혈관질환 예방목적 비효소적 비침습 대사산물 센서	김도연 (국립부경대학교)
16:30–16:45	지속 가능한 어업을 위한 친환경 생분해성 어구에 관한 연구	백세나 (국립부경대학교)
16:45–17:00	Pd 나노입자 촉매에서 이산화탄소 수소화 반응의 이론적 메커니즘 분석	최예정 (충남대학교)
17:00–17:15	초미세 반도체 공정을 위한 원자층 식각 공정 기술 연구	오지은 (한양대학교 ERICA)
17:15–17:30	전산모사를 활용한 영역 선택적 원자층 증착에 적합한 전구체의 특성 규명	권수진 (홍익대학교)

17:30~17:40 폐회 및 사진촬영

특별세션1 · 2 · 3

10월 29일(화), ROOM 오디토리움

시간	제목	발표자
특별세션1: 창업 및 실용화 소재기술 좌장: 석현광(KIST)		
09:00~09:20	3차원 알루미늄 나노코팅 기술과 사업화	이혜문 (주)알링크
09:20~09:40	A Journey from Idea to Market: High Mn Austenitic Steels	이순기 (포스코 기술연구원)
09:40~10:00	자동차용 1.8GPa 핫스탬핑 강판 개발 및 적용 기술	윤승채 (현대제철 기술연구소)
10:00~10:20	환경 나노촉매 소재기술의 산업계 적용 및 창업 사례	하헌필 (한국과학기술연구원 미래연구본부)
10:20~10:30	Break Time	
특별세션2: 대한금속재료학회 정부 사업 기획 현황보고 좌장: 한흥남 (서울대학교)		
10:30~10:50	소재기술 지능화자동화 R&D 사업 기획현황 보고	석현광 (KIST, 대한금속 · 재료학회 학술부회장)
특별세션3: 정부 R&D 사업 소개 좌장: 한흥남 (서울대학교)		
10:50~11:20	산업기술 R&D 정책 및 투자방향 소개	조용곤 (한국산업기술기획평가원)

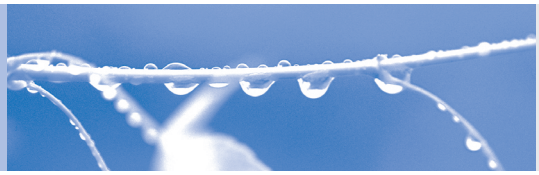
제100회 철강기술심포지엄

주제: 철강의 사회적 가치 재인식

<수요 산업과 협업을 통한 미래 변화에 대한 대응방안 모색>

10월 29일(화), ROOM 콘서트홀

시간	내용	발표자
13:00–13:05	개회사 (현대제철 이보룡 연구개발본부장)	
13:05–13:10	100회 기념 축사 (철강분과위원회 김성연 위원장)	
	Session Ⅰ. 철강의 사회적 가치 재인식 좌장: 정유동 (현대제철 제품개발센터장)	
13:10–13:35	새로운 과거와 오래된 미래, Fe	민동준 (연세대 신소재공학과 교수)
13:35–14:00	G · A · X 시대 K-Steel Way 는? (*G · A · X : Green & AI Transformation)	장웅성 (산업통상자원 R&D전략기획단장)
	Session Ⅱ. 철강 산업과 수요 산업의 상생 발전을 위한 협업 사례 좌장: 태순재 (현대제철 연구개발기획실장)	
14:00–14:25	지속 가능한 친환경 핵심 소재 – 철강 재료의 현재와 도전	서동우 (POSTECH 친환경소재대학원장)
14:25–14:50	저탄소 철강 제품/기술 개발 및 Scope 3 협업 동향	이규영 (포스코 자동차소재연구소장)
14:50–15:15	미래 모빌리티 혁신을 위한 철강 솔루션 개발 현황	권태우 (현대제철 판재개발실장)
15:15–15:30	Coffee Break	
	Session Ⅲ. 지속 성장의 요건으로서 탄소 중립 생태계 구축에 대한 기여 좌장: 김용희 (현대제철 저탄소공정연구실장)	
15:30–15:55	제철 부산물 활용 기술에 대한 연구 동향	김진만 (공주대 그린스마트건축공학과 교수)
15:55–16:20	탄소중립과 한국 철강의 미래	이준호 (고려대 신소재공학부 교수)



타이타늄

위원장: 강남현(부산대학교)
총무간사: 이현석(RIST), 김경민(세아창원특수강), 이제인(부산대학교), 이상원(한국재료연구원)
Room 메도우, 10월 28일

좌장 : 전태성(인천대학교)

타이타늄1-1 | 08:30

타이타늄 스크랩 재활용을 위한 잔류 유기물 세척 기술개발
안성민 (국립한밭대학교), 박찬희 (한국재료연구원), 김정한* (국립한밭대학교)

타이타늄1-2 | 08:45

Ti-6Al-4V의 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 반복열처리의 영향
이종혁, 이장한, 장병록* (인하대학교)

타이타늄1-3 | 09:00

FCC계 원소 미량 첨가를 통한 βsolvus 준안정도 확보 TRIP Ti-6Al-4V-X 합금 설계
서기완, 김지영 (서울대학교), 김도향 (연세대학교), 박은수* (서울대학교)

타이타늄1-4 | 09:15

Development Procedure of Isotropic High-Strength Ti-6Al-4V Fastener for Aerospace Application
Anoop Kumar Maurya, Jong Taek Yeom*, Chan Hee Park, Jae Keun Hong, Jae Ho Kim, Junha Yang, Jae H. Kim, Sang Won Lee (Korea Institute of Materials Science), and N.S. Reddy (Gyeongsang National University)

Break Time | 09:30

좌장 : 강정신(서울대학교)

타이타늄2-1 | 09:40

Ni-rich Ti-Ni-Co 합금에서 시효에 의한 변태온도 및 열싸이클의 영향
최희은, 이혜미, 김재일* (동아대학교)

타이타늄2-2 | 09:55

Ti-Nb-Mo-Sn 형상기억합금의 미세구조 및 초탄성에 미치는 Mo의 영향
민건기, 김수영, 구태균, 남태현* (경상국립대학교)

타이타늄2-3 | 10:10

Ti-5Mo-4Fe 준안정 베타 타이타늄 합금의 공정변수에 따른 고온 변형 메커니즘 분석
이재관, 이용재 (국립순천대학교), 강민, 박지환 ((주) 엠티아이지), 이동근* (국립순천대학교)

타이타늄2-4 | 10:25

Ti-15Zr-xNb-2.5Sn (x=12.0, 12.5, 13.0, 13.5)(at. %) 합금의 재결정 텍스처 형성 및 기계적 특성에 미치는 Nb 의 영향
남태현*, 김수영 (경상국립대학교)

타이타늄2-5 | 10:40

타이타늄 Ti-6Al-4V 합금 극후물 압연재의 열처리 조건에 따른 미세조직 및 인장물성 변화
이현석*, 최미선 (포항산업과학연구원(RIST))

좌장 : 김경민(세아창원특수강)

타이타늄3-1 | 11:05

Grade 2 타이타늄 냉간 압연재의 통전 이방성: 전류펄스 인가 방향에 따른 재결정 및 경도 영향
이성호, 배민화, 유진영, 천세호 (부산대학교), 원종우 (한국재료연구원), 김상훈 (국방과학연구소), 이태경* (부산대학교)

타이타늄3-2 | 11:20

MEAM (Material Extrusion Additive Manufacturing) 공정으로 제작된 Ti-15Nb-5Sn (at.%) 합금의 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 탈지 열처리 시 아르곤 가스 유량의 영향
남태현*, 강경호, 임진환 (경상국립대학교)

타이타늄3-3 | 11:35

순수 타이타늄 판재의 굽힘 속도에 따른 스프링백 현상 및 미세조직 변화 분석
이종언, 현용택, 원종우* (한국재료연구원)

타이타늄3-4 | 11:50 **Canceled**

연료전지 분리판용 타이타늄 박판 소재의 성형성 향상 및 스프링백 저감을 위한 2단 압연 공정 최적화에 관한 연구
박재봉*, 김성환 (현대자동차 연구개발본부), 원종우, 이종언 (한국재료연구원(KIMS))

타이타늄3-5 | 12:05

연료전지 시스템에서의 타이타늄 소재 적용
신홍철* (포항산업과학연구원(RIST))

NEW HORIZON I : 미래 에너지 • 모빌리티 소재의 다중환경 영향 평가 심포지엄

위원장: 홍현욱(국립창원대학교)
조직위원: 성효경(국민대학교)
Room 메도우, 10월 28일

좌장 : 최현주(국민대학교)

미래1-1 | 13:00 초청강연

국가전략기술소재와 데이터 기반의 소재 허브
이상관*, 김태연, 신정호 (한국재료연구원)

미래1-2 | 13:25 초청강연

Cryogenic 변형 조건에서 다결정 소재의 미세조직 변화 거동에 관한 연구
최시훈* (순천대학교)

미래1-3 | 13:50 초청강연

초내열 구조용금속 적용을 위한 Nb 합금의 적용 가능성 탐색
Krishnamohan Thekkepat (한국과학기술연구원), 박기성 (순천대학교), 김두현 (한국과학기술연구원, 고려대학교), 이상민, 심재혁, 이승철 (한국과학기술연구원), 최시훈 (순천대학교), 서진유* (한국과학기술연구원), 손석수 (고려대학교), 이근우 (한국표준과학연구원)

미래1-4 | 14:15 초청강연

Unique Relationship of Composition–Microstructure–Mechanical Property and Technical Issues on the Additively Manufactured Ni–Based Superalloys
Hyun Uk Hong* (Changwon National University)

Break Time | 14:40

좌장 : 주수현(단국대학교)

미래2-1 | 15:00 초청강연

수소환경에서의 금속소재와 용접부의 수소취성 이해 및 대응기술
강남현*, 남지민, 최동현, 문병록 (부산대학교), Sourav Saha (QuantumCat Co. Ltd.), 박한지 (한국표준과학연구원), 박철호 (조선대학교), 이정훈 (포항산업과학연구원), 유재석 (한화오션), 이승건 (한국재료연구원), 김현준 (동화엔텍)

AW-6 | 15:25 현대제철 신진학술상 수상기념강연

금속 부식 거동의 환경 및 재료적 영향 인자의 개괄
하헌영*, 이태호 (한국재료연구원)

미래2-3 | 15:50 초청강연

Computational Design of Metal Alloys with Minimal Galvanic Corrosion: application to biodegradable Mg alloys
Pil Ryung Cha* (Kookmin University), Yu-Chan Kim, Hyun-Kwang Seok, T Krishnamohan, and Seung-Cheo Lee (Korean Institute of Science and Techonology)

미래2-4 | 16:15 초청강연

How to Get Your Articles Published in The High Impact Journals?
Guangchen Xu* (Wiley China)

제3회 수소경제 구현을 위한 수소운송 및 저장소재 심포지엄

위원장: 심재혁(한국과학기술연구원)
조직위원: 천동원(KIST), 박형기(생산기술연구원), 김영민(한국재료연구소)
Room 레이크, 10월 28일

좌장 : 심재혁(한국과학기술연구원)

수소경제1-1 | 09:00 초청강연

BCC 구조 금속의 수소 사용 적합성 평가를 위한 수소취성 인덱스
백운봉*, 박재영, 배경오 (한국표준과학연구원)

수소경제1-2 | 09:20 초청강연

STS 316L강의 용접공법 및 용접재료에 따른 액화수소 분위기 장기 노출 이후의 초저온 수소취성 비교
김성환*, 김재웅, 표창민 (한국생산기술연구원)

수소경제1-3 | 09:40 초청강연

극저온 액화수소용 스테인리스강 및 고강도 316LH 개발 현황
김광민*, 송석원 (㈜포스코 기술연구소 스테인레스연구그룹)

수소경제1-4 | 10:00 초청강연

다양한 수소환경에서 배관강 및 합금강의 수소취성 스크리닝에 간편시험법의 적용
신형섭*, 리차드 파스쿠아, 젤리카 둘라스, 강성범 (안동대학교), 배경오, 박재영, 백운봉 (한국표준과학연구원)

Break Time | 10:20

좌장 : 김영민(한국재료연구원)

수소경제2-1 | 10:40 초청강연

수소생산 및 활용을 위한 프로톤 세라믹 전기화학 전지 기술개발 현황
지호일* (한국과학기술연구원)

수소경제2-2 | 11:00 초청강연

수소저장용기 및 고강도 배관소재 개발과 수소산업용 강재의 전기화학적 수소취성평가 방법
오윤석* (포항산업과학연구원)

수소경제2-3 | 11:20 초청강연

암모니아 직접연료 고체산화물 연료전지 시스템의 열관리 최적화를 통한 출력 증대
김근수 (한국과학기술연구원), 김미현 (한국과학기술연구원, 고려대학교, KU-KIST Green school 에너지환경대학원), 정향수 (한국과학기술연구원, 경희대학교, KHU-KIST융합과학기술학과), 남석우 (한국과학기술연구원), 손현태 (한국과학기술연구원, UST, KIST 에너지환경융합전공), 김용민* (한국과학기술연구원, 고려대학교, KU-KIST Green school 에너지환경대학원)

수소경제2-4 | 11:40 초청강연

Influence of prior austenite grain boundary misorientation on hydrogen-induced crack propagation in a medium carbon martensitic steel
Ji Hoon Kim*, Goro Miyamoto (TOHOKU University), Akinobu Shibata (National Institute for Materials Science (NIMS)), Tomohiko Hojo (TOHOKU GAKUIN University), Motomichi Koyama, Yongjie Zhang, and Tadashi Furuhara (TOHOKU University)

CO2저감 제철기술(COOLSTAR) 심포지엄

위원장: 이상호(POSTECH)
실무위원: 이운재(포스코), 박재홍(현대엔지니어링), 조종오(현대제철)
Room 레이크, 10월 28일

좌장 : 이준호(고려대학교)

저감1-1 | 13:05
COOLSTAR 프로젝트 개요
김태윤*, 이예린 (한국금속재료연구조합)

저감1-2 | 13:15 초청강연
고로공정 CO2 저감을 위한 함수소가스/대체철원 사용 기술개발
이운재*, 박지욱, 라기호, 이영석 (포스코기술연구원)

저감1-3 | 13:35 초청강연
철강 산업 탄소 중립을 위한 고로 미분탄 대체 바이오매스 취입 기술 개발
이종협*, 오한상, 김가언, 권재홍, 조준희, 이주원, 박준범, 배윤호 (현대제철연구소)

저감1-4 | 13:55 초청강연
Carbon dioxide reduction technologies in the integrated iron and steelmaking process
Junseok Yi* (Research Institute of Science and Technology (RIST)), Gookhee Kim (POSCO NEXT HUB), Wonbae Kim, Jonglam Lee (Pohang University of Science and Technology (POSTECH)), Jaedal Lee, Soohwan Jeon (Research Institute of Science and Technology (RIST)), Jungseub Ha, Sehun Choi, Junil Choi (Pohang University of Science and Technology (POSTECH)), Jin Hyuk Cho, and Soo Young Kim (Korea University)

저감1-5 | 14:15 초청강연
CO2 저감형 Hybrid 제철기술 통합 적용에 따른 고로 및 전후방 공정 CO2 배출 인자 변동 평가
김완호* (더하이스트(TheHighest)), 이예린, 김태윤 (한국금속재료연구조합)

Break Time | 14:35

좌장: 조종오(현대제철)

저감2-1 | 14:45 초청강연
난용성 대체철원 다량 사용을 위한 전기로 고효율 보조설비 개발
신대훈*, 안정우, 김균태, 김영철, 최병권, 엄준용, 조종오, 김용희 (현대제철연구소)

저감2-2 | 15:05 초청강연
부생가스에 의한 에너지 저감형 DRI 제조 기초 연구
김은주, 명다빈, 이준호*, 서인국* (고려대학교)

저감2-3 | 15:25 초청강연
부생가스 활용 고탄소 DRI (3~4%) 제조 기초 연구
김용하*, 원용선 (부경대학교), 이재랑, 조종오 ((주) 현대제철)

저감2-4 | 15:45 초청강연
Thermochemical understanding the melting behavior of HBI and dephosphorization efficiency in EAF conditions for mitigation of CO2 emissions
JOO HYUN PARK* (Hanyang University)

Break Time | 16:05

좌장 : 김태윤(한국금속재료연구조합)

저감3-1 | 16:15 초청강연
철강산업 부생가스 활용기술 개발 현황 [특허중심]
유근영* (오렌지특허법률사무소)

저감3-2 | 16:35 초청강연
COOLSTAR 2세부 2단계 소개
박동률* (현대엔지니어링(주))

저감3-3 | 16:55 초청강연
수소 개질용 반응관 튜브의 고온 열화에 따른 기계적 특성 및 조성 변화
최주현* (부공산업(주)), 남중길 (부공산업(주)), 한국기술교육대학교), 박재원 (아세아항공직업전문학교), 도학진 (부공산업(주))

저감3-4 | 17:15 초청강연
제철공정 발생 부생가스 이용 개질가스 중 선택적 이산화탄소 포집기술
남성찬* (한국에너지기술연구원)

역학측정

위원장: 한흥남(서울대학교)
총무간사: 최민재(한국원자력연구원)
Room 포레스트, 10월 28일

좌장 : 김종형(국립부경대학교)

역학1-1 | 09:00
실시간 수소 장입 나노압입시험을 활용한 Fe-Cr 합금 내 결정립 방향별 수소 영향 분석
안윤희, 정재영, 정현, 정지윤, 이동현* (충남대학교)

역학1-2 | 09:15
무방향성 규소강판의 최종 열처리 분위기에 따른 철손 변화 분석
전지헌, 이소현 (UNIST), 유성현, 고재현, 강춘구 (현대제철연구소), 김주영* (UNIST)

역학1-3 | 09:30
MXene 박막의 굽힘변형에 따른 가역 및 비가역 크랙의 저항 영향도 분석
박민지, 김진현, 조아름, 정회연, 박연경, 신기승 (울산대학교), 박재은, 진영호, 권순용 (울산과학기술원), 이정구, 전은채* (울산대학교)

역학1-4 | 09:45
TiHfNb계 엔트로피 합금의 역학특성 및 고온 산화 거동 규명
이시연, 최인철* (국립금오공과대학교)

역학1-5 | 10:00

Micromechanical Behavior of Multi-Layered Medium-Entropy Alloy Prepared via Laser Powder Bed Fusion Process

Zhe Gao (Hanyang University), Dong-Hyun Lee (Chungnam National University), Yakai Zhao (Institute of Materials Research Engineering), Hyoung Seop Kim (POSTECH), Upadrasta Ramamurty (Nanyang Technological University), and Jae-il Jang* (Hanyang University)

역학1-6 | 10:15

Liquid-filled copper microarchitectures and their micromechanical properties

Sung-Gyu Kang* (Gyeongsang National University)

Break Time | 10:30

좌장 : 전한솔(계명대학교)

역학2-1 | 10:40

Stress-corrosion cracking of polypropylene in harsh oxidizing environments

Jong-hyoung Kim* (Pukyong National University, Harvard University), Won-Seok Song (Harvard University, Samsung Electronics), and Joost J. Vlassak (Harvard University)

역학2-2 | 10:55

Investigation of the Synergistic Effects of Corrosion and Hydrogen Embrittlement via Nanoindentation

김임덕, 심준석, 김종형*, 강승균* (서울대학교)

역학2-3 | 11:10

능동 전개 특성을 갖는 생체이식형 전자소자의 기계적 설계

김수민, 황경석 (UNIST), 배재영, 강승균* (서울대학교), 김주영* (UNIST)

역학2-4 | 11:25

일축 주름 구조를 갖는 무기 봉지 재료 개발 및 방습 특성 평가

조지현, 유현지, 황경석, 김주영* (울산과학기술원)

역학2-5 | 11:40

나노스크래치 테스트를 활용한 전사 공정 몰드와 기판의 정량적 접합력 비교분석을 통한 열처리 온도 영향 평가

박연경, 정회연, 박태원, 김진현, 김동규 (울산대학교), 정주연, 최준혁, 최대근 (한국기계연구원), 전은채* (울산대학교)

역학2-6 | 11:55

저온 공정에 기반한 유무기층 교차 구조의 생분해성 봉지재료 개발 및 특성 평가

유현지, 황경석, 김주영* (울산과학기술원)

제2회 가공 심포지엄: 차세대 반도체 가공분과 심포지엄

위원장: 이호년(한국생산기술연구원)
실무위원: 배규열(포스코), 박은수(서울대학교), 이광석(한국산업기술기획평가원), 오세권(한국생산기술연구원), 문경일(한국생산기술연구원)
Room 포레스트, 10월 28일

좌장 : 이호년(한국생산기술연구원)

차세대1-1 | 13:20 초청강연

2024년도 KEIT 금속산업 관련 과제 기획현황 및 향후 중점추진 방향

이광석* (한국산업기술기획평가원)

차세대1-2 | 13:45 초청강연

반도체 검사용 미세피치 포고핀 및 플런저 소재 개발

인치훈*, 김용준 (주) 메가터치 연구소)

차세대1-3 | 14:10 초청강연

반도체 제조에 필요한 가스이송용 고청정 316L 스테인리스 봉강 및 무계목강관 소재의 자립화 현황 및 향후 계획

김덕령*, 김태윤*, 정세지, 강수석, 이강희, 안세호 (세아창원특수강)

차세대1-4 | 14:35 초청강연

반도체 패키징용 구리-구리 접합 기술

김주영*, 심영주, 곽지윤, 김동현 (울산과학기술원)

Break Time | 15:00

좌장 : 문경일(한국생산기술연구원)

차세대2-1 | 15:20 초청강연

Octahedron 결정형 Diamond를 이용한 CMP PAD Conditioner의 개발 성능과 CMP 기술의 트랜드 변화

박경수*, 양승원 (신한다이아몬드공업(주) R&BD CENTER)

차세대2-2 | 15:45 초청강연

Cold Spraying – from metallurgical perspective to applications

Gyuyeol Bae* (POSCO Technical Research Lab.)

차세대2-3 | 16:10 초청강연

뿌리기술분야 정부 R&D 지원방향 및 신규 R&D 지원사업 소개

이병현* (한국산업기술기획평가원)

복합재료

위원장: 조승찬(한국재료연구원)
총무간사: 김정환(한국재료연구원)
Room 평창1, 10월 28일

좌장 : 조승찬(한국재료연구원)

복합1-1 | 10:00

고체적률 금속복합재료의 강화 입자 성장 및 형상 변화 기구 규명

김정환*, 박현재, 신상민, 조승찬, 이상복, 이상관 (한국재료연구원)

복합1-2 | 10:15

B4C-Al 복합소재의 중성자 흡수능 및 열전도도 향상 방안 연구

강민우* (한국재료연구원, 부경대학교), 이동현, 김정환, 이상복, 이상관 (한국재료연구원), 권한상 (부경대학교), 조승찬* (한국재료연구원)

복합1-3 | 10:30

(Ti47.5X2.5)Cu50 전구체합금의 합금 원소가 금속 용탕 탈성분법에 의해 합성된 Mg-Ti 복합재료의 미세구조와 기계적 · 화학적 물성에 미치는 영향 연구

성지혜 (단국대학교 신소재공학과), 장지은 (경북대학교 신소재공학부), Hidemi Kato (동북대학교 금속재료연구소), 박성혁 (경북대학교 신소재공학부), 주수현* (단국대학교 신소재공학과)

복합1-4 | 10:45

파우치형 이차전지 외장재용 AA8079합금과 폴리프로필렌간 분자접합에 미치는 알루미늄 산화층 두께의 영향

박진웅, 강정현, 한병준, Emmanuel Appiah (한밭대학교), 김준현, 손병삼 (롯데인프라셀), 김정한* (한밭대학교)

복합1-5 | 11:00

첨단 층상 복합재료인 클래드 메탈의 우수한 특성과 향후 산업현장 적용 가능성 전망

배동현 ((주)한국클래드텍), 조영래* (부산대학교)

제20회 중성자 및 방사광 X-선 이용 금속 및 나노구조 재료분석 국제 심포지엄 (BSS기술교류회)

위원장: 우완측(한국원자력연구원)
실무위원: 신은주(한국원자력연구원), 김태주(한국원자력연구원), 김종열(한국원자력연구원), 채호병(한국원자력연구원)
Room 평창1, 10월 28일

좌장: 우완측(한국원자력연구원)

NeXS1-1 | 13:00 초청강연

Structural Study of Metastable Liquids using Levitation Scattering

John Lee* (Iowa State University, Ames National Laboratory), Brayden Berg, Fahad Obaid (Iowa State University), Yong Chan Cho, Lei Wang, Geun Woo Lee (Korea Research Institute of Standards and Science), Chris Benmore (Argonne National Laboratory), Dante Quirinale, Matthias Frontzek, Lisa Debeer-Schmitt (Oak Ridge National Laboratory), and Takeshi Egami (Oak Ridge National Laboratory, University of Tennessee Knoxville)

NeXS1-2 | 13:30 초청강연

High-Pressure Crystallography with X-Rays and Neutrons

Andrzej Grzechnik* (Juelich Center for Neutron Science (JCNS-4), Reserch Centre Juelich, Institute of Crystallography, RWTH Aachen University, Germany), Martin Meven (Institute of Crystallography, RWTH Aachen University, Germany, Juelich Centre for Neutron Science (JCNS) at Heinz-Libnitz Zentrum (MLZ) Garching, Germany), and Karen Friese (Institute of Crystallography, RWTH Aachen University, Germany, Juelich Centre for Neutron Science (JCNS-2), Research Centre Juelich, Germany)

좌장: 김태주(한국원자력연구원)

NeXS2-1 | 14:00 초청강연

Research opportunity on the matter under dynamic extreme conditions

Kitae Lee* (Korea Atomic Energy Research Institute)

NeXS2-2 | 14:20 초청강연

Observation of matter formation under extreme conditions with synchrotron X-rays and X-ray free electron laser techniques

YUN-HEE LEE, Jinkyun Kim, Minju Kim, Lei Wang, Yong Chan Cho (Korea Research Institute of Standards and Science), and Geun Woo Lee* (Korea Research Institute of Standards and Science, University of Science and Technology)

Break Time | 14:40

좌장: 권성오(KSEP, BSS 기술교류회)

NeXS3-1 | 14:50 초청강연

중성자 차폐용 스테인리스 강의 합금 성분에 따른 특성 연구

김정균 ((주)에이치브이엠), 박성익 ((주)대창솔루션), 장재훈 (한국재료연구원), 최재영* ((주)에이치브이엠)

NeXS3-2 | 15:05 초청강연

보론 첨가 스테인리스강의 석출물 조대화 거동 분석 및 모사

장재훈*, 박봉천 (한국재료연구원)

NeXS3-3 | 15:20 초청강연

보론 첨가 스테인레스강 판재의 중성자 차폐율 평가

신은주*, 김태주, 김종열, 우완측, 채호병 (한국원자력연구원)

NeXS3-4 | 15:35 초청강연 **Canceled**

중 · 저준위 방사성폐기물용 구상흑연주철 포장용기 제작기술 개발

이창원*, 김태룡 (부국금속)

NeXS3-5 | 15:50 초청강연

중 · 저준위 원자력 폐기물 포장용기 위상최적설계에 관한연구

장진석*, 홍지우, 이정인, 조용재, 김동혁, 송혜진, 최창영 (한국생산기술구원), 고대철, 박준홍 (부산대학교)

좌장: 신은주(KAERI, BSS 기술교류회)

NeXS4-1 | 16:05 초청강연

Effect of heat treatment and cooling rate on microstructure and corrosion behavior of BSS clads

Minseok Seo, Hyunbin Nam, Yongju Yoon, and Chelho Park* (Chosun University)

NeXS4-2 | 16:20 초청강연

보론 첨가 스테인리스강의 마찰교반용접 특성 연구

김정민*, 강용준, 김남규, 송상우 (한국재료연구원), 홍현욱 (국립창원대학교)

NeXS4-3 | 16:35 초청강연

중성자 흡수 및 구조재용 붕소 함유 스테인리스강의 레이저 용접부에 미치는 용접후열처리의 영향

김중훈, 한종민 (한국생산기술연구원, 동아대학교), 손태봉 (한국원자력산업기술연구조합), 노명섭 (대경기술), 김형찬, 김병준, 남대근 (한국생산기술연구원), 전종배 (동아대학교), 김병구* (한국생산기술연구원)

NeXS4-4 | 16:50 초청강연

구상흑연주철의 인장, 충격 특성 및 내식성에 미치는 구리 첨가의 영향

이인성*, 김순태 (연세대학교)

Break Time | 17:05

좌장: 채호병(한국원자력연구원)

NeXS5-1 | 17:15 초청강연

순수 타이타늄의 고상동소변태에 미치는 전류의 비열적 효과 정량화

최호욱 (서울대학교), 우완측, 채호병, 백열 (한국원자력연구원), 홍성태 (울산대학교), 한흥남* (서울대학교)

NeXS5-2 | 17:30 초청강연

이중 그라디언트 구조와 펼쳐지는 형태의 상변태를 통한 우수한 기계적 물성 달성

김래언, 구강희, 안성열 (포스텍), 채호병, 백열, 우완측 (한국원자력연구원), 문종언* (공주대), 김형섭* (포스텍)

NeXS5-3 | 17:45 초청강연

Observation of Korean copper coin from the Joseon period by using neutron imaging

Youngju Kim, Jongyul Kim, Taejoo Kim* (Korea Atomic Energy Research Institute), Daeseung Kim, Seung Wook Lee (Pusan National University), Minsu Han (Korea National University of Heritage), M. Cyrus Daugherty, Daniel Hussey, Jacob LaManna, and David Jacobson (National Institute of Standards and Technology)

재료분석

위원장: 허윤욱(포항공과대학교)
총무간사: 김성대(부경대학교)
Room 평창2, 10월 28일

좌장 : 김성대(부경대학교)

분석1-1 | 08:30

고성능 건축구조용 H형강의 합금 성분 및 제조 공정에 따른 미세조직과 기계적 물성 변화 연구

박진우, 김상은, 이민규 (명지대학교), 정준호 (현대제철), 이창훈 (한국재료연구원), 신찬선* (명지대학교)

분석1-2 | 08:45

Ni-Cr-Mo-V계 고에너지 흡수용 제동디스크의 마찰 및 마모특성 평가

이동규 (한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소, 인하대학교), 김민지, 김예진, 김경일, 조규섭, 김경택* (한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소)

분석1-3 | 09:00

고압 다이캐스팅(HPDC) 공정 중 몰드 캐비티 온도 및 압력을 활용한 제품 형상 오차 예측 및 검증

이승철, 도신혁, 한도석* (서강대학교)

분석1-4 | 09:15

전자현미경을 이용한 Fe-2.4Mn-0.4Si-0.13C에서의 내부산화물 전이 거동연구

김동현 (포항공과대학교, 친환경소재대학원), 박중철, 조재동, 송연균 ((주) POSCO, 철강솔루션연구소), 이재상, 허윤욱* (포항공과대학교, 친환경소재대학원)

분석1-5 | 09:30

순수 타이타늄의 4K 극저온 인장 변형기구 및 serration 거동 연구

Mahdi Aghaahmadi, 하디스 (국립한밭대학교), 이수열 (충남대학교), 김영균, 나영상 (한국재료연구원), 김정한* (국립한밭대학교)

분석1-6 | 09:45

밀도 범함수 이론을 통한 합리적 미재화 산화 칼슘 (Free-CaO) 정량 분석법의 고안과 실험적 증명

유윤재 (현대제철, 경희대학교 응용화학과), 이윤정 (현대제철), 김상훈 (경희대학교 응용화학과), 정상배, 서용기 (현대제철), 김민호* (경희대학교 응용화학과)

Break Time | 10:00

좌장 : 이승용(한양대학교)

분석2-1 | 10:25

로렌츠 현미경을 활용한 4G 통신용 전자파 흡수체의 자기 미세구조 분석

심규민 (인하대학교), 최승민 (창성㈜), 박현순* (인하대학교)

분석2-2 | 10:40

4D-STEM-ASTAR 기반 차세대 리튬이온전지용 단결정 양극재의 단결정성 정량화 기법 개발

차주영, 홍진석, 김민기, 김현빈, 김소진, 이승용* (한양대학교)

분석2-3 | 10:55

Frequency Dependency of Cu Flexible Interconnects in Cracking behavior during Bending Fatigue

Seongi Lee (Seoul National University), Jun Hyeok Hyun (Kumoh National Institute of Technology), Sungjae Choi (Seoul National University), So-Yeon Lee* (Kumoh National Institute of Technology), and Young-Chang Joo* (Seoul National University)

분석2-4 | 11:10

라만 분광법을 이용한 내해수강의 철 부식 생성물 분석 및 밀도 범함수를 통한 첨가 원소 영향 연구

이윤정*, 유윤재, 서용기 (현대제철연구소)

분석2-5 | 11:25

고에너지 X선 회절을 이용한 고엔트로피 MAX상의 화학적 정렬상태 분석

이민석, 류호진*, 성현우 (한국과학기술원(카이스트))

분석2-6 | 11:40

The Long-Term Degradation of Molecular Sieve: Case Study with Moisture Trap for Glove Box.

Chang-Gi Lee and Se-Ho Kim * (Korea Univ.)

분석2-7 | 11:55

신뢰성 높은 EBSD 데이터 획득

강주희* (웨이브센스)

수소재료

위원장: 심재혁(한국과학기술연구원)
총무간사: 김영민(한국재료연구원), 박형기(한국생산기술연구원), 천동원(한국과학기술연구원)
Room 평창2, 10월 28일

좌장 : 이영수(한국과학기술연구원)

수소1-1 | 13:00

316L 스테인리스강의 ultrasonic peening에 의한 소성변형이 수소 취성에 미치는 영향 연구

이병주*, 노연주, 이승건* (한국재료연구원 수소 전지재료연구센터)

수소1-2 | 13:15

Mg-Ni 수소 저장 합금의 초기 수소화 메커니즘과 미세 구조적 특성에 대한 연구

이다혜, 정소진, 곽륜호, 박성민, 강장원*, 박형기*, 하태준* (한국생산기술연구원)

수소1-3 | 13:30

금속 내 수소 확산 거동의 개별 상 단위의 측정

한희준, 백주열, 윤철환, 김요한 (울산과학기술원), 하태준, 김하영, 서진유 (한국과학기술연구원), 심재혁 (한국과학기술연구원, KIST-SKKU 탄소중립 공동연구센터), 신형준* (울산과학기술원)

수소1-4 | 13:45

대량 생산을 위한 Ti계 AB2 type 수소저장합금 제조 공정 연구

금보경, 주경준, 권용혁, 김종식, 이기영* (케이피씨엠)

수소1-5 | 14:00

Thermodynamic modeling of the Mn-Ti-H system

오상호, 왕재민 (포항공과대학교), 노승효, 강민우, 박지혜 (현대자동차), 이병주* (포항공과대학교)

수소1-6 | 14:15

합금원소 첨가를 통한 우수한 내수소취성을 갖는 1.0GPa 이상급 고압 수소압력용기용 강재 개발

임상훈*, 고석우, 정재훈 (세아베스틸㈜ 기술연구소)

수소1-7 | 14:30

액화수소 저장용 탱크 적용을 위한 고 니켈강 합금 개발 및 초저온 재질 평가

소형섭*, 박민호, 최우혁, 현영민 (현대제철연구소)

Break Time | 14:45

좌장 : 고원석(인하대학교)

수소2-1 | 14:50

고강도 볼트용 템퍼드 마르텐사이트강에서 고용강화 원소 (Ni, Cr) 첨가가 수소취화 민감도에 미치는 영향

문병록, 남지민 (부산대학교), 이창훈 (한국재료연구원), 정준호 (현대제철), 강남현* (부산대학교)

수소2-2 | 15:05

천연자원 수송용 ERW 강관 용접부의 Sour환경에서 Pressure Reversal 감수성 평가

백종민, 이찬희, 홍현욱* (국립창원대학교신소재공학부재료강도실험실), 곽진섭 (현대스틸파이프 생산기술연구소), 전동현 (현대스틸파이프 대경생산팀)

수소2-3 | 15:20 **Canceled**

Effect of welding parameter on hydrogen embrittlement in weld joint of 316L stainless steel

남지민 (부산대학교), 유재석 (한화오션), 지창욱 (한국생산기술연구원), 이승건 (한국재료연구원), 강남현* (부산대학교)

수소2-4 | 15:35

Fe-22Mn-0.3C 고망간강 전용착금속의 온도에 따른 수소취성 평가

최동현, 남지민 (부산대학교), 유재석 (부산대학교, 한화오션), 강남현* (부산대학교)

수소2-5 | 15:50

초기 수소화 및 가역적 수소저장 특성이 최적화된 Ti-Fe-O 2상 합금 개발

윤영철 (한국과학기술연구원, 서울대학교), Krishnamohan Thekkepat, 강재동 (한국과학기술연구원), 박은수* (서울대학교), 김진우* (한국과학기술연구원)

수소2-6 | 16:05

Evaluation of Hydrogen Embrittlement in Austenitic Stainless Steels Using in-situ Small Punch Testing at Elevated Temperatures

Richard Pascua, Gellieca Dullas, Kang Seom Bum, Hyung-Seop Shin* (Andong National University)

수소2-7 | 16:20

중엔트로피 합금에서의 불연속 L12 석출을 통한 강도와 내수소취성 향상 연구

송상윤, 장태진, 양대철, 성민영, 이건직, 한정훈 (고려대학교), 백주현, 서진유 (한국과학기술연구원), Alireza Zargaran (포항공과대학교), Aparna Saksena, Baptiste Gault (Max-Planck-Institut Für Eisenforschung GmbH), 고원석 (인하대학교), 김세호, 손석수* (고려대학교)

수소2-8 | 16:35

실시간 투과전자현미경(TEM)을 통한 Mg-Ni 복합재료의 수소 흡수/방출 메커니즘 및 사이클 특성 연구

유한준 (한국과학기술연구원, 연세대학교), 배지환 (한국과학기술연구원), 김영민, 서병찬 (한국재료연구원), 이규형* (연세대학교), 천동원* (한국과학기술연구원)

Break Time| 16:50

좌장 : 하태준(한국생산기술연구원)

수소3-1 | 16:55

Laser Powder Bed Fusion방식으로 제작한 Boron doped CoCrFeNi 중엔트로피 합금의 공정 변수가 보론 효과에 미치는 영향

정현, 정재영, 안윤희, 정지윤, 이동현* (충남대학교)

수소3-2 | 17:10

Unidirectional dislocation slip 변형 거동에 대한 수소 장입 영향 평가
윤희수 (한국표준과학연구원, 연세대학교 신소재공학과), 남승훈* (한국표준과학연구원)

수소3-3 | 17:25

Ti 결정립계 특성에 따른 수소 편석 및 수소화물 형성 거동 분석
전초록, 윤영철 (한국과학기술연구원, 서울대학교), 박은수* (서울대학교), 김진우* (한국과학기술연구원)

수소3-4 | 17:40

Ni 함량 및 템퍼링 온도에 따른 템퍼드 마르텐사이트계 저합금강의 미세조직과 수소취성의 상관관계
신희창, 김상규 (서울과학기술대학교), 고석우, 임상훈 (세아베스틸 기술연구소), 황병철* (서울과학기술대학교)

수소3-5 | 17:55

5천계-7천계 Cross-over Al 합금의 Zn/Mg ratio에 따른 수소 취성 저항성 분석
양대철 (고려대학교), 박재영 (한국표준과학연구원), Alireza Zargaran (포항공과대학교), 이혜인 (한국자동차연구원), 이창기, 송상윤 (고려대학교), 이민재, 김민상 (한국자동차연구원), 김세호 (고려대학교), 김세훈* (한국자동차연구원), 손석수* (고려대학교)

수소3-6 | 18:10

The role of solute elements in Mg2Ni-based hydrogen storage alloys: A first-principles study
min seok Yoon and Won-Seok Ko* (Inha Univ.)

수소3-7 | 18:25

TiC 입자 형성에 따른 TiFe 수소저장합금의 저온 초기 수소화 및 사이클 특성
황규빈 (한국과학기술연구원, 성균관대학교), 하태준 (한국생산기술연구원), 김윤석 (한국과학기술연구원, 성균관대학교), 이영수 (한국과학기술연구원), 심재혁* (한국과학기술연구원, 성균관대학교)

수소3-8 | 18:40

머신러닝을 이용한 AB2계 수소저장 합금의 PCT 곡선 예측
진시원 (한국과학기술연구원, 연세대학교), 변지은 (한양대학교), 이영국 (연세대학교), 심재혁* (한국과학기술연구원)

수소3-9 | 18:55

A thermodynamically consistent hydrogen embrittlement model: theory, implementation and validation
Geonjin Shin, Jinheung Park (Seoul National University), Kijeong Kim, Seungchae Yoon, Hyejin Kim (Hyundai-Steel Company), and Myoung-Gyu Lee* (Seoul National University)

전산재료과학

위원장: 권용우(홍익대학교)
부위원장: 이동화(포항공과대학교)
총무간사: 김현유(충남대학교), 김형준(한국과학기술원)
Room 평창3, 10월 28일

좌장 : 강영호(인천대학교)

전산1-1 | 09:00

Integrated Finite Element Analysis and Deep Learning for Microstructure Design in Zn-Al-Mg Alloys
Khushahal Thool*, Preetham Alluri, Ki-Seong Park, Wi-Geol Seo, and Shi-Hoon Choi* (Sunchon National University)

전산1-2 | 09:15

Incorporating the Electronic Temperature Effect in Classical Molecular Dynamics Calculations of Metal Uranium Using Machine Learning Potentials
Jae-Hyuk Kim and Takuji Oda* (Seoul National University)

전산1-3 | 09:30

UO2-Cs 기계학습 퍼텐셜 제작 및 세슘 확산 거동 시뮬레이션을 통한 물성 파악
김지우 (한국과학기술원(카이스트)), 김재준 (한국원자력연구원), 류호진* (한국과학기술원(카이스트))

전산1-4 | 09:45

제일원리계산 및 기계학습 기반 γ-Fe 결정립계 내 합금원소의 결정립계 편석 에너지 예측
이호, 김상태* (한양대학교)

전산1-5 | 10:00

Highly reliable and large-scale simulations of promising argyrodite solid-state electrolytes using a machine-learned moment tensor potential
Kim Ji Hoon and Lee Sang Uck* (Sungkyunkwan University)

Break Time| 10:15

좌장 : 김병현(한양대학교ERICA)

전산2-1 | 10:25 초청강연

AI 기반 소재 개발
이동화* (포항공과대학교)

전산2-2 | 10:50 초청강연

Exploring Surface Structure and Dynamics of Bismuth Vanadate (BiVO4) Photoelectrodes: Insights from Machine Learning Molecular Dynamics
Yonghyuk Lee (University of California Los Angeles) and Taehun Lee* (Jeonbuk National University)

전산2-3 | 11:15 초청강연

Theoretical Investigation of the Origin of Voltage Hysteresis in Disordered Rocksalt Cathodes

BYUNGHOON KIM* (Sungkyunkwan university)

전산2-4 | 11:40

How graph neural network interatomic potentials extrapolate to untrained configurational domains

Sungwoo Kang* (KIST)

좌장 : 홍기하(한밭대학교)

전산3-1 | 13:00

Investigation of Thickness Dependence in Crystallization of Thin Films Using Phase Field Modeling

Jung In Park, Yongwoo Kwon*, and Hwanwook Lee (Hongik Univ.)

전산3-2 | 13:15

Formation of the intergranular hydride in zirconium cladding using phase-field modeling

Wooseob Shin and Kunok Chang* (Kyung Hee University)

전산3-3 | 13:30

Effect of nonlinear elasticity on microstructure evolution behavior using phase-field method

Jeonghwan Lee and Kunok Chang* (Kyung hee university)

전산3-4 | 13:45

A study on the microstructural evolution of the metallic thin films during the deposition using a Monte Carlo Potts model

jihye lee and Sukbin Lee* (Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST))

Break Time| 14:00

좌장 : 김현유(충남대학교)

전산4-1 | 14:10 초청강연

Paradoxical Effect of Thiourea on Nickel Sulfide Catalysts as a False-Positive and Promotor for Electrochemical Ammonia Synthesis

Min-Cheol Kim* (Sookmyung Women's University)

전산4-2 | 14:35 초청강연

Computational Chemistry for Materials Innovation: From Design Principles to Synthesis

Dong Yeon Kim* (Jeonbuk National University)

전산4-3 | 15:00

Enhancing electrocatalyst performance by engineering boron dopants and tracing their evolution post-HOR

Su-Hyun Yoo* (Korea Research Institute of Chemical Technology)

전산4-4 | 15:15

Exploring the origin of metastable hexagonal Ir catalyst with Re incorporation as a superior OER catalysts: A DFT study

Kwangsoo Kim (Korea Institute of Energy Research, Yonsei University), HyukSu Han (Sungkyunkwan University), and Byung-Hyun Kim* (Hanyang University ERICA)

전산4-5 | 15:30

Finding optimal MoC catalyst for hydrogen evolution via fine-tuned machine learning potential

Jinuk Moon and Jeong Woo Han* (Seoul National University)

Break Time| 15:45

좌장 : 김형준(한국과학기술원(KAIST))

전산5-1 | 15:55 **Canceled**

Cost-efficient and Accurate Band Edge Calculations of Semiconductor Heterostructures

Seungchul Kim* (Korea Institute of Science and Technology)

전산5-2 | 16:10

다중 물리 시뮬레이션을 이용한 저항 메모리의 양극성 필라멘트 거동 해석

오진우, 정동명, 권용우* (홍익대학교신소재공학과)

전산5-3 | 16:25

Assessment of the Performance of Thermodynamic Property Calculations by Classical Molecular Dynamics, Quasi-Harmonic Approximation and Path-Integral Molecular Dynamics

Chaeyeong Kim and Takuji Oda* (Seoul National University)

Break Time| 16:40

좌장 : 장우선(연세대학교)

전산6-1 | 16:50

Molecular dynamics simulation study on the additively manufactured shape-memory alloys

jong hoon park and Won-Seok Ko* (InHa Univ.)

전산6-2 | 17:05

분자동역학 시뮬레이션을 이용한 Nanotwin 구조 금속의 변형 거동 분석

황제영, 고원석* (인하대학교)

전산6-3 | 17:20

제일원리 계산을 통한 TiZrHfNb 고엔트로피 합금 내 Ordered Oxygen Complexes 형성과 그로 인한 취성 억제 메커니즘 분석

김선규, 도경연, 김신현, 김재선, 신용훈, 이동화* (포스텍(포항공과대학교))

전산6-4 | 17:35

제일원리 계산을 통한 입계 편석이 마르텐사이트 강의 수소취성에 미치는 영향 분석

김신현, 이동화* (포항공과대학교)

국가전략산업용 금속간화합물 심포지엄

위원장: 강남현(부산대학교), 이재현(국립창원대학교), 김승언(한국재료연구원)
실무위원: 이현석(RIST), 이호년(한국생산기술연구원), 김성웅(한국재료연구원)
Room 오디토리움, 10월 28일

좌장 : 이재현(국립창원대학교)

국전1-1 | 13:00 초청강연

Ti기 및 Ni기 금속간화합물의 특성 및 실용화 연구 - 역사적 고찰
오명훈* (금오공과대학교 신소재공학부, (주)유니코글로벌)

국전1-2 | 13:25 초청강연

Plastic Deformation Behavior of Hard Intermetallic Compounds Investigated by Micropillar Compression Method
Kyosuke Kishida* and Haruyuki Inui (Kyoto University)

국전1-3 | 13:50 초청강연

Evolution of Processing Technology for TiAl Alloys
Seung Eon Kim*, Seong Woong Kim (Korea Institute of Materials Science), and Myung Hoon Oh (Kumoh National Institute of Technology)

국전1-4 | 14:15 초청강연

Fatigue-life Increase Resulting from Post-weld Tungsten Alloying into a Topmost Steel Joint Layer through Friction Stir Processing using a WC Tool
Kazuhiro Ito* (Osaka University)

Break Time| 14:40

좌장 : 김승언(한국재료연구원)

국전2-1 | 14:50 초청강연

Overview of Microstructure and Mechanical Properties of Powder Metallurgy (PM) and Cast Beta Gamma Alloys
Dongyi Seo* (National Research Council of Canada)

국전2-2 | 15:15 초청강연

Development of TiAl alloys for gas turbine engine
Seong-Woong Kim* (Korea Institute of Materials Science)

국전2-3 | 15:40 초청강연

항공엔진용 TiAl 합금 국산화 개발
이슬*, 송덕용, 오승철, 유주현, 주영규, 손인수 (한화에어로스페이스)

국전2-4 | 16:05 초청강연

The microstructure and mechanical properties of γ-TiAl alloy fabricated by laser powder bed fusion
Sung-Hyun Park, Ozkan Gokcekaya, and Takayoshi Nakano* (Osaka University)

Break Time| 16:30

좌장 : 김세호(고려대학교)

국전3-1 | 16:40 초청강연

Shape Memory Properties of Multi-component B2 Intermetallic Compounds
Hee Young Kim* (University of Tsukuba)

국전3-2 | 17:05 초청강연

고강도 저영률 타이타늄합금의 개발현황 및 향후 과제
염종택*, 김재혁, 양준하, 이상원, 박찬희, 김재호, 홍재근 (한국재료연구원)

국전3-3 | 17:30 초청강연

Ti-Ni-Cu 형상기억합금의 가공성 개선
남태현*, 류연주, 김기성 (경상국립대학교)

국전3-4 | 17:45 초청강연

Ti 합금 이종접합 계면의 미소 역학 물성 분석
최인철*, 오명훈 (금오공과대학교)

적층제조 및 분말

위원장: 김형섭(포항공과대학교)
총무간사: 홍순직(공주대학교), 강민철(3D프린팅연구조합)
Room 대관령2, 10월 28일

좌장 : 설재복(국민대학교)

적층1-1 | 08:30

Inconel718 분말 특성 및 공정 조건에 따른 적층재 특성 분석 연구
김응균, 전창우, 이주호, 박은수* ((주)이엠엘)

적층1-2 | 08:45

레이저 직접 적층 공정으로 제조된 Inconel625 합금과 Al-10Si-1Mg 합금 간 계면 반응
박찬호, 조해주, 박민수, 이욱진* (부산대학교)

적층1-3 | 09:00

L-PBF로 제조된 Inconel 718 적층 소재의 온도 환경에 따른 물성 연구
송은아, 이윤선, 김다혜* (한국생산기술연구원 대경기술실용화본부)

적층1-4 | 09:15

LPDED 적층 제조된 TiN을 첨가한 Inconel718의 미세조직 및 기계적 특성 평가
김채린, 정원종, 류호진* (한국과학기술원(카이스트))

적층1-5 | 09:30

CM247LC급 적층제조용 Ni기 초내열합금 설계와 EBM 적층성형재의 고온 인장, 크리프 물성 및 미세조직 분석
이찬희, 김태경, 홍현욱* (국립창원대학교), 이병수, 이해진 (한국생산기술연구원)

Break Time| 09:45

좌장 : 김대겸(한국생산기술연구원)

적층2-1 | 09:55

와이어 아크 적층 공정(WAAM)으로 제조한 316L Stainless Steel의 수소 취성 연구

황원구 (인하대학교), 김찬규, 송상우 (한국재료연구원(KIMS)), 서진유 (한국과학기술연구원(KIST)), 이기안* (인하대학교)

적층2-2 | 10:10

레이저 분말 베드 용융법으로 제조된 오스테나이트계 316L 스테인리스강의 초저온 환경 인장 거동 분석

박하음 (한국재료연구원, 고려대학교), 정희찬, 성민영 (고려대학교), 이준호, 김영균, 김경태 (한국재료연구원), 손석수* (고려대학교), 박정민* (한국재료연구원)

적층2-3 | 10:25

DED 기반 수리적층에서 헤테로구조 구현을 통한 stainless steel 316L의 강화된 강도-연성 시너지 효과

사공만재, 김래언, 이정아, 박효진, 안성열, Renhao Wu*, 김형섭* (포항공과대학교)

적층2-4 | 10:40

L-DED 제조된 AISI 316L의 미세조직과 인장 특성에 대한 Hf, Ce 첨가의 영향

박지영, 김민기, 정종욱, 박민수, 이욱진* (부산대학교)

적층2-5 | 10:55

레이저 적층제조 공정에서 Fe-Si 전기강판 소재의 집합조직 발달과 에너지 밀도의 역할

이한솔, 최영신, 안종혁, 이귀영 (한양대학교), 최준필 (한국기계연구원), 김종렬* (한양대학교)

적층2-6 | 11:10

Investigation of microstructure and mechanical properties of STS 316L powder according to humidity in the DED process

김현중, 홍순직*, 조성재, 백건우, 김대현, 하지원 (공주대학교), 김형섭, 정상국 (포항공과대학교)

좌장 : 문종언(공주대학교)

적층3-1 | 13:00

Micro-anchor design application for manufacturing composite material of aluminum alloy and stainless steel using LDED

Qingye Jin (Pusan national university), Dohyung Kim (Yeongnam University), and Wookjin Lee* (Pusan national university)

적층3-2 | 13:15

Laser Powder Bed Fusion 공정으로 제조한 A20X 합금의 열처리에 따른 미세조직 및 물성변화

한규미, 박준영 (경상국립대학교), 조용희 (한국재료연구원), 김정기* (경상국립대학교)

적층3-3 | 13:30

전위 셀 기반 나노 카바이드 석출을 활용한 Laser-powder bed fusion 적층제조용 초고강도 AISI D2 공구강 개발

정희찬 (고려대학교), 박하음 (고려대학교, 한국재료연구원), 남승진, 정차희 (고려대학교), 정상국, 이지수 (포항공과대학교), 박정민 (한국재료연구원), Alireza Zargaran, 이병주 (포항공과대학교), 김형섭 (포항공과대학교, Tohoku University, 연세대학교), 손석수* (고려대학교)

적층3-4 | 13:45

Enhanced Flowability Hydrogen-Dehydrogenation Ti-6Al-4V Powder in the L-PBF Process and Evaluation of Mechanical Properties

김세훈, 김욱주, 강태후, 이종익, 정상희, 한지민, 이빈* (경희대학교)

적층3-5 | 14:00

Wire Arc Additive Manufacturing(WAAM)으로 재조된 Ti-6Al-4V 합금의 고온 산화 저항성

김수빈 (인하대학교 신소재공학과), 감동혁 (한국생산기술연구원), 이기안* (인하대학교 신소재공학과)

적층3-6 | 14:15

적층제조 공정을 통해 제작된 Ti-6Al-4V 기반 산화물 분산강화 합금의 미세조직 및 기계적 특성 분석

김우혁 (국립한밭대학교), 고의준, 박형기 (한국생산기술연구원), 김한수 (KONASOL), 김정한* (국립한밭대학교)

적층3-7 | 14:30

Enhanced flow properties of hydrogenation-dehydrogenation Ti-6Al-4V powder for powder bed fusion additive manufacturing process

김욱주, 김세훈, 강태후, 이종익, 정상희, 한지민, 이빈* (경희대학교)

적층3-8 | 14:45

Wire-based laser additive manufacturing 방식으로 제조된 Ti-6Al-4V 합금의 고온 인장 특성

송노건, 박정현 (인하대학교), 김대중 ((주) 에이엠솔루션즈), 이기안* (인하대학교)

Break Time| 15:00

좌장 : 배재웅(부경대학교)

적층4-1 | 15:10 초청강연

적층제조에서 최적 공정 조건 탐색을 위한 모델링 기법 개발

최시훈*, Rohit Raj, Saurabh Pawar, 박기성, 서위걸, Khushahal Thool (국립순천대학교)

적층4-2 | 15:35

LPBF 적층제조된 Fe-Mn-Si-Cr-Ni 철계형상기억합금의 국소부위별 3차원 상제어

김도형 (영남대학교 신소재공학부), 이욱진* (부산대학교 재료공학부)

적층4-3 | 15:50

비파괴 검사 방법에 따른 금속 적층 제조품의 결함 검출 성능 비교 연구

장연하*, 주효문*, 김한재, 조영철, 용왕현, 안장규 (현대자동차㈜), 전현환, 박창욱 (아진산업)

적층4-4 | 16:05

L-PBF 적층 및 극저온 처리를 통해 개선된 열피로 특성을 가진 H13 열간공구강 제작

김성호 (포항공과대학교), 홍창완, 김주업, 윤국태 (대구기계부품연구원), 김성준* (포항공과대학교)

적층4-5 | 16:20

Qualitative Analysis of Cu-Rich Nanoprecipitates in Martensite of 17-4PH Stainless Steel Fabricated by Directed Energy Deposition

Yejun Park* (KAIST), Subin Lee (Karlsruhe Institute of Technology), and Pyuck-Pa Choi (KAIST)

적층4-6 | 16:35

Effect of milling-induced chips on the porosity and surface roughness of products manufactured by hybrid additive manufacturing processes

Jo Joseph (Korea Institute of Industrial Technology, Korea University), Hyo-Kyu Kim, Dongwoon Han, Seongtak Kim* (Korea Institute of Industrial Technology), and Gunwoo Noh* (Korea University)

적층4-7 | 16:50

Laser Powder Bed Fusion 적층제조공정으로 제조된 저열팽창 Fe-Ni 합금의 극저온 기계적 특성 및 열팽창 특성

조용훈, 박소연 (인하대학교), 김영균 (인하대학교, 재료연구원), 김정환 (재료연구원), 한정호 (한양대학교), 이기안* (인하대학교)

Break Time| 17:05

좌장 : 이동주(충북대학교)

적층5-1 | 17:15

Additive manufacturing of thermoelectric NbCoSn-based half-Heusler compounds

Seoung-Ho Lim (Korea Advanced Institute of Science and Technology), Dipali Sonawane, Gerhard Dehm, Rajaprakash Ramachandramoorthy (Max Planck Institute for Sustainable Materials GmbH), Hyeongseob Kim, and Pyuck-Pa Choi* (Korea Advanced Institute of Science and Technology)

적층5-2 | 17:30

레이저 직접 적층 공정으로 제조한 Ni-Fe 경사기능재료의 굽힘 특성 분석 및 유한요소해석 응용조성구배 최적화

조해주, 정종욱, 이욱진* (부산대학교 공과대학 재료공학부)

적층5-3 | 17:45

재료 압출 적층 방식으로 제조된 CoCrFeMnNi 고엔트로피합금의 인장 물성

이도원, 이정아, 박효진 (포항공과대학교), 최중호 (포항공과대학교, 한국재료연구원), 김래언, 김형섭* (포항공과대학교)

적층5-4 | 18:00

균일분산된 TiC 강화형 NbTaVTi 내열하이엔트로피 합금의 미세조직 및 기계적 물성 평가

최혁재, 이진규* (공주대학교)

적층5-5 | 18:15

금속 적층제조 중엔트로피 합금 복합재의 혁신적 성능 향상: 부분적으로 분해된 TiC 나노입자의 역할

안성열, 김은성, 정상국 (포항공과대학교), Stefanus Harjo, Takuro Kawasaki, Wu Gong (Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) Center), Hyun-Joong Kim, 홍순직 (국립공주대학교), 홍순익 (충남대학교), 권현석 (포항공과대학교), 김정기 (경상국립대학교), 김형섭* (포항공과대학교)

적층5-6 | 18:30

시효조건에 따른 Directed Energy Deposition 공정으로 제조된 Fe-Cu-Ni-Al 합금의 기계적 특성 및 미세구조

노건우, 주수빈, 김정기* (경상국립대학교)

비철금속

위원장: 김수경(한국지질자원연구원)
총무간사: 강정신(서울대학교)
Room 루지홀, 10월 28일

좌장 : 최상훈(고등기술연구원)

비철1-1 | 08:30

폐희토류자석으로부터 희토류 금속 분리 추출 시 할로겐화합물의 마그네슘 조성의 영향

고의준, 허성규, 박경태*, 신재홍* (한국생산기술연구원국가희소금속센터)

비철1-2 | 08:45

폐 NdFeB 영구자석으로부터 재활용을 위한 전처리 공정에 미치는 입도분포의 영향

서보성, 차은빈, 서건원, 박광석* (한국생산기술연구원)

비철1-3 | 09:00

카보닐 공정을 활용한 니켈 선철(NPI)에서의 니켈 추출 연구

배성욱 (한국생산기술연구원, 한양대학교), 김명석 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 박주현 (한양대학교), 박경태, 신재홍* (한국생산기술연구원)

비철1-4 | 09:15 **Canceled**

Saprolite계 니켈 광석의 수소환원을 통한 CO2 발생 저감을 위한 기초연구

김한결* (고려대학교)

Break Time| 09:30

좌장 : 이현주(한국지질자원연구원)

비철2-1 | 09:40

재활용 WO3를 이용한 자전연소합성 공정에서의 압분체 압력 조건에 따른 WC 제조 및 입자 제어 연구

이기혁 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 이용관, 유용연 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 이미혜, 박경태, 심재진* (한국생산기술연구원)

비철2-2 | 09:55

농업 폐 부산물 왕겨로부터 환원제/탄소 변수에 따른 자전연소합성에서의 SiC 물성 영향

유용연, 이용관 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 이기혁 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 허성규, 박경태, 심재진* (한국생산기술연구원)

비철2-3 | 10:10

산업폐기물의 건식제련 공정에서 효율적인 귀금속 회수를 위한 슬래그 최적화 설계: CaO 첨가에 따른 슬래그의 물리화학적 특성변화

김현주, 김령래 (한양대학교), 박현식 (한국지질자원연구원), 박주현* (한양대학교)

비철2-4 | 10:25

메테인 가스 버블링에 의한 조동의 탈산반응

이소영, 손호상* (경북대학교)

비철2-5 | 10:40

도금 슬러지로부터 니켈 회수를 위한 니켈 침출 및 분리 정제 향상 기술 연구

김명석, 권남훈 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 배성욱 (한국생산기술연구원, 한양대학교), 박경태, 신재홍* (한국생산기술연구원)

Break Time| 10:55

좌장 : 이제인(부산대학교)

비철3-1 | 11:05

Microstructural evolution and aging behavior of multicomponent Al alloy

Namhyuk Seo (Jeonbuk National Univ., KITECH), Sang-Hwa Lee, Seoung Bae Son (Jeonbuk National Univ.), Min-Su Kim (KITECH), Seok-Jae Lee, and Jae-Gil Jung* (Jeonbuk National Univ.)

비철3-2 | 11:20

Enhancing microstructural homogeneity and mechanical properties of recycled 7000 series Al extrudate through grain refiner addition

진상철, 안건웅, 김형준 (경북대학교), 손기덕, 윤재훈, 박기태, 송경환 (삼성전자(주)), 이정훈 (한국생산기술연구원), 박성혁* (경북대학교)

비철3-3 | 11:35

내열특성이 우수한 Cu-Cr계 동합금에 관한 연구

최준영*, 정원석, 이시담, 박철민 ((주)풍산)

비철3-4 | 11:50

Mn 첨가에 따른 Cu-Ni-Si 합금의 기계적 특성 변화

정현우, 신지용 (한국재료연구원, 부산대학교), 이상진, 정일석, 최은애 (한국재료연구원), 권세훈 (부산대학교), 한승전* (한국재료연구원)

비철3-5 | 12:05

TWIP 효과와 변형 쌍정 형성에 의한 Cu-Si 및 Cu-Al 합금의 강도 및 연신율 향상 연구

이민규, 박진우, 김상은, 권태윤, 임우현, 이명제, 한준희, 신찬선* (명지대학교)

기능성 마그네슘 응용기술 심포지엄

위원장: 임창동(한국재료연구원)
실무위원: 이정훈(한국생산기술연구원), 김영민(한국재료연구원), 서종식(한국재료연구원)
Room 루지홀, 10월 28일

좌장 : 서병찬(한국재료연구원)

기능성1-1 | 13:00 초청강연

기능성/구조용 마그네슘 합금 개발과정에서의 원자/나노스케일 전산모사의 활용

고원석* (인하대학교)

기능성1-2 | 13:25 초청강연

주조기반 고저장밀도 Mg계 수소저장합금 및 압력용기 시스템 개발

김영민*, 서병찬, 노수지 (한국재료연구원), 지성화 (펌스터), 박형기 (한국생산기술연구원)

기능성1-3 | 13:50 초청강연 **Canceled**

마그네슘이차전지의 실용화를 위한 주요 기술적 이슈 및 해결을 위한 연구개발전략

오시형*, 노우주, 한종현, 임재홍 (한국과학기술연구원)

기능성1-4 | 14:15 초청강연

Revealing the Kinetics of Hydrogen-sorption Kinetics on Mg-based composite for Solid-state Hydrogen Storage System

DongWon Chun* (KIST)

Break Time| 14:40

좌장 : 이정훈(한국생산기술연구원)

기능성2-1 | 14:50 초청강연

Pre-clinical study on medical Mg alloy

Kang-sik Lee* (Asan Medical Center)

기능성2-2 | 15:15 초청강연

의료기기 분야에서의 생체 분해성 마그네슘 기반 제품 개발 및 연구 동향

정화철*, 노형진, 구동규 (이노시스(주) R&D Center)

기능성2-3 | 15:40 초청강연

마그네슘 합금의 조성 및 미세조직에 따른 활성산소 발생 거동

옥명렬*, 채민정, 김현경 (한국과학기술연구원)

기능성2-4 | 16:05 초청강연

Nanoporous Mg Structure via Chemical Redox Agent-Driven Dealloying for Advanced Hydrogen Storage

YongJun Cho and Eun Seon Cho* (KAIST)

회절 분석을 통한 미세조직학적 특성의 정량적 평가: 현황과 전망

위원장: 조재형(한국재료연구원)
실무위원: 정영웅(국립창원대학교)
Room 뵵슬레이+바이에슬론, 10월 28일

좌장 : 정영웅(국립창원대학교)

회절1-1 | 08:30 초청강연

XRD와 EBSD를 이용한 미세조직 측정 및 분석
조재형* (한국재료연구원)

회절1-2 | 08:50 초청강연

최신 융합소재 EBSD 분석 기술: 분해능과 속도의 한계를 넘어서
강주희* (웨이브센스)

회절1-3 | 09:10 초청강연

Revealing the inhomogeneous nature of microstructure and texture evolution in the cold-rolled CoCrFeMnNi alloy during static recrystallization
Aman Gupta (Sunchon National University), Lalit Kaushik (Indian Institute of Technology Jodhpur), Saurabh Pawar (Sunchon National University), Joo-Hee Kang (Korea Institute of Materials Science), Jaiveer Singh (Indian Institute of Technology Jodhpur), and Shi-Hoon Choi* (Sunchon National University)

회절1-4 | 09:30 초청강연

다양한 회절 분석 기술을 이용한 SOFC 분리판용 스테인리스 강재 산화거동 고찰
김동익*, 고윤석, 박수형, 김병규, 심재혁, 홍지현, 이영수 (한국과학기술연구원), 한흥남 (서울대학교)

회절1-5 | 09:50 초청강연

싱크로트론 실시간 회절시험을 이용한 마그네슘 합금의 변형기구 분석
이상봉* (국립금오공과대학교), 김영민 (한국재료연구원), Emad Maawad, Dietmar Letzig (Helmholtz-Zentrum Hereon)

회절1-6 | 10:10 초청강연

집합조직 분석, 평가 및 응용 (X-선 회절을 이용한 분석, 평가)
박노진* (금오공과대학교)

Break Time| 10:30

집합조직

위원장: 조재형(한국재료연구원)
총무간사: 정영웅(국립창원대학교)
Room 뵵슬레이+바이에슬론, 10월 28일

좌장 : 강전연(한국재료연구원)

집합1-1 | 10:40 Canceled

결정소성 유한요소법을 이용한 Ta-10W 합금의 변형 및 재결정 거동에 미치는 압하율 및 압연 온도의 영향 연구
박기성 (국립 순천대학교 첨단부품소재공학과), 전재열 (한국생산기술연구원 서남본부 동력소재부품연구그룹), 최시훈* (국립 순천대학교 첨단부품소재공학과)

집합1-2 | 10:55

밀리미터 크기 패턴에서 Cu, Ag, Ni 및 Co 전기도금에서의 전류 파형에 대한 두께 균일도 및 미세조직 성장 거동 연구
이기영, 최재훈, 신한균, 박현, 이효종, 김정한* (동아대학교)

집합1-3 | 11:10

무방향성 전기강판의 SRA후 집합조직에 미치는 초기 미세조직의 영향
홍재완*, 김재훈, 박종태 (포스코 기술연구원)

집합1-4 | 11:25

Study on the Grain Growth of Goss-Oriented Grains in Grain-Oriented and Non-Grain-Oriented Electrical Steels
SEIL LEE* (POSCO)

집합1-5 | 11:40

EBSD 분석기술 개발에 따른 데이터 신뢰성 향상
김민성*, 강주희 ((주)웨이브센스), 최시훈 (국립 순천대학교)

집합1-6 | 11:55

EBSD와 CPFEM을 이용한 배터리용 동박의 미세조직/집합조직과 연신율의 관계에 대한 연구
박현*, 신한균, 김정한, 이효종* (동아대학교)

집합1-7 | 12:10

A new elasto-visco-plastic self-consistent model based on non-incremental stress formulation
Youngung Jeong* (Changwon National University)

제22회 소재부품 안전 및 신뢰성 심포지엄

위원장 : 양원존(한국재료연구원),
함종오(한국화학융합시험연구원)
실무위원 : 변재원(서울과학기술대학교), 신상용(울산대학교)
Room 뵵슬레이+바이에슬론, 10월 28일

좌장 : 양원존(한국재료연구원)

신뢰성1-1 | 13:00 초청강연

캠샤프트용 베어링강의 입괴파괴 원인분석
박기덕*, 김태범, 함종오* (한국화학융합시험연구원)

신뢰성1-2 | 13:15 초청강연

Clean Vecuum System용 용융아연도금강관 부식발생 원인분석
조병일*, 함종오*, 심진용 (한국화학융합시험연구원)

신뢰성1-3 | 13:30 초청강연

고압수소 배관의 안전성 확보 위한 수소취성환경 적합성 평가 방법 개발
함종오, 오동현* 박기덕, 문종훈 (한국화학융합시험연구원)

신뢰성1-4 | 13:45 초청강연

혼소배관 내부 수소균열 예측 및 안전성 확보 위한 음향방출기법 연구
오동현*, 문종훈, 박근혁, 강세호, 김종면 (한국화학융합시험연구원)

Break Time| 14:00

좌장: 함종오(한국화학융합시험연구원)

신뢰성2-1 | 14:10 초청강연

대형단조강의 수소유기균열 분석 사례
박이호*, 윤건영, 양원존 (한국재료연구원)

신뢰성2-2 | 14:25 초청강연

철도 차량 연결 부품 균열 발생 원인 분석
양원존*, 박이호, 장재훈 (한국재료연구원)

신뢰성2-3 | 14:40 초청강연

자동차용 코일스프링 표준시편 부식피로평가법 연구
하영수*, 양원존 (한국재료연구원), 박종휘 (현대자동차), 박지원 (대원강업)

신뢰성2-4 | 14:55 초청강연

TEM 회절패턴 자동해석 프로그램 (REDI, RIST Electron Diffracton Interpreter)
강성*, 허윤 (포항산업과학연구원(RIST))

Break Time| 15:10

좌장 : 신상용(울산대학교)

신뢰성3-1 | 15:20 초청강연

수소혼소가스 환경에서의 이송용 배관 소재 안전성 평가
김동오, 김준서, 이진영 (서울과학기술대학교), 이정훈, 강성, 이창희 (포항산업과학연구원), 권용남, 홍종화 (한국재료연구원), 변재원* (서울과학기술대학교)

신뢰성3-2 | 15:35 초청강연

정유공장 수첨탈황공정 내 Duplex 재질 REAC(Reactor Effluent Air Cooler)의 SSC(Sulfide Stress Cracking) 손상분석
채현수 (서울과학기술대학교, SK인천석유화학), 변재원* (서울과학기술대학교)

신뢰성3-3 | 15:50 초청강연

자동차 조향장치 선재부품 분해 분석 사례
이기호* (㈜포스코), 이승준 (태양금속공업(주))

신뢰성3-4 | 16:05 초청강연

자동차 엔진 부품의 실제 피로 파손 사례와 개선 솔류션
이유환*, 박형기, 제강현, 장동혁, 오준희 (태양금속공업(주))

재료강도

위원장: 홍현욱(창원대학교)
총무간사: 신상용(울산대학교)
Room 알펜시아홀, 10월 28일

좌장 : 신상용(울산대학교)

재료강도1-1 | 08:30

Construction of Property Evaluation System and mechanical test at ultra-cryogenic temperature
Won hyo Yoo*, Yong Ki, Seo, Sang Bae, Jung, Jeong Kwan, Kim, and Seong Jun, Byun (HYUNDAI STEEL)

재료강도1-2 | 08:45

15 K 초극저온 환경에서의 열적 불안정성으로 인한 세레이션변형 및 파괴메커니즘 변화 규명
김유섭, 강태욱, 홍순구, 이수열* (충남대학교)

재료강도1-3 | 09:00

Alloy 718의 크리프 특성 및 손상 기구 조사
박찬희 (고려대학교, 한국과학기술연구원), 이준호 (고려대학교), 정우상* (한국과학기술연구원)

재료강도1-4 | 09:15

Ni-Cr-Co계 Superalloy의 시효 중 석출거동에 대한 Ti/Al ratio의 영향
추동주, 박찬희 (고려대학교, 한국과학기술연구원), 이준호 (고려대학교), 정우상* (한국과학기술연구원)

재료강도1-5 | 09:30

기계적 특성 변화에 따른 오스테나이트 스테인리스강 용접부의 열취화 활성화에너지 도출
김유진 (충남대학교, 한국원자력연구원), 권준엽, 김종민, 홍석민* (한국원자력연구원), 이수열 (충남대학교)

재료강도1-6 | 09:45

Mn-Mo-Ni계 저합금강 전자빔용접부의 후열처리공정에 따른 기계적 특성 평가
이승욱 (충남대학교, 한국원자력연구원), 홍석민*, 김민철, 김종민, 현세미 (한국원자력연구원), 이수열 (충남대학교)

Break Time| 10:00

좌장 : 구지호(두산에너빌리티)

재료강도2-1 | 10:10 초청강연

초고강도 및 고연성 PosZET GIGA 활용 고내구 크로스멤버 부품화 실증 연구
배규열* (포스코 기술연구원), 문준오 (국립창원대학교), 정보영 (포스코 기술연구원), 김준형, 최돈현 (현대모비스 기술연구소), 이태영 (화신 기술연구소)

재료강도2-2 | 10:35

수동장갑용 고경도장갑강의 방탄 특성 및 용접부 내충격성
김용진*, 송정규, 김상훈, 박시욱, 김대웅 (국방과학연구소)

재료강도2-3 | 10:50

Ti-xMo-2Fe합금의 변형율 속도에 따른 압축 변형 메커니즘 및 Mo의 영향 분석
이용재, 이재관, 이동근* (국립순천대학교)

재료강도2-4 | 11:05

FeMnAlC 경량철강의 온도에 따른 저주기 피로 변형 거동 분석
김시연 (국립창원대학교), 고의석 (현대스틸파이프), 김치원, 박성준 (한국재료연구원), 홍현욱* (국립창원대학교)

재료강도2-5 | 11:20

아공석강의 미세조직 기반 확률론적 피로 수명 모델링
신종훈, 이상림, 최윤석* (부산대학교), 김현기, 김동휘, 강민우, 홍승현 (현대자동차(주))

재료강도2-6 | 11:35

지진/화재 모사 복합 피로 시험에서 MX 석출물 및 클러스터 생성이 피로 특성에 미치는 영향

한재연, 양철혁 (국립창원대학교), 이봉호 (대구경북과학기술원), 이창훈 (한국재료연구원), 정준호 (현대제철), 홍현욱* (국립창원대학교)

Break Time| 11:50

좌장 : 김용진(국방과학연구소)

재료강도3-1 | 13:00

비자성 고망간강의 항복강도 향상 설계에 대한 연구

박시욱*, 김용진 (국방과학연구소), 장재훈 (한국재료연구원), 전종배 (동아대학교), 이동호 (포스코 기술연구원)

재료강도3-2 | 13:15

계장화 압입시험을 이용한 국부적 열처리 된 제품의 기계적 물성치의 신뢰성에 관한 연구

김정현* (한국화학융합시험연구원)

재료강도3-3 | 13:30

콘로드 파손모드 예측 및 개발 가이드 수립 Destruction mode Prediction of Connecting Rod And Development

박훈영*, 박재봉, 박성환 (현대자동차㈜)

재료강도3-4 | 13:45

스피노달 강화기구 활용한 철계 중엔트로피 합금 강화

박효진 (포항공과대학교), Farahnaz Haftlang* (Northwestern University), 허윤욱* (포항공과대학교), 설재복 (국민대학교), Zhijun Wang (Northwestern Polytechnical University), 김형섭* (포항공과대학교)

재료강도3-5 | 14:00

안정한 오스테나이트계 스테인리스강의 정적변형시효거동

조영근, 권호준, 김성준* (포항공과대학교)

재료강도3-6 | 14:15

EACP 공정 처리된 High-Mn steel의 공정 및 시험 온도에 따른 미세조직과 기계적 특성

정영훈 (경상국립대학교), 김범준 ((주)갓테크), Marina Abramova (Ufa Univ.), 권현석, Ailreza Zagraran (포항공과대학교), 김형섭 (포항공과대학교, Tohoku Univ.), Nariman Enikeev* (Ufa Univ., Saint Petersburg State Univ.), 김정기* (경상국립대학교)

재료강도3-7 | 14:30

고질소 오스테나이트계 스테인리스강의 화학조성과 열처리 온도에 따른 석출거동 및 기계적 특성 변화

권기환*, 조효행, 이진종, 김성훈, 하헌영, 이창훈 (한국재료연구원), 정재석 (두산에너빌리티), 이태호* (한국재료연구원), 강남현* (부산대학교)

철강: 철강A-제선,제강,환경,에너지

위원장: 김성연(포스코)
총무간사: 김성규(포스코), 박주현(한양대학교), 황병철(서울과학기술대학교)
Room 콘서트홀, 10월 28일

좌장 : 김선중(조선대학교)

철강A1-1 | 08:30

부산물 할당 방법별 고로 · 제강 슬래그 전과정 온실가스 배출량 산정 연구

노재학, 황용우*, 박광호 (인하대학교), 이종협, 이윤모 (현대제철)

철강A1-2 | 08:45

유동환원로의 분광-가스 간 수소환원 반응 모사

진봉민, 양현진* (인하대학교)

철강A1-3 | 09:00

Kinetic analysis of reduction from wustite to metallic iron during multi-stage hydrogen reduction

Seong kyu Cho, Leonardo Tomas da Rocha, and Sung-Mo Jung* (POSTECH)

철강A1-4 | 09:15

Improved Method for Methane Pyrolysis Rate Measurement using Molten Metal Catalysts for Turquoise Hydrogen Production

Tea-Gyu Wi, Young-Joon Park (POSTECH), Uendo Lee (KITECH), and Youn-Bae Kang* (POSTECH)

철강A1-5 | 09:30

전로 내 이차연소율에 따른 MgO-C 열화 거동

정지훈, 정용석* (한국공학대학교)

철강A1-6 | 09:45

전기로 공정 중 친환경 석탄 대체재의 활용성 검토

김준영, 강영조* (동아대학교), 안효주, 박준혁, 권혁준 (영남대학교)

철강A1-7 | 10:00

Numerical Modeling of Concentration Behaviors of Carbon, Oxygen, and Aluminum During Ruhrstahl-Heraeus Process

Saeum Bae, Tae Ung Youn, and Kyung Woo Yi* (Seoul National Univ.)

Break Time | 10:15

좌장 : 정은진((재)포항산업과학연구원)

철강A2-1 | 10:25

Use of Returned Sinter in Fluidized Bed Reactors with CO and/or H2 gas atmosphere at Steel Works

김윤호, 김도현, 조성규, 김성진, 이상호*, 정성모* (포항공과대학교)

철강A2-2 | 10:40

H2-DRI 용융 슬래그 내 FeO의 환원 속도에 미치는 맥석(MgO, Al2O3)의 영향

배성준, 박주현* (한양대학교)

철강A2-3 | 10:55

전기 용융로(ESF)의 전극부 아크 - 용선 간 상호작용 모사

김현진, 양현진* (인하대학교)

철강A2-4 | 11:10

1550℃에서 CaO-Al2O3-MgO-TiO2 슬래그 내 TiO2의 열역학적 거동

정동율, 전영진, 이민주 (한양대학교), 박성진, 강수창 (POSCO 기술연구소), 강윤배 (포항공과대학교), 박주현* (한양대학교)

철강A2-5 | 11:25

Phase diagram study of the CaO-MgO-Al2O3 system: Liquidus of MgO and spinel at 1550 to 1650 oC

Dahee Gwak, Jaesung Lee, Seungjae Park, and In-Ho Jung* (Seoul National University)

철강A2-6 | 11:40

전기로형 수모델 활용 저취시 균일혼합시간 및 유동 변화에 미치는 물 용량의 영향

박지현, 김선중* (조선대학교)

철강A2-7 | 11:55

Effect of Process Variables on RH Process via Numerical Modeling Analysis

Tae Ung Youn and Kyung Woo Yi* (Seoul National University)

좌장 : 조종오(현대제철)

철강A3-1 | 13:00

제철 공정 내 부생가스 환경영향 분배 시나리오에 따른 철강 제품의 전 과정 온실가스 배출량 비교 분석

김건용, 황용우*, 조성진 (인하대학교), 오창용, 김서연, 이윤모 (현대제철)

철강A3-2 | 13:15

Application of JMA model on hydrogen reduction of iron ore

Seong-Jin Kim, Seongkyu Cho, Leonardo Tomas da Rocha, Dohyeon Kim, and Sung-Mo Jung* (POSTECH)

철강A3-3 | 13:30

Investigations of Microstructure and Carburization Behavior of DRI for Rapid Melting in the ESF Process

Won Bum Park, Jooho Park (GIFT, POSTECH), and Youn-Bae Kang* (GIFT, POSTECH, MSE, POSTECH)

철강A3-4 | 13:45

전기로(EAF) 공정 조건에서의 열간압축철 (HBI) 승온에 따른 맥석 거동 변화

이민주, 박주현* (한양대학교)

철강A3-5 | 14:00

밀스케일 펠렛의 강도 확보를 위한 바인더 조건 탐색

유홍재, 강영조* (동아대학교)

철강A3-6 | 14:15

철강 슬라브 연속주조 몰드내 개재물 거동 및 포집 현상 모델링

김민경, 장태완, 조성묵* (부경대학교)

좌장 : 양현진(인하대학교)

철강A4-1 | 14:30

Evaluation of Carbon Produced by Methane Pyrolysis Using Liquid Metal Catalysts

Young-Joon Park, Tae-Gyu Wi, Wooseok Kang, Changshin Jo (POSTECH), Seungyeon Lee, Il Sohn (Yonsei Univ.), Uendo Lee (KITECH), and Youn-Bae Kang* (POSTECH, Yonsei Univ.)

철강A4-2 | 14:45

Influence of Hydrogen on Reaction Behaviors of Sintered Ore, Pellets, and Lump Ore in Cohesive Zone of Blast furnace

Takayuki Iwama*, Ryo Inoue, Shigeru Ueda (Tohoku University), and Sun-Joong Kim (Chosun University)

철강A4-3 | 15:00

효율성과 환경지속 가능성 측면 산소기반 제철공정의 재해석

김상욱* (인하대학교, 포스코), 이상호 (포항공과대학교), 한정환 (인하대학교)

철강A4-4 | 15:15

직접환원제철 최신 개발 동향 및 전망

김두욱*, 김영지, 박상호, 황영재 (한국에너지기술연구원, 한국화학연구원)

철강A4-5 | 15:30

직접환원철 제조 공정에서의 침탄 반응 최적화를 위한 바이오매스 가스화 기초연구

임지수*, 김혁, 이동수 (현대제철연구소)

철강A4-6 | 15:45

수소환원 반응기 설계를 위한 유동로 내에서의 Iron Powder 환원 반응의 Batch Kinetics 수학적 모델링

이소명, 정진호* (포스텍 친환경소재대학원)

좌장 : 강영조(동아대학교)

철강A5-1 | 16:00

DRP 원료의 환원성 평가 표준 및 관리범위 수립

이동수*, 김혁 (현대제철연구소), 박태준 (한국지질자원연구원)

철강A5-2 | 16:15

Development and Application of Scrap Prediction Technology and Advanced Techniques for Achieving Carbon Neutrality in the Steel Industry

Taewoo Hwang, Sungdoo Hwang*, Donghoon Kang, Myungjae Kim, and Changho Lee (Hyundai-steel Research Laboratory)

철강A5-3 | 16:30

Non Metallic Inclusions of ULC Grade Steel

Cha Woo-Yeol*, Kin Wan-Yi, Choi Ju-Han, and Kim Jang-Hoon (POSCO Technical Research Institute)

철강A5-4 | 16:45

발광분광분석법을 활용한 강의 청정도 신속평가방법

박정호* (포스코 기술연구원)

철강A5-5 | 17:00

레이들 부피측정 프로파일러를 활용한 영상인식 용강칭량 시스템 개발

서창우*, 서성모, 한웅희, 송민호, 안종태 (포스코 기술연구원 강재연구소 제강연구그룹), 박희용, 이재은 (포스코 (광양)제강부 제강기술개발섹션)

철강A5-6 | 17:15

A Study on the Evaluation of Melting Properties for Inorganic Fiber according to Slag Mixing Conditions

정은진*, 엄형섭 ((재)포항산업과학연구원)

좌장 : 조성묵(부경대학교)

철강A6-1 | 17:30 초청강연

[δ to γ phase transformation- 1] Characterization of Steel Phase Transformation by Use of In Situ X-Ray Topography

CHANG HEE Yim*, Ahmad Zamanian, Nam Hoon Goo (Pohang University of Science and Technology), Tahereh Zargar (King's College London), Fazlollah Sadeghi (Brunel University), Soo Yeon Lee, Yoon Uk Heo, Jae Sang Lee, Dae Geun Hong (Pohang University of Science and Technology), Ho Jae Kwak (Pohang Accelerator Laboratory), Seong Gyoon Kim (Kookmin University), and Cheol Hee Nam (Technical Research Laboratory, POSCO)

철강A6-2 | 17:55 초청강연

[δ to γ phase transformation- 2] Kinetic analysis of δ to γ phase transformation in carbon steels

Seong Gyoon KIM* (Kookmin University), Chang Hee Yim*, Ahmad Zamanian, Nam Hoon Goo (Pohang University of Science and Technology), Tahereh Zargar (King's College London), Fazlollah Sadeghi (Brunel University), Soo Yeon Lee, Yoon Uk Heo, Jae Sang Lee, Dae Geun Hong (Pohang University of Science and Technology), Ho Jae Kwak (Pohang Accelerator Laboratory), and Cheol Hee Nam (Technical Research Laboratory, POSCO)

철강A6-3 | 18:20

[δ to γ phase transformation- 3] Image processing algorithm to extract metallurgical information; the application study of phase fraction in solid and gas bubble in molten liquid

Dae Geun Hong*, Zamanian Khorasgani Ahmad, Nam Hoon Goo, Chang Hee Yim* (Pohang University of Science and Technology), and Cheol Hee Nam (Technical Research Laboratory, POSCO)

철강A6-4 | 18:35

[δ to γ phase transformation- 4] An Analysis of High-Temperature δ to γ Phase Transformation in Ultra-Low Carbon Steel Using In-Situ X-Ray Topography and Corresponding Laue Diffraction Techniques

Nam Hoon Goo*, Ahmad Zamanian, Soo Yeon Lee, Yoon Uk Heo, Jae Sang Lee, Dae Geun Hong (Pohang University of Science and Technology), Ho Jae Kwak (Pohang Accelerator Laboratory), Seong Gyoon Kim (Kookmin University), Cheol Hee Nam (Technical Research Laboratory, POSCO), and Chang Hee Yim* (Pohang University of Science and Technology)

철강A6-5 | 18:50

[δ to γ phase transformation- 5] An Investigation of the δ to γ Phase Transformation in TRIP Steel, Employing In-Situ X-Ray Techniques to Analyze the Characteristics of the Phase Transformation

AHMAD ZAMANIAN KHORASGANI*, Nam Hoon Goo, Soo Yeon Lee, Yoon Uk Heo, Jae Sang Lee, Dae Geun Hong (Pohang University of Science and Technology), Ho Jae Kwak (Pohang Accelerator Laboratory), Seong Gyoon Kim* (Kookmin University), Cheol Hee Nam (Technical Research Laboratory, POSCO), and Chang Hee Yim* (Pohang University of Science and Technology)

철강A6-6 | 19:05

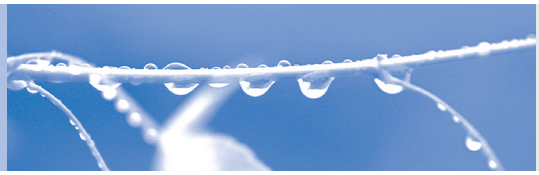
[δ to γ phase transformation- 6] Investigating the Driving Force of δ to γ Phase Transformation in Carbon Steels

AHMAD ZAMANIAN KHORASGANI*, Nam Hoon Goo (Pohang University of Science and Technology), Tahereh Zargar (King's College London), Fazlollah Sadeghi (Brunel University), Soo Yeon Lee, Yoon Uk Heo, Jae Sang Lee, Dae Geun Hong (Pohang University of Science and Technology), Ho Jae Kwak (Pohang Accelerator Laboratory), Seong Gyoon Kim* (Kookmin University), Cheol Hee Nam (Technical Research Laboratory, POSCO), and Chang Hee Yim* (Pohang University of Science and Technology)

철강A6-7 | 19:20

[δ to γ phase transformation- 7] Effect of Carbon Content on the δ to γ Phase Transformation of Peritectic Steels

Nam Hoon Goo*, Ahmad Zamanian (Pohang University of Science and Technology), Tahereh Zargar (King's College London), Fazlollah Sadeghi (Brunel University), Soo Yeon Lee, Yoon Uk Heo, Jae Sang Lee, Dae Geun Hong (Pohang University of Science and Technology), Ho Jae Kwak (Pohang Accelerator Laboratory), Seong Gyoon Kim (Kookmin University), Cheol Hee Nam (Technical Research Laboratory, POSCO), and Chang Hee Yim* (Pohang University of Science and Technology)



The 23rd KIM-JIMM Symposium

KIM side Organizer: Jae-Hyeok Shim (KIST)
JIMM side Organizer: Kohta Asano (AIST)
Room Meadow, 10/29

Chair: Jae-Hyeok Shim(KIST)

Welcome Address | 09:00

Jae-Hyeok Shim (KIST)

KJ1-1 | 09:05 **Invited Talk**

Carbon Neutral Society: Challenges and Strategies of the Korean Steel Industry
Joonho Lee* (Korea University)

KJ1-2 | 09:25 **Invited Talk**

Ammonia Synthesis via Catalytic and Chemical Looping Process by Alkali Metal Compounds
Hiroki Miyaoka* (Natural Science Center for Basic Research and Development, Hiroshima University)

KJ1-3 | 09:45 **Invited Talk**

Technology to prohibit hydrogen embrittlement in metals and welds
Namhyun Kang*, Jimin Nam, Donghyun Choi, Byeongrok Moon, and Sam Anaman (Pusan National University)

KJ1-4 | 10:05 **Invited Talk**

Room Temperature Hydride Ion Conduction in Rare-Earth Metal Oxyhydrides
Soshi Iimura* (National Institute for Materials Science (NIMS))

Break Time| 10:25

Chair: Hiroyuki Saitoh(National Institutes for Quantum Science and Technology(QST))

KJ2-1 | 10:40 **Invited Talk**

Structural and chemical affinity engineering for improved hydrogen trapping and embrittlement behavior
Seok Su Sohn* (Korea Univ.)

KJ2-2 | 11:00 **Invited Talk**

Synthesis of Lightweight High-Entropy Alloys and Their Application to Hydrogen Storage
Shigehito Isobe* (Hokkaido University)

KJ2-3 | 11:20 **Invited Talk**

Vanadium-based metallic membranes for hydrogen separation
Ju-Hyun Baek (Korea Institute of Science and Technology, Korea University), Sang-Min Lee, Jinwoo Kim, Jae-Hyeok Shim, Young-Su Lee, Jin-Yoo Suh* (Korea Institute of Science and Technology), Seok Su Sohn (Korea University), and Minwoo Kang (Hyundai Motor Company)

KJ2-4 | 11:40 **Invited Talk**

Temperature and Pressure Dependent Solubility of Hydrogen in Hydrogen Permeable Alloys: A First-Principles Description
Akihiro Mitsuhara*, Hiroshi Yukawa, and Hajime Kimizuka (Nagoya University)

Chair: Namhyun Kang(Pusan National University)

KJ3-1 | 13:00 **Invited Talk**

I knew you were trouble: analyzing hydrogen
Se-Ho Kim* (Korea University)

KJ3-2 | 13:20 **Invited Talk**

Hydrogenation Reactions of Aluminum-Based Alloys Under High Pressure
Hiroyuki Saitoh* (Kansai Institute for Photon Science, National Institutes for Quantum Science and Technology (QST))

KJ3-3 | 13:40 **Invited Talk**

Metastable Hexagonal Close-packed Palladium-hydride through radiation chemistry
DongWon Chun* (KIST)

KJ3-4 | 14:00 **Invited Talk**

Customizing of Additional Functions of Hydrogen Storage Materials: Compression and Purification of Hydrogen
Kohta Asano*, Keita Shinzato, Véronique Charbonnier, Hyunjeong Kim, and Kouji Sakaki (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST))

Break Time| 14:20

Chair: Kohta Asano(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology(AIST))

KJ4-1 | 14:35 **Invited Talk**

Surface-Engineered Metal Hydride for Low-Purity Hydrogen Storage
Hyun Cho (Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)), Kouji Sakaki (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)), and Eun Seon Cho* (Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))

KJ4-2 | 14:55 **Invited Talk**

Local Structures in Hydrogen Storage Materials and Their Hydrides

Kouji Sakaki* and Hyunjeong Kim (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

KJ4-3 | 15:15 **Invited Talk**

Industrial applications and technology trends of hydrogen storage alloys

Taewook Na* (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))

KJ4-4 | 15:35 **Invited Talk**

Hydrogen Absorption Reactions on an AB3-Based Intermetallic Compound, (Y, Mg)Co_3

Toyoto Sato* (Tohoku University, Japan), H. Saitoh, R. Utsumi (National Institutes for Quantum Science and Technology (QST), Japan), J. Ito, K. Obana (Shibaura Institute of Technology, Japan), Y. Nakahira (National Institutes for Quantum Science and Technology (QST), Japan), D. Sheptyakov (Paul Scherrer Institut, Switzerland), T. Honda, H. Sagayama (High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Japan), S. Takagi (National Institutes for Quantum Science and Technology (QST), Japan), T. Kono (The University of Tokyo, Japan), H. Yang (École Polytechnique Fédérale de Lausanne Valais/Wallis, Empa Materials Science and Technology, Switzerland), W. Luo (Shanghai University, China), L. Lombardo (Kyoto University, Japan), A. Züttel (École Polytechnique Fédérale de Lausanne Valais/Wallis, Empa Materials Science and Technology, Switzerland), and S. Orimo (Tohoku University, Japan)

[특별세션4] 학회상 수상기념 강연

Room 메도우, 10월 29일

좌장 : 최민재(한국원자력연구원)

AW-2 | 16:30 **세아해암학술상 수상기념강연**

고압 수소용 철강재료 개발과 수소취성 평가

황병철*(서울과학기술대학교)

AW-4 | 16:55 **송천학술상 수상기념강연**

경량금속과 고분자 수지 간의 분자접합 기술

김정한*(국립한밭대학교)

AW-5 | 17:20 **첨단소재학술상 수상기념강연**

Autonomous Laboratory Leading Future Materials Innovation

Sang Soo Han*(Korea Institute of Science and Technology)

AW-7 | 17:45 **International Scholar Award 수상기념강연**

Materials Research in Support of Carbon-Free Nuclear Energy

Anne A. Campbell* (Oak Ridge National Laboratory)

NEW-HORIZON II: 배터리 혁신을 위한 소재 시뮬레이션 심포지엄

위원장: 권용우(홍익대학교), 신병하(한국과학기술원)
실무위원: 서동화(한국과학기술원), 남대현(고려대학교)
Room 레이크, 10월 29일

좌장 : 서동화(한국과학기술원), 남대현(고려대학교)

개회사 | 08:50

축 사 | 08:55

배터리1-1 | 09:00 **초청강연**

DX를 활용한 LG에너지솔루션의 소재 연구개발의 미래

박병천* (LG에너지솔루션)

배터리1-2 | 09:30 **초청강연**

배터리 신산업 혁신을 위한 소재 주도 계산/데이터 과학

김두호* (경희대학교 기계공학과, (주)프리딕션)

배터리1-3 | 10:00 **초청강연**

능동학습에 의한 베터리 소재 개발

KEE-SUN SOHN*, Seonghwan Kim, and Byung Do Lee (Sejong University)

배터리1-4 | 10:30 **초청강연**

제일원리와 머신러닝을 접목한 지속가능 배터리용 유기물 양극재 개발 가속화

이동화* (포항공과대학교)

배터리1-5 | 11:00 **초청강연**

해석 가능한 머신러닝에 기반한 리튬이차전지 전극 재료 특성 분석

박인철* (포스코홀딩스 미래기술연구원)

좌장 : 서동화(한국과학기술원), 남대현(고려대학교)

배터리2-1 | 13:20 **초청강연**

Powder Simulation for Li-ion Battery Development

Sang-Pil Kim*, Kangmin Kim, Dong Hee Yeon, Seok Joon Yoon (Simulation Group, Samsung SDI), and Giheon Kim (S&DI Team, Samsung SDI)

배터리2-2 | 13:50 **초청강연**

전고체전지 범용 설계 인자 개발 및 적용

김진수* (한국에너지기술연구원), 정성균* (울산과학기술원)

배터리2-3 | 14:20 **초청강연**

제일원리 계산 기반 리튬전고체전지용 고이온전도성 고체전해질 설계 및 개발

류승호* (한국과학기술연구원)

배터리2-4 | 14:50 **초청강연**

Machine-Learned Potential Based Materials Design and Analysis for Solid-State Electrolyt

Ji Hoon Kim, Ji Seon Kim, and Sang Uck Lee* (Sungkyunkwan University)

배터리2-5 | 15:20 초청강연

분자 레벨 시뮬레이션을 통한 전고체전지 소재 연구

고정현* (SK온)

폐회사 | 15:50

NEW-HORIZON Ⅲ: K-방산 경쟁력 제고를 위한 소재부품 고도화 심포지엄

위원장: 권용남(한국재료연구원)
Room 포레스트, 10월 29일

좌장: 김영무(국방과학연구소)

방산1-1 | 10:00 초청강연

첨단 국방 금속재료 개발 현황 및 전략

조장현*, 김영무 (국방과학연구소)

방산1-2 | 10:25 초청강연

국방핵심소재 자립화 실태 분석 및 공급망 강화 방안

권용남* (한국재료연구원)

방산1-3 | 10:50 초청강연

미래 국방전략센터 중점 추진 개발과제 현황 및 전략

천명국* (KIST)

방산1-4 | 11:15 초청강연

Review of Aircraft and Engine Design Philosophy

이홍철* (공군 항공기술연구소)

좌장: 정유인(한국항공우주산업)

방산2-1 | 13:00 초청강연

K-방산의 지속적인 성장을 위한 공군의 역할

유재문*, 이홍철 (공군군수사령부)

방산2-2 | 13:25 초청강연

STRONG Army 추진전략

최선락* (육군 군수사령부)

방산2-3 | 13:50 초청강연

K-방산 생태계 확장을 위한 항공용 가스터빈의 이해 및 발전 방향

최재호* (한화에어로스페이스)

방산2-4 | 14:15 초청강연

육군 지상 무기에서 발생한 문제점과 해결 사례

김상식* (경상국립대학교)

Break Time | 14:40

좌장: 권용남(한국재료연구원)

방산3-1 | 14:50 초청강연

방위산업 연계된 항공산업 현황 및 발전 전략

박경은* (한국항공우주산업)

방산3-2 | 15:15 초청강연

항공무기체계 기체구조 신뢰성 향상을 위한 도전과 과제

진승우* (한국항공우주산업(주))

방산3-3 | 15:40 초청강연

가스터빈 고온부품 열유동 계측 기술

황원태* (서울대학교)

마그넷

위원장: 이우영(연세대학교)
부위원장: 이정구(한국재료연구원), 임혜인(숙명여자대학교)
총무간사: 김태훈(한국재료연구원), 이현숙(연세대학교)
Room 평창1, 10월 29일

좌장 : 이우영(연세대학교)

마그넷1-1 | 08:30 초청강연

자석원료용 고순도 희토류 화합물 제조 기술 동향

이진영* (한국지질자원연구원)

마그넷1-2 | 08:55 초청강연

To realize high-coercivity in Nd-Fe-B permanent magnets without heavy rare-earth elements: Novel process for fabricating fine-grained magnets with high-anisotropy shell

Tae-Hoon Kim* (Nano Materials Research Division, Korea Institute of Materials Science (KIMS))

마그넷1-3 | 09:20 초청강연

Dominant factors in coercivity enhancement and optimized Pr-rich shell formation in Pr-free and Pr-containing Nd-Fe-B sintered magnets by grain boundary diffusion processing using low-melting Pr-Cu-Al-Ga alloy

Sujin Lee (Korea Institute of Materials Science), Ganghwi Kim, Ki-Suk Lee (Ulsan National Institute of Science and Technology), Tae-Hoon Kim* (Korea Institute of Materials Science), Sang-Hyub Lee, Dong-Hwan Kim (Star Group Ind. CO., Ltd.), and Jung-Goo Lee (Korea Institute of Materials Science)

마그넷1-4 | 09:45 초청강연 **Canceled**

Enhanced Coercivity in Nd2Fe14B Magnets with Suppressed Pr-rich Shell Formation: Insights from Micromagnetic Simulations

Ki-Suk Lee*, Ganghwi Kim (Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)), and Tae-Hoon Kim (Korea Institute of Materials Science (KIMS))

마그넷1-5 | 10:10 초청강연

Microstructure and Magnetic Properties of 2:17-type Sm-Co Permanent Magnets According to Heat Treatment Conditions

Seungil Park, Seunghan Kim, Guyoung Min, Chaemin Seoul, Jihyeon An (Chonnam National University), Kyoung-Hoon Bae (R&D Center of Star Group Co. Ltd), and TAE-HOON KIM* (Chonnam National University)

좌장 : 박지훈(한국재료연구원)

마그넷2-1 | 10:35

Microstructure of shell and grain boundary phase in Nd-Fe-B sintered magnet grain boundary diffusion processed with LRE-Al-Cu (LRE = La and Pr) alloys

Ye Ryeong Jang and Wooyoung Lee* (Yonsei University)

마그넷2-2 | 10:50

Identifying Optimal Processing Variables and Investigating Mechanisms of Grain Alignment in Hot-Deformed NdFeB Magnets

Jongbin Ahn (SeAH CSS) and Wooyoung Lee* (Yonsei University)

마그넷2-3 | 11:05

Preparation of magnetic materials by using high-pressure torsion method

Ping-Zhan Si*, Jihoon Park, Chul-Jin Choi, Tianhong Zhou, YW Song, Xing Zheng, and Baochao Zhang (Korea Institute of Materials Science)

마그넷2-4 | 11:20

5G 통신용 전자파 흡수체 Hexaferrite의 자기미세구조 및 전자파 흡수 특성 분석

장준웅 (인하대학교), 최승민 (창성(주)), 박현순* (인하대학교)

마그넷2-5 | 11:35

The Influence of V Content on the Magnetic Properties of Sm1.7Fe12-xVx Magnets

ZHENG XING, Baochao Zhang, Tian Hong Zhou, Youngwoon Song, Pingzhan Si, and Jihoon Park* (Korea Institute of Materials Science)

마그넷2-6 | 11:50

Aging treatment to improve the coercivity on the SmFe10V2 bulk magnet by grain boundary modification

Tianhong Zhou (Korea Institute of Materials Science, Pusan National Univ.) and Jihoon Park* (Korea Institute of Materials Science)

마그넷2-7 | 12:05

Enhancing Coercivity in Sintered Mn-Bi Magnets Using Polymer Coatings

Youngwoon Song (Korea Institute of Materials Science (KIMS), Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)), Tian Hong Zhou, Baochao Zhang, Xing Zheng, Chul-jin Choi, Jong-Woo Kim (Korea Institute of Materials Science (KIMS)), Ki-Suk Lee (Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)), and Jihoon Park* (Korea Institute of Materials Science (KIMS))

마그넷2-8 | 12:20

The Effect of Al Substitution on Phase Formation and Physical Properties of Mn4C

BAOCHAO ZHANG (Korea Institute of Materials Science, Pusan National University), Tian Hong Zhou, Xing Zheng, Youngwoon Song, Chul-Jin Choi, Pingzhan Si, and Jihoon Park* (Korea Institute of Materials Science)

열전

위원장: 박수동(한국전기연구원)
총무간사: 김일호(한국교통대학교), 이종수(경희대학교)
Room 평창1, 10월 29일

좌장 : 이종수(경희대학교)

열전1-1 | 13:00

High Average Thermoelectric Figure of Merit (zT) in p-type Bi 0.4 Sb 1.6 Te 3.4 with High Entropy Alloy (HEA) Integration and cost-effective module structure

Saurabh Thoravat, Anil Kumar, Jin Hee Kim (Kyung Hee University), Hyungyu Jin (Pohang University of Science and Technology,), and Jong-Soo Rhyee* (Kyung Hee University)

열전1-2 | 13:15

A Study of Morphology Transition and Thermoelectric Performance for 1D Tellurium with 2D Tellurium Composites via Solution Doping Process

In Ho Kim and Yong Jin Jeong* (Korea National University of Transportation)

열전1-3 | 13:30

열전방정식 유한요소해석을 통한 숏레그형-중온용 열전발전소자의 출력 성능과 기생저항의 영향 분석

오승현, 박종호, 정재환, 박수동, 류병기* (한국전기연구원)

열전1-4 | 13:45

Understanding Thermoelectric Instability in Mg-Based Thermoelectric Alloys

Byungki Ryu*, Jeongin Jang, Jongho Park, Ji-Hee Son, Jaywan Chung (Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)), Sungjin Park (Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), (current position) Chungbuk National University), SuDong Park (Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)), Sahar Ayachi (German Aerospace Center (DLR), (current position) Korea University), Amandine Duparchy, Eckhard Mueller, and Johannes de Boor (German Aerospace Center (DLR))

마그네슘

위원장: 임창동(한국재료연구원)
총무간사: 이정훈(한국생산기술연구원), 이내호(다인경금속)
Room 평창1, 10월 29일

좌장 : 주수현(단국대학교)

마그네슘1-1 | 14:30

마그네슘 용탕 내 Fe 제거를 위한 금속계 첨가제의 영향

문병기*, 문영훈 (한국재료연구원)

마그네슘1-2 | 14:45

Effect of cooling rate on corrosion resistance and behavior of micro-Ca and Y alloyed cast AZ91 alloy

Jae-Yeon Kim*, Hongxiu Liu, Jun-Ho Bae, and Bong-Sun You (Korea Institute of Materials Science)

마그네슘1-3 | 15:00

마그네슘 복합소재의 기지합금 및 강화재에 따른 특성 연구

배준호*, 김영민, 서병찬, 김재연, 문영훈 (한국재료연구원)

마그네슘1-4 | 15:15

Zn 합금화를 통한 LMD 공정으로 제조된 Mg-Ti 복합재료의 물성 향상

장지은, 박보현, 윤현준 (경북대학교), 주수현 (단국대학교), 박성혁* (경북대학교)

마그네슘1-5 | 15:30

마그네슘 수소저장합금 소재 및 수소저장특성 연구

노수지, 배준호, 김영민, 서병찬* (한국재료연구원)

Break Time | 15:45

좌장 : 김재연(한국재료연구원)

마그네슘2-1 | 15:55

인공지능 및 데이터 기반 모빌리티용 경량금속소재 HUB 구축: 고강도 고내식 Mg 압출재

서종식*, 서병찬, 김재연 (한국재료연구원), 박성혁 (경북대학교)

마그네슘2-2 | 16:10

기계학습을 활용한 AZ91 및 SEN9 합금의 저주기 피로거동 예측

유진영, 천세호, 이성호 (부산대학교), 박성혁 (경북대학교), 이태경* (부산대학교)

마그네슘2-3 | 16:25

선변형 AZ31 합금의 전류펄스 인가 시 미세조직 변화와 이방성

천세호, 유진영, 이성호 (부산대학교), 박성혁 (경북대학교), 이태경* (부산대학교)

마그네슘2-4 | 16:40

T자형 Mg 합금 시편을 이용한 전류펄스 인가 시 발생하는 비열 효과 분석

송종한, 유진영, 천세호, 이성호, 박동준, 이승엽, 이정훈 (부산대학교), 박성혁 (경북대학교), 이태경* (부산대학교)

마그네슘2-5 | 16:55

4원계 Mg-xY-1Cu-1Ni (x = 1,2,3) 합금의 열처리 방식에 따른 기계적 특성 변화 연구

이승엽, 유진영, 천세호, 이성호, 송종한, 박동준, 이정훈 (부산대학교), 김종현 (Chongqing University, China), 이태경* (부산대학교)

Break Time | 17:10

좌장: 이종언(한국재료연구원)

마그네슘3-1 | 17:20

A study of cold rolling on dual phase Mg-Li alloy(I)

이성*, 신수정, 조영수, 박찬홍, 신재긍, 김홍물 (하나에이엠티주식회사), 김용호, 손현택 (한국생산기술연구원)

마그네슘3-2 | 17:35

압출비가 마그네슘 미세튜브의 기계적 물성과 생분해 속도에 미치는 영향

김재성, 임창동, 서병찬, 김하식, 이상은, 서종식* (한국재료연구원)

마그네슘3-3 | 17:50

초음파나노표면개질 공정 및 후열처리에 따른 마그네슘 합금 압연재의 미세조직 및 굽힘 특성 변화

안건웅, 김현지, 박성혁* (경북대학교)

마그네슘3-4 | 18:05

Al 함량에 따른 SEN 마그네슘 합금 압출재의 인장 및 피로 특성 변화

이지윤, 김현지, 진상철 (경북대학교), 배준호 (한국재료연구원), 박성혁* (경북대학교)

상변태

위원장: 박준식(한밭대학교)
총무간사: 남호석(국민대학교), 박은수(서울대학교), 한준현(충남대학교)
Room 평창2, 10월 29일

좌장 : 류욱하(국립금오공과대학교)

상변태1-1 | 08:30

Enhancing Recovery Characteristics of FeMnSi-based Shape Memory Alloys through Complex Defect Engineering

Ji Young Kim, Min Seok Kim (Seoul National University), Wook Ha Ryu (Seoul National University, Kumoh National Institute of Technology), Hyun Gi Min, and Eun Soo Park* (Seoul National University)

상변태1-2 | 08:45

Development of resettable alloy: Novel Multi-Step Resetting Process via Segregation Engineering

김민석, 김재권, 박은수* (서울대학교)

상변태1-3 | 09:00

304 스테인리스 강의 오스테나이트 역변태 특성 및 기계적 성질에 미치는 열처리 영향

이동훈, 문병록, 성백석, 강남현* (부산대학교)

상변태1-4 | 09:15

Effect of Titanium Addition on the Micro- and Nano-Scale Microstructure of Cu-Al-Ni Shape Memory Alloy Fabricated by Melt-Spinning

Yejun Park* and Pyuck-Pa Choi (KAIST)

상변태1-5 | 09:30

CrMnFeCoNi계 형상기억합금의 회복특성 향상을 위한 조성설계

임진수랑, 이제인* (부산대학교)

상변태1-6 | 09:45

결정립 크기가 Cr20Mn20Fe20Co35Ni5 고엔트로피 합금의 회복특성에 미치는 영향

정휘윤, 이제인* (부산대학교)

상변태1-7 | 10:00

Cr의 첨가에 따른 AlMo0.5NbTa0.5TiZr 내화 고엔트로피 합금의 1300 ℃ 산화 거동

박지니, 오정석, 성효진, 박준식* (국립한밭대학교)

Break Time | 10:15

좌장 : 이제인(부산대학교)

상변태2-1 | 10:30

Order-disorder transition in a two-dimensional Potts model on a square-lattice

Minseong Park, Minguk Jang, Jihye Lee, and Sukbin Lee* (Ulsan National Institute of Science and Technology)

상변태2-2 | 10:45

비정형 합금의 원자 단위 구조적 규칙성과 물성과의 상관 관계

류채우* (홍익대학교)

상변태2-3 | 11:00

Steady-state serrated flow induced by gradient rejuvenation process in bulk metallic glass

Wook Ha Ryu (Kumoh National Institute of Technology), Won-Seok Ko (Inha University), Rui Yamada, Junji Saida (Tohoku University,), and Eun Soo Park* (Seoul National University)

상변태2-4 | 11:15

Observation of multi-cluster formation mechanism induced by separated elements and control of nanocrystal growth

Subin Ahn (Seoul National University), Wook Ha Ryu (Kumoh National Institute of Technology), Hee Soo Kang (Research Institute of Industrial Science & Technology), and Eun Soo Park* (Seoul National University)

상변태2-5 | 11:30

서로 다른 초기 구조를 가진 Zr계 비정질 합금의 변형 거동에 가상 온도 기반 열처리가 미치는 영향

이명준, 유근희, 류욱하, 박은수* (서울대학교)

상변태2-6 | 11:45

Amorphous Microwires with Ion-induced Surface Gradient Structure and Excellent Tensile Plasticity

Shuang Su (Harbin Institute of Technology, Seoul National University), Myeong Jun Lee (Seoul National University), Wook Ha Ryu (Seoul National University, Kumoh National Institute of Technology), Zhiliang Ning*, Yongjiang Huang (Harbin Institute of Technology), and Eun Soo Park* (Seoul National University)

상변태2-7 | 12:00

액체금속탈합금법의 공정요소 제어에 의한 다공성 TiFe계 수소저장합금의 구조 변화 규명

이소영 (서울대학교), 심재혁, 김진우* (한국과학기술연구원), 박은수* (서울대학교)

상변태2-8 | 12:15

Liquid metal dealloying을 활용한 다공성 Co-Mo 암모니아 분해 촉매 제조

최예원 (한국과학기술연구원, 서울대학교), 양성은 (한국과학기술연구원), 박은수* (서울대학교), 김진우* (한국과학기술연구원)

좌장 : 류채우(홍익대학교)

상변태3-1 | 13:20 초청강연

금속복합재료의 적층제조에 대한 고찰

정원종 (국과학기술원), 이태규 (한밭대학교), 류호진* (국과학기술원)

상변태3-2 | 13:40 초청강연

Naptha cracking plant용 Ni합금의 표면 산화층 종류에 따른 침탄 거동 변화 고찰

김동익* (한국과학기술연구원), 김응룡 (한국과학기술연구원, 연세대학교), 심재혁 (한국과학기술연구원), 이영국 (연세대학교)

상변태3-3 | 14:00

후판 Dual phase 강재의 미세조직과 기계적 특성 연구

현영민* (현대제철 기술연구소, 성균관대학교), 박민호, 오성탁 (현대제철 기술연구소)

상변태3-4 | 14:15

Analysis of the L12 to hP24 Phase Transformation behavior of a Co3Ti precipitate during High Temperature Tensile deformation of a Co-based superalloy system

민현기 (서울대학교), W. Streit Cunningham (University of California Santa Barbara), 윤국노 (University of California Berkeley), 김민석 (서울대학교), Daniel S. Gianola* (University of California Santa Barbara), 박은수* (서울대학교)

제32회 피로 및 파괴 심포지엄

위원장: 이홍철(공군 항공기술연구소)
실무위원: 권용남(한국재료연구원)
Room 평창2, 10월 29일

좌장 : 이두열(국방대학교)

피로1-1 | 15:00 초청강연

F404 엔진 Fan 1단계 Blade 손상평가 방안 연구

김시호*, 권혁준, 박종운, 이홍철 (공군군수사령부)

피로1-2 | 15:15 초청강연

구조 건전성 평가를 위한 비파괴 검사 활용 현황 및 발전방안 연구

권혁준, 김시호, 박종운, 이홍철* (공군 항공기술연구소)

피로1-3 | 15:30 초청강연

퇴역한 한국공군 F-4 전투기의 구조건전성 관리 역사와 교훈

백세일* (한국과학기술연구원), 이두열 (국방대학교), 김영찬 (공군 항공기술연구소)

피로1-4 | 15:45 초청강연

무기체계 구조적 손상 주요 사례 및 원인 고찰

이병현, 조형진, 손경숙, 이홍철* (공군 항공기술연구소)

피로1-5 | 16:00 초청강연

인공지능기반 ML-CNT필름을 활용한 알루미늄 합금의 피로균열전파 거동 분석

좌비오, 김도현, 이승환, 최현성, 박현일, 석무영, 이동준, 권용남* (한국재료연구원)

Break Time | 16:15

좌장 : 최현성(한국재료연구원)

피로2-1 | 16:25 초청강연

Controlling high-temperature crack initiation in high-entropy alloys through boron-driven precipitate management
Seonho Shin, Jae Bok Seol, and Hyokyung Sung* (Kookmin University)

피로2-2 | 16:40 초청강연

베이지안 탐색 이론을 사용한 등가초기균열 크기 추정
이두열* (국방대학교)

피로2-3 | 16:55 초청강연

유도탄 발사대 Spring 작동 매커니즘 및 교환주기 연장 연구
김재철*, 박종수, 이현수, 김남태, 이홍철 (공군 항공기술연구소)

피로2-4 | 17:10 초청강연

CAD/PAD 교환주기 연장을 위한 성능평가 연구
김남태, 설진욱, 김재철, 나인철, 이홍철* (공군 항공기술연구소)

첨단산업용 고청정 특수봉강 소재부품기술 개발 심포지엄

위원장: 이승욱(세아창원특수강)
실무위원: 김덕령(세아창원특수강), 이진모(태웅), 김근수(아스플로), 김태윤(한국금속재료연구조합)
Room 평창3, 10월 29일

좌장 : 김태윤(한국금속재료연구조합)

고청정1-1 | 09:00 초청강연

회전계용 고청정 내마모 특수강 및 대형 정밀기어 부품 제조 공정 최적화-2
이채훈, 김남용, 이진모*, 장희상 ((주) 태웅), 김광민, 윤상문, 권거영 (우림PTS), 강영조, 강신곤, 심상철 (동아대학교)

고청정1-2 | 09:20 초청강연

반도체용 고청정 SUS316L 봉강/강관 소재의 품질 개선 현황
정세지*, 이승욱, 김덕령*, 이강희, 강수석, 김한규, 안세호 (세아창원특수강), 김태윤 (한국금속재료연구조합)

고청정1-3 | 09:40 초청강연

Improvement of cleanliness of austenitic stainless steel for the high-end products (Semiconductor industry)
JOO HYUN PARK* (Hanyang University)

고청정1-4 | 10:00 초청강연

Finite Element Analysis for Life Prediction of Hot Extrusion Dies
Byung Jin CHOI, Hyungcheol Lim, Se-Hwan Chun, and Changhyok Choi* (FMK Inc.)

Break Time | 10:20

좌장 : 김덕령(세아창원특수강)

고청정2-1 | 10:30 초청강연

첨단산업용 고청정 특수봉강의 GVC(Global Value Chain) 분석
김신형* (포스코IH), 김태윤, 정철환 (한국금속재료연구조합), 조유리 (포스코IH)

고청정2-2 | 10:50 초청강연

반도체 가스 이송용 극청정 부품 자립화 성과
이동윤, 성열주, 이성영, 강두홍* ((주)아스플로)

고청정2-3 | 11:10 초청강연

반도체 공정용 고청정 STS 강관 소재의 전해연마 표면처리 연구
양현석, 정우철, 공만식* (고등기술연구원)

고청정2-4 | 11:30 초청강연

반도체 공정용 가스가 STS316L 표면 전해연마층의 특성에 미치는 영향
이돈희, 강두홍, 김풍연, 장시영* (한국항공대학교)

여성세션 심포지엄

위원장: 김미소(성균관대학교), 장혜정(한국과학기술연구원)
총무간사: 최현주(국민대학교), 정은진(포항산업과학연구원)
Room 평창3, 10월 29일

좌장 : 정은진(포항산업과학연구원)

개회사 | 13:10

여성1-1 | 13:30 초청강연

금속 전공에 기반한, 그러나 금속에 국한되지 않는.
장혜정* (한국과학기술연구원(KIST))

여성1-2 | 14:00 초청강연

복합소재의 계면 특성이 미치는 영향
신세은* (순천대학교)

여성1-3 | 14:30 KOFWST-KIM MMI 젊은 연구자상 **Canceled**

Exploration of optimal heterostructured material through modeling approach
Kim Yongju* (POSTECH)

여성1-4 | 14:40 KOFWST-KIM EML 젊은 연구자상

Properties of Electroplated Iron-Nickel Alloy with Anomalous Behavior under Various Plating Conditions
nayoung Kang and Jae-Ho Lee* (Hongik University)

여성1-5 | 14:50 KOFWST-KIM KJMM 젊은 연구자상

상온 및 고온 압축하중시 변형률 속도가 준안정 Ti-12.1Mo-1.0Fe 합금의 미세조직과 기계적 특성 변화에 미치는 영향
진인경, 이동근* (국립순천대학교)

2024 WISET 공학연구 팀제 결과 발표대회 심포지엄

위원장: 김미소(성균관대학교), 장혜정(한국과학기술연구원)
총무간사: 최현주(국민대학교), 정은진(포항산업과학연구원)
Room 평창3, 10월 29일

좌장 : 신혜영(충남대학교), 류채우(홍익대학교)

개회사 | 15:20

WISET1-1 | 15:30

A copolymer with a dynamic disulfide network for a lithium-ion battery cathode polymer binder
Yeon Jeong Nam, Trong Danh Nguyen, Mingi Kim, Yeonwoo Ryu, Yeji Bang, and Junseop Lee* (Gachon University)

WISET1-2 | 15:45

Modification of ZnO@Graphene Nanocomposites as Host Materials for Dendrite-Free Lithium Metal Anode
Jeong-A Kim, Byeong-Jun Kang, Gyoo-Rin Kim, Eun-Jin, and Hyun-Kyung Kim* (Kangwon national University)

WISET1-3 | 16:00

The Role of Carrier Ion-ligand Interaction on Intercalation Potentials and Phase Evolution of Berlin Green Cathodes in Rechargeable Batteries
Jeong Yeon Heo, Geunsu Kim, Daeun Kim, Hyunjin Kim, and Ji Hoon Lee* (Kyungpook National University)

WISET1-4 | 16:15

Diabetes Monitoring and Cardiovascular Disease Prevention Sensors by Non-enzymatic, Non-invasive Metabolite Sensor for Using Electrochemically Active Catalysts
Do Youn Kim, Soo Jin Lee, Da Eun Kim, Chae Yeon Hong, and Hyo-Ryoung Lim* (Pukyong National University)

WISET1-5 | 16:30

A Study on the Application of the Ghost Fishing Reduction Device Using Cotton cord in pot
Sena Baek, Yunji Kim, Jaehun Jung, Myeongwon Song, and Seonghun Kim* (Pukyong National University)

WISET1-6 | 16:45

Theoretical Insights into CO2 Hydrogenation Mechanisms on Pd Nanoparticle Catalysts
Yejung Choi*, Hyuk Choi, Ju Hyeok Lee, Jongseok Kim, Suin Hwang, Minkyeong Kim, Seona Kim, Horim Moon, Seoyoung Jang, and Hyun You Kim* (Chungnam National University)

WISET1-7 | 17:00

Atomic Layer Etching for Next-generation Ultra-Fine Semiconductor Process Technology
Jieun Oh, Hyojoo Jung, Sewoong Im, Seo-Hyun Park, and Woo-Hee Kim* (Hanyang University)

WISET1-8 | 17:15

Theoretical Screening of Titanium Precursors toward Inherent Area-Selective Atomic Layer Deposition between Nitride Substrates
Sujin Kwon, Hohyeon Kim, Seoyun Heo, Hyunuk Han, and Bonggeun Shong* (Hongik University)

[특별세션1] 창업 및 실용화 소재기술

위원장: 석현광(KIST)
Room 오디토리움, 10월 29일

좌장: 석현광(KIST)

특별1-1 | 09:00 초청강연

3차원 알루미늄 나노코팅 기술과 사업화
이혜문* ((주)알링크)

특별1-2 | 09:20 초청강연

A Journey from Idea to Market: High Mn Austenitic Steels
이순기*, 강명훈, 이상철, 이동호, 최종교 (포스코 기술연구원)

특별1-3 | 09:40 초청강연

자동차용 1.8GPa 핫스탬핑 강판 개발 및 적용 기술
윤승채*, 이동열, 현주식, 정유동* (현대제철연구소)

특별1-4 | 10:00 초청강연

환경 나노촉매 소재기술의 산업계 적용 및 창업 사례
하헌필* (한국과학기술연구원 첨단소재기술연구본부)

Break Time | 10:20

[특별세션2] 대한금속 · 재료학회 정부사업 기획 현황 보고

위원장: 석현광(KIST)
Room 오디토리움, 10월 29일

좌장: 한흥남(서울대학교)

특별2-1 | 10:30 초청강연

소재기술 지능화자동화 R&D 사업 기획현황 보고
석현광* (KIST)

[특별세션3] 정부R&D사업소개

Room 오디토리움, 10월 29일

좌장: 한흥남(서울대학교)

특별3-1 | 10:50 초청강연

산업기술 R&D 정책 및 투자방향 소개
조용곤* (한국산업기술기획평가원)

반도체

위원장: 최창환(한양대학교)
총무간사: 이기영(홍익대학교)
Room 오디토리움, 10월 29일

좌장 : 김효정(세종대학교)

반도체1-1 | 13:00

Electrical Reliability of Interfacial Self-formed Chromium Oxide Barrier for Co metallization
Geumseong Lee, Yoongu Lee, Cheol Kim, Geosan Kang, Soon-Gyu Hwang, and Young-Chang Joo* (Seoul National University)

반도체1-2 | 13:15

Leakage Current in Cu/PI Redistribution Layer for Next-generation Packaging Technology
Jaehee Sohn, Yoon-gu Lee, Hongik Kim, Gaeun Song, In-suk Choi, and Young-Chang Joo* (Seoul National University)

반도체1-3 | 13:30

Etching Characteristics of the B and N Doped Amorphous Carbon Films for Hardmasks
HONGIK KIM, UNGGI KIM, DEOKGI HONG, SEUNGWU HAN (Seoul National University), SO-YEON LEE* (Kumoh National Institute of Technology), and YOUNG-CHANG JOO* (Seoul National University)

반도체1-4 | 13:45

Non-volatile Analog Memristors Enabled by Metal Contact on Amorphous Covalent Semiconductors
Unggi Kim (Seoul National University), Binhyung Lee, Jiwoon Jeon (Gwangju Institute of Science and Technology), Dokyun Kim (Seoul National University), Hanwool Yeon* (Gwangju Institute of Science and Technology), and Young-Chang Joo* (Seoul National University)

반도체1-5 | 14:00

Demonstration of wake-up free and high endurance (~1010 cycles) Hf0.5Zr0.5O2 thin film by adopting TiMoN alloy electrode
Jaewook Lee, Yong Hyeon Cho, Hyun Woo Jeong, and Min Hyuk Park* (Seoul National University)

반도체1-6 | 14:15

Effect of Nitrogen Doping on Molybdenum Electrode for Enhancing the Reliability of Hf0.5Zr0.5O2 Ferroelectric Capacitors
Hyojun Choi, Sun Young Lee, Kun Yang, Ju Yong Park (Seoul National University), Young Yong Kim (Pohang University of Science and Technology), Hyun Woo Jeong, Hyeong Seok Choi, Jaewook Lee, Dong In Han, and Min Hyuk Park* (Seoul National University)

반도체1-7 | 14:30

ALD 증착 TaN 박막의 미세구조 및 전기적 특징 분석
손지웅, 장준웅 (인하대학교), 김효한, 안용남, 최민수, 이혜린, 장효정 (한국알박), 박현순* (인하대학교)

반도체1-8 | 14:45

강유전성 HfO2 기반 박막 연구를 위한 투과전자현미경 기술 개발 및 소자 특성 연구
김소진, 홍진석, 이승용* (한양대학교)

반도체1-9 | 15:00

Multiphysics Simulation of Thermal Disturbance in Vertically Stacked Phase-Change Memory
Yechan Kim (Hongik University), Namwook Hur (Ulsan National Institute of Science and Technology), Hyesoo Kim (Hongik University), Joonki Suh, Hongsik Jeong (Ulsan National Institute of Science and Technology), and Yongwoo Kwon* (Hongik University)

재료공정과 미세구조 시뮬레이션 심포지엄

위원장: 차필령(국민대학교)
실무위원: 권용우(홍익대학교)
Room 오디토리움, 10월 29일

좌장 : 권용우(홍익대학교)

시뮬1-1 | 15:30 초청강연

수지상 (Dendrite)
김성균* (국민대학교)

시뮬1-2 | 15:55 초청강연

상장모델계산을 이용한 철계합금 방향성응고시의 미세조직 변화
김원태*, 김성균, 차필령 (국민대학교 공과대학)

시뮬1-3 | 16:20 초청강연

A real scale Monte Carlo Potts model for simulation of microstructural evolution
Sang-Ho Oh and Byeong-Joo Lee* (Department of Materials Science and Engineering, POSTECH)

시뮬1-4 | 16:45 초청강연

합금 천이액상접합(TLPB) 공정의 확산 시뮬레이션
오창석*, 박지원 (한국재료연구원)

Break Time | 17:10

좌장 : 권용우(홍익대학교)

시뮬2-1 | 17:20 초청강연

Recent advances in phase-field methods for industrial applications
Dong-Uk Kim, Seong Gyoon Kim, and Pil-Ryung Cha* (Kookmin University)

시뮬2-2 | 17:45 초청강연

Phase Field Model for Micro-elasticity
Pil Ryung Cha* and Dong Uk Kim (Kookmin University)

시뮬2-3 | 18:10

상장모델의 반도체 분야 응용
권용우* (홍익대학교)

제1회 RIST-KICET 고도분석기술 심포지엄

위원장: 허윤욱(포항공과대학교)
실무위원: 강성(포항산업과학연구원)
Room 대관령2, 10월 29일

좌장 : 강성(포항산업과학연구원(RIST))

인사말 | 08:30

박상혁 (RIST)

고도1-1 | 08:35 초청강연

수소사업용 금속소재 국산화를 위한 시험/평가 기술개발 방향
이창희*, 이정훈, 배동화, 강성 (포항산업과학연구원분석평가센터)

고도1-2 | 09:05 초청강연

고온 · 고압 처리에 따른 비정질화 반응 제어 연구 및 구조적 관계 분석
이재화* (한국세라믹기술원), 가주한 (한국세라믹기술원, 부산대학교)

고도1-3 | 09:25 초청강연

부식 시험 평가 기술
김성남*, 김진원, 이동길 (포항산업과학연구원)

고도1-4 | 09:45 초청강연

X-ray CT를 이용한 영상분석 기술 및 활용
오오성* (한국세라믹기술원)

Break Time | 10:05

좌장 : 김청수(한국세라믹기술원)

고도2-1 | 10:25 초청강연

국가참조표준 기반 분말 열전달현상 직접 분석기술 개발 및 응용
손경식* (한국세라믹기술원)

고도2-2 | 10:55 초청강연

방사광 활용 이차전지 소재 분석 기술
빈민욱* (포항산업과학연구원(RIST))

고도2-3 | 11:15 초청강연

리튬이차전지 양극활물질 화학분석방법 표준화 연구
이명규* (한국세라믹기술원)

고도2-4 | 11:35 초청강연

Revealing corrosion behaviors of Mg-Al-Zn ternary alloy via liquid-phase TEM
Jungjae Park* and Sung Kang* (Research Institute of Industrial Science and Technology (RIST))

맺음말 | 11:55

복합화력발전 가스터빈용 소재기술개발 심포지엄

위원장: 이의종(두산에너빌리티), 최백규(한국재료연구원)
실무위원: 이형수(한국재료연구원)
Room 대관령2, 10월 29일

좌장 : 김동배(대구기계부품연구원)

가스터빈1-1 | 13:00 초청강연

복합화력발전 가스터빈용 소재 기술개발
이의종*, 이정승, 제환일, 정성철 (두산에너빌리티)

가스터빈1-2 | 13:20 초청강연

발전용 가스터빈용 단결정 블레이드 정밀주조 제조기술 개발
최정호, 변창길*, 안정환*, 홍성민 (HD현대마린엔진)

가스터빈1-3 | 13:40 초청강연

이중필터를 이용한 가스터빈 블레이드용 고청정 모합금 제조기술 개발
박소영 ((주)에이치브이엠), 최정호 (HD현대마린엔진), 최재영* ((주)에이치브이엠)

가스터빈1-4 | 14:00 초청강연

TIT 1650도급 가스터빈 정밀주조품 일방향응고 소재기술개발
권석환*, 정의석, 오인수 (한국로스트왁스(주) 연구소), 권혁주 ((주)한스코), 서성문 (한국재료연구원), 이기안 (인하대학교), 천은준 (부경대학교)

Break Time | 14:20

좌장 : 이의종(두산에너빌리티)

가스터빈2-1 | 14:40 초청강연

TIT 1650도급 가스터빈 Equaxied 소재 정밀주조기술개발
강경무* ((주)성일터빈)

가스터빈2-2 | 15:00 초청강연

초내열합금의 고온산화와 고온부식
윤대원*, 유영수, 정희원, 서성문, 이형수 (한국재료연구원)

가스터빈2-3 | 15:20 초청강연

다단 용체화열처리에 따른 CM247LC 합금의 미세조직 분석
이형수*, 윤대원, 정인용, 정희원, 유영수, 서성문 (한국재료연구원)

가스터빈2-4 | 15:40 초청강연

Inconel 706 단조재 열처리에 따른 미세조직 및 물성변화
강호성, 김정기* (경상국립대학교)

Break Time | 16:00

좌장 : 권석환(한국로스트왁스연구소)

가스터빈3-1 | 16:20 초청강연

Inconel 939W 정밀주조재의 Rework/Repair welding 공법 최적화에 관한 연구
김동배*, 남지윤, 최혜원, 유가영 (대구기계부품연구원), 이유철, 송윤진, 이은비, 박진형 (클래드코리아(주))

가스터빈3-2 | 16:40 초청강연

IN 939 합금의 고온물성 평가 예측 연구
손승배*, 전준협, 이석재 (전북대학교)

가스터빈3-3 | 17:00 초청강연

IN706 초내열합금의 Φ 1,700mm이상 대형디스크의 하중저감 단조기술개발

권순일, 최상민 (세아창원특수강), 주병돈 (태상), 제환일 (두산에너빌리티), 우영윤, 윤은유 (한국재료연구원), 신정호* (세아창원특수강)

고온재료

위원장: 최백규(한국재료연구원)
실무위원: 김진우(한국과학기술연구원), 전종배(동아대학교), 윤대원(한국재료연구원)
Room 루지홀, 10월 29일

좌장 : 윤대원(한국재료연구원)

고온1-1 | 08:30

항공 엔진 부품용 Master Ingot 고청정 확보 기술

우한별*, 손인수 (한화에어로스페이스)

고온1-2 | 08:45

용융 Ni-Al 합금의 탈산평형 평가

전상혁, 강영조* (동아대학교)

고온1-3 | 09:00 Canceled

인코넬 939 계열 니켈계 초합금의 γ/γ'-상 구성 원소 분율 제어를 통한 미세구조 및 기계적 물성 최적화 전략

김동환, 김민석, 박은수* (서울대학교)

고온1-4 | 09:15

터빈 디스크용 분말야금 SA-1500 초내열 합금의 고온 기계적 물성에 미치는 분말 제조 방법의 영향

김동훈*, 송영범, 김규식, 김상훈, 김대웅 (국방과학연구소), 홍현욱, 한재연 (국립창원대학교)

고온1-5 | 09:30

니켈기 초내열합금의 저주기피로 및 크리프 특성평가

송전영*, 신종호, 한광식, 정근수, 마영화 (두산에너빌리티)

고온1-6 | 09:45

니켈기 초내열합금 Nimonic 80A의 결정립계 파형 제어 및 크립 특성 평가

김가영 (부산대학교), 김연승 (LG 화학), 정희원, 윤대원, 이형수 (한국재료연구원), 이제인* (부산대학교)

고온1-7 | 10:00

Enhanced High-Temperature Plasticity with Retained Strength in Modified Cobalt-Nickel Superalloys

Saurabh Tiwari, H. J. Bae, Muhammad Ishtiaq, Won Hui Jo, Cho Hyeon Lee (Department of Materials Engineering and Convergence Technology,Gyeongsang National University, Jinju), Joong Eun Jung (Korea Institute of Materials Science (KIMS), Changwon, Republic of Korea), and Jae Bok Seol* (Department of New Materials Engineering, Kookmin University, Seoul, Republic of Korea)

Break Time | 10:15

좌장 : 전종배(동아대학교)

고온2-1 | 10:30

항공엔진용 초고온 세라믹 매트릭스 복합재료의 개발

유주현*, 손명숙, 손인수 (한화에어로스페이스)

고온2-2 | 10:45

항공용 가스터빈 엔진 부품의 타이타늄 소재 적용 및 공정 최적화 설계

오승철*, 황승욱, 권혁준, 손인수 (한화에어로스페이스)

고온2-3 | 11:00

구리 첨가가 700도에서 HR3C 강의 석출 거동에 미치는 영향

이건직 (한국과학기술연구원, 고려대학교), 손석수 (고려대학교), 심재혁* (한국과학기술연구원)

고온2-4 | 11:15

Exploration of High-Temperature Mechanical Properties of HfNbTaTiZr Single Crystal by Optical Floating Zone Technique

Hung Yen (Department of Materials Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology, Department of Materials Science and Engineering, National Tsing Hua University), An-Chou Yeh (Department of Materials Science and Engineering, National Tsing Hua University, High Entropy Materials Center, National Tsing Hua University), and Hyoung-Seop Kim* (Graduate Institute of Ferrous Technology, Pohang University of Science and Technology)

고온2-5 | 11:30 Canceled

Directed energy deposition으로 제작된 Ni cladded STS316H 스테인리스 강의 NaCl-MgCl2 용융염 환경 침지 부식성 평가

남승주, 이원찬 (국립한밭대학교), 신기승, 윤지현 (한국원자력연구원), 김정한* (국립한밭대학교)

제13회 터빈소재 및 내열합금 심포지엄

위원장: 최백규(한국재료연구원), 심재혁(한국과학기술연구원)
실무위원: 윤대원(한국재료연구원), 김진우(한국과학기술연구원), 전종배(동아대학교)
Room 루지홀, 10월 29일

좌장: 최백규(한국재료연구원)

내열1-1 | 13:00 초청강연

Long-term Thermal Fatigue Property and Microstructures of Inconel 718 and Hastelloy X Fuel Injector Nozzles Manufactured by EB-PBF and LPBF Processes

Dongyi Seo*, Taylor Robertson (National Research Council of Canada), Byoung-Soo Lee, Ji-Hyun Sung, Se-Hyun Ko, and Ho-Joon Choi (Korea Institute of Industrial Technology)

내열1-2 | 13:20 초청강연

화학기상법을 이용한 고밀도 SiC 섬유강화 세라믹 복합체 제조기술 개발

김대종*, 이현근, 김원주, 박지연 (한국원자력연구원)

내열1-3 | 13:40 초청강연

접종효과와 L-DED 적층공정 변수와의 상관관계: IN718 연구사례

전종배*, 조덕현 (동아대학교), 이욱진 (부산대학교), 정중은* (한국재료연구원)

내열1-4 | 14:00 초청강연

Characterization of diffusion brazed joints of IN 939 Ni-base superalloy with BNi-9 brazing

Hyun-Ki Kang*, Sam Sub Byun, Jong Yeob Lee (Turbo Power Tech), Seunghun Lee (TESOne), and Hi Won Jeong (KIMS)

내열1-5 | 14:20 초청강연

HIP 처리된 단결정 초내열합금의 크리프 특성

구지호* (두산에너빌리티(주) 기술연구원), 원영완, 이재현* (국립창원대학교)

Break Time | 14:40

좌장: 최윤석(부산대학교)

내열2-1 | 15:00 초청강연

민수용 GA급 항공기용 가스터빈엔진 Material Characterization 개발

손인수*, 이동엽, 김보희, 안두홍 (한화에어로스페이스)

내열2-2 | 15:20 초청강연 **Canceled**

항공 엔진 터빈모듈 핵심 소재부품 기술개발 현황 및 발전 방향

김영무*, 송영범, 김동훈, 김규식, 김상훈, 김대웅 (국방과학연구소)

내열2-3 | 15:40 초청강연

3D 프린팅을 활용한 가스터빈 블레이드용 세라믹 코어 개발 현황

윤병관*, 주승로 (지엔캐스트), 최정호, 변창길, 안정환 (HD현대마린엔진), 한만규, 이수민 (천지산업(주))

내열2-4 | 16:00 초청강연

석출강화형 Haynes 282 초내열합금의 열처리 설계에 따른 고온 변형 기구 해석

홍현욱* (국립창원대학교)

Break Time | 16:20

좌장: 홍현욱(국립창원대학교)

내열3-1 | 16:40 초청강연

크리프 수명 예측을 위한 다양한 인공지능 접근법

최윤석*, 이태주, 조태현 (부산대학교)

내열3-2 | 17:00 초청강연

Ni기 초내열합금 IN738LC의 열간노출에 따른 미세조직 및 Creep 변형 거동

김병훈, 공병욱, 장익제 (국립창원대학교), 주영규, 김보희 (한화에어로스페이스), 이재현* (국립창원대학교)

내열3-3 | 17:20 초청강연

Alloy 718 합금의 석출 특성이 크리프 변형 거동에 미치는 영향

박찬희 (한국과학기술연구원, 고려대학교), 정우상* (한국과학기술연구원)

내열3-4 | 17:40 초청강연

Local plastic deformation in the vicinity of topologically close-packed phases in a Ni-based single crystal superalloy

Sangwon Lee* (KIMS, KAIST, Karlsruhe Institute of Technology), Jeonghyeon Do, Baig Gyu Choi (KIMS), Ujjval Bansal, Christoph Kirchlechner (Karlsruhe Institute of Technology), Pyuck-Pa Choi (KAIST), and Subin Lee (Karlsruhe Institute of Technology)

철강산업재도약 기술개발사업 가공 · 후처리 기술분야 심포지엄

위원장 : 정희돈(철강산업재도약 운영지원단)
실무위원 : 박유수(한국금속재료연구조합)
Room 봅슬레이+바이에슬론, 10월 29일

좌장: 박유수(한국금속재료연구조합)

개회사 | 09:00

재도약1-1 | 09:10 초청강연

하이퍼루프 국내외 개발동향과 적용 가능성

이민근* (스틸투모로우)

재도약1-2 | 09:50 초청강연

다종소재 접합 및 체결기술을 적용한 1.0GPa급 이상 초고강도강 기반 차체부품 개발

서종덕* (㈜신영)

재도약1-3 | 10:10 초청강연

자동차 구조부품용 기가급 저항복비 냉간 비조질강 선재 제조기술개발

서은빈* (부곡스텐레스)

Break Time | 10:30

좌장: 박유수(한국금속재료연구조합)

재도약2-1 | 10:40 초청강연

기가급 초고장력강판 제조를 위한 롤 코팅 소재 및 공정기술개발

이태규* (㈜성욱표면처리부문)

재도약2-2 | 11:00 초청강연

발표백색도 30이하의 전자제품용 합금도금강판의 흑색 질감 기술 개발

김성진 (순천대학교)

재도약2-3 | 11:20 초청강연

고내식 도금 철강소재의 성형 및 응용기술 개발

박순균* (비피시(주))

자유토론 | 11:40

가공-소성가공

위원장: 이호년(한국생산기술연구원)
총무간사: 문경일(한국생산기술연구원), 배규열(포스코), 박은수(서울대학교), 오세권(한국생산기술연구원), 이광석(한국재료연구원)
Room 봅슬레이+바이에슬론, 10월 29일

좌장 : 장효선(한국재료연구원)

소성1-1 | 13:00

휴대용 부탄가스캔 안전돔용 BP 제품 개발
김재형*, 박기철 (㈜포스코)

소성1-2 | 13:15

핫스탬핑 강판의 고속 트리밍에 관한 연구
박찬훈*, 손성국 (Hyundai Motor Group), 이은호, 임재혁, 이석원 (Sungkyunkwan University), 윤승채, 박재명 (Hyundai Steel)

소성1-3 | 13:30

Analysis of shear characteristics of quenchable boron-alloyed steel 22MnB5 during the hot mechanical piercing process
Seung-Chae Yoon*, Kye-Jeong Park, Jea-Myoung Park, Je-Youl Kong, Hye-Jin Kim, Ji-Young Kim, and Dong-Yul Lee (Hyundai Steel R&D Center)

소성1-4 | 13:45

Development of resettable lightweight/cost-effective ferritic medium entropy alloy via L21 nanoprecipitation
심상훈, 권현준 (한국재료연구원), 박강현, 송기안 (공주대학교), 장혜정 (한국과학기술연구원), 임가람* (한국재료연구원)

소성1-5 | 14:00

Investigation of cold trim in conjunction with tailored cooling method for aluminized boron steel in hot stamping process.
Park Jae-myoung, Yoon Seun-chae*, Kim Hye-jin, Kong Je-youl, Park Kye-jeong, Lee Dong-yul (Hyundai Steel), Park Chan-hoon, and Son Seong-guk (Hyundai Motor Company)

소성1-6 | 14:15

초음파 나노표면개질 공정이 철강 선재 소재의 탈탄층에 미치는 영향
김상현 (한국재료연구원, 국립안동대학교), 우영윤, 이영선 (한국재료연구원), 김영식 (국립안동대학교), 윤은유* (한국재료연구원)

소성1-7 | 14:30

Fe-Mn-Cr계 비조질강을 활용한 바우싱거 효과 규명에 관한 연구
박문원, 이종혁 (인하대학교 제조혁신전문대학원), 임재한, 이규호 (현대제철), 장병록* (인하대학교 제조혁신전문대학원)

AR/VR 및 초미세 디스플레이기술

위원장: 이태우(서울대학교)
실무위원: 문제현(한국전자통신연구원), 김수영(고려대학교), 조힘찬(한국과학기술원)
Room 봅슬레이+바이에슬론, 10월 29일

좌장 : 조힘찬(한국과학기술원(KAIST))

초미세1-1 | 15:00 초청강연(Keynote)

Development of Cd-free Quantum Dots for Industrial Applications
Tae-Gon Kim* (Samsung Electronics)

초미세1-2 | 15:35 초청강연

Direct and Indirect Photopatterning of Quantum Dots
Moon Sung Kang* (Sogang University)

초미세1-3 | 16:00 초청강연

Patterning Strategy of colloidal quantum dots to design high-performance and high-resolution devices and sensors
Soong Ju Oh* (Korea University)

초미세1-4 | 16:25 초청강연

High-Resolution InGaN Nanorod Pixels for Advanced Near-Eye Display Applications
Yong-Ho Ra* (Jeonbuk National University)

초미세1-5 | 16:50 초청강연

Micro-LEDs with directional emission for AR displays
이재상* (서울대학교)

초미세1-6 | 17:15 초청강연

OLED 마이크로 디스플레이에서 화소 간 전기광학적 간섭에 의한 색재현율 변화 연구
이현구*, 심수빈, 강한을, 황연수 (숙명여자대학교), 강찬모, 안대현, 김주연, 조현수, 신진욱, 주철웅, 김기현, 변춘원, 조남성 (한국전자통신연구원), 윤혁민, 안영재, 김진선 (동진쎄미켐)

금속역사

위원장: 조남철(공주대학교)
총무간사: 이재성(문화재보존과학센터)
Room 알펜시아홀, 10월 29일

좌장 : 허일권(국립중앙박물관)

역사1-1 | 09:00

월정사 팔각구층석탑 상륜부 금속부의 성분 분석을 통한 원형과 복원부의 분류
조남철* (공주대학교)

역사1-2 | 09:15

고령 지산동 518호분 출토 금동제 관식 제작기법 연구
한우림* (국립가야문화유산연구소)

역사1-3 | 09:30

원삼국시대 주조철부에서 관찰되는 주철탈탄 기술 비교 연구

이재성* (국립문화유산연구원 문화유산보존과학센터)

역사1-4 | 09:45

제조공정에 따른 고려시대 청동용기의 미세조직과 기계적 특성 변화

김소진 (국립문화유산연구원, 한양대학교), 김영도* (한양대학교)

역사1-5 | 10:00

조선시대 대형 화살의 분류 기준과 제작기술 검토

최보배 (국립진주박물관), 이혜진 (육군박물관), 허일권*, 박학수 (국립중앙박물관 보존과학부)

역사1-6 | 10:15

도시-산업 환경에서 야외 청동 조형물의 부식 거동 연구 : 황화물 인공 파티나 부식 실험

권희홍 (국립현대미술관), 조남철* (국립공주대학교)

융합재료과학

위원장: 전석우(고려대학교)
부위원장: 김수영(고려대학교)
총무간사: 정연식(한국과학기술원)
Room 알펜시아홀, 10월 29일

좌장 : 김연후(한국표준과학연구원)

융합1-1 | 10:40 초청강연

Polymer globule membranes for fine filtration of Au catalysts and fabrication of ultrafine Si nanowires

Tae Won Nam* (Pusan National University)

융합1-2 | 11:05 초청강연

Bio-inspired self-adaptive composites with reprogrammable self-folding behaviors

Sung Hoon Kang* (Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))

융합1-3 | 11:30 초청강연

Effects of Radiation on 2D Materials-based Electronics

Yeonhoo Kim* (Korea Research Institute of Standards and Science)

융합1-4 | 11:55

A Complex of Dissolved Copper With Halide Anion Reconstructs the Copper Catalyst During Acidic CO2 Electroreduction

Hyeontae Kim, Ji-Yong Kim (Seoul National University), Dae-Hyun Nam* (Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology), and Young-Chang Joo* (Seoul National University)

철강: 철강B-압연,강종개발,후처리

위원장: 김성연(포스코)
총무간사: 김성규(포스코), 박주현(한양대학교), 황병철(서울과학기술대학교)
Room 알펜시아홀, 10월 29일

좌장 : 유병길(현대제철기술연구소)

철강B1-1 | 13:00

중탄소강의 페라이트-펄라이트 미세조직과 항복강도에 미치는 Si 첨가의 영향

고재현 (한국재료연구원, 부산대학교), 김경원, 장재훈 (한국재료연구원), 이기영, 박현, 김정한 (동아대학교), 이정원, 김용현 (디와이파워주식회사), 홍성민 (㈜현대제철), 강전연* (한국재료연구원), 최윤석* (부산대학교)

철강B1-2 | 13:15

The effect of hydrogen embrittlement of laser cutting on 1.5GPa grade TRIP steel

김형준, 정현빈, 고성민, 조누리 (Yonsei Univ.), 정기택 (POSCO), 이영국* (Yonsei Univ.)

철강B1-3 | 13:30

고압수소가스 및 전기화학적 수소 환경 하 API X80급 라인파이프강의 수소취성 거동

오동규, 신승혁 (서울과학기술대학교), 유용재, 김규태 ((주)현대제철 연구개발본부), 황병철* (서울과학기술대학교)

철강B1-4 | 13:45

Analysis of Low-Temperature Toughness of SA350LF3 Material under Different Heat Treatment Conditions

박동준, 유진영, 천세호, 이성호, 송종한, 이승엽, 이정훈 (부산대학교), 이채훈, 이진모 ((주) 태웅), 이태경* (부산대학교)

철강B1-5 | 14:00

공석강 내 Cu, Sn 함량에 따른 미세조직 및 기계적 물성 평가

김채영, 정문식 (한양대학교), 류건희, 최벽파 (한국과학기술원), 강민우 (현대자동차), 한정호* (한양대학교)

철강B1-6 | 14:15

Mechanical properties and carbide precipitation behavior of ultrahigh strength secondary hardening steels with reduced alloying elements

Yoonjung Won and Kisub Cho* (Kookmin University)

철강B1-7 | 14:30

Development of high fracture toughness TRIP-maraging steel through the segregation engineering and α-Mn nanoprecipitation

예정원, 김민석, 박은수* (서울대학교)

Break Time| 14:45

좌장 : 신상용(울산대학교)

철강B2-1 | 14:50

전산재료과학을 활용한 고내식 강재 개발 탐색

조현석, 김경덕* (포항공과대학교)

철강B2-2 | 15:05

온간압연을 통한 극저온 인성과 수소취성 저항성이 우수한 저니켈강 개발

이현욱, 신혜주, 한정호* (한양대학교)

철강B2-3 | 15:20

액화 수소 환경을 위한 Ni 함유 마르텐사이트 강 개발

한효주, 이현욱 (한양대학교 신소재공학과), 박민호, 소형섭 (현대제철 기술연구소), 한정호* (한양대학교 신소재공학과)

철강B2-4 | 15:35

페라이트/마르텐사이트 9-12Cr 내열강 템퍼링 열처리에 따른 미세조직 변화에 관한 연구

박봉천 (한국재료연구원, 부산대학교), 김성대 (부경대학교), 장재훈* (한국재료연구원), 강남현* (부산대학교)

철강B2-5 | 15:50

Effect of the annealing condition on the texture evolution in high-Si non-oriented electrical steel

Jimin Kim (UNIST), Seonghyeon Yoo, Yongkeun Ahn, Chun Ku Kang (Hyundai Steel R&D Center), and Sukbin Lee* (UNIST)

철강B2-6 | 16:05

위성체용 인바/고강도강 클래딩 강재 개발

신혜주, 이현욱, 김효건, 한정호* (한양대학교)

Break Time| 16:20

좌장 : 한정호(한양대학교)

철강B3-1 | 16:30

Dynamic recrystallization behavior and textural evolution of medium Mn steel after friction-stir welding (FSW)

Hyo-Nam Choi and Seung-Joon Lee* (Tech University of Korea (TU Korea))

철강B3-2 | 16:45

Development of high strength medium-Mn steel using machine learning aided genetic algorithm

Jin-Young Lee, Seung-Hyun Kim, Hyun-Bin Jeong (Yonsei Univ.), Keunwon Lee, Kisub Cho (Kookmin Univ.), and Young-Kook Lee* (Yonsei Univ.)

철강B3-3 | 17:00

Study on the strengthening behavior of friction-stir welded Fe-17Mn damping alloy

Jong-Hun Kim and Seung-Joon Lee* (Tech university of korea)

철강B3-4 | 17:15

적층제조를 통해 제작된 경사형 내식 경량철강의 열처리에 따른 적층계면 미세조직 및 표면 내식성 변화에 대한 연구

김정훈, 문준오* (국립창원대학교), 박성준, 하헌영 (한국재료연구원 극한재료연구소), 이시환, 한흥남 (서울대학교)

철강B3-5 | 17:30

Low-temperature superplasticity in Fe-10.6Mn-xSi steel

Hyun-Bin Jeong, Jin-Young Lee, Ju-Chan Jin (Yonsei University), Hyung-Jin Cho (Yonsei University, Republic of Korea Air Force Logistics Command), and Young-Kook Lee* (Yonsei University)

철강B3-6 | 17:45

오스테나이트계 경량철강의 합금 원소와 냉각 속도에 따른 미세조직 및 기계적 성질 변화에 대한 연구

권민지, 문준오* (국립창원대학교), 박성준 (한국재료연구원)

첨단반도체 후공정 패키징 소재기술 심포지엄

위원장: 최창환(한양대학교) 송재용(POSTCH)
한흥남(서울대학교)
실무위원: 이기영(홍익대학교), 김정환(한밭대학교),
최민재(한국원자력연구원)
Room 콘서트홀, 10월 29일

좌장: 최민재(한국원자력연구원)

후공정1-1 | 09:00 초청강연

Material Collaboration with AI Memory Packaging

이규제* (SK하이닉스)

후공정1-2 | 09:25 초청강연

20μm 피치의 범프 수 500,000을 초과하는 칩온웨이퍼(CoW) 기술

최광성*, 주지호, 최광문, 신정호, 이찬미, 장기석, 오진혁, 윤호경, 문석환, 정지은, 이가은, 엄용성 (한국전자통신연구원)

후공정1-3 | 09:50 초청강연

글라스 기판을 활용한 어드밴스드 패키징 기술의 미래 방향

김성진* (아진전자)

Break Time| 10:15

좌장: 이기영(홍익대학교)

후공정2-1 | 10:35 초청강연

Nanomechanical modeling of fracture and plasticity in metallic multilayers during thermal cycles

Ill Ryu* (Seoul National University)

후공정2-2 | 11:00 초청강연

Nanomechanical modeling of fracture and plasticity in metallic multilayers during thermal cycles

Hanwool Yeon*(GIST)

후공정2-3 | 11:25 초청강연

The advanced packaging technology in AI era ; 2.5D & Chiplet for Integration

김종헌* ((주)네패스)

제100회 철강기술 심포지엄

위원장: 김성연(포스코)
실무위원: 태순재(현대제철)
Room 콘서트홀, 10월 29일

개회사 | 13:00
이보룡 (현대제철)

축 사 | 13:05
김성연 (포스코)

좌장: 정유동(현대제철)

기술1-1 | 13:10 초청강연
새로운 과거와 오래된 미래, Fe
민동준* (연세대학교)

기술1-2 | 13:35 초청강연
G · A · X 시대 K-Steel Way 는? (*G · A · X : Green & AI Transformation)
장웅성* (산업통상자원 R&D전략기획단)

좌장: 태순재(현대제철)

기술2-1 | 14:00 초청강연
지속 가능한 친환경 핵심 소재 – 철강 재료의 현재와 도전
서동우* (POSTECH)

기술2-2 | 14:25 초청강연
저탄소 철강 제품/기술 개발 및 Scope 3 협업 동향
이규영* (포스코)

기술2-3 | 14:50 초청강연
미래 모빌리티 혁신을 위한 철강 솔루션 개발 현황
권태우* (현대제철)

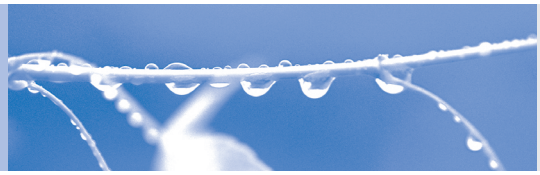
Break Time | 15:15

좌장: 김용희(현대제철)

기술3-1 | 15:30 초청강연
제철 부산물 활용 기술에 대한 연구 동향
김진만* (공주대학교)

기술3-2 | 15:55 초청강연
탄소중립과 한국 철강의 미래
이준호* (고려대학교)

ORAL SESSION III 10월 30일



복합화력발전용 증기터빈 소재부품 기술개발 심포지엄

위원장: 정재석(두산에너빌리티)
실무위원: 정상우(KSP), 김동수(CSCAM), 박종화(대창솔루션), 김준섭(진양TBX), 신종호(두산에너빌리티), 임광혁(한스코)
Room 메도우, 10월 30일 09:10 - 10:10

좌장 : 송전영(두산에너빌리티)

증기터빈1-1 | 09:10 초청강연

복합화력 발전용 증기터빈 소재부품 기술개발 현황
정재석* (두산에너빌리티)

증기터빈1-2 | 09:30 초청강연

소성불안정 기준에 따른 균열감수성지수를 이용한 열간단조작업에서 균열 예측 및 평가
이민식*, 이태경* (부산대학교), 이상원 (재료연구원), 정성군 (에스엔더블류)

Break Time | 09:50

좌장 : 서진유(한국과학기술연구원)

증기터빈2-1 | 10:00 초청강연

HR3C 오스테나이트계 내열강의 고온 산화 및 크리프 거동 분석
이건직 (한국과학기술연구원, 고려대학교), 손석수 (고려대학교), 심재혁* (한국과학기술연구원)

증기터빈2-2 | 10:20 초청강연

복합화력발전 증기터빈용 630 ℃급 로터 제조와 기계적 특성
신종호*, 이민복, 송전영, 방승국, 정재석, 마영화 (두산에너빌리티)

증기터빈2-3 | 10:40 초청강연

바나듐 첨가 내열강의 고온 저주기 피로 특성
김진경* (한양대학교 재료화학공학과), 김성훈, 이태호 (한국재료연구원), 신종호 (두산에너빌리티)

증기터빈2-4 | 11:00

마르텐사이트계 내열강의 Cu 첨가에 의한 630C 크리프 거동 및 미세조직 분석
김두현 (고려대학교, 한국과학기술연구원), 이병현, 김긍호, 정우상, 김동익 (한국과학기술연구원), 신종호 (두산에너빌리티), 이태호 (한국재료연구원), 손석수* (고려대학교), 서진유* (한국과학기술연구원)

Break Time | 11:20

좌장 : 심재혁(한국과학기술연구원)

증기터빈3-1 | 13:00 초청강연

Fe-Mn-Al-C 오스테나이트계 경량강의 시효 시 입계 석출과 파괴거동의 해석
이동원 (포항공대), 윤건영, 박성준 (한국재료연구원), 이재상, 허윤욱* (포항공대)

증기터빈3-2 | 13:20 초청강연

발전용 경량철강의 나노 κ-carbide 전단 구동 동적변형시효 현상과 피로 특성
홍현욱*, 김시연, 주하연 (국립창원대), 김치원, 박성준 (한국재료연구원)

증기터빈3-3 | 13:40 초청강연

경량철강 대형 소재의 냉각 조건에 따른 내부 특성 분포 변화 예측
박성준*, 김경원 (한국재료연구원), 이준희 (한국재료연구원, 동의대학교), 김성훈, 조효행, 박형권 (한국재료연구원), 이인섭 (동의대학교)

Break Time | 14:00

좌장 : 마영화(두산에너빌리티)

증기터빈4-1 | 14:10 초청강연

Nimonic 80A 초내열 합금의 입계 파형 제어 및 기계적 특성 평가
김가영, 정휘윤 (부산대학교), 정희원 (한국재료연구원), 이제인* (부산대학교)

증기터빈4-2 | 14:30 초청강연

Investigating the factor for improving flowability of Ni-based superalloy powder for 3D printing
Seungil Park, Chaemin Seoul, Seunghan Kim, Guyoung Min, Jihyeon An (Chonnam National University), Uk Sim (Korea Institute of Energy Technology), and TAE-HOON KIM* (Chonnam National University)

증기터빈4-3 | 14:50 초청강연

L-PBF 적층한 IN625합금의 이방특성 제어를 위한 HIP 공정 설계
이병수*, 송영환 (한국생산기술연구원 기능성소재부품그룹), 한성국, 김동수 (씨에스캠(주))

증기터빈4-4 | 15:10 초청강연

Effect of Nb and Mo addition on dynamic recrystallization behavior of Nimonic 80A during creep
Shaik Mahammad Ali*, Sangwon Lee, Hyungsoo Lee, Dae Won Yun, Young-Soo Yoo, Seong-Moon Seo, and Hi Won Jeong (Department of Extreme Materials Research Institute, Korea Institute of Materials Science)

소재연구 데이터 심포지엄

위원장: 권용우(홍익대학교)
실무위원: 최현주(국민대학교)
Room 레이크, 10월 30일

좌장 : 박민규((주)버추얼랩)

데이터1-1 | 09:00 초청강연

소재 온톨로지 기반 연구데이터 통합을 위한 소재 생태계 플랫폼 구축
신정호* (한국화학연구원), 박민규 (주식회사 버추얼랩), 서동화 (한국과학기술원), 민성욱 (경기대학교), 김명진 (경북대학교), 김용주 (고려대학교), 신세은 (국립순천대학교), 차필령 (국민대학교), 이동화 (포항공과대학교), 임창동 (한국재료연구원), 신호선 (한국표준과학연구원), 김병현 (한양대학교 에리카)

데이터1-2 | 10:00 초청강연

언어 모델과 자율화 실험실 기반 소재 설계: 수전해 촉매 예시
김동훈* (한국과학기술연구원)

데이터1-3 | 10:30 초청강연

자연어 처리 기술을 활용한 문헌 기반 PSPP 관계성 데이터 자동 구축 기술
이동화* (포항공과대학교)

데이터1-4 | 11:00 초청강연

전자저널을 통한 데이터 수집 관련 법적 이슈: 저작권법과 TDM라이선스
박제범* (특허법인플러스 · 법률사무소플러스)

좌장 : 김병현(한양대학교)

데이터2-1 | 13:00 초청강연

소재연구데이터 기반 연구생태계 구축을 위한 표준어휘 및 스키마
이광렬* (한국과학기술연구원 계산과학센터)

데이터2-2 | 13:30 초청강연

소재 실험데이터 구축 전략: 미래 모빌리티용 알루미늄 합금
김세훈*, 이민재, 이혜인 (한국자동차연구원)

데이터2-3 | 14:00 초청강연

데이터기반 소재 개발 : 데이터플랫폼 활용의 예
장현주* (한국화학연구원)

데이터2-4 | 14:30 초청강연

Data-driven discovery of electrochemistry in ferroelectrics
Yunseok Kim* (Sungkyunkwan University (SKKU))

알루미늄

위원장 : 김형욱 (한국재료연구원)
총무간사 : 김세훈 (한국자동차연구원),
김명균 (포항산업과학연구원), 조영희 (한국재료연구원)
Room 포레스트, 10월 30일

좌장 : 김재황(한국생산기술연구원)

알루미늄1-1 | 08:30 초청강연

탄소중립에 대응하는 국내외 알루미늄 산업 및 기술동향
김명균*, 하원, 김덕 (포항산업과학연구원)

알루미늄1-2 | 08:55

AA7050 단조재의 석출거동 및 인장특성
이상화 (전북대학교, 조선대학교), 신정호 (세아창원특수강), 정재길* (전북대학교)

알루미늄1-3 | 09:10

Al-10Si-0.35Mg 주조재의 미세조직 및 국부적 부식 거동에 대한 연구
김영서, 신한균 (동아대학교), 조영희, 어광준 (한국재료연구원), 이효종, 김정한* (동아대학교)

알루미늄1-4 | 09:25

석출 경화형 Al-Zn-Cu-Mg합금의 마모 특성
신지용, 정현우 (한국재료연구원, 부산대학교), 정일석, 최은애 (한국재료연구원), 권세훈 (부산대학교), 한승전* (한국재료연구원)

알루미늄1-5 | 09:40

복합 주조 공정에 의한 Al-Si-Sr/Cu 바이메탈 제조 및 계면 반응층 제어에 관한 연구
임하윤 (한국재료연구원, 부산대학교), 김병주 (중소조선연구원), 천현석 (한국재료연구원, 부산대학교), 이윤수, 김수현* (한국재료연구원), 이욱진* (부산대학교)

Break Time | 09:55

좌장 : 강헌(한국생산기술연구원)

알루미늄2-1 | 10:05 초청강연

ICAA19 주요 발표 내용 및 동향 보고
김재황* (한국생산기술연구원, UST, 국가과학기술연구회)

알루미늄2-2 | 10:30

Al-Si 합금의 응고 거동 및 열처리에 따른 상변화 양상 및 기계적 특성 분석
문준혁 (서울대학교), 류채우* (홍익대학교), 박은수* (서울대학교)

알루미늄2-3 | 10:45

AA2026 합금의 인장 특성 및 석출에 대한 사전변형과 이중시효 열처리의 영향
강현우, 김하늘, 김희국, 장병록* (인하대학교제조혁신전문대학원)

알루미늄2-4 | 11:00

Investigation of mechanical properties of friction-stir-welded AA6061 alloy at 20 K

Thanh Dat Nguyen (Korea Atomic Energy Research Institute, Chungnam National University), You Sub Kim, Chetan Singh (Chungnam National University), Stefanus Harjo (Japan Atomic Energy Agency), and Soo Yeol Lee* (Chungnam National University)

알루미늄2-5 | 11:15

합금 설계를 통한 고Mg 알루미늄합금의 쌍롤주조 편석 제어 방법

장재철 (서울대학교, 한국생산기술연구원), 이강래, 송람, 최경환, 김봉환 (한국생산기술연구원), 정인호* (서울대학교)

좌장 : 김재황(한국생산기술연구원)

알루미늄3-1 | 13:00

알루미늄 용탕 내 비금속개재물 정량평가 방법

김덕*, 김명균 (포항산업과학연구원)

알루미늄3-2 | 13:15

AA 6007 판재의 Ti/Zr/V Conversion Coating Layer 미세조직 분석 및 판재 표면 개질에 의한 접착강도 향상

이재호, 박현순* (인하대학교), 허용강 (현대제철(주))

알루미늄3-3 | 13:30

알루미늄 합금의 Step-quenching에 따른 나노 클러스터 형성의 변화

유용상 (한국생산기술 연구원, 전북대학교), 박선우, 이미영 (한국생산기술 연구원), 박지욱 (한국생산기술 연구원, UST 과학기술연합대학), 김대환, 전재열 (한국생산기술 연구원), 김재황* (한국생산기술 연구원, UST 과학기술연합대학, 국가과학기술연구회)

알루미늄3-4 | 13:45

Al-Si-Mg 합금에 Fe첨가가 미세조직 및 기계적특성에 미치는 영향

박선우 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 박지욱 (한국생산기술연구원), 이미영, 유용상, 전재열, 김대환 (한국생산기술연구원), 김재황* (한국생산기술연구원, UST 과학기술연합대학, NST 국가과학기술연구회)

알루미늄3-5 | 14:00

Parameters to determine the formation of hardening precipitates in Al7xxx alloy

한정우*, 양하규, 박승준 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 강이승, 김규현* (한국생산기술 연구원)

Break Time | 14:15

좌장 : 김덕(포항산업과학연구원)

알루미늄4-1 | 14:25 초청강연

국내 알루미늄 탄소 중립을 위한 산업 기술 동향

허용강*, 박호준, 노희석 (현대제철연구소)

알루미늄4-2 | 14:50 Canceled

Behavior of nanograined Al alloy

Sung Eun Kim* (Inha University)

알루미늄4-3 | 15:05

알루미늄 압출재의 변형률 의존 파단 물성 확보 및 DSSE 모델 적용

홍서준, 김형서 (서울대학교), 경준석 (현대모비스), 이명규* (서울대학교)

알루미늄4-4 | 15:20 Canceled

Exploring Corrosion Behavior of Al-Si-Mg Alloys: Role of Intermetallic Phases

Saif Haider Kayani*, Young-Hee Cho, Heon-Young Ha, and Jung-Moo Lee* (Korea Institute of Materials Science)

항공재료

위원장 : 권용남 (한국재료연구원)
총무간사 : 이동준 (한국재료연구원), 성효경 (국민대학교)
Room 평창1, 10월 30일

좌장 : 이동준(한국재료연구원)

항공1-1 | 08:30

항공기용 레이저 충격 피닝 공정 기술을 통한 항공 구조물 피로 특성 향상 연구

박주영 (한국항공우주산업(주)), 이원근, 박재석 (두산에너빌리티), 정유인* (한국항공우주산업(주))

항공1-2 | 08:45

고주파 열처리 조건에 따른 잔류응력 변화 분석

김경수* (퓨전이엔지), 김혁, 김민규 (현대자동차), 이동준, 조윤지 (한국재료연구원)

항공1-3 | 09:00

항공용 타이타늄 소재국산화 개발사례 및 향후 개발전략

김예진, 전현희, 오석근, 장영환, 정유인* (한국항공우주산업(주))

항공1-4 | 09:15 Canceled

항공용 AMS6490/6491 베어링강 합금의 국산화

권용혁, 김종식, 주경준, 금보경, 손희영, 이기영* (케이피씨엠)

Break Time | 09:30

좌장 : 박현일(한국재료연구원)

항공2-1 | 09:40

국산 복합재 활용 항공기 부품 국산화 개발 고찰

김희성*, 정유인* (한국항공우주산업(주))

항공2-2 | 09:55

항공용 Ti-6Al-4V Mill Annealed & Beta Annealed 단조소재 국산화

주경준*, 김종식, 권용혁, 금보경, 손희영, 이기영* (케이피씨엠)

항공2-3 | 10:10

항공기용 소재 물성 평가를 위한 통계분석 플랫폼 개발

안교진 (한국항공우주산업(주)), 마태동 (테스코(주)), 정유인* (한국항공우주산업(주))

항공2-4 | 10:25

항공기 구성품 피로 및 손상허용 시험에 따른 파단면 분석 사례

조은준*, 정유인, 박서신 (한국항공우주산업(주)), 손진일 (테스코)

Break Time | 10:40

좌장 : 강성규(경상국립대학교)

항공3-1 | 10:50

The effect of surface treatment processes on the residual stress distribution in S45C welded joints
조윤지*, 백민재, 심현보, 최현성, 박현일, 석무영, 권용남, 이동준* (한국재료연구원), 성현민, 김두영 (현대자동차)

항공3-2 | 11:05

변형률 게이지 및 XRD 기법을 활용한 응력 추정 Stress estimation using strain gauge and XRD method
반승현, 최현성, 석무영, 이동준, 권용남, 박현일* (한국재료연구원)

항공3-3 | 11:20

금속소재의 피로 균열 치유를 위한 펄스전류 인가 공정설계
홍범락 (한국재료연구원, 부산대학교), 최현성, 석무영, 이동준, 권용남, 박현일* (한국재료연구원)

생체재료

위원장 : 이강식 (서울아산병원)
총무간사 : 강승균 (서울대학교), 이준민 (POSTECH)
Room 평창1, 10월 30일

좌장 : 이준민(POSTECH)

생체1-1 | 13:00

Enhanced bioactivity of polyetheretherketone (PEEK) spinal fusion cage via Ti-ion implantation surface treatment
Sooyeong Kim, Sebin Lee, and Tae-Sik Jang* (School of Biomedical Convergence Engineering, Pusan National University)

생체1-2 | 13:10

Development of polycaprolactone (PCL)-based organic/inorganic hybrid membranes with bioactive ceramic (BC) for guided bone regeneration
Dong-Hee Hong and Tae-Sik Jang* (Pusan National University)

생체1-3 | 13:20

Transient Fiber Electrode for Ecofriendly and Surgical Friendly Devices
김용우, 김경섭, 배재영, 강승균* (서울대학교)

생체1-4 | 13:30 초청강연

Development of solid matrices for detection of small biomolecule by MALDI-TOF mass spectrometry
Jong-Min Park* (Hallym University)

생체1-5 | 13:50 초청강연

메타물질과 복사냉각 소재를 활용한 의공학적 기술 연구
이다솔* (연세대학교(미래캠퍼스) 의공학부)

좌장 : 구자현(고려대학교)

생체2-1 | 14:30 초청강연

Ag2S Colloidal Quantum Dots for Near-infrared Photothermal Therapy & Imaging
Min-Jae Choi* (Dongguk University)

생체2-2 | 14:50 초청강연

Design and processing of electrochemical materials for next-generation biointerfaces
Jimin Park* (KAIST)

생체2-3 | 15:10

Design and Application of Smart Gloves Based on Super-capacitive Ionic Sensor
Jeonghyun Kim*, YANG LURONG (Kwangwoon University), Yang Li, and Jianwen Liu (Shandong University)

생체2-4 | 15:25

Biodegradable and self-deployable materials and designs for minimally invasive electronics
배재영 (서울대학교), 황경석 (UNIST), 김영서 (서울대학교), 김주영 (UNIST), 강승균* (서울대학교)

인공지능재료과학

위원장 : 이승철 (한국과학기술원)
부위원장 : 윤종필 (한국생산기술연구원), 김동훈 (한국과학기술연구원)
총무간사 : 김문조 (한국생산기술연구원), 김세종 (한국재료연구원), 김용주 (고려대학교)
Room 평창2, 10월 30일

좌장 : 김용주(고려대학교)

인공1-1 | 08:30

Prediction of elastic modulus, Poisson's ratio, and phase volume fraction from XRD patterns in high-elasticity aluminum casting alloys using deep learning models
Sehyeok Oh*, Yoon-Ho Lee (Korea Institute of Materials Science), Mingi Oh (Korea Institute of Materials Science, INTERX), Young-Hee Cho, Sang-Ik Lee, Jaimyun Jung, and Ho Won Lee* (Korea Institute of Materials Science)

인공1-2 | 08:45

Improving Battery Cycle Life Prediction Across Diverse Chemistries and Conditions Using Machine Learning Models
Gaheun Shin and Joonhee Kang* (Pusan National Univ.)

인공1-3 | 09:00

Investigation of lithium solvation behavior in organic liquid electrolytes using pretrained machine learning potential
Jinmu You*, Suyeon Ju, Gijin Kim (Seoul National University), and Seungwu Han (Seoul National University, Korea Institute for Advanced Study)

인공1-4 | 09:15

Zero-shot Improvement of Machine Learning Potential for Adsorption
Wongyu Park and Jeong Woo Han* (Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University)

인공1-5 | 09:30

Crystal structure prediction for corner-sharing topology using neural network potential: Application to solid electrolytes

Seungwoo Hwang, Jiho Lee (Seoul National University), Sungwoo Kang* (Korea Institute of Science and Technology), and Seungwu Han* (Seoul National University)

인공1-6 | 09:45

Application of Pretrained Machine Learning Potential to Solid Electrolytes

JiHo Lee, Seungwoo Hwang (Seoul National Univ.), Youngho Kang* (Incheon National Univ.), and Seungwu Han* (Seoul National Univ.)

인공1-7 | 10:00 **Canceled**

Machine-learning-aided accelerated discovery of high-performance metal organic frameworks for adsorbent-water adsorption heat pump

Sanghyun Kim and Joo-Hyoung Lee* (Gwangju Institute of Science and Technology (GIST))

Break Time | 10:15

좌장 : 김문조(한국생산기술연구원)

인공2-1 | 10:25

Optical property dataset of inorganic phosphor

Seunghun Jang* (Korea Research Institute of Chemical Technology)

인공2-2 | 10:40

사용자 수정형 AI 솔루션을 활용한 불량 저감 방법

이창선*, 남재혁, 김광육, 김용환 (인하대학교)

인공2-3 | 10:55

다중 출처로부터 수집된 크리프 데이터의 전처리와 이를 활용한 최적 크리프 수명 예측 모델

이태주, 최윤석* (부산대학교)

인공2-4 | 11:10

MaTableGPT: GPT-based Table Data Extractor from Materials Science Literature

Gyeong Hoon Yi, Jiwoo Choi (Korea Institute of Science and Technology, Korea Univ.), Jaewoong Choi, Byungju Lee (Korea Institute of Science and Technology), Seok Su Sohn (Korea Univ.), Sang Soo Han*, and Donghun Kim* (Korea Institute of Science and Technology)

인공2-5 | 11:25

CatRE: A Transformer-based Relation Extraction Model for Water Splitting Catalysis Literature

Jiwoo Choi, Gyeong Hoon Yi (Korea Institute of Science and Technology, Korea university), and Donghun Kim* (Korea Institute of Science and Technology)

인공2-6 | 11:40

Implementing LLM chain of thought techniques for efficient data extraction from material science literature

Daegun Lee (Korea Institute of Science and Technology, Korea University), Seok Su Sohn* (Korea University), and Donghun Kim* (Korea Institute of Science and Technology)

좌장 : 이승철(한국과학기술원)

인공3-1 | 13:00

Predicting Solidus and Liquidus Points of Alloys for Additive Manufacturing: A Machine Learning Approach

Jaemin Wang, Sang-Ho Oh, Hyeonseok Kwon, Hyoung Seop Kim, and Byeong-Joo Lee* (Pohang University of Science and Technology (POSTECH))

인공3-2 | 13:15

Transfer learning to predict hardness of additively manufactured high entropy alloys

Libin Zhang and Yoon Suk Choi* (Pusan National University)

인공3-3 | 13:30

고엔트로피 합금의 경도 예측을 위한 특성인자 탐색 및 머신러닝 모델 최적화

김민규, 남충희* (한남대학교)

인공3-4 | 13:45

물리 이론 기반 기계 학습을 활용한 금속 재료의 항복 강도 예측

이정아 (포항공과대학교), 피게이레두* (미나스제라이스 연방대학교), 박효진, 김형섭* (포항공과대학교)

인공3-5 | 14:00

멀티모달 오토인코더 기반 매니폴드 러닝을 활용한 미세먼지 화합물 분류 시스템 개발

최준혁 (국민대학교), 조승호, 최하늘, 최진형 (한국과학기술연구원), 장혜정 (한국과학기술연구원, 과학기술연합대학원대학교), 조기섭* (국민대학교)

Break Time | 14:15

좌장 : 윤종필(한국생산기술연구원)

인공4-1 | 14:25

산업용 CT에서 Diffusion 기반 모델을 이용한 Sparse-view CT Reconstruction 기법

이종현 (한국생산기술연구원, 경북대학교), 김동응, 모찬빈, 김문조, 원홍인, 이상아, 윤종필* (한국생산기술연구원)

인공4-2 | 14:40

Synthetic microstructure generation using diffusion transformers

Hoang Cuong Phan (Korea Institute of Materials Science, University of Science and Technology), Minh Tien Tran, Sehyeok Oh (Korea Institute of Materials Science), and Ho Won Lee* (Korea Institute of Materials Science, University of Science and Technology)

인공4-3 | 14:55

Generative Language Model for Catalyst Discovery

Dong Hyeon Mok and Seoin Back* (Sogang University)

인공4-4 | 15:10

Improving Metallographic Image Segmentation of Carbon Steel via Self-supervised Learning

Hoang-Hai-Nam Nguyen (Korea Institute of Materials Science, Faculty of Advanced Materials Engineering, Korea University of Science and Technology), Hoheok Kim (Korea Institute of Materials Science), and Ho Won Lee* (Korea Institute of Materials Science, Faculty of Advanced Materials Engineering, Korea University of Science and Technology)

가공-용접 및 접합

위원장 : 이호년 (한국생산기술연구원)
총무간사 : 문경일 (한국생산기술연구원), 배규열 (POSCO), 박은수 (서울대학교), 오세권 (한국생산기술연구원), 이광석 (한국재료연구원)
Room 평창3, 10월 30일

좌장 : 홍석현(포스코)

용접1-1 | 09:00 초청강연

재료과학에서 변화의 구동력과 잔류 엔트로피
김성수*, 정종엽 (한국원자력연구원)

용접1-2 | 09:25

VCoNi 중엔트로피 합금과 인코넬 718 초내열 합금 사이의 이종소재 레이저 용접부 미세조직 및 기계적 특성
Hadis Esmaeilpoor (국립한밭대학교), 장태진, 손석수 (고려대학교), 김정한* (국립한밭대학교)

용접1-3 | 09:40

레이저 쇼크피닝 공정을 이용한 Co-Cr-Fe-Ni-Mo 중엔트로피 합금의 레이저 용접 후 극저온 기계적 특성 향상
이재혁 (단국대학교), 김병찬 (공주대학교), 이재훈, 하정홍, 이정훈 (한국생산기술연구원), 이동준 (한국재료연구원), 이동경, 문종언 (공주대학교), 주수현* (단국대학교)

용접1-4 | 09:55

액화수소저장용기 제작을 위한 기존 상용화 재료의 용접재료 개발
남현빈, 박철호* (조선대학교)

용접1-5 | 10:10

핵융합로 구조용 ARAA강 용접부 화학성분 변화에 따른 미세조직 및 기계적 특성에 관한 연구
김경환, 문준오* (국립창원대학교), 박이현 (한국핵융합에너지연구원 증식 블랑켓 연구팀)

Break Time | 10:25

좌장 : 문준오(국립창원대학교)

용접2-1 | 10:35

Strong resistance to Zn-assisted liquid metal embrittlement of austenitic-TWIP/martensitic-HSLA multi-layered steel sheets additively manufactured by laser cladding
Seok-Hyun Hong* (POSCO) and Sung-Joon Kim* (POSTECH)

용접2-2 | 10:50

2.0 GPa급 웜스탬핑 중망간강 저항 점 용접부 접합강도에 미치는 Paint Baking 효과 연구
장여진, 황순기, 이수민 (동의대학교), 이진영, 이영국 (연세대학교), 김동옥 (한국자동차연구원), 박영도* (동의대학교), Sunusi Marwana Manladan (Bayero University)

용접2-3 | 11:05

알루미늄도금 열간성형강의 저항점용접특성 및 용접솔루션 개발
한도경* (포스코)

용접2-4 | 11:20

Al-Zn 개발 도금재의 도금 부착량에 따른 저항 점용접 연속타점 시 전극 합금화 거동 연구
장여진, Nellikode savyasachi, 황순기 (동의대학교), 강남현 (부산대학교), 엄상호 (포스코 글로벌 R&D 센터), 이석규, 백두진 (포스코 기술연구원), 박영도* (동의대학교)

좌장 : 한도경(포스코 기술연구원)

용접3-1 | 13:00

1.5G급 초고강도강/Al 합금의 Lasser SPR 접합성에 미치는 리벳 재질의 영향
이목영* (㈜포스코)

용접3-2 | 13:15

레이저 와블링 용접이 Al/Cu 겹치기 용접부의 기계적 특성에 미치는 영향
윤성민, 유채은 (부산대학교), 김용 (고등기술연구원 지능기계시스템센터), 이제인* (부산대학교)

용접3-3 | 13:30

Ag 나노 다공성 시트와 무도금 Cu 기판의 산화 없는 접합기술 개발
조은진 (한국생산기술연구원, 국립안동대학교), 김예리 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 박영배 (국립안동대학교), 김동진* (한국생산기술연구원)

용접3-4 | 13:45

The Effects of Aging Time on Mechanical and Thermal Properties of Sintered Silver nanoparticles with Pressure for Power Electronics
Yu Hayoung*, YehRi Kim, Min-Su Kim, and Dongjin Kim* (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))

용접3-5 | 14:00

Mechanical properties of in-air Cu sintering for SiC power module
Yeh Ri Kim (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH), Korea University), Ha-young Yu, and Dongjin Kim* (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))

좌장 : 박철호(조선대학교)

용접4-1 | 14:15

API X70 ERW 강관 용접부 저온 충격 인성 향상 및 미세조직 안정화를 위한 M-A 저감 후열처리 공정 조건 최적화
이찬희, 백종민, 홍현욱* (국립창원대학교), 곽진섭, 전동현 (현대스틸파이프)

용접4-2 | 14:30 Canceled

구조용 탄소강 SM20C와 합금강 SCM420H 전자빔 용접 접합부에 대한 미세구조 및 기계적 특성 연구
이대국, 조용재, 박희수 (인하대학교), 손태오 (인하대학교, HD한국조선해양), 김상열*, 현승균* (인하대학교)

용접4-3 | 14:45

Improving Hot Tensile and Impact Toughness of Multi-pass Weld Metal of 460 MPa Fire and Seismic Resistant Steel
SAVYASACHI NELLIKODE, Yeong-Do Park* (Dong-Eui Univ.), Ye-Seon Jeong (Chosun Welding), and Hyung-Kwon Park (Korean Institute of Metals and Materials)

용접4-4 | 15:00

고온 환경에서 탄탈륨 합금과 스틸 폭발압접 계면의 미세조직 변화와 구조적 안정성

김시연 (국립창원대학교), 장성진 (나노종합기술원), 김동훈, 양성호 (국방과학연구소), 홍현욱* (국립창원대학교)

용접4-5 | 15:15

SUS316 용접 시뮬레이션을 통한 공정 최적화 연구

유한준, 장병록* (인하대학교제조혁신전문대), 박은혜 (인하대학교제조혁신전문대, 한국폴리텍대학)

가공-표면처리

위원장 : 이호년 (한국생산기술연구원)
총무간사 : 문경일 (한국생산기술연구원), 배규열 (POSCO), 박은수 (서울대학교), 오세권 (한국생산기술연구원), 이광석 (한국재료연구원)
Room 오디토리움, 10월 30일

좌장 : 오세권(한국생산기술연구원)

표면1-1 | 09:00

저압 고온 산화 후 유기물 코팅한 전해 동박의 내식성 향상

김두원 (한국재료연구원, 경상국립대학교), 최은애, 정일석, 박준상 (한국재료연구원), 강성규 (경상국립대학교), 한승전* (한국재료연구원)

표면1-2 | 09:15

The development of pickling process

HyunJong Kim* (POSCO)

표면1-3 | 09:30

철 산화 거동에 미치는 산소 분압의 영향

박준상 (한국재료연구원, 부산대학교), 김두원, 김강민, 정일석, 최은애 (한국재료연구원), 권세훈 (부산대학교), 한승전* (한국재료연구원)

표면1-4 | 09:45

Ti-6Al-4V 합금의 산소함량에 따른 표면처리가 기계적 및 전기화학적 특성에 미치는 영향 Effect of Oxygen Content on the Mechanical and Electrochemical Properties of Surface-Treated Ti-6Al-4V Alloy

박세영, 이동근* (국립순천대학교)

표면1-5 | 10:00

Zn-Mg-Al 도금 강판의 전단면 내식성에 미치는 소재와 도금 두께 상관 연구

정창우, 나광수*, 장건우, 최혜림, 소성민 (현대제철 기술연구소)

Break Time | 10:15

좌장 : 송명석(한국생산기술연구원)

표면2-1 | 10:25

Effects of Different Peening Techniques on Residual Stress and Microstructure of Nickel alloy

바이바오성, 김선규, 문준호 (부산대학교 기계공학부), 이원근 (두산에너빌리티), 윤은섭 (한국수력원자력), 반치범* (부산대학교 기계공학부)

표면2-2 | 10:40

역 그라디언트 구조를 통한 우수한 인장 물성-성형성 달성

김래언*, 구강희, 최연택, 이정아, 김형섭* (포스텍)

표면2-3 | 10:55

고온고압수 환경에서 원자력 발전소 밸브용 Stellite 6-WC 및 Deloro 50-WC 복합 소재의 마모특성

한종민, 김중훈 (한국생산기술연구원, 동아대학교), 손태봉 (한국원자력산업기술연구조합), 노명섭 (대경기술), 김형찬, 김병준, 남대근 (한국생산기술연구원), 전종배 (동아대학교), 김병구* (한국생산기술연구원)

표면2-4 | 11:10

디스플레이 전극용 Al계 비정질 증착막의 열처리 온도 및 반복에 따른 기계적, 전기적 특성에 관한 연구

민병욱* ((주)이엠엘, 한국기술교육대학교), 김성근, 소원 (한국전자기술연구원), 전창우 ((주)이엠엘), 박금환 (한국전자기술연구원), 박은수* ((주)이엠엘)

표면2-5 | 11:25

제철소 현장 사용 연주롤 부식/마모특성 분석 및 소재 개선안 도출

조재억*, 임창희, 홍대근, 김기범 (포스텍 친환경소재대학원), 박남규 ((주)성욱)

고엔트로피합금

위원장 : 류호진 (한국과학기술원)
총무간사 : 설재복 (국민대학교), 손석수 (고려대학교)
Room 대관령2, 10월 30일

좌장 : 배재웅(부경대학교)

고엔1-1 | 08:30

CoCrNi계 중엔트로피 합금의 열처리 공정에 따른 석출 강화 거동의 정량적 분석

한상윤, 류채우* (홍익대학교)

고엔1-2 | 08:45

다원계 합금에서의 나노 라멜라 구조 형성을 통한 가공 경화능 향상

장태진, 이유나, 백주현 (고려대학교), 오상호, 최연택, 이병주, 김형섭, Alireza Zargaran (포항공과대학교), 손석수* (고려대학교)

고엔1-3 | 09:00

구리 및 구리-은 합금 용탕을 이용한 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금내 3차원 연속연결 dual-phase 헤테로조직 제작과 전기전도도 향상 연구

최문수* (단국대학교), 구강희 (포항공과대학교), 최용석 (단국대학교), 문종언 (공주대학교), 한승전 (한국재료연구원), 김형섭 (포항공과대학교 신소재공학과), 주수현* (단국대학교)

고엔1-4 | 09:15

FeMnAlTiSiMg 초경량 고엔트로피 합금의 열역학적 설계 및 미세조직 제어를 통한 비강도 향상

이한성, 송은효, 이용건 (아주대학교 에너지시스템학과), 유휘근 (아주대학교 첨단신소재공학과, (주)솔고바이오메디칼), 안병민* (아주대학교 에너지시스템학과, 아주대학교 첨단신소재공학과)

고엔1-5 | 09:30

자연 혼합 유도 설계로 개발된 BCC 내열 고엔트로피 합금의 탄성 및 소성 변형 거동 연구

김재권, 김지영 (서울대학교), 오현석 (University of Wisconsin-Madison), 박은수* (서울대학교)

고엔1-6 | 09:45

Thermodynamic description of the Co-Cr-Fe-Mn-Ni-Ti multicomponent system

오상호, 이병주* (포항공과대학교)

Break Time | 10:00

좌장 : 손석수(고려대학교)

고엔2-1 | 10:10 초청강연

CrMnFeCoNi계 형상기억 합금설계

임진수랑, 정휘윤, 최지환, 이제인* (부산대학교)

고엔2-2 | 10:30 초청강연

L-PBF 방식으로 제작된 CoCrNiFe 중엔트로피 합금의 수소취성 저항성 향상에 관한 연구

이동현*, 정재영, 정현, 안윤희 (충남대학교), Yakai Zhao (Institute of Materials Research and Engineering, Singapore)

고엔2-3 | 10:50 초청강연

제일원리계산을 활용한 다원계 합금 내 수소 고용 거동 예측

고원석* (인하대학교)

고엔2-4 | 11:10

In-situ hydrogen embrittlement of CrCoNi medium-entropy alloy

Yoonmoon Chung, Hyo Joo Han, and Jeongho Han* (Hanyang University)

Break Time | 11:25

좌장 : 설재복(국민대학교)

고엔3-1 | 13:00

L-DED로 제작된 Co-Cr-Fe-Mn 고엔트로피 합금의 기계적 특성과 형상 기억 특성에 미치는 탄소 첨가의 영향

박민수, 장위, 이욱진* (부산대학교)

고엔3-2 | 13:15

Study of Low Carbon Green Fabrication Based Spherical Agglomerates of High-Entropy Alloy Powders Based on a Low-Carbon Process

Minjong Kim, Taehyeob Im, Gertrude Mugwe Mongella, and Caroline Sunyong Lee* (Hanyang Univ.)

고엔3-3 | 13:30 Canceled

Development of Fe-rich complex concentrated alloys (CCAs) for high-temperature applications

VIKAS SHIVAM*, Dong Whan Kim, and Eun Soo Park (Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University, Republic of Korea)

고엔3-4 | 13:45

철계 L12 석출강화 합금의 저온 변형 메커니즘

문광현, 김진경* (한양대학교)

고엔3-5 | 14:00 초청강연

Oxidation Behaviors of Refractory High Entropy alloys at High Temperatures

J. S. Park* (Hanbat National University)

고엔3-6 | 14:20 초청강연

적층제조 CoCrNi 중엔트로피합금의 초극저온 (4.2K) 물성에 미치는 열간 등방압 가압법의 영향

김영균*, 심상훈, 윤성준, 나영상 (한국재료연구원)

좌장 : 김영균(한국재료연구원)

고엔4-1 | 14:40 초청강연

동적재결정 현상을 통한 Fe-Cr-Ni-Al-Ti 철계 고엔트로피 합금의 초소성 특성 연구

송기안*, 박강현 (공주대학교, 첨단분말소재부품센터), 심상훈, 임가람, 권현준 (한국재료연구원), 장혜정, 김진우 (한국과학기술연구원)

고엔4-2 | 15:00 초청강연

Effect of Cr and Al Concentrations on Microstructure and Mechanical Properties of Ductile Nb-Ti-Cr-Al Refractory Medium-entropy Alloys

In-Chul Choi* (Kumoh National Institute of Technology), Ji-Won Kim (SeAH CSS Corp.), Sang-Kyu Yoo (Dorco Co., LTD.), and Dong-Hyun Lee (Chungnam National University)

고엔4-3 | 15:20 초청강연

Liquid metal dealloying 공정을 이용한 3차원연속연결 고엔트로피 합금 제조공정 연구

주수현* (단국대학교)

에너지재료

위원장 : 신병하 (한국과학기술원)
부위원장 : 박찬진 (전남대학교)
총무간사 : 남대현 (고려대학교), 오지훈 (한국과학기술원), 유상우 (경기대학교)
Room 루지홀, 10월 30일

좌장 : 김종민(한국과학기술연구원)

에너지1-1 | 08:30

Conductive meta-cellulose material with high electrolyte wettability for use as a current collector in Li-based energy storage

Young A Lee*, Sang Jin park, Chan Young O, K. B. Kim, E.J. Seo (KIST), K.H. Lee (Institute for Advanced Engineering), M.S. Kim, and Myoung Woon Moon (KIST)

에너지1-2 | 08:45

고니켈 단결정 양극재의 고전압 환경 구조 열화 메커니즘 연구

홍진석, 차주영, 김소진, 김민기, 이승용* (한양대학교)

에너지1-3 | 09:00

Room-Temperature Sodium Batteries Using NASICON-Type 3D Framework-Based Composite Solid Electrolytes

Jin Seok Yang and Chan-Jin Park* (Chonnam National University)

에너지1-4 | 09:15

Composite Solid Electrolytes Based on PVDF-HFP and Silica for Enhanced Lithium-Oxygen Battery Performance

Hyeon-Bin Na and Chan-Jin Park* (Chonnam National University)

에너지1-5 | 09:30

Chemo-mechanical responses driven Li pathways in all-solid-state batteries.
Hwiho Kim and Jongwoo Lim* (Seoul National University)

에너지1-6 | 09:45

Exploring the potential of lithium fluoride iron phosphate (Li2MPO4F, M = Fe, V, Mn) for future lithium-ion batteries: comparative study based on first principles and molecular dynamic simulations
Jae-In Song (Dankook Univ.) and Yong-Seok Choi* (Dankook Univ.)

Break Time | 10:00

좌장 : 최민재(동국대학교)

에너지2-1 | 10:10 초청강연

Electrochemical H2O2 production
Jong Min Kim* (Korea Institute of Science and Technology (KIST))

에너지2-2 | 10:35

A Hybrid Photocatalyst Designed for the Direct Conversion of Air-Captured CO2.
최충석* (성균관대학교)

에너지2-3 | 10:50

Enhancing the photocatalytic performance of ZnIn2S4 using a wide band gap Z-scheme partner
URUPALLI BHARAGAV, Dong-Seog Kim, Geun-Jae Oh, and Yeon-Tae Yu* (Jeonbuk national university)

에너지2-4 | 11:05

수전해 수소생산을 위한 PdRhOx@N-CeO2 코어-쉘 나노입자의 합성과 광전기화학적 촉매특성
오근재, 김동석, BHARAGAV URUPALLI, 유연태* (전북대학교공대)

에너지2-5 | 11:20

Phase-Field Modeling of Constituent Redistribution in U-Zr Metallic Fuel : Impact of Porosity-Induced Thermal Conductivity Changes
Woo-Jin Jung (Kyung Hee university), Ju-Seong Kim (Korea Atomic Energy Research Institute), and Kunok Chang* (Kyung Hee university)

좌장 : 유상우(경기대학교)

에너지3-1 | 13:00

전이금속 기반 상온 자기냉각 소재인 Mn-Fe-P-Si 및 Ni-Mn Heusler 합금 설계에 따른 자기냉각 물성 연구
이태우, 김영훈*, 안경한* (성균관대학교 자연과학캠퍼스)

에너지3-2 | 13:15

Analysis of Microstructure and Magneto-caloric effect on La-based Magneto-caloric Materials by Hot rolling process
Seon Yeong Yang (Korea Institute of Materials Science (KIMS), Sunchon National University), Min Jik Kim, Woo Seok Yang (Korea Institute of Materials Science (KIMS)), Jeoung Han Kim (Hanbat National University), Kwang Seok Lee (Korea Institute of Materials Science (KIMS)), Dong Geun Lee (Sunchon National University), and Da Seul Shin* (Korea Institute of Materials Science (KIMS))

에너지3-3 | 13:30

Bilayer Structure Devices for Hydrovoltaic Energy Harvesting
kaiying zhao and Cheolmin Park* (Yonsei University)

에너지3-4 | 13:45

A Biodegradable Silk-based Energy-generating Skin with Dual-mode Tactile Perception
Shengyou Li and Cheolmin Park* (Yonsei university)

나노소재

위원장 : 송재용 (POSTECH)
총무간사 : 김정환 (국립한밭대학교)
Room 봅슬레이+바이에슬론, 10월 30일

좌장 : 김현호(금오공과대학교)

나노1-1 | 08:30

Low-Cost Single Crystal Materials: Production and Potential Uses
Sunghwan Jin* (Kangwon National University)

나노1-2 | 08:45

Colloidal Synthesis of P-type Zn3As2 Nanocrystals
SEONGCHAN KIM, NAMYOUNG GWAK, SEUNGKI SHIN, JAEYOUNG SEO, DONGJOON YEO, JINA NA, SUNGWON KIM, and Nuri Oh* (Hanyang University)

나노1-3 | 09:00

Abnormal Melting behavior of Spiky Gold Mesoparticles Recovered from Gold Alloy Inlay Using Aqua regia
이지은, 김지영, 곽민경, 박은수* (서울대학교)

나노1-4 | 09:15

지지층을 이용한 다양한 표면 에너지를 갖는 임의의 기판으로의 그래핀 전사 최적화
남정욱, 홍성진, 전기홍, 박지혜, 박민석, 박재원, 우윤성* (단국대학교)

Break Time | 09:30

좌장 : 전한솔(계명대학교)

나노2-1 | 09:40 Canceled

Chiral Nanomaterials and Their Applications
Jihyeon Yeom* (KAIST)

나노2-2 | 09:55

Chiroptical synaptic perovskite memristor as reconfigurable physical unclonable functions
HoYeon Kim and Cheolmin Park* (Yonsei University)

나노2-3 | 10:10

Tunable Hydrogen Sensor with Sonication-Induced Palladium Nanogaps in a Capacitive Structure
Sang-kil Lee, Junho Lee, Jiwoo Hong, Seyoung Park, Hyun-Sook Lee, Kyu Hyoung Lee*, and Wooyoung Lee* (Yonsei Univ.)

나노2-4 | 10:25

Highly luminescent shell-less indium phosphide quantum dots enabled by atomistically tailored surface states

Namyoung Gwak, Seongchan Kim, and Nuri Oh* (Hanyang Univ.)

표면계면

위원장 : 박창규 (서울과학기술대학교)
총무간사 : 함명관 (인하대학교)
Room 봅슬레이+바이에슬론, 10월 30일

좌장 : 박창규(서울과학기술대학교)

표면계면1-1 | 11:00

레이저 텍스처링 및 자동 섬유 배치 (AFP) 를 활용한 금속-열가소성 복합재 하이브리드화 기술에 대한 연구

정준영*, 신용현, 김보성 (현대자동차(주)), 최행선 (서진산업(주)), 강나루, 강정석 (한국탄소산업진흥원), 박창규 (서울과학기술대학교

표면계면1-2 | 11:15

Investigation of in-situ Scanning Electron Microscopy technique for microstructural evolution of Li ion batteries

Jiung Cho* (Hongik University)

표면계면1-3 | 11:30

Improved Sensitivity and Recovery Time of ZnO/SWCNTs-Based Nitric Oxide Gas Sensor Utilizing Photo-Stimulated Desorption Method at Room Temperature Environment

Kyung Eun Kim, Ryang Ha Kim, Beom Su Jo, and Young Lae Kim* (Gangneung-Wonju National University)

표면계면1-4 | 11:45

브레이크 마찰재의 탄성계수와 스컬소음 상관관계 연구

이상목*, 장연하, 이병찬, 김율구 (현대자동차㈜), 현은재 (상신브레이크), 한재동 (새론오토모티브), 이성주 (KB오토시스)

표면계면1-5 | 12:00

철 섬유의 크기에 따른 브레이크용 마찰재의 마찰특성 및 마찰표면 특성에 대한 연구

서형조, 장호, 손석수* (고려대학교)

좌장 : 박창규(서울과학기술대학교)

AW-3 | 13:00 동국송원학술상 수상기념강연

코팅층과 기판 사이의 부착강도 측정 기술 연구: 스퍼터 코팅층과 페인트 코팅층 중심으로

조영래* (부산대학교)

표면계면2-2 | 13:25

A mechanism for the corrosion inhibition of SA106 Gr.B carbon steel in alkaline nitrite solutions

Do Haeng Hur*(Korea Atomic Energy Research Institute), Jeoh Han (Central Research Institute of Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd.), Soon-Hyeok Jeon, and Hee-Sang Shim (Korea Atomic Energy Research Institute)

표면계면2-3 | 13:40

Zn, Al, Mg계 용융도금 제품을 이용한 흑화강판 개발

홍문희*, 김종상 (포항공대철강대학원), 백두진, 백제훈, 이경황, 이석규, 김태철 (포스코)

표면계면2-4 | 13:55

금속 3D 프린팅 기반 충돌형 노즐이 마이크로 버블 발생량 증가에 미치는 영향

정민후, 박창규* (서울과학기술대학교), 조대원, 손현기 (한국기계연구원)

철강: 철강B-압연,강종개발,후처리

위원장 : 김성연 (POSCO)
총무간사 : 김성규 (POSCO), 박주현 (한양대학교), 황병철 (서울과학기술대학교)
Room 알펜시아홀, 10월 30일

좌장 : 손석수(고려대학교)

철강B4-1 | 08:30

상온 인장 시험 중 DIC 적용을 통한 austenitic steel의 불균일 소성 변형 분석

박지원, 강신곤* (동아대학교)

철강B4-2 | 08:45 Canceled

오스테나이트계 스테인리스강에서의 질소에 의한 bake hardening 효과

오정무, 강지현* (영남대학교)

철강B4-3 | 09:00

노치 인장 시편을 활용한 304L 및 316L 스테인리스강의 수소취성 평가

신승혁, 김상규, 오동규, 황병철* (서울과학기술대학교)

철강B4-4 | 09:15

S31803 듀플렉스 스테인리스강의 어닐링 온도에 따른 미세조직과 기계적 특성 간의 상관관계

권동영 (영남대학교), 나혜성, 최재영 (㈜에이치브이엠), 강지현* (영남대학교)

Break Time | 09:30

좌장 : 강신곤(동아대학교)

철강B5-1 | 09:40

탄소강의 γ/α 상변태 중의 응력 거동 분석

유용재*, 김규태*, 홍상문 (현대제철㈜)

철강B5-2 | 09:55

바나듐 첨가강의 정적 재결정 거동 및 그 미세조직에 관한 연구

배철준*, 김종명, 나광수 (현대제철연구소)

철강B5-3 | 10:10

열처리형 고강도 탄소강의 기계적 특성 및 미세조직 발달

유승호* (포스코 기술연구원), 고성훈, 주석환, 서동우 (POSTECH 친환경소재대학원)

철강B5-4 | 10:25

초고장력강의 홀확장성에 미치는 미세조직의 영향

홍진성*, 한영철, 문인기, 정유담, 배효주, 한성경, 권태우 (현대제철연구소)

철강B5-5 | 10:40

Recent Development of Hot-rolled AHSS for Lightweight Chassis

Jewoong Lee*, Sungil Kim, Taejin Song, and Youngroc Im (POSCO)

철강B5-6 | 10:55

Mechanical Behavior on bendability of Martensitic Hot Stamped Manganese Steel

Byung-Gil Yoo*, Jewoosoo Kim, Seong Kyung Han, and Tae Woo Kwon (Hyundai Steel R&D Center)

철강B5-7 | 11:10

구상화 열처리 생략형 강재의 냉간 성형 특성 및 부품 제조 공정 영향성 고찰

최윤석, 남궁승, 최규석, 정성수* (현대제철㈜ 기술연구소), 김민규 (현대자동차 남양연구소), 반원규 (서한기술연구소)

철강B5-8 | 11:25

Si-Al 첨가량에 따른 강재의 scale/matrix 계면 형상 변화 및 descaling성 연구

김득중* (POSCO기술연구원)

철강B5-9 | 11:40

고Mn강의 내부 산화에 따른 표면크랙 생성 거동

이동원*, 김연석, T.T.T.Trang (포항공과대학교), 조원태, 강명훈 (포스코 기술연구원), 이재상, 임창희, 허윤욱* (포항공과대학교)

좌장 : 황병철(서울과학기술대학교)

철강B6-1 | 13:00

저탄소 베이나이트/마르텐사이트 복합 조직강의 미세조직 정량화 방안

조재영*, 고성웅 (㈜포스코 기술연구원)

철강B6-2 | 13:15

Dual phase 강재의 변형거동 및 고강도화 조직 설계 원리 구축

오성탁*, 윤덕빈, 이형근, 이상협, 현영민, 김영우 (현대제철 기술연구소)

철강B6-3 | 13:30

함정용 고연성강 개발 및 충돌성능 해석

김상호*, 노명현 (포스코 기술연구원)

철강B6-4 | 13:45

화학기상 증착법을 활용한 일반 노말라이징 강재 표면의 자기조립형 그라파이트층 형성 거동에 관한 연구

박민호*, 현영민 (현대제철연구소), 현상화, 이재현 (아주대학교), 천승환 (현대제철연구소)

철강B6-5 | 14:00

고압 기체수소 충전용 내수소취성이 우수한 초고강도강 개발

장우길*, 서현주, 김용우, 정환교, 이주동 (㈜포스코 기술연구원)

좌장 : 강지현(영남대학교)

철강B7-1 | 14:15

Precision Process Simulation of a Total Rolling Mill

Sang-Moo Hwang* (CAPEC)

철강B7-2 | 14:30

스테인리스강 슬라브에지 저감을 위한 최적설계 방법 개발

손일헌* (POSCO기술연구원 제강연구그룹)

철강B7-3 | 14:45

미세조직 제어를 통한 석출경화형 고강도 스테인리스강 소재 개발

권영진* (㈜포스코)

철강B7-4 | 15:00

고강도 페라이트계 스테인레스강의 특성과 활용

박지언*, 최가영 (포스코 기술연구원)

철강B7-5 | 15:15

무방향성 전기강판 자성에 미치는 승온속도의 영향

박준수*, 김정우 (포스코 기술연구원)

이차전지 원료소재

위원장 : 손일 (연세대학교)
총무간사 : 이병필 (포항산업과학연구원), 강영조 (동아대학교), 김영재 (인하대학교)
Room 콘서트홀, 10월 30일

좌장 : 최준성(포항산업과학연구원)

이차전지1-1 | 08:30

니켈 매트 제조를 위한 Top Submerged Lancing Furance pilot 탈철 설비

서민석*, 박진균, 김종호, 이병필, 최준성, 우광선, 김영우 (포항산업과학연구원)

이차전지1-2 | 08:45

Ni 건식 제련 중 공정부산물 재활용 시 슬래그 점도 측정

신현우 (동아대학교 공과대학 금속공학과), 강영조* (동아대학교 공과대학 신소재공학과), 최준성 (포항산업과학연구원 자원정제련연구그룹)

이차전지1-3 | 09:00

이차전지 원료소재 공정 및 설비 Engineering 기술개발

유수환*, 이현철, 송한목, 강덕윤, 이수현 (포스코이앤씨)

이차전지1-4 | 09:15

Fundamentals of Carbothermic Reduction of LiFePO4 Cathode Active Materials with Graphite Anode Active Materials

Yuri Kim and Il Sohn* (Yonsei Univ)

Break Time | 09:30

좌장 : 강영조(동아대학교)

이차전지2-1 | 09:40 초청강연

전기자동차 폐배터리의 건식재활용공정 개발 현황

한길수*, 이광정 ((주)영풍)

이차전지2-2 | 10:05

전기차 사용후 배터리 상태별 리사이클링 전처리 기법

이주승*, 한상우, 김완이, 김천, 손봉군, 김민재, 박종길 (포스코홀딩스)

이차전지2-3 | 10:20

Evaluation of the recycling process for improving lithium recovery from lithium compounds in spent batteries

정은진*, 엄형섭, 박연우 ((재)포항산업과학연구원), 김완이, 한상우 (포스코홀딩스)

Break Time | 10:35

좌장 : 서민석(포항산업과학연구원)

이차전지3-1 | 10:45 초청강연

Regulating Supersturcture Domain Dispersion in Lithium-rich Layered Oxide Cathodes for Low Cost, High Energy, and Superb Reversibility

정기영* (포항산업과학연구원 (RIST)), 최근호 (포스코홀딩스), 박혁준 (한국표준과학연구원 (KRISS))

이차전지3-2 | 11:10

전도성 셀룰로오스 나노구조를 활용한 리튬 배터리 전극 소재 연구

박상진, 이영아, 김기백, 오찬영, 서은지, 김민석 (한국과학기술연구원), 이광희 (고등기술연구원), 문명운* (한국과학기술연구원)

이차전지3-3 | 11:25

Effect of Chemical Bonding Agents and their Mixtures on the Tensile Strength of Aluminum 8079 and Cast Polypropylene Bonding for Secondary Battery Pouches

Emmanuel Appiah, Jin Woong Park, Byoung Jun Han, Jung Hyun Kang, and Jeoung Han Kim* (Hanbat National University)

좌장 : 정은진(포항산업과학연구원)

이차전지4-1 | 13:00

P/P급 진공증류 장치를 이용한 용융염 전해 Crude Li metal 고순도 정련기술 개발

박재신*, 여경민, 정명원, 박운경, 조민영 (포스코홀딩스미래기술연구원), 김종성 (비츠로셀)

이차전지4-2 | 13:15

Pyrometallurgical Recycling of Spent Li-ion Batteries by utilizing Hydrogen Reduction

Juheon Lee (RD Solution, Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University), Jeong Suk Yun (RD Solution), Sanghoon Lee (RD Solution, Yonsei Industry Cooperation Center, Yonsei University), DHANASEKAR KESAVAN (RD Solution), and Il Sohn* (RD Solution, Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University)

이차전지4-3 | 13:30

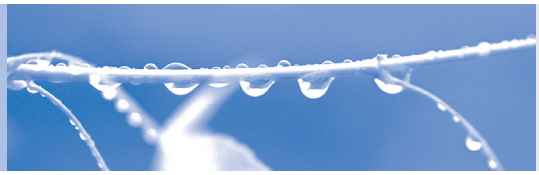
폐배터리로부터의 유가금속 회수를 위한 전력화 공정 개발

김병규*, 이고기, 홍영란 ((재)포항산업과학연구원)

이차전지4-4 | 13:45

Investigating thermodynamics and kinetics of LMO EOL-LIBs through innovative pyrometallurgical recycling

Seojin Lee, Sanghoon Lee, and Il Sohn* (Yonsei University)



P1 : 적층제조및분말

Room 2층 로비, 10월 28일 10:00 - 18:00

P1-1

스캔 전략에 따른 DED 18Ni300 마레이징 강의 미세조직 및 기계적 특성

주수빈, 노건우, 정영훈 (경상국립대학교), 백민재, 이동준 (한국재료연구원), 김정기* (경상국립대학교)

P1-2

Development of Martensite–Austenite Dual–Phase Microstructure in Maraging Steel Using Additive Manufacturing

Hyeonbeen Noh (KAIST), KenHee Ryou (KAIST, Northwestern University), Kwang–Hyeok Lim, Gi–Dong Sim, and Pyuck–Pa Choi* (KAIST)

P1-3

Microstructure, Hardness, and Corrosion Resistance of WC–Ni Cemented Carbides Fabricated by Spark Plasma sintering

Namhyuk Seo, Junhyub Jeon (Jeonbuk National Univ., KITECH), Ji–Woo Park, and Min–Su Kim* (KITECH)

P1-4

금속 3D 프린터용 구형 Ti–6Al–4V 분말의 SiO_2 나노입자 코팅을 통한 유동 특성 향상과 기계적 특성 향상 연구 및 특성 평가

이종익, 강태후, 김욱주, 김세훈, 정상희, 한지민, 이빈* (경희대학교)

P1-5

직접 에너지 증착 방식 적층제조로 제조된 티타늄기반 고엔트로피합금

김주호, 전서연, 최현주* (국민대학교)

P1-6

SLMed Inconel 625의 Serration 열처리를 통한 Grain Boundary Embrittlement 개선 및 변형거동 분석

김태경, 양철혁, 홍현욱* (국립창원대학교 소재융합시스템공학과), 이지원, 차도진, 한정민, 조현철 (두산에너빌리티)

P1-7

L–PBF로 적층 제조된 Haynes230 합금의 미세조직 및 결함 제어 연구

김지수 (한국생산기술연구원, 경북대학교), 성지현 (한국생산기술연구원), 박성혁 (경북대학교), 김다혜* (한국생산기술연구원)

P1-8

적층제조용 Rene80 Ni기 초내열합금 합금 설계 및 EBM 적층성형재 크리프 물성과 합금 성분 간의 상관관계 분석

이찬희, 김태경, 홍현욱* (국립창원대학교), 이병수, 이해진 (한국생산기술연구원)

P1-9 **Canceled**

Two–Phase Flow Simulation of Annular–Slit Gas Atomizer

Sungho Kim (Hanbat National University), Changwoo Jeon (EML), Chung–Soo Kim (Korea Institute of Industrial Technology), and Jeong Jae Kim* (Hanbat National University)

P1-10

후열처리를 통한 강도와 연성이 우수한 Ti–6Al–4V 합금 SLM 성형체 개발

조윤환, 이찬희 (국립창원대학교), 김치원 (한국재료연구원), 한정민, 최용혁 (두산에너빌리티), 홍현욱* (국립창원대학교)

P1-11

High–Fidelity Multiphysics Simulation for Laser Powder Bed Fusion: A Coupled CFD–DEM Approach to Predict Microstructural Evolution and Defect Formation

ROHIT RAJ and Shi–Hoon Choi* (Sunchon National University)

P1-12

Near–α Ti6242 합금 DED 성형체의 미세조직 기반 연성향상 고찰

조윤환, 한재연 (국립창원대학교), 권영상 (㈜쎄타텍), 박정효, 김규식 (국방과학연구소), 홍현욱* (국립창원대학교)

P1-13

Implementation of Abaqus AM Modeler for Direct Energy Deposition Additive Manufacturing Process of 316L

Saurabh Pawar and Shi–Hoon Choi* (Sunchon National University)

P1-14

Fabrication of Mo–Si–B Alloy Through Spark Plasma Sintering Using Mo Powder with Uniformly Dispersed La_2O_3 Nanoparticles Through Ultrasonic Spray Pyrolysis

Woocheol Kim, Jeong Hyun Kim, SiYeon Kim, Young–In Lee, and Jongmin Byun* (Seoul National University of Science & Technology)

P1-15

Directed Energy Deposition(DED)공정으로 제조된 타이타늄계 합금과 산화물 분산 강화 합금의 적층 물성 비교

정재우, 김건우, 성지현, 이윤선* (한국생산기술연구원)

P1-16

BN 세라믹 강화재에 따른 알루미늄 복합재료의 적층 특성

김수민, 최윤석*, 이욱진 (부산대학교)

P1-17

Direct Energy Deposition 적층 방식으로 제조된 High=Carbon High–Chromium Cold Work Tool Steel의 기계적 특징에 미치는 Uniform Rapid Quenching 후처리 영향

박정현 (인하대학교), 전주현 (Quintus Technology Korea), 이기안* (인하대학교)

P1-18

L-PBF 공정을 통한 Cu 기판 위 Al heatsink 직접 적층 성형을 위한 Al/Cu 접합계면 형성거동

강동욱, 송영환* (한국생산기술연구원)

P1-19

L-PBF 공정을 사용한 Cu/Al 이종소재 적층성형 공정최적화를 위한 공정조건 별 single melt pool 및 금속간화합물 형성 거동 연구

강동욱, 송영환* (한국생산기술연구원)

P1-20

Directed Energy Deposition으로 제조된 Inconel 718 적층재의 결정립 미세화 및 등축화 연구

조덕현, 이재준 (동아대학교), 박지영, 이욱진 (부산대학교), 이학성 (동아대학교), 정중은* (한국재료연구원), 전종배* (동아대학교)

P1-21

MEX 공정에 fine featured 기능을 활용하여 제조된 순수 구리의 미세구조 및 기계적특성

이나윤, 박소연 (인하대학교), 백소령 (Markforged), 김대용 ((주)에이치알티시스템), 이기안* (인하대학교)

P1-22

산소 원자를 포함한 A356 알루미늄 합금의 적층 제조

한주연, 김수민, 이소민 (국민대학교), Zhenxing Zhou (Tohoku University), 주미란 (연세대학교), Weiwei Zhou, Naoyuki Nomura (Tohoku University), 배동현 (연세대학교), 최현주* (국민대학교)

P1-23

실험계획법을 활용한 적층제조용 Al-Si-Zn-Mg-Cu 합금의 최적합금 탐색

김도원, 전서연, 최현주* (국민대학교)

P1-24

기계학습과 오토엔코더를 이용한 DED(Directed Energy Deposition) 공정 설계 및 물성 예측

안성빈, 전서연, 최현주* (국민대학교)

P1-25

치환법을 이용한 알루미늄 분말의 니켈 코팅과 발열특성 연구

안서영, 손인준*, 김경태, 김창균, 박준영, 장한 (경북대학교)

P1-26

Analysis of Porosity and Layer Thickness Relationships in Metal Additive Manufacturing

김효규 (한국생산기술연구원), 조요섭 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 한동운, 김성탁* (한국생산기술연구원)

P1-27

SLM 출력 메쉬 구조 Grade 23 Ti의 선직경 설계와 이에 따른 미세조직 및 나노 기계적 물성 연구

성지원, 유휘근, 이충현 (㈜솔고바이오메디칼, 아주대학교), 이한성, 송은효, 안병민* (아주대학교)

P1-28

Preliminary Investigation into the Development of Polymer-Based Binder Systems for Binder Jet 3D Printing of Metal Powder

Tran Thi Yen (Korea Institute of Industrial Technology), Min A Bae (Korea Institute of Industrial Technology, Pusan National University), and Jae Ho Baek* (Korea Institute of Industrial Technology)

P1-29

저온용 피드스톡을 이용한 150um 이하 박판형 부품 제조기술

장진만, 이원식* (한국생산기술연구원)

P1-30

금속 3D 프린팅에서 폴리머 종류에 따른 젯팅 바인더의 특성 연구

배민아 (한국생산기술연구원, 부산대학교), Tran Thi Yen, 김경호, 백재호* (한국생산기술연구원)

P1-31

성형유변학을 이용한 사출속도 최적화

장진만* (한국생산기술연구원)

P1-32

산화물 분산을 위한 pure Ti와 Ti-6Al-4V의 산화구동력 및 상형성 거동에 대한 열역학적 분석

임현태, 박창수, 박형기* (한국생산기술연구원)

P1-33

적층 제조된 고규소 전기강에 타이타늄 첨가가 끼치는 미세구조 및 자기적 특성의 변화 연구

홍승의, 류건희*, 최벽파* (한국과학기술원)

P1-34 **Canceled**

지속가능한 전자 장치 및 부품 개발을 위한 전 공정 인쇄기반 유연 전극/히터

김한중, 김준희, 박정민, 김윤갑* (구미전자정보기술원)

P1-35

레이저 기반 적층제조를 위한 nano-Y_2O_3 입자가 분산된 산화물 분산강화 pure Ti 분말의 in-situ 제조 기술

임현태, 박창수, 박형기* (한국생산기술연구원)

P1-36

FDM 방식 금속 3D 프린팅으로 제조된 순수 Cu의 저온 충격 특성

홍민기, 임민혁, 배주은, 이지운*, 홍순직, 송기안, 문종언 (국립공주대학교)

P1-37

플라즈마 기반 분말 제조 공정(Plasma Rotating Electrode Process, Plasma Atomization)을 이용한 Ti-6Al-4V 및 IN625 고청정 분말 제조 기술

박정효*, 김대웅, 김연태, 김규식 (국방과학연구소), 권영삼, 이주성 ((주)쎄타텍), 김중석, 정승진 (동양엠더블유(주))

P2 : 전산재료과학

Room 2층 로비, 10월 28일 10:00 - 18:00

P2-1

Atomistic Simulations of Cu-Sn alloys Using a Deep Neural Network Potential

Jae Hur and Won-Seok Ko* (Inha Univ.)

P2-2

Computational Study of Zirconium Oxidation Using Phase-Field Modeling

Jiho Kim and Kunok Chang* (Kyung Hee university)

P2-3

Understanding How Local Strain Causes Structural Degradation in Li-Excess Manganese Cathodes

Mu Geun Son, Hyeonji Shin (Pusan National Univ.), Hoje Chun* (Massachusetts Institute of Technology), and Joonhee Kang* (Pusan National Univ.)

P2-4

Diffusion Coefficients of Hydrogen in Copper by Machine Learning Interatomic Potentials and Path-Integral method

Gibum Kim and Takuji Oda* (Seoul National University)

P2-5

제일원리 계산을 활용한 수소취성 저항성 개선을 위한 복합 석출물 설계

김창훈, 김선규, 김신현, 이동화* (포항공과대학교)

P2-6

Predicting Microstructure Changes in Ni-Cr Systems by Considering Grain Boundary Effects

Woojien Lee and Kunok Chang* (Kyung Hee University)

P2-7

상장모델을 이용한 중성자 조사 환경에서의 재료 미세구조 결함 형성 및 성장 예측

조일현, 장근옥* (경희대학교)

P2-8

Development of Machine Learning Interatomic Potential to Describe Hydrogen Migration Behavior in Alpha and Beta Zirconium

Seongbeen Lee and Takuji Oda* (Seoul National Univ.)

P2-9

Comparison and Analysis of Radioisotope Adsorption Performance of Transition Metal-Doped Metal Organic Frameworks (MOFs) Using DFT Simulation

Hwanhui Lee, Jeongho An, and Kunok Chang* (Kyung Hee University)

P2-10

Recycling Battery Waste $LiCoO_2$ as an Electrocatalyst for Water Electrolysis

Gyuchan Kim, Jin Ho Bang, and Byung-Hyun Kim* (Hanyang University)

P2-11

Elucidating Interface Reaction of Argyrodite/Li metal as Solid-State Electrolyte/Anode Composition using Moment Tensor Potentials

Ji Seon Kim and Sang Uck Lee* (Sungkyunkwan University)

P2-12

Unveiling the Solvation Structure in Lithium Metal Batteries: A Comparative Study of Carbonate-Based and Ether-Based Electrolytes

Un Hwan Lee and Joonhee Kang* (Pusan National Univ.)

P2-13

Solidification Simulation of Aluminum Alloys: Controlling Beta Phase Formation with Phase-Field Simulation

Hyung-Uk Jang, Hwi-Jae Cho, Dong-Uk Kim, and Pil-Ryung Cha* (Kookmin Univ.)

P2-14

Construction of All Element Database for Diffusivity and Solution Enthalpy in Liquid Pb Using Machine Learning Potentials

Seoyeon Bak, Takuji Oda* (Seoul National University), Junhyoung Gil (North Carolina State University), Jimin Lee, Chaeyeong Kim, Hyunseok Lee, Sehyeok Park, and Jonghyeon Park (Seoul National University)

P2-15

Carbon Allotropes electrocatalyst for an overall water-splitting (HER/OER)

Junho Seok, HUNG NGO MANH, and Sang Uck Lee* (Sungkyunkwan University)

P2-16

Assessing Ionic Conductivity and Diffusion Pathways in $Li_{10}GeP_2S_{12}$ through Machine-Learning Molecular Dynamics

Seonhye Park and Joonhee Kang* (Pusan National Univ.)

P2-17

비대칭적 계면에너지 이방성이 고려된 phase-field 모델을 활용한 정출 및 석출상 시뮬레이션

조휘재, 장형욱, 김동욱, 차필령* (국민대학교)

P2-18

제일원리 계산 기반 무질서도 최적화를 통한 리튬전고체전지용 고이온전도성 아지로다이트 고체전해질 설계

장명조 (한국과학기술연구원, 고려대학교), 심준형* (고려대학교), 류승호* (한국과학기술연구원, 과학기술연합대학원대학교)

P2-19

A Computational Study of the Enhanced Structural Stability and Electrochemical Performance of NaVO Cathodes in AZIBs

Huncheol Seo (Hanyang University), Younghee So, Sungwook Mhin (Kyonggi University), and Byung-Hyun Kim* (Hanyang University)

P2-20

제일원리 계산을 이용한 고용량, 고전압 안정성 층상형 소듐 양극재 설계

권은지 (한국과학기술연구원, 고려대학교), 유승호 (고려대학교), 류승호* (한국과학기술연구원, 과학기술연합대학원대학교)

P2-21

Stability and Activity of Atomic Catalysts: The Impact of Atom Spacing

Soyun Lee, Yewon Yang, and Joonhee Kang* (Pusan National Univ.)

P2-22 **Canceled**

Effect of Interface Energy in the Hysteresis of the Terminal Solid Solubility of Hydrogen

Sanghyun Ji and Kunok Chang* (Kyung Hee University)

P2-23

Design of Mn-based Cation-Disordered Rocksalt Cathodes via Machine Learning-based Potential

Hyeonji Shin and Joonhee Kang* (Pusan National Univ.)

P2-24

Phase Field Study on Nitrocarburizing of Fe-N-C

Kim Ye-Lim, Dasari Mohan (Kookmin Univ.), Arijit Roy (University of Michigan), and Cha Pil-Ryung* (Kookmin Univ.)

P2-25

Design of High-Performance and Low-Cost Electrochemical Single-Atom Catalysts

Yewon Yang, Soyun Lee, and Joonhee Kang* (Pusan National Univ.)

P2-26

Phase-Field Modeling of Anisotropy in Grain Boundary Properties in Uranium Dioxide

Bohyun Yoon (Kyung Hee University), Nele Moelans (KU Leuven), and Kunok Chang* (Kyung Hee University)

P2-27

Solid-State Sintering of Pressed Powder Compacts Using a Coupled Finite Element and Phase Field Model

kim kiyoun, Pil-Ryung Cha*, Sandeep Sugathan, Hyunjoo Choi (Kookmin University), JiHoon Kim, and Hossein Ghorbani-Menghgari (Pusan National University)

P2-28 **Canceled**

Theoretical Analysis into Solid Electrolyte Interphase for Suppressing Hydrogen Evolution Reaction in Aqueous Batteries

DongKyu Kim and Hyeyoung Shin* (Graduate School of Energy Scienceand Technology (GEST), Chungnam National University)

P2-29

미세조직 기반 변형 모델을 이용한 중성자 조사 환경 하 원자로 내부 구조물 재료의 결정립 경계 균열 거동 모사

안동현*, 김종민, 김지수 (한국원자력연구원)

P3 : 타이타늄

Room 2층 로비, 10월 28일 10:00 - 18:00

P3-1

Ti-15Zr 상용화 연구

남연우, 고성철 (한국재료연구원, 부산대학교), 심재원, 박찬희 (한국재료연구원), 이제인* (부산대학교), 이상원* (한국재료연구원)

P3-2

Wrought Ti-6Al-4V 합금의 레이저 용접: 레이저를 이용한 표면 국부 열처리와 Furnace를 이용한 전 영역 열처리의 기계적 물성 변화 비교 연구

김민재, 서성지 (한국생산기술연구원, 한양대학교), 한정호 (한양대학교), 박지용* (한국생산기술연구원, 과학기술연합대학원대학교)

P3-3

생체용 Ti-Zr 기 합금에서의 형상기억특성

이혜미, 최희은, 김재일* (동아대학교)

P3-4

(Ni+Cu)-rich Ti-(36,37,38)Ni-15Cu 합금의 용체화처리 및 시효처리에 따른 기계적 특성에 미치는 영향

김기성, 남태현*, 류연주 (경상국립대학교)

P3-5

스퍼터링 방식을 이용한 티타늄 기판에서의 구조색 연구

정지윤, 송용원*, 이윤서, 이찬후, 심초은 (한국공학대학교)

P3-6

Ti-8Mo 합금의 기계적특성에 미치는 산소함량의 영향

고성철, 남연우 (한국재료연구원, 부산대학교), 심재원 (한국재료연구원), 최윤석* (부산대학교), 이상원* (한국재료연구원)

P3-7

Investigation of Anisotropy Behaviour in Lamellar Structure of Pure Titanium

HaSeong Baek, Jeong-Rim Lee (Incheon National University), Yong-Taek Hyun (Korea Institute of Materials Science), and Tea-Sung Jun* (Incheon National University)

P3-8

Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn 합금의 인장 및 충격 특성에 대한 시효 처리의 영향

황정우 (한국재료연구원, 창원대학교), 김재호, 양준하 (한국재료연구원), 정영웅 (국립창원대학교), 염종택* (한국재료연구원)

P3-9 **Canceled**

타이타늄 스크랩 재활용을 위한 표면 세정 기술 개발

안성민 (국립한밭대학교), 박찬희 (한국재료연구원), 김정한* (국립한밭대학교)

P3-10

Wire Laser Additive Manufacturing 공정으로 제조된 Ti-6Al-4V 적층재의 용접부 신뢰성 연구

심영래 (동아대학교, 한국재료연구원), 김종근 (동아대학교, 케이피 항공산업(주)), 윤승욱, 유운용 (케이피 항공산업(주)), 이협, 어두림, 윤종천 (한국생산기술연구원), 신선미 (한국생산기술연구원), 정중은 (한국재료연구원), 전종배* (동아대학교)

P3-11

Ti-2Al-9.2Mo-2Fe 합금의 석출상 제어에 따른 고주기 피로 특성 분석

신수홍, 이승우, 이동근* (국립순천대학교)

P3-12

Investigation of Deoxygenation of Off-Grade Titanium Using Magnesiothermic Reduction in a Hydrogen Atmosphere

J A S R Silva, So-Yeong Lee, and Ho-Sang Sohn* (Kyungpook National University)

P3-13

Shot Peening 후 질화처리가 Ti-12.1Mo-1Fe 합금의 마모 특성에 미치는 영향

이승우, 박세영, 신수홍, 정영훈, 이동근* (국립순천대학교)

P3-14

타이타늄 합금의 수소취성 분석

서재완, 권교민 (한국공학대학교), 김혜진 (현대제철), 이동근 (순천대학교), 이승준* (한국공학대학교)

P3-15

Ti 금속 – WC 분말 간 자발 반응을 이용한 Ti-TiC 복합재료 제조

김태윤 (부산대학교), 김재혁 (한국재료연구원), 이제인* (부산대학교)

P3-16

낮은 탄성계수를 가지는 Ti-(14-2x)Nb-(6+x)Sn (x = 0.5, 1, 1.5) (at%) 합금 설계

구태균, 김수영, 민건기, 남태현* (경상국립대학교)

P3-17

Ti scrap을 활용한 FeTi 잉곳 제조 기술 개발

유혜연, 유연정, 김연지, 노윤경, 이초롱* ((주)동아특수금속)

P3-18

전자빔 용해 공정변수 제어를 통한 Ti-6Al-4V 합금 스크랩 재소재화 기술 개발

임연민, 천수진, 허형민 ((주)에이치브이엠), 원종우, 현용택 (한국재료연구원), 최재영* ((주)에이치브이엠)

P3-19

전자빔 용해를 활용한 고청정 니티놀 잉곳 제조 기술 개발

허형민, 임연민, 최재영* ((주)에이치브이엠)

P3-20

타이타늄 합금의 마모 거동 분석

한지혜, 김동규 (한국공학대학교), 이동근, 신세은 (순천대학교), 이승준* (한국공학대학교)

P3-21

TiAl 합금의 쉘 몰드 종류에 따른 주조 반응성 비교

유연정, 김연지, 유혜연, 노윤경, 이초롱* ((주)동아특수금속)

P3-22

Ti-6Al-4V 합금 팬 블레이드의 항온단조 공정 설계

김상훈, 이성호 (국방과학연구소), 이상원 (한국재료연구원), 조종래 (한국해양대학교), 이경훈 ((주)한밭중공업), 김동훈* (국방과학연구소)

P4 : 철강-제선,제강,환경,에너지

Room 2층 로비, 10월 28일 10:00 - 18:00

P4-1

고압수소 수송용 API X52강 용접부의 수소 취화 거동

이아영, 이홍구 (울산대학교), 조성규, 주형건 (현대제철 기술연구소), 신상용* (울산대학교)

P4-2

400계 Martensite STS 연속주조 시 생성되는 slag rim 형성 메커니즘 규명

조선호, 윤호균 (국립창원대학교 신소재공학부), 문희종, 유종영 (세아창원특수강), 이재현*, 김선구* (국립창원대학교 신소재공학부)

P4-3

3D porous Fe_2O_3-Incorporated Basalt filter unit for Simultaneous Removal of As (III) and As(V) from Aqueous Solutions: Adsorption kinetics and mechanism

Minjung Song (Hongik Univ., Gikkeoi Hamkke), Adam Gopal Ramu (Hongik Univ.), Deajong Yang (Gikkeoi Hamkke), and Dongjin Choi* (Hongik Univ.)

P4-4

고체 내화재의 회전에 따른 슬래그/용강 계면 이동 모사 연구

이하나 (한국공학대학교), 최병권 (현대제철), 정용석* (한국공학대학교)

P4-5 Canceled

슬래그울 제조를 위한 슬래그 종류에 따른 용융 거동

나미란, 김선중* (조선대학교), 강유빈, 윤진호 (고등기술연구원)

P4-6

Fe-Mn 철강 조성에 따른 내부 결정립계 편석 및 석출상 거동 연구

박규민, 김세호* (고려대학교)

P4-7

함철 부산물과 Al dross간 발열 반응 거동에 대한 기초 연구

김윤하, 김선중* (조선대학교)

P4-8

탄재 활용 가능성을 위한 새만금 재배 케나프의 열분해 거동

박민수, 김선중* (조선대학교)

P4-9

수소 직접환원철 (H-DRI) 생산을 위한 CH_4, CO, H_2의 열역학적 검토

박주호, 박원범, 위태규, 강윤배* (포항공과대학교)

P4-10

친환경 가탄재 최적화를 위한 슬래그 포밍 분석 및 가스 정량화 연구

안효주, 박준혁, 허성준, 배영훈, 이종원, 박노근* (영남대학교), 강영조, 심상철 (동아대학교), 이은진, 박미숙, 김효민 (머티리얼솔루션파크)

P4-11

Single Hot Thermocouple(SHT)를 이용한 슬래그 중 Al2O3 함량에 따른 CaO의 용해속도 연구

이나경, 정용석* (한국공학대학교)

P4-12

Light Flash Analysis Method를 이용한 수소 환원 HCl의 열전도도 조사

하윤철, 김리주, 서인국, 이준호* (고려대학교)

P4-13

팽창 흑연 첨가에 따른 MgO-C 저취 내화물 부식 특성

박찬근, 정용석* (한국공학대학교)

P4-14

Development of Briquetting Technology for Fine ore Agglomeration in Sintering Process

Jong in Park* (POSCO)

P4-15 Canceled

함철 더스트 철강원료 활용 기술 개발

정용수* (포항산업과학연구원(RIST))

P4-16

가스환원 열간 압축철(HBI)의 미세구조 및 잔류상 분석

조규섭* (한국생산기술연구원), 김용희 (현대제철)

P4-17

샤프트로 내부 반응 모사를 위한 열유체 해석 모델 개발

신재원, 선민주*, 김혁* (현대제철연구소)

P4-18

전기로 제강 환원 슬래그의 탈황능과 free-CaO 및 다이칼슘실리케이트 생성에 미치는 조성 영향 평가

윤누가* (고려대학교)

P5 : 비철금속

Room 2층 로비, 10월 28일 10:00 - 18:00

P5-1 **Canceled**

자전연소합성법을 이용한 비정질 붕소 나노입자 분말 제조

주신형, 네르시시얀하이크 (충남대학교), 김홍물 (하나AMT), 이종현* (충남대학교)

P5-2

Effect of Cu or Fe contents on the Tensile Properties and Corrosion Resistance of the as-cast Al-Si-Cu Alloy

Namhyuk Seo, Junhyub Jeon (Jeonbuk National Univ., KITECH), Ji-Woo Park, Dae-Up kim, and Min-Su Kim* (KITECH)

P5-3

디지털 이미지 상관법(Digital Image Correlation, DIC)기반 머신러닝을 활용한 5000계열 알루미늄 합금의 극저온 환경에서의 인장 거동 분석

이종원, 박노근*, 허성준, 한희주 (영남대학교)

P5-4

Behavior of Impurities on Electron Beam Melting and Refining Process of High-Purity Zirconium

Soosung Kim* (Korea Institute of Industrial Technology, Kyung Hee University), Hyun-chul Kim, Myungsuk Kim, Jieun Kim, Yehui Kim (Korea Institute of Industrial Technology, Korea University), Bin Lee (Kyung Hee University), Kyoung-Tae Park, and Dong-Hyun Kim* (Korea Institute of Industrial Technology)

P5-5

Cu-Ga-Si 합금의 Ga, Si 함량 제어 기반 기계적 및 광학적 특성 거동에 관한 연구

조가은, 강결찬, 정의감, 홍성환, 박혜진, 김기범* (세종대학교)

P5-6

리플로우 공정 방식에 따른 Sn-Ag-Cu/Cu 접합부의 미세구조 및 기계적 특성 분석

장준호, 강승연, 정재건, 류채우* (홍익대학교)

P5-7

NCM계 폐 리튬 이온 배터리 양극재의 수소 환원 배소 및 수침출에 의한 Li 회수

손호상*, 황재호, 이상엽, 이소영 (경북대학교)

P5-8

배관류 방사화 폐기물의 제염을 위한 전극 설계 및 전해 제염 공정 연구

최우석, 박성현, 네르시시얀 하이크, 이종현* (충남대학교)

P5-9

CuTi 양극 내 산소가 Ti전해정련 과정에 미치는 영향연구 및 회수 전착물 특성평가

임규석, 네르시시얀 하이크, 이종현* (충남대학교)

P5-10

$CaCl_2-NaCl-CaO$ 용융염에서 페로브스카이트 및 스피넬 산화물 기반 불활성 양극 재료의 부식 특성 연구

김완배, 네르시시얀 하이크, 이종현* (충남대학교)

P5-11

산화 네오디뮴으로부터 Nd - Fe 합금 제조를 위한 저온 전해제련공정 연구

이동희, 네르시시얀 하이크, 김완배, 최우석, 정준모, 이종현* (충남대학교)

P5-12

NCM계 리튬이온 전지 Black Mass의 CO에 의한 환원 거동과 수침출에 의한 Li 회수

이상엽, 황재호, 이소영, 손호상* (경북대학교)

P5-13

음극 재질에 따른 염화마그네슘을 이용한 고순도 마그네슘 제련 연구

이재원, 이동희, 이종현* (충남대학교)

P5-14

사용 후 배터리 블랙 파우더로부터 금속 리튬 직접회수

이찬욱, 주신형, 최우석, 이종현* (충남대학교)

P5-15

Investigation of Ring-Shaped Agglomeration in the Rotary Kiln during Alkali-Roasting Process of Korean Vanadium-Bearing Titanomagnetite (VTM) Concentrate

허정호 (한국지질자원연구원), 박현식 (한국지질자원연구원, Colorado School of Mines), 신동주* (한국지질자원연구원)

P5-16

Effect of Coating on Metallic Materials-Based Separator Plates to Enhance Corrosion Resistance and Hydrogen Permeability

HeeGwon Shin*, HyeJin Kim, SeungPill Jung, JaeHo Lee, and DongYul Lee (Hyundai Steel)

P5-17

친환경 무연황동에 관한 연구

최준영*, 정원석, 이시담, 박철민 ((주)풍산)

P5-18

적층 결함 에너지 기반 소성변형을 이용한 Cu-Al-Zn-Sn 컬러 합금의 특성 거동 연구

강결찬, 정의감, 조가은, 조창희, Yusupov Dilshodbek, 박혜진, 홍성환, 김기범* (세종대학교)

P5-19

Cu-Ni-Si-Mn-Sn 합금의 열처리 조건에 따른 기계적, 물리적 특성 연구

김준형*, 박철민, 최영철, 남효문, 문선영, 박승훈 (㈜풍산 소재기술연구원)

P5-20

실험계획법을 통한 Cu-Ni-Si-Sn-Zn계 합금의 최적 제조 조건 도출 연구

박승훈*, 박철민, 최영철, 남효문, 문선영, 김준형 (㈜풍산 소재기술연구원)

P5-21

Cu-Te-P 동합금의 니켈 첨가 및 최종압연 압하율에 따른 기계적 특성 연구

남효문*, 박철민, 최영철, 문선영, 김준형, 박승훈 ((주)풍산소재기술연구원)

P5-22

Thermo-Mechanical Double Aging 공정이 Cu-Ni-Co-Si계 합금 특성에 미치는 영향

강덕호*, 최영철, 홍혜민 ((주)풍산 소재기술연구원)

P5-23

Lithium Leaching from Cathode Black Powders of Spent $LiFePO_4$ Batteries Thermally Treated in Different Atmospheres

Jong-Won Choi*, Mooki Bae, Hyunju Lee (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)), Hyunjoon Lee (University of Science and Technology), and Sookyung Kim* (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), University of Science and Technology)

P5-24

Silicon Addition in Novel Almag5 Alloy: Balancing Castability, Strength, and Conductivity

Umar Daraz (Korea Institute of Industrial Technology, University of Science and Technology) and Hyunkyu Lim* (Korea Institute of Industrial Technology)

P5-25

폐스크랩을 이용한 전처리 시료로부터 팔라듐의 선택적 침출을 위한 고효율 리싸이클링 공정기술 개발

이호세 (희성피엠텍주식회사), 정병조 (디에스엠주식회사), 이민형* (희성피엠텍주식회사)

P5-26

3D 프린트용 고청정 Alloy 939 합금의 잉곳 제조 기술개발

박상규, 최재영* ((주)에이치브이엠)

P5-27

Separation and Recovery of Gold and Palladium from Wasted Integrated Circuit Chip of Credit Card by Ion Precipitation and Ion Exchange-Resin

Jiseok Kim* (Korea Institute of Industrial Technology)

P5-28 **Canceled**

용융탄산염 전해법을 활용하여 폐NCM으로부터 Li2CO3 회수

양재열, 이정훈*, 최준호, 김용관, 심영보, 조문행, 전준경 (연화신소재)

P6 : 역학측정

Room 2층 로비, 10월 28일 10:00 - 18:00

P6-1

고신축 및 저투습성 무기 봉지재료의 주름 구조와 신축성간 상관관계 분석

유현지, 김한글, 황경석, 김주영* (울산과학기술원)

P6-2

열 산화 공정을 이용한 실리카 봉지막 개발 및 신뢰성 평가

조지현, 김나향, 황경석, 김주영* (울산과학기술원)

P6-3

유한요소해석 기반의 자가 확장성 및 생분해성 생체삽입소자의 구조 설계 기술 개발

김수민, 황경석 (UNIST), 배재영, 강승균* (서울대학교), 김주영* (UNIST)

P6-4

계장화 압입시험을 이용한 QST(Quenching and Self-Tempering) 공정으로 제조된 H 형강의 국부 표면 잔류 응력 측정

전지헌, 이소현, 김주영* (UNIST)

P6-5

나노인덴테이션을 활용한 압입자의 형상에 따른 Zircaloy-4에 대한 크리프 및 기계적 특성 분석

신기승, 박민지, 조아름, 정회연, 박연경, 박태원, 김진현, 전은채* (울산대학교)

P6-6

핵융합 구조재료인 Fe-9Cr 합금의 조사온도에 따른 He 이온 조사취화 변화 분석

정회연, 조아름, 박태원 (울산대학교), 이승현, 장대식, 이상빈, 이기현, 천영범 (한국원자력연구원), 이정구, 전은채* (울산대학교)

P6-7

PI/PI 유연 기판의 접착 방법에 따른 Cu interconnect의 굽힘 변형 분석

함주빈, 손혜진 (안동대학교 대학원 재료공학과), 김병준 (한국공학대학교), 김영천* (안동대학교 대학원 재료공학과)

P6-8

유한요소해석에서 실제 압입자의 형상을 고려한 압입시험의 구현과 딥러닝을 활용한 인장물성예측

김동엽 (안동대학교), 김종형 (Harvard University), 김영천* (안동대학교)

P6-9

나노압입시험을 통한 리튬이온전지용 양극활물질 Ni-Rich NCM의 기계적 특성 및 전기화학적 특성 분석

박지현 (안동대학교), 남승훈 (명지대학교), 김영천* (안동대학교)

P6-10

NanoIndentation을 활용한 유연소재막의 두께별 기계적 물성 분석

백하은, 박민지, 조아름, 이정구, 전은채* (울산대학교)

P7 : 복합재료

Room 2층 로비, 10월 28일 10:00 - 18:00

P7-1

파우치형 이차전지 외장재용 AA8079 합금의 표면 전처리 연구

박진웅, 강정현, Appiah Emmanuel, 한병준, 김정한* (한밭대학교)

P7-2

회주철 금속복합재료 상 고온 마모 특성 비교 연구

임유진, 최재성, 김현일, 차원진, 조일국* (동의대학교)

P7-3

초고속 가공용 샤프트 소재 적용을 위한 고종횡비 TiC/Fe 금속복합재 제조 및 특성 연구

박현재*, 신상민, 이태호, 강민우, 조승찬, 이상복, 이상관, 김정환* (한국재료연구원)

P7-4

압출공정을 통한 금속복합소재 제조 및 특성 연구

이태호, 김정환*, 조승찬, 신상민, 박현재, 강민우, 이상복, 이상관 (한국재료연구원)

P7-5

고인성/고윤활/고내마모특성 구현을 위한 조압연롤 합금 설계연구

길희진, 정휘근, 정야호, 김한수*, 이원혁 ((주)코나솔 중앙연구소)

P7-6

고품위 분말야금 압연롤 제조를 위한 개재물 제어연구

정휘근, 길희진, 정야호, 김한수*, 이원혁 ((주)코나솔 중앙연구소)

P7-7

Al–Si 합금 – 질소 가스 간의 자발 반응을 이용한 알루미늄기 방열 복합재료 제조

최정원, 이제인* (부산대학교)

P7-8

Cu/Al 클래드 복합재의 직사각 단면형상 압출공정 해석

윤덕재*, 김응주 (한국생산기술연구원)

P7-9

강화 입자 크기에 따른 c–BN/Mg 금속복합소재의 열 특성 변화 연구

신상민, 이태호, 박현재, 조승찬, 이상복, 이상관, 김정환* (한국재료연구원)

P7-10

교반주조 및 다이캐스팅 공정을 이용한 SiC–Al 복합재료의 미세조직 및 기계적 특성 분석

이동현, 조승찬*, 김정환, 강민우, 이상복, 이상관 (한국재료연구원)

P8 : 재료분석

Room 2층 로비, 10월 28일 10:00 - 18:00

P8-1

Effect of Oxygen in Fe–Ti Hydrogen Storage Alloy with Microstructure Analysis

Ijun Rho, Chang–Gi Lee, and Se–Ho Kim* (Korea Univ.)

P8-2

하나로 중성자 공학용 회절기(잔류응력장치) 활용 연구와 빔 타임 신청 방법

채호병*, 우완측 (한국원자력연구원)

P8-3

사용후핵연료 심층처분용 구리용기의 대기 산화가 처분 초기 부식특성에 미치는 영향 분석

장준혁*, 김가영, 이민수, 윤석 (한국원자력연구원)

P8-4 **Canceled**

첨단패키지용 구리 배선 미세구조 분석용 시편 제작 및 손상

박가현, 박경진, 차호일, 서윤경, 현문섭, 박윤창* (나노종합기술원)

P8-5

Microstructure Analysis of Shear Edge by Stamping Shape in Segmented Core Stamping Process for xEV Traction Motor

YoungMin Lee*, HoonHee Cheong (Hyundai Transys), YeongKwang Kim (Hyundai Transys), DaeBum Park, and Hyejeong Choe (Hyundai Steel)

P8-6

사용후핵연료 심층처분을 위한 3D 프린팅된 구리코팅층의 부식현상 분석

김가영*, 우정현, 장준혁, 이영호, 윤석 (한국원자력연구원)

P8-7

전자 회절법을 활용한 Ti–Fe–O 합금 내 수소 결합위치 규명

강재동*, 크리슈나모한 테케파트 (한국과학기술연구원), 윤영철, 전초록 (한국과학기술연구원, 서울대학교), 이승철, 김진우* (한국과학기술연구원)

P8-8

A Study on Hydrogen Embrittlement Fracture of Hybrid Electric Vehicles (HEV) U/D Brake Return Spring

유평열*, 이영민, 장진혁, 정훈희 (현대트랜시스)

P8-9

양성자 조사 원자로 노심구조부품 절곡부 모사재에 대한 마이크로 변형 조직 분석

진형하* (한국원자력연구원), 김상은 (한국원자력연구원, 명지대학교), 김동진 (한국원자력연구원)

P9 : 집합조직

Room 2층 로비, 10월 28일 10:00 - 18:00

P9-1

소성가공 및 시효 통한 17–4PH 다상조직 적층제조강의 집합조직 및 결함구조 제어

정세은, 조유연 (국립강릉원주대학교), 김재우 (서울대학교), 황승균, 박용훈, 김병창, 최병철, 주지훈, 정도헌, 정효태 (국립강릉원주대학교), 최인석 (서울대학교), 신중호* (국립강릉원주대학교)

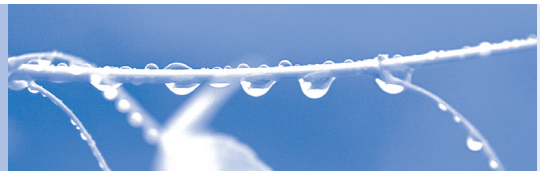
P10 : 금속역사

Room 2층 로비, 10월 28일 10:00 - 18:00

P10-1 **Canceled**

조선시대 괘불궤에 사용된 장석과 철물의 미세조직 관찰을 통한 제작기술 고찰

홍주현 (국립문화유산연구원), 이은우 (국가유산청), 김소진* (국립문화유산연구원)



P11 : 수소재료

Room 2층 로비, 10월 29일 10:00 - 18:00

P11-1

L-PBF로 제작된 SUS 316L의 수소 취성 민감도 평가

이성광 (한국생산기술연구원, 경북대학교), 이선 (한국생산기술연구원, 부산대학교), 이재훈 (한국생산기술연구원, 울산대학교), 최지환, 하정홍 (한국생산기술연구원), 김태욱* (경북대학교), 이정훈* (한국생산기술연구원)

P11-2

Al계 도금 종류에 따른 BCC계 철강의 수소취화 특성

천세영, 문병록 (부산대학교), 이석규, 백두진 (포스코 자동차소재연구소), 강남현* (부산대학교)

P11-3

고압수소용 템퍼드 마르텐사이트강의 수소취성에 미치는 시멘타이트 형상의 영향

김상규 (서울과학기술대학교), 정환교 (포스코 기술연구원 강재연구소), 황병철* (서울과학기술대학교)

P11-4

FCAW 용접된 고망간강 용접부의 수소 취성 민감도 평가

이재훈 (한국생산기술연구원, 울산대학교), 이선 (한국생산기술연구원, 부산대학교), 이성광 (한국생산기술연구원, 경북대학교), 최지환, 하정홍, 이정훈* (한국생산기술연구원)

P11-5

Mg-Ni 합금에서 Ni 함량(Mg100-xNix [x=15, 20, 25(at%)]) 변화가 수소저장특성에 미치는 영향

정소진 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 박태윤, 곽륜호, 박성민 (한국생산기술연구원), 손석수* (고려대학교), 박형기* (한국생산기술연구원)

P11-6

Ferro V-Ti-Cr 수소 저장 합금에 대한 Y 및 Y_2O_3의 영향

홍성찬, 석경찬, 백민아, 강규병 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 이준호* (고려대학교), 나태욱* (한국생산기술연구원)

P11-7

고온 수전해 분위기가 고Cr 스테인리스강에 미치는 영향

김대현*, 한성희, 김진하, 한준희, 이윤수, 최병학 (강릉원주대학교), 김영식 (삼성이앤에이주식회사)

P11-8

비기계식 수소 압축기를 위한 V계 BCC합금 설계

석경찬 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 홍성찬, 강규병, 백민아 (한국생산기술연구원), 이준호* (고려대학교), 나태욱* (한국생산기술연구원)

P11-9

FCC와 HCP상의 이중상 FeMnCoCr 고엔트로피합금의 수소 영향 분석 비교 연구

정지윤, 이동현*, 정재영, 정현, 안윤희 (충남대학교)

P11-10 **Canceled**

수소 혼소 환경에서의 수소 운송용 배관 소재 수소취성 및 피로 수명 평가

김동오, 김준서, 이진영 (서울과학기술대학교), 이정훈, 강성, 이창희 (포항산업과학연구원), 권용남, 홍종화 (한국재료연구원), 변재원* (서울과학기술대학교)

P11-11

용접한 탄소강의 PWHT 온도와 시간에 따른 수소취성 영향 분석

김진하*, 한성희, 김대현, 이윤수, 한준희, 최병학 (강릉원주대학교), 김영식 (삼성이앤에이주식회사), 황병철 (서울과학기술대학교)

P11-12

V 함량에 따른 CoCrNi 중엔트로피 합금의 수소영향 비교

정재영, 정현, 안윤희, 정지윤, 이동현* (충남대학교)

P11-13

순수 타이타늄의 온도별 기계적물성

이정찬, 안찬울, 윤준원 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 정두원 (한국생산기술연구원), 손석수 (고려대학교), 박창수* (한국생산기술연구원)

P11-14

알칼라인 수전해용 Ni 촉매의 산화 온도에 따른 OER 거동

차은빈 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 서보성, 서건원 (한국생산기술연구원), 김동회 (고려대학교), 박광석* (한국생산기술연구원)

P11-15

Ti-Fe-O 삼원상의 수소화 및 탈수소화 거동에 따른 결정구조 변화

윤영철 (한국과학기술연구원, 서울대학교), 강재동, Krishnamohan Thekkepat (한국과학기술연구원), 박은수* (서울대학교), 김진우* (한국과학기술연구원)

P11-16

수소 주입에 따른 수소압력용기 소재 파괴인성 및 균열전파 거동

배동화, 이영광, 이창희, 오윤석, 이정훈* (포항산업과학연구원(RIST))

P11-17

Atomic Force Microscopy를 활용한 TiFCeV 수소저장합금에서 in-situ 탈수소화에 따른 변화 관찰

유진영, 이수민 (성균관대학교), 황규빈, 심재혁 (한국과학기술연구원), 김윤석* (성균관대학교)

P11-18

Effect of Pre-Existing Hydrogen to Damage Evolution on 1.5G Ultra-High Strength Steel

HyeJin Kim (Hyundai-Steel), Gun-Jin Shin (Seoul National University), Seung-Pill Jung, Ki-Jung Kim, Seung Chae Yoon (Hyundai-Steel), Myoung-Gyu Lee* (Seoul National University), and Dong-Yeul Lee (Hyundai-Steel)

P12 : 열전

Room 2층 로비, 10월 29일 10:00 - 18:00

P12-1

비화학양론적 스키너라이트 $Cu_{3+m}SbS_3$

박상준, 김일호* (국립한국교통대학교)

P12-2

비화학양론 Chalcopyrite $Cu_{1+m}FeS_2$의 열전특성

오현식, 김진솔, 박상준, 김일호* (국립한국교통대학교)

P12-3

Zn가 도핑된 에스케보르나이트 $Cu_{1-x}Zn_xFeSe_2$의 열전특성

최세현, 류재종, 박상준, 김일호* (국립한국교통대학교)

P12-4

Evaluation of the Thermoelectric Properties of Layered $K_{0.8}Ti_{1.73}Li_{0.27}O_4$ (KTLO) Oxide Material

Pi Ji Hee, Park Chul Oh, Koo Ga Yeong, Hwang Jeong Yun*, and Lee Kyu Hyoung* (Yonsei University)

P12-5

에스케보르나이트 $Cu_{1-x}Ni_xFeSe_2$ 열전 반도체의 p-n 전이현상

류재종, 최세현, 박상준, 김일호* (국립한국교통대학교)

P12-6

Al2O3 fiber가 분산된 BiSbTe 합금 소결체의 열전 성능 향상에 관한 연구

하지원, 조성재, 백건우, 김대현, 김현중, 홍순직* (공주대학교)

P12-7

N형 열전반도체 칼코파이라이트 $Cu_{1-x}Zn_xFeS_2$

김진솔, 권혁민, 박상준, 김일호* (국립한국교통대학교)

P12-8

Thermoelectric Characteristics of Bulk Cr_2Te_3 with Low Lattice Thermal Conductivity

Donghyun Shin, Joseph Ngugi Kahiu, and Ho Seong Lee* (Kyungpook National University)

P12-9

Ni이 도핑된 칼코파이라이트 $Cu_{1-x}Ni_xFeS_2$의 열전특성

권혁민, 김진솔, 박상준, 김일호* (국립한국교통대학교)

P12-10

$CuFeSe_{2-y}S_y$ 고용체의 고상합성 및 열전특성

장순만, 최세현, 김진솔, 김일호* (국립한국교통대학교)

P12-11

Enhancing the thermoelectric performance of NbCoSn half-Heusler by modifying energy band structure

Hail Park* (Korean Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))

P12-12

작업자 환경개선과 안전을 위한 착용가능한 펠티에 모듈 기술 개발

이재웅* (한국생산기술연구원)

P12-13

폐열 회수를 위한 복사열 환경 열전 발전 시스템 개발

윤태영, 김종태, 백주영, 김정민, 정석환, 김동환* (대구경북과학기술원)

P12-14

복사열 환경 열전 발전 소자 특성 평가

윤태영, 김종태, 백주영, 김정민, 정석환, 김동환* (대구경북과학기술원)

P13 : 마그넷

Room 2층 로비, 10월 29일 10:00 - 18:00

P13-1

Detection of Higher-Order Harmonics of Local Eddy Current

Changhyo Sun, Jin Young You, Jungi Kim (Sungkyunkwan University), Jae Won Jeong (Korea Institute of Materials Science (KIMS)), Yooun Heo (Inha University), and Yunseok Kim* (Sungkyunkwan University)

P13-2

Optimization of Grain Boundary Diffusion Using Tb-Al-Cu Alloys in Nd-Fe-B Sintered Magnets

Lee Donghyun (DGIST, Kyungpook National University), Seong Chan Kim, Hyeonjong Jeong, Juyoung Baek, Tae-Young Yun, Jong Tae Kim (DGIST), Jaehyuk Kim (Yonsei University), Sumin Kim (KIMS), Donghwan Kim, Sang Hyub Lee (R&D Center, Star Group), Jong Wook Roh (Kyungpook National University), Dong Hwan Kim, and Jeongmin Kim* (DGIST)

P13-3

Investigation of Nanocrystalline Structure Formation and Soft Magnetic Properties in Fe-P-B-Si-C-Cu Alloys Under Various Heat Treatment Conditions

EUNJIN PARK, Hyungjin Nam, and Seonghoon Yi* (Kyungpook National University)

P13-4

GFA and Primary Phase Precipitation Temperature Control for the Implementation of Fe-Co Based Ultra-High Performance Nanocrystalline Soft Magnetic Materials

Subin Ahn (Seoul National University), Wook Ha Ryu (Kumoh National Institute of Technology), Hee-Soo Kang(Research Institute of Industrial Science & Technology) and Eun Soo Park* (Seoul National University)

P13-5

Strategy for Enhancing Magnetic Properties in Hot-Deformed Nd-Ce-Fe-B Magnet with 50% Ce Substitution as Potential Gap Magnet

Ye Ryeong Jang and Wooyoung Lee* (Yonsei University)

P13-6

Soft magnetic properties of Fe-based amorphous ribbons

Moosung Kim, Sejin Jang, and Seonghoon Yi* (Kyungpook National University)

P13-7

Design of Fe-Based Amorphous Cores for Enhanced Soft Magnetic Performance

seongjun kim, Hyungjin Nam, Hyeseong Choi, Sejin Jang, and Seonghoon Yi* (Kyungpook National University)

P13-8

Soft Magnetic Properties of Nanocrystalline with Protective Amorphous Layers Formed from (Fe, Ni, Co)-Based Amorphous Alloy

최광수, 이승훈* (경북대학교)

P13-9

Soft Magnetic Properties of Fe-Based Amorphous Core Prepared by Various Sintering Methods

Hyungjin Nam, Seongjun kim, Eunjin Park, and Seonghoon Yi* (Kyungpook National University)

P13-10

Coercivity and Microstructure Improvement Through Internal Grain Boundary Diffusion in SPSed Nd-Fe-B Magnet

Seong Chan Kim (DGIST), Dong Hyun Lee (DGIST, Kyungpook National Univ.), Jaehyuk Kim (Yonsei Univ.), Jungwoo Ha (DGIST), Kyoung-Hoon Bae (R&D Center, Star Group), Jong Wook Roh (Kyungpook National Univ.), Dalhyun Do (Keimyung Univ.), Jong Tae Kim, Tae-Young Yun, Seok-Hwan Chung, Jeongmin Kim, and Dong Hwan Kim* (DGIST)

P13-11

Soft Magnetic Properties of the Amorphous Core Prepared by Spark Plasma Sintering of Amorpohous Powder $(Fe, Co)_{68.7}(B, P, Si, C)_{24.5}(Cr, Mo, Al)_{6.8}$

Jinah Kim and Seonghoon Yi* (Kyungpook national university)

P13-12

High Saturation Magnetization of Fe-based Soft Magnetic Composites (SMCs)

Won-Chan Shin, Dong-Hun Han, Muhammad Arif (Kyung Hee University), Young-Kwang Kim (Research Institute of R-Materials Co. Ltd.), and Jong-Soo Rhyee* (Kyung Hee University)

P13-13

Relationship of Microstructure and Magnetic Properties of 45EH Grade Sintered Nd-Fe-B Permanent Magnets for Traction Motor

Jinhyeok Jang*, Pyeongyeol Yu, and Hoonhee Cheong (Hyundai Transys)

P14 : 상변태

Room 2층 로비, 10월 29일 10:00 - 18:00

P14-1

내산화 코팅된 Nb-16Si-22Ti-5Cr-3Al 합금의 1500 ℃에서 산화 거동 및 미세 구조의 비교

오정석, 박지니, 성효진, 박준식* (국립한밭대학교)

P14-2

Study on Thermal Behaviors of Ion-Irradiated CuZr-Based Amorphous Microwires using Flash DSC

Shuang Su (Harbin Institute of Technology, Seoul National University), Myeong Jun Lee (Seoul National University), Wook Ha Ryu (Seoul National University, Kumoh National Institute of Technology), Min Kyung Kwak (Seoul National University), Zhiliang Ning*, Yongjiang Huang (Harbin Institute of Technology), and Eun Soo Park* (Seoul National University)

P14-3

Effect of Extrusion Processing Conditions on Structural Characteristics and Enhanced Machinability of Free-Cutting Leaded-Brass Alloy

이지은, 김지영, 김민석 (서울대학교), 최이슬 (한국재료연구원), 이시연 (원진금속), 박은수* (서울대학교)

P14-4

Ti-Zr-Ni 준결정의 헬륨 이온 조사 및 기계적 반응에 결정립 크기가 미치는 영향

이명준, 유근희 (서울대학교), 윤국노, Mehdi Balooch, Peter Hosemann (University of California), 박은수* (서울대학교)

P14-5

Analysis of Self-Healing Behavior in Co-Based Superalloys by Spontaneous Segregation of B and Y During In-Situ Tensile Test at Elevated Temperature

민현기 (서울대학교), 윤국노 (University of California), 이정수 (Max Planck Institut), 박은수* (서울대학교)

P14-6

첨가원소에 따른 NiTi 기반 형상기억합금의 미세조직 및 변형 거동 연구

김종태, 정주리 (한국생산기술연구원, 연세대학교), 전재열, 한준희, 강이승* (한국생산기술연구원)

P14-7

준안정 오스테나이트계 스테인리스강에서 전기화학반응 중 발생하는 마르텐사이트 변태 고찰

이귀형, 채준영, 이명진, 한흥남* (서울대학교)

P14-8

Enhanced Mechanical Properties of Amorphous Blades

Sejin Jang, Moosung Kim, and Seonghoon Yi* (Kyungpook National University)

P14-9

Development of Fe-Based Amorphous Materials for Enhanced Thermal Neutron Shielding and Corrosion Resistance

Hyeseong Choi and Seonghoon Yi* (Kyungpook National University)

P14-10 **Canceled**

Cu-Ge 컬러합금의 소성변형 공정 기반 광학적 및 기계적 특성 제어에 관한 연구

이강현, 조가은, 정의감, 심아진, 강결찬, 박혜진, 홍성환, 김기범* (세종대학교)

P14-11

$MgAl_2O_4$ spinel 개재물의 Mold slag로의 용해거동

김기원, 정용석* (한국공학대학교)

P14-12

Mn 첨가량에 따른 바이메탈의 특성 변화

정주리, 김종태, 전재열, 한준희, 강이승* (한국생산기술연구원)

P14-13

Tailoring NiTi-based Shape Memory Alloy Characteristics Through the Extrinsic Size Effect

Ji Young Kim (Seoul National University), Jinwoo Kim (Seoul National University, Korea Institute of Science and Technology), Kook Noh Yoon (Seoul National University), Wook Ha Ryu (Seoul National University, Kumoh National Institute of Technology), Won-Seok Ko (Inha University), and Eun Soo Park* (Seoul National University)

P14-14

다단계 액체금속탈합금화 공정을 통한 TiFe계 합금의 표면 개질

이소영 (서울대학교), 김진우* (한국과학기술연구원), 박은수* (서울대학교)

P14-15

Combinatorial Elastic Deformation Mechanism-Mediated Large Elasticity in Nanostructured Eutectic Alloys

Sung Hwan Hong*, Hae Jin Park (Sejong University), Gian Song (Kongju National University), and Ki Buem Kim (Sejong University)

P14-16

Designing and Surface Functionalization of Photo-Reactive Heterostructure

Hae Jin Park*, Gyeol Chan Kang, Sung Hwan Hong, and Ki Buem Kim* (Sejong University)

P14-17

Mapping을 통한 니켈기 초내열합금의 합금원소 및 온도에 따른 표면 고온 산화 및 고온 열화 미세조직 분석

한성희*, 김대현, 김진하, 이윤수, 한준희, 최병학 (강릉원주대학교), 최광수 (국립과학수사연구원)

P15 : 마그네슘

Room 2층 로비, 10월 29일 10:00 - 18:00

P15-1

First-Principles Study of Martensitic Phase Transformations in Mg-Sc Shape Memory Alloys

Hye-Hyun Ahn and Won-Seok Ko* (Inha Univ.)

P15-2

Mg-Ca 용탕에서 LMD 공정으로 제조된 Mg-Ti 복합재료의 미세조직 변화

윤현준, 장지은, 박보현 (경북대학교), 주수현 (단국대학교), 박성혁* (경북대학교)

P15-3

3차원 연속연결구조 Mg-Ti 복합재료의 Al 용탕 장입을 통한 표면 특성 향상

박보현, 장지은, 윤현준 (경북대학교), 주수현 (단국대학교), 박성혁* (경북대학교)

P15-4

Zn 미량 첨가가 Mg-5Bi-3Al 합금 고속 압출재의 석출 거동과 기계적 물성에 미치는 영향

안제형, 진상철, 안건웅 (경북대학교), 이정훈 (한국생산기술연구원), 박성혁* (경북대학교)

P15-5

Ca 첨가에 따른 Mg-3Al 마그네슘 합금 압연재의 미세조직 및 기계적 특성 변화

김형준, 김현지 (경북대학교), Jiehua Li (University of Leoben), 박성혁* (경북대학교)

P15-6

Achieving Ultrahigh Tensile Strength at Cryogenic Temperature Without Compromising Ductility in AZX311 Mg Alloy

Hafiz Muhammad Rehan Tariq, Umer Masood Chaudry, and Tea-Sung Jun* (Incheon National University)

P15-7 **Canceled**

경량 Mg-Li-Bi계 합금의 미세조직 및 기계적 성질에 대한 Al 함량의 영향

이병권, 고은찬 (전남대학교, 한국생산기술연구원), 김용호, 유효상, 손현택* (한국생산기술연구원), 홍성길 (전남대학교)

P15-8

AZMX1100 합금 판재의 성형성에 미치는 열처리 영향

박태연, 최인철* (국립금오공과대학교)

P15-9

마그네슘-비정질분말 복합시트를 이용한 전자파 차폐능의 고효율화

이상봉*, 김경택, 김성제, 강민혁 (금오공과대학교)

P15-10

전기자동차용 배터리 방열 필러 적용을 위한 MgO의 소수성 표면 개질

박세영, 이진영, 이은서, 전유은, 박유진, 민성욱* (경기대학교)

P15-11

고속충돌에 따른 AZ31 열연재의 미세조직 변화 및 파괴 거동

이정훈, 유진영, 천세호, 이성호, 송종한, 박동준, 이승엽 (부산대학교), 이정훈 (한국생산기술연구원), 김윤호 (서울대학교), 이태경* (부산대학교)

P15-12

AZ61합금의 열처리에 따른 전자파 차폐능의 변화

이상봉*, 강민혁, 김경택, 김성제 (금오공과대학교)

P16 : 고온재료

Room 2층 로비, 10월 29일 10:00 - 18:00

P16-1 **Canceled**

Constitutive Modeling for Temperature-Dependent Deformation Behaviors in Fir-Tree Root of Single Crystal Superalloy Turbine Blade

Tae Yang Bang, Yoon Suk Choi* (Pusan National University), and Taejun Yun (Doosan Enerbility)

P16-2

적층제조 공정으로 제작된 Inconel 939W 초내열합금의 열처리 공정 제어에 따른 미세조직 변화 거동 및 크리프 특성 평가

양철혁 (국립창원대학교), 전선영, 김중석 (두산에너빌리티 GT터빈개발팀), 홍현욱* (국립창원대학교)

P16-3

한국형 핵융합로 대면재 ARAA강의 He 이온 조사에 의한 조사결함 생성 거동

최재훈, 김연서 (울산대학교), 김정기, 권재호 (울산과학기술원), 이승현 (한국원자력연구원), 노상훈 (부경대학교), 박성수 (울산과학기술원), 이정구* (울산대학교)

P16-4

일방향 응고 공정으로 제조된 CM247LC 소재 Blade 시편의 미세조직 및 상 · 고온 기계적 특성

원경윤* (인하대학교), 이형수, 서성문 (한국재료연구원), 권석환 (한국로스트왁스㈜ 기술연구소), 권혁주 (한스코㈜), 이기안 (인하대학교)

P16-5

Laser Powder Bed Fusion 공정으로 제조된 CM247LC 적층재에서 발생하는 Strain Age Cracking 완화를 위한 합금 설계 및 미세조직 분석

김봉철 (한국재료연구원, 동아대학교), 이상원, 정중은, 최백규, 김인수 (한국재료연구원), 전종배* (동아대학교), 도정현* (한국재료연구원)

P16-6 **Canceled**

침지 실험을 통한 316H 스테인리스 강의 650 °C NaCl–$MgCl_2$ 용융염 환경 부식 특성 평가

남승주, 이원찬 (국립한밭대학교), 신기승, 윤지현 (한국원자력연구원), 김정한* (국립한밭대학교)

P16-7

Ni 중 Al 농도가 수소용해도에 미치는 영향

임지원, 강영조* (동아대학교)

P16-8

CM247LC 합금 판재의 레이저 조사를 통한 L–PBF 공정 최적화

안동혁 (한국재료연구원, 부산대학교), 윤대원, 정희원, 유영수, 서성문 (한국재료연구원), 최윤석 (부산대학교), 이형수* (한국재료연구원)

P16-9

Laser Powder Bed Fusion 공정으로 제조된 Inconel 718 합금의 재결정 구동력에 미치는 Layer Thickness의 영향

심영래 (한국재료연구원, 동아대학교), 도정현, 최백규, 김인수, 이상원 (한국재료연구원), 전종배* (동아대학교), 정중은* (한국재료연구원)

P16-10

Oxidation and Microstructure Evolution of YSZ–coated Ni–based Superalloy

Nomin–Erdene Battulga and Keesam Shin* (Changwon National University)

P16-11

차세대 용융염 원자로 설계를 위한 고온 NaCl+$MgCl_2$ 용융염에서 Ni–201의 부식거동 연구

이원찬, 남승주 (국립한밭대학교), 황성식, 윤지현, 전순혁 (한국원자력연구원), 김정한* (국립한밭대학교)

P16-12 **Canceled**

Ni계 내열합금의 고온 기계적 특성에 미치는 합금원소의 영향

박재현* (포항산업과학연구원(RIST))

P16-13

700°C NaCl–$MgCl_2$ 환경에서 Alloy 800H의 표면거칠기가 부식특성에 미치는 영향

김채원* (한국원자력연구원), 이시진 (세종대학교), 정현아 (경북대학교), 이현근, 김대종, 신기승 (한국원자력연구원)

P17 : 디스플레이재료

Room 2층 로비, 10월 29일 10:00 - 18:00

P17-1

Photocleavable Ligand–Based Direct Optical Lithography of InP–Based Core/Shell Quantum Dots

Jaehwan Lee, Seongbeom Yeon, and Himchan Cho* (KAIST)

P17-2

Bright Colloidal Deep–Blue–Emissive Europium Halide Perovskite Nanocrystals

Jaeyeong Ha, Seongbeom Yeon, Jaehwan Lee, Hyungdoh Lee, and Himchan Cho* (KAIST)

P17-3

Non–destructive Ligand Modification of Colloidal Perovskite Nanocrystals via Olefin Metathesis for Direct Optical Lithography

Seongbeom Yeon (KAIST), Yoseph Kim (Chungbuk National University), Seongkyu Maeng, Jaeyeong Ha, and Himchan Cho* (KAIST)

P17-4

Realizing Narrow Vertical Light Emission via 2D Photonic Crystal with Suppressed In–Plane Propagation

Youngjun Chung, Jonggwan Min, and Myungjae Lee* (Seoul National University)

P17-5

Fourier Imaging for Analyzing Light Radiation Patterns and Angular Distribution

Jonggwan Min, Youngjun Chung, and Myungjae Lee* (Seoul National University)

P17-6

Direct Optical Lithography of Perovskite Composites for Color Conversion Applications Using Photocrosslinkable Polymer

Sun Jae Park and Himchan Cho* (Korea Advanced Institute of Science and Technology)

P17-7

산화물/금속/산화물 3층 구조 투명 전극에서 전기 전도도와 광투과도에 미치는 중간층 금속 두께의 영향

문성용, Liao Wenfeng, 이동휘, 신동훈, 이상훈, 조영래* (부산대학교)

P17-8

Effect of microstructure on properties of AZOY thin film

Wenfeng Liao, Sung-Youg Mun, and Young-Rae Cho* (Pusan National University)

P17-9

승온속도 및 소결 온도가 MoO_2 소결체의 입성장, 치밀화 거동에 미치는 영향

정재훈 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 정하국, 이종범* (한국생산기술연구원)

P17-10

All-Solution-Processed Stretchable Quantum Dots LEDs

Jina Na, Nuri Oh*, Seongchan Kim, Seungki Shin, Namyoung Gwak, and Jaeyoung Seo (Hanynag University)

P17-11

기판에 대한 부착력이 강화된 유연 인쇄 전극 및 이를 이용한 투명 사이니지

김한중, 김준희, 박정민, 김윤갑* (구미전자정보기술원)

P17-12

마찰교반용접을 적용한 Al 타겟의 기계적 특성 및 박막의 전기적 특성

윤상민, 김정준, 김영균* (고등기술연구원)

P18 : 나노소재

Room 2층 로비, 10월 29일 10:00 - 18:00

P18-1 **Canceled**

Aerodynamic Fluttering Type TENG (Triboelectric-Nanogenerator) that Based on Nanowire Mesh Electrode

Seheuk Park, Minhyeok Seol, Jinyong Jeong, Jinsung Choi, and Kwanlae Kim* (Seoul National University of Science & Technology)

P18-2

Development of a Tunable Pd-Based Capacitive Sensor for Ultra-Low Concentration Hydrogen Detection with High Repeatability

Jiwoo Hong, Sang-kil Lee, Junho Lee, Seyoung Park, Hyun-Sook Lee, Kyu Hyoung Lee*, and Wooyoung Lee* (Yonsei University)

P18-3

순차적 침투 합성법을 통한 PMMA- InO_x 유-무기 복합 박막 제작 중 공반응물의 효과 분석

고민경, 전나리* (충남대학교)

P18-4

순차적 침투 합성법을 통한 저유전율 유-무기 복합 박막 증착

정지현, 전나리* (충남대학교)

P18-5

Ga-Doped $Li_7La_3Zr_2O_{12}$의 합성조건 변화에 따른 미세구조 및 이온전도도 특성

황인성 (한국생산기술연구원, 한양대학교), 김호형 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 이민수 (한국생산기술연구원, 한양대학교), 임진섭 (한국생산기술연구), 김현우 (한양대학교), 박재영* (한국생산기술연구원)

P18-6 **Canceled**

레이저 패터닝 기반 웨어러블 헬스케어용 AgNW/PEDOT:PSS 신축성 히터 제작

변정은, 이정우* (부산대학교)

P18-7

$Ti_3C_2T_x$ 나노 플레이크를 첨가한 Sn-Bi 복합체 합성 및 패키징용 저온 솔더 특성 평가

이재정, 쒸에한, 최호정, 류혜지, 정두현, 김혜영, 이준용, 우윤성* (단국대학교)

P18-8

Effect of Deposition Tilt Angle on Hydrogen Sensing Performance in Pd-Coated SnO_2 Nanorod Arrays

Wooyoung Lee*, Hyun-Sook Lee, and Serin Choe (Yonsei Univ.)

P18-9 **Canceled**

Post-Heat Treatment Influence on the Long-Term Performance of Pd-Coated SnO2 Nanorod Array Hydrogen Sensors

Sang-hyun Park, Hyun-Sook Lee, and Wooyoung Lee* (Yonsei Univ.)

P18-10

Effects of Molecular Size and Lewis Acidity of Metal Precursors on the Reactivity of Sequential Infiltration Synthesis

Jiwoong Ham and Nari Jeon* (Chungnam National University)

P18-11 **Canceled**

Lange Scale WS2-Based Monolayer Heterojunction for Advanced Optoelectronic Applications

Mikiyas Mekete Meshesha*, Yeojin Choi, Yuna Lee, and Sungjin An* (Kumoh National Institute of Technology)

P18-12

Enhanced NO_2 Gas Sensing in Humid Environments Using Titanium-Based MOF-Coated SnO_2 Nanowires

Sungjoon Moon, Ka Yoon Shin, Wansik Oum, Eun Bi Kim, Seonwoo Jang, and Hyoun Woo Kim* (Hanyang University)

P18-13 **Canceled**

Hydrogen Sensing Performance of Pd-Based Catalysts on SnO_2: Effects of Single and Bimetallic Combinations on Response Characteristics Across Different Concentrations

Taewon Lim, Hyun-Sook Lee, and Wooyoung Lee* (Yonsei University)

P19 : 항공재료

Room 2층 로비, 10월 29일 10:00 - 18:00

P19-1

직접용융증착법을 활용해 접합한 Hastelloy X / IN792 이종소재의 인장 변형 중 계면 안정성

성예찬, 강호성 (경상국립대학교), 김범준 ((주)갓테크), 김정기* (경상국립대학교)

P19-2

Influence of Residual Stress Induced by Hole Expansion on Fatigue Crack Growth

Minjae Baek*, Dong Jun Lee*, Hyunsung Choi*, Moo-Young Seok, Hyeonil Park, Yong Nam Kwon, Yunji Cho, Younwoo Shin, and Hyunbo Sim (Korea Institute of Materials Science (KIMS))

P19-3

ML-DIC 이미지 기반 피로균열전파 거동분석을 통한 Al 합금 압연재의 압연 방향과의 각도 구분

김도현, 홍범락, 좌비오, 신윤우, 이승환, 최현성, 박현일, 석무영, 이동준, 권용남* (한국재료연구원)

P19-4

파면분석을 통한 Inconel 706 대형 단조품의 상온 및 고온 피로균열전파 거동에 관한 연구

배정빈, 김영빈, 이준민, 이서영, 김상식* (경상국립대학교)

P19-5

암시야 모드에서 변형률 계측을 위한 PL-DIC patch의 정량적 특성 연구

신윤우, 좌비오, 이승환, 최현성, 박현일, 석무영, 이동준, 권용남* (한국재료연구원)

P19-6

단결정 초내열합금의 결정 방위에 따른 크리프 이방성 분석

장익제 (국립창원대학교), 구지호 (두산에너빌리티(주)), 김은경, 함성효 (STX 엔진(주)), 이재현* (국립창원대학교)

P19-7

분말 야금 기반 Ni기 초내열합금의 쇼트 피닝 공정 후 열처리에 따른 미세 조직 및 기계적 특성 분석

심현보*, 홍범락, 조윤지 (한국재료연구원, 부산대학교), 최현성, 박현일, 석무영, 권용남, 이동준* (한국재료연구원)

P19-8

Premium Quality Inconel 718 합금 빌렛의 결정립 미세화 공정개발

김종식, 주경준, 권용혁, 금보경, 이기영* (케이피씨엠)

P19-9 **Canceled**

항공용 Ti-6242 Ingot/Billet 국산화에 대한 연구

주경준*, 김종식, 권용혁, 금보경, 손희영, 이기영* (케이피씨엠)

P19-10

일방향 초내열합금에서 Zr첨가가 응고거동과 주조성에 미치는 영향

진혜승, 조대현, 주윤곤 (국립창원대학교), 서성문 (한국재료연구원), 구지호 (두산에너빌리티(주)), 이재현* (국립창원대학교)

P19-11 **Canceled**

항공 가스터빈용 Waspaloy 소재 및 형단조품 개발

권용혁, 김종식, 주경준, 금보경, 손희영, 이기영* (케이피씨엠)

P20 : 반도체

Room 2층 로비, 10월 29일 10:00 - 18:00

P20-1

Electrochemical Template-Free Growth of Vertical Single-Crystalline Cu Nano-Rods for BEOL Interconnect

Jae Yong Song* and Jae Wook Lee (Pohang University of Science and Technology)

P20-2

Low Temperature Solder ball solution for Memory package products : Study by Bi Composition in Sn-Ag-Cu solder based

Dohyun Kim* (Sungkyunkwan University, Samsung Electronics) and Hoojeong Lee (Sungkyunkwan University)

P20-3

Substrate Interaction Through 2D TMDCs Materials in WS_2/MoS_2 Vertical Heteroepitaxy

Lia Saptini Handriani, Minjoo Kim, Yelim Kim, and Won Il Park* (Hanyang University)

P20-4

Laser Assisted Bonding 기술을 적용한 DEG/Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더 접합부 취성파괴 특성 연구

한성희 (한국생산기술연구원(KITECH), 국립안동대학교), 한상은 (한국생산기술연구원(KITECH), 성균관대학교), 최동규 (한국생산기술연구원(KITECH), 경기대학교), 박영배 (국립안동대학교), 유세훈* (한국생산기술연구원(KITECH))

P20-5

Exploring the Effects of Inorganic Ligand on Performance of InP-Based Core/Shell Quantum Dots Phototransistor

Seungwoo Lee, Seongbeom Yeon, Jaehwan Lee, and Himchan Cho* (KAIST)

P20-6

Heat Transfer Modeling for 2.5D Chiplet Architectures: A Numerical Simulation Approach

Minjun Chun, Sam Yaw Anaman (Hanbat National University), Jung-Won Lee, Lewis Kang (nepes Co), Jung Ho Kim (Asicland Co), Inhak Han (Baum Design Systems Co), Jae Yong Song (Pohang University of Science and Technology), and Hoon-Hwe Cho* (Hanbat National University)

P20-7

Laser-Assisted Bonding 공정에 따른 Ni-less 표면처리와 Cu/Sn-Ag 필러 범프 간의 접합부 특성 평가

한상은 (한국생산기술연구원, 성균관대학교), 한성희 (한국생산기술연구원, 국립안동대학교), 이후정 (성균관대학교), 유세훈* (한국생산기술연구원)

P21 : 융합재료과학

Room 2층 로비, 10월 29일 10:00 - 18:00

P21-1

Material Selection Method based on Engineering and Product Personality: A Case Study of Trekking Pole

Jong won Lim and Jaeho Choi* (Gangneung-Wonju National University)

P21-2

Development of a High Q-Factor Photonic Crystal Resonator for Enhanced Light-Protein Interaction Analysis

Gyuin Baek, Samuel Kim, and Myungjae Lee* (Seoul National University)

P22 : 가공-열처리

Room 2층 로비, 10월 29일 10:00 - 18:00

P22-1

Evaluation of Microstructure and Mechanical Properties of Hot Forged High-Manganese Steel at Cryogenic Temperatures

GangHo Lee (Korea Institute of Industrial Technology, Pukyong National University), Byoungkoo Kim (Korea Institute of Industrial Technology), Sanghoon Noh (Pukyong National University), and Byung Jun Kim* (Korea Institute of Industrial Technology)

P22-2

석출강화형 초내열합금 Inconel 740H의 미세조직적 특성 기반 열처리 설계에 따른 입계 미세조직 제어 및 고온 크리프 특성 평가

양철혁, 김시연 (국립창원대학교), 정희원 (한국재료연구원), 홍현욱* (국립창원대학교)

P22-3

Selective Laser Melting으로 제조한 AlSi10Mg 합금의 Direct HIP 공정 별 미세구조 및 특성 변화 연구

강철*, 김건희, 김원래, 이택우, 강현수 (한국생산기술연구원), 김정래 (한국생산기술연구원, 한양대학교), 최선진 (한양대학교), 유병주, 황우진 (원에이엠), 김형균* (한국생산기술연구원)

P22-4

퀜칭 수조의 냉각능 향상을 위한 유동특성 예측방안 연구

박성익, 이창수, 박종화, 조상현, 김윤재, 황수빈, 김대성* ((주)대창솔루션)

P22-5

열에너지 수치를 이용한 플라즈마 질화층 예측 제어 장치 현장 적용 기술

전동술*, 안경준 (한국생산기술연구원)

P22-6

Correlation Between Stabilization Heat Treatment and Microstructure Evolution in Hot-Forged Ti-6Al-4V for Turbine Blades

Jae-Yeon Han, Yoon-Hwan Cho (Changwon Nation University), Chiwon Kim (Korea Institute of Material Science), Jiho Gu (Doosan Enerbility), and Hyun-Uk Hong* (Changwon Nation University)

P22-7

냉간가공된 AISI 316L의 저온 열화학 표면경화공정 적용을 위한 변형조직 및 결함 제어 연구

김현진, 김민한 (한국생산기술연구원), 차성철, 박헌준 (현대자동차그룹-현대케피코), 김준호* (한국생산기술연구원)

P23 : 가공-주조및응고

Room 2층 로비, 10월 29일 10:00 - 18:00

P23-1

마르텐사이트계 sulfur 쾌삭 스테인리스강 billet 내 유화물 형성거동 해석

윤호균*, 조선호 (국립창원대학교), 임종현, 문희종, 김천야, 유종영 ((주)세아창원특수강), 김선구*, 이재현* (국립창원대학교)

P23-2

전산모사를 통한 B5L급 보론 스테인리스강용 잉곳 몰드 설계

황수빈, 이창수, 박종화, 조상현, 박성익, 김윤재, 김대성* ((주)대창솔루션)

P23-3

MAR-M-246 니켈기 초내열합금을 활용한 저비용 터빈휠 제조기술 개발 (Development of Manufacturing Technology for Turbine Wheel Used Low Cost MAR-M-246 Ni Base Superalloy)

이만길*, 김성욱, 이준호, 민지후 (진성정밀금속(주))

P23-4

니켈저감형 개발합금을 활용한 박육주조 터빈하우징 공정개발 (Development of Thin-Walled Castings Low Ni-content Turbine Housings Process)

이준호*, 김성욱, 이만길, 민지후 (진성정밀금속(주))

P23-5

주조 공정 고도화를 위한 장입재 처리

이상환* (한국생산기술연구원)

P23-6

주조 공정 데이터의 시계열적 유형 분류

이상환*, 김효섭 (한국생산기술연구원)

P23-7

소실모형 주조법으로 제작된 자동차 터빈 하우징 부품의 Flow-3D를 이용한 주조해석

이강래* (한국생산기술연구원(KITECH))

P23-8

Dicing saw 가공베드용 주물의 주조해석

이강래* (한국생산기술연구원(KITECH))

P23-9

사형주조 공법으로 제조한 극저온용 고망간강 단조용 잉곳의 부위별 기계적 물성 연구

김용래*, 강민수, 강래철, 박성수 ((주)영신특수강)

P23-10

발전 터빈용 주강 부품의 가압주조를 위한 주조해석기술 개발

이강래, 최경환*, 장재철 (한국생산기술연구원(KITECH)), 손재화, 변삼섭 (터보파워텍(주))

P23-11

다이캐스팅 해석용 샷 슬리브의 최적화 공정조건 기술 개발

남정호* (한국생산기술연구원)

P23-12

극저온용 오스테나이트계 고망간 주조재의 단조 유무에 따른 미세구조 및 기계적 특성 변화

이승희, 박지원, 강신곤* (동아대학교)

P23-13

인서트 고압 다이캐스팅 공정에 의한 이종금속 소재 제조에 관한 연구

김태형 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 이근효 (한국생산기술연구원), 문재호 ((주)코넥), 신제식* (한국생산기술연구원)

P23-14

중력사형주조를 적용한 친환경자동차용 알루미늄 합금 48 V DC-DC 컨버터 하우징(6 Phase) 개발을 위한 주조방안 연구

강문석, 이찬주 (한국화학융합시험연구원), 권규수, 박진우 ((주)에이씨케이), 김민호* (한국화학융합시험연구원)

P23-15

저압사형주조를 적용한 GE90 항공기 제트 엔진용 알루미늄 합금 Gear Housing 개발을 위한 주조방안 연구

이찬혁, 강문석 (한국화학융합시험연구원), 권규수, 박진우 ((주)에이씨케이), 김민호* (한국화학융합시험연구원)

P24 : 재료강도

Room 2층 로비, 10월 29일 10:00 - 18:00

P24-1

Cu 및 Zr 첨가에 따른 A356 합금의 피로 균열 진전 거동

우두현 (동국대학교), 송태웅 (HYUNDAI SUNGWOO), 박찬우, 윤영준, 조창훈 (동국대학교), 구자욱, 전승병 (DR AXION), 정창열* (동국대학교)

P24-2

A356 합금의 Cu 및 Zr 첨가에 따른 장주기 피로 특성

조창훈, 박찬우, 우두현, 윤영준 (동국대학교), 송태웅 (HYUNDAI SUNGWOO), 정창열* (동국대학교)

P24-3

Inconel 740H 초내열합금의 합금 성분 조절에 따른 결정립계 강화 유도 열처리 설계 및 nodule-like γ′ 석출물 발생이 크리프 특성에 미치는 영향

양철혁, 김시연 (국립창원대학교), 김치원, 정희원 (한국재료연구원), 홍현욱* (국립창원대학교)

P24-4

아공석강의 미세조직 기반 일축 피로 수명 기반 다축 복합하중 피로 수명 예측

이상림, 신종훈, 최윤석* (부산대학교), 김현기, 김동휘, 강민우, 홍승현 (현대자동차(주))

P24-5

Nb 첨가 경량 철강의 장기 열 노출 후 슬립 밴드 형성 억제를 통한 기계적 특성 향상

주하연, 김시연 (국립창원대학교), 김치원, 박성준 (한국재료연구원), 홍현욱* (국립창원대학교)

P24-6

고압수소가스 및 전기화학적 수소 분위기 in-situ 저속변형률 시험을 통한 OCTG 강의 수소취성 평가

곽윤서, 오동규, 황병철* (서울과학기술대학교)

P24-7

용체화 열처리 후 냉각패턴 변화에 따른 Fe-Mn-Al-C 경량철강의 미세조직 및 물성 변화에 대한 연구

권민지, 문준오* (국립창원대학교), 박성준 (한국재료연구원)

P24-8

오스테나이트 고 Mn 주강의 인장 및 충격 특성에 미치는 미세조직의 영향 연구

이인성, 김순태* (연세대학교 철강연구소)

P24-9

주증기배관용 SA508 Gr.1A Mn-Mo계 저합금강의 냉각속도에 변화에 따른 미세조직 분석

김민철*, 현세미, 홍석민, 김종민 (한국원자력연구원)

P24-10

냉각속도에 따른 주증기배관용 SA508 Gr.1A 저합금강의 상분율 및 파괴특성 분석

현세미 (한국원자력연구원), 박근호 (한국원자력연구원, 충남대학교), 홍석민, 김종민, 김민철* (한국원자력연구원)

P24-11

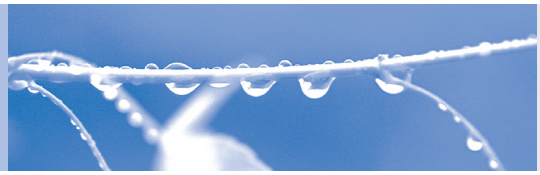
초초임계 고효율 화력발전 보일러용 후보소재의 피로 수명 예측을 위한 모델 연구

김대웅 (한국표준과학연구원, 서울과학기술대학교), 임재용 (서울과학기술대학교), 홍성구* (한국표준과학연구원, 과학기술연합대학원대학교)

P24-12

Ti 첨가를 통한 Al-Fe-Cr-Ni-Co 합금의 석출상 제어 및 상온 · 고온 기계적 물성 강화 연구

송호섭, 최지석 (삼기), 심종철 (인성), 윤상일* (삼기)



P25 : 에너지재료

Room 2층 로비, 10월 30일 09:00 - 14:00

P25-1 Canceled

$BaTiO_3$(BTO)의 분말 크기 및 승온 속도에 따른 소결 특성 연구

정재훈 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 현승균 (인하대학교), 정하국, 이종범* (한국생산기술연구원)

P25-2

Li–ion transport kinetics of $Li_{10}GeP_2S_{12}$ solid electrolyte and its response to isovalent cation substitutions (X = C, Co, Pb, Ti, Sb, Nb, Mn, Bi): density functional theory and machine–learning–assisted molecular dynamics study

KO HYEOKJIN, CHO MINHA, and CHOI YONGSEOK* (Dankook Univ.)

P25-3

PAN 기반 분리막을 통한 바나듐 양극재를 사용한 수계 아연 이온 전지의 저속 수명 특성 보고

이은서, 이진영, 박세영, 박유진, 전유은, 민성욱* (경기대학교)

P25-4

Enhancing Durability and Capacity Retention of Ultrafine–Grained Aluminum Foil Anodes in Lithium–Ion Batteries

Hee–Tae Jeong and Woo Jin Kim* (Hongik University)

P25-5

Deformation Mechanism Maps of Pure Lithium: Their Application in Determining Stack Pressure for All–Solid–State Lithium–Ion Batteries

Hee–Tae Jeong and Woo Jin Kim* (Hongik University)

P25-6 Canceled

Ru2P/Ir2P Heterostructure Promotes Hydrogen Spillover for Efficient Alkaline Hydrogen Evolution Reaction

Jae Hun Seol, Seong Chan Cho, and Sang Uck Lee* (Sungkyunkwan University)

P25-7 Canceled

Enhancement of Performance and Stability in Lithium–Silver Alloy Anode through Microstructure Adjustments

Seungho Lee, Chaeyeon Yeom, and Jonghyeon Lee* (Chungnam National University)

P25-8 Canceled

Impact of Grain Boundary Engineering on Lithium Kinetics in Li–Mg Alloy Anodes for Li–ion Batteries through Controlled Cooling and Cold Rolling.

Chae Yeon Yeom, Woo Seok Choi, Seung Ho Lee, and Jong Hyeon Lee* (Chungnam National University)

P25-9 Canceled

탄소 중립 제철을 위한 알칼리 전해질 기반 Fe_3O_4의 전해 환원 연구

박성현, 최우석, Hayk Hacob Nersisyan, 이종현* (충남대학교)

P25-10

리튬 이차전지용 Si–Al–Ti–Fe 나노 복합 구조 합금의 설계 및 전기화학적 특성 평가

김지용 (인하대학교), 서종민, 양정윤, 석은, 정구환 (강원대학교), 성재욱, 현승균* (인하대학교)

P25-11

리튬이온이차전지용 1,800mAh/g 실리콘 음극 소재 개발을 위한 나노 복합 구조 실리콘 합금 설계

김재원 (인하대학교), 서종민, 양정윤, 석은, 정구환 (강원대학교), 성재욱, 현승균* (인하대학교)

P25-12

리튬 이온 배터리용 알루미늄 음극재의 표면 개질을 통한 효율 향상

문준혁 (서울대학교), 류채우* (홍익대학교), 박은수* (서울대학교)

P25-13 Canceled

음극의 DLC 코팅을 활용한 수계 아연 이온 전지의 전기화학적 성능 연구

이진영, 민성욱*, 이은서, 박세영, 박유진, 전유은 (경기대학교)

P25-14

Characterization of High–Capacity GeP_5/C Composite Anode Materials for Potassium–Ion Batteries

Eun–San Jo and Chan–Jin Park* (Chonnam National University)

P25-15 Canceled

마그네슘 열환원을 통한 특정 결정면 성장 고엔트로피 탄화물 나노 촉매 합성 및 수전해 특성 평가

정준모, Hayk Nersisyan, 이종현* (충남대학교)

P25-16

리튬이온이차전지용 나노 복합 구조의 Si–Ti–Al–Ni 음극재 합금 설계에 관한 연구

나인성 (인하대학교), 서종민, 양정윤, 석은, 정구환 (강원대학교), 성재욱, 현승균* (인하대학교)

P25-17

Experimental Study on an Acoustic Field–Based System for Ultrafine Particle Aggregation

Taehoon Park, Hai–Joong Lee, and Hyo–Soo Lee* (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))

P25-18

프로세스에 따른 적층세라믹 콘덴서의 미세조직 및 잔류응력 변화 연구

이종범, 정하국* (한국생산기술연구원)

P25-19 Canceled

열처리 온도에 따른 수열합성법으로 제조된 BaTiO3의 물성 변화 연구

이종범, 정하국* (한국생산기술연구원)

P25-20

Synergetic Effects of Edge Formation and Sulfur Doping in Graphene–Based Catalyst for an Efficient Oxygen Reduction Reaction

SeKwon Oh* (KITECH)

P25-21

Cobalt–iron–phosphorus catalysts for an efficient hydrogen production via hydrolysis of ammonia borane solution

SeKwon Oh* (KITECH)

P25-22

Effect of Heat and Chemical Treatment on the Corrosion Resistance and Contact Resistance of Ferritic Stainless Steel

JinHo Park* (Korea Atomic Energy Research Institute)

P26 : 고엔트로피합금

Room 2층 로비, 10월 30일 09:00 - 14:00

P26-1

Unique stacking fault structure in FCC–HCP dual phase high entropy alloy

김민석, 김지영, 박은수* (서울대학교)

P26-2

FCC 컴플렉스 고용 합금계의 조성–온도–결정립–강도 상관관계 구축

김동환, 안혜상, 류욱하 (서울대학교), 정휘윤, 이제인 (부산대학교), 박은수* (서울대학교)

P26-3

Engineering mechanical characteristic of Cr–Mn–Fe–Co–Ni Complex Concentrated Alloys (CCAs) under Varied Stress/Strain Conditions

예정원, 김민석, 김지영, 박은수* (서울대학교)

P26-4

Precipitation–hardened high–entropy alloy with efficient strength–ductility balance over broad temperature spectrum

SYED MUHAMMAD HAMZA IFTIKHAR, Kangjin Lee, SeungHwan Shin, and Gian Song* (Kongju National University)

P26-5

$Fe_{45.9}Ni_{10.3}Co_{33.4}Cr_{2.5}Mo_{7.9}$ 그리고 $Fe_{43.2}Ni_{10.3}Co_{33}Cr_{3.8}Mo_{9.7}$ 고엔트로피 합금의 열처리 온도 및 시간에 따른 석출거동, 미세조직, 기계적 물성 변화 연구

김태형, 이재혁 (단국대학교), 배재웅 (부경대학교), 김형섭 (포항공과대학교), 문종언 (공주대학교), 주수현* (단국대학교)

P26-6 Canceled

A high–performance, dual–phase Fe–rich complex concentrated alloys (CCAs) with enhanced strength–ductility synergy

VIKAS SHIVAM*, Dong Whan Kim, and Eun Soo Park (Seoul National University)

P26-7

4.2 K에서 기계적 불안정성이 완화된 γ′ 강화형 중엔트로피 합금 개발

이준석, 김태형 (부경대학교), 이정완 (포항공과대학교), 김영균, 나영상 (한국재료연구원), 배재웅* (부경대학교)

P26-8

TiC 분산 강화를 통한 multi–phase 고엔트로피 합금의 내마모성 및 TiC의 입계 윤활 특성 연구

송은효, 이한성, 안병민* (아주대학교)

P26-9

CrMnFeCoNi계 합금의 형상기억특성에 미치는 Co/Ni 조성비의 영향

임진수랑, 정휘윤 (부산대학교), 오현석 (위스콘신대학교), 이제인* (부산대학교)

P26-10

Impact of DCT cycles on the surface hardening of pre–strained Cantor (CoCrFeMnNi) alloy

SUMAIRA SADIQ, Hafiz Muhammad Rehan Tariq, Tea–Sung Jun* (Incheon National University), and Nur Izzati Muhammad Nadzri (Universiti Malaysia Perlis (UniMAP))

P26-11

AlCrNbVZr계 내화 고엔트로피 합금의 경량화 및 고온 안정성 연구

윤교식, 이강민, 송은효, 이한성, 안병민* (아주대학교)

P26-12

CrMnFeCoNi 형상기억합금의 인장특성에 미치는 결정립 크기와 시험 온도의 영향

최지환, 정휘윤, 임진수랑, 이제인* (부산대학교)

P26-13

The impact of titanium as an alloying element on the microstructural development, mechanical properties, and catalytic performance of $CoCrFeNi_2Ti_x$ high entropy alloys.

MUHAMMAD AOUN ABBAS, Dilshodbek Yusupov, Gyeol Chan Kang, Jun Su Ha, Dong–sung Hong, Ga Eun Jo, kang Hyun Lee, Sung Hwan Hong, and Ki Buem Kim* (Sejong University)

P26-14

BCC구조의 초경량 AlTiVCr 고엔트로피 합금의 Al, Ti의 비율에 따른 미세구조의 변화 및 기계적 물성 제어

홍동성*, Yusupov Dilshodbbek, 하준수, MUHAMMAD AOUN ABBAS, 강결찬, 홍성환, 김기범* (세종대학교)

P26-15

Influence of the phase formation, microstructure and mechanical characteristics of $(CrFeNiCu)_{100-x}V_x$ high entropy alloys

Dilshodbek Yusupov, Abbas Muhammad Aoun, Dong Sung Hong, Gyeol Chan Kang, Hae Jin Park, Sung Hwan Hong, and Ki Buem Kim* (Sejong University)

P26-16

압연공정 제어를 통한 Al–Cr–Fe–Ni–Ti 고엔트로피 합금의 초소성 특성 향상 연구

신승환, 박강현 (공주대학교), 심상훈, 임가람 (한국재료연구원), 송기안* (공주대학교)

P26-17 **Canceled**

Interstitial alloying enabled the ultra–high mechanical properties and related strengthening/deformation mechanisms in CoCrNi medium–entropy alloys

심상훈, 전승민, 김영균, 나영상* (한국재료연구원)

P27 : 철강-압연,강종개발,후처리

Room 2층 로비, 10월 30일 09:00 - 14:00

P27-1

고망간강의 석출강화기구에 대한 고찰

송호정 (동아대학교), 박건우 (울산과학기술원), 이동호 (포스코 기술연구원), 박시욱 (국방과학연구소), 이학성 (동아대학교), 장재훈 (한국재료연구원), 전종배* (동아대학교)

P27-2

고강도 내진 철근의 불균일 항복 거동에 대한 미세구조 및 기계적 물성 분석

박형준, 박지원, 강신곤* (동아대학교)

P27-3

Ni 함량에 따른 저탄소 TMCP강의 저온 충격인성과 미세조직의 상관관계 분석

최정현, 황성원, 유성훈 (부산대학교), 김우준, 고성웅 (㈜포스코), 강남현* (부산대학교)

P27-4

이상영역 열처리 및 항온 열처리된 3Mn TRIP강의 미세조직 및 기계적 물성

임용수, 김진경* (한양대학교)

P27-5

Co 함량에 따른 Fe–6.5Si 규칙상 형성 거동 변화분석

윤준원 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 배상환 (한국생산기술연구원), 권기혁 (포항산업과학연구원), 이제인 (부산대학교), 손석수 (고려대학교), 박창수* (한국생산기술연구원)

P27-6

3Mn Q&P강의 퀜칭 온도가 미세조직 및 기계적 물성에 미치는 영향

김규헌, 임용수 (한양대학교), 김지훈 (Tohoku Univ.), 김진경* (한양대학교)

P27-7 **Canceled**

고압수소용 템퍼드 마르텐사이트강의 수소취성에 미치는 Nb 함량의 영향

이유진, 김상규, 신희창, 황병철* (서울과학기술대학교)

P27-8

오스테나이트계 스테인리스강의 극저온 변형 중 변형유기 마르텐사이트에 의한 Lüders band 거동

김진섭, 김진경* (한양대학교)

P27-9

Impact of Ni_3Ti ($L1_2$) Precipitation on Strength and CTE of Invar Alloy

Jaejun Jeong*, Seok–Hwan Hong, and Dong–Woo Suh* (Pohang University of Science and Technology)

P27-10 **Canceled**

Delayed quenching 온도에 따른 열연 코일의 미세조직과 기계적 특성

정민섭, 오동규, 신승혁, 황병철* (서울과학기술대학교)

P27-11

고온 질화를 통한 오스테나이트계 스테인리스강의 내수소취성 개선

권영제, 강지현* (영남대학교)

P27-12

Cr–rich BCC 석출상이 포함된 FeCrNi 철계 오스테나이트강의 수소 취성 거동

옥일섭, 김진경* (한양대학교)

P27-13

Influence of Mo_2C precipitation strengthening on impact toughness in Invar alloy

Seok–Hwan Hong*, Jaejun Jeong, and Dong–Woo Suh* (Pohang University of Science and Technology)

P27-14

자동차 샤시용 1.0GPa급 초고강도 열연 강판 개발

이성형*, 도형협, 김지원, 손경주, 위성준, 김규태 (현대제철)

P27-15

Paintability and Corrosion Resistance Evaluation of Cut–edge in the Automotive Body

Junmu Park*, Jinho Rhee, Hyunyeong Jung, Jinhwa Jeon (Hyundai–Steel), Hwiyong Lee, Yunbo Shim, and Hyunmin Ahn (Hyundai–Motor)

P27-16

The Effect of Steel on Corrosion of Bimetallic FDS Joints for Automotive Body

Jin–Ho Rhee*, Jun–Mu Park, Hyun–Yeong Jung, Jin–Hwa Jeon (Hyundai–Steel), and Suk–Jong Yoo (KG Mobility)

P27-17

Gr.80 고강도 원자력 철근의 기계적 성질에 미치는 합금성분의 영향

원성빈*, 김길수 (동국제강)

P27-18

Invar강 용접봉의 기계적 물성 향상을 위한 합금 원소 첨가 효과 분석

김연지, 유연정, 유혜연, 노윤경, 이초롱* (㈜동아특수금속), 김성욱, 최지웅 (포항산업과학연구원)

P27-19

SCM420 합금강 단조부품의 열처리 공정 최적화

이준하 (국립한밭대학교), 신경식 (㈜세림티앤디), 김정민* (국립한밭대학교)

P27-20

티타늄 함유 슈퍼 듀플렉스 내식강의 부식특성

한윤기, 김정민* (국립한밭대학교)

P27-21

VC석출 분말야금압연롤 소재의 물성/가공성 평가 연구

정아호, 김한수, 길희진, 정휘근, 이원혁* (㈜코나솔)

P27-22 **Canceled**

Comparative analysis of Thermal Expansion Coefficients for LNGC Invar plates of varying thickness using a push rod dilatometer

최지웅, 김성욱*, 이현석, 최미선 (포항산업과학연구원)

P28 : 알루미늄

Room 2층 로비, 10월 30일 09:00 - 14:00

P28-1

시효 시간 및 Cu 첨가 조건이 Al–Mg–Si 합금의 미세조직 및 부식 거동에 미치는 영향 분석

홍현빈, Raj Narayan Hajra (국립한밭대학교), 신은주 (한국원자력연구원), 김재국, 이종숙 (전남대학교), 김정한 (국립한밭대학교), 김재황* (한국생산기술연구원), 조훈휘* (국립한밭대학교)

P28-2

Mechanical properties and thermal conductivity on Non–Heated Al–Si alloys fabricated by High Pressure Die Casting

강청아* (한국재료연구원, 부산대학교), 조용희, 이윤호 (한국재료연구원), 이제인 (부산대학교), 조영희* (한국재료연구원)

P28-3

시효 전 압연 공정이 Al–Zn–Mg–Cu–Sc–Zr 합금의 미세조직과 기계적 물성 변화에 미치는 영향 연구

천현석 (한국재료연구원, 부산대학교), 김지수 (한국재료연구원), 임하윤 (한국재료연구원, 부산대학교), 김수현* (한국재료연구원)

P28-4

인서트 캐스팅된 알루미늄 합금간 계면 처리 방법에 따른 접합 특성 및 열전도 특성에 대한 연구

김하늘, 김희국, 장병록* (인하대학교)

P28-5

와이어–아크 적층제조 공정으로 제조된 A7075 알루미늄 소재의 후처리에 따른 기계적 특성 변화

천현석 (한국재료연구원, 부산대학교), 김원경, 윤연희, 박유빈 (한국재료연구원), 임하윤 (한국재료연구원, 부산대학교), 김수현, 이윤수* (한국재료연구원)

P28-6

OQMD를 바탕으로 한 기계 학습을 통해 설계된 La 또는 Sr이 첨가된 Al–Cu 합금에서의 새로운 석출물에 관한 연구

전서연, 박수원, 조아연 (국민대학교), 김세훈 (한국자동차연구원), 김용주 (고려대학교), 최현주* (국민대학교)

P28-7

과도한 스칸듐 함량이 Al–Zn–Mg–Cu(7xxx 시리즈) 합금의 기계적 성질과 미세구조에 미치는 영향

박승준* (한국생산기술연구원, 고려대학교), 한정우, 양하규 (한국생산기술연구원), 강이승, 김규현* (한국생산기술연구원)

P28-8

Al–Zn–Mg–Cu (7xxx) 합금의 미세구조 및 기계적 특성에 미치는 Cu와 Sc 첨가의 영향

양하규*, 한정우, 박승준 (한국생산기술 연구원, 고려대학교), 강이승, 김규현* (한국생산기술연구원)

P28-9 **Canceled**

RE 원소 첨가에 따른 Al–Si 합금의 미세조직, 기계적 및 전기적 특성에 관한 연구

고은찬, 이병권 (전남대학교, 한국생산기술연구원), 김용호, 유효상, 손현택* (한국생산기술연구원), 김태훈 (전남대학교)

P28-10

고온 열처리된 Al–Mg–Si계 합금의 열안정성에 미치는 Ni 미량원소의 영향

남수민 (한국재료연구원, 경북대학교), 손현우*, 어광준 (한국재료연구원), 이재석 (한국재료연구원, 부산대학교), 김용유 (한국재료연구원, 과학기술연합대학원대학교), 최명식 (경북대학교)

P28-11

풀러렌을 첨가한 알루미늄 복합재의 레이저 경화 특성 연구

이소민, 김수민, 한주연, 이효정, 최현주* (국민대학교)

P28-12 **Canceled**

열간 비틀림된 7000계 알루미늄 합금의 Zn 함량에 따른 고온 거동 분석

민병현 (인하대학교), 손태오 (인하대학교, HD한국조선해양), 이지운 (국립공주대학교), 현승균, 박현순* (인하대학교)

P28-13

질화기반공정으로 제조된 마이크로/나노 하이브리드 복합재

이지원, Kanhu Nayak, 한주연, 이건배, 최현주* (국민대학교)

P28-14 **Canceled**

Nano–scale co–precipitation Mechanism in Al–Si–Mg Alloys

saif kayani*, Sang–Ik Lee, Yoon–Ho Lee, Kwangjun Euh, and Young–Hee Cho* (Korea Institute of Materials Science)

P28-15

Al–Mg–Si계 알루미늄 합금의 미량 원소 제어를 위한 B 첨가의 영향

윤연희, 정대한, 이정무, 안지혁, 이윤수* (한국재료연구원)

P28-16

Pitting 부식환경에서 Zn 첨가량에 따른 Al–Zn–Mg–Cu계 합금의 응력부식균열 저항성 평가

이민재, 이혜인 (한국자동차연구원), 양대철, 손석수 (고려대학교), 김세훈* (한국자동차연구원)

P28-17 **Canceled**

순수 알루미늄의 재결정 조직에 미치는 압하율 및 풀림 열처리 조건의 영향

김선기* (㈜나이스엘엠에스), 조대연, 이근효, 김준현, 하성호 (한국생산기술연구원), 윤상민, 김영균 (고등기술연구원), 구승현 (㈜나이스엘엠에스)

P28-18 **Canceled**

고방열 알루미늄합금의 유동성 향상을 위한 합금 원소 첨가에 따른 영향

김용호, 유효상, 이병권, 고은찬, 손현택* (한국생산기술연구원)

P28-19

Mg 및 Zn 첨가가 T5 열처리 Al-Si 합금의 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향

김재권 (서울대학교), 김도향 (연세대학교), 박은수* (서울대학교)

P28-20

항공용 고강도 Al-Zn-Mg 알루미늄 합금의 Zn, Mg 비율이 기계적 특성 및 응력부식균열 저항성에 미치는 영향

이혜인, 이민재 (한국자동차연구원), 전서연, 최현주 (국민대학교), 김세훈* (한국자동차연구원)

P28-21

과공정 Al-Si-Cu-Mg 합금에서 Mg 첨가 및 열처리에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화

박유빈, 손현우, Saif Haider Kayani, 이정무* (한국재료연구원)

P28-22

초음파인가된 Al-Mg-Si계 합금 연속주조 빌렛의 미세조직에 대한 균질화 열처리 조건의 영향

정재헌, 조훈, 김태형, 박서진, 송람* (한국생산기술연구원)

P29 : 가공-용접및접합

Room 2층 로비, 10월 30일 09:00 - 14:00

P29-1

레이저 충격 피닝을 통한 고망간강 용접재의 극저온 인장 물성 향상

이선 (한국생산기술연구원, 부산대학교), 이성광 (한국생산기술연구원, 경북대학교), 이재훈 (한국생산기술연구원, 울산대학교), 최지환, 하정홍 (한국생산기술연구원), 이태경* (부산대학교), 이정훈* (한국생산기술연구원)

P29-2

석출물 형성에 따른 고망간강 용접부의 결정립 미세화와 기계적 특성 연구

박정빈, 강남현* (부산대학교, 재료공학과)

P29-3

Driving force of oxygen-free Cu sintering in the air on cold-rolled Cu substrates

YehRi Kim (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH), Korea University), Ha-young Yu (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)), Byeong Kwon Ju (Korea University), and Dongjin Kim* (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))

P29-4

HY-60강 GMAW 용접부의 피로 파면 분석 및 연구

임유진, 신현준, 이진경, 이상필, 배동수, 조일국* (동의대학교)

P29-5

UPM을 활용한 전력반도체용 AMB 기판 접합 연구

조성민 (인하대학교), 김근수 (호서대학교), 현승균* (인하대학교)

P29-6

17-4 PH 스테인리스강 적층제조 및 단련재 이종용접부 특성 고찰

주하연, 김종훈 (창원대학교), 이지원, 최용혁, 한정민 (두산에너빌리티), 홍현욱* (창원대학교)

P29-7

UPM Cu을 이용한 EV 전력모듈용 Cu-Sn 천이액상확산 접합 연구

김홍석 (인하대학교), 김근수 (호서대학교), 현승균* (인하대학교)

P29-8

링-코어 빔 출력비에 따른 Al-Cu 레이저 용접부 특성에 미치는 듀얼 빔의 영향

유채은, 윤성민 (부산대학교), 김용 (고등기술연구원), 이제인* (부산대학교)

P29-9

Silver Sintered Al FPCB/Al FPCB Lap Joints

YEHWAN LEE (Korea Institute of Industrial Technology, Inha university) and DONGJIN KIM* (Korea Institute of Industrial Technology)

P29-10

Ag-X 나노 복합구조를 활용한 반도체 패키지 저온 소결 접합 용 나노 다공성 실버 개발

김민서, 성재욱, 현승균* (인하대학교)

P29-11 **Canceled**

4.2K 환경에서의 Gas Tungsten Arc Welding STS 316L의 미세조직 및 인장 특성 평가

전승민* (한국재료연구원 (KIMS), 창원대학교), 나영상*, 김영균 (한국재료연구원 (KIMS)), 임동우 (㈜크리오스)

P29-12

Mechanisms of microstructure evolution and mechanical properties in friction stir welded joints of dual-phase steel at cryogenic temperature

Hyun-Hak Kang, Seung-Chang Han, and Tea-Sung Jun* (Incheon National University)

P29-13

연속 냉간 압연 공정에서 100K급 GA도금용 열연강판의 용접 후열처리 최적화에 관한 연구

노형섭, 윤중길*, 이상호, 심관우, 조승한 (현대제철㈜)

P29-14

하나로핵연료 Grapple head 용접 장치에 관한 개선점 고찰

소원재*, 도정민, 김종환, 김기남, 정용진 (한국원자력연구원)

P29-15

Heat-Resistant Reliability of Large-Area Sintered Silver Nanoparticles for Direct Cooling in Power Modules

Yu Hayoung*, Seoah Kim, and Dongjin Kim* (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))

P29-16

Microstructure-based analysis of degradation resistance and high-temperature mechanical properties in Ti-added RAFM steel welds

Jae-Yeon Han, Yoon-Hwan Cho (Changwon Nation University), Chiwon Kim, Chang-Hoon Lee (Korea Institute of Material Science), Seung-Jin Jung (Chosun Welding Co., Ltd), and Hyun-Uk Hong* (Changwon Nation University)

P29-17

Driving force for enhancing the cold silver sinter joining using time domain-dependent Ag-Au epitaxy and interfacial stress

Dongjin Kim* (Korea Institute of Industrial Technology)

P29-18

Driving forces of solid–state Cu–to–Cu direct bonding suppressing the work–hardening loss by refill friction stir spot welding

Dongjin Kim* (Korea Institute of Industrial Technology)

P29-19

Thermo–mechanical reliability of oxidation–free Ag porous sheet bonding on bare Cu substrates

Dongjin Kim* (Korea Institute of Industrial Technology)

P30 : 생체재료

Room 2층 로비, 10월 30일 09:00 - 14:00

P30-1 **Canceled**

Optimizing Porous PDMS Microstructures for Durable and Thermally Stable Wearable Sensors

hyejun Kim, Seongu Kim, and Jeonghyun Kim* (Kwangwoon Univ.)

P30-2 **Canceled**

Non–Invasive Blood Glucose Monitoring Using Near–Infrared Light: A Novel Approach to Improve Accuracy and Patient Comfort

Jeonghyun Kim*, Seongu Kim, and Yeonjae Yang (Kwangwoon Univ.)

P30-3

생분해성 다이오드의 고주파 정류 특성 파라미터 측정을 통한 신경 재생 디바이스의 표준화

김재원, 김경수, 문경환, 구자현* (고려대학교)

P30-4 **Canceled**

A Blood Pressure Measurement Device Using a Supercapacitive Ionic Pressure Sensor

Lee Junyeong, Lee Minjoo, and Kim Jeonghyun* (Kwangwoon Univ.)

P30-5 **Canceled**

Ultrahigh Temperature Sensitivity for Human Healthcare monitoring via Precious Metals Atomic Layer Deposition on V–MXene: Computational and Experimental Exploration

Debananda Mohapatra (Ulsan National Institute of Science and Technology), Hyun Jin Kang, Jung Woo Lee* (Pusan National University), and Soo–Hyun Kim* (Ulsan National Institute of Science and Technology)

P30-6

Shape memory vascular clip with biodegradable core mediating gradual recovery of blood flow

Sungeun Kim, Byungsoo Kim, Seunghun Han, Bon Jekal, Sehwan Park, and Jahyun Koo* (Korea Univ.)

P30-7

Bi–directional cyclic mechanical stimulation regulates metastatic behavior and apoptosis in melanoma cells via mechanotransduction pathways

TaeHoon Lee and Junmin Lee* (POSTECH)

P30-8

3D Printable and Multifunctional Hyaluronan Based Hydrogel patches for Skin Disease

Hyeong Seok Kang, Seo–Jun Bang (Hanyang University), Chan Ho Moon (The Catholic University of Korea), Ju Yeong Gwon (Hanyang University), Jong Hwa Seo, Hyun Lee (The Catholic University of Korea), and Hyun–Do Jung* (Hanyang University)

P30-9

3D–Printed Tissue–Specific Nanospike–Based Adhesive Materials for Time–Regulated Synergistic Tumor Therapy and Tissue Regeneration In Vivo

Hyeong Seok Kang (Hanyang University), Hyun Lee* (The Catholic University of Korea), Seojoon Bang, and Hyun–Do Jung* (Hanyang University)

P30-10

3D Printed Electroconductive and Stretchable Composite Hydrogel Patches for Accelerated Wound Healing

Seo–Jun Bang, Hyeong Seok Kang (Hanyang University), Chan Ho Moon (The Catholic University of Korea), Ju Yeong Gwon (Hanyang University), Jong Hwa Seo, Hyun Lee (The Catholic University of Korea), and Hyun–Do Jung* (Hanyang University)

P30-11

Nature–inspired microneedle patches by 4D printing for accelerating incisional and diabetic wound healing

Seo–Jun Bang (Hanyang University), Hyun Lee* (The Catholic University of Korea), Hyeong Seok Kang, and Hyun–Do Jung* (Hanyang University)

P30-12

3D Printed Biodegradable Hydrogel–based Multichannel Nerve Conduits Mimicking Peripheral Nerve Fascicules

Yerim Lee, Jahyun Koo*, Woo–Youl Maeng, Kyung Su Kim, and Daeun Sung (Korea University)

P30-13

Constructing electrical interface of plants using arrowhead subsrate–free hydrogel microneedle

Geonho Lee and Junmin Lee* (Pohang University of Science and Technology)

P31 : 가공-표면처리

Room 2층 로비, 10월 30일 09:00 - 14:00

P31-1

Improvement in bonding strength of Al_2O_3 coating by multi–layered system

Sumin Song (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH), Hanyang University), Suhyun Bae, Seongjun Hong, Taebum Kim (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)), Jeongho Han (Hanyang University), and Kyuntaek Cho* (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))

P31-2

기계학습을 이용한 AA1100에 미치는 부식 환경의 영향 분석

김민태, 서정우, 정용주, 이주희, 장희진, 김희수* (조선대학교)

P31-3

Fe-Cr 스테인리스강의 부식에 관한 기계학습 분석

서정우, 정용주, 김민태, 장희진, 김희수* (조선대학교)

P31-4

Ni 합금의 고온 부식에 미치는 합금원소의 영향

정용주, 김민태, 서정우, 장희진, 김희수* (조선대학교)

P31-5

Si 및 Sn 첨가가 Batch형 Zn-Al-Mg 용융도금재에 도금층 두께 및 내식성에 미치는 영향

김송현 (한국생산기술연구원, 순천대학교), 양시진, 전재열* (한국생산기술연구원)

P31-6

다층구조 설계 기반 고엔트로피 합금 코팅의 계면 제어 및 결정화 메커니즘 규명

이유진, 서진오, 신지우, 강결찬, 박혜진, 홍성환, 김기범* (세종대학교)

P31-7

스테인리스강의 전해연마 용액에 글리세롤 첨가가 부동태 피막 특성 및 내식성에 미치는 영향

최보은 (한국생산기술연구원, 부산대학교), 김용환* (한국생산기술연구원)

P31-8

금속 소재 기반 방빙 재료에 관한 연구

함진희*, 신지영 (국방과학연구소), 우상혁, 심원미 (중앙대학교)

P31-9

초소수성 코팅과 실리콘 오일 함침 표면의 결빙 방지 및 제빙특성 연구

신지영*, 함진희 (국방과학연구소), 이수민, 이정훈 (부경대학교)

P31-10

아연-니켈도금품질에 미치는 탑코팅 영향 (The effect of top-coating on quality on Zn-Ni electroplating)

정인필*, 김영춘 (현대트랜시스)

P31-11

인코넬 718의 건식 밀링 중 절삭성 및 표면 건전성 평가

이택, 윤일채, 허재영, 장경훈, 강익수* ((재)대구기계부품연구원)

P31-12

용융염 원자로 구조재의 금속 피복 열영향 특성

윤지현*, 신기승 (한국원자력연구원), 김정한 (한밭대학교)

P31-13

슬러리 용액을 이용한 핵연료 피복관 크러드 모사 기술

하성준, 전순혁, 허도행, 심희상* (한국원자력연구원)

P31-14

A study on the passive film stability formed by nitric acid passivation on stainless steel in acid solution

SeKwon Oh* (KITECH)

P31-15

습식 코팅공정을 활용한 고종횡비 TGV의 seed layer 형성 기술

김호형 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 이민수, 박재영* (한국생산기술연구원)

P31-16 **Canceled**

전통 칠보공예의 재현성과 대중화를 위한 금속 기판과 패터닝 기술 연구

이민수 (한국생산기술연구원), 김호형 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 박재영* (한국생산기술연구원)

P32 : 이차전지원료소재

Room 2층 로비, 10월 30일 09:00 - 14:00

P32-1

Enrichment of nickel contents of low grade laterite ore using a beneficiation process

Gilsang Hong, Jaehoon Lee, Jeongwoo Kim, Heewon Kang, and Hyunjung Kim* (Hanyang University)

P32-2

Research progress on separating active materials of spent LFP batteries via flotation

Hyojeong Nam, Gilsang Hong, Eunji Park, Dohyeon Roh (Hanyang University), Junseop Lee, Hyerim Kim (Korea Mine Rehabilitation and Mineral Resources Corporation(KOMIR)), and Hyunjung Kim* (Hanyang University)

P32-3

Surface Doping by the High-Valence Element to Enhance the Electrochemical Performance of Li-rich Layered Oxide Cathode Materials

Daewon Oh and Chang Woo Lee* (Kyunghee Univ.)

P32-4

산화물계 전고체 전지용 고체전해질 재활용을 위한 기초연구

이현준 (과학기술연합대학원대학교), 이현주, 배무기, 최종원 (한국지질자원연구원), 김수경* (과학기술연합대학원대학교, 한국지질자원연구원)

P32-5

LFP계 리튬이온 배터리 부산물 중 Li 선추출 조건 연구

하륜, 강영조* (동아대학교)

P32-6

Synthesis and Design of $LiMn_{0.5}Fe_{0.5}PO_4$/C Cathode Active Materials Using Spray Drying Process

Jun Yeop Lee and Chang Woo Lee* (Kyunghee Univ.)

P32-7 **Canceled**

Analysis of Impurity Influence in Lithium Sulfide for Performance Enhancement of Sulfide-Based Solid Electrolytes on All-Solid-State Batteries

jongchan park (Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), University of Science and Technology (UST), Hye-Won Jo (Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), Pusan National University), Dr. Byeong-Min Ahn (Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)), Jun-Ho Park*, Jeong-hee Choi*, and Jun-Woo Park* (Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), University of Science and Technology (UST))

P32-8 Canceled

Study on the influence of raw material impurities for improving the performance of sulfide-based solid electrolytes for all-solid-state batteries

강우진 (한국전기연구원, 과학기술연합대학원대학교), 조혜원 (한국전기연구원, 부산대학교), 안병민 (한국전기연구원), 최정희, 박준호* (한국전기연구원, 과학기술연합대학원대학교)

P32-9

복합용액 제조 및 용매추출공정 개선을 위한 기초 연구

박연우*, 엄형섭, 정은진 (포항산업과학연구원)

P32-10

건식 공정을 통한 니켈 매트 정제 잔사 재활용 기술 개발

서민석*, 박진균, 김종호, 이병필, 최준성, 우광선, 우강주 (포항산업과학연구원)

P32-11

Enhancing the elcectochemical performance of Ni-rich NCM cathode materials by surface coating with $LiSrPO_4$ for lithium-ion batteries

Seong Ju Sim, Jun Ho Park, Bong Soo Jin (Korea Electrotechnology Research Institute), Man Soo Choi (Korea Atomic Energy Research Institute), and Hyun Soo Kim* (Korea Electrotechnology Research Institute)

P32-12

폐리튬이온배터리 리사이클링을 통한 유가금속 회수 및 정제 부산물 활용 평가

박연우*, 정은진, 엄형섭 (포항산업과학연구원)

P32-13

Analysis on various separation processes for direct recycling of cathode material from black mass in spent lithium-ion battery.

강우진 (한국전기연구원, 과학기술연합대학원대학교), 안병민, 심성주, 김현수, 진봉수 (한국전기연구원), 최정희, 박준호* (한국전기연구원, 과학기술연합대학원대학교)

P32-14

구리 집전체 레이저 패터닝 및 전해액 젖음성 평가

서은지, 오찬영, 조서현, 이영아, 박상진, 김기백, 김민석 (한국과학기술연구원(KIST)), 이광희 (고등기술연구원(IAE)), 문명운* (한국과학기술연구원(KIST))

P32-15

전도성 셀룰로오스 나노 탄화 구조체 기반 무음극 리튬메탈 전지 소재 연구

김기백, 박상진, 이영아, 오찬영, 서은지, 김민석 (한국과학기술연구원(KIST)), 이광희 (고등기술연구원(IAE)), 문명운* (한국과학기술연구원(KIST))

P33 : 표면계면

Room 2층 로비, 10월 30일 09:00 - 14:00

P33-1

Artificial Synaptic Transistors Based on 2D MoS2 for Neuromorphic Computing Applications

JeongYeol Park, Kanghoon Seo, Bolim You, Jihoon Huh, Yohan Lee, Seung Ji Lo, Myung Gwan Hahm, and Moonsang Lee* (Inha University)

P33-2

중수로 사용후연료저장조 안전성 강화를 위한 개방된 수증기 환경에서의 304L 스테인리스강 고온 산화 평가

권태윤, 임우현, 박진우, 김상은, 이명제, 한준희, 이민규 (명지대학교), 진형하 (한국원자력연구원), 신찬선* (명지대학교)

P33-3

Re 첨가에 따른 Ni계 고엔트로피합금 응고 및 미세 편석 거동 분석

김대윤, 김민서, 유재원, 김유석, 신원상, 김윤준* (인하대학교)

P33-4

원자탐침단층촬영법을 활용한 Al 7075-T4 합금의 계면 내 원소 편석 거동 분석

김민서, 김대윤, 유재원, 김유석, 신원상, 김윤준* (인하대학교)

P33-5

리사이징 처리가 재활용 탄소섬유와 폴리프로필렌 수지와의 계면결합력에 미치는 영향

김경하, 김경은, 김대업* (한국생산기술연구원)

P33-6

CMOS-integrable and Reconfigurable 2D Ambipolar Tellurene Synaptic Transistors for In-memory Computing

Bolim You, Yuna Kim, Jihoon Huh, Jeongyeol Park, Yohan Lee, Seung Ji Lo, Myung Gwan Hahm, and Moonsang Lee* (Inha University)

P33-7

Transitioning from P-type to Ambipolar Characteristics in Two-Dimensional Tellurene through Al_2O_3 Thin Film Deposition

Jihoon Huh, Yuna Kim, Bolim You, Jeongyeol Park, Yohan Lee, Seung Ji Lo, Myung Gwan Hahm, and Moonsang Lee* (Inha University)

P34 : 인공지능재료과학

Room 2층 로비, 10월 30일 09:00 - 14:00

P34-1

고특성 α+β Ti 합금 시스템 분석 및 합금 설계 전략 구축을 위한 대형 언어모델 기반 LangChain 알고리즘 개발

서기완 (서울대학교), 김도향 (연세대학교), 박은수* (서울대학교)

P34-2 Canceled

다공성 구조체의 재료 및 설계변수별 탄성계수 예측을 위한 인공신경망 적용

함민지, 문인용* (한국생산기술연구원)

P34-3 Canceled

내열강의 크리프 특성 기계학습 및 상관관계 분석

조태현, 최윤석* (부산대학교), 오창석 (한국재료연구원)

P35 : 가공-소성가공

Room 2층 로비, 10월 30일 09:00 - 14:00

P35-1

고온 변형 거동에 따른 1.6 wt. % 고탄소강의 전위 밀도 변화

안유정 (한국생산기술연구원, 순천대학교), 전재열* (한국생산기술연구원)

P35-2

Metal–Polymer–Metal 판재의 Deep Drawing 공정 중 발생하는 Wrinkling 원인 분석 및 방지법: Experiments and Simulation

김재훈, 최연택, 김래언, 구강희, 권지혜 (포항공과대학교), 서민홍 (POSCO), 김형섭* (포항공과대학교)

P35-3

Analysis of heat transfer coefficient on the deformation behavior of aluminized 22MnB5 in hot stamping process using data–driven

Seung–Chae Yoon*, Jea Myoung Park, Kye Jeong Park, Je Youl Kong, Dong Yul Lee, and Joo Sik Hyun (Hyundai Steel)

P35-4

핫 피어싱 공정을 이용한 락드릴 로드용 SNCM625 심리스 소구경 후육강관 제조기술

권진구, 이준표, 홍성모* (세창스틸), 권기봉, 조의열 (한국산업기술시험원)

P35-5

Study on the optimization of automotive inner tie rod using a DNN–based FE–surrogate model

Dongwoon Han, Joseph Jo, Hyo–kyu Kim, and Seongtak Kim* (Korea Institute of Industrial Technology)

총회강연
Room 2층 레이크+포레스트홀, 10월 29일

[AW-1 | 18:30] 현대제철학술상 수상기념강연

철강 생산 기술의 미래(Future of steel production technologies) : 이경우 (서울대학교)

인류가 4000년 전에 철강 생산 기술을 개발해서 철기 시대를 연 이래 철은 지금까지 문명을 건설하는 기초 재료로 인류의 생존과 번영에 큰 역할을 해오고 있다. 인구가 늘고 문명이 발전하면서 철의 수요가 늘어나고 품질에 대한 요구도 높아졌으며, 철 전문가들은 다양한 기술을 개발해 가면서 이에 대응해 왔다. 그동안 철을 만드는 제철 기술은 철광석과 탄소 공급원을 층층이 쌓고 강한 바람을 불어넣어 철을 만들기 시작한 히타이트 시대 이후 현재까지 큰 틀을 유지하면서 적층 방법, 송풍 방법 그리고 탄소 공급원을 바꾸면서 발전해왔고, 그 결과 현재 매년 20억 톤에 달하는 고품질의 철을 생산하고 있다. 그런데 현재 철강 산업에서는 4천년을 유지했던 철강 생산의 기본 틀을 바꾸는 새로운 기술을 개발해야 한다는 압력을 받고 있다. 물론 기술 개발에 대한 압력은 지난 4000년간 계속 이어져 왔고, 철강 전문가들은 새로운 기술을 개발해 오면서 이를 극복해 왔다. 다만, 그동안의 압력은 생산량 증대나 품질 향상, 자원 고갈 등 기술적인 측면의 문제였고 더 좋은 기술을 개발하면서 극복해 왔던데 반해서 이번 압력은 기후변화 대응이라는 정치적이거나 사회적인 측면을 가지고 있다는 것이 특징이고 그 이유는 모두 알고 있는 것처럼 기후변화의 주범으로 인식되는 온실가스를 철강 산업에서 10% 이상 배출하고 있기 때문이다. 따라서 철강 산업과 철강 전문가들 앞에는 지난 4000년간 철 생산 과정에 중요한 역할을 했던 탄소의 도움을 받지 않아야 한다는 전제 조건을 가지고 있으며, 새롭게 개발해야 하는 기술이 지난 200년 이상 발전하면서 거의 완성형에 가깝게 발전해온 용광로 법과 경쟁할 수 있어야 한다는 조건도 충족시켜야 하는 난제가 주어진 것이다. 사실 이 문제는 철강 기술만으로 해결할 수 있는 것은 아니며, 사회 전체의 노력이 합쳐져야 한다. 본 강연에서는 이러한 문제가 어떻게 진행될 것이며 어떠한 기술과 어떤 경로로 해결할 수 있을 것인가에 대한 전망을 제시하고자 한다.

타이타늄
Room 메도우, 10월 28일

[타이타늄1-1 | 08:30]

타이타늄 스크랩 재활용을 위한 잔류 유기물 세척 기술개발 : 안성민 (국립한밭대학교), 박찬희 (한국재료연구원), 김정한* (국립한밭대학교)

Keywords: Titanium, Scrap, Recycling, Ultrasonic cleaning

타이타늄은 우수한 비강도와 내식성을 자랑하고 극한 환경에서도 뛰어난 성능을 나타낸다. 탄성 및 생체 적합성도 뛰어나기 때문에 항공우주, 군사, 해양, 화학, 의료 등 다양한 분야에서 중요한 소재로 사용이 되고 있다. 이처럼 타이타늄에는 활용도가 굉장히 높지만 공정 중 많은 양의 스크랩을 하여 손실율 비중이 크다. 하지만 현재 국내에서 발생하는 스크랩의 대부분을 저가에 외국으로 수출하고 있는 상황이다. 이러한 상황을 해결하기 위해서는 스크랩 표면에 묻어있는 윤활유와 오염물질을 효과적으로 제거하므로 본 연구에서는 초음파 세척을 이용하여 이를 해결하고자 하였다. 실험시 스크랩은 실공정 중 발생한 타이타늄 grade 2 스크랩을 사용하였고, 세척액의 경우 아세톤, 수산화나트륨 등 다양한 탈지액과 불산-질산 혼합 산성용액을 이용하였다. 세척액의 종류, 농도, 세척시간 등의 공정변수를 제어하며 실험을 진행하였고, 초음파 세척시 주파수에 차이를 두어 실험을 하였다. 세척된 스크랩의 물성을 분석하기 위해 CS 분석 및 ONH 분석을 진행하였으며, 표면의 상태를 보다 정확히 파악하기 위해 XPS 분석을 진행하였다. 또한 잔류 유기물의 잔재량을 비교하기 위해 TGA 분석을 시행하였다. 최적화된 공정을 통해 세척된 스크랩을 분석한 결과 공정 변수에 따라 잔존 유기물 함량을 유의미하게 감소시킬 수 있었다.

[타이타늄1-2 | 08:45]

Ti-6Al-4V의 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 반복열처리의 영향 : 이종혁, 이장한, 장병록* (인하대학교 제조혁신전문대학원)

Keywords: Ti-6Al-4V, cyclic heat treatment, α-case, stabilizer element

본 연구는 이차전지 원료 분말 열처리용 티타늄 합금 트레이 소재를 개발하기 위한 첫 단계로써 실제 열처리와 유사한 조건인 900°C에서 6시간 동안 1~30회까지 반복 열처리하여 미세조직 및 기계적 성질을 비교하였다. 900°C에서 열처리 후 공랭하여 α상, 마르텐사이트 β상 뿐만 아니라 준안정상인 α′, α″ 마르텐사이트상이 형성되었다. 열처리가 진행됨에 따라 α상 및 β상 안정화 원소가 표면과 내부에서 각각 서로 다른 거동을 보였다. 내부에서는 α상과 β상 내의 원자의 확산속도 차이로 인해 β상 안정화 원소가 α상에서 밀려나 β상의 분율이 증가했고, 표면부에서는 산화로 인한 α상 안정화 원소인 산소의 확산이 α-case를 형성을 초래하였다. 특히, 열처리 횟수가 10회일 때부터 산소가 점차 내부로 확산하기 시작하여 미세조직과 물성의 급격한 변화가 나타나는 것을 확인하였다. 결과적으로 반복 열처리로 인한 α상 및 β상 안정화 원소의 거동이 미세조직과 기계적 물성 변화의 주요 원인임을 알 수 있었다.

[타이타늄1-3 | 09:00]

FCC계 원소 미량 첨가를 통한 β상 준안정도 확보 TRIP Ti-6Al-4V-X 합금 설계 : 서기완, 김지영 (서울대학교), 김도향 (연세대학교), 박은수* (서울대학교)

Keywords: 타이타늄, Ti-6Al-4V, Strain-induced Martensitic Transformation, Transformation-induced Plasticity, High fracture toughness

Ti-6Al-4V (이하 Ti64) 합금은 경량 고강도 소재로서 티타늄 합금 시장의 50% 이상을 점유할 정도로 주요 소재로 활용되고 있다. 특히, 높은 비강도와 우수한 내열성 및 내식성 때문에 항공기 엔진이나 우주 발사체 소재로서 높은 산업적 잠재력을 지니고 있다. 하지만 다양한 특성적인 우위에도 불구하고 낮은 연신율과 가공성 때문에 범용 산업 재료로서의 활용에 제약이 있는데, 특히 낮은 연신율과 가공 경화율에 의해 파괴 인성이 낮고, 성형 공정 중에 과도한 변형이나 파괴가 일어날 가능성이 커 복잡한 구조로 제조하는데 한계를 보인다. 본 발표자는 Ti64의 낮은 연신율과 파괴 인성을 TRIP 기작을 인가하여 해결하고자 한다. Ti 합금에서의 TRIP 기작은 준안정적 β상이 α′ 및 α″ 마르텐사이트로 응력 유기 상변태를 겪으면서 나타나게 된다. Ti64는 α+β 합금으로 β상 안정도가 낮아 준안정적 β상이 형성되지 않는데, 이에 따라 베타상 안정화 요소를 첨가한 새로운 합금 조성 설계가 요구된다. 본 연구에서는 효과적인 TRIP-Ti-6Al-4V 합금 설계를 위해 Bo-Md diagram을 설계 가이드라인으로 채택하였고, 특히 CALPHAD를 통해 계산한 β상의 조성을 Bo, Md 수치로 환산하여 diagram 상에 작도하여 효과적인 Ti 합금 설계 전략을 구축할 수 있었다. Bo, Md파라미터와 더불어 Ti 합금의 베타상 안정도를 대표하는 수치로서 [Mo]eq를 활용하여 응력 유기 상변태가 가능한 조성 및 공정 조건을 설계할 수 있었다. 본 연구에서는 기존 Bo-Md diagram의 좌측 하단 영역으로의 응력 유기 상변태 가능 조성 영역을 확장하였고 이를 기반으로 FCC계 원소군을 미량 첨가한 TRIP Ti-6Al-4V-X 합금을 성공적으로 개발하였다. 본 발표에서는 해당 합금의 설계 과정과 응력 유기 상변태에 따른 미세구조 변화 및 기계적 특성 변화에 대한 분석 결과를 설명하고자 한다.

Acknowledgement: This work was supported by Korea Research Institute for defense Technology planning and advancement(KRIT) grant funded by the Korea government(DAPA(Defense Acquisition Program Administration)) (No. KRIT-21-106-A00-006, Reactive High Deposition Rate Additive Manufacturing, 2023)

[[타이타늄1-4 | 09:15]

Development Procedure of Isotropic High-Strength Ti-6Al-4V Fastener for Aerospace Application : Anoop Kumar Maurya, Jong Taek Yeom*, Chan Hee Park, Jae Keun Hong, Jae Ho Kim, Junha Yang, Jae H. Kim, Sang Won Lee (Korea Institute of Materials Science), and N.S. Reddy (Gyeongsang National University)

Keywords: Ti-6Al-4V alloy bolts, hot forging, Artificial neural network, equiaxed α

Ti-6Al-4V alloy is used in the aerospace industry due to its high specific strength and corrosion resistance. However, due to poor workability, the manufacturing process of aerospace fasteners contains repeated cutting, rolling, drawing, heading, and heat treatment. In this study, we reported a new forging method (1die 2 blow) to achieve high-efficiency bulk production of fasteners with isotropic high strength. Further forged bolt was heat treated at the optimum condition to get fine equiaxed α. The heat treatment condition (solution temperature, solution time, aging temperature, and aging time) was optimized using artificial neural network model to get high strength. The model predicted optimum heat treatment condition was 927°C 17min/W.Q → 482°C 4hr/A.C. The as forged and heat-treated Ti-6Al-4V bolt, α size was 4μm and 3.6μm respectively. The forged and heat-treated condition exhibit balanced strength and ductility.

[타이타늄2-1 | 09:40]

Ni-rich Ti-Ni-Co **합금에서 시효에 의한 변태온도 및 열싸이클의 영향** : 최희은, 이혜미, 김재일* (동아대학교)

Keywords: Ni-rich Ti-Ni-Co, Shape memory alloy, heat treatment temperature, R phase transformation, thermal cycle

Ti-Ni기 2원계 합금에서의 B2↔R상 변태는 전위, 석출물 및 제 3원소 첨가로 인해 나타나며 R상 변태는 작은 격자 변형으로 인해 작은 변태 변형률를 보인다. 또한 작은 온도 히스테리시스로 인해 높은 반응 속도를 가진다. 이러한 R상 변태를 actuator 및 sensor 등에 적용하기 위해서는 R상 변태온도 제어가 중요하다. Ti-Ni기 2원계 합금에 Fe, Co과 같은 제 3원소 첨가가 R상 변태를 도입하는 효과적인 방법이며 마르텐사이트상(B19')으로의 변태온도 감소 및 R상 안정화 효과가 있다고 알려져 있다. 현재, Fe 첨가에 대한 연구는 진행되었으나 Co 첨가에 따른 상변태 및 시효가 미치는 영향에 대한 연구는 체계적으로 수행되지 않았다. Ni-rich Ti-Ni 합금은 용체화 처리 후 시효처리 시 Ti_3Ni_4 석출물 생성을 통한 석출경화 효과로 R상 변태가 야기된다. 선행연구에서는 시효처리가 Ni-rich Ti-Ni 합금의 형상기억특성 개선 및 변태온도 조절에 가장 효과적이라고 보고된 바 있다. 이에 따라 본 연구에서는 Ni-rich Ti-Ni-Co 합금에서 시효에 의한 변태온도 및 열싸이클의 영향에 대해 조사하였다. 진공 아크 용해로를 통해 여러 조성의 Ti-Ni-Co 합금을 용해하였다. 중간 어닐링 하며 최종 가공률 30%로 냉간압연 후 방전가공을 통해 시편을 cutting 하였다. 이후 1073K에서 용체화 처리 및 다양한 온도 및 시간으로 시효 후 DSC를 이용하여 변태온도 측정을 진행하였다. 또한 반복적인 변태에 의한 R상 변태거동의 변화 및 전위밀도를 확인하기 위해 Thermal cycle test 및 TEM분석을 수행하였다

[타이타늄2-2 | 09:55]

Ti-Nb-Mo-Sn **형상기억합금의 미세구조 및 초탄성에 미치는 Mo의 영향** : 민건기, 김수영, 구태균, 남태현* (경상국립대학교)

Keywords: Ni-free, 타이타늄, 형상기억합금, 초탄성

Ti-Ni 형상기억합금은 높은 비강도와 초탄성을 비롯한 우수한 기계적 특성과 내식성을 나타내어 생체 재료로 널리 활용된다. 하지만 Ti-Ni 형상기억합금에 포함된 Ni은 체내에서 용출될 경우 세포 독성을 유발할 수 있다는 보고가 있다. 이에 따라 생체적합성이 우수하고 무독성 원소로 구성된 Ni-free Ti based 형상기억합금이 연구되었다. 그중, Ti-Nb 합금은 상온에서 형상기억효과 및 초탄성 거동을 보이지만, 슬립임계 응력과 변태 시 격자변형량이 낮아 초탄성 특성이 열악하다. 이를 개선하기 위해 슬립임계 응력과 격자 변형량을 모두 증가시킬 필요가 있다. Ti,Nb에 비해 큰 원자반경을 가지는 Zr의 첨가는 슬립임계응력과 격자 변형량을 증가시키기에 효과적이지만 수급이 어렵고 가격이 비싸다는 문제점이 있어 Zr을 대체할 합금원소가 필요하다. 이러한 합금원소로는 Mo와 Sn 등이 존재한다.

선행연구에서는 Sn의 첨가로 β안정화, 고용강화, 오메가상 억제 효과를 얻었다고 보고되었다. 또한, Mo의 첨가는 β안정화 원소로서 초탄성에 기여하는 β분율을 증가시킬 뿐 아니라 Nb보다 큰 고용강화 효과를 기대할 수 있다. 선행연구에서는 이러한 원소들로 이루어진 Ti-Nb-Mo-Sn 사원 합금계에서 미세구조와 초탄성에 미치는 Sn의 영향에 대해 조사하여 약 6 %의 우수한 초탄성 회복변형량을 나타내었다고 보고하였지만 Mo 첨가의 영향에 대한 체계적인 조사는 미비하다. 따라서 본 연구에서는 Ti-7.5Nb-(0, 2, 4)Mo-3Sn (at. %) 합금의 미세구조와 초탄성에 미치는 Mo의 영향에 대해 조사하였다. 각 합금 ingot은 공칭조성에 맞게 평량한 뒤 arc melting하여 제작하였다. 편석 방지 및 조성의 균질화를 위해 1000 ºC에서 2시간동안 균질화 처리 후 얼음물에 quenching 하였다. 이후, 최종 압하율이 98 %가 되도록 냉간압연하였다. 각 시편들은 900 ºC에서 30분간 용체화 처리 후 얼음물에 quenching하였다. 미세구조를 분석하기 위해 SEM, XRD를 진행하였다. 초탄성 거동을 조사하기 위해 Loading-unloading cycle 인장시험을 진행하였다.

[티이타늄2-3 | 10:10]

Ti-5Mo-4Fe 준안정 베타 타이타늄 합금의 공정변수에 따른 고온 변형 메커니즘 분석 : 이재관, 이용재 (국립순천대학교), 강민, 박지환 ((주) 엠티아이지), 이동근* (국립순천대학교)

Keywords: Ti-Mo-Fe alloy, metastable beta titanium, deformation mechanisms, dynamic recrystallization, Z parameter

최근 운송기기 산업분야에서 타이타늄이 널리 사용되고 있으며, 고온 성형을 통해 성능을 향상시키고 치수를 제어하여 제품을 생산하게 된다. 그러나 타이타늄의 낮은 열전도율로 인해 재료 내부에 형성되는 결함과 미세조직학적 불균일로 생산단가를 높이게 된다. 이에 비교적 열처리가 쉽고 우수한 성형성을 갖는 저렴한 b 안정화 원소를 첨가하여 사용하고자 하였다. 따라서, Mo과 Fe와 같은 비교적 저렴한 β 안정화 원소를 첨가하여 준안정 베타 타이타늄 합금인 Ti-5Mo-4Fe 합금을 설계하여 사용하고자 하였다. 설계한 합금에 대한 고온 성형 시 고려해야 할 공정 변수는 온도, 변형률 속도, 압하율 등이 있으며, 이에 따라 변형 메커니즘에 영향을 미친다. 또한, 변형 메커니즘에 따라 최종적으로 얻어지는 미세조직에도 큰 영향을 미치며, 이러한 미세조직은 기계적 특성과도 큰 상관관계를 가진다. 따라서, 본 연구에서는 설계한 Ti-5Mo-4Fe 합금에 대한 고온 변형 메커니즘을 규명하고자 하였다. 변형 메커니즘을 규명하고자 공정 변수에 따른 Constitutive equation, Zener-Hollomon 및 activation energy를 분석하였으며, 미세조직과의 연계 분석을 통해 고온 변형 메커니즘을 도출하였다. 고온 변형 메커니즘은 activation energy와 Z parameter value에 따른 영향을 받았으며, 이러한 값에 따라 최종적으로 DDRX와 CDRX가 발생한 것으로 분석되었다.

[티이타늄2-4 | 10:25]

Ti-15Zr-xNb-2.5Sn (x=12.0, 12.5, 13.0, 13.5)(at. %) 합금의 재결정 텍스처 형성 및 기계적 특성에 미치는 Nb 의 영향 : 남태현*, 김수영 (경상국립대학교)

Keywords: 타이타늄, 상변태, 탄성계수, 생체재료

Ti-Ni 계 형상기억합금은 우수한 기계적특성 및 내부식성을 바탕으로 생체재료로 쓰이고 있다. 하지만 체내에서 Ni 이온이 용출될 경우 알러지 반응을 일으킬 수 있기 때문에 무독성 원소로 구성되며 우수한 기계적 특성을 가지는 ni free Ti 합금이 요구되고 있다. 또한 생체재료로 사용되는 금속재료와 뼈의 탄성계수 차이는 상대적으로 높은 탄성계수를 가지는 금속에 하중 집중을 유발하여 골조직의 형성을 악화시키고 임플란트의 탈출이 발생하게 되는 응력차폐효과를 일으킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 상온에서 초탄성 특성을 가지며 뼈와 유사한 탄성계수를 갖는 합금을 설계하고자 Nb 함량에 따른 재결정 텍스쳐와 그에 따른 기계적 특성을 조사하였다. XRD 결과 모든 조성의 합금은 상온에서 베타 단상으로 이루어져 있으며 EBSD 결과 초탄성에 유리한 (001)[110] 재결정 텍스쳐가 형성되었다. 선행연구 결과 낮은 탄성계수를 달성하는데 유리한 (110)[001] goss texture 또한 관찰되었지만 탄성계수에 영향을 미치는 요소 중 e/a ratio 가 더 큰 영향을 미쳤기 때문에 높은 탄성계수가 측정되었다. 인장시험결과 모든 조성의 합금이 상온에서 뚜렷한 초탄성 거동을 보였고 Nb 의 함량이 증가함에 따라 94% 에서 83.1% 로 초탄성 회복률이 감소하는 것으로 나타났다. 가장 낮은 탄성계수를 가지는 Ti-15Zr-12.5Nb-2.5Sn (at. %) 합금은 뼈와 유사한 44.5 GPa로 측정되었으며, 91% 의 초탄성 회복률을 보이는 것을 알 수 있다.

[[티이타늄2-5 | 10:40]

타이타늄 Ti-6Al-4V 합금 극후물 압연재의 열처리 조건에 따른 미세조직 및 인장물성 변화 : 이현석*, 최미선 (포항산업과학연구원(RIST))

Keywords: 타이타늄, Ti-6Al-4V, 열처리, 인장, 미세조직

타이타늄은 우수한 기계적 특성, 경량성, 내식성 및 생체 적합성으로 인해 항공우주, 해양, 의료 등 다양한 산업 분야에서 널리 사용되고 있다. 특히, Ti-6Al-4V 합금은 높은 강도와 내열성, 가공성이 뛰어나 항공기, 터빈 블레이드, 의료 임플란트 등 고성능 부품에 주로 적용된다. 본 연구에서는 항공기 규격의 Ti-6Al-4V VAR(Vacuum Arc Remelting) 잉곳을 슬라브 단조 후, 철강 생산 설비를 활용해 두께 100 mm의 극후물 압연 공정을 수행하였다. 이후 압연된 Ti-6Al-4V 극후물재에 대해 Mill Annealing 및 Beta Annealing 열처리를 실시하였다. Mill Annealing은 타이타늄 합금의 α+β 영역에서 수행되어 비교적 안정된 α상과 β상이 공존하는 미세조직을 형성하여 우수한 인성 및 균형 잡힌 기계적 특성을 제공하였으며, Beta Annealing은 β 영역에서 고온 처리 후 빠르게 냉각하여 β상의 결정립 성장이 억제되고 높은 내피로전파 특성이 우사한 침상형의 조직을 형성하였다. 두 가지 열처리 방식에 따른 극후물재의 위치별 인장 물성 변화를 비교한 결과, 소재의 미세조직과 인장 특성에서 뚜렷한 차이가 관찰되었다.

[티이타늄3-1 | 11:05]

Grade 2 타이타늄 냉간 압연재의 통전 이방성: 전류펄스 인가 방향에 따른 재결정 및 경도 영향 : 이성호, 배민화, 유진영, 천세호 (부산대학교), 원종우 (한국재료연구원), 김상훈 (국방과학연구소), 이태경* (부산대학교)

Keywords: Electropulsing treatment, Titanium, Recrystallization, Hardness, Anisotropy

Electropulsing treatment(EPT)는 기존의 furnace heat treatment(FHT)에 비해 높은 공정에너지 효율을 가지기 때문에 금속소재의 새로운 후처리 공정법으로 주목받고 있다. 그러나 EPT의 복잡한 가열거동 및 공정변수는 실제 산업에 적용되기에 여전히 제한적이다. 최근에는 EPT시 소재의 이방성에 따라 가열거동 및 미세조직 변화가 달라지는 통전 이방성 현상에 대해 새롭게 보고되었다. 본 연구에서는 극심한 소성변형을 겪은 grade 2 타이타늄 압연재를 통해 해당 소재의 이방성에 주목하여 EPT를 수행함으로써 통전 이방성 현상을 정량적으로 분석하였다. 압연재의 압연 및 교차 방향을 따라 EPT를 적용하였을 때 두 시편 모두 22 A·mm-2, 4초의 EPT 조건에서 재결정이 발생하는 것을 확인하였다. 해당 조건에서는 빠른 시간 내에 973-1023K의 재결정 온도에 도달하였으며, 압연 방향에서는 95.8%의 완전 재결정, 교차 방향에서는 61.3 %의 부분 재결정이 나타났다. 이러한 차이는 타이타늄 압연재 특유의 연신된 결정립과 basal 집합조직 때문인 것으로 해석된다. 또한, 미세경도 측정을 통해 두 시편의 경도 변화 차이를 확인하여 통전 이방성 현상의 존재를 더욱 뒷받침하였다. 그리고 온도와 시간을 엄격하게 제어한 FHT와의 비교를 통해 최적의 EPT 공정은 재결정을 완료하는데 요구되는 시간이 87% 감소하였음을 확인하였다. 이는 athermal effect의 존재 여부를 명확히 하였으며 통전 이방성 현상의 기여도가 상당히 높음을 확인하였다.

[타이타늄3-2 | 11:20]

MEAM (Material Extrusion Additive Manufacturing) 공정으로 제작된 Ti-15Nb-5Sn (at.%) 합금의 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 탈지 열처리 시 아르곤 가스 유량의 영향 : 남태현*, 강경호, 임진환 (경상국립대학교)

Keywords: 타이타늄, 생체재료, 적층제조, MEAM, 분말야금

타이타늄 및 타이타늄 합금은 낮은 탄성계수, 우수한 강도, 내식성 및 생체적합성을 가지고 있어 생체재료로 선호되고 있으며, 많은 연구가 진행되었다. 하지만 타이타늄 및 타이타늄 합금은 0.05~0.5 GPa의 매우 낮은 탄성계수를 가지는 해면골에 사용되기에는 여전히 높은 탄성계수를 가지고 있을 뿐 아니라, 복잡한 형상을 제조하기에 절삭과 같은 가공이 어렵다는 문제가 있다. 이러한 문제는 금속 분말과 고분자 바인더가 균일하게 혼합된 필라멘트를 제작해 압출 기반으로 조형체를 제조하는 방식인 MEAM (Material Extrusion Additive Manufacturing) 공정으로 해결할 수 있다. 본 연구는 상온에서 우수한 초탄성 거동을 보이는 Ti-15Nb-5Sn (at.%) 조성으로 연구하였다. MEAM 공정으로 제작된 조형체 내의 바인더를 효과적으로 제거하기 위해선 소결 전 용매 탈지와 탈지 열처리 과정이 중요하다. 용매 탈지는 필라멘트의 유연성과 압출 과정에서 캐리어 역할을 하는 메인 바인더의 제거가 목적이고, 탈지 열처리는 용매 탈지 후 잔류하고 있는 메인 바인더와 형상을 유지시키는 백본 바인더의 제거가 목적이다. 용매 탈지 후 바인더의 원활한 제거를 위해서는 탈지 열처리 시 아르곤 가스를 흘려주며 열처리하는 것이 효과적인 방법이다. 선행 연구 결과, MIM 공정으로 제작된 Ti-6V-4Al 합금에서 아르곤 가스의 유량이 높아질수록 바인더 제거율은 높아지고 잔류하고 있는 탄소의 양이 적어지는 연구 결과가 있다. 하지만 탈지 열처리 시 아르곤 가스 유량이 높아질수록 바인더는 효과적으로 제거될 수 있지만 조형체의 형상이 유지 못 할 가능성이 있다. 또한 MEAM 공정으로 제작된 Ti 합금의 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 탈지 열처리 시 아르곤가스의 유량의 영향은 조사되지 않았다. 그렇기 때문에 본 연구에서는 탈지 열처리 시 아르곤 가스의 유량을 100, 200, 300 ml /min로 변화를 주어 조형체의 형상을 유지하며 바인더를 최대한 제거할 수 있는 최적의 탈지 열처리 조건을 탐색하였다.

[타이타늄3-3 | 11:35]

순수 타이타늄 판재의 굽힘 속도에 따른 스프링백 현상 및 미세조직 변화 분석 : 이종언, 현용택, 원종우* (한국재료연구원)

Keywords: Titanium: Bending: Springback: Microstructure: Twinning.

타이타늄 판재의 굽힘 성형 후 발생하는 스프링백 현상은 최종 성형품의 정밀성을 감소시킨다. 본 연구에서는 굽힘 성형 속도가 순수 타이타늄 판재의 스프링백에 미치는 영향을 조사하였다. 순수 타이타늄 판재를 대상으로 세 가지 굽힘 속도(1, 10, 100 mm/min)에서 V-굽힘 성형을 수행하고, 각각의 굽힘 속도에서 스프링백 정도를 정량화하였다. 더불어, 굽힘 속도에 따라, inner, middle, outer zones의 미세조직 변화를 비교 분석하였다. 본 연구 결과는 타이타늄 판재의 스프링백을 억제할 수 있는 성형공정 방안을 제시해 줄 것이다.

[타이타늄3-4 | 11:50] Canceled

연료전지 분리판용 타이타늄 박판 소재의 성형성 향상 및 스프링백 저감을 위한 2단 압연 공정 최적화에 관한 연구 : 박재봉*, 김성환 (현대자동차 연구개발본부), 원종우, 이종언 (한국재료연구원(KIMS))

Keywords: 타이타늄, 이방성, 2단 압연, 성형성, 분리판

타이타늄 분리판은 우수한 내식성과 높은 비강도로 인해 연료전지의 내구성을 향상시킬 수 있으며, 경량화가 가능하다는 장점이 있다. 그러나 소재의 높은 이방성으로 인해 다른 소재 대비 성형성이 낮으며, 스프링백 현상이 강해 분리판에 타이타늄 소재를 적용함에 있어 여러 한계점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 2단 압연 공정을 통해 연료전지 분리판용 타이타늄 소재의 성형성 향상 및 스프링백 저감 기술을 확보하고자 다음과 같은 내용들을 확인하였다. 종래의 1단 압연 소재와 2단 압연 소재의 최종 재결정 열처리 전 특성 비교를 통해 쌍정 형성에 따른 집합조직 분산효과를 검증하였다. 또한 압연 횟수, 압하율, 최종 재결정 열처리 온도, 시간에 따른 결정립 크기, 집합조직, 기계적 물성, 스프링백 평가를 수행하였다. 이러한 결과들을 통해 성형성 향상 및 스프링백 저감이 가능한 최적 2단 압연 공정 조건을 도출하였다.

[[타이타늄3-5 | 12:05]

연료전지 시스템에서의 타이타늄 소재 적용 : 신홍철* (포항산업과학연구원(RIST))

Keywords: 타이타늄, 분리판, 연료전지, 열처리, 다공체

FCEV(Fuel Cell Electric Vehicle)차량은 수소와 산소의 화학반응을 통해 발생시킨 전기에너지를 동력원으로 사용하는 자동차로서, 운행 중 이산화탄소를 배출하지 않고 연료 충전 속도가 빠르기 때문에 내연기관 자동차를 대체하는 친환경 운송 수단으로 전기차와 함께 미래 친환경자동차 시장을 주도할 것으로 기대된다. 연료 전지 차량은 수소 저장 시스템, 연료 전지 시스템 및 전기 장비로 구성되며, 이는 차량의 동력 성능과 연료 경제성에 직접적으로 영향을 미친다. 연료 전지 시스템의 핵심 구성 요소인 연료 전지 스택은 수소 저장 장치를 제외한 연료 전지 시스템 전체 무게의 40% 이상을 차지하며, 금속 분리판은 연료 전지 스택 무게의 50~60%를 차지한다. 만약 금속 분리판의 경량화가 이루어진다면, 연료 전지 차량의 내구성과 연료 효율] 초청강연성을 향상시켜 중대형 연료 전지 차량의 조기 시장 진입에 기여할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 FCEV 연료전지 금속분리판 및 다공체 소재로 개발되고 있는 타이타늄 소재에 대해 압연 및 열처리 공정에 따른 기계적 물성의 변화와 미세조직적 특성을 살펴보고, 100 μm 및 80 μm 극박 압연재의 부품 적용 결과를 소개하고자 한다.

NEW HORIZON I : 미래 에너지 · 모빌리티 소재의 다중환경 영향 평가 심포지엄
Room 메도우, 10월 28일

[미래1-1 | 13:00] 초청강연

국가전략기술소재와 데이터 기반의 소재 허브 : 이상관*, 김태연, 신정호 (한국재료연구원)

Keywords: 미중 기술패권, 글로벌 공급망, 국가전략기술소재, 데이터 기반의 소재 허브

러시아-우크라이나 전쟁과 이스라엘-하마스 전쟁 등 지정학적 긴장이 고조되고, 보호무역주의가 확산되면서 글로벌 공급망과 통상 질서가 빠르게 변화하고 있다. 우리나라는 글로벌 공급망에 대한 의존도가 높아 미중 기술패권경쟁으로 인한 공급망 리스크에 노출되어 있는 실정이다. 미중 기술패권 경쟁으로 인하여 전 세계적인 자국보호정책에 따른 자국내 공급망 강화에 따른 첨단기술에 따른 블록화가 심화되고 있다. 특히, 미래산업 선점을 위한 첨단기술의 역량강화에 집중하고 있다. 또한, 탄소중립 등 환경규제도 곧 현실화된다. 한국의 주력산업은 탄소 집약적인 산업이 많기 때문에 탄소중립은 더욱 무겁게 다가오는 이슈이기도 하다. 이러한 글로벌 환경변화아래에서 세계 주요국들은 첨단소재를 "전략자산"으로 강조하고 있다. 이와 같은 상황에 적극 대응하는 방법은 새로운 첨단소재를 조기에 개발하여 선점하는 것이다., 특히, 글로벌 기술우위 선점과 미래 신시장 창출을 위해서는 파급력 있는 국가전략기술을 뒷받침하는 미래소재(국가전략기술소재) 발굴과 체계적인 기술개발은 매우 중요하다. 이를 위해 과학기술정보통신부는 12대 분야 25개 소재 전문연구회를 구성·운영하여 국가전략기술소재를 발굴하고 중장기 기술로드맵(~'35년)을 수립하였으며, 초격차 국가전략기술소재 확보를 위한 투자 및 지원을 강화하고 있다. 최근에는 소재 R&D 패러다임이 변화하고 있다. 초거대 AI를 활용한 연구개발을 통해 시행착오를 최소화하고 소재 개발 기간·비용을 단축하는 연구가 활발히 진행 중이다. 주요국은 소재 연구데이터 수집·저장·활용 플랫폼을 구축하여 연구효율성을 획기적으로 개선하고, 선도기술을 선점하는 사례가 확대되고 있다. 우리나라도 데이터를 활용한 미래소재의 개발을 가속화하기 위하여 데이터 생성·수집·저장·가공·활용 등 전 과정에 대한 체계화 및 고도화가 필요한 시점이다. 이에 적극 대응하기 위해서는 과학기술 정보통신부에서는 소재연구데이터 통합 플랫폼, 데이터와 연구개발 주체 간 연결성(connectivity) 기반의 신소재 확보를 위한 소재별 HUB의 구축 등 소재 연구데이터 활용 생태계 구축 전략('24.04)을 발표하였다. 본 발표에서는 과학기술정통부에서 주도하고 있는 12대 국가전략기술분야의 100대 국가전략기술소재와 소재 연구데이터 활용 생태계 구축 전략의 일환인 데이터기반의 소재허브에 대하여 소개하고자 한다.

[미래1-2 | 13:25] 초청강연

Cryogenic 변형 조건에서 다결정 소재의 미세조직 변화 거동에 관한 연구 : 최시훈* (순천대학교)

Keywords: 극저온 압연, Cu 합금, 알루미늄 합금, FSP

이번 발표 전반부에서는 극저온 압연(rolling) 공정으로 변형된 Cu합금 시편에 발달하는 미세조직 즉, 결정립, 결정학적 방위, 그리고 축적 에너지(stored energy)의 관점에서 실험 결과를 고찰합니다. 극저온 변형 중에 시편에 발달하는 불균일한 미세조직을 관찰하기 위해 EBSD, HR-TEM 등의 첨단 분석 기법을 적극적으로 활용하여 극저온에서 변형된 시편에서 관찰되는 자기소둔(self-annealing) 거동을 심층적으로 분석하였습니다. 극저온 압연 공정으로 변형된 Cu합금에서 관찰되는 재결정(recrystallization) 결정립들의 불균일 핵생성(nucleation) 거동은 불연속 정적재결정(discontinuous static recrystallization, DSRX) 및 연속 정적재결정(continuous static recrystallization, CSRX) 기구들이 복합적으로 발생한 결과로 확인되었습니다. DSRX 기구로 재결정된 결정립들은 상대적으로 높은 불일치각(misorientation angle)의 결정립계로 둘러싸여 있으며, CSRX 기구로 재결정된 결정립들의 주변에는 전위 밀도가 낮은 아결정립계(sub-boundaries)들로 구성되어 있어서 각각을 구분하는 것이 가능하였습니다. 이러한 미세조직의 불균일 거동을 이론적으로 이해하기 위해 결정소성유한요소법(crystal plasticity finite element method, CPFEM)을 사용하여 극저온 변형을 모사하였으며, 그 결과 축적 에너지의 방위 의존성을 이론적으로 고찰하는 것이 가능하였습니다. 발표 후반부에서는 극저온 마찰 교반 공정(friction stir processing, FSP)으로 변형된 알루미늄 합금의 시편에 발달하는 결정립, 결정학적 방위 및 입자들의 분포를 실험적으로 분석한 결과를 소개합니다. 특히 입자들의 불균일한 분포를 정량적으로 분석하기 위한 목적으로 이미지 처리 기법을 개발하여 이미지 분석을 수행하였습니다. 극저온 변형 공정은 소재의 강도와 경도를 향상시키는 데 탁월한 효과를 보이기 때문에 고성능 소재 개발에 중요한 가능성을 제시하고 있습니다. 본 발표는 극저온 변형 공정이 다결정 소재의 기계적 특성과 성능을 향상시키는 가능성을 제시함으로써, 향후 관련 소재의 물성 향상을 위한 공정 개발에 있어 중요한 시사점을 제공하고자 합니다.

[미래1-3 | 13:50] 초청강연

초내열 구조용금속 적용을 위한 Nb 합금의 적용 가능성 탐색 : Krishnamohan Thekkepat (한국과학기술연구원), 박기성 (순천대학교), 김두현 (한국과학기술연구원, 고려대학교), 이상민, 심재혁, 이승철 (한국과학기술연구원), 최시훈 (순천대학교), 서진유* (한국과학기술연구원), 손석수 (고려대학교), 이근우 (한국표준과학연구원)

Keywords: 니오븀, 내열금속, 고용강화, 침입형원소, 합금

고온환경에서 내열특성을 갖는 구조용 금속으로는 니켈계 초내열합금이 매우 우수한 특성을 갖지만 융점이 1500도 이하로 제한되는 한계가 있다. 따라서 냉각 유체에 의한 별도의 냉각을 적용하기 어렵거나 적용하고자 하는 고온환경의 온도가 매우 높을 경우에는 니켈계 초내열합금이 아닌 고융점 금속들이 구조용금속으로 활용될 수 있다. 고융점 금속들은 높은 융점으로 인해 고온에서의 기계적 안정성은 우수할 수 있으나, 상온에서의 가공성 또는 연성, 산화물의 안정성, 산소 및 질소와 같은 대기 구성 원소들의 고용도 등으로 인한 기술적 문제들이 존재하며, 니오븀 합금은 이러한 기술적 어려움이 상대적으로 낮기 때문에 일부 제한된 분야의 응용을

위한 합금들이 개발되었다. 본 발표에서는 니오븀 합금들에 대한 기존의 문헌들을 조사하여 정리하고, 니오븀 합금의 고용강화를 통한 상온 및 고온에서의 기계적 물성과 산소 및 질소와 같은 침입형 원소들의 친화력을 결정하는 요인들에 대한 계산과학적 고찰을 통해 니오븀 합금의 적용 가능성을 토의하고자 한다.

[미래1-4 | 14:15] 초청강연

Unique Relationship of Composition-Microstructure-Mechanical Property and Technical Issues on the Additively Manufactured Ni-Based Superalloys : Hyun Uk Hong* (Changwon National University)

Keywords: Superalloys, Additive manufacturing, Microstructure, Heat treatment, Creep

The aerospace, defense, and gas turbine-based power generation industries have become increasingly interested in the potential use of Additive Manufacturing (AM) methods for the beneficial production of high-temperature components. Ni-based superalloys are being widely used as small batches of complex components in the above-mentioned industries. Over the past several years, new superalloys processing and fabrication routes have been explored by AM utilizing laser and electron beam melting technologies. In this presentation, three parts will be given. First part addresses the recent progress about AM of superalloys with low γ′ fraction, such as Inconel 625, 718, 939W. Microstructures and tensile properties were characterized for as-fabricated and heat-treated AM superalloys. Various heat treatments, including the formation of serrated grain boundaries, were extensively designed to have optimal microstructures. It is interesting that different AM conditions (including SLM and EBM) make a similar microstructure evolution, but different microstructure features can be found in nano-scale (e.g. columnar width, nano-sized MC carbides, and oxides). Secondly, we will focus on the development of a new high γ′ superalloy suitable for AM by using thermodynamic calculations. The design approach intended to increase AM processability while maintaining the high-temperature strength of the reference superalloy René 80. Using the conventional René 80 composition as a baseline, Ti reduction (5→3 wt.%), 2.5 wt.% Ta addition, and 1.0 wt.% Hf addition successfully prevented crack formation after EBM fabrication and considerably improved the characteristics of alloy powders, which exhibited more spherical shapes with fewer satellites. Atom probe tomography results indicated that the partitioning of Ti, Al, and Ta atoms into the γ′ phase facilitated to increase in the lattice misfit at the γ/γ′ interface, ad made it more difficult for dislocations to cut through γ′ particles. The tensile/creep properties of AMed superalloys will be discussed with respect to their typical compositions and microstructures. Finally, we will look around the technical issues to overcome if we explore AM component intensively to wide range of industries, and prospect will be given.

[미래2-1 | 15:00] 초청강연

수소환경에서의 금속소재와 용접부의 수소취성 이해 및 대응기술 : 강남현*, 남지민, 최동현, 문병록 (부산대학교), Sourav Saha (QuantumCat Co. Ltd.), 박한지 (한국표준과학연구원), 박철호 (조선대학교), 이정훈 (포항산업과학연구원), 유재석 (한화오션), 이승건 (한국재료연구원), 김현준 (동화엔텍)

Keywords: 수소취성, 탄소강, 스테인리스강, 고엔트피합금, 용접부

우리나라는 산업화 이후 에너지 자립화를 달성한 적이 없고, 최초로 에너지 자립화가 가능하다면 삼면이 바다인 천혜의 자연조건을 활용한 수소에너지가 유일한 대안이 될 가능성이 높다. 수소에너지를 활용하기 위해서는 그린수소의 생산과 저장 그리고 운송에 필요한 기술이 필요하고, 수소에너지의 각 밸류체인에서 금속소재가 차지하는 비중은 상당할 것이다. 하지만 금속소재는 수소환경과 응력 작용 하에서 쉽게 파손되는 수소취성 현상이 나타난다. 수소원자는 원자 반경이 가장 작고 탄소강과 같은 BCC금속에서 쉽게 확산하고 탄소강, 알루미늄, 스테인리스강과 같은 FCC금속에서는 확산이 어렵다. 부품 내부에 유입된 수소가 확산되어 금속결함(전위, 결정립계, 침입형사이트 등)의 응력 집중 부분으로 집적되어 지연파괴 현상이 발생한다. 본 연구는 탄소강의 강도, 결정립도와 전위밀도에 따른 수소취성 현상을 정리하고, 금속 제품에서 가장 응력 집중이 심한 용접부에서 용가재(고엔트로피합금)와 용접기술별 수소취성 현상 연구결과를 비교하고, 이를 극복하기 위한 방법을 설명한다.또한 내수소취성 소재의 혁신을 위해서 부산대학교에서 시작하는 기초연구실 과제를 설명하고, 수소침투방지 나노표면구조와 내수소취성 벌크소재의 개발 및 적층제조를 통하여 내수소취성 소재를 제작하는 글로벌 협력 집단연구의 진행과정을 설명한다.

[AW-6 | 15:25] 현대제철 신진학술상 수상기념강연

금속 부식 거동의 환경 및 재료적 영향 인자의 개괄 : 하헌영*, 이태호 (한국재료연구원)

Keywords: 철강, 부식

운송 및 에너지 생산은 세계 CO_2 배출의 최대 기여원입니다. 환경 규제의 강화는 운송 동력원의 근본적 변화와 함께 운송 수단의 경량화를 촉진하였으며, 기존 에너지 생산 시스템의 효율 증대 및 에너지원의 다각화를 활성화하고 있습니다. 운송 및 에너지 산업의 강화되는 요구에 대응하는 방법 중 하나로, 소재 성능 향상의 관점에서의 접근이 이루어져 왔습니다. 금속재는 다변화되고 있는 운송용 구조체 및 에너지 생산·저장 시스템 소재로서 가장 경제적이고 검증된 소재입니다. 운송용 금속재의 경량화 연구, 에너지용 금속재의 고온 안정성 연구 등은 해당 산업용 친환경 소재를 개발하기 위한 대표적인 사례입니다. 시스템의 장기 내구성 향상 또한 시스템의 친환경성을 향상시키는 효과적인 방법이고, 이를 달성하기 위한 방안 중 하나는 소재와 환경의 반응성 제어입니다. 따라서, 금속 구조재에 기반한 시스템의 지속 가능성을 위해서는, 산화성 환경에 노출된 금속재의 열화, 즉 부식 현상에 대한 이해가 필요합니다. 본 발표에서는 금속의 부식 거동에 영향을 미치는 환경 및 재료 인자에 대해 개괄하고 재료적 인자 제어를 통한 내식 합금 개발의 사례를 소개하고자 합니다. 환경의 부식성 수준은 온도, 부식성 이온의 농도, pH, 용존 산소 등 복합적인 요소로

결정됩니다. 그리고 이러한 환경에 노출된 재료의 내식성은 조성과 미세조직적 특성에 의해 영향을 받습니다. 금속의 내식성을 지배하는 주요 인자의 역할을 이해하는 것은 환경에 적합한 내식 소재의 선택, 내식 합금의 설계, 그리고 환경 제어의 방향을 제시합니다. 그리고 재료적 인자의 제어를 통한 내식 합금의 개발 사례는 금속재 내식성 향상의 실제적인 전략으로 활용될 수 있습니다.

[미래2-3 | 15:50] 초청강연

Computational Design of Metal Alloys with Minimal Galvanic Corrosion: application to biodegradable Mg alloys : Pil Ryung Cha* (Kookmin University), Yu-Chan Kim, Hyun-Kwang Seok, T Krishnamohan, and Seung-Cheo Lee (Korean Institute of Science and Techonology)

Keywords: computational alloy design, electrochemical potential, Galvanic corrosion, Born-Harbor cycle, First Principle Cluster Expansion

Replacement metals have been found in the skulls and teeth of ancient humans, which implies that metallic implants have been used for several millennia. The concept of bone replacement has been dominant in the development of metallic implants. However, biodegradable metals with the potential to stimulate bone formation have recently captured the attention of scientists. Among these metals, magnesium alloy is an attractive biodegradable material. However, its corrosion is accompanied by hydrogen evolution and a local increase in pH, which impose constraints on many potential biomedical applications. In this study, we propose a new computational alloy design methodology to minimize the galvanic corrosion that is the main corrosion mechanism in biodegradabe Mg alloys. The standard redox potentials for more than 40 metals with one-electron to four-electron are calculated using the Born-Haber cycle, and it was confirmed that the calculated potentials are in good agreement with experimental values available in literature. The concept is extended for use with multicomponent alloys by calculating redox potentials that are in accordance with standard redox potential: this is achieved through calculation of the formation free energy for alloys using density functional theory with reasonable assumptions. Then we propose a method to calculate the equilibrium concentrations of various phases existing in arbitary multi-component and multi-phase alloy systems based on cluster expansion method. We apply our proposed methodology to Mg-Sr-Zn and Mg-Ca-Zn ternary alloy systems and estimate the ideal concentration of Zn which minimizes the galvanic corrosion in the systems. The results show very good agreement with experimental data, which confirms the validity of the alloy design methodology proposed in this study.

[미래2-4 | 16:15] 초청강연

How to Get Your Articles Published in The High Impact Journals? : Guangchen Xu* (Wiley China)

Keywords: scientific publishing, current trends

A highly competitive research environment with increasingly limited research funding has created a “Publish or Perish” attitude among scientists who are judged on the quantity rather than quality of their research articles. This presentation provides a brief overview of current trends and challenges in scientific publishing, some ethical considerations, how publishers and authors interact and influence each other, and how the publishing arena is being transformed. Tips will be presented on how to select an appropriate journal for your paper, what aspects of preparation and presentation to focus on from an editor’s and referee’s perspective, and hints for increasing the discoverability of your paper after publication.

제3회 수소경제 구현을 위한 수소운송 및 저장소재 심포지엄
Room 레이크, 10월 28일

[수소경제1-1 | 09:00] 초청강연

BCC 구조 금속의 수소 사용 적합성 평가를 위한 수소취성 인덱스 : 백운봉*, 박재영, 배경오 (한국표준과학연구원)

Keywords: BCC구조, 수소취성, 사용적합성평가, 수소취성인덱스

수소의 영향을 받은 금속 소재의 수소취성 민감도를 평가하기 위해 다양한 수소취성 인덱스가 사용되고 있다. 그 중에서 가장 잘 알려진 기법들은 저속 변형률 인장시험(slow strain-rate tensile, SSRT) 시험이 있다(1). 그리고 이와 유사한 방법중 하나로 수소환경에서의 노치가 민감함을 이용한 노치인장시험을 통한 노치인장강도 측정을 통한 반법, ISO 11114-4에서 제안하는 디스크 압력 파열(disc pressure rupture) 시험, 최근 국내에서 개발된 얇은 디스크를 사용하는 소형펀치(small punch, SP) 시험법(2). 등이 있다. 본 연구에서는 이러한 다양한 시험법을 소개하고 앞서 언급한 다양한 기법을 사용하여 Cr-Mo 강에 대한 수소 적합성 평가를 수행하였고, 각 시험으로부터 얻은 결과로부터 수소취화 민감도 지수(HE sensitivity index)를 도출하여 비교 분석하였다.

[수소경제1-2 | 09:20] 초청강연

STS 316L강의 용접공법 및 용접재료에 따른 액화수소 분위기 장기 노출 이후의 초저온 수소취성 비교 : 김성환*, 김재웅, 표창민 (한국생산기술연구원)

Keywords: 액화수소, 스테인리스강, GTAW, FCAW, Charpy

차세대 에너지원으로 주목받고 있는 수소를 해외로부터 도입할 경우, 저장과 운송에서 경제성을 확보하기 위해 극저온에서 액화시키는 것이 필수적이다. 일반적으로 극저온 액화가스를 저장하기 위해 오스테나이트계 스테인리스강을 적용하지만, 액화수소를 운송할 수 있는 독립형 C-type LH2 탱크의 경우, 내조 소재는 극저온 파괴인성, 내수소취성 등을 이유로 STS 316L 소재로 적용 소재를 제한하고 있다. 반면, 용접부의 경우 IGC code, IGF code와 ASME BPVC에 제시된 규격치를 만족하는 동시에 현장 생산성을 고려한 용접공법 및 용접재료 등이 검토되고 있으나 아직까지 국내외에 보고된 사례가 부족하다. 따라서 본 연구에서는 STS316L 소재를 GTAW, FCAW 공법과 다양한 용접 재료를 적용한 맞대기 이음부를 제작하여 액화수소 탱크 내부 환경을 모사한 분위기에서 장기 노출시킨 후 수소취성 민감도를 정량 평가하였다. 특히, 항복강도 이하의 인장 응력이 인가된 응력 상태에서 영하 180ºC, 10barg의 수소 분위기에 최대 30일 노출시킨 후, 영하 53ºC에서 느린 변형속도의 인장실험을 통해 RNTS를 평가하였으며, 새롭게 개발된 초저온 샤르피 충격시험기를 통해 20 K에서의 샤르피 충격에너지를 측정하여 RCT(Relative Charpy Toughness)를 평가하여 STS316L 용접부의 초저온 수소 취성을 비교 평가하였다.스테인레스강 316L 내조 소재 및 용접부의 장기 반복 노출에 따른 용접부의 열화 정도를 정량적으로 평가함으로써 액화수소 환경에서도 수소취화에 대한 뛰어난 저항성을 확인할 수 있었다.

[수소경제1-3 | 09:40] 초청강연

극저온 액화수소용 스테인리스강 및 고강도 316LH 개발 현황 : 김광민*, 송석원 (㈜포스코 기술연구소 스테인레스연구그룹)

Keywords: 액화수소, 오스테나이트계 스테인리스강, 극저온인성, 내수소취성, 강도

수소사회가 도래함에 따라 수소 사용량 증가가 예상되고 있으며 수소의 대량 운송 및 저장의 필요성이 크게 대두되고 있는 상황이다. 액화 수소는 기체 수소의 1/800의 부피로 대용량의 수소 저장에 적합하여 수소 산업 인프라 구축의 중요한 수소 형태의 하나이다. 이러한 장점에도 불구하고 액화 수소는 끓는점이 영하 253도로 극저온의 액화수소를 사용하기 위해서는 소재의 안정성 확보가 매우 중요하다. 현재는 액화수소용 소재로 대부분 오스테나이트계 스테인리스강이 사용되고 있으며 그 중에서도 304L과 316L 스테인리스강이 주요한 소재이다. 일본과 미국, 유럽등을 중심으로 기존 300계 스테인리스강 뿐만 아니라 성능이 향상된 강종등이 액화수소용 소재로 검토 및 개발되고 있다. 기존 300계 스테인리스강의 단점인 저강도를 해결하고 극저온 인성 및 내수소취성을 확보하기 위해 포스코에서는 316LH 라는 고강도 오스테나이트계 스테인리스강을 개발하였다. 액화수소가 사용될 것으로 예상되는 선박, 자동차, 충전소, 플랜트, 항구 등의 저장탱크 및 주변 유틸리티의 소재로 사용 가능할 것으로 예상되며, 현재 다수의 고객사에서 시제품 제작 및 성능 검증을 진행하고 있다.

[수소경제1-4 | 10:00] 초청강연

다양한 수소환경에서 배관강 및 합금강의 수소취성 스크리닝에 간편시험법의 적용 : 신형섭*, 리차드 파스쿠아, 젤리카 둘라스, 강성범 (안동대학교), 배경오, 박재영, 백운봉 (한국표준과학연구원)

Keywords: 고압수소, 인시츄 SP 시험, 중공시험편 SSRT, 배관강/합금강, 수소취성, 저온/고온

신재생 에너지원으로 수소 사용이 증가함에 따라 수소의 수송 및 저장에 다양한 방식의 개발과 더불어 이들 장치에 사용되는 재료의 내수소취성을 고려한 페라이트계 강재 및 오스테나이트계 합금의 안전성 확보가 코스트 저감 측면에서 중요하게 되었다. 이를 위해 수소취성 민감도 스크리닝을 위한 간편시험법이 제안되어 그 적용범위를 확대해 가고 있다. 특히 외부수소 환경하 인시츄 SP시험(SPT)과 중공시험편을 사용한 SSRT시험은 고압수소 환경에서 페라이트계 강의 조성비 및 열처리 조건 제어, 용접부 등의 내수소취성 평가를 손쉽게 가능케 하는 간편 시험방법으로 주목받고 있다. 인시츄 시험을 통한 개발 강재 및 합금의 수소취화 거동에 미치는 수소가스 압력(또는 수소분압)과 변형률 속도(펀치속도), 그리고 시험온도의 영향을 파악하여 그 상호관계를 이해하고자 하였다. 이들 시험법은 강재의 수소취화 민감도를 각 영향인자인 상대두께감소율비(RRT)와 상대단면수축율비(RRA)를 사용하여 정량적 비교 평가를 통해 설

계데이터 획득도 가능케 한다. 본 연구에서는 수소용 배관에 적용이 기대되는 API X70과 압력용기용 SA723강, 수소발전 연소기용 Ni-기 초합금 등을 대상으로 SPT와 중고시험편-SSRT 결과를 비교하여, 저온에서 고온까지 다양한 수소적용 환경에서 수소취화 거동 평가에 미치는 영향인자를 파악하였다.
This work was supported by the KETEP grants funded by the Korean Government (MOTIE) (Grant No.: 20223030040090 and RS-2024-00449309). It was also supported by the Development of Reliability Technology of Standard Measurement for Hydrogen Fueling Stations funded by the Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS-GP2023-0007).

[수소경제2-1 | 10:40] 초청강연

수소생산 및 활용을 위한 프로톤 세라믹 전기화학 전지 기술개발 현황 : 지호일* (한국과학기술연구원)

Keywords: 프로톤 세라믹 연료전지, 프로톤 세라믹 수전해전지, 그린수소

수소 및 탄화수소계 연료의 대용량 생산 및 저장, 활용이 가능한 에너지 시스템으로서의 세라믹 전해질 기반 전기화학전지는 신재생에너지의 저장 및 출력 안정화를 위한 최적의 기술이라 할 수 있다. 널리 알려진, 산소이온 전도성 전해질 기반의 연료전지(SOFC:Solid Oxide Fuel Cell) 및 수전해전지(SOEC:Solid Oxide Electrolysis Cell)는 700도 이상의 고온 작동으로 인해 시스템 구성의 비용적 측면과 장기 안정성 측면에서 문제가 제기되고 있다. 따라서 그 작동 온도를 낮추어 열관리를 용이하게 함으로써 전체 시스템의 크기와 가격을 낮추는 동시에, 열화기구 속도를 저하시켜 장기구동 신뢰성을 향상시키고 열싸이클에 의한 열기계적 충격에도 효과적으로 대응하기 위한 기술로, 500도 근방에서 작동이 가능한 프로톤 전도성 세라믹 전해질 기반의 전기화학 전지가 주목을 받고 있다. 본 발표에서는 프로톤 전도성 세라믹 전해질 기반의 연료전지(PCFC:Protonic Ceramic Fuel Cell) 및 수전해전지(PCEC:Protonic Ceramic Electrolysis Cell)의 특징, 구성소재, 제조공정, 향후 기술 확장성, 및 최근 KIST의 PCFC/PCEC 관련 연구결과를 소개드리고자 한다.

[수소경제2-2 | 11:00] 초청강연

수소저장용기 및 고강도 배관소재 개발과 수소산업용 강재의 전기화학적 수소취성평가 방법 : 오윤석* (포항산업과학연구원)

Keywords: 수소충전소, 고질소강, 수소취성평가, 수소저장용기, 무계목강관

수소경제 활성화 로드맵(`19.1) 및 그린뉴딜(`20.7) 관련 다양한 수소산업 활성화정책 추진에 따라 수소충전소 등 관련시설이 가파른 속도로 증설되면서, 최대 90 MPa급의 고압 저장탱크 및 초고압 수소배관용 소재에 대한 요구도 높아지고 있다. 특히 상용차용 수소충전소와 같이 대용량의 수소충전이 필요한 경우 일일 최대 충전량, 대기시간, 충전시간 감소 등이 필수적으로 요구되나, 현재 수소충전소의 고압수소저장용기의 용량은 500리터 미만이며, 현행 316L 스테인리스강을 사용하는 수소배관의 경우 좁은 내경으로 인한 유량의 한계로 인해 수소충전효율 향상에 한계가 존재한다. 이에 따라 RIST는 국내 기업 및 연구기관/대학과 함께 국내 수소충전소용 핵심소재 및 부품인 대용량 고압수소충전용기 및 고강도 대구경 스테인리스계 심리스 배관에 대한 국산화연구를 수행하였으며, 고압수소충전용기의 국내외 인증을 획득하였으며, 기존 스테인리스 배관 대비 유량이 3배 이상 확대된 고강도 스테인리스계 심리스 배관 제조에 성공하였다 한편, 개발된 용기 및 배관에 사용되는 소재의 인증을 위해서는 고압수소분위기에서의 수소취성평가가 필수적이며, 국내의 경우 한국표준과학연구원 등에 수소적합성 및 고압수소 분위기의 피로파괴시험용 장비가 있으나, 학계 및 산업계의 수소용 강재의 수소취성특성 평가에 대한 수요를 감당하기에는 수소 90 MPa 분위기를 구현한 시험기기가 절대적으로 부족한 상황이다. 이러한 상황에서 고압수소분위기를 구현한 시험기기를 확충하는 것도 필요하나, 이 경우 시험비용 및 시간이 많이 소요되므로, R&D 측면에서 보다 용이하게 사용할 수 있는 수소취성평가 대체법이 대안이 될 수 있다. 수소취성특성을 평가할 수 있는 방법에는 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 전기화학적인 방법을 통해 소재에 수소를 주입(Electrochemical Hydrogen Charging, ECHC)하는 방식을 적용하였으며, 반복적인 실험을 통해 ECHC 방법의 재현성을 확보할 수 있는 시험조건을 확보하였다.

[수소경제2-3 | 11:20] 초청강연

암모니아 직접연료 고체산화물 연료전지 시스템의 열관리 최적화를 통한 출력 증대 : 김근수 (한국과학기술연구원), 김미현 (한국과학기술연구원, 고려대학교, KU-KIST Green school 에너지환경대학원), 정향수 (한국과학기술연구원, 경희대학교, KHU-KIST융합과학기술학과), 남석우 (한국과학기술연구원), 손현태 (한국과학기술연구원, UST, KIST 에너지환경융합전공), 김용민* (한국과학기술연구원, 고려대학교, KU-KIST Green school 에너지환경대학원)

Keywords: Direct ammonia-fueled SOFC (암모니아 직접연료 고체산화물 연료전지), Ammonia decomposition(암모니아 분해), Hydrogen production(수소 생산), System performance evaluation (시스템 성능 평가), Energy analysis(에너지 분석

고체산화물 연료전지(SOFC)는 600-1000 ºC의 고온에서 작동하며, 높은 효율성과 다양한 연료 활용이 가능해 기존의 연소 기반 발전을 대체할 수 있는 잠재력을 지닌다. 그러나 기존의 수소를 활용하는 SOFC는 발열반응과 고온 작동으로 인해 열 관리가 까다롭고, 이는 시스템의 내구성에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 과거에는 내부개질을 위한 탄화수소 가스부터, 최근에는 무탄소 연료인 암모니아를 SOFC의 연료로 사용하는 연구가 진행되고 있다. 암모니아는 높은 수소 저장 밀도(17.8 wt.%)와 용이한 수송 및 저장의 이점을 제공하며, SOFC 내에서 흡열 반응을 통해 시스템의 열평형을 조절하는 데 유리하며, 탄소침적에 대한 문제가 없는 청정연료이다. 본 연구에서는 1.5 kW급 SOFC 시스템에 암모니아를 직접 연료로 주입하여, 약 2.8 kW로의 출력을 증대할 수 있었다. 이는 암모니아의 흡열 특성을 활용해 시스템 내 복잡한 열 관리 문제를 개선하고, 암모니아를 직접 연료극에 주입하는 방식으로 추가적인 처리 장치 없이도 안정적인 운용이 가능하다는 것을 보여준다. 또한, 정밀한 열에너지 분석을 통해 암모니아 기반 SOFC 시스템의 열 효율성과 잠재력을 검토하였다. 본 연구는 암모니아를 이용한 SOFC 시스템이 상업적 적용에 적합할 수 있는 가능성을 제시하며, 열 관리 및 시스템 효율성을 동시에 개선할 수 있는 중요한 기초 자료를 제공한다.

[수소경제2-4 | 11:35] 조청강연

Influence of prior austenite grain boundary misorientation on hydrogen-induced crack propagation in a medium carbon martensitic steel : Ji Hoon Kim*, Goro Miyamoto (TOHOKU University), Akinobu Shibata (National Institute for Materials Science (NIMS)), Tomohiko Hojo (TOHOKU GAKUIN University), Motomichi Koyama, Yongjie Zhang, and Tadashi Furuhara (TOHOKU University)

Keywords: Martensitic Steel, Hydrogen Embrittlement, Intergranular Cracking, Variant Selection, Misorientation

This study investigated the influence of austenite misorientation (q_g) on hydrogen-induced intergranular cracking along the prior austenite grain boundary (PAGB) in a medium C tempered martensitic steel (SCM435). Utilizing EBSD analysis and prior austenite orientation reconstruction, distributions of martensite misorientation ($q_{a¢}$) and prior austenite misorientation (q_g) across PAGBs were compared in both fractured and total PAGBs. The comparison suggests that presence of low misorientation martensite segments ($q_{a¢}$ < 10º) at PAGB was beneficial to suppress PAGB cracking. This low misorientation martensite segments are more likely to be achieved when q_g is either less than 10º (L-PAGB), or over 45º (H-PAGB) with a specific condition. The requirements for H-PAGB to achieve low misorientation martensite segment were investigated by applying interrupt quenching treatment, which can capture the initial nucleation of martensite. The result implies that the nucleated martensite should hold near Kurdjumov-Sachs orientation relationship (KS OR) not only with austenite into which it grows, but also with opposite austenite sharing the grain boundary (double KS OR) to achieve low misorientation martensite segments. The double KS OR is satisfied in most of martensite nucleated in the early stage, indicating the importance of the variant selection to achieve low misorientation martensite segments at PAGB.

CO_2저감 제철기술(COOLSTAR) 심포지엄

Room 레이크, 10월 28일

[저감1-1 | 13:05]

COOLSTAR 프로젝트 개요 : 김태윤*, 이예린 (한국금속재료연구조합)

Keywords: 철강, 저탄소, CO_2저감기술, COOLSTAR Project

2050 탄소중립 실현을 위해 철강산업 저탄소/탈탄소 전환이 요구되는 상황으로, 탄소중립을 위한 100% 수소환원제철공정 개발까지 장시간/고비용이 소요된다. 이에, 철강 제조시 발생사는 온실가저감을 위해 기존 설비체제(고로, 전기로)하에 CO_2저감 가능한 다양한 기술옵션(수소함유가스의 활용, 저탄소 철원의 활용, 바이오매스 활용, 미활용 열 회수, 전기로 효율개선 등)을 검증하는 기술개발사업으로 COOLSTAR프로젝트('17~'25)가 추진 중에 있다. 본 심포지엄을 통해 COOLSTAR프로젝트의 기술개발 현황과 성과를 소개하고자 한다.

[저감1-2 | 13:15] 초청강연

고로공정 CO_2 저감을 위한 함수소가스/대체철원 사용 기술개발 : 이윤재*, 박지욱, 라기호, 이영석 (포스코기술연구원)

Keywords: 함수소가스, 대체철원, 고로, CO_2 저감

당국은 2050년 탄소중립 선언('20.12) 이후, '유엔 기후변화협약 당사국 총회(COP26)'에서 2030년까지 2018년 온실가스 배출량 대비 40% 감축을 '국가 온실가스 감축 목표(NDC)'로 제시하였다. 이러한 상황에서 국내 이산화탄소 배출량의 17% 이상을 점유하고 있는 한국의 철강산업은 전통적인 고로-전로 방식에서 탈피한 저탄소 체제로의 전환이 더욱 중요해지고 있다. 기존 탄소기반에서 수소기반의 철강제조 방식으로의 변화는 전세계적인 동향이며, 수소환원제철로 전환과정의 Bridge 기술로 고로-전로 방식에서 탄소배출을 저감하기 위해 함수소가스 고로 풍구취입 및 저탄소 대체철원 제조/고로장입 기술이 개발되고 있다. COOLSTAR('17.12~'25.2) 국책과제에서는 고로공정 CO_2 직접저감을 위해 함수소 부생가스를 철광석 환원제로 전환하여 소결광 대체용 부분환원철을 제조/환원가스로서 고로 풍구에 취입하는 기술 및 바이오매스를 PCI 대체로 풍구 취입기술과 간접저감을 위해 중저온 배가스 배열회수 및 CO_2 자원화기술을 개발하고 있다. 본 과제에서 포스코는 고로내 가스이용율 향상과 고로조업 향상을 위해 파일럿 장치를 이용한 고피환원성 소결광 제조/저반응성 고강도 코크스 제조기술, 소결광 일부 대체를 위한 부분환원철 제조장치 설계/제작 및 부분환원철 제조기술, 고로 열수지 해석 모델과 고로 괴상대 반응모사 장치를 이용한 개발 연원료/함수소가스/대체철원 사용시 고로 환원제비 저감 기술을 개발하고 있다. 고로모델 및 괴상대 모사장치 결과 함수소가스 취입 및 대체철원 혼합 사용시 고로공정에서 CO_2 7% 이상 저감되는 것으로 확인되었다. 본 발표에서는 COOLSTAR 과제에서 포스코에서 수행된 기술개발 결과 및 성과를 소개하고자 한다.

[저감1-3 | 13:35] 초청강연

철강 산업 탄소 중립을 위한 고로 미분탄 대체 바이오매스 취입 기술 개발 : 이종협*, 오한상, 김가언, 권재홍, 조준희, 이주원, 박준범, 배윤호 (현대제철연구소)

Keywords: 반탄화 바이오매스, 고로, 미분탄, 탄소 중립

국내 전 산업 분야에 걸쳐 온실가스 감축을 구현하기 위해 신 공정 기술 개발 및 신규 설비를 도입하고 있다. 특히, 국내 철강 산업 온실가스 배출량은 산업 부문의 높은 비율을 차지하고 있어, 탄소 배출량 저감이 필수적인 상황이다. 그 중, 철광석으로부터 철을 생산하는 과정인 제선공정은 열원 및 환원제로서 코크스와 미분탄과 같은 탄소기반의 연료가 다량 사용되기 때문에 연료 다변화에 의한 탄소 중립 잠재력이 높은 공정이다. 따라서, 본 연구에서는 고로 탄소배출 저감을 위해 탄소중립재로 분류되는 목질계 기반 바이오매스를 고로에 취입하는 기술을 확보하기 위해 기초실험 및 실증평가를 진행했다. 실증평가를 위해 우선 바이오매스의 고로 영향 인자 특성을 검토하여 고로 취입 가능성을 평가했다. 바이오매스 특성 평가 결과 부분적으로 미분탄을 대체하여 고로 내 취입 가능한 것으로 평가되었으며, 본 연구에서는 미분탄의 10%를 바이오매스로 대체하여 실증평가를 수행했다. 바이오매스 취입 실기 평가 진행 중 설비 안정성을 확인하기 위해 미분탄 제조 및 취입 설비들의 지수를 관리했다. 미분탄 파쇄 설비의 진동 값이 기존 미분탄 조건 대비 상승하지만 안정 기준 영역 내 관리되어, 바이오매스 부분 대체 취입 시 안정적인 조업이 가능할 것으로 판단했다. 바이오매스 취입 실증평가 종료 후 고로 조업 실적 기반으로 탄소 저감량을 평가했으며, 제선 공정 중 3.7%의 이산화탄소 저감 효과를 확인했다.

[저감1-4 | 13:55] 초청강연

Carbon dioxide reduction technologies in the integrated iron and steelmaking process : Junseok Yi* (Research Institute of Science and Technology (RIST)), Gookhee Kim (POSCO NEXT HUB), Wonbae Kim, Jonglam Lee (Pohang University of Science and Technology (POSTECH)), Jaedal Lee, Soohwan Jeon (Research Institute of Science and Technology (RIST)), Jungseub Ha, Sehun Choi, Junil Choi (Pohang University of Science and Technology (POSTECH)), Jin Hyuk Cho, and Soo Young Kim (Korea University)

Keywords: CO_2 reduction, Natural circulation waste heat recovery exchanger, DME synthesis process, Solid oxide electrolysis cell, Metal–organic frameworks

This study focuses on the development of technologies that indirectly reduce CO_2 emissions, such as the recovery of unused waste heat and the CO_2 conversion as a resource within steel mills. First, A high-efficiency, dust-resistant, and corrosion-resistant natural

circulation waste heat recovery device has been developed for medium and low-temperature off-gas generated in the iron and steelmaking process, achieving a heat recovery rate of 84.0%. If the developed heat exchanger is used as a coke oven fuel preheating, it is expected to reduce CO_2 emissions by approximately 5,000 tons per year. Second, a DME synthesis process has been developed that utilizes the CO_2 contained in the off-gas generated from an integrated steel mill, which is thermodynamically convertible. Existing processes convert off-gas into NG before synthesizing DME, but the developed process directly synthesizes DME from off-gas, making it suitable for the iron and steelmaking process. Through bench-scale experiments, the process was evaluated under conditions of GHSV 8,000 hr-1, 250 ºC, and 50 bar,g, achieving a CO_2 conversion rate of 95.6%. Subsequently, a basic design for a commercial process was secured through a scale-up impact assessment. Third, a high-performance solid oxide electrolysis cell (SOEC) system, designed for CO_2 conversion in challenging industrial environments, such as simulated blast furnace off-gas. The SOEC system utilizes advanced perovskite cathodes enhanced by Co and Fe exsolution techniques, significantly improving sulfur tolerance and carbon coking resistance. These advancements enable the SOEC to maintain stable electrochemical performance even in the presence of contaminants like sulfur and carbon. The effectiveness of these cathode materials in converting CO_2 to CO with high Faradaic efficiency in demonstrated, contributing to potential applications in industrial CO_2 reduction and resource utilization. Lastly, metal–organic frameworks (MOFs) have been developed. This study shows that atomically dispersed Ni single atoms on a precisely engineered MOF nanosheet display a high Faradaic efficiency of approximately 100% for CO formation in H-cell and three-compartment microfluidic flow-cell reactors and an excellent turnover frequency of 23,699h−1, validating their intrinsic catalytic potential. These results suggest that crystallographic variations affect the abundant vacancy sites on the MOF nanosheets, which are linked to the evaporation of Zn-containing organic linkers during pyrolysis. Furthermore, using X-ray absorption spectroscopy and density functional theory calculations, a comprehensive investigation of the unsaturated atomic coordination environments and the underlying mechanism involving CO* preadsorbed sites as initial states was possible and provided valuable insights.

[저감1-5 | 14:15] 조청강연

CO_2 저감형 Hybrid 제철기술 통합 적용에 따른 고로 및 전후방 공정 CO_2 배출 인자 변동 평가 : 김완호* (더하이스트(TheHighest)), 이예린, 김태윤 (한국금속재료연구조합)

Keywords: 고로 기반 CO_2 저감형 Hybrid 제철기술, 통합 적용, 모델 공정, 고로 및 전후방 공정, CO_2 배출 인자 변동

고로 기반 CO_2 저감형 Hybrid 제철기술개발 국책사업은 현재 글로벌 철강 생산의 70% 이상을 차지하는 고로 기반 철강 생산의 저탄소화 구현을 목표로 국내 철강사 및 학-연 연구기관이 참여 개발 중이다. 해당 개발 사업은 기존 제철소 부생가스의 환원제 전환 (고로 직접 취입, 사전 환원철 제조 및 고로 활용), 탄소 중립 바이오매스 자원의 환원제 활용, 미활용 배열 회수 기술 등 다양한 세부 기술들로 구성되어 있다. 해당 기술들은 미래 수소환원 DRI 등 완전한 그린 철강 체제로의 전환 전 현재의 철강 공정 및 설비 기반에서 적용 가능한 과도기적 저탄소 기술 옵션으로 실질적인 CO_2 감축 효과가 주목된다. 실질적인 CO_2 감축 효과의 산정을 위해서는 실기 플랜트를 대상으로 세부 기술들의 통합 적용 전후 CO_2 배출 영향 인자의 변동 산출이 필요하나 해당 기술은 현재 P 단계 개발 기술로서 현 시점에서의 실기 적용에는 한계가 있다. 따라서 세부 기술 통합 적용의 CO_2 감축 효과 산정에는 실기 플랜트를 대체하기 위한 모델 공정 구축이 필요하다. 또한, 제철 공정의 경우 고로를 중심으로 다양한 전후방 공정이 연계되어 있으므로 산업 운용 관점의 실질적인 CO_2 감축 효과 산정에는 각 세부 기술 적용에 따른 전후방 공정 개소의 CO_2 배출 영향 인자 변동도 함께 정량화가 필요하다. 본 발표에서는 고로 기반 철강 생산의 상공정 범위 모델 공정을 기반으로, 현재 개발 중인 함수소 가스 고로 풍구 취입, 사전 환원철의 일종인 LRI (Low-Reduced Iron) 제조 및 고로 활용, 바이오매스 고로 풍구 취입 등 관련 세부 기술들의 동시·통합 적용을 상정하여 고로 및 전후방 공정의 CO_2 배출 영향 인자 (석탄류, 전력, 부생가스류 등 중심) 변동 영향을 살펴보았다. 또한, LRI 제조 등 신규 추가 공정의 에너지 (부생가스, 전력 등) 소요를 반영하고, 필요 전력 중 일부를 미활용 배열 회수 기술을 통해 생산 가능한 전력으로 대체하여 배열 회수 기술의 CO_2 감축 효과를 포함하였다. 한편, 고로 취입 및 LRI 제조 기술의 경우, 기존에 소내 가열로 열원으로 사용되는 COG (Coke Oven Gas) 등의 부생가스를 환원제로 전환 운용함에 따라 기존 가열로에서의 열원 (에너지) 부족이 예상된다. 따라서, 부생가스의 사용 전환에 따른 소내 부생가스 수급 변동 및 가열로 등의 에너지 부족량을 평가하여 외부로부터 추가 수급이 필요한 에너지를 정량화하는 노력을 병행하였다. 소내 부생가스 수급 변동량 산정에는 고로 및 전후방 공정 변동에 의한 In-house 부생가스 생산, 소요 변동도 함께 고려되었다. 이러한 노력을 통하여 향후 개발 기술들의 실기 제철소 적용 시, 적용 개소 및 전후방 공정 포함의 전체 공정 운용 관점에서 CO_2 감축 효과의 과평가를 최소화하고 철강 산업의 실질적인 감축 효과 산정을 기대할 수 있다.

[저감2-1 | 14:45] 조청강연

난용성 대체철원 다량 사용을 위한 전기로 고효율 보조설비 개발 : 신대훈*, 안정우, 김균태, 김영철, 최병권, 엄준용, 조종오, 김용희 (현대제철연구소)

Keywords: 탄소중립, 철강, 전기로, 대체철원, DRI, HBI, 설비

"대체철원 기반 제철공정 CO_2 저감 기술개발" 과제는 철광석으로 용선을 생산하는 고로 생산 방식에 비해 CO_2를 획기적으로 저감할 수 있는 기술적 대안으로 제강(전기로, 전로)공정에서 용선 사용을 줄일 수 있는 대체철원의 사용증대 기술확보를 목표로 하였다. 본 과제는 크게 두 가지로 나뉘어 진행되었으며, 첫 번째는 제철소 부생가스를 활용하여 에너지 저감형 DRI를 제조하는 원천기술(1그룹), 두 번째는 제강공정에서 대체철원을 사용하는 기술(2그룹)이다. [연구 1그룹] 제철소 부생가스인 COG(Cokes Oven Gas)를 개질/증폭한 함수소 가스를 활용하여 Lab. scale의 유동로에서 에너지 저감형 직접환원철을 제조하는 원천기술을 개발하기 위해

원료특성에 따른 대체철원용 에너지 저감형 미분광 원료를 도출하고 Scale-up 유동환원공정에서 개발기술을 검증 및 평가하였다. 이를 통해 전기로 용해에 적합한 고압축 강도를 갖는 HBI를 제조하여 전기로에 열간 장입한 후 스크랩과 조업할 수 있는 기술을 확립하고 검증하였다. [연구 2그룹] 제강공정에서 대체철원을 다량 사용하는 요소기술을 확보하기 위해 노벽 고효율 산소 가스 공급설비 및 고효율 LNG 버너 설비를 개발하였다. 또한, 불순물 제거 능력 향상을 위한 슬래그 정련 능력, 내화물 내침식성을 확보하기 위한 저취 교반 등의 전기로 기술과 화학 에너지 사용 증대를 위한 노내 2차 연소 반응열 등을 활용하는 전로 기술을 개발하고 평가를 수행하였다. 본 연구는 2그룹에 속하며, 특히 대체철원을 전기로 공정에 활용함에 있어 양산 적용에 제약을 야기하는 공정효율 저하를 극복하고자 고효율 전기로 보조설비의 국내 자력개발에 목적을 두고 있다. 전기로를 활용한 용강생산 공정은 장입물의 용해(Melting) 및 용해물의 정련(Refining)으로 나눌 수 있으며, 각 단계에서 공정효율향상은 주 에너지원인 전력을 기반으로 화학 에너지 공급 설비를 통한 로내 열적 불균형 해소(균일 용해) 및 반응효율향상(정련능력향상)을 통해 이루어진다. 대표적인 화학 에너지 공급 설비는 연료(LNG)의 연소열을 활용한 버너(Burner)와 산화정련을 위해 공급되는 산소를 투입하는 랜스(Lance)이며, 이들 설비는 오랜 기간 동안 양산 적용되면서 기존 기술 개념으로는 추가적인 효율 향상에 한계가 있다. 본 연구에서는 연소 및 유체 유동 제어에 특화된 우주항공 기술의 핵심 요소기술을 채용한 융합기술개발을 통해 기존 한계를 극복하고 향후 대체철원의 적용으로 발생하는 공정 열위 요소에 대한 제어가 가능한 신개념 전기로 보조설비를 개발하였다.

[저감2-2 | 15:05] 초청강연

부생가스에 의한 에너지 저감형 DRI 제조 기초 연구 : 김은주, 명다빈, 이준호*, 서인국* (고려대학교)

Keywords: 분철광석, 함수소 부생가스, 유동환원, DRI, Whisker

철강산업에서 CO_2 발생을 크게 저감할 수 있는 기술로서 제철소 발생 함수소 부생가스를 이용한 유동환원법으로 DRI를 제조하고 이를 전기로에서 사용하는 기술 개발이 추진되고 있다. 사용되는 분철광석 특성에 따라 유동환원 조업과 DRI 특성이 크게 달라지기 때문에 본 연구에서는 광석을 Type 별로 분류하고 다양한 조건에서 DRI를 제조한 후에 특성을 비교 평가하여 향후 유동환원 조업에 필요한 기초 자료를 제공하고자 하였다. 이를 위하여 다양한 분철광석들에 대한 입도분포 및 화학성분 분석과 함께 철광석들을 TG로에서 다양한 가스 분위기(공기, H2, CO, CH4, H2+CH4)와 온도 조건에서 가열 및 환원 실험을 하고 실험 전후의 미세조직을 O/M, SEM-EDX로 관찰하고, 비표면적 등의 특성을 평가하였다. 평가결과 적철광계 광석들은 갈철광계 광석들에 비하여 극미분비와 Fe 품위가 높고, 가열 전후 미세 조직에 큰 영향을 미치는 Goethite비가 낮았다. 철광석들을 공기 중에서 가열한 결과 함 Goethite 광석은 약220ºC에서 부터 해리가 시작되고 Crack이 발생하여 비표면적이 크게 증가하였고 Goethite는 Hematite로 전환되었다. Goethite비가 높은 갈철광계 광석은 원광석의 미세기공 발달과 Goethite 해리에 따른 비표면적 증가로 불순물 함량이 높음에도 불구하고 피환원성이 양호하였다. 다양한 온도 및 분위기에서 환원한 결과 H2 분위기에서 환원이 가장 빠르고 Whisker 발생이 거의 관찰되지 않았다. CO 분위기에서는 Whisker가 쉽게 형성 되었고 H2, H2-CH4 분위기 조건 보다 환원속도 느렸다. H2-CH4계에서는 H2비가 30%, 50%로 높아질수록 환원 속도가 빨라지고 Whisker 발생과 성장이 둔화되나 Metal중 C의 농도와 DRI 표면에 C 석출이 크게 증가하였다. 800ºC, 100% CO, 30 min 조건에서 환원시 적철광은 Whisker 발달이 뚜렷하나 갈철광과 적철광+갈철광 혼합 조직 광석에서는 Whisker가 관찰되지 않았다. 그러나 환원 시간 1시간에서는 모든 광석에서 Whisker가 관찰되었다. 위의 결과들로부터 안정적 유동환원 조업을 위하여는 유동환원시 비산되기 쉽고 운동량이 작아 상호 부착되기 쉬운 –0.15 mm(%)의 극미분 최소화와 함께 H2 70% 이상에서 가능한 짧은 시간 동안 환원하고, 피환원성이 높고 Whisker 발생이 상대적으로 낮은 갈철광에 적철광 및 자철광의 적절한 혼합 사용이 바람직하다고 판단된다

[저감2-3 | 15:25] 초청강연

부생가스 활용 고탄소 DRI (3~4%) 제조 기초 연구 : 김용하*, 원용선 (부경대학교), 이재랑, 조종오 ((주) 현대제철)

Keywords: 부생가스, COG (Coke oven gas), DRI (Direct reduced iron), Two-stage 환원, 탄화

본 연구는 부생가스 (COG 및 개질 COG 등)를 환원가스로 활용하여 철광석으로 부터 DRI (직접환원철, Direct Reduced iron)를 제조하는 공정 개발의 일환으로 진행되었다. 철광석을 저온에서 1차 환원한 후 고온에서 2차 환원하는 Two-Stage 환원 공정이 제시되었으며 이는 고온의 2차 환원에 사용되면서 가스산화도가 높아진 채 배출되는 환원가스를 저온의 1차 환원에서 한번 더 사용하여 가스 원단위를 낮추고 환원-탄화까지 진행시키면서 DRI내 탄소함량을 조절할 수 있도록 되어있다. DRI 제조 공정에 적용가능한 조업조건 (온도, 시간, 가스조성, 가스산화도 (:GOD))내에서 환원-탄화철의 상태 (Fe, C, Fe_3C, 금속화율)와 조업 패턴의 관계를 환원 전-후 질량감소와 XRD, XRF, EDX 분석 등을 통해 해석하였다. 환원까지는 각 stage 별로 최소 20분의 시간이, 환원후 탄화까지는 각 stage별로 최소 30분의 시간이 필요하며, 1차 환원 [600 ºC-30분-GOD 20%] / 2차 환원 [840 ºC-30분-GOD 0% (수소 86%-메탄 14%)]의 DRI는 금속화율 97%, 탄소함량 5.39%을 보였다. 또한, 2차 환원의 온도가 높을수록 탄화가 많이 됨을, 환원가스내 수소분율이 높을수록 환원 온도 증가에 따른 질량 감소의 속도가 낮아짐을, 즉 탄화 경향이 줄어드는 것을 알 수 있었다. DRI내 탄소함량 3%와 연계된 질량감소 27.5%가 일어나는 조업온도는 수소분율이 높을수록 높아지는데 수소분율 70, 80, 86%에 대해서 각각 725, 775, 840 ºC이었다. 본 연구를 통해 얻어진 결과물들은 제철산업이 지향하는 탄소중립 추진에서 DRI 생산 설비의 설계와 조업에 도움이 될 것으로 기대된다.

[저감2-4 | 15:45] 초청강연

Thermochemical understanding the melting behavior of HBI and dephosphorization efficiency in EAF conditions for mitigation of CO_2 emissions : JOO HYUN PARK* (Hanyang University)

Keywords: CO_2 emissions, EAF steelmaking, Direct reduced ion (DRI), Hot briquetted iron (HBI), Gangue oxide

It is known that approx. 7% emission of CO_2 arises from the steel sector. Hence, many steel companies are trying to develop the EAF steelmaking process instead of BF-BOF integrated routes by employing high amounts of DRI and/or HBI to reduce CO_2 emission. The DRI/HBI as a substitute for virgin scrap in EAF has been used because DRI/HBI does not have tramp elements. Unfortunately, however, commercially available DRI contains the relatively high levels of phosphorus and gangue oxides, which adversely affects not only the steel properties but also the operation efficiency. In the present study, the challenging points should be carefully considered to achieve the improved EAF technology on the way to green steel are reviewed, and the recent experimental and modeling research are discussed. We observed the morphology and distribution of elements with gangue oxides in HBI. Main component of gangue oxides in HBI was SiO2, Al2O3, and CaO in conjunction with unreduced FeO. Small amount of iron-silicate slag was formed when HBI was melted, thus, phosphorus content in steel was not varied during the melting stage. This is possibly due to the formation of relatively acidic slag. To increase the dephosphorization efficiency, the distribution ratio of phosphorus between metal and slag was calculated using FactSage thermochemical computing software and was compared to the measured results. The optimization of slag chemistry is required not only for maximum dephosphorization efficiency with good slag foamability but also for minimum slag volume with less refractory corrosion.

[저감3-1 | 16:15] 조청강연

철강산업 부생가스 활용기술 개발 현황 [특허중심] : 유근영* (오렌지특허법률사무소)

Keywords: By-product gas, CO_2 capture, hydrogen production, de-sulfurization, carbon neutrality.

최근 전 세계적으로 기후변화와 환경오염에 관한 관심이 급증하면서 다양한 산업에서 탄소중립 패러다임이 가속화되고 있다. 이러한 변화 속에서 저탄소 및 탈탄소 기술은 필수적인 요소로 떠오르고 있으며, 이를 도입하고 발전시키려는 노력이 산업 전반에 걸쳐 활발히 이루어지고 있다. 특히 철강 산업은 제조 공정에서 고로가스(BF), 코크스 오븐 가스(COG), 전로가스(LDG) 등의 다양한 부생가스를 대량으로 배출한다. 이러한 가스들은 CO, CO_2, CH_4, 황 화합물, VOCs 등의 유해 물질을 다량 포함하고 있어 환경 오염을 초래하며, 철강 산업의 지속 가능성을 저해하는 주요 요인으로 작용하고 있다. 이에 따라 부생가스 처리 기술이 탄소중립 목표 달성을 위한 핵심 기술로 주목받고 있다. 부생가스를 처리하는 주요 기술로는 탈황/전처리, 개질 수소 생산, CO_2 포집/분리 등이 있으며, 국내에서는 17년도부터 COOLSTAR 국책과제를 통해 이러한 주요 기술들에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 필자는 변리사로서, 부생가스를 처리하는 주요 기술에 관한 특허 조사 및 분석을 진행해 왔으며, 이를 통해 특허 동향을 파악하고, 도출된 주요특허를 심층 분석하여 해외 주요기업들의 핵심 기술을 파악함으로써 국내기업에게 철강 산업에서의 탄소중립 실현을 위한 전략적 방안을 제시하는 방향으로 과업을 진행하고 있다. 이번 발표는 COOLSTAR 국책과제의 성과를 특허 관점에서 공유하고 해외기업의 특허 현황을 점검하는데 그 의의가 있다. 특히, 고로 기반 CO_2 저감기술, 대체철원 기반 CO_2 저감기술, 부생가스 기반 수소 증폭/정제 기술 등 세부 과제별 특허조사 결과를 심층적으로 발표할 예정이다. 이번 발표를 통해, 특허 관점에서 참여기관 및 학회 간 지식 교류를 활성화하고, 저탄소 기술 발전을 촉진하여 궁극적으로는 탄소중립 목표 달성에 기여하고자 한다.

[저감3-2 | 16:35] 조청강연

COOLSTAR 2세부 2단계 소개 :박동률* (현대엔지니어링(주))

Keywords: 수소, 부생가스

[쿨스타 2세2부 2단계 소개] 1. Introduction - 국내 철강산업의 CO_2 배출 저감 및 수소 생산 기술 확보 필요성 대두 - 쿨스타 2세부 2단계 과제에서는, 현대제철 부생가스로 수소를 생산하는 Pilot Plant 실증 - 주관기관- 현대엔지니어링, 수요기업-현대제철, 개질기 개발-현대로템-가스정제 개발-에너지기술연구원/아스페 2. 공정 개요 - 현대제철에서 1차 정제된 COG Tail Gas(CTG)를 Feed로 하여, - 9barg로 압축 하여 개질기 섹션으로 이동, Desulfur-Pre Reformer에서 사전 정제 하고 SMR에서 Steam Methane Reforming 한 후 Water Gas Shift Reaction을 거쳐 수소를 증폭 - 정제 섹션에서 CO_2CO_2를 습식 포집으로 제거 - PSA에서 수소를 99%로 정제 3. 과제 특성 - 제철 부생가스를 원료로 한 SMR 반응 시 유의 사항 - CO 및 Olefin 성분으로 인한 반응 열 상승 - 수소법 적용 시 유의점

[저감3-3 | 16:55] 조청강연

수소 개질용 반응관 튜브의 고온 열화에 따른 기계적 특성 및 조성 변화 : 최주현* (부공산업(주)), 남중길 (부공산업(주), 한국기술교육대학교), 박재원 (아세아항공직업전문학교), 도학진 (부공산업(주))

Keywords: SMR(steam methane reforming), 내열합금강, 스테인리스, 고온열화, 부생가스

수소는 1족 원소로서 가장 풍부하고 가벼운 원소로 정유, 석유화학, 철강 등 다양한 산업군에서 활용되고 에너지 효율이 뛰어난 에너지원이다. 이 중 철강 산업에서 발생되는 부생가스 중 코크스 오븐가스 (Cokes oven gas, COG)에는 수소가 다량 함유되어 있으며 메탄의 함량이 높아 수소 환원 제철의 수소공급원으로도 이용이 가능하지만, 안정적인 원료로 공급하기 위해서는 불순물 (H2S, NH3, BTX 등) 정제가 필수적이다. 부생가스 기반 수소 개질 설비의 핵심은 수소개질 반응관이며 약 800ºC 이상 고온 조건과 15bar 이상의 내압 등 가혹한 조건에서 개질 반응이 진행된다. 수소 개질 반응관은 고온 열화가 일어나기 쉬우며 이는 강도 저하, 연성 증가, 미세조직 변화, 산화, 피로 및 크리프 손상 등을 초래할 수 있어 소재에 대한 신뢰성이 요구되는 제품 중 하나이다. 본 연구에서는 원심주조 내열합금강의 1200°C의 고온 조건에서 시간의 변화에 따른 고온 열화 과정을 파악하기 위해 SEM-EDS, XRD, 고온 크리프 시험 등을 통하여 재료의 조성 변화 및 기계적 특성 평가를 진행하였다.

[저감3-4 | 17:15] 초청강연

제철공정 발생 부생가스 이용 개질가스 중 선택적 이산화탄소 포집기술 : 남성찬* (한국에너지기술연구원)

Keywords: 제철, 이산화탄소, 포집

최근 미국 중심의 보호무역주의 확대, 파리 COP21 이후의 온실가스 감축 요구 현실화, 4차 산업혁명에 따른 신소재 경쟁력 강화 등 철강업계에 당면한 환경변화와 도전을 이겨내기 위한 끊임없는 노력이 요구되고 있다. 국내 산업부문 온실가스 배출의 27%(산업부문 1위)를 차지하는 철강산업에서 온실가스 감축계획에 대응하기 위해서는 CO_2 저감기술 개발이 절실하며, 공정/원료의 변동이 쉽지 않은 철강산업 특성상 제철 공정 특화된 CCUS 기술개발이 필요하다. 일관제철공정에서 CO_2 배출 감축 기술은 크게 에너지 효율향상 외에 환원제 대체, 신재생 및 탄소 중립에너지 사용, CCUS (CO_2 Capture, Utilization & Storage) 등으로 구분할 수 있다. 배출된 CO_2의 포집·활용·저장 기술은 2030년까지 탄소 중립 제철공정을 위한 중간단계기술(Bridge Technology)이고, 궁극적으로 2050년까지 철광석 환원제를 수소로 대체하는 것이 중장기 계획이다. 온실가스 배출 감축을 위해 철광석 환원제를 수소로 전환하고, 이 때 발생되는 이산화탄소는 포집과 화학물질 전환 또는 심해 저장 등을 통해 Net-Zero에 도달하는 것이 목표이다. 제철공정 발생 부생가스 활용 리포밍공정연계 배출 대상 이산화탄소 포집 공정은 흡수제로 아민계열 화합물을 사용하는 공정이 대표적이다. CO_2 배출 감축과 경제성 측면에서 경쟁력이 있는 부생가스 개질공정을 연계할 경우 철강 산업 부분에서 국내 최초로 CCS 기술 개발의 완성이 가능할 것으로 예상된다.

역학측정
Room 포레스트, 10월 28일

[역학1-1 | 09:00]
실시간 수소 장입 나노압입시험을 활용한 Fe-Cr 합금 내 결정립 방향 별 수소 영향 분석 : 안윤희, 정재영, 정현, 정지윤, 이동현* (충남대학교)
Keywords: In-situ hydrogen charging, Nanoindentation, Hydrogen diffusivity, Schmid factor

수소 취성은 금속 재료에서 흔히 발생하며 수소 관련 공정과 관련된 산업에서 중요한 문제이다. 이 연구에서는 나노압입 중 전기화학적 후면 실시간 수소 장입법을 이용해 수소 외 재료 표면에 영향을 주는 인자를 최소화하고자 하였다. 수소 확산도가 높고 용해도가 낮은 페라이트계 Fe-Cr 이원 합금은 실시간 수소 장입 연구에 이상적이므로 Fe-20Cr 합금을 사용하여 수소 효과에 어떠한 영향을 미치는 지 확인하고자 하였다. 실시간 수소 장입 나노압입을 이용해 시간 별 경도 변화 얻고, 장입 뒷면에서의 수소 농도가 장입 시간에 따라 어떻게 달라지는 지 이론적으로 계산한 뒤, 이 둘을 연계하여 재료의 수소 확산 속도를 계산하고, 수소 농도와 경도 간의 관계식을 도출하고자 한다. 더 나아가, 수소 확산 속도와 이러한 관계식이 정립되면 이를 다양한 결정립 방향에 따른 효과를 분석해 수소확산 및 수소가 경도에 미치는 영향이 결정립 방향에 따라 어떻게 다를 지 분석하고자 한다.

[역학1-2 | 09:15]
무방향성 규소강판의 최종 열처리 분위기에 따른 철손 변화 분석 : 전지헌, 이소현 (UNIST), 유성현, 고재현, 강춘구 (현대제철연구소), 김주영* (UNIST)
Keywords: 무방향성 규소강판, 철손, 열처리, 산화, 질화

규소강판은 실리콘을 다량 함유하여, 자화에 유리한 집합조직과 결정구조를 가지고 있는 철강 재료이다. 이 중에서도 무방향성 규소강판은 무질서한 집합조직을 포함하고 있어 모터와 같이 여러 방향으로의 자화를 요구하는 회전기기에 사용되기 적합하다. 최근 하이브리드 또는 전기차의 수요가 증가함에 따라 전기 모터의 고성능화도 함께 요구되고 있다. 그러나 모터 내 규소강판의 자화를 통해 회전자의 운동 에너지를 만들어내는 과정에서, 다양한 이유로 인해 철손이라 불리는 에너지 손실이 발생한다. 철손은 재료 내부에 존재하는 결함과 미세조직적 인자에 의해 영향을 받는다고 알려져있어, 이와 관련된 연구가 활발히 진행되어 왔으나, 규소강판의 제조 공정 중 최종 열처리 단계에서 발생하는 산화/질화 거동이 최종품의 철손에 미치는 영향에 대한 분석이 부족한 실정이다. 따라서 전기모터의 고성능화 실현을 위하여 최종 열처리 분위기에 따른 철손 변화를 분석하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 최종 열처리 시 챔버 내에 존재하는 수소와 질소의 비율에 따라 철손의 변화를 분석하였다. 60 × 60 mm 정사각형의 Single Sheet Test 방식을 통해 철손을 분석하였으며, SEM 및 EDS를 통해 표면층 및 개재물의 형상과 화학 성분을 조사하였다. EBSD를 통하여 미세조직 및 방위를 분석하였으며, 분석된 재료의 특성 중, 최종적으로 철손에 영향을 주는 주된 인자에 관해 규명하고자 한다.
[본 연구는 2024년도 ㈜현대제철의 지원을 받아 수행된 연구임]

[역학1-3 | 09:30]
MXene 박막의 굽힘변형에 따른 가역 및 비가역 크랙의 저항 영향도 분석 : 박민지, 김진현, 조아름, 정회연, 박연경, 신기승 (울산대학교), 박재은, 진영호, 권순용 (울산과학기술원), 이정구, 전은채* (울산대학교)
Keywords: 차폐재, MXene, 굽힘시험, 저항, 크랙

전자기기 부품에서 의도하지 않게 전자파 간섭(Electromagnetic interference, EMI)이 발생할 수 있으며, 이로 인해 부품 성능저하, 기기 오작동 등의 심각한 문제를 일으킬 수 있어 차폐재를 이용하여 전자파 차폐를 통해 제품 고유의 성능을 유지하는 것이 중요하다. 이러한 전자파 차폐재는 대체로 반사 또는 흡수의 방법을 사용하며, 반사는 2차 간섭의 문제로 인해 흡수 재료를 이용한 차폐 연구가 이루어지고 있다. 주파수 대역에 따른 흡수 재료의 종류와 두께 등 다양한 차폐재를 선택할 수 있으며, 테라헤르츠 대역의 통신 및 AI 산업의 발전으로 고주파수 대역 차폐재의 활용이 증가하고 있다. 고주파수 대역을 사용하는 전자기기는 소형화 및 고집적화로 개발되고 있으며, 벤더블, 폴더블 제품 등에 적용되어 굽힘변형을 받을 것으로 예상되고 있다. 이에 차폐 성능이 우수하며 두께가 얇고 굽힘 변형이 잘 이루어지는 차폐재 MXene에 대한 연구가 이루어지고 있다. 기존의 고주파수 대역의 흡수 차폐재는 수 십 mm의 두께로 비교적 두껍고 rigid 하지만, 전이금속 탄화물 소재인 MXene은 1 mm 이하의 얇은 박막 차폐재로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 일반적으로 재료의 두께가 얇아질수록 취성이 증가하여 기존의 성능보다 저하될 수 있으며, 이러한 재료에 굽힘 변형을 가할 시 크랙이 생성되어 저항이 증가할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 두께가 얇은 차폐재 MXene에 굽힘변형에 따른 크랙 관찰 및 저항 측정을 통해 성능 변화를 분석하고자 하였다. 약 40 nm 두께의 Ti_3C_2을 PET(Polyethylene terephthalate) 기판 위에 spray coating을 하여 시편을 제작하였으며, SEM(Scanning Electron Microscope)에서 사용가능한 굽힘 지그를 통해 크랙의 폭과 밀도를 관찰하고 굽힘고정장치와 멀티미터를 사용하여 굽힘변형에 따른 저항 변화를 측정하였다. 실험 결과, 5 mm 굽힘 반지름에서 두가지 형태의 크랙이 굽힘 방향의 수직방향으로 생성된 것을 확인할 수 있었다. 굽힘 변형으로 인해 Ti_3C_2층 계면까지 생성된 어두운 크랙은 굽힘 후 평면 상태에서 폭이 줄어들었으며, Ti_3C_2층 표면에 생성된 밝은 크랙은 어두운 크랙과 달리 굽힘 후 평면 상태에서 폭이 줄어들지 않았다. 또한 크랙 종류에 따른 저항영향도를 분석한 결과, 밝은 크랙보다 어두운 크랙이 저항 변화에 더 큰 영향을 미치며 감소한 크랙 폭에 따라 저항 변화 정도가 달라진다는 것을 판단할 수 있었다. 이를 통해 두께가 얇아짐에 따라 취성이 증가된 MXene 박막은 굽힘 변형에 따라 가역 및 비가역 크랙이 생성되며, 크랙의 종류와 특징에 따라 굽힘 신뢰성 분석이 필요하다는 것을 확인할 수 있었다.

[역학1-4 | 09:45]

TiHfNb계 엔트로피 합금의 역학특성 및 고온 산화 거동 규명 : 이시연, 최인철* (국립금오공과대학교)

Keywords: 고엔트로피 합금, 나노역학, 고온 산화, 나노압입시험

고엔트로피 합금(High-Entropy Alloy, HEA)은 4~5개 이상의 성분 원소가 각각 5~35at%로 포함되어 있는 합금을 말하며, 이는 일반적인 상용 합금이 주요 원소와 미량의 첨가 원소로 구성된다는 점에서 크게 다르다. 내화 고엔트로피 합금(refractory high-entropy alloy, RHEA)은 2010년 Senkov에 의해 처음 보고되었으며, 구성 원소 대부분이 2,000ºC 이상의 융점을 갖는 내화 원소로 되어있다. 이들 합금은 원자가 전자 밀도(Valence Electron Concentration)가 4.6 이상일 경우, 상온 압축률이 2% 내외로 연성이 부족한 단점이 있다. 이를 개선하고자 타이타늄(Ti), 지르코늄(Zr), 하프늄(Hf)과 같은 4주기 원소를 첨가시켜 원자가 전자 밀도를 4.4 이하로 낮추는 연구가 진행되었으며 이 중 Hf0.5Nb0.5Ta0.5Ti1.5Zr과 HfNbTiZr 합금은 상온 인장 연신율이 18.8%와 14.9%로 보고되어 연성 향상의 가능성을 높였다. 현재는 Al, Ti, Cr, Zr, V 등의 합금 원소를 첨가하여 합금의 밀도를 낮추고 내산화성을 개선하는 연구와 미세조직 최적화 및 변형기구 등에 대한 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 합금의 밀도를 낮추기 위해 타이타늄(Ti)의 함량을 높인 Ti53Hf33Nb13 내화 중엔트로피 합금을 제조하였고, 바나듐(V) 및 지르코늄(Zr) 첨가가 합금의 역학특성에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 추가적으로 합금이 고온 환경에 적용되기 위해서는 충분한 내산화성을 갖는 것이 중요하므로 합금의 고온 산화 거동을 규명하고자 하였다. 마이크로 비커스 시험기와 나노압입시험기를 이용하여 합금의 역학특성을 평가하였으며, SEM/EDS 및 XRD 장비를 이용하여 합금의 고온 산화 거동을 규명하였다. 마지막으로 나노압입시험기를 이용하여 합금의 산화 표면부 특성을 평가하였다.

[역학1-5 | 10:00]

Micromechanical Behavior of Multi-Layered Medium-Entropy Alloy Prepared via Laser Powder Bed Fusion Process : Zhe Gao (Hanyang University), Dong-Hyun Lee (Chungnam National University), Yakai Zhao (Institute of Materials Research Engineering), Hyoung Seop Kim (POSTECH), Upadrasta Ramamurty (Nanyang Technological University), and Jae-il Jang* (Hanyang University)

Keywords: Additive manufacturing, Medium-entropy alloy, Nanoindentation

This research explored the micromechanical behavior of additively manufactured multi-layer specimens composed of alternating layers of hard CoCrNi and soft $CoCrNi_2$ medium-entropy alloys (MEAs), which are derivatives of the Cantor high-entropy alloy. The multi-layered MEAs, produced via laser powder bed fusion, were analyzed using both macro- and micro-scale digital image correlation techniques. The results underscored the complex interaction between local and global deformation. This interaction was further investigated through nanoindentation experiments performed on each layer, both before and after hydrogen charging, offering comprehensive insights into the modulation of deformation behavior in the multi-layered MEAs by hydrogen.

[역학1-6 | 10:15]

Liquid-filled copper microarchitectures and their micromechanical properties : Sung-Gyu Kang* (Gyeongsang National University)

Keywords: Micromechanics, Extreme conditions, Liquid encapsulation, Copper, Additive manufacturing

This study presents a novel single-step method for fabricating solid-liquid composites at the microscale and their micromechanical properties under wide range of strain rates and temperatures. The localized electrodeposition in liquid (LEL) process enables the encapsulation of pico-liters of liquid within micron-sized hollow copper architectures. The existence of encapsulated liquid was confirmed through cross-sectional analyses at cryogenic temperatures using focused ion beam microscopy. Atom probe tomography was employed to quantitatively investigate the chemical composition of encapsulated liquid. The effect of the encapsulated liquid on the micromechanical properties of copper architectures was investigated at room temperature and cryogenic temperatures for the first time. At room temperature, the internal pressure exerted by the incompressible liquid increased the yield and flow stresses of the copper architecture. At cryogenic temperatures, ice transformed from the encapsulated liquid further increased these stresses. This study proposes new concept for microelectronics, energy storage, and temperature sensors.

[역학2-1 | 10:40]

Stress-corrosion cracking of polypropylene in harsh oxidizing environments : Jong-hyoung Kim* (Pukyong National University, Harvard University), Won-Seok Song (Harvard University, Samsung Electronics), and Joost J. Vlassak (Harvard University)

Keywords: Polyolefin pipe, Subcritical crack growth, Stress corrosion cracking, Oxidizing environment, Piranha solution

Thermoplastic pipes are extensively used in the semiconductor industry for draining highly corrosive liquid waste. However, when exposed to oxidizing environments, these pipes, particularly those made of polypropylene, are susceptible to stress-corrosion cracking (SCC), leading to potential premature failure if not properly designed and maintained. This study investigates the SCC behavior of polypropylene, a material commonly employed in waste drainage systems for dilute sulfuric acid/hydrogen peroxide mixtures (commonly known as Piranha solutions). We conducted sub-critical crack growth experiments using compact tension specimens subjected to sulfuric acid/hydrogen peroxide mixtures. These experiments were carried out with a custom constant-force loading system to assess the impact of temperature and chemical composition on SCC crack propagation. Our findings indicate that the activation energy for the SCC process is 99.7 ± 15.3 kJ/mol, with the crack growth rate being highly sensitive to the concentrations of sulfuric acid

and hydrogen peroxide in the mixture. Based on these results, we propose a practical guideline for calculating the service life of polypropylene pipes exposed to Piranha solutions using crack velocity curves. Furthermore, we demonstrate that accidental exposure to a concentrated Piranha solution can drastically reduce the service life of these pipes.

[역학2-2 | 10:55]

Investigation of the Synergistic Effects of Corrosion and Hydrogen Embrittlement via Nanoindentation : 김임덕, 심준석, 김종형*, 강승균* (서울대학교)

Keywords: 부식, 수소취화, 나노인덴테이션, 탄소강, 스테인리스

환경에 대한 관심의 증대로 수소차 시장이 점차 확대되고 있으며, 수소차 개발에 활용되는 소재들에게 부식과 수소 취화는 소재의 성능과 신뢰성을 저하시키는 주요 요인이다. 부식과 수소 취화의 개별적인 영향은 많이 연구되어 있으나, 두 현상이 결합될 때 일어나는 상호작용은 아직 충분히 규명되지 않았다. 본 발표에서는 나노압입 시험을 통해 해당 상호작용을 조사함으로써 나노 스케일에서 발생할 수 있는 새로운 물성 열화의 가능성을 조사한다. 연구는 균일 부식과 국부 부식의 서로 다른 부식 메커니즘을 갖는 두 소재(S45C, SUS316L)를 대상으로 부식 전후, 수소장입 전후 및 두 현상이 결합되었을 경우 각각에 대해 부식 표면 및 주변부에 나노압입 시험을 시행함으로써 기계적 특성 변화를 분석하였다. 이 과정에서 부식과 수소 취화의 상호작용으로 인해 나타나는 재료의 기계적 성질 변화를 관찰하였으며, 이러한 변화는 내식성이 있는 재료에서도 국부적인 물성 열화의 가능성을 시사한다. 이를 통해 본 발표는 두 가지 열화 메커니즘의 결합이 재료 성능에 미치는 영향을 밝히고 재료 평가 시 새로운 고려 사항을 제안한다.

[역학2-3 | 11:10]

능동 전개 특성을 갖는 생체이식형 전자소자의 기계적 설계 : 김수민, 황경석 (UNIST), 배재영, 강승균* (서울대학교), 김주영* (UNIST)

Keywords: 생체삽입형 전자소자, 생분해성, 미세 침습, 능동 전개 특성

신경 인터페이스는 신경세포와 컴퓨터 간의 신호를 전달하는 역할로, 생체신호를 수집하여 신경계 질환을 진단하고 전기적 자극을 주어 장애가 있는 사람들의 움직임을 제어하는 시스템으로 이에 관한 연구가 활발히 진행되어오고 있다. 정밀한 생체신호를 효과적으로 수집하기 위해서는 전자소자가 타겟 조직 표면과 밀접하게 접촉해야 하며, 전자소자의 모든 구성층이 생체적합해야 한다. 그러나, 기존의 전자소자는 신호를 읽어 들이는 영역이 커질수록 소자의 크기와 절개 영역이 증가하는 한계가 있다. 따라서, 미세 침습 기술을 이용해 전자소자를 체내에 삽입함으로써 정상 조직의 손상을 최소화하고 수술의 위험성을 줄이는 것이 필요하다. 또한, 생체적합성과 생분해성이 우수한 재료를 활용하여 작동 기간이 끝난 후 체내에서 자연스럽게 녹아 흡수되어 별도의 제거 수술이 필요없는 전자소자에 대한 연구가 이뤄져야 한다. 따라서, 본 연구에서는 체내에 자연스럽게 녹아 흡수되어 면역 반응을 일으키지 않는 생체적합성과 생분해성 특성을 갖춘 재료를 전자소자에 적용하고, 미세 침습으로 삽입된 소자가 체내에서 능동적으로 전개되어 형태를 변형시키며 장거리에서 생체 신호를 정밀하게 측정할 수 있는 전자소자를 제작하고자 한다. 체온에 의해 형태 변형이 유발되는 생분해성 형상기억고분자를 사용하여 미세침습과 능동 전개 특성을 구현하고자 하고, 기계적 모델링을 통해 타겟 조직과 밀접한 접촉이 가능한 구조를 최적화하고자 한다.

[역학2-4 | 11:25]

일축 주름 구조를 갖는 무기 봉지 재료 개발 및 방습 특성 평가 : 조지현, 유현지, 황경석, 김주영* (울산과학기술원)

Keywords: 봉지 재료, 실리카, 주름 구조, 신축성, 유기 소자

유기 재료 기반의 소자의 수명은 장기적이지 않다. 따라서 유기 소자를 수분, 산소 그리고 외부 물질들 로부터 보호하기 위한 봉지재료가 필수적이다. 소자의 수명을 보장하기 위해서는 10^{-4} g/m^2 day 이하의 수분 투습도를 요구한다. 낮은 수분 투습도를 가지기 위해서는 고밀도의 재료를 사용해야 한다. 하지만 밀도와 신축성은 상충 관계이기에, 고밀도의 물질은 신축성이 낮다. 따라서 재료적인 관점이 아닌 구조적인 관점에서 신축성을 향상시키려고 한다. 플라즈마를 이용한 저온 원자층 증착법을 통해 증착한 실리카를 사용하여 고밀도의 재료를 얻고, 구조적으로 주름 구조를 형성시켜 신축성을 향상시키려고 한다. 신축성을 가지며 낮은 수분 투습도를 가지는 봉지재료를 이용하여 유기 소자의 장수명을 보장하는 것이 최종 목표이다. 플라즈마를 이용한 저온 원자층 증착법으로 여러 온도에서 실리카를 증착한 후, 고밀도의 실리카 필름 제작을 최적화시켰다. 최적화 이후, 실리카의 기계적인 물성을 측정하기 위해서 인장 시험을 진행했다. 이 실리카를 이용하여 주름 구조를 제작하여 신축성을 향상시켰다. 말랑말랑한 기판에 사전 변형을 주고 딱딱한 필름을 붙여 사전 변형을 제거하면 주름 구조를 제작할 수 있다. 이때 재료들의 전단 계수의 비를 이용하여 사전 변형 값을 계산해내었다. 수학적 모델링을 바탕으로 주름 구조의 진폭과 파장의 길이, 임계 변형률 값을 계산하였다. 주름 구조 제작 후 수학적 모델링의 진폭, 파장 값과 실험 결과 값을 평가하였다. 또한 장벽 특성을 측정하여 봉지 재료로서의 활용 가능성에 대해서 확립하였다. 추후 고신뢰성, 고신축성 봉지 재료로서 유기 소자에 적용을 기대한다.

[역학2-5 | 11:40]

나노스크래치 테스트를 활용한 전사 공정 몰드와 기판의 정량적 접합력 비교분석을 통한 열처리 온도 영향 평가 : 박연경, 정회연, 박태원, 김진현, 김동규 (울산대학교), 정주연, 최준혁, 최대근 (한국기계연구원), 전은채* (울산대학교)

Keywords: 나노스크래치 테스트, 접합력, 취성 파괴, 전사 공정, 열처리 온도

AR, XR, VR 등 메타버스 기술이 발전함에 따라 이를 양질로 구현하기 위해 응답속도가 빠르며 웨어러블 소자에 적용하기 좋은 유연한 성질을 가지는 OLED의 초고해상도화에 대한 수요가 증가하고 있다. OLED 디스플레이는 다양한 장점을 가지고 있지만 기존에 양산화된 증착 공정에 사용되는 FMM(Fine Metal Mask)의 홀 사이즈 축소가 한계에 이르러 현재 수준 이상의 초해상도에

도달하는 것이 매우 어렵다는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 초고해상도 OLED의 제작 공정에 대한 연구가 많이 진행되고 있으며 그중에서 공정 비용이 저렴한 전사 공정을 활용하려는 시도가 여러 방면으로 이뤄지고 있다. 전사 공정은 몰드 위에 타겟 물질을 증착한 후에 몰드를 기판에 찍어내어 기판 위에 타겟 물질로 이루어진 얇은 박막을 생성하는 공정으로, 기판과 타겟 물질의 접합력이 몰드와 타겟 물질의 접합력보다 높아야만 균일하게 전사할 수 있다. 따라서 균일하게 전사하기 위해서 타겟 물질의 몰드, 기판과의 각각의 접합력에 대한 정량적 비교 분석이 요구된다. 타겟 물질이 기판 위에 균일하게 전사되어도 계면의 접합력이 낮을 경우 소자의 성능에 결함을 일으키는 층 분리가 발생할 수 있어 일반적으로 접합력을 높이는 것으로 알려진 열처리 과정을 거치지만 열처리 온도가 몰드와 기판 각각에 어느 정도로 영향을 주는지에 대해 수치적으로 조사한 결과는 많지 않다. 이에 본 연구에서는 나노스케일 두께의 박막의 접합력을 정량적으로 분석할 수 있는 나노스크래치 테스트를 활용하여 전사 공정으로 제작한 OLED 용 소자의 접합력에 미치는 온도의 영향을 분석하였다. 타겟 물질을 증착한 몰드 시편과 몰드를 이용하여 전사한 기판 시편을 대상으로 반경 1 μm인 sphero-conical 팁을 사용하여 수직 하중 50 mN을 인가하며 수평으로 1 mm 이동하는 동시에 그에 따른 수직 변위와 수평 힘을 측정하였다. 그 후 박리 지점을 평가하기 위해 SEM(Scanning Electron Microscope)으로 트랙의 형상을 관찰하고 이를 정량적 결과와 종합하여 몰드와 기판 시편 각각의 접합력을 분석하였다. 분석 결과 전사 몰드를 모사한 시편에서는 타겟 물질 층에 급격한 폭 증가를 보았을 때 접합력 저하에 의한 박리가 발생하였지만 전사 기판 시편의 트랙을 SEM으로 분석하였을 때는 타겟 물질층이 벗겨진 지점에서 기판인 단결정 실리콘 층의 취성 파괴가 관찰된 것으로 보아 접합력 저하에 의한 박리가 발생하지 않은 것으로 판단되었다. 접합력 저하에 의한 박리가 발생하지 않은 기판 시편들 간의 접합력을 비교하기 위하여 기판인 단결정 실리콘의 취성 파괴 하중을 비교하였을 때 값의 차이가 있었으며 이는 Ag 박막이 기판과 결합되어 취성 파괴를 지연시켰기 때문으로 보인다. 따라서 기판이 파괴된 하중 간의 비교를 통하여 접합력 저하에 의한 박리가 발생하지 않은 시편들의 접합력도 정량적으로 비교할 수 있었다. 이러한 결과를 토대로 완성된 소자의 열처리 온도에 따른 접합력을 분석하기 위하여 각 온도에서 타겟 물질과 기판 사이의 접합력과 타겟 물질과 몰드 간 접합력의 차이를 완성된 소자의 접합력의 지표로 나타내고 비교 분석하여 열처리 온도의 영향을 분석하였다. 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업((RS-2024-00408446)의 지원과 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원(과제번호: 20019400, 과제명: 초고해상도 구현을 위한 OLED 디스플레이용 메타 표면 구조 설계제조 기술 개발)의 지원을 받아 수행된 연구임.

[역학2-6 | 11:55]

저온 공정에 기반한 유무기층 교차 구조의 생분해성 봉지재료 개발 및 특성 평가 : 유현지, 황경석, 김주영* (울산과학기술원)

Keywords: 봉지재료, 역학측정, 저온 원자층 증착법, 전기적 마그네슘 시험법

체내 장기와 상호작용하여 생체 신호를 읽거나 직접적인 약물 전달을 가능케 하는 생체 소자 중, 생분해성 소자는 구동 수명이 지난 후 체액과 반응하여 무해하게 용해되는 특성을 갖는다. 생분해성 소자의 구성 재료인 금속, 반도체 등의 모든 요소가 체내에서 다른 속도로 용해되기 때문에, 소자의 장기적인 구동 신뢰성을 확보하고 효과적으로 수명을 조절하기 위해서는 다층 구조의 생분해성 봉지재료 시스템이 필수로 요구된다. 특히, 탄성계수가 매우 작은 뇌 또는 혈관과 같은 체내 장기와 직접적으로 접촉하는 구동 환경에서는 장기의 움직임에 물리적 구속을 최소화하면서 신호의 감도를 극대화할 수 있는 얇고 유연한 봉지막이 필수적이다. 본 연구에서는 얇은 막 형태의 생분해성 유기 재료와 무기 재료를 교차로 적층한 다층 구조의 봉지재료를 개발함으로써 생분해성 소자의 수명을 효과적으로 조절하고자 한다. 열에 취약한 유기층을 고려하여 저온 원자층 증착법에 기반한 무기 재료 증착 공정을 최적화하였다. 각 층의 정확한 기계적 물성을 평가하기 위하여 실시간 인장 실험을 통해 재료의 탄성계수 및 푸아송비, 탄성 변형 한계 특성을 측정하였다. 이에 기반하여 다층 구조의 굽힘 강성을 계산함으로써 생체조직과의 밀착 접촉을 달성하기 위한 재료의 조합 및 두께를 최적화하였다. 또한, 체내와 유사한 환경에서 전기적, 광학적 마그네슘 실험법을 통해 각 재료의 방수 특성을 측정함으로써 소자의 수명을 예측하였다. 최종적으로 높은 방수 특성과 우수한 유연성을 동시에 갖춘 유무기 하이브리드 봉지재료를 제작하기 위한 연속 증착 공정 조건을 최적화하고, 생분해성 소자의 수명 모델링을 개발함으로써 각 층의 두께 및 개수에 따라 효과적으로 수명을 조절할 수 있는 생분해성 봉지재료 시스템을 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

제2회 가공 심포지엄: 차세대 반도체 가공분과 심포지엄
Room 포레스트, 10월 28일

[차세대1-1 | 13:20] 초청강연

2024년도 KEIT 금속산업 관련 과제 기획현황 및 향후 중점추진 방향 : 이광석* (한국산업기술기획평가원)

Keywords: 금속재료, 공급망안정화, 탄소중립, 디지털전환, 국제협력

본 발표에서는 금속산업 관련 국내외 대표적인 정책 및 기술개발동향을 우선 소개한 뒤, 한국산업기술기획평가원 금속재료분야에서 추진 중인 연구사업 및 과제 기획 관련 금속산업 밸류체인 내 가공기술과의 연계 현황에 대해 소개하고자 한다

[차세대1-2 | 13:45] 초청강연

반도체 검사용 미세피치 포고핀 및 플런저 소재 개발 : 인치훈*, 김용준 (㈜ 메가터치 연구소)

Keywords: Test Socket, Pogo Pin, 전주도금기술, 반도체 테스트 소켓, Pd Alloy

WLCSP, 칩렛패키지등 반도체 패키지 기술의 고도화에 따라 패키지의 Ball pitch가 100~200 um까지 미세화 되고 이를 검사하기 위한 테스트 소켓용 Pogo Pin 개발이 필요하다. 이러한 미세피치 대응 핀 개발을 위한 새로운 전주바디 도금 기술도입 및 도금 공정기술 연구 필요하며, 뿐만 아니라 미세피치용 포고핀 개발을 위해서는 미세직경 플런저 가공기술과 함께 고경도, 고전도 플런저 소재 개발에 대한 연구 필요한 실정이다. 본 연구에서는 포고핀용 전주바디 도금공정 개발을 수행하였으며, 직경 200 um 이하 미세직경 모재 Wire를 이용한 Au + Ni or Ni합금 전주도금기술 개발과 In-line 전주도금장비를 이용해 도금 후 Etching이 용이한 Al or Cu wire에 Inner Layer로 Au 1 um + 지지층으로 Ni 10~15 um 도금기술 연구를 수행하였다. 또한 미세직경 플런저 가공시 변형방지 및 사용중 산화방지를 위한 고경도(500 Hv)이상 국산화 Pd합금소재 개발을 위한 협력사 협업 연구를 수행중이다. 이와 같은 연구개발을 통하여 본사에서는 Al Wire를 이용한 직경 120 um 전주바디 및 포고핀 성공적으로 개발하였으며, 소재 협력사와 협업을 통한 경도 Hv500, Hv550 Pd 합금 소재개발 국산화를 수행중이다. 포고핀용 고경도 Pd Alloy 국산화 및 새로운 전주도금기술을 이용한 미세직경 포고핀 제조기술 확보시 향후 급격하게 성장하는 첨단 반도체 패키지테스트용 소켓시장에서 해외 선도업체와 기술격차 해소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

[차세대1-3 | 14:10] 초청강연

반도체 제조에 필요한 가스이송용 고청정 316L 스테인리스 봉강 및 무계목강관 소재의 자립화 현황 및 향후 계획 : 김덕령*, 김태윤*, 정세지, 강수석, 이강희, 안세호 (세아창원특수강)

Keywords: 반도체, 고청정, 316L 스테인리스, 봉강, 무계목강관

반도체 공정이 고도화됨에 따라, 반도체의 성능은 공급되는 반도체 제조용 가스의 품질 및 공급가스의 청정도에 좌우됨. 반면 반도체 공정가스 이송용 UHP(Ultra High Purity)급 STS316L 고청정 봉강 및 무계목강관 소재의 경우 대부분 일본으로부터 수입하여 사용중임. 따라서, 국내 반도체 산업의 공급망 자립화를 위해 반도체 제작 라인 가스이송용 고청정 316L 봉강 및 무계목강관 소재 5종의 자립화가 필수적임. 2020년 부터 정부기관의 지원을 통해 국산화 개발을 착수하였으며 부품, 장비 제작업체와의 유기적인 협력을 통해 사업화까지 성공할 수 있었음. 국산화 개발의 주요 목표와 성과물은 다음과 같음. *)최종목표 : Single Melting 및 Double Melting(EAF+VAR / VIM+VAR)법을 이용한 316L STS의 합금성분 및 개재물 제어 기술 개발 열간압연 및 열처리를 통해 델타 페라이트가 극저로 제어된 316L STS 봉강 제조 기술 개발 열간압출법에 의해 제작된 고청정 316L STS 무계목 강관 소재 제조 기술개발 UHP급 정밀관의 내면조도 Rmax ≤ 0.25 μm를 만족할 수 있는 무계목 강관 소재의 내면품질 확보 위한 유도가열, 윤활, 산세 기술 개발 *)최종성과물 : 반도체 산업용 고청정 봉강 소재 3종(EAF급 소재 1종, EAF+VAR급 소재 1종, VIM+VAR급 소재 1종) 개발 반도체 산업용 고청정 무계목강관 2종(EAF급 소재 1종, VIM+VAR급 소재 1종) 개발 수요기관 연계 품질 평가 및 개발기술 권리화 본 발표에서는 정부과제 수행을 통해 도출된 주요 개발내용 및 향후 계획을 포함할 예정임

[차세대1-4 | 14:35] 초청강연

반도체 패키징용 구리-구리 접합 기술 : 김주영*, 심영주, 곽지윤, 김동현 (울산과학기술원)

Keywords: 반도체 첨단 패키징, 3차원 패키징, 하이브리드 접합, 구리-구리 접합

최근 인공지능(AI) 시대에 접어들면서 반도체 산업에서 대용량 데이터 처리를 위한 첨단 반도체 수요가 전 세계적으로 급증하고 있다. 기존 반도체 산업은 전공정(Front-end-of-line, FEOL)에 해당하는 회로 선폭 미세화 공정에 초점을 맞춰왔으나, 선폭 미세화 공정 개발속도가 점차 느려지고 물리적 한계에 도달하면서 패키징 단계에서 집적도를 높이는 반도체 첨단 패키징 기술이 핵심기술로 부상하였다. 하이브리드 접합은 3차원 반도체 패키징 기술로 수직으로 적층 된 반도체 칩 사이에 구리 배선을 직접 연결하여 짧은 전기신호 경로를 형성하며, 구리 배선 사이에 절연체를 채워 물리적·화학적 저항성을 향상하였다. 하이브리드 접합은 구리와 절연체를 동시에 접합하는 기술로 구리의 높은 용융점과 자연 산화막으로 인하여 일반적으로 300ºC 이상에서 성공적으로 접합된다. 그러나 패키징 단계에서 발생하는 고온은 반도체 구성 재료 간의 열팽창계수 차이로 인해 반도체 휨을 유발하여 전기적 성능 저하 혹은 물리적인 손상 등이 발생할 수 있다. 따라서, 구리-구리 저온 접합연구가 필요한 실정이다. 본 발표에서는 반도체 첨단 패키징 산업의 기술 동향과 이에 활용되는 요소 기술로 구리-구리 저온 접합 기술에 대한 연구 동향을 소개한다. 구리-구리 접합 계면에서 저온 확산 활성화를 유도하기 위한 표면 산화막 제거 및 표면 확산 활성화에 대한 다양한 방법을 설명한다. 반도체 첨단 패키징은 차세대

반도체 산업을 이끌 주요 기술로, 반도체의 성능, 효율성, 신뢰성 증가와 더불어 다양한 산업 분야에 걸쳐 많은 기대와 가능성을 제시한다.

[차세대2-1 | 15:20] 초청강연

Octahedron 결정형 Diamond를 이용한 CMP PAD Conditioner의 개발 성능과 CMP 기술의 트랜드 변화 : 박경수*, 양승원 (신한다이아몬드공업(주) R&BD CENTER)

Keywords: CMP, Diamond Disk, Diamond, Octahedron, PCR

반도체 산업에서 생산하는 제품(Device)는 시장이 요구하는 집적도 변화에 따라 CMP(Chemical Mechanical Planarization) 공정의 기술 트랜드도 변해왔습니다. 이러한 변화는 CMP 공정에서 사용되는 세 가지 주요 소모품인 Slurry, PAD, CMP PAD Conditioner(이하 Diamond Disk) 모두에게 영향을 주었습니다. 과거에는 Slurry PAD 순으로 연구 개발이 중점적으로 이루어졌으나 최근 제품의 선폭이 작아지고 고도화됨에 따라 Diamond Disk 성능이 중요시되고 더 빠르고 오래 사용할 수 있도록 연구 개발이 이루어졌습니다. 이를 비교하기 위한 Diamond Disk의 성능은 PCR(Pad Cutting Ratio)이라는 측정 기준을 통해 정량적으로 평가됩니다. PCR은 Diamond Disk에 사용되는 Diamond의 크기, 모양, 간격, 개수 등 다양한 변수에 따라 변화합니다. 이에 따라 당사는 수요기업이 요구하는 CMP 막질(Ox, W, Cu 등)에 맞는 Diamond Disk를 개발하고 공급해 왔습니다. 이 발표에서는 CMP 기술의 트랜드 변화에 따른 신한다이아몬드공업(주)의 Diamond Disk 발전 과정 및 Octahedron 결정형 Diamond를 이용한 Diamond Disk의 개발 성능을 소개할 예정입니다.

[차세대2-2 | 15:45] 초청강연

Cold Spraying - from metallurgical perspective to applications : Gyuyeol Bae* (POSCO Technical Research Lab.)

Keywords: Cold spray, Ultra-high strain rate, Severe plastic deformation, Nanostructured materials

Cold gas dynamic spraying or kinetic spraying was first developed in the mid-1980s at the Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Siberian Division of the Russian Academy of Science in Novosibirsk and has emerged as a new coating technique because the process operates at low temperature and high pressure compared with conventional thermal spraying processes. In cold spraying, micron sized particles (typically 1-50 μm) are accelerated to high velocity (300-1200 m s-1) by supersonic gas which is generated through a convergent-divergent de Laval nozzle, thereby making successful deposition on a substrate without any significant thermal energy injection. Subsequent impacts of particles onto a substrate or previously deposited layer can induce substrate cratering and localized plastic deformation of particles, enabling first layer build-up, metallurgical and/or mechanical bond formation and deposition of particles. Bonding mechanism in cold spraying has been an issue as it is being considered as a key understanding for development of cold spraying technology. A prevalent opinion is that bonding of cold sprayed deposits depends on the occurrence of adiabatic shear instability (hereafter referred to as ASI) at interface, based on finite-element analysis (FEA). This phenomenological characteristic is directly related to the abnormal strain/temperature rise and stress collapse, which is attributed to severe and localized plastic deformation at the impacting interface. Moreover, dynamic recrystallization and/or recovery are considered as main microstructural characteristics with respect to stacking fault energy (SFE) of impact materials. Basically, interface reactions and impact phenomena in cold spraying are mainly attributed to the plasticity of material. Ultra high-strain-rate severe plastic deformation (up to ~109 s-1) by particle/substrate impact in a very short time (10-8-10-7 s) induces localized adiabatic heating at interface, which plays a significant role in generating “adhesion” energy. In a few cold spray coatings, near theoretical density can be obtained in the as-sprayed condition, with proper spray parameters. Also, large size and shapes (bulk forms) can be easily spray fabricated and geometrical features can be incorporated during spray preparation (using a robot system), followed by machine finished. Besides the metallic coatings, many applications such as aerospace, automobile, biomaterials, amorphous alloys/bulk metallic glass, cermets, various composites, electronics, energy, joining, freeform fabrication, photocatalyst, polymer, sputtering target, superconducting materials, MCrAlY bond coat for thermal barrier coating, repair of damaged parts, corrosion, oxidation and wear/erosion resistant coatings have attracted significant interest in potential industries. The production of ideal bulk nanostructured materials (NSM) is of importance and is a challenge to materials scientists from both scientific and technological points of view because NSM possess the special and advanced properties (e.g., high strength combined with good ductility, high fatigue life and superplasticity at relatively low temperature). Nanostructures, i.e., nano-sized grains (NGs) and nanoscale twins (NTs) have recently been topics of great interest from both scientific and technological points of view in the engineering of metals and alloys, as mixtures of NGs and NTs generated in bulk materials under specific deformation conditions have demonstrated novel properties, such as high strength with reasonable ductility and improved tribological properties. The issue of how the strain and temperature generated during spraying affect the nanostructuring of the metallic deposits needs to be addressed. To answer this question, the aim of this study is to investigate the correlation of particle impact conditions with microstructural refinement and nanomechanical properties in cold sprayed metals.

[차세대2-3 | 16:10] 초청강연

뿌리기술분야 정부 R&D 지원방향 및 신규 R&D 지원사업 소개 : 이병현* (한국산업기술기획평가원)

Keywords: 뿌리기술, 공정기술, 산업부, 지원정책, 정밀가공

뿌리기술은 나무의 뿌리처럼 겉으로는 드러나지 않으나 최종 제품에 내재(內在)되어 제조업 경쟁력의 근간(根幹)을 형성하는 기술로

제조업 전반에 걸쳐 활용되는 기반공정기술과 사출·프레스, 정밀가공, 로봇, 센서 등 제조업의 미래 성장발전에 핵심적인 차세대 공정기술을 의미한다. 정부에서는 산업공급망 개편, 규제강화, 제품·소재의 디지털·친환경화에 따른 제조방식 다변화 등 제조업 트렌드 변화에 대응하고 제조업의 기반인 뿌리산업의 기술 경쟁력 향상시키기 위한 R&D 프로그램을 발굴·지원해 나가고 있으며 관련 연구자들의 현장의 목소리를 반영한 현실적이고 효율적인 지원정책을 수립해 나가고자 노력중이다. 본 고에서는 산업부의 R&D 지원정책 방향(안)과 예타를 통과하여 2025년부터 새롭게 뿌리기술 R&D 분야를 지원하는 「신산업 대응 차세대 공통핵심 뿌리기술개발사업」의 과제기획 내용에 대해 간략히 소개하고자 한다.

복합재료
Room 평창1, 10월 28일

[복합1-1 | 10:00]
고체적률 금속복합재료의 강화 입자 성장 및 형상 변화 기구 규명 : 김정환*, 박현재, 신상민, 조승찬, 이상복, 이상관 (한국재료연구원)
Keywords: 금속복합재료, 함침, 입자 조대화, 입자 형상 변화

고온, 고내마모 등의 극한환경에서 기존의 철강소재의 한계를 넘어서는 특성을 갖는 타이타늄 카바이드 강화 철강 (TiC/Fe) 복합소재는 강도/무게 비율이 높고, 우수한 고온 강도와 내마모성을 포함하여 다양한 우수한 특성을 가지고 있는 고성능의 금속복합소재이다. 이전 연구에 따르면 TiC/Fe 복합소재의 기계적 특성은 복합재 제조 공정 중 발생하는 입자 조대화와 함께 미세조직적으로 형성되는 코어-림 구조에 의해 영향을 받는다고 알려졌다. 그러나 코어-림 구조를 포함하여 이러한 복합소재의 최종 미세 구조를 설명할 수 있는 열-화학 반응의 기본 메커니즘은 아직 완전히 이해되지 않았다. 이 연구는 열역학 계산 및 화학 분석을 기반으로 고체적률 TiC/Fe 복합소재의 미세 구조 형성 메커니즘, 특히 입자 조대화를 설명하고, TiC 입자 성장 중 기지 금속 합금원소 중 카바이드 형성원소가 입자 형상의 변화에 미치는 영향을 열역학 및 제1 원리 계산을 통해 설명하였다.

[복합1-2 | 10:15]
B4C-Al 복합소재의 중성자 흡수능 및 열전도도 향상 방안 연구 : 강민우* (한국재료연구원(Korea Institute of Materials Science), 부경대학교), 이동현, 김정환, 이상복, 이상관 (한국재료연구원(Korea Institute of Materials Science)), 권한상 (부경대학교), 조승찬* (한국재료연구원(Korea Institute of Materials Science))
Keywords: 금속 복합소재, 사용후핵연료, 열전도도, 중성자 흡수

최근 원자력 발전소 내 사용후핵연료 저장 시설의 포화가 예상됨에 따라 사용후핵연료의 저장 및 운반이 가능한 운반/저장 용기에 대한 수요가 증가하고 있다. 사용후핵연료는 원자력 발전 후 원자로에서 발생하는 방사성 폐기물로 지속적으로 중성자선과 붕괴열을 방출하기 때문에 안전한 저장을 위해 철저한 관리가 필요하다. 특히, 사용후핵연료 저장에 사용되는 중성자 흡수소재의 중성자 흡수능과 열전도도는 저장 안정성에 큰 영향을 미치므로, 이러한 특성이 우수한 소재의 개발이 필수적이다. 현재 사용되는 중성자 흡수소재로는 보론(B) 함유 스테인리스강과 B_4C-Al 복합소재 등이 사용되고 있으며 흡수소재의 성능 향상을 위해 B4C 대비 중성자 흡수능이 뛰어난 가돌리늄(Gd)과 같은 물질을 적용한 연구가 진행되고 있다. 그러나, 이러한 연구에서 Self-shielding 및 Neutron channeling 효과로 인해 실제로 얻어지는 성능이 이론적으로 기대되는 수준에 미치지 못하는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 Gd_2O_3를 B_4C와 단순히 혼합하는 대신 B_4C 표면에 Gd_2O_3를 코팅 소재로 적용하는 방식을 시도하였다. 제조된 복합소재의 중성자 흡수능과 열전도도 특성을 평가하였으며 이론값과 비교를 통해 코팅층의 성능을 확인하였다.

[복합1-3 | 10:30]
$(Ti_{47.5}X_{2.5})Cu_{50}$ 전구체합금의 합금 원소가 금속 용탕 탈성분법에 의해 합성된 Mg-Ti 복합재료의 미세구조와 기계적·화학적 물성에 미치는 영향 연구 : 성지혜 (단국대학교 신소재공학과), 장지은 (경북대학교 신소재공학부), Hidemi Kato (동북대학교 금속재료연구소), 박성혁 (경북대학교 신소재공학부), 주수현* (단국대학교 신소재공학과)
Keywords: Liquid metal dealloying (LMD), Ti-Mg composite, 3D interconnected composite, Microstructure, EBSD

금속용탕 탈성분법(Liquid metal dealloying, LMD)은 전구체 합금원소와 금속용탕 사이의 혼화성에 기반한 새로운 탈합금화 방법으로, 전구체내 원소 중 금속용탕과 혼화성이 좋은 원소만 선택적으로 용해되고 나머지 혼합 불가능한 원소들은 3차원 연속연결구조를 자기조직화(self-organization) 하여 뼈대구조 (ligament structure)를 이룬다. LMD 공정을 이용하면 서로 혼화성이 좋지 않은 뼈대구조 원소들과 금속용탕 상들이 균일하게 분포된 새로운 복합재료를 제작할 수 있는데, 대표적으로 생분해성을 지니는 Mg과 생체적합성을 지니는 Ti의 복합재료를 예로 들 수 있다. 본 연구에서는 $Ti_{50}Cu_{50}$ 전구체 합금(precursor alloy)에 다섯가지 합금원소를 각각 추가하였으며, $(Ti_{47.5}X_{2.5})Cu_{50}$ (X=Nb, Zr, Ta, Si, Mo) 전구체 합금을 600 ºC와 800 ºC 두가지 온도조건에서 Mg-10at.%Ca 용탕에 1시간 장입하여 LMD공정을 진행하였다. 제작된 복합재료들은 첨가된 합금원소에 따라 굉장히 다양한 미세조직구조를 보였다. 특히, β-Ti ligament가 관찰되었으며, 이는 β안정화 합금 첨가물에 기인한다. 또한, 합금원소의 첨가원소는 초기 전구체합금의 미세구조에 영향을 미치고 변화된 전구체의 미세조직이 최종 복합재료의 미세조직에도 직접적인 영향을 주는 것으로 확인되었다. 더욱이 합금원소의 추가로 Ti ligament의 결정구조에 큰 변화가 있는 것으로 관찰되었다. 이러한 미세조직 변화는 이미지 분석을 통해서 정량적으로 분석되었는데, 합금원소를 추가함에 따라 Ti ligament의 크기가 600 ºC에서는 1.0~1.8 μm, 그리고 800 ºC에서는 2.1~6.0 μm로 변화하는 것을 관찰하였다. 미세조직 변화에 따라 합금원소가 추가되지 않은 Mg-Ti 대비 경도가 약 50 ~ 60 HV 증가하였으며, 특히 Zr와 Nb 합금원소가 경도향상에 가장 유효한 것으로 판단되었다. 또한 EBSD를 통해 Ti상의 grain의 크기 및 형상변화를 확인하였다. 추가적인 내부식실험을 통해 합금원소가 화학적인 특성에 미치는 영향 역시 살펴보았으며, 전구체 합금설계에 바탕한 Ti-Mg 복합재료의 강도·경도·저탄성계수·내식성 향상으로 첨단임플란트 소재로서의 개발이 가능할 것으로 기대된다.

[복합1-4 | 10:45]
파우치형 이차전지 외장재용 AA8079합금과 폴리프로필렌간 분자접합에 미치는 알루미늄 산화층 두께의 영향 : 박진웅, 강정현, 한병준, Emmanuel Appiah (한밭대학교), 김준현, 손병삼 (롯데인프라셀), 김정한* (한밭대학교)

Keywords: AA8079 합금, 폴리프로필렌, Al_2O_3, 사출 접합, 접합강도

파우치형 리튬 이온 베터리는 높은 에너지 밀도와 경량화 및 공간 효율성이 우수하여 다양한 응용 분야에서 사용 및 연구되고 있다. 최근에는 알루미늄 라미네이트 필름이 파우치형 이차전지의 외장재로 사용되고 있으며, 이때 알루미늄은 접착제를 사용하여 다양한 폴리머와 결합된다. 그러나 접착제를 사용할 경우 결합층이 두꺼워지고, 접착제의 열화와 약한 접합 강도 같은 문제가 발생하여 외부 충격에 대한 민감성이 증가하여 안정성 측면에서 취약점이 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 접착제를 사용하지 않고 알루미늄 표면 처리 후 폴리머를 알루미늄에 사출하는 분자 접합 기술을 개발하였다. 무연신 폴리프로필렌과 알루미늄을 접합하기 전에 알루미늄 표면은 탈지, 알칼리 및 산 처리 등의 전처리를 거친다. 알루미늄 기판을 인산용액에서 양극 산화하여 다양한 두께의 알루미늄 산화층을 형성한 후 폴리프로필렌과 접합하였다. 본 연구에서는 산화막의 두께가 알루미늄과 무연신 폴리프로필렌 간의 접합강도에 미치는 영향을 분석하였다. 최적의 피막 두께를 찾기 위해 다양한 피막 두께를 형성하여 접합강도를 측정하였다. 산화층이 약 600 nm 두께에 도달했을 때 가장 높은 접합 강도인 21 MPa가 관찰되었다. 이 접합 강도는 -20°C와 80°C에서의 열 충격 테스트 후에도 높은 수준을 유지하였다. 85°C와 85% 습도의 고온·고습 테스트 후 접합 강도는 4% 수준 감소하였다. 또한, $LiPF_6$ 전해액 내 침지 테스트에서도 접합은 우수한 특성을 보였다.

[복합1-5 | 11:00]

첨단 층상 복합재료인 클래드 메탈의 우수한 특성과 향후 산업현장 적용 가능성 전망 : 배동현 ((주)한국클래드텍), 조영래* (부산대학교)

Keywords: 클래드 메탈, 산업적 응용, 전기 및 전자 산업, 건축 및 건설 산업, 센서 산업

클래드 메탈(clad metal)은 서로 다른 금속을 결합하여 독특한 층상 구조를 형성한 첨단 복합재료로, 다양한 산업에서 높은 활용 가능성을 보이고 있다. 특히, 두께가 얇은 클래드 메탈은 센서 산업에서도 다양한 용도로 활용되고 있다. 본 논문에서는 자동차 산업, 전기 및 전자 산업, 건축 및 건설 산업, 가전 산업, 의료 기기 산업 등 여러 분야에서 클래드 메탈의 응용 가능성을 중점적으로 분석하였다. 자동차 산업에서는 클래드 메탈의 경량성, 내구성 및 우수한 열전도성이 차체 경량화와 연비 향상에 기여하며, 배터리 팩 및 전력 시스템에도 중요한 소재로 사용되고 있다. 전기 및 전자 산업에서는 클래드 메탈의 전기적 특성과 전자파 차폐 기능이 고성능 회로 기판과 커넥터에 필수적이다. 건축 및 건설 산업에서는 클래드 메탈의 내식성과 강도가 건축 자재의 수명 연장과 구조적 안정성 확보에 기여하며, 특히 내외장재로서의 미적 가치도 높다. 가전 산업에서는 클래드 메탈이 열전도성이 뛰어난 소재로 활용되어 효율적인 열 관리가 요구되는 다양한 가전 제품의 성능을 극대화한다. 또한, 의료 기기 산업에서는 클래드 메탈의 생체 적합성과 내식성이 의료용 임플란트 및 정밀 기기의 핵심 소재로 사용되고 있다. 추가로, 여러 금속의 장점을 결합한 박형의 클래드 메탈은 센서의 성능과 내구성을 높이는 데 중요한 역할을 한다. 이 연구는 클래드 메탈의 다분야 응용을 통해 각 산업에서의 잠재적 이점과 기술적 혁신 가능성을 탐색하고, 향후 산업적 활용과 발전 방향에 대한 통찰을 제공하고자 한다. 이를 통해 클래드 메탈이 다양한 산업 분야에서 필수적인 재료로서 더욱 널리 사용될 수 있는 가능성을 제시하고자 한다.

제20회 중성자 및 방사광 X-선 이용 금속 및 나노구조 재료분석 국제 심포지엄 (BSS기술교류회)

Room 평창1, 10월 28일

[NeXS2-1 | 13:00] 초청강연

Structural Study of Metastable Liquids using Levitation Scattering : John Lee* (Iowa State University, Ames National Laboratory), Brayden Berg, Fahad Obaid (Iowa State University), Yong Chan Cho, Lei Wang, Geun Woo Lee (Korea Research Institute of Standards and Science), Chris Benmore (Argonne National Laboratory), Dante Quirinale, Matthias Frontzek, Lisa Debeer-Schmitt (Oak Ridge National Laboratory), and Takeshi Egami (Oak Ridge National Laboratory, University of Tennessee Knoxville)

Keywords: electrostatic levitation, neutron scattering, X-ray scattering, Raman scattering, crystallization

Electrostatic levitation was combined with various scattering techniques, including Raman, neutron, and X-ray, to investigate the structure of various metastable liquids. A drop of salt solution was levitated electrostatically in a controlled atmosphere. By solvent evaporation, the concentration of the levitated drop increased up to extreme supersaturation where the solution drop crystallized following different pathways which altered the final microstructure substantially. During this drying and crystallizing process, scattering studies were performed to identify the influence of the structural evolution on the crystallization pathways and final microstructure of salt solutions.

[NeXS2-2 | 13:30] 초청강연

High-Pressure Crystallography with X-Rays and Neutrons : Andrzej Grzechnik* (Juelich Center for Neutron Science (JCNS-4), Reserch Centre Juelich, Institute of Crystallography, RWTH Aachen University, Germany), Martin Meven (Institute of Crystallography, RWTH Aachen University, Germany, Juelich Centre for Neutron Science (JCNS) at Heinz-Libnitz Zentrum (MLZ) Garching, Germany), and Karen Friese (Institute of Crystallography, RWTH Aachen University, Germany, Juelich Centre for Neutron Science (JCNS-2), Research Centre Juelich, Germany)

Keywords: neutron scattering, X-ray diffraction, crystallography, high pressure

Neutron scattering studies are important to understand the crystal and magnetic structures as well as the properties of functional materials under external fields. While X-ray studies in diamond anvil cells (DAC) are performed to megabar pressures, there are hardly any single-crystal neutron diffraction studies in the DAC with complete structural refinements. This is due to the fact that it is difficult to investigate crystals with volumes well below 1 mm^3 because of low neutron fluxes. We have performed neutron single-crystal diffraction experiments in diamond anvil cells at the Maier Leibniz Zentrum (MLZ) and at the synchrotron DESY and have shown that the combination of both techniques is highly advantageous. Some of our DAC fit the cryostats and magnets at the single-crystal diffractometers HEiDi and POLI. We have also developed optimized clamp cell designs for various diffraction and spectroscopy instruments at MLZ. These cells are better suited for very large sample volumes under an applied magnetic field. Apart from giving an overview of the technical developments at MLZ, we will also present examples of our combined high-pressure neutron and X-ray investigations on the crystal and magnetic structures of magnetocaloric materials in the system $Mn_{5-x}Fe_xSi_3$ and of CrAs, in which pressure induces superconductivity at low temperatures.

[NeXS2-3 | 14:00] 초청강연

Research opportunity on the matter under dynamic extreme conditions : Kitae Lee* (Korea Atomic Energy Research Institute)

Keywords: Extreme condition, High power laser, plasma,, pump-probe, ultrafast electron

Investigations on the properties of matters under extreme physical condisions such as high pressure (>TPa), high temperature (>1 eV), and intense radiations are increasingly demanded due to not only its fundamental physics but also its potential applications to develope highly functional materials. The development of high power lasers has provided chances to dynamically apply unprecedented extreme conditions to matters beyond static tools such as diamond envil cell. With the help of ultrafast diagnostic tools such as ultrafast electron diffraction, VISAR (Velocity Interferometer System for Any Reflector), and pump-probe spectrocopic systems, nowadays it becomes possible to track material properties under dynamics conditions with temporal resolution of 10s of femtosecond. Those circumstances provide opportunities to study matters under extreme conditions with high precision. In the talk, experimental set-ups under development at KAERI will be presented and its prospect will be discussed.

[NeXS2-4 | 14:20] 초청강연

Observation of matter formation under extreme conditions with synchrotron X-rays and X-ray free electron laser techniques : YUN-HEE LEE, Jinkyun Kim, Minju Kim, Lei Wang, Yong Chan Cho (Korea Research Institute of Standards and Science), and Geun Woo Lee* (Korea Research Institute of Standards and Science, University of Science and Technology)

Keywords: Matter formation, Extreme conditions, Dynamic diamond anvil cell, Solution-electrostatic levitator, High temperature-

electrostatic levitator, Synchron X-ray, X-ray free electron laser

To observe and understand the formation of matter, we take three approaches manipulating pressure, concentration and temperature. In response to the control parameters, matter crystallizes in the supercompressed, supersaturated and supercooled liquids. In particular, these metastable liquids with extremely large driving force for crystallization can be achieved by using unique techniques such as dynamic diamond anvil cell (dDAC), solution- and high temperature-electrostatic levitators (S-ESL and HT-ESL):smooth compression with the dDAC makes the supercompression of liquid water at least twice the melting pressure, and the containerless S-ESL free from heterogeneous nucleation sites forms supersaturation levels several times the saturation limit in many aqueous solutions. HT-ESL melts and undercools tungsten, which has the highest melting temperature in metal. These devices are developed and owned by KRISS, and especially S-ESL has been implemented for the first time in the world at KRISS. To characterize structural evolution in the deep metastable liquids and following crystallization events, we have installed S-ESL and dDAC setups with synchrotron X-rays (1C-XRS in PAL, P02.2 ECB in DESY) and X-ray free electron laser (HED beamline in EuXFEL) facilities. Solution droplets containing KH_2PO_4 (KDP) and $NH_4H_2PO_4$ (ADP) as solutes are levitated and dried until the targeted supersaturations and then X-rays are exposed. Since the number of water molecules attached on one solute ion can be reduced less than 5 at the extreme supersaturation, the structural evolution of solute ions can be detected from the concentrated solution. In the case of KDP solution, we reveal a change in molecular symmetry at supersaturation higher than S=3.2 and show the formation of unexpected metastable phase with monoclinic structure different with the stable KDP phase with tetragonal structure. By combining dDAC and XFEL techniques, we resolve crystallization events with a time resolution of 0.22 us. Different with the general expectation of ice VI formation above 1.0 GPa, supercompressed water around 2 GPa competitively freezes into two metastable ices and eventually change into the stable ice VI. The XFEL technique is a very useful method for the observation of metastable ices with a short lifetime of 50-100 us under dynamic pressure.

[NeXS3-1 | 14:50] 조청강연

중성자 차폐용 스테인리스 강의 합금 성분에 따른 특성 연구 : 김정균 ((주)에이치브이엠), 박성익 ((주)대창솔루션), 장재훈 (한국재료연구원), 최재영* ((주)에이치브이엠)

Keywords: Borated stainless steel, Gadolinium, Neutron shielding, Spent nuclear fuel

사용후 핵연료는 수십만 년이 지나도 여전히 핵분열이 일어나기 때문에, 인간과 생태계를 보호하기 위해 최소 수십 년간 사용후 핵연료를 임시 보관하거나 영구 처분할 수 있는 관리 기술이 필요하다. 이와 관련하여 사용후 핵연료의 포화 문제를 해결하기 위해 기존의 핵연료 저장랙을 추가 설치하거나 조밀 저장랙으로 교체하면 저장 용량을 거의 두 배로 늘릴 수 있다. 중성자 차폐 소재로 주로 보론(boron)이 첨가된 스테인리스강이 사용되고 있으나, 최근에는 가장 높은 중성자 흡수 단면적을 갖는 가돌리늄(Gadolinium)을 첨가하여 제조하는 시도도 이루어지고 있다. 더불어 사용후 핵연료를 저장하기 위한 구조 소재의 개발에는 높은 중성자 차폐 성능뿐만 아니라, 미세조직, 기계적 특성, 내식성 및 용접성 등 고기능성이 요구되므로 보론 및 가돌리늄 성분 함량에 따른 소재의 특성 변화를 이해하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 중성자 차폐용 스테인리스강의 합금 성분에 따른 특성 변화를 이해하기 위해 진공 유도 용해로(Vacuum Induction Melting, VIM)를 사용하여 다양한 성분의 합금을 제조하였다. 이후 압연 및 열처리를 통해 판재로 제작한 뒤, 제조된 판재의 미세조직 및 기계적 특성을 평가하고 비교하였다. 이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임. [B당량 1.25wt% 이상의 사용후 핵연료 이송/저장 용기용 단련 철강소재 대형화 제조기술 개발 (20015194)]

[NeXS3-2 | 15:05] 조청강연

보론 첨가 스테인리스강의 석출물 조대화 거동 분석 및 모사 : 장재훈*, 박봉천 (한국재료연구원)

Keywords: 금속, 스테인리스, 중성자 흡수, 보론

보론 첨가 오스테나이트 스테인리스강(BSS)은 0.2-2.25 중량% 의 보론(B)을 포함하는 오스테나이트계 스테인리스강으로, 주로 원자력 발전에서 발생하는 사용후핵연료를 안전하게 보관하기 위한 소재로 사용된다. 해당 제품에서 오스테나이트 기지 내 보론의 용해도가 수십 ppm 수준으로 제한적이기 때문에 첨가된 대부분의 보론은 석출물로 존재한다. 보론 첨가 오스테나이트강은 이러한 마이크로미터 크기의 석출물 형성으로 인해, 일반적인 오스테나이트계 스테인리강에 비해 연성 및 가공성이 크게 감소한다. 따라서 적절한 열처리를 통해 석출물의 형상과 크기를 제어함으로써, 보론 첨가 오스테나이트강의 기계적 특성을 향상시키기 위한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 보론 첨가 오스테나이트강에 대해 열처리 및 미세조직을 분석하고, 상온 및 고온 인장 시험을 수행하여 석출물의 형상이 기계적 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 다원계 확산 모사 기법을 사용하여 석출물의 조대화 거동을 확인하고, 기지와 석출물간의 계면에너지를 정량화하였다. 이를 통해 석출물의 조대화에 미치는 합금 원소들의 영향을 분석하였다. 사사. 본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20015194)

[NeXS3-3 | 15:20] 조청강연

보론 첨가 스테인레스강 판재의 중성자 차폐율 평가 : 신은주*, 김태주, 김종열, 우완측, 채호병 (한국원자력연구원)

Keywords: 보론, 스테인레스강, 중성자, 차폐율, 하나로,

사용후 핵연료의 이송 및 저장 용기용으로 개발중인 보론 첨가 스테인레스강의 중성자 차폐율을 평가하였다. 소재는 보론 당량 1.25 wt% 이상을 목표로 개발중인 스테인레스강 판재이며, 보론 함량을 순차적으로 높여가며 제조기술 및 실용화 기술이 개발되고 있다. 본 연구에서는 보론 함량이 다른 강종 및 제조 이력이 다른 판재의 중성자 차폐율을 평가하였다. 평가는 한국원자력연구원의 다

양한 중성자빔 산란/영상 장치들을 활용하였으며, 중성자 백색빔(white beam) 및 단색화빔(monochromatic beam) 등에서 각 판재의 중성자 투과율을 측정하여 판재에 대한 중성자감쇠계수를 구하였다. 결과로부터 각 판재의 중성자 차폐율을 평가하였다.

[NeXS3-4 | 15:35] 조청강연 Canceled

중·저준위 방사성폐기물용 구상흑연주철 포장용기 제작기술 개발 : 이창원*, 김태룡 (부국금속)

Keywords: 중저준위방사성폐기물, 포장용기, 구상흑연주철, 낙하시험, 충격흡수에너지

2020년 12월말 기준 국내에서 발생된 중·저준위 방사성폐기물은 200L 드럼 기준으로 총14만9,077드럼이며, 정부에서는 이들 폐기물의 처분방식으로 1단계 동굴처분방식 이후 중·저준위 방폐물의 장기적 처분 시나리오를 검토하여, 2단계 처분방식으로 천층처분 방식을 선정하고 총12만5천드럼 규모의 시설을 준비하고 있다. 이 천층처분 시설에 사용할 폐기물 포장용기는 드럼 기준이며, 실제 원통형 드럼의 경우 적층하기가 매우 어려워 원통형 용기 매 층마다 콘크리트 바닥면을 생성시켜 적층하려는 계획을 수립하고 있다. 이는 추가로 콘크리트 타설작업이 필요할 뿐만 아니라 이로 인한 적층 높이에도 손실이 있게 된다. 이에 본 연구에서는 중·저준위 방사성폐기물 포장용기를 박스형으로 개발하여 용기내 용적을 증가시킬 뿐 아니라 콘크리트 타설 없이 용기 그대로 적층할 수 있게 하여 처분효율을 크게 높이고자 한다. 또한 구상흑연주철로 일체형 주물로 제작함으로써 구조건전성도 크게 향상시키고자 한다. 본 연구에서 개발한 중·저준위 방사성폐기물 포장용기의 특성을 보면 다음과 같다. - 박스형으로 제작되어 원통형 드럼에 비해 내부 저장용적이 20% 이상 향상되었다. - 구상흑연주철로 일체형 주물로 제작되어 용접부를 제거함으로써 구조건전성이 향상되고, 내부식성, 내충격성도 세계적 수준과 동등하다. - 방사선 차폐성능도 기준치를 만족시킬 수 있다. - 천층 처분시설에 적층시 별도의 콘크리트 타설작업 없이 적층할 수 있어 경제성 측면에서도 우수하다. 후기: 이 논문은 산업통상부자원부가 지원한 '소재부품기술개발사업'으로 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다. [과제명: 저장효율 20% 향상된 중저준위 원자력 폐기물 처분용 구상흑연주철 포장용기 제조기술 개발/과제고유번호: 20015706]

[NeXS3-5 | 15:50] 조청강연

중·저준위 원자력 폐기물 포장용기 위상최적설계에 관한연구 : 장진석*, 홍지우, 이정인, 조용재, 김동혁, 송혜진, 최창영, 박상욱 (한국생산기술구원), 고대철 (부산대학교), 박준홍 (동아대학교)

Keywords: 중·저준위 원자력 폐기물 포장용기 위상최적설계에 관한연구

본 논문은 구상흑연주철로 제작된 중·저준위 방사성 폐기물 포장용기의 구조적 무결성을 보장하기 위해, 비선형 동적 해석과 유한요소법을 사용한 최적화 설계 접근 방식을 제안한다. 지진과 같은 극한 상황에서도 구조적 안전성을 유지해야 하는 용기의 중요한 요구사항을 고려하여, 설계는 정사각형 구조의 모서리 부분에서 발생하는 응력 집중을 완화하는 데 중점을 두고 있다. 비선형 동적 해석은 ASTM-D5276 표준에서 지정한 세 가지 방향과 추가로두 가지 방향, 총 다섯 가지 낙하 방향에서 수행하였으며, 다양한 하중 패턴을 고려하였다. 다섯 가지 케이스를 분석 하였으며 네 가지 경우에서 파손이발생되었다고 판단되었다. 파손이 발생한 케이스의 각 방향에 대해 유사한변위장을 유발하는 등가 하중이 선형 정적 모델에 적용되었으며, 이를 사용해 다중 하중 위상 최적화가 수행되었다. 세 가지의 최적화 모델이 도출되었으며, 각각 원래 모델에 비해 1.4%에서 1.6% 정도의 부피 증가를 보였다. 최적화 과정을 더욱 개선하기 위해 최대 응력, 평균 응력, 그리고 소성 변형에너지의 영향을 균형 있게 고려하여 수치 해석 결과에 따라 각기 다른 하중 조건에 가중치를 부여하여 위상 최적 설계 결과를 분석 하였다. 최종 모델은 증가된 저장 용량과 향상된 구조적 안전성으로 방사성 폐기물 관리에실질적인 해결책을 제공하며, 복잡한 하중 조건을 효과적으로 해결함으로써 이전 설계의 한계를 극복하였다. 후기: 이 논문은 산업통상부자원부가 지원한 '소재부품기술개발사업'으로 지원을 받아 수행된 [과제명: 저장효율 20% 향상된 중저준위 원자력폐기물 처분용 구상흑연주철 포장용기 제조기술 개발/과제고유번호:20015706]와 한국생산기술연구원 기본사업 "DNA 플랫폼 기반 자율제조 기술(2/5) (KITECH EH-24-0002)" 의 지원으로 수행한 연구입니다.

[NeXS4-1 | 16:05] 조청강연

Effect of heat treatment and cooling rate on microstructure and corrosion behavior of BSS clads : Minseok Seo, Hyunbin Nam, Yongju Yoon, and Chelho Park* (Chosun University)

Keywords: borated stainless steel, boron component, microstructure, corrosion behavior

As global reliance on nuclear energy continues to rise, developing thermal neutron-absorbing structural materials for the storage and transportation of spent nuclear fuel has become a crucial challenge in the nuclear industry. Boron-added stainless steel is a promising material due to its superior thermal neutron shielding performance. However, increasing the boron content also raises the proportion of borides, which can significantly deteriorate the material's mechanical properties and corrosion resistance. In addition to the development of the base metal, the fabrication of storage and transportation casks from neutron-absorbing stainless steel requires specialized filler wires and advanced welding techniques. In this study, a boron stainless steel (BSS) clad was fabricated using a filler wire containing 1.25–1.49 wt% boron. The effects of heat treatment and cooling rates on the microstructure and corrosion behavior of the clad were systematically investigated. Microstructural characterization was performed using Scanning Electron Microscopy (SEM), while compositional analysis was conducted with an Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA). The degree of sensitization under varying cooling rates was evaluated through electrochemical testing in accordance with ASTM A262 Practice A. Additionally, polarization tests were carried out in a NaCl environment to determine the pitting potential (Epit) and repassivation potential (Erp). These findings provide critical insights into the influence of heat treatment and cooling rates on microstructure and corrosion resistance, contributing to a better understanding of the underlying mechanisms.

[NeXS4-2 | 16:20] 조청강연

보론 첨가 스테인리스강의 마찰교반용접 특성 연구 : 김정민*, 강용준, 김남규, 송상우 (한국재료연구원), 홍현욱 (창원대학교)

Keywords: borated stainless steel, friction stir welding, microstructure

Borated stainless steels are widely used structural materials for storage and transportation of spent nuclear fuel due to their superior neutron shielding properties. Despite its excellent properties, they have suffered from poor weldability with conventional fusion welding processes due to their high hot cracking susceptibility and decrease in the mechanical properties of heat-affected zone. Friction stir welding (FSW), a solid-state joining method, is regarded as one of the alternative processes for welding of borated stainless steels. However, microstructural characteristics and mechanical properties of the friction stir welded joints are not yet fully understood. In this study, the mechanical properties of friction stir welded joints of borated stainless steel were investigated and correlated with their microstructure. ASTM A887 Grade B Type 304B4 plates were employed and FSW was carried out using a WC-Co tool with various process parameters such as tool rotation and traverse speed. To evaluate the mechanical properties of the joints, Vickers hardness and tensile tests were performed. Friction stir welded joints consist of four different regions: stir zone, thermo-mechanically affected zone, heat-affected zone, and base metal. Microstructure in each region was characterized by optical and scanning electron microscopy. In addition, thermal neutron absorption properties of the stir zone were evaluated and compared with those of the base metal.

[NeXS4-3 | 16:35] 조청강연

중성자 흡수 및 구조재용 붕소 함유 스테인리스강의 레이저 용접부에 미치는 용접후열처리의 영향 : 김중훈, 한종민 (한국생산기술연구원, 동아대학교), 손태봉 (한국원자력산업기술연구조합), 노명섭 (대경기술), 김형찬, 김병준, 남대근 (한국생산기술연구원), 전종배 (동아대학교), 김병구* (한국생산기술연구원)

Keywords: Borated stainless steel, Laser beam welding, Post weld heat treatment, Microstructure, Boride

붕소는 중성자를 흡수하는 특성이 있어 원자력 발전소의 냉각수에 용해되거나 제어봉에 삽입되어 중성자 밀도를 낮추고 핵분열 속도를 조절하는 용도로 사용된다. 또한 붕소는 핵연료 습식 보관 랙 및 건식 저장 방법 중 하나인 스테인리스강 304 구조체로 이루어진 금속 캐스크의 바스켓에 중성자 흡수체 폴리머 형태로 부착되어 사용후핵연료의 핵분열을 억제하는 역할을 한다. 스테인리스강에 붕소를 합금화한 붕소 함유 스테인리스강 (Borated stainless steel, BSS)은 구조용 강재 및 중성자 흡수체 역할을 동시에 수행하여 기존 제품보다 사용후핵연료 저장 밀도를 높여 더 많은 양을 저장할 수 있는 조밀한 금속 캐스크를 제작할 수 있다. 본 연구에서는 주조 및 압연으로 제작된 붕소 함량 1.09 wt.%의 American Society for Testing and Materials A887-20 B4급 BSS 판재에 레이저 맞대기 용접을 수행한 뒤 400, 800, 1200ºC 온도에서 1, 4, 24, 100, 200시간 동안 용접후열처리를 수행하였다. Thermo-calc 소프트웨어로 평형 상태도 및 온도별 상분율을 계산하였고, XRD 분석을 통해 각 조건에서 존재하는 안정상을 확인하였다. 실체 현미경으로 촬영한 macrostructure에서 400ºC와 800ºC 조건은 열처리 시간에 따른 조직 변화가 관찰되지 않았으며, 1200ºC 조건에서는 열처리 시간이 길어질수록 모재와 용접부의 명암차가 줄어들어 용접부가 점차 희미해지는 현상이 관찰되었다. OM 및 FE-SEM을 통해 분석한 400ºC와 800ºC 조건의 용접부 microstructure는 오스테나이트 (γ) 기지상에 γ-$(Fe,Cr)_2B$ 공정상으로 이루어진 것을 확인할 수 있었으며, 시간에 따른 변화는 관찰되지 않았다. 반면에, 1200ºC에서는 $(Fe,Cr)_2B$ boride의 구상화가 진행되었으며 열처리 시간이 지남에 따라 조대화되고 출현 빈도가 낮아지는 응집 현상이 관찰되었다. $(Fe,Cr)_2B$ boride를 구성하는 각 원소의 함량은 FE-EPMA point 분석을 통해 정량적으로 확인하였다. Vickers microhardness 시험은 모든 조건에서 용접부가 모재보다 높은 경도 값을 가지며 모재에 비해 향상된 특성을 보였다. 400ºC, 800ºC 조건에서는 열처리 시간에 따른 변화는 거의 없었으며, 열영향부는 모재 수준으로 다시 회복되는 경향을 보였다. 1200ºC 조건은 400ºC와 800ºC 조건에 비해 모재 및 용접부의 경도가 상대적으로 낮은 값을 보였다. 또한, 4시간 열처리 조건에서 용접부와 모재의 경도가 약 150 Hv 수준으로 차이가 적어지는 것이 관찰되었다. 24시간 이상 열처리시 경도 차이가 사라지며 시간이 경과함에 따라 약 140 Hv 수준으로 더 낮아지는 현상이 발생했다.

[NeXS4-4 | 16:50] 조청강연

구상흑연주철의 인장, 충격 특성 및 내식성에 미치는 구리 첨가의 영향 : 이인성*, 김순태 (연세대학교)

Keywords: 구상흑연주철, 인장 특성, 충격 인성, 부식속도, 구리 첨가

후기 :이 논문은 산업통상부자원부가 지원한 '소재부품기술개발사업'으로 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다. [과제명: 저장효율 20% 향상된 중저준위 원자력 폐기물 처분용 구상흑연주철 포장용기 제조기술 개발/과제고유번호: 20015706]

[NeXS5-1 | 17:15] 조청강연

순수 타이타늄의 고상동소변태에 미치는 전류의 비열적 효과 정량화 : 최호욱 (서울대학교), 우완측, 채호병, 백열 (한국원자력연구원), 홍성태 (울산대학교), 한흥남* (서울대학교)

Keywords: 전류 가열, 전류의 비열적 효과, 고상동소변태, 타이타늄

금속 소재에서 일어나는 어닐링, 특정 상의 용해, 새로운 상의 석출 등 많은 재료 현상을 전류를 사용하여 수행할 때 일반적인 열처리에 비하여 빠르게 진행된다는 사실은 이미 잘 알려져 있고 또 여러 공정에 적용되고 있다. 이는 전류의 비(非)열적 효과에 의한 결과이며, 결함 부근에서 발생하는 전하 불균형이 입자간 결합력을 약화시켜 키네틱이 향상되기 때문이라고 알려진 바 있다. 본 연구에서는 전류 가열 및 일반 열처리 조건에서 순 타이타늄의 고상동소변태지점을 측정하여, 전류가 재료 현상의 속도론적뿐만 아니라 열역학적 측면에서도 영향을 미친다는 것을 확인하였다. X-선 및 중성자 회절 등의 방법으로 측정한 상변태지점이 모든 전류

밀도 조건에서 일반 열처리에 비해 더 낮은 온도에서 발생하였으며, 이 정도는 결정립계의 양 및 전류 밀도와 양의 상관 관계를 보였다. 이어서 열역학 계산 소프트웨어를 이용하여 전류의 비열적 효과를 추가적인 깁스 자유 에너지로 정량화하였다.

[NeXS5-2 | 17:30] 초청강연

이중 그라디언트 구조와 펼쳐지는 형태의 상변태를 통한 우수한 기계적 물성 달성 : 김래언, 구강희, 안성열 (포스텍), 채호병, 백열, 우완측 (한국원자력연구원), 문종언* (공주대), 김형섭* (포스텍)

Keywords: 그라디언트 구조, 금속, TRIP, 헤테로 구조

그라디언트 구조는 헤테로 구조로부터 시너지 효과를 얻어, 우수한 기계적 특성을 얻을 수 있다. 기존의 그라디언트 구조는 하나의 그라디언트 층 (보통, 하드 표면-소프트 내부)을 가지고 있다. 해당 연구에서는 이중 그라디언트 구조 (하드 표면-소프트 중간-하드 내부)를, 압연된 metastable 금속 조직 위에 단순 레이저 처리함으로써 획득하였다. 이러한 이중 그라디언트 구조는 열처리 재와 비교하였을 때, 연성을 손실하지 않고 항복강도가 2배 향상되었다. 해당 조직은 변형 중 상변태가 표면에서 안쪽으로 동적으로 확산하는 형태로 이루어진다. 이를 통해 높은 인장 응력에서도, 헤테로 구조의 이점과 상변태 효과를 오래 유지할 수 있게 된다. 해당 특수한 구조를 분석하기 위해 중성자 회절 기법을 활용하여 상변태의 거동을 확인하였다.

[NeXS5-3 | 17:45] 초청강연

Observation of Korean copper coin from the Joseon period by using neutron imaging : Youngju Kim, Jongyul Kim, Taejoo Kim* (Korea Atomic Energy Research Institute), Daeseung Kim, Seung Wook Lee (Pusan National University), Minsu Han (Korea National University of Heritage), M. Cyrus Daugherty, Daniel Hussey, Jacob LaManna, and David Jacobson (National Institute of Standards and Technology)

Keywords: neutron, heritage, imaging

In the field of cultural heritage, accurately distinguishing between authentic artifacts and replicas is a fundamental challenge. This study focuses on using neutron imaging to observe the microstructure of Korean copper coins from the Joseon period to support authentication efforts. These coins hold immense historical and cultural significance, offering insights into Joseon's economy, society, and metalworking techniques. The neutron imaging techniques used in this study include neutron grating interferometry and tomography. Neutron grating interferometry provides a unique opportunity to explore the microstructure of these coins, including features such as pores and precipitates, through image contrast derived from small-angle neutron scattering. This enables a new understanding of their microstructural properties. Neutron tomography offers nondestructive 3D visualization based on the attenuation coefficient. Initial neutron imaging experiments were conducted using the NG6 cold neutron imaging instrument at the NIST Center for Neutron Research, while additional studies on other coin sets were conducted using the Dingo thermal neutron imaging instrument at ANSTO and the ENF thermal neutron irradiation facility at HANARO. By combining neutron imaging techniques with complementary X-ray methods, we aim to develop a reliable method for distinguishing genuine Korean copper coins from replicas. This methodology also contributes to the preservation and understanding of the manufacturing techniques employed in creating these historical relics.

재료분석
Room 평창2, 10월 28일

[분석1-1 | 08:30]
고성능 건축구조용 H형강의 합금 성분 및 제조 공정에 따른 미세조직과 기계적 물성 변화 연구 : 박진우, 김상은, 이민규 (명지대학교), 정준호 (현대제철), 이창훈 (한국재료연구원), 신찬선* (명지대학교)
Keywords: 철강, H형강, QST 공정, 나노인덴테이션

건축구조용 H형강은 주로 건축물의 기둥이나 보와 같은 구조물 제작에 사용되며, 건축물을 지탱하는 필수적인 강재이다. 특히 대형 및 고층 건축물의 경우, 화재나 지진과 같은 비상 상황에서도 급격한 붕괴를 방지할 수 있는 내화성과 내진성을 갖춘 H형강의 개발이 중요하다. 이를 위해서는 고강도와 함께 낮은 항복비(내진 특성)와 높은 고온 강도(내화 특성)를 동시에 확보하는 것이 필요하다. 이를 달성하기 위해 합금 성분 설계, 형강 제조를 위한 열처리 제어 공정, 냉각 기술 제어 등의 기술 개발이 진행 중이다. 이 연구에서는 YS460급 건축용 형강으로 시생산된 두 종의 H형강을 대상으로, 제조 공정에 따른 플랜지 두께 방향의 각 위치별 미세조직과 기계적 물성의 변화를 평가하였다. 첫 번째 H형강은 웹과 플랜지의 길이가 각각 300 mm이고, 두께는 각각 10 mm와 15 mm의 규격을 가지며, 인장강도 520 MPa 이상, 항복강도 460 MPa 이상, 항복비 0.8 이하의 목표 물성을 만족하도록 공정 조건을 조절하였다. 두 번째 H형강은 웹과 플랜지의 길이가 각각 700 mm와 300 mm이고, 두께는 각각 13 mm와 24 mm의 규격을 가지며, 후물화에도 불구하고 인장강도 570 MPa 이상, 항복강도 460 MPa 이상, 항복비 0.75 이하를 만족시키기 위해 합금 성분과 공정 조건을 조절하였다. 각 강재의 플랜지 두께 방향에서 5개의 위치별로 시험편을 제작하였으며, 각 시험편은 QST (Quenching and Self-Tempering) 공정에 의해 서로 다른 온도 이력을 갖는다. 각 위치별로 SEM 및 TEM을 사용하여 미세조직을 분석하고, 인장시험과 나노압입 시험을 통해 기계적 물성을 평가하였다. 또한, 반복 화재를 모사하는 열처리 후 미세조직과 물성의 변화를 평가하였다. 이를 통해 합금 조성과 플랜지 두께가 다른 두 종류의 H형강이 선택된 제조 공정 조건에서 두께 방향에 따라 어떠한 미세조직과 물성 변화를 보이는지 정밀하게 분석하였다. 이 연구의 결과는 H형강의 두께와 위치에 따른 물성 변화를 체계적으로 이해하는 데 기여할 것이며, 특히 고성능 내진·내화 강재의 개발 및 최적화된 제조 공정 설계에 중요한 기초 자료를 제공할 것으로 기대된다.

[분석1-2 | 08:45]
Ni-Cr-Mo-V계 고에너지 흡수용 제동디스크의 마찰 및 마모특성 평가 : 이동규 (한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소, 인하대학교), 김민지, 김예진, 김경일, 조규섭, 김경택* (한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소)
Keywords: 제동디스크, 경도특성, 마모특성, 열처리, 미세조직

수송급 항공기 및 고속철도 등 수송기기의 대형화와 고속화로 인하여 큰 제동에너지가 요구되는 제동디스크의 합금원소 및 합금량을 조정하여 기계적 특성과 열적 특성의 향상을 위한 연구가 진행되고 있다. 수송기기용 제동디스크는 승객의 안전과 직결되는 부품으로 치명성부품으로 분류되어 있어 엄격한 인증체계와 형식 및 사양관리가 필수적이며, 우리나라의 경우 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 최근에는 우수한 마모 특성을 비롯하여 경도 및 강도 등의 특성향상을 위하여 바나듐(V) 등의 합금원소를 첨가한 제동디스크의 개발이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 Ni-Cr-Mo-V계 제동디스크의 합금성분 변화에 따른 마모특성을 평가하였다. 각 시험편의 합금계는 Ni-Cr-Mo계, Cr-Mo-V계, C-Mo-V계, Mn-Cr-V계이며, 유도용해로에서 30 kg을 용해하여 사형으로 제작된 1인치 Y-블록 주형에 주입하여 시험편을 제조하였다. 균질화 열처리는 1040°C에서 2시간 유지한 후 공냉하였다. 균질화 열처리 후 퀜칭은 940°C에서 1시간 유지 후 수냉하였으며, 템퍼링은 570, 600, 620°C에서 2시간 유지 후 수냉하였다. 각 합금의 경도특성은 로크웰 경도시험기로 3회 측정하여 평균값을 구하였다. 마모시험편은 직경 17 mm, 두께 8 mm로 제작하였으며, 표면 연마 후 평균 표면조도는 30 μm 이다. 시험조건은 상온에서 건식 분위기로 ball-on-disk 방식을 적용하여, 속도는 0.05 m/s, 하중은 1, 5, 10 N, Radius는 4 mm, 거리는 300, 450 600 m로 진행한 후 마찰계수, 마모량 및 마모기구의 분석을 진행하였다. 마모표면의 미세조직 변화는 주사전자현미경, X-선 회절 분석기로, 단면 미세조직 변화는 광학현미경, 주사전자현미경, 투과전자현미경으로 분석하였으며, 시편은 FIB(focused ion beam) 가공하였다. 마찰계수는 합금의 경도가 높을수록 상대적으로 낮은 것을 확인할 수 있었다. 마모폭, 깊이, 마모량은 바나듐이 함유되지 않은 Ni-Cr-Mo계에서 가장 높게 나타났다. 마모기구는 마찰이 발생하는 위치에서 탄성 및 소성 변형이 발생하면서 마모파편이 발생하였고, 상대재와 마찰재 사이에서 반복되는 마찰 접촉에 의해 마모흔 주위에 응착되는 응착마모 거동과 표면의 기지조직을 긁으면서 홈을 내어 마모를 증가시키는 역할을 하게 되는 연삭마모 거동 형태가 복합적으로 나타났다. 본 연구는 국토교통부 항공기개조인증개발사업(과제번호:21AIRC-C163454-01)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서 관계부처에 감사드립니다.

[분석1-3 | 09:00]
고압 다이캐스팅(HPDC) 공정 중 몰드 캐비티 온도 및 압력을 활용한 제품 형상 오차 예측 및 검증 : 이승철, 도신혁, 한도석* (서강대학교)
Keywords: HPDC, Shape Errors, Deformation Prediction

본 논문은 전기차 경량화와 같은 대형 제품에 대한 산업적 수요에 대응하기 위해, 고압 다이캐스팅(HPDC) 공정에서 발생하는 형상 오차 문제를 다룹니다. 특히, 대형화된 제품에서 발생하는 형상 오차가 소형 제품에 비해 더 크다는 점에 주목하여, 본 연구에서는 몰드 내부의 온도 및 압력 데이터를 활용하여 주조 과정을 시뮬레이션하고 형상 오차를 예측하는 방법을 제안합니다. 시뮬레이션

은 응고로 인한 수축, 제품 추출 시 가해지는 압력, 그리고 실온까지의 냉각을 포함한 모든 변수를 고려하여 진행되었습니다. 예측된 변형을 검증하기 위해, 실제 제품의 형상 오차를 레이저 스캐너로 측정하였고, 측정된 오차와 시뮬레이션을 통해 예측된 오차를 비교한 결과, 실제 제품의 형상 변형을 높은 정확도로 예측할 수 있음을 확인하였습니다. 이 연구는 HPDC 공정에서 발생하는 형상 오차를 예측하고 감소시키는 데 있어 중요한 진전을 제공하며, 대규모 생산 환경에서 제품 품질과 제조 효율성을 향상시키는 데 기여할 수 있습니다.

[분석1-4 | 09:15]

전자현미경을 이용한 Fe-2.4Mn-0.4Si-0.13C에서의 내부산화물 전이거동연구 : 김동현 (포항공과대학교, 친환경소재대학원), 박중철, 조재동, 송연균 ((주) POSCO, 철강솔루션연구소), 이재상, 허윤욱* (포항공과대학교, 친환경소재대학원)

Keywords: 내부산화, 선택적 산화, 산화물 전이, 높은 이슬점 소둔

자동차의 경량화를 위해 고강도강의 사용이 증가되고 있으며, 이에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 고강도강의 냉연 후 소둔 과정에서는 질소와 수소의 혼합 가스를 사용하여 철 기지의 표면 산화를 방지하고 있지만, 고강도 구현을 위해 첨가하는 합금원소들(Mn, Si, Al)은 여전히 산화될 수 있어서 선택적 산화 현상 (Selective oxidation)에 의한 표면 및 내부산화를 일으킨다. 높은 이슬점 소둔 조건을 적용할 경우, 높은 산소 분압으로 인해 내부 산화가 발생하며 깊이에 따라 산소 분압 및 조성이 달라져 산화물 종류가 변하게 된다. 이러한 내부 산화물 전이에 대한 많은 연구가 진행되고 있지만, 산화물의 전이거동에 대한 정확한 원인과 해석에 대해서는 여전히 미진한 부분이 있다. 본 연구에서는 Fe-2.4Mn-0.4Si-0.13C 강을 높은 이슬점에서 소둔 후, TEM 분석과 열역학적 계산을 통해 내부 산화물의 변화를 정량적으로 분석하였다. 내부산화층 선단 부분에서 Mn_2SiO_4에서 SiO_2로의 산화물 전이가 확인되었으며, 내부산화층 선단부 부근의 기지에서의 Mn 결핍영역이 존재함을 확인하였다. 이러한 기지내의 Mn 결핍은 Mn_2SiO_4 형성을 위한 산소의 임계 농도를 증가시킴을 열역학 계산을 통하여 확인하였고, SiO_2 형성을 위한 산소 임계 농도보다 높아져 SiO_2가 형성되는 것을 알 수 있었다. 본 연구를 통해, Si와 Mn을 함유하고 있는 고강도강의 높은 이슬점 소둔 시 내부산화물의 형성 메커니즘을 명확히 할 수 있었다.

[분석1-5 | 09:30]

순수 타이타늄의 4K 극저온 인장 변형기구 및 serration 거동 연구 : Mahdi Aghaahmadi, 하디스 (국립한밭대학교), 이수열 (충남대학교), 김영균, 나영상 (한국재료연구원), 김정한* (국립한밭대학교)

Keywords: serration:극저온: 순수 티타늄:중성자 회절 분석:쌍정

연료 탱크, 압력 용기 및 항공우주 부품과 같은 극저온 환경에서 사용되는 금속 소재의 미세조직적 특성은 기계적 특성에 큰 영향을 준다. 미시적으로 이러한 특성은 적층 결함과 전위와 같은 확장된 결함의 존재와 그 거동에 의해 영향을 받는다. 극저온에서는 감소된 열 활성화 에너지가 결함의 행동에 중대한 영향을 미쳐, 전위 이동과 변형쌍정 사이의 변형기구에 영향을 미친다. 이러한 온도에서 관찰되는 특히 흥미로운 현상은 오랜 과학적 관심의 대상인 유동곡선에서 serration 거동이다. 특히 고순도 타이타늄에서는 이러한 현상이 두드러지게 나타나며, 극저온 조건에서의 응용에 있어 중요한 이슈로 평가된다. 본 연구는 Gr.2 순수 타이타늄의 4K 극저온에서 serration 거동 기구를 규명하기 위해 수행되었다. 이를 위해 극저온 인장실험, in-situ 중성자 회절 분석, DIC 분석을 수행하였다. 변형 후 미세조직을 분석하고 serration에 대한 기구를 고찰하였다.

[분석1-6 | 09:45]

밀도 범함수 이론을 통한 합리적 미재화 산화 칼슘 (Free-CaO) 정량 분석법의 고안과 실험적 증명 : 유윤재 (현대제철, 경희대학교 응용화학과), 이윤정 (현대제철), 김상훈 (경희대학교 응용화학과), 정상배, 서용기 (현대제철), 김민호* (경희대학교 응용화학과)

Keywords: 밀도 범함수 이론 (Density Fucntional Theory), 습식 시험 (Wet analysis), 정량분석 (Quantitative analysis), 미재화 산화칼슘 (Free Lime)

시멘트, 혹은 콘크리트 내부에 들어갈 골재는 미재화 산화 칼슘 (Free-CaO, 이하 f-CaO) 에 의해 그 성질이 결정된다. 특히, 골재의 경우 f-CaO의 수화 반응에 의하여 발생하는 수산화 칼슘에 의한 팽창이 일어나지 않도록 모래, 또는 자갈이 선호된다. 탄소중립 의제에 직면한 제철업계는 부산물의 활용을 통한 효율적 탄소 배출을 도모하고자 하는 움직임이 있으며, 제철소의 부산물, 슬래그는 기존 모래, 자갈 대비 f-CaO에 의한 제품화 후 팽창이 일어날 수 있는 재료이다. 따라서, 콘크리트의 f-CaO 총량 도출을 위해 적합한 시험 분석법이 필요하다. 금번 연구에 통해 적용 될 f-CaO의 정량 분석법은 에틸렌글리콜을 이용한 산 적정 분석법이다. f-CaO 정량 분석은 여러 방해 인자가 존재한다. 대표적으로 에틸렌글리콜법의 과정 중, 물 중탕 과정의 온도와 가열 시간 조건에 의해 f-CaO 추출 및 적정량이 달라지는 것으로 알려져 있다. 또한, f-CaO의 추출은 CaO 뿐만 아니라, $Ca(OH)_2$, Ca-Si-O 계 등에 의해 일부 영향을 받을 수 있다는 연구 결과가 존재한다. 본 연구는 밀도 범함수 이론을 통한 예상 경향의 제시와 이를 실험적으로 증명하는 과정으로 진행된다. 밀도 범함수 이론을 통한 CaO, $Ca(OH)_2$의 에틸렌글리콜과의 반응 경향을 비교하여 최적의 물 중탕 과정의 온도 및 가열 시간 조건에 도달하기 위한 방법을 고안하고, 시멘트 재료 내 가장 풍부한 결정상인 Ca_3SiO_5, M_3 상에 대해 결정상, 비정질에서의 에틸렌글리콜과 반응 경향을 비교하여 시험 간 적용할 시료의 최적 입자 크기에 대한 접근법을 제안하고자 한다.

[분석2-1 | 10:25]

로렌츠 현미경을 활용한 4G 통신용 전자파 흡수체의 자기 미세구조 분석 : 심규민 (인하대학교), 최승민 (창성㈜), 박현순* (인하대학교)

Keywords: Electromagnetic wave absorber, Magnetic microstructure, TEM, Lorentz TEM, MPMS

전자기기 사용의 증가로 인한 전자파 노출이 인체에 미치는 잠재적 위험성이 대두되면서, 효과적인 전자파 차단 소재 개발의 필요성이 높아지고 있다. 본 연구에서는 Fe-Si-Al 합금 기반의 Sendust 전자파 흡수 필름을 개발하고 그 특성을 분석하였다. 분말과 바인더를 결합한 후 압연 공정을 통해 얇은 박막 형태로 제작된 이 필름은 전자파 흡수 메커니즘을 통해 차단 기능을 수행한다. 본 연구에서는 Ball milling 공정 조건 변화가 자기 특성에 미치는 영향을 조사하였으며, SEM과 TEM을 이용하여 미세구조 및 상 분석을 실시하였다. 또한 Lorentz TEM을 활용하여 자구 구조를 관찰하고, 외부 자기장에 의한 자구 구조의 변화를 분석하였다. 이를 통해 소재의 미세구조와 자기적 특성 간의 상관관계를 규명하고, 전자파 흡수 메커니즘에 대한 깊이 있는 이해를 도모하였다. 본 연구 결과는 Fe-Si-Al 기반 Sendust 전자파 흡수 필름의 제조 공정, 미세구조, 자기적 특성, 그리고 전자파 차단 성능 간의 관계를 종합적으로 이해하는 데 기여할 것으로 기대된다. 특히 자동차 산업을 비롯한 다양한 분야에서 증가하고 있는 전자파 노출 문제에 대응할 수 있는 고성능 전자파 차단 소재 개발에 유용한 기초 자료를 제공할 것이다.

[분석2-2 | 10:40]

4D-STEM-ASTAR 기반 차세대 리튬이온전지용 단결정 양극재의 단결정성 정량화 기법 개발 : 차주영, 홍진석, 김민기, 김현빈, 김소진, 이승용* (한양대학교)

Keywords: 4D-STEM-ASTAR, 단결정 양극재, 단결정성

일•이차입자 형태를 갖는 차세대 리튬이온전지용 삼원계 양극재는 고전적인 소재로서 여전히 많이 연구되고 있지만, 니켈 함량이 증가할수록 표면과 결정립계에서 발생하는 미세 균열의 성장으로 인한 구조 붕괴가 쉽게 발생하여 충방전시 열화 현상이 두드러진다. 이에 따라 부피 대비 표면 및 결정립계의 비율을 크게 감소시킨 단결정 형태의 고니켈 양극재가 최근 많은 주목을 받고 있다. 고니켈 단결정 양극재는 수 μm 크기의 단결정 입자 구성을 목표로 제작된다. 그러나 실제로는 대다수의 입자가 미세한 방향 차이를 가진 아결정립을 포함하고 있으며, 아결정립의 크기 및 분포는 합성 조건에 따라 다르다는 것이 확인되고 있다. 이러한 입자 내 구조적 이질성은 이차전지 성능을 결정하는 데 중요한 역할을 하지만 단결정성의 정의가 명확히 정립되어 있지 않을 뿐 아니라 이를 정량적으로 측정하는 방법이 없어 고니켈 단결정 양극재의 성능과 구조적 특성 간의 상관관계를 확립하는 데 어려움이 있다. 본 연구에서는 4차원 주사투과전자현미경(4D-STEM-ASTAR)을 활용하여 고니켈 단결정 양극재의 단결정성을 정의하고 정량화하는 방법을 제안한다. 4D-STEM-ASTAR는 단일 입자에 대해 나노미터 수준의 해상도로 수천 개의 나노빔 전자회절 패턴 수집 및 비교 해석을 가능케 하기에, 저각 결정립계를 가진 아결정립을 구별하고 단결정 양극 입자의 미소 위치별 방향성을 해석하는 데 적합하다. 본 연구진은 4D-STEM-ASTAR를 통해 얻은 각 입자에 대한 수천 개의 오일러 각도 형태의 방향 정보를 활용하여, 가장 우세하게 나타나는 방향을 기준으로 입자의 단결정성을 백분율의 형태로 제시하는 방법으로 단결정 양극재의 단결정성 정량화를 달성하였다. 다양한 조건에서 합성된 양극 입자에 대해 적용하여 본 방법의 유효성을 확인하였으며, 통계적인 접근을 통해 샘플 전체에 대한 단결정성 평가도 성공하였다. 본 연구에서 제안한 방법은 단결정 양극의 품질 평가 기준으로 적용될 수 있으며, 미래의 리튬이온전지를 위한 이상적인 단결정 양극 개발에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

[분석2-3 | 10:55]

Frequency Dependency of Cu Flexible Interconnects in Cracking behavior during Bending Fatigue : Seongi Lee (Seoul National University), Jun Hyeok Hyun (Kumoh National Institute of Technology), Sungjae Choi (Seoul National University), So-Yeon Lee* (Kumoh National Institute of Technology), and Young-Chang Joo* (Seoul National University)

Keywords: Bending Frequency, Electrical resistivity/conductivity, Copper, Fatigue test, Microstructure

The diversification of electronic device form factors has led to a surge in demand for flexible devices, prompting extensive research into the mechanical properties of flexible interconnects. However, while the strain rate dependency of bulk metals has been thoroughly investigated, the frequency dependency of metal thin films, which make up most of flexible devices, on flexible substrates remains underexplored. This study aims to address this knowledge gap by investigating the frequency-dependent behavior of metal thin films in flexible device configurations. Cu/polyimide flexible interconnects were fabricated, and the frequency dependency of cracking in metal thin film was investigated. Cu films with a thickness of 300 nm were deposited on a 125 μm thick polyimide substrate by electron beam evaporation. Then sliding bending test was carried out in a various frequencies of 0.5, 1, and 3 Hz. Interestingly, crack initiation and propagation exhibited contrasting trends depending on the frequency. At lower frequencies, cracks initiated in earlier cycles, but propagated more slowly, whereas at higher frequencies, crack initiation was delayed, but propagation occurred more rapidly. Quantitative analysis of crack length and spacing, conducted using confocal microscopy, revealed the underlying differences in crack initiation and propagation behavior. In case of low loading frequency cracks were observed from 200 cycle but showed slowest propagation that crack length increased form 39.3 nm to 73.4 nm. In contrast, no cracks were shown until 400 cycles in the case of high loading frequency but showed rapid propagation that crack length increased from 58.2 nm to 103.8 nm at crack propagation stage. Furthermore, low-angle annular dark field (LAADF) contrast imaging identified differences in dislocation density during crack initiation, which varied depending on the bending frequency. Additionally, Using focused ion beam-equipped scanning electron microscopy (FIB-SEM), we were able to elucidate the mechanism of frequency-dependent crack propagation, which exhibited behavior similar to that of bulk materials. This study provides insights into frequency-dependent cracking behavior in flexible interconnects, crucial for predicting the long-term reliability of flexible devices. These results will stimulate further investigations aimed at preventing both overestimation and underestimation of fatigue damage, ultimately leading to more reliable and durable flexible devices across various applications.

[분석2-4 | 11:10]

라만 분광법을 이용한 내해수강의 철 부식 생성물 분석 및 밀도 범함수를 통한 첨가 원소 영향 연구 : 이윤정*, 유윤재, 서용기 (현대제철연구소)

Keywords: 산화철, 부식 생성물, 라만 분광법, 밀도 범함수 이론

다양한 산업군에서 폭넓은 활용성을 가지는 철강 제품은 철을 기반으로 제조되며, 기능 향상을 위한 첨가원소를 수반하기도 한다. 고온의 공정을 거치는 과정에서 필연적으로 표면층에 스케일을 형성하게 된다. 디스케일링 공정을 통해 이를 최소화할 수 있으나, nm 수준의 극표면층에서 산화물층은 잔존할 수 밖에 없다. 잔존 산화물층을 기반으로 파생될 수 있는 녹(Fe_2O_3)은 습기 혹은 물과 닿을 경우 수산화철을 형성하게 된다. 이러한 철 모재에 산화철, 수산화철 등이 발생하는 과정을 부식(Corrosion)이라고 할 수 있다. 부식이 발생할 수 있는 다양한 환경 노출 상황을 고려하였을 때 강판 개발 시 장기간 외부 환경에 노출이 되더라도 부식 발생을 최소화할 수 있도록 부식 저항력(내식성)을 강화할 필요가 있다. 강판의 내식성을 확인하기 위하여 자연 환경에 노출하는 방식, 염수 분무 시험(Salt Spray Test), 또는 복합 부식 시험(Cyclic Corrosion Test)을 적용할 수 있다. 일반적으로는 가속 부식 시험을 통해 얻은 단위 면적당 부식 속도로 정량적 평가를 시행하고 있으며, 부식 시험 전 측정한 시편 질량과 철 기판의 손상 없이 부식생성물을 제거한 잔존 시편 질량을 측정하여 적용한다. 이렇듯 부식감량을 통한 부식속도 측정 방식은 부식감량이 부식속도에 영향을 미치기 때문에, 좀 더 빠르게 측정가능하면서 있는 그대로의 시료로 현재 부식 단계를 알 수 있는 방안이 필요하다. 라만 분광법은 레이저를 시료에 조사하여 시료를 알아낼 수 있으므로, 대표적인 시료비파괴적인 측정방법이다. 그 중에서도 산화철, 수산화철의 라만 피크는 확연하게 구분가능하므로 부식 진행에 따른 부식생성물의 차이를 라만을 통해 관찰할 수 있다. 또한, 각각의 피크 세기 비교를 통하여 진행되고 있는 부식상황을 정량적으로 접근해볼 수 있다. 한편, 실제 강판의 부식 환경을 고려해보면 가속된 환경이 아닌 장기간에 걸쳐 발생한다는 점에서 부식 생성물의 초기 형성 거동 파악과 같은 정성적 평가가 의의가 있다. 이러한 목적의 연구를 수행하기 위하여 염수 분무 부식을 진행한 내해수강을 육안 식별 색에 따라 구역을 나누어 라만 측정 스펙트럼을 얻었다. 이를 통해 철 부식 생성물 종류별 분석 및 비교를 진행함으로써 부식생성물을 파악하였다. 또한, 철 표면에서의 원자 단위 표면/계면 반응의 시뮬레이션을 통한 철 부식 초기 형성 거동에 대한 고찰 및 철강 내 공존할 수 있는 원소 첨가 시 부식 형성의 거동에 대해 제시하였다. 이를 바탕으로 철 부식에 대한 이해뿐만 아니라, 철강 내 첨가 원소가 표면에서 보일 수 있는 현상을 규명함으로써 내부식성 강화에 대한 고찰을 제안하고자 한다.

[분석2-5 | 11:25]

고에너지 X선 회절을 이용한 고엔트로피 MAX상의 화학적 정렬상태 분석 : 이민석, 류호진*, 성현우 (한국과학기술원(카이스트))

Keywords: MAX phase, MXene, 고에너지 X선 회절, 화학적 정렬

MAX상은 전이금속, 13-16족 원소, 탄소 및 질소로 이루어진 3원계의 기능성 세라믹으로, 금속과 세라믹의 성질을 동시에 가지는 물질로 알려져 있다. 최근에는 에너지, 배터리, 촉매, 센서 등 다양한 분야에 활용되고 있는 MXene의 원료로서의 더욱 주목받고 있다. MXene에 다양한 원소를 도입하여 고용체 형태로 제조할경우, 다양한 반도체적 성질의 변화와 자기적 성질의 변화를 도모할 수 있다. 최근 보고된 연구에서는 4-5개 이상의 핵심원소를 도입하여 고엔트로피 조성으로 만들어 부식저항성이 우수하고 더 높은 전기화학적 성능을 달성하기도 하였다. 일반적으로 고엔트로피 물질은 구성 원소의 무작위적 화학적 정렬상태를 가정하지만, 실제로는 에너지적으로 안정하고 격자 뒤틀림을 최소화하는 방향으로 화학적 단주기 정렬상태를 형성하게 된다. 이러한 정렬상태는 자유도가 낮은 2차원 물질인 MXene의 성질에 지대한 영향을 끼칠 것으로 예상되지만, 정렬상태를 자세히 분석한 연구는 부족한 상태이다. 고엔트로피 MXene의 화학적 정렬상태는 그의 원료인 고엔트로피 MAX상의 조성 및 제조조건으로 부터 결정된다. 이 연구에서는 고에너지 X선 회절을 이용하여 고엔트로피 MAX상의 화학적 정렬상태를 분석하고 실제 결정구조를 모사하는 방법을 제안한다.

[분석2-6 | 11:40]

The Long-Term Degradation of Molecular Sieve: Case Study with Moisture Trap for Glove Box. : Chang-Gi Lee and Se-Ho Kim* (Korea Univ.)

Keywords: molecular sieve, degradation,

A molecular sieve is a type of zeolite which possesses atomic scale micropore composed of Si and Al located in tetrahedral site of oxygen framework, including cation such as Na and Ca. Thanks to its unique microstructure, molecular sieve enables to trap water through this micropore, molecular sieve has been used for various applications such as petroleum refining and gas purification etc. While it is well known that used molecular sieves can be regenerated through thermal treatment, their water-trapping capacity can degrade over long-term use despite the regeneration process. The underlying causes of this decline remain elusive at the atomic level. In this study, we explored structural and compositional degradation of molecular sieve from a glove box that has been in operation for 10 years.

[분석2-7 | 11:55]

신뢰성 높은 EBSD 데이터 획득 : 강주희* (웨이브센스)

Keywords: EBSD, Pattern matching indexing, Reliable data

EBSD 분석은 금속 소재뿐만 아니라 세라믹, 기능 소재의 미세구조와 집합조직 해석을 위해 널리 사용되고 있다. 최근 주사전자현미경 분해능 및 전류밀도 향상, 2010년대 후반 CMOS EBSD 검출기 개발로 기존 EBSD 분석이 어려웠던 전자빔 취약한 소재와 이전 TEM 분석만 가능하던 sub-micron 결정립 크기 소재에도 SEM-EBSD 분석을 적용할 수 있게 되었다. EBSD분석은 TEM분석 대비 비교적 넓은 영역에서 ROI(region of interest)를 선택할 수 있고 수십개의 mapping 데이터를 얻는 대면적 분석

(large area mapping, LAM)도 용이하게 되어 기존 X선 회절법으로 얻는 통계적 집합조직 해석도 가능하여 EBSD 분석법 확산에 일조하였다. 이처럼 EBSD의 분해능 및 속도 발전으로 대부분소재에서 EBSD 분석은 필수불가결한 분석기법으로 인식되고 있다. 본 연구에서는 Kikuchi 패턴이 선명하지 않아 고품질 EBSD 데이터를 얻기 힘든 강가공 소재, 빔에 취약한 배터리 소재, 결정구조가 유사하여 EBSD분석만으로는 상구분이 어려워 EDS-EBSD 동시 분석 적용이 필요한 금속간화합물 분석 등에 적절한 SEM 및 EBSD 세팅값을 적용하여 고품질 분석결과를 도출한 사례를 소개하도록 한다. 또한 분석시 얻은 Kikuchi 패턴과 시뮬레이션 패턴을 비교하여 데이터를 유실한 방위나 상 정보를 취득하는 pattern matching (PM) indexing법을 적용하여 non-indexed pixel 정보를 재건하고, pseudo-symmetry 문제로 에러가 발생한 pixel에 대해 신뢰성 높은 EBSD 데이터를 얻는 방법을 발표하고자 한다.

수소재료
Room 평창2, 10월 28일

[수소1-1 | 13:00]
316L 스테인리스강의 ultrasonic peening에 의한 소성변형이 수소 취성에 미치는 영향 연구 : 이병주*, 노연주, 이승건* (한국재료연구원 수소 전지재료연구센터)
Keywords: 스테인리스, ultrasonic peening, 수소 취성
철강에서의 수소 취성 저항성을 향상하기 위해 많은 연구를 진행해 왔다. 특히 미세조직 측면에서 수소 취성 저항성을 향상하는 방법으로 prior 오스테나이트 입계취화 원소의 감소, 베이나이트 변태를 이용한 prior 오스테나이트 입계로의 탄화물 석출 억제, Nb 첨가에 의한 미세조직의 미세화, 수소침입 억제를 위한 표면처리 등 여러 가지 방법을 사용하여 수소 취성 저항성을 증가시키기 위한 방법이 알려져 있다. 이러한 원소 첨가에 따른 다양한 변수가 있기 때문에 첨가 합금이 아닌 ultrasonic peening의 공정을 이용하여 표면 결정립 미세화 및 전위 밀도를 증가하는 효과를 이용하여 연구를 수행하였다. Ultrasonic peening의 시간을 변화하면서 결정립 미세화 및 전위 밀도를 제어하였으며 가스 차징 후 기계적 물성 및 미세구조 분석을 통하여 수소 저항성 연구를 진행하였다.

[수소1-2 | 13:15]
Mg-Ni 수소 저장 합금의 초기 수소화 메커니즘과 미세 구조적 특성에 대한 연구 : 이다혜, 정소진, 곽륜호, 박성민, 강장원*, 박형기*, 하태준* (한국생산기술연구원)
Keywords: 수소저장, Mg_2Ni 합금, 초기수소화, 고체-기체 반응
금속수소화물 기반 수소저장소재는 기체상태인 수소를 고체 내부에 부피 효율적으로 저장하는 방법으로, MgH_2 및 Mg_2NiH_4는 300~400 ºC의 온도 범위에서 각각 7.6 wt% 및 3.6 wt%의 수소를 가역적으로 저장하고 방출하는 특성이 있다. 본 연구에서는 과공정 조성의 Mg-Ni 2원계 수소 저장 합금의 미세 구조를 관찰하였고, 다양한 고체-기체 반응 모델들을 초기 수소화 키네틱스 거동에 적용하여 수소 흡수 메커니즘을 분석하였다. 이 합금은 45.6 wt%의 Mg 상과 54.4 wt%의 Mg_2Ni 상으로 구성되어 있으며, 분산된 Mg_2Ni 초정이 라멜라 구조의 Mg 상 및 Mg_2Ni 상과 공존하는 미세 구조적 특성을 가지고 있다. 선반 가공된 Mg-15at%Ni 합금을 300 ºC에서 60 bar H_2에 노출시키면 수소 흡수 특성이 향상된다. 초기 수소화 키네틱스 거동은 각 접선이 만나는 곳을 기준으로 세 부분으로 나뉘며, 각 구간을 고체-기체 반응 모델들에 맞추어 분석하였다. 초기 수소 흡수 시, 구간 Ⅰ에서는 JMA3D 모델이 가장 우세한 반면, 구간 Ⅱ와 Ⅲ에서는 각각 CV3D와 GB3D 모델이 가장 적합했다. 이 연구에서는 Mg-15at%Ni 조성의 선반가공된 합금은 표면 산화물 층이 합금의 초기 수소화 과정을 저해하지 않는 것으로 나타났다.

[수소1-3 | 13:30]
금속 내 수소 확산 거동의 개별 상 단위의 측정 : 한희준, 백주열, 윤철환, 김요한 (울산과학기술원), 하태준, 김하영, 서진유 (한국과학기술연구원), 심재혁 (한국과학기술연구원, KIST-SKKU 탄소중립 공동연구센터), 신형준* (울산과학기술원)
Keywords: 수소 확산, 수소저장합금, 원자힘현미경
수소저장합금은 금속 내부에 수소원자를 저장하는 재료다. 이는 고압수소나 액화수소에 비해 높은 부피밀도와 안정성을 가지고 있어, 수소충전소와 같은 정치형 저장매체로 활용될 수 있다. 그러나 밀도가 높은 금속 내부에서 수소가 이동하기 어려우며, 높은 수소 방출온도나 자연산화막 형성하는 것과 같은 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 여러 연구에서 치환원소의 첨가가 수소확산 및 소재의 다양한 문제점을 해결하는 데 유용하다는 것이 밝혀졌다. 하지만 치환원소가 합금에서 이차상을 형성할 경우, 수소의 거동을 분석하는 데 어려움이 있다. 기존의 수소 투과장치에서 공간분해능이 부족하여, 측정된 확산계수는 모상과 이차상의 영향을 모두 포함한다. 본 연구에서는 금속에 수소 주입이 가능한 시스템을 원자힘현미경에 도입하여, 개별 상의 확산계수를 측정했다. 수소주입으로 변화하는 금속의 표면 전위를 실시간으로 측정하였고, Fick's second law에 기반하여 확산계수를 산출했다. 이 장치의 실효성을 확산계수가 알려진 마그네슘을 통해 확인했으며, 다상의 Ti-Fe계 합금에서 개별 상의 확산계수를 측정했다. 그리고 치환원소가 Ti-Fe계 합금의 수소 확산에 미치는 영향을 분석했다.

[수소1-4 | 13:45]
대량 생산을 위한 Ti계 AB2 type 수소저장합금 제조 공정 연구 : 금보경, 주경준, 권용혁, 김종식, 이기영* (케이피씨엠)
Keywords: 수소저장합금, 금속수소화물, 진공유도용해, 저압저장
수소를 저장하는 방식에는 고압저장, 액화수소, 고체저장 방식 세 가지가 있다. 그 중 고압저장 방식은 널리 상용화되어 있다. 하지만 액체 및 고체저장 기술은 개발은 진행되고 있지만 상용화는 거의 되지 않은 실정이다. 고체 저장 방식인 수소저장합금은 고압이 아닌 상온의 낮은 압력에서도 높은 부피저장밀도를 가지기 때문에 안정성 확보가 가능하다. 따라서 수소저장합금은 수소 에너지 응용 분야에 적합한 옵션이다. 수소저장합금을 이용한 고체수소저장 기술이 상용화되면 산업에서의 수소 수요를 키우는데 큰 영향을 미칠 것이다. 수소저장합금 중 AB2계 수소저장합금은 우수한 활성화 특성과 수소-탈수소화 동역학, 높은 수소저장용량, 비교적 낮은 비용, 수전해 및 연료전지에 따라 가용 압력 범위를 확보할 수 있다. 이 수소저장합금의 실제 적용을 위해 대량생산을 위한 방안이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 비 화학양론 조성 설계를 통해 개발된 저장 압력 10 bar 이하, 최대 수소저장량 1.4 wt%이상의 높은 저장용량을 가지는 Ti계 AB2 수소저장합금을 대량 생산하기 위한 용해 공정 최적화기술을 연구하였다. 이를 통해 진공유도용해

(VIM)를 이용하여 100 kg급의 AB2계 수소저장합금 제조를 하였으며, 제조한 합금의 수소저장 능력을 확인하였다.

[수소1-5 | 14:00]

Thermodynamic modeling of the Mn-Ti-H system : 오상호, 왕재민 (포항공과대학교), 노승효, 강민우, 박지혜 (현대자동차), 이병주* (포항공과대학교)

Keywords: C14 Mn2Ti, hydrogen storage, PCT, CALPHAD, thermodynamic assessment

Hydrogen has been highlighted as a promising energy resource to replace fossil fuels, leading to increased interest and demand for hydrogen storage materials. C14-type Mn_2Ti-based alloys have gained attention due to their high hydrogen capacity and economic feasibility. On the other hand, binary Mn_2Ti alloys show a high plateau pressure for hydrogenation and dehydrogenation processes, making practical applications challenging. To address this, various alloying elements for C14 Mn_2Ti have been explored. The PCT (Pressure-Composition-Temperature) curve can be calculated using the CALPHAD method. Namely, the CALPHAD method can be an effective and significant approach to optimize the composition of Mn_2Ti-based alloys by predicting PCT curves across various combinations of alloying elements and compositions. Nevertheless, such a work has not been available since even the thermodynamic description of the H-containing Mn_2Ti phase has not been assessed. In the present work, a thermodynamic description for the Mn-Ti-H ternary system was developed, which can reproduce the PCT curves of hydrogenated C14 Mn_2Ti.

[수소1-6 | 14:15]

합금원소 첨가를 통한 우수한 내수소취성을 갖는 1.0 GPa 이상급 고압수소압력용기용 강재 개발 : 임상훈*, 고석우, 정재훈 (세아베스틸㈜ 기술연구소)

Keywords: Hydrogen embrittlement, Tempered martensite, Steel, Slow strain rate test (SSRT), Notch tensile strength, SA372, Hydrogen pressure vessel

최근 탄소배출 절감을 위해 수소 에너지에 대한 관심이 높아짐에 따라 수소의 생산, 저장, 운송, 활용에 필요한 강재 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그 중 국내 기체수소의 저장 및 운반에 사용되는 고압수소압력용기 대부분은 수입에 의존하고 있고 그 품질 또한 편차가 심하여 내구성이 떨어지는 문제가 있어 국산화가 시급한 실정이다. 현재 고압수소압력용기 소재로 사용되고 있는 Cr-Mo계 강종의 경우 우수한 강도와 연성을 가지는 템퍼드 마르텐사이트강이 널리 사용되고 있다. 그러나 이들 강재가 수소 환경에 지속적으로 노출되는 경우 강도나 연성, 피로, 파괴인성 등의 기계적 특성이 급격히 저하되는 수소취성(hydrogen embrittlement)이 쉽게 일어날 수 있다. 수소취성에 의한 문제가 발생하게 되면 기존 설계 수명보다 조기파단되어 심각한 피해를 야기할 수 있어 고압수소압력용기용 강재 개발에서 내수소취성은 중요한 평가 항목중 하나이다. 이러한 수소취성 현상은 일반적으로 소재의 강도가 높아질수록 더욱 심각해지기 때문에 별도의 내수소취성 요소기술 확보가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 미량합금원소 첨가 및 첨가량 변화에 따른 내수소취성의 상관관계와 템퍼링(tempering)이 미치는 영향을 통해 고압 수소환경에서 사용가능한 우수한 내수소취성을 갖는 1.0Gpa 이상급 고압수소압력용기용 강재 개발을 진행하였으며, 이에 따른 메커니즘 분석도 실시하였다.

[수소1-7 | 14:30]

액화수소 저장용 탱크 적용을 위한 고 니켈강 합금 개발 및 초저온 재질평가 : 소형섭*, 박민호, 최우혁, 현영민 (현대제철연구소)

Keywords: 액화수소, 고니켈강, 초저온

수소경제의 구현은 생산, 저장 및 운송과 같은 분야에서 고도화된 기술들의 집약과 이들의 안정성 및 효율성이 확보되어야 한다. 많은 기술들 중, 수소의 저장 및 운송 분야에서는 그 효율을 증대시키기 위한 방법들이 제안되는데, 그 중 액체 상태의 수소를 운반하는 방법이 하나의 방법으로 제안되고 있다. 그러나, 액화 수소는 상압에서 20 K 이하의 극한의 환경이 조성되어야만 유지시킬 수 있다. 따라서, 액화수소 저장용 탱크에 적용을 위해서는 액화수소 온도에서의 연성 및 인성에 대한 보증이 우선적으로 필요할 것이다. 액화수소용 저장탱크의 다양한 소재 후보군들 중, 특히나 결정상이 FCC로만 구성되어 있는 소재들이 유력한 후보로 실증 및 적용되고 있다. 이러한 이유는 BCC 대비 저온에서의 취성 파단의 위험성이 상대적으로 낮으며, 낮은 수소 확산속도로 수소 취성에 대한 위험성도 적기 때문일 것이다. 한편으로, BCC 기반의 강재는 Ni 첨가량에 따라 연성-취성 천이 온도가 점차적으로 감소한다고 알려져 있으며, 이는 Ni 첨가로 인한 오스테나이트 안정화로 형성되는 잔류오스테나이트에 기인된 것이다. 본 연구에서는 고니켈강을 제조하고, 열처리에 따른 잔류오스테나이트의 형성거동을 살펴보았으며, 그에 따른 초저온에서의 재질평가 결과를 다룬다.

[수소2-1 | 14:50]

고강도 볼트용 템퍼드 마르텐사이트강에서 고용강화 원소 (Ni, Cr) 첨가가 수소취화 민감도에 미치는 영향 : 문병록, 남지민 (부산대학교), 이창훈 (한국재료연구원), 정준호 (현대제철), 강남현* (부산대학교)

Keywords: 수소취화, 고강도 볼트재, 템퍼드 마르텐사이트 강, 파단면 분석, 후방산란전자 회절패턴 분석

해양플랜트용 H-형강은 저온과 부식성이 높은 해수에 노출되기 때문에 저온 충격 인성, 내식성 그리고 충분한 수소취화 저항성을 보유해야 한다. H-형강의 연결은 볼트를 이용한 기계적 체결이므로 볼트 역시 인성, 내식성 그리고 수소취화 저항성을 갖추어야 한다. 따라서, 볼트의 성능을 보증하고 개선하기 위해 합금조성 영향에 따른 미세조직 변화와 수소 존재 유무에 따른 수소취화 민감도 변화를 관찰하고 기계적 물성변화에 대해 고찰하였다. 치환형 고용강화 원소 (Ni, Cr)의 첨가로 템퍼드 마르텐사이트 강의 래스가 미세해졌다. 상온의 in-situ SSRT에서는 치환형 고용강화 원소 (Ni, Cr)의 첨가가 뚜렷한 수소취화 저항성 차이를 보여주진 못했지만, -40 ºC 저온 Charpy 충격시험에서는 템퍼드 마르텐사이트 강의 미세화된 래스로 인해 수소취화 저항성이 낮아지는 거동을 보였다.

파단면 직하 결함 주변부를 EBSD로 측정하였고, in-situ SSRT와 Charpy 충격 시험에 따른 결함 생성과 진전에 변화가 발생했음을 알 수 있었다. 이 차이를 바탕으로 합금조성과 시험방법 변화에 따른 수소취화 민감성 변화 메커니즘을 도출하였다.

[수소2-2 | 15:05]

천연자원 수송용 ERW 강관 용접부의 Sour환경에서 Pressure Reversal 감수성 평가 : 백종민, 이찬희, 홍현욱* (국립창원대학교 신소재공학부재료강도실험실), 곽진섭 (현대스틸파이프 생산기술연구소), 전동현 (현대스틸파이프 대경생산팀)

Keywords: Key words : API X70, ERW, Pressure Reversal, Hydrogen, 3 point bending fatigue test

본 연구에서는 극저온 석유 및 천연가스 수송용 전기저항용접(Electric Resistance Welded, ERW) 강관의 용접부에 대한 Sour 환경에서 수소 침투에 따른 Pressure Reversal의 감수성을 평가하고자 하였다. 용접부에 Post seam annealing을 적용하기 전에는 Bainitic ferrite와 Martensite-Austenite(M-A) 상이 bondline과 평행한 방향으로 분포하였으며, post seam annealing 이후에는 bondline과 열영향부(Heat Affected Zone, HAZ)에서 Polygonal한 Ferrite-pearlite와 M-A 상이 관찰되었다. 이때 파이프라인을 통해 석유나 천연가스를 수송하기 위해 지속적인 pumping pulse를 줄 때, Pressure Reversal 현상으로 인해 파이프 내부에 피로 균열이 발생할 수 있으며, 이러한 Pressure Reversal 현상은 stress cycles로 인해 실제 파괴 압력보다 낮은 압력에서 파괴가 발생하는 것이다. 이를 평가하기 위해 약간의 소성 변형이 가해지는 응력으로 20 cycles 동안 3 point bending test로 반복하중을 가한 결과, 균열이 발생하지 않아 용접부에 Pressure Reversal 현상이 발생하지 않은 것을 확인하였다. 실제 Sour 환경을 모사하기 위해 수소를 Charging한 뒤 이 3 point bending test를 하여 Pressure Reversal 민감성을 평가해보았다. 그 결과, 20 cycle 이전의 cycle에서 균열이 발생해 수소가 Pressure Reversal 현상에 큰 영향을 주는 것을 확인하였다. 따라서, 수소가 균열에 어떻게 영향을 주었는지 확인해보기위해 미세조직적으로 관찰해보았다. 추가적으로, Bondline에 있는 Elongated한 Phase들이 주는 영향을 확인해보기 위해 Base metal과 비교를 해보았다.

[수소2-3 | 15:20] Canceled

Effect of welding parameter on hydrogen embrittlement in weld joint of 316L stainless steel : 남지민 (부산대학교), 유재석 (한화오션), 지창욱 (한국생산기술연구원), 이승건 (한국재료연구원), 강남현* (부산대학교)

Keywords: austenitic stainless steel, weld joint, hydrogen embrittlement, cryogenic temperature

최근 기후 변화의 심각화에 따라 수소 에너지에 대한 관심이 매우 높다. 수소 에너지의 활용을 위한 연구들이 활발하게 진행되고 있으며, 액화수소 저장기술 역시 그 중 하나이다. 액화수소를 저장하는 탱크는 우수한 극저온 물성 및 내수소취화 특성이 요구된다. 거대구조물인 탱크 제작에 있어 용접은 필수적으로 이루어지는 공정으로, 용접부는 모재에 비해 열위한 특성을 가지는 경우가 많다. 안전성을 위해 용접부 역시 필수적으로 평가되어야 하지만 모재에 비해 용접부는 많은 연구가 이루어지고 있지 않다. 또한, 용접부는 용접 기술의 종류, filler metal의 사용여부, 용접속도 등 다양한 변수들에 의해 미세조직의 변화가 나타나므로 용접부의 우수한 내수소취화 특성을 달성하기 위해서는 야금학적 인자를 도출하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 내수소취성이 우수한 용접기술 개발을 위해 액체수소 탱크용 소재로 주목받는 Stainless steel(STS) 316L의 용접부를 제작하여 수소취화거동을 평가하였다. 용접기술은 가스 텅스텐 아크 용접(GTAW)과 레이저빔 용접(LBW)을 수행하였다. 시편에 수소를 충전한 후 상온(RT), -100ºC, -196ºC에서 Slow Strain Rate Test (SSRT)를 실시하여 온도에 따른 수소 취화 민감도를 평가하였고, 온도 및 수소 충전에 따른 변형 거동을 비교하였다. GTAW 용접 이음부는 모든 조건에서 모재가 아닌 용착금속에서 파단이 발생하였으나, LBW 용접 이음부는 –196ºC에서 모재 파단이 발생하여 용접부의 우수한 극저온 물성이 확인되었다. 수소취화 특성의 경우 용접방법에 관계없이 –100ºC에서 가장 민감한 결과를 보였으며, -196ºC에서는 수소취화가 관찰되지 않았다. 용접변수에 따른 미세조직학적 특성을 규명하였으며, 그에 따른 수소 확산 및 트랩 거동을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 STS 316L 용접이음부의 수소취성을 미세조직학적으로 고찰하였다.

[수소2-4 | 15:35]

Fe-22Mn-0.3C 고망간강 전용착금속의 온도에 따른 수소취성 평가 : 최동현, 남지민 (부산대학교), 유재석 (부산대학교, 한화오션), 강남현* (부산대학교)

Keywords: 고망간강, 수소취성, 오스테나이트계 합금

지구온난화의 심각성을 인식한 전 세계는 기후 위기에 대응하기 위해 다양한 노력을 기울이고 있으며, 현재 정부는 2050년까지 탄소 순배출량을 0으로 만드는 “Net-Zero” 목표를 세우고 있다. 수소에너지는 연소 시 유해한 부산물이 발생하지 않는 친환경 에너지로서 차세대 에너지로 주목받고 있다. 그러나 수소 환경에서 강재는 기계적 물성이 저하되는 수소취성에 대한 고려가 필수적이다. 수소는 기체보다 액체로 저장할 때 저장 효율이 높아지지만, 이를 위해서는 극저온 물성과 내수소취성 특성이 우수한 재료가 필요하다. 현재 상용화된 재료로는 오스테나이트계 스테인리스 강이 사용되고 있으나, 액체 천연가스저장 탱크는 낮은 니켈(Ni) 함량으로 경제성이 높은 고망간강으로 대체되고 있으며, 향후 액체수소 환경에서도 사용될 가능성이 높다. 특히, 용접부는 모재와 다른 미세조직을 가지고 있어 수소 취화에 대한 민감성 평가가 필수적이다. 본 연구에서는 Fe-22Mn-0.3C 전용착금속을 사용하였으며, 전기화학적으로 수소를 주입한 후 기계적 물성을 평가하기 위해 Slow Strain Rate Testing(SSRT)을 실시하였다. 이 실험을 통해 25ºC부터 -196ºC까지의 온도에서 수소 취화 특성을 비교하였으며, 파면, 파단면 분석과 온도에 따른 기계적 거동 변화를 통해 수소 취화가 미치는 영향을 고찰하였다.

[수소2-5 | 15:50]

초기 수소화 및 가역적 수소저장 특성이 최적화된 Ti-Fe-O 2상 합금 개발 : 윤영철 (한국과학기술연구원, 서울대학교), Krishnamohan Thekkepat, 강재동 (한국과학기술연구원), 박은수* (서울대학교), 김진우* (한국과학기술연구원)

Keywords: Hydrogen storage materials, TiFe alloy, Alloy design, Initial hydrogenation, Pressure-Composition-Isotherm curve

대표적인 가역적 고체수소저장 소재인 TiFe계 수소저장합금은 상온 약 20기압 조건에서 수소를 가역적으로 저장이 가능하지만, 표면 부동태막이 수소분자의 해리 및 확산을 방해하기 때문에 초기 수소화를 위해서는 고온 열처리와 같은 추가적인 활성화 공정이 필요한 문제점을 가지고 있다. 이를 극복하기 위해 비금속 원소인 산소를 첨가하는 경우 합금 내부에 추가적인 활성화 과정 없이 상온 저압 수소화가 가능한 Ti-Fe-O 삼원상(τ 상)을 형성시킬 수 있다. 그러나 TiFe (B2)상과 τ 상으로 이루어진 Ti-Fe-O 2상 합금의 화학 조성과 미세구조에 따른 수소저장 특성 변화에 대한 체계적인 연구는 미비한 실정이다. 본 연구에서는 1000 ºC Ti-Fe-O 등온 상태도 내 B2상과 τ 상의 2상 평형을 이루는 조성 영역 내에서 τ 상의 화학 조성에 변화를 줄 수 있는 다수의 합금 조성을 선정하여 주조하고, 해당 합금들을 1000 ºC에서 72시간 동안 열처리하여 2상 합금을 제조하였다. 제조된 합금에서 각 상의 평형 조성과 분율에 따라 달라지는 초기 수소화 거동 및 가역적 수소저장 거동을 Sievert 타입 등온 압력-조성(PCI) 곡선 측정을 통해 확인하였다. Ti-Fe-O 2상 합금에서 초기 수소화 거동에 끼치는 B2 및 τ 상의 영향을 규명하기 위해 수소화-탈수소화 과정을 거친 2상 합금들의 미세조직과 회절패턴을 SEM 및 XRD를 통해 분석하였다. 이를 기반으로 2상 복합 구조로부터 TiFe 합금의 초기수소화 문제를 개선하고 가역적 수소저장량을 최대한 유지함과 동시에 평형 수소흡방출 압력 제어가 가능한 새로운 Ti-Fe-O 수소저장합금을 도출하였다.

[수소2-6 | 16:05]

Evaluation of Hydrogen Embrittlement in Austenitic Stainless Steels Using in-situ Small Punch Testing at Elevated Temperatures : Richard Pascua, Gellieca Dullas, Kang Seom Bum, Hyung-Seop Shin* (Andong National University)

Keywords: Hydrogen Embrittlement, in-situ Small Punch Test, Austenitic Stainless Steels , Elevated Temperatures, Hydrogen Diffusion

Hydrogen is increasingly recognized as a key energy carrier in elevated temperature applications, including hydrogen transportation to storage, fuel cells, and power generation through hydrogen-fired turbines. However, materials exposed to hydrogen at elevated temperatures face challenges such as the hydrogen diffusion rates increase, which can lead to more significant interaction with the material that can cause of hydrogen embrittlement (HE), which can degrade mechanical properties and structural integrity. Austenitic stainless steels, such as STS 304L and STS 316L, are widely used in hydrogen production, storage, and transport due to their excellent corrosion resistance and mechanical properties. Despite this, factors such as temperature, pressure, and exposure time must be carefully considered to ensure long-term performance. This study investigates the HE effects on STS 304L and STS 316L at elevated temperatures with varying punch velocities using in-situ Small Punch Testing (SPT) under 3 MPa of nitrogen (N2) and hydrogen (H2) environments. The results show that, in a N2 environment, both steels experienced a reduction in mechanical strength with decreasing temperature. In a hydrogen environment, STS 304L exhibited severe HE between -50°C and room temperature (RT), with quasi-cleavage and intergranular fractures indicating embrittlement. Conversely, STS 316L showed velocity-dependent behavior at -50°C, with brittle fractures at low punch velocities (0.1 mm/min) and no embrittlement at higher velocities (1.0 mm/min). STS 316L also demonstrated no embrittlement at RT, unlike STS 304L. At temperatures (100°C and 200°C), neither steel showed significant hydrogen effects. Overall, STS 316L exhibited superior resistance to HE, particularly at -50°C and RT, making it a better choice for hydrogen applications at these temperatures.

[수소2-7 | 16:20]

중엔트로피 합금에서의 불연속 $L1_2$ 석출을 통한 강도와 내수소취성 향상 연구 : 송상윤, 장태진, 양대철, 성민영, 이건직, 한정훈 (고려대학교), 백주현, 서진유 (한국과학기술연구원), Alireza Zargaran (포항공과대학교), Aparna Saksena, Baptiste Gault (Max-Planck-Institut Für Eisenforschung GmbH), 고원석 (인하대학교), 김세호, 손석수* (고려대학교)

Keywords: 수소 취성:중엔트로피 합금:불연속 석출:$L1_2$:Cryo-APT

구조재료에서의 강도향상은 끊임없이 요구되고 있지만, 강도가 향상됨에 따라 수소취성이 극심해지므로 고강도재료의 상용화를 위해서는 높은 내수소취성 또한 반드시 필요하다. 석출물은 효과적인 석출강화 뿐 아니라 계면에서 수소 트랩 효과가 나타나므로, 석출물을 활용한 합금 설계 전략은 고강도-내수소취성 양립에 매우 효과적인 접근 방식이다. 하지만, 재료의 기계적 물성 향상을 위해서는 정합 계면 석출물을 활용해야하는데, 일반적으로 정합 계면 석출물은 수소의 강한 트랩 장소로는 효과적이지 못하다고 알려져 있어, 석출물을 통한 고강도-내수소취성 합금설계 방식은 한계가 존재한다. 본 연구에서는 중엔트로피 합금에서 정합 $L1_2$ 석출물을 불연속 석출거동을 통해 형성시킴으로써 초고강도 및 우수한 내수소취성을 구현하였다. 나노 lamellar $L1_2$ 석출을 통해 ~1600 MPa의 항복강도를 가지면서도 석출물이 없는 FCC 단상 합금보다 수소 취성 저항성은 약 ~1.5 배 가량 향상되었다. 수소 유기 균열 분석을 통해 불연속 석출 반응 시 동반되는 결정립계 serration이 균열 전파를 억제함을 밝혀 내었으며, Cryo-atom probe tomography 를 통해 정합 $L1_2$ 석출물의 계면이 아닌 내부에 수소가 효과적으로 트랩되있는 것을 관찰하였고, DFT 계산을 통해 이를 이론적으로 검증하였다. 따라서, 본 연구는 불연속 $L1_2$ 석출거동이 수소 유기 균열 전파를 효과적으로 방해함과 동시에 강력한 수소 트랩 장소로써수소 확산을 억제함을 밝혔다. 이는 해당 석출물을 활용한 합금설계 전략이 고강도-내수소취성 양립에 효과적인 방법이 될 수 있음을 시사한다.

[수소2-8 | 16:35]

실시간 투과전자현미경(TEM)을 통한 Mg-Ni 복합재료의 수소 흡수/방출 메커니즘 및 사이클 특성 연구 : 유한준 (한국과학기술연구원, 연세대학교), 배지환 (한국과학기술연구원), 김영민, 서병찬 (한국재료연구원), 이규형* (연세대학교), 천동원* (한국과학기술연구원)

Keywords: 수소저장합금, 실시간 투과전자 현미경, 수소 키네틱스

전 세계적으로 화석 연료에 대한 대안으로 재생 가능 에너지에 대한 수요가 증가함에 따라 청정 에너지 운반체의 사용이 크게 증가하고 있다. 그 중 수소는 높은 에너지 밀도(142MJ/kg^{-1}), 그리고 연소 후에도 유해 가스 부산물이 없는 특성으로 인해 화석 연료를 대체할 수 있는 유망한 에너지 운반체이다. 일부 국가에서는 이미 활발한 연구가 진행 중에 있고, 수소연료를 이용한 자동차의 등장은 일반 대중들도 그 진보를 확인 할 수 있게 한다. 이와 같이 수소는 미래 사회에서 활용될 청정 에너지원이며, 수소의 응용 산업을 더욱 확장하기 위해서는 수소를 안전하고 경제적으로 저장할 수 있는 다양한 기술이 추가로 개발되어야 한다. 따라서 효율적인 수소 시스템을 보여주는 수소 저장 재료의 반응 속도를 이해하는 것이 필수적이다. 수소 저장 재료 중에서 마그네슘(Mg)은 높은 체적 밀도로 인해 새로운 청정 에너지 운반체로 큰 주목을 받고 있다. 그러나 높은 온도가 필요하고 수소 흡수/탈착 사이클 동안 저장 용량이 감소하는 문제로 인해 수소 저장 시스템을 사용하는 것이 어렵다. 반면에, Mg 기반 삼원수소화물(Mg-X-H, 전이 금속 X (Fe, Ni, Co))은 상대적으로 낮은 온도에서도 우수한 사이클 특성으로 인해 차세대 수소 저장 재료로 널리 연구되어 오고 있다. 특히, Mg_2NiH_4 삼원 수소화물은 우수한 수소 이동도, 낮은 온도에서의 수소 흡수/탈착 능력, 그리고 뛰어난 사이클 성능(~1000회 수소화/탈수소화 사이클)으로 인해 유망한 수소 저장 재료로 널리 연구되고 있다. 본 연구에서는 공간 해상도(~0.8 Å) 및 시간 해상도(25 frame/sec)를 갖춘 실시간 투과 전자 현미경(TEM) 관찰을 통해 Mg-Ni(10at%) 합금 복합재의 수소화/탈수소화 과정을 실시간으로 관찰했다. 수소화 및 탈수소화의 사이클 특성은 Mg 증발을 최소화하는 온도 조건 및 750 torr/3X10^{-3} torr(수소화/탈수소화)의 수소 압력 하에서 관찰하였다. 나노미터 규모에서 Mg-Ni 합금의 수소화/탈수소화 과정 동안 얻어진 실시간 회절 패턴을 상세히 모니터링함으로써 공존하는 두 상의 흡수/탈착 속도를 별도로 평가할 수 있었다. 또한, 수소화 동안 Mg_2Ni가 두 단계 경로(Mg_2Ni → LT1 → HT)를 따르는 것이 확인되었다. 우리는 이 연구 결과가 나노 규모와 벌크 규모 연구 간의 격차를 줄이는 것뿐만 아니라, 고체 상태 수소 저장 시스템을 효율적으로 운영하기 위한 수소 흡착 조건을 설계하는 데 유용한 지침을 제공할 것이라고 기대한다.

[수소3-1 | 16:55]

Laser Powder Bed Fusion방식으로 제작한 Boron doped CoCrFeNi 중엔트로피 합금의 공정 변수가 보론 효과에 미치는 영향 : 정현, 정재영, 안유희, 정지윤, 이동현* (충남대학교)

Keywords: 중엔트로피 합금, 수소 취성, 공정변수, LPBF

수소 경제 시대가 열리며 수소를 운반 및 보관 하기위한 인프라를 구축하기 위해 금속재료가 주로 사용되고 있다. 하지만 금속은 수소와 만나면 취성에 의해 기계적 특성이 감소하여 수소 유기 균열이 발생한다. 3D 프린팅 방식 중 하나인 Laser Powder Bed Fusion(LPBF)은 전통 제조 방식에 비해 복잡한 조성과 미세조직을 가지는 합금을 만들 수 있으며 기계적 특성 또한 우수하다. 우리 연구팀은 이전 연구에서 LPBF 방식으로 제작한 CoCrFeNi 중엔트로피 합금이 사전 수소 장입 환경에서 우수한 수소 취성 저항성을 보이나 실시간 수소 장입 환경에서 입계를 따라 균열이 발생하며 수소가 재료 내부까지 침투하였다. 실제 수소 운반 및 보관 환경은 실시간 수소 장입과 유사한 환경이기에 이는 반드시 해결해야하는 문제였다. 입계 균열을 해결하기 위해 많은 연구들에서 침입형 고용원소를 소량 첨가하여 입계 결합력을 증가시켜 수소 취성 저항성을 향상하는 것을 참고하여 Arc melting 방식으로 제작한 CoCrFeNi 중엔트로피 합금에 Boron을 첨가해보니 입계 균열을 입내 균열로 바꾸고 입계 결합력을 증가시켜 수소 취성 저항성을 증가시켰다. 이번 연구에서 LPBF CoCrFeNi 중엔트로피 합금의 laser power, scanning speed, cooling rate 등의 공정변수를 변화시켜 보론의 효과를 극대화했다. 미세조직 분석을 위해 전자 주사 현미경(SEM), EBSD, 전자투과현미경(TEM)을 사용했으며 수소의 영향을 보기 위해 인장시험을 실시하고 파단면 및 수소 유기 크랙 분석을 실시했다. 끝으로 Time of flight Secondary Ion Mass Spectroscopy (TOF SIMS)와 Thermal Desorption Spectroscopy (TDS), Silver decoration 기법을 이용하여 공정 변수의 영향을 보론 분포 위치, 수소 트랩 사이트 차이 관점에서 분석했다.

[수소3-2 | 17:10]

Unidirectional dislocation slip 변형 거동에 대한 수소 장입 영향 평가 : 윤희수 (한국표준과학연구원, 연세대학교 신소재공학과), 남승훈* (한국표준과학연구원)

Keywords: Single crystal, dislocation, Ni based superalloy, hydrogen embrittlement, deformation behavior

Face centered cubic(FCC) 결정구조 지닌 금속은 낮은 수소 확산도와 우수한 기계적 물성으로 인해, 수소 대면 소재로 주목받고 있다. Stacking faults(SF)와 dislocation의 이동으로 FCC 금속의 변형되지만, 상호 경쟁적 변형 거동으로 인해서 수소의 영향을 구분하여 이해하기가 어렵다. 따라서, 적층결함이 발생되지 않는 높은 SF을 지닌 Ni based superalloy single crytal을 활용하여, unidirectional dislocation slip system에서 수소가 변형거동에 미치는 영향을 평가하였다. 250 ºC, 10 MPa의 수소 압력 환경에서 시험편을 4일간 노출 시킴으로써, 소재 내부의 수소 농도는 충분한 열평형이 유도되었다. 수소 장입 및 미장입 시험편은 각각 대기 환경과 주사전자현미경(SEM) 내부 환경에서 slow strain rate test(SSRT)으로 기계적 물성과 변형거동이 평가되었다. 수소 장입으로 인해 75.5 %의 파단 연신손실이 발생되었으며, 인장시험 중 미세조직 관측을 통해 dislocation density의 증가와 낮은 연신임에도 불구하고 cross slip의 활성화가 확인되었다. 이 결과로 수소 장입으로 인해 Unidirectional dislocation slip system을 지닌 Ni based superalloy을 활용하여 FCC dislocation system에 대한 수소의 영향을 규명하였다.

[수소3-3 | 17:25]

Ti 결정립계 특성에 따른 수소 편석 및 수소화물 형성 거동 분석 : 전초롱, 윤영철 (한국과학기술연구원, 서울대학교), 박은수* (서울대학교), 김진우* (한국과학기술연구원)

Keywords: Hydrogen segregation, titanium hydride, grain boundary, misorientation angle

타이타늄(Ti)이 수소에 노출될 때 형성되는 수소화물 상은 구조용 Ti 소재에서 극단적인 수소취성을 야기하는 원인이 되기도 하지만, Ti계 소재가 수소저장소재, 열에너지저장소재 등 에너지소재로써 응용될 수 있도록 하는 핵심 요소로 작용하기도 한다. 이에 따라 Ti 내에서 수소화물 상의 형성 거동을 이해하는 것은 수소환경 내에서 응용되는 Ti계 소재의 성능 향상을 위하여 필수적이다. 본 연구에서는 결정립계 구조에 따른 수소 편석 현상과 수소화물 형성 거동을 규명하고자 하였다. 이를 위해 수소 투입량을 제어 가능한 고온 수소가스 환경 내에서 순수 Ti에 수소를 주입한 후, EBSD 기법을 활용하여 결정립계 부근의 수소 편석과 수소화물의 통계적 분포를 분석하였다. 수소 용해도 이하의 조건에서 α-Ti 결정립계를 따라 발생한 전위 밀도(GND) 분포와 수소 용해도 이상의 조건에서의 수소화물 형성 분포는 결정립계의 방위차 각도(misorientation angle)와 밀접한 연관성이 있음을 확인하였다. 이는 특정 결정립계 구조가 갖는 수소화물 fcc/fct 구조와의 구조적 유사성과 관련이 있을 것으로 추정된다. 이러한 수소 분포-결정립계 간 상관관계에 대한 통계적 분석 결과를 바탕으로 Ti 소재 내 수소화물 형성 거동을 제어할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

[수소3-4 | 17:40]

Ni 함량 및 템퍼링 온도에 따른 템퍼드 마르텐사이트계 저합금강의 미세조직과 수소취성의 상관관계 : 신희창, 김상규 (서울과학기술대학교), 고석우, 임상훈 (세아베스틸 기술연구소), 황병철* (서울과학기술대학교)

Keywords: Tempered martensitic steel, Microstructure, Hydrogen embrittlement, Ni, Tempering temperature

현재 템퍼드 마르텐사이트계 저합금강은 우수한 강도와 연신율 조합을 가져 압력용기용 강재로 널리 사용되고 있다. 그러나 우수한 물성을 보유한 강재도 수소 환경 하에 장시간 노출되면 강재의 인장강도, 연성 및 인성 등의 물성이 저하되는 수소취성이 발생할 수 있다. 강재의 수소취성 현상은 주로 격자 내부, 전위, 결정립계와 같은 가역적 트랩사이트에서 수소가 쉽게 확산하면서 발생하게 된다. 그중 전위는 수소의 대표적인 가역적 트랩사이트로 수소에 의한 입계 균열의 개시와 전파에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 또 다른 대표적인 트랩사이트인 결정립계에서는 임계 농도 이상의 수소가 응집되면 금속 원자의 결합력 약화가 발생하여 결합력 저하설(hydrogen enhanced decohesion, HEDE)으로 잘 알려진 수소취성 메커니즘에 의해 균열 전파가 발생할 수 있다. 따라서 강재의 미세조직 특성이 달라지면 수소취성 거동이 변화할 수 있기 때문에 미세조직 인자와 수소취성 메커니즘 간의 상관관계를 연구하는 것은 중요하다. 본 연구에서는 템퍼드 마르텐사이트계 저합금강에 대하여 Ni의 함량과 템퍼링 온도를 달리하여 발생하는 미세조직 차이가 주요 수소취성 메커니즘의 변화에 미치는 영향을 분석한 뒤 in-situ 방식으로 수소주입 전후 저속변형률시험을 수행하여 수소취성 거동 변화를 평가하였다.

[수소3-5 | 17:55]

5천계-7천계 Cross-over Al 합금의 Zn/Mg ratio에 따른 수소 취성 저항성 분석 : 양대철 (고려대학교), 박재영 (한국표준과학연구원), Alireza Zargaran (포항공과대학교), 이혜인 (한국자동차연구원), 이창기, 송상윤 (고려대학교), 이민재, 김민상 (한국자동차연구원), 김세호 (고려대학교), 김세훈* (한국자동차연구원), 손석수* (고려대학교)

Keywords: 수소취성:알루미늄 합금:석출물:부식

시효 경화를 이용하여 고강도를 구현한 7천계 Al 합금은 항공, 우주 산업에 널리 쓰이고 있으나 다양한 화학적 환경에서 노출될 때 부식 및 수소에 의한 취성 저항성이 낮은 것으로 알려져 있다. 최근 7천계 합금에서 Zn/Mg ratio를 조절하거나 열처리를 통해 T phase 형성시켜 부식 및 수소 취성 저항성을 증가시킨 결과가 보고되었으나, 이에 대한 정확한 메커니즘은 밝혀진 바가 없다. 본 연구는 Zn/Mg ratio 조절을 통해 5천계와 7천계 Al 합금의 중간 조성을 가지는 Cross-over alloy를 설계하였고 T phase 분율에 따른 수소 취성 메커니즘을 규명하고자 한다. 해당 합금에서 전기화학적인 방식으로 수소를 주입한 이후에 저속인장변형시험을 진행하여 수소 취성 저항성을 평가하였으며, 환원 반응에 의해 생성된 부식 균열이 내부에 주입된 수소에 의해 전파하는 양상에 대해 다각도로 분석하였다. 본 연구를 통해 부식 및 수소 취성에 대한 T phase의 역할 규명은 해당 석출물을 활용한 새로운 고강도/내수소취성 Al 합금 설계를 하는데 기여를 할 수 있다.

[수소3-6 | 18:10]

The role of solute elements in Mg_2Ni-based hydrogen storage alloys: A first-principles study : min seok Yoon and Won-Seok Ko* (Inha Univ.)

Keywords: Hydrogen storage alloys, Mg_2Ni alloy, Density Functional Theory, Metal hydrides

Hydrogen storage alloys are crucial for the hydrogen economy. Mg-based alloys are promising due to their high storage capacity, lightweightness, and economic feasibility. However, their high thermodynamic stability hinders practical use due to dehydrogenation difficulties. Mg alloys combined with low hydrogen affinity elements, like Mg_2Ni-based alloys, have been studied to overcome this, but challenges remain. This study used first-principles density functional theory calculations to explore the effect of ternary solute elements on the dehydrogenation performance of Mg_2Ni-based alloys. We analyzed enthalpy and volume changes upon the hydrogenation reaction (Mg_2Ni to Mg_2NiH_4) considering various solute elements at different occupation sites. We also examined the physical origins of the effect of selected solute elements by analyzing the change in the bonding characteristics. The results can guide the derivation of new alloying conditions to enhance the utilization of Mg_2Ni-based hydrogen storage alloys.

[수소3-7 | 18:25]

TiC 입자 형성에 따른 TiFe 수소저장합금의 저온 초기 수소화 및 사이클 특성 : 황규빈 (한국과학기술연구원, 성균관대학교), 하태준 (한국생산기술연구원), 김윤석 (한국과학기술연구원, 성균관대학교), 이영수 (한국과학기술연구원), 심재혁* (한국과학기술연구원, 성균관대학교)

Keywords: 수소저장소재, SEM, EBSD, EPMA

TiFe 합금은 높은 부피저장밀도와 상대적으로 저렴한 원소의 사용으로 차세대 수소저장합금으로 주목받고 있다. 하지만 공기 중에서 형성되는 치밀한 표면 산화층의 영향으로 400 ºC 이상의 반복적인 고온 수소 노출을 통한 활성화 과정이 필요하여 상용화에 어려움을 겪고있다. 본 연구에서는 탄소를 다량 함유하고 있는 스크랩철과 타이타늄 합금철 등의 저순도 원료물질을 이용하여 초기 수소화 성능을 개선하는 방법을 모색하기 위해 TiFe 합금에 과량의 타이타늄과 탄소를 첨가하여 3.5, 7, 10 wt%의 TiC를 포함하는 TiFe 모델합금을 제작하였다. TiFe 기지내 형상된 TiC 입자의 영향으로 3.5, 7, 10 wt%의 TiC를 포함하는 TiFe 합금은 50 ºC의 낮은 온도에서 각각 최대 1, 1.4, 1.6 wt%까지 활성화 되었으며, 수소 흡방출 사이클 반복 실험 후에도 수소저장 특성이 유지되었다. X-선 회절실험과 SEM-EBSD, EPMA를 이용하여 결정구조를 확인하고 미세조직을 살펴보았으며, 100 회까지 사이클 실험을 진행하였다. 사이클에 의한 수소저장특성 변화를 관찰하기 위해서는 사이클 전, 중, 후 PCI(Pressure-Composition-Isotherm) curve를 측정하였고, 수소화 과정에서의 표면 변화를 SEM으로 관찰하였다.

[수소3-8 | 18:40]

머신러닝을 이용한 AB_2계 수소저장 합금의 PCT 곡선 예측 : 진시원 (한국과학기술연구원, 연세대학교), 변지은 (한양대학교), 이영국 (연세대학교), 심재혁* (한국과학기술연구원)

Keywords: 수소저장 합금, 압력-조성-등온 곡선, 머신러닝, 딥러닝

다양한 청정 에너지원인 수소를 저장하는 방법 중 하나인 AB2계 수소저장 합금은 상온에서 가역적으로 수소를 저장할 수 있어 잠수함이나 지게차의 연료전지에 수소를 공급하는 용도로 사용되고 있다. 본 연구에서는 머신러닝을 활용하여 수소저장 합금의 수소저장 특성을 나타내는 PCT 곡선을 예측하고자 한다. 약 30여 개의 10-15g 합금 시료들이 아크 버튼 멜팅을 이용하여 합성되었으며, SEM-EDS 정량 분석을 통해 일관된 조성 데이터를 확보하였다. 또한, Sivert-type 장비를 이용하여 수소 저장 특성 데이터를 확보하였다. 확보된 데이터는 여러 머신러닝 및 딥러닝 모델을 사용하여 학습시켰으며, 이를 통해 PCT 곡선을 예측하였다.

[수소3-9 | 18:55]

A thermodynamically consistent hydrogen embrittlement model: theory, implementation and validation : Geonjin Shin, Jinheung Park (Seoul National University), Kijeong Kim, Seungchae Yoon, Hyejin Kim (Hyundai-Steel Company), and Myoung-Gyu Lee* (Seoul National University)

Keywords: Hydrogen embrittlement, Thermodynamics, Fracture, Finite element modeling

This study presents the development of a hydrogen embrittlement modeling framework that enables predicting ductile to brittle transition in fracture behavior. The new finite element (FE) formulation is developed based on thermodynamic theory, which is implemented using the user-defined (Finite) element, UEL subroutine in ABAQUS. The primary features of the developed model are summarized as follows. Firstly, distinct yield functions can be formulated for plasticity and damage, allowing each mechanism to operate independently. This approach enables damage by hydrogen to occur in both elastic and plastic states. Secondly, the model integrates the damage mechanics, mechanical deformation, and hydrogen diffusion, in which all associated constitutive equations are derived from thermodynamic principle. The integration results in a thermodynamically consistent multi-physics model. Moreover, a gradient-extended damage model is employed to address the issue of mesh dependency in the coupled damage mechanics. Finally, for the validation of the developed modeling procedure, the hydrogen diffusion near a stressed crack-tip is simulated and compared to the analytical solution. Also, the experimentally observed transition of fracture from plastic to elastic region with increased hydrogen concentration is successfully explained by the proposed FE model.

[전산1-1 | 09:00]

Integrated Finite Element Analysis and Deep Learning for Microstructure Design in Zn-Al-Mg Alloys : Khushahal Thool*, Preetham Alluri, Ki-Seong Park, Wi-Geol Seo, and Shi-Hoon Choi* (Sunchon National University)

Keywords: ZnAlMgY wire:Multiphase Deformation:Machine Learning:Finite Element Analysis:Cracking Behaviour

The Zn-Al-Mg (ZAM) alloy wires are renowned for their superior mechanical strength, corrosion resistance, and electrical conductivity. However, their susceptibility to cracking due to microstructural heterogeneity presents a significant challenge in their development. Therefore, it is imperative to develop methodologies that can elucidate the influence of microstructural characteristics on mechanical properties to facilitate the optimization of ZAM alloy compositions. This study presents a novel integrated approach that combines finite element analysis (FEA) and deep learning using convolutional neural networks (CNN) to investigate the relationship between microstructural heterogeneity and ductility in extruded ZAM alloy wires. A specialized machine learning (ML) model—a UNet-based CNN architecture with a ResNet-34 backbone—has been rigorously trained on a comprehensive dataset of extruded ZAM microstructures. A continuously updated database is constructed with segmentation and morphological features derived from each image. Additionally, a custom-developed meshing algorithm converts the ML model's segmentation results into a format compatible with ABAQUS for subsequent FEA. An indicator of the material's ductility is then extracted from each simulation and incorporated into the database. This enriched dataset enables the training of advanced neural network models to establish robust correlations between morphological attributes and ductility predictions, thereby advancing the understanding and development strategies for ZAM alloys.

[전산1-2 | 09:15]

Incorporating the Electronic Temperature Effect in Classical Molecular Dynamics Calculations of Metal Uranium Using Machine Learning Potentials : Jae-Hyuk Kim and Takuji Oda* (Seoul National University)

Keywords: Metallic Uranium, Molecular Dynamics, Machine Learning Interatomic Potentials, Moment Tensor Potential

Metallic uranium (U) is being considered as the fuel for Sodium fast reactors (SFRs) instead of conventional oxide fuel thanks to its superior properties such as higher thermal conductivity and capability for higher burnup. Understanding the structural, mechanical, and thermodynamic properties of U is crucial for the safety assessment of metallic U fuel in SFRs. However, direct experimental measurements are challenging due to the radioactive nature of U. In this regard, computational approaches, especially classical molecular dynamics (MD) simulations, offer a viable alternative for investigating various properties of U. Moreover, recent advancements in machine learning interatomic potentials (MLIPs) have significantly enhanced the accuracy of classical MD simulations, approaching that of density functional theory (DFT) calculations. Meanwhile, a recent study pointed out the significance of the electronic temperature effect when simulating U. However, this effect, which is critical in 5f-electron systems where the narrow valence band is adjacent to the Fermi level, has not been considered in classical MD studies so far. Furthermore, the impact of the electronic temperature effect on different phases of U, namely α-, β-, and γ-U, has not been investigated. In this study, we introduce a method to incorporate the electronic temperature effect in classical MD simulations of U by utilizing the moment tensor potential (MTP), a type of MLIP. We constructed a primary MTP that depicts the vibrational contribution in energy at electronic ground states and an auxiliary MTP specifically trained to account for the electronic temperature effect. Although the β phase seems not to manifest spontaneously from other phases even by including the electronic temperature effect, our results demonstrate that the auxiliary MTP could significantly improve the phase transformation temperature predictions in MD simulations to match the experimental results compared to using the primary MTP alone: αàγ and γàliquid phase transformation temperature were improved by 100-200 K. In addition, the electronic temperature effect was found to have the most substantial impact on γ-U, followed by β- and α-U.

[전산1-3 | 09:30]

UO2-Cs 기계학습 퍼텐셜 제작 및 세슘 확산 거동 시뮬레이션을 통한 물성 파악 : 김지우 (한국과학기술원(카이스트)), 김재준 (한국원자력연구원), 류호진* (한국과학기술원(카이스트))

Keywords: 기계학습 퍼텐셜, 사고저항성핵연료, 분자동역학 시뮬레이션션

본 연구에서는 UO2 시스템 안에서의 세슘 확산 거동을 분석 가능한 기계학습 퍼텐셜을 제작, 기 존 UO2-Cs 시스템 연구 결과와의 비교를 진행하여 사고저항성 핵연료 (Accident Tolerant Fuel, ATF) 연구를 위한 기초 퍼텐셜 및 데이터를 구축하였다. 사고저항성 핵연료는 원전의 비상냉각 기능이 상실된 이후에도 사고의 지연을 위해 소결체의 변형, 파괴 및 핵분열 물질의 방출을 억제할 수 있는 핵연료로, 최근 전세계적인 원전 정책의 변화와 함께 상용화의 중요도가 증가하여 실 험부터 시뮬레이션까지 다양한 각도에서 연구가 진행되고 있다. 그러나 실제 UO2를 사용하는 실 험은 원소 특유의 위험한 방사성 성질과 자원의 희귀성, 높은 단가 때문에 도전적인 편이다. 따라 서 현재 관련 분야 내에서는 보다 저렴하고 안전하며 진입장벽이 낮은 컴퓨터 시뮬레이션을 활용 한 연구가 활발히 수행되고 있다. 퍼텐셜 제작은 UO2 내 세슘 확산 거동을 보다 실제적으로 모사하기 위해 큰 스케일 영역으로 계산을 확대할 수 있는 효과적인 방안 중 하나이다. 지금까지 UO2 퍼텐셜은 다양한 방식으로 제작 되어왔으나 이는 보통 순수 UO2 시스템에 관련된 퍼텐셜 위주이며 핵분열 물질, 특히 세슘이 포 함된 시스템에 특화된 퍼텐셜은 아직 연구된 바가 거의 없다. 이번 연구에서 제작된 기계학습 퍼 텐셜은 산화물 데이터를 높은 정확도로 얻을 수 있는 DFT+U를 기반으로 제작되었으며, 고온에서 의 열팽창 거동 및 UO2 구조 내 세슘의 확산거동을 높은 정확도로 모사, 관찰할 수 있다는 장점 을 가진다. 또한 해당 퍼텐셜은 UO2-Cs 시스템의 전기적, 기계적 특성에 대해서도 모사 가능한 것으로 확인되었다. 직접 제작한 퍼텐셜 파일을 기반으로 얻은 UO2의 기본 구조 특성 분자동역학 시뮬레이션 결과는 DFT 시뮬레이션 결과와 높은 일치율을 보였으며, 타 문헌의 데이터와 비교하였을 때도 유사한 결과를 나타냈다. 이는 해당 퍼텐셜 파일이 고온 내 UO2 소결체 변형 및 세슘 확산 시뮬레이션 을 진행하기에 적합함을 나타낸다. 제작된 퍼텐셜은 사고저항성 핵연료 소결체의 특성 및 상용화 가능성을 평가하는 시뮬레이션을 위해 다방면으로 활용 가능할 것으로 보인다.

[전산1-4 | 09:45]

제일원리계산 및 기계학습 기반 γ-Fe 결정립계 내 합금원소의 결정립계 편석 에너지 예측 : 이호, 김상태* (한양대학교)

Keywords: 전산재료과학, 기계학습, 철계 금속

γ-Fe는 오스테나이트계 스테인리스강을 구성하는 철계 금속의 준안전상 결정구조로, 상온에서의 기저 상태는 α-Fe이다. 기존의 분자동역학 계산 데이터를 학습하여 준안정상 결정구조를 갖는 물질의 결정립계 편석 에너지를 예측하는 기계학습 모델의 개발은 기저상태로의 상전이 및 원자 간 상호작용에서 전자 구조의 영향을 반영하지 못하는 한계를 갖는다. 그러나 준안정상 물질의 결정립계 내 편석 경향성을 이해하는 것은 스테인리스강 등의 합금 개발 과정 개선하는데 중요한 요소이다. 본 연구에서는 밀도범함수이론을 활용한 Vienna Ab Initio Package (VASP)를 이용하여 γ-Fe 기반의 4개 결정립계를 모델링 하고, 12종의 전이금속 치환을 모사하는 502개의 편석 에너지 계산 및 치환 위치의 특성 정량화를 수행했다. 합금 원소가 치환되지 않은 결정립계에 대한 정보만으로 원소 별 편석 에너지를 예측하기 위해, 제일원리 계산을 통해 생산된 학습데이터 및 gradient boosting 알고리즘을 적용하여 기계학습 모델을 구성했다. 학습된 기계학습 모델은 γ-Fe 기반 23개 결정립계 구조에서의 4908개 편석 에너지를 예측하고, 실험적으로 보고된 스테인리스 합금 내 합금 원소의 결정립계 편석 현상과 상대적인 편석 경향성이 일치함을 확인했다. 합금 원소로 치환되지 않은 결

정립계 구조만을 학습하여, 합금 원소의 결정립계 내 편석 경향성을 예측하는 기계학습 모델은, coincidence site lattice 모델에서 무질서도가 높은 결정립계의 편석 현상을 제일원리 계산을 통해 모델링할 수 있게 하여, 더 일반적인 결정립계 편석 경향성 예측에 기여할 것으로 기대된다.

[전산1-5 | 10:00]

Highly reliable and large-scale simulations of promising argyrodite solid-state electrolytes using a machine-learned moment tensor potential : Kim Ji Hoon and Lee Sang Uck* (Sungkyunkwan University)

Keywords: Solid-state electrolyte, Argyrodite, Grain boundary, Machine learning, Moment tensor potential

The high ionic conductivity of argyrodite makes it an attractive candidate for solid-state electrolytes (SSEs) in all-solid-state Li-ion batteries (ASSBs). Although great effort has been devoted to using ab initio molecular dynamics (AIMD) to evaluate ionic conductivity and elucidate the Li-ion diffusion mechanism of argyrodite-based SSEs, limitations in system size, simulation temperatures, and time associated with AIMD make accurate predictions and analysis of Li-ion diffusion challenging. Here, we present a reliable, large-scale computational approach to realistic simulation of SSEs in the bulk and at the grain boundary (GB) based on moment tensor potentials (MTPs) trained at the van der Waals optB88 level of theory. MTPs enable sufficiently large-scale and long-time simulations that reflect all possible configurational disorder of experimental crystal structures and provide accurate ionic conductivities that are close to values measured experimentally in halogenated Li-argyrodite (Li_6PS_5X [X = Cl, Br, I]). Our simulations show that the vibrational motion of a PS_4 polyhedron has a positive effect on ionic conductivity. We also developed an accurate MTP using an active-learning approach to exploring Li-ion diffusion at the GB in polycrystalline SSEs. Simulations of the molecular dynamics of large Σ5[100](021) (>10,000-atom) GB models reveal that Li-ion accumulation around the GB region retards ionic conductivity and extends into an interior region approximately 20 Å from the GB interface. This work provides a practical approach to realistic large-scale and interfacial GB simulations that are otherwise inaccessible through ab initio calculations by developing accurate machine-learned MTPs.

[전산2-1 | 10:25] 조청강연

AI 기반 소재 개발 : 이동화* (포항공과대학교)

Keywords: AI, 소재개발, 기계학습, 인공지능

최근 컴퓨터 기술의 발전과 이를 활용한 효율적인 연산 방법들의 개발은 컴퓨터 기반으로 소재의 거동을 이해하고 예측하는데 활용됨으로써 소재 연구에 혁신을 불러왔다. 이러한 연구 방식들은 기존에 적립된 이론적인 모델을 활용하여 다양한 변수들에 의해 나타나는 소재 거동의 변화를 예측하는 방식으로 진행된다. 하지만 이러한 연구는 소재의 공정 단계에서 나타나는 변수들을 모두 반영하기 힘들고 따라서 인공지능 기법들을 활용하여 이러한 한계를 극복하려는 시도들이 다양하게 진행되고 있다. 기계학습은 데이터내에 숨어있는 다차원 비선형적 관계들을 찾아내는 기법으로, 이를 활용해 소재의 연구개발 단계에서 나타나는 다양한 변수들과 소재의 성능 간의 상관관계를 찾을 수 있다. 따라서, 기계학습을 활용하여 소재의 조성 및 공정 조성변수들이 소재의 물성 및 성능에 미치는 영향을 심층적으로 분석하고 이해함으로써 소재의 연구개발을 가속화할 수 있다. 이 연구에서는 최근 우리 연구실에서 진행된 기계학습을 활용하여 소재 연구개발을 진행하고 있는 사례들을 소개하도록 하겠다.

[전산2-2 | 10:50] 조청강연

Exploring Surface Structure and Dynamics of Bismuth Vanadate ($BiVO_4$) Photoelectrodes: Insights from Machine Learning Molecular Dynamics :Yonghyuk Lee (University of California Los Angeles) and Taehun Lee* (Jeonbuk National University)

Keywords: Machine learning potentials, Oxides, Interfaces, Computational materials science

This study provides a comprehensive investigation into the surface structure and dynamics of bismuth vanadate ($BiVO_4$) photoelectrodes. Combining the active-learning workflow with the actual surface exploration process, we efficiently train machine learning potentials and explore the thermal ensemble of the state of $BiVO_4$(010) surfaces, predicting stable configurations under Bi- and V-rich photoelectrochemical conditions. Finally, through dielectric-dependent hybrid functional molecular dynamics, we analyze the dynamical properties of predicted surface structures: explicitly observing (in)direct proton transfer and water dissociation, and predicting ensemble band offsets crucial for photoelectrochemical performance. Our findings finally demonstrate that the reconstructed Bi-rich surfaces catalyze water dissociation in distinct ways. Furthermore, our theoretical predictions are compared to experimental observations under Bi- and V-rich conditions, contributing to a comprehensive understanding of $BiVO_4$ photoelectrodes.

[전산2-3 | 11:15] 조청강연

Theoretical Investigation of the Origin of Voltage Hysteresis in Disordered Rocksalt Cathodes : BYUNGHOON KIM* (Sungkyunkwan university)

Keywords: DFT calculations, MLP, Li-ion battery, Cathodes

Lithium-rich cathodes are regarded as promising energy storage materials due to their high energy densities. However, voltage hysteresis presents challenges to maximizing their energy efficiency and practical implementation. Voltage hysteresis has generally been associated with transition metal migration and oxygen dimer formation within the structure. To understand the contribution of specific

structural disorders to voltage hysteresis, one needs to carefully consider the kinetics of the formation and recovery of structural disorders. However, attempts have been made to directly associate the observation of structural disorders with the extent of hysteresis without meticulous consideration of the kinetics of structural changes, leading to an ongoing debate over the origin of hysteresis. In this work, we clarified the mechanism by which oxygen dimerization and transition metal migration induce voltage hysteresis using lithium-rich disordered rocksalt cathodes as a model compound. We identified the type of structural transformations that occur at an exceptionally rapid rate, potentially saturating during room-temperature ab-initio molecular dynamics simulations lasting several hundred picoseconds. This clarification indicates that the formation of certain structural disorders is not always directly linked to hysteresis. Furthermore, we confirmed a correlation between oxygen dimerization and transition metal migration, demonstrating their mutual promotion. This correlation between cation disorders and anion disorders was shown to lead to structural relaxations during charging and structural irreversibility during discharging, both ultimately resulting in hysteresis. Our work provides a clear mechanistic understanding of how structural disorders induce voltage hysteresis in lithium-rich cathodes, thereby reconciling the debate over the cause of hysteresis.

[전산2-4 | 11:40]

How graph neural network interatomic potentials extrapolate to untrained configurational domains : Sungwoo Kang* (KIST)

Keywords: Machine-learned potential, Machine learning potential, Graph neural network, Foundation model, Neural network potential

Machine-learned interatomic potentials (MLIPs), machine learning models that predict the energies of atomic configurations based on reference quantum mechanical calculations, have attracted significant attention due to their speed, linear scalability, and higher accuracy. Early MLIP models typically relied on input descriptors based on the local atomic environment to predict energy. Recently, advances in graph neural network interatomic potentials (GNN-IPs) have demonstrated notable improvements in accuracy, data efficiency, and transferability over descriptor-based models. Remarkably, GNN-based universal interatomic potentials are often trained on crystal geometries, but exhibit exceptional extrapolative behavior toward untrained domains, such as surfaces or amorphous configurations. Despite these advancements, the origin behind this extrapolation capability are not yet fully understood. In this talk, I will briefly outline the recent developments in MLIP models and provide a theoretical explanation for the extrapolation ability of GNN-IPs. First, we demonstrate that GNN-IPs can capture non-local electrostatic interactions through the message-passing algorithm, as validated by tests on a toy model and DFT data. Our results show that GNN-IPs accurately predict electrostatic forces in untrained domains, indicating that they have successfully learned the precise functional form of the Coulomb interaction. We propose that this ability to learn non-local electrostatic interactions, combined with the embedding nature of GNN-IPs, accounts for their exceptional extrapolation capability. Finally, we find that the universal GNN-IP, SevenNet-0, effectively infers non-local Coulomb interactions in untrained domains.

[전산3-1 | 13:00]

Investigation of Thickness Dependence in Crystallization of Thin Films Using Phase Field Modeling : Jung In Park, Yongwoo Kwon*, and Hwanwook Lee (Hongik Univ.)

Keywords: Polycrystalline thin film, thickness dependent crystallization, phase-field method, grain growth.

In this study, the relationship between film thickness and grain size in polycrystalline thin films was investigated both experimentally and theoretically. We employed the phase field method to simulate solid-phase crystallization. Poly-germanium films with thicknesses of 20nm and 40nm were prepared through solid-phase crystallization, and their grain sizes were obtained by analyzing X-ray diffraction(XRD) patterns. By calibrating all model parameters, particularly the densities of heterogeneous and homogeneous nuclei, we successfully reproduced the experimental trends with phase field simulations. Additionally, we analyzed the thickness dependence of grain size through various simulation conditions, revealing that this dependence can be explained by the differences in growth velocities between 2D and 3D grains. We then applied the conditions that showed a thickness dependence of grain size to macaroni-shaped thin films. We confirmed that the grain size increases with film thickness in the macaroni-shaped films, as observed in planar films.

[전산3-2 | 13:15]

Formation of the intergranular hydride in zirconium cladding using phase-field modeling : Wooseob Shin and Kunok Chang* (Kyung Hee University)

Keywords: Intergranular Hydride, Phase-Field Modeling, Zirconium, Grain Growth, Nucleation and Growth

Zirconium is widely used as fuel cladding in nuclear reactors due to its low neutron absorption cross-section, favorable mechanical properties, and corrosion resistance. However, during reactor operation, hydrogen is produced from the chemical reaction between the zirconium cladding and water. The low terminal solid solubility of hydrogen in the cladding, combined with decreasing temperature, causes zirconium hydride to precipitate within the zirconium matrix. This hydride formation degrades the integrity of the cladding, making it brittle and prone to cracking. Hydrides can be classified into two types: intergranular and intragranular. Intergranular hydrides form along grain boundaries, while intragranular hydrides form within the grains. Intergranular hydrides are considered more detrimental because they can cause brittle fractures along grain boundaries, increasing the susceptibility of the cladding to failure under external stress. Local elastic strain and stress around grain boundaries are known to contribute to the nucleation of these hydrides, with

grain texture playing a critical role in their growth orientation. Despite this, the formation of intergranular hydrides is not well understood. To simulate hydride growth in polycrystalline Zirconium, we constructed a simulation framework that comprehensively considers the texture of the Zirconium matrix and the crystallographic orientation of the hydride. The morphology change of hydride was simulated simultaneously with the evolution of grain structure, the effect of matrix Zirconium texture on hydride microstructure was analyzed, and the influence of grain boundaries on hydride microstructure change was quantitatively evaluated through elasticity and solute segregation near grain boundaries.

[전산3-3 | 13:30]

Effect of nonlinear elasticity on microstructure evolution behavior using phase-field method : Jeonghwan Lee and Kunok Chang* (Kyung hee university)

Keywords: Phase-field method, Nonlinear elasticity, Microstructural evolution

The elasticity of materials is important because it is one of the factors that influence the microstructural evolution behavior. The elasticity affects the morphology of the microstructure, and the microstructure determines the mechanical performance of the materials. Therefore, understanding elasticity is necessary to predict system behaviors that affect the structural integrity of materials. To understand the elastic effect on materials, Cahn and Larche proposed an analytic model for coherent equilibrium and analyzed the elastic effect on the phase equilibria in a binary alloy. However, previous studies have been limited to linear elasticity based on Vegard's law, which assumes that the lattice changes linearly along with the composition. In reality, the lattice parameter varies nonlinearly with the composition of a binary alloy. Moreover, to predict the system, it is important to consider not only the composition at the equilibrium state but also the morphology change due to elasticity in the non-equilibrium state. Therefore, simulations that comprehensively consider the morphological changes and composition are necessary. To observe the effect of nonlinear elasticity on the microstructural evolution behavior, we conducted phase-field modeling, which describes a microstructure that includes changes in composition and morphology throughout the whole system. Most phase-field models which simulate phase transformation in binary alloys employ linear elasticity as described by Vegard's law. We simulated the phase-field model in a binary system with nonlinear elasticity using Taylor approximation and analyzed the elastic effect on the microstructural evolution behavior.

[전산3-4 | 13:45]

A study on the microstructural evolution of the metallic thin films during the deposition using a Monte Carlo Potts model : jihye lee and Sukbin Lee* (Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST))

Keywords: Monte Carlo Potts model:thin film deposition:microstructural evolution:surface energy and strain energy anisotropy:texture

The microstructural evolution of the deposited thin films is studied using a Monte Carlo Potts model proposed here. First, solid monomers are deposited on a substrate. Then, the microstructure evolves via two distinct spin-dynamics: 1) “spin exchange” mechanism to mimic the material – vacant site exchange diffusion, and 2) “spin flip” mechanism to simulate grain growth. It is found that the microstructural characteristics such as initial grain (or nuclei) density, grain size, grain shape anisotropy, and texture, vary significantly with the deposition rate, the surface energy and strain energy anisotropy, and the initial kinetic energy of the deposited monomers. The model is explained in detail, first. Then, as an examplary case, the properties of a hypothetical cubic fcc crystal are assumed for the deposited monomers. It is found out that the results obtained from the proposed model follow what the existing theories and experiments have reported.

[전산4-1 | 14:10] 초청강연

Paradoxical Effect of Thiourea on Nickel Sulfide Catalysts as a False-Positive and Promotor for Electrochemical Ammonia Synthesis : Min-Cheol Kim* (Sookmyung Women's University)

Keywords: Electrocatalyst, DFT, Ammonia Synthesis, Thiourea, Nickel Sulfide

Electrochemical nitrogen reduction reaction (NRR) is an environmentally friendly process for ammonia synthesis, especially when combined with renewable energy sources like photovoltaics. Unfortunately, the development of an effective and selective NRR electrocatalyst that can operate in ambient and aqueous conditions is far from reality due to the notoriously strong N-N triple bond. In this presentation, we report an unusually high ammonia production rate and Faradaic efficiency (F.E.) for NiS electrocatalysts synthesized with thiourea (TU) precursors. Through joint experimental-theoretical study, we demonstrate the paradoxical catalytic effect of surface TU residue as a false positive from TU-derived thiocyanate reduction and a promoter via the generation of catalytically active carbon sites originating from the TU reduction on the NiS surface. TU reduction substitutes an S atom to a reactive C atom with fewer valence electrons, facilitating a more facile NRR pathway. This study presents a new possibility for NRR catalysts based on metal-nonmetal compounds by nonmetal dopants with fewer valence electrons to create new catalytically active sites.

[전산4-2 | 14:35] 초청강연

Computational Chemistry for Materials Innovation: From Design Principles to Synthesis : Dong Yeon Kim* (Jeonbuk National University)

Keywords: Energy Materials, Computational Screening, Electrocatalyst, Computer-aided Design

As a result of recent climate challenges, the demand for clean energy materials has significantly increased. However, the candidate space for these materials is expanding rapidly, and the resulting products are too complex to be effectively interpreted at a laboratory-scale. To address these challenges, first-principles calculations are becoming increasingly attractive in the field of materials science. These calculations can be performed rapidly in virtual environments rather than through experiments, and the analysis of electronic structures enables the exploration of the origins of material activity. In this presentation, I will discuss a design-synthesis strategy based on theoretical insights, modeling, and computational screening. This approach provides new perspectives on the design of innovative materials.

전산4-3 | 15:00]

Enhancing electrocatalyst performance by engineering boron dopants and tracing their evolution post-HOR :Su-Hyun Yoo* (Korea Research Institute of Chemical Technology)

Keywords: density-functional theory, dopants engineering, electrocatalyst, Pd surfaces

Fuel cells generate electricity from H2 and O2 without direct carbon emission. In anion-exchange membrane fuel cells, operating at high pH is an alternative to using large volumes of noble-metal catalysts at the cathode. However, the slow kinetics of the anodic hydrogen-oxidation reaction (HOR) hinders upscaling, despite promising catalysts. Utilizing the unexpected ingress of B into Pd nanocatalysts synthesized by wet chemistry we observe by controlling the B concentrations, we elucidate here its effects on the HOR activity. Also, we observe significant removal of B after the HOR reaction due to reduced stability of subsurface B dopants. We discuss our findings using ab-initio density-functional theory calculations of both H- and OH-adsorption on B-doped Pd surfaces and then suggest both mechanisms for incorporation and evolution of B dopants in Pd. These findings provide new insight into nanocatalysts engineering and design routes for Pt-free catalysts, as required in electrochemical energy conversion devices. 1) S.-H. Yoo, L. S. Aota, S. Shin, A. El-Zoka, P. Kang, Y. Lee, H. Lee, S.-H. Kim, B. Gault, ACS Energy Lett. 8, 3381 (2023) 2) S.-H. Kim, S.-H. Yoo, S. Shin, A. A. El-Zoka, O. Kasian, J. Lim, J. Jeong, C. Scheu, J. Neugebauer, H. Lee, M. Todorova, B. Gault, Adv. Mater. 2203030 (2022)

[전산4-4 | 15:15]

Exploring the origin of metastable hexagonal Ir catalyst with Re incorporation as a superior OER catalysts: A DFT study :Kwangsoo Kim (Korea Institute of Energy Research, Yonsei University), HyukSu Han (Sungkyunkwan University), and Byung-Hyun Kim* (Hanyang University ERICA)

Keywords: Density Functional Theory, Oxygen Evolution Reaction, Proton Exchange Membrane Water Electrolyzer

Proton exchange membrane water electrolyzers (PEMWE) is emerging as a promising technology for large-scale hydrogen production, owing to its advantageous operating characteristics such as high current density, hydrogen purity, and high-pressure operation. Despite these benefits, the overall efficiency of PEMWE systems is predominantly constrained by the performance of the anode electrode. This is due to the fact that the sluggish kinetics and limited durability of the electrocatalyst present substantial challenges. Currently, commercial PEMWE systems rely significantly on Ir-based catalysts to drive the oxygen evolution reaction (OER) at the anode in acidic conditions. However, the increasing cost and limited supply of Ir have necessitated the development of strategies to minimize Ir usage while improving catalytic performance. In this study, we introduce a highly efficient Ir-based OER catalyst with a metastable hexagonal structure synthesized by incorporating Re dopants. This catalyst exhibits superior catalytic performance with largely overwhelming the Ir mass activity and durability. In order to systematically understand the origin of the high catalytic activity of metastable hexagonal Ir and the role of the Re dopant, theoretical studies using the density functional theory (DFT) method have been carried out. DFT calculations demonstrated that Re doping facilitates the formation of metastable hexagonal Ir, which contributes to the remarkably enhanced OER activity compared to the conventional cubic Ir. In addition, it was found that the Re dopants in IrO2, which can be generated during the electrochemical reaction, donate electrons to the surroundings, thereby promoting the formation of Ir vacancies. The formation of these Ir vacancies is attributed to the reduction in charge-transfer energy, resulting in an exceptional OER performance.

[전산4-5 | 15:30]

Finding optimal MoC catalyst for hydrogen evolution via fine-tuned machine learning potential : Jinuk Moon and Jeong Woo Han* (Seoul National University)

Keywords: Hydrogen evolution reaction, Macine learning potential, Fine-tuning, Genetic algorithm, Molybdenum carbide

Hydrogen gas is emerging as one of the most promising technologies for sustainable development, replacing fossil fuels. While steam reforming is currently the most widely used method for hydrogen production, water electrolysis is considered the most viable approach for producing green hydrogen. However, achieving industrially applicable levels of water electrolysis performance has so far been limited to noble metal catalysts like Iridium (Ir). Recently, it has been discovered that metal carbide catalysts, composed of less expensive metals, exhibit excellent performance in water splitting, garnering attention as efficient and cost-effective HER catalysts. This study proposes an optimal metal/MoC catalyst by performing computational simulations with various metals deposited on Molybdenum carbide (MoC). Previous studies have

often modeled metal clusters on MoC surfaces using simple doping or small metal clusters, constrained by the scalability limitations of DFT simulations. In contrast, our research suggests a more realistic scale of metal/MoC catalyst modeling by employing machine learning potentials. We fine-tuned pretrained machine learning potentials with metal/MoC DFT data and optimized the structure of the most stable metal clusters for each element using a genetic algorithm. Additionally, most computational simulation studies have focused on the adsorption energy of a few active sites, using them as descriptors to represent the catalyst. Our research proposes a methodology to calculate the hydrogen adsorption energies across all sites using machine learning potentials and, subsequently, determine the overall activity by considering all active sites through a Boltzmann distribution approach.

전산5-1 | 15:55] Canceled

Cost-efficient and Accurate Band Edge Calculations of Semiconductor Heterostructures : Seungchul Kim* (Korea Institute of Science and Technology)

Keywords: DFT-1/2, heterostructure of semiconductors, band edges, PAO basis

We have demonstrated that the Slater's half occupation (DFT-1/2) method is capable of accurately calculating electronic structures of semiconductor heterostructures at a cost as low as LDA or GGA. This study includes band edges of four interfaces, line dipole induced by dislocation in $SrTiO_3$ crystal, and photo-absorption spectrum of real-sized ZnSe/ZnS quantum dots. The band offsets, particularly those of the valence bands, and the light absorption spectrum of 4.9 nm diameter ZnSe/ZnS core/shell quantum dot and the redshift due to the shell were accurately reproduced. The sizes of atomistic models were as large as up to 3,843 atoms, but the calculations could be performed without any technical difficulties on a small Linux cluster when the GGA-1/2 was implemented with a pseudo-atomic orbital (PAO) basis. Our study represents a highly realistic approach to studying the electronic structure of semiconductor heterostructures, as it allows for the relaxation of constraints in the size of the structural model while accurately predicting band edge positions.

[전산5-2 | 16:10]

다중 물리 시뮬레이션을 이용한 저항 메모리의 양극성 필라멘트 거동 해석 : 오진우, 정동명, 권용우* (홍익대학교신소재공학과)

Keywords: 저항메모리, 양극성 스위칭 모델, 전도성 필라멘트

저항메모리 시뮬레이션에서 가장 도전적인 부분은 전도성 필라멘트의 거동을 해석하는 것이다. 양극성(bipolar) 스위칭 모델의 경우, 필라멘트의 진화는 보통 스위칭 소재 내 음이온 공공(vacancy)의 형성, 소멸 및 이동에 의해 결정된다. 이 필라멘트 스위칭 소재를 좁은 구역으로 제한하면, 가능한 필라멘트의 경로가 제한되어 소자의 변동성이 감소하는 것이 실험적으로 확인되었다. 본 연구에서는 사전에 필라멘트 영역을 정의하지 않으면서 초기 결함 구성 및 편향 조건을 포함한 다양한 물리적 조건에 대한 필라멘트의 거동을 예측하고, 소자의 변동성이 감소하는 근본적인 원인을 살펴보고자 한다.

[전산5-3 | 16:25]

Assessment of the Performance of Thermodynamic Property Calculations by Classical Molecular Dynamics, Quasi-Harmonic Approximation and Path-Integral Molecular Dynamics : Chaeyeong Kim and Takuji Oda* (Seoul National University)

Keywords: Classical molecular dynamics, quasi-harmonic approximation, path integral molecular dynamics, thermodynamic properties, machine-learning interatomic potentials

Thermodynamic properties are essential in selecting and designing materials as they are directly related to the stability and performance of the materials. While experimental techniques to measure the thermodynamic properties are well established, atomistic simulations have also been widely utilized for their efficiency. For the calculation of vibrational terms, two methods have been widely used: quasi-harmonic approximation (QHA) and classical molecular dynamics (CMD). Each methodology has its inherent limitation, making it crucial to select an appropriate method according to a target system. Specifically, QHA fails to account for vibrational anharmonicity, while CMD does not consider nuclear quantum effects (NQEs). Although path integral molecular dynamics (PIMD) addresses both, its computational cost limits its applicability. In previous studies, it has been widely assumed without careful validation that QHA is accurate at low temperatures as anharmonicity is likely to be less significant and CMD is accurate at high temperatures as NQEs are likely to be minor. In this work, we assess the accuracy of QHA and CMD by comparing their temperature-dependent thermodynamic properties with those obtained from PIMD and experiments. We tested the performance for bcc–Na, fluorite Na_2O and hexagonal Na_2O_2 thereby covering metallic, ionic and covalent interactions. To minimize errors associated with potential models, we constructed a machine-learning (ML) moment tensor potential (MTP) using training data prepared by density functional theory (DFT) calculations. DFT calculations were performed using VASP with r^2SCAN functional and rVV10 nonlocal van der Waals correction. CMD, QHA, and PIMD were conducted using LAMMPS, PHONOPY and PIMD codes, respectively, with the identical MTP constructed through the MLIP package. Our calculations confirmed that QHA is sufficiently consistent with PIMD at low temperatures, while CMD aligns more with PIMD at high temperatures regardless of the system. Notably, even at room temperature, NQEs, mainly about the zero-point vibration, remain significant as evidenced by discrepancies between CMD and PIMD, particularly in fluorite Na_2O and hexagonal Na_2O_2. This study highlights the importance of careful treatment of NQEs even at room temperatures. It was also indicated that, thanks to the good accuracy and efficiency brought by ML potentials, PIMD coupled with ML potentials can be widely used in the thermodynamic property calculations as one of the most accurate calculation methods for all temperatures.

[전산6-1 | 16:50]
Molecular dynamics simulation study on the additively manufactured shape-memory alloys : jong hoon park and Won-Seok Ko* (InHa Univ.)
Keywords: Molecular dynamics simulation, Additive manufacturing, Shape memory alloy
Shape-memory alloys(SMAs) are functional materials used in various applications, and NiAl-based SMAs are particularly noteworthy for high-temperature applications. Because their high brittleness limits their processability, recent attempts have been made to produce parts using the additive manufacturing(AM) process. However, the effects of various processing variables on the formation of defects, phase transformation characteristics, and resulting performance of the shape-memory effect and superelasticity have not yet been clarified. In this study, we tackle this issue by performing atomistic simulations, such as the molecular dynamics simulations. Especially, we tried to examine the characteristics of NiAl-based SMAs by analyzing various processing variables, such as the scanning speed and power of the laser, cooling rate, and the composition of the SMA powder. We expect that the present results provide a relevant guidance for deducing optimal processing conditions to improve the overall performance of additively manufactured SMAs.

[전산6-2 | 17:05]
분자동역학 시뮬레이션을 이용한 Nanotwin 구조 금속의 변형 거동 분석 : 황제영, 고원석* (인하대학교)
Keywords: Atomistic simulation, Ni alloy, Nano twinned material, Modified embedded-atom method
Nanotwin(NT) 구조의 재료는 전통적인 강화 기구와 달리 강도와 연성이 Trade-off 현상을 보이지 않고 두 가지 모두 높은 물성을 가지는 구조이다. 이러한 특이성은 전위와 쌍정립계 간의 상호작용에 의한 것이며, 대표적으로는 쌍정립계가 전위의 전파와 움직임을 방해하는 것과 쌍정립계의 이주에 의한 변형이 특이한 물성을 가질 수 있게 하는 요인으로 추측되어져 왔다. 하지만, 이러한 거동은 결정립 내부의 쌍정 방향성, 쌍정립계 간격 등 다양한 변인들이 혼재되어 나타나는 미세조직의 복잡성으로 인해, 실험 연구에서 구체적인 메커니즘을 직접적으로 확인하기는 매우 난해하다. 본 연구에서는 분자동역학 시뮬레이션을 활용하여 NT 구조를 보이는 금속재료의 변형 메커니즘을 분석하였다. 특히, 결정립 크기, 쌍정 방향성, 쌍정립계 간격, 적층결함에너지 등 변형거동에 미치는 다양한 변인들을 통제하면서 물성을 좌우하는 지배적인 메커니즘을 규명하고자 하였다. 해당 매커니즘을 설명하기 위해 Ni 합금을 활용하였으며, 그 중에서도 낮은 적층결함에너지를 가지는 것으로 알려진 Ni-Mo을 활용하였다. 본 연구 결과를 통해, 추후 NT 구조가 가지는 강도와 연성의 동시적인 증가에 대한 추가적인 해석이 가능할 것으로 기대한다.

[전산6-3 | 17:20]
제일원리 계산을 통한 TiZrHfNb 고엔트로피 합금 내 Ordered Oxygen Complexes 형성과 그로 인한 취성 억제 메커니즘 분석 : 김선규, 도경연, 김신현, 김재선, 신용훈, 이동화* (포스텍(포항공과대학교))
Keywords: 고엔트로피 합금, 침입형 고용강화, 제일원리 계산, Ordered Oxygen Complex, Grain Boundary
탄소, 질소, 산소와 같이 침입형 원자를 첨가했을 때 나타나는 침입형 고용강화는 일반적으로 강도가 증가하고 연성이 감소하는 경향이 나타난다. 연성 감소의 주요 원인 중 하나는 침입형 원자가 결정립계(grain boundary)에 편석(segregation) 되어, 결정립계의 결합력(grain boundary cohesion)을 약화시킴으로써 입계 파괴(intergranular fracture), 취성파괴를 유발하는 것이다. 특히 산소 원자는 Nb, NbMoTaW 계열의 내화성 합금에서 결정립계의 결합력을 약화시켜 취성을 유발시키는 것으로 잘 알려져 있다. 그러나 TiZrHfNb 내화성 고엔트로피 합금에서는 산소를 첨가했을 때 나노스케일의 Ordered Oxygen Complexes(OOCs)가 형성되며, 다른 내화성 합금들과 달리 강도와 연성이 동시에 증가하면서 취성이 발생하지 않는다. 이러한 현상은 주로 합금 내 산소 원자의 위치나 이동과 관련이 있어 원자단위에서의 분석이 필요하지만 실험적으로 분석하기에 어려움이 많다. 본 연구에서는 원자 단위에서의 Ordered Oxygen Complexes 형성이 TiZrHfNb 합금의 취성을 어떻게 억제할 수 있는지를 이해하기 위해 제일원리 계산을 활용하여 Ordered Oxygen Complexes 형성과 이로 인한 산소의 결정립계 편석(segregation at the grain boundary) 변화를 분석하였다. 추가적으로 산소 대신 질소를 첨가했을 때의 계산 결과와 비교하여, Ordered Interstitial Complexes의 형성과 취성을 억제할 수 있는 조건에 대해 고찰하였다.

[전산6-4 | 17:35]
제일원리 계산을 통한 입계 편석이 마르텐사이트 강의 수소취성에 미치는 영향 분석 : 김신현, 이동화* (포항공과대학교)
Keywords: 마르텐사이트 강, 수소취성, 입계 편석, 제일원리
최근 자동차 및 항공 산업에서는 저탄소 친환경 소재의 개발을 위해 고강도 금속재료를 통한 경량화가 중요한 화제이다. 그러나 수소취성은 금속재료의 수명 단축을 야기시키며, 마르텐사이트 강과 같은 고강도 금속재료에서는 파괴인성을 크게 떨어뜨리는 심각한 문제이다. 이를 해결하기 위해 새로운 원소를 첨가하거나 입계 공학으로 입계의 분포를 조절하는 등의 연구가 진행되고 있다. 하지만, 수소는 매우 작고 가볍기 때문에 실험적으로 관찰하기 쉽지 않으며 연구에 많은 자원을 필요로 한다. 따라서 계산 시뮬레이션을 사용하여 수소취성의 메커니즘을 분석하는 방법이 병행되어야 한다. 이 연구에서는 제일원리 계산을 통해 마르텐사이트 강에서 발생하는 수소취성을 이해하고, 주로 연구되는 체심입방 구조의 수소취성과 차이를 분석한다. 또한, 첨가 원소의 입계 편석에 따른 수소취성 개선 방안을 제시한다. 계산에 사용된 입계의 원자구조는 CSL(Conincidence Site Lattice) 방법을 기준으로 시그마11이하의 구조와 KS(Kurdjumov-Sachs) 방향성 관계가 고려된 구조를 선택했다. 첨가 원소는 망간, 몰리브덴 등의 전이원소로 입계 편석에 의한 수소취성을 평가하기 위해 편석된 구조의 입계에너지와 편석된 첨가 원소에 의한 수소 결합에너지 변화를 계산했다. 이를 통해, 마르텐사이트 강에서의 수소취성에 대한 이해를 제공하고 수소취성을 개선할 수 있는 원소를 제시한다.

국가전략산업용 금속간화합물 심포지엄
Room 오디토리움, 10월 28일

[국전1-1 | 13:00] 초청강연

Ti기 및 Ni기 금속간화합물의 특성 및 실용화 연구 – 역사적 고찰 : 오명훈* (금오공과대학교 신소재공학부, (주)유니코글로벌)

Keywords: Intermetallic Compound, Gamma-TiAl, Ni3Al, Turbocharger wheel, Turbine blad

금속간화합물 γ-TiAl은 경쟁 재료인 Ni-기 초합금 및 Ti 합금과 비교해서 ① 강성, ② 고온 강도 및 ③ burn resistance면에서 상대적으로 우수한 특성을 나타내기 때문에 가혹한 환경에서 사용되는 제트엔진용 부품은 물론 상용자동차용 터보차저 로터 및 휠, 피스톤, 밸브 등의 부품소재로의 실용화가 진행되고 있는 등 경량 고온 소재로의 실용화에 큰 기대를 모으고 있다. 특히 최근에 엄격한 규제가 진행되고 있는 CO_2 저감을 위한 "Eco Material"로서의 역할이 다시 급부상되면서 미국, 유럽 및 일본뿐만 아니라 중국에서도 자동차 및 항공·우주용 부품에의 실용화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 한편 Ni3Al 금속간화합물은 일방향응고 및 냉간압연을 통해서 박판화가 가능하며, 이러한 박판 형태로 제조된 Ni3Al 합금을 수소생성용 마이크로리액터의 촉매 및 구조용 박판재로 동시에 적용할 수 있는 가능성이 제시되어서 크게 주목받고 있다. 본 발표에서는 최근 활발한 연구가 수행되고 있는 Ti-base 및 Ni-base 금속간화합물을 중심으로 이들 재료의 특성을 소개하고, 특히 자동차 및 항공기용 부품 소재로의 응용 분야 및 가능성에 대해서 국내에서 이미 발표된 연구진의 연구 결과를 중심으로 발표를 진행하고 또한 미국, 일본 등 관련 분야의 기술선진국 연구개발 동향을 소개한 후 세미나 참가자들과 함께 토론하고자 한다.

[국전1-2 | 13:25] 초청강연

Plastic Deformation Behavior of Hard Intermetallic Compounds Investigated by Micropillar Compression Method : Kyosuke Kishida* and Haruyuki Inui (Kyoto University)

Keywords: Hard materials, micropillar compression, dislocations, transmission electron microscopy

Hard intermetallic compounds have been widely used as strengthening phases in various metallic alloys mainly because of their extremely high strength, which is closely related to their complex crystal structures. In general, these hard materials exhibit quite brittle behavior at low temperature in bulk-scale mechanical tests, while they can be plastically deformed only at very high temperature above 1000 °C, which results in the serious difficulty in the identification of operative deformation modes. Recently, micropillar compression tests of single crystalline materials have been found to be useful for studying deformation behavior of brittle materials such as Si, GaAs at temperatures far below their ductile to brittle transition temperatures observed for bulk-sized specimens. We have systematically applied the micropillar compression method to various hard materials including transition-metal silicides, Laves phase, mu phase and sigma phase, and successfully confirmed that most of these hard intermetallic compounds are plastically deformable even at room temperature by the dislocation glide. In the presentation, recent results on room-temperature plastic deformation behavior of various hard and brittle intermetallic compounds investigated by the micropillar compression method combined with the atomic resolution STEM analysis of dislocation core structures and first-principles calculations of generalized stacking fault energy will be presented.

[국전1-3 | 13:50] 초청강연

Evolution of Processing Technology for TiAl Alloys : Seung Eon Kim*, Seong Woong Kim (Korea Institute of Materials Science), and Myung Hoon Oh (Kumoh National Institute of Technology)

Keywords: TiAl alloys, Processing, Directional solidification, Pack rolling, Casting

TiAl alloys have been intensively used in aircraft and automobile engine components such as low pressure turbine blades and turbocharger wheels owing to their low density, high specific strength, excellent creep resistance and good oxidation resistance. However, low room temperature ductility, low thermal conductivity and strong chemical reactivity cause poor formability and machinability and still make us difficult to use TiAl alloys widely. Over the past few decades, a great deal of effort has been made to develop suitable processing technology for TiAl alloys. In this presentaion, some of the achievements of the processing technology for TiAl alloys in KIMS will be reviewed. We have studied directional solidification and pack rolling process of TiAl alloys. The multi-oriented columnar microstructure of TiAl alloys was able to be obtained by a polycrystalline seed technique in directional solidification process. Successful fabrication of rolled sheets of TiAl alloys by up to 80% deformation was achieved. Rolling without cracking depends upon the process condition and starting microstructures. In addition, casting and additive manufacturing technology of TiAl alloys will be briefly presented as well.

[국전1-4 | 14:15] 초청강연

Fatigue-life Increase Resulting from Post-weld Tungsten Alloying into a Topmost Steel Joint Layer through Friction Stir Processing using a WC Tool : Kazuhiro Ito* (Osaka University)

Keywords: Fatigue strength, solid solution hardening, martensitic transformation, compressive residual stress

Friction stir processing (FSP) on weld toes of arc-welded high-strength steel joints was found to significantly increase the fatigue

strength. Among the reports was the first regarding alloying the topmost layer of the weld toes with supersaturated W and C, accompanied with the tool wear during FSP. This caused solid solution hardening, i.e., martensitic transformation, in the topmost layer of the weld toes, and it became more resistant to fatigue crack initiation. As tool rotational speed increased, Fe atoms diffused from the steel plate into the topmost WC-tool Ni-based binder regions. Subsequently, some of the WC particles in the topmost tool point reacted with the Fe atoms to form Fe_4W_2C, and those particles agglomerated above the tool/steel-plate interface, followed by formation of a thin layer. The intermediate layer was fragmented and decomposed into elements by FSP shear stress and friction heat, and alloying the topmost steel-plate layer formed by FSP material flow. Furthermore, compressive residual stress was applied to the alloyed topmost steel layer, although tensile residual stress is applied to the steel surface by conventional FSP. The compressive and tensile residual stresses were applied to the stir zone surface depending on the alloying contents and the related martensitic start temperature (Ms). The compressive residual stresses can be maximized at Ms of about 150°C due to the martensite transformation expansion near room temperature. Further decrease of Ms below 150°C resulted in applying tensile residual stresses and increasing volume fraction of retained austenite contributing fatigue-strength increase due to deformation induced martensite transformation.

[국전2-1 | 14:50] 초청강연

Overview of Microstructure and Mechanical Properties of Powder Metallurgy (PM) and Cast Beta Gamma Alloys : Dongyi Seo* (National Research Council of Canada)

Keywords: PM

Powder metallurgy (PM) beta-gamma alloys have been investigated to improve the processing capabilities over conventional gamma titanium aluminide (TiAl) alloys for hot section gas turbine applications. The state of research into a processing route and resulting mechanical properties for a beta-gamma alloys containing beta stabilizers such as Nb, Mo, and Mn is reviewed. For PM beta-gamma alloys, a multi-stage hot isostatic pressing (HIP) treatment followed by step-cooled solution heat treated (SCHT) and aging conditions are optimized to produce a fine-grained fully lamellar microstructure with fine continuous lamellae and limited beta phase growth at the colony boundaries. The aging treatments are carried out to precipitate interfacial beta phase at the lamellar interfaces. Joining processes through brazing for selected PM and cast beta gamma alloys are developed. Their post-joining heat treatments are carried out and optimized. Constant load creep and fatigue tests of the beta-gamma alloys are conducted to evaluate their mechanical properties at elevated temperatures. In this presentation, the mechanical properties of the PM beta-gamma alloys are compared as a function of the heat treatment conditions, microstructural features, and brazing conditions. In addition, mechanical properties of selected PM beta-gamma alloys are compared with ones of cast beta-gamma alloys.

[국전2-2 | 15:15] 초청강연

Development of TiAl alloys for gas turbine engine : Seong-Woong Kim* (Korea Institute of Materials Science)

Keywords: TiAl, gas turbine blade, alloy design, lamellar stability, process development

Research on the development of new TiAl alloys for high-temperature applications is introduced in this study. At KIMS, we have successfully developed new TiAl alloys that exhibit excellent properties at both room temperature and high temperatures. Particularly noteworthy is the alloy's exceptional oxidation resistance in the temperature range of 900 to 1000°C, achieved through the formation of a stable Al2O3 oxidation layer. The process development of casting, forging, spark plasma sintering (SPS), as well as 3D printing on the newly developed KIMS alloys is presented. Notably, we investigated the changes in microstructure and mechanical properties, such as tensile strength and creep, of KIMS alloys based on different processes. The results from testing and validating TiAl blades indicate that KIMS alloy can effectively function as a turbine blade above 900°C. Furthermore, we propose underlying mechanisms explaining the high-temperature strength of KIMS alloy, based on transmission electron microscopy (TEM) and scanning electron microscopy (SEM) observations. Finally, the operational testing of a micro gas turbine is currently under examination to confirm the feasibility of applying the new alloy in gas turbine engines

[국전2-3 | 15:40] 초청강연

항공엔진용 TiAl 합금 국산화 개발 : 이슬*, 송덕용, 오승철, 유주현, 주영규, 손인수 (한화에어로스페이스)

Keywords: TiAl, 항공엔진, 블레이드, 국산화

TiAl 합금은 1950년대 최초의 연구가 시작되었으며, 1970년대 우수한 크립특성, 내산화성 및 고온 물성으로 주목받기 시작했다. 이후, 2010년 초 최초로 항공기 경량화 및 연료효율 향상의 목적으로 엔진 부품에 TiAl 합금 저압터빈블레이드를 GEnx엔진에 적용하기 시작했다. 이후 2016년까지 약 190,000개의 블레이드가 보잉 787과 747-8에 적용되었다. 또한, Pratt&Whinteny의 GTF 엔진에 TNM 합금을 적용하여 양산하고 있지만, 국내 TiAl 합금의 항공엔진 적용사례는 전무하다. 최근 한화에어로스페이스는 타이타늄 합금을 적용하여, 항공엔진 부품의 국산화를 위한 연구개발을 활발하게 진행하고 있으며, 더 나아가 개발 난이도가 더 높고, 고온 물성이 뛰어난 TiAl 합금의 개발을 통해 항공엔진 소재 부품 국산화를 본격화 하고자 한다. 본 발표는 TiAl 합금의 적용 현황 및 국내 항공엔진 분야에서 한화에어로스페이스의 TiAl 합금 국산화 방향에 대해 소개하고자한다.

[국전2-4 | 16:05] 초청강연

The microstructure and mechanical properties of γ-TiAl alloy fabricated by laser powder bed fusion : Sung-Hyun Park, Ozkan Gokcekaya, and Takayoshi Nakano* (Osaka University)

Keywords: Laser powder bed fusion, Titanium aluminide, Microstructure, Mechanical properties

γ-Titanium aluminide (γ-TiAl) alloys, due to their low density, excellent creep resistance, and superior performance at high temperatures, have been recognized as an alternative to the superalloys currently used in the aerospace industry. In addition, metal-based additive manufacturing processes have received a great deal of attention for γ-TiAl alloys, as the manufacturing methodology promises unique microstructural features and has demonstrated its competitiveness in terms of mechanical properties compared to traditional manufacturing processes. However, the microstructure and mechanical properties of the γ-TiAl alloy fabricated by laser powder bed fusion (LPBF) have not been unexplored yet because of the high crack susceptibility and intrinsic brittleness of this material. Therefore, we have investigated not only the correlation between the effect of LPBF process parameters on the densification but also on the microstructure and mechanical properties in γ-TiAl alloys. As a result, we successfully achieved the highly densified γ-TiAl samples without the cracks using the LPBF process and revealed that the microstructural features such as phase morphology, volume fraction, and crystallographic texture were altered, which are closely related to energy density applied during the manufacturing process. Furthermore, the γ-TiAl samples fabricated by the LPBF process showed superior mechanical properties compared to those manufactured by traditional manufacturing processes. Therefore, we provide a feasible approach and fundamental insights into how to control the microstructure to enhance mechanical properties using the LPBF process for γ-TiAl alloys in this presentation.

[국전3-1 | 16:40] 초청강연

Shape Memory Properties of Multi-component B2 Intermetallic Compounds : Hee Young Kim* (University of Tsukuba)

Keywords: Shape memory alloys, Martensitic transformation, Intermetallic compounds

The maximum operating temperature of TiNi-based shape memory alloys is limited to about 350 K. Therefore, there has been a strong demand for shape memory alloys that operate stably at high temperatures in a wide range of industries, including automotive, home appliances, aerospace, and power generation. A number of alloy systems have been developed as high temperature shape memory alloys with martensitic transformation temperatures above 373 K. Among them, TiZrNi and TiHfNi, in which Zr and Hf are added to the Ti site of TiNi, and TiNiPt and TiNiPd, in which Ni is replaced by Pt or Pd, have been studied as the most promising candidates. However, the performance of shape memory alloys decreases significantly as the working temperature increases. This is because plastic deformation is easily introduced as the working temperature rises, and full shape recovery is not possible. Therefore, the main challenge is to achieve both high transformation temperature and high strength in order to operate stably at high temperatures. Recently, it has been shown that the design concept of multi-principal element alloys or high entropy alloys can be beneficial for the improvement of properties of shape memory alloys. In this presentation, in order to explore and optimize the alloy design strategy, several issues including transformation temperature, microstructure and shape memory properties in multi-component high temperature shape memory alloys will be overviewed.

[국전3-2 | 17:05] 초청강연

고강도 저영률 타이타늄합금의 개발현황 및 향후 과제 : 염종택*, 김재혁, 양준하, 이상원, 박찬희, 김재호, 홍재근 (한국재료연구원)

Keywords: 타이타늄합금

생체의료, 안경테, 웨어러블기기 등의 응용분야에서 타이타늄 소재는 낮은 탄성계수와 높은 강도에 대한 요구를 항상 받아왔으며, 이는 의료용 삽입재에서 문제 시 되고 있는 뼈와 삽입재 간의 탄성계수 차이로 인한 뼈의 퇴화현상, 즉 응력차폐(stress shielding) 효과를 최소화하거나 웨어러블기기 및 안경테 등에서 요구하는 고유연성(high flexibility)을 충족하기 위한 요구 특성이다. 초기 NiTi 초탄성합금에서 알러지 반응을 유발하는 Ni 원소를 제거한 Ni-free 초탄성합금을 개발하는 단계에서 Ti-Nb 이원계 합금에서 초탄성효과를 발견한 것을 시작으로 Ti-Nb, Ti-Zr, Ti-Mo계 합금 등 다양한 Ti계 초탄성합금이 개발되었으며, 이는 고강도 저영률을 가지는 타이타늄합금의 개발과 맥을 같이하고 있다. 그러나 지금까지 개발된 고강도 저영률을 가지는 타이타늄합금이 생체 의료분야에 적용된 사례는 극히 미미한 상황으로, 개발된 타이타늄합금을 적용할 수 있는 분야를 개척해 나가야 하는 현실에 직면에 있는 것이 사실이다. 따라서, 본 발표에서는 그간 개발되어 온 고강도 저영률 타이타늄합금의 개발 현황 및 적용분야에 대해 살펴보고 향후 개발 방향 등을 제시하고자 한다.

[국전3-3 | 17:30] 초청강연

Ti-Ni-Cu 형상기억합금의 가공성 개선 : 남태현*, 류연주, 김기성 (경상국립대학교)

Keywords: Ti-Ni-Cu alloys, B2 - B19 transformmation, $Ti(Ni,Cu)_2$ phase, Transforamtion hysteresis, Fracture strain

B2(Cubic) - B19(Orthorhombic) 마르텐사이트 상변태를 나타내는 Ti-Ni-Cu 형상기억합금은 Ti-Ni 합금에 비해 변태이력이 작고, 변태변형율이 비교적 크기 때문에 빠른 반응속도를 필요로하는 액츄에이터 소재로 주목을 받아왔다. 그러나 B2 - B19 변태를 안정적으로 일으키기 위해서는 Cu 농도가 10 at% 이상이 되어야 하고 Cu 농도를 증가시킬수록 변태이력이 감소하기 때문에 Cu 농도가 15 at% 이상인 Ti-Ni-Cu 합금이 적합한 것으로 알려져 있다. 그러나 Cu 농도가 증가하면 Ti-Ni-Cu 합금이 취성을 가져 소성가공이 불가능하여 액츄에이터에 적용되지 못했다. 본 연구는 Cu 농도가 15 at% 이상인 Ti-Ni-Cu 합금을 소성변형할 수 있는 합금설계기술과 열처리기술을 개발하기 위해 수행되었다. 소성가공 전 기지의

Cu농도를 일시적으로 낮추어 소성가공 한 후, 열처리를 통해 기지의 Cu농도를 다시 증가시켜 변태이력이 작은 B2 - B19 변태를 일으킬 수 있음을 입증하였다.

[국전3-4 | 17:45] 초청강연

Ti 합금 이종접합 계면의 미소 역학 물성 분석 : 최인철*, 오명훈 (금오공과대학교)

Keywords: 타이타늄, 이종접합, 접합 계면, 미소역학

티타늄 및 티타늄 합금은 낮은 밀도, 높은 비강도, 우수한 내식성으로 자동차 및 항공우주 산업에 적용되고 있는 우수한 금속재료이지만 높은 가격 및 상온에서의 낮은 성형성으로 인해 다양한 분야에 활용하는데 제한적이다. 하지만, 티타늄 및 티타늄 합금을 낮은 밀도, 우수한 성형성, 저렴한 가격의 알루미늄과 이종접합 함으로써 경량 구조 재료로 성능과 비용 사이의 균형을 맞출 수 있는 기대효과를 가져올 수 있다. 티타늄 합금과 알루미늄 합금의 이종접합 중의 하나인 클래딩 공정은 서로 다른 특성을 가진 각각의 금속을 열적 활성화에 의한 확산 기구를 통해 미세조직학적으로 연속적인 계면을 가진 하이브리드 소재 제작이 가능하며, 각 소재의 우수한 특성을 효과적으로 반영시킬 수 있다. 하지만 압연 클래딩 공정은 기계적 접합이기 때문에 불충분한 확산으로 인하여 다른 클래딩 공정에 비해 접합강도가 낮다는 단점이 있다. 그러므로 티타늄과 알루미늄을 압연을 통해 클래딩 공정을 시행할 경우 쉽게 박리가 일어나 낮은 연신율을 얻게 된다. 하지만, 압연을 통한 클래딩 공정으로 제조된 티타늄, 알루미늄 재료를 후열처리를 함으로써 접합강도 및 연신율를 상승시킬 수 있다. 이와 같은 이종금속간의 접합으로 제조된 하이브리드 소재의 신뢰성을 확보하기 위해서는 티타늄과 알루미늄 각 소재에 대한 물성 분석뿐만 아니라 접합계면에서의 물성에 대한 이해도 충분히 이루어져야 한다. 특히, 후열처리를 수행하는 온도 및 시간 등의 공정 조건에 영향을 받는 접합 계면의 미세조직과 기계적 물성 사이의 상관관계 이해가 필수적이다. 이에 본 연구에서는 후열처리 온도에 따른 접합 계면에서의 미세조직 변화를 관측하고 인장시험과 나노압입시험을 이용하여 측정한 기계적 물성과의 관계를 분석하였다.

적층제조 및 분말
Room 대관령2, 10월 28일

[적층1-1 | 08:30]
Inconel718 분말 특성 및 공정 조건에 따른 적층재 특성 분석 연구 : 김응균, 전창우, 이주호, 박은수* ((주)이엠엘)
Keywords: Inconel718, metal powder, Laser metal additive manufacturing, Micro structure, tensile strengt

Inconel718은 니켈기 초내열합금으로, 650ºC 이상의 고온에 노출되더라도 우수한 기계적 특성을 유지하며, 이러한 특성으로 항공 및 우주 분야의 엔진 부품 등 고온 안정성이 요구되는 다양한 적용 분야에서 널리 활용되고 있다. 특히, 복잡한 형상을 갖는 부품 제조가 가능한 적층 제조 기술은 난삭 소재 부품의 기능성을 부여하는데 큰 역할을 지닌다. 따라서, 적층 제조 기술로 제조된 초내열합금 부품의 특성을 확보하기 위해서는 원소재가 되는 분말의 특성을 제어하고 적층 제조 공정을 최적화 하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 EIGA(Electrode Induction melting Gas Atomization) 공법을 활용하여 L-PBF(Laser-Powder Bed Fusion) 용 니켈기 초내열합금 분말을 제조하였다. 제조된 분말의 입도분포, 형상, 성분 등의 특성을 분석하였으며, 이러한 결과를 기반으로 적층 제조 공정 최적화를 통해 L-PBF 공법을 활용한 Inconel718 적층 시편을 제작하였다. 제작된 시편의 미세조직과 물성을 최적화하기 위해 AMS5662 기준에 따라 열처리하였으며, 소재의 미세조직과 기계적 특성을 분석하였다. 또한, 600ºC 환경에서 피로시험을 수행하여 소재의 내구피로특성을 분석하였다. 제조된 Inconel718 적층 시편의 미세조직과 기계적 특성을 상용 Inconel718 분말을 사용하여 제조된 적층 시편과 비교한 결과, 원소재가 되는 분말의 특성에 따라 각 Inconel718 소재의 미세조직, 기계적 특성을 평가하여 소재에 미치는 영향을 고찰하였다. 이를 통해 제조하고자 하는 초내열합금 부품의 요구되는 기계적 특성을 만족하기 위한 최적의 적층 제조공정을 제시한다.

[적층1-2 | 08:45]
레이저 직접 적층 공정으로 제조된 Inconel625 합금과 Al-10Si-1Mg 합금 간 계면 반응 : 박찬호, 조해주, 박민수, 이욱진* (부산대학교)
Keywords: Interfacial reaction, Ni-Al, 레이저 직접 적층 공정, 미세조직

Ni/Al 이종소재는 높은 열안정성과 내식성을 가지는 Ni 합금의 특성과 낮은 밀도와 우수한 열 발산 특성을 가지는 Al 합금의 특성으로 인해 전자 패키징 및 전기차 산업에서 높은 활용 가능성을 가지고 있다. 하지만 Ni와 Al의 접합부에 쉽게 생성되는 금속간 화합물은 강한 취성을 나타내며 이는 접합부의 강도와 인성을 저하시킨다. 따라서 접합부의 우수한 기계적 특성을 위해서는 금속간 화합물의 생성을 적절히 조절할 필요가 있다. 현재까지 아크용접 등 상용으로 널리 쓰이는 공정을 통한 Ni/Al 접합 연구는 다수 진행되었으나, 레이저 직접 적층 공정을 통한 Ni/Al 이종소재의 적층제조에 관한 연구결과는 비교적 부족하며 Ni/Al 이종소재의 산업적 활용성을 높이기 위해서는 이에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 레이저 직접 적층 공정으로 Inconel625와 Al-10Si-1Mg 이종소재를 교차적층하여 제조할 때 Ni/Al 계면부의 미세조직, 화학적 조성 및 기계적 특성을 분석하였다. 레이저 적층 공정 변수의 변화에 따른 계면부 특성의 변화를 확인하기 위해 레이저 출력을 달리하여 이종소재 샘플을 제작하여 미세조직을 분석하였으며, 계면의 기계적 강도를 분석하기 위해 이종소재의 인장 시험을 진행하였고 공정 변수에 따른 결과를 비교하였다.

[적층1-3 | 09:00]
L-PBF로 제조된 Inconel 718 적층 소재의 온도 환경에 따른 물성 연구 : 송은아, 이윤선, 김다혜* (한국생산기술연구원 대경기술실용화본부)
Keywords: 적층 제조, Inconel718, L-PBF

Ni계 초내열 합금인 Inconel718은 우수한 강도와 높은 부식 저항성을 가지며, 저온에서 고온까지 뛰어난 열안정성을 제공하여 극한 환경에서 항공우주 및 발전 부품에 널리 사용되고 있다. 그러나 가공성이 떨어지는 단점이 있어, 이를 보완하기 위해 적층 제조 공정을 통한 정교하고 복잡한 형상 제조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 Inconel718 합금의 극저온(-196ºC) 및 고온 환경에서의 기계적 물성을 평가하고, 미세조직 변화를 분석하였다. 극저온 환경에서의 소재 미세조직 변화를 관찰하고, 충격 시험 및 인장 특성을 평가하였다. 고온 환경에서의 물성 변화를 얻기 위해 다양한 온도에서 열물성 측정과 인장 시험을 수행하였다. 온도에 따른 물성 변화 추이를 분석하여 극한 환경에서 적층 소재의 신뢰성을 평가하는 것을 목표로 한다.

[적층1-4 | 09:15]
LPDED 적층 제조된 TiN을 첨가한 Inconel718의 미세조직 및 기계적 특성 평가 : 김채린, 정원종, 류호진* (한국과학기술원(카이스트))
Keywords: 적층 제조, DED(직접용착방식), 니켈기 초합금, 열처리

Inconel 718은 석출 강화된 니켈 기반 초합금으로, 뛰어난 고온 기계적 특성 덕분에 항공우주 및 원자력 산업에서 650°C까지의 온도에서 사용되는 대형 구조 부품에 적합하다. 하지만 전통적인 제조 방법으로 복잡한 형상의 Inconel 718 부품을 제작하는 것은 많은 시간과 비용이 들며, 고온에서의 강도 향상이 시스템 성능 개선을 위해 필요하다. 이를 해결하기 위해 금속 기지 복합재료(Metal Matrix Composites, MMC)를 적층 제조된 부품에 도입하는 것이 효과적인 방안으로 주목받고 있다. 세라믹 입자나 섬유를 합금에 포함시켜 결정립의 크기와 형태를 조절하면 기계적 특성이 향상될 수 있다. 그러나 기존 제조 기술은 고급 복합재료의 품질 기준을 충족하기 어렵고, 복잡한 형상의 부품을 제조하려면 비용이 많이 드는 금형이 필요하다. 이에 따라 Directed Energy Deposition(DED)과 같은 분말 기반 적층 제조 기술이 주목받고 있으며, 이 방법은 빠른 생산 속도로 대형 복잡 부품의 제조에 적합하다. 니켈 기반 MMC의 적층 제조에 사용되는 강화재로는 탄화물, 붕화물, 산화물, 질화물 등이 있다. 이 중 본 연구에서는 TiN 첨가가 Inconel 718의 LPDED 제조에서 미치는 영향에 대한 연구를 진행하였다. TiN이 첨가된 Inconel 718의 미세조직과 기

계적 특성을 평가하여 세라믹 강화제의 강화기작을 분석하였다. 인쇄된 TiN 첨가 Inconel 718 샘플은 TiN을 첨가하지 않은 샘플과 비교하여 항복강도와 최대 인장 강도가 모두 현저히 증가한 것을 보여주었으며, 열처리 후에도 동일한 경향성을 보였다. 또한, 고온에서도 우수한 기계적 특성을 보여 극한 환경에서 사용되는 부품으로 활용 가능성이 높다고 판단된다.

[적층1-5 | 09:30]

CM247LC급 적층제조용 Ni기 초내열합금 설계와 EBM 적층성형재의 고온 인장, 크리프 물성 및 미세조직 분석 : 이찬희, 김태경, 홍현욱* (국립창원대학교), 이병수, 이해진 (한국생산기술연구원)

Keywords: Ni-based superalloy, Electron beam melting, Alloy design, Microstructure, High temp. mechanical properties.

Ni기 초내열합금은 고온에서 우수한 기계적 물성, 내부식, 내산화 특성 등을 가지기 때문에 고온, 고압, 부식, 산화 환경과 같이 매우 혹독한 환경에 주로 사용된다. 가스터빈에 사용되는 터빈 블레이드는 직접적으로 폭발 가스와 충돌하는 부품으로써 상당히 높은 열과 압력에 노출되기에, 기본적으로 고온에서도 그 우수한 물성을 유지할 수 있어야 하여 주로 Ni기 초내열 합금으로 제작되고 있다. 이때 가스터빈의 효율은 폭발가스의 입구 온도 상승과 함께 향상될 수 있기 때문에, 최근에는 적층제조 공정을 적용하여 터빈 블레이드 내부에 복잡한 냉각 유로를 형성시키고 그 온도 수용성을 획기적으로 향상시키고자 하는 연구들이 다수 수행 중에 있다. 하지만 Ni기 초내열합금의 고온에서의 기계적 물성은 L12 ordered FCC 구조의 γ'-Ni3(Al,Ti) 석출상 분율이 높을수록 전위의 움직임을 효과적으로 방해하여 우수해지나, 이는 재료를 brittle하게 만들고 적층제조 공정 도중 porosity나 crack과 같은 defect를 형성하여 적층제조를 어렵게 한다. 따라서 본 연구에서는 우수한 고온 물성과 우수한 적층제조 용이성을 동시에 만족할 뿐만 아니라 Hf, Ta과 같은 희소 금속을 저감하여 가격 경쟁력까지 우수한 새로운 Ni기 초내열합금을 설계하고자 하였고, 이를 위해 다양한 열역학적 인자들을 고려하여 screening을 하는 방식으로 합금 설계를 수행하였다. 본 연구에서는 주로 가스터빈 블레이드의 소재로 많이 활용되는 CM247LC 합금을 reference 합금으로 선정하였고, 해당 합금은 매우 높은 grade의 합금 중 하나로써, 적층제조 용이성이 매우 떨어져 Electron Beam Melting(EBM) 공정을 통해 적층하여도 그 내부에 상당한 결함이 형성된다. 하지만 새롭게 설계한 Cost-reduced Weldable 247(CW247) 합금은 기존 CM247LC 합금에 비해 적층제조 용이성이 우수하다는 것이 확인되었고, 합금 성분의 변화가 고온 인장 및 크리프 특성에 어떠한 영향을 미칠 수 있는지 분석하였다.

[적층2-1 | 09:55]

와이어 아크 적층 공정(WAAM)으로 제조한 316L Stainless Steel의 수소 취성 연구 : 황원구 (인하대학교), 김찬규, 송상우 (한국재료연구원(KIMS)), 서진유 (한국과학기술연구원(KIST)), 이기안* (인하대학교)

Keywords: Wire and arc additive manufacturing, Stainless steel, Microstructure, Hydrogen embrittlement, Fracture mechanism

316L Stainless Steel은 뛰어난 내식성을 가지기 때문에 최근 수소(H) 저장 용기, 수소 인프라 및 수소 전지 응용 분야에서 널리 적용되고 있다. 적층 제조 AM(additive manufacturing)은 CAD model을 기반으로 layer-by-layer로 부품을 제조하는 공정으로 형상학적 자유도가 높아 복잡한 형상을 가지는 부품을 near-net shape로 제조 가능하다. AM 공정들 중 WAAM(Wire arc additive manufacturing)은 챔버가 필요치 않아 부품의 대형화가 가능하다. 또한 아크를 열원으로 사용하여 금속 와이어를 용융시켜 쌓는 방법으로, 분말을 사용하는 방식보다 매우 높은 생산성을 가지는 공정이다. 그러나 WAAM 공정으로 제조한 316 L Stainless Steel의 수소 취성에 대한 연구가 전무한 실정이다. 본 연구에서는 직경 1.2 mm의 316 L stainless steel 금속 와이어과 WAAM 공정을 사용하여 316 L stainless steel을 크기(130 mm (W) × 5 mm (L) × 45 mm (H))로 적층 제조하고, 1200ºC 2 h 열처리하여 2종류 시편을 제작하였다. 이후 2종류 시편들의 미세조직과 수소 취성에 대해서 조사하였다. 열처리 전후 미세조직을 EBSD (electron backscatter diffraction)로 분석한 결과, 열처리 전 오스테나이트(γ) 기지 조직에 페라이트(δ)가 존재하고 있었다. 열처리 후의 미세조직을 분석한 결과, 오스테나이트(γ) 단상이 형성되었고, 결정립 크기는 약 171.2 μm 크기로 측정되었다. 열처리 전 소재의 인장 시험 결과, 수소 충전 전 인장 강도: 662.3 MPa 연신율: 30.1%, 수소 충전 후 인장 강도: 716.9 MPa 연신율: 24.1%을 얻을 수 있었고, 열처리 후 소재의 경우, 수소 충전 전 인장 강도: 471.7 MPa 연신율: 63.7%, 수소 충전 후 인장 강도: 604.4 MPa 연신율 : 53.8%로 측정되었다. 열처리 전후 모든 시편이 수소 충전 후 인장 강도가 증가하고, 연신율이 감소하는 경향을 나타냈다. 상기 결과들을 기반으로 와이어 아크 적층 공정(WAAM)으로 제조한 316 L stainless steel 의 수소 충전 전후의 변형 기구 및 수소 환경에서 적용 가능성에 대하여 함께 고찰하였다.

[적층2-2 | 10:10]

레이저 분말 베드 용융법으로 제조된 오스테나이트계 316L 스테인리스강의 초저온 환경 인장 거동 분석 : 박하윤 (한국재료연구원, 고려대학교), 정희찬, 성민영 (고려대학교), 이준호, 김영균, 김경태 (한국재료연구원), 손석수* (고려대학교), 박정민* (한국재료연구원)

Keywords: Laser powder bed fusion, Extremely-low temperature, 316L stainless steel, Discontinues plastic flow behavior, Microstructure

우주환경에서 사용되는 부품은 초저온부터 초고온까지의 다양한 온도 범위에서 임무 수행이 가능해야 함에 따라 광범위한 온도범위에서 구조적 신뢰성을 가질 수 있는 극한소재가 요구된다. 특히, 우주 환경에서 임무를 수행하는 비행체의 경우 경량화 및 다기능성 구현을 위해 극한소재 기반의 복잡형상 부품이 요구된다. 레이저 분말 베드 용융(Laser powder bed fusion, LPBF) 공법은 금속 적층 제조 공법 중 하나로 기존 제조 방법으로는 제작이 어려운 복잡한 형상의 부품을 효율적으로 제조할 수 있으며, LPBF로 제조된 부품은 독특한 미세조직(예: 전위 셀 구조 및 셀 경계의 원소 편석 등) 때문에 기존 공법으로 생산된 부품보다 우수한 기계적 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 이러한 이점으로 최근 LPBF 제조 합금을 항공우주 산업에 적용하려는 다양한 연구가 보고되고 있다. 본 연구에서는 항공우주 산업에서 저온용 합금으로 널리 사용되는 오스테나이트계 316L 스테인리스강을 LPBF 공법으로 제조한 후, 열간 등방압 가압법을 수행하여 재결정된 조형체를 제조하였다. 이후, 두 조형체에 대해 액체 헬륨 환경(약 4.2 K)

및 상온에서 인장 시험을 실시하여, LPBF 공법으로 제조된 합금의 초저온 인장 거동에 대해 분석하고자 하였다.

[적층2-3 | 10:25]

DED 기반 수리적층에서 헤테로구조 구현을 통한 stainless steel 316L의 강화된 강도-연성 시너지 효과 : 사공만재, 김래언, 이정아, 박효진, 안성열, Renhao Wu*, 김형섭* (포항공과대학교)

Keywords: 스테인리스 스틸, 적층수리, DED, repair

수리는 기존 부품을 효율적으로 재사용하여 새로운 부품을 생산하는 것에 비해 상당한 시간 및 비용 절감과 내구성을 제공한다. 그러나 수리된 부품을 실제로 사용하기 전에, 수리된 부품의 적절한 성능을 보장하기 위해 기계적 특성과 변형 메커니즘에 대한 철저한 검토와 명확한 분석이 필수적이다. 본 연구에서는 동일한 재료 분말을 사용하여 직접 에너지 증착(DED) 공정으로 316L 가공 스테인리스 스틸의 홈에 수리 증착을 수행하였으며, 수리된 샘플은 가공된 샘플에 비해 우수한 연성과 강도의 조합을 가지는것을 확인했다. 홈에서부터 용착부에 이르기까지 미세 구조의 뚜렷한 변화와 이질성이 관찰되었고 인장 변형 동안 쌍정 활동과 기하학적 필수 전위의 축적이 지배적인 변형 거동으로 나타났다. 또한 수리된 샘플의 계층적 HDI 강화는 기대를 뛰어넘는 강화된 강도-연성 조합의 시너지 효과를 가져오는것으로 확인하였다.. 본 연구는 DED를 통한 적층에서 헤테로 구조 형성을 통한, 우수한 강도-연성 조합으로 신뢰할 수 있을 만한 수리 결과를 나타내었다.

[적층2-4 | 10:40]

L-DED 제조된 AISI 316L의 미세조직과 인장 특성에 대한 Hf, Ce 첨가의 영향 : 박지영, 김민기, 정종욱, 박민수, 이욱진* (부산대학교)

Keywords: 적층제조, L-DED, 스테인리스

L-DED (Laser direct energy deposition) 공정은 모재에 분말 형태의 금속 소재를 분사하며 레이저로 용융시켜 3차원 물체를 제조하는 금속 적층 제조 기술이다. L-DED 공정은 다양한 금속 적층 제조 기술 중에서도 비교적 빠른 공정 속도와 적층할 모재의 형상에 구애받지 않는다는 장점을 가진다. 한편, AISI 316L 스테인리스강은 범용 스테인리스 소재로, 우수한 부식저항성과 기계적 특성 및 뛰어난 연성, 용접성 등을 가지며, L-DED 공정에서 활발하게 응용연구가 진행되고 있는 합금이다. 전통적인 주조 공정에서 Hf와 Ce는 철계 합금이나 알루미늄 합금에 소량 첨가하여 주조시 응고중 미세한 산화물을 만들면서 핵생성 사이트로 작용하여 결정립 미세화를 일으켜 연신률 등 기계적 특성을 향상시키는 접종 원소로 알려져 있다. 본 연구에서는 AISI 316L 분말에 Fe-10Hf, Fe-10Ce (wt.%) 분말을 소량 첨가 후 기계적으로 혼합해 최종 합금 조성비가 Hf, Ce가 각각 0.05, 0.1 wt.% 가 되도록 혼합한 분말을 사용하여 L-DED로 샘플을 제조하여 L-DED 적층 제조 시 Hf, Ce 첨가에 의한 결정립 미세화 현상이 일어나는 지를 기계적 특성과 함께 조사하였다.

[적층2-5 | 10:55]

레이저 적층제조 공정에서 Fe-Si 전기강판 소재의 집합조직 발달과 에너지 밀도의 역할 : 이한솔, 최영신, 안종혁, 이귀영 (한양대학교), 최준필 (한국기계연구원), 김종렬* (한양대학교)

Keywords: 적층제조, 전기강판, 집합조직, 에너지 밀도

본 연구는 다양한 레이저 출력과 조사 속도 하에서 레이저 적층제조 공정(Laser Powder Bed Fusion)으로 제조된 Fe-Si 전기강판 소재의 집합조직을 심층적으로 탐구하였다. 적층제조 공정은 형상에 제약이 없다는 이점을 지니며, 이를 활용한 고효율 형상의 Fe-Si 모터에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 적층제조 Fe-Si 모터를 실제로 활용하기 위해서는 집합조직의 최적화가 필수적이다. 이는 집합조직이 모터의 자기적 특성을 결정하는 핵심 요소이기 때문이다. 본 연구에서는 레이저 출력과 조사 속도의 변화가 용융풀(melt pool) 구조와 응고 구조 그리고 궁극적으로 집합조직의 발달에 어떤 영향을 미치는지 체계적으로 분석하였다. 이로부터, 기존 전기강판 제조 공정에서는 실현되기 어려운 θ-fiber 집합조직이 적층제조 공정을 이용하여 구현될 수 있음을 입증하였다. 아울러, 본 연구는 적층제조 공정에서 사용되는 에너지 밀도가 집합조직 형성에 미치는 영향을 심층적으로 분석하였다. 에너지 밀도는 재료에 흡수된 레이저 에너지를 나타내며, 레이저 출력을 조사 속도로 나눈 값으로 정의된다. 비록 에너지 밀도는 적층제조 공정에서 널리 사용되는 개념이지만, 그 유효성에 대한 논란이 지속되고 있으며, 특히 집합조직과의 상관관계에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 본 연구는 에너지 밀도가 용융풀의 형상과 냉각 시 온도 구배 형성에 있어 중요한 역할을 하여, 궁극적으로 집합조직 발달에 중대한 영향을 미친다는 것을 밝혀냈다.

[적층2-6 | 11:10]

Investigation of microstructure and mechanical properties of STS 316L powder according to humidity in the DED process : 김현중, 홍순직*, 조성재, 백건우, 김대현, 하지원 (공주대학교), 김형섭, 정상국 (포항공과대학교)

Keywords: DED process, humidity, powder flowability, microstructure

적층 제조(AM) 기술은 다양한 금속과 합금을 생산하기 위해 최근 몇 년 동안 높은 성장률을 보였다. 이러한 적층 제조에 있어서 분말의 보관 습도는 분말의 유동성에 영향을 미치며 특히 STS 316L분말은 습도에 민감한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 분말의 보관 습도에 따라 적층 제조 시 물성 및 미세조직의 차이를 알아보기 위하여 60°C에서 24시간 건조한 분말과 각각 RH 5%, 35%, 50%, 70%의 환경에서 24시간 동안 보관한 분말로 총5가지의 조건으로 분류하였다. 이렇게 분류된 분말은 열중량분석기(TGA)를 통하여 수분함량을 분석하였으며 각 조건 별로 차이를 보였다. 각 분말의 유동성은 Dynamic Avalanche법을 이용하여 평가하였으며 이 과정에서 RH 70%에서 보관된 분말은 적층 제조에 적합하지 않음을 확인하였다. 또한 Avalanche Threshold 및 RPM을 조절하며 분말의 보관환경에 따른 유동성을 분석할 수 있는 분석 조건을 확립하였다. 각 조건에 맞게 보관된 분말을 통해

DED 적층 제조된 시편의 미세조직을 확인한 결과 RH 35%, RH 50% 환경에서 보관된 분말을 사용한 시편에서 기존 STS 316L 시편에서 확인되지 않는 조대한 산화물이 발견되었으며 이를 주사 전자 현미경 (SEM) 및 후방 산란 전자 회절패턴 분석기 (EBSD)를 통하여 분석하였다. 각 시편의 인장시험 또한 진행하였으며 RH 35%, RH 50% 환경에서 보관된 분말을 사용한 시편은 항복강도에서는 기존 시편과 큰 차이를 보이지 않으나, 조대한 산화물의 영향으로 연신률이 감소함을 확인하였다.

[적층3-1 | 13:00]

Micro-anchor design application for manufacturing composite material of aluminum alloy and stainless steel using LDED : Qingye Jin (Pusan national university), Dohyung Kim (Yeongnam University), and Wookjin Lee* (Pusan national university)

Keywords: Laser directed energy deposition(LDED), Multi-material additive manufacturing(MMAM), Micro-anchor, Aluminum alloy additive manufacturing

Metal 3D-printing technology has developed to fabricate various metal alloys. One of the most famous lightweight metal alloys, aluminum alloys, are applied in various fields, including aerospace and automobiles. It is a special metal who has unique chemical and physical properties, including high reactivity to iron that hinders the multi-material additive manufacturing (MMAM) of aluminum and iron-based alloys. However, direct deposition of aluminum alloys onto stainless steel is very difficult because of the formation of brittle intermetallic phase between Al and Fe. In order to overcome this difficulty, a novel anchor design was developed to prevent the detachment of Al while depositing it on steels. Laser directed energy deposition (LDED) is proposed for the MMAM of Al10SiMg and AISI 316L stainless steel. The hardnesses of the anchor and deposited aluminum alloy were measured. Thereafter, scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy images were observed to determine material solidification and diffusion behavior. Tensile tests were performed to evaluate the bonding strength of the aluminum/steel interfaces. Al10SiMg was successfully deposited on AISI 316L stainless steel using LDED with the designed micro-anchor structure. In addition, a macroscopic anchor was designed and manufactured using LDED to overcome the weak bonding of the micro-anchor.

[적층3-2 | 13:15]

Laser Powder Bed Fusion 공정으로 제조한 A20X 합금의 열처리에 따른 미세조직 및 물성변화 : 한규미, 박준영 (경상국립대학교), 조용희 (한국재료연구원), 김정기* (경상국립대학교)

Keywords: Aluminum alloy, LPBF, Additive manufacturing, direct aging, heat treatment

알루미늄 기반 적층 제조는 항공우주용 경량 부품 제조에 핵심적인 기술임에도 불구하고 용융-응고 중 발생하는 응고 균열과 결정립 조대화에 의해 우수한 물성을 획득하기 어려운 문제점을 가지고 있다. 상기 문제를 해결하기 위해 최근 Ti boride를 첨가해 응고 균열을 방지하고 균일한 등축정 조직을 갖는 고강도 알루미늄 합금인 A20X가 개발되었으며, 미세 결정립에 의한 균질한 미세조직 획득에 성공하였다. 그러나, 항공우주용 부품 제조를 위해서는 높은 항복강도 달성 및 우주 환경의 초극저온에서도 부품이 잘 버틸 수 있어야 하지만, A20X의 극저온 물성에 대한 평가는 아직까지 이루어지지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 극저온 환경 물성 평가를 위해 직접 시효 열처리(DA)와 용체화 처리 후 시효 열처리(ST-A) 하는 두 조건 열처리를 진행함과 동시에 미세조직 분석 및 상온(298 K)과 극저온(77 K)에서의 인장 시험을 진행하였다. 미세조직 분석 결과, 직접 시효(DA) 조건에서 핵생성 사이트 및 조성적 불균일로 인한 상 분리와 각 층마다 다른 미세조직 형성이 일어남을 확인할 수 있으며, 용체화 처리 후 시효(ST-A) 열처리한 조건에서는 핵생성 사이트가 균일해짐에 따라 미세조직이 안정화되어 기지 전반에 석출상 형성이 일어남을 확인할 수 있다. 상기 열처리에 따른 조직 변화는 소재 물성에 큰 영향을 미쳤으므로 활용 목적에 따른 적층제조 후처리 공정의 선택이 필요함을 보여준다.

[적층3-3 | 13:30]

전위 셀 기반 나노 카바이드 석출을 활용한 Laser-powder bed fusion 적층제조용 초고강도 AISI D2 공구강 개발 : 정희찬 (고려대학교), 박하음 (고려대학교, 한국재료연구원), 남승진, 정차희 (고려대학교), 정상국, 이지수 (포항공과대학교), 박정민 (한국재료연구원), Alireza Zargaran, 이병주 (포항공과대학교), 김형섭 (포항공과대학교, Tohoku University, 연세대학교), 손석수* (고려대학교)

Keywords: 적층제조, 공구강, 석출, 기계적 특성,

D2 공구강은 드릴, 나이프, 금형 등에 사용되는 대표적인 냉간 작업 공구강으로우수한 강도, 경도 및 내마모성 덕분에 다양한 응용 분야에서 사용된다. 하지만 D2 공구강은 높은 경도로 인해 복잡한 형상으로의 가공이 어려워, 최근 레이저 적층 제조의 적용과 관련한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 레이저 적층 제조 중 L-PBF 공정 적용 시 형상 해상도 향상, 내부 조직 및 물성 불균질 제어, 기계적 특성 향상 등이 기대되나, Cracking 발생 제어가 어려워 L-PBF 방식으로 적층한 사례는 현재까지 보고된 바 없다. 따라서, 본 연구에서는 L-PBF 방식으로 D2 공구강을 제조하고자 하였고, 200 ℃의 base plate preheating 및 125 mm의 넓은 hatch spacing 적용을 통해 상대 밀도 99.9% 이상의시편을 확보할수 있었다. 적층 직후의 합금은 오스테나이트 기지상과 더불어 내부 직경 400 nm 수준의 전위 셀 구조와 직경 약 950 nm 수준의 필름 형태 M_7C_3 탄화물이 형성되었다. 열처리 후, 기지는 마르텐사이트 상으로, 탄화물은 $M_{23}C_6$로 결정구조가 변화하였다. 또한 열처리 이후의 탄화물들은 기존 전위 셀 위로 형성된 탄화물의 위치를 유지하며 구형화되어 나노 크기의 미세 분포를 나타냈다. L-PBF D2 공구강은 열처리 이전 1010 MPa의 항복강도, 1199 MPa의 인장강도와 2.6%의 연성을 나타내었으며, 열처리 이후에는 1622 MPa의 항복강도, 2110 MPa의 인장강도와 2.8%의 연성을 나타내어 기존 보고된 열처리 이후 D2 공구강의 물성을 크게 상회하였다. 경도 또한 열처리 이전 518 $HV_{0.5}$ 에서 열처리 이후 715 $HV_{0.5}$로 향상되어, D2 공구강의 ASTM 요구치를 성공적으로 달성하였다. 이와 같이 우수한 물성을 갖는 L-PBF D2 공구강의 미세구조 형성 메커니즘과 이에 따른 물성 향상 메커니즘을 체계적으로 고찰하였다.

[적층3-4 | 13:45]

Enhanced Flowability Hydrogen-Dehydrogengation Ti-6Al-4V Powder in the L-PBF Process and Evaluation of Mechanical Properties : 김세훈, 김욱주, 강태후, 이종익, 정상희, 한지민, 이빈* (경희대학교)

Keywords: Laser powder bed fusion, Ti-6Al-4V, SiO_2 Mechanical properties

금속분말을 활용한 적층제조 공정 중 하나인 L-PBF(Laser powder bed fusion)은 얇게 쌓인 금속 분말층에 고에너지 레이저를 선택적으로 조사하여 3차원 구조체를 제조하는 방식으로, 설계의 자유도가 높고 정밀도가 우수하다는 장점을 갖는다. 따라서 기존의 주조, 압연 등의 공정으로는 구현하기 어려운 복잡한 형상이 요구되는 첨단산업 분야에서 널리 활용되고 있다. 본 연구팀에서는 L-PBF 공정에 주로 활용되는 고가의 Gas atomization법으로 제조된 구형분말 대신 저렴한 비구형 HDH Ti-6Al-4V 분말에 SiO_2나노입자를 건식혼합하여 표면처리한 분말로 적층에 성공한 바 있으며, 상대밀도 99% 이상 확보에 성공하였다. 비구형 분말을 활용하여 L-PBF 공정에 적용하려는 연구는 전세계적으로 일부 진행되고 있지만, 본 연구팀의 이전 연구와 같이 건식 혼합을 통한 유동특성 향상 및 L-PBF 공정시의 recoating 속도를 제안한 연구는 많이 이루어지지 않은 실정이다. 본 연구에서는 표면처리된 분말로 적층한 소재의 기계적 특성을 평가하기 위해 비커스 경도측정, 나노압입시험을 진행하였으며, 적층 후 내부 잔류응력 완화 및 물성 향상을 위한 열처리 조건을 최적화하여 인자시편을 열처리한 후 인장시험을 진행하는 등의 기계적 특성을 평가하였다. 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재다의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00212081).

[적층3-5 | 14:00]

Wire Arc Additive Manufacturing(WAAM)으로 재조된 Ti-6Al-4V 합금의 고온 산화 저항성 : 김수빈 (인하대학교 신소재공학과), 감동혁 (한국생산기술연구원), 이기안* (인하대학교 신소재공학과)

Keywords: Additive Manufacturing:WAAM, Ti-6Al-4V:High-Temperature oxidation

와이어 아크 적층 제조(WAAM)는 우수한 특성을 가진 재료를 제작하는 유망한 기술로, 높은 증착 속도와 최소한의 재료 낭비 그리고 광범위한 재료 적합성 등의 다양한 장점을 제공한다. 본 연구에서는 WAAM을 통해 Ti-6Al-4V 합금을 제조하고 고온 산화 저항 특성을 평가하였다. 고온 산화 저항 특성을 평가하기 위해 700, 800, 900 및 1000°C에서 24시간 동안 열중량 분석(TGA)을 수행하였다. 그 결과, WAAM Ti-6Al-4V 합금은 온도가 증가함에 따라 각각 1.64, 10.62, 24.84 및 45.66 mg/cm^{2}의 무게 증가를 나타냈다. 산화된 표면을 관찰한 결과, 주로 Ti와 Al로 구성된 산화물이 형성되었으며, 산화 단면을 관찰한 결과, 이러한 산화물이 교차하는 층을 형성하는 것을 관찰하였다. 위의 결과를 바탕으로 WAAM으로 제조된 Ti-6Al-4V 합금의 고온 산화 메커니즘과 산화 저항성을 향상시키는 방법에 대해 논의하고자 하였다.

[적층3-6 | 14:15]

적층제조 공정을 통해 제작된 Ti-6Al-4V 기반 산화물 분산강화 합금의 미세조직 및 기계적 특성 분석 : 김우혁 (국립한밭대학교), 고의준, 박형기 (한국생산기술연구원), 김한수 (KONASOL), 김정한* (국립한밭대학교)

Keywords: 적층제조, Ti-6Al-4V, 산화물 분산 강화, 미세조직, 기계적 특성

Ti-6Al-4V 합금은 가벼운 무게와 높은 강도, 그리고 우수한 내식성을 가져 많은 산업 분야에서 활용되고 있지만 가공이 매우 어렵고 고온에서 기계적 성질이 저하되어 300ºC 이상의 작동 환경에서의 사용이 제한된다. 적층 제조를 통한 Ti-6Al-4V 합금은 기존의 제조 방식과 다르게 재료 손실이 적고 복잡한 형상의 제품을 정밀하게 제작할 수 있다는 장점을 가지면서 우수한 기계적 성질을 유지한다는 장점을 가지고 있다. 하지만 여전히 고온에서 낮은 기계적 성질을 가진다. 통상적으로 산화물 분산강화 합금은 합금분말을 볼밀링을 통해 분쇄하고 HIP처리를 통해 벌크화를 하게 된다. 이 때 기지 내부에 균일하게 분산된 수에서 수십 나노 크기의 산화물들이 모재의 고온강도, 크리프 저항성 등을 향상시켜 고온용 철계, 니켈계 합금에 널리 활용되어지고 있다. 그러나, 타이타늄 합금의 경우 산화물로 사용되는 이트륨을 첨가하게 되면 산화물간 응집에 의한 조대 편석이 발생해 나노입자상 분산이 매우 어렵다. 이로 인해 볼밀링 시 높은 에너지, 장시간의 볼밀링 공정이 시행되어야 하는데 타이타늄 합금의 경우 반응성이 높아 폭발의 위험성 존재한다. 따라서, 기존의 공정 방식으로는 타이타늄 기반 산화물 분산 강화 합금 제작에 어려움이 있었다. 최근 연구에서 EIGA 공정을 통해 이트륨을 Ti-6Al-4V 합금 내에 고용시킬 수 있다는 연구 결과가 제시되었다. 본 연구에서는 EIGA 공정을 통해 제조된 이트륨이 고용된 Ti-6Al-4V 분말을 이용한 Ti-6Al-4V 기반 산화물 분산 강화 합금 생산 가능성을 검증하고 적층 제조 방식에 따른 미세조직 변화 및 기계적 특성 변화에 대한 연구를 진행하였다.

[적층3-7 | 14:30]

Enhanced flow properties of hydrogenation-dehydrogenation Ti-6Al-4V powder for powder bed fusion additive manufacturing process : 김욱주, 김세훈, 강태후, 이종익, 정상희, 한지민, 이빈* (경희대학교)

Keywords: Powder bed fusion, Titianium alloy, Flow properties

금속 3D 프린팅이라고 불리는 적층 제조(Additive manufacturing, AM) 기술은 재료를 층층이 쌓아 3차원 구조를 만드는 기술로 금속 산업 분야에서 주조, 절삭가공 등을 활용한 기존 제조 기술에 비해 금형을 필요로 하지 않으며, 설계의 자유도가 높아 복잡한 형상의 부품을 만들 수 있기 때문에 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 Powder bed fusion(PBF) 방식은 균일하게 도포된 금속 분말층에 고밀도 에너지를 가진 레이저를 지정된 영역에 조사하는 방법으로 약 30 μm 수준의 정밀한 조형이 가능하다는 특징이 있어 항공, 우주, 국방, 의료 등 다양한 응용 분야에서 사용된다. Ti-6Al-4V 합금은 뛰어난 내식성, 생체 적합성, 높은 비강도, 우수한 기계적 특성과 같은 이점으로 PBF 공정에 사용되는 대표적인 금속분말로 알려져있다. 일반적인 PBF 공정에서는 높은 유동성과 최적화된 층별 물성을 얻기 위해 Gas atomization법을 통해 제조된 50 μm 이하의 균일한 입도 분포를 가지는 구형 분말이 사용되지만

약 20~30% 수준의 낮은 생산수율로 가격이 비싸다는 단점이 있다. 본 연구팀은 비싼 분말 비용을 해결하기 위해 Hydrogenation-dehydrogenation(HDH)법을 통해 제조된 비구형 Ti-6Al-4V 분말을 활용하여 적층 제조 공정을 수행하였다. HDH Ti-6Al-4V 분말은 불규칙한 입자 형태와 낮은 유동성으로 PBF 공정에 적합하지 않으나 구형 분말 대비 약 70% 저렴하다는 장점이 있다. 분말 표면의 수분이 유동성 저하의 원인 중 하나라는 개념에 기초하여 소수성(hydrophobic) 처리된 SiO_2 나노 입자를 HDH Ti-6Al-4V 분말 사이에 분산시켜 표면을 개질하여 낮은 유동성을 향상시킬 수 있을 것이라 판단했다. 건식 혼합을 통해 SiO_2 나노 입자 코팅을 한 HDH Ti-6Al-4V 분말의 유동 특성을 평가하여 PBF 공정에 적용 가능한 유동 특성을 가짐을 확인하였다. 이후 적층 공정을 최적화하기 위해 79 J/mm^3~119 J/mm^{3}의 VED값으로 레이저 변수를 조절했으며, 실제 적층을 통해 소재의 미세구조 및 기계적 물성을 평가했고 99% 이상의 상대밀도 확보에 성공하였다. 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00212081)

[적층3-8 | 14:45]

Wire-based laser additive manufacturing 방식으로 제조된 Ti-6Al-4V 합금의 고온 인장 특성 : 송노건, 박정현 (인하대학교), 김대중 ((주) 에이엠솔루션즈), 이기안* (인하대학교)

Keywords: wire laser additive manufacturing, Ti-6Al-4V, Microstructure, high temperature tensile test properties

금속 AM(Additive Manufacturing) 방식 중, DED(Direct Energy Deposition) 공정은 조대한 형상 및 복잡한 구조물의 제조와 수리가 가능하여 항공우주, 국방 및 의료 분야에서의 적용 가능성이 제시되고 있다. 그 중 기존의 분말 대신 와이어를 feedstock으로 사용하는 WLAM(Wire Laser Additive Manufacturing)은 높은 적층 속도와 비용 절감의 장점을 가지고 있다. 또한, arc에 비해 레이저를 에너지원으로 적용함으로써 보다 정밀한 공정 제어가 가능하다. 본 연구에서는 WLAM 공정을 통해 제조된 Ti-6Al-4V 합금의 초기 미세조직, 고온 인장 특성과 변형 메커니즘을 조사하였으며 조사 결과를 기존 공정으로 제조된 Wrought Ti-6Al-4V소재와 비교 분석하였다. 고온 인장 실험은 상온, 300ºC, 500ºC, 700ºC에서 각각 수행되었다. WLAM 공정으로 제조된 시편의 초기 미세조직은 α' 마르텐사이트가 일부 존재하였으며, 다수의 영역이 α/β phase의 라멜라 구조로 구성되어 있었다. 반면 비교재 wrought 소재는 polygonal 형태의 조대한 grain이 관찰되었으며 WLAM Ti-6Al-4V소재에 비해 더 높은 β phase fraction을 보였다. 고온 인장 결과, WLAM Ti-6Al-4V는 Wrought소재보다 8~18 % 높은 인장 강도 및 항복 강도를 나타내었으며 연신율은 1~6 % 낮은 특징을 보였다. 특히 700ºC 조건에서는 두 소재 모두 60%의 연신율의 큰 증가가 확인되었으며 이는 동적 재결정이 급격하게 증가한 미세조직학적 특징에 기인한 것으로 사료된다. 상기 관찰 결과를 기반으로 WLAM 공정과 기존 공정으로 제조된 Ti-6Al-4V소재의 고온 인장 특성 비교 및 변형 거동을 규명하고자 하였다.

[적층4-1 | 15:10] 초청강연

적층제조에서 최적 공정 조건 탐색을 위한 모델링 기법 개발 : 최시훈*, Rohit Raj, Saurabh Pawar, 박기성, 서위걸, Khushahal Thool (국립순천대학교)

Keywords: 적층제조, 모델링, DEM, CFD, FEA, MC, PF

적층제조 기술은 복잡한 금속 부품 생산을 혁신할 수 있는 잠재력을 가지고 있지만, 최적의 공정 조건을 탐색하고 그에 따른 미세조직 및 기계적 특성을 정확히 예측하는 것은 여전히 큰 도전 과제로 여겨지고 있다. 이번 발표에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 개발 중에 있는 모델링 기법을 소개하고 이를 활용하여 적층제조 공정의 효율성과 품질을 극대화하기 위한 방법론을 공유하고자 한다. 첫 번째 요소기술인 이산요소법(DEM)은 분말 입자의 개별 움직임과 상호작용을 시뮬레이션하는 기법으로, 균일한 밀도 분포를 형성할 수 있는 조건을 탐색하는데 활용된다. DEM을 통해 입자 크기, 형태, 밀도 데이터를 분석하여, 최적의 분말 층 형성을 도모하였다. 두 번째 요소기술로, DEM과 전산유체역학(CFD)의 결합은 분말의 유동 특성과 레이저 조사 조건이 미세조직의 불균일성에 미치는 영향을 시뮬레이션한다. 이 방법론을 통해 레이저 및 분말 조건을 최적화하여, 미세조직의 균일성을 향상시키고 불균일성을 최소화할 수 있는 공정 조건을 제시하고자 한다. 세 번째 요소기술로, 유한요소해석(FEA)는 구조×열적 해석을 통해 금속 분말의 열변형 및 잔류 응력을 평가하는 데 사용되고 있다. FEA를 통해 다양한 공정 변수와 응력-변형률 관계를 분석하고, 열변형 및 잔류 응력을 최소화하는 최적의 공정 조건을 탐색하였다. 네 번째 요소기술로, 3차원 미세조직과 결정소성유한요소법(CPFEM)은 미세조직의 물리적 특성과 기계적 거동을 시뮬레이션한다. CPFEM을 통해 기계적 성능을 최적화할 수 있는 미세조직을 예측하고, 이를 달성하기 위한 공정 조건을 제안하는 것이 가능하다. 마지막으로, FEA와 3차원 몬테카를로(MC) 또는 상필드(PF) 방법의 결합은 미세조직의 동적 변화를 모델링하여 최적의 3차원 미세조직을 형성할 수 있는 공정 조건을 예측한다. 이 방법론은 복잡한 데이터 세트를 분석하고, 제조 품질을 향상시킬 수 있는 전략을 개발하는 데 활용이 가능하다. 이상의 개발중인 요소기술들을 통합하여 최적의 공정 조건을 탐색하고, 이를 통해 적층제조 공정의 도전 과제를 해결하며 차세대 금속 재료의 개발과 적용에 기여할 것으로 예상해 본다.

[적층4-2 | 15:35]

LPBF 적층제조된 Fe-Mn-Si-Cr-Ni 철계형상기억합금의 국소부위별 3차원 상제어 : 김도형 (영남대학교 신소재공학부), 이욱진* (부산대학교 재료공학부)

Keywords: 형상기억합금, 적층제조, 상변태

Fe-Mn-Si계 형상기억합금은 Ni-Ti 계 형상기억합금에 비해 상대적으로 낮은 원소재 가격 및 우수한 용접성을 가지며, 레이저 파우더 베드 퓨전(laser powder bed fusion, L-PBF) 공정을 통해 복잡한 3차원의 형상으로 제작이 가능하면서도 높은 형상기억 특성을 나타내는 특별한 합금계이다. 특히 이 합금계는 L-PBF 과정에서 급속응고시 준안정상인 bcc-δ 로 초정 응고하며, 레이저에 의한 입열량이 충

분할 경우 공정중 열이력에 의해 평형상인 fcc-γ로 동소변태하는 거동을 보이는 것이 관찰되었다. 본 연구에서는 이와 같은 L-PBF 공정 중 열이력에 의한 동소변태를 응용하여, Fe-Mn-Si-Cr-Ni 합금을 레이저 적층제조 할 때 bcc-δ 및 fcc-γ 두 가지의 상이한 결정상을 레이저 공정변수 제어를 통해 3차원으로 내부에 설계 및 배치하고자 하는 기초연구를 수행하였다. 레이저 스캐닝 속도를 달리하여 L-PBF 공정 중 적층물 국부 부위에 부가되는 열이력을 제어하여 부위별로 동소변태를 의도적으로 다르게 일어나도록 공정을 설계하였으며, 이 때 Mn 합금원소의 일부 증발 역시 유도하여 최종 미세조직의 부위별 상 구성을 의도적으로 조작할 수 있었다.

[적층4-3 | 15:50]

비파괴 검사 방법에 따른 금속 적층 제조품의 결함 검출 성능 비교 연구 : 장연하*, 주효문*, 김한재, 조영철, 용왕현, 안장규 (현대자동차㈜), 전현환, 박창욱 (아진산업)

Keywords: Non-destructive testing, additive manufacturing, anomaly

최근 우주항공과 자동차 산업을 포함한 여러 산업 분야에서는 높은 형상 자유도와 우수한 물성의 제품 제조가 가능한 3D 프린팅 공법이 각광받고 있다. 하지만 3D프린팅 제작품에서는 한 층씩 적층하는 공법 방식에 기인한 특성으로 인해 기존 주조 및 단조품에서 발생하던 결함과는 상이한 양상의 결함이 발생할 수 있다. 산업계에서는 3D 프린팅 공법을 활용한 생산 제품에 대해 가장 우수한 결함 검출능을 가지는 것으로 알려진 CT 분석을 통해 부품의 결함 여부에 대해 검사를 진행하고 있으나, 검사 시간 및 비용의 한계로 대량 생산의 경우 이를 대체할 다른 검사 방법이 필요한 상황이다. 본 연구에서는 자동차 산업계에서 부품의 내/외부 품질 검사를 위해 보편적으로 사용되고 있는 다양한 비파괴검사법들의 적층 제조품에 대한 결함 검출능을 비교 분석하였다. 우선 적층 제조 시 발생할 수 있는 결함 형상을 모사하여 임의 삽입한 샘플과 동일 형상의 결함이 없는 샘플을 제작하였다. 적층 제조 공법은 L-PBF와 DED공법으로 제작하여 공법 간 차이를 비교하고자 하였으며, 소재 별 차이를 확인하기 위해 AlSi10Mg, SUS316L 및 SCR420 소재에 대하여 각각 샘플을 제작하여 비교하였다. 평가 결과, CT 검사가 가장 우수한 검출능을 보였으며, 침투 탐상, 초음파 및 음향 공진 검사에서도 결함의 존재를 탐지할 수 있었으나, 결함의 개수, 위치, 최소 검출 크기 등의 검출능은 CT 보다 부족한 것을 확인할 수 있었다. 소재 별 검출능을 비교하였을 때, 철계 샘플의 경우 CT 검사시에도 샘플의 형상 및 두께에 따라 해상도 저하가 발생할 수 있음을 확인하였다. 또한, 절단 검사를 통해 실제 결함 생성을 확인하였다. 본 연구에서는 비파괴 검사법 별 3D프린팅 부품의 내/외부 결함 탐지 수준을 파악하였으며, 이를 통해 향후 부품 및 소재 별 품질 요구수준에 적합한 비파괴 검사법을 선정할 수 있을 것으로 판단된다.

[적층4-4 | 16:05]

L-PBF 적층 및 극저온 처리를 통해 개선된 열피로 특성을 가진 H13 열간공구강 제작 : 김성호 (포항공과대학교), 홍창완, 김주업, 윤국태 (대구기계부품연구원), 김성준* (포항공과대학교)

Keywords: L-PBF, 열간공구강, 극저온 처리, 열피로

근래 알루미늄 다이캐스팅으로 제작되는 완제품의 크기와 강도가 증가함에 따라, 다이캐스팅 중 금형에 가해지는 열피로 부하 또한 커지는 추세에 있다. 금형의 열피로 특성이 우수하기 위해서는 경도와 충격인성이 모두 우수해야 하며, L-PBF 방식으로 제작된 H13 열간공구강은 상용 H13 대비 경도는 우수하나 충격인성은 열위에 있어 상용화가 어려운 상황이다. 본 연구에서는 L-PBF 방식으로 적층된 H13 및 극저온 처리 시 열피로 환경에서의 크랙 특성 및 물성 열화에 대한 부분을 확인하고 상용 H13과 비교를 수행하였다. 상온에서 700도까지 열피로 사이클을 3,000회 수행한 경우 상용 H13의 크랙의 평균 깊이는 110 mm 인 것에 반해 적층 H13 및 극저온 처리된 경우 각각 26 mm와 34 mm 으로 나타나 적층 H13에서 열피로 크랙 진전이 지연되는 것으로 나타났다. 또한 1,000회 수행 및 3,000회 수행 시 열피로 크랙 개수의 변화를 확인한 결과 적층 H13에서는 645개에서 774개로 증가했지만, 극저온 처리 시 795개에서 282개로 감소한 것으로 나타났다. 상용 H13의 열피로 크랙 선단부의 미세조직은 마르텐사이트가 아닌 페라이트 조직으로 나타났으며, 결정립계에 다량 존재하는 석출물로 인해 열피로 크랙이 가속되었고 적층 H13 대비 높은 평균 크랙 길이를 보이게 되었다. 반면 적층 H13은 결정립계에 석출물이 발생하지 않았으며, 결정립계에 높은 비중으로 존재하는 낮은 에너지를 가진 CSL 경계로 인해 결정립의 진전이 지연되는 것으로 나타났다. 또한, 극저 처리 시 모재에 적층 H13 대비 다량의 석출물이 발생하여 취성이 감소하고 충격인성이 증가하였으며, 열피로 크랙이 발생 장소가 감소함에 따라 적층 H13 대비 열피로 저항성이 우수함을 보였다. 결론적으로 적층 H13에 극저온 처리를 수행할 시 평균 크랙 길이와 크랙 개수 양 측면에서 가장 뛰어난 특성을 보이는 점을 확인하였다.

[적층4-5 | 16:20]

Qualitative Analysis of Cu-Rich Nanoprecipitates in Martensite of 17-4PH Stainless Steel Fabricated by Directed Energy Deposition : Yejun Park* (KAIST), Subin Lee (Karlsruhe Institute of Technology), and Pyuck-Pa Choi (KAIST)

Keywords: 17-4PH stainless steel, Martensite, Cu-rich nanoprecipitate, Directed energy deposition, Atom probe tomography

7-4PH stainless steel, known for its excellent balance of strength, ductility, and corrosion resistance, is widely used in industries such as automotive, aerospace, and marine. The material's microstructure typically includes martensite, precipitates within the martensite, and retained austenite. During aging, Cu-rich nanoprecipitates (CRPs) form within martensite, providing significant strengthening. However, prolonged aging can reduce yield strength due to increased austenite fraction and dislocation annihilation. This study focuses on 17-4PH stainless steel produced by directed energy deposition (DED), particularly analyzing the behavior of Cu-rich nanoprecipitates within the martensite phase and assessing its mechanical properties independently. Unlike previous research, which primarily investigated the effects of austenite fraction and overall microstructure on the macroscopic mechanical properties, our work

provides a detailed evaluation of how Cu-rich nanoprecipitates within martensite influence the mechanical performance of 17-4PH stainless steel. CRPs were quantitatively analyzed using atom probe tomography, and the independent strength of martensite was measured through nano-indentation. Results revealed that in the as-built condition, the high lattice distortion energy and low-angle grain boundaries in martensite facilitated elemental diffusion, leading to larger but fewer Cu-rich nanoprecipitates during direct aging, compared to homogenized and aged samples. This resulted in lower CRPs-induced strengthening, as confirmed by nano-indentation, where directly aged martensite showed reduced hardness.

[적층4-6 | 16:35]

Effect of milling-induced chips on the porosity and surface roughness of products manufactured by hybrid additive manufacturing processes : Jo Joseph (Korea Institute of Industrial Technology, Korea University), Hyo-Kyu Kim, Dongwoon Han, Seongtak Kim* (Korea Institute of Industrial Technology), and Gunwoo Noh* (Korea University)

Keywords: LPBF, maraging steel, Hybrid additive manufacturing

Additive manufacturing, commonly known as 3D printing, has garnered attention as an innovative method for reliably producing functional product components. However, this technology faces challenges such as low precision and poor surface quality, necessitating additional post-processing to address these issues. To overcome these limitations, the manufacturing industry is actively researching hybrid processing technologies that combine multiple manufacturing processes. In particular, hybrid technologies that integrate subtractive machining with additive manufacturing aim to produce finished products with complex shapes and strict geometric standards without the need for separate post-processing. While previous research has primarily focused on the quality of the powders used in additive manufacturing, the hybrid manufacturing process introduces the possibility of chips generated during subtractive machining acting as impurities. This study aims to analyze the impact of these chips on the porosity and surface roughness of products manufactured by hybrid additive manufacturing processes and to investigate the mechanism of the impact of the chips.

[적층4-7 | 16:50]

Laser Powder Bed Fusion **적층제조공정으로 제조된 저열팽창 Fe-Ni합금의 극저온 기계적 특성 및 열팽창 특성** : 조용훈, 박소연 (인하대학교), 김영균 (인하대학교, 재료연구원), 김정환 (재료연구원), 한정호 (한양대학교), 이기안* (인하대학교)

Keywords: 저열팽창 Fe-Ni 합금, laser powder bed fusion 적층제조, 미세조직, 기계적 특성, 열팽창 특성

Fe-36Ni (Invar 36) 합금은 Curie 온도(약 280°C) 이하에서 0에 가까운 열팽창계수(CTE)를 가지는 합금으로, 치수 변화에 극도로 민감하면서 일교차가 극심한 환경에서 활용되는 위성체 부품 등에 적용되고 있다. 그러나, Fe-36Ni 합금은 높은 밀도, 무른 성질 때문에 정교한 가공과 경량화가 어렵다는 단점이 있다. 한편, 적층 제조는 재료를 층층이 적층해 부품을 제조하기 때문에 최소한의 가공과 소재 사용으로 정교한 부품을 생산할 수 있어 기존 Fe-36Ni 합금의 단점을 보완할 수 있는 방안 중 하나로 그 관심이 점점 증가하고 있다. 본 연구에서는 Fe-36Ni 합금을 Laser Powder Bed Fusion (LPBF) 적층제조 공정으로 제조하고 미세조직, 극저온 기계적 특성, 열팽창계수 특성을 조사해 상용 Fe-36Ni 합금과 비교히였다. LPBF Fe-36Ni의 미세조직은 FCC 단상의 columnar structure grain으로 구성되어 있었으며 -130 ~ 100 °C 구간에서의 열팽창계수가 1.03으로 1.83인 비교 wrought Fe-36Ni 보다도 우수한 저열팽창 특성을 보였다. LPBF Fe-36Ni 시편의 -196 °C 극저온 인장 특성은 항복강도: 637 MPa, 인장강도 839 MPa, 연신율: 13.86 %로 비교 wrought Fe-36Ni (항복강도: 561 MPa, 인장강도: 776 MPa, 연신율: 42.03 %) 보다 우수한 강도 특성을 나타냈지만 연신율이 크게 감소하는 경향을 보였다. 흥미로운 점은, 두 시편의 극저온 변형 미세조직을 관찰한 결과, 비교 wrought Fe-36Ni은 변형 유기 변태에 의해 저열팽창 특성을 훼손하는 마르텐사이트 상이 형성된 것이 확인되었지만, LPBF Fe-36Ni에서는 마르텐사이트 변태가 거의 발생하지 않았다. 상기 결과들을 바탕으로 LPBF Fe-36Ni의 극저온 변형 거동과 열팽창 거동을 미세조직학적 관점에서 토의하고자 하였다.

[적층5-1 | 17:15]

Additive manufacturing of thermoelectric NbCoSn-based half-Heusler compounds : Seoung-Ho Lim (Korea Advanced Institute of Science and Technology), Dipali Sonawane, Gerhard Dehm, Rajaprakash Ramachandramoorthy (Max Planck Institute for Sustainable Materials GmbH), Hyeongseob Kim, and Pyuck-Pa Choi* (Korea Advanced Institute of Science and Technology)

Keywords: Additive manufacturing, Laser powder bed fusion, Thermoelectric material, Half-Heusler compound

Materials utilized in additive manufacturing (AM) have been widely extended beyond metals to include polymers, liquid metals, glasses, etc. Thermoelectric (TE) materials, which can convert temperature gradients into electrical energy, are also getting great attention to be fabricated by AM. Current research on AM of TE materials has mainly focused on chalcogenides, which operate at low temperatures. There is a need to extend printable thermoelectric materials to those capable of higher operational temperatures to utilize industrial waste heat effectively. Half-Heusler compounds have a suitable operational temperature limit of up to 700°C and also have high thermal stability, high power factor, and low toxicity. This study investigates the AM of NbCoSn-based half-Heusler compounds using a laser powder bed fusion method. To enhance thermoelectric properties, three powder level modifications were explored: Sb-doping, excess Co blending, and nano-Y_2O_3 blending. Additionally, surface laser re-melting was employed to obtain finer grain structures. Microstructure characterization was performed to analyze the phase purity and grain size of the half-Heusler compounds. The effect of powder modification and building strategy on the resulting properties were also discussed.

[적층5-2 | 17:30]

레이저 직접 적층 공정으로 제조한 Ni-Fe 경사기능재료의 굽힘 특성 분석 및 유한요소해석 응용조성구배 최적화 : 조해주, 정종욱, 이욱진* (부산대학교 공과대학 재료공학부)

Keywords: L-DED, FGM, FEM, AISI 316L, Inconel 625

경사기능재료(Functionally graded materials, FGM)는 화학조성 또는 기계적 물성이 위치에 따라 점진적으로 변화하는 재료로써, 최근 항공우주 및 국방 산업의 발전에 따라 소재의 경량화, 내구성 향상 및 방열특성의 중요성이 대두되어 그 필요성이 증가하고 있다. 한 편, 레이저 직접 적층 공정(Laser directed energy deposition, L-DED)은 이종의 금속 분말을 서로 다른 분율로 동시에 분사하며 적층 할 수 있기 때문에 원하는 조성비를 연속적으로 적층할 수 있어 FGM 제작에 매우 유용한 3D 프린팅 방법이다. 본 연구에서는 굽힘 변형 저항성이 큰 이종소재계면 설계를 위해 경사적 기계적 물성을 가지는 Ni-Fe FGM structure를 설계하여 L-DED를 이용하여 제작하였다. 고온 특성이 우수한 Inconel 625와 범용 스테인레스 스틸인 AISI 316L 분말을 사용하였다. 해당 합금 분말 2종을 동시 분사하여 5가지 혼합비로 시편을 제작하고, 기계적 물성과 미세구조를 분석하였다. 실험 데이터를 기반으로 유한요소해석(finite element method, FEM)을 통해 다양한 FGM 조성구배 설계의 굽힘 저항을 시뮬레이션 하였다. FEM 결과를 바탕으로 최적의 조성구배를 선별하고, L-DED로 시편을 제작하여 굽힘 특성을 분석하였다. 실험 결과와 FEM 시뮬레이션 결과를 비교하고 혼합비에 따른 각 층의 기계적 물성과 미세구조 간의 상관관계를 조사하였으며, 이를 통해 굽힘 변형 저항성이 높은 최적의 FGM 조성구배 설계를 제시하였다.

[적층5-3 | 17:45]

재료 압출 적층 방식으로 제조된 CoCrFeMnNi 고엔트로피합금의 인장 물성 : 이도원, 이정아, 박효진 (포항공과대학교), 최중호 (포항공과대학교, 한국재료연구원), 김래언, 김형섭* (포항공과대학교)

Keywords: 고엔트로피합금, 재료 압출 적층 제조, 소결, 인장, HDI 강화

고엔트로피합금 적층제조는 새로운 합금 계열이 지닌 우수한 기계적 특성과 최근 우주 항공, 국방, 해양 등 다양한 분야에서 요구되는 생산에서의 기하학적 자유도 및 복잡성을 결합한 공정 및 합금 제조 방식이다. 본 연구에서는 폴리머 바인더와 CoCrFeMnNi 고엔트로피합금 분말을 혼합한 피드스탁을 재료 압출 방식으로 적층한 후 탈지 및 소결을 거친 소결체의 미세조직과 인장 물성을 분석하였다. 먼저, 소결체의 미세조직 및 상 분석을 진행하고, 인장 실험을 통하여 약 ~55%의 높은 헤테로 변형 유도 (Hetero-deformation induced, HDI) 강화 효과를 보였으며, 이는 기존 소결체에서는 분석되지 않은 강화 메커니즘이다. 변형 미세조직 분석을 통하여, 열탈지 및 소결 과정에서 생긴 기공 주변의 얇은 산화층이 항복 단계에서 전위 밀집 및 GND 생성 유도, 소성 영역에서의 back stress 및 전위 움직임 제어 거동을 유도하였다. 이는 복합재료에서만 보였던 HDI 강화 효과 거동을 소결체에서도 좀 더 세밀하게 규명할 수 있는 연구이며, 이를 통해 재료 압출 방식 적층 후 소결체의 인장 물성 강화 방법으로 기공 주변 산화막을 활용하여 HDI 강화 효과를 고려해볼 수 있게 되었다.

[적층5-4 | 18:00]

균일분산된 TiC 강화형 NbTaVTi 내열하이엔트로피 합금의 미세조직 및 기계적 물성 평가 : 최혁재, 이진규* (공주대학교)

Keywords: 하이엔트로피 합금, 기계적 합금화, 방전 플라즈마 소결법, TiC

항공우주, 원자력산업이 발전함에 따라 극고온에서 이용 가능한 재료의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 중 하이엔트로피 합금이 주목받고 있다. 일반적인 합금과 달리 여러 요소들의 동일 첨가된 합금으로 상온 및 고온에서도 단일상을 유지하여 고온특성이 우수한 합금으로 알려져 있다. 고융점의 내열원소로만 이루어진 내열 하이엔트로피 합금의 경우 대표적인 내열 합금인 Inconel 및 Haynes 합금보다 800ºC 이상의 고온에서 보다 높은 강도를 나타내었다. 최근에는 하이엔트로피 합금에 산화물 또는 탄화물 등의 제 2상을 첨가하여 연성, 비강도, 고온특성을 향상시키고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 기계적 합금화를 통해 Nb-Ta-V-Ti 하이엔트로피 합금 분말을 제조하였고 방전 플라즈마 소결법을 이용하여 하이엔트로피 합금 소결체를 제조하였다. 제조된 분말 및 소결체의 미세 조직을 분석하기 위해 주사전자현미경(SEM)과 후방산란전자 회절패턴분석기(EBSD) 및 투과 전자현미경(TEM) 분석을 진행하였다. 또한 상 분석을 위해 X-선 회절 분석(XRD)를 실시하였으며, 기계적 특성을 평가하기 위해 상온 및 고온에서 압축 강도를 측정하였다. 제조된 NbTaVTi 합금의 상온에서의 항복강도 및 변형률은 약2.1GPa, 30% 였으며 800ºC에서의 항복강도 및 변형률은 약1.1GPa, 40%로 우수한 기계적 특성을 나타내었다.

[적층5-5 | 18:15]

금속 적층제조 중엔트로피 합금 복합재의 혁신적 성능 향상: 부분적으로 분해된 TiC 나노입자의 역할 : 안성열, 김은성, 정상국 (포항공과대학교), Stefanus Harjo, Takuro Kawasaki, Wu Gong (Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) Center), Hyun-Joong Kim, 홍순직 (국립공주대학교), 홍순익 (충남대학교), 권현석 (포항공과대학교), 김정기 (경상국립대학교), 김형섭* (포항공과대학교)

Keywords: Metal matrix composite, Metal additive manufacturing, Dispersed nanoparticle reinforcement, Medium-entropy alloy, Deformation mechanism variation.

입자 분산 금속 매트릭스 복합재(MMC)를 생산하기 위한 금속 적층 제조(MAM)는 균일한 입자 분포, 강력한 계면, 합금 설계에서 부품 설계에 이르는 설계 유연성과 같은 문제를 해결할 수 있는 능력으로 높이 평가받고 있다. MAM을 통해 생산된 MMC는 강도의 큰 향상을 보이지만, 제어된 변형 거동을 통해 연성을 유지하는 것도 중요하다. 본 연구는 직접 에너지 증착(DED) 적층 제조를 통해 Fe60Co15Ni15Cr10(at%) 중엔트로피 합금(MEA) 내 TiC(2wt%) 나노입자의 부분 분해로 인한 영향을 조사하였다. DED 공정 중 급격한 온도 상승에도 불구하고 약 74.5%의 TiC 나노입자가 온전하게 유지되어 매트릭스 내에서 균일하게 분포된다.

빠른 냉각 속도는 입자 응집을 제한하고 매트릭스 내 높은 전위 밀도를 유도하여 강도를 크게 향상시키며 항복 강도는 ~413 MPa로 ~1.41배, 인장 강도는 ~594 MPa로 ~1.37배 증가했다. 실시간 중성자 회절을 통해 변형 중 전위 증식 가속이 확인되며 증가된 가공 경화율의 원인이 분석되었다. 분해된 TiC는 MEA 재료의 매트릭스 불안정을 안정화하여 지연된 변형 유발 마르텐사이트 변태를 슬립 기반 변형 거동으로 전환시켰다. 수많은 슬립 밴드가 활성화되어 매트릭스 내에서 변형을 효과적으로 분산시키고 조기 파손을 방지하여 연신율(~24.0% 균일 연신율)을 유지한다. MEA와 MEA-MMC의 항복 강도는 미세 구조 편차를 설명하는 네 가지 강화 메커니즘을 사용하여 추정되었다. 이 연구는 제어된 변형 메커니즘과 우수한 특성을 가진 MMC 설계에 대한 통찰력을 제공한다.

[적층5-6 | 18:30]

시효조건에 따른 Directed Energy Deposition 공정으로 제조된 Fe-Cu-Ni-Al 합금의 기계적 특성 및 미세구조 : 노건우, 주수빈, 김정기* (경상국립대학교)

Keywords: Maraging steel, Heat treatment, Fe-Cu-Ni-Al, DED, Precipitates

마레이징 강은 고강도, 고인성을 가지는 초고강도 강재로 자동차, 항공우주, 방산 등 여러 분야에서 많은 관심을 받고 있다. 하지만 이차 전지 시장 규모 확대로 마레이징 강의 주요 원소인 Ni의 높은 수요로 인해 마레이징 강의 가격 상승이 지속되고 있다. 이를 극복하기 위해 고가의 Ni 함량을 감소시키면서 저가 원소들을 활용한 대체 합금에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Fe-Cu-Ni-Al 합금은 Cu를 첨가하여 강의 석출물을 제어하고 Ni, Al을 첨가하여 기지 내 Cu-rich core와 B2-Ni(Al) ordered shell 구조를 가지는 co-precipitate를 형성하여 마레이징 강과 유사한 석출강화가 나타난다. 이에 본 연구에서는 DED(Directed Energy Deposition) 공정으로 제조된 Fe-Cu-Ni-Al 합금의 공정 최적화와 열처리 조건에 따른 기계적 특성 및 미세구조 변화를 확인하였다. 열처리 조건은 소재의 기계적 특성을 확보하기 위해 500°C에서 바로 열처리를 진행하는 Direct Aging(DA), 기지 내 Martensite 형성을 위한 Martensite Treatment(MT), 두 조건을 결합한 DA + MT로 진행하였고 기계적 특성 및 미세구조 분석을 통하여 열처리 조건에 따른 나노 석출물의 변화를 분석하였다. 다양한 조건에서 열처리 공정을 수행한 결과, 12시간 DA를 진행한 조건에서 경도(약 255 Hv)가 가장 높으며, 우수한 인장 강도(약 700 MPa)를 가지는 것을 확인하였다. 이에 최적 열처리 조건에서 높은 강도가 나타나는 원인을 규명하기 위해 미세구조 분석 및 나노 석출물 정량화를 진행하였으며, 석출상 형성에 따른 소재 물성 변화에 대해 논하고자 한다. 본 결과를 통해 DED 공정으로 제조된 Fe-Cu-Ni-Al 합금에 최적 열처리를 수행할 경우 기존 마레이징 강을 대체할 수 있는 방안을 찾을 수 있을 것으로 예상된다.

비철금속
Room 루지홀, 10월 28일

[비철1-1 | 08:30] Canceled
폐희토류자석으로부터 희토류 금속 분리 추출 시 할로겐화합물의 마그네슘 조성의 영향 : 고의준, 허성규, 박경태*, 신재홍* (한국생산기술연구원국가희소금속센터)
Keywords: 네오디뮴, 폐자석, 희토류, 마그네슘, 할로겐화합물
본 연구에서는 용융 마그네슘 할로겐화물을 사용하여 폐 희토류 자석에서 희토류 원소인 Neodymium 원소를 금속 형태로 추출하였다. 폐 NdFeB 자석과 마그네슘 할로겐화합물을 반응시켜 희토류 할로겐화합물을 생성하였으며 교환반응을 통해 얻어진 희토류 할로겐화물은 전기-화학 반응을 통해 희토류 금속으로 추출하였다. 열역학적 계산에 근거하여 여러 할로겐화물 중 마그네슘 할로겐화물을 선정하였고, 교환 반응 및 전기-화학 금속 추출 반응의 공정온도를 낮추기 위하여 리튬 할로겐화물을 포함한 이원계 혼합 염을 사용하였다. 추출은 분쇄된 폐 NdFeB 자석을 1000°C의 온도에서 용융 할로겐화물과 반응시켜 진행하였다. 교환 반응 이후 할로겐화물 형태로 추출한 Nd 혼합염은 전기-화학적 반응을 통해 Plate 형태의 전극에서 금속 형태로 수거하였다. 할로겐화물 교환 반응 이후 잔존 마그네슘의 함량에 따라 전기-화학적 반응으로 추출한 Nd 금속의 성분을 조사하였다. 추출한 금속 Nd의 중량과 폐 NdFeB 자석의 Nd 함량 계산을 통해 추출율을 계산하였다. 샘플의 미세 구조, 상 및 조성은 주사 전자 현미경(SEM), X선 회절 분석(XRD), 유도 결합 플라즈마-광 방출 분광법(ICP-OES)을 사용하여 분석하였다.

[비철1-2 | 08:45]
폐 NdFeB 영구자석으로부터 재활용을 위한 전처리 공정에 미치는 입도분포의 영향 : 서보성, 차은빈, 서건원, 박광석* (한국생산기술연구원)
Keywords: NdFeB 영구자석, 재활용, 입도분포, 수소화 열처리
폐 NdFeB 영구자석을 재활용하는 과정에서, 전처리 단계는 Nd의 선택적 침출 효율성을 크게 좌우하는 중요한 요소로 작용한다. Fe-H_2O와 Nd-H_2O 시스템에 대한 전위-pH 그래프를 고려했을 때, Fe_2O_3와 Nd^{3+}가 공존할 수 있기 때문에 폐 NdFeB 영구자석을 Fe_2O_3와 Nd_2O_3로 산화시킬 수 있으면 산 용액에서의 선택적 침출은 가능하게 된다. 이러한 상을 제어하기 위한 전처리 과정으로 수소화 열처리로 $Nd_2Fe_{14}B$ 상을 NdH_2 및 α-Fe 상으로 형성시킨 후 산화배소를 통해 Nd_2O_3와 Fe_2O_3만 형성시킬 수 있다. 본 연구에서는 파쇄된 NdFeB 영구자석의 입도분포에 따라 수소화 열처리와 산화배소가 미세조직에 미치는 영향을 조사하였다. 폐 NdFeB 영구자석을 jaw crusher와 rod milling을 통해 분쇄하였고, 이후 분급을 통해 입도분포를 제어하였다. 수소화 열처리를 850 °C에서 1시간동안 열처리 후 대기산화 660 °C에서 3시간동안 열처리를 진행하였다.

[비철1-3 | 09:00]
카보닐 공정을 활용한 니켈 선철(NPI)에서의 니켈 추출 연구 : 배성욱 (한국생산기술연구원, 한양대학교), 김명석 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 박주현 (한양대학교), 박경태, 신재홍* (한국생산기술연구원)
Keywords: 니켈 선철, 분리 정제, 수소환원, 카보닐 공정, 니켈 추출
카보닐 니켈은 몬드 공정으로 알려진 전통적인 카보닐 공정을 통해 제조된다. 이 공정은 다음과 같은 화학 반응을 통해 진행된다: 1) $Ni_{(s)} + 4CO_{(g)} \leftrightarrow Ni(CO)_{4(g)}$, 2) $Fe_{(s)} + 5CO_{(g)} \leftrightarrow Fe(CO)_{5(g)}$. 이 공정은 니켈과 일산화탄소가 반응하여 휘발성 니켈 카보닐을 형성한 후, 이를 다시 분해하여 순수한 니켈을 추출하는 방식이다. 이 과정에서 철도 유사하게 일산화탄소와 반응하여 철 카보닐을 형성한다. 카보닐 니켈의 주요 특성으로는 고순도, 미세 입자 크기, 우수한 열 및 전기 전도성, 높은 표면적, 높은 산화 저항성 등이 있다. 이러한 특성 덕분에 카보닐 니켈은 화학 산업, 분말 야금, 배터리 전극, 연료 전지, 야금 및 합금 제조 등 다양한 분야에서 중요한 역할을 한다. 특히, 화학 산업에서는 촉매로 사용되며, 유기 합성 및 수소화 반응에서 중요한 역할을 한다. 이러한 카보닐 니켈 분말의 세계 시장은 2038년까지 연평균 5.95%의 성장률을 기록할 것으로 전망된다. 이 중 아시아-태평양 지역은 가장 큰 시장 규모와 수요를 차지하며, 연평균 6.59%로 전 세계에서 가장 빠르게 성장할 것으로 예상된다. 그러나 아시아 지역인 한국의 연평균 성장률은 5.05%로, 인도(7.48%), 일본(6.96%), 중국(6.87%)에 비해 낮은 수치를 보이고 있다. 이는 국내에서 카보닐 공정 기술이 부재하여 전량 수입에 의존하고 있는 현실을 반영한 것이다. 따라서, 국내 카보닐 공정을 활용한 니켈 정제 기술 개발이 시급히 필요한 상황이다. 본 연구는 니켈 중간재인 니켈 선철 (NPI) 분말로부터 수소환원과 카보닐 공정을 통해 니켈을 추출하기 위한 연구를 진행하였다. Factsage 8.2 소프트웨어를 사용하여 사전 열역학 분석을 수행하였다. NPI 분말의 조성은 $NiO_{(s)}$ 및 $Fe_2O_{3(s)}$로, 이는 수소환원을 통해 $Ni_{(s)}$ 및 $Fe_{(s)}$로 환원될 수 있으며, 온도 제어를 통해 선택적으로 $Ni_{(s)}$로의 환원이 가능하다. 카보닐 공정은 온도와 압력에 의해 영향을 받으며, 매개변수 제어를 통해 가역적인 반응이 가능하다. 따라서, 온도 변수를 제어하여 수소환원 공정을 진행한 후, 온도와 압력 변수를 제어하여 카보닐 공정을 수행하였다. XRD, XRF 장비를 활용한 분석과 실험 전후의 질량분석을 수행하였고, 이를 통해 환원률과 전환률 분석을 실시하였다. 실험 결과를 바탕으로, 카보닐 공정을 활용한 NPI에서의 니켈 추출을 위한 두 가지 방법을 제안한다.

[[비철1-4 | 09:15] Canceled
Saprolite계 니켈 광석의 수소환원을 통한 CO2 발생 저감을 위한 기초연구 : 김한결* (고려대학교)
Keywords: 금속, 니켈, 수소환원, CO2, TG

니켈 광석은 대표적으로 황화광과 산화광이 있다. 황화광의 경우 0.2~4%의 니켈과 같은 정도의 Cu가 함유되어있는데 선광에 의해 Ni 정광과 Cu 정광으로 농축해 분리할 수 있다. 산화광은 laterite계와 garnierite계의 두 종류가 있다. 일반적으로 laterite 광석을 말하는데, 표층부에 존재하는 Ni 함량이 낮은 광석은 limonite라 하고, 심층부에 존재하는 Ni 함량이 상대적으로 높은 광석은 saprolite라 한다. 일반적으로 limonite는 습식 환원을 통해 제련하고, saprolite는 건식 환원을 통해 제련한다. 기존 건식 환원은 탄소계 환원제가 사용되어왔다. 탄소계 환원제의 경우, 산화광 내의 산소가 온실가스인 이산화탄소로 배출되기때문에 NetZero 2050을 실현하는데 걸림돌이 될 수 있다. 따라서, 수소환원을 도입할 경우, 이산화탄소 대신 수증기가 배출되어 온실가스 배출량 감축에 이바지할 수 있다. 본 연구에서는 수소 환원에 유리한 니켈광의 산지, 환원온도, 환원분위기에 대해 알아보고 TG를 이용해 온도에 따른 질량 감소분과 광석 내 존재하는 상의 관계에 대해 고찰하고자 한다.

[비철2-1 | 09:40]

재활용 WO_3를 이용한 자전연소합성 공정에서의 압분체 압력 조건에 따른 WC 제조 및 입자 제어 연구 : 이기혁 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 이용관, 유용연 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 이미혜, 박경태, 심재진* (한국생산기술연구원)

Keywords: 자전연소합성(SHS), 텅스텐 카바이드, 재활용 WO_3, 기계적 밀링, 압분체

탄화텅스텐은 자동차 제조, 항공우주 산업, 초경합금과 같은 다양한 분야에서 핵심적인 소재로 사용되고 있다. 특히, 탄화텅스텐의 입자 크기는 WC-Co 초경합금 최종물성에 영향을 미치기 때문에, 미세한 WC 분말 제조에 대한 다양한 연구가 필요하다. 일반적인 WC 분말 제조 방법으로는 크게 직접탄화법과 금속열환원법이 있으며, 직접탄화법의 경우 기계적 분쇄 공정으로 인해 0.5 μm 이하의 입자 크기를 가진 WC 분말을 얻기가 어렵다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 금속열환원법 중 하나인 자전연소합성법을 활용하여 재활용 WO_3로부터 WC 분말 제조 연구를 수행하였다. 자전연소합성 공정은 반응 물질의 발열 반응열을 이용해 수 초 내에 반응이 완료되며, 입자 성장을 억제할 수 있고, 외부 에너지 공급이 필요하지 않아 경제적인 장점이 있는 공정이다. 공정변수는 압분체 압력 조건으로, 연소 합성 공정에서 반응물의 압력은 밀도가 높을수록 반응물의 접촉 면적이 증가하여 연소 속도가 빨라지고, 입자 성장이 억제되어 미세한 입자를 얻을 수 있다. 압분체 압력 조건은 0~17MPa 사이의 반응물의 밀도 변화를 주어 실험을 수행하였다. 자전연소합성 공정을 통해 생성된 반응 부산물은 14M 염산 수용액을 활용하여 산 침출 공정으로 제거하였다. 최종적으로 제조된 WC 분말은 기계적 밀링 장비를 활용하여 입도 제어를 진행한 후, ICP-OES, XRD, FE-SEM, BET, C/S 등의 다양한 물성 장비를 통해 특성을 비교하였다.

[비철2-2 | 09:55]

농업 폐 부산물 왕겨로부터 환원제/탄소 변수에 따른 자전연소합성에서의 SiC 물성 영향 : 유용연, 이용관 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 이기혁 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 허성규, 박경태, 심재진* (한국생산기술연구원)

Keywords: 왕겨, 탄소, 마그네슘, 자전연소합성(SHS), 실리콘 카바이드(SiC)

실리콘 카바이드(SiC)는 높은 경도(Mohs hardness 9)와 열전도도(125 W/m·k), 낮은 밀도(3.21g/cm^3)로 인해 전력 반도체 및 철강 산업 등 다양한 분야에서 사용된다. 2023년 기준으로 한국에서는 매년 약 80만 톤의 왕겨가 발생하며, 대부분의 왕겨는 숯, 사료, 퇴비와 같은 저부가가치로 활용되고 있다. 이를 열처리하면 왕겨회분(RHA)이 생성되며, 문헌에 따르면 열처리 및 후처리 공정을 통해 왕겨회분에 실리카(SiO_2)를 99% 이상 농축시킬 수 있다. 본 연구에서는 외부 에너지 공급 없이 반응물의 발열 반응열을 이용하는 자전연소합성(SHS) 공정을 사용하여 농업 폐부산물인 왕겨로부터 SiC를 합성하였다. 실험에 앞서 환원제량 및 탄소장입량 최적 조건을 FactSage software를 사용하여 반응부산물의 거동을 계산하였다. 계산된 공정 조건을 바탕으로 SHS 공정을 통해 SiC를 합성하였고, 이후 산침출 공정과 기계적 밀링 공정을 통해 분말을 회수하였다. 최종적으로 회수된 SiC 분말은 XRD, SEM, C/S 분석, ICP-OES, PSA와 같은 다양한 분석 장비를 사용하여 분석하였으며, 분석 결과를 바탕으로 환원제량과 탄소 장입량 조건의 최적화 및 물리적 특성의 차이를 확인하였다. 최종적으로 5 mol의 환원제와 이론적 탄소함량인 29.9% 물성과 유사한 1~1.5 mol 사이의 최적 탄소 조건을 도출하였다.

[[비철2-3 | 10:10]

산업폐기물의 건식제련 공정에서 효율적인 귀금속 회수를 위한 슬래그 최적화 설계: **CaO 첨가에 따른 슬래그의 물리화학적 특성변화** : 김현주, 김령래 (한양대학교), 박현식 (한국지질자원연구원), 박주현* (한양대학교)

Keywords: 건식제련 공정, 산업 폐기물, 재활용, 은, 팔라듐

빠른 기술 혁신과 시장 확대로 인해 폐 전기 및 전자 장비(WEEE), 즉 전자 폐기물의 양이 급격히 증가하고 있다. 이러한 전자 폐기물뿐만 아니라 석유화학 폐촉매, 구리 함유 슬러지, 폐배터리 등과 같은 산업 폐기물에는 금(Au), 은(Ag), 팔라듐(Pd) 등의 귀금속이 다량 포함되어 있다. 특히, 폐PCB의 금과 은 농도는 천연 광석보다 20~30배 높아 재활용 가치가 크기 때문에, 이러한 산업 폐기물로부터 귀금속을 회수하는 기술은 귀중한 자원을 확보하는 동시에 금속 오염으로 인한 환경 문제를 해결할 수 있는 효과적인 방안이 된다. 이에 본 연구에서는 PCB 처리 과정 중 발생하는 동슬러지와 정유 공정에서 발생하는 석유화학 폐촉매로부터 은과 팔라듐의 효율적인 회수 방안을 탐구하였다. 귀금속 회수 과정에서 회수율이 감소하는 원인을 분석한 결과, 슬래그의 높은 점도와 용융 금속 내 황(S) 함량 증가로 인해 슬래그-금속간 계면 장력이 감소하고, 이로 인해 귀금속이 포함된 구리 액적이 슬래그로 유입되는 현상이 주요 원인임을 확인하였다. 이러한 회수율 감소 문제를 해결하기 위해, 석유화학 폐촉매를 동슬러지와 혼합할 때 석유화학 폐촉매의 비율을 30%로 고정한 후, CaO를 첨가하여, 슬래그 점도, 슬래그-메탈 계면장력, 그리고 귀금속 회수율의 변화를 종합적으로 분석하였다. 또한, 슬래그 내에서 Copper droplet 내 귀금속의 분포와 입자 크기 변화, 그리고 이들 입자의 응집 및 침전 특성에 미치는 CaO 첨가의 영향을 분석함으로써, 귀금속 회수율을 극대화할 수 있는 방안을 고찰하였다.

[비철2-4 | 10:25]

메테인 가스 버블링에 의한 조동의 탈산반응 : 이소영, 손호상* (경북대학교)

Keywords: Blister copper, Deoxidation, Methane, Greenhouse gas, Hydrogen

용융 조동(Blister copper) 중 산소는 동제련의 건식정제공정인 anode furnace에서 주로 천연가스를 사용하여 일정 수준 이하까지 제거하고 있다. 천연가스의 주성분은 메테인(CH_4)으로, 고온에서 C과 H_2가스로 분해되며, 각각 용동중 산소와 반응하여 CO나 CO_2, H_2O 가스가 생성되면서 탈산이 일어난다. 따라서 본 연구에서는 CH_4에 의한 용동의 탈산 속도를 고찰하기 위해 실험실 규모의 고주파 유도용해로에서 용융한 구리 중에 CH_4가스를 취입하여 용동의 탈산속도에 미치는 반응온도, 전체 가스유량, CH_4 분압의 영향에 관하여 고찰하였다. CH_4에 의한 용동의 탈산 속도는 반응 온도가 높을수록, 전체 가스유량이 높을수록, CH_4 가스의 분압이 높을수록 높게 나타났다. 그러나 CH_4가스의 소비효율에 미치는 전체가스 유량과 분압의 영향이 거의 없었으나, 반응 온도의 영향은 크게 나타났다. 이는 반응 온도가 높을수록 CH_4가스의 분해 및 반응 효율이 높기 때문으로 생각된다. 한편, 천연가스의 대체재로서 H_2와 CH_4에 의한 탈산반응 속도 및 반응 효율을 비교하여 친환경 탈산제인 H_2로의 대체 가능성에 관해서도 고찰하였다.

[비철2-5 | 10:40]

도금 슬러지로부터 니켈 회수를 위한 니켈 침출 및 분리 정제 향상 기술 연구 : 김명석, 권남훈 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 배성욱 (한국생산기술연구원, 한양대학교), 박경태, 신재홍* (한국생산기술연구원)

Keywords: 도금 슬러지, 니켈 회수, 습식정제, 황산 침출, 용매 추출

전기차 산업의 급성장과 함께, 배터리 성능을 좌우하는 양극재의 핵심 금속들이 주목받고 있다. 특히 니켈은 배터리 셀의 에너지 밀도를 결정하는 핵심 금속으로, 전기차의 주행거리를 향상시키는 데 중요한 역할을 한다. 이에 니켈 함량이 80% 이상인 하이니켈 양극재의 수요가 증가하면서 니켈의 중요성도 꾸준히 높아지고 있다. 그러나 니켈 자원은 주로 인도네시아와 중국에 집중되어 있어 자원 확보에 있어 지리적, 경제적 불균형이 존재한다. 또한, 국내에서는 철강, 도금, 배터리 등 다양한 산업 활동으로 인해 니켈이 다량 함유되어 있는 폐기물이 많이 발생하고 있으며, 이러한 폐기물의 처리 과정에서 환경적인 문제가 대두되고 있다. 따라서, 니켈 자원의 안정적인 확보와 환경 보호를 위해, 국내에서 발생하는 니켈 폐기물을 재자원화하는 기술 개발이 필수적이다. 본 연구에서는 니켈 부산물 중 하나인 도금 슬러지 내에서 니켈 자원을 회수하는 연구를 수행하였다. 상압 조건에서 도금 슬러지의 침출 효율을 극대화하기 위해 하소 공정에 따른 재료의 물리적, 화학적 특성을 제어하여 니켈의 침출 효율을 비교하였다. 또한 도금 슬러지 침출 용액 내 불순물을 효과적으로 제거하고자 용매추출 공정을 활용하여 다양한 추출제와 조성을 제어하여 불순물 제거를 통한 니켈의 선택적 추출 및 농축 효율을 극대화하고자 하였다.

[비철3-1 | 11:05]

Microstructural evolution and aging behavior of multicomponent Al alloy : Namhyuk Seo (Jeonbuk National Univ., KITECH), Sang-Hwa Lee, Seoung Bae Son (Jeonbuk National Univ.), Min-Su Kim (KITECH), Seok-Jae Lee, and Jae-Gil Jung* (Jeonbuk National Univ.)

Keywords: Aluminum alloys, precipitation, transmission electron microscopy, atom-probe tomography, aging behavior

We investigated the microstructural characteristics and aging behavior of multicomponent Al80Mg5Li5-Si5Cu5(SiCu)/Zn5Cu5(ZnCu)/Zn5Sn5(ZnSn) alloy using the transmission electron microscopy (TEM) and atom-probe tomography (APT) during solution treatment, cooling, and natural aging. The casting microstructures were analyzed as θ-phase, Mg2Si, Q-phase, and AlLiSi phase for SiCu alloy, V-phase and η-phase for ZnCu alloy, and AlLi, Sn, Mg2Sn phase for ZnSn alloy, respectively. The solution treatment at 450 °C caused partial dissolution of secondary phases in SiCu and ZnCu alloy, and particularly caused Sn to become liquid in ZnSn alloy. Furnace cooling after solution heat treatment resulted in the formation of phases such as θ-phase (SiCu alloy), V- and η-phase (ZnCu alloy), and hcp-Zn (ZnSn alloy). Nanoscale solute clusters, which contribute to the age-hardening response, were formed during the natural aging of all of the water-quenched alloys. Additionally, in the ZnSn alloy, the microstructural behavior was investigated during artificial aging, confirming that hcp-Zn and Mg/Zn-rich precipitate were formed in the Al matrix.

[비철3-2 | 11:20]

Enhancing microstructural homogeneity and mechanical properties of recycled 7000 series Al extrudate through grain refiner addition : 진상철, 안건웅, 김형준 (경북대학교), 손기덕, 윤재훈, 박기태, 송경환 (삼성전자(주)), 이정훈 (한국생산기술연구원), 박성혁* (경북대학교)

Keywords: Aluminum alloy:Machining chip:Recycling:Tensile properties:Bendability.

7000계 알루미늄은 탁월한 강도와 가공성으로 인해 차량 및 항공기 부품에 널리 사용되고 있으며, 최근에는 다양한 모바일 기기의 프레임에도 적용되고 있다. 그러나 모바일 기기 프레임의 구조적 특성상, 디스플레이 및 전자부품이 장착되는 중간 부분이 비어있어야 하며, 이를 위해 두꺼운 압출 또는 압연된 소재를 기계 가공으로 절삭하여 형상을 구현하는 제조 방식이 사용된다. 이 과정에서 원소재의 60% 이상이 칩 형태로 폐기되는 문제가 발생한다. 따라서 이러한 대량의 가공 칩을 재활용할 필요가 있으나, 재활용된 소재는 일반적으로 원소재 대비 낮은 물성을 가진다. 물성 저하의 주된 원인은 가공 및 후처리 공정에서 가공 칩에 혼입되는 불순물과 높은 비표면적을 가진 가공 칩에 형성된 산화물 등 때문이다. 특히, 가공 칩을 재활용하여 제조된 소재는 미세조직이 불균일하고 강도가 저하되는 문제가 있다. 본 연구에서는 7000계 알루미늄 압출재의 기계가공 후 발생한 폐기물 칩을 재활용하여 주조, 압출 공정을 통해 압출재로 제조하였다. 주조 공정 중 소량의 미세화제를 첨가하여 재활용 압출재의 미세조직 균일도를 향상시키고

인장 및 굽힘 특성을 개선하였다. 그 결과, 가공 칩을 재활용한 압출재임에도 불구하고 상용 7075 알루미늄 압출재보다 우수한 인장 강도를 나타내었다. 감사의 글: 본 연구는 삼성전자㈜ MX(Mobile Experience) 사업부의 지원에 의해 수행되었습니다.

[비철3-3 | 11:35]

내열특성이 우수한 Cu-Cr계 동합금에 관한 연구 : 최준영*, 정원석, 이시담, 박철민 ((주)풍산)

Keywords: Cu-Cr, 고특성동합금, 고전압커넥터, 쉴드캔

동(Cu, 구리)및 동합금은 전기전도도가 우수한 재료로써 오랫동안 전기전자부품에 사용되어져 왔다. 최근 전기전자제품 및 자동차 산업의 트렌드는 경량화, 고효율화이고 사용되는 부품의 경박단소화가 진행중이다. 특히 전기차의 경우 고전압시스템이 적용되어 고전압커넥터, 고전류터미널 사용량이 증가하고 있고, 모바일 등 IT 제품의 경우 발열해소가 매우 중요하기 때문에 사용되는 부품의 기계적 특성 뿐만 아니라, 우수한 내열성과 높은 전기전도도가 요구되고 있다. 특히 스마트폰의 방열특성 향상을 위하여 쉴드캔용 소재의 특성향상이 요구되고 있다. 한편 Cu-Cr계 동합금은 석출경화형 합금으로 시효처리를 통하여 우수한 강도와 높은 전기전도도를 갖는것으로 알려져있다. 하지만 이원계 Cu-Cr계 동합금은 전기전도도는 우수하지만 산업에서 요구하는 강도와 내열성은 보유하지 못하기 때문에 전기전자부품 적용에 제약이 있다. 따라서 이를 개선하기 위하여 Cu-Cr계 합금에 Si, Zr, Ag, Mg 등 다양한 원소를 첨가하여 특성을 향상시키는 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 Cu-Cr계 동합금에 Si, Co, Sn 등의 미량원소 첨가가 미치는 영향에 대하여 평가했다. Co 첨가시 내열특성과 강도가 증가하는 반면 전기전도도가 저하되었으며, Si, Sn 첨가시 강도향상에는 효과가 있지만 내열특성 향상에는 큰 효과가 없었다. 결론적으로 Co, Si, Sn 등 첨가원소 화학조성비 최적화를 통해 최근 산업에서 요구하는 고특성동합금을 제조하였다.

[비철3-4 | 11:50]

Mn 첨가에 따른 Cu-Ni-Si 합금의 기계적 특성 변화 : 정현우, 신지용 (한국재료연구원, 부산대학교), 이상진, 정일석, 최은애 (한국재료연구원), 권세훈 (부산대학교), 한승전* (한국재료연구원)

Keywords: Cu alloy, Cu-Ni-Si alloy, Ni2Si, Ni16Mn6Si7

일반적으로 Cu-Ni-Si 합금의 Ni, Si 첨가량 증가는 결정립 내부의 Ni2Si 강화상 형성을 촉진하여 기계적 특성이 향상된다. 그런데 과도한 Ni, Si 첨가는 결정립계의 조대한 Ni2Si 개재물 형성으로 인해 강도가 저하되는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 Mn을 첨가하여 결정립계 개재물의 형상 및 구조를 변화시켰다. Cu-6Ni-Si (Si 함량: 1.2, 1.25, 1.3 wt.%)합금과 2.1Mn wt.% 첨가된 합금을 대기 주조 후 균질화 처리 (980ºC, 8h)하였다. 모든 합금에서 미세한 Ni2Si이 결정립 내부에 형성되었으며, Cu-Ni-Si 합금은 결정립계에 부정형의 조대한 Ni2Si 개재물이 형성되었다. 반면, Cu-Ni-Si-Mn 합금의 경우, 결정립계에 Ni2Si 개재물은 생성되지 않았으며, film 형상의 G-phase (grain boundary phase, Ni16Mn6Si7)가 형성된 것을 확인하였다. 결과적으로 film 형상의 G-phase 형성으로 인해 결정립계에 불규칙한 형태의 Ni2Si 개재물 생성이 제한되어 강도가 증가하였다. 또한, Cu-Ni-Si 합금의 경우, Si 함량 증가에 따라 강도가 감소하는 반면, Mn 첨가 시 Si 함량이 가장 높은 Cu-6Ni-1.3Si-2.1Mn 합금에서 가장 우수한 강도를 보였다.

[비철3-5 | 12:05]

TWIP 효과와 변형 쌍정 형성에 의한 Cu-Si 및 Cu-Al 합금의 강도 및 연신율 향상 연구 : 이민규, 박진우, 김상은, 권태윤, 임우현, 이명제, 한준희, 신찬선* (명지대학교)

Keywords: Cu합금, 쌍정, 적층 결함 에너지, TWIP

금속의 강도를 높이면 연성이 감소하고, 반대로 연성을 높이면 강도가 낮아지는 것은 일반적으로 알려져 있다. 이러한 상충 관계는 결정질 금속에서 소성 변형을 지배하는 전위 메커니즘에 기인한다. 즉, 높은 강도를 얻기 위해서는 연성에 기여하는 전위의 생성과 이동을 억제해야 한다. 그러나 변형 쌍정을 새로운 주요 강화 및 변형 메커니즘으로 도입하면 금속 재료에서 강도와 연성 간의 상충 관계를 극복할 수 있다. 이는 변형 쌍정을 단상 오스테나이트 강철에 도입하여 뛰어난 강도와 연성의 조합을 달성한 TWIP 강에서 입증되었다. TWIP 강에서 나타나는 TWIP 효과는 고유한 화학 성분보다는 변형 쌍정의 거동에서 비롯되므로, 쌍정을 통해 변형될 수 있는 다른 FCC 금속들도 유사한 TWIP 합금이 될 가능성이 있다. 최근 연구에서는 알루미늄 함량이 비교적 높은 Cu-Al 합금에서 변형 쌍정이 소성 변형 과정 중 지배적인 메커니즘으로 작용하여 TWIP 계열의 또 다른 합금이 될 수 있음을 보였다. 본 연구에서는 구리의 적층 결함 에너지 (SFE: Stacking Fault Energy)를 감소시키는 원소로 알려진 실리콘을 함유한 Cu-Si 합금을 제조하고, 이 합금의 변형 거동을 실온 뿐만 아니라 저온에서도 조사하여 Cu-Al 합금과 비교하였다. Cu-Al 및 Cu-Si 이원 합금에서 TWIP 효과를 확인하기 위해, 순구리, Cu-8at% Al, Cu-16at% Al, Cu-2.2at% Si, Cu-4.4at% Si, Cu-6.6at% Si 합금을 진공 아크 용해로에서 제조한 후, 균질화 열처리를 실시하고 90%의 압하율로 냉간 압연을 진행하였다. 이후 600°C에서 30분 동안 어닐링을 수행한 후, 인장 시험과 미세구조 분석을 통해 재료의 기계적 특성을 평가했다. 변형 쌍정을 확인하기 위해 변형률을 조절한 인장 시험을 진행하고, 그에 따른 미세조직을 관찰하였다. 또한, 저온에서의 변형 거동을 확인하기 위해 상온 인장 시험뿐만 아니라 저온 인장 시험을 수행하여 그 결과를 비교했다. 실험 결과, 합금 원소의 함량이 증가할수록 변형 쌍정의 생성이 증가하였으며, 이에 따라 강도와 연신율이 향상되었다. Cu-Si 합금은 Cu-Al 합금보다 합금 원소 함량이 적음에도 불구하고 더 높은 강도와 연신율을 나타냈다. 이는 실리콘이 알루미늄 보다 구리의 SFE를 더 크게 감소시켜 변형 쌍정이 더 많이 생성되었기 때문이다. 변형 쌍정은 변형률이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였고, 저온 인장 시험에서는 변형 쌍정에 의해 소성 변형이 지배적으로 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

기능성 마그네슘 응용기술 심포지엄
Room 루지홀, 10월 28일

[기능성1-1 | 13:00] 초청강연

기능성/구조용 마그네슘 합금 개발과정에서의 원자/나노스케일 전산모사의 활용 : 고원석* (인하대학교)

Keywords: Mg alloys:Hydrogen storage alloys:Density functional theory:Atomistic simulations

최근 소재개발 과정에서 기존의 시행착오 (trial & error) 접근법에서 벗어나 데이터기반 (data-driven)과 지식기반 (knowledge-based) 방법론을 적극적으로 활용하는 것이 중요해지고 있다. 이에 따라 다양한 스케일에서의 첨단화된 실험적 분석과 전산모사 분석이 상호보완적으로 결합되는 협업연구의 중요성이 증가되고 있다. 본 발표에서는 기능성/구조용 마그네슘 합금의 효율적인 설계를 달성함과 동시에 기초 메커니즘을 분석하기 위한 도구로서 제일원리 (First-principles) DFT (Density functional theory) 계산과 원자단위 전산모사 (Atomistic simulation) 등 미소스케일 전산모사 기법의 효용성을 예제를 통해 논하고자 한다. 먼저 기능성 합금 개발과 관련한 예제로서 수소경제 활성화 관련된 중요한 소재인 정치형 (stationary) 수소저장합금 개발 과정에서의 전산모사의 효용성을 논하고자 한다. 특히, 제일원리 DFT 계산을 통해 수소저장합금 내에 포함시킬 수 있는 다양한 용질원소의 효과를 규명하고 전반적인 물성을 빠르게 예측함으로써 효율적인 합금설계가 가능함을 설명하고자 한다. 또한 구조용 마그네슘 합금 개발과 관련하여, DFT 계산과 분자동역학 등 전산모사 기법의 응용 현황에 대해 설명하고, 해당 기법들의 마그네슘 합금계로의 응용 가능성에 대해 설명하고자 한다.

[기능성1-2 | 13:25] 초청강연

주조기반 고저장밀도 Mg계 수소저장합금 및 압력용기 시스템 개발 : 김영민*, 서병찬, 노수지 (한국재료연구원), 지성화 (펌스터), 박형기 (한국생산기술연구원)

Keywords: 수소저장, 마그네슘, 주조기반, 에너지저장

신재생 에너지의 지역편차, 간헐성, 경직성 등 문제를 해결하기 위해 잉여전력을 저장했다가 필요할 때 공급할 수 있는 에너지 저장 기술의 개발이 필요하다. 이차전지 중심의 에너지 저장 시스템의 공급이 크게 증가하고 있음에도 최근에는 안전성 및 장기간 무손실 저장이 가능한 수소에너지 저장 기술이 크게 각광을 받고 있다. 기체, 액체, 고체 형태의 3가지 수소 저장 기술이 있는데, 안전성과 저장밀도를 고려했을 때 금속소재가 수소화물을 형성하면서 수소를 저장하는 수소저장합금이 가장 효과적이다. 본 발표에서는 주조기반의 Mg-Ni 수소저장합금의 수소저장 특성과 용기시스템에 관한 연구결과를 소개하고자 한다. 6~30 at% Ni이 첨가된 마그네슘 합금을 대기 중에서 보호가스를 사용하여 용해 및 주조를 하였다. 주조재의 표면부를 선삭가공하여 칩 형태의 샘플을 확보하였고, 이를 활용하여 미세조직 분석과 수소저장특성을 측정하였다. 미세조직 분석에 따르면, 11 at% Ni이 첨가된 합금에서 완전한 Mg-Mg_2Ni 라멜라 조직으로 구성되어 있었으며, Ni 함량이 증가함에 따라 primary-Mg_2Ni 상의 비율이 증가합니다. 마그네슘 합금의 수소 흡탈착 특성은 300~350°C에서 측정되었으며, 11 at% 이하의 Ni 함량에서는 대기 중에 형성된 Mg 산화물의 영향으로 수소의 흡착이 이루어지지 않았다. 반면 20 at% Ni이 첨가된 합금의 경우 약 5 wt% 수소저장밀도를 보여주었고, Ni 함량이 높을수록 최대 수소 저장 용량은 감소했습니다. 또한 본 연구에서는 마그네슘 합금의 수소 흡탈착 속도를 향상시키기 위해 제 3의 원소를 추가로 첨가하거나 압출과 같은 열간 가공 공정을 추가하거나 샘플 표면에 rGO를 코팅하는 등의 방법을 적용하여 그 효과를 조사하였는데, 구체적인 연구결과는 본 발표에서 소개될 예정이다.

[기능성1-3 | 13:50] 초청강연 Canceled

마그네슘이차전지의 실용화를 위한 주요 기술적 이슈 및 해결을 위한 연구개발전략 : 오시형*, 노우주, 한종현, 임재홍 (한국과학기술연구원)

Keywords: 마그네슘, 차세대전지, 실용화, 기술적 난제, 연구전략

최근 전기자동차(EV), 신재생에너지 연계 전력저장장치(ESS) 등과 같은 중·대형 이차전지시장이 꾸준히 성장함에 따라 전지의 경제성 및 안정성이 보다 크게 강조되면서, 발화사고가 빈번하게 이어지고 있는 리튬이차전지(LIB)를 대체할 수 있는 차세대 전지의 개발이 활발히 진행되고 있다. 특히 지각 및 해수에 풍부하고 재활용성이 높으며 고에너지밀도의 전지 구성이 가능한 마그네슘에 기반한 차세대 이차전지가 주목받고 있다. 마그네슘은 환경 친화적이며 국내 광물이 풍부하게 존재하여 해외로부터의 원료수급에 크게 영향을 받는 LIB와는 달리 원료 자립형 이차전지 산업의 구현이 가능하다. 마그네슘 금속은 낮은 음극 전위와 높은 비체적 용량을 제공하므로 적절한 양극재와 결합할 경우 높은 에너지 밀도를 갖는 전지를 구현할 수 있다. 또한 알칼리금속이온 기반 이차전지, 특히 LIB보다 안정성이 높고 원재료 비용이 저렴하여 ESS와 같은 대용량의 에너지저장이 필요한 다양한 응용 분야에서 미래의 이차전지 기술로서 고려되고 있다. 하지만 이러한 마그네슘 금속음극 기반 이차전지의 실용화를 위해서는 해결해야 할 기술적 난제들이 존재한다. 특히, 대기 혹은 전해질과의 반응으로 초기에 생성되는 비이온전도성의 부동태막으로 인하여 음극 반응인 마그네슘 전착-전해 시 과도한 분극이 수반되는 문제점을 해결하기 위해 부식성이 강한 친핵성의 전해질을 사용하는데 이는 전지 내부의 다른 구성품과 다양한 부반응을 유발하는 문제점이 있으며 극도의 무수/불활성 분위기 유지를 위한 공정비용이 큰 단점이 있다. 또한, 금속 음극에서는 반복된 금속의 도금-용해 사이클 후에 덴드라이트가 형성될 위험이 있다. 마그네슘 이온의 다가 특성으로 인해 양극재로의 삽입/탈리 반응 시 높은 활성화에너지에 따른 반응속도가 매우 느려 이를 극복할 수 있는 메커니즘 및 이에 기반한 신규 소재의 개발이 요구된다. 본 발표에서는 마그네슘전지가 가지는 이러한 문제점을 설명하고, 이를 극복하기 위한 최신 연구 전략 및 결과를 소개한다.

[기능성1-4 | 14:15] 초청강연

Revealing the Kinetics of Hydrogen-sorption Kinetics on Mg-based composite for Solid-state Hydrogen Storage System : DongWon Chun* (KIST)

Keywords: Solid-state Hydrogen Storage System, Mg-hydrides Composites, In-situ Characterization

In an effort to reduce carbon emission, global initiatives have been focusing on producing green hydrogen through clean energy sources such as wind and solar power, and storing/transporting it to utilization sites including fuel cell charge stations. In this presentation, I will introduce alternative hydrogen storage systems based on, 1. Ammonia, 2. Liquid Organic Hydrogen Carrier, 3. Liquid Hydrogen, and 4. Metal-hydrides (M-Hs). In addition, I will introduce my research regarding kinetics of hydrogen absorption and desorption kinetics on M-Hs, primarily using in-situ characterization techniques, which enables the observation of the dynamic motion of M-H under working environments, including gas, and heating conditions. I will show in-situ experimental results including Mg-Fe-hydride [1], Mg-Ni-hydride [2] and Pd-hydride [3], and explain the type of information we can obtain from understanding the dynamic behavior of M-Hs. References [4] D. W. Chun et al., Adv. Funct. Mater., 32 (2022) [5] D. W. Chun et al. In-preparation [6] D. W. Chun & W. Lee et al. Adv. Mater., 36 (2024)

[기능성2-1 | 14:50] 초청강연

Pre-clinical study on medical Mg alloy : Kang-sik Lee* (Asan Medical Center)

Keywords: Medical Mg alloy, bone regeneration, biodegradation

Magnesium (Mg) alloys have emerged as a promising class of biomaterials for orthopedic and dental applications due to their unique biodegradability and mechanical properties that resemble natural bone. This research investigates the impact of Mg ions on human bone marrow-derived stromal cells (hBMSCs) and explores the broader implications of Mg alloys in medical fields. The studies demonstrate that Mg ions significantly enhance hBMSC proliferation and osteogenic differentiation through upregulation of integrins α2 and α3, and increased alkaline phosphatase (ALP) expression and activity. In vivo studies reveal favorable bone response and integration with Mg implants, confirming their potential for temporary implants that support natural bone healing. Mg alloys exhibit excellent biocompatibility, with controlled degradation rates aligning with bone regeneration processes, reducing the risk of stress shielding and bone resorption. Collectively, these studies highlight the promising potential of magnesium alloys in medical applications, particularly for orthopedic and dental implants. The key advantages of Mg alloys include their biodegradability, mechanical compatibility with bone, and ability to promote osteogenic activities. These properties position Mg alloys as valuable materials for the development of advanced medical implants, paving the way for innovative solutions in bone repair and regeneration.

[기능성2-2 | 15:15] 초청강연

의료기기 분야에서의 생체 분해성 마그네슘 기반 제품 개발 및 연구 동향 : 정화철*, 노형진, 구동규 (이노시스(주) R&D Center)

Keywords: 마그네슘, 바이오, 의료기기, 생체분해성, 생물학성

의료기기 분야에 사용되는 소재는 금속, 세라믹, 고분자 등 거의 전 소재 분야에 걸쳐 있지만, 인체에 적용해야 하는 특성상 공통적으로 소재의 안전성과 유효성을 반드시 확인해야 한다. 특히 인체 내 삽입되어 장기와 뼈의 치료에 도움을 주거나 대체하는 임플란트의 경우, GLP(Good Laboratory Practice) 인증 수준의 전문기관에서 까다롭고 엄격한 Biocompatibility Test를 평가해야 하고 적응증과 의료기기 종류에 따라서는 임상시험을 통해 소재와 제품의 안전성을 확인해야 규제기관의 인허가를 획득할 수 있다. 최근 들어 인체 내 무해한 생체분해 특성으로 골절 치료 등에 적용하기 위한 소재료 각광받고 있는 마그네슘의 경우에도, 반드시 소재에 대한 생물학적 안전성, 임상시험 등의 평가 및 결과를 확보해야 적용 가능하다. 마그네슘은 인체 내 구성원소이면서 필요 원소 중 하나이므로, 마그네슘 원소 자체에 대한 생체적합성은 우수하지만 의료기기 제품화를 구현하기 위한 합금 설계, 제조 공정에 따른 생물학적 안전성 평가는 필수적이다. 특히 삽입 후 생체 내 분해되는 마그네슘 임플란트의 경우 분해 거동을 포함한 다양한 연구 결과가 증명되어야 한다. 이러한 제약에도 불구하고 마그네슘은 앞서 언급한 인체 필수 구성 원소, 골치유기능 향상, 인체 내 흡수 가능한 생체적합성 등의 장점으로 한국뿐만 아니라, 미국, 중국, 독일, 일본 등 마그네슘 개발을 선도하는 국가 중심으로 의료기기 적용을 위한 마그네슘 제품 연구 및 개발이 활발히 이루어져 왔다. 본 발표에서는 바이오 산업 중 의료기기 분야에 적용하기 위한 생체 분해성 마그네슘 기반 제품 개발 및 연구에 대한 국내 연구진의 결과와 함께 전세계 관련 기술 개발 동향을 소개하고자 한다.

[기능성2-3 | 15:40] 초청강연

마그네슘 합금의 조성 및 미세조직에 따른 활성산소 발생 거동 : 옥명렬*, 채민정, 김현경 (한국과학기술연구원)

Keywords: 마그네슘 합금, 활성산소, 부식, 미세조직

경량 구조용 소재로 각광받던 마그네슘계 소재가 생분해성 금속 소재로 응용[1]되면서 그 기계적 특성과 생체 내 부식에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔으며, 특히 시한 소자[2]를 필두로 전자, 센서, 약물전달용 마이크로/나노 로봇 등 다양한 응용분야에 대해 연구가 이루어지고 있다. 마그네슘의 생체 내 분해 거동에 대한 연구는 주로 조직 재생 속도를 고려한 부식 속도 최적화와 그에 따른 분해 산물의 생체 내 안전성 등에 초점을 맞춰왔다. 한편, 마그네슘과 기존 의료용 합금 간 전기화학적 접촉을 통해 활성산소가 발생되며 이를 의공학적으로 응용할 수 있음[3]이 보고된 이래, 전기화학적 활성산소 발생 거동에 대한 기초 및 응용 연구를 수행하면서 골고정용 임플란트외에도 해당 기술을 스텐트[4,5] 등에 응용하고자 하는 시도가 이루어졌다. 상기 연구들은 순수한 마그네슘 및 아연을 벌크 내지 코팅으로 사용한 연구들로서, 해당 개념의 기술적 성숙을 위해 산업적으로 더 큰 의의를 갖는 합금으로 연구를 확장하고

자 하였으며, 이를 위해서는 합금의 조성 및 미세조직과 활성산소 발생 거동 사이의 관계를 이해할 필요가 있다. 본 발표에서는 대표적 생체용 마그네슘 합금인 Mg-Ca계, 그리고 Mg-Zn계 합금의 부식과 활성산소 발생 거동을 금속 조직학적 관점에서 분석하고 그 메커니즘을 제시[6]하고자 한다. 이러한 이해는 의료용 생분해성 합금의 안전성과 기능성 확보는 물론 표면 처리와 같은 새로운 아이디어 창출에도 도움이 될 것으로 기대된다. 참고문헌 1. J.-W. Lee/H.-S. Han et al., Proceedings of National Academy of Science, 2016 (113), pp. 716-721. 2. J.-Y. Bae/E.-J. Gwak et al., Advanced Science, 2004029 (2021). 3. J. Park et al., Angewandte Chemie International Edition, 2015 (54), pp.14753-14757. 4. J. Park/H. Seo et al., Langmuir, 2019 (35) pp.3634-3642. 5. G. Jeong/H. W. Hwang et al., Langmuir, 38, 26, 8003-8011 (2022). 6. M. Chae/G. Jeong et al., in preparation.

[기능성2-4 | 16:05] 조청강연

Nanoporous Mg Structure via Chemical Redox Agent-Driven Dealloying for Advanced Hydrogen Storage : YongJun Cho and Eun Seon Cho* (KAIST)

Keywords: hydrogen storage, nanoporous structure, dealloying

Magnesium and its alloys are widely utilized in a variety of fields, taking advantage of light weight, high specific strength, and low cost. Also, they are regarded as a suitable material for energy conversion and storage, and especially, Mg and its hydride form hold significant potentials in solid-state hydrogen storage. Benefiting from the low density, it shows the high gravimetric hydrogen capacity up to 7.6 wt.%, along with a good reversibility for hydrogen sorption and natural abundance, which makes it an ideal candidate for advanced hydrogen storage system. However, it suffers from sluggish hydrogen sorption kinetics and insufficient thermodynamic properties, which results in a high temperature and rather prolonged time for operation. The representative strategy for overcoming such issues is nanoscaling, in which case Mg or MgH2 can be confined within scaffolds to reduce the size. Such nanoconfinements are found to be effective for improving the relevant kinetic and thermodynamic properties, yet the stability upon hydrogen cycling and the reduction in active mass due to the introduction of scaffolds remain to be solved. We developed nanoporous Mg structures without scaffold via a facile chemical redox agent-driven dealloying for advanced hydrogen storage. The Mg metallic ligaments are interconnected to form porous metals, in which hydrogen transport and diffusion can be facilitated and the volume change upon hydrogen cycling can be relieved. We envision that this unique nanoporous structures can be potentially applied for other energy applications, facilitating the development of sustainable energy system for the future net-zero transition.

회절 분석을 통한 미세조직학적 특성의 정량적 평가: 현황과 전망

Room 봅슬레이+바이에슬론, 10월 28일

[회절1-1 | 08:30] 초청강연

XRD와 EBSD를 이용한 미세조직 측정 및 분석 : 조재형* (한국재료연구원)

전통적으로 다결정 금속재료의 이방성을 측정하는 방법으로 많이 활용되던 방법은 XRD를 이용한 접근법이다. XRD를 이용해서 다수의 결정립의 회절강도를 보여주는 극점도를 측정하고 이를 수학적으로 정량화함으로써 ODF(orientation distribution function)를 결정할 수 있다. ODF는 다수 결정립의 회절강도를 적분하여 얻어지므로 시편의 통계적인 결정배향성을 정확하게 알 수 있는 특징이 있다. 최근에는 EBSD를 활용함으로써 재료의 2차원적 미세조직특징을 직접 관찰하는 방법이 많이 활용되고 있다. XRD를 이용한 미세조직의 3차원적 특징을 측정하는 방법으로 CT(computed tomography)와 DCT(diffraction contrast tomography)의 방법도 최근에는 활용되는 추세이다. 다공성 금속재료의 경우 CT를 이용하여 porosity등의 분포를 확인할 수 있고, 다공구조체를 이산화시켜 FEM등의 모델링에 활용하기도 한다. 금속재료의 방향성 정보까지 알고자 하는 경우 DCT를 이용하면 결정립의 3차원적인 배향성과 형상 등의 다양한 정보를 얻을 수 있다.

[회절1-2 | 08:5] 초청강연

최신 융합소재 EBSD 분석 기술: 분해능과 속도의 한계를 넘어서 : 강주희* (웨이브센스)

Keywords: EBSD, SEM, 융합소재

EBSD 분석은 금속 소재뿐만 아니라 세라믹, 기능 소재의 미세구조와 집합조직 해석을 위해 널리 사용되고 있다. 2010년대 후반부터 주사전자현미경 분해능과 전류밀도의 비약적 향상, CMOS EBSD 검출기 개발로 이전에는 EBSD 분석이 어려웠던 전자빔에 취약한 소재나 sub-micron 크기 결정립을 가진 소재도 비교적 쉽게 분석할 수 있게 되었다. 또한 EBSD 분석으로 TEM 분석 대비 비교적 넓은 영역에서 통계적인 미세조직 데이터를 획득할 수 있고 초당 5000픽셀 이상 분석 속도를 얻을 수 있어 대면적 분석도 활용할 수 있게 되어, EBSD의 분해능 및 속도 발전은 최신 융합소재의 정량적 분석 방법의 하나로 제안되고 있다. 대부분 금속과 세라믹 소재 시편전처리법으로 습식 기계연마나 전해연마가 사용되었지만, 기능 소재에서는 부식이나 산화에 취약한 소재한 경우가 많아 건식 방법인 이온밀링 또은 FIB로 시편전처리를 수행한다. 또한 cubic과 hexagonal 구조가 대부분인 금속에 비해, 세라믹과 기능 소재는 결정구조가 복잡하거나 대칭성이 낮은 결정구조를 갖고 있어 pseudo-symmetry에 의한 indexing 이슈가 발생하기도 하며 여러 EBSD 분석 조건에 따라 hit rate가 크게 변동하는 등 고난도의 분석 노하우를 요구한다. 또한 EDS-EBSD 동시분석이나 pattern matching indexing 등 특별한 분석법을 적용해야 하는 경우도 있어 최신 융합소재의 EBSD 분석은 고난이도의 기술을 요구한다. 본 연구에서는 다양한 금속, 기능성 세라믹 및 배터리를 포함한 기능 소재 등 최신 융합소재에서의 EBSD 전처리 및 분석 사례를 소개하고자 한다.

[회절1-3 | 09:10] 초청강연

Revealing the inhomogeneous nature of microstructure and texture evolution in the cold-rolled CoCrFeMnNi alloy during static recrystallization : Aman Gupta (Sunchon National University), Lalit Kaushik (Indian Institute of Technology Jodhpur), Saurabh Pawar (Sunchon National University), Joo-Hee Kang (Korea Institute of Materials Science), Jaiveer Singh (Indian Institute of Technology Jodhpur), and Shi-Hoon Choi* (Sunchon National University)

In the present investigation, equiatomic CoCrFeMnNi high entropy alloy (HEA) was subjected to 80% cold rolling (as-rolled) followed by isothermal annealing treatment at 700 °C for different time periods. Microstructural characterization was performed using electron back-scattered diffraction (EBSD) and electron channeling contrast imaging (ECCI) techniques on the as-rolled and annealed samples. The as-rolled microstructure consisted of elongated grains mainly composed of strong α-fiber and weak γ-fiber textures. The as-rolled sample showed the formation of ingrain SBs in the γ-fiber grains, which served as preferential sites for grain nucleation. The annealing treatment of as-rolled samples at 700 °C cause static recovery (SRV) before 5 minutes of heat-treatment, whereas static recrystallization (SRX) was observed after 5 minutes of heat-treatment in the CoCrFeMnNi alloy samples. A faster rate of recrystallization kinetics was observed after 15 minutes of heat-treatment. The annealing treatment reduced the intensity of α-fiber and enhanced the Copper, Cube and P ({011}<122>) texture components. Copper components originated from coarse recrystallized grains, which were the results of localized grain growth phenomena. Unusual behavior of banded featured α-fiber grains was observed during the annealing process. These banded grains in the partially annealed samples consisted of subgrain-boundaries and showed a delayed response to recrystallization as compared to grains with other orientations. Stored energy (SE) and Taylor factor (M) calculations were also used to understand the delayed recrystallization response of the banded featured/retained deformed grains. The microhardness value of the as-rolled sample was approximately 450 Hv, which decreased to around 230 Hv for the fully recrystallized grains.

[회절1-4 | 09:30] 초청강연

다양한 회절 분석 기술을 이용한 SOFC 분리판용 스테인리스 강재 산화거동 고찰 : 김동익*, 고윤석, 박수형, 김병규, 심재혁, 홍지

현, 이영수 (한국과학기술연구원), 한흥남 (서울대학교)

기능성 스테인리스 강재의 고온 산화거동은 강재에 첨가되는 다양한 합금 원소로 인해 열역학적으로, 속도론 적으로 복잡한 거동을 보이게 된다. 특히 산소 확산에 따른 내부산화로 생성되는 산화층은 산소 분압별로 달라지는 산화물의 안정도 변화로 인해 층별로 상이한 산화층 형성 거동을 보여주게 되는데, 이를 위해 다양한 회절 기반 분석 기술을 동원하게 된다. 본 연구에서는 SOFC 분리판용으로 사용되는 페라이트계 스테인리스 강재의 산화거동에 있어 La과 Ni의 합금원소가 미치는 영향에 대해 EBSD, TKD, XRD 등 다양한 회절 기반 분석과 EDS, XPS, XANES 등 다양한 분광 기반 분석, SEM 내 in-situ 분석 기술을 이용하여 분석하고, 이를 연료전지 필요 물성인 전기전도도 및 Cr 휘발성과 연계하여 해석하였다.

[회절1-5 | 09:50] 조청강연

싱크로트론 실시간 회절시험을 이용한 마그네슘 합금의 변형기구 분석 : 이상봉* (국립금오공과대학교), 김영민 (한국재료연구원), Emad Maawad, Dietmar Letzig (Helmholtz-Zentrum Hereon)

Keywords: 마그네슘합금, 전위, 싱크로트론, 실시간회절

마그네슘합금의 성능최적화를 위해서 합금조성-공정조건 사이의 상관관계에 대한 이해를 바탕으로한 미세조직 조절이 필수적이다. 이에 대한 예로 집합조직 약화와 기저면이 압연방향에서 심하게 기울어진 형태를 가지도록 결정립 방위조절을 해줌으로써 상온 성형성의 극대화를 이루는 방법이 제시되고 있다. 이러한 집합조직의 약화 및 주요 집합조직 성분의 변화는 Ca 또는 희토류금속을 Zn와 함께 합금원소로 첨가하면 얻어질 수 있다. Zn대신 Al을 첨가하는 경우, 이러한 집합조직 약화와 함께 얻어지는 성형성 증가효과는 사라진다. 이는 Ca 및 희토류원소가 Al원소와 높은 친화성을 가짐으로써 고용원소로 존재하는 양이 감소하는 이유와 더불어, Zn를 Al로 대체함으로써 변형시 구동되는 주변형기구의 변화가 발생하기 때문으로 알려져 있다. 본 연구에서는 Al과 Zn를 첨가한 마그네슘합금의 변형기구 및 구동전위의 변화에 대하여 싱크로트론 빔라인에서의 실시간 회절실험을 이용하여 연구하였다. 싱크로트론 빔라인의 경X-선을 이용한 실시간회절실험을 통해 얻어진 회절데이터를 이용 CMWP(convolutional multiple whole profile)와far field 3DXRD 분석을 수행하였다. 우선Mg-1Al (wt.%), 및 Mg-1Zn 이원계 합금판재를 변형을 가하며 실시간 회절실험을 수행하고 분석을 실시하였다. 변형시 구동되는 전위밀도의 변화와 함께 구동가능한 전위에 대해 버거스벡터별로 전위밀도의 변화를 측정하였다. 3D-XRD (far field 3D-XRD)분석을 통해서는 구동전위의 임계분해전단응력을 실험적으로 측정하였다. 전자현미경을 이용한 분석의 경우 상대적으로 낮은 변형률에서만 변형기구에 대한 분석이 가능하지만, 경X-선을 이용한 실시간 분석은 높은 변형률까지 전위밀도에 대한 정량적 분석이 가능하다. 또한 높은 공간 및 방위분해능을 바탕으로 결정립별 변형거동에 대한 분석을 통해, 이웃한 결정립의 영향을 포함하는 다결정질 재료의 변형거동 및 임계분해전단응력의 측정이 가능하다. 합금원소에 따른 전위밀도 증가양상 및 구동전위에 대한 분석을 통해, 합금원소에 따른 주변형기구의 변화를 실험적으로 측정할 수 있었다.

[회절1-6 | 10:10] 조청강연

집합조직 분석, 평가 및 응용 (X-선 회절을 이용한 분석, 평가) : 박노진* (금오공과대학교)

Keywords: 집합조직, X-선회절, 이방성

공학적으로 중요한 대부분의 재료들은 다결정질로 이루어져 있으며, 다결정을 구성하는 결정립들의 방위분포는 무질서하지 않고, 가공 및 변형, 열처리 등과 같은 제조공정에 의하여 특정한 방향성을 나타내는 경우가 많다. 이러한 경우 재료는 집합조직(texture)을 가졌다고 하며, 탄성계수, 소성변형거동, 자기적 특성, 열적 성질, 에칭 특성 등과 같은 많은 물성들은, 재료의 방향에 따라 다른 값을 갖게 된다. 즉, 다결정임에도 불구하고 이방성을 나타낸다. 이러한 이유 때문에 집합조직의 분석 및 평가는 소재개발 및 물성의 극대화를 위해 매우 중요하며 이의 정확한 이해가 필요하다. 집합조직 분석에는 X-ray, 중성자빔, 전자빔 등의 회절현상을 이용하여 극점도를 측정한 후 이를 해석하는 방법과 최근에 활발하게 발달한 EBSD를 이용하여 개개 결정립의 방위를 직접 결정하는 방법이 있다. 직접 측정된 극점도 혹은 방위를 이용하여 재료내의 방위분포를 정량적으로 해석할 수 있는데, 이렇게 해석된 방위분포를 통하여 다결정 재료의 물성에 대한 이방성을 이해할 수 있고 정량적인 예측 또한 가능하게 되었다. 본 발표에서는 X-ray를 이용한 집합조직의 측정방법과 해석, 그리고 여러 가지 물성의 이방성을 집합조직을 이용하여 예측하는 방법을 소개함으로써 재료 물성의 정확한 이해와 활용에 도움을 주고자 하였다.

집합조직
Room 봅슬레이+바이에슬론, 10월 28일

[집합1-1 | 10:40] Canceled
결정소성 유한요소법을 이용한 Ta-10W 합금의 변형 및 재결정 거동에 미치는 압하율 및 압연 온도의 영향 연구 : 박기성 (국립 순천대학교 첨단부품소재공학과), 전재열 (한국생산기술연구원 서남본부 동력소재부품연구그룹), 최시훈* (국립 순천대학교 첨단부품소재공학과)
Keywords: Ta-10W Alloy, CPFEM, Rolling Temperature, Deformation, Recrystallization

[집합1-2 | 10:55]
밀리미터 크기 패턴에서 Cu, Ag, Ni 및 Co 전기도금에서의 전류 파형에 대한 두께 균일도 및 미세조직 성장 거동 연구 : 이기영, 최재훈, 신한균, 박현, 이효종, 김정한* (동아대학교)
Keywords: Electrodeposition, Step-coverage, Microstructure, Texture

전기 도금 공정에서 표준 환원 전위는 금속 이온의 환원성에 큰 영향을 미치며, 특히 Co 도금의 경우 수소 발생 반응(hydrogen evolution reaction : HER)이 동반될 수 있다. 이는 전류 효율 감소 및 전극-전해질 계면의 pH 변화를 일으켜 증착되는 금속 박막의 미세조직에 영향을 준다. 또한 전기 도금 시 환원 반응에 참여하는 금속 이온의 물질 이동 특성이 도금층 형성에 중요한 역할을 하는데 밀리미터 크기의 패턴은 크기가 이온의 확산거리인 수십 μm 보다 크기 때문에 유동의 영향을 크게 받을 수 있다. 따라서 패턴 크기를 고려하여 확산과 유동에 의한 이온 공급의 영향을 고려한 추가 연구가 필요하다. 본 연구에서는 먼저 HER 반응이 발생하는 Co 직류 전기 도금 공정에서 전류 밀도에 따른 박막 성장 거동을 이해하고, 펄스 파형의 전류를 적용하여 on/off 시간을 조절함으로써 패턴 내부로의 이온 공급을 촉진하여 증착된 Co 박막의 두께 산포를 개선하고자 하였다. 그리고 EBSD 분석 기술을 이용하여 Co 도금 시 국부 영역에서의 농도 과전압 및 반응 과전압의 변화가 미세조직에 미치는 영향을 평가하고, 미세조직 성장 특성을 평가하고자 한다. 이를 통해 전극 표면 이온 농도 및 HER 유무에 따른 전기화학 반응 차이가 박막의 두께 산포와 미세조직 발달에 큰 영향을 끼침을 확인하였다. 이와 같은 Co 박막의 결과를 바탕으로, 표준 환원 전위에 기반하여 상대적으로 귀금속인 Cu, Ag 와 비금속인 Co, Ni의 전기 도금 시 HER 유무에 따른 두께 산포 차이를 실험적으로 확인하였다.

[집합1-3 | 11:10]
무방향성 전기강판의 SRA후 집합조직에 미치는 초기 미세조직의 영향 : 홍재완*, 김재훈, 박종태 (포스코 기술연구원)
Keywords: 무방향성 전기강판, 응력제거 소둔, 재결정

전기자동차 구동모터의 철심으로 가장 널리 사용되는 소재는 무방향성 전기강판이다. 구동모터의 고효율화를 위해서는 회전자용 무방향성 전기강판은 강도 특성, 고정자용 무방향성 전기강판은 낮은 고주파 철손 특성을 필요로 한다. 무방향성 전기강판의 고강도 특성은 주로 고합금화 및 결정립 미세화를 통해 확보할 수 있다. 그러나 고강도화를 위한 무방향성 전기강판의 결정립 미세화는 철손 특성 열위를 가져오기에 고강도/저철손 특성을 동시에 확보하기는 쉽지 않다. 최근 무방향성 전기강판의 고강도/저철손 특성을 동시에 확보하기 위해 회전자에는 결정립 미세화된 무방향성 전기강판을 사용하고, 고정자는 응력제거 소둔(SRA)을 통해 결정립 성장을 유도하여 저철손 특성을 확보하는 방법이 각광받고 있다. 이때 저철손 특성을 확보 하기 위해 응력제거 소둔으로 결정립 성장을 유도하는 경우 SRA 전 미세 스조직에 따른 집합조직의 변화가 발생한다. 이러한 변화는 SRA 후의 철손 특성의 변화를 유발하기에, 무방향성 전기강판의 SRA 전 미세조직에 따른 SRA 후 집합조직의 상관관계 규명이 필요하다. 본 연구에서는 무방향성 전기강판의 미세조직이 SRA 후의 집합조직에 미치는 영향을 관찰하였다. 이를 위해 단순 회복소둔 조직, 재결정 초기 조직, 재결정 완료된 조직을 갖고 있는 무방향성 전기강판을 SRA를 통해 충분한 결정성장을 유도하고, 그에 따른 SRA후 집합조직 변화를 관찰하였다. 회복소둔된 조직은 SRA후 {100}면이 강하게 발달하였다. 초기 재결정 조직의 경우에는 SRA후 {111}면이 강하게 발달하였으나, 초기 재결정 조직의 재결정 정도가 커짐에 따라 SRA 후 {111}면의 발달이 감소하였다.

[집합1-4 | 11:25]
Study on the Grain Growth of Goss-Oriented Grains in Grain-Oriented and Non-Grain-Oriented Electrical Steels : SEIL LEE* (POSCO)
Keywords: Electrical steel, Goss orientation, Grain growth, Recrystallizaiton, Abnormal grain growth

The most extensively studied crystallographic orientation in electrical steels is the Goss orientation, which has a "Cube on edge" configuration. Electrical steels are classified into grain-oriented electrical steels (GOES) and non-grain-oriented electrical steels (NGOES), with the Goss orientation being particularly intensively researched in GOES. Among these studies, the most focused research has been on the abnormal grain growth during the high-temperature annealing process of GOES, where all grains eventually adopt the Goss orientation. Before secondary recrystallization, the fraction of Goss-oriented grains is extremely low, but after secondary recrystallization, these grains dominate, growing to sizes of several centimeters due to their preferential growth. This phenomenon has been studied for over half a century through various theories based on the unique characteristics of grain boundaries, yet a definitive explanation remains elusive. Additionally, significant research has been conducted on the recrystallization of Goss-oriented grains themselves. Since the Goss orientation is a meta-stable orientation during rolling deformation, recrystallization occurs with a very

unique surrounding microstructure, resulting in a very low fraction of Goss-oriented grains post-recrystallization. However, these studies have often relied on simulations or inferences from highly localized observations, presenting certain limitations. Therefore, in this study, we aim to statistically analyze the Goss orientation by examining thousands of texture measurements of electrical steels with varying compositions and processing conditions. This analysis seeks to elucidate the selectivity of secondary recrystallization for the Goss orientation, as well as the recrystallization process and grain growth characteristics at different temperatures during the recrystallization of rolled textures.

[집합1-5 | 11:40]

EBSD 분석기술 개발에 따른 데이터 신뢰성 향상 : 김민성*, 강주희 ((주)웨이브센스), 최시훈 (국립 순천대학교)

Keywords: EBSD, Kikuchi pattern, Microstructure, Texture, Pattern matching technique

후방산란 전자회절(electron back-scattered diffraction, EBSD)법은 마이크로 단위의 미세조직 및 미시집합조직(microtexture)을 측정·분석하는 기술로, 최근에는 금속 소재뿐만 아니라 배터리 양극재와 같은 기능 소재 분야에 활용되고 있다. 또한 결정학적 방위차에 기반한 분석을 통해 가공 및 열처리 공정에 따른 미소역학적 거동을 정량적으로 파악할 수 있고, EDS 동시 분석을 통해 산화물, 특정 원소의 분포 등을 이해할 수 있다. 최근 지속적인 주사전자현미경의 분해능 향상 및 EBSD 검출기의 개발로 기존 EBSD 분석이 어려웠던 수백 나노 단위의 초미세립 미세조직 관찰부터 수백 마이크론 단위의 조대한 미세조직의 대면적 측정까지 신뢰성 높은 미시집합조직 분석이 가능할 정도로 확장되었다. 본 연구에서는 EBSD 검출기가 개발됨에 따른 전반적인 EBSD 측정 및 분석 기술의 변화를 발표하고자 한다. 기존 CCD 센서를 이용한 검출기와 2010년대 후반 개발된 CMOS 검출기를 이용하여 동일한 시험편의 미세조직을 분석하였다. 검출기에 따른 Kikuchi pattern indexing 분율을 정량적으로 비교하고, 데이터 신뢰성에 대하여 논의하고자 한다. 또한 EBSD 측정 시 방위나 상(phase) 정보를 확보할 수 없는 Kikuchi pattern을 이론적 시뮬레이션을 통한 pattern과 직접 비교함으로써, 정확한 정보를 해당 pixel에 부여할 수 있도록 개발된 pattern matching 기술을 설명하고자 한다.

[집합1-6 | 11:55]

EBSD와 CPFEM을 이용한 배터리용 동박의 미세조직/집합조직과 연신율의 관계에 대한 연구 : 박현*, 신한균, 김정한, 이효종* (동아대학교)

Keywords: 동박, 전해 도금, 연신율, 미세조직, 집합조직

전해도금 기술을 이용하여 제조되는 동박은 이차전지의 양극 집전체 물질로 널리 사용되고 있다. 지속적인 고 에너지 밀도 이차전지의 요구로 인해 동박의 두께는 급격히 감소하고 있으며, 이로 인한 이차전지 제조 시 열적, 기계적 하중에 의한 동박의 찢어짐 또는 주름 발생 등의 불량에 대한 우려가 고조되고 있다. 이에, 동박의 미세조직을 제어하여 기계적 물성을 향상시키고자 하는 연구가 진행되고 있다. 그런데, 동박과 같이 기판에서 분리된 박막이나 기판이 존재하는 박막에 대해, 항복강도는 Hall-Petch 방정식에서 표현되는 것과 같이 결정립 크기의 함수인 것이 널리 알려져 있는 반면, 연신율은 박막의 미세조직학적 요인과의 연관성이 여전히 불명확하다. 본 연구에서는 전해도금 기술을 통해 제작된 동박의 연신율과 미세조직 간의 관계를 분석하여, 연신율에 큰 영향을 미치는 미세조직학적 요인들을 추출하였다. 이를 위해, 도금 용액에 포함되는 첨가제에 기반한 미세조직 제어 전해도금 기술을 개발하여 미세조직이 상이한 동박들을 제작하였으며, 이들 중 일부는 이차전지 제조 공정 시 동박이 겪게 될 것으로 예상되는 80 또는 190 ºC 열하중 조건에서 어닐링되었다. 이들 도금직후 및 어닐링된 박막들의 기계적, 전기적 물성을 인장시험기와 4-point probe 시험기를 이용하여 측정하였고, 미세조직학적 특징들을 EBSD 분석기술을 이용하여 분석하였다. 또한, 결정소성 유한요소법 (CPFEM)을 이용하여, 동박의 집합조직에 따른 인장시험 시 동박 내부에서 일어나는 국부적인 변형 거동을 전산모사하였다. 그 결과, 동박의 연신율을 향상시키기 위해서는 결정립 크기와 함께 동박의 두께 방향으로 존재하는 결정립들의 수를 적절하게 조절하는 것이 필요하며, 박막성장방향 & 인장방향의 집합조직이 발달할 때 변형의 불균일성을 억제하여 연신율을 증가시킬 수 있을 것으로 예측하였다.

[집합1-7 | 12:10]

A new elasto-visco-plastic self-consistent model based on non-incremental stress formulation : Youngung Jeong* (Changwon National University)

Keywords: crystal plasticity, texture, anisotropy

Crystal plasticity models based on the homogeneous effective medium approach have been widely utilized in various applications. The common feature of these models is that the linear relationship between stress and strain is utilized, by which the Eshelby solution can be applied to account for interactions between grains and their surrounding media. Doing so results in dispersions in both grain stress and strain responses as opposed to the classical Taylor or Sachs models. Depending on the regime of constitutive behavior there are a variety of models, one of which is the visco-plastic self-consistent model and its numerical code. In this talk, a new elasto-visco-plastic self-consistent model based on a non-incremental stress formulation is introduced. The similarities and the differences between the new non-incremental model and the incremental model are discussed.

제22회 소재부품 안전 및 신뢰성 심포지엄
Room 봅슬레이+바이에슬론, 10월 28일

[신뢰성 1-1 | 13:00] 초청강연

캠샤프트용 베어링강의 입괴파괴 원인분석 : 박기덕*, 김태범, 함종오* (한국화학융합시험연구원)

Keywords: Baering steel, Cam shaft, Intergranular fracture , Premature failure, Hydrogen embrittlement,

이 연구의 목적은 캠샤프트용 베어링강에서 발생한 입계파괴 원인을 파악하는 것이다. 해당 제품은 최종 조립 공정에서 조기파단이 발생하였다. 손상 원인을 파악하기 위해 미세조직 관찰, SEM과 EDS 분석, 그리고 경도 분석을 수행하였다. 정량적 성분분석 결과, 손상시료는 베어링강재 중 100CR6 화학성분 기준치를 만족하였다. 파단면 분석을 통해 표면부근은 조대한 결정립의 형상과 Smooth 입계파괴(Intergranular fracture) 경향을 보였으며, 심부는 입계파괴와 연성파괴가 공존하는 양상이 나타났다. 미세조직 관찰 결과, 심부는 구상의 탄화물과 템퍼드 마르텐사이트(Tempered martensite)가 관찰되나 표면부근의 미세조직은 탄화물이 용해되어 관찰되지 않고, 구오스테나이트 결정립이 조대한 템퍼드 마르텐사이트가 관찰되었다. 또한 표면부근에서 미세균열이 존재하였으며, 미세균열은 내부에서 시작하여 전파된 특징을 보였다. 또한 경도측정 결과, 표면부근에서 심부에 비해 경도가 하락하는 구간이 존재하며, 이는 탈탄층으로 확인되었다. 표면부에서 약 500 um 정도의 두께로 탈탄층이 형성되어 있고, 해당부위에서 집중적으로 입계파괴가 발생한 것으로 볼 때, 탈탄과정에서 발생한 메탄가스에 의해 입계가 취약해지며 손상이 발생한 것으로 추정된다

[신뢰성 1-2 | 13:15] 초청강연

Clean Vecuum System용 용융아연도금강관 부식발생 원인분석 : 조병일*, 함종오*, 심진용 (한국화학융합시험연구원)

Keywords: Clean Veccum System, 아연도금강관, 반도체,

이 연구는 반도체 제조공장에서 설치되어 운용중인 Clean Veccum System용 아연도금강관에서 발생된 부식 원인을 위해 수행되었다. 부식이 발생된 강관은 KS D 3562(압력배관용 탄소강관, 250A)에서 규정된 강관이며, 원인분석을 위해 부식된 강관의 상부와 하부에서 시편을 채취하여 화학 성분 분석, 미세 조직 분석, SEM/EDS 및 XRD 분석을 수행하였다. 화학성분은 KS D 3562에서 규정된 값을 만족하였다. 정상부위는 연강(Mild steel)의 전형적인 조직인 페라이트(Ferrite)와 펄라이트(Pearlite) 혼합조직으로 확인되었으며, 부식이 진행된 부위는 부식으로 인해 균일부식과 선택부식이 혼합된 형태로 확인되었다. 강관의 부식생성물을 조사하기 위해 강관에서 채취한 이물질을 XRD로 분석하였으며 산화철인 Maghemite로 판독되었으며, SEM/EDS로 흡착된 이물질을 분석한 결과 주요성분은 산소(O), 불소(F), 규소(Si), 염소(Cl), 질소(N) 및 티타늄(Ti)로 확인되었으며, 이물질을 제거한 표면에서 염소(Cl)가 주로 검출되어 부식의 원인은 주로 염소이온을 포함한 이물질의 유입으로 인한 것으로 추정하였다. Clean Veccum System는 65A, 90A, 250A의 아연강관이 사용되었으며 아연강관을 통해 이동하는 염소이온을 포함한 이물질은 유체흐름이 가장 적은 250A에서 쌓이게 되고 침적되어 부식이 발생된 것으로 추정된다.

[신뢰성 1-3 | 13:30] 초청강연

고압수소 배관의 안전성 확보 위한 수소취성환경 적합성 평가 방법 개발 : 함종오, 오동현*, 박기덕, 문종훈 (한국화학융합시험연구원)

Keywords: 수소, 적합성 평가, 국제표준개발, 수소배관

에너지 패러다임 변화 따른 수소 경제 활성화로 수소분위기 환경에서 소재의 안전성 화보를 위한 연구개발이 활발하게 진행되어 왔으며, 고압 수소 분위기 금속재료의 적합성 평가 방법으로 ANSI/CSA CHMC1의 경우 선별 시험으로 고압수소분위기 저속인장시험방법을 통한 RNTS(Relative Notched Tensile Strength) 또는 RRA(Relative Reduction of Area) 값으로 부터 적합성 여부를 판단하고 있으며 고압용기 및 밸브 재료에 적용될 경우 ISO 11114-4에서 여러가지 방법으로 내수소취성을 평가하는 방법으로 활용되고 있다. 하지만 이들 방법들은 수소를 이송하는데 사용되는 배관에는 두께 및 지름의 크기 한계로 대부분 규정된 시험편으로 제작이 불가하여 고압수소 적용되는 배관 소재에 대한 적합성 시험평가가 어려운 상황이다. 본 연구에서는 기존 배관 형태 적영이 어려운 노치 가공을 대체 방안으로 홀 가공을 적용하여 고압수소 분위기에서 일정 시간 노출 후 마이크로 균열 여부를 통해 선별 시험으로 적용하고자 하며 이를 통해 기존 RNTS 및 RRA를 대체 가능하고 보다 경제적이고 안전하게 소재의 적합성 및 안전성을 평가하는 국제 표준을 개발하고자 하였다.

[신뢰성 1-4 | 13:45] 초청강연

혼소배관 내부 수소균열 예측 및 안전성 확보 위한 음향방출기법 연구 : 오동현*, 문종훈, 박근혁, 강세호, 김종면 (한국화학융합시험연구원)

Keywords: 혼소, 수소, 고압배관, 음향방출, 수소유기균열

온실가스 감축을 목표로 하는 노력의 일환으로, 도시가스에 수소를 혼입하여 연소 시 발생되는 이산화탄소 배출량을 줄이려는 연구가 영국과 독일을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 최대 20%까지 수소 혼입의 안전성과 효율성이 일부 검증되어 실증 연구가 이루어지고 있고, 국내에서도 새로운 수소 배관망을 구축하는 대신, 기존 천연가스 배관망을 활용하여 도시가스와 수소를 혼합하는 연구가 추진 중이다. 하지만 수소의 경우 쉽게 금속 내부로 침투하여 균열 및 배관의 파괴를 야기할 수 있어, 도시가스 배관망에 수소를 혼입할 경우 수소취성 평가와 배관의 수명을 예측하는 안전기술 개발이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 혼소배관의 안전확보를 위하여 소재의 파괴, 수소유기균열 시 발생되는 음향방출신호를 분석, DB화 하여 도시가스 내 수소 혼입 시 발생 될 수 있는 수소 균열, 파괴 징후를 사전에 감지할 수 있는 안전 모니터링 방안을 마련하고자 하였다.

[신뢰성2-1 | 14:10] 조청강연

대형단조강의 수소유기균열 분석 사례 : 박이호*, 윤건영, 양원존 (한국재료연구원)

Keywords: 수소유기균열, 대형잔조강, 게재물, 황

본 연구에서는 대형단조강의 수소유기균열에 대한 분석 사례에 대해 소개하고자 한다. 균열은 제작완료후에는 나타나지 않다가 보관중 수일이 지난 후에 서서히 나타나서 2~3주 후에는 그 수가 늘어나는 형태를 보였다. 실린더 형태의 압연롤러로 원의 중심에서 바깥 1/3 지점에서 밴드형태로 Shattered crack이 다수 관찰되었다. 원인분석을 위해 해당부위에서 샘플을 채취하였으며 미세조직분석을 실시하였다. 분석 결과, MnS 게재물이 다수 분포한 것을 확인하였으며 정상부와 비교하여 볼 때, MnS의 크기 및 분율이 상대적으로 매우 큼을 확인하였다. 단조강의 화학분석 결과, 황의 함량은 재질 Spec상의 최대허용치에 한참 아래에 있으나 MnS의 분포에 따라 또는 후열처리 여부에 따라 대형단조강의 수소유기균열은 얼마든지 발생 가능하다. 자세한 결과 논의는 발표를 통해 소개하도록 하겠다.

[신뢰성2-2 | 14:25] 조청강연

철도 차량 연결 부품 균열 발생 원인 분석 : 양원존*, 박이호, 장재훈 (한국재료연구원)

Keywords: Failure Analysis, Crack, Fayalite

본 연구는 운행 중 철도 차량 연결 부품의 균열 발생과 관련하여 분석/평가등을 통하여 향후 재발 방지를 위한 대책을 마련하기 위하여 수행되었다. 해당 부품은 대략 3년 정도 사용되었고, 차량 정비시 분해 하는 과정에서 비파괴 검사로 균열 발생이 확인되었다. 균열은 차량 은 외관 상 철도 차량 운행 방향의 수직방향으로 형성되어 있었으며 균열 형상을 분석하기 위해 micr-CT를 활용하였다. 또한 전자현미경을 이용한 균열 주위의 상(phase)분석 및 열역학 계산을 통한 해석도 함께 수행하였다. 결론적으로 제조 공정 중 형성된 소재 결함(Fayalite)이 스케일 제거시 제거되지 않고 남아 균열 시작점으로 작용하여 균열이 발생한 것으로 분석되었다.

[신뢰성2-3 | 14:40] 조청강연

자동차용 코일스프링 표준시편 부식피로평가법 연구 : 하영수*, 양원존 (한국재료연구원), 박종휘 (현대자동차), 박지원 (대원강업)

Keywords: 코일스프링, 단품 피로, 부식피로수명

본 연구는 자동차 주요 부재인 코일스프링의 부식피로수명을 예측할 수 있는 표준시편 평가법 개발을 목적으로 한다. 자동차 부품은 주행 중 다양한 부식 환경에 노출되며, 특히 외부에 위치한 코일스프링은 습기, 염분, 온도 변화 등으로 인한 부식 피로가 발생하기 쉽다. 따라서, 코일스프링의 부식피로수명 예측은 차량의 성능 및 안전성 확보에 있어 중요한 요소이다. 본 연구에서는 시편과 단품 간 부식피로수명의 상관성을 분석하여 실제 제품의 내구성 시험 및 평가 기간을 단축하고, 신재품 개발 및 품질 문제 발생 시 효과적으로 대응할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 한다.

[신뢰성2-4 | 14:55] 조청강연

TEM 회절패턴 자동해석 프로그램 (REDI, RIST Electron Diffracton Interpreter) : 강성*, 허윤 (포항산업과학연구원(RIST))

Keywords: TEM, 회절패턴, 자동해석, 프로그램, REDI

TEM을 이용하여 어떤 재료의 국소 영역에 대한 미세 결정구조 분석을 위해서는 SAED나 NBD와 같은 전자 회절상을 얻거나, atomic level의 고분해능 이미지를 얻어 FFT 변환 후 획득한 회절 이미지를 통하여 결정상을 해석해야 한다. 이러한 결정상 해석을 위해서는 획득한 이미지 속 회절점(Spot) 사이 거리 및 각도, 그리고 특정 면에 대한 면간거리를 측정하기 위한 Digital-micrograph 과 같은 별도의 S/W 등이 필요하며, 회절 패턴을 해석하는 연구자의 경험에 크게 의존한다는 단점이 있다. 이에, 그동안 회절패턴을 해석하며 느껴왔던 불편한 점들을 해결하고자, 1) 회절패턴 해석을 위해 사용했던 SW들을 하나의 플랫폼으로 통합하고, 2) 필요한 소재 정보(DB)를 결합시켜, 3) 회절패턴 이미지와 성분의 입력만으로도 결정상에 대한 해석 정보를 얻을 수 있는 시스템을 개발하였다. 본 발표에서는 TEM으로부터 획득한 회절패턴 이미지 내 Spot 간 거리와 각도를 정확하게 인식하고 측정하여 성분 입력만으로 어떤 결정상인지를 자동으로 해석해주는 TEM 회절패턴 자동해석 프로그램인 REDI를 소개하고자 한다.

[신뢰성3-1 | 15:20] 조청강연

수소혼소가스 환경에서의 이송용 배관 소재 안전성 평가 : 김동오, 김준서, 이진영 (서울과학기술대학교), 이정훈, 강성, 이창희 (포항산업과학연구원), 권용남, 홍종화 (한국재료연구원), 변재원* (서울과학기술대학교)

Keywords: API 5L x42, hydrogen fatigue, hydrogen embrittlement, Electrochemical hydrogen charging

탄소 중립을 달성하기 위한 수소 경제가 도입되면서, 수소의 생산, 활용, 저장, 운송에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 운송 분야에서는 기존 가스 배관을 모두 수소용 배관 소재로 교체하는 데 많은 비용이 필요하기 때문에, 기존 가스 배관을 활용하면서 천연가스에 일정량의 수소를 혼합해 운송하는 방법이 제안되고 있다. 그러나 수소는 재료와 접촉할 때 기계적 특성을 저하시킬 수 있는 수소취성을 유발한다. 따라서 장시간 피로 환경에 노출되는 가스 배관 소재의 경우, 수소가 혼합된 가스를 운송할 때 수소의 함유량이 피로 수명에 어떠한 영향을 주는지 평가하는 시험 방법이 필요하다. 본 연구에서는 수소 혼합 가스 이송 환경에서 배관용 소재의 피로파괴 안전성을 평가하였다. 국내에서 사용되는 API 5L 가스 배관 소재를 대상으로, 수소 환경을 모사하기 위해 in-situ 수소 주입용 챔버를 장착하여 전기화학적 수소 주입과 동시에 기계적 피로 시험을 수행하였다. 이 시험법을 바탕으로 다양한 전류 밀도에서 API 5L x42 소재의 수소 혼합 환경에서의 기계적 피로 물성을 평가하였다.

[신뢰성3-2 | 15:35] 조청강연

정유공장 수첨탈황공정 내 Duplex 재질 REAC(Reactor Effluent Air Cooler)의 SSC(Sulfide Stress Cracking) 손상분석 : 채현수 (서울과학기술대학교 일반대학원 신소재공학과, SK인천석유화학), 변재원* (서울과학기술대학교 일반대학원 신소재공학과)

Keywords: 수첨탈황공정, REAC, Duplex Stainless Steel, Sulfide Stress Cracking

정유공장은 원유를 정제하여 LPG, 휘발유, 항공유, 경유 등 다양한 제품을 생산하며 원유 정제를 위한 상압증류공정(CDU, Crude Distillation Unit)과 더불어 제품 Spec. 충족을 위한 후단 공정들이 존재한다. 등경유의 수첨탈황 공정은 반응기(Reactor) 내에서 수소를 주입함으로써 등경유 내에 존재하는 Sulfur, Nitrogen을 H2S, NH3의 형태로 제거하기 위한 공정이며 반응기에서 나온 등경유는 후단의 열교환기/고온고압 분리기를 거친 후 공랭식 열교환기(Reactor Effluent Air Cooler, 이하 REAC)에서 냉각된다. REAC는 수첨탈황공정에서 사용되는 가장 중요한 설비 중 하나로, 유체가 냉각되며 발생하는 Water, 유체 내에 포함된 인자(H2S, NH3, HCL 등)들로 인해 부식손상이 빈번하게 발생하기에 주기적인 검사가 필요한 설비이기도 하다. 부식 환경의 Severity에 따라 Carbon Steel, Duplex Stainless Steel(DSS), High Nickel Alloy 등의 재질을 적용하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 국내 한 석유화학사 등경유 수첨탈황공정의 DSS 재질 REAC의 비파괴검사 과정 중 열교환기 Header 용접부 주변에서 확인된 다수의 Crack 발생원인을 검토하였다. 실제 손상 발생한 시편 분석결과를 토대로 H2S를 함유한 Sour Water 존재 조건에서 발생 가능한 Sulfide Stress Cracking(SSC)으로 원인을 추정하였으며, 공정의 운전환경, DSS의 재질/부식 특성 등에서 기인하는 SSC 취약성에 대한 이해를 토대로 시편 분석 결과를 해석하고자 하였다.

[신뢰성3-3 | 15:50] 조청강연

자동차 조향장치 선재부품 분해 분석 사례 : 이기호* (㈜포스코), 이승준 (태양금속공업(주))

Keywords: 조향장치, 선재, 분해분석, 강재

자동차 부품개발 과정에서 설계상 요구 되는 성능을 만족하기 위해서 적정 강재를 사용하고 해당 강재의 제조공정을 최종 결정해야 하는데 많은 비용과 시간이 소요된다. 이처럼 부품개발기간을 단축하고자 이미 시중에 양산되고 있는 자동차부품을 분해분석하여 benchmarking을 하게 된다. 본 발표에서는 유럽 자동차 대상 조향장치 선재부품을 분해하고 강재 관점에서 분석하여, 사용된 강종규격을 분석하여 규명하고 이를 통해서 부품 제조공정을 추정하고 부품설계 사상을 고찰하는 사례를 보여주고자 한다.

[신뢰성3-4 | 16:05] 조청강연

자동차 엔진 부품의 실제 피로 파손 사례와 개선 솔류션 : 이유환*, 박형기, 제강현, 장동혁, 오준희 (태양금속공업(주))

Keywords: 자동차부품, 엔진부품, 체결부품, 피로손상

자동차는 다양한 환경에서 사용되며, 운전자의 성향 및 도로 주행 상황에 따라 다양한 외부 하중을 경험하게 된다. 또한 외부 하중은 자동차가 구동될 때 주로 반복 하중의 형태로 많은 부품에 작용하기 때문에 주행거리 증가에 따라 피로 손상이 발생하는 경우가 많다. 특히 내연기관 즉, 엔진 및 엔진을 구성하는 부품의 경우 피로 파손이 발생하기 되면, 엔진이 정지할 수 있어 인명 손상에 이르기 까지 매우 중대한 피해가 발생하기 때문에, 그 원인을 찾아 방지책을 적용하는 것이 너무나도 중요할 것이다. 본 발표에서는 자동차 엔진을 구성하는 부품에서 발생한 실제 피로 파손 사례를 소개하고, 원인을 찾아가는 과정을 금속학적인 배경 아래 설명될 것이며, 원인 규명을 기반으로 개선 솔류션 적용 결과 역시 보여질 것이다. 이 사례는 1차 개선안 적용 후 예기치 않았던 부작용에 의하여 1차 파손과는 다른 형태의 2차 파손이 발생하였으며, 또 다른 솔류션을 적용하여 개선된 것이다. 이것을 체결 계에 작용하는 외부 하중 해석 및 실제 실험을 통한 파괴 원인 재현 결과 등과 함께 소개될 것이다.

재료강도
Room 알펜시아홀, 10월 28일

[재료강도1-1 | 08:30]
Construction of Property Evaluation System and mechanical test at ultra-cryogenic temperature : Won hyo Yoo*, Yong Ki, Seo, Sang Bae, Jung, Jeong Kwan, Kim, and Seong Jun, Byun (HYUNDAI STEEL)
Keywords: Hydrogen, Storage tank, Ultra-cryogenic temperature, Mechanical properties

In order to solve the global warming crisis and greenhouse gas problems in the shipping industry, regulations on greenhouse gas emissions from ships are continuously being strengthened. The International Maritime Organization is proposing ways to use various eco-friendly fuels as ship propulsion fuels, and various studies are underway to apply liquid hydrogen with high energy density as propulsion fuel for large commercial ships. In Korea, Japan, etc., liquid hydrogen carriers are being considered to import large quantities of hydrogen from overseas to achieve carbon neutrality, and interest in liquid hydrogen cargo holds is increasing. The Sub-committee on Carriage of Cargoes and Containers (CCC) of the International Maritime Organization (IMO) has begun establishing a plan to develop safety standards related to hydrogen fuel to achieve greenhouse gas reduction goals. In selecting materials for storing and transporting hydrogen, suitability review considering the environmental characteristics of the system is given priority. Therefore, continuous research is being conducted by building a pre-hydrogen charging facility to simulate the liquid hydrogen environment and a material property evaluation tester attached to an ultra-cryogenic temperature (20K) environmental chamber. Although it is not possible in a short period of time, it is thought that it will be possible to review the applicability of various materials to secure the economic feasibility of hydrogen storage systems through the material suitability evaluation criteria established in the future. Accordingly, this study, together with several organizations, establishes a property evaluation system in an ultra-cryogenic temperature environment to secure design data necessary for the manufacture of liquid hydrogen storage tanks, and establishes criteria for securing the fracture stability of structures through various property evaluations of steels that can be used in storage tanks, and establishes international standards for the fracture toughness evaluation system in an ultra-low temperature environment and design technology for securing the fracture stability of liquid hydrogen storage tanks.

[재료강도1-2 | 08:45]
15 K 초극저온 환경에서의 열적 불안정성으로 인한 세레이션변형 및 파괴메커니즘 변화 규명 : 김유섭, 강태욱, 홍순구, 이수열* (충남대학교)
Keywords: 316L 스테인리스강, 초극저온, 세레이션변형, 파괴메커니즘, 변형메커니즘

우주, 항공 및 액체 수소 에너지와 같은 초극저온 산업에 대한 관심이 증가함에 따라 극한 환경 적응형 구조용 금속 소재에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 연구는 극저온 재료로 주목받고 있는 316L 스테인리스강을 대상으로 15 K 이하의 초극저온 환경에서 기계적 거동과 변형 및 파괴 메커니즘에 대해 살펴보았다. 초극저온 환경에서 전위의 제한된 열 진동 에너지와 소성 변형으로 인한 열적 불안정성으로 인해, 인장 변형 속도에 따라 다양한 형태의 세레이션 변형이 나타나는 것을 관찰했으며, 기계적 물성과 파괴 메커니즘에 차이가 있음을 확인했다. 본 연구는 변형 속도에 기반한 기초 연구를 통해 차세대 우주 항공 산업과 액체 수소 저장 및 보관 기술을 포함한 광범위한 초극저온 산업 응용을 위한 첨단 소재 설계의 패러다임에 도움을 줄 것으로 기대한다.

[재료강도1-3 | 09:00]
Alloy 718의 크리프 특성 및 손상 기구 조사 : 박찬희 (고려대학교, 한국과학기술연구원), 이준호 (고려대학교), 정우상* (한국과학기술연구원)
Keywords: Alloy 718, Tensile test, Creep, damage mechanism

Ni-Fe based superalloy 중 하나인 alloy 718은 Al, Ti, Nb을 첨가하여 γ′, δ 석출물 형성에 의해 재료의 강도를 향상시킨 석출 강화형 합금으로서 항공 및 에너지 산업에 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 용체화 후 이단시효 열처리된 alloy 718 소재의 상온 및 고온 인장시험, 550~700ºC, 200~930 MPa 에서의 크리프 시험을 수행하였다. SEM 및 TEM 을 이용하여 이단시효재 및 크리프 파단재의 미세조직이 크리프 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 온도 증가에 따라 alloy 718의 인장강도는 감소하고 연신율 및 단면감소율이 증가하였다. 인가 응력 및 온도 증가에 따라 최소 크리프 속도는 증가하고 크리프 파단 시간은 감소하였다. 또한, 크리프 변형은 dislocation creep 에 의해 진행되며 온도에 따라 크리프 응력지수가 감소하였다. 이때 크리프 활성화에너지는 ~ 약 414kJ/mol 였다. 크리프 파단시간은 최소 크리프 속도에 반비례하는 Monkman-Grant 식을 만족하였다. 그리고 온도에 따라 더 균일한 크리프 변형 거동을 보여주어 크리프 손상 허용 인자가 증가하였다.

[재료강도1-4 | 09:15]
Ni-Cr-Co계 Superalloy의 시효 중 석출거동에 대한 Ti/Al ratio의 영향 : 추동주, 박찬희 (고려대학교, 한국과학기술연구원), 이준호 (고려대학교), 정우상* (한국과학기술연구원)
Keywords: Ni-base superalloy, gamma prime, eta, Ti/Al ratio, APB energy

일반적으로 Ni계 초내열합금의 기계적 특성은 gamma prime(γ′)상의 조성, 크기, 분율과 밀접한 관련이 있다. γ′ 형성 원소로는 Al 외에도 Ti, Nb, Ta 등이 있으며, 이들은 γ′의 Al 자리를 대체하여 γ′의 분율을 증가시킨다. 그러나 Ti 함량이 임계값을 초과

하면 $Ni_3(Ti,Nb)$ 조성을 갖는 eta(η)상이 석출될 위험이 증가한다. 결과적으로 Ti 함량이 증가하면 η상 석출 가능성도 높아진다. 본 연구에서는 γ′ 의 분율을 증가시키면서도 γ′ 에 Ti가 최대로 고용되어 우수한 강도를 갖는 소재를 개발하고자 하였다. 여러 Ni계 초내열합금 중에서 Alloy 740H(Ti+Al=4.4at%) 합급을 대상으로 Ti와 Al을 제외한 다른 합금 원소의 비율을 고정하고, Ti+Al 총 함량을 5.0at%로 증가시켜 Ti/Al 비율이 다른 4가지 합금(Ti/Al=0.4, 0.6, 0.8, 1.0)을 설계하였다. 이들 합금을 750 ºC, 800 ºC, 850 ºC 에서 최대 10000시간 동안 열처리(aging)한 후 SEM과 TEM으로 미세조직을 관찰한 결과, γ′ 의 크기나 분율은 합금 마다 크게 차이가 없었다. 하지만 Ti/Al 비율이 낮은 2개 합금에선 10000시간 열처리 후에도 η가 관찰되지 않은 반면, Ti/Al 비율이 높은 2개 합금에서는 η가 관찰되었다. 각 온도에서 η의 핵생성의 잠복기를 얻었고, η가 형성된 합금에서는 열처리 시간이 증가함에 따라 경도가 급격히 감소함을 확인했습니다. 또한 γ′ 의 이론적, 실험적 석출강화 증분을 구하여 비교하였으며, Ti/Al 비율이 증가함에 따라 ABP energy가 증가하였다.

[재료강도1-5 | 09:30]

기계적 특성 변화에 따른 오스테나이트 스테인리스강 용접부의 열취화 활성화에너지 도출 : 김유진 (충남대학교, 한국원자력연구원), 권준엽, 김종민, 홍석민* (한국원자력연구원), 이수열 (충남대학교)

Keywords: ASSW, 내부구조물, 열취화, 나노압입시험, 활성화에너지

원자로 내부 구조물은 고온과 중성자 조사 등 가혹한 환경에 노출되어 있어 장기 운전 시 경년열화가 발생한다. CE형 원전 내부 구조물은 오스테나이트 스테인리스강을 용접하여 제작되며, 용접 시 생성된 델타-페라이트 상에서 경년열화 기구 중 하나인 열취화 현상이 일어난다. 열취화는 스피노달 분해에 따른 델타-페라이트 내 α′상(Cr-rich) 생성과 G상(Ni-rich)의 석출로 인해 재료가 경화되고 인성이 저하되는 현상이다. 따라서 장기 운전 및 계속 운전을 위해서는 열화 속도를 정확히 예측해야한다. 재료의 열취화 활성화 에너지 값을 통해 열화 속도를 계산할 수 있으므로, 오스테나이트 스테인리스강 용접부(ASSW, Austenite Stainless Steel Welding)에 대한 적합한 활성화 에너지 값을 도출하는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 원전 환경을 모사하기 위해 ASSW 시험편을 제작하여 가속 열취화를 실시했다. 이후 기계적 특성 변화에 따른 열취화 활성화 에너지를 도출하기 위하여 나노 압입 시험을 진행했다. 추가적으로 내부 구조물의 가동 온도인 340ºC에서 인장 시험, 상온에서 충격 시험을 실시했으며 열취화로 인한 스피노달 분해와 G상 석출을 확인하기 위해 TEM 분석을 진행했다. 이를 통해 ASSW의 열취화 메커니즘을 이해하고 기계적 특성 변화를 확인했으며, 특정 온도 및 시간에서의 열취화도를 예측하기 위한 적합한 활성화 에너지 값을 도출했다.

[재료강도1-6 | 09:45]

Mn-Mo-Ni계 저합금강 전자빔용접부의 후열처리공정에 따른 기계적 특성 평가 : 이승욱 (충남대학교, 한국원자력연구원), 홍석민*, 김민철, 김종민, 현세미 (한국원자력연구원), 이수열 (충남대학교)

Keywords: SA508 Gr.3 저합금강, 전자빔용접, 용접후열처리, 기계적 특성

현재 원자로용기와 같은 대형구조물은 SAW (Submerged Arc Welding) 및 SMAW 공정으로 제작된다. 이와 같은 용접공정은 다중 패스를 사용하여 오랜 시간이 소요되는 반면, 전자빔용접(EBW, Electron Beam Welding)은 단일 패스로 기존 용접에 비해 90% 이상 용접시간을 단축할 수 있다. 하지만 EBW의 적용은 높은 용접열사이클로 인해 잔류응력이 형성되며, 이로 인해 용접부의 기계적특성은 저하된다. 현재 미국에서는 기계적 특성 향상을 위해 품질열처리를 적용하여 용접부를 제거하는 연구가 진행 중이다. 그러나 용접 후 품질열처리의 적용 사례가 적고 관련 규정의 부재로 인해 현재까지 후열처리 공정이 적용되고 있다. 후열처리 공정에 따른 전자빔용접부의 잔류응력에 변화에 대한 연구는 수행되고 있지만, 기계적 특성 변화에 관한 연구는 부족하다. 따라서 본 연구에서는 후열처리 조건에 따른 전자빔용접부의 미세조직을 분석하고 그에 따른 기계적 특성 변화를 고찰하였다. 실제 압력용기용 저합금강인 SA508 Gr.3 저합금강에 전자빔용접을 적용하였고 610°C, 630°C에서 30시간 후열처리 수행하였다. 또한, 용접부 제거 효과를 확인하기 위해 전자빔용접 후 품질열처리를 적용하였다. 용접부 및 열영향부의 미세조직을 구분하기 위해 마이크로 비커스 압입시험으로 경도 변화를 측정하였다. 상온 및 288°C에서 용접부의 인장특성과 -120°C~120°C 온도범위에서 충격천이특성을 평가하였으며, 용접부 및 열영향부의 석출물을 정량화하여 기계적 특성을 고찰하였다. 전자빔용접 후 기존의 후열처리 공정(610°C/30hr) 적용 시 기존 용접 공정보다 인성이 저하되는 경향이 나타난다. 품질열처리시 모재와 거의 유사한 기계적 특성이 나타난다.

[재료강도2-1 | 10:10] 조청강연

초고강도 및 고연성 PosZET GIGA 활용 고내구 크로스멤버 부품화 실증 연구 : 배규열* (포스코 기술연구원), 문준오 (국립창원대학교), 정보영 (포스코 기술연구원), 김준형, 최돈현 (현대모비스 기술연구소), 이태영 (화신 기술연구소)

Keywords: PosZET GIGA, GIGASTEEL, Weld fatigue, Corrosion, Cross member

Although the need for automobile lightening continue to increase in preparation for the era of electrical vehicles, the application of steel, which has strengths in price and recycling in the automotive industry, is expected to continue along with the developments of various driving energy sources. Recently, when lightening and stiffness reinforcement are required for the electrical vehicles or medium and large SUVs, newly-designed parts using GIGASTEEL with a tensile strength of 980MPa or higher are being developed. However, it is difficult to secure sufficient weld strength and fatigue performances when applying welding consumables that have been applied normally and ultra-high strength welding materials that have been commercialized so far. It has also limitations that are not easy to apply due to excessive manufacturing costs in the automotive industry. The bainite phase transformation can be explained through a displacive mechanism using the Bain distortion model. Since the bainite transformation and acicular ferrite transformation develop competitively depending on the grain size of the parent austenite, the cleanliness of the grain boundaries, and the effective distribution of

oxide inclusions, it is necessary to review the development of process technology that considers optimal alloy design and cooling rates to control these factors. While research and development have been actively utilizing acicular ferrite transformation as a means to effectively enhance both the strength and toughness of high-strength weld metals, recently, in the case of GIGASTEEL with a tensile strength of 980MPa or higher, which is increasingly being applied in the automotive industry, the steel thickness is typically less than 2.0mm. Compared to thicker plates, the cooling rate of the weld zone is relatively slower, and due to the influence of various alloying elements, it exhibits complex microstructural characteristics, including bainite transformation. Particularly, from the perspective of bainite transformation temperature and morphology, it is necessary to comprehensively consider the effects of alloying elements as well as the grain size of austenite and the cooling rate. In this study, the application of commercial welding consumables by strength grade to GIGASTEEL was reviewed and the properties of the weldments were compared to address all of the above issues. Here, we consider the effects of C, Mn, Si, Cr, Ni, Mo and microalloying elements to implement interlocked nature with denser and finer microstructures of bainite, acicular ferrite (highly-misorientated) and film-like retained austenite that can effectively improve both strength and toughness of GIGASTEEL welds in a more economical way.

[재료강도2-2 | 10:35]

수동장갑용 고경도장갑강의 방탄 특성 및 용접부 내충격성 : 김용진*, 송정규, 김상훈, 박시욱, 김대웅 (국방과학연구소)

Keywords: 수동장갑, 고경도강, 방탄, 베이나이트, 용접부 내충격성

기동무기체계에서 기동성 및 생존성(방호성능) 향상을 위해 기존 수동장갑을 대체할 수 있는 경량·고강도 수동장갑 소재 개발이 지속적으로 요구되어 왔으며, 이를 위해 균질압연장갑(Rolled Homogeneous Armor) 및 고경도장갑(High Hardness Armor) 철강 판재에 대한 고강도/고인성화 연구가 진행되어 왔다. 균질압연장갑(RHA) 판재는 '90년대에 국내에서 개발되어 현재 전차 및 장갑차 등의 무기체계에 적용하고 있으며, 고경도장갑(HHA) 판재는 현재 그리고 미래 무기체계 적용을 위해 최근 국내 연구개발이 진행되고 있다. 개발된 소재를 장갑구조물로 활용하기 위해서는 판재의 방탄 성능 외에 용접성 확보가 필수적으로 요구되므로 용접부 특성 확보를 위한 연구가 동시에 이루어져야 하며, 최종적으로는 개발된 판재 및 용접부 특성을 평가하여 적용 여부를 판단할 수 있어야 한다. 이에 본 연구에서는 장갑판재용 고경도 베이나이트강 개발 결과와 개발된 장갑 판재의 적용성 평가를 위한 방탄 및 용접부 내충격성 평가 결과를 고찰하고 수동장갑용 철강장갑 판재 개발 방향에 대하여 논의 하고자 하였다.

[재료강도2-3 | 10:50]

Ti-xMo-2Fe합금의 변형율 속도에 따른 압축 변형 메커니즘 및 Mo의 영향 분석 : 이용재, 이재관, 이동근* (국립순천대학교)

Keywords: Titanium, mechanical properties, compressive behavior, strain rate

준안정 β 타이타늄 합금은 우수한 피로강도, 내식성, 높은 비강도와 생체적합성으로 인해 생체재료, 항공우주 산업 등 다양한 산업분야에 적용된다. 이러한 합금은 변형 쌍정, 응력 유도 마르텐사이트, 전위 슬립 등의 변형 메커니즘이 존재하며, 합금 조성에 따른 베타 안정성, 공정 변수 등을 제어함으로써 연성 및 강도의 균형을 확보할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 β 안정화 원소 Mo 함량을 제어한 세가지 합금의 변형율 속도에 따른 압축 거동과 변형 메커니즘을 분석하고자 하였다. 압축 시험은 준정적 속도 조건인 10-3/sec와 10-1/sec, 동적 속도 조건인 3x103/sec 변형율 속도로 시험하였다. 압축 시험 결과 변형율 속도가 증가할수록 변형율 속도 강화 효과로 인해 높은 강도를 나타냈다. 또한 Mo는 낮은 확산속도로 인해 α상의 성장을 방해하여 결정립 미세화를 유발하고 낮은 베타 안정성으로 응력-유도 마르텐사이트(Stress-Induced Martensite, SIM)가 형성되었으며, 합금의 Mo 함량이 증가할수록 높은 변형율 속도 민감도(Strain rate sensitivity)가 높은 것을 확인하였다.

[재료강도2-4 | 11:05]

FeMnAlC 경량철강의 온도에 따른 저주기 피로 변형 거동 분석 : 김시연 (국립창원대학교), 고의석 (현대스틸파이프), 김치원, 박성준 (한국재료연구원), 홍현욱* (국립창원대학교)

Keywords: Lightweight steel, Low cycle fatigue, Cyclic hardening, Dynamic Strain Aging

에너지 발전산업의 효율 향상과 온실가스 저감이라는 사회적, 경제적 요구에 발맞춰 고비강도 소재에 대한 연구개발이 진행되고 있으며, 후보 소재로 FeMnAlC 합금계의 경량철강이 고려되고 있다. 발전용 저압터빈 블레이드의 적용 환경을 고려할 때, 피로 특성은 필수적으로 요구된다. 이에 따라 본 연구에서는 발전용 저압터빈 블레이드 적용을 위한 FeMnAlC 경량철강소재의 저주기 피로 거동을 해석하고자 하였다. 본 연구의 합금은 오스테나이트계 경량철강 Fe-22Mn-8Al-0.9C이며, 용체화 처리 후 550ºC/6시간 시효처리하여 경량 철강의 주요 강화 인자인 κ-carbide의 석출을 유도하였다. 그 결과 미세조직은 오스테나이트 기지에 약 10nm 수준의 미세하게 석출된 κ-carbide로 구성되었다. 상온 인장 특성은 항복점 (818 MPa) 이후 인장강도 1051 MPa로 우수한 가공 경화 뿐만 아니라 46%의 높은 연신율을 나타내었다. TEM을 통한 파단부 미세조직 관찰 결과 Shear-band Induced Plasticity 변형 기구가 지배적인 것으로 확인되었다. 다음으로 핵심 요구 특성인 상온/200ºC 저주기 실험 결과 (total strain range, $\Delta\varepsilon t$ = 0.8~2.0%), 상온에서는 Cyclic softening이 지배적으로 발생하고, 200ºC에서는 Cyclic hardening이 발생하였다. 또한 상온과 달리 200ºC에서는 Hysteresis loop에 serrated flow가 관측되었다. DSA의 따른 Cyclic hardening을 규명하기위해 추가적으로 여러 온도에서 (RT~400ºC) 저주기 피로 시험을 진행하였고, Cyclic softening을 규명하기 위해 상온에서 저주기 피로 수명이 5,000 Cycles인 total strain range, $\Delta\varepsilon t$ = 1.4% 조건에서 1,000 cycles, 3,000 cycles 시편과 피로 파단된 5,000 cycles 시편의 전위 거동을 관측하여 본 연구 합금의 저주기 피로 변형 동안 전위 evolution과 Cyclic softening 및 Cyclic hardening 상관성에 대해 고찰하였다.

[재료강도2-5 | 11:20]

아공석강의 미세조직 기반 확률론적 피로 수명 모델링 : 신종훈, 이상림, 최윤석* (부산대학교), 김현기, 김동회, 강민우, 홍승현 (현대자동차(주))

Keywords: 아공석강, 피로수명 모델링, 결정소성 유한요소해석, FIP, 확률론적 기법

44MnSiVS6 강은 펄라이트와 페라이트가 혼재된 미세조직을 가지는 단조강이자 아공석강으로, 미세조직 특성에 의해 좋은 피로 특성을 가져 내연기관 엔진의 크랭크샤프트와 같은 반복적인 하중이 가해지는 부품에 주로 사용된다. 지속적으로 반복적인 하중에 노출되는 소재의 특성 상 피로 수명 파악이 필수적이나, 실험적 피로 수명 측정에 있어 미세조직적 특성과 같은 요소에 의해 피로 수명의 편차가 발생하고, 이를 확률론적으로 접근하기 위해선 다수의 실험을 필요로 한다는 한계점이 존재한다. 본 연구에서는 아공석강의 미세조직적 특성을 반영한 결정소성 유한요소해석법 (CP-FEM) 기반 피로 수명 편차 모사 및 확률론적 피로 수명 모델 구축을 목표로 하였다. 먼저, 펄라이트 주위 구 오스테나이트 경계에 초석 페라이트가 존재하는 아공석강의 미세조직적 특성을 반영하기 위해 cellular automata (CA) 기법을 도입하였고, 시편 채취에 따른 미세조직적 다양성을 반영하기 위해 두가지 종류의 서로 다른 결정립 크기 및 초석 페라이트 분율을 가지는 가상 미세조직을 생성하였다. 확률론적 접근법에 적합한 피로 해석 결과를 확보하기 위해 각 타입 당 8개씩, 총 16개의 가상 미세조직을 생성하였고 그로부터 대표체적요소 (RVE)를 추출하였다. 펄라이트와 페라이트의 소성 거동 구현을 위해 결정소성 기반 탄×점소성 구성모델을 개발하였으며, 이를 기반으로 각 RVE에 대해 CP-FEM 피로 해석을 실시하였다. 해석 결과에 fatigue indicator parameter (FIP)를 적용하여 피로 수명을 예측하였고, 이를 통계적 기법과 연관 지어 확률론적 피로 수명 예측 모델을 구축 및 평가하였다.

[재료강도2-6 | 11:35]

지진/화재 모사 복합 피로 시험에서 MX 석출물 및 클러스터 생성이 피로 특성에 미치는 영향 : 한재연, 양철혁 (국립창원대학교), 이봉호 (대구경북과학기술원), 이창훈 (한국재료연구원), 정준호 (현대제철 연구개발팀), 홍현욱* (국립창원대학교)

Keywords: H-section steel, Post-earthquake fire, low-cycle fatigue, MX precipitates, solute clustering

최근 건축물의 대형, 고층화 경향에 따라 지진, 화재 등 재난 발생 시 안전 확보를 위해 전 세계적으로 건축물의 내진/내화 요구를 강화하고 있다. 또한 국내에서의 지진 발생 빈도 및 피해는 증가하는 추세로 그에 따른 지진 후 화재(Post-Earthquake Fire, PEF)의 위험성이 강조되고 있다. 지난 연구 결과를 바탕으로, 본 연구에서는 경화능 향상 원소인 Mo, Nb 및 MX석출물 형성에 용이한 Ti, V을 첨가한 베이나이트 강재(0.13Mo-0.05Nb-0.01Ti-0.06V)에 대한 반복 지진/화재 상황에서의 강재의 내화/내진 특성과 미세조직 분석에 따른 열화 거동을 고찰하고자 하였다. H형강재의 초기 미세조직 관찰 결과, 베이나이트 기지에 TiN 및 NbC 석출물이 관찰되었다. 상온 및 600 ºC에서 인장 시험을 통해 내진/내화 특성을 평가한 결과, 베이나이트 강재는 낮은 항복비와 상온 대비 600ºC 항복강도의 적은 감소 폭으로 인해 내진/내화강 기준을 모두 만족하는 것으로 확인되었다. 추가적으로 건축구조용 H형강의 반복 지진/화재 이후 강재의 재사용 및 유지보수 관점에서의 건전성을 평가하기 위해 상온 저주기 피로 시험(지진 상황 모사)과 600ºC/2hr 열간노출(지진 후 화재 상황 모사)의 조합을 1회 실시한 뒤 파단까지 상온 저주기 피로 시험을 진행하였다. 그 결과 전위 회복 및 재배열에 인한 연화 과정이 지배적으로 나타난 상온 저주가 피로시험재와 달리 복합 피로-열노출 시험재는 열간노출 이후 첫 번째 cycle에서 강도가 증가하였으며, 이후 피로 변형이 진행됨에 따라 급격한 연화 과정이 나타났다. 또한, 열화 과정을 겪었음에도 단순 상온 저주기 피로 시험의 피로 수명과 유사한 수명이 확인되었다. APT 분석 및 피로 Cycle 별 TEM 관찰을 통해 원인을 분석한 결과, 열간노출 동안 미세한 cluster 및 MX석출물이 기지 내부에 추가적으로 생성되었고 저주기 피로 시험이 재개됨에 따라 석출물과 전위 사이 상호 작용으로 강도가 증가한 것으로 확인되었다. 이후 피로 변형에 의해 조직 내부 전위 회복이 나타나 전위 소멸에 의한 전위 밀도의 감소가 강도 감소의 주된 원인으로 확인되었다. 유사한 피로 수명이 나타난 원인에 대해 분석하고자 피로 파단이 발생한 시편의 미세조직을 비교하였다. 그 결과 복합 피로-열노출 시험재는 상온 저주기 피로시험재 대비 cell structure의 형성이 뚜렷하지 않고 다소 높은 전위 밀도와 넓은 striation 간격을 가진 것으로 확인되었다. 또한 파면 분석 과정에서 개재물에 의한 파단은 확인되지 않았다. 이러한 결과들은 열노출로 인한 기지 내부 균일한 MX석출물의 추가 형성이 저주기 피로 시험 과정에서 피로 변형을 지연시켜 유사한 피로 수명을 나타나게 한 것으로 판단된다. 상기 연구 결과를 통해 Mo, Nb, Ti, V 첨가로 형성된 베이나이트 강재가 내진/내화 특성을 모두 만족하는 동시에 재사용 및 유지보수 측면의 건전성 평가에서도 효과적인 것을 확인하였다.

[재료강도3-1 | 13:00]

비자성 고망간강의 항복강도 향상 설계에 대한 연구 : 박시욱*, 김용진 (국방과학연구소), 장재훈 (한국재료연구원), 전종배 (동아대학교), 이동호 (포스코 기술연구원)

Keywords: 고망간강, 비자성강, 항복강도, 탄화물

고망간강은 탄소강에 다량의 망간을 첨가하여 높은 강도와 내마모성 및 극저온 충격인성을 확보한 합금강으로서, STS304 대비 낮은 소재 비용에도 불구하고 높은 항복강도 및 인장강도를 보이며, 우수한 극저온 충격인성을 확보하여 LNG 탱크, 잠수함 압력선체 등 다양한 구조용 소재에 활용되고 있다. 특히 망간의 함량이 높아질수록 비자성 특성을 나타내어, 잠수함 압력선체에 활용이 될 경우 자기 감응 기뢰의 위협으로부터 회피하여 안전하게 작전을 수행할 수 있다. 이러한 고망간강의 장점을 활용하기 위해서는 최대 잠항심도를 높이기 위해 높은 항복강도가 요구된다. 고망간강의 항복강도는 결정립 미세화, 가공경화, 석출경화 등에 의해 좌우된다. 그 중 석출경화는 후물재의 구조물 가공시 필연적으로 수반되는 열간 가공에도 항복강도의 저감 없이 기계적 물성을 유지할 수 있다는 장점이 있다. 일반적으로 많이 활용되는 석출경화 원소 중 바나듐의 경우 0.4 wt.% 이상까지 항복강도가 선형적으로 증가된다는 연구 결과가 있으며, 0.6 wt.%에서도 30 나노미터 이하 크기의 바나듐 탄화물에 의해 충격인성의 큰 저감 없이 고망간강의 항복강도가 높아진다는 보고가 있다. 본 연구에서는 EBSD 및 TEM 분석을 통해 바나듐 탄화물의 항복강도 향상 기작에 대해 고찰하고, 탄화물 생성 속도론을 분석함으로써 높은 항복강도를 갖는 비자성 고망간강을 설계하기 위한 공정 조건을 도출하고자 하였다.

[재료강도3-2 | 13:15]

계장화 압입시험을 이용한 국부적 열처리 된 제품의 기계적 물성치의 신뢰성에 관한 연구 : 김정현* (한국화학융합시험연구원)

Keywords: 금속, 인장강도, 계장화압입시험

현재 선진 자동차업계들은 자동차 부품의 소재비용 및 가공비용을 줄이면서 품질의 안정성과 고강도의 강성을 얻을 수 있는 기술에 힘을 쏟고 있다. 특히 열처리를 통한 소재의 성능향상은 지속적으로 개발되어 왔으며 생산제품의 국부적인 열처리를 통한 성능개발이 시도되고 있다. 하지만 국부적인 열처리 시, 품질확인을 위한 기계적 물성치 확인에 많은 어려움이 있다. 물성치 확인을 위해 제품을 가공함으로써 제품에 손상을 입히고 크기와 형상에 따라 가공에 제한이 있을 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 계장화 압입시험을 통한 물성치 확인은 비파괴적이며 재료의 다양한 형상에 적용할 수 있어 품질검사에 유용하게 사용될 수 있다. 그러나 한정적으로 사용되는 계장화 압입시험은 재료들의 많은 종류 및 특징과 특수한 상황에서의 변화에 비교할, 실질적인 데이터가 부족하다. 본 논문은 국부적인 열처리된 제품을 계장화 압입시험을 통해 인장강도를 확인하고 도출 된 값의 신뢰성을 확인하기 위해 규격화된 시험들과 측정값을 비교하였다. 선정된 시료에 국부적인 열처리를 진행하고 계장화 압입시험을 통해 열처리 전과 후의 인장강도 측정하여 강도의 변화율을 확인 하였고 일축인장강도 측정값과 비교를 통한 데이터의 신뢰성 확인 하였다. 또한 열처리부의 균질성과 열처리 범위를 조직적 분석과 규격화된 비커스 경도시험으로 계장화 압입시험의 인장강도와 비교함으로써 신뢰성을 확보하고 국부적 열처리와 같이 변형이나 개발된 제품에 사용할 수 있는 유용성을 확인 하였다.

[재료강도3-3 | 13:30]

콘로드 파손모드 예측 및 개발 가이드 수립 Destruction mode Prediction of Connecting Rod And Development Guide Estabilshment : 박훈영*, 박재봉, 박성환 (현대자동차㈜)

Keywords: Connecting Rod, Fatigue Test, Axial Force

파워트레인 고출력화, 고효율화 추세에 따라 콘로드는 고강도화, 경량화가 요구되고 있다. 이에 내구시험 및 양산 차량에서 콘로드 파손이 다수 발생하고 있으나, 정확한 콘로드 파손모드 예측이 어려워 차량 개발 시 시간과 비용이 많이 투입되고 있다. 콘로드 단품피로 시험이 존재하나 실제 파손모드와의 차이가 있고, 파손이 발생하기 전 예측이 어려운 실정이다. 콘로드 단품 피로 시험법을 통해서는 하중에 따른 안전율 값만 확보 가능하다. 안전율 값은 콘로드의 파손 또는 콘로드 볼트의 파손을 기준으로 결정되었다. 하지만 단품 피로 시험을 통과한 콘로드는 콘로드 볼트의 체결 축력이 얼마나 저하되었는지 확인 할 수 없으며 콘로드의 어떤 인자에 따라 볼트의 내구성이 저하되었고, 파손 발생 인자를 예측할 수 없는 단점이 있었다. 본 연구에서는, 콘로드의 조건별 피로 평가 후 볼트 축력 변화량을 분석하여 파손 발생 인자를 예측한다. 주요 내용은 아래와 같다. (1) 콘로드 파단분할면의 조도와 단차 조건별 일반 피로 시험 및 실차 조건과 유사한 틸팅 모드 피로 시험을 진행한다. (2) 콘로드 볼트 체결 시, 초기 축력값에서 임베딩 기준 평균 4.9% 축력 감소 확인되었다. (3) 피로 시험 하중 조건 안전율 1.9 이상부터 볼트 축력 감소율 평균 5% 내외로 확인되었다. 본 연구를 통해 콘로드의 파손모드의 예측 및 효과는 다음과 같다. (1) 콘로드 볼트 체결 시 임베딩에 따른 축력저하값 반영하여 콘로드 볼트 설계 가이드를 수립하였다. (2) 안전율 1.9이상 조건은 실제 주행 조건 대비 가혹조건 참조치로 설계 기여하였다.

[재료강도3-4 | 13:45]

스피노달 강화기구 활용한 철계 중엔트로피 합금 강화 : 박효진 (포항공과대학교), Farahnaz Haftlang* (Northwestern University), 허윤욱* (포항공과대학교), 설재복 (국민대학교), Zhijun Wang (Northwestern Polytechnical University), 김형섭* (포항공과대학교)

Keywords: 스피노달 분해, 고엔트로피 합금, mixing enthaply

본 연구에서는 스피노달 분해를 이용한 새로운 강화 방법을 제시한다. 철 기반 중엔트로피 합금에 Cu와 Al을 첨가하고, 시효 과정을 통해 나노스케일의 주기적인 스피노달 분해를 유도하였다. 이를 통해 형성된 스피노달 조성 변동은 기지와 높은 정합성을 가지며, 기존의 석출 강화 메커니즘을 능가하는 강화 효과를 발휘한다. 이러한 구조는 변형 집중 문제를 해결하여 연성을 유지하면서도 재료의 항복 강도를 두 배 가까이 향상시켰다. 스피노달 분해는 최소한의 조성 변화로 구현 가능하며, 합금의 기계적 물성 향상에 있어 유망한 접근법임을 확인하였다.

[재료강도3-5 | 14:00]

안정한 오스테나이트계 스테인리스강의 정적변형시효거동 : 조영근, 권호준, 김성준* (포항공과대학교)

Keywords: 오스테나이트계 스테인리스강, 정적변형시효, 항복강도, 전위밀도, APT

정적변형시효 (static strain aging, SSA)는 페라이트계/마르텐사이트계 강의 강도를 향상시키지만, 이러한 강화 효과가 안정한 오스테나이트계 스테인리스강 (stable austenitic stainless steel, SASS)에서도 적용될 수 있는지 아직 명확하지 않다. 본 연구에서는 냉간압연 압하율, 초기 결정립 크기, 시효 조건이 SASS의 SSA 거동에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다. 시효 처리는 냉간압연재의 항복강도를 증가시켰으며, 이는 압하율이 높거나 초기 결정립 크기가 작을수록 더욱 뚜렷하게 나타났다. 이러한 SSA 효과는 전위가 wavy boundary 형태로 남아있는 400 ~ 600 ºC 범위의 온도에서 유의미했으며, 재결정이 일어나는 700 ºC에서는 나타나지 않았다. 전위밀도를 정량화한 결과, 전위밀도가 높을수록 SSA 효과가 증가하였으며, 이는 주요 미세구조 특징이었던 전위가 SSA 거동에서 중요한 역할을 하는 것을 시사한다. 한편, dilatometry 분석을 통해 시효 처리 시 시편의 부피 수축과 열팽창 계수 증가를 관찰하였으며, SSA 거동이 원자 분포의 변화와 관련이 있음을 확인하였다. 이를 APT를 이용하여 관찰한 결과, 시효 처리 시 탄소 원자의 결정립 내부 클러스터링 및 입계 편석이 나타났으며, 질소 및 다른 치환형 원소의 변화는 나타나지 않았다. 이러한 결과는 시효 처리 시 탄소 원자와 전위 사이의 상호 작용이 SSA 효과에 기여하였음을 시사한다. 결과적으로, 결정립 미세화와 500 ºC에서 1시간 동안 최적의 시효 처리를 통해, SASS에서 최대 1,600 MPa의 초고항복강도를 달성할 수 있었다.

[재료강도3-6 | 14:15]

EACP 공정 처리된 High-Mn steel의 공정 및 시험 온도에 따른 미세조직과 기계적 특성 : 정영훈 (경상국립대학교), 김범준 ((주)갓테크), Marina Abramova (Ufa Univ.), 권현석, Ailreza Zagraran (포항공과대학교), 김형섭 (포항공과대학교, Tohoku Univ.), Nariman Enikeev* (Ufa Univ., Saint Petersburg State Univ.), 김정기* (경상국립대학교)

Keywords: Equal-channel Angular Pressing, High-Mn steel, Cryogenic mechanical properties, martensite transformation

극저온에서의 취성 파괴에 대한 문제점을 해결하고자 상온과 극저온에서 높은 가공경화율 능력을 가진 High-Mn steel에 대한 관심이 커지고 있다. 하지만, 극저온 환경에 따라 낮아진 stacking fault energy (SFE)로 High Mn steel에 마르텐사이트 변태에 따른 취성 파괴가 나타난다. 상기 문제점을 해결하기 위해, 쌍정 및 마르텐사이트 상변태에 필요한 응력을 제어하기 위한 High-Mn steel의 결정립 크기 제어는 필수적이다. 본 연구에서는 equal-channel angular pressing(ECAP) 공정의 온도 변수를 제어해 초기 결정립 크기를 조절 후 물성평가를 수행하였다. 그 결과, 0.22 μm부터 24.33 μm까지 결정립 크기가 다른 High-Mn steel을 얻어내었다. 이와 같은 결정립 크기의 차이는 SFE에 영향을 미쳤으며, 상온에서 결정립이 클 때 25.9 mJ/m^2, 결정립이 작을 때 37.8 mJ/m^{2}로 예측되었다. 상기 SFE 차이는 극저온 환경에서 극명한 차이를 나타내는데, ECAP 처리 후 균질화 처리된 조건에서는 조대한 결정립에서의 낮은 SFE로 인해 과도한 마르텐사이트 변태가 발생, 낮은 연성을 나타내었다. 그와 달리, ECAP 처리된 소재의 경우 미세한 결정립 크기에 의해 마르텐사이트가 억제되면서도 쌍정이 형성되어 우수한 강도-연성 조합을 나타내었다. 위의 결과를 통해 ECAP 공정 변수 제어에 기반한 결정립 크기 제어를 통해 High-Mn steel의 극저온 물성을 조절할 수 있음을 확인하였다.

[재료강도3-7 | 14:30]

고질소 오스테나이트계 스테인리스강의 화학조성과 열처리 온도에 따른 석출거동 및 기계적 특성 변화 : 권기환*, 조효행, 이진종, 김성훈, 하헌영, 이창훈 (한국재료연구원), 정재석 (두산에너빌리티), 이태호* (한국재료연구원), 강남현* (부산대학교)

Keywords: 오스테나이트계 스테인리스강, 고질소, Z-phase, 석출, 용체화처리

오스테나이트계 스테인리스강은 우수한 기계적 특성, 내식성, 고온에서의 산화 저항성 및 크리프 저항성을 가지고 있어 발전소의 소재로 사용된다. 이러한 오스테나이트계 스테인리스강의 주요 합금 원소 중 하나인 니켈은 불안정하고 비싼 가격을 가진다. 따라서 고가의 니켈을 질소로 대체하여 원가 절감과 더불어 고성능을 유지할 수 있는 고질소 오스테나이트계 스테인리스강에 대한 수요가 증가하며 연구도 활발히 진행되고 있다. 이때, 고질소 오스테나이트계 스테인리스강은 Z-phase를 포함한 기계적 특성에 직접적인 영향을 미치는 다양한 상들이 석출된다. 따라서 우수한 기계적 특성을 위해서 Z-phase와 같은 석출상들의 거동을 제어하는 것은 필수적이다. 본 연구에서는 주요 석출상인 Z-phase에 영향을 미치는 Nb, V, N 함량을 달리한 시험편에 대해 용체화처리 온도를 달리하여 화학조성과 열처리 온도에 따른 고질소 오스테나이트계 스테인리스강의 석출거동, 미세조직 및 기계적 특성의 변화에 대해 조사하였다.

철강: 철강A-제선, 제강, 환경, 에너지
Room 콘서트홀, 10월 28일

[철강A1-1 | 08:30]
부산물 할당 방법별 고로·제강 슬래그 전과정 온실가스 배출량 산정 연구 : 노재학, 황용우*, 박광호 (인하대학교), 이종협, 이윤모 (현대제철)
Keywords: 철강 부산물, 슬래그, 전과정평가, 할당, 온실가스
최근 전 세계적으로 탄소중립과 순환경제 사회로의 전환이 급속히 진행되고 있다. 기후 변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)는 특별 보고서를 통해 파리협정의 1.5℃ 감축 목표 이행을 위해서는 2050 탄소중립 달성이 필수적임을 제시하였다. 이러한 목표 달성을 위해 산업계의 역할은 점점 중요해지고 있으며, 대표적인 온실가스 다배출 산업인 철강산업의 경우 탄소중립 달성뿐 아니라 국가 NDC 이행에 있어 핵심적인 역할을 한다. 철강 생산 공정에서 발생하는 다양한 부산물은 주로 시멘트 산업으로 흘러가 원료를 대체할 수 있는 자원으로 활용되고 있다. 그러나 이러한 철강 부산물에 대한 적절한 환경 부담이 타 산업과 공정하게 할당되고 있는지는 확실하지 않다. 이를 해결하기 위해 최근 세계철강협회(WSA)에서는 여러 부산물에 대해 다양한 할당 방법론을 적용한 전과정평가 연구가 활발히 진행되고 있다. 주로 연구되고 있는 할당 방법론의 경우에는 물리적 할당, 경제적 할당, 시스템 확장 그리고 물리적 파티셔닝 등이 있다. 현재 철강 관련 산업군에서는 환경부담의 할당은 경제적으로 이루어지고 있다. 하지만 철강제품의 전과정 목록 산정방법에 대해 명시한 표준인 ISO 20915:2018 및 WSA의 Life Cycle Inventory Methodology Report 등에서는 철강 부산물에 대해 시스템 확장 할당 방법을 우선적으로 채택할 것을 권고하고 있다. 이처럼 할당 방법론에 따른 산정은 다양하게 진행되고 있는 것으로 확인되었다. 본 연구에서는 철강 산업의 부산물 중 가장 많은 양을 차지하는 슬래그의 실제 활용 사례를 기반으로 할당 방법별 환경영향평가를 수행하였다. 이를 위해 철강 공정에서 발생하는 고로/제강 슬래그의 발생 에너지 분석, 용도별 재활용 흐름 분석, 단계별 온실가스 배출량 등을 도출하였다. 이를 통해 철강 산업에 합리적인 철강 부산물 할당 방법에 대해 제시하고자 한다. 사사: 이 성과는 정부(환경부)의 재원으로 한국환경산업기술원의 지식환경서비스 특성화대학원 사업의 지원을 받아 수행된 연구임

[철강A1-2 | 08:45]
유동환원로의 분광-가스 간 수소환원 반응 모사 : 진봉민, 양현진* (인하대학교)
Keywords: 다상열유동, 수소 환원 반응, 다물리 모델
철강 분야는 국가 온실가스 총 배출량의 14%를 차지하며, 고로 공정에서 많은 양의 CO2를 배출한다. 철강 분야는 탈탄소 흐름에 대한 대응을 하고자 다양한 연구가 진행되며, 그중 수소환원제철에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 유동환원로에서 일어나는 분광층의 유동화와 더불어 분광-수소 간 열교환 및 환원 반응을 모사할 수 있는 다물리모델을 개발하였다. Unreacted shrinking Core Model(USCM)을 기존의 다상열유동 모델에 커플링하여 수소환원의 반응속도를 계산하였고 이에 따라 실시간으로 변화하는 가스와 분광 내 화학 조성 및 온도, 장입층 내 차압과 상 간의 혼합 거동 등을 예측하였다. 문헌의 직경관 실험 조건을 활용하였으며 환원 반응 유무에 따른 차이 분석을 위해 환원반응이 없는 경우와 비교하여 수소환원이 공정에 미치는 영향을 조사하였다.

[철강A1-3 | 09:00]
Kinetic analysis of reduction from wustite to metallic iron during multi-stage hydrogen reduction : Seong kyu Cho, Leonardo Tomas da Rocha, and Sung-Mo Jung* (POSTECH)
Keywords: Kinetic analysis, Pressure dependence, hydrogen reduction, multi-stage reduction
In the multi-stage reduction process, since the reactors are interconnected, the progress of reduction in each reactor affect the temperature, gas composition in other reactors. Therefore, kinetic analysis in each reduction stage is necessary. In this study, kinetic analysis of the reduction of wustite to metallic iron, which is the most important reaction during reduction of iron oxide, was performed in four-stage reduction process. And equations were derived to predict change in reduction degree with time for reduction of wustite. Reduction of wustite performed in last two reduction stages (R3 and R4). Wustite that was not fully reduced in R3 was further reduced under higher hydrogen partial pressure in R4. In analysis using kinetic model, first-order and third-order chemical reactions showed the highest linear coefficient (R2), indicating these as rate-determining steps in R3 and R4, respectively.In contrast, reaction order analysis using reduction rate showed values of 1.84 and 2.19 for R3 and R4, respectively. Although results from different analytical methods showed slight difference, a same trend was obtained that R4 stage is more influence by the hydrogen partial pressure, which involves reduction of residual wustite. Activation energies of the chemical reactions in two reduction stages were analyzed to be 150 kJ/mol and 68 kJ/mol, respectively. Equations were derived to predict changes in the reduction degree with time at different temperatures and hydrogen partial pressures using kinetic model, reaction order and activation energies. Both the measured and calculated reduction degree changes for R3 and R4 showed a high consistency, this study might serve as fundamental data for determining operation conditions.

[철강A1-4 | 09:15]
Improved Method for Methane Pyrolysis Rate Measurement using Molten Metal Catalysts for Turquoise Hydrogen Production : Tea-Gyu Wi, Young-Joon Park (POSTECH), Uendo Lee (KITECH), and Youn-Bae Kang* (POSTECH)

Keywords: Turquoise Hydrogen, Methane Pyrolysis, Molten Metal Catalyst, Reaction Kinetics

To supply eco-friend H_2 for ironmaking process, several technologies have been developed. Pyrolysis of natural gas such as: $CH_4(g) \rightarrow C(s)+2H_2(g)$ is one of the promising alternative methods to produce H_2 (turquoise H_2) without emitting CO_2 as long as renewable energy is employed. Among various methods of pyrolysis, using a molten metal bubble column reactor is attractive as it is suitable to separate the produced C from the metal by density difference between molten metal catalyst and C. To commercialize the turquoise H_2 process, a high-performance and cost-effective molten metal catalyst is necessary. In the present study, the catalytic performance of various molten pure metals was evaluated in the temperature range of 900-1200 °C. An electromagnetic levitation melting technique was introduced to define the reaction area, and the composition of the off-gas was continuously analyzed by gas chromatography. H_2 generated after the pyrolysis using the molten metal catalyst was found to have two possible sources: emission from molten metal and pyrolysis of CH_4. The latter amount of H_2 per unit surface area of the catalyst and reaction time was defined as the H_2 production rate. The measured rate was compared with the rate previously reported by the present authors using a quadrupole mass spectrometer. It was found that Ga, In, and Cu released non-negligible amount of H_2 while heated, even before CH_4 was introduced in the reaction chamber. This may be regarded as a noise, which was not able to be observed due to the previous experimental procedure. In this regard, the H_2 production rate reported in the previous work was revised in the present work.

[철강A1-5 | 09:30]

전로 내 이차연소율에 따른 MgO-C 열화 거동 : 정지훈, 정용석* (한국공학대학교)

Keywords: 전로, 이차연소, 내화물, MgO-C

2050년까지 Net-Zero 달성을 위해 수소환원제철로의 전환이 이루어지고 있다. 단계적인 CO_2 감축 목표량 달성을 위하여 전통적인 고로-전로 조업 내 스크랩 장입량 증대가 요구된다. 이차연소 조업은 $C+CO_2=2CO$의 엔탈피 회수를 통한 열 효율 보상 방안으로 제시된다. 하지만, 이차연소율 PCR(Post-Combustion Ratio)가 증가할수록 CO_2에 의한 MgO-C 내 Carbon의 산화는 증가한다. 또한, 재산화에 의한 발열에 따른 조업온도 증가는 $MgO(s)+C(s)=Mg(g)+CO(g)$ 반응에 따른 MgO의 Carbothermic reduction으로 이어질 수 있다. 본 연구에서는 MgO-C의 CO-CO_2 분위기 내 열화 거동을 연구하기 위하여 PCR(=10,50,90,100%)과 온도(1350,1450,1550°C)의 조건에서 열화 실험을 수행하였다. 실험 이후 열화된 MgO-C 시편의 중량감소를 측정하였다. 1350°C에서 PCR증가에 따라 중량 감소가 증가하였으나, 1450°C와 1550°C에서는 PCR에 따른 중량감소 차이가 감소하였으며 실험 결과에 대한 속도론적 고찰을 수행하였다.

[철강A1-6 | 09:45]

전기로 공정 중 친환경 석탄 대체재의 활용성 검토 : 김준영, 강영조* (동아대학교), 안효주, 박준혁, 권혁준 (영남대학교)

Keywords: EAF, 가탄재, 석탄, 폐플라스틱, 발열량

2050년까지 탄소 중립을 달성해야 한다는 의무가 산업계의 변화를 주도하고 있으며 탄소 배출량이 많은 철강 부문도 이러한 추세에 주요 관심사로 떠오르고 있다. 전기로 공정 중 추가적인 열원을 공급하고 슬래그 포밍을 위해 대부분이 탄소성 물질로 구성된 가탄재를 투입하는데, 이때 부산물로 다량의 CO2가 배출된다. 탄소 중립과 관련된 환경 문제가 대두되면서 공정 중 기존 석탄을 대체할 수 있는 친환경적 대체재가 필요한 실정이다. 한편, 전 세계적으로 매년 약 4억 톤의 플라스틱 폐기물이 발생하고 있으며, 2000년 1억 6천만 톤이었던 플라스틱 폐기물은 지난 20년 동안 두 배로 증가하였다. 현재 추세라면 2060년에는 10억 톤 이상으로 세 배 이상 증가할 것으로 예상된다. 이렇게 엄청난 양의 플라스틱 폐기물이 발생하는 것은 생산량이 많기 때문이기도 하지만, 생산량의 40%가 한 번 쓰고 버려지는 일회용 플라스틱이고 재활용되는 플라스틱은 9%에 불과하기 때문이다. 플라스틱은 자연 분해되는데 500년 이상이 걸리며, 매립이나 소각과 같은 폐기 방법은 환경 지속 가능성에 심각한 문제를 야기한다. 폐플라스틱, 폐합성수지, 폐고무 등으로 구성된 고형 폐기 연료와 폴리머는 약 80%의 탄소분을 함유하고 있어 매력적인 에너지원으로 알려져 있다. 따라서 본 연구는 전기로 공정에서 친환경적 대체재의 적용 가능성을 조사하였다. 이를 위해 공업 분석, 발열량 측정, 주요 원소 분석, 열적 거동 분석(TG-DSC), 회분 분석(XRF) 등을 수행하였다. 또한 연소 시 배출되는 가스를 분석하여 제강 공정 대체재의 적용이 환경에 미치는 영향을 조사하였다.

[철강A1-7 | 10:00]

Numerical Modeling of Concentration Behaviors of Carbon, Oxygen, and Aluminum During Ruhrstahl-Heraeus Process : Saeum Bae, Tae Ung Youn, and Kyung Woo Yi* (Seoul National Univ.)

Keywords: RH, numerical modeling, flow, concentration, reation rates

Ultralow-carbon steel production plays a significant role in various applications in the steelmaking industry. Ruhrstahl-Heraeus (RH) degassing is a prominent method for decarburization and involves injecting inert (Ar) gas into molten steel (melt) to promote circulation between the ladle and vacuum vessel. Although empirical models provide some insights, advanced numerical modeling of RH is required to accont for various parameters affecting melt flow and chemical reactions. This study introduces a comprehensive numerical model that simulates fluid flow and concentration behaviors with various operating parameters during RH operations, incorporating factors like melt circulation, plume shape, bubble expansion, and buoyancy forces. The model accurately predicts variations in carbon, oxygen, and aluminum concentrations throughout the process, taking into account decarburization, deoxidation, oxygen blowing (OB), and carbon addition. The calculation model significantly reduces computation time while maintaining accuracy, with plant data

verification showing good agreement. These findings offer a valuable insight for future research and process optimization in RH steelmaking.

[철강A2-1 | 10:25]

Use of Returned Sinter in Fluidized Bed Reactors with CO and/or H_2 gas atmosphere at Steel Works : 김윤호, 김도현, 조성규, 김성진, 이상호*, 정성모* (포항공과대학교)

Keywords: Returned Sinter, H_2, CO reduction, Fluidized Bed Reacter, Smelting

소결 공정은 공정 자체에서 5mm 이하 입도의 소결반광이 발생한다. 이는 다시 신 원료와 함께 반복적으로 소결 공정을 거치는데 이미 소성된 형태이므로 중복된 에너지 소비의 문제점이 있다. 한 편 H_2 혹은 CO 기반 유동환원 공정은 분철광석과 부원료를 사전 처리 없이 반응기에 직접 사용하기 때문에 환원 철(DRI) 제조 후 용융단계에서 flux와의 동화성(assimilation)이 부족할 것으로 생각된다. 따라서 제철소 내에서 발생된 소결반광을 유동층환원로에 철 장입물로 사용하여 두 공정의 시너지 효과를 기대할 수 있다. 본 연구에서는, 소결반광과 철광석의 CO 및 H_2 분위기 환원, 용융, 유동 특성 분석과 다단 유동 환원 공정에서의 사용성을 비교했다. H_2 환원의 경우 소결반광은 최종 환원 단계(R1)에서 상용 철광석보다 낮은 환원율을 보였다. 수소 환원 후 소결반광과 분철광석의 용융특성을 측정한 결과, 소결반광은 소결 공정 중 CaO와 Fe_2O_3의 결합으로 형성된 calcium ferrite (CF) 상에 기인해 예상대로 분철광석 대비 우수한 용융특성을 보였다. 또한 상온 냉간 유동층 모사 장비를 통해 입도 크기 범위 (500~2800 μm)의 소결반광의 유동 특성을 분석한 결과 기존의 분철광석과 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서 소결반광의 CO/and or H_2 기반 유동 환원 공정에서의 활용을 통해 일관 제철소 내의 Synergy효과가 기대된다.

[철강A2-2 | 10:40]

H_2-DRI 용융 슬래그 내 FeO의 환원 속도에 미치는 맥석(MgO, Al_2O_3)의 영향 : 배성준, 박주현* (한양대학교)

Keywords: 수소환원 DRI, 전기용융로, FeO 환원, 맥석 성분

철강산업의 온실가스 절대적 감축을 위하여 기존 일관제철공정에서 수소를 기반으로 하는 수소환원제철공정으로의 체재 전환이 필수적이다. 철광석의 품위는 시간이 지날수록 저하될 것으로 예상되고, 이러한 흐름 속에서 지속가능한 철강생산을 위해서는 저급 분철광석으로 제조한 수소환원철을 용해하여 용선을 생산하는 전기용융로 공정이 주목을 받고 있다. 저급 분철광석을 수소로 환원한 DRI는 상업화된 DRI보다 금속화율이 낮을 것으로 예상되며, 이를 전기용융로에 투입하면 FeO 함량이 높은 슬래그가 생성된다. 따라서 Fe 실수율 증가 및 슬래그 재활용을 위해서는 탄소에 의한 슬래그 내 FeO의 신속 환원이 중요하다. DRI 제조에 사용되는 철광석 종류에 따라 DRI 내 맥석 성분의 차이가 존재하므로, 본 연구에서는 DRI 내 대표적 맥석 성분인 MgO와 Al_2O_3의 함량이 슬래그 내 FeO의 환원 메커니즘과 환원 속도에 미치는 영향을 고찰하였다. 고주파 유도로를 이용하여 용융환원 실험을 진행하였고, 슬래그 내 FeO의 환원반응 분석을 위해 실시간 배가스 분석을 실시하였다. 실험 결과, 상대적으로 MgO가 많은 슬래그에서의 FeO 환원반응이 Al_2O_3가 많은 슬래그에서보다 빠르게 진행됨을 확인하였다. 특히 MgO가 많은 슬래그에서는 특정 순간부터 FeO의 환원반응이 급격히 일어나는 반면, Al_2O_3가 많은 슬래그에서는 FeO의 환원반응이 지속적이고 점진적으로 일어나는 것을 관찰하였다. 이러한 결과를 통해 전기용융로 슬래그 내 FeO의 신속 환원을 위한 최적의 슬래그 설계를 위한 기초 데이터를 제시하고자 하였다.

[철강A2-3 | 10:55]

전기 용융로(ESF)의 전극부 아크 – 용선 간 상호작용 모사 : 김현진, 양현진* (인하대학교)

Keywords: 자기유체역학(MHD), 다상 유동(Multiphase flow), 전기용융로(ESF)

본 연구에서는 전극부의 아크 거동을 모사한 직류 전기 용융로 모델에 다상 유동 모델(Volume Of Fluid, VOF)을 결합하여 플라즈마 아크와 용선 간 열유동 상호작용을 모사할 수 있는 다물리모델(Multiphysics model)을 개발하였다. 자기유체역학(MHD)과 다상열유동의 커플링을 통해 실시간으로 변화하는 전자기장 및 유도전류를 예측함과 동시에 로렌츠힘에 의해 발달되는 플라즈마 젯과 용선 간의 열전달을 모사하였다. 이후 VOF를 통해 용선의 탕면을 추적하여 플라즈마 젯이 용선과 충돌해 생기는 공동(Cavity)을 시각화 하였다. 이로 인한 아크 – 탕면 간의 상호작용을 분석하고 여러 조업조건(예: 인가전류, 아크 길이)에 따른 영향을 조사하였다.

[철강A2-4 | 11:10]

1550°C에서 CaO-Al_2O_3-MgO-TiO_2 슬래그 내 TiO_2의 열역학적 거동 : 정동율, 전영진, 이민주 (한양대학교), 박성진, 강수창 (POSCO 기술연구소), 강윤배 (포항공과대학교), 박주현* (한양대학교)

Keywords: 활동도계수, 산화티타늄, 슬래그구조, 라만분광분석법

고-Cr 및 Ti 함유 페라이트계 스테인리스강(FSS)은 다른 강종들에 비해 우수한 내식성과 성형성을 가지는 동시에 냉연판의 높은 청정도가 요구된다. VOD 및 LT 공정에서 Al 탈산 최적화 등을 통해 Ti 함유 FSS의 청정도가 향상되어왔지만, 합금철 투입 이후 슬래그-용강 반응 등 다양한 요인으로 인해 용강 내 Ti 실수율의 변동폭이 크다는 문제점이 남아있다. 또한 Tundish에서 flux 및 대기와의 반응으로 인한 재산화로 인해 용강 내 청정도에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서, CaO-Al_2O_3계 슬래그 내 TiO_2의 활동도 계수를 측정하여 용강 내 Ti, O 및 슬래그 내 TiO_2 간 발생하는 평형 반응을 이해해야 한다. 이에 따라, 본 연구에서는 은(Ag)과 슬래그의 평형 실험을 통하여 CaO- Al_2O_3-MgO-TiO_2 슬래그 내 TiO_2의 열역학적 거동을 실험적으로 규명하였으며, 라만분광분석법을 통하여 슬래그 내 TiO_2의 안정성을 구조적 관점에서 고찰하였다.

[철강A2-5 | 11:25]

Phase diagram study of the CaO-MgO-Al_2O_3 system: Liquidus of MgO and spinel at 1550 to 1650 ºC : Dahee Gwak, Jaesung Lee, Seungjae Park, and In-Ho Jung* (Seoul National University)

Keywords: Factsage, Phase diagram, CaO-MgO-Al_2O_3

The CaO-MgO-Al_2O_3 system is one of the most fundamental oxide systems for pyro-metallurgy and ceramics applications. In particular, the CaO-Al_2O_3 slag is widely used as secondary refining slag in the steelmaking process due to its high sulfide capacity and oxide inclusion controls. Magnesia and spinel containing refractories are common refractories in the steel ladle, which is inevitably dissolved into liquid slag. Therefore, many studies have been conducted for obtaining the accurate phase diagram of the CaO-MgO-Al_2O_3 system and construct the thermodynamic database for the system. Recently, we got reports that the known phase diagram in the literature for the CaO-MgO-Al_2O_3 system might be inaccurate for the solubility limit of MgO and spinel at 1600 ºC. In this study, we have performed new phase diagram experiments of the ternary system to reexamine the liquidus of MgO and spinel at 1550, 1600 and 1650 ºC. Classical quenching experiments were conducted with the starting mixtures of pre-calcined CaO, MgO, Al_2O_3, CaO-Al_2O_3 slag and spinel ($MgAl_2O_4$), and the equilibrated samples were analyzed by EPMA and XRD. Based on new experimental data, we will present the revised phase diagram of the CaO-MgO-Al_2O_3 system.

[철강A2-6 | 11:40]

전기로형 수모델 활용 저취시 균일혼합시간 및 유동 변화에 미치는 물용량의 영향 : 박지현, 김선중* (조선대학교)

Keywords: Electric arc furnace:Bottom-blowing:Water model:Perfect mixing time.

전기로(Electric arc furnace)는 전기 아크 에너지를 열원으로 하여 스크랩을 용해하며, 전극 주변에 발생하는 전자기장에 의해 생성된 전자기력을 통해 용강이 국부적으로 교반된다. 이러한 전기 에너지로 인한 교반 에너지는 고효율 조업 조건을 충족시킬 수 없으며, 이는 탈탄 및 용융 속도 저하, 슬래그 내 높은 FeO 함량 등으로 인한 생산성 감소 문제를 야기한다. 반응 속도 향상 및 용강 내 유체 흐름 촉진을 통한 교반력 강화를 위한 방안으로 전자기 교반, 저취 기술 등이 개발되었으며, 실제 전기로에 저취 기술 적용을 통해 Tap-to-tap 시간 및 전극 소비량을 단축시키고 슬래그 내 FeO 함량 감소 등의 효과를 얻은 사례가 있다. 따라서 본 연구에서는 EAF에 저취 기술 도입 시 나타나는 로 내의 유체의 흐름을 확인하고 최적의 교반 조건을 정의하기 위해 실 전기로 크기를 기반으로 동적 유사성을 계산한 전기로형 수모델을 설계하였다. 또한, PIV(Particle Image Velocimetry) 분석을 통해 영역에 따른 유동의 특성을 파악하고 전기 전도도 측정을 통해 물 높이에 따른 균일 혼합시간의 변화를 조사하였다.

[철강A2-7 | 11:55]

Effect of Process Variables on RH Process via Numerical Modeling Analysis : Tae Ung Youn and Kyung Woo Yi* (Seoul National University)

Keywords: RH, Numerical Modeling, Decarburization, Process variables

In the steelmaking industry, the Ruhrstahl-Heraeus (RH) degassing process is a primary method for decarburization. It involves injecting argon gas into the molten steel while simultaneously lowering the pressure in the vacuum chamber to induce circulation of the molten steel. This process is intricately linked to various physical phenomena, leading to the development of numerous empirical and numerical models. However, the complexity of the RH process still demands advanced numerical modeling to consider the various variables that affect the process results. This topic is a continuation of our recent research on comprehensive numerical modeling of the RH process. Our previous study predicted changes in carbon and oxygen concentrations based on melt flow calculations. Building on the process modeling capabilities established in that study, this research analyzes the impact of key variables in the RH operation—such as vacuum chamber pressure (Pvac, Torr), gas flow rate (Q, Nm3/hr), and initial carbon concentration—on the final carbon concentration or processing method. Results are presented for the effect of pressure in terms of the depressurization rate and minimum pressure value and for gas flow rate in terms of total flow rate and flow pattern. Additionally, the effects of varying initial carbon concentrations on the results were compared and analyzed. In this study, we analyzed the effect of RH process variables on decarburization and operational processes based on the applicability and reasonable predictive capability of our RH numerical model. By utilizing advanced numerical modeling, the analysis of process variables can ultimately be used to predict process outcomes. This suggests directions for future steel process models.

[철강A3-1 | 13:00]

제철 공정 내 부생가스 환경영향 분배 시나리오에 따른 철강 제품의 전과정 온실가스 배출량 비교 분석 : 김건용, 황용우*, 조성진 (인하대학교), 오창용, 김서연, 이윤모 (현대제철)

Keywords: 제철 공정, 부생가스, 할당, 전과정평가, 온실가스

제철 공정에서는 철강 제품 이외에도 부생가스, 슬래그, 슬러지 등 다양한 부산물이 생성되며, 부산물별 특성에 따라 동종 또는 타 산업군에서 연료 및 원료를 대체하여 활용되고 있다. 제철 공정의 주요 부산물 중 하나인 부생가스는 공정 내 불완전연소, 화학반응 등으로 발생하는 가스로 공정에 따라 BFG, COG, LDG로 구분 가능하며, 화학적 조성은 다르나 모두 제철 공정 내 연료 및 자가 전력원으로 활용이 가능하다. 제선, 제강, 열연 등의 공정마다 중간·최종 제품이 생산되고, 중간제품이 다른 생산 시스템에서 원료로 사용되기 때문에 부생가스의 환경영향의 분배 방법은 타 시스템 생산 제품에도 영향을 끼치게 된다. 본 연구에서는 고로, 전

기로의 입지 조건, 부생가스 환경영향 분배 방법 등 시나리오에 따른 철강 제품의 전과정 온실가스 배출량을 분석하여 합리적인 분배 방법을 모색하였다. 시나리오는 ① 제품의 생산 경로(R), ② 부생가스 판매 여부(S), ③ 부생가스 환경영향 할당 방식(A)의 세 가지 요소로 구성하였다. 제품 생산 경로의 경우 고로 공정(내·외부), 전기로 공정(내·외부), 고로-전기로 혼합 공정(내·외부)의 총 6가지 요소로, 부생가스 판매 여부의 경우 부생가스를 사업장 내에서 사용하는 경우와 부생가스를 외부 판매하는 경우 2가지 요소로 구분하였다. 마지막으로 부생가스 환경영향 할당 방식의 경우 부생가스 발생 공정으로의 할당, 부생가스 사용 공정으로의 할당, 발생·사용 공정 간 분배의 총 3가지 요소로 구분하였다. 각 요소를 조합하여 중복되거나 불가능한 시나리오를 제외하고 총 19개의 시나리오에 대한 분석을 수행하였다. 분석 결과 부생가스 환경영향 분배 방식에 따라 용선의 탄소 배출량은 최대 37%까지, 도금강판의 탄소 배출량은 최대 33%까지 차이가 발생함을 확인하였다. 사사: 이 성과는 정부(환경부)의 재원으로 한국환경산업기술원의 지식환경서비스 특성화대학원 사업의 지원을 받아 수행된 연구임

[철강A3-2 | 13:15]

Application of JMA model on hydrogen reduction of iron ore : Seong-Jin Kim, Seongkyu Cho, Leonardo Tomas da Rocha, Dohyeon Kim, and Sung-Mo Jung* (POSTECH)

Keywords: iron ore, hydrogen, reduction, JMA model, model-fitting

The model fitting of iron ore reduction using hydrogen is crucial for understanding the reaction kinetics at each stage of the multi-step reduction process. This understanding is essential to identifying the optimal pathway for hydrogen-based ironmaking. The Johnson-Mehl-Avrami (JMA) model is widely recognized for describing the kinetics of solid-state reactions, particularly concerning the nucleation and growth of solid particles. In this study, the isothermal reduction of fine iron ore at 800°C in two hours was conducted using thermogravimetric analysis (TGA) to examine the changes in the rate-controlling step of multi-stage reduction. The reduction degree reached nearly 90% but then plateaued, with no significant further increase. The JMA model proved to be reliable for the reduction process, showing a high correlation coefficient (R^2) at each stage. By applying the JMA model using the Excel Solver function, three distinct reduction stages were identified: internal diffusion, chemical reaction, and nucleation. The rate-controlling steps for each stage were determined based on the kinetic exponent value (n). It was observed that internal diffusion and chemical reaction dominated the early stages of reduction, while nucleation was consistently the main mechanism in the later stages, regardless of the experimental conditions. Limonitic ore was used as a reference sample for the reduction tests, with dehydrated ores (400°C and 600°C) also analyzed. Dehydration is effective to enhance the overall reduction degree and rate, particularly in the early stages. Nevertheless, nucleation remained the predominant rate-controlling step throughout. Further investigation into the kinetics governing hydrogen reduction of iron ore is necessary to expand our understanding of the process.

[철강A3-3 | 13:30]

Investigations of Microstructure and Carburization Behavior of DRI for Rapid Melting in the ESF Process : Won Bum Park, Jooho Park (GIFT, POSTECH), and Youn-Bae Kang* (GIFT, POSTECH, MSE, POSTECH)

Keywords: Hydrogen Based Iron and Steelmaking, Direct Reudced Iron, Carburization, In-situ Observation,

In response to the imperative to mitigate CO_2 emissions within the iron and steel industry, there is a pressing need to minimize the utilization of conventional fossil fuel-based reductants. The hydrogen-based reduction process presents a promising avenue for CO_2 emission reduction due to the absence of carbon intervention. However, this process faces a significant challenge: the melting temperature of the solid product called Direct Reduced Iron (DRI) approximates that of pure iron. Paradoxically, to address this issue, the incorporation of a carbon addition process, termed carburization, becomes necessary. Various solid carburizing agents and gas carburization sources can be employed in this process. This step is crucial for lowering the melting temperature of Hydrogen-Direct-Reduced Iron (H-DRI), thereby potentially reducing overall thermal energy consumption during the smelting process. However, the optimal form of carbon to facilitate rapid H-DRI melting remains an open question. The present study focuses on elucidating the melting characteristics of DRI with different carbon-bound forms (graphite (C) versus cementite (Fe_3C)). Carbon-included DRI (C-DRI) and H-DRI were examined through Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS) and X-ray Diffraction (XRD) to understand the microstructure. Concurrently, the melting behavior of DRI with different carbon-bound forms was investigated using Confocal Scanning Laser Microscopy (CSLM) up to 1550 °C. The results showed that DRI melted faster when C bound as Fe_3C. It turned out that the C in graphite form can lead to CO (g) generation and increase the melting point of DRI. Furthermore, systematic research on the interface reactions of Fe and FeO with graphite was conducted to understand the melting behavior of DRI. The melting characteristics of Fe and FeO by C will be reported.

[철강A3-4 | 13:45]

전기로(EAF) 공정 조건에서의 열간압축철 (HBI) 승온에 따른 맥석 거동 변화 : 이민주, 박주현* (한양대학교)

Keywords: HBI, Gangue oxide, Slag composition

CO_2 발생량을 줄이기 위하여, 철강업계는 철강 생산 방식을 고로 조업에서 전기로 조업으로 변경하려 노력중이며, 전기로 조업으로 변경할 경우 고로-전로 조업 대비 약 75%의 CO_2 배출량을 절감할 수 있다. 하지만 기존 전기로 조업은 고철 내 순환성 원소라 불리는 불순 원소들(Cu, Sn 등)로 인하여, 제품의 최종 품질이 떨어지는 문제가 발생하고 있다. 이러한 불순 원소 제어를 위하

여, 원료를 고철에서 열간압축철(hot briquetted iron, HBI)로 변경하려는 시도를 하고 있다. HBI는 순환성 원소가 존재하지 않는 대신 SiO_2로 대표되는 맥석 성분과 광석에 따라 인(P) 함량이 높은 특징이 있어, 맥석성분으로 인한 온도별 슬래그 조성 변화를 확인하여, metal-slag 상 분리를 통한 용해속도 및 맥석 성분의 슬래그 혼입으로 인한 탈린능 변화를 확인해야 할 필요가 있다. 이전 연구에서는 100% HBI 사용 조건에서 HBI 용해거동 및 로내 반응을 관찰하였다. 그러나 이러한 실험은 온도 상승에 따른 HBI 용해 초기 슬래그 상 및 조성 변화를 관찰하기 어렵기 때문에, 본 연구에서는 HBI 승온에 따른 맥석 성분 변화를 관찰하였다. MgO가 비교적 높은 HBI-A 샘플은 국부적 SiO_2의 용해 및 FeO-MgO 상이 관찰되었고, 특히 FeO-MgO상은 승온시에도 용해되지 않고 고상으로 유지되는 것으로 확인되었다. 이를 통해, HBI 내 MgO 함량이 높을 경우, 용해거동에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 예상된다. 반면 3% SiO_2가 들어간 HBI-B샘플에서는 승온에 따른 SiO_2 기반 맥석 용해가 관찰되었고, 탄소 함량이 2%가 넘는 HBI-D 샘플은 1350°C에서 Fe phase 용해 및 Cementite phase를 관찰하였다. 이를 통해 SiO_2의 존재는 HBI 용해 초기에 저융점의 FeO-SiO_2, 기반 슬래그를 생성하여, Fe phase와의 분리를 통한 계면적 증가로 HBI 용해를 촉진하는데 기여할 가능성이 있다고 판단된다. 한편, 탄소 함량이 증가할 경우 침탄효과에 기인한 Fe phase의 융점 감소로 인하여, HBI 용해를 촉진하는데 기여할 수 있을 것으로 확인된다. 다만 HBI 내부의 탄소가 Cementite, 혹은 graphite 로 존재하는지에 대해서는 아직 명확하게 확인되지 않아 추가적인 분석이 필요하다.

[철강A3-5 | 14:00]

밀스케일 펠렛의 강도 확보를 위한 바인더 조건 탐색 : 유홍재, 강영조* (동아대학교)

Keywords: 함철부산물, 밀스케일, 펠렛, 바인더, 강도

제철, 제강 공정에서 발생되는 함철부산물 중 밀스케일은 불순물이 매우 적고 산화철이 지배적으로 구성되어 있어 대체 철원으로 재활용하기에 매우 우수한 재료이다. 함철부산물을 활용한 펠렛 제조 공정 중 탄소 첨가에 따른 강도 저하로 인해 적재 하중 및 이동간 충격 등에 의한 펠렛의 파괴, 환원 중 분화 현상으로 인한 생산 수율 저하 및 분화된 원료가 설비 내 융착 등과 같은 문제가 발생된다. 산업에서는 이를 방지하고자 벤토나이트, 물유리 등과 같은 높은 비용의 상용 바인더를 사용한다. 제강 슬래그 중 수경성을 가지는 슬래그를 바인더로 사용 가능하다면, 재활용 및 비용 절감이 가능할 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 수경성을 가지는 제강 슬래그를 밀스케일에 첨가하여 압분 성형과 소성을 통해 펠렛 제조 후 압축강도를 측정하여 상용 바인더와 비교 및 강도 향상 효과를 확인하였다.

[철강A3-6 | 14:15]

철강 슬라브 연속주조 몰드내 개재물 거동 및 포집 현상 모델링 : 김민경, 장태완, 조성묵* (부경대학교)

Keywords: 철강, 연속주조, 용강 토출류, 개재물 포집, 전산모사

철강 연속주조시 노즐을 통해서 유입되는 용강 토출류에 의해 몰드내 유동 패턴이 형성된다. 몰드 용탕내에는 노즐 막힘을 방지하기 위해 주입되는 아르곤 가스 버블, 제강공정에서 제거되지 못하고 유입된 알루미나 개재물 그리고 몰드 탕면에서의 비정상적 유동 현상으로 인해서 혼입된 슬래그가 존재할 수 있다. 이러한 몰드 내 입자들은 부상분리하여 슬래그층에 의해서 포집되면 제거가 가능하지만, 용강 유동의 흐름을 따라서 응고쉘에 도달하고, 포집되는 경우에는 최종 철강 제품의 표면 결함으로 유발될 수 있다. 본 연구에서는 몰드내 용강 유동내 개재물 거동 및 응고쉘내 포집 현상에 대한 전산모델링을 통해서, 몰드내 개재물의 이동궤적, 응고쉘 내 포집 위치, 포집 비율을 분석하고 개재물 포집 결함 발생기구에 대해서 고찰하고자 한다.

[철강A4-1 | 14:30]

Evaluation of Carbon Produced by Methane Pyrolysis Using Liquid Metal Catalysts : Young-Joon Park, Tae-Gyu Wi, Wooseok Kang, Changshin Jo (POSTECH), Seungyeon Lee, Il Sohn (Yonsei Univ.), Uendo Lee (KITECH), and Youn-Bae Kang* (POSTECH, Yonsei Univ.)

Keywords: Turquoise hydrogen, Carbon, Liquid metal catalyst, Na-ion battery

The importance of reducing greenhouse gas emissions and producing hydrogen energy has become more critical than ever for sustainable and efficient methods. Hydrogen, classified by colors based on its production technology, plays a crucial role in this transition. For example, green hydrogen, though environmentally benign with no CO_2 emissions, demands substantial energy for its production. Blue hydrogen, while less energy-intensive, requires additional CO_2 capture and storage infrastructure. Turquoise hydrogen presents a compelling alternative, offering both low energy requirements and minimal CO_2 emissions. This process can be further optimized using liquid metal catalysts to mitigate carbon deposition on the catalyst surface, a common challenge in methane pyrolysis. Previous research has focused on the kinetics of turquoise hydrogen production using liquid metal or salt catalysts, while the utilization of carbon byproducts remains underexplored. This study aims to bridge this gap by evaluating the carbon generated from methane pyrolysis using liquid metal catalysts. Experiments were conducted in a bubble column reactor, where variations in liquid metal catalysts and temperature were systematically explored. The structural properties of the resulting carbon were characterized using X-ray diffraction (XRD) and Raman spectroscopy. In addition to structural analysis, the electrical properties of the carbon were evaluated, specifically its suitability as an anode material in sodium-ion batteries. Carbon byproducts hold promise for various applications, including conductive additives, catalyst supports, and electrode materials. This would extend the utility of the carbon byproduct and contribute to the overall sustainability of turquoise hydrogen production. The utilization of liquid metal catalysts in methane pyrolysis could potentially contribute to the production of high-quality carbon products, further supporting the development of a sustainable hydrogen economy.

[철강A4-2 | 14:45]

Influence of Hydrogen on Reaction Behaviors of Sintered Ore, Pellets, and Lump Ore in Cohesive Zone of Blast furnace : Takayuki Iwama*, Ryo Inoue, Shigeru Ueda (Tohoku University), and Sun-Joong Kim (Chosun University)

Keywords: ironmaking, blast furnace, cohesive zone, hydrogen reduction, iron structure

Hydrogen-rich blast furnace (BF) is an effective way to realize low-carbon ironmaking and green sustainable development. Increasing hydrogen content changes the thermodynamic and kinetic conditions of chemical reactions, changing the reduction behavior of iron oxides and affecting the burden properties evolution and melting behavior. The cohesive zone is the region in which the partially reduced ore particles soften, and melt, and a major part of the pressure drop in the furnace occurs. To ensure stable BF operation, it is necessary to study the reduction and melting behaviors in cohesive zone. In this study, four types of iron ores with different basicity are used to examine the influence of hydrogen on the reaction behavior of sintered ore, pellets and lump ore under blast furnace simulated condition. Four types of iron ores were tested: sintered ore, basic pellet, acidic pellet, and lump ore. Ferrous material is charged in an 82 mm diameter reaction tube. The gas composition was determined for two different experimental reduction conditions. Case-H_2 simulated a hydrogen-rich blast furnace with the hydrogen fraction of 23 vol% and Case-CO simulated a traditional blast furnace with the hydrogen fraction of 3 vol%. The samples were heated to 700ºC at a heating rate of 3.3ºC/min, and heating above 700ºC was performed at a heating rate of 7.5ºC/min. After the end temperature was reached, reducing gas was replaced by N_2 for cooling to room temperature. Moreover, softening test was conducted to examine the melting properties. Samples were cut to 10 × 10 × 10 mm to include the interface between the ores, and the temperature was increased from 1200°C to 1450°C in an N_2 atmosphere at 300°C/h. After reaching 1450°C, the samples were quenched in water. The microstructure and elemental distribution of the reduced samples were examined by scanning electron microscopy and electron probe micro analyzer. Under hydrogen-rich condition, the proportion of fine iron shells is higher than under conventional blast furnace condition. Moreover, finer iron shells were formed in lump ore, acid pellet and basic pellet under hydrogen-rich condition, indicating a change in the physical properties of the iron shells with hydrogen enrichment. From the above, it was found that the structure of the iron shell is affected not only by the type and composition of the iron ore, but also the reducing gas.

[철강A4-3 | 15:00]

효율성과 환경지속 가능성 측면 산소기반 제철공정의 재해석 : 김상욱* (인하대학교, 포스코), 이상호 (포항공과대학교), 한정환 (인하대학교)

Keywords: Oxygen, BF, FINEX®, CO_2, Ironmaking

본 논문은 공정 효율성을 향상시킬 뿐만 아니라 유해 배출물의 혁신적인 감소를 기대할 수 있는 방법으로 제철 공정에서 산소를 활용하는 것에 대하여 논한다. 열풍공기를 사용하는 기존의 제선공정에 비해 전체 탄소소비량을 더 줄일 수 있으며, 배출되는 이산화탄소 포집 및 활용이 가능한 공정으로써 산소를 이용한 제선공정은 화석연료 없는 제철공정이 실현될 때까지 저탄소 제철공정으로 대체 가능한 기술이다. FINEX®제철 공정은 상업적인 생산 규모 측면에서 전통적인 제선 공정에 비해 소형이지만, Air대신 산소를 사용하는 관점에서 온실가스 배출 저감에 있어 중요한 효과를 제공한다. 현재 개발중인 산소고로의 상부 열부족문제를 recycle된 환원가스를 승온하여 취입을 구상하고 있으나, FINEX®에서는 더스트버너(19.8%)의 활용과 예열된 HCI(13.7%)의 장입으로 대체할 수 있다. 또한 하부의 과다한 열량제어를 위해서 이미 미분탄과 NG를 활용하는 최적화된 풍구를 개발 적용하여 향후 산소고로의 풍구 형상 및 취입방안에 참고가 될 수 있다. 또한 산소를 활용하는 것이 전통적인 제선 공정에 비해 환경대응 능력이 뛰어나고, 수소환원 제철 기술로 빠르게 전환될 수 있는 장점이 있다. 이미 공기(Air)를 산소로 전환하여 BOF 공정을 개발한 제강공정 개발역사와 유사하게 효율성과 친환경성 관점에서 산소사용 제철 공정을 기대할 수 있다.

[철강A4-4 | 15:15]

직접환원제철 최신 개발 동향 및 전망 : 김두욱*, 김영지, 박상호, 황영재 (한국에너지기술연구원, 한국화학연구원)

Keywords: 직접환원제철, 수소, 철강, 제선

철강산업에서 배출되는 온실가스는 전세계 7%, 우리나라 13%를 차지하고 있으며, 2050 탄소중립을 이루기 위해서 철강산업의 탄소배출량을 감소시킬 필요가 있다. 특히 중국은 전세계 철강 생산량에서 압도적 1위(점유율 57%)를 차지하고 있으며, 탄소 배출량이 많은 고로-전로 방식을 사용하고 있다. 이를 규제하기 위해 미국은 철강 관세 인상을 검토하고 있으며, 유럽은 탄소국경조정제도(CBAM)를 '26년부터 시행할 예정이다. 이러한 규제에 대응하기 위해 우리나라도 '23년 탄소중립 녹색성장 기본계획 및 한국형 탄소중립 100대 핵심기술에 수소환원제철를 포함하여 R&D 투자와 상용화 지원 계획을 발표하였다. 또한, 산업부의 장기 기술개발 로드맵에 따르면, 단기적으로는 고로에서 CO2를 감축하고 장기적으로는 수소환원제철을 개발 및 상용화하여 '50년까지 기존 고로 기반 설비(총 12기)를 대체하려고 한다. 현재 대표적인 직접환원제철 기술로는 샤프트 환원로 방식(MIDREX, HYL)과 유동층 환원로 방식(POSCO)이 있다. 샤프트 환원로 방식인 MIDREX NG 공정은 1969년에 개발되어 전세계 79개의 공장과 연간 99 Mt의 직접환원철을 생산할 수 있다. 그리고, LNG 사용량 대비 수소 주입량을 30 ~ 100%로 조절할 수 있는 MIDREX Flex 공정을 개발하고 있다. 포스코에서는 2007년 유동층 방식인 FINEX 공정을 상용화하였고, 75% 미분 형태의 석탄과 25% 수소를 환원제로 사용하고 있다. 환원제로 100% 수소를 사용할 수 있는 HyREX 공정을 개발하고 있으며, '27년까지 연간 30만톤 규모의 시험설비 검증 계획을 발표하였다. 수소환원제철의 가장 큰 이슈로는 그린수소의 비용 경제성 및 수요 대비 확보 가능성이다. 철강 제품이 2 ~ 3배 가격 상승이 예상되며, 국내 고로 철강 생산량을 수소환원제철로 대체했을 때 '21년도 국내 수소생산량(2.3 Mt)보다 많은 양의 수소(2.8 Mt)가 필요하다. 이를 해결하기 위해서는 직접환원제철 공정의 수소 이용률을 제고해야 되며, 많은 투자 및 R&D가 필요한 상황이다.

[철강A4-5 | 15:30]

직접환원철 제조 공정에서의 침탄 반응 최적화를 위한 바이오매스 가스화 기초연구 : 임지수*, 김혁, 이동수 (현대제철연구소)

Keywords: 수소환원, 탄소중립, 바이오매스, 침탄, 바이오매스 가스화

천연가스를 사용하여 직접환원철을 제조하는 방법은 유동로 공정과 샤프트 공정으로 구분된다. 이 중 샤프트로 공정은 철광석 펠렛을 원료로 사용하며, 샤프트로의 상부에서는 천연가스 또는 개질 된 환원가스에 의한 환원반응이 진행된다. 더불어, 하부에서는 환원된 직접환원철의 냉각과 침탄 반응이 동시에 이뤄지게 된다. 이 중 샤프트로 하부에서의 침탄 반응은 직접환원철의 탄소 함량을 2~4% 수준으로 증가시켜 용융 특성을 개선하고 활용도를 높이는 중요한 반응 단계이다. 침탄은 천연가스의 주성분인 메테인(CH4)의 탄소를 이용하는 반응이다. 하지만, 탄소 배출량을 감소시키기 위해 기존의 천연가스 공정을 수소환원 공정으로 전환할 경우 침탄을 위한 탄소원이 없어지게 된다. 따라서 탄소중립형 원료인 바이오매스를 가스화 하여 침탄 공정에 적용할 경우, 직접환원철 중 탄소 함량을 유지하면서도 탄소배출량을 감소시키는 것이 가능하다. 바이오매스 가스화 기술은 석탄 가스화 공정과 마찬가지로 상용화된 기술로, 발전 산업 부문에서 활발하게 활용되고 있다. 이는 발열량을 최우선으로 하는 연소 중심 가스화 공정이다. 그러나 침탄 공정에 적용하기 위해서는 바이오매스 가스 중 탄소원으로 활용이 가능한 성분인 CO와 CH4의 함량이 중요하다. 가스 조성은 자연계 원료인 바이오매스 종류에 따른 영향도가 가장 높으며, 산화제의 양과 종류, 가스화 온도 등 여러 조건에 의존한다. 바이오매스 종류에 따른 영향을 정량화 하기 위해 PKS(Palm kernel shell), 우드 펠렛 등 상용 원료와 농업 부산물인 콩대, 수수대를 포함한 10종의 바이오매스에 대해 성분 분석과 공업 분석을 했고, 그 결과 PKS의 탄소 함량이 가장 높은 것으로 확인했다. 각 바이오매스의 성분 및 휘발분 조성에 기반하여 대표적인 산화제인 산소의 최적 비율과 가스화 반응 온도의 영향에 따른 가스 조성 변화를 확인하기 위해 열역학 평형 계산 소프트웨어인 FactSage를 사용하여 계산하였다. 가스화 속도는 율속에 의존하나, 반응의 구동력은 해당 온도와 조성에 의해 결정된다. 계산 결과, 200~400ºC 구간에서 발생하는 CH4 가스와 CO2 가스는 온도가 상승함에 따라 잔류 탄소와 반응하여 가스 발생 총량이 증가하고, 700ºC 전후 구간에서는 부두와 반응과 개질 반응의 영향으로 CO 가스로 전환되기 시작한다. 850ºC 이상에서 모든 가스가 CO와 H2 가스로 전환됐다. 900ºC 반응 온도에서의 최적 산화도는 바이오매스의 탄소 함량에 비례하였고, ER(Equivalent Ratio) 0.2에서 바이오매스 중 모든 탄소는 CO로 전환 가능한 최적 조건임을 확인했다. 본 연구 결과, 직접환원철의 침탄 반응을 위해 바이오매스 가스를 활용할 가능성을 확인했으며, 바이오매스 가스 생산 시 바이오매스 종류에 따른 최적 반응 온도와 산화제 조건을 정량화 했다.

[철강A4-6 | 15:45]

수소환원 반응기 설계를 위한 유동로 내에서의 Iron Powder 환원 반응의 Batch Kinetics 수학적 모델링 : 이소명, 정진호* (포스텍 친환경소재대학원)

Keywords: 수소환원, 단속식 반응속도, 철분말, 수학적 모델링, CFD-DEM 모델

친환경 제철을 위한 수소환원 연속 반응기 설계를 위해서는 열유동해석 및 단속식 반응속도 모델링, 그리고 시간적 혼합에 의한 영향을 함께 고려해야 한다. CFD-DEM 모델에 의한 열유동해석에 이어 본 연구에서는 유동로 내에서 수소 취입에 의한 철분말의 환원과정을 단속식 반응기 내에서 모델링하였다. 구형의 철분말이 유동로 내에서 나타날 수 있는 헤마타이트(Fe2O3)-마그네타이트(Fe3O4)-뷔스타이트(FeO)-환원철(Fe)의 환원상태에 따른 10가지 형태의 중간 과정을 가정하고, 기체/고체 경막 내의 기체확산 및 표면에서의 흡수(adsorption)와 핵형성/성장과정 및 화학반응, 고체상 내에서의 분자확산 등이 직렬 또는 병렬로 연결될 때, 부분적 반응 속도식을 조합하여 총괄반응속도를 도출하고 반응 율속단계를 예측할 수 있는 수학적 모델을 제시하였다. 다양한 조업변수에 의해 총괄반응속도가 어떻게 변화될 수 있는지 그 경향성도 도출하였다.

[철강A5-1 | 16:00]

DRP 원료의 환원성 평가 표준 및 관리범위 수립 : 이동수*, 김혁 (현대제철연구소), 박태준 (한국지질자원연구원)

Keywords: 수소환원, 탄소중립, 직접환원, 펠렛, 평가표준

고로는 철광석을 환원시켜 용선을 얻는 공정이며, 높은 효율성으로 인해 높은 효율성으로 각 철강사에서의 주요 설비로 도입하여 사용되고 있다. 이로 인해 다양한 기술이 개발되고 연구되었을 뿐만 아니라, 효율적인 설비 운영을 위해 사용하는 원료를 최적화하기 위한 평가 방법도 정립되었다. 이러한 평가 방법을 활용하여 설비 특성에 최적화된 원료 관리 기준이 수립된 상태이다. 하지만 고로는 석탄 기반의 제선 공정으로 과도한 온실가스를 배출하고 있다. 전세계적으로 온실가스 배출 규제가 심화되며, 우리나라에서도 각 산업군에서 배출하는 온실가스를 줄일 필요성이 증대되고 있다. 철강 분야는 탄소 중립을 위해, 고로 대비 온실가스 배출량이 적고 이후 수소 환원 제철로 전환이 용이한 직접환원철 제조 설비가 주목하고 있다. 직접환원철 제조 설비는 MIDREX와 ENERGIRON이 대표적이며, 현재 글로벌 철강사에서 설비 도입을 추진 중이다. 상기 직접환원철 제조 설비는 환원로 이후 공정에서 추가적인 환원이 불가능하기 때문에 환원로에서 목표하는 환원율을 확보할 수 있는 원료를 선별해서 사용하여야 한다. 샤프트 타입 환원로는 고온의 환원가스를 활용하여 내부의 펠렛을 환원시키는 공정으로 환원 구간의 가스 조성, 온도에 따른 영향을 반영할 수 있는 조업 기준을 수립해야 한다. 따라서 현재 MIDREX의 펠렛 환원성 평가 기준의 타당성을 평가하고 이를 개선하고자 하며, 신규 환원성 평가 방안을 활용하여 안정 조업을 위한 관리 범위를 선정하고자 한다. 이에, 본 연구에서는 샤프트로 내의 주요 환원 구간을 모사하여 펠렛의 환원성을 평가하기 위한 장비 구성과 펠렛 환원성을 평가하기 위한 온도, 환원 가스 유량 및 가스 조성과 반응 시간을 설정하였다. 또한 DRI의 용융품질 확보를 위한 DRI 환원성 관리 기준을 수립하였다.

[철강A5-2 | 16:15]

Development and Application of Scrap Prediction Technology and Advanced Techniques for Achieving Carbon Neutrality in the Steel Industry : Taewoo Hwang, Sungdoo Hwang*, Donghoon Kang, Myungjae Kim, and Changho Lee (Hyundai-steel

Research Laboratory)

Keywords: Carbon Neutrality, Electric Arc Furnaces, Scrap, Tramp, XRF

Global steel manufacturers are reducing carbon emissions to comply with environmental regulations. Domestic steel companies are similarly working towards mid- to long-term carbon neutrality goals. Significant reductions in carbon emissions require changes in processes, energy sources, and raw materials. The industry is expected to transition from blast furnaces to electric arc furnaces and shift from iron ore to scrap, which has near-zero carbon emissions. However, the use of scrap is limited by residual tramp elements affecting the quality of high-grade automotive steel sheets. Currently, only high-grade scrap with low tramp element content is used for producing high-quality automotive steel sheets. By 2030, the domestic supply of high-grade scrap is projected to fall short by several million tons, necessitating advanced sorting technologies to upgrade general scrap. This study aims to predict and validate residual tramp elements in scrap through melting evaluations. X-ray fluorescence (XRF) is used to sort scrap by type, determining the threshold, average, and minimum levels of residual tramp and heavy metal elements. The primary objective is to establish a comprehensive database of tramp and heavy metals in scrap for use in raw material mixtures for future electric arc furnace systems. This research aims to contribute significantly to carbon neutrality and reduce the carbon footprint in steel production.

[철강A5-3 | 16:30]

Non Metallic Inclusions of ULC Grade Steel : Cha Woo-Yeol*, Kin Wan-Yi, Choi Ju-Han, and Kim Jang-Hoon (POSCO Technical Research Institute)

Keywords: Inclusions, ULC grade steel, Al2O3

This study examines non-metallic inclusions in ULC steel, focusing on indigenous inclusions formed during refining and exogenous inclusions introduced during rolling. During the RH process, Al2O3 inclusions form due to aluminum and oxygen interactions, influenced by oxygen activity and melt supersaturation. Rinse argon bottom bubbling after RH treatment helps prevent reoxidation. Exogenous inclusions from rolling can cause surface defects, with size and location being critical. Controlling both types of inclusions is crucial for high-quality ULC steel. Analyzing inclusion size and shape helps distinguish between those formed during refining and those introduced during rolling. This distinction is essential for minimizing harmful inclusions and optimizing the steelmaking process.

[철강A5-4 | 16:45]

발광분광분석법을 활용한 강의 청정도 신속평가방법 : 박정호* (포스코 기술연구원)

Keywords: 개재물, 발광분광분석

청정한 강재를 제조하기 위해서는 강의 청정도 평가가 기반이 된다. 지난 수십년간 강의 청정도 평가를 위해 많은 연구자들이 다양한 시도를 진행하여 왔다. 대부분의 청정도 평가방법은 세밀한 사전 시편처리 및 국부적인 평가를 수반하므로 장시간에 걸쳐 지속적으로 수행하기 곤란하다. 이에 포스코에서는 상대적으로 간단하고 신속하게 강의 청정도를 평가할수 있는 방법을 탐구하였으며, 발광분광분석(OES-PDA) 방법을 활용하여 강의 청정도를 평가할 수 있는 방법을 개발하였다. 강재의 발광분석시 기지금속 및 개재물 구성원소들(예, Al)의 빛의 강도와 중량간의 상관관계를 사전에 파악하여 검량선을 도출하고, 시료내 개재물에의한 발광과 용존원소에 의한 발광을 구분하여 개재물만의 발광량 정보를 이용하여 해당 개재물의 조성, 크기, 양을 평가할 수 있는 강재의 청정도 신속평가방법을 개발하였다. 개발된 신속평가방법을 활용한 강재의 청정도 평가결과와 기존의 청정도 평가방법들의 결과와 양호한 상관관계를 확인하였다.

[철강A5-5 | 17:00]

레이들 부피측정 프로파일러를 활용한 영상인식 용강칭량 시스템 개발 : 서창우*, 서성모, 한웅희, 송민호, 안종태 (포스코 기술연구원 강재연구소 제강연구그룹), 박희용, 이재은 (포스코 (광양)제강부 제강기술개발섹션)

Keywords: 탕면영상인식칭량, 레이들침식, 레이들 부피측정 프로파일러, 칭량AI학습, 칭량정합성

제강공정내 용선 및 용강 칭량은 대차 로드셀을 통하여 칭량하는 것이 일반적인 기법이다. 그러나, 대차 칭량시 슬래그 넘침, 지면 평탄도, 측정 위치등 다양한 원인으로 인해 칭량값에 대한 정합성 문제는 지속적으로 발생하고 있다. 그래서 칭량 정합성 향상을 위해 대차 칭량 보완을 위한 방법, 크레인 로드셀 적용 및 영상인식칭량 기법 등 다양한 칭량 설비 및 기법이 소개되어 적용되고 있으나 이에 대하여 칭량 정합성 확보는 아직 미흡한 실정이다. 레이들내 용선 및 용강의 탕면 관찰을 위한 영상인식 기법은 제강공정에서 탕명 슬래그 배제 정량화를 비롯한 제강공정에서 다양하게 활용되고 있다. 그러나, 영상인식 기법을 활용한 용강량의 정밀칭량에 있어서는 용강 및 내화물간의 반응에 의해 레이들 사용 횟수에 따른 내화물 침식의 정량화를 위한 신뢰성 있는 데이터를 확보할 수 없어 영상인식 칭량기술 개발에 장애물로 작용하여왔다. 본 연구에서는 영상인식 칭량의 정합성 확보를 위한 선결문제로 레이들 횟수에 따른 내부의 형상을 정밀측정하는 프로파일러를 도입하여 용강 장입전 예상 장입량의 부피 계산을 하고 용강량 장입후 탕면의 위치 및 레이들 직경 데이터로부터 정밀한 용강 칭량을 구현하는데 있다. 또한 지속적으로 확보한 칭량값을 가용 대차 로드셀 칭량값과 비교 및 AI학습을 수행함으로 상호 검증을 할 수 있는 정밀 칭량계산 모델로 제시하고자 한다.

[철강A5-6 | 17:15]

A Study on the Evaluation of Melting Properties for Inorganic Fiber according to Slag Mixing Conditions : 정은진*, 엄형섭 ((재)포항산업과학연구원)

Keywords: 철강슬래그, 자원순환, 무기섬유, 재활용, 미네랄울

미네랄울은 고온 공정에서 열손실의 방지를 위한 플랜트 및 기계설비 분야와 화재 발생 시 화염전파 및 열 차단 성능을 요구하는 선박 및 조선 분야에서 활발히 사용 중이지만 슬래그울에 비해 높은 내화성능과 단열성능을 지니는 스톤울의 사용이 상대적으로 선호되며, 해외 제품의 수입량이 점차 증가하는 실정이다. 특히 선박 조선 분야에서 IMO(International Maritime Organization)의 해양 환경 규제로 인해 온실가스 배출량을 경감하는 친환경 선박 조선 기술 수요가 증가하고 있으며 선박용 기자재의 경량화가 요구되고 있어 낮은 밀도에도 고성능의 내화 단열 성능을 지니는 미네랄울 시스템이 요구되고 있으며 최근 회복세를 보이는 조선 수주량에 따라 저밀도 고성능 미네랄울 선박 내화 시스템의 수요도 증가하고 있다. 무기섬유단열재(미네랄울)는 슬래그 및 광석(현무암, 규석, 안산암 등의 자연석)을 용융 후 방사시켜 섬유상의 단열재로 제조되며, 낮은 열전도율과 불연 성능을 지니고 있어 단열과 내화성능을 동시에 요구하는 건축, 플랜트, 설비, 선박 조선에서 고온 내화 단열재로 사용되고 있다. 기존 조업조건 대비 광석 zero향 무기섬유 제조를 위해 배합조성의 관점에서 접근을 하였으나 용융특성이 다르고 원료간 배합점성 등에 따라 상이한 특성을 가지고 있다. 이에, 배합조성에 의존하기 보다는 원료내 배합을 통한 융점, 점성, 환원성 산화물의 정도 등을 종합적으로 판단하여 배합기준을 확보해야 한다. 다양한 원료의 활용을 통해 배합조건을 종합적으로 검토, 제안하고자 한다. 사사 본 연구는 산업통상자원부 한국산업기술평가관리원의 철강산업재도약기술개발사업(20015513)으로 수행된 과제임

[철강A6-1 | 17:30] 조청강연

[δ to γ phase transformation- 1] Characterization of Steel Phase Transformation by Use of In Situ X-Ray Topography : CHANG HEE Yim*, Ahmad Zamanian, Nam Hoon Goo (Pohang University of Science and Technology), Tahereh Zargar (King's College London), Fazlollah Sadeghi (Brunel University), Soo Yeon Lee, Yoon Uk Heo, Jae Sang Lee, Dae Geun Hong (Pohang University of Science and Technology), Ho Jae Kwak (Pohang Accelerator Laboratory), Seong Gyoon Kim (Kookmin University), and Cheol Hee Nam (Technical Research Laboratory, POSCO)

Keywords: phase transformation in steels, in-situ X-ray observation, temperature measurement, dendrite growth, peritectic reaction

The phase transformation of steel, whether between liquid and solid or between different solid phases, remains a critical focus of metallurgical research. Each steel product undergoes a solidification process followed by subsequent solid-phase transitions, which are pivotal in determining the final microstructure of the material. The microstructure, in turn, plays a significant role in defining the properties and performance of steel products. Despite the importance of these transitions, much of what occurs during the high-temperature phase transformation remains obscured, with most investigations limited to post-transition microstructural analysis. The real-time dynamics of the moving interface and the corresponding microstructural evolution often remain hidden, with only theoretical models and assumptions available to infer these processes. In this study, we introduce a state-of-the-art facility equipped with in situ X-ray topography and precise temperature control, enabling the direct observation of interfacial phenomena during the high-temperature phase transformation of steel alloys. This advanced system provides unprecedented visual access to the behavior of the growing dendrites and the moving interface during phase transformation, offering a clearer understanding of these critical processes. Thanks to the sophisticated temperature control system, our facility also allows for measuring interfacial velocity with various cooling conditions. These investigations provide new insights into the behavior of different steel grades during phase transitions, enhancing our understanding of the dynamic processes that occur during phase transformation. We can offer valuable insights that can inform both theoretical models and practical applications in the field of metallurgy

[철강A6-2 | 17:55] 조청강연

[δ to γ phase transformation- 2] Kinetic analysis of δ to γ phase transformation in carbon steels : Seong Gyoon KIM* (Kookmin University), Chang Hee Yim*, Ahmad Zamanian, Nam Hoon Goo (Pohang University of Science and Technology), Tahereh Zargar (King's College London), Fazlollah Sadeghi (Brunel University), Soo Yeon Lee, Yoon Uk Heo, Jae Sang Lee, Dae Geun Hong (Pohang University of Science and Technology), Ho Jae Kwak (Pohang Accelerator Laboratory), and Cheol Hee Nam (Technical Research Laboratory, POSCO)

Keywords: phase transformation in steels, massive transformation, interface velocity, diffuse-interface model

When carbon steels solidify in peritectic composition range on the phase diagram, it has been believed that the primary δ ferrite and remaining liquid phase react to yield the γ austenite. However, the in-situ observations of the solidification procedure for such carbon steels revealed that in most cases from hypo-peritectic to hyper-peritectic compositions, the primary δ ferrite is highly undercooled and then the δ to γ phase transformation takes place in the single γ region on the phase diagram. From the thermodynamic and kinetic consideration, we first show that i) the δ to γ isothermal transformation in the single γ region takes place by the massive mode in which the γ phase grows with the same composition as the initial δ phase, ii) the carbon is always partitioned with different concentrations in δ-side and γ-side of the interface, and iii) the substitutional element such as Mn and Si can be partitioned or partitionless at the interface, depending on the transformation temperature. We next develop a model on the present massive transformation by employing the diffuse interface approach. The interface velocities at steady-state during the δ to γ massive transformation is predicted as functions of temperature and alloy compositions. We finally compare the predictions for two TRIP steels (TRIP1 and TRIP2) with different compositions with the experimental results from in-situ observations. The in-situ observations showed the striking difference between TRIP1 and TRIP2 in the massive transformation kinetics. Our predictions reproduced such kinetic difference and revealed that Mn and

Si are being partitioned at the interface during the massive transformation in TRIP1, whereas there are negligible partitioning of Mn and Si at the interface in TRIP2.

[철강A6-3 | 18:20]

[δ to γ phase transformation- 3] Image processing algorithm to extract metallurgical information:the application study of phase fraction in solid and gas bubble in molten liquid : Dae Geun Hong*, Zamanian Khorasgani Ahmad, Nam Hoon Goo, Chang Hee Yim* (Pohang University of Science and Technology), and Cheol Hee Nam (Technical Research Laboratory, POSCO)

Keywords: Synchrotron radiation images, Machine learning, δ to γ phase transformation, Laue Diffraction Pattern, Gas bubble behavior

Recently, a method has been developed to directly observe phase transformation during melting and resolidification of steel using synchrotron X-ray microscopy. The image data measured by a synchrotron X-ray microscope uses high-resolution, high-speed imaging, so the amount is very large, reaching hundreds of gigabytes, and requires a lot of time and manpower for humans to analyze it. So, in this study, we developed a method to quantitatively evaluate solidification phase transformation behavior and liquid gas bubble behavior by using artificial intelligence to analyze synchrotron X-ray images. First, an algorithm was developed to automatically recognize and measure distribution of liquid and solid regions based on image data. We proposed an algorithm that can calculate standard brightness for liquid, delta, and gamma phases:a liquid fraction curve based on image data can be calculated. Second, we proposed an algorithm that can quantitatively analyze delta and gamma phase transformation behavior based on diffraction pattern images. It can recognize and quantify the appearance time and location characteristics of delta and gamma phases in diffraction pattern images. Third, we developed a technology that can quantify the characteristics and behavior of gas bubbles in the liquid phase based on image data. It can quantify the change in position of gas bubbles over time and track their dynamic behavior. Lastly, the proposed analysis method was packaged into an integrated software with a user-friendly GUI, including visualization for user convenience, so that it could be used to quantitatively and automatically analyze various dynamic characteristics that occur during the steel solidification process.

[철강A6-4 | 18:35]

[δ to γ phase transformation- 4] An Analysis of High-Temperature δ to γ Phase Transformation in Ultra-Low Carbon Steel Using In-Situ X-Ray Topography and Corresponding Laue Diffraction Techniques : Nam Hoon Goo*, Ahmad Zamanian, Soo Yeon Lee, Yoon Uk Heo, Jae Sang Lee, Dae Geun Hong (Pohang University of Science and Technology), Ho Jae Kwak (Pohang Accelerator Laboratory), Seong Gyoon Kim (Kookmin University), Cheol Hee Nam (Technical Research Laboratory, POSCO), and Chang Hee Yim* (Pohang University of Science and Technology)

Keywords: Ultra-low carbon steel, kinetic of transformation, in-situ X-ray observation, temperature measurement, δ to γ transformation

The delta to gamma phase transformation in steel alloys is of significant technical importance, and it occurs at elevated temperatures over 1400C, particularly in determining the final microstructure and properties of the material. However, conventional thermal analysis techniques, such as calorimetry or dilatation, often need to provide precise measurements of the kinetics involved in this critical transformation. These limitations hinder our ability to fully understand the dynamics of phase transitions, especially when capturing the rapid changes that occur just after solidification. This study presents an advanced integrated approach that combines X-ray topographic imaging, diffraction, and precise temperature measurement to overcome these challenges. Using accurate CCD for the intensity of scattered X-ray beams, we can deduce the relative changes in the phase volume fractions of delta and gamma phases. This novel methodology provides a comprehensive analysis of phase transformation by enabling the accurate quantification of recalescence, which results from the release of latent heat during solidification and solid-state phase transformations. The approach also allows for detailed tracking of fractional volume changes of the δ phase during continuous cooling, offering new insights into the transformation kinetics that were previously unattainable with conventional methods. Our findings reveal that in Ultra-Low Carbon (ULC) steels, the δ to γ transformation occurs rapidly within the single-phase region, significantly below the solidus temperature indicated in the phase diagram. This rapid transformation is further accelerated at higher cooling rates, emphasizing the sensitivity of phase transition kinetics to the cooling conditions

철강A6-5 | 18:50]

[δ to γ phase transformation- 5] An Investigation of the δ to γ Phase Transformation in TRIP Steel, Employing In-Situ X-Ray Techniques to Analyze the Characteristics of the Phase Transformation : AHMAD ZAMANIAN KHORASGANI*, Nam Hoon Goo, Soo Yeon Lee, Yoon Uk Heo, Jae Sang Lee, Dae Geun Hong (Pohang University of Science and Technology), Ho Jae Kwak (Pohang Accelerator Laboratory), Seong Gyoon Kim* (Kookmin University), Cheol Hee Nam (Technical Research Laboratory, POSCO), and Chang Hee Yim* (Pohang University of Science and Technology)

Keywords: TRIP steel, big undercooling, δ to γ transformation, kinetic of transformation, in-situ X-ray observation

Transformation-induced plasticity (TRIP) steel is an advanced high-strength material widely used in the automotive industry. Typically categorized as high-alloy steels, TRIP steels contain approximately 1-2% silicon and manganese, providing superior mechanical properties for various applications. Numerous researches have been conducted to investigate phase transformations in lower temperatures (below 1000°C). However, studies on phase transformations in TRIP steels at high temperatures are limited due to

experimental challenges. Thanks to our state-of-the-art facility, we are able to investigate the early stages of solidification and delta-to-gamma phase transformation in TRIP steels. Our experimental results reveal that the delta-to-gamma phase transformation in TRIP steel occurs with substantial amount of undercooling from equilibrium peritectic line, easily exceeding 70°C. However, the transformation behavior varies significantly depending on the carbon content. When the carbon content is around 0.1% (within the hypo-peritectic range), the transformation occurs rapidly. In contrast, with a carbon content of 0.23% (within the hyper-peritectic range), the transformation occurs slowly despite the significant amount of undercooling. By considering the undercooling relative to the ?0 temperature instead of the peritectic line, we can explain the differences in phase transformation behavior between these two TRIP steels.

[철강A6-6 | 19:05]

[δ to γ phase transformation- 6] Investigating the Driving Force of δ to γ Phase Transformation in Carbon Steels : AHMAD ZAMANIAN KHORASGANI*, Nam Hoon Goo (Pohang University of Science and Technology), Tahereh Zargar (King's College London), Fazlollah Sadeghi (Brunel University), Soo Yeon Lee, Yoon Uk Heo, Jae Sang Lee, Dae Geun Hong (Pohang University of Science and Technology), Ho Jae Kwak (Pohang Accelerator Laboratory), Seong Gyoon Kim* (Kookmin University), Cheol Hee Nam (Technical Research Laboratory, POSCO), and Chang Hee Yim* (Pohang University of Science and Technology)

Keywords: T0 temperature, driving force, δ to γ transformation, kinetic of transformation, carbon steels

Recent in-situ observations on the solidification of carbon steel have revealed that the primary δ-phase becomes highly undercooled, extending into the single γ-phase region of the phase diagram. In this region, the δ-phase is thermodynamically unstable relative to the γ-phase, making it impossible to maintain thermodynamic equilibrium between the two phases. as the δ to γ phase transformation is delayed due to this undercooling, the rate of the transition accelerates, often exhibiting massive or massive-like kinetics. Understanding this massive δ to γ transformation is crucial, as it plays a significant role in the formation of surface defects in steel. By quantitatively evaluating the thermodynamic driving force behind this transformation, we can gain deeper insights into how it changes in response to varying amount of undercooling. The proposed model suggests that the thermodynamic driving force for the δ/γ massive transformation is proportional to the undercooling from the ?0 temperature, rather than from the peritectic temperature. By comparing the predicted interfacial velocities for different carbon steels during the δ/γ transformation with those measured experimentally, a strong correlation is observed, demonstrating a good agreement between the theoretical models and the actual behavior. The findings reveal a transition between slow and fast massive δ/γ transformation, depending on the amount of undercooling

[철강A6-7 | 19:20]

[δ to γ phase transformation- 7] Effect of Carbon Content on the δ to γ Phase Transformation of Peritectic Steels : Nam Hoon Goo*, Ahmad Zamanian (Pohang University of Science and Technology), Tahereh Zargar (King's College London), Fazlollah Sadeghi (Brunel University), Soo Yeon Lee, Yoon Uk Heo, Jae Sang Lee, Dae Geun Hong (Pohang University of Science and Technology), Ho Jae Kwak (Pohang Accelerator Laboratory), Seong Gyoon Kim (Kookmin University), Cheol Hee Nam (Technical Research Laboratory, POSCO), and Chang Hee Yim* (Pohang University of Science and Technology)

Keywords: peritectic steels, phase transformation, solid-shell unevenness, temperature measurement, dendrite growth, peritectic reaction

Most of the low-carbon steels used for structural applications have a carbon content in the peritectic range., i.e. from 0.1wt% to 0.5wt%. Although carbon content is necessary for proper strength and toughness, the slab casting process for the carbon range has many issues and troubles related to slab quality, including cracks, profile oscillation and even slab fracture. The leading causes of these issues are peritectic reaction and related peritectic transitions in liquid, solid delta, and solid gamma. The peritectic transition followed by the peritectic reaction leads to volume changes between BCC delta and FCC gamma. If the phase transition happens abruptly, the strain accumulated by volume changes, and the accompanying internal stresses produce defects such as cracks and deformations in the slab. In this study, we aimed to quantify the kinetics of the peritectic transition by tracking the onset temperature and the movement of the interphase transition interface in real-time at high temperatures after solidification due to changes in carbon content. The observation and analysis showed that as the carbon content increased, the supercooling temperature required for the peritectic transition decreased, and the phase change onset temperature naturally increased. In addition, the sensitivity of the migration velocity of the phase change interface to supercooling increased significantly with increasing supercooling at the carbon content at which the peritectic region begins in the equilibrium phase. The results analyzed by X-ray topography images confirm that the frequency of the peritectic reaction, which involves the formation of the gamma phase before the end of solidification, increases with increasing carbon content. As a result, in the composition where the peritectic reaction is suppressed, the delta phase formed at high temperature cannot be transformed into the gamma phase, and the phase change to the gamma phase proceeds at a speedy rate after the liquid phase is exhausted during supercooling. The delay in the gamma phase and the accompanying very rapid solid phase transformation were associated with increased internal stress generation in the slab and a corresponding increase in slab defects.

The 23rd KIM-JIMM Symposium
Room Meadow, 10월 29일

[KJ1-1 | 09:05] Invited Talk
Carbon Neutral Society: Challenges and Strategies of the Korean Steel Industry : Joonho Lee* (Korea University)
Keywords: carbon neutral, hydrogen, HyRex, ironmaking, steel industry

The first United Nations Conference of Human Environment was held in 1972 in Stockholm. In this conference, Stockholm Declaration of Action Plan for the Human Environment. Principle 18 declared "Science and technology, as part of their contribution to economic and social development, must be applied to the identification, avoidance and control of environmental risks and their solution of environmental problems and for the COMMON good of mankind." After comprehensive working, in 1987, Gro Harlem Bruntland published "Our COMMON Future", stating "Sustainable Development." Today, the most important environmental problem is "Global Warming." Consequently, all countries and industries are making great efforts to build a "Carbon Neutral Society." Steel is known as a COMMON metallic material, composing the main bodies of modern cities. The sustainable supply of steel is challenging for economic and social development. The Korean steel industry is working on the development of Korean Hydrogen Reduction Ironmaking Technology (HyRex). HyRex has flexibility in the selection of iron ores, which do not need pretreatment, such as pelletizing. The iron ore particles are reduced by the hydrogen gas in a fluidized bed reactor. The reduced iron is compacted into H2-HCI, which is charged in the electric smelting furnace. Here, renewable energy is used. The molten iron then goes through the conventional converter and the continuous casting process to produce slabs, blooms, and billets. It is anticipated that HyRex will be the solution for the COMMON good of mankind.

[KJ1-2 | 09:25] Invited Talk
Ammonia Synthesis via Catalytic and Chemical Looping Process by Alkali Metal Compounds : Hiroki Miyaoka* (Natural Science Center for Basic Research and Development, Hiroshima University)

Ammonia (NH3) is an attractive energy or hydrogen carrier because of the high gravimetric and volumetric energy density. Considering the NH3 production from renewable energy with fluctuation and uneven-distribution, research and development of the effective small-scale (distributed-type) NH3 synthesis techniques, which should be operated under lower pressure than that of conventional techniques (concentrated-type), are required. Since alkaline metals such as lithium (Li) and sodium (Na) are active for dissociation of N2, these are key elements to establish the innovative NH3 synthesis techniques. In this work, the NH3 synthesis processes via catalytic and chemical looping processes by using Li and Na compounds are investigated [1-4]. Alkali metals and 14 group elements (M = Si, Ge, Sn. Pb) alloys and hydrides are used as catalysts or reactants. To systematically understand the N2 dissociation properties, the N2 dissociation temperature and the chemical state of alkali elements were evaluated and compared. As a result, for the Li systems, correlation between the reaction temperature and metallic feature of Li in the compounds was clarified [1]. The compounds with more metallic Li dissociate N2 molecule at lower temperature. In the case of Na system, the chemical state of Na in the alloys would affect the activity of NH3 synthesis. The alloys with more metallic Na showed the higher NH3 generation rate. In addition, it is indicated that the N2 dissociation temperature is related to thermal stability, which is defined by decomposition temperature. The chemical looping processes of Li alloys are composed of three step reactions, which are N2 dissociation to form Li3N, NH3 synthesis by reaction between Li3N and H2, and regeneration of initial alloys from LiH. For all the alloys, NH3 can be synthesized under atmospheric pressure below 500

[KJ1-3 | 09:45] Invited Talk
Technology to prohibit hydrogen embrittlement in metals and welds : Namhyun Kang*, Jimin Nam, Donghyun Choi, Byeongrok Moon, and Sam Anaman (Pusan National University)
Keywords: Hydrogen embrittlement, Steels, Stainless steels, High entropy alloys, Welding

To utilize hydrogen energy, technology for the production, storage, and transportation of green hydrogen is necessary, and metals will play a significant role in each value chain of hydrogen energy. However, metals exhibit a phenomenon known as hydrogen embrittlement, where they easily fracture under hydrogen environments and stress. Hydrogen atoms, having the smallest atomic radius, easily diffuse in BCC metals like carbon steel but find it difficult to diffuse in FCC metals such as carbon steel, aluminum, and stainless steel. The hydrogen that infiltrates the interior of components diffuses and accumulates at stress concentration sites of metal defects (dislocations, grain boundaries, interstitial sites, etc.), causing delayed fracture phenomena. This study summarizes the hydrogen embrittlement phenomena according to the strength, grain size, and dislocation density of carbon steel. It compares the hydrogen embrittlement in welds, where stress concentration is most severe, using filler metals (high-entropy alloys) and different welding techniques, and explains methods to overcome these issues. Additionally, to innovate hydrogen embrittlement-resistant materials, we will explain the new global project of Basic Research Lab initiated by Pusan National University. This project involves the development

of nano surface structures to prevent hydrogen penetration, bulk materials resistant to hydrogen embrittlement, and the fabrication of hydrogen embrittlement- resistant materials through additive manufacturing.

[KJ1-4 | 10:05] Invited Talk

Room Temperature Hydride Ion Conduction in Rare-Earth Metal Oxyhydrides : Soshi Iimura* (National Institute for Materials Science (NIMS))

Hydride ion (H−) is a unique anionic species that exhibit high reactivity and chemical energy. H− conductors are key materials to utilize advantages of H− for applications, such as chemical reactors and energy storage systems. However, low H− conductivity at room temperature (RT) in current H− conductors limits the applications. Recently, H− conductivity of ~1 mS cm−1 at RT is observed in LaH3−2xOx with x < 0.25, which is higher by 3 orders of magnitude than that of the best H− conductor [1, 2]. The oxygen concentration (x) is crucial in achieving fast H− conduction near RT:the low activation barrier of 0.3–0.4 eV is attained for x < 0.25, above which it increases to 1.2–1.3 eV. Molecular dynamics simulations using neural-network potential successfully reproduced the observed activation energy, revealing the presence of mobile and immobile H−. In this talk, in addition to the ionic conduction properties, the thin film device using the H− conducting rare-earth oxyhydrides [3] is also presented. [References] [1] K. Fukui, S. Iimura*, A. Iskandarov, T. Tada, H. Hosono*, J. Am. Chem. Soc. 2022, 144, 4, 1523. [2] K. Fukui, S. Iimura*, T. Tada, S. Fujitsu, M. Sasase, H. Tamatsukuri, T. Honda, K. Ikeda, T. Otomo, H. Hosono*, Nat. Commun. 2019, 10, 2578. [3] T. Yamasaki, R. Takaoka, S. Iimura*, J. Kim, H. Hiramatsu, H. Hosono*, ACS Appl. Mater. Interfaces 2022, 14, 17, 19766.

[KJ2-1 | 10:40] Invited Talk

Structural and chemical affinity engineering for improved hydrogen trapping and embrittlement behavior : Seok Su Sohn* (Korea Univ.)

Keywords: High-entropy alloy, Hydrogen trap, Hydrogen embrittlement, Atom probe tomography,

Hydrogen embrittlement becomes more severe as the strength of materials increases, making it crucial to overcome the trade-off between strength and embrittlement. To mitigate hydrogen embrittlement, it is essential to create strong trap sites that can inhibit hydrogen diffusion. Traditional methods to achieve this involve introducing defects in high-energy states, such as incoherent interfaces. However, these methods often degrade mechanical properties, presenting significant limitations in overcoming the trade-off. Therefore, a new paradigm is required. In this study, we explore the use of high-entropy alloy systems to demonstrate that the solid-solution effect, typically considered a weak trap site, can significantly improve hydrogen trapping and embrittlement behavior. Our findings reveal that Vanadium, which has a high chemical affinity for hydrogen, is particularly effective in stabilizing trapped hydrogen and enhancing embrittlement resistance. Moreover, we show that forming ordered structures, as opposed to random solid solutions, can further enhance hydrogen trapping through structural affinity, thereby improving embrittlement resistance.

[KJ2-2 | 11:00] Invited Talk

Synthesis of Lightweight High-Entropy Alloys and Their Application to Hydrogen Storage : Shigehito Isobe* (Hokkaido University)

In recent years, high entropy alloys (HEAs) have been the focus of much research in the field of metallic materials [1]. HEAs generally refer to single phase disordered solid solutions of multi-component alloys with five or more components, where each component is composed of equal or close to equal molar ratios. The important point in the material design is that the entropy term of configuration is sufficiently large in Gibbs' free energy (thermodynamic stability) so that solid solutions can exist stably. Nowadays, the HEAs is sometimes used to refer to multi-component alloys originating from the idea of HEAs, rather than being restricted to HEAs in the narrow sense of the definition. In 2016, Sahlberg et al. showed that the disordered solid solution BCC phase of TiVZrNbHf alloys changes to the BCT phase upon hydrogen absorption and reported that the hydrogen absorption reached 2.7 wt.%, corresponding to H/M = 2.5 [5]. They attributed this large hydrogen storage capacity to the lattice distortion peculiar to HEAs and suggested that it may be possible to develop HEAs with even larger hydrogen storage capacities by changing the types of constituent elements. Our group has also been working on prototypes of various HEAs in anticipation of their application to hydrogen storage alloys [6]. In HYPOTHESIS XIX, I will report on the synthesis of various lightweight hydrogen storage alloys based on the design concept of HEAs and their potential as hydrogen storage alloys. [Acknowledgements] The author appreciates the staffs and students of LOAM, Faculty of Engineering, Hokkaido University for their cooperation. The author thanks Dr. Sakaki and Dr. Asano of AIST for their assistance. Part of this research was supported by the following grants: JSPS Grants-in-Aid for Scientific Research JP21H00137, JP22H00137, Iketani Foundation for the Promotion of Science and Technology Research Grant, Research Grant from Hokkaido Gas University Research Support Program, by The Light Metal Educational Foundation, Inc. [References] [1] DB Miracle, ON Senkov, Acta Materialia, 122, 448-511 (2017) [2] Cantor B, Chang ITH, Knight P, Vincent AJB. Mater Sci Eng A, 375–377, 213 (2004) [3] Yeh JW, Chen SK, Lin SJ, Gan JY, Chin TS, Shun TT, et al., Adv Eng Mater., 6, 299 (2004) [4] Yeh JW, Ann Chim Sci des Mater., 31, 633 (2006) [5] Sahlberg M, Karlsson D, Zlotea C, Jansson U., Sci Rep., 6, 1 (2016) [6] H Hashimoto, S Isobe, N Hashimoto, H Oka, Journal of Alloys and Metallurgical Systems 4, 100037 (2023)

[KJ2-3 | 11:20] Invited Talk

Vanadium-based metallic membranes for hydrogen separation : Ju-Hyun Baek (Korea Institute of Science and Technology, Korea University), Sang-Min Lee, Jinwoo Kim, Jae-Hyeok Shim, Young-Su Lee, Jin-Yoo Suh* (Korea Institute of Science and Technology), Seok Su Sohn (Korea University), and Minwoo Kang (Hyundai Motor Company)

Keywords: Hydrogen, Hydrogen permeation, Metallic membrane for hydrogen separation, Vanadium alloys, Hydrogen permeability

Palladium and its alloys can be utilized as hydrogen separation membranes, selectively permeating only hydrogen from a hydrogen-containing gas mixture to extract high-purity hydrogen. However, due to the high cost of palladium, research and development have been focused on minimizing the amount of palladium used. One approach involves utilizing alloys of metals with a body-centered cubic crystal structure, such as vanadium, which have a high affinity for hydrogen, in the form of cylindrical tube structures. The composite structure of the hydrogen separation membrane is composed of a palladium catalytic coating layer with a thickness of several tens to hundreds of nanometers on both sides of the tube, and research on this is ongoing. This presentation will define the characteristics that such vanadium alloys must possess, introduce methods for evaluating the hydrogen transport properties required for use as a hydrogen separation membrane.

[KJ2-4 | 11:40] Invited Talk

Temperature and Pressure Dependent Solubility of Hydrogen in Hydrogen Permeable Alloys: A First-Principles Description :Akihiro Mitsuhara*, Hiroshi Yukawa, and Hajime Kimizuka (Nagoya University)

Keywords: Hydrogen permeation and dissolution, Thermodynamics, PCT curve, DFT calculation

Recently, there has been an increased demand for high purity hydrogen to expand hydrogen energy applications. Accordingly, hydrogen-permeable metal membranes, which can purify hydrogen to ultra-high purity in a single-step process, have received a great deal of attention. Pd is known to be a typical metal permeable to hydrogen, but it is extremely rare and expensive. Therefore, there is a need for an efficient exploration of hydrogen permeable alloys that do not make use of Pd. To address this issue, it is essential to understand in detail the dissolution and diffusion behavior of hydrogen in metals, which is the key to hydrogen permeability. In addition, the effects of alloying elements on hydrogen solubility and diffusivity need to be elucidated. In this study, a thermodynamic model based on density functional theory (DFT) calculations was developed to quantitatively describe the temperature and pressure dependence of hydrogen solubility in metals and to clarify the microscopic mechanism of the effects of alloying elements on hydrogen solubility in metals. Typical hydrogen-permeable alloys, the Pd-Ag and V-Fe systems, were selected for computational modeling. By utilizing DFT calculations, we quantitatively investigated various energy factors that characterize the dissolution behavior of hydrogen, including the interaction between multiple hydrogen atoms, the interaction between hydrogen atoms and hydrogen-induced strain, and the interaction between hydrogen and alloying elements. Eventually, the pressure-composition isotherms (PCT curves) of the alloys were described non-empirically by providing DFT-calculated parameters for the thermodynamic model of hydrogen dissolution. The obtained PCT curves of the alloys were consistent with the experimental results over a wide hydrogen concentration range. Furthermore, we found that the chemical and elastic interactions between hydrogen and metal atoms characterize the nonlinear hydrogen solubility (i.e., non-Sieverts' behavior) of the alloys depending on the alloy composition. These suggested that our approach can provide useful insights when tuning alloy compositions to control the shape of the PCT curve.

[KJ3-1 | 13:00] Invited Talk

I knew you were trouble: analyzing hydrogen : Kim Se-Ho* (Korea University)

Keywords: hydrogen, atom probe tomography, materials, hydrogen embrittlement

Atom Probe Tomography (APT) is a powerful technique for observing hydrogen in materials due to its high sensitivity and sub-nanometer resolution. This presentation will discuss the fundamentals of APT-based hydrogen analysis, emphasizing the challenges of differentiating hydrogen background signals etc. Further I will highlight significant findings on hydrogen distribution in various materials, including structural alloys and functional materials. I will also discuss the limitations of APT in hydrogen analysis and explores future opportunities for advancing the understanding of hydrogen behavior in materials.

[KJ3-2 | 13:20] Invited Talk

Hydrogenation Reactions of Aluminum-Based Alloys Under High Pressure : Hiroyuki Saitoh* (Kansai Institute for Photon Science, National Institutes for Quantum Science and Technology (QST))

Aluminum and its alloys have extremely low affinity for hydrogen, and except for a group of complex hydrides called alanates, there are only a few reports on syntheses of aluminum alloy hydrides [1]. We attempt to synthesize aluminum alloy hydrides under high hydrogen pressure, based on the fact that hydrogen under high pressure has high chemical potentials and is highly reactive. We have been efficiently searching for novel hydrogenation reaction conditions of aluminum alloys by in-situ observation of crystal structures of samples under high pressure using high-brilliance synchrotron radiation x-rays at SPring-8, Japan [2]. As a result, several new aluminum alloy hydrides such as Al2CuH [3] and Al3FeH4 [4] have been successfully synthesized. In this presentation, we will explain the high-pressure generation and in situ synchrotron radiation observation techniques, and describe the syntheses of aluminum alloy

hydrides and the results of analyses of the crystal structures and hydrogen release temperatures of the obtained hydrides. [References] [1] F. Gingl, T. Vogt, E. Akiba, Trigonal SrAl2H2: the first Zintl phase hydride, J. Alloys Compd. 306 (2000) 127–132. https://doi.org/10.1016/S0925-8388(00)00755-6. [2] H. Saitoh, A. Machida, K. Aoki, Synchrotron X-ray diffraction techniques for in situ measurement of hydride formation under several gigapascals of hydrogen pressure, Chinese Sci. Bull. 59 (2014) 5290–5301. https://doi.org/10.1007/s11434-014-0543-8. [3] H. Saitoh, S. Takagi, N. Endo, A. Machida, K. Aoki, S. Orimo, Y. Katayama, Synthesis and formation process of Al2CuHx: A new class of interstitial aluminum-based alloy hydride, APL Mater. 1 (2013) 032113. https://doi.org/10.1063/1.4821632 [4] H. Saitoh, T. Sato, M. Tanikami, K. Ikeda, A. Machida, T. Watanuki, T. Taguchi, S. Yamamoto, T. Yamaki, S. Takagi, T. Otomo, S. Orimo, Hydrogen storage by earth-abundant metals, synthesis and characterization of Al3FeH3.9, Mater. Des. 208 (2021) 109953. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109953.

[KJ3-3 | 13:40] Invited Talk

Metastable Hexagonal Close-packed Palladium-hydride through radiation chemistry : DongWon Chun* (KIST)

Keywords: HCP Palladium-hydride, metastable phase, radiation chemistry

Metal-hydride (M-H) are formed by incorporating hydrogen atoms into metals through diffusion, which results in significant changes, for instance, in crystal structure and properties. In this presentation, I will discuss a newly synthesized metastable phase of hexagonal close-packed (hcp) palladium-hydride (PdH_x) that forms in a hydrogen-rich conditions within liquid cell transmission electron microscopy (LC-TEM). Additionally, I will introduce a novel synthetic paradigm through radiation chemistry, which I firstly proposed, for the production of metastable M-Hs [1-2]. Furthermore, I plan to extend the synthesis of metastable nanoparticle to those that oxidized easily, as well as to scale up the process to bench-scale production. Preliminary results concerning the synthesis of PdH_x nanoparticle, not only employing oxygen free organic solution within the LC-TEM [3] but also using other types of equipment for the bench-scale production will be discussed. References [1] D. W. Chun et al., Nature, 603, (2022) [2] D. W. Chun et al., Adv. Funct. Mater., 34 (2024) [3] D. W. Chun et al. In-preparation

[KJ3-4 | 14:00] Invited Talk

Customizing of Additional Functions of Hydrogen Storage Materials: Compression and Purification of Hydrogen : Kohta Asano*, Keita Shinzato, Véronique Charbonnier, Hyunjeong Kim, and Kouji Sakaki (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST))

Hydrogen can be produced by electrolyzing water using renewable energy and generate electricity using fuel cells depending on the demand, thus that is one of the promising energy carriers in a global sustainable society. Moreover, synthesis of hydrocarbons such as methane and alcohols from hydrogen and carbon dioxide is attracting considerable attention, with a view to establishing efficient carbon dioxide utilization technology. Within one or two decades, safe and compact storage and supply technologies of hydrogen will be necessary, not only in industrial areas but also in urban areas. Metal hydrides can store hydrogen in a metal lattice, in which the volumetric density of hydrogen is higher than gaseous storage compressed up to several tens of MPa. Recently we have tried to add practical functions to metal hydrides, which are compression and purification of hydrogen. For many metals with high affinity for hydrogen, hydrogenation and dehydrogenation are exothermic and endothermic reactions, respectively, thus metal hydrides can be used for thermochemical compressors. We are developing (Ti,Zr)(Cr,Mn,Fe)2 Laves phase compounds which absorb hydrogen at ~40 MPa at moderate temperatures and desorb it up to 80 MPa at ~80 °C for hydrogen refueling stations. For the purification function, we are evaluating the same types of Laves phase compounds as for compression to separate hydrogen from a compressed mixture gas of hydrogen and carbon dioxide, produced by decomposition of formic acid. To prevent lowering surface reactivity of metal hydrides with hydrogen, surface coating layers protecting against carbon dioxide and permeable to hydrogen might be effective. In this talk, an artificial metal thin film technology will also be introduced. It explores the coating materials for the surface of metal hydrides. This work was supported by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), JPNP18011 and JPNP20005.

[KJ4-1 | 14:35] Invited Talk

Surface-Engineered Metal Hydride for Low-Purity Hydrogen Storage : Hyun Cho (Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)), Kouji Sakaki (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)), and Eun Seon Cho* (Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))

Keywords: Hydrogen storage, metal hydride, surface coating

Facing the formidable climate crisis, hydrogen has attracted extensive attention as a promising carrier of clean energy. To address the current energy and environment issues, the demand for high-purity hydrogen has been rapidly increasing. Hydrogen is mostly produced in the mixture of other gas components such as CO, CO_2, and CH_4. Accordingly, the separation and purification of hydrogen gas need to be preceded to increase the purity, and it is required to be properly stored thereafter, prior to its utilization. In this regard, hydrogen purification and storage play a crucial role in exploiting hydrogen energy systems. We developed a surface-engineered Ti-based alloy in which hydrogen with impurities can be directly stored without additional expensive and complicated purification procedure. The Ti-based alloy is treated to have a gas-selective layer on the surface, and at the interface of low-purity hydrogen and alloy, hydrogen gas is

preferentially penetrated into the alloy. Compared to the conventional purification and storage technology, it can be operated under relatively mild conditions with high safety and credibility. It is expected that this study contributes to the design and development of advanced hydrogen purification and storage system, promoting wide application of hydrogen.

[KJ4-2 | 14:55] Invited Talk

Local Structures in Hydrogen Storage Materials and Their Hydrides : Kouji Sakaki* and Hyunjeong Kim (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

Crystal structure analysis is one of important techniques to characterize materials because the structure is strongly linked to their material properties. Since recently-developed materials with unique properties sometimes have nano-dimension such as nanoparticle and thin film, heavily distorted, or local domain, it becomes difficult to analyze their structure accurately by a conventional diffraction method. Therefore, local structure analyses are getting popular. Pair distribution function technique from the total scattering experiment is one of the local structure analysis methods. Hydrogen utilization technologies are important to establish zero-emission society. Hydrogen storage materials can be applicable for not only hydrogen storage but also hydrogen purification and compression. Therefore, we have been developing new hydrogen storage materials and investigating their degradation mechanism upon cyclic hydrogenation-dehydrogenation reactions. For this aim, we have applied not only the conventional diffraction method but also the total scattering technique to observe the local structures in hydrogen storage materials and their hydrides. In BCC alloys and Mg2-xPrxNi4 compounds, we found the good correlation between reduction of capacity upon cycle and increase of dislocation density. It suggests that the degradation comes from the formation of dislocations. In addition, it was found that the local structures of mono-hydride of BCC alloys and Mg1.4Pr0.6Ni4 hydride are different from their average structure suggesting that the atomic arrangements are locally deviated from the average structure model. In this presentation, the detail analysis results will be explained. In-situ and/or operand measurements are desired since hydride is stable only under pressurized hydrogen atmosphere. We established time-resolved In-situ total scattering setup at BL22XU in SPring-8. We will also introduce the capability for this setup. A part of this work is supported by GteX Program Japan Grant Number JPMJGX23H1.

[KJ4-3 | 15:15] Invited Talk

Industrial applications and technology trends of hydrogen storage alloys : Na, Taewook* (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))

Keywords: Hydrogen storage alloys, hydrogen energy storage system, metal hydride compressor

Hydrogen is attracting attention as a next-generation eco-friendly energy delivery material due to its advantages of not generating pollutants when converted into energy and having high storage density. The technologies needed to apply hydrogen to industry can be broadly divided into production, storage, and utilization, and research on each technology is actively underway. In the storage field, hydrogen storage alloys are being researched along with high-pressure hydrogen and liquefied hydrogen. Each storage method has both advantages and disadvantages, and it is necessary to understand the characteristics of each storage method and consider which storage method is advantageous for the industry to which it will be applied and how it should be improved. For example, hydrogen storage alloy is a metal that absorbs hydrogen at a specific temperature and pressure. It has a low weight storage density but a very high volumetric storage density, making it suitable for use in a stationary hydrogen storage system. When using a stationary hydrogen storage system for the purpose of long-term energy storage to overcome the intermittency of eco-friendly energy, it is appropriate to use a room temperature, low pressure hydrogen storage alloy that allows for long-term storage, has low storage costs, and has a high volumetric storage density. In this presentation, we will discuss industrial systems where hydrogen storage alloys can be applied and discuss the direction of hydrogen storage alloy development for this purpose.

[KJ4-4 | 15:35] Invited Talk

Hydrogen Absorption Reactions on an AB_3-Based Intermetallic Compound, (Y, Mg)Co_3 : Toyoto Sato* (Institute for Materials Research, Tohoku University, Japan), H. Saitoh, R. Utsumi (National Institutes for Quantum Science and Technology (QST), Japan), J. Ito, K.Obana (Shibaura Institute of Technology, Japan), Y. Nakahira (National

Institutes for Quantum Science and Technology (QST), Japan), D.Sheptyakov (Paul Scherrer Institut, Switzerland), T. Honda, H. Sagayama (High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Japan), S.Takagi (National Institutes for Quantum Science and Technology (QST), Japan), T. Kono (The University of Tokyo, Japan), H. Yang (École Polytechnique Fédérale de Lausanne Valais/Wallis, Empa Materials Science and Technology, Switzerland), W. Luo (Shanghai University, China), L. Lombardo (Kyoto University, Japan), A. Züttel (École Polytechnique Fédérale de Lausanne Valais/Wallis, Empa Materials Science and Technology, Switzerland), and S. Orimo (Tohoku University, Japan) We have investigated AB2-based alloys (Y, Mg)(Co, Ni)2, which were synthesized from YCo2 and MgNi2, with reversible hydrogen absorption and desorption reactions [1, 2]. In the results, their equilibrium hydrogen absorption/desorption pressures and hydrogen storage capacities were depended on amounts of Mg and Co. Using YCo2 and MgCo2 as starting materials and synthesizing at 1173 K, AB3-based alloys (Y, Mg)Co¬3 were yielded. (Y, Mg)Co3 exhibited reversible hydrogen absorption and desorption reactions below 10 MPa at 303 K, at which approximately 1.7 mass% of hydrogen was stored. Although

hydrogen storage properties are usually investigated below 10 MPa, reactions between hydrogen and compounds are proceeded above 1 GPa since hydrogen chemical potential is increased in the high-pressure range [3]. This suggests that the high-pressure experiments are effective to understand their maximum hydrogen storage capacities [4, 5]. Therefore, we observed the hydrogen absorption reactions of (Y, Mg)Co3 above 1 GPa at room temperature by multi-anvil high-pressure apparatus combined with X-ray diffraction at BL-14B1, SPring-8. Considering the unit cell expansions on (Y,Mg)Co3 during the experiment, the hydrogen content in (Y,Mg)Co3 was estimated to reach up to 2.9 mass% above 1 GPa at room temperature. In our presentation, we will mainly present hydrogen absorption reactions on (Y, Mg)Co3 from low to high pressures including syntheses and crystal structures studied by synchrotron radiation X-ray and neutron diffraction experiments. [References] [1] T. Sato et al., ACS Omega 5, 31192-31198 (2020). [2] T. Sato et al., J. Phys. Chem. C 126, 16943-16951 (2022). [3] H. Sugimoto, Y. Fukai, Acta Metall. Mater. 40, 2327-2336 (1992). [4] T. Sato et al., Molecules 28, 1256 (2023). [5] N. Ishimatsu et al., Phys. Rev. Mater. 7, 024401 (2023).

[특별세션4] 학회상 수상기념 강연

Room 메도우, 10월 29일

[[AW-2 | 16:30] 세이해암학술상 수상기념강연

고압 수소용 철강재료 개발과 수소취성 평가 : 황병철*(서울과학기술대학교)

수소경제의 확산에 따라 고압 수소 환경에서 사용되는 압력용기와 라인파이프용 철강재료의 개발은 필수적이다. 이러한 환경에서 사용되는 철강재료는 수소취성에 의해 기계적 성능이 저하되고, 파괴될 위험이 높다. 특히 고강도 철강재료는 수소에 더 취약하며, 이로 인한 파괴는 산업 전반의 구조적 안전성에 중요한 문제가 된다. 현재 고압수소 압력용기의 경우 ASME Sec. VIII Div. 3을 참고하여 2021년 KGS AC111 기준에 수소취성 평가 내용이 추가되어, 저속변형률 시험, 파괴인성 및 피로파괴 시험을 통해 재료의 수소 신뢰성을 평가하고 있다. 그러나 고압수소 라인파이프용 철강재료의 경우 ASME B31.12 등 해외 규격 외에는 국내 규격이나 설계 기준이 부족한 실정이다. 본 강연에서는 고압 수소 환경에서 사용되는 압력용기와 라인파이프용 철강재료의 내수소취성을 향상시키기 위한 합금설계 및 제조 공정 전략을 논의할 예정이다. 먼저 수소가 철강 내부로 확산되고 흡착되어 미세조직과 상호작용하는 메커니즘을 분석하고, 이를 바탕으로 고강도 철강재료의 내수소취성을 향상시키기 위한 최신 연구 동향을 소개할 예정이다. 또한 고강도 철강재료의 수명 연장과 안전성을 확보하기 위한 다양한 수소취성 평가 방법과 실질적인 전략을 제시할 계획이다.

[AW-4 | 16:55] 송천학술상 수상기념강연

경량금속과 고분자 수지 간의 분자접합 기술 : 김정한*(국립한밭대학교)

경량금속과 고분자 수지 간의 접합기술은 자동차, 항공우주, 전자기기와 같은 산업에서 경량화와 고강도 요구에 부응하기 위해 중요한 기술로 주목받고 있다. 이러한 접합기술중 접착제를 사용할 필요가 없는 직접접합 기술은 접합부의 무게를 줄이고, 재료의 특성을 유지하면서도 효율적으로 결합할 수 있는 장점이 있어 산업계에서 큰 관심을 받고 있다. 자동차 산업에서는 연비 개선과 탄소 배출 감소를 위해 알루미늄, 마그네슘 등 경량 금속과 복합재를 직접 접합하는 기술이 중요하게 사용된다. 항공우주 산업에서도 경량화와 내구성을 동시에 달성하기 위해 금속과 고분자 수지의 직접 접합을 요구하고 있다. 특히, 최근 개발되고 있는 분자접합 기술은 표면 개질을 통해 금속과 고분자 수지간 공유결합을 유도해 매우 강하고 안정적인 결합을 이룰 수 있게 한다. 분자접합을 효과적으로 이루기 위해서는 표면 개질을 통해 금속 표면을 활성화하거나, 광조사 처리를 통해 화학적 상호작용을 증가시키는 방식으로 접합 강도를 높일 수 있다. 이러한 기술은 두 재료 간의 물리적, 화학적 결합을 강화하는 데 기여한다. 본 발표에서는 마그네슘, 알루미늄, 타이타늄과 고분자 수지 (CFRP, GFRP, PP) 간의 직접/분자접합 기술에 대해서 소개하고자 한다. 미래에는 이와 같은 분자접합 기술이 더 넓은 산업 분야에서 활용되며, 재료 비용 절감과 경량화의 중요한 기술로 자리 잡을 것으로 기대된다.

[AW-5 | 17:20] 첨단소재학술상 수상기념강연

Autonomous Laboratory Leading Future Materials Innovation : Sang Soo Han*(Korea Institute of Science and Technology)

As the demand for advanced materials grows, the process of discovering and optimizing new materials faces increasing challenges in terms of complexity and time constraints. Autonomous laboratory systems, powered by machine learning, robotics, and artificial intelligence (AI), are emerging as revolutionary tools in materials innovation. These autonomous platforms can conduct high-throughput experiments, analyze vast datasets in real-time, and rapidly iterate through hypotheses, reducing the time required for material discovery from years to months. This presentation explores how autonomous laboratories are reshaping the future of materials science by enabling rapid, data-driven discovery and development. We will examine the key components of these systems, including AI-driven experimental design, robotics for automated synthesis and testing, and self-learning algorithms that improve with each iteration. Case studies will illustrate successful implementations of autonomous labs in discovering novel materials. By integrating advanced computational tools with automated experimental workflows, autonomous laboratories represent a paradigm shift in materials innovation, accelerating the path from discovery to deployment.

[AW-7 | 17:45] International Scholar Award 수상기념강연

Materials Research in Support of Carbon-Free Nuclear Energy : Anne A. Campbell* (Oak Ridge National Laboratory)

World-wide efforts to reduce carbon emissions to address climate change will not be achievable without an adoption of nuclear energy. Near-term deployment of advanced light water reactors is hindered due to challenges related to large-scale construction needs. Instead, the rapid deployment of advanced smallmodular reactors (SMRs) is the most promising way to replace fossil fuel baseload. The SMRs under development are extreme environments, more so than those experienced in operating reactors. Two SMRs with the most extreme conditions, gas-cooled and molten-salt cooled reactors, utilize graphite as the neutron moderator. 80 years ago, graphite was used as the first neutron moderator, but even with this long history there remain challenges related to the use of graphite as a reactor core material for SMRs. This presentation will discuss the research at Oak Ridge National Laboratory that is supporting the use of graphite in SMRs and the rapid deployment of these reactors.

NEW-HORIZON II: 배터리 혁신을 위한 소재 시뮬레이션 심포지엄
Room 레이크, 10월 29일

[배터리1-1 | 09:00] 초청강연

DX를 활용한 LG에너지솔루션의 소재 연구개발의 미래 : 박병천* (LG에너지솔루션)

Keywords: 리튬이차전지, 소재, 양극재, 시뮬레이션, AI

현재 전기차 시장에서는 리튬이온 배터리가 폭넓게 사용되고 있으며, 세계 각국 환경 정책 및 내연 기관과 동등한 수준의 가격과 성능의 충족으로 시장이 성장해 왔습니다. 최근 고금리, 고물가, 저성장 시대 그리고 전기차 시장의 캐즘(Chasm) 영역의 진입으로 일시적으로 수요가 정체되고 있으나, 세계 전기차 시장은 여전히 지속 성장할 것으로 예측되고 있습니다. 초기 EV 시장의 기술 트렌드는 주행거리 향상을 위한 에너지밀도에 가장 많은 중점을 두었으나, 시장의 성장에 따라 급속충전, 수명, 안전성 또한 중요한 요소가 되고 있습니다. 또한 시장 확대에 따른 배터리 핵심 원료 및 소재의 수요가 증가하고 있어, 배터리 업계에서는 이와 관련된 다양한 연구가 진행되고 있습니다. 본 발표에서는 당사의 소재 개발 현황을 소개하고 급변하는 시장의 요구에 부합하는 새로운 소재 개발 방향을 제안하고자 합니다. 또한, 이를 가속화하기 위한 LG의 DX(Digital Transformation) 기술을 활용해 축적된 data와 시뮬레이션을 이용한 AI 기반 소재 설계 및 검증 효율화 방안에 대해 중점적으로 발표하려고 합니다.

[배터리1-2 | 09:30] 초청강연

배터리 신산업 혁신을 위한 소재 주도 계산/데이터 과학 : 김두호* (경희대학교 기계공학과, (주)프리딕션)

Keywords: 계산과학, 배터리 소재, 다중물리, 다차원, 상태진단

소재 데이터 기반 소프트웨어 플랫폼 기술과 서비스형 배터리(BaaS, Battery as a Service)가 급성장을 이룩한 전기 자동차 산업의 정착과 안정화를 주도하고 향후 파생 산업의 생태계 조성 및 미래 성장의 동력원으로써 부가가치를 창출할 것으로 예측되고 있다. 또한, 전기 자동차 시장 성숙 후 창출되는 거대한 사용후 배터리 업사이클링 3대산업(재사용, 재제조, 재활용)에서의 성공적 순환경제 시스템 구축 및 활성화를 위해서는 다종대량의 사용후 배터리 품질의결이 가능한 고속다종대량 상태진단 소프트웨어 기술이 필요하다. 본 발표에서는 데이터 주도 다중물리/다차원 계산과학을 통한 배터리 소재의 근본적인 이해를 바탕으로 첨단 인공지능 기술을 기반한 클라우드형 사용후 배터리 상태진단 소프트웨어 기술과 플랫폼에 대해서 다양한 적용분야를 통해 소개한다.

[배터리1-3 | 10:00] 초청강연

능동학습에 의한 베터리 소재 개발 : KEE-SUN SOHN*, Seonghwan Kim, and Byung Do Lee (Sejong University)

Keywords: battery materials

In surveying an extensive library of myriad hypothetical and real-world battery materials such as cathodes, anodes, and electrolytes, we address the challenges posed by conventional experimental and computational screening methods. We introduce a novel computational approach, leveraging an active learning framework that synergistically integrates metaheuristic algorithms with Bayesian optimization. This method efficiently discerns thermodynamically and electrochemically stable materials, narrowing down the vast initial set to a manageable number of materials with minimal energy above the hull as well as acceptable performances. Our methodology not only expedites the identification of superior battery materials but also establishes a groundbreaking paradigm for computational and experimental exploration in materials discovery.

[배터리1-4 | 10:30] 초청강연

제일원리와 머신러닝을 접목한 지속가능 배터리용 유기물 양극재 개발 가속화 : 이동화* (포항공과대학교)

Keywords: 이차전지, 유기양극재, 제일원리계산, 머신러닝, 설명형 AI

탄소 배출 증가로 인한 지구 온난화가 심화됨에 따라, 지속 가능한 에너지 솔루션의 필요성이 더욱 커지고 있다. 이에 따라, 유기물의 친환경성과 지속 가능성을 활용한 유기물 양극재 기반 Li-ion 이차전지 연구가 주목받고 있다. 유기물은 높은 구조적 다양성을 지니고 있어, 차세대 양극재로써 활용될 수 있는 많은 잠재적 후보 물질이 존재할 것으로 기대된다. 그러나, 이러한 후보 물질들을 효과적으로 탐색하기 위해서는 저비용, 고속의 물성 평가 프로세스와 효율적인 구조 분석 방법론이 필수적이다. 본 연구에서는 제일원리계산 기반의 Multi-fidelity 계산을 통해 리튬 삽입 과정을 자동화하여 효율적으로 양극재 물성 데이터베이스를 구축하고, 이를 통해 Graph Neural Network (GNN) 모델을 개발하여 높은 정확도를 보이며 고속으로 물성 평가가 가능한 파이프라인을 개발하였다. 우리는 본 기술을 PubChem 유기물 데이터베이스에 적용하여, 등록된 수백만 개의 구조로부터 우수한 양극 특성을 보이는 202개의 후보 물질을 도출하였다. 또한, clustering 기법과 graph-based explainable AI (XAI)를 활용하여 우수한 물성을 가진 후보들의 구조적 특징을 분석하고, 소재 설계의 방향성을 제시한다. 본 연구 결과는 제일원리와 머신러닝을 접목한 소재 탐색 및 분석 프로세스를 통해 지속 가능한 Li-ion 이차전지용 유기물 양극재 개발을 가속화할 수 있음을 보여준다.

[배터리1-5 | 11:00] 초청강연

해석 가능한 머신러닝에 기반한 리튬이차전지 전극 재료 특성 분석 : 박인철* (포스코홀딩스 미래기술연구원)

Keywords: 리튬과잉양극재, 머신러닝, 데이터기반, 반응메커니즘

전기자동차로의 전환이 가속화되면서 높은 에너지 밀도, 비용 효율성 및 신뢰성을 겸비한 배터리 소재에 대한 수요가 증가하고 있습니다. 리튬 과잉 층상 산화물(LRLO)은 산소 산화 환원 반응을 통한 높은 에너지 밀도와 다량의 망간(Mn) 사용으로 인한 잠재적인 경제적 이점을 제공하면서 리튬 이온 배터리의 유망한 양극 재료로 부상하고 있습니다. 그러나 이러한 소재는 복잡한 전기화학적 거동과 구조적 불안정성으로 인해 작동 중 전압 저하가 상용화에 걸림돌이 되는 등 난제에 직면해 있습니다. 이러한 문제를 해결하기 위해 이 연구에서는 비지도 학습을 사용하는 분석 프레임워크를 사용하여 LRLO 재료의 예측 가능성과 신뢰성을 향상시켰습니다. 다양한 조성과 상태의 충방전 데이터에 주성분 분석을 적용하여 전기화학적 성능과 열화 메커니즘에 영향을 미치는 주요 요인을 파악했습니다. 이를 통해 특히 저전압 범위에서 중첩되는 산소와 망간의 산화 환원 반응을 쉽게 분리하고 규명할 수 있었으며, 이러한 반응의 진화가 전극 재료의 분해에 미치는 영향에 대한 이해를 향상시킬 수 있었습니다. 데이터 기반 접근 방식은 성능을 예측하고 분해 경로를 식별하는 데 매우 효과적인 것으로 입증되어 이러한 양극에 대한 이해와 최적화에 상당한 진전을 이루었습니다. 이러한 결과는 전극 재료의 메커니즘을 정량화하는 데 한 걸음 더 나아간 것이며, 도메인 지식과 데이터를 통합하는 모델 개발의 필요성을 강조합니다. 이 연구는 전기화학 데이터로부터 배터리 소재의 특성을 파악할 수 있는 통찰력 있는 솔루션을 제공하여 전기자동차 애플리케이션을 위한 신소재의 상업적 실용성 향상이라는 보다 광범위한 목표에 기여하고 있습니다.

[배터리2-1 | 13:20] 초청강연

Powder Simulation for Li-ion Battery Development : Sang-Pil Kim*, Kangmin Kim, Dong Hee Yeon, Seok Joon Yoon (Simulation Group, Samsung SDI), and Giheon Kim (S&DI Team, Samsung SDI)

Keywords: Li-ion battery, Battery simulation, DEM, Powder

Lithium-ion batteries (LIBs) play a significant role in making a big difference in our lives today. It is widely used not only in mobile devices but also in robots, electric mobility and vehicles. Unlike conventional batteries, LIBs can be designed in various forms and combinations based on high voltage, low gravimetric and high volumetric energy density. Therefore, it is difficult to find a place where LIBs are not used in our lives these days. Recently, remarkable results for improving both performance and safety at low prices in terms of materials, electrodes, and cell levels have been introduced. Among them, in the field of material research, very meaningful results are obtained by focusing on the composition, coating and structural modification at the atomic-level. However, looking at the microstructure of the battery electrode, it can be easily confirmed that the raw material of the battery is composed of particles (or powder) in cathode, anode as well as a coating material on the separator. Therefore, control and understanding at the particle level can be a very practical technique from the manufacturer's point of view. In this presentation, we will introduce DEM (Discrete Element Method) as a representative approach to powder simulation and show some examples applied to the development of LIBs and discuss the role of powder simulation for LIBs development.

[배터리2-2 | 13:50] 초청강연

전고체전지 범용 설계 인자 개발 및 적용 : 김진수* (한국에너지기술연구원), 정성균* (울산과학기술원)

Keywords: 전고체전지, 범용 설계, 파라미터 개발

전고체전지는 리튬이온 배터리의 한계를 극복하고 안전성과 에너지 밀도를 동시에 향상시킬 수 있는 차세대 에너지 저장 장치로 주목받고 있다. 그러나 전고체전지의 상업화를 위한 주요 장애물 중 하나는 셀 구성 요소 간의 복잡한 상호작용을 최적화하는 범용 설계 인자를 정의하는 데 있다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 전극 및 전해질 구성 요소의 미세구조와 구조적 파라미터를 고급화된 방법으로 파라미터화하여 다양한 전고체전지 셀 설계에 적용할 수 있는 범용 설계 인자를 개발하였다. 범용 설계 인자의 개발 과정에서 본 연구는 전극과 전해질 사이의 계면 안정성, 전기화학적 성능, 및 기계적 특성 등을 고려한 종합적인 설계 접근법을 제시하였다. 특히, 고분자 전해질을 기반으로 하는 전고체전지의 경우, 계면에서 발생하는 저항을 최소화하고 이온 전도성을 극대화하는 설계 원칙을 수립했다. 이를 검증하기 위해 다양한 미세구조를 가진 전극과 전해질 조합을 사용하여 10층 및 4층 전고체 리튬 파우치 셀을 제조하고, 45°C에서 3.74 MPa의 스택 압력을 가해 초기 전기화학적 성능을 평가하였다. 그 결과, 각각 280 Wh kg−1(에너지 밀도 600 Wh L−1) 및 310 Wh kg−1(에너지 밀도 650 Wh L−1)의 높은 에너지밀도를 달성하였다. 본 연구에서 제시된 범용 설계 인자는 전고체전지의 상용화를 가속화할 수 있는 중요한 도구로서, 향후 다양한 전고체전지 시스템에 적용될 수 있을 것으로 기대한다. 이를 통해 에너지 저장 장치의 효율성과 안전성을 크게 향상시킬 수 있을 것이며, 차세대 이차전지 기술의 발전에 기여할 것으로 보인다.

[배터리2-3 | 14:20] 초청강연

제일원리 계산 기반 리튬전고체전지용 고이온전도성 고체전해질 설계 및 개발 : 류승호* (한국과학기술연구원)

Keywords: 이차전지, 전고체전지, 고체전해질, 고이온전도성, 제일원리계산

리튬이온전지는 휴대형 전자기기의 에너지저장장치로 널리 이용되고 있으며, 최근 전기자동차와 전력저장장치와 같은 중대형 에너지저장장치에 수요가 급증하고 있다. 리튬이온전지는 가연성의 액체전해질을 사용함에 따라 화재 위험성이 있으며, 열폭주에 의한 전기자동차 화재 사고가 최근 보고 되고 있다. 이에 따라 가연성의 액체전해질을 불연성의 고체전해질로 대체한 고안전성 전고체전지가 주목을 받고 있다. 전고체전지의 핵심 기술은 고이온전도성 고체전해질 개발이며, 10 mS/cm 급의 황화물계 고체전해질이 주목을 받고 있다. 또한 최근에는 황화물계의 화학적 불안정성을 개선하면서도 1 mS/cm 급의 높은 이온전도도를 가지는 할라이드계 고체전해질이 주목을 받고 있다. 본 연구에서는 제일원리 계산을 기반으로 고이온전도성 황화물계 및 할라이드계 고체전해질을 설계하였다. 아지로다이트 황화물계 고체전해질의 이온전도 메커니즘을 분석하였으며, 이온전도도를 향상시키기 위한 원소 치환 방법을 제시

하였다. 제일원리 계산을 기반으로 고에너지 볼밀링을 이용하여 고결정성 아지로다이트 고체전해질을 합성하였으며, 액체전해질의 이온전도도에 상응하는 10 mS/cm 급의 높은 이온전도도를 달성하였다. 또한 제일원리계산을 통하여 고이온전도성 리튬 할라이드계 신규 고체전해질을 탐색하였으며, 고체전해질의 결정구조, 전기화학적 안정성, 이온전도 매커니즘을 함께 분석하여, 고성능 신규 할라이드 고체전해질의 설계 가이드라인을 제시하였다. 할라이드계 고체전해질의 고전압 양극과의 안정성을 향상시키기 위해 불소(F)를 치환하는 설계 전략을 마련하였으며, 이를 기반으로 고전압 안정성 및 고이온전도성 고체전해질을 합성하였고, 고에너지밀도 리튬전고체 전지를 제조하였다. 본 연구를 통해 제일원리 계산을 이용한 소재 설계 방법이 신규 고이온전도성 고체전해질 및 고에너지밀도 전고체전지 개발을 가속화할 수 있음을 보여주었다.

[배터리2-4 | 14:50] 초청강연

Machine-Learned Potential Based Materials Design and Analysis for Solid-State Electrolyt : Ji Hoon Kim, Ji Seon Kim, and Sang Uck Lee* (Sungkyunkwan University)

Keywords: SSE, argyrodite, machine-learned potential, Interface, crystal structure prediction

The use of solid electrolytes is a promising way to improve the energy density of lithium-ion batteries, and Li argyrodites make up a promising family of solid-state electrolytes (SSEs) with comparable Li-ion conductivities to those of liquid electrolytes. However, the vast number of compositions potentially available from the Periodic Table (Li7+y-x[(AyB1-y)S4]S2-xXx ($0 \le x \le 1$), where A, B and X are elements of group IV, V, and VI, respectively) poses an overwhelming challenge for researchers to find the best chemical combinations and structures. Therefore, a practical and strategic approach is essential for the computational screening of Li argyrodite-based superionic conductors. This work provides a practical approach for screening high-performance argyrodite based SSE as thermodynamically/electrochemically stable superionic conductor by developing machine-learned moment tensor potentials (MTPs). Additionally, we introduce a new type of SSE design by predicting the crystal structure for a given chemical formula via MTP.

[배터리2-5 | 15:20] 초청강연

분자 레벨 시뮬레이션을 통한 전고체전지 소재 연구 : 고정현* (SK온)

Keywords: 전고체전지, 분자 레벨 시뮬레이션, 황화물계 고체 전해질

리튬이온전지에 사용되는 액체 전해질을 고체 전해질로 대체하는 전고체전지 시스템은 화재 위험성을 근본적으로 제거할 수 있을 뿐 아니라 높은 에너지 밀도를 구현할 수 있다는 점에서 차세대 전지로 주목받고 있다. 여러 종류의 고체 전해질 중 황화물계 고체 전해질은 액체 전해질과 비교하여 동등 이상의 이온전도도를 확보할 수 있어 고출력 전고체전지를 만들 수 있다는 점에서 더욱 각광을 받고 있다. 한편, 음극, 양극, 전해질, 전극-전해질 계면 등을 포함한 전고체전지의 구성 요소 각각에서 나타나는 물리적, 화학적, 기계적인 복합적인 현상은 전고체전지 개발에 큰 걸림돌이 되고 있다. 따라서 상용 전고체전지를 개발하기 위해서는 각 소재에서 나타나는 현상에 대한 근본적 이해가 필요하다. 분자 레벨 시뮬레이션은 소재의 미세구조와 물리적, 화학적 특성을 예측하는 데 유용한 도구로 실험 연구와 협업하여 전고체전지 내 다양한 현상을 이해하고 최적화하는데 많은 기여를 하고 있다. 시뮬레이션을 통해 다양한 조건에서 각 소재의 거동을 이해하고 이를 개선하며, 나아가 신규 소재 발굴을 가능하게 하여 소재 개발의 효율성을 극대화할 수 있다. 본 발표에서는 분자 레벨 시뮬레이션 관점에서 전고체전지 연구의 동향 및 이슈를 개괄하고, 향후의 연구 방향에 대해 논의하고자 한다.

NEW-HORIZONIII: K-방산 경쟁력 제고를 위한 소재부품 고도화 심포지엄

Room 포레스트, 10월 29일

[방산1-1 | 10:00] 초청강연

첨단 국방 금속재료 개발 현황 및 전략 : 조장현*, 김영무 (국방과학연구소)

Keywords: 무기체계, 방산소재, 세라믹, 금속, 복합재료

최근 국내 무기체계 수출과 함께 국방 분야에서 활발히 연구 중인 무기체계용 소재 기술에 대해 적용 분야에 따라 구분하여 소개하고자 한다. 우선 유도무기 및 전투기 등의 안테나 등 탐색기의 내부 구성품을 외부 환경으로 부터 보호하는 세라믹 및 고분자 레이돔의 국내 개발 현황에 대해 기술하고자 한다. 또한, 터키 및 폴란드 등으로 수출되고 있는 우리 군의 전차(K-2) 및 차세대 전차 적용을 위해 개발 중인 장갑판재용 특수강 기술, 잠수함 압력선체의 성능 향상을 위해 개발 중인 고장력 특수강 기술, 그리고 무인기 등 항공엔진 터빈모듈 핵심부품 소재인 초내열합금 기술을 소개하고자 한다. 마지막으로, 유도무기 및 항공기 등의 경량화 등을 위해 적용 분야가 확대되고 있는 복합소재에 대한 국방 적용기술을 소개하고자 한다.

[방산1-2 | 10:25] 초청강연

국방핵심소재 자립화 실태 분석 및 공급망 강화 방안 : 권용남* (한국재료연구원)

Keywords: 방산, 국방, 소재, 공급망

최근 K-방산 수출 호조에도 불구하고 주요 방산 부품과 소재 분야에 대한 원활한 공급망 확보에 어려움이 가중되고 있다. 코로나 19 및 러-우 전쟁 등 지정학적인 위기에 따른 민주주의 진영과 권위주의 진영간 공급망 디커플링 심화가 기존 공급망을 재편하는 주요 요인으로 분석되고 있다. 이에 따라 수입의존도가 높은 방산용 핵심소재들에 대한 자립화 및 공급망 강화전략 마련이 더욱 중요해지고 있다. 2023년 한국재료연구원 실태조사에 따르면 방산업체들은 주요 방산소재 공급망의 불안정성을 매우 심각한 상황으로 받아들이고 있다. 향후 첨단무기 개발 및 방산수출의 지속가능성 확보를 위해서는 국방소재 취약분야를 중심으로 자립화 및 공급망 강화 정책 마련이 시급할 것으로 보인다. 본 발표에서는 2023년 방산소재 공급망 조사 결과를 바탕으로 방산용 핵심소재의 개발 및 안정적인 공급 방안에 대한 방안으로 제안한다.

[방산1-3 | 10:50] 초청강연

미래 국방전략센터 중점 추진 개발과제 현황 및 전략 : 천명국* (KIST)

[방산1-4 | 11:15] 초청강연

Review of Aircraft and Engine Design Philosophy : 이홍철* (공군 항공기술연구소)

Keywords: Safe-life, Damage tolerance, Engine Structural Integrity Program, Retirement for Cause, Durability life

The main purpose of this study is to review aircraft structure and engine design concepts for extending service life of aircraft components and repairing damaged parts. Because of diminishing budgets for new aircraft, many countries are faced with having to operate fleets well beyond their anticipated service lives. In terms of structural fatigue life as a life limiting factor of aircraft and engine there are two distinct design philosophies: safe-life and damage tolerance approaches. The safe-life design approach requires analysis or testing to demonstrate that the probability of failure is remote and that the material is initially flawless. Since the F-111 aircraft designed by safe-life crashed because of a fatigue crack had initiated at an undetected manufacturing flaw, US Air Force adopted damage tolerance design approach to protect against premature failures due to undetected defects. As the prerequisite for service life extension program, updating damage tolerance analysis using actual flight data can provide the safety and readiness of aircraft and reduce maintenance cost along with repair and replacement. On the other hand, two methods may be used to implement a damage tolerance based life cycle management for safety critical parts of engines: ENSIP and Retirement for Cause. Retirement for Cause relies on fracture mechanics to set safe inspection intervals for safety critical parts, as practiced with ENSIP. This approach allows life extension beyond LCF based safe-life limits until a crack is detected. In conclusion, from a fleet manager's perspective, a number of options are available to extend component lives beyond their limits. These options include updating their durability life based upon actual flight usage, re-use of components under RFC based life cycle management, and repairing service-damaged parts.

[방산2-1 | 13:00] 초청강연

K-방산의 지속적인 성장을 위한 공군의 역할 : 유재문*, 이홍철 (공군군수사령부)

Keywords: 군 주도 국산화 개발, Reverse & Re-Engineering, Modified Commercial Off The Shelf, Public Private Partnership

러시아의 우크라이나 침공으로 시작된 글로벌 국방비 지출 확대와 유럽의 전력 공백 등으로 최근 한국산 방산 제품은 연평균 150억 달러의 수출을 달성하면서 세계 방위산업 수출국 5위 진입이 가능할 전망이다. 무기체계는 운영 기간이 길어 완제품의 수출과 함께 운영 단계의 군수지원까지 포함된 전방위 수출 전략으로 탈바꿈해야 국내 방위산업의 지속적인 성장이 가능하다. 국내 항공산업은 어렵게 시작한 KF-21 전투기 개발이 순조롭게 진행되는 등 비교적 짧은 기간에도 불구하고 비약적인 발전을 거듭해 오고 있

다. 반면에 항공 부품과 소재의 국산화율은 낮아 수출 수주액에 비해서 수익성이 떨어지고 방위산업에 미치는 파급력이 제한되는 실정이다. 정부에서는 첨단 국방 전력 건설과 연계하여 방산 수출의 선순환 구조 마련을 위해 부품산업 고도화 사업을 지원하고 있다. 공군에서도 운영 중인 무기체계의 군수지원능력을 제고하고 국가 수출 경쟁력 기여를 위해 부품 국산화와 정비 능력 개발을 추진하고 있으나 대상 품목의 수익성이 낮고 개발 단계에서의 다양한 제한사항으로 인해 성공률은 매우 낮다. 이에 K-방산의 경쟁력 제고와 국내 개발 무기체계의 부품 국산화 및 정비 능력 개발 확대를 위한 공군의 역할을 다음과 같이 제시하였다. 먼저 수익성이 낮은 품목은 업체만의 노력으로 국산화나 정비 능력 개발이 어렵기 때문에 운영군이 주도적으로 개발을 추진하는 제도가 필요하다. 다음으로 Reverse & Re-Engineering 기반의 대체품 적용 기준과 상용품 개조 절차(Modified Commercial Off The Shelf) 등 개발 시험 평가 절차를 보완하고 운용시험평가 능력을 확대함으로써 국산화 개발 단계에서 직면하는 기술적 제한사항을 극복할 수 있을 것이다. 끝으로 선진국에서는 이미 적용하고 있는 Public Private Partnership 등과 같은 민

[방산2-2 | 13:25] 초청강연

STRONG Army **추진전략** : 최선락* (육군 군수사령부)

[방산2-3 | 13:50] 초청강연

K-방산 생태계 확장을 위한 항공용 가스터빈의 이해 및 발전 방향 : 최재호* (한화에어로스페이스)

Keywords: 방산 생태계, 항공용 가스터빈, 항공 엔진, 첨단항공엔진, 항공엔진용 소재

우리나라 방위산업이 국가적으로 중요한 화두가 되고 있는 시점에서, 전투기급 가스터빈 엔진 국산화는 방산 생태계 확장을 위한 핵심 과제로 떠오르고 있습니다. 이 발표에서는 K-방산 생태계 확장을 위해 항공용 가스터빈을 이해하고 그 발전 방향에 대해 제언합니다. 항공용 가스터빈의 기본 구조와 작동 원리를 설명하고, 주요 구성품의 설계적 관점에서 분석하며 소재의 중요성을 파악해 봅니다. 항공용 가스터빈은 크게 터보 제트/팬 엔진, 터보샤프트 엔진, 터보프롭 엔진으로 분류되는데, 그 특징들을 살펴봅니다. 이 중 터보샤프트 엔진은 항공용 뿐만 아니라 발전용으로도 활용되기도 하는데, 그 공통점과 차이점에 대해 비교합니다. 항공용 엔진의 생태계를 검토하기 위해 항공용 가스터빈이 국내에서 어떻게 개발 및 양산되고 있는지 소개합니다. 먼저, 한화에어로스페이스에서 자체투자 및 정부과제로써 독자개발한 항공용 가스터빈은 유도무기용 가스터빈, 헬기와 전투기용 APU(Auxiliary Power Unit), 터보팬 엔진 등이 있습니다. 이 독자개발 엔진들은 2024년 4월 1,800대 이상 생산되었습니다. 항공용 가스터빈의 개발과 생산과 관련된 Supply Chain에 대해 살펴봅니다. 생산 매출의 대부분은 체계업체가 아니라 협력업체에게 돌아가는 구조입니다. 지금까지의 독자개발 기술, 경험 및 양산 실적이 갖는 의미를 생각해 봅니다. 이어서 공동개발 또는 면허생산 엔진을 소개합니다. 지금까지 8,200대 이상 생산되었으며, 독자개발 엔진과 합하면 총 1만대 이상 생산되어 국방과 경제에 기여하고 있습니다. 기존 전투기급 항공엔진의 면허생산은, 전투기 사업의 일부로서 수행된 것이었고, 최근의 KF-21 전투기의 엔진도 전투기 사업의 일부로서 수행되었습니다. 사업 예산 규모와 일정 등을 고려하여 일부 부품 국산화 및 면허생산 방식으로 결정되어 지금에 이르고 있습니다. 이로 인해 사회적으로 '우리도 이제는 전투기 엔진을 100% 국산화해야하지 않느냐'와 '우리는 전투기 엔진을 제대로 개발할 수 있는가'라는 두 가지 상반되는 챌린지가 오랜 기간 이어져오고 있습니다. 이 시대를 살고 있는 우리에겐, 그 질문에 대한 의견이 아니라 그에 대한 결정과 실행을 해야하는 책임이 있지 않은가라는 역질문이 필요할 때입니다. 우리는 전투기 엔진을 개발할 수 있는가? 전투기급 엔진 독자개발은, 설계 역량 뿐만 아니라 소재·공정 인프라, 구성품, 지상· 고도시험, 환경시험 인프라가 갖춰져야 하고, 고도의 생산 품질과 신뢰성, 경쟁력 있는 생산시스템이 확보되어야만 성공적으로 수행될 수 있습니다. 개발 후 일정 시간 내에 안전하고 성공적으로 전투 임무를 할 수 있도록 전투기에 탑재, 양산되면서 적정 가격 목표도 달성해야 하기 때문입니다.그럼 우리는 어떤 경험이 있고, 어떠한 준비를 더 해야하는가? 차세대 유무인기용 첨단 항공엔진 개념연구 현황을 소개하고 항공용 가스터빈의 발전 방향에 대해 제언합니다. 첨단 항공엔진급 해외 전투기 엔진 개발 사례 및 발전 동향 조사를 통해 우리의 첨단 항공엔진 개발방향에 대해 논의하고 개념설계 결과에 대해 소개합니다. 첨단 항공엔진 등 한국의 항공용 가스터빈 발전과 소재·부품 및 엔진 시스템 등 항공 엔진의 생태계 확장을 위해 함께 고민해보는 시간이 될 것으로 생각합니다.

[방산2-4 | 14:15] 초청강연

육군 지상 무기에서 발생한 문제점과 해결 사례 : 김상식* (경상국립대학교)

Keywords: 지상무기체계, 파손, 원인분석

지상무기체계 또한 다른 기계와 마차가지로 여러가지 이유에 의해 파손이 발생할 수 있다. 이러한 파손은 제조 공정이나, 원재료의 문제뿐만 아니라 기계적 설계 오류 또는 사용자의 잘못 등 다양한 원인에 의해 발생한다. 특히 무기체계가 복잡화 및 다기능화와 함께 우리나라에서는 무기를 운용하는 사병들의 복무기간 단축 등으로 이러한 파손이 발생할 가능성이 앞으로 커질 것으로 예상된다. 본 발표에서는 K-1 전차 포신파열 사고와 K-9 자주포 사고 분석을 통해 복잡/다기능화 되고 있는 첨단 무기체계에서의 파손의 재발을 방지하기 위한 정책적 고려에 대해 논의하고자 한다.

[방산3-1 | 14:50] 초청강연

방위산업 연계된 항공산업 현황 및 발전 전략 : 박경은* (한국항공우주산업)

전 세계적인 COVID-19 팬데믹의 위기에서 벗어나 글로벌 항공운송량은 팬데믹 이전 수준을 회복하고 빠르게 증가하고 있다. 항공제조업계는 부족한 민항기의 생산 증대를 위해 바쁘게 움직이고 있으나 지난 팬데믹 기간 동안 붕괴된 공급망으로 인해 위기가 지속되고 있으며, 항공기 사고, 기술적 결함 등의 발생으로 인해 성장을 향한발걸음이 더뎌지고 있는 상황이다. 그러나 이 어려움들

은 조만간 해결될 수 있을 것으로 보이며, 앞으로 항공산업은 항공 운송량의 증가와 미래 모빌리티의 성장에 힘입어 지속적인 성장을 실현할 것으로 전망된다. 국내 항공산업은 방위산업과 긴밀한 협력을 통해 꾸준히 발전해오고 있다. K-방산의 성공에 따라 방위산업과 연계한 항공산업의 발전에 대해 깊이 있는 다양한 기술분에서 활발한 논의가 필요하다. 본 강연에서는 최근의 항공산업의 주요 동향과 향후 항공시장을 전망하고 미래기술과 연계한 항공산업의 변화를 살펴봄으로써 미래를 위해 우리가 함께 준비해 나가야 할 것이 무엇인지 함께 고민해 보고자 한다.

[방산3-2 | 15:15 초청강연]

항공무기체계 기체구조 신뢰성 향상을 위한 도전과 과제 : 진승우* (한국항공우주산업(주))

Keywords: 손상허용, 적층제조, 확률론적 균열성장해석, 탄소성파괴역학

2024년은 미공군이 항공기 제작 중 유발된 초기 결함으로부터 기체의 치명적 파손을 방지하기 위해 손상허용(Damage Tolerance) 요구도를 제정한 지 50주년이 되는 해이다. 이 요구도는 실제로 발생 가능성이 매우 희박한 크기의 결함(Rogue Flaw)이 제작단계에서 구조물의 가장 취약한 위치와 방향에 항상 존재한다고 가정하고, 이 결함이 파괴가 발생하는 임계균열크기까지 성장하기 전에 비파괴검사를 통해 검출할 것을 규정하고 있다. 따라서 운용 중 검사가 불가능한 구조물과 단일 하중경로 구조물은 초기 결함이 기체수명 동안 임계균열까지 성장하지 않도록 하는 안정균열성장(Slow Crack Growth) 개념으로 설계되어야 한다. 기체수명 평가를 위해서는 선형탄성파괴역학 이론에 기반한 균열성장해석을 수행하는데, 유효한 수명해석 결과를 얻기 위해서는 1) 균열 주변의 응력상태가 탄성응력 상태이어야 하고, 2) 균열 선단에서의 소성영역의 크기도 균열 길이의 10% 이하로 매우 작아야 한다라는 가정을 충족하여야 한다. 최근 적층 제조(Addictive Manufacturing) 기법의 도입과 중량 최적화를 위한 비선형 해석의 확대 적용으로 인해 수명해석 엔지니어는 새로운 도전을 맞이하고 있다. 본 논문에서는 항공무기체계 기체구조 수명해석의 정확도 향상을 위해 지금까지 KAI에서 수행한 노력들을 소개하고, 앞으로 직면한 도전을 해결하기 위한 방안의 일환으로 확률론적 균열성장해석 기법의 도입과 탄소성파괴역학 이론 기반의 균열성장해석 프로그램 개발 필요성을 제기하고, 산학연 협력방안을 함께 모색하고자 한다.

[방산3-3 | 15:40] 초청강연

가스터빈 고온부품 열유동 계측 기술 : 황원태* (서울대학교)

가스터빈 및 항공 제트엔진의 연소기 및 고압터빈은 금속의 용융점보다 높은 고온 환경에 노출되어 있는 경우가 많다. 통상적으로 압축기에서 압축된 수백도의 공기를 이용하여 이러한 고온부품들을 냉각시켜 보호한다. 의료용 MRI 장비를 이용하여 터빈블레이드 내부의 복잡한 냉각 유동을 3차원 가시화함으로써 블레이드의 냉각 디자인을 검증할 수 있다. 아울러, 적외선 카메라를 이용하여 터빈 블레이드 내부의 냉각 성능을 파악할 수 있고, 실제 엔진 내의 고속 회전하는 블레이드 외부 표면 온도 분포를 계측함으로써 블레이드 수명에 치명적인 고온 영역들을 확인할 수 있다. 터빈의성능을 향상시키고 수명주기를 연장시키기 위한 이러한 다양한 기술들을 소개하고자한다.

마그넷
Room 평창1, 10월 29일

[마그넷1-1 | 08:30] 초청강연

자석원료용 고순도 희토류 화합물 제조 기술 동향 : 이진영* (한국지질자원연구원)

Keywords: 희토류, 광물학적 특징, 선광공정, 제련공정, 분리공정

미국 IRA 발효에 의한 희토류 자원의 탈중국 현상이 가속화되는 현 시점에서, 희토류 자원 현황을 소개하고 희토류 자원으로 부터 자석원료인 고순도 Pr, Nd 산화물 제조 기술 동향을 소개하고자 한다. 희토류 자원 현황은 중국을 포함한 전세계 희토류 개발 프로젝트를 소개하고 광물학적 특성 등을 소개하며, 각 프로젝트별 특징을 통해 한국 기업의 접근시 고려 사항을 확인할 수 있다. 희토류 생산 기술 측면에서는 선광-제련과정의 요소기술을 소개하고 주요 광종별 적용 사례를 설명하였다. 특히 희토류 원소별 분리 관련 공정 사례 및 신공정에 대한 소개를 포함하고 있다.

[마그넷1-2 | 08:55] 초청강연

To realize high-coercivity in Nd-Fe-B permanent magnets without heavy rare-earth elements: Novel process for fabricating fine-grained magnets with high-anisotropy shell : Tae-Hoon Kim* (Nano Materials Research Division, Korea Institute of Materials Science (KIMS))

Keywords: Nd-Fe-B Permanent magnets:Reduction-Diffusion process:Press-less Sintering Process:Grain Boundary Diffusion Process:Heavy rare-earth free

In order to realize the high-coercivity in Nd-Fe-B permanent magnets without relying on the use of heavy rare-earth (HRE), the Nd2Fe14B (2-14-1) hard magnetic grain should be refined and their outer region should be magnetically strengthened. To achieve this, two representative processes, which are known as press-less sintering process (PLP) and grain boundary diffusion process (GBDP), were developed by Sagawa and Hirota, respectively. By the PLP, the magnets comprising fine-grains with a size of 1~2 μm can be obtained, thereby improving the coercivity up to 2 T without HRE usage. In this process, the high-energy He Jet-milling is necessary to obtain sub-micron sized single crystalline 2-14-1 powders:however, it creates a limit in utilization of PLP due to the high-cost of He gas. A new approach in obtaining fine particles should be provided. The GBDP, which in an essential process for obtaining high-coercivity above 2.5 T, has more significant issue because it uses the HRE. A novel HRE-free GBDP using light rare-earth should be developed. Herein, we report the utilization of Reduction-Diffusion (RD) process in obtaining ~1 μm sized single crystalline 2-14-1 powders for PLP, and development of HRE-free GBDP that can inhibit the chemically induced liquid film migration (CILFM) using refractory metal alloys and Pr-containing alloys. A detailed oxidation prohibited RD process, highly densifying and texturing PLP, and highly efficient HRE-free GBDP will be presented. Based on the results, a new insight into being free from the reliance of the HRE-use in obtaining high-coercivity in Nd-Fe-B permanent magnets will be discussed.

[마그넷1-3 | 09:20] 초청강연

Dominant factors in coercivity enhancement and optimized Pr-rich shell formation in Pr-free and Pr-containing Nd-Fe-B sintered magnets by grain boundary diffusion processing using low-melting Pr-Cu-Al-Ga alloy : Sujin Lee (Korea Institute of Materials Science), Ganghwi Kim, Ki-Suk Lee (Ulsan National Institute of Science and Technology), Tae-Hoon Kim* (Korea Institute of Materials Science), Sang-Hyub Lee, Dong-Hwan Kim (Star Group Ind. CO., Ltd.), and Jung-Goo Lee (Korea Institute of Materials Science)

Keywords: Nd-Fe-B, coercivity, grain boundary diffusion process, permanent magnet

The eco-friendly automobile industry requires the permanent magnets with superior hard magnetic properties to miniaturize the traction motors of EV/HEV and increase their efficiency. Therefore, the Nd-Fe-B based permanent magnets have been intensively used in the traction motors of EV/HEV due to their excellent anisotropy field and saturation magnetization that determine the coercivity and remanence of the magnets. However, the coercivity of the Nd-Fe-B magnets is significantly reduced at the operating temperature (~473 K) of the traction motors. Although the grain boundary diffusion process (GBDP) using heavy rare earth element (HRE = Dy and Tb) is powerful method allowing the increase in coercivity by formation of the HRE-rich shell with high anisotropy field surrounding the $Nd_2Fe_{14}B$ grains, the GBDP magnets have critical problems including the limit on the diffusion depth and the undesired consumption of expensive HRE due to the formation of too thick HRE-rich shell. To solve this problem, alternative diffusion sources containing light rare earth (LRE), such as Pr, have been attracted from many researchers. The GBDP of Pr can produce a non-ferromagnetic grain boundary phases that can suppress the exchange coupling between $Nd_2Fe_{14}B$ grains. Also, the introduction of Pr results in the formation of Pr-rich shell having higher anisotropy field than the $Nd_2Fe_{14}B$ main phase. Following this process, it can be expected that the coercivity of the Nd-Fe-B magnet is improved without the employ of HRE. To enhance the efficiency of GBDP with Pr, it is essential to uncover the influence of Pr presence in the base magnets on the GBD behavior of Pr and the formation of the Pr-rich shell. However, this complex behavior, considering the influence of the initial Pr in the base magnets has not been fully elucidated. In particular, the

representative transition metals Cu, Al, and Ga can improve the wettability of Nd-rich GB phases and lower the melting point of GBD source Pr. Thus, in this study, we performed the magnetic and microstructural analysis in the Pr-free Nd-Fe-B magnets and Pr-Nd-Fe-B magnets by the GBDP using the diffusion source of Pr-Cu-Al-Ga alloy, as shown in Fig. 1. The coated amount of the diffusion source applied to the magnet ranged from 0 wt.% to 12 wt%. Based on the results, we will discuss the dominant factors that determine high coercivity in the Nd-Fe-B system when utilizing a Pr diffusion source.

[마그넷1-4 | 09:45] 조청강연 Canceled

Enhanced Coercivity in $Nd_2Fe_{14}B$ Magnets with Suppressed Pr-rich Shell Formation: Insights from Micromagnetic Simulations : Ki-Suk Lee*, Ganghwi Kim (Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)), and Tae-Hoon Kim (Korea Institute of Materials Science (KIMS))

Keywords: Micromagnetics, Permanent magnet, NdFeB Magnet,

Nd-Fe-B permanent magnets, despite their superior magnetic properties, still exhibit a significant gap between theoretical predictions and practical performance. The Grain Boundary Diffusion Process (GBDP), involving infiltration of heavy rare earth elements, has been a key strategy for coercivity enhancement. Recent experimental findings, however, have revealed an intriguing phenomenon: improved coercivity when Pr-rich shell formation is suppressed, challenging the conventional understanding of coercivity enhancement mechanisms. This study employs micromagnetic simulations to elucidate this counterintuitive phenomenon. We utilized a finite difference-based computational model with graphics processing unit (GPU) parallel calculations, incorporating experimentally derived magnetic parameters varied for shell regions with various shell thicknesses. Our simulations reveal that coercivity is predominantly governed by the magnetic properties of the shell and grain boundaries rather than shell thickness alone. Reduction in Pr-rich shell thickness increases local anisotropy strength due to higher Pr concentration gradients, altering the magnetization reversal mechanism and enhancing overall coercivity. The micromagnetic model also provided insights into local magnetic configurations during reversal, revealing that in systems with suppressed Pr-rich shell formation, nucleation of reverse domains is inhibited at grain boundaries, contributing to enhanced coercivity. These findings not only elucidate the underlying mechanisms driving coercivity enhancement but also offer valuable insights for optimizing the microstructure of high-performance Nd-Fe-B magnets. This study demonstrates the power of computational magnetism in unraveling complex phenomena in advanced magnetic materials, providing a robust framework for the rational design of next-generation permanent magnets with superior magnetic properties.

[마그넷1-5 | 10:10] 조청강연

Microstructure and Magnetic Properties of 2:17-type Sm-Co Permanent Magnets According to Heat Treatment Conditions : Seungil Park, Seunghan Kim, Guyoung Min, Chaemin Seoul, Jihyeon An (Chonnam National University), Kyoung-Hoon Bae (R&D Center of Star Group Co. Ltd), and TAE-HOON KIM* (Chonnam National University)

Keywords: Sm-Co magnet, Solution treatment, Isothermal heat treatment, Microstructure analysis

Sm-Co magnets are attracting attention, especially in the military equipment and automobile market due to their high-temperature magnetic properties such as coercivity. Sm has an approximately three times lower price compared to Nd of Nd magnets which have been widely used. The ease of securing raw materials and its potential for high-temperature application make Sm-Co magnets highly valuable for research. In Sm2Co17 magnets, the supersaturated phase is formed by solution treatment after the sintering. Then it undergoes a two-step heat treatment process consisting of isothermal heat treatment at around 850ºC for about 20 hours, followed by annealing at around 400ºC for about 10 hours. By forming a cell structure through the formation of SmCo5 boundary phase covering the Sm2Co17 main phase, high coercivity can be achieved. In this study, we find the optimal process conditions by investigating microstructures and magnetic properties with different heat treatment conditions including solution treatment, 1st isothermal aging, and 2nd isothermal aging step. We investigate the correlation between magnetic properties and microstructure such as the formation of the main phase, boundary phase, and z-phase, continuity, and distribution of solute atoms.

[마그넷2-1 | 10:35]

Microstructure of shell and grain boundary phase in Nd–Fe–B sintered magnet grain boundary diffusion processed with LRE-Al-Cu (LRE = La and Pr) alloys : Ye Ryeong Jang and Wooyoung Lee* (Yonsei University)

Keywords: permanent magnet, Nd-Fe-B, light rare earth, chemically induced liquid film migration

In order to improve the coercivity of Nd-Fe-B magnets, heavy rare earth elements (HRE), such as Dy and/or Tb, were partially substituted into the Nd sites of the base magnet by applying a general method of grain boundary diffusion process (GBDP). However, these heavy rare-earth elements (Dy, Tb) have problems, such as high prices and unstable supply. In recent years, it has been proposed to use light rare earth elements (LRE), such as La, Ce, Pr, and Nd, as a diffusion source, which can be one of the economic solutions. In general, the LRE-based alloys do not give a dramatic effect on improving the coercivity in the sintered magnets. In particular, despite the absence of antiferromagnetic coupling between LRE and Fe, a considerable decrease in remanence is still observed. A systematic study using LRE-based alloys as a diffusion source in the sintered magnet is still needed to solve the problem of resource quantity and cost. In this study, we examined and compared the effects of various LRE elements on coercivity and remanence changes by

investigating the microstructure and magnetic properties of NdFeB sintered magnets treated with grain boundary diffusion using LRE-Al-Cu alloys (LRE = La and Pr). The lattice diffusion of Al contributed to an increase in Hcj but also resulted in a decrease in Br. However, it was observed that the degradation of remanence could be mitigated when La was used. Pr accelerated grain growth by forming an asymmetric LRE-rich/Al-rich shell on the grain surface. The abnormal grain growth not only results in a non-uniform microstructure throughout the magnet but also adversely impacts the enhancement of coercivity. However, these shells were not observed in the La-Al-Cu diffused magnet because La inhibits intragranular diffusion of Al and hinders grain growth. Our study indicates the potential for controlling abnormal grain growth through the incorporation of La and other elements, thus offering a promising avenue for overcoming the challenges associated with reducing remanence and limiting of coercivity enhancement in LRE GBDP.

[마그넷2-2 | 10:50]

Identifying Optimal Processing Variables and Investigating Mechanisms of Grain Alignment in Hot-Deformed NdFeB Magnets : Jongbin Ahn (SeAH CSS) and Wooyoung Lee* (Yonsei University)

Keywords: Hot-Deformed NdFeB magnet, Permanent magnet

This study introduces a novel approach for investigating hot-deformed NdFeB magnets by combining the minimal stress deformation process (MSDP) with the design of experiment (DoE) methodology. This study focused on enhancing the crystallographic alignment, particularly the c-axis alignment of the Nd2Fe14B grains, to optimize the magnetic properties. By utilizing the Box-Behnken design matrix and response surface regression, critical processes and variables were identified, determining that a hot-pressing temperature of 700°C is crucial for achieving optimal grain alignment. Changing in the strain rate < 0.02 mm/s under a stress of 150MPa led to significant enhancements in the alignment, yielding magnets with a remanence of approximately 13.4 kG and a coercivity of 21 kOe. These findings highlight the effectiveness of combining the MSDP and DoE for predicting and achieving improved magnetic properties. This study provides a novel understanding of creep deformation behavior in NdFeB hot deformation, highlighting the importance of considering the stress strain curve and the mechanisms of diffusion creep and grain boundary sliding.

[마그넷2-3 | 11:05]

Preparation of magnetic materials by using high-pressure torsion method : Ping-Zhan Si*, Jihoon Park, Chul-Jin Choi, Tianhong Zhou, YW Song, Xing Zheng, and Baochao Zhang (Korea Institute of Materials Science)

Keywords: coercivity, magnetic materials

High-pressure torsion (HPT) is a severe plastic deformation technique where a sample is subjected to torsional shear straining under a high hydrostatic pressure. HPT method is usually employed to create ultrafine-grained nano-structures. Most of the previous HPT results have been focused on the microstructural development of non-magnetic materials and its influence on the mechanical properties. Recently, the HPT processing to magnetic materials has attracted increasing research interests for the high efficiency of HPT in producing ultra-fine grain size, which is crucial for the magnetic properties of the magnetic materials. In this work, we report on the structural evolution and magnetic properties of several magnetic compounds processed by using HPT method. The grain size of $SmCo_5$ and $SmCo_3Cu_2$ alloys was refined to the nanocrystalline regime or even amorphous state by HPT, depending on the number of the HPT rotation. Lamellar microstructures of the grains were observed in the samples after HPT for 2 turns of rotation. With increasing number of HPT rotation, a further structural refinement and an increasing coercivity were observed. The coercivity of the as-cast $SmCo_5$ and $SmCo_3Cu_2$ alloys after HPT reached up to 0.5 T and 1.64 T, respectively. The coercivity of MnAl-based magnetic alloys, Mn_3O_4, and Mn_4N has also been increased substantially after HPT. This work demonstrates that HPT is a high efficiency method in producing bulk nanocrystalline magnetic materials.

[마그넷2-4 | 11:20]

5G 통신용 전자파 흡수체 Hexaferrite의 자기미세구조 및 전자파 흡수 특성 분석 : 장준웅 (인하대학교), 최승민 (창성(주)), 박현순* (인하대학교)

Keywords: Electromagnetic wave absorber, Magnetic micostructure, Hexaferrite, Lorentz TEM, VNA

무선 통신 기술의 발전으로 스마트폰, 태블릿 PC 등 초소형 모바일 기기의 주파수 대역이 확대되고 있다. 특히, 5G 이동통신의 도입으로 인해 기기 내부의 전도/방사 노이즈에 의한 전자기 간섭(EMI) 문제가 심각해지고 있으며, 이는 기기의 통신 및 신호 품질 저하를 초래한다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 고투자율 연자성 물질을 기반으로 한 전자파 흡수체 개발에 초점을 맞추고 있다. 본 연구에서는 5G 이동통신 대역에서 발생하는 EMI 문제를 해결하기 위해, 고투자율 연자성 특성을 갖는 육방정 페라이트 W-Type(SrZn2Fe16O27), X-Type(Ba2Ni2Fe28O46) 기반의 분말과 필름을 적용한 전자파 흡수체의 흡수능과 자기적 및 구조적 특징 간의 상관관계를 분석하였다. SEM, EDS, ICP-OES를 통한 미세구조 분석 결과, W-Type의 Fe가 Zn으로 부분 치환되었고, X-Type에서는 구형의 산화철(FeO)이 포함된 미세구조가 관찰되었다. VSM을 통한 자기적 특성 분석 결과, X-Type의 산화철의 존재로 인해 포화자화 값이 크고 보자력이 작은 특성이 나타나 전자파 흡수능이 우수할 것으로 예측되었다. VNA를 통해 X-Type이 W-Type보다 22.86% 높은 흡수능을 갖는 것이 관찰되었다. 또한, 로렌츠 투과전자현미경(Lorentz TEM)을 활용해 자장 인가에 변화하는 전자파 흡수체의 자구 구조를 분석하였다. 외부 자장이 증가할 때, 자장과 평행한 방향의 W-Type 자구 구조들의 간격이 점진적으로 증가하는 경향이 관찰되었고, X-Type의 경우, 구형의 산화철에 자기 소용돌이가 존재해 입자 자체에 자기적 특성이 있음을

알 수 있었다. 향후 연구에서는 이러한 자구 구조 변화가 전자파 흡수능에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다. 본 발표에서는 분석한 결과들을 통해 각 전자파 흡수체 특성 차이를 비교 분석하고, 이러한 차이를 기반으로 향후 전자파 흡수체 개발을 위한 개선점을 제안하고자 한다.

[마그넷2-5 | 11:35]

The Influence of V Content on the Magnetic Properties of $Sm_{1.7}Fe_{12-x}V_x$ Magnets : ZHENG XING, Baochao Zhang, Tian Hong Zhou, Youngwoon Song, Pingzhan Si, and Jihoon Park* (Korea Institute of Materials Science)

Keywords: mechanisms

The $SmFe_{12}$-based alloy with a $ThMn_{12}$ structure shows great promise as a next-generation permanent magnetic material due to its exceptional intrinsic properties. However, the inclusion of the stabilizing element vanadium (V) results in a decrease in saturation magnetization, making it essential to determine the optimal minimum amount of V that balances high coercivity and magnetization. This study explores the effects of varying V content on the crystal structure and magnetic properties of $SmFe_{12}$-based magnets, providing insights into the mechanisms by which V influences their performance. Cast ingots with different compositions of $Sm_{1.7}Fe_{12-x}V_x$ (x = 0.5–2) were produced using arc-melting, followed by homogenization to eliminate the α-(Fe,V) phase. X-ray diffraction and Differential Scanning Calorimetry analyses of the homogenized ingots revealed that a minimum V content of 1.5 at% is required to stabilize the $ThMn_{12}$ phase. The ingots were then subjected to hydrogen decrepitation, causing them to fracture, and were manually ground into powders. These powders were further reduced to an average size of approximately 6 μm through ball milling. The ball-milled powders with varying compositions were compressed under pressures of 1–8 GPa to form high-density green bodies, which were subsequently sintered. For the heat-treated samples, coercivity increased with V content, reaching a maximum at 2 at% V. However, the addition of V significantly reduced the Curie temperature. Scanning Electron Microscopy revealed that when the V content exceeded 1.5 at%, a noticeable intergranular phase appeared, which became more uniformly distributed as the V content increased. This intergranular phase inhibited magnetic coupling between the main phases, thereby enhancing the coercivity. Although the study successfully determined the minimum V content required to achieve high coercivity, it also highlighted the detrimental effect of V on saturation magnetization. To address this, multi-element doping was considered as a strategy to improve saturation magnetization while maintaining high coercivity. Future research will focus on further optimizing the experimental process, particularly by reducing particle size to approach the single-domain size, with the goal of enhancing the overall magnetic properties of the material.

[마그넷2-6 | 11:50]

Aging treatment to improve the coercivity on the $SmFe_{10}V_2$ bulk magnet by grain boundary modification : Tianhong Zhou (Korea Institute of Materials Science, Pusan National Univ.) and Jihoon Park* (Korea Institute of Materials Science)

Keywords: Magnetic properties, $ThMn_{12}$, Grain boundary, Microstructure, Aging treatment

$SmFe_{12}$-based magnets with tetragonal $ThMn_{12}$-type phase exhibit excellent semiempirical magnetic properties of strong uniaxial magnetocrystalline anisotropy and high magnetization [1,2]. Nowadays, the formation of grain boundary phase has been proven to effectively improve coercivity (H_c). In order to form the uniform and non-ferromagnetic grain boundary phase, we attempted to use the aging treatment to modify the microstructure on the sintered $SmFe_{10}V_2$ bulks. The influence of aging temperature and time was studied to improve the H_c. The preparation of sintered bulks followed the same procedure as described in our previous work [3]. After the sintering process, the bulk samples contained the $SmFe_{10}V_2$ phase (1-12) and SmO. The Sm-rich grain boundary phase was found to be non-uniform and diminished with reduced Sm content. In order to modify the microstructure, we performed an aging treatment after sintering. Initially, we varied the aging temperature from 720 to 900 °C for different times, ranging from 3 to 30 h. SEM analysis indicated that the precipitation of the Sm-rich phase was notably slow at low temperatures. However, the grain boundary phase became more pronounced as the temperature increased. EDS analysis identified two distinct precipitated phases: a Sm-rich phase (with Sm content exceeding 80 at. %) and the $SmFe_2$ phase. VSM measurements revealed a positive correlation between H_c and the presence of the grain boundary phase. Through this work, we successfully improved H_c by controlling the microstructure after the low-temperature aging treatment, which revitalized the development of $ThMn_{12}$-type $SmFe_{12}$-based anisotropic magnets.

Reference [1] Hadjipanayis GC, Gabay AM, Schönhöbel AM, Martín-Cid A, Barandiaran JM, Niarchos D. $ThMn_{12}$-Type Alloys for Permanent Magnets. Engineering 2020;6:141–7. https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.12.011. [2] Gabay AM, Hadjipanayis GC. Recent developments in RFe_{12}-type compounds for permanent magnets. Scripta Materialia 2018;154:284–8. https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2017.10.033. [3] Zhou TH, Song Y, Zhang B, Zheng X, Choi C-J, Cho Y-R, et al. Enhancing coercivity through grain boundary phase modification in $Sm_xFe_{10}V_2$. Journal of Materials Research and Technology 2024;30:3092–100. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.04.060.

[마그넷2-7 | 12:05]

Enhancing Coercivity in Sintered Mn-Bi Magnets Using Polymer Coatings : Youngwoon Song (Korea Institute of Materials Science (KIMS), Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)), Tian Hong Zhou, Baochao Zhang, Xing Zheng, Chul-jin Choi, Jong-Woo Kim (Korea Institute of Materials Science (KIMS)), Ki-Suk Lee (Ulsan National Institute of Science

and Technology (UNIST)), and Jihoon Park* (Korea Institute of Materials Science (KIMS))
Keywords: rare-earth-free, MnBi, polymer-coating

In response to the growing demand for sustainable and eco-friendly solutions, rare-earth-free permanent magnets have garnered significant attention, particularly Mn-Bi magnets due to their unique magnetic properties, including a positive temperature coefficient of coercivity (β), which is advantageous for motor applications. However, a major challenge to their broader application is the significant reduction in coercivity (H_c) observed during the sintering process. This study presents a novel approach to enhancing the H_c of Mn-Bi sintered magnets using polymer coating techniques. We investigated the H_c enhancement in Mn-Bi sintered magnets coated with various polymers, including ethyl cellulose (EC), polyvinylpyrrolidone (PVP), and polyvinyl butylene (PVB) resin. These magnets were fabricated through cold compaction in a 1.3 T magnetic field, followed by heat treatment at 300°C for 20 minutes in an argon atmosphere. Our analysis focused on the impact of polymer coatings on the magnetic properties, particularly H_c, and explored the underlying mechanisms of H_c enhancement. The experimental results demonstrated a substantial increase in H_c from 5.7 kOe to 12.7 kOe, an improvement of approximately 7 kOe. However, this enhancement was accompanied by a decrease in remanence from 6.4 kG to 4.6 kG. Future research will aim to optimize the maximum energy product by refining variables such as polymer selection and concentration, with a continued focus on maximizing H_c while mitigating any adverse effects on other magnetic properties.

[마그넷2-8 | 12:20]

The Effect of Al Substitution on Phase Formation and Physical Properties of Mn_4C : BAOCHAO ZHANG (Nano Materials Research Division, Korea Institute of Materials Science, Changwon 51508, Republic of, School of Materials Science and Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Republic of Ko), Tian Hong Zhou, Xing Zheng, Youngwoon Song (Nano Materials Research Division, Korea Institute of Materials Science, Changwon 51508, Republic of), Chul-Jin Choi (President, Korea Institute of Materials Science, Changwon 51508, Republic of Korea), Pingzhan Si, and Jihoon Park* (Nano Materials Research Division, Korea Institute of Materials Science, Changwon 51508, Republic of)
Keywords: Antiperovskite compound:Al substitution:phase stability:magnetic properties.

Recent studies on antiperovskite compounds such as Mn_3AX (A = Mn, Al, Cu, etc.:X = B, C, N) have continued to explore their potential functional and applicational properties, including magnetocaloric effect (MCE) and anomalous magnetoresistance (AMR), etc. Among these, Mn_4C has recently been identified for its unusual thermomagnetic behavior above room temperature. In this work, we investigate the effect of aluminum (Al) substitution into antiperovskite Mn_4C on the phase stability and physical properties. Therefore, we synthesized $Mn_{4-x}Al_xC$ (x = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, and 1) using induction melting followed by heat treatment. X-ray diffraction analysis reveals that the lower and upper limits of the Al-substituted samples are x = 0.2 and 1.0 respectively. Rietveld refinement shows that Al substitution leads to a decrease in the lattice parameter α from 3.8722 Å for x = 0.2 to 3.8710 Å for x = 0.8, but then increase to 3.875 for x= 1.0. The saturation magnetization (M_s) increases with Al content, reaching a maximum value of 93.5 emu/g at x = 1.0, although the rate of increase slows as Al concentration rises. In contrast, the Néel temperature (T_N) decreases from 920 K for x = 0.2 to 334 K for x = 1.0, suggesting that Al substitution weakens the strong coupling between Mn_I and Mn_{II} atoms. Although Al substitution transforms the Mn-Al-C alloy into a ferromagnetic material without abnormal thermomagnetic property, it significantly enhances the M_s and the phase stability.

열전
Room 평창1, 10월 29일

[열전1-1 | 13:00]

High Average Thermoelectric Figure of Merit (zT) in p-type $Bi_{0.4}$ $Sb_{1.6}$ $Te_{3.4}$ with High Entropy Alloy (HEA) Integration and cost-effective module structure : Saurabh Thoravat, Anil Kumar, Jin Hee Kim (Kyung Hee University, Yong-In 17104, Republic of Korea.), Hyungyu Jin (Pohang University of Science and Technology,), and Jong-Soo Rhyee* (Kyung Hee University, Yong-In 17104, Republic of Korea.)

Keywords: High entropy alloy (HEA), Nanostructuring, bipolar effect, Average Figure of merit (zT), Mechanical properties .

We investigated the thermoelectric and mechanical properties of p-type Bi0.4Sb1.6Te3.4-(HEA)x (0≤x≤1.0 vol %) composites prepared via hot press sintering method. The synergetic effect of p-type BST and HEA nano structuring leads to reduced lattice thermal conductivity (κ_L). The complex band structure of HEA provides a path to the electron in the system, therefore carrier concentration increased to 2.04×10^{19} cm $^{-3}$. These transport favorable conditions as well as suppressed bipolar effect caused to attain the peak figure of merit (zT) ~1.33 and average zT ~1.28 (in 300-400 K temperature range) in the BST and HEA composite when 0.1 vol.% of HEA was incorporated. Additionally, this small addition (0.1 vol.%) of HEA to the BST matrix also benefited the mechanical properties:the Vickers hardness is increased by ~ 94.05% compared to the previously reported ZM samples. We designed and fabricated a new thermoelectric module with cost-effective methods. The new module design does not significantly deteriorate the module performance but has many merits such as high mechanical property, easy fabrication, and significant cost down. Therefore, the promising new thermoelectric module structure using the performance enhanced thermoelectric composites can expand the practical applications with low cost and stable mechanical properties.

[열전1-2 | 13:15]

A Study of Morphology Transition and Thermoelectric Performance for 1D Tellurium with 2D Tellurium Composites via Solution Doping Process : In Ho Kim and Yong Jin Jeong* (Korea National University of Transportation)

Keywords: Thermoelectric, Tellurium, Tellurene, Nanostructure, Solution doping

Today's environmental challenge is to minimize dependence on fossil fuels through alternative energy sources and to address the various side effects of increasing energy demand, such as solving the waste heat problem and reducing carbon emissions. Among these areas, nanostructures have only recently become the subject of scientific inquiry, with researchers investigating structures of various dimensionality, from zero-dimensional to three-dimensional. Tellurium (Te) is a representative p-type material among the chalcogen family that can be synthesized relatively easily into one-dimensional and two-dimensional nanostructures. The synthesis of two-dimensional nanostructures can be achieved through the use of capping agents and pH control, which allows for the regulation of growth. In this study, we used Te-nanowires, a one-dimensional (1D) nanostructure, and Tellurene, a two-dimensional (2D) Te nanostructure, as the primary materials. Also, the aim of this study is to improve the thermoelectric (TE) performance of 1DTellurium nanostructures by adding 2D Tellurium nanostructures, known as Tellurene. To achieve this, Tellurene and Tellurium nanowires were synthesized separately using a hydrothermal method, and then combined to create a composite material. Tellurene provides high electrical conductivity and mechanical flexibility, while tellurium nanowires enhance TE through their high aspect ratio and increased surface-to-volume ratio, which promote quantum confinement effects and phonon scattering. Additionally, this study observed the changes in TE performance and nanostructure morphology with the addition of precursor solutions. By analyzing the impact of Tellurene incorporation on the TE properties of 1D Te based composites, we propose strategies to achieve optimal TE performance. This research highlights the significant potential of combining Tellurene with 1D Tellurium nanowires and adjusting precursor solutions to enhance the performance of TE materials.

[열전1-3 | 13:30]

열전방정식 유한요소해석을 통한 숏레그형-중온용 열전발전소자의 출력 성능과 기생저항의 영향 분석 : 오승현, 박종호, 정재환, 박수동, 류병기* (한국전기연구원)

Keywords: 열전발전소자, 계면저항, 수치해석, 다중물리 시뮬레이션, 열전방정식

열전 현상이란 열에너지와 전기에너지 간 직접변환 현상으로, 미활용 에너지를 회수하는 등 열전발전 기술로 응용될 수 있다. 열전 소자의 발전 출력은 레그의 높이에 반비례하여 증가하나, 기생저항에 따른 에너지 손실 비율이 커지는 단점을 가지고 있다[1]. 본 연구는 전기연에서 개발한 숏레그 폼팩터를 가지는 고출력 중온용 열전 발전 소자[2]의 발전 성능과 계면저항을 분석하는 데 목적이 있다. 열전방정식 유한요소해석을 통해 해당 열전 발전 소자의 성능을 시뮬레이션하고 기생저항의 영향을 분석하였다. 1차원 해석은 한국전기연구원에서 자체개발한 열전적분방정식 기반 pykeri2019 코드를 사용하였고[3], 2차원 및 3차원은 유한요소해석 기반 COMSOL 다중물리 소프트웨어를 사용하였다. 분석 대상 소자 모델로는 전기연이 개발한 높이 1.5 mm의 숏레그형 (p)GeTeSb-(n)PbTeBi 레그쌍 중온용 열전 발전 소자를 선택하였다. 이 소자는 고온부 500℃ 작동 기준, 실험 측정 환산출력밀도 2.0 W·cm^{-2}

와 에너지 변환 효율 약 7%를 나타내며[2], 이는 이론 성능 대비 1/2 내지 1/4 수준으로 매우 낮은 수치이다. 계산을 통해 소자의 전압, 출력, 열전류를 분석하여 열전 발전 소자 내 기생저항의 크기를 추정하였다. 전기 계면저항은 약 10 $\mu\Omega\cdot cm^2$, 접촉 열전도도는 약 10 $kW\cdot m^{-2}\cdot K^{-1}$으로 추정되었으며, 이는 실험으로 측정된 값의 범위와 일치하였다. 이러한 접근 방식은 열전 소자의 성능을 저하시키는 원인을 분석하는 데 기여하며, 더 진보된 소자를 개발할 기회를 제공할 것으로 기대된다. [1] Byungki Ryu et al., Best thermoelectric efficiency of ever-explored materials, iScience 26, 106494 (2023). [2] Jongho Park et al., Fabrication of telluride-based thermoelectric power generator module for high-power density electricity generation for mid-temperature applications, 2023 대한금속재료학회 춘계학술대회, 2023.4.26., 제주 ICC. [3] Byungki Ryu et al., Thermoelectric degrees of freedom determining thermoelectric efficiency, iScience 24, 102934 (2021).

[열전 1-4 | 13:45]

Understanding Thermoelectric Instability in Mg-Based Thermoelectric Alloys : Byungki Ryu*, Jeongin Jang, Jongho Park, Ji-Hee Son, Jaywan Chung (Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)), Sungjin Park (Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), (current position) Chungbuk National University), SuDong Park (Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)), Sahar Ayachi (German Aerospace Center (DLR), (current position) Korea University), Amandine Duparchy, Eckhard Mueller, and Johannes de Boor (German Aerospace Center (DLR))

Keywords: thermoelectric, material instability, chemical potential, defect, structural evolution

While many high-ZT thermoelectric materials have been developed so far, fabricating high-performance thermoelectric modules remains challenging. In this presentation, I will address the origins of the technical gap between thermoelectric materials and modules. This gap may be due to thermoelectric imperfections such as module failure, performance gaps between theory and experiment, and thermoelectric instability. Among these issues, I will focus on atomic and electronic structure-related thermoelectric instability, particularly in Mg-based thermoelectric alloys. The presentation will cover: (1) phase instability driven by chemical potential gradients, (2) transport property instability driven by formation of charged impurity defects, and (3) microstructural evolution owing to structural metastability. Understanding material-level instability in thermoelectric modules will contribute to improving the thermodynamic stability of both thermoelectric materials and their contacts and interfaces.

[마그네슘 1-1 | 14:30]

마그네슘 용탕 내 Fe 제거를 위한 금속계 첨가제의 영향 : 문병기*, 문영훈 (한국재료연구원)

Keywords: 마그네슘, 용탕, 정련, 철

규소열환원법으로 제조되는 마그네슘의 대표적인 불순물이 규소 및 칼슘인 것과는 달리, 염화마그네슘의 전기분해를 통해 제조되는 마그네슘 내에는 전해액과 전극 사이의 반응에서 유래하는 철 성분의 오염도가 높은 것으로 알려져 있다. 이러한 철 성분의 혼입은 소재의 내식성을 악화시킬 수 있는 주요 인자이므로, 정련을 통해 그 함량을 최소화하는 것이 바람직하다. 일반적으로 마그네슘합금 내의 철 성분의 제거를 위해서는 망간의 첨가를 통해 마그네슘 용탕 내의 철 용해도를 감소시키거나 Al-Mn-Fe 반응상의 형성을 유도하는 방법이 주로 사용되고 있다. 그러나 순 마그네슘 용탕에 대한 망간 및 알루미늄의 첨가는 첨가량에 비해 철 성분의 감소량이 크지 않아 효과적이지 않은 것으로 이전의 연구를 통해 확인되었다. 따라서 본 연구에서는 소량의 첨가만으로도 철 성분의 저감을 기대할 수 있는 타이타늄을 첨가함으로써 마그네슘 용탕 내의 철 함량 변화를 고찰하고자 하였다.

[마그네슘 1-2 | 14:45]

Effect of cooling rate on corrosion resistance and behavior of micro-Ca and Y alloyed cast AZ91 alloy : Jae-Yeon Kim*, Hongxiu Liu, Jun-Ho Bae, and Bong-Sun You (Korea Institute of Materials Science)

Keywords: Magnesium alloy, AZ91, Micro-alloying, Corrosion, Cooling rate

Micro-alloying is an effective approach to improving the corrosion resistance of cast AZ91 magnesium alloy. Effect of micro-alloyed elements on the cast AZ91 alloy can be varied depending on the solidification rate because solidification rate can influence diffusion and precipitation behavior of micro-alloying elements. In this study, the effect of cooling rate during the solidification on the microstructure and corrosion rate of micro-Ca and Y alloyed cast AZ91 alloy (i.e. AZXW9100) were investigated in depth. In particular, the short- and long-term corrosion behaviors were investigated through weight loss, electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and corrosion morphology observation. To achieve varying cooling rates, the alloy was prepared using three different methods: steel mold casting, copper step mold casting, and high-pressure die casting. It was revealed that the main microstructure factors controlling corrosion behavior were different for between short- and long-term corrosion. The short-term corrosion behavior of AZXW9100 alloy depends on the total volume fraction of the eutectic α and β phases:in contrast, the long-term corrosion behavior depends on the connectivity of the β phase. As the cooling rate increases, the total volume fraction of the eutectic α and β phases decreases, thereby reducing galvanic sources and lowering the short-term corrosion rate. The long-term corrosion rates decreased with an increase in cooling rate due to enhanced connectivity of the β phases, which prevents corrosion propagation. Meanwhile, the increase in the cooling rate led to a modification of the β phase compositions. The Zn molar ratio in the β phase was decreased, which reduced the volta potential of the β phase. This reduction of volta potential for the main galvanic source also contributes to the mitigation of the corrosion rate.

[마그네슘1-3 | 15:00]

마그네슘 복합소재의 기지합금 및 강화재에 따른 특성 연구 : 배준호*, 김영민, 서병찬, 김재연, 문영훈 (한국재료연구원)

Keywords: 마그네슘, 복합소재, 경량금속

복합소재는 다른 두 종류 이상의 물질을 조합하여 단일 소재의 부족한 특성을 보완하고 시너지를 통해 특성의 한계를 극복할 수 있는 소재이다. 마그네슘 합금은 강도와 무관하게 낮은 강성으로 인해 부품 설계 시 제약이 크기 때문에 높은 강성을 확보하기 위해 복합소재 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 기존의 마그네슘 복합소재 연구는 주로 상용 합금에 다양한 형태의 강화재를 첨가하여 강화재에 따른 강성, 방열, 제진, 전자파차폐 등의 특성 평가에 대한 연구가 이루어져 왔다. 복합소재를 제조하는 방법은 여러가지가 있지만 마그네슘 소재의 산화 및 발화 특성 상 분말을 이용한 방법은 제조공정이 까다롭고 폭발의 위험이 있어 대부분 주조를 기반으로 한 제조방법을 적용하고 있다. 본 연구에서는 마그네슘 기지 합금과 제조공정에 따른 복합소재의 제반 특성을 비교하였으며 특히 마그네슘의 가장 큰 난제인 부식특성이 복합소재의 합금원소 및 강화재에 미치는 영향을 분석하였다.

[마그네슘1-4 | 15:15]

Zn 합금화를 통한 LMD 공정으로 제조된 Mg-Ti 복합재료의 물성 향상 : 장지은, 박보현, 윤현준 (경북대학교), 주수현 (단국대학교), 박성혁* (경북대학교)

Keywords: Liquid metal dealloying (LMD), Mg-Ti composite, Zn addition, Microstructure, Hardness

Mg는 우수한 비강도를 가지고 있으며, Ti는 뛰어난 내부식성과 기계적 특성을 지니고 있어 두 소재를 결합한 Mg-Ti 복합재료는 미래 모빌리티, 우주항공, 의료 기기 산업 등에서 주목받고 있다. 그러나 기존의 분말 야금법과 용탕 주조법으로 제조된 Mg-Ti 복합재료는 불균일한 미세구조와 약한 계면 결합으로 인해 기계적 성질이 저하되는 문제가 있다. 금속 용탕 탈성분법(LMD)을 활용하면 Mg 상과 Ti 상이 각각 3차원 연속연결구조로 균일하게 분포된 Mg-Ti 복합재료를 제조할 수 있다. LMD 공정은 합금 전구체를 금속 용탕에 침지하여 특정 원소를 탈성분하고, 그 빈 자리에 용탕이 침투하여 균일한 3차원 연속연결구조의 복합재료를 형성한다. 이렇게 제조된 복합재료는 기존 복합재료보다 결합력과 물성이 뛰어나지만, 추가적인 물성 향상을 위해서는 합금 첨가 연구가 요구된다. 본 연구에서는 LMD로 제조된 Mg-Ti 복합재료에 Zn을 합금화하여 복합재료의 물성을 향상시키고자 하였다. Zn은 Mg 뿐만 아니라 Ti와도 우수한 혼화성을 가지므로 복합재료의 물성을 크게 개선시킬 수 있다. Zn 합금화 농도에 따른 Mg-Ti 복합재료의 물성 변화를 규명하기 위해 Mg-xZn (x = 0, 1, 5, and 10 wt.%) 금속 용탕을 사용하여 Zn 함량에 따른 복합재료의 물성 변화를 분석하였다. 그 결과, Mg 용탕 내 Zn의 함량이 0에서 10 wt.%로 증가함에 따라 LMD로 제조된 Mg-Ti 복합재료에 고용된 Zn 농도 또한 0에서 7.3 wt.%로 증가하고, 이에 따라 경도가 131 Hv에서 203 Hv까지 크게 증가하였다. 본 연구는 Zn 합금화를 통해 3차원 연속연결구조 Mg-Ti 복합재료의 물성을 효과적으로 향상시킬 수 있음을 보여준다.

[마그네슘1-5 | 15:30]

마그네슘 수소저장합금 소재 및 수소저장특성 연구 : 노수지, 배준호, 김영민, 서병찬* (한국재료연구원)

Keywords: 마그네슘, 수소저장합금, PCT, 주조 및 파쇄

최근 잦은 배터리 화재 사고로 인하여 배터리보다 저장기간도 길고 저장량도 많은 수소를 활용한 에너지 생산, 저장, 운송, 활용등의 필요성이 증대되고 있다. 수소를 저장 및 운송하는 방법은 크게 고압기체, 액체, 고체 방식으로 나뉘는데, 이 중 가장 안전한 방법은 고체 수소저장합금을 활용하는 방법이다. 하지만, 이러한 금속 수소저장합금들은 중량당 저장 밀도가 액체나 고압기체이 비해서 상대적으로 낮고, 가스 아토마이징과 볼밀링에 의한 분말 생산으로 인하여 가격이 높은 단점을 가지고 있다. 마그네슘은 금속 수소저장합금 중 유일하게 고압기체와 대등한 중량당 저장밀도를 가지고 있으며, 액체와 고압기체방식의 저장방법 보다 높은 부피당 저장밀도를 가지고 있어서 최근 에너지 저장용 수소저장소재로 각광받고 있다. 본 연구에서는 이러한 고특성 마그네슘 합금을 가스 아토마이징과 볼밀링에 의한 분말 제조방식이 아닌 주조와 파쇄의 방법을 통하여 저비용으로 제조한 마그네슘 합금의 수소저장특성 구현을 위한 방법과 특성을 발표하고, 합금원소 첨가 및 가공 등의 수소저장특성 향상 방법을 제시하고자 한다.

[마그네슘2-1 | 15:55]

인공지능 및 데이터 기반 모빌리티용 경량금속소재 HUB 구축: 고강도 고내식 Mg 압출재 : 서종식*, 서병찬, 김재연 (한국재료연구원), 박성혁 (경북대학교)

Keywords: 고강도 고내식 마그네슘 합금, 압출, 인공지능, 데이터, 소재HUB

인공지능과 데이터 기반 UAM 기체용 고비강도 경량 비철 금속소재의 개발 및 소재HUB 구축을 통해 모빌리티 기체구조용 경량금속소재의 연구개발 프로세스 공유체계를 개발하는 것이 본 연구개발의 핵심이다. UAM 기체의 내장재로 Mg을 적용하기 위해 베이지안 인공신경망과 능동학습을 활용하여 고강도 고내식 Mg 신합금과 압출 공정을 설계한다. 이를 토대로 신규 소재 합성기술과 제조공정을 개발한 후 신합금의 준양산형 공정을 검증하고 최적화할 계획이다. 이러한 과정에서 생성되는 전주기 데이터를 수집하고 생태계 플랫폼과 연계하여 모빌리티용 경량금속 소재HUB 시스템을 구축하고자 한다.

[마그네슘2-2 | 16:10]

기계학습을 활용한 AZ91 및 SEN9 합금의 저주기 피로거동 예측 : 유진영, 천세호, 이성호 (부산대학교), 박성혁 (경북대학교), 이태경* (부산대학교)

Keywords: 마그네슘, 저주기 피로, 기계학습

마그네슘 합금은 타 구조재 대비 낮은 물성으로 주로 소성 가공한 상태로 사용되며, 이에 따라 발달한 집합 조직과 제한적인 변

형 기구에 따라 강한 변형 이방성을 보인다. 일반적으로 구조재는 사용 수명 동안 직접적 피로 수명 분석이 이루어지는 경우가 드물어 이에 따른 적절한 피로 수명 예측이 필수적이다. 마그네슘의 경우 변형 에너지 기반 모델링 기법이 피로수명 예측에 적합한 파라미터로 여겨지고 있으며, 이는 AZ91 및 SEN9 압출재에서도 유효한 접근방법으로 입증되었다. 본 연구진은 선행 연구인 AZ31 압연재의 저주기 피로수명 연구에서 얻은 기계학습 방법론을 도입하여 압출 공정 조건과 강종에 따른 이력 곡선을 원활히 예측할 수 있었으며, 이를 통해 다양한 변형률 진폭 조건에서의 이력 곡선을 안정적으로 확보할 수 있었다. 더해서, 잔류 쌍정에 의한 이력 곡선의 대칭성 증가에 따라 감소하는 소성 변형 에너지에 착안하여 데이터 부족 조건에서도 에너지-피로수명 곡선을 성공적으로 도출할 수 있었다.

[마그네슘2-3 | 16:25]

선변형 AZ31 합금의 전류펄스 인가 시 미세조직 변화와 이방성 : 천세호, 유진영, 이성호 (부산대학교), 박성혁 (경북대학교), 이태경* (부산대학교)

Keywords: 마그네슘, 통전, 이방성

마그네슘 합금은 HCP 구조의 특성상 강한 집합조직을 가짐에 따라 기계적 성질의 이방성이 생기고 상온에서의 성형성이 낮다. 이를 극복하기 위한 방법으로, 소성가공과 후 열처리로 집합조직을 약화하며 연성을 유지하는 방법이 보고된 바 있다. 구체적으로, 집합조직을 가지는 합금에 twin을 의도적으로 생성한 후 열처리를 진행하면 집합조직을 약화하면서 연성은 유지할 수 있었다. 한편, electropulsing treatment(EPT) 공정은 기존 열처리 방법에 비해 효율적인 공정으로 연구가 많이 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 선 변형을 가해 twin 구조를 만든 AZ31 합금에 EPT를 가하여 미세조직이 변화하는 메커니즘을 확인하였다. 추가로 EPT 공정은 결정 방위에 따라 결과가 다른 EPT 이방성 또한 확인되고 있어 이에 대한 조사도 진행하였다. AZ31 열연재에 RD 방향으로 6% 소성변형을 가한 후, RD와 TD 방향으로 0.65 s 동안 전류밀도 100 A/mm^{2}를 3번까지 가하였다. 펄스를 진행함에 따라 변화하는 미세조직은 quasi in situ EBSD 방법을 사용하여 관찰하였다. Strain induced boundary migration으로 인해 twin 경계가 소멸하여 결정립 성장이 일어남과 동시에 재결정이 일어남을 확인하였다. 또, 같은 전류밀도를 가하였지만, RD로는 395 ℃, TD로는 419 ℃까지 증가하여 방향에 따라 열처리 온도와 미세조직의 변화가 차이가 났다. 이는 결정 방위별 비저항 차이로 인한 EPT 시 발열량의 차이로 판단된다.

[마그네슘2-4 | 16:40]

T자형 Mg 합금 시편을 이용한 전류펄스 인가 시 발생하는 비열 효과 분석 : 송종한, 유진영, 천세호, 이성호, 박동준, 이승엽, 이정훈 (부산대학교), 박성혁 (경북대학교), 이태경* (부산대학교)

Keywords: 마그네슘, EPT, 쌍정

마그네슘 합금은 특유의 우수한 비강도, 내식성, 감쇠능으로 인해 항공, 자동차 등 다양한 분야에서 널리 활용되고 있는 경량 금속 중 하나이다. 그러나 마그네슘 합금은 상온에서 낮은 성형성이 관찰된다. 그 때문에 가공 시 고온 열처리가 필수적이며, 이러한 열처리는 전통적으로 노 열처리(FHT) 방식으로 이루어져 왔다. FHT는 다양한 산업 환경에서 널리 이용되어 왔으나 그 가열 방식에 따른 에너지·시간 효율성이 단점으로 대두되어 왔다. 이러한 FHT의 단점을 극복하고자 전류펄스 인가법(EPT)이 대안책으로 제안되었다. EPT는 금속 소재에 전류를 펄스 형태로 인가하여 줄 열(Joule heating)을 통한 급속 가열을 유도하는 공정으로 최근 연구에 따르면 금속 소재에 EPT를 적용 시 열 효과(thermal effect)와 더해 비열 효과(athermal effect)의 존재가 보고되고 있다. 비열 효과란 줄 열에 따른 열에너지 이외의 방식으로 소재에 영향을 미치는 현상을 말하는데, 이를 증명하기 위해 대부분의 EPT연구에서 EPT와 FHT를 비교·분석하는 방법으로 비열 효과를 주장해왔다. 그러나 이러한 시험 방식은 두 공정 간 가열 양상 차이로 인해 다소 오차 발생이 불가피하며 일정 수준의 엄밀성을 포기할 수밖에 없다. 상기 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 새로운 EPT 분석 방법을 최초로 제시한다. 이 방법은 T자형 시편에 전류펄스를 인가함으로써 특정 영역만 전류가 통과하여 비열 효과를 선택적으로 적용할 수 있도록 설계하여 종래 대비 더욱 정밀한 연구가 가능하도록 의도하였다. 그 결과, 비슷한 가열 양상으로 비열 효과와 열 효과를 성공적으로 구분할 수 있었다. 열 효과만 작용하는 영역에 비해 비열 효과가 추가로 작용하는 영역의 재결정 분율은 약 1.4배 높은 수치를, {10-12} 인장 쌍정 경계 분율은 약 1.5배 가량 낮은 수치를 관찰했다.

[마그네슘2-5 | 16:55]

4원계 Mg-xY-1Cu-1Ni (x = 1,2,3) 합금의 열처리 방식에 따른 기계적 특성 변화 연구 : 이승엽, 유진영, 천세호, 이성호, 송종한, 박동준, 이정훈 (부산대학교), 김종현 (Chongqing University, China), 이태경* (부산대학교)

Keywords: 마그네슘, LPSO, 4원계 합금, Electropulsing treatment, 이트륨(Y)

마그네슘 합금은 높은 비강도, 큰 연성 등 우수한 기계적 특성으로 인해 자동차, 항공우주, 국방 등 다양한 산업에서 사용된다. 순수 마그네슘은 비교적 낮은 강도를 가지지만 합금 원소를 추가함으로써 강도를 증가시킬 수 있다. Y 원소를 포함하는 마그네슘 합금은 일반적으로 고강도 특성을 가지며, Mg-xY-1Cu-1Ni (x = 1,2,3) 4원계 합금의 경우 Long Period Stacking Order phases(LPSO) 라는 2차상으로 인해 고강도 특성을 나타낸다. 금속 재료의 기계적 특성을 개선하기 위해서는 열처리가 필요한데, 일반적인 퍼니스 열처리 방법은 긴 처리 시간과 비효율적인 에너지 사용이라는 단점을 가지고 있다. 따라서 electropulsing treatment(EPT)를 적용하여 열처리를 행하는 방안이 있다. EPT를 통한 열처리는 금속에 직접 전류를 가함으로써, 줄 가열 효과(Joule heating effect)를 활용한 효율적이고 빠른 열처리가 가능하다. 해당 방식은 직접적인 에너지 전달로 인해 높은 에너지 효율성, 공정 시간 단축 등의 장점을 가진다. 본 연구에서는 Mg-xY-1Cu-1Ni (x=1,2,3) 압출 합금 시편에 EPT를 적용한 경우와 퍼니스 열처리를 행한 경우에 대해 시편 미세구조 변화와 기계적 특성 변화를 비교한다. Y 원소 함량에 따른 물성 변화를 관찰함과 동시에 열처리 방식에 따른 기계적 성질의 변화를 확인함으로써, EPT를 통한 열처리 연구를 수행한다.

[마그네슘3-1 | 17:20]

A study of cold rolling on dual phase Mg-Li alloy(I) : 이성*, 신수정, 조영수, 박찬홍, 신재긍, 김홍물 (하나에이엠티주식회사), 김용호, 손현택 (한국생산기술연구원)

Keywords: Mg-Li 합금, α-Mg+β-Li 상, 냉간압연

최근 예측할 수 없는 급격한 기온 상승, 극단적 기상 현상, 자연재해 등의 기상이변 원인을 지구온난화로 보고, 전 세계적으로 파리 협약을 통해 탄소저감화를 위한 국가적 노력을 하고 있으며, 이에 가장 적합한 대표적인 재료가 Mg 합금이다. Mg 합금은 상온 성형성 등의 문제들로 98% 이상의 제품들이 die casting으로 적용되고 일부 열간압출 및 압연 등에 의해 제조되는 한계로 그 적용성을 넓히는 데 한계가 있어 왔다. 이러한 원인으로 가장 큰 이유는 육방조밀구조(HCP)에 의한 상온 slip계 부족이다. 이를 극복하고자 하는 대안으로 상온 변형성이 우수한 새로운 합금계를 개발하거나, Mg 합금계의 구조를 HCP에서 slip계가 풍부한 체심입방구조(BCC)화하여 상온변형이 가능한 Mg-Li 합금 연구가 오랜 기간동안 진행되고 있다. Mg-Li 합금은 기존의 Al 합금대비 약 40% 이상 가볍고 CFRP보다 가벼운 현존 가장 가벼운 구조용 금속재료중 하나이나, 절대강도가 낮은 것은 극복하여야 할 과제이다. Mg-Li 합금은 Li 함량에 따라 α-Mg, α-Mg+β-Li, β-Li상으로 상전이된다. 5.7 wt.Li% 미만에서는 난변형성의 HCP α-Mg 단상이, 10.3 wt.Li% 이상에서는 BCC β-Li 단상으로 상이 구성된다. 본 연구에서는 α-Mg + β-Li의 이중상 합금의 냉간 압연 특성을 조사하였으며, 균질화 후 압연을 수행하고 용체화에 따른 미소경도(Hv) 등의 영향을 조사한 1차 기계적 물성 보고이다

[마그네슘3-2 | 17:35]

압출비가 마그네슘 미세튜브의 기계적 물성과 생분해 속도에 미치는 영향 : 김재성, 임창동, 서병찬, 김하식, 이상은, 서종식* (한국재료연구원)

Keywords: 생분해성 마그네슘 합금, 미세튜브, 압출, 기계적 물성, 생분해 속도

혈관질환 치료용 생분해성 소재는 미래 생체 삽입형 의료기기의 핵심 기술이다. 현재 사용되고 있는 혈관질환용 스텐트는 영구적으로 체내에 남는 Ti alloys, Co-Cr alloys로 제조되어 혈전증, 지속적 염증 유발 등 부작용을 유발한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 생분해성 스텐트가 대안으로 제시되고 있다. 마그네슘은 인체 구성 원소로서 생체적합성과 생분해성으로 인해 체내 삽입형 스텐트용 소재로 각광받고 있다. 하지만 낮은 기계적 물성과 빠른 분해 속도, 성형성이 떨어진다는 점으로 인해 현재 합금화와 소성가공, 가공 후 열처리 등을 통해 이를 개선하는 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 2단 압출 공정을 활용하여 스텐트 제작에 필요한 미세튜브를 제작하였으며, 압출비의 변화, 즉 미세튜브의 외경과 벽 두께의 변화에 따른 형상의 정확도를 평가하였다. 압출비에 따른 기계적 물성과 생분해 속도를 미세조직 및 집합조직과 연동하여 비교 분석하였다.

[마그네슘3-3 | 17:50]

초음파나노표면개질 공정 및 후열처리에 따른 마그네슘 합금 압연재의 미세조직 및 굽힘 특성 변화 : 안건웅, 김현지, 박성혁* (경북대학교)

Keywords: AZ31 alloy:UNSM:Annealing:Recrystallization:Bendability

초음파나노표면개질(Ultrasonic Nano-crystalline Surface Modification, UNSM) 공정은 초음파 충격을 통해 금속 소재의 표면에 강한 소성 변형을 부과하여 표면의 조직을 나노 수준으로 미세화하는 공정이다. 최근 이 공정은 금속 소재의 표면 개질 및 내구성 향상을 위한 연구에 널리 활용되고 있다. 그러나 UNSM 공정과 같은 표면 강소성 가공법은 소재 내 전위 밀도를 과도하게 증가시켜 소재의 연성 및 성형성을 크게 저하시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해 UNSM 공정 후 전위 밀도와 내부 변형 에너지를 감소시켜 성형성을 개선하기 위한 후열처리 공정이 요구된다. 그러나 UNSM 처리된 마그네슘 합금의 후열처리에 따른 미세조직 및 성형성 변화에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 AZ31 압연재의 표면에 UNSM 처리 후 300 °C에서 열처리하여 미세조직을 제어하고 이를 통해 굽힘 성형성을 향상시켰다. 또한 UNSM 처리된 소재의 표면부에서부터 중심부까지의 미세조직적 차이로 인해 열처리 동안 발생하는 연화 메커니즘(softening mechanism)이 변화함을 확인하고, 정적 재결정 (static recrystallization), 결정립계 이동 (grain boundary migration) 및 회복 (recovery) 거동과 이에 따른 미세조직적 변화를 분석하였다.

[마그네슘3-4 | 18:05]

Al 함량에 따른 SEN 마그네슘 합금 압출재의 인장 및 피로 특성 변화 : 이지윤, 김현지, 진상철 (경북대학교), 배준호 (한국재료연구원), 박성혁* (경북대학교)

Keywords: SEN alloys:Al content:Extrusion:Tensile properties:Fatigue properties

마그네슘 합금은 낮은 밀도, 높은 비강도와 우수한 진동 감쇠능 등의 뛰어난 특성을 가지고 있어 수송기기, 우주항공, 미래 모빌리티 등 다양한 산업 분야에서 주목 받고 있다. 그러나 낮은 부식 및 발화 저항성으로 인해 산업적 적용이 제한되어 왔다. 최근 상용 마그네슘 합금인 AZ 및 AM 계열 합금에 미량의 칼슘(Ca)과 이트륨(Y)을 동시 첨가하여 부식 저항성과 발화 저항성을 크게 향상시킨 SEN 합금이 개발되었다. SEN 합금은 첨가되는 알루미늄(Al)의 함량에 따라 SENx (x: Al 함량)라 명명되며, SEN 합금 압출재의 산업적 적용 확대를 위해서는 인장 특성과 더불어, 피로 특성 및 피로 파괴 거동에 대한 분석이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 Al의 함량이 1, 3, 6, 9, 11 wt.%를 가지는 SENx 합금을 압출한 후, 각 압출재의 인장 및 고주기 피로 특성을 면밀히 분석하였다. 압출 빌렛과 압출재의 미세조직을 OM, SEM, EBSD를 통해 분석하였으며, 각 압출재를 압출 방향으로 인장 시험과 고주기 피로 시험을 수행하였다. 이를 통해 SEN 합금 압출재에서 Al 함량과 미세조직, 인장, 피로 특성 간의 상관관계에 대해 규명하였다.

상변태
Room 평창2, 10월 29일

[상변태1-1 | 08:30]
Enhancing Recovery Characteristics of FeMnSi-based Shape Memory Alloys through Complex Defect Engineering : Ji Young Kim, Min Seok Kim (Seoul National University), Wook Ha Ryu (Seoul National University, Kumoh National Institute of Technology), Hyun Gi Min, and Eun Soo Park* (Seoul National University)
Keywords: Shape memory alloys, Martensitic transformtion, Grain size effect, Defect engineering

Iron-based shape memory alloys (SMAs), especially FeMnSi-based alloys, have great potential in civil engineering because of their low cost and shape memory properties based on stress-induced epsilon martensitic transformation (SIEM). In FeMnSi-based SMAs, austenite phase strengthening was aimed at delaying the onset of plastic deformation, thereby enhancing recovery characteristics such as recovery strain and recovery stress. Thus, previous researchers have tried to strengthen the parent austenite phase by adding interstitial atoms or the precipitation of secondary phases. As a new paradigm for enhancing the recovery characteristics of FeMnSi-based SMAs, in this study, we suggested FeMnSi-based SMAs with high grain boundary density to strengthen the austenite phase based on the understanding of the intrinsic grain size effect. However, based on the in-situ high-energy diffraction experiments during uniaxial tensile testing and ex-situ electron microscope analysis, we found that the reduction in grain size simultaneously leads to the suppression of forward martensitic transformation and an increase in annealing twin boundaries, which hinder the recovery behavior. Herein, to overcome the limitation of high annealing twin boundary density and suppressed forward martensitic transformation, which is known as an obstacle to enhancing recovery characteristics, we developed a novel subsequent thermomechanical treatment that can lower the annealing twin boundary density and promote forward martensitic transformation. We optimized the pre-strain value and heat treatment condition based on the understanding of the generation and annihilation mechanisms of annealing twin boundaries and stacking faults. As a result, we have successfully developed ultra-fine grain-sized FeMnSi-based SMAs with an improved recovery strain. Moreover, we also investigated the recovery stress depending on the grain size. Finally, we successfully developed a FeMnSi-based SMA exhibiting both excellent recovery strain and recovery stress via grain size control and complex defect engineering. This study is the first to improve recovery characteristics through grain refinement, especially with a low density of annealing twin boundary density and increased stacking fault probability. Therefore, we expect that this study has the scientific significance of revealing the effect of grain boundary, annealing twin boundaries, and stacking faults on non-thermoelastic martensitic transformation and the engineering significance of offering a guideline for designing shape memory alloys with enhanced recovery characteristics through defect control.

[상변태1-2 | 08:45]
Development of resettable alloy: Novel Multi-Step Resetting Process via Segregation Engineering : 김민석, 김재권, 박은수* (서울대학교)
Keywords: 9Cr steel, Grain boundary segregation, Austenite reversion, High toughness, Microstructural Resetting

구조 소재로써 효과적으로 널리 활용되기 위해서는 높은 강도와 우수한 연성의 훌륭한 물성적 균형을 가지는 것을 필요로 한다. 한편, 최근 세계적으로 지속 가능한 발전에 대한 화두가 제기됨에 따라 경량 소재의 개발 또한 시급한 현안으로 자리잡고 있다. 그러나 재료의 경량화만을 통해 온실가스 배출량을 줄이는 것에는 한계가 있으며, 소재를 효율적으로 재사용 해야만 효과적으로 온실가스 배출량을 줄일 수 있다. 따라서, 본 연구는 기계적 특성 향상 및 반복적 특성 회복이 가능한 소재를 개발 하는 것에 초점을 맞추었다. 이러한 사실을 기반으로, 본 연구에서는 선택적 Mn segregation을 통해 미세 구조를 정밀 제어함으로써 기존의 9Cr 강의 기계적 특성을 획기적으로 개선하고 반복 회복이 가능하도록 제어하고자 하였다. 부연하면, 본 연구에서는 9Cr 강(Fe-9Cr-1.4W-0.12C)과 합금화 하였을 때 강한 grain boundary segregation 경향을 가지며 동시에 Austenite 상을 안정화시키는 원소인 Mn을 열역학 데이터베이스 기반 시뮬레이션(CALPHAD) 방법을 통하여 선정하였다. 이후 설계된 합금의 상안정성을 고려하여 시편 제조 후에 650 °C 이하의 다양한 온도에서 Reversion 공정을 추가적으로 진행하였다. 결과적으로, Reversion 공정 시 GB 영역에 segregation 된 Mn원소에 의하여 국부적으로 안정화 된 Austenite상이 석출됨을 EBSD 분석 및 TEM 분석을 통하여 확인하였다. 또한, 공냉과정에서 GB 영역에 자발적으로 segregation 된 Mn 원소가 Reversion시의 grain growth를 억제함으로서, 최종 결정립 크기 또한 더 작게 제어할 수 있었다. 결과적으로, 작은 결정립 크기 및 오스테나이트 상의 strain hardening 거동에 의하여 기존 9Cr강 대비 최대 2.5배 이상으로 강도 특성 개선을 확인할 수 있었으며, 동시에 연신율은 15 % 이상을 유지하는 것을 확인하였다. 이렇듯 우수한 기계적 특성과 더불어, 소재 사용과 Reversion 공정의 반복 적용시에 GB 근처에 편석된 Mn원소에 의한 국부적 상변태가 가역적으로 일어남에 따라 소재의 미세 구조 및 기계적 특성의 반복 회복이 가능함을 중성자 회절 분석 및 인장-열처리 반복 실험을 통하여 확인하였으며, 회복 공정의 고효율화 및 고특성화를 위하여 맞춤형 Multi-step 회복 공정을 개발 및 검증하였다. 이러한 연구 결과는 환경문제에 대한 소재적 측면에서의 해결 방법의 새로운 패러다임을 제시하는 혁신적 연구결과로 사료된다.

[상변태1-3 | 09:00]
304 스테인리스 강의 오스테나이트 역변태 특성 및 기계적 성질에 미치는 열처리 영향 : 이동훈, 문병록, 성백석, 강남현* (부산대학교)

Keywords: 오스테나이트 역변태, 미세조직, 기계적 특성, 오스테나이트계 스테인리스 강

304 스테인리스강은 뛰어난 부식 저항성, 좋은 인성 및 우수한 용접성을 가지는 강이다. 그러나 상대적으로 낮은 항복 강도로 인해 적용에 한계가 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 여러 연구가 수행되었으며, 결정립 미세화를 통해 항복 강도를 향상시키는 SIMRT 공정이 주목받고 있다. SIMRT 공정은 변형 유기 마르텐사이트를 열처리를 통해 미세한 결정립 크기를 가지는 오스테나이트로 역변태시키는 방법이다. 역변태는 크게 확산 메커니즘과 비확산 메커니즘 두 가지로 나뉜다. 본 연구에서는 확산과 비확산 메커니즘이 역변태 과정에서 미세조직 변화와 오스테나이트의 기계적 특성에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 딜라토미터를 통해 비확산이 발생하는 온도 영역을 확인하였고, 이를 기준으로 확산 발생 영역, 확산 비확산 동시 발생 영역, 비확산 발생 영역에서 압연 시편의 열처리를 진행하였다. 시간에 따른 미세조직을 관찰하였으며, 압연의 경우 마르텐사이트 분율에 따른 조직변화를 관찰하기 위해 상온과 극저온에서 진행하였다. 또한 각 조건에서의 상분율, strain 특성들을 중성자 회절을 통해 분석 하면서 조건 별 austenite의 특성들에 관한 연구를 진행하였다.

[상변태1-4 | 09:15]

Effect of Titanium Addition on the Micro- and Nano-Scale Microstructure of Cu-Al-Ni Shape Memory Alloy Fabricated by Melt-Spinning : Yejun Park* and Pyuck-Pa Choi (KAIST)

Keywords: Cu-Al-Ni shape memory alloy, Melt-spinning, Columnar microstructure, Nanoprecipitate, Atom probe tomography

Cu-Al-Ni shape memory alloys (SMAs) offer advantages such as low cost and high transformation temperatures. However, their applications have been limited by severe brittleness and low shape recovery. To address these issues, the melt-spinning process has been explored as a means to refine the microstructure over the past few decades. This study investigates the impact of titanium addition on the micro- and nano-scale microstructure of Cu-Al-Ni SMAs produced via melt-spinning. Microstructural characterization was performed using transmission electron microscopy (TEM) and atom probe tomography (APT). At the micro-scale, the addition of titanium resulted in a transformation of the grain morphology from equiaxed to columnar structures. At the nano-scale, titanium-rich precipitates, with sizes on the order of tens of nanometers, were observed, whereas larger titanium-rich precipitates, several micrometers in size, were present in the cast specimens. The observed microstructural differences are attributed to the supersaturation of titanium during the melt-spinning process. It is anticipated that the columnar microstructure and nanoscale precipitation in the melt-spun Cu-Al-Ni SMA will enhance mechanical properties and shape recovery. This is expected to occur through improved strain compatibility for each grain and the pinning of twin interfaces during deformation.

[상변태1-5 | 09:30]

CrMnFeCoNi계 형상기억합금의 회복특성 향상을 위한 조성설계 : 임진수랑, 이제인* (부산대학교)

Keywords: High-entropy alloy, Shape memory alloy, Martensitic transformation

FCC계 형상기억합금은 FCC/HCP상의 가역적인 마르텐사이트 변태에 의해 회복 특성이 구현되며, 가공성, 원소재 비용의 이점으로 대형 구조물에 활용 가능성이 높다. 다만, 상용 FCC계 FeMnSi 합금은 타 결정구조 기반 형상기억합금 대비 회복 특성이 낮아 미세조직 제어 연구가 주로 진행되었지만, 조성 제어는 비교적 제한적으로 진행되었다. '고엔트로피 합금 (High-entropy alloys)' 개념이 등장하면서 합금 설계 영역이 확장되었고, CrMnFeCoNi계 합금에서도 FeMnSi 합금과 유사한 회복 특성이 구현된다고 보고되었다. CrMnFeCoNi 합금계의 우수한 FCC 고용상 안정성은 FeMnSi 합금을 상회할 고성능의 FCC 구조 형상기억 신합금 개발이 가능케 할 것으로 기대되나, 조성 효과에 대한 이해가 부족해 개발이 더딘 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 다량의 CrMnFeCoNi 고엔트로피 형상기억합금을 동일한 공정으로 제작 및 평가하면서 구성 원소가 미치는 영향을 분석하고 우수한 특성의 신합금을 설계하고자 했다. 본 연구를 수행하고자 CALPHAD 기반의 FCC/HCP 상안정성 차이를 계산하여 예측한 형상기억합금 영역 내에서 합금을 제작하였다. 모든 합금의 결정구조, 상변태 온도, 압축 회복 거동을 평가하면서 Ni이 주로 미세조직 및 FCC 상안정성을 결정하는 원소임을 확인하였다. 이후, 열유기 HCP 분율, FCC/HCP의 부피 차이, 고용 강화의 관점에서 조성적 상관관계를 분석하였고, 본 상관관계로부터 Cr, Co이 다량 구성된 조성에서 회복 특성이 우수할 것으로 예측하였고, 이를 실험으로 검증하였다. 본 연구를 통해, 광활한 CrMnFeCoNi 합금계에서 기존 FCC계 형상기억합금을 상회하는 우수한 회복 특성의 신합금을 개발하기 위한 체계적인 조성 제어 전략을 제시하고자 한다.

[상변태1-6 | 09:45]

결정립 크기가 $Cr_{20}Mn_{20}Fe_{20}Co_{35}Ni_5$ 고엔트로피 합금의 회복특성에 미치는 영향 : 정회윤, 이제인* (부산대학교)

Keywords: High-entropy alloy, Shape memory alloy, Grain size, Martensitic transformation

다수의 구성원소가 동등하거나 이에 유사한 분율로 혼합된 고엔트로피 합금 개발 연구는 기존의 상용합금과는 다른 독특한 특성을 갖는 사례가 다수 보고됨에 따라, 많은 연구자들에게 큰 주목을 받고 있다. 그 중에서 Co/Ni 조성비가 제어된 CrMnFeCoNi계 고엔트로피 합금은 fcc 및 hcp 상간의 가역적인 상변태에 의해 상온에서 2 % 회복 연신율을 가짐이 보고되었다. 이는 상용화된 Fe-Mn-Si 형상기억합금의 가공재의 회복 연신율과 비슷한 수치로써, 이를 더욱 향상시키고자 하는 후속연구가 요구되고 있다. 최근 Fe-Mn-Si 합금에서 주조재를 활용하여 회복 연신율이 7.6 %까지 향상시킨 연구가 보고된 바 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 결정립 크기를 가지는 주조재 및 가공재의 회복특성을 확인하였다. 구체적으로 1 ~ 14 % 인장 변형 후 회복 열처리를 통해 회복특성이 평가되었으며, 결정립 크기가 725 μm로 가장 큰 CA가 10 % 초기 변형률에서 가장 높은 회복 연신율 4.7 %를 보였다. EBSD 분석 결과 결정립 크기가 커짐에 따라 5 % 변형 시 응력 유기 마르텐사이트 상분율이 4.8 %에서 36.8 %로 증가하였고,

총 경계밀도가 낮아 입계 주위에 슬립에 의한 국부적인 소성변형이 줄어듦을 확인하였다. 또한, 온도-응력 의존성 실험 및 Hollomon 식을 활용한 log scale의 진응력-변형률 곡선 분석 결과 결정립 크기가 커질수록 응력 유기 마르텐사이트 변태의 임계 응력은 감소하고, 슬립 변형의 임계 응력은 증가하였다. 따라서 결정립 크기 제어를 통해 소성변형을 억제하고, 응력 유기 마르텐사이트 형성을 촉진시켜 고엔트로피 합금의 회복특성을 향상시켰고, 결정립 크기에 따른 회복특성과 변형 후 합금의 미세조직 그리고 임계 응력 사이의 상관관계를 규명하였다.

[상변태1-7 | 10:00]

Cr의 첨가에 따른 $AlMo_{0.5}NbTa_{0.5}TiZr$ 내화 고엔트로피 합금의 1300 ºC 산화 거동 : 박지니, 오정석, 성효진, 박준식* (국립한밭대학교)

Keywords: 내화 고엔트로피 합금, alloying, 고온 산화, 산화 거동

가스터빈엔진 또는 우주 항공분야와 같은 극한 환경에서 사용되는 재료는 고온 및 산화 분위기에서 고온 강도 및 기계적 성질을 유지하는 것이 매우 중요하다. 이런 극한 환경에 노출되는 재료들 중 내화 고엔트로피 합금은 우수한 상온 및 고온 강도와 연신율로 인해 주목을 받고 있다. 그 중 $AlMo_{0.5}NbTa_{0.5}TiZr$ 내화 고엔트로피 합금은 B2/BCC 나노 상의 독특한 미세구조 때문에 1000 ºC에서 845 MPa의 강도와, 상온에서 10 %의 연신율을 가지는 것으로 알려져 있다. 그러나 고온 산화 분위기에서는 내화 금속의 고유한 산화 특성으로 인해 Mo는 MoO_3, Nb은 Nb_2O_5, Ta은 Ta_2O_5로 쉽게 산화되어 고온 사용이 어려울 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 내화 고엔트로피 합금의 내산화성을 향상시키기 위해, Cr을 microalloying하여 Cr의 첨가에 따른 내산화성을 비교하였다. Cr이 첨가된 $AlMo_{0.5}NbTa_{0.5}TiZr$ 합금은 1300 ºC에서 5시간까지의 공기 중 산화에서 우수한 내산화성을 나타내었다.

[상변태2-1 | 10:30]

Order-disorder transition in a two-dimensional Potts model on a square-lattice : Minseong Park, Minguk Jang, Jihye Lee, and Sukbin Lee* (Ulsan National Institute of Science and Technology)

Keywords: Two dimensional square-lattice Potts model, Order-disorder transition, Critical temperature, Next nearest neighbor, Excess free energy

The order-disorder transition in the Monte Carlo model has been extensively studied for the case of the Ising model (i.e., two-spin case of the Potts model) because it was a simple model to describe the ferro-para magnetic transition at the Curie temperature, which bears the practical importance in the field of magnetism. On the other hand, the Potts model has been widely used to predict the microstructural evolutions during the microstructural coarsening process such as grain growth, recrystallization, and sintering. Unlike the Ising model, the order-disorder transition of the Potts model has been barely studied since the transition envisions the melting process (or solidification, vice versa) in the context of the microstructural evolution of structural materials. Moreover, the Potts model is based on the multi-spin state, which makes it reasonable to expect its order-disorder transition to be more complex than that in the Ising model. Therefore, we here attempt to elucidate the characteristics of the transition in the Potts model. We will present the computational method developed to determine the type of transition and the critical temperature in the Potts model. It is found that both are strongly dependent on the number of spin states (i.e., Q-state). We also study the effect of the excess free energy on the variation in the critical transition temperature in the Potts model and try to connect the result to the thermodynamic perspective.

[상변태2-2 | 10:45]

비정형 합금의 원자 단위 구조적 규칙성과 물성과의 상관 관계 : 류채우* (홍익대학교)

Keywords: 구조 분석, 비정질 합금, 중단위 규칙성

기존의 액체와 유리의 원자 구조를 설명하는 접근법은 일반적으로 여러 원자로 구성된 국소 구조 단위를 출발점으로 하여, 이를 확장하여 전체 구조를 형성하는 bottom-up 방식에 해당한다. 본 연구에서는 이러한 전통적인 접근 방식과는 다른 top-down 방식의 구조 형성 방식을 제안하고자 한다. 이 방식은 고온의 기체 상태에서 시작하여 모든 원자에 상호 원자 간 잠재력을 동시에 작용시켜, 국소적 및 전역적 구동력의 상호 간섭을 통해 액체가 지닌 Medium-range order(MRO)가 형성되는 메커니즘을 설명한다. 본 연구에서는 MRO의 형성 과정을 분석하고, 액상 및 유리 상태에서 MRO를 정량화 하는 방법을 소개하며, 나아가 MRO와 액상의 물성을 대표하는 점성과의 상관 관계를 규명함으로써 MRO가 액체 내 원자들의 집단적 거동을 나타내는 지표로 활용될 수 있는 가능성 제시한다. 이러한 해석은 액체의 원자 이동 메커니즘에 대한 이해를 증진시키고, 특정 성질을 갖는 비정형 재료를 설계하기 위한 새로운 방향을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

[상변태2-3 | 11:00]

Steady-state serrated flow induced by gradient rejuvenation process in bulk metallic glass : Wook Ha Ryu (Kumoh National Institute of Technology), Won-Seok Ko (Inha University), Rui Yamada, Junji Saida (Tohoku University,), and Eun Soo Park* (Seoul National University)

Keywords: Metallic glass, Rejuvenation, Gradient structure, Steady-state serrated flow, Plasticity

In this work, we propose novel methods to utilize the rejuvenation phenomenon to heterogeneously modulate local energy states and free volume (FV) content in bulk metallic glasses (BMGs). We induce rejuvenation gradient in BMG through deep cryogenic treatment using liquid Nitrogen. The gradient structure prevented strain softening and induced apparent hardening to maintain steady-state serrated flow during compressive plastic deformation. The major and minor shear bands intersect at the gradient interface, which prevents

softening in the shear plane by interfering with the propagation of the major shear plane. The plastic strain increased significantly due to the stable steady-state serrated flow. Key factors in improving mechanical properties are the change in critical shear stress and shear band angle in the local area of BMG according to the FV gradient. The post-processing methods in this study are simple, non-destructive, and can dramatically improve the mechanical properties of BMGs.

[상변태2-4 | 11:15]

Observation of multi-cluster formation mechanism induced by separated elements and control of nanocrystal growth : Subin Ahn (Seoul National University), Wook Ha Ryu (Kumoh National Institute of Technology), Hee Soo Kang (Research Institute of Industrial Science & Technology), and Eun Soo Park* (Seoul National University)

Keywords: Metallic glass, Nanocrystal, Nanocluster, Multi-nucleation

Fe-based nanocrystalline soft magnetic materials are crucial for inductor cores, demanding higher performance as the electronics industry advances. Maximizing ferromagnetic elements like Fe and Co is essential for property enhancement. However, transitioning to industrial mass production requires ensuring glass-forming ability (GFA) and nanocrystalline control. However, increasing the ratio of ferromagnetic elements in existing nanocrystalline compositions poses significant challenges for industrial commercialization. It is well known that the added element Cu played a crucial role in forming nanocrystals by being incorporated in small amounts into the Fe-based alloy. Cu atoms were uniformly distributed within the Fe and Co matrix, acting as nuclei for forming fine nanocrystals. These nanocrystals, with controlled size and distribution, enhanced the magnetic and electrical properties of the material. Additionally, the formation of nanocrystals at various temperatures increased flexibility during the heat treatment process, ensuring consistent quality even in mass production. This study introduces additional elements with positive mixing enthalpy with Fe, such as Cu, to serve as nucleation sites for nanocrystals. By forming nanoclusters of various separate elements within the Fe,Co amorphous matrix, we achieved different crystallization onset points. The designed composition exhibited a lower primary crystallization onset temperature and broader crystallization behavior over a wider temperature range compared to single-element additions. The nanocrystalline size distribution showed multiple distinct sizes, promoting nucleation overgrowth and allowing control of the desired nanocrystal size and fraction.

[상변태2-5 | 11:30]

서로 다른 초기 구조를 가진 Zr계 비정질 합금의 변형 거동에 가상 온도 기반 열처리가 미치는 영향 : 이명준, 유근희, 류욱하, 박은수* (서울대학교)

Keywords: 비정질 금속, 가상 온도, 나노인덴테이션

비정질 합금은 최초로 발견이 보고된 이후로 높은 강도, 파괴 인성과 부식 저항성과 같은 매력적인 특성으로 인해 많은 주목을 받았다. 대부분의 경우, 결정질 합금과는 달리 비정질 합금은 비정질 상태를 유지하기 위해 추가적인 공정 없이 초기 상태 그대로 사용하는 경우가 많다. 최근 특정 가상 온도(fictive temperature)에서 열처리를 진행하는 것으로, 해당 가상 온도에서의 과냉각 액상의 구조를 가지게 만들어 비정질 합금의 기계적 특성을 튜닝할 수 있다는 연구 결과들이 보고되었다. 그러한 선행 연구들을 기반으로 하여, 우리는 조성은 같으나 다른 초기 구조를 가지고 있는 Zr계 비정질 합금을 대상으로, 가상 온도 기반 열처리 공정이 해당 비정질 합금들에 어떻게 영향을 미치는지 확인하고자 한다. 이전에 우리는 local dense packed region(LDPR)을 가진 비정질 합금은 냉각 속도에 따라 기계적 특성이 크게 바뀔 수 있음을 보였다. 동일한 가상 온도에서 열처리를 한 뒤, 우리는 나노인덴테이션 실험을 통해 서로 다른 냉각 속도에서 제작된 비정질 합금의 변형 거동을 확인하였다. 이러한 연구 결과가 비정질 합금의 post-processing 방식에 대한 새로운 insight를 제공할 것으로 기대한다.

[상변태2-6 | 11:45]

Amorphous Microwires with Ion-induced Surface Gradient Structure and Excellent Tensile Plasticity : Shuang Su (Harbin Institute of Technology, Seoul National University), Myeong Jun Lee (Seoul National University), Wook Ha Ryu (Seoul National University, Kumoh National Institute of Technology), Zhiliang Ning*, Yongjiang Huang (Harbin Institute of Technology), and Eun Soo Park* (Seoul National University)

Keywords: Tensile plasticity:Gradient structure:Amorphous microwires:Ion irradiation:Free volume gradient

The development of amorphous alloys (AAs) with tensile plasticity is crucial in materials science due to their inherent brittleness. Ion irradiation has been proved to be an effective method to introduce free volume gradient structure into the surface of AAs thereby enhance their tensile plasticity. In this study, we introduced a gradient structure into the surface of amorphous microwires (AMs) using ion irradiation, resulting in significant macroscopic tensile plasticity of ~ 2.29% while maintaining a high yield strength level of up to 1469 MPa. The improvement in ductility of AMs is attributed to the existence of free volume gradient, which influences the behaviors of shear bands (SBs) within the material, leading to a more uniform plastic deformation. Nano indentation statistical analysis revealed that shear transformation zone (STZ) volume in surface region of irradiated AMs decreased with ion dose increase. This study provides valuable insights and guidance for enhancing the plastic behavior of AAs and their extensive applications in high-tech engineering.

[상변태2-7 | 12:00]

액체금속탈합금법의 공정요소 제어에 의한 다공성 TiFe계 수소저장합금의 구조 변화 규명 : 이소영 (서울대학교), 심재혁, 김진우* (한국과학기술연구원), 박은수* (서울대학교)

Keywords: 탈합금화, 다공성합금, 수소저장합금, 상변태

탈합금화 (Dealloying)는 일반적으로 합금을 탈합금 매체 (dealloying medium)에 담지하여 합금 내 특정 원소를 선택적으로 용출해내어 나노다공성 물질을 제조하는 기술이다. 탈합금 매체에 따라 구분되는 다양한 탈합금화 방식 가운데 액체금속탈성분화법 (Liquid metal dealloying, LMD)은 고온의 금속 용탕을 탈합금 매체로 사용하여 특정 원소를 용출해내는 방법으로, 전구체 합금과 용탕 금속 간의 혼화성 관계를 기반으로 한다. 본 연구에서는 LMD 공정에서 온도, 시간, 용탕의 양 등 공정요소에 따른 다공성 합금의 구조 변화과정을 체계적으로 규명하고자 하였다. 이를 위한 모델 합금으로써, 상온에서 가역적으로 흡방출할 수 있는 TiFe 합금을 선정하여 실험을 수행하였다. 다공성 TiFe 합금 제조를 위해 Mg-Ca 용탕에 Ti-Fe-Al계 전구체 합금을 담지하여 Al을 제거하였으며, Al의 용출 과정에서의 다공성 구조 변화를 체계적으로 규명하고자 미세구조 및 상 분석을 진행하였다. 또한 원소의 용출 과정에 따른 상변화 과정에서 다공성 구조의 표면 형상의 변화가 수반되었음을 확인하였다. 이를 통해 적절한 공정요소 제어를 통해 원하는 크기 및 조성, 상 분율을 갖는 다공성 합금의 제조 가능성을 확인하였다. 또한 다공성 구조 형성으로 인한 TiFe계 합금의 수소저장특성을 평가하였다.

[상변태2-8 | 12:15]

Liquid metal dealloying을 활용한 다공성 Co-Mo 암모니아 분해 촉매 제조 : 최예원 (한국과학기술연구원, 서울대학교), 양성은 (한국과학기술연구원), 박은수* (서울대학교), 김진우* (한국과학기술연구원)

Keywords: Liquid metal dealloying, 암모니아 분해 촉매, 나노구조화, 다공성 합금

오늘날 온실가스 배출 저감의 필요성이 증대됨에 따라 수소에너지가 기존 화석 연료 기반 에너지 체계의 핵심 대안으로 부상하고 있다. 이에 따라 장거리 수소 수송 매체로써 암모니아를 활용하는 방안이 주목 받고 있다. 암모니아를 생산지로부터 수송한 후 사용처에서 열화학적으로 다시 수소로 변환하려면 암모니아 분해반응 촉매의 사용이 필수적이다. 비귀금속계 암모니아 분해촉매로써 Co-Mo 합금은 적절한 질소 흡착에너지를 갖고 있어 우수한 촉매 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 높은 비표면적을 갖는 나노다공성 구조를 적용하여 Co-Mo 합금의 촉매효율 향상 가능성을 평가하기 위하여, Liquid metal dealloying을 도입하여 Co-Mo 나노다공성 단일체를 제조하였다. Co-Mo-Ni계 전구체 합금을 Mg계 용탕에 담지하여 Ni만을 선택적으로 제거하여 나노다공성 구조를 형성하는 과정에서 dealloying 시간이 증가함에 따라 비혼화성 원소로 설계된 Co가 Mg 용탕으로 용해되어 나오는 현상이 발생하였다. 이로 인해 잔여 Mo가 국부적인 영역에서 나노입자의 형태로 석출되어 Co-Mo 단일상 촉매 제조를 방해하고, 암모니아 분해반응 촉매의 활성을 저하시키는 문제점을 확인하였다. 이러한 Co 누출 현상을 방지하기 위해 용탕에 Co를 선제적으로 포화시켜 dealloying 과정에서의 Co 누출을 억제할 수 있었다. 또한 전구체 조성, dealloying 온도 및 반응시간 조절에 따라 나노다공체의 ligament 크기 제어가 가능함을 확인하였으며, 특히 반응시간에 따른 ligament 크기 변화와 이에 따른 암모니아 분해효율 상관관계를 분석하여 나노다공성 구조에 따른 촉매 특성 변화를 고찰하였다.

[상변태3-1 | 13:20] 초청강연

금속복합재료의 적층제조에 대한 고찰 : 정원종 (국과학기술원), 이태규 (한밭대학교), 류호진* (국과학기술원)

Keywords: 적층제조

우주항공, 국방, 원자력 분야와 같은 극한 환경 분야의 금속 적층제조에 대한 수요와 관심이 증가함에 따라, 적층되는 합금의 물성을 더욱 향상시키기 위해 세라믹 강화재를 첨가하는 금속복합재료 적층제조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 경도, 강도, 내열성, 내마모성을 향상시키기 위해 산화물, 탄화물, 질화물 등 다양한 세라믹 강화재를 첨가하여 레이저 기반의 금속 적층제조를 수행한 결과, 금속복합재료의 전통적인 제조공정인 주조나 분말야금 공정에서 나타나는 것과는 다른 상변화 거동이 관찰되고 있다. 따라서 금속복합재료의 적층제조 거동을 분석하기 위해서는 레이저 빔과 세라믹 강화재와의 상호작용과, 금속기지의 용융풀 내에서 강화재의 거동에 대해 충분한 이해가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 적층 제조 시 첨가되는 강화재 종류에 따른 금속복합재료의 적층 미세조직과 물성 변화를 분석한 결과를 토대로 금속 적층제조에서 간과되고 있는 세라믹 강화재의 역할에 대해 고찰해보고자 한다. 사사 이 논문은 한국연구재단의 헤테로제닉 금속적층제조 소재부품연구센터(2022R1A5A1030054) 및 중견연구자지원사업(2021R1A2C22014025) 지원을 받아 수행된 연구임.

[상변태3-2 | 13:40] 초청강연

Naptha cracking plant용 Ni합금의 표면 산화층 종류에 따른 침탄 거동 변화 고찰 : 김동익* (한국과학기술연구원), 김응룡 (한국과학기술연구원, 연세대학교), 심재혁 (한국과학기술연구원), 이영국 (연세대학교)

Keywords: Naptha cracking plant

Naptha cracking plant와 같은 고온 반응로에는 주로 고내식성의 Ni합금으로 제작된 관이 사용되고 있는데, 특히 고온에서의 내식성을 담보할 수 있는 보호성 산화막을 형성하는 것은 관의 수명 향상에 필수적인 요소이다. 특히 Naptha cracking 중 발생하는 탄화층 침착 현상인 coking과 이를 제거하기 위한 고온 연소 decoking 공정이 반복되는 plant 특성상 decoking 공정 중 보호성 산화막의 재생성과 이를 통한 침탄 현상의 저감은 소재의 필수 요건이다. 본 연구에서는 표면에 Cr 산화물층을 형성하는 소재와 Al . 산화물층을 형성하는 두가지 Ni 합금에 대해 Naptha cracking 공정을 모사하는 탄화수소 분위기 열처리 실험을 수행하고 표면 산화층에 따른 침탄, 이에 따른 $M_{23}C_6$, M_7C_3, M_3C_2 탄화물의 형성 거동을 EBSD, EDS, EPMA를 이용하여 두께별로 분석하고, 이에 따른 경도의 변화 및 예상 소재 수명을 고찰하였다.

[상변태3-3 | 14:00]

후판 Dual phase 강재의 미세조직과 기계적 특성 연구 : 현영민* (현대제철 기술연구소, 성균관대학교), 박민호, 오성탁 (현대제철 기술연구소)

Keywords: 후판, 고장력강, 미세구조, Dual phase, EBSD

최근 에너지 절감을 위해 소재의 경량화 및 가공성능 확대를 위한 소성변형능 극한 환경의 산업군에서 기초 물성과는 또 다른 중요한 인자로 자리잡고 있다. 하지만 이러한 철강 소재의 특성은 전통적인 강도학 기반의 물성 특성을 크게 벗어난다. 그 중 저항복과 고강도의 상관 관계, 고강도와 저온인성간 물리적 특성은 점차 한계치로 접근하고 있다. TS 기준 1GPa급 이상의 고강도 소재를 제조하기 위해서는 일반적으로 Q&T(Quenching&Tempering)과 드믈게 TMCP(Thermo Mechanical Control Process) 공정을 적용하여 제조하지만, Q&T강재의 높은 항복비와 TMCP강재의 낮은 생산성으로 인해, 강재의 활용과 생산측면에서 모두 만족스럽지 않은 결과를 가져오고 있다. 이러한 한계점을 극복하기 위해, TMCP와 Q&T 공정을 복합 및 변형하여, 양산 가능한 새로운 제조공정을 도출함으로써 상업생산에 접근한 고강도-저온인성-고변형 소재를 구현하고자 하였다. 본 연구를 토대로 생산된 소재는 페라이트와 마르텐사이트로 구성된 매우 미세한 Dual phase 조직을 가지며 저항복-고강도 특성을 구현하였다. 본 연구는 Dual phase 조직의 균일 연신 구간에서의 물리적 특성에 대하여 연구하였다.

[상변태3-4 | 14:15]

Analysis of the L12 to hP24 Phase Transformation behavior of a Co3Ti precipitate during High Temperature Tensile deformation of a Co-based superalloy system : 민현기 (서울대학교), W. Streit Cunningham (University of California Santa Barbara), 윤국노 (University of California Berkeley), 김민석 (서울대학교), Daniel S. Gianola* (University of California Santa Barbara), 박은수* (서울대학교)

Keywords: Superalloy, Phase Transformation

고효율 발전 등을 위한 가스 터빈 및 우주 산업 등의 발전에 있어, 고온용 구조 소재의 개발이 반드시 필요하다. 이와 같은 목적을 위하여 독특한 미세구조를 가져 고온 물성이 우수한 초합금(superalloy)이 개발되어 다양한 분야에서 활용되고 있다. 특히, fcc 상 안정성이 낮아 면 결함이 발생하기 쉬운 코발트기 초합금의 경우, 부분적인 육방 밀집 구조로의 상변화가 물성에 다양한 영향을 끼칠 수 있음이 보고된 바 있다. 이에 본 연구에서는 Co-Cr-Ti 3원계 초합금 내에서 $L1_2$ 결정 구조를 가지는 Co_3Ti 기반 석출상이 고온 변형 도중 hP_{24} 상으로 변태하는 메커니즘에 대하여 분석하였다. 이러한 변태 과정은 $L1_2$ 화합물의 (111) 면의 구성 변화 없이 적층 순서의 변화만으로 이루어지기 때문에, 연속적인 면 결함의 형성으로 해석될 수 있다. 보다 더 면밀한 분석을 위하여, 변형에 필요한 온도 및 응력 조건과 그에 따른 미세구조 변화가 상변태 여부에 끼치는 영향을 중심으로 변태 중 확산의 관여 여부, 미세 첨가 원소가 상변태에 미치는 영향을 연계지어 해석하였다. 이를 위해 APT, TEM 등의 나노 스케일 분석과, DFT를 통한 시뮬레이션을 병행하여 진행하였다. 위와 같은 연구 결과는 코발트기 초합금의 상변태 메커니즘에 대한 심도깊은 이해를 제공함과 동시에, 향후 코발트기 초합금 뿐 아니라 상변태를 통한 재료의 고온 변형 거동 제어를 위한 초기 단계 연구로써, 다양한 합금군에 적용 가능하다는 점에서 큰 의의가 있다.

제32회 피로 및 파괴 심포지엄
Room 평창2, 10월 29일

[피로1-1 | 15:00] 조청강연

F404 엔진 Fan 1단계 Blade 손상평가 방안 연구 : 김시호*, 권혁준, 박종운, 이홍철 (공군군수사령부)

Keywords: 엔진, Blade, 수명한계품목, 저주기 피로, 수명연장

항공 엔진 구성품 중 회전부품(Rotating Part)를 비롯한 엔진 구조 건전성에 영향을 주는 주요 부품은 일정 수명 도래시 폐기하는 수명한계품목(Life Limit Part)으로 관리한다. 이러한 부품의 수명은 주로 엔진작동시간(Engine Operating Time)이나, 저주기 피로(Low Cycle Fatigue) 등에 의해 설정된다. F404 엔진 Fan 1단계 Blade는 저주기 피로에 주로 영향을 받는 부품으로, 엔진 압축기 Core RPM 자료와 각 RPM별 가중치인 'K-Factor'를 이용하여 등가의 저주기 피로수명한계인 ELCF(Equivalent Low Cycle Fatigue)를 산출하며, 2,500 ELCF 도달시 폐기한다. 수명한계에 도달한 Fan 1단계 Blade의 손상모드는 주로 Dovetail 부위의 Fretting에 의한 마모로, 이에 대한 정량적 측정방법을 연구하였으며, 이러한 정량적 손상평가를 통해 Fan 1단계 Blade 수명연장 방안을 제시한다.

[피로1-2 | 15:15] 조청강연

구조 건전성 평가를 위한 비파괴 검사 활용 현황 및 발전방안 연구 : 권혁준, 김시호, 박종운, 이홍철* (공군 항공기술연구소)

Keywords: 비파괴검사, 항공기, 음향방출, 초음파,

비파괴 검사 기술은 항공기 뿐만 아니라 무기체계 운용 간 구조 안전성 유지를 위한 기반 기술이다. 특히, 타군에 비해 공군은 항공기 예방정비를 위한 단순 기술적용을 넘어서 다양한 부분에서 비파괴 검사를 이용하여 구조 건전성 평가를 진행하고 있다. 그 예로 장기간 고정되어 운영되는 장거리 레이다 구조물의 안전성 평가를 위해 음향 방출(AE, Acoustic Emission) 및 가속도(ACC, Acceleration) 센서를 적용해 안전진단에 활용하고 있으며, 항공기 기골 중 하나인 Bulkhead 검사의 효율성 증진을 위해 위상배열초음파(PAUT, Phased Array Ultrasonic Testing) 적용 방안을 연구 중에 있다. 하지만 지속적인 연구 및 개발 활동에도 불구하고, 급격한 기술발전에 따라 좀 더 높은 신뢰성과 효율성을 갖추기 위해 비파괴 검사 분야에 대한 추가적인 발전적략 수립이 필수적이라 할 수 있다. 따라서 현재 한국 공군의 비파괴 검사 기술수준을 진단하고, 역량 강화를 위한 몇 가지 방안을 제시하고자 한다.

[피로1-3 | 15:30] 조청강연

퇴역한 한국공군 F-4 전투기의 구조건전성 관리 역사와 교훈 : 백세일* (한국과학기술연구원), 이두열 (국방대학교), 김영찬 (공군 항공기술연구소)

Keywords: ASIP, 피로파괴, DI(Damage Index), F-4 전투기, 구조

1969년 월남전 파병의 대가로 도입된 당대 최강 전투기였던 F-4 팬텀은 한국공군 전력의 큰 축을 담당해 오다 지난 '24년 6월 7일 최종임무를 마무리하고 퇴역하였다. 한때 우리나라의 공군력을 동북아 최강으로 만들어 줄 만큼 전력 면에서 그리고 항공기술적 측면에서도 기여한 바가 매우 크고 의미가 있는 전투기이다. 비록 미국에 기술적으로 많이 의존하기는 했지만 F-4 항공기를 운영하면서 갖추게 된 야전급 및 창급 정비능력은 당시 민간 수준에서는 따라오기 힘든 수준의 첨단기술이었고 오랜 시간 운영을 통한 정비기술력의 축적은 지금까지도 큰 영향을 미치고 있다. 당대 전투기들 보다 훨씬 큰 기체로 비록 매우 튼튼하게 제작되었지만 구조적인 측면에서 여러 가지 문제들이 발생하였고 이를 극복하기 위한 도전적인 기술이 적용되었고, 한국공군에서는 사용수명 8,000시간 및 20년을 훨씬 초과하여 50년이상 구조 안전성이 보장된 가운데 운영되었다. DI(Damage Index)를 통한 운용도 기반 구조 수명산출, 수명제한 부위에 대한 비파괴 검사기법 개발 및 정확한 수명산출을 통한 사용수명 설정, 장기운영에 따른 예측하지 못한 부위에서의 피로균열 및 부식 발생에 대한 수리 및 관리 기법 개발, 그리고 운영 중 단순 사고로 인해 파손된 복합재 샌드위치판넬 구조물에 대한 수리기법 개발 등 구조 건전성과 안전성을 보장하기 위한 다양한 기술적 경험들은 현재 한국공군의 항공기 운영과 항공기 구조 관리에 대한 많은 기술축적을 제공하였다. 특히, 한국공군에 ASIP(Aircraft Structural Integrity Program)이라는 용어를 처음 접하게 해준 기체라 해도 과언이 아니라고 할 만큼 구조수명관리에 미친 영향은 크다. 본 연구에서는 한국공군에서 F-4 전투기를 운영하면서 경험한 항공기 구조건전성 및 피로파괴, 구조수리에 대한 기술적 경험사례를 통해 현재 운용중인 그리고 미래에 운용 예정인 전투기들의 구조관리를 위한 방안과 교훈을 제공하고자 한다.

[피로1-4 | 15:45] 조청강연

무기체계 구조적 손상 주요 사례 및 원인 고찰 : 이병현, 조형진, 손경숙, 이홍철* (공군 항공기술연구소)

Keywords: 무기체계, 구조적 손상, Root Cause, Failure Analysis

공학적인 손상원인분석(Engineering Failure Analysis)은 무기체계 운영유지 단계에서 군수지원 절차를 안정적으로 수립 및 적용하기 위한 핵심 역할을 하고 있다. 무기체계 건전성을보장하기 위한 구성품들의 점검/교환주기는 원 제작사에서 발행한 기술도서를 기본적으로 적용하고 있다. 하지만 개발단계에서 예상하지 못한 결함 사례가 운영유지 단계에서 발생하고 있으며, 환경요인, 제작요인 등 다양한 원인에서 기인한다. 이 중에서 구조적 손상원인분석(Structural Failure Analysis)은 무기체계 정비이력, 작용하중 등 결함 유발 가능 요인에 대해 문헌적/해석적/실험적 기법을 통해 근본원인(Root Cause)를 규명하고, 이를 통해 구성품 점검주기/방법 등의 군수지원 절차를 개선함으로써 무기체계 안전성을 유지한다. 공군 항공기술연구소는 1991년 창설 이후 공군 뿐만 아니라 육/해군, 국과연 등 다양한 기관의 무기체계 결함에 대한 손상원인분석을 지원하고 있다. 본 연구에서는 항공기술연구소에서 지금까지 축적한 보고서 데이터를

기반으로 무기체계 종류, 계통, 결함유형별 구조적 손상원인 규명 및 운영유지 절차 개선 사례를 고찰하고, 피로파괴, 부식, 열응력 등 주요손상 발생 메커니즘을 분석하였다.

[피로1-5 | 16:00] 조청강연

인공지능기반 ML-CNT필름을 활용한 알루미늄 합금의 피로균열전파 거동 분석 : 좌비오, 김도현, 이승환, 최현성, 박현일, 석무영, 이동준, 권용남* (한국재료연구원)

Keywords: 알루미늄 합금, FCP, 기계발광, DIC, 인공지능

7xxx 계열 알루미늄 합금은 높은 비강도, 피로 수명, 부식 저항성, 응력 부식 균열 저항성 및 파괴 인성을 지닌다. 또한, 판재로 가공하기 용이하여 항공우주 및 자동차 산업에서 주요 구조 부품으로 널리 사용되고 있다. 금속 구조물의 피로 균열 전파 특성을 정밀하게 이해하는 것은 특히 항공우주 구조물에서 재료의 신뢰성을 확보하는 데 필수적이다. 구조물의 신뢰성을 유지하기 위해서는 비파괴 검사에서 감지된 균열이 치명적인 결함으로 발전하기 전에 적절한 대응이 필요하며, 이를 위해 피로 균열의 단계별 ΔK 값에 대한 면밀한 분석이 요구된다. ML-CNT 필름은 인장, 압축, 전단 및 진동과 같은 기계적 자극에 반응하여 발광하는 기계발광(ML) 물질로 구성되어 있다. ML 강도는 재료에 작용하는 응력과 변형에 직접적으로 관련이 있으며, 필름 내에 포함된 탄소나노튜브(CNT)는 디지털 이미지 상관(DIC) 기법에서 Speckle 패턴 역할을 하여, DIC 분석의 적용을 용이하게 한다. 본 연구에서는 ML-CNT 필름을 활용한 구조물의 안전 진단 평가를 위한 새로운 접근 방식을 제시하고자 한다. ML-CNT 필름을 이용한 피로 균열 전파 실험을 통해 피로 균열과 관련된 K 값을 도출하고, 이후 DIC 데이터 및 ML 강도 데이터를 인공지능 모델에 적용하여 ΔK 값과의 상관관계를 분석함으로써 피로 균열의 진행을 정량적으로 평가하고자 한다.

[피로2-1 | 16:25] 조청강연

Controlling high-temperature crack initiation in high-entropy alloys through boron-driven precipitate management : Seonho Shin, Jae Bok Seol, and Hyokyung Sung* (Kookmin University)

Keywords: high entropy alloy, boron edition, high temperature

A significant amount of boron is added to high-entropy alloys (HEAs) to achieve superior strength at high temperatures. The grains are refined by the pinning effect of boron:however, an excessive amount of boron leads to boride formation at grain boundaries. In this study, we report the effect of boron addition on the tensile properties of HEAs at high temperatures. Microstructural analysis reveals the presence of fine and coarse hcp μ phases in both specimens. The specimens are named as B50 and B500 according to boron addition in each specimen (50 ppm and 500 ppm, respectively). The volume fraction of coarse μ phase in the B50 specimen is higher than that in the B500 specimen. The growth of the μ phase is suppressed by boron segregation at the μ phase boundary, which is confirmed by atom probe tomography analysis. Despite the higher boron content, the B500 specimen exhibits greater ductility at high temperatures compared to the B50 specimen. Cracks initiate at the μ phase boundary due to severe stress localization, indicating that controlling the size of the μ phase is crucial for enhancing tensile properties at high temperatures. Therefore, boron addition effectively limits the growth of the μ phase, thereby improving the tensile properties at high temperatures in HEAs.

[피로2-2 | 16:40] 조청강연

베이지안 탐색 이론을 사용한 등가초기균열 크기 추정 : 이두열* (국방대학교)

Keywords: Equivalent initial flaw size, Bayesian search theory, structural reliability analysis, fatigue crack growth

초기균열의 크기는 균열성장해석 결과에 매우 큰 영향을 미친다. 기존의 초기균열 크기는 대표적인 균열성장 곡선(Master Crack Growth Curve)을 사용하여 관찰된 균열 크기에서 역전파(Backpropagation)하는 방식으로 추정하였다. 이 방법은 균열성장 곡선의 변동성을 고려하지 않는다는 문제와 더불어 안정적인 성장이 불가능한 매우 작은 크기의 균열을 출력한다는 문제가 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 베이지안 탐색 이론(Bayesian Search Theory)을 사용한 등가초기균열 크기(Equivalent Initial Flaw Size) 추정 방법을 개발하였다. 베이지안 탐색 이론은 주로 해상에서 실종된 선박이나 항공기 등을 찾기 위해 사용되는 방법으로 간단하면서도 매우 효과적으로 물체의 위치를 추정할 수 있다. 예를 들어 에어프랑스 447편이 2009년에 대서양 가운데에서 실종되었을 때 블랙박스를 찾는데 큰 역할을 수행하였다. 당시 일년 간의 수색이 무위로 돌아간 후 2년차 수색에 베이지안 탐색 이론에 기반한 위치 추정치를 사용하여 불과 며칠만에 블랙박스를 찾은 바 있다. 스케일은 큰 차이를 나타내지만 동일한 이론을 사용하여 타당한 초기균열 크기를 추정할 수 있음을 보였다. 이를 위해 다양한 가능도 함수를 융합하여 가능도가 낮은 초기균열 크기를 필터링하는 가능도 함수를 개발하였다. 검사 신뢰성, 피로한도, 피로균열 하한계(Threshold) 등의 정보를 사용한다. 융합된 가능도 함수에 초기균열 크기의 사전분포를 곱하여 초기균열 길이의 사후 분포를 추정한다. 이때 무정보 사전분포의 사용도 충분히 타당한 결과를 나타낸다. 개발된 방법은 동적 베이지안 네트워크에 반영하여 구조신뢰성분석에 사용이 가능하며, F-4 항공기 주익 리브(Rib) 사례를 통해 타당함을 보였다.

[피로2-3 | 16:55] 조청강연

유도탄 발사대 Spring 작동 매커니즘 및 교환주기 연장 연구 : 김재철*, 박종수, 이현수, 김남태, 이홍철 (공군 항공기술연구소)

Keywords: Spring, 성능평가, 교환주기 연장, 열화모델

시한성 교환품목은 장비부품 중 중요한 기능과 안전에 영향을 미치는 품목으로써 일정한 날짜나 사용 기간이 경과하면 부품 상태와 관계없이 교환하는 품목이다. 만약 교체가 이루어지지 않으면, 부품의 상위 무기체계 운용에 불가동 및 임무제한 등의 항공작전

영향성을 발생하는 품목으로, 재고 부족 시 교환주기 연장 및 긴급 재고 확보 등을 통해 항공작전 영향성을 해소한다. F-15K 및 F-16 항공기 유도탄 발사대에는 Retract Spring 및 Dampener Spring 등 다양한 구성품이 시한성 교환품목으로 지정되어 있으며, 해당 구성품의 대다수는 FMS Foreign Military Sales 대외군사 판매로 획득이 이루어지는 국외도입 품목이다. 최근 FMS 보급지연 및 재고 부족으로 Retract Spring 및 Dampener Spring 품목의 교체 수량이 부족하여 유도탄 발사대 운용제한 발생이 예상되었고, 이를 해결하기 위해 항공기술연구소는 유도탄 발사대 Spring 작동 매커니즘 및 교환주기 연장 연구를 수행하였다. Spring의 성능평가는 균열 및 부식 등 정상적인 운용에 영향을 미치는 주요 손상 확인 및 EDS Energy Dispersive X-ray Spectroscopy를 통한 재질 분석이 우선으로 수행되며, 해당 품목에 대한 설계자료와 작동 매커니즘 규명을 통해 성능판단에 대한 주요 Parameter 선정 및 Motion Equation 수립하여 작동 필요조건 충족 여부 검토를 수행하였다. 이후 성능평가 결과를 바탕으로 열화 모델을 선정하여 Spring의 연장사용 기간 예측 및 판단하여 최종적으로 교환주기 연장을 설정하였다. 따라서 본 연구에서는 무기체계 시한성 교환품목을 대상으로 재질 분석 및 작동 매커니즘 분석 그리고 품목별 열화 모델을 활용하여 교환주기 연장에 대한 검토 절차 수립 및 결과를 제시한다.

[피로2-4 | 17:10] 초청강연

CAD/PAD 교환주기 연장을 위한 성능평가 연구 : 김남태, 설진욱, 김재철, 나인철, 이홍철* (공군 항공기술연구소)

Keywords: CAD/PAD, 사출계통, Explosive Device, 추진제, 성능평가

CAD/PAD(Cartridge Actuated Device/Propellant Actuated Device)는 조종사 비상탈출을 위한 사출계통 구성품으로 고체 추진제 또는 충진물에 의해 작동되는 품목이다. CAD/PAD는 유사시 조종사 안전과 직결되는 구성품으로, 성능을 평가하여 수명을 연장하거나 임무를 조정하는 탄약과 달리 저장 또는 장착수명 도달시 반드시 교환하는 시한성품목으로 관리된다. 공군이 운영 중인 수백 종의 CAD/PAD는 FMS 등 다수 조달원으로부터 확보되고 있으나, 생산지연, 품질검사 불합격 등 다양한 원인으로 인해 적기에 확보가 지연되는 문제가 지속 발생하고 있다. CAD/PAD 확보 지연으로 인한 적기 교체 불가시 항공기는 불가동 상태가 되며, 이는 항공작전 수행에 지대한 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 이러한 CAD/PAD 확보지연 문제에 선제적으로 대응하기 위해 공군 항공기술연구소에서 수행 중인 교환주기 연장을 위한 성능평가 결과를 제시한다. CAD/PAD는 크게 EED(전자식 기폭관, Electro Explosive Device) 품목과 기타 기폭성 품목으로 구분되며, 각각의 군사표준규격에 따른 일련의 검사 및 시험을 거쳐 수명연장 가능여부를 최종 판단한다. 성능평가를 위한 시험절차는 다음과 같다. 먼저, 각 품목에 대한 비파괴검사 및 주요 규격을 측정하는 비기능검사를 수행하고, 이후 운영 중 온도변화 및 진동 등을 모사한 가속노화시험을 수행한다. 가속노화시험을 거친 시료는 최종적으로 실제 성능 발휘 여부를 판단하기 위해 기능시험을 수행하고, 시험결과 Data를 분석하여 한시적 교환주기 연장 가능여부를 최종 판단하게 된다. 지속적인 성능평가 연구를 통해 항공기술연구소는 2020년 이후 총 22품목에 대한 성능평가를 수행완료하였으며, 2024년에는 확보지연 중인 5종 CAD/PAD에 대해 1년간 교환주기 연장을 적용하여 항공기 작전제한을 해소하는 성과를 이루었다.

첨단산업용 고청정 특수봉강 소재부품기술 개발 심포지엄
Room 평창3, 10월 29일

[고청정1-1 | 09:00] 초청강연

회전계용 고청정 내마모 특수강 및 대형 정밀기어 부품 제조 공정 최적화-2 : 이채훈, 김남용, 이진모*, 장희상 ((주) 태웅), 김광민, 윤상문, 권거영 (우림PTS), 강영조, 강신곤, 심상철 (동아대학교)

Keywords: 내마모 특수강. 열간 단조, Knife 금형, 단조 공정 최적화

최근들어 해양 플랜트 및 해상용 풍력발전기 등의 대형화 추세에 발맞추어 대형화 되는 탑재 설비 특히, 대형 기어박스에 요구되는 하중과 수명이 크게 늘어나는 추세로, 소재 설계 및 제작 기술의 향상을 통해 대형 기어 소재의 고도화 및 품질 안정화가 필요한 실정이다. 이에 소재부품기술개발사업의 전략핵심소재자립화 사업으로 "회전계용 고청정 내마모 특수강 및 대형 정밀기어부품(1000 mm-3000 mm) 제조 기술개발"을 통해 수입에 의존하고 있는 해양플랜트, 제철플랜트 및 풍력발전 산업용 중형 및 대형 기어박스 부품(1,000 mm ~ 3,000 mm)의 국산화를 위한 개발을 목표로 2단계에 걸쳐 연구를 수행하고 있으며, 1단계 연구내용으로 기존 조성의 기어 부품에 대해 제강-단조-열처리 및 치절가공, 고주파 공정 등 최적 제조 공정을 개발하였다. 2단계 연구목표로서 1단계에서 개발된 고청정 내마모 특수강에 대해 단조 공정에서의 Knife 금형 적용 등 원가 절감형 양산공정을 개발하는 연구를 수행하였다. Knife 금형은 열간단조를 위해 가열된 소재를 프레스 절단을 적용할 때 사용하는 금형으로 Knife 금형 적용 시 원소재를 필요한 크기로 준비하는 공정의 절감으로 예열에 필요한 가스비용 및 절단 소요 시간을 절약할 수 있으며, 운반 및 취급에도 용이하게 작용하여 경제적으로 이점을 꾀할 수 있다. Knife 금형 적용 시에는 절단 각도에 따라서 절단면의 특성이 변하게 되고, 이러한 절단면의 특성은 최종 단조제품의 품질에도 영향을 줄 수 있기 때문에 FEM simulation을 통해 Knife 금형의 각도 및 절단면에 대한 연구를 수행하였다.

[고청정1-2 | 09:20] 초청강연

반도체용 고청정 SUS316L 봉강/강관 소재의 품질 개선 현황 : 정세지*, 이승욱, 김덕령*, 이강희, 강수석, 김한규, 안세호 (세아창원특수강), 김태윤 (한국금속재료연구조합)

Keywords: SUS316L, inclusions, Basicity, welding slag

반도체 공정이 고도화됨에 따라, 최종 제품의 성능은 공급 가스의 품질 및 공급가스안의 청정도에 좌우되며, 이러한 가스를 이송하는 강관 및 봉강 소재의 청정도 요구수준 또한 높아지고 있다. 이번 발표에서는 반도체산업용 소재에서 발생할 수 있는 현업 애로사항들을 어떠한 방식으로 검토하고 개선하였는지에 대해 발표하고자 한다. 먼저 강관 내면에서 Pit 발생으로 반짝이는 현상으로 보이는 문제의 경우 개재물이 전해연마(Electro Polishing) 후 탈락되어 발생되는 문제로 제강에서 slag의 염기도 변경을 통하여 개재물의 조성과 수를 제어함으로써 개선하였다. 강관 소재 이음부 용접 시 발생하는 slag에 관해서는 제강 조업 중 성분 변경을 통하여 BCC 조직의 분율을 증가시켜 조직 내 용접 slag 발생 원소들의 용해도를 증가하였다.

[고청정1-3 | 09:40] 초청강연

Improvement of cleanliness of austenitic stainless steel for the high-end products (Semiconductor industry) : JOO HYUN PARK* (Hanyang University)

Keywords: Ladle refining, Reoxidation, 316L stainless steel, Tundish, Slag

The effect of slag composition on the refining and reoxidation behavior of Si-killed 316L stainless steel during ladle and tundish processes were investigated in an induction furnace equipped with a MgO crucible at 1873 K and 1773 K, respectively. For the ladle refining process, the total oxygen (T.O.) content decreased with increasing the Vee ratio (CaO/SiO2=C/S) of the CaO-SiO2-Al2O3-MgO-CaF2 ladle refining slag, but the effect of CaF2 content on the T.O. can be neglected at high C/S condition. The CaO-SiO2-Al2O3-MgO system liquid inclusions can be found at C/S<1.3, while the formation of spinel and MgO inclusions were observed at the C/S>1.7 for a fixed CaF2 content (=10%). For the tundish metallurgy process, the liquid and SiO2-rich Mn-Si-O system inclusions were found as the liquid steel reacted with rice husk ash (RHA) insulating powder and RHA-CaO-SiO2 flux. The liquid Mn-Si-Al-O system inclusions were observed as reacted with RHA-CaO-Al2O3 flux. The results indicated that the reoxidation of the liquid steel is aggravated as the RHA was used, whereas the RHA-CaO-Al2O3 can facilitate the removal of the inclusions during the tundish metallurgy process.

[고청정1-4 | 10:00] 초청강연

Finite Element Analysis for Life Prediction of Hot Extrusion Dies : Byung Jin CHOI, Hyungcheol Lim, Se-Hwan Chun, and Changhyok Choi* (FMK Inc.)

Keywords: Extrusion, Extrusion dies, Stainless, Hot extrusion

Analysis of die failure plays an important role in the prediction and prevention of die failure, and subse- quently in improving economics of any metal-forming process. Industrial experience has shown that fracture is the most common failure modes for high temperature stainless steel extrusion dies. The objective of this study is to analyze the extrusion process of stainless steel tubes and predict the life of extrusion tools such as dies and mandrels. With the help of finite element software FORGE, the extrusion process was

simulated and potential fatigue locations in the die were first identified to obtain dynamic stress and strain values. The applicability of the damage model was evaluated for a specific high temperature extrusion die made of H13 steel with STS316L as the billet material. Considering the land length of the extrusion section and the radius of the die as geometrical features, various simulations were performed to investigate the effect of process and design features on the useful die life. In addition, the Archard wear model was applied to analyze the wear of the die and comparison with the analysis after the wear test was performed.

[고청정2-1 | 10:30] 조청강연

첨단산업용 고청정 특수봉강의 GVC(Global Value Chain) 분석 : 김신형* (포스코IH), 김태윤, 정철환 (한국금속재료연구조합), 조유리 (포스코IH)

Keywords: 스테인리스스틸, 무계목강, 벨류체인, 반도체, 고부식성

반도체를 포함하는 첨단산업에는 고부식성 가스가 사용되며, 이를 이송하기위해 사용되는 파이프, 튜브, 피팅등에는 엄격한 소재 관리가 요구된다. 국내 반도체 제조 산업의 높은 경쟁력과는 달리 반도체 설비는 해외의존도가 높으며, 설비 제조에 사용되는 반도체 부품과 소재 또한 해외의존도가 높다. 국내에서는 다년간 기술개발을 통해 소재 및 부품 개발을 수행해왔으나, 시장을 선도하고 있는 미국, 일본등의 반도체부품사는 업스트림으로는 업력이 오래되고 기술력이 보장된 반도체소재사와 협력을 지속하고 있고, 다운스트림에서는 반도체설비사와 강한유대관계를 가지고 있다. 본 조사분석에서는 첨단산업에 사용되는 고청정강 소재 관점에서 반도체 부품사, 반도체설비사, 반도체사로 이어지는 국내외 벨류체인분석을 통해 국내외 핵심플레이들의 연결 관계, 기술개발현황, 재무현황등의 파악을 수행하였다. 이를 통해 국내기업의 경쟁력을 조망하고 시장진입전략을 모색하고 소재부품국산화 산업에 기여하고자 한다.

[고청정2-2 | 10:50] 조청강연

반도체 가스 이송용 극청정 부품 자립화 성과 : 이동윤, 성열주, 이성영, 강두홍* ((주)아스플로)

Keywords: 극청정 무계목강관, 극청정 피팅, 밸브, 레귤레이터, 반도체 장비부품

반도체 제작라인에서 가스공급용 무계목 강관, 피팅, 밸브, 레귤레이터용 고청정 스테인리스 스틸 소재는 90% 이상 일본계 소재 공급업체(KOBLCO, NSSMC, Daido 등)로부터 수입에 의존하고 있다. 특히 국내에서 개발된 제품은 부식성이 적은 가스 분배 공정에 사용되고 있으나, 반도체 제조 핵심 공정인 에피텍시, 에칭, 클리닝, 이온주입, 도핑 공정 등에 사용되는 고부식성 가스공급용 부품의 경우 일본산 소재의 비중이 높은 편이다. 따라서 고부식성 가스공급용 부품은 극청정 및 고도의 표면제어 등을 통한 고내식성 제품의 사용이 필수적이므로 국내 소재의 성능향상 및 표준화 기술의 개발 필요성이 대두되고 있다. 연구개발 결과로 국산 고청정 강관재를 활용한 UHP급 강관재 개발 및 국산 고청정 봉강재를 이용한 반도체 공정 가스제어용 응용 부품 등을 생산 및 판매하고 있으며, 이러한 성과를 바탕으로 “산업통상자원부 선정 핵심전략기술로 으뜸기업 지정” 및 “2023년 국가연구개발 우수성과 100선”에 선정되었다. 향후 기술개발을 통하여 내수 시장의 대일의존도 탈피와 더불어, 내수에서 축적된 기술력을 기반으로 해외시장 개척 확대, 대기업과 중견 및 중소기업이 조화된 자기완결적(Self-Contained) 수요-공급망 구조를 국내에 구축하고자 한다

[고청정2-3 | 11:10] 조청강연

반도체 공정용 고청정 STS 강관 소재의 전해연마 표면처리 연구 : 양현석, 정우철, 공만식* (고등기술연구원)

Keywords: 반도체 산업, 316L 스테인리스 스틸, 전해연마, 극청정화, 부동태화 공정

반도체 산업에서는 다양한 독성 가스를 사용하기 때문에 가스 운반 유틸리티의 내부식성 및 극청정 표면이 필수적이다. 이러한 요구에 따라, 반도체 산업용 가스 배관에는 뛰어난 내부식성을 가진 316L 스테인리스 스틸 소재가 사용되며, 배관 내벽면의 극청정화 및 부동태 필름 형성을 위해 전해연마 표면처리 공정이 필요하다. 본 발표에서는 국내에서 개발된 고청정 스테인리스 스틸 튜브의 내벽면 극청정화를 위한 전해연마의 다양한 공정변수에 따른 표면처리 결과를 소개한다. 본 연구에서는 연마 품질과 효율이 가장 우수한 전류밀도 구간을 선정하기 위해 산업용 DC 정류기를 활용하여 공정변수에 따른 전류-전압 거동을 분석하였다. 또한 튜브 내벽면의 초기 거칠기가 연마 효율에 미치는 영향과 합금 게재물로 인한 전해연마 불량 원인을 분석하였다. 전해액의 사용 시간 증가에 따른 순도 감소와 이로 인한 연마 품질의 변화도 조사하였다. 마지막으로, 전해연마 후 부동태화 공정을 적용하여 스테인리 스틸 표면의 Cr/Fe 비율 변화에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구는 반도체 공정에서 요구되는 고청정 배관의 제조 공정에 중요한 정보를 제공하며, 향후 반도체 가스 배관의 내구성과 성능 향상에 기여할 것으로 기대한다

[고청정2-4 | 11:30] 조청강연

반도체 공정용 가스가 STS316L 표면 전해연마층의 특성에 미치는 영향 : 이돈희, 강두홍, 김풍연, 장시영* (한국항공대학교)

Keywords: STS316L, Electropolishing, Cl_2 gas, Surface properties

본 연구에서는 VIM/VAR 공정으로 더블 멜팅된 STS316L 강관에 반도체 공정용 가스인 Cl2 gas를 각각 1~9일간 흘린 후, 표면 전해연마층의 조도, 두께, 성분 변화 등의 특성을 조사하였다. 표면조도 측정기(알파스텝)를 통해 전해연마된 관 내부의 표면조도를 측정하였고, Cl2 gas에 노출된 시간이 1, 3, 5, 7, 9일로 증가함에 따라 각각 37, 25, 37, 28, 18 nm로 표면조도는 뚜렷한 변화가 없었다. 그러나, 반도체 공정용 가스에 의한 전해연마 층의 두께 변화를 AES로 측정한 결과 1일간 노출된 시편의 경우 3.18 nm, 9일의 경우는 0.51 nm로 시간에 따라 전해연마층의 두께가 감소하였다. 전해연마층의 두께변화를 토대로 측정한 CPR(corrosion penetration rate)은 1.22×10^{-4} mm/yr로 부식 침투율의 허용 범위인 0.5mm/yr보다 낮았고 또한, 노출시간에 따른 Cr/Fe, CrO/FeO ratio 및 성분은 XPS를 이용하여 비교 분석하였다. Acknowledgements This work was supported by Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE, Korea) under Industrial Technology Innovation Program, No. 20009937

여성세션 심포지엄
Room 평창3, 10월 29일

[여성1-1 | 13:30] 초청강연

금속 전공에 기반한, 그러나 금속에 국한되지 않는. : 장혜정* (한국과학기술연구원(KIST))

Keywords: 전자현미경, 금속, 고체산화물수전해, 미세먼지

금속공학을 전공한 연구자로서, 금속에만 국한되지 않은 다양한 재료 연구의 세계에 발을 디디며 느낀 도전과 성취를 재료 연구자들과 나누고자 합니다. 전자현미경을 활용한 미세구조 분석 전문가로서, 합금에서부터 고체산화물 수전해, 미세먼지, 강유전체, 고분자 재료에 이르기까지 다양한 재료와 마주하며 움과 고민, 그래난 신선한 아이디어들을 공유합니다. 특히 초미세먼지와 고체산화물 수전해 연구의 결과를 바탕으로, 그 과정을 흥미롭게 소개하고자 합니다.

[여성1-2 | 14:00] 초청강연

복합소재의 계면 특성이 미치는 영향 : 신세은* (순천대학교 신소재공학과)

Keywords: 금속;복합재료;미세조직;계면

비철금속(알루미늄, 타이타늄)과 철강(마르텐사이트, TWIP, TRIP)을 기반으로 한 복합소재를 통해 다양한 미세조직을 설계하고 제조함. 그 결과, 다양한 계면 특성에 따라 나타나는 기계적/기능적 특성을 평가하여 미세조직-특성 상관관계를 도출함.

[여성1-3 | 14:30] KOFWST-KIM MMI 젊은 연구자상 수상기념강연 Canceled

Exploration of optimal heterostructured material through modeling approach : Kim Yongju* (POSTECH)

Keywords: Heterostructured material, finite element method, dislocation based constitutive model

Heterostructured materials have emerged as advanced materials, offering the potential to overcome the traditional trade-off between strength and ductility by incorporating both soft and hard domains. In these materials, the soft domains experience plastic deformation prior to the hard domains that primarily exhibit elastic behavior. The mechanical properties of these materials are profoundly influenced by microstructural factors, including the composition, volume fractions, and morphology of the soft and hard domains. However, fabricating heterostructured materials poses substantial challenges due to the complexities in controlling internal microstructures. To address these challenges, finite element method (FEM) simulations have been developed, incorporating user-defined subroutines based on dislocation theory and experimental analysis. This methodology allows for the precise quantification of hetero-induced deformation (HDI) strengthening at the interfaces between soft and hard domains, thereby enabling the efficient exploration of optimal microstructural configurations to maximize HDI strengthening.

[여성1-4 | 14:40] KOFWST-KIM MMI 젊은 연구자상 수상기념강연

Properties of Electroplated Iron-Nickel Alloy with Anomalous Behavior under Various Plating Conditions : nayoung Kang and Jae-Ho Lee* (Hongik University)

Keywords: Fe-Ni invar alloy, Electrodeposition, Anomalous codeposition

Fine metal mask (FMM), a key component in RGB patterning of OLED displays, requires dimensional stability at high temperature and Fe-Ni invar (Fe 64-Ni 36 wt%) has been used as the material of FMM due to its extremely low coefficient of thermal expansion. However, the thickness limitation of conventional FMM, fabricated by wet etching of extruded invar sheet, emerges as the resolution of OLED becomes higher. For this reason, some methods to overcome this problem have been proposed in recent years and electroplating is considered one of them with relatively simple operation and low cost than others. In this research, Fe-riched Fe-Ni alloy films were electroplated, varying the operating conditions: bath concentration, current density, current types, rotating speed etc. The deposits and plating bath were analysed to investigate the effects of each parameter on the plating behavior. The anomalous codeposition was observed in all conditions, where the less noble Fe is reduced preferentially than more noble Ni. In addition, the deposits exhibited compositional inhomogeneity that the Fe content on the back(electrode) side was higher than that on the front(bath) side.

[여성1-5 | 14:50] KOFWST-KIM MMI 젊은 연구자상 수상기념강연

상온 및 고온 압축하중시 변형률 속도가 준안정 Ti-12.1Mo-1.0Fe 합금의 미세조직과 기계적 특성 변화에 미치는 영향 : 진인경, 이동근* (국립순천대학교)

Keywords: Titanium beta alloy, Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) test, microstructure, mechanical property

타이타늄 및 타이타늄 합금은 고강도, 우수한 내식성의 장점을 가져 첨단 운송수단 소재 부품으로 각광받는 소재이다. 특히, 에너지 고효율화, 탄소 중립과 같은 전세계적인 환경 규제에 따라 경량 소재로서 주목 받고 있으며, 증가하는 자동차 및 항공용 부품 소재의 수요를 만족하기 위해 가격 경쟁력을 갖는 합금의 개발 중요성이 대두되고 있다. 이에 기존 타이타늄 합금이 갖는 고가의 합금원소 문제를 해결하고 고강도 특성을 갖는 신합금을 개발하기 위해, 저렴한 Mo, Fe를 첨가한 준안정 Ti-12.1Mo-1.0Fe 합금을 설계하였으며 압축 변형 하에서의 미세조직 및 기계적 특성 변화 거동을 분석 및 평가하였다. 본 연구에서는 준정적과 동적 환경에

서 $1.0x10^{-4}/s$~$10^{-1}/s$과 $3.0x10^{3}/s$, $5.0x10^{3}/s$, $6.0x10^{3}/s$의 다양한 변형률 속도를 인가하여 압축 하였으며, 조건 별 미세조직과 기계적 특성을 비교 분석하였다. 결과적으로 Ti-12.1Mo-1.0Fe는 준안정 특성에 따른 twin의 발생과 변형률 속도 강화에 의해 최대 1350MPa의 압축 강도와 370Hv 이상의 우수한 Vickers hardness를 가지는 고강도 합금의 특성을 나타내었다.

2024 WISET 공학연구 팀제 결과 발표대회 심포지엄
Room 평창3, 10월 29일

[WISET1-1 | 15:30]
A copolymer with a dynamic disulfide network for a lithium-ion battery cathode polymer binder : Yeon Jeong Nam, Trong Danh Nguyen, Mingi Kim, Yeonwoo Ryu, Yeji Bang, and Junseop Lee* (Gachon University)
Keywords: Disulfide bond, polyethylene glycol, binder, capacitor

Polymer binders are being actively researched in energy storage applications because of their high operating potential and cycle stability. Polymer chains used in polymer binders have polar functional groups for high ionic conductivity. However, the polar functional groups in the polymer structure have limitations that not only interfere with the movement of ions through interchain interaction, but also prevent the penetration of the polymer structure into the electrode material. In this paper, a copolymer into which a dynamic disulfide bonding network was introduced based on polyethylene glycol (PEG) was synthesized to control the polar functional effect of the polymer chain. The copolymer was then applied as a lithium-ion hybrid capacitor binder. The copolymer not only preserved excellent ionic conductivity of PEG at a certain level (from 6.3 × 10−4 S cm−1 to 3.73 × 10−4 S cm−1) but also decreased the polarity of the material due to the alternating presence of the nonpolar disulfide chain, thereby reducing crystallinity and dielectric permittivity (from 1460 to 246). In addition, the disconnection of the dynamic disulfide bond caused a decrease in viscosity of the polymer binder above the melting point (68.5 °C), allowing smooth penetration into the electrode material, resulting in a decrease in the overall resistance of the device. As a result, the copolymer-based polymer binder showed better energy storage performance and cycle stability than a commercial PEG-based device.

[WISET1-2 | 15:45]
Modification of ZnO@Graphene Nanocomposites as Host Materials for Dendrite-Free Lithium Metal Anode : Jeong-A Kim, Byeong-Jun Kang, Gyoo-Rin Kim, Eun-Jin, and Hyun-Kyung Kim* (Kangwon national University)
Keywords: Li metal battery, host materials, ZnO@graphene nanocomposite, Lithiophilic sites, Microspheres, Spray dryer.

Lithium metal is the most promising anode material for next-generation secondary batteries. Although lithium metal has ideal properties such as high theoretical capacity (3,860 mAh/g), low density (0.534 g/cm^3), and low electrochemical potential (-3.04 V vs. standard hydrogen electrode), it presents challenges due to the formation of a non-uniform anode interface. Lithium metal has a high self-diffusion barrier (0.41 eV), which leads to dendritic growth that can penetrate the separator and reach the cathode, causing a cell explosion. In this study, a dendrite-free lithium metal anode was designed by modifying a ZnO@graphene nanocomposite to serve as a suitable lithium host. ZnO nanoparticles, known for their lithiophilic properties, can reduce the energy barrier for lithium nucleation. Additionally, graphene, with its strong mechanical rigidity and excellent electrical conductivity, helps maintain structural integrity during repeated charging and discharging processes. The ZnO@graphene nanocomposite was assembled into microspheres using a spray dryer, and nanopores were introduced through catalytic carbon gasification to shorten lithium ion pathways. The resulting porous spherical structure of the ZnO@graphene nanocomposite provided an optimal architecture for facilitating lithium ion transport, leading to the formation of a stable anode interface. Moreover, carbonyl groups (C=O), reported to exist mainly at edge sites in the pores of graphene, are known for their lithiophilic properties, facilitating uniform lithium electrodeposition. The ZnO@porous graphene microspheres demonstrated superior performance compared to samples without the introduction of ZnO or pores.

[WISET1-3 | 16:00]
The Role of Carrier Ion-ligand Interaction on Intercalation Potentials and Phase Evolution of Berlin Green Cathodes in Rechargeable Batteries : Jeong Yeon Heo, Geunsu Kim, Daeun Kim, Hyunjin Kim, and Ji Hoon Lee* (Kyungpook National University)
Keywords: Intercalation compound, Prussian blue analogues, Mobile ion–ligand interaction, Redox potential tuning, X-ray diffraction, X-ray absorption fine structure

Intercalation and deintercalation are fundamental processes in battery electrodes that involve the reversible addition and extraction of carrier ions such as lithium (Li) and sodium (Na) ions into a host framework. During intercalation, carrier ions diffuse into and occupy specific crystallographic sites within the host framework which comprises transition metal (TM) ions and anionic ligands. Although various parameters can influence intercalation potentials, they are primarily determined by the redox potentials of TM ions resulting from TM–ligand interactions. This notion is attributable to the negligible interaction between carrier ions and ligands in typical oxide materials. In this study, we explore the impact of carrier ion and ligand interactions on the electrochemical potential of host frameworks using Berlin green ($Fe^{3+}[Fe^{3+}(CN)_6]$) cathodes for Li- and Na-ion batteries. A combination of X-ray characterizations and electrochemical evaluations reveal that the strong carrier ion–ligand interaction, affected by the type and concentration of carrier ions, can not only modify the electronic structure of Fe ions but also influence the intercalated structure of BG cathodes, thereby tuning the

intercalation potentials during battery operation. Specifically, the stronger covalent interaction of Na–CN units compared to that of Li–CN units imposes rhombohedral distortion at the fully sodiated state and increases the working potential of high-spin Fe ions by 0.33 V. Additionally, thermodynamic calculations reveal significant differences in the Gibbs free energies of lithiated and sodiated phases (i.e., $Li_xFe_2(CN)_6$ and $Na_xFe_2(CN)_6$). This study highlights the influence of carrier ion–ligand interactions on the electrochemical potentials and dynamic phase evolution of battery electrodes.

[WISET1-4 | 16:15]

Diabetes Monitoring and Cardiovascular Disease Prevention Sensors by Non-enzymatic, Non-invasive Metabolite Sensor for Using Electrochemically Active Catalysts : Do Youn Kim, Soo Jin Lee, Da Eun Kim, Chae Yeon Hong, and Hyo-Ryoung Lim* (Pukyong National University)

Keywords: Cardiovascular Diseases (CVD), Diabetes, Non-invasive Sensor, Non-enzymatic sensor, Cholesterol, Glucose

Diabetes significantly contributes to the development of cardiovascular diseases, necessitating effective management of associated risk factors through early detection and consistent monitoring. However, current sensors for critical biomarkers, such as cholesterol and glucose, are often costly and suffer from limited performance due to their reliance on enzymatic reactions, which are inherently unstable. To address these limitations, we have developed low-cost, non-enzymatic, highly sensitive nanostructured sensing electrodes that offer a more cost-efficient alternative for glucose and cholesterol measurement. Our glucose sensor employs a hierarchical, porous foam composed of glucose-sensitive transition metal alloys, specifically copper and nickel, formed directly on a film electrode using a gold-coated silicon wafer via a one-step, hydrogen-bubble-assisted electrodeposition process. For selective cholesterol detection, we developed a nanostructured electrode incorporating digitonin-gold nanoparticles for specific cholesterol recognition, combined with nickel oxide to enhance sensitivity and compensate for digitonin degradation. Through detailed optimization and characterization, including Scanning Electron Microscopy (SEM), X-ray Diffraction (XRD), and other techniques, we confirmed that the sensor electrodes achieve the desired large specific surface area. Performance tests using Cyclic Voltammetry (CV) and Chronoamperometry (CA) further demonstrated high electrochemical activity, resulting in enhanced sensitivity and selectivity. Our sensors demonstrate comparable sensitivity, selectivity, and reliability to existing technologies, presenting a promising, low-cost solution for biomarker detection and advancing personalized healthcare practices.

[WISET1-5 | 16:30]

A Study on the Application of the Ghost Fishing Reduction Device Using Cotton cord in pot : Sena Baek, Yunji Kim, Jaehun Jung, Myeongwon Song, and Seonghun Kim* (Pukyong National University)

Keywords: Cotton cord, Net pot, Biodegradation, Sustainable fishing, Ghost fishing

When synthetic non-biodegradable fishing nets are lost, abandoned or discarded at sea, they may continue to catch fish and other animals for a long period of time. This phenomenon is known as ‘ghost fishing’. The net pots cause ghost fishing because they are widely used and frequently lost or abandoned one hundred thousand pots annually at sea. The objective of this study was to decrease the environment effects of ghost fishing and to protect marine ecosystems. In order to solute these problems, the experiments conducted with applied cotton cord to be made escape vent in net pot. In this study, the tests of physical properties were conducted to quantifying a biodegradation, breaking strength and elongation with three different diameters (1.5, 2.0, 3.0 mm) of cotton cords and seawater temperatures (5, 12, 23 ^oC) in seawater tanks. Samples were collected at 1-week intervals and the state of degradation of each sample was observed with a scanning electron microscope (SEM) and were analyzed breaking strength with a universal testing machine (UTM). The result of this study suggests that using cotton cord on a part of the net pot can reduce ghost fishing. Reducing ghost fishing allows for the conservation of marine ecosystems, the management of fisheries resources and the realization of sustainable fisheries.

[WISET1-6 | 16:45]

Theoretical Insights into CO_2 Hydrogenation Mechanisms on Pd Nanoparticle Catalysts : Yejung Choi*, Hyuk Choi, Ju Hyeok Lee, Jongseok Kim, Suin Hwang, Minkyeong Kim, Seona Kim, Horim Moon, Seoyoung Jang, and Hyun You Kim* (Chungnam National University)

Keywords: CO_2 hydrogenation, Density functional theory, Activation of *C-O bond

Carbon dioxide (CO_2) is a prevalent greenhouse gas, significantly augmented by industrial emissions and fossil fuel combustion. Hydrogenation of CO_2 presents a viable strategy for mitigating atmospheric CO_2 levels by transforming it into clean fuels and hydrocarbons such as methane, formic acid, and C_2+ products. This study employs density functional theory (DFT) calculations to elucidate the hydrogenation mechanisms of CO_2 over Pd_{22} nanoparticles supported on MgO and CaO. We discovered distinct activation sites for H_2 and CO_2:H_2 activation occurs on the metal nanoparticles, while CO_2 activates at the interface between the oxide support and the metal nanoparticle. Moreover, our results indicate divergent reaction pathways on different oxide supports—specifically, carboxyl- and formate-mediated mechanisms on CaO and MgO, respectively. Such variation is attributed to the differential activation of the *C-O bond, which is influenced by the binding energy of CO_2 on the respective oxide supports. Notably, CaO demonstrates higher binding energy, correlating with enhanced *C-O bond strength in the adsorbed CO_2 molecular orbital states. These findings underscore the

critical role of *C-O bond activation in the hydrogenation process and offer novel insights into the catalytic behavior under varying support conditions.

[WISET1-7 | 17:00]

Atomic Layer Etching for Next-generation Ultra-Fine Semiconductor Process Technology : Jieun Oh, Hyojoo Jung, Sewoong Im, Seo-Hyun Park, and Woo-Hee Kim* (Hanyang University)

Keywords: Atomic layer etching, isotropic removal, halogen-free etching, Organic etchant, Ångström-level control

Atomic control of semiconductor manufacturing is required to overcome fundamental limits for nanoscale patterning. Atomic layer etching (ALE) technology, which is the counterpart of atomic layer deposition (ALD) is a fast growing interest because of its ability to enable high uniformity, self-limiting thermal reaction, Ångström-level removal and extreme pattern fidelity. Current ALE chemistries are limited to etching of inorganic materials and use harsh halogen etchants, resulting in undesired effect on electronic properties of silicon. In this work, we introduce the isotropic etching (i.e., without the use of plasma species) process that relies on sequential gas-phase surface reactions and does not require harsh halogen etchants. For this purpose, organic molecules as etchants are utilized to eliminate various metal oxides (e.g., MgO, ZnO, Al_2O_3, HfO_2, ZrO_2) with atomic-scale precision and demonstrate the feasibility of etch selectivities depending on oxidation state of the elemental metal. The film morphology, etch rates, and chemical compositions are investigated by using various analytical methods including Scanning Electron Microscope (SEM), Auger electron spectroscopy (AES), X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF), spectroscopic ellipsometry (SE), and Atomic Force Microscopy (AFM). Also, we identify the layer-by-layer etching proceeds using a quartz crystal microbalance (QCM) and a quadrupole mass spectrometer (QMS). The ability to etch metal oxides films we demonstrate in this work may achieve isotropic ALE and holds potential for future applications involving high surface area and complex 3D structures for which Ångström-level control over material removal is inevitable.

[WISET1-8 | 17:15]

Theoretical Screening of Titanium Precursors toward Inherent Area-Selective Atomic Layer Deposition between Nitride Substrates : Sujin Kwon, Hohyeon Kim, Seoyun Heo, Hyunuk Han, and Bonggeun Shong* (Hongik University)

Keywords: AS-ALD, surface chemistry, density functional theory, deposition selectivity, Titanium precursors

Area-selective atomic layer deposition (AS-ALD) has proven to be a promising technique to overcome challenges in fabricating increasingly smaller and more complex three-dimensional architectures in elctronic devices. AS-ALD leverages the distinct surface chemistry of different regions on a substrate, classified into growth and non-growth area. The success of AS-ALD depends on maximizing deposition selectivity, which is influcenced by the molecular characteristics of the deposition precorsors interacting with each area. Inherent AS-ALD, which achieves selectivity based solely on the substrate's chemical properties without additional surface treatments, is particularly promising. Therefore, it is crucial to deliberately select and design both the precursors and the surface properties to enhance selctivity in inherenct AS-ALD. Especially, since many different precursors with varying chemical properties for vacuum deposition are already known in the literature for some elements, it is desirable to determine their area-selective reactivity. In this study, density functional theory (DFT) calculations are conducted to evaluate the adsorption properties of several known titanium ALD precursors on titanium nitride (TiN) and silicon nitride (Si_3N_4) substrates. The most stable and optimal adsorption configurations for each precursor on both substrate types were examined to determine the substrate-dependent adsorption energies. For the most promising candidates, showing the greatest difference in adsorption energy between the substrates, the proposed adsorption mechanisms are further validated by assessing the adsorption activation energy. As a result, the theoretical deposition selectivity of the titanium ALD precursors could be evaluated. Our study provides valuable insights into the intrinsic selectivity of titanium precursors on nitride surfaces, contributing to the advancement of AS-ALD technology.

[특별세션1] 창업 및 실용화 소재기술
Room 오디토리움, 10월 29일

[특별1-1 | 09:00] 초청강연

3차원 알루미늄 나노코팅 기술과 사업화 : 이혜문* ((주)알링크)

Keywords: 알루미늄, 나노 구조체, 3차원 코팅, 사업화

알루미늄은 지구 상에 3번째로 많이 존재하는 원소이며 높은 전기전도성을 갖고 매우 가벼워 활용성이 매우 좋은 금속이라 할 수 있다. 하지만 산화폭발성이 매우 높아 벌크소재로 사용하는 경우를 제외하고는 알루미늄이 사용되는 분야가 그렇게 많지 않다. 특히 알루미늄은 높은 산화 폭발성으로 인해 나노 분말 소재화 및 구조체 구성 등의 나노기술에 적용하는 것이 매우 어려웠다. 즉 알루미늄을 나노기술화하기 위해서는 알루미늄의 산화폭발성을 제어하는 기술이 우선되어야 한다. 본 발표에서는 알루미늄의 산화폭발성을 제어하고 이를 다양한 물질 표면에 3차원의 나노 구조체를 형성시키는 기술에 대한 내용과 이러한 기술을 환경 에너지 산업에 적용 사업화를 진행했던 그리고 하고 있는 내용에 대해 이야기하고자 한다.

[특별1-2 | 09:25] 초청강연

A Journey from Idea to Market: High Mn Austenitic Steels : 이순기*, 강명훈, 이상철, 이동호, 최종교 (포스코 기술연구원)

Keywords: 고Mn강, 극저온, 친환경에너지, LNG, 수소

최근 포스코에서 세계 최초로 개발, 상용화한 오스테나이트계 고Mn강은 고강도, 극저온인성 등 우수한 물성 뿐만 아니라 높은 가격 경쟁력을 바탕으로 에너지 산업계 적용이 확대되고 있다. 본 발표에서는 고Mn강 합금설계, 양산기술 및 국제 규격화를 중심으로 다양한 적용 사례를 소개하고자 한다. 극저온용 고Mn강은 '13년 양산화에 성공한 이후 석회석 운반선의 LNG 연료탱크에 세계 최초로 탑재되어 현재까지 성공적으로 운항되고 있으며 특히 선박 선급검사기간에 연료탱크 내부 검사를 성공적으로 완료하고 선급 검사보고서를 기반으로 국제해사기구의 IGC/IGF 코드 등록에 성공함으로써 국내 개발 신소재의 국제 규격화 성공에 더불어 본격적인 상용화의 기틀을 마련하게 되었다. 이후 고Mn강은 글로벌 선주, 조선사의 선택으로 총 36척에 이르는 초대형 유조선, 컨테이너운송선의 연료탱크용 소재로 적용됨으로써 그 경쟁력을 인정받고 있다. 또한 육상에서도 국내 LNG 수입터미널의 200,000 m^3 용량 저장탱크에 적용되고 있으며 특히, '23년 API 규격 등록에 성공함으로써 해외 판매를 위한 기반을 구축하고 그 적용 영역을 확대하고 있다. 국제적 탈탄소화 노력에 발 맞추어 고Mn강은 LNG, LCO_2등에 더하여 국제해사기구로부터 LNH_3에 적합한 소재로 최근 승인을 받았으며 나아가 수소에너지 사회를 위한 소재 개발로 그 제품개발 및 적용 영역을 확장해 나가고 있다.

[특별1-3 | 09:50] 초청강연

자동차용 1.8GPa 핫스탬핑 강판 개발 및 적용 기술 : 윤숭채*, 이동열, 현주식, 정유동* (현대제철연구소)

Keywords: 1.8GPa 핫스탬핑, 맞춤형 공정 기술, 고강도 차체 부품 개발

최근 강화된 충돌법규와 전기차 수요 증가로 인해 고강도 차체 개발의 필요성이 대두되고 있으며, 동시에 경량화에 대한 요구도 증가하고 있다. 이를 위해 고강도 강판의 적용 비율을 늘리는 것이 필수적이다. 초고장력 강판 및 부품의 차체 적용은 연비 향상과 이산화탄소 배출 저감을 도모하며 차량 충돌 시 안전성을 높일 수 있으나, 냉간 성형으로 초고강도 부품을 제조할 경우 고강도와 낮은 연신율로 인해 우수한 성형성과 정밀한 치수 확보가 어렵다. 이에 반해 핫스탬핑 공정은 900ºC 이상의 온도로 소재를 가열하여 금형을 통해 성형 및 급속 냉각으로 기가파스칼 이상의 부품 강도를 확보하기 용이한 경량화 기술이며, 차량 중량 절감과 충돌 안전성을 달성하는 동시에 차체 부품의 정교한 형상 및 치수 제어가 가능하다. 이에 본 연구에서는 핫스탬핑 기술을 통해 기존의 1.5GPa에서 1.8GPa 강도로 향상시키고, 효과적인 차체 부품 적용을 위한 요구 성능에 부합하는 공정 기술을 설계하였다. 1.8GPa 급 초고강도 물성을 확보하기 위한 합금 설계 및 미세조직을 제어함과 더불어 성형성, 용접성 및 수소취성 특성을 확보하기 위해 맞춤형 핫스탬핑 공정을 적용함으로 초고강도 차체 부품 개발과 동시에 제조 에너지 및 CO_2 배출을 개선할 수 있었다. 자동차 산업에서의 차체 경량화 및 충돌 성능 안전화를 위한 1.8GPa 급 핫스탬핑 소재 및 적용 기술 개발은 차체 성능에 긍정적인 영향을 미칠 뿐만 아니라, 친환경차로의 전환에 요구된 모빌리티 패러다임 변화에 합리적으로 대응할 수 있는 요소 기술로 기대된다.

[특별1-4 | 10:15] 초청강연

환경 나노촉매 소재기술의 산업계 적용 및 창업 사례 : 하헌필* (한국과학기술연구원 첨단소재기술연구본부)

Keywords: 탈질촉매, 계산과학, 산업화, 창업

나노기술을 적용한 탈질촉매의 산업계 적용 및 사업화 관련 사례 미세먼지의 주요 전구체인 질소산화물을 촉매적 방법으로 환원시키는 과정의 양자화학적 소재 설계기법 첨단 분석방법 및 산업화 과정을 소개함. 이 기술을 창업으로 이루어 가는 과정도 소개

[특별세션2] 대한금속▪재료학회 정부사업 기획 현황 보고

Room 오디토리움, 10월 29일

[특별2-1 | 10:30] 초청강연

소재기술 지능화자동화 R&D 사업 기획현황 보고 : 석현광* (KIST)

Keywords: 소재기술 지능화자동화 R&D 사업 기획현황 보고

대한금속·재료학회 차원에서 한국연구재단의 개방형 융합연구 기획 프로그램의 일환으로 추진 중인 "소재기술의 지능화·자동화 전면적 이행 국가전략 도출 및 이를 실현할 정부 R&D사업" 기획 진행상황을 학회 회원들에게 공유하고 기획안에 대한 회원들의 의견을 수렴하고자 합니다. 본 기획은 대한금속재료학회 내 다수의 학술분과 및 소재기술 지능화·자동화 관련 연구개발을 진행 중인 출연연, 대학, 산업계 다수 전문가가 참여하여 진행하고 있습니다. 본 기획의 목적은 모든 산업의 근간이 되는 소재산업이 노동인구 감소, 전문인력 부족 문제로 인해 더 이상 국가경쟁력을 유지하기 어려운 국가적 위기상황에 선도적으로 대응하고자, 연구현장 및 산업현장의 소재기술을 신속하고 대규모적으로 지능화·자동화하기 위한 효과적인 국가 전략을 도출하는 것입니다. 나아가 이를 실현하기 위한 범정부 차원의 R&D 사업과 소재기술 지능화자동화를 주도할 정부차원의 unit을 포함하는 공공 플랫폼을 구축하는 것을 목표로 합니다.

[특별세션3] 정부R&D사업소개

Room 오디토리움, 10월 29일

[특별3-1 | 10:40] 초청강연

산업기술 R&D 정책 및 투자방향 소개 :조용곤* (한국산업기술기획평가원)

Keywords: 산업기술 R&D, 투자방향, 신진연구자

산업에너지 R&D 4대 혁신방안, 25년 산업기술 R&D 투자전략, 신진연구자 성장 지원 방안 등을 소개하고 학회 회원님들의 의견을 청취한다.

반도체
Room 오디토리움, 10월 29일

[반도체1-1 | 13:00]
Electrical Reliability of Interfacial Self-formed Chromium Oxide Barrier for Co metallization : Geumseong Lee, Yoongu Lee, Cheol Kim, Geosan Kang, Soon-Gyu Hwang, and Young-Chang Joo* (Seoul National University)
Keywords: Co metallization, self-forming barrier, Co-Cr alloy, chromium oxide, electrical reliability

Recently, the effective resistivity of Cu interconnects has been increased rapidly as the progresses of the scaling down of the device transistor, and it has something to do with resistance-capacitance (RC) delay of Cu interconnects. In order to overcome this problem and go to further scaling down, metal in interconnects should have low resistivity (ρ) and small electron mean free path (λ) because it is expected that the influence of interface/surface scattering can be minimized for low resistance (R). Co is generally mentioned as a candidate for the next-generation interconnect metal since it has a low ρ × λ value, so that there is a lot of research going on about this metal. Meanwhile, dielectric breakdown due to the migration of Co under high electric fields and temperature has been reported as the most critical reliability problem in Co interconnect systems. Therefore, it is necessary to study a robust barrier which prevents Co from penetrating into the dielectrics and consequently improves the reliability of Co interconnects. In previous work, a Co-based self-forming barrier was designed through thermodynamic considerations and calculations. Self-forming methodology induces alloying dopants to diffuse to the interface between metals and dielectrics and react with dielectrics by annealing, forming a single layer which functions as a diffusion barrier. In that study, Cr showed the most proper characteristics as a barrier behavior among 9-candidate metals, approximately 1.2nm thick interfacial layer (CrOx) at best condition was confirmed visually. Although a self-forming barrier was proposed as a candidate method to solve the reliability problem of Co metallization, the detailed reliability assessment has not been carried out yet. In this study, the reliability evaluation of self-formed interfacial chromium oxide (CrOx) in Co-Cr alloys were conducted for various Cr composition. The electrical reliability tests including voltage-ramp dielectric breakdown (VRDB), capacitance-voltage (C–V) measurement, and time-dependent dielectric breakdown (TDDB) were performed. The breakdown field was improved in all experimented composition of Cr and the increase was more than 2 times in Co-Cr alloys when the composition of Cr was below 1.2 at.% compared to pure Co. Also, Co-Cr alloys with lower composition (≤ 1.2 at.%) of Cr showed no negative shift of the flatband voltage after a thermal stress in C–V measurement whereas some devices failed to obstruct the drift of Co ions at the higher composition of Cr. Finally, TDDB results with power-law showed that the lifetime of Co-Cr alloys with lower Cr composition was a few orders of magnitude greater than 10 years while the lifetime of pure was far less than 10 years. The chromium oxide barrier was self-formed at Co-Cr/SiO2 interface and it was critical to adjust the appropriate composition of Cr as higher Cr composition might lead to excess amount of metallic Cr. Also, through various electrical reliability tests, it was confirmed that the self-formed barrier effectively enhanced the reliability of Co as a promising barrier material in Co metallization.

[반도체1-2 | 13:15]
Leakage Current in Cu/PI Redistribution Layer for Next-generation Packaging Technology : Jaehee Sohn, Yoon-gu Lee, Hongik Kim, Gaeun Song, In-suk Choi, and Young-Chang Joo* (Seoul National University)
Keywords: advanced integration, redistribution layer (RDL), dielectric reliability, electric field moisture absorption, voltage-ramping dielectric breakdown (VRDB)

As transistor scaling down in the semiconductor industry reaches its limitations, advanced integration, known as ‘More than Moore’, is emerging as a way to achieve better performance. To efficiently manage input/output (I/O) connections in these increasingly complex designs, the function of redistribution layer (RDL) becomes more important. However, as RDL becomes increasingly fine-pitched, dielectric reliability issues increase due to electric field moisture absorption. This study investigated the moisture effect on dielectric reliability, based on the analysis of the leakage current through voltage-ramping dielectric breakdown (VRDB) tests at various temperatures. Leakage current was higher in wet conditions compared to dry conditions, as moisture acts on dielectric defects to enhance conduction. Also, leakage current behavior with temperature varied significantly based on dry/wet conditions. In wet conditions, there was a range where leakage current decreases as temperature increases, whereas leakage current typically increases with rising temperature in dry conditions. It was also discussed that for Cu/PI RDL structures, Poole-Frenkel(PF) conduction, a type of bulk-limited conduction, is the dominant current conduction mechanism. The PF barrier height was estimated to be around 0.85 eV in wet conditions which is about 25% lower than that in dry conditions. Moisture seemed to lower the energy barrier height for Poole-Frenkel conduction, thus facilitating conduction at lower temperatures and electric fields. The analysis and discussion in this study are expected to advance the understanding in the field of dielectric reliability for fine-pitch RDL, an area that has not been extensively explored until now.

[반도체1-3 | 13:30]
Etching Characteristics of the B and N Doped Amorphous Carbon Films for Hardmasks : HONGIK KIM, UNGGI KIM,

DEOKGI HONG, SEUNGWU HAN (Seoul National University), SO-YEON LEE* (Kumoh National Institute of Technology), and YOUNG-CHANG JOO* (Seoul National University)

Keywords: Amorphous carbon, Ternary system, Hardmask, Etch selectivity, Chemical etching reation

The ongoing effort to shrink semiconductor chips has led to the use of shorter-wavelength light sources, such as EUV, to maximize resolution. However, this results in a reduced depth of focus (DOF) and a thinner photoresist (PR) layer, potentially compromising its masking function during etching. To mitigate this issue, an amorphous carbon hard mask is applied as a sacrificial layer to improve pattern quality. Furthermore, to maximize the etch selectivity of the hardmask layer, which is directly linked to pattern quality, the addition of single elements to an amorphous carbon (a-C) matrix has been attempted. For example, there has been research showing that the addition of boron (B) enhances film density, and nitrogen (N) is effective in inhibiting the penetration of fluorine, an etchant gas, into the film. We designed a ternary hardmask system where these elements coexist based on the known effects of single elements, and then analyzed how the bonding structure and dry etching properties change. Amorphous B–C–N (a-BCN) hardmasks were obtained by adjusting the N content using the DC sputter process, and the synergistic effect between the three elements was found to influence dry etching resistance. Through XPS analysis on a-BCN films before and after dry etching, we determined that changes in the films' bonding structure, especially in the B-C and C–C sp2 bonds, due to varying N concentrations, are related to dry etching resistance. Furthermore, using DFT calculations, we found that when N is present alone in an a-C film, it does not alter the binding energy between F and C:however, when it coexists in a boron-carbon film, it significantly increases the binding energy between F and C, which is related to the change in the Bader charge of C. This approach revealed that in a ternary system where N and B coexist with C, the synergetic effect between them can accelerate the degradation of etch resistance in thin films, not only physically but also chemically. Therefore, we will discuss the requirements for designing ternary hardmasks to achieve improved etch selectivity.

[반도체1-4 | 13:45]

Non-volatile Analog Memristors Enabled by Metal Contact on Amorphous Covalent Semiconductors : Unggi Kim (Seoul National University), Binhyung Lee, Jiwoon Jeon (Gwangju Institute of Science and Technology), Dokyun Kim (Seoul National University), Hanwool Yeon* (Gwangju Institute of Science and Technology), and Young-Chang Joo* (Seoul National University)

Keywords: Memristors, Non-volatile switching, Analog switching, Amorphous semiconductors, Electrochemical metallization

Memristors have emerged as a promising solution for accelerating deep neural networks (DNNs) due to their ability to perform non-volatile switching for inference and training-capable weight update. However, it is important to highlight that no memristor simultaneously exhibits non-volatile analog switching. Non-volatile memristors typically show abrupt-digital switching, and the weight stability of analog memristors still needs improvement. To resolve this performance dilemma for both DNN inference and training, we introduce our material strategies, which involve a metal contact on amorphous-covalent semiconductors to demonstrate non-volatile analog memristors with novel switching mechanisms. An electrochemical metal injection into the semiconductors leads to the formation of dispersed precipitates that act as the switching channel. It has been discovered that free-volume defects in the amorphous structure are key to determining the analog switching capability of this channel. Furthermore, the thermodynamic stability of these precipitates has been tuned by introducing dopants into the covalent semiconductors. As a result, a non-volatile analog switching channel can be formed through metal migration in free-volume-controlled amorphous semiconductors with covalent doping. Detailed performance results of the memristors and their potentials as DNN accelerators will be discussed in this talk.

[반도체1-5 | 14:00]

Demonstration of wake-up free and high endurance (~10^{10} cycles) $Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ thin film by adopting TiMoN alloy electrode : Jaewook Lee, Yong Hyeon Cho, Hyun Woo Jeong, and Min Hyuk Park* (Seoul National University)

Keywords: Ferroelectric, HZO, Reliability

In the era of 4th industrial renovation, it is necessary to develop power-efficient memory devices with advanced functionality. Ferroelectric devices based on hafnium oxide hold a viable potential with low power efficiency (10 fJ/bit) and seamless integrity in complementary metal-oxide-semiconduction technology. However, reliability issues such as the wake-up effect (increase in polarization with field cycling) and low endurance (breakdown before 10^{14} cycles) must be worked out. To address these issues, oxygen-supplying electrodes such as Mo and W were adopted. [1,2] In contrast to $Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ (HZO) film grown on TiN electrode, which exhibits a significant wake-up effect, HZO films show wake-up free behavior on Mo and W electrodes with high polarization. Nevertheless, there is a dilemma between the wake-up effect and endurance, where wake-up free films with high polarization exhibit low endurance. In this study, we demonstrate the wake-up free and high endurance properties of a 6 nm-thick HZO thin film exceeding $9*10^9$ cycles by adopting TiN and Mo alloy (TiMoN) electrode. The optimal ratio of TiN and Mo was obtained by controlling the sputtering power. The HZO film grown on the TiMoN electrode showed a $2P_r$ value of 30.8 $\mu C/cm^2$ in the pristine state and 32.6 $\mu C/cm^2$ after $5*10^9$ cycles. To elucidate the origin of the superior characteristics of the HZO film on TiMoN, interfacial capacitance (C_i) was extracted from pulse switching measurement. It was demonstrated that the HZO film on the TiMoN electrode shows a C_i value of 78 nF, while a lower value of 40 nF was obtained on the TiN electrode. The higher value of C_i implies improved interfacial characteristic with a thinner low-k dead layer. Since the formation of the interfacial layer results in a nonuniform distribution of oxygen vacancies, which causes domain

pinning, it is expected that the addition of the oxygen-supplying Mo electrode in the TiN electrode improved the interfacial characteristics. From the results, it could be concluded that adopting an alloy electrode can be a promising strategy for fabricating next-generation ferroelectric memory. [1] K. Yang et al., Materials Science in Semiconductor Processing 164 (2023): 107565. [2] Y. Lee et al., Applied Surface Science 648 (2024): 158948.

[반도체1-6 | 14:15]

Effect of Nitrogen Doping on Molybdenum Electrode for Enhancing the Reliability of $Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ Ferroelectric Capacitors : Hyojun Choi, Sun Young Lee, Kun Yang, Ju Yong Park (Seoul National University), Young Yong Kim (Pohang University of Science and Technology), Hyun Woo Jeong, Hyeong Seok Choi, Jaewook Lee, Dong In Han, and Min Hyuk Park* (Seoul National University)

Keywords: Ferroelectrics, HZO, FeRAM, Electrode Engineering, Molybdenum Nitride

Since hafnia-based FeRAM (ferroelectric random-access memory) can be fabricated by simply replacing the dielectric material of DRAM (dynamic random-access memory) cell capacitor to CMOS (complementary metal–oxide–semiconductor) process compatible HZO (zirconium doped hafnia) ferroelectric material, FeRAM has attracted notable interest from various researchers. However, reliability issues such as wake-up effect, an increase in P_r (remnant polarization) during field cycling of HZO ferroelectric capacitors, and a limited number of endurance cycle emerged as major obstacles for commercialization of FeRAM. The wake-up effect is primarily caused by oxygen vacancies formed during cell fabrication process, prompting suggestions for the use of oxygen-providing metal electrodes to mitigate the issue. However, the formation of an interfacial layer between the electrode and ferroelectric layer, resulting from the excess oxidation of metal electrodes, leads to significantly lower endurance cycle. Given that nitride electrodes show better oxidation resistance compared to metal electrodes, the effect of nitrogen content in nitrogen doped molybdenum electrodes on $Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ ferroelectric capacitors is examined in this study. Nitrogen-doped molybdenum electrodes were fabricated by sputtering with N_2 fraction of the total sputtering gas (Ar +N_2) ranging from 3% to 20%. $Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ ferroelectric capacitors were fabricated with symmetry nitrogen-doped molybdenum electrodes to examine the impact of electrode on the reliability of $Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ ferroelectric capacitors. Nitrogen-doped molybdenum electrode samples showed better endurance cycles in both 3 MV/cm, and 2 MV/cm field cycling, with superb wake-up mitigation properties. To investigate the origin of enhanced reliability, grazing incident wide angle X-ray scattering (GIWAXS) analysis was conducted to each sample. As speculated from experimental design, different doping level samples showed different amount of interfacial layer formation. These results suggest that adequate amount of nitrogen doping on molybdenum electrodes can be resulted in enhanced reliability of $Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ ferroelectric capacitors.

[반도체1-7 | 14:30]

ALD 증착 TaN 박막의 미세구조 및 전기적 특징 분석 : 손지웅, 장준웅 (인하대학교), 김효한, 안용남, 최민수, 이혜린, 장효정 (한국알박), 박현순* (인하대학교)

Keywords: 키워드: TaN, barrier material, TEM, XPS, FT-IR, SIMS, XRD

반도체 기술의 발전에 따라 트랜지스터의 선폭(node)이 10 nm 이하로 축소되면서 반도체의 직접도가 점차 증가하고 있다. 이로 인해 배선 사이의 거리가 줄어들어 신호 간섭이 발생하며, 이를 방지하기 위해 low-k material이 사용되나, 구리 배선이 low-k material로 확산되는 문제가 발생한다. 이러한 확산을 방지하기 위해 barrier 물질이 필요하며, 특히 저저항 barrier 물질이 구리 배선의 성능에 큰 영향을 미친다. 이 중 TaN은 내마모성, 내산화성, 초경도, 고강도 등 다양한 우수한 특성으로 주목받고 있다. ALD(Atomic Layer Deposition)는 원자 레이어의 균일한 제어가 가능하여 공정의 미세화에 적합하나, 사이클당 형성되는 필름의 스케일이 작아 공정 조건의 작은 변화도 최종 디바이스의 성능에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 공정 온도, 분압, 유량 등의 성막 조건에 따른 막질의 변화를 분석하는 것이 중요하다. 선행 연구에서는 질소 유량비에 따른 TaN의 결정구조와 조성 변화가 연구되었으나, 수소 농도에 따른 성질 변화에 대한 연구는 부족했다. 따라서 본 연구는 수소 농도가 ALD 공정에서 TaN barrier 물질의 성질에 미치는 영향을 분석하고, 최적의 성막 조건을 규명하여 반도체 소자의 성능 향상에 기여하고자 한다. 본 연구에서는 Thermal-ALD 공정을 통해 형성된 TaN박막의 저항 특성을 분석하였다. 박막은 Si 웨이퍼 위에 PDMAT(Pentakis(dimethylamino) tantalum)와 NH_3를 전구체로 사용하여 10 nm의 두께로 증착하였다. 4 point probe를 통하여 박막의 저항을 측정하였고, XPS, SIMS, FT-IR, EELS를 사용해 박막 내의 조성과 결합 상태를 분석하고 그에 따른 물성을 분석하였다. 박막의 두께는 TEM을 활용하여 측정하였으며, XRD와 TEM을 이용해 결정구조를 분석함으로써 결정구조에 따른 박막의 특성을 분석하였다. 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 지역지능화혁신인재양성사업임(IITP-2024-RS-2023-00259678)

[반도체1-8 | 14:45]

강유전성 HfO2 기반 박막 연구를 위한 투과전자현미경 기술 개발 및 소자 특성 연구 : 김소진, 홍진석, 이승용* (한양대학교)

Keywords: 반도체, 강유전체, HfO_2, 투과전자현미경

강유전성 HfO_2 기반 박막이 차세대 반도체 재료로서 잠재력을 가지고 있는 것이 증명되면서 최근 들어 많은 주목을 받고 있다. HfO_2 기반 박막은 다양한 상으로 존재할 수 있으며, 가장 흔히 나타나는 정방정계($P4_2/nmc$), 단사정계($P2_1/c$) 및 사방정계($Pca2_1$) 상은 각각 하프늄과 산소 원자의 미묘한 위치 변화로 구별된다. 특히, HfO_2 기반 박막의 강유전성은 위의 상들 중 극성 사방정계 상에서만 발생하므로 해당 $Pca2_1$ 상의 형성을 효과적으로 유도하는 것이 강유전성 발현에 매우 중요하다. 하지만 $Pca2_1$ 상이 $P4_2/$

nmc 및 $P2_1/c$ 상과 근소한 원자 위치 차이에 불과하다는 특징 때문에 이 상을 정확하게 구별하여 해석하는 데에 한계가 있어, 연구에 많은 어려움이 존재한다. 본 연구진은 전자 회절, 고분해능 TEM(HR-TEM) 이미지, 전자 에너지 손실 분광법(EELS) 등 다양한 투과전자현미경 기술을 활용하여 HfO_2 기반 박막의 $Pca2_1$ 상을 $P4_2/nmc$ 또는 $P2_1/c$ 상과 구별지어 해석할 수 있는 기반을 마련하였다. 또한 대면적에서의 상 분포 비교를 위해, 실리콘 멤브레인 그리드 위해 HfO_2 기반 박막을 직접 증착함으로써 박막을 평면도로 분석할 수 있는 방법을 개발하였다. 이를 기반으로 HfO2 기반 박막의 상부 TiN 전극 유무에 따른 $Pca2_1$ 상의 형성을 비교함으로써, 상부 TiN 전극이 강유전성에 기여하는 역할을 밝혀내었다. 더 나아가, 전기적 자극에 따른 강유전 소자의 상, 산소 결함 등의 변화를 관찰함으로써, 강유전성 특성 발현 과정 및 강유전성 피로 과정에 대해 연구하였다. 본 연구 결과는 최근 주목받는 HfO2 기반 소재에 대한 효과적인 분석 기술을 제공할 뿐만 아니라, 소자의 성능 향상을 위한 개발 방향 설정에도 기여할 것으로 기대한다.

[반도체1-9 | 15:00]

Multiphysics Simulation of Thermal Disturbance in Vertically Stacked Phase-Change Memory : Yechan Kim (Hongik University), Namwook Hur (Ulsan National Institute of Science and Technology), Hyesoo Kim (Hongik University), Joonki Suh, Hongsik Jeong (Ulsan National Institute of Science and Technology), and Yongwoo Kwon* (Hongik University)

Keywords: Phase-change memory (PCM), Thermal disturbance (TD), Multiphysics, Crystallization

Phase-change memory (PCM) is the most mature among emerging non-volatile memory (NVM) technologies. However, since the PCM operations involve heat generation and transfer, thermal disturbance (TD) between PCM cells is inevitable. Therefore, sufficient spacing between cells is necessary, by which the scalability of PCM is limited. In this report, we investigate the extent of TD occurrence according to the critical dimension of PCM and explore ways to suppress TD, using our multiphysics simulation that is capable of visualizing and computing partial crystallization and corresponding resistance decrease. Based on the simulation results, we suggest some engineering directions for modifying the device architecture, e.g., reducing the heater thickness and adopting heater recess structure to make an effect of the confined GST.

재료공정과 미세구조 시뮬레이션 심포지엄
Room 오디토리움, 10월 29일

[시뮬1-1 | 15:30] 초청강연

수지상 (Dendrite) : 김성균* (국민대학교)

Keywords: 수지상, 미세구조, phase-field 모델

수지상(樹枝狀, dendrite)은 나뭇가지 모양으로 자라는 결정의 형태를 의미한다. 수지상 구조는 라멜라 구조 및 결정립 구조 등과 더불어 재료의 미세구조를 이루는 기본 단위 중 하나이며, 눈송이나 성애처럼 자연에서도 흔하게 관찰된다. 수지상이 형성되는 원리에 대해서는 17세기의 케플러, 데카르트, 후크 등을 필두로 하여 20세기 후반에 이르기까지 수많은 과학자들의 관심을 끌어 왔음에도 불구하고, 난공불락의 미해결 문제로 남아 있었다. 그러나, 지난 1950년대의 조성적 과랭이론에서 시작해서, 1960년대의 Mullins-Sekerka 계면 안정성 이론을 거친 다음, 1990년대의 micro-solvability 이론에 도달함으로써, 수지상의 성장의 본질은 계면 성질의 이방성에 있음이 드디어 입증될 수 있었다. 1981년 석사과정에 입학한 이후부터 현재에 이르기까지, 수지상은 본 발표자의 과학적 화두에서 벗어난 적이 없었다. 본 발표에서는 본인이 지난 40여년 동안 수지상과 관련하여 느꼈던 감상을 가볍게 설명한다. 여기에는 큰 감동을 주었던 Glicksman의 아름다운 수지상 사진(1981, Acta Metall.), phase-field 모델에 집중하도록 이끌어준 Warren과 Boettinger (1995, Acta Metall. Mater.)의 시뮬레이션 그림과 더불어, 본인이 직접 연구해서 얻은 수지상에 대한 재미있는 결과와 일상 생활에서 겪었던 수지상 관련 현상들도 포함된다. 마지막으로 합금 phase-field을 이해하고 새로운 모델을 개발하는 과정에서 겪었던 결정적인 고비를 회고한다.

[시뮬1-2 | 15:55] 초청강연

상장모델계산을 이용한 철계합금 방향성응고시의 미세조직 변화 : 김원태*, 김성균, 차필령 (국민대학교 공과대학)

Keywords: 금속, 응고, 철강, 수치해석, 상장모델

다상 · 다성분계 상장모델을 이용하여 철계 합금(Fe-C, Fe-Mn-C, Fe-Cr-Ni-C)의 방향성 응고 초기 미세조직 형성 과정을 2차원에서 전산모사하고, 응고조직의 중요한 scale factor 중의 하나인 수지상2차가지간격(SDAS)의 공정변수(냉각속도, 온도구배) 및 조성에 따른 변화를 조사하였다. 수치해석시 철계 열역학데이터베이스(TDB)와 확산이동도데이터베이스(DMDB)를 사용하였으며, 수지상1차가지의 간격을 변화시키면서 2차가지의 조대화 과정을 조사하였다. 응고시 일어나는 2차가지의 조대화는 주로 minor arm 의 재용해에 의해 일어나며, minor arm 뿌리의 용해에 의한 detachment는 관찰되지 않았다. 인가한 온도구배에 의하여 재용해는 비대칭적으로 일어나며 저온부 쪽의 재용해에 의하여 마치 2차가지가 고온부쪽으로 이동하면서 자라는 형태를 보였다. 그리고 응고 말기에는 인접한 가지의 합체(coalescence)에 의해서도 조대화가 일어났다. 여러 철계 합금에 대한 수지상가지의 계산 결과 예상되는 바와 같이 SDAS은 냉각속도에 의해 가장 큰 영향을 받으며, 온도구배 및 조성에 따른 미세조직의 변화는 크지 않았다. 그리고 2D 계산과 3D 계산에서의 SDAS 사이의 관계에 대해서 검토하고 계산으로 얻은 결과와 실험으로 관측된 결과와 비교 검토할 것이다.

[시뮬1-3 | 16:20] 초청강연

A real scale Monte Carlo Potts model for simulation of microstructural evolution : Sang-Ho Oh and Byeong-Joo Lee* (Department of Materials Science and Engineering, POSTECH)

Keywords: Real Scale, Monte Carlo Pott Model, Simulation, Microstructural Evoution, Additive Manufacturing

Prediction of microstructure evolution is important to design structural materials, and grain growth is the most fundamental but important one which determines mechanical properties. Monte Carlo Potts is a widespread simulation model for microstructural evolution with high computational efficiency, but has not been considered suitable for quantitative prediction of practical processes since the physical meaning of variables is not fully understood yet. Efforts have been made to assign realistic physical meaning to simulation variables such as time, temperature and distance. The existing equation for converting simulation time to real time involves a strong temperature dependence, which causes a problem under non-uniform temperature distribution, as in additive manufacturing. This problem could be solved by assigning a temperature dependence to the simulation result, which was possible by using realistic temperature and energy values. We found that the simulated activation energy for grain growth could be equated to experimental value by adjusting the activation energy for grain boundary migration within a reasonable range in the simulation. The modified Monte Carlo Potts model made the time conversion equation completely temperature-independent and was free from the above-mentioned problem in time conversion. The Monte Carlo Potts simulation can now predict grain growth and microstructural evolution in various materials under various temperature conditions much more reasonably.

[시뮬1-4 | 16:45] 초청강연

합금 천이액상접합(TLPB) 공정의 확산 시뮬레이션 : 오창석*, 박지원 (한국재료연구원)

Keywords: 천이액상접합, 브레이징, 확산, 시뮬레이션, 균질화모델

천이액상접합(Transient Liquid Phase Bonding)또는 확산 브레이징(Diffusion Brazing) 공정은 전자재료 마이크로 패키징에서 산업용 가스터빈 보수에 이르기까지 폭넓게 적용되는 접합기술이다. 천이액상접합은 순금속 또는 융점저하원소(Melting Point

Depressant)가 함유된 필러의 용융과 응고가 등온에서 시작되고 완료되므로 공정조직과 같은 비등온응고(Athermal Solidification) 미세조직이 접합부에 형성되지 않아 조성과 미세조직이 균일한 접합부를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 모재에서의 원소 확산이 율속반응이 되어 등온응고영역(Isothermal Solidification Zone) 형성에 장시간이 소요되고, 접합부 인근에 화합물이 형성되어 이를 재용해시키기 위한 추가적인 열처리가 필요한 단점이 있다. 따라서 균일한 미세조직의 건전한 접합부가 형성되는 온도-시간 조건을 예측하기 위해 다양한 해석해 및 수치해석적 방법이 제안되어 왔으나, 액상(필러), 고상(모재)과 확산영향층(Diffusion Affected Zone)이 공존하는 이동경계 문제의 해를 구하는 것은 용이하지 않다. 본 연구에서는 현재 확산 브레이징 공정에 대한 시뮬레이션에서의 문제를 실제적으로 파악하고자 실험으로 보고된 비교적 단순한 성분계로 구성된 접합부에 대한 확산 브레이징을 이동경계 및 균질화모델을 적용한 1차원 확산 시뮬레이션으로 해석하고, 접합부 미세조직 형성과정을 문헌에 보고된 미세조직 분석결과와 비교하고 결과를 고찰하였다.

[시뮬2-1 | 17:20] 초청강연

Recent advances in phase-field methods for industrial applications : Dong-Uk Kim, Seong Gyoon Kim, and Pil-Ryung Cha* (Kookmin University)

Keywords: Phase-field methods, solidification, microstructure simulations, industrial applications

In recent years, the demand for high-quality as-cast materials has surged across various scales, from small-scale 3D-printed or additively manufactured items to larger-scale electric vehicle components, including main body structures. This demand is driven by the need to produce highly customized and optimized shapes at lower costs, reducing the reliance on post-cast treatments such as thermal processing, forging, and machining. Achieving high-quality as-cast materials hinges on precise control over microstructure evolution during the casting process—a goal that is often prohibitively expensive when pursued through traditional trial-and-error methods. To address this challenge, computational methods, particularly phase-field methods, have become essential tools for predicting microstructure and optimizing the casting process. The phase-field method stands out as the most powerful interface tracking technique for simulating meso-scale material phenomena, offering the ability to handle the dynamics of interfaces with arbitrary shapes with minimal effort. Despite its robustness, there remains significant room for improvement in areas such as model flexibility, numerical efficiency, stability, and computational performance, all of which are critical for practical industrial applications. In this talk, we will present recent remarkable advances in phase-field approaches aimed at enhancing their practicality in industrial settings. We will also discuss the future directions and necessary developments to further elevate the efficacy of these methods in real-world applications.

[시뮬2-2 | 17:45] 초청강연

Phase Field Model for Micro-elasticity : Pil Ryung Cha* and Dong Uk Kim (Kookmin University)

Keywords: Phase Field Model, Micro-elasticity, nickel-based superalloy, texture evolution, surface dynamics

The phase field model is a mathematical framework used to simulate the evolution of microstructures in materials. It describes phase transformations by representing interfaces with continuous fields, allowing the study of complex phenomena like phase transformation, grain growth, and fracture in a computationally efficient manner. Micro-elasticity in materials refers to the study of elastic behavior at the microscale, where material properties may vary locally. It focuses on understanding how the micro-stress/strain is originated from the microstructural features like phase distribution, dislocation and grain boundaries and affects the evolution of the microstructures. This presentation provides a concise review of the origin of microelasticity in materials, its influence on microstructure formation, phase field model for the micro-elasticity and the related researches conducted by our research group. The reserches covered will include the particle alignment and splitting in nickel-based superalloys, texture evolution driven by microelasticity, Asaro-Tiller-Grinfeld instability of non-hydrostatically stressed surface, step dynamics on the vicinal surfaces, and habit planes in martensite transformation.

[시뮬2-3 | 18:10]

상장모델의 반도체 분야 응용 : 권용우* (홍익대학교)

Keywords: 반도체 소자, 반도체 공정, 박막 미세구조

구조 재료 분야에서 주로 발전된 상장 모델을 활용한 저항 기반 메모리 소자의 시뮬레이션과 박막 미세구조 예측에 활용하고 있는 사례에 대하여 소개한다. 반도체 분야에서 전통적으로 사용되고 있는 TCAD에서는 박막 미세구조에 관련된 시뮬레이션이 쉽지 않기 때문에, 앞으로 상장 모델의 활용성은 매우 높다. 본 발표에서는 상장 모델 사용 현황 뿐 아니라, 앞으로의 가능성, 그리고, 인공지능 기술과 어떻게 공존하게 될지에 대하여 논의할 것이다.

제1회 RIST-KICET 고도분석기술 심포지엄
Room 대관령2, 10월 29일

[고도1-1 | 08:35] 초청강연

수소사업용 금속소재 국산화를 위한 시험/평가 기술개발 방향 : 이창희*, 이정훈, 배동화, 강성 (포항산업과학연구원분석평가센터)

Keywords: 수소산업용 금속소재, 신뢰성평가, 시험/분석, 수소취화 기구

탄소중립2050의 목표 달성을 위한 수소의 활용이 크게 증대할 것으로 예상되는 가운데, 수소산업에 적용되는 금속소재의 수소취성을 고려한 물성 열화에 대한 시험/평가는 산업의 요구에 부흥하지 못하고 있는 상황이다. 본 발표를 통해서는 수소산업에 사용되는 금속소재의 물성평가 및 수소취화 기구에 대한 심화분석의 개발방향을 제시하고, 이를 바탕으로 수소산업용 소재의 국산화를 위한 시험/평가 기반 강화의 필요성을 이야기하고자 한다. 수소산업에 사용되는 금속소재의 수요는 현재의 시장이 아닌 미래의 시장에 대한 선제적인 도전이므로, 이를 대비한 기술적인 기반의 확보가 필수적으로 요구되며, 신뢰성평가를 통한 장기적인 성능 및 안전성에 대한 고려도 필수적으로 뒷받침되는 것이 필요하다.

[고도1-2 | 09:05] 초청강연

고온·고압 처리에 따른 비정질화 반응 제어 연구 및 구조적 관계 분석 : 이재화* (한국세라믹기술원), 가주한 (한국세라믹기술원, 부산대학교)

Keywords: 비정질재료, X-선 흡수 분광, 라만 분석, 금속-유기 골격체, 탄화붕소(B_4C)

유리와 같이 원자배열이 불규칙한 비정질재료는 기계적성질, 내식성, 내열성, 전자기특성 등에서 기존의 결정성재료에서는 얻을 수 없었던 새로운 성질이 발현되어 다방면에서 우리의 연구 흥미를 끄는 주제이다. 이에 따라 근래에 금속 외에도 탄소, 유무기화합물, 세라믹스 등 다양한 분야에서 재료의 비정질화 반응을 제어하려는 시도가 이어지고 있다. 예를 들면 재료를 빠르게 냉각하는 유리화 공정을 통해 결정화를 의도적으로 방지하기도 하고, 역으로 소결 세라믹스에서 예기치 않게 발생하는 비정질화 반응을 억제함으로써 기계적 물성을 향상시키기도 한다. 하지만 이러한 비정질화 반응을 통해 생기는 비정질 고체는 결정질재료와는 달리 원자배열과 결합성이 뚜렷하지 못하여 그 구조를 직접적으로 조사하기 어려워 재료 특성의 구조적 근원을 설명하기 대단히 어렵다. 본 발표에서는 비정질화 반응을 의도적 유도하거나 또는 억제하는 양 측면의 연구들을 다룬다. 이에 따라 발생되는 재료의 구조적 변화를 라만과 XPS, XAS 등의 분광학법을 통해 분석하고, 새롭게 발현되는 특성과의 역학 관계를 밝히고자 한다. 첫째로 유기금속 화합물의 일종인 금속-유기 골격체에 정밀히 제어된 유리화 반응을 통해 전체 결정성은 소실하되 금속 이온별 배위환경은 크게 변하지 않는 새로운 비정질 고체를 합성하였다. 이로 인해 고유의 기공성은 일정 부분 보존하지만 구조적 안정성과 촉매 능력은 크게 향상될 수 있음을 보여주었다. 아울러 비정질화 반응이 장주기 규칙성만 상실되도록 작동했음을 X-선 흡수 분광을 통해 증명하였다. 이와 더불어, 비산화물계 세라믹스 중 하나인 B_4C의 비정질 전단밴드 형성 완화 전략을 다른 측면의 비정질 반응 제어 연구로서 발표하고자 한다. B_4C는 고경도, 저비중의 경량 방탄 소재로 탁월한 성능을 보여 실제 비행체, 차량, 개인용 방탄보호구 등에 활용된다. 하지만 전차나 장갑차와 같은 대구경 방탄 분야에서 고속 충격 시 방소 성능이 현격히 저하되는 한계가 존재하는데, 이는 충격파에 의해 B_4C 격자 내 비정질 전단밴드가 형성되기 때문으로 알려져 있다. 본 연구에선 B_4C 격자 공간 내 격자침투 혹은 구조 변이를 통한 세라믹 매트릭스 제어로 비정질 전단밴드의 형성을 성공적으로 완화하였고 이에 대한 구조적 변이 저항도를 라만 분석을 통해 증명하였다.

[고도1-3 | 09:25] 초청강연

부식 시험 평가 기술 : 김성남*, 김진원, 이동길 (포항산업과학연구원)

Keywords: 부식, 시험평가, 방식, 부식비용, 부식표준

부식현상이란 금속재료가 주위 환경과 화학적 혹은 전기화학적 반응을 일으켜서 당초에 설계된 기능을 상실하거나 유효수명의 단축을 초래하는 현상을 말한다. 부식은 관점에 따라 다른 방법으로 분류될 수 있지만 부식환경과 반응기구에 따라 수용성 부식과 고온부식으로 나눌 수 있으며, 이러한 부식 반응에 미치는 인자로는 금속의 종류, 불순물, 합금 원소, 결정 구조, 내부 응력, 오염 정도, pH, 용존 산소, 용존 이온, 온도, 유속 등이 있다. 이러한 부식 인자들을 잘 파악함으로써 부식이 발생한 원인을 밝혀낼 수 있으며 이를 통해 부식을 예방하거나 지연시킬 수 있다. 부식은 현대 산업사회에 큰 영향을 끼치고 있다. 기계나 설비가 부식으로 인해 열화되어 설계된 기능의 저하 및 안전성의 문제를 야기할 뿐 아니라 부식을 방지하는 방식 공정에서 요구되는 과다 설계 및 원료 손실의 측면 등의 간접적인 영향을 함께 고려해야 한다. 고속도로 및 철도 교량, 가스 및 상수도 배관, 자동차, 항공기, 국방 등 산업계 전반에서 많은 부식 비용이 발생하고 있으며, 2013년 조사된 보고서에 따르면 전 세계 부식으로 인한 비용은 2조 5천억달러로 추정되며, 이는 전 세계 GDP의 약 3.4%에 해당하는 금액이다. 사용가능한 적절한 부식 관리 및 효과적인 방식 설계를 통해 이 비용의 15% ~ 35%, 전 세계적으로 연간 연간 3,750억~8.750억 달러를 절감할 수 있을 것으로 추정된다. 본 발표에서는 RIST 부식시험평가팀에서 수행한 국내 산업계의 부식비용을 줄이기 위한 적절한 내식 재료의 선정, 설계 수명을 추정하기 위한 다양한 환경에서의 가속시험방법 개발, 필드 데이터를 활용한 수명 예측, 부식환경 손상분석 기술에 대한 내용을 소개 한다. 마지막으로 지금까지 알려진 부식 비용을 줄일 수 있는 방안에 대해 고찰한 후, 국내 산업계가 나아갈 방향성에 대해 생각해 보고자 한다.

[고도1-4 | 09:45] 초청강연

X-ray CT를 이용한 영상분석 기술 및 활용 : 오오성* (한국세라믹기술원)

Keywords: X-ray CT, 형상분석, 영상분석, 딥러닝

비파괴분석은 제품이나 소재의 내부 형상을 손상 없이 확인할 수 있는 기술 중 하나다. 특히 X-ray CT는 엑스선을 이용해 제품 내부의 형상을 3차원으로 시각화하는 데 뛰어난 장점을 갖고 있다. 이러한 특성 덕분에 X-ray CT를 활용한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 과거에는 CT를 이용한 형상분석이 주로 제품의 길이를 측정하거나 내부 공극 및 결함을 검출하는 등 단순한 측정에 집중되었다. 그러나 현대에는 획득한 제품 영상에서 물체를 분리한 후 이를 분석하여 제품에 반영하는 과정을 이루어진다. 이를 위하여 제품 내부의 복잡한 특이사항을 분석하거나 고장 원인을 규명하는 등의 정교한 형상분석이 필요하다. 따라서 CT 영상을 기반으로 한 결함들의 시각화 및 수치화 과정이 필수적이다. 본 연구에서는 CT로 획득한 영상에서 물체를 효과적으로 분할하는 방법을 연구했다. 기존의 영상 분할 방법은 영상 내 잡음이 존재하거나 특이 형상이 존재할 경우에는 분할이 어려움이 존재한다. 이를 해결하기 위하여 머신러닝 및 딥러닝을 활용한 영상 분할 기법을 도입하여 여러 CT 영상에 적용하였다. 그 결과 기존의 방법과 비교하여 잡음 및 특이 형상을 보다 선명하게 분할할 수 있었으며, 이를 이용하여 복잡한 형상에서 물체들을 효과적으로 분할이 됨을 알 수 있었다.

[고도2-1 | 10:25] 초청강연

국가참조표준 기반 분말 열전달현상 직접 분석기술 개발 및 응용 : 손경식* (한국세라믹기술원)

Keywords: 열전도도, 세라믹, 소재, 국가참조표준

친환경 전기 자동차, 신재생에너지, 에너지저장장치 등 이차전지는 이미 현대인의 생활에 필수적인 요소로서 자리하고 있다. 성숙기에 진입한 소형 리튬이온배터리 시장은 보다 높은 에너지 밀도를 충족할 수 있는 중대형 xEV 시장으로의 진출을 도모하고 있으며 이에 따라 주요 원료에 대한 연구 개발 및 배터리 팩의 열관리에 대한 관심이 집중되고 있다. 배터리 팩의 열관리는 크게 정상 상태 거동과 비정상 상태 거동(폭발 거동)으로 구분할 수 있다. 정상 상태 거동은 배터리 셀이 80 ºC 이하의 온도를 유지하여, 배터리 급속 충·방전 시 최적의 사이클 효율을 구현할 수 있는 온도를 유지하는 것을 목표로 한다. 배터리 비정상 상태 거동 시 열관리는 폭발로 인해 발생한 열이 인접 셀로 전파되어 폭발전이가 되는 것을 방지하는 것을 목표로 한다. 특히 배터리 폭발의 경우 소방청 국가화재정보시스템 통계자료에 따르면 배터리·축전기, 배터리 충전기, 전동킥보드, 전기자정거 및 드론 화재는 2019년 131건, 2020년 182건, 2021년 223건으로 해마다 증가하는 추세로 배터리의 폭발에 대한 사회적 경각심이 고조되고 있다. 즉, 배터리 팩의 열관리는 정상, 비정상 거동일 때 각각 방열/단열 역할을 동시에 수행하여야 한다. 배터리 팩의 열 관리는 공냉·수냉식 등 냉각 시스템에 의한 열관리가 적용되며 이를 보다 효율적으로 구현하기 위한 열계면물질(Thermal Interface Material, TIM)을 활용한다. 열계면물질은 고분자, 세라믹, 필요에 따라서는 그라파이트 등이 혼합된 부품으로, 열원과 히트 싱크 사이 간격을 메꾸어줌으로서 열전도를 통한 열 이송을 보다 용이하게 하는 역할을 한다. 이번 발표에서는 배터리의 정상 거동 시 열계면물질의 구조 및 역할에 따른 방열 특성 및 필요 물성, 열적 특성을 소개하고자 한다. 방열 특성 향상을 위한 세라믹 필러에 대한 소개 및 열적 특성에 대한 직접적 분석방식, 열계면물질 열전도도 분석법에 따른 차이 등에 대하여 설명하고자 한다. 또한 폭발 거동 시 열계면물질의 단열 역할 및 이에 따른 연구개발 방향에 대하여 논하고자 한다.

[고도2-2 | 10:55] 초청강연

방사광 활용 이차전지 소재 분석 기술 : 빈민욱* (포항산업과학연구원(RIST))

Keywords: 리튬이온배터리, 실시간분석, 방사광가속기, X-선 산란, X-선 흡수 분광

빛을 활용한 연구는 인류의 과학적 이해를 높이고 물리, 화학 의학 등 여러 분야에서 과학기술의 혁신을 이루는데 중요한 역할을 해왔다. 빛은 질량이 없는 입자의 흐름으로 보이는 입자의 관점과, 공간을 통해 전파되는 전자파의 이중성을 가진다. 빛은 파장(에너지)에 따라 다양한 특성을 가지는데, 가시광을 제외한 다른 빛은 육안으로 관찰할 수 없어 특별한 장치를 활용해야 볼 수 있다. 파장에 따른 각각의 영역을 물체와 빛의 상호작용 또는 통과/흡수 등의 성질에 따라 구분할 수 있다. 방사광 가속기는 적외선에서부터 X-선 영역의 빛을 발생시키는 장치로 높은 휘도를 구현할 수 있으며, 가시광 영역에서 투과할 수 없는 물질을 투과할 수 있는 특성을 가진다. 다양한 파장에 따라 물질을 투과 또는 흡수되어 구조를 관찰하거나 화학적 변화를 조사할 수 있는데, 이러한 성질을 통하 기존에 볼 수 없었던 물질의 특성에 관련된 정보 획득이 가능하다. 특히 RIST에서 운영 중인 PLS-II 8D POSCO XRS/XAFS 빔라인은 이차전지 분석에 특화되어 있으며, 다양한 in situ 및 X-선 흡수 분광 장치의 구축이 진행되고 있다. 본 심포지엄을 통해 구축된 실시간 in situ 충·방전/소성 분석 및 X-선 흡수·분광 분석 기술에 대해 소개하고자 한다.

[고도2-3 | 11:15] 초청강연

리튬이차전지 양극활물질 화학분석방법 표준화 연구 : 이명균* (한국세라믹기술원)

Keywords: 리튬이차전지, 양극활물질, 화학분석, 국제표준

과거에는 니켈수소전지가 이차전지 시장을 주도 하였으나, 최근에는 에너지저장, 소형화, 경량화 및 가격경쟁력을 확보한 리튬이차전지로 급속히 대체되고 있다. 리튬이차전지 용도는 전기자동차, 에너지저장 등으로 용도가 확대되면서 산업의 핵심기술로 주목받고 있다. 특히, 최근 전기차 시장이 폭발적으로 증가될 것으로 예상됨에 따라 전기차용 리튬이차전지 수요가 급증할 것이고 이에 대한 생산수요가 본격적으로 형성되고 있다. 리튬 이차전지는 양극재, 음극재, 전해질, 분리막 등 주요 4개 소재로 구성되어 있으며 소재 부분의 원가 구성을 살펴보면 양극재가 약 40 % 수준을 차지하고, 주로 상업적으로 많이 사용되고 있는 소재는 NCM, NCA, LFP등이 있다. 이러한 양극소재는 리튬이차전지의 용량과 전압을 결정하므로 배터리의 특성을 결정짓는 중요한 역할을 한다. 양극소재 제조 특성상, 미량의 자성 혹은 비자성 불순물(이물)들이 포함되어 있을 가능성이 높기 때문에 이들 불순물을 품질검사에서 반드시 확인해야한다. 만약, 일정량 이상의 금속성 불순물이 양극소재에 포함되어 배터리로 생산될 경우, 일정 시간 후 발화/폭발로 이어질 수 있는 매우 위험한 상황에 놓일 수 있다. 이와 더불어 생산과정에서 발생하는 표면 잔류 리튬화합물 양에 따라 배터리 초기용

량 등의 신뢰성 품질이슈도 대두 되고 있다. 따라서, 본 발표에서는 양극재소재의 화학분석방법을 통해 양극활물질 소재의 주요 원소비율 및 불순물 정량분석법을 논의하고, 시험방법에 대한 국제표준 진행동향에 대해 설명하고자 한다.

[고도2-4 | 11:35] 조청강연

Revealing corrosion behaviors of Mg-Al-Zn ternary alloy via liquid-phase TEM : Jungjae Park* and Sung Kang* (Research Institute of Industrial Science and Technology (RIST))

Keywords: Mg-Zn-Al alloy, Corrosion mechanism, in-situ liquid-phase TEM

Zn-Mg-Al alloy coated steel sheets are renowned for their exceptional corrosion resistance, making them ideal for demanding applications in marine, coastal, and industrial environments. These coated steel sheets find widespread application in construction, infrastructure, automotive, and renewable energy sectors due to their durability and ability to withstand harsh environments. The alloy's outstanding corrosion resistance is primarily attributed to the ensemble microstructure of Zn-Mg-Al compounds and the formation of stable and dense corrosion products such as Layered Double Hydroxides (LDH). However, the relationship between the microstructure and the formation of corrosion products remains ambiguous due to the complexity of microstructures and corrosion mechanisms. In this study, we observed the real-time corrosion behaviors of the Zn-Mg-Al alloy in a saline environment via in-situ liquid-phase transmission electron microscopy (TEM). Our observations elucidate the mechanism behind the high corrosion resistance of Zn-Mg-Al alloy coatings, providing invaluable insights into the interplay between alloying elements and microstructural evolution that leads to the superior corrosion resistance of Zn-Mg-Al alloys.

복합화력발전 가스터빈용 소재기술개발 심포지엄
Room 대관령2, 10월 29일

[가스터빈1-1 | 13:00] 초청강연

복합화력발전 가스터빈용 소재 기술개발 : 이의종*, 이정승, 제환일, 정성철 (두산에너빌리티)

Keywords: 가스터빈, 고온부품, 초내열합금, 정밀주조, 단조

현재 두산에너빌리티에서 개발 완료한 370MW급 가스터빈에 적용되는 고온부품의 핵심소재는 국내 제작기술의 열악한 환경으로 인해서 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 하여 본 개발에서는 초내열 합금소재가 적용되는 터빈 블레이드 및 베인, Inconel 디스크의 소재와 공정에 대한 기술개발이 목표이며, 개발이후 궁극적으로는 부품국산화 및 국내 관련 산업의 Supply chain 구축을 목표로 하고 있다. 가스터빈의 고온부품은 초고온/고압의 환경에 노출되기 때문에 초내열합금 소재가 적용되며, 단결정 및 일방향 정밀주조기술을 활용한 복잡한 냉각유로를 구현해야 되는 고난이도 기술이 필요하다. 관련 기술은 모두 전략기술로 분류되어 지금까지 일부 선진 업체에서만 보유하고 독점적으로 운영되고 있어 국내 산업으로 기술 전파가 어렵고, 많은 투자비와 시간이 소요된다. 이러한 애로사항으로 인해서 국내 관련 기술 수준은 해외 선진 기업대비 뒤처진 것이 현실이며, 개발 및 양산 실적도 거의 없다. 하여 본 개발에서는 TIT 1650도 이상으로 운영되는 370MW급 가스터빈에 소요되는 주요 고온부품 소재 및 정밀주조/단조를 포함한 공정개발을 주요 내용으로 하고 있다.

[가스터빈1-2 | 13:20] 초청강연

발전용 가스터빈용 단결정 블레이드 정밀주조 제조기술 개발 : 최정호, 변창길*, 안정환*, 홍성민 (HD현대마린엔진)

Keywords: 가스터빈, 단결정, 세라믹코어, Secondary orientation

가스터빈의 성능과 효율을 높이기 위해서는 가스터빈의 터빈 유입 온도(Turbine Inlet Temperature, 이하 TIT)를 향상시키는 것이 중요하며, 특히 가스터빈 1단 블레이드의 온도 수용성을 높일 필요가 있다. 본 연구의 개발품인 블레이드는 TIT가 1650ºC에 해당하는, 높은 온도 수용성이 필요한 제품으로서, 일반적으로 온도수용성을 높이기 위하여 고려되는 결정립계(Grain boundary) 제거, 합금 조성 변화, 내부 냉각 유로 설계, 열차폐 코팅 등이 모두 적용된 제품이다. 본 연구가 기존의 연구와 차별되는 2가지 중 첫째는 자체 세라믹코어 제작기술의 확보이다. 냉각 유로가 구현된 중공형 블레이드의 경우 세라믹코어의 수급과 품질 안정성이 매우 중요한데, 본 연구에서는 개발 초기에는 해외선진업체를 활용하여 주조공정 개발을 수행하고, 동시에 자체 개발 시스템을 구축함으로써 공정 개발에 필요한 만큼의 세라믹코어의 수급이 가능하였다. 두 번째는 단결정 Seed 제조 기술 확보이다. 본 개발품은 크리프 특성 뿐 아니라 고온 피로 특성이 중요하므로 이를 위한 Secondary orientation 규제가 있는데 이를 위하여 단결정 Seed 설계/제조 기술은 물론 관련 특성 평가 시스템까지 구축하였다. 본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술기획평가원(Keit)과 수요기업인 두산에너빌리티의 지원을 받아 수행되었으며, 본 발표를 통해 발전용 대형 단결정 정밀주조 공정 개발과 품질 수준에 대하여 소개하고자 한다.

[가스터빈1-3 | 13:40] 초청강연

이중필터를 이용한 가스터빈 블레이드용 고청정 모합금 제조기술 개발 : 박소영 ((주)에이치브이엠), 최정호 (HD현대마린엔진), 최재영* ((주)에이치브이엠)

Keywords: Rene N5, 가스터빈 블레이드, 진공유도용해법, 수율개선

가스터빈은 압축기로 발생시킨 공기를 연소실에서 연료와 혼합하여 연소시키고, 이로 인해 발생한 고온과 고압의 가스를 이용해 터빈을 구동하여 전기를 생산하는 장치이다. 이러한 가스터빈은 극한의 고온 및 고압의 조건에서 작동하기 때문에 다양한 원인 및 형태의 부품 손상이 발생한다. 따라서 내식성, 피로성능, 크리프 강도 등 여러 물성이 요구된다. 국내에서는 이러한 고청정 특수 합금을 제조할 수 있는 정밀한 공정 제어, 개재물 제어가 어려워 대부분 수입에 의존하는 상황이다. 본 연구에서는진공유도용해법(vacuum indcution melting, VIM)를 이용하여 한국형 복합화력 발전용 TIT(turbine inlet temeperature) 1650ºC급 가스터빈 블레이드 제조에 사용되는 Rene N5 모합금을 제조하였다. 합금의 가스 성분 제거, 미량원소 및 개재물 제어, 일관된 품질의 합금 제조를 위해 정밀한 공정 제어와 세라믹 이중필터를 적용하여 고청정 특수 합금을 생산하였다. 또한, 합금 제조 시 수율을 개선하기 위한 연구를 진행하였으며, 용해 시 발생하는 수축공의 깊이를 저감 시키기 위한 공정 개선을 수행하였다. 수축공의 잔류 성분을 분석하였고, 이를 통해 수축공과 함께 제거되는 핫탑 부분을 재활용하여 비용을 절감할 수 있는 방안을 고안하였다.

[가스터빈1-4 | 14:00] 초청강연

TIT 1650도급 가스터빈 정밀주조품 일방향응고 소재기술개발 : 권석환*, 정의석, 오인수 (한국로스트왁스(주) 연구소), 권혁주 ((주)한스코), 서성문 (한국재료연구원), 이기안 (인하대학교), 천은준 (부경대학교)

Keywords: 가스터빈, 일방향응고, 진공정밀주조, 초내열합금, 247LC 모합금

복합화력발전은 가스터빈과 스팀터빈이 세트를 이룬 발전시스템으로 이 중 가스터빈은 일차적으로 가스를 이용하여 발전을 하고 여기서 나오는 폐열을 스팀터빈에서 이용한다. 본 연구개발 기술은 대형 복합화력 발전용 가스터빈의 2단 터빈 블레이드에 사용되는 소재, 모합금 제조기술, 일방향응고 부품 제조기술로서 대형 가스터빈의 핵심 Hot part용 소재(합금설계) 및 공정(모합금 제조기술, 일방향응고 터빈 블레이드 제조기술) 기술로써 현재 전량 수입에 의존하고 있어 기술개발을 통한 국산화 및 국내 Supply Chain 구축이 시급한 상황이다. 따라서 본 컨소시엄을 통해 가스터빈 터빈 블레이드의 소재 및 부품 개발을 위해 연구중이다.

[가스터빈2-1 | 14:40] 초청강연

TIT 1650도급 가스터빈 Equaxied 소재 정밀주조기술개발 : 강경모* ((주)성일터빈)

Keywords: 가스터빈, 정밀주조, 초내열합금, 세라믹코어, 베인

1. 서론 TIT(Turbine Inlet Temperature: 터빈 입구 온도) 1650°C급 가스터빈 엔진에 사용되는 고온부품 개발을 위해, 1650°C 이상의 온도에서 견뎌야 하는 초내열합금(Equi-axed)소재를 적용하여, 정밀주조품 내부 냉각 유로 형성을 위한 세라믹코어 제작 기술, 공기역학적 특성 만족을 위한 복잡한 형상/치수 및 내부결함을 최소하기 위한 주조 결함 제어 기술 등 연구를 진행하였다. 2. 실험방법 가스터빈 주요 구조물 중, 본 개발에서는 S2 2단베인 주조품을 제작하기 위해, 소재는 공정 최적화 및 미량원소제어를 통한 939W 마스터 개발 잉곳을 사용, 모델링/도면 검토를 통한 주조성(주조품 내/외부 홀 구현을 위한, 세라믹코어 적용 등)확인, Wax/세라믹코어 금형 제작 검토/진행, 주조 전 주조해석(Procast)을 통해 주조 방안 검토, 금형 제작, 진공정밀주조공정(사출, 주형 쉘 코팅, 진공정밀주조, Wax 제거 및 후처리 및 검사 등) 및 주조품에 대한 품질검사를 하였다. 3. 결과 2단 베인 정밀주조 후 주조품에 대한 후처리작업 후 표면 결함, 주조품 내부 유로 형성(세라믹 코어를 적용) triling edge 부 구현, 등을 확인하였으며, 비파괴검사/치수/벽두께 확인 등을 진행하였다. 4. 결론/검토 2단 베인 주조품 치수는 검토 후, wax/세라믹코어 금형 수정을 진행하여, 주조품 제작 후 치수를 재측정하여 확인 할 예정이며, 이후 수요기관의 스펙에 맞게 품질검사를 진행할 것이다.

[가스터빈2-2 | 15:00] 초청강연

초내열합금의 고온산화와 고온부식 : 윤대원*, 유영수, 정희원, 서성문, 이형수 (한국재료연구원)

Keywords: 초내열합금, 고온산화, 고온부식

니켈기 초내열 합금은 높은 고온강도와 크리프 강도를 가지고 있기 때문에 가스터빈 등 고온 구조재로 널리 사용되고 있다. 최근 탄소 배출 규제와 에너지 자원 고갈 등으로 효율을 높이기 위해 가동온도의 상승에 대한 요구가 지속적으로 발생하고 있고, 이에 따라 고온에서 물성이 더욱 향상된 초내열 합금의 개발에 대한 요구도 같이 증가하고 있다. 고온 소재에 있어서 고온 기계적 물성과 함께 고온에서의 내산화성과 고온부식 특성과 같은 내환경성 또한 소재의 수명을 결정짓는 중요한 요소이다. 특히 블레이드의 트레일링 에지와 같이 두께가 얇은 부분은 산화나 부식에 의해 두께가 감소하고 표면부 미세조직에 변화가 발생할 경우 물성이 크게 감소하여 수명이 단축될 수 있다. 따라서 본 발표에서는 다양한 내산화성이 향상된 초내열합금 개발 연구 사례를 통해 Cr, Al, Ti, Mo, W, Ta 등의 초내열합금에 일반적으로 첨가되는 여러가지 합금 원소들이 니켈기 초내열 합금의 고온산화에 미치는 영향을 알아보고자 한다. 또한 용융염에 의해 발생하는 고온부식에 대한 기초적인 연구 사례 및 특징을 소개하고자 한다.

[가스터빈2-3 | 15:20] 초청강연

다단 용체화열처리에 따른 CM247LC 합금의 미세조직 분석 : 이형수*, 윤대원, 정인용, 정희원, 유영수, 서성문 (한국재료연구원)

Keywords: 일방향응고, CM247LC, 초내열합금, 용체화열처

Ni기 초내열합금은 우수한 고온 크리프 특성으로 가스터빈의 고온부품의 핵심소재로 활용된다. 이 중 CM247LC 합금은 Mar M 247 합금에서 일방향응고 주조성을 향상시키는 방향으로 개량된 합금으로 가스터빈 블레이드에 주로 적용이 되는 소재이다. 10종이 넘는 합금원소들이 Ni 기지에 첨가되며 각기 고용강화, 석출강화, 입계강화, 내산화성 및 내부식성 향상에 기여한다. 많은 합금 원소들은 주조 응고 시 분배계수 차이에 따라 합금원소별로 고/액상으로의 편석이 발생한다. Al, Ti과 같은 원소들은 액상으로 분배됨에 따라 응고 끝단에서 수지상간 영역에 편석이 심하게 발생하고 조대한 γ/γ' 공정조직을 형성한다. 수지상간 영역에 형성된 γ/γ' 공정조직은 합금의 기계적 물성에 주로 부정적인 영향을 미친다. 따라서 용체화 열처리를 통해 γ/γ' 공정조직을 해소하고 수지상 내부 및 수지상간 영역 전반에 걸쳐 균질한 미세조직을 만드는 것이 고온 물성 향상을 위한 길이다. 본 연구에서는 여러 용체화 열처리 조건을 적용하여 열처리 조건에 따른 미세조직적 균질성 향상 정도를 분석하고, 이로 인해 수지상간 영역에서의 γ' 및 이차상 미세조직을 정량적으로 분석하고자 하였다. 최종적으로 이들 시편의 인장과 크리프 특성 비교를 통해 미세조직에 따른 기계적 물성을 평가하였다.

[가스터빈2-4 | 15:40] 초청강연

Inconel 706 단조재 열처리에 따른 미세조직 및 물성변화 : 강호성, 김정기* (경상국립대학교)

Keywords: Inconel706, Heat treatment, Microstructure, Mechanical properties

Inconel 706 합금은 가스터빈용 대형디스크에 활용되는 석출강화형 합금으로 시효 열처리 동안 석출된 강화상에 의해 전위의 거동이 방해되어 고온 환경에서 우수한 강도를 갖는 것으로 알려져 있다. 따라서, 소재의 열처리 조건에 따라 형성되는 이차상의 종류 및 크기에 따라 소재의 기계적 특성 역시 큰 영향을 받게 된다. 이에 본 발표에서는 Inconel 706 단조재 열처리 조건에 따른 소재 미세조직 및 물성변화에 대한 연구결과를 공유코자 한다. 첫 번째로, Inconel 706 합금의 시효처리 공정조건 변화에 따라 형성 유무가 결정되는 η상이 소재 강도 및 저주기 피로특성에 미치는 영향에 대해 언급코자 한다. 일반적으로 η상이 형성될 경우, 소재의 강도에는 부정적인 영향을 미치지만 저주기 피로특성의 향상을 유발하는 것으로 알려져 있다. 그러나, 본 연구에서는 η상의 과도한 성장이 발생한다면 저주기 피로특성 역시 저하될 수 있음을 확인하였으므로 그 원인에 대해 논하고자 한다. 두번째로, 내열소재의 장기간 사용 시 미세조직의 열화가 발생할 수 있음에도 재열처리 후의 미세조직 및 물성변화에 대한 연구는 아직까지 미진하다. 이에 재열처리 중 용체화 시간에 따른 Inconel 706 단조재의 미세조직과 기계적 특성변화를 정량화한 결과에 대해 공유코자 한다. 미세조직 분석 결과, 재열처리 시간이 길어짐에 따라 고온 노출에 의한 η상 용해에 따른 분율 감소를 관찰할 수 있었고, 그와 동시에 (γ′ → η) 상변태가 발생하여 결정립계와 유사한 형상을 띄는 것을 확인했다. 상기 결과들을 통해 발전용 가스터빈에 널리 사용되는 Inconel 706 합금의 제조 및 유지보수 중 요구되는 후열처리가 소재 물성에 미치는 영향에 대해 정량적으로 확인할 수 있다.

[가스터빈3-1 | 16:20] 조청강연

Inconel 939W **정밀주조재의** Rework/Repair welding **공법 최적화에 관한 연구** : 김동배*, 남지윤, 최혜원, 유가영 (대구기계부품연구원), 이유철, 송윤진, 이은비, 박진형 (클래드코리아(주))

Keywords: gas turbine, 939W superalloy, filler metal, repair/rework welding, brazing

고온·고압의 연소가스로 터빈을 가동시켜 에너지를 생산하는 가스터빈의 베인 또는 블레이드는 고온·고압의 운전 조건에서 지속적으로 견뎌야 하므로, 원소재로 기계적 물성과 내식성/내산화성이 우수한 니켈계 초합금(939 W)이 주로 사용된다. 따라서 석출 경화형 니켈계 초합금(939 W)의 경우 보수 용접 시 용접성이 떨어지는 문제가 있기 때문에, 이를 해결하기 위한 939 W 초합금용 최적 용접재의 선별과 용접 균열을 줄일 수 있는 용접 기술에 관한 연구가 선행되어야 한다. 더불어 실제 베인 주조품의 결함부 보수용접 시 용접 대상부위를 정확하게 스캔하여 용접방법을 수립 후 자동용접하는 시스템의 개발도 필요하다. 본 연구에서는 Inconel 939 W 재 정밀주조품의 rework/repair 관점에서의 최적 용접공법 확보 및 자동용접을 위한 연구를 수행하였다. 베인 각 부위별로 939 W 용접와이어를 적용하여 아크용접 후 용접부의 건전성 여부와 미세조직 분석을 진행하였다. 또한 임의로 베인을 스캔하여 용접대상부를 결정 후 로봇용접을 통해 실제 현장에서 적용할 수 있는 자동 보수용접시스템의 실증을 수행하였다.

[가스터빈3-2 | 16:40] 조청강연

IN 939 **합금의 고온물성 평가 예측 연구** : 손승배*, 전준협, 이석재 (전북대학교)

Keywords: IN 939 alloy, thermodynamic calculation, machine learning, explainable artificial intelligence

Ni계 초내열 합금의 경우 700°C 이상의 고온에서 높은 물리적 특성과 내식성이 우수해 가스터빈, 제트 엔진, 항공 우주 및 석유화학 산업의 재료로 광범위하게 사용되고 있다. 특히 IN 939 합금의 경우 850°C 이상에서도 높은 기계적 특성과 내열성을 가지고 있어, 가스터빈의 블레이드에 주로 사용되는 재료다. 따라서 IN 939 합금의 인장 온도에 따른 물리적 특성을 예측하고 각 합금 조성의 변화에 따른 물성의 변화를 분석하는 것은 가스터빈의 효율을 증가시키고 합금의 물성을 제어에 기여할 수 있다. 본 연구에서는 IN 939 합금 원소의 변화와 온도 변화에 따른 인장 강도를 예측하고 합금 원소와 온도에 따른 영향을 비교하기 위해 기계학습 모델을 제안하고 설명 가능한 인공지능 방법을 사용해 예측 거동을 분석했다. 이를 위해 Cr, Al, Nb, Ti, W, 인장 온도, 인장 강도를 포함한 약 6만 개의 데이터를 JMatPro를 통해 계산했으며, 이를 통해 고온 인장 강도를 예측하는 기계학습 모델을 제안했다. 제안된 기계학습 모델과 설명 가능한 인공지능 방법을 통해 합금 원소와 인장 온도의 변화가 인장 강도에 미치는 영향을 정량적으로 분석했으며, 각 원소가 인장 강도에 미치는 영향의 평균적인 크기를 제안하여, IN 939 합금의 재료 설계 시 고려해야 할 변수를 제시했다.

[가스터빈3-3 | 17:00] 조청강연

IN706 **초내열합금의 Φ 1,700 mm 이상 대형디스크의 하중저감 단조기술개발** : 권순일, 최상민 (세아창원특수강), 주병돈 (태상), 제환일 (두산에너빌리티), 우영윤, 윤은유 (한국재료연구원), 신정호* (세아창원특수강)

Keywords: Gas turbine disk, Superalloy, Triple melting, Forging, Mechanical properties

복합화력 발전시스템의 고효율화를 위해 가스터빈의 대형 핵심 부품 중 가스터빈의 수명과 함께 하는 터빈 디스크 전용 소재설계 기술 및 단조를 통한 대형 디스크 부품 제조기술이 요구되고 있다. 이를 해결하기 위한 핵심 기술로 터빈 디스크용 Ni 초내열합금의 소재설계와 더불어 고청정의 대형 잉고트를 제조할 수 있는 기술이 우선적으로 필요하다, 따라서 VIM-ESR-VAR의 순차적 제강, 정련 공정으로 이어지는 Triple melting 기술로 대형 잉고트 제조방안을 개발하고자 한다. 고청정 원료 활용을 통한 미량원소 제어 및 ESR, VAR로 이어지는 정련을 통해 고청정, 가스(N, O, H) 최소화 기술을 확보하여, 청정한 초내열합금 대형 잉고트를 제작이 필수 적이다.또한 대형 디스크 제작을 위한 단조 성형 시 60,000톤 이상의 하중을 부가할 수 있는 프레스 장비가 필요하지만 국내에 가능한 장비가 없으므로, 하중 저감 단조 기술의 확보가 중요하다. 이에 본 연구에서는 디스크 단조 시 하중 저감을 위한 로테이트 단조(Rotate forging) 공정기술을 활용하여 가스터빈 대형 터빈 디스크 제조 기술을 확보하고자 한다.Triple melting 후 Billetizing에서 4회에 걸친 업셋팅(Upsetting), 코깅(Cogging)으로 내질 확보를 추진하였고 이어지는 Rotate forging에서는 목표 치수를 맞추며 기계적 특성을 확보하기 위한 단조 방법을 최적화 하고자 한다. 이를 통해 가스터빈 디스크에서 요구되는 기계적 특성 및 미세조직을 확보하기 위한 제조 기술을 확정하려 한다

고온재료
Room 루지홀, 10월 29일

[고온1-1 | 08:30]
항공 엔진 부품용 Master Ingot 고청정 확보 기술 : 우한별*, 손인수 (한화에어로스페이스)
Keywords: 항공엔진, 가스터빈, 소재, 국산화, Master Ingot
항공엔진 부품은 고온 온도 수용성을 나타내는 크리프 및 피로 강도와 부품의 우수한 정밀 주조성 등이 요구되고 있다. 이를 달성하기 위해서는 운전조건에 부합하는 합금 설계, Master Ingot의 유해원소 및 비금속 개재물 제어 등이 선결 요건이다. 전량 수입에 의존중인 Master Ingot이 수출 통제 규정에 의해 즉시 수입이 불가할 경우를 대비하여, 정부 지원 하에 항공용 가스터빈 엔진에 적용되는 정밀주조품의 원소재인 Master Ingot 국산화 제조 및 평가 기술 구축 연구개발이 진행되고 있다. 국산화된 Master Ingot이 항공 부품으로 적용되기 위해서는 신뢰성 있는 특성 평가가 필수적이며, 외산 소재와의 동등성을 입증하고 신뢰성 검증에 따른 소재 물성 및 기계적 특성 평가 DB의 확보가 필수적이라 할 수 있다. 본 발표에서는 항공 엔진 부품용 Master Ingot에 대한 고청정을 확보하기 위한 개발 사례를 소개하고자 한다. 본 연구는 핵심기술 연구개발과제(무기체계 패키지형) “터보팬 노즐 쉬라우드용 일방향응고 내열합금 개발 기술(KRIT-CT-23-042-1)에 의한 연구임을 밝히며, 이에 감사드립니다.

[고온1-2 | 08:45]
용융 Ni-Al 합금의 탈산평형 평가 : 전상혁 (동아대학교 금속공학과), 강영조* (동아대학교 신소재공학과)
Keywords: Ni계 초내열합금, Al, 산소용해도, 탈산평형, 상호작용계수
Ni계 초내열합금은 다양한 합금원소의 첨가로 내열특성을 향상시킨 특수합금으로, 특히 Al은 Ni3Al(γ’상)형성과 고온강도 확보에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 하지만 초합금 내 O, N, S 등의 불순물 존재 시 초합금 특성을 위해 첨가한 합금 원소들과의 결합하여 취성상을 형성하게 되고, 이는 초합금 물성에 치명적인 영향을 끼치므로 불순물의 제어가 매우 중요하다. 하지만 ESR, VAR 등의 추가 정련공정 없이 VIM만을 통해 제조 할 경우 진공조건으로 인한 Slag 사용이 제한됨에 따라 대부분 진공에 의한 제어에 의존하며 효과적인 제거가 곤란하다. 한편 Ni계 초내열합금은 산소친화도가 높은 Al이 수% 첨가되므로 Al농도가 내열합금 내 산소농도에 미치는 영향에 대한 제어가 필요하다. 하지만, 용융 Ni 중 Al의 농도가 수% 이상인 경우의 탈산평형에 대해서는 알려진 바가 많지 않다. 이에 본 연구에서는 Al2O3도가니 내에서 0.0005wt%~10wt% 범위의 Al농도를 가진 용융 Ni-Al합금을 1873K에서 평형시킨 후 산소농도를 분석하였다. 이렇게 측정된 용융 Ni중 Al-O간의 평형관계를 희박용액의 Wagner식을 이용한 통상적인 방법과, 다중회귀분석, Regular solution을 이용한 Quadratic Formalism의 3가지 방법으로 평형상수와 상호작용계수를 도출하여 평가하고자 하였다.

[고온1-3 | 09:00] Canceled
인코넬 939 계열 니켈계 초합금의 γ/γ'-상 구성 원소 분율 제어를 통한 미세구조 및 기계적 물성 최적화 전략 : 김동환, 김민석, 박은수* (서울대학교 재료공학부)
Keywords: 니켈계 초합금, 석출 강화, 미세구조, 기계적 물성, 연신율
니켈계 초합금은 대표적인 내열 소재 중 하나로, 항공우주 및 발전소 등 다양한 고온 환경에서 널리 사용되고 있다. 그 중에서도 인코넬 939는 크립 수명과 산화 저항성 등에서 특히 우수한 특성을 나타내는 소재이지만, 연신율이 비교적 떨어지며 용접 및 적층 제조 과정에서 발생하는 균열에 취약하다는 한계 또한 가지고 있다. 본 연구에서는 인코넬 939 계열 니켈계 초합금을 구성하는 γ-기지와 γ'-석출물 구성 원소의 분율 제어를 통해 초합금의 미세구조 및 기계적 물성의 최적화를 수행하고자 하였다. Cr, Ti, Al 등 γ 또는 γ'-상 구성 원소의 분율이 제어된 다수의 인코넬 939 기반 초합금 시편이 제조되었으며, 4-step 균질화 및 열처리 과정을 거친 뒤 그 미세구조 및 기계적 물성을 평가하였다. 실험 결과 Cr과 Ti 분율이 높은 조성의 미세구조에서 독특한 바늘 모양의 석출 거동이 관찰되었으며, EDS mapping을 통해 이것이 Ti 위주의 η-상 석출물임을 확인할 수 있었다. 한편 Al 분율이 높은 조성에서는 취성이 높은 상의 석출 거동이 발견되지 않았으며, 이로 인해 연신율이 대폭 향상되면서도 강도의 trade-off는 최소화되는 현상을 관찰할 수 있었다. 이렇듯 구성 원소 분율의 제어에 따른 니켈계 초합금의 석출 거동 및 기계적 물성의 변화를 파악하였으며, 이를 통해 우수한 강도와 연신율을 모두 갖춘 초합금의 최적 조성을 제안할 수 있었다. 본 연구를 통해 인코넬 939뿐 아니라 다른 니켈계 초합금의 미세구조 및 기계적 물성을 제어하고, 향상된 물성을 가진 최적 조성을선정하는 데 도움을 줄 수 있으리라고 기대한다. 본 연구는 핵심기술 연구개발과제(무기체계 패키지형) “터보팬 내열부품용 3D프린팅 내열합금 개발 기술 (No. KRIT-CT-23-042)”에 의한 연구임을 밝히며, 이에 감사드립니다.

[고온1-4 | 09:15]
터빈 디스크용 분말야금 SA-1500 초내열 합금의 고온 기계적 물성에 미치는 분말 제조 방법의 영향 : 김동훈*, 송영범, 김규식, 김상훈, 김대웅 (국방과학연구소), 홍현욱, 한재연 (국립창원대학교)
Keywords: SA-1500 초내열 합금, 분말 야금, 고온 기계적 특성, 플라즈마 회전 전극, 가스 분무
분말야금용 SA-1500 초내열 합금은 우수한 고온 기계적 특성을 나타냄에 따라 고온 및 회전으로 인한 반복적인 응력에 노출되는 항공용 엔진의 터빈 디스크로 적용이 기대되고 있다. SA-1500 합금은 높은 고온 강도 및 우수한 열 특성으로 인해 기계 가공과 성

형을 어렵게 하며 부품 제작시 많은 소재 소모가 발생된다. 이를 해결하기 위하여 분말 야금(powder metallurgy)을 활용하여 효율적인 부품 제작을 위한 연구가 진행되고 있다. 하지만 분말 야금을 적용하기 위한 SA-1500 분말의 산소 함량과 표면의 산화물에 의하여 PPB(Prior particle boundary) 결함이 필연적으로 발생하게 되며 이 결함으로 인하여 불균일하고 상대적으로 낮은 고온 기계적 특성을 나타내게 된다. PPB는 주로 분말의 산소 함량과 관계가 있어 기존 가스 분무 공정으로 제조된 분말과 비교하여 낮은 산소 함량을 나타내는 고청정 분말을 제조하기 위한 시도가 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 플라즈마 회전 전극(Plasma rotating electrode process) 공정을 활용하여 고청정 초내열 합금 분말 제조 기술을 연구하였으며 고온 등압 성형 공정(Hot isostatic pressing)으로 성형체를 제조하여 고온 기계적 물성을 평가하였다. 이 결과를 기반으로 분말 제조 공정에 따른 분말 특성(구형도, 위성 분말, 분말 크기 분포, 조성, 결정립 크기 등)을 비교하고 SA-1500 초내열 합금의 기계적 특성에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

[고온1-5 | 09:30]

니켈기 초내열합금의 저주기피로 및 크리프 특성평가 : 송전영*, 신종호, 한광식, 정근수, 마영화 (두산에너빌리티)

Keywords: 니켈기 초내열합금, 저주기피로, 크리프, 용접

니켈기 초내열합금은 고온에서 우수한 피로 및 크리프 특성과 열안정성으로 발전 및 항공용 가스터빈의 고온부품의 핵심소재로 널리 사용되고 있다. 이러한 니켈기 초내열합금은 고용강화형과 석출경화형으로 나뉘며, 이는 화학조성에 크게 의존한다. 본 연구는 Wrought 니켈기 초내열합금의 모재와 용접부의 저주기피로 및 크리프 특성을 고찰하였으며, 수명평가 모델을 개발하는데 사용하고자 한다. 저주기피로의 경우 700도 이상의 두 온도대를 지정하여 시험을 수행하였으며, 크리프 시험도 동일한 온도에서 단시간 시험을 수행하여 온도에 따른, 모재와 용접부의 저주기피로 및 크리프 특성을 확인할 수 있었다. 본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원(과제번호 20181110100410)을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

[고온1-6 | 09:45]

니켈기 초내열합금 Nimonic 80A의 결정립계 파형 제어 및 크립 특성 평가 : 김가영 (부산대학교), 김연승 (LG 화학), 정희원, 윤대원, 이형수 (한국재료연구원), 이제인* (부산대학교)

Keywords: 초내열합금, 열처리, 파형입계, 크립

발전 산업에서의 Net zero 달성을 위해서는 발전 효율 향상이 중요하다고 알려져 있기 때문에, 최근 LNG를 이용한 복합화력발전의 비중을 늘리고 발전기의 터빈 입구 온도를 높이는 시도가 진행되고 있다. 현재 복합화력발전용 증기터빈 블레이드에는 니켈기 초내열합금이 사용되고 있으나, 터빈입구온도가 높아짐에 따라 터빈 블레이드에 사용되는 소재는 현재보다 더 우수한 고온 특성을 가져야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 고온 환경에서 균열이 생성 및 전파되는 통로인 결정립계의 형상을 제어함으로써 합금의 고온 크립 특성을 향상시키고자 하였다. 본 연구에 사용된 Nimonic 80A 합금에 대한 통상적 열처리를 기반으로, 서냉 과정을 추가한 새로운 다단 열처리를 도입함으로써 결정립계를 파형으로 변화시켰다. 미세구조 분석을 통해 초기 탄화물과 입계에 석출된 탄화물이 서냉 중 입계의 이동을 방해하는데 중요한 영향을 미침을 확인하였다. 용체화 처리 조건에 따라 탄화물의 석출 거동을 달리함으로써 입계 파형화 정도를 제어할 수 있었으며, 고속 푸리에 변환 기법으로 이를 정량적 분석하였다. 750 ºC, 260 MPa의 조건으로 수행된 크립 시험에서 결정립계를 파형화 시킨 합금의 수명은 기존 대비 약 20 % 길어졌다. 파단면 분석을 통해 파형입계가 생성된 Nimonic 80A 합금은 고온에서 균열의 전파가 충분히 억제되었고, 변형을 지연시킴으로써 크립 수명이 향상됨을 알 수 있었다.

[고온1-7 | 10:00]

Enhanced High-Temperature Plasticity with Retained Strength in Modified Cobalt-Nickel Superalloys : Saurabh Tiwari, H. J. Bae, Muhammad Ishtiaq, Won Hui Jo, Cho Hyeon Lee (Department of Materials Engineering and Convergence Technology,Gyeongsang National University, Jinju), Joong Eun Jung (Korea Institute of Materials Science (KIMS), Changwon, Republic of Korea), and Jae Bok Seol* (Department of New Materials Engineering, Kookmin University, Seoul, Republic of Korea)

Keywords: IN738LC alloy, mechanical properties, microstructural modifications, high-temperature applications

This study explored a compositionally modified version of the conventional Ni-based IN738LC superalloy by lowering the expensive Co content and increasing the more affordable Mo content. This adjustment led to a higher density of uniformly distributed γ' precipitates than the traditional alloy. As a result, the modified alloy exhibited a twofold increase in tensile elongation at high temperatures (750°C) while maintaining comparable strength (~1.1 GPa). The enhanced ductility was primarily due to a shift in the deformation mechanism from multiple intersecting slip bands to unidirectional microtwins, which improved plasticity. Increased Mo and reduced Co content promoted the formation of coherent γ' precipitates in the annealed state and a high density of micro twins in the deformed state. This combination resulted in stress delocalization and greater plasticity while retaining strength, making the findings significant for developing cost-effective superalloys with improved mechanical properties for high-temperature applications.

[고온2-1 | 10:30]

항공엔진용 초고온 세라믹 매트릭스 복합재료의 개발 : 유주현*, 손명숙, 손인수 (한화에어로스페이스)

Keywords: CMC, SiC/SiC, Composites, Ceramic, 고온소재

세라믹 매트릭스 복합재료는 취성적인 세라믹의 파괴 거동을 완화하기 위하여 세라믹 섬유를 이용하여 강화한 복합재료이다. 이러한 세라믹 복합재료는 1960년대부터 연구되기 시작하여, 1990년대를 기점으로 항공엔진을 타겟으로 활발히 연구되어왔다. 그 중에서도

SiC/SiC 복합재료는 섬유와 매트릭스가 모두 탄화 규소로 이루어진 소재로 매우 가벼우면서 고온에서 뛰어난 기계적 특성과 안정성을 가지고 있다. 이러한 이점들로 인하여 GE를 비롯한 세계 항공엔진 선진사들은 항공엔진 부품에 적용하기 위한 연구를 실시하고 있으며, 일부 엔진에는 실제 SiC/SiC 복합재료로 만들어진 부품을 장착하고 있다. 그러나 SiC/SiC 복합재료는 이중용도물품으로 지정되어 원료부터 부품, 가공기술 등, 관련된 모든 기술이 수출입통제대상으로 등록되어 있으며, 해외 기술 도입 및 부품 수입이 불가하여, 국내에서는 적용 사례는 물론, 연구개발도 미흡한 상황이다. 최근 한화에어로스페이스는 항공엔진 부품의 국산화를 위하여 활발히 활동하고있으며, SiC/SiC 복합재료를 대상으로 Feasibility Study를 실시하여 SiC/SiC 복합재료의 국산화 도전을 시작하고 있다. 본 발표에서는 SiC/SiC 복합재료의 요소기술과 함께, 한화에어로스페이스의 SiC/SiC 복합재료 국산화 방향에 대해 소개하고자한다.

[고온2-2 | 10:45]

항공용 가스터빈 엔진 부품의 타이타늄 소재 적용 및 공정 최적화 설계 : 오승철*, 황승욱, 권혁준, 손인수 (한화에어로스페이스)

Keywords: 항공엔진, 타이타늄, 소재/부품, 단조

타이타늄 초내열합금은 경량, 고강도 그리고 우수한 내식성을 겸비한 금속으로, 항공우주, 의료, 해양 등 다양한 산업 분야에서 폭넓게 활용되고 있다. 특히, 항공 가스터빈 엔진 부품의 핵심 소재로서 타이타늄 합금에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있으나, 이는 주로 해외 선진사들이 주도하고 있으며, 국내에서의 개발 사례는 아직 미흡한 실정이다. 당사에서는 국내 항공산업과 무기체계의 발전을 목표로, 엔진 소재 및 부품의 국산화를 위해 정부의 지원을 받아 타이타늄 원소재 및 단조품 제조에서의 공정 변수와 요구 특성을 고려한 전반적인 프로세스를 연구하고 있다. 본 연구에서는 항공 엔진 내 타이타늄 단조합금을 적용하기에 앞서 중요한 품질 고려 인자인 미세조직, 기계적 특성 및 열처리 공정 (Beta Transus 고려) 최적화 설계를 수행하였으며, 이를 바탕으로 실제 공정 프로세스 적용 방안을 제시하고자 한다.

[고온2-3 | 11:00]

구리 첨가가 700도에서 HR3C 강의 석출 거동에 미치는 영향 : 이건직 (한국과학기술연구원, 고려대학교), 손석수 (고려대학교), 심재혁* (한국과학기술연구원)

Keywords: 오스테나이트, 스테인리스, 석출 거동, 시그마상, 내열강

탄소 중립화를 위한 세계적으로 각 산업 분야에서 탄소 배출량 저감을 위한 노력이 이루어지고 있다. 전력 생산 분야는 높은 화석 연료의 의존도로 인해, 전체 탄소 배출량의 높은 비중을 차지하고 있다. 발전 분야의 탄소 배출량 저감을 위해 원자력, 수소, 풍력, 태양광 등 신재생에너지를 활용하기 위한 연구와 노력이 이루어 지고 있지만, 기술의 한계로인해 당장 도입이 어렵다. 그렇기 때문에, 가까운 미래에는 여전히 화석 연료를 이용한 발전이 사용 될 것이라고 예측되어진다. 그렇기 때문에, 화석 연료를 이용한 발전 방식에서 탄소 배출량을 저감에 대한 필요성이 강조되고 있어, 이를 위한 많은 연구들이 이루어지고 있다. 화석 연료를 이용한 화력 발전 방식의 탄소 배출량을 저감 시키기 위해서는, 발전이 이루어지는 발전 온도와 발전 압력을 기존의 발전소 보다 더욱 높은 환경에서 이루어져야 한다. 이러한 극한 환경에서는 재료의 열화와 산화가 쉽게 일어날 수 있어, 기존의 재료를 대체할 수 있는 차세대 발전소용 재료의 개발 및 안정성 평가가 필요하다. 현재 1000MW급 발전소의 보일러 및 리히터 튜브에 사용되어지는 HR3C 강은 25Cr-20Ni 오스트나이트계 내열강으로, 높은 Cr과 Ni의 함량으로 고온에서의 안정성과 산화 저항성이 우수하여 650도 환경에서 까지 사용할 수 있다. 하지만 HR3C가 700도가 넘는 환경에 노출되면, 고온 재료의 열화를 일으키는 시그마 및 에타 석출물이 입계에서 빠르게 형성되어 기계적 물성을 감소시키기에 차세대 발전소용 재료로써 적합하지 않다. 본 연구에서 HR3C 내열강에 구리 합금원소를 첨가하여, 구리 합금 원소가 시그마 석출물의 석출거동에 미치는 영향에 대하여 평가 하였다.

[고온2-4 | 11:15]

Exploration of High-Temperature Mechanical Properties of HfNbTaTiZr Single Crystal by Optical Floating Zone Technique : Hung Yen (Department of Materials Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology, Department of Materials Science and Engineering, National Tsing Hua University), An-Chou Yeh (Department of Materials Science and Engineering, National Tsing Hua University, High Entropy Materials Center, National Tsing Hua University), and Hyoung-Seop Kim* (Graduate Institute of Ferrous Technology, Pohang University of Science and Technology)

Keywords: Refractory High-Entropy Alloys, HfNbTaTiZr Alloys, Optical Floating Zone Technique, Singal Crystal, High-Temperature Mechanical Properties

Improving the fuel efficiency of gas turbine engines presents a formidable scientific challenge, requiring the development of structural materials that can endure temperatures exceeding the limits of conventional Ni-based superalloys. Recent advancements in refractory high-entropy alloy (RHEA) systems have shown substantial potential, offering a promising avenue for future applications in this demanding environment. In numerous studies, it has been observed that conventional Ni-based superalloys exhibit superior mechanical properties, such as high-temperature strength and creep resistance, particularly within single-crystal systems. However, current research on RHEAs has predominantly focused on polycrystalline systems. This study aims to overcome the technical challenge of growing single crystals from refractory materials using the Optical Floating Zone Technique. We have successfully grown a single crystal of the RHEA HfNbTaTiZr to investigate its high-temperature properties. Initial high-temperature compression tests revealed a stress rebound phenomenon at 800°C/0.1 s^{-1} and 800°C/0.01 s^{-1}, which contrasts with the behavior observed in polycrystalline systems. This discrepancy is likely due to the formation of shear bands. In contrast, at higher temperatures, dynamic recrystallization (DRX) occurred within the single crystal grains rather than at grain boundaries, due to the absence of grain boundary effects.

[고온2-5 | 11:30] Canceled

Directed energy deposition으로 제작된 Ni cladded STS316H 스테인리스 강의 NaCl-$MgCl_2$ 용융염 환경 침지 부식성 평가 :
남승주, 이원찬 (국립한밭대학교 신소재공학과), 신기승, 윤지현 (한국원자력연구원 재료안전기술개발부), 김정한* (국립한밭대학교 신소재공학과)
Keywords: 스테인리스, DED,부식

용융염 원자로(molten salt reactor)는 대형 가압수형 원자로 시스템에 비해 안전성, 비용 효율성 측면에서 우수한 장점을 제공하는 것으로 알려져 있다. 316H 스테인리스 강은 ASME Code Section III Division 5에 등록된 소재로서 고온 크리프 특성과 내식성이 뛰어나며 20년 이상의 설계 수명 데이터가 확보되어 있어 차기 용융염 원자로의 구조재로 사용이 고려되고 있다. 그러나 316H 스테인리스 강은 가혹한 용융염 환경에서의 부식 저항성이 대단히 낮을 것으로 우려되고 있어 금속구조재(316H) 표면에 내식성 피복을 적용하는 방법으로 이러한 문제를 극복하려는 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 316H 스테인리스 강에 Directed energy deposition (DED) 방식으로 니켈을 적층하여 용융염에서 침지 실험을 통해 니켈의 내식성을 평가하고자 한다. 이를 위해 DED를 통해 니켈이 적층된 316H 스테인리스 강을 각 100시간, 300시간 동안 NaCl+$MgCl_2$ 용융염에 침지하였다. 침지 실험은 전처리 과정을 끝낸 샘플들을 수분과 산소 농도가 각 5ppm이하로 유지되는 글러브박스 내부에서 수행되었다. 실험 후 샘플을 꺼내어 표면 면적과 무게 감소율을 측정하였다. 또한 실험에 사용된 샘플과 용융염의 분석을 위해 XRD, SEM/EDS 분석을 진행하였다. 침지실험 후 무게 변화를 통해 316H 스테인리스 강의 용융염 환경에서 부식속도를 구하였다. 이러한 부식특성 연구는 재료의 내구성과 특성 변화를 분석하는데 기여하며 극한 환경에서의 재료 선정에 중요한 지침을 제공할 것으로 예상된다.

제13회 터빈소재 및 내열합금 심포지엄
Room 루지홀, 10월 29일

[내열1-1 | 13:00] 초청강연

Long-term Thermal Fatigue Property and Microstructures of Inconel 718 and Hastelloy X Fuel Injector Nozzles Manufactured by EB-PBF and LPBF Processes : Dongyi Seo*, Taylor Robertson (National Research Council of Canada), Byoung-Soo Lee, Ji-Hyun Sung, Se-Hyun Ko, and Ho-Joon Choi (Korea Institute of Industrial Technology)

Keywords: Additive Manufacturing (AM), Fuel Injector Nozzles, Thermal Fatigue Testing, Electron Beam Powder Bed Fusion (EB-PBF), Residual Stresses

Various additive manufacturing (AM) processes have been utilized to produce fuel injector nozzles as an ideal component of gas turbine applications by gas turbine OEMs. This is mainly because their complex internal geometries are required proper air and fuel mixing and are difficult to manufacture using conventional manufacturing techniques. In general, fuel injectors are subject to less active stresses than other gas turbine components. In this presentation, a thermal fatigue test rig is newly designed and introduced to assess durability of the structures of the injector nozzles. Fuel injector nozzles are manufactured by two AM processes, electron beam powder bed fusion (EB-PBF) and laser powder bed fusion (LPBF) processes with Inconel 718 and Hastelloy X powders, respectively. Post-AM treatments such as solution heat treatments and hot isostatic pressing (HIP), are applied to the nozzles as a part of process optimization. Thermal fatigue testing consists of a 180 second heat profile where the test piece is inductively heated to the target temperature (~750°C) and cooled back to minimum 50 °C. Test samples are cycled for up to 20,000 cycles to examine any external and internal damage due to thermal fatigue. Residual stresses of selected AM nozzles are characterized through X-Ray diffraction (XRD) both prior to and post thermal cycling. Microstructures of the AM nozzles in as-manufactured, post-AM treated and tested conditions are characterized through optical microscope (OM) and scanning electron microscope (SEM) examination. From this study, long-term thermal fatigue properties of the AM nozzles are investigated in terms of the AM processes, residual stresses, and microstructures.

[내열1-2 | 13:20] 초청강연

화학기상법을 이용한 고밀도 SiC 섬유강화 세라믹 복합체 제조기술 개발 : 김대종*, 이현근, 김원주, 박지연 (한국원자력연구원)

Keywords: 가스터빈, 세라믹, 복합체, 탄화규소, CMC, CVI

SiC 섬유강화 세라믹 복합체는 우수한 고온 열적/기계적 특성, 높은 비강도를 가지질 뿐만 아니라, 중성자 조사 저항성이 탁월하기 때문에, 우주/항공, 국방, 원자력 분야에서 성능 및 안전성을 높일 수 있는 소재로 주목을 받고 있다. SiC 섬유강화 세라믹 복합체는 기지상(matrix)의 채움(infiltration) 방식에 따라 주로 용융침투법, 고분자함침법, 화학기상침착법, 그리고 이들 공정들을 혼합한 하이 브리드 방식으로 제조된다. 이 중에서 화학기상침착 공정은 고순도/고결정성의 SiC 기지상을 제조 할 수 있는 공정으로, 고온 안정성이 뛰어나 가장 높은 적용 온도를 가진다. 또한 복잡한 섬유 프 리폼 형상에 적용할 수 있고 채움 공정 중 섬유의 손상을 방지할 수 있는 장점이 있어, 단독 공 정 또는 하이브리드 공정으로 적용하고자 하는 많은 시도들이 있다. 그러나 화학기상침착 공정은 공정시간이 매우 길고, 기공률이 높기 때문에 사용에 제약을 받는다. 본 연구에서는 공정시간 단 축 및 치밀화를 위한 다양한 화학기상침착 공정 연구를 수행하였으며, 화학기상침착-용융침투 하 이브리드 공정 시 고온 물성 저하의 원인이 되는 잔류원소의 최소화를 위해 다공성 탄소 화학기 상침착 공정 개발 연구를 수행하였다

[내열1-3 | 13:40] 초청강연

접종효과와 L-DED 적층공정 변수와의 상관관계: IN718 연구사례 : 전종배*, 조덕현 (동아대학교 신소재공학과), 이욱진 (부산대학교 재료공학부), 정중은* (한국재료연구원)

Keywords: IN718, DED, 접종, 응고, 등축화

Laser Directed energy deposition (L-DED) 적층 기술은 소재 및 공정단가가 높은 터빈소재의 표면 수선과 표면 강화에 활용될 잠재력을 가지고 있다. 하지만 L-DED 적층 응고 조직은 빠른 응고속도로 인한 대류 제한과 높은 온도구배로 인해, 80~100 mm 이상의 조대한 주상정 형태의 결정립이 발현된다. 크리프 기구 관점에서 소재의 구동온도 및 응력범위가 전위 활주와 전위 크리프 (power-law creep) 구간에 해당할 경우, 조대한 주상정 결정립은 고온 강도 및 크리프 특성에 악영향을 줄 수 있다. 따라서, 본 연구는 IN718 합금의 DED 응고조직의 등축화 및 미세화를 목표로 접종재 투입 효과에 대해 분석하였다. 지르코니아 접종재를 1차 후보로 선정하여, 결정립의 미세화 및 등축화가 발생하는 적층 공정조건이 도출되었다. 본 발표는 접종효과가 효과적으로 발현되는 특정한 적층 공정조건이 갖는 응고학적 의미에 대한 해석에 주안점을 두었다.

[내열1-4 | 14:00] 초청강연

Characterization of diffusion brazed joints of IN 939 Ni-base superalloy with BNi-9 brazing : Hyun-Ki Kang*, Sam Sub Byun, Jong Yeob Lee (Turbo Power Tech), Seunghun Lee (TESOne), and Hi Won Jeong (KIMS)

Keywords: Gas turbine, Diffusion brazing, Material joining, Nickel-based superalloys

Gas turbine operates in harsh, cyclic conditions of high temperature and pressure, where turbine inlet temperature can reach up to

1600 ºC. Nickel-based superalloys with excellent mechanical properties and resistance to creep, corrosion and oxidation at high-temperature are therefore used. Among the alloying additions, aluminum and titanium form gamma-prime $Ni_3(Al, Ti)$ that enhances the precipitation strength of high-temperature properties. However, when crack-damaged turbine components are repaired by fusion welding, strain-age cracks occur during arc welding if superalloys contain more than 3 wt.% Al and/or 3 wt.% Ti. Therefore, repair technology using diffusion brazing with less heat input has been developed. The aim of this work is to investigate the diffusion microstructures between base metal and isothermal solidification zone of the brazed joints using two different brazing filler metal forms such as paste and pre-sintered preform (PSP) with different brazing heat treat cycles including brazing temperature and time. The analyses of microstructural evolution of the brazed joints with base metal of IN 939 Nickel-based superalloy using brazing filler metal BNi-9 were carried out using X-ray diffraction, SEM, DSC, and EPMA. The PSP brazing filler metal began to melt at the solidus temperature of 1059 ºC and fully liquefied at the liquidus temperature of 1159 ºC. The paste filler metal began to melt at the solidus temperature of 1095 ºC and fully liquefied at the liquidus temperature of 1212 ºC. The highest Vickers hardness was observed in the DAZ because the several metal carbides and chromium borides mostly precipitated in DAZ.

[내열1-5 | 14:20] 초청강연

HIP 처리된 단결정 초내열합금의 크리프 특성 : 구지호* (두산에너빌리티(주) 기술연구원), 원영완, 이재현* (창원대학교 소재융합시스템공학과)

Keywords: nickel-based superalloy, single crystal, Rene N5, HIP, creep rupture property

RENE N5는 Re를 3% 포함하고 있는 2세대 단결정 초내열 합금으로써 크리프 특성이 우수하여 발전용 가스터빈 1단 블레이드 주조품으로 사용된다. 일반적으로 단결정이나 일방향 응고 주조품은 다결정 주조품(conventional casting)에 비해 수축공의 분율이 매우 낮고, 재결정을 유발할수 있기 때문에 HIP(hot isotropic pressing)을 적용하지는 않는다. RENE N5 단결정 시편은 Bridgman 방식의 정밀주조로를 이용하여 진공분위기에서 직경 15mm의 봉상형태로 제작되었다. 단결정 주조법으로 제작된 RENE N5 시편의 고온 기계적 성질을 향상시키기 위한 방법으로 HIP 공정을 추가하였고, HIP 처리 후 급속냉각을 적용하여 수축공 감소로 인한 크리프 파단특성 향상과 잔류응력 최소화를 통한 재결정 이슈를 해소에 목적을 두었다. 또한 용체화 및 시효 처리로 구성되는 표준 열처리 공정 중 용체화 처리를 HIP 처리로 대체하여 열처리 공정을 최적화하고자 하였다. 760ºC 및 980ºC에서 크리프 파단 시험 결과, 파단 수명은 HIP+표준 열처리, No-HIP+표준 열처리, HIP+시효 처리 순서로 우수하였다. 단결정 주조하는 동안 정출된 MC 탄화물은 HIP 처리 후 급속 냉각과정에서 침상형태의 탄화물로 재석출 되어 크리프 파단수명에 영향을 미친 것으로 판단된다. 결론적으로 HIP 처리된 단결정 RENE N5 합금의 크리프 파단 수명은 γ′ 상 및 탄화물의 형상과 분율에 큰 영향을 받는 반면, 수축공 및 공정상의 효과는 상대적으로 미미한 것으로 확인되었다. 본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행되었습니다. (No. 20181110100410)

[내열2-1 | 15:00] 초청강연

민수용 GA급 항공기용 가스터빈엔진 Material Characterization 개발 : 손인수*, 이동엽, 김보희, 안두홍 (한화에어로스페이스)

Keywords: 항공엔진, 가스터빈, 내열소재, 모합금, Material Characterization

민수용 General Aviation 항공기 내 소요되는 소재부품에 대한 설계 및 개발에 대해서 설명하고, Material Database 확보를 위한 Chacteriazation 결과를 설명한다.

[내열2-2 | 15:20] 초청강연 Canceled

항공 엔진 터빈모듈 핵심 소재부품 기술개발 현황 및 발전 방향 : 김영무*, 송영범, 김동훈, 김규식, 김상훈, 김대웅 (국방과학연구소)

Keywords: 항공엔진, 터빈모듈 핵심부품, 터빈 블레이드, 터빈 디스크, 초내열합금

항공 엔진의 성능을 향상시키기 위해 터빈입구온도(Turbine Inlet Temperature)의 증가가 필요하며, 이를 위해서는 터빈모듈의 핵심(고온) 구성품인 터빈 블레이드(베인) 및 터빈 디스크의 고온화 연구가 필요하다. 이를 위해선 고온 특성(강도, 크리프, 피로 등)이 우수한 니켈계 초내열합금 소재 기술과 이를 부품화하는 성형 기술 (정밀주조, 분말성형 등) 개발이 필요하다. 특히, 터빈 블레이드(베인)의 경우, 요구 성능에 따른 다결정, 일방향 및 단결정 주조 기술, 내산화 및 열차폐 코팅 기술, 그리고 냉각을 위한 홀 가공 기술 등이 요구된다. 최근에는 금속 분말을 이용한 적층 성형 기술을 활용한 블레이드 제조 기술을 개발 중에 있다. 또한, 터빈 디스크의 경우, 구형의 초내열합금 분말 제조 기술, 열간 등압 성형 및 가공 기술 등이 필요하다. 국내에서는 1990년대부터 절충교역을 통해 해당 기술개발을 시작하였으나, 일부를 제외한 대부분의 기술은 현재에도 계속 개발 중에 있다. 이에 본 발표에서는 현재 국내에서 개발을 추진하고 있는 무인기용 터보팬 및 터보프롭 엔진에 적용될 터빈 모듈 핵심부품에 소요되는 소재 및 공정 기술을 분석하고, 향후 발전 방향에 대해 토의하고자 한다

[내열2-3 | 15:40] 초청강연

3D 프린팅을 활용한 가스터빈 블레이드용 세라믹 코어 개발 현황 : 윤병관*, 주승로 (지엔캐스트), 최정호, 변창길, 안정환 (HD현대마린엔진), 한만규, 이수민 (천지산업(주))

Keywords: 3D 프린팅, 세라믹 코어, 터빈 블레이드, 정밀주조, 가스터빈

발전 및 항공용 가스터빈의 출력과 성능 향상을 위해서는 터빈 입구온도(Turbine Inlet Temperature, 이하 TIT)를 향상 시켜야한다.그 방법으로는 소재측면에서 고온 특성이 우수한 합금을 활용하여 단결정 블레이드를 제작하는 방법과 내부 냉각유로의 디자인을 개선하여 냉각효과를 최대한으로 끌어올리는 방안 및 보다 안정되고 성능이 뛰어난 열차폐 코팅을 적용하는 방안으로 각각의 분야에

서 많은 연구가 활발히 이루어져가고 있다. 본 연구에서는 그 중에서 냉각유로를 형성하는 세라믹 코어를 3D 프린팅 기술을 활용해서 개발하고 주조에 적용하여 전체적인 터빈 블레이드 개발 일정을 단축시키고 또 보다 복잡한 형상의 냉각 유로 구현을 위해서 세라믹 3D 프린팅을 활용하여 세라믹 코어를 개발하고자 한다. 미국이나 유럽 및 일본 등 선진국에서는 이미 세라믹 3D 프린팅으로 정밀주조용 세라믹 코어를 개발하고 양산을 준비중에 있으나, 아직까지 국내에서는 이에 대한 연구개발은 거의 이루어지지 않고 있는 것이 현실이다. 이에 본 발표에서는 해외의 3D 프린팅 세라믹 코어 개발 내용을 소개하고 그동안 다양한 방법으로 3D 프린팅을 활용하여 초기 개발중인 세라믹 코어 개발 현황과 정밀주조 적용 터빈 블레이드 제작 시험 결과 및 향후 개발 방향을 소개할 예정이다.

[내열2-4 | 16:00] 조정강연

석출강화형 Haynes 282 초내열합금의 열처리 설계에 따른 고온 변형기구 해석 : 홍현욱* (국립창원대)

Keywords: Haynes282, Heat treatment, Gamma prime, Deformation mechanism Dislocation

스팀터빈의 발전 효율을 증가시키고, CO_2 배출량을 줄이기 위해 증기온도와 압력을 극초임계압 (A-USC)조건인 700ºC/300bar 이상으로 높여 운영하고자 전세계적으로 노력하고 있다. 현재까지 선정된 극초임계압 로터용 후보소재로는 Ni계 석출경화형 초내열합금 Inconel 740H와 Haynes282이 고려되고 있다. 이 중 Haynes282는 뛰어난 크리프 강도, 열적 안정성, 낮은 열팽창률, 높은 산화저항성의 특징을 지니고 있다. 이 합금의 표준 열처리는 2단 시효 열처리 (1010 ºC/2시간 + 788 ºC/8시간)를 수행하도록 설계되었다. 우리는 대안적으로 경제성이 더 높은 1단 시효 열처리 (800 ºC/4시간)를 연구하여 표준열처리 대비 미세조직 변화, 750 ºC에서의 인장 특성 및 변형 거동을 고찰하고자 하였다. 2단 시효 (상용 열처리) 처리시 γ'상 크기는 17 nm 였고 구형 (spheroidal)임을 관찰하였다. 이에 반해 1135ºC 용체화 처리 후 냉각 속도가 느릴수록, 800 ºC에서 1단 시효 처리시 γ'상 크기는 11 nm에서 최대 42 nm까지 조대화되었고 구형 (spheroidal)에서 입방형 (cuboidal)으로 변형됨을 고찰하였다. 750ºC 고온인장 특성은 용체화 처리 후 수냉 처리된 1단 시효처리가 통상의 2단 시효처리보다 더 큰 항복강도를 가지는 것을 관찰하였다. TEM분석을 통해 전위거동이 2단 시효의 경우 Orowan looping mechanism을 형성을 하였고 수냉처리된 1단 시효처리의 경우 Shearing mechanism을 형성함을 고찰하였다. 이해 반해 용체화 처리 후 공냉과 노냉 처리된 1단시효의 경우 2단시효처리보다 항복강도가 낮으며 전위거동은 2단시효처리와 동일하게 Orowan looping mechanism을 형성함을 관찰하였다. 이러한 전위거동은 임계 γ'상의 크기 (11.5 nm) 이하에서는 Shearing mechainsm을 형성하고 임계 γ'상의 크기 이상에서는 Orowan looping mechanism을 형성하는 것을 고찰 하였다. 주요 변형기구는 석출 강화 모델 기반의 강도 증가 계산을 통해 잘 예측할 수 있었다. 본 결과는 경제성이 더 높은 1단 시효 처리를 통해 제조된 Haynes 282가 A-USC 조건 하에서 신뢰성을 높이는 추가적인 열처리 후보가 될 수 있음을 시사한다.

[내열3-1 | 16:40] 조정강연

크리프 수명 예측을 위한 다양한 인공지능 접근법 : 최윤석*, 이태주, 조태현 (부산대학교 재료공학부)

Keywords: 크리프, 수명, 내열합금, 기계학습, 인공지능

본 발표에서는 내열합금의 크리프 수명 예측을 위한 다양한 인공지능 접근법들에 대해 다루었다. 우선, 크리프 시험 온도, 응력, 수명으로 구성된 가장 기본적인 크리프 데이터의 효과적인 기계학습 프로토콜을 개발하였다. 특히, 다양한 문헌으로부터 얻어진 일관성 없는 크리프 수명 데이터의 효과적인 전처리 기법을 제안하였으며, 입력 피쳐(feature) 가공 및 다양한 기계학습 알고리즘들의 선택적 적용을 통해 크리프 수명 예측의 정확성 및 일관성을 개선하는 방법도 제시하였다. 그 다음은, 내열합금 조성-시험온도-시험응력-수명으로 구성된 크리프 데이터의 효과적인 전처리 및 기계학습 접근법을 제안하였다. 또한, 이렇게 개발된 순방향 학습모델을 활용한 크리프 수명 역설계(inverse design) 방안에 대해서도 논의하였다.

[내열3-2 | 17:00] 조정강연

Ni기 초내열합금 IN738LC의 열간노출에 따른 미세조직 및 Creep 변형거동 : 김병훈, 공병욱, 장익제 (국립창원대학교), 주영규, 김보희 (한화에어로스페이스), 이재현* (국립창원대학교)

Keywords: IN738LC, γ' 상, 열간노출, Creep 변형거동

Ni기 주조용 초내열합금 IN738LC는 고온산화 분위기하의 650ºC에서 982ºC 범위의 온도에서 높은 강도와 Creep 저항성으로 인해 항공용, 발전용 가스터빈용 블레이드, 베인 등에 널리 사용되고 있다. 가스터빈의 블레이드와 베인은 고온, 고응력에서 장시간 사용되도록 요구되고 있으며 장시간 열간노출로 인하여 주요 강화상인 γ' 상의 조대화, MC 탄화물의 분해, $M_{23}C_6$ 탄화물 필름 형성, 시그마상이나 에타상과 같은 TCP(Topologically Close Packed)상의 생성과 같은 열화현상이 발생하고, 이러한 재료의 미세조직변화는 기계적 특성에 나쁜 영향을 미친다. IN738LC 시험용 강재는 직경 17 mm × 길이 198 mm 인 봉재를 진공 정밀주조한 후 표준열처리를 용체화 온도는 1120ºC에서 2시간 유지후 공냉하였으며 시효 처리는 843 ºC에서 24시간 열처리 후 공냉하였다. 본 연구에서는 표준열처리된 시편을 871ºC에서 100~3000시간 까지 열화 시킨 후 Creep 시험을 871ºC, 263.4MPa, 982ºC, 94.5MPa 에서 수행하여 장시간 열화재의 미세조직 변화와 Creep 변형거동등을 조사하였다. 미세조직과 γ' 상의 크기, 형상과 전위조직등은 FE SEM 과 STEM등으로 분석하였다.

[내열3-3 | 17:20] 조정강연

Alloy 718 합금의 석출 특성이 크리프 변형 거동에 미치는 영향 : 박찬희 (한국과학기술연구원, 고려대학교), 정우상* (한국과학기술연구원)

Keywords: Alloy 718, Turbine disk, Creep, Precipitates,

Alloy 718 합금은 석출경화형 단련 니켈계 초합금으로 항공 및 발전용 터빈 디스크를 포함한 고온 회전체 부품에 사용된다. 이 합금은 5% 내외의 Nb가 첨가되며 열처리에 의한 Nb계 석출물의 형성을 제어함으로써 우수한 크리프 및 피로 특성을 가질 뿐만

아니라 우수한 가공성 및 용접성을 보인다. 실제 가스터빈 산업에서 널리 사용되는 재료임에도 불구하고 Alloy 718 합금의 크리프 특성 및 고온에서 장시간 노출시의 미세조직 변화에 대한 체계적인 연구는 거의 진행되지 않았다. 본 연구에서는 sub-δ 어닐링 후 2단 시효처리된 alloy 718 합금에 대한 크리프 시험을 수행하였다. 인가응력 및 온도 증가에 따라 크리프 속도가 증가하고 파단시간이 감소하였다. 이때 디스크 판재의 위치별, 시험편 채취 방향에 따른 크리프 특성 차이는 거의 없었다. γ“, δ 상과 기지와의 방향 관계를 이용하여 석출물의 정량 분석 및 이들 석출물이 크리프 변형 거동에 미치는 영향을 분석하였다.

[내열3-4 | 17:40] 조청강연

Local plastic deformation in the vicinity of topologically close-packed phases in a Ni-based single crystal superalloy : Sangwon Lee* (KIMS, KAIST, Karlsruhe Institute of Technology), Jeonghyeon Do, Baig Gyu Choi (KIMS), Ujjval Bansal, Christoph Kirchlechner (Karlsruhe Institute of Technology), Pyuck-Pa Choi (KAIST), and Subin Lee (Karlsruhe Institute of Technology)
Keywords: Ni-based single crystal superalloy, Topologically close-packed (TCP) phase, Deformation behavior, Micropillar compression, Atom probe tomography (APT)

The role of a topologically close-packed (TCP) phase on the plastic deformation of a Ni-based superalloy was investigated employing a combination of in situ scanning electron microscope (SEM) micropillar compression and atomic-scale characterization using atom probe tomography (APT) and transmission electron microscopy (TEM). Micropillar tests revealed two distinct slip behaviors: TCP-free pillars deformed via multiple slip systems, whereas TCP-containing pillars deformed by single slip. Notably, in the TCP-containing pillars, deformation was rarely observed at the TCP/γ' interface, but predominantly occurred in regions located more than 50 nm away from the interface. Chemical analysis near the TCP/γ' interface via APT showed an excess Ta content near the interface increasing the antiphase boundary (APB) energy and enhancing local order strengthening. Moreover, an approximate 8% lattice misfit at the TCP/γ' interface, coupled with the elastic mismatch between the two phases, provided additional slip resistance in the vicinity of the interface. Meanwhile, yield strength softening was occurred in the region containing γ, γ', and TCP phases due to the reduction in the γ' volume fraction and the diminished solid solution strengthening effect in the γ matrix caused by the depletion of refractory elements through the formation of the TCP phases. This study sheds light on the intricate interplay between TCP phase formation, microstructural evolution, and mechanical properties in Ni-based superalloys offering valuable insights into the role of the TCP phases.

가공-소성가공
Room 봅슬레이+바이에슬론, 10월 29일

[소성1-1 | 13:00]
휴대용 부탄가스캔 안전돔용 BP 제품 개발 : 김재형*, 박기철 (㈜포스코)
Keywords: Black plate, 연속 소둔, Secondary cold rolling

최근 부탄가스캔의 파열방지 기능 장착이 국내에서 의무화됨에 따라 부탄가스캔 제조 업체(제관사)에서는 파열방지 기술 개발이 요구되고 있다. 파열방지 기술은 부탄가스캔 내부 압력이 상승하면서 캔이 폭발하는 사고를 예방하기 위해 용기에 틈새(Score)를 만들어 내부압력 상승 중에 score 작동을 통한 가스 방출로 내부 압력을 낮추어 폭발을 방지하는 기술이다. Score의 위치와 종류에 따라 크게 RVR(Rim Vent Release), CRV(Countersink Release Vent) 등으로 구분되며, 사용되는 소재의 물성 수준은 제관사마다 상이하다. 현재 제관사에서는 BAF(Batch Annealing Furnace) 공정을 통해 생산된 BP 제품을 안전돔용 Top부에 사용하고 있으나, 해당 소둔 설비의 특성상 폭방향 및 길이 방향으로의 재질 편차가 발생하여 score 작동 압력의 편차가 발생하는 문제점이 있다. 특히 부탄가스캔 안전돔은 내부 압력이 상승함에 따라 Score의 원활한 작동을 위해 돔 전체가 들어올려지게 되며, 이때의 압력을 작동압력이라 하고, 특정 압력 범위의 법적 기준을 충족해야 한다. 내부 압력 부가를 위한 매질로는 물(법적 기준)과 질소가 사용되며, 질소를 사용할 경우 제관사 내부 기준인 유지압력도 만족하여야 한다. 유지압력은 score 작동 이후 그 벌어진 정도에 따라 내부 질소 압력 수준이 다르게 나타나는데, 그 압력 수준이 일정 이하가 되어야만 유지압력을 만족할 수 있다. Score 벌어짐의 정도는 소재의 crack 전파 속도와 관련이 되어 있고, crack 전파 속도는 소재의 미세구조와 관련성이 높은 것으로 알려져 있기 때문에, 기존 소재와 적용하고자 하는 소재의 미세구조 차이에 대한 이해도 필요하다. 따라서 본 연구에서는 기존 BAF 경유 BP 제품에서 탈피하여 연속 공정인 CAL(Continuous Annealing Line) 경유 BP 제품의 안전돔 적용을 위해 성형 해석, 가압 변형 해석, 가공 후 재질 분석, score 파면 분석, 미세구조 비교 분석 등을 실시하였다. 또한 냉간 압연 조건과 BP 제품 사이즈에 따른 안전돔 작동압력과 유지압력의 변화를 다회에 걸친 test를 통해 확인하고 개선하고자 하였다.

[소성1-2 | 13:15]
핫스탬핑 강판의 고속 트리밍에 관한 연구 : 박찬훈*, 손성국 (Hyundai Motor Group), 이은호, 임재혁, 이석원 (Sungkyunkwan University), 윤승채, 박재명 (Hyundai Steel)
Keywords: Hot Stamped Steel, High Speed Trimming, Shear-cutting Mechanism

최근 차량의 연비 향상을 위한 경량화 및 강화된 충돌 법규에 대응하기 위하여 핫스탬핑 강판의 적용이 확대되고 있다. 그러나 핫스탬핑 부품은 열처리 성형 후 강도 상승으로 인해 기계적 트리밍 적용에 제한이 많으므로 비접촉식 가공 방법인 레이저 트리밍 공법을 적용 중이나, 높은 에너지 손실 및 공정 시간 증가로 공정 비용이 높다. 본 연구에서는 핫스탬핑 강판(SABC1470 1.2t)의 기계적 고속 트리밍 공법을 적용하여 기존 레이저 트리밍과 동등 수준의 양호한 전단년이 형성되는 것을 확인하였으며, 이에 대한 메커니즘을 시뮬레이션과 실험을 통해 분석하였다. 이 후 주요 인자별 시편 단위 평가 및 부품 단위 고속 트리밍 금형 제작을 통한 실물 검증으로 기존 기술과 비교하여 고속 트리밍 기술의 상용화 가능성을 평가하였다.

[소성1-3 | 13:30]
Analysis of shear characteristics of quenchable boron-alloyed steel 22MnB5 during the hot mechanical piercing process : Seung-Chae Yoon*, Kye-Jeong Park, Jea-Myoung Park, Je-Youl Kong, Hye-Jin Kim, Ji-Young Kim, and Dong-Yul Lee (Hyundai Steel R&D Center)
Keywords: Hot stamping, Hot mechanical piercing, Process optimization

Hot stamping is a widely adopted technique for manufacturing high-strength vehicle body parts using boron-alloyed steels, such as 22MnB5. This process involves heating the material to 900 ºC or higher in a furnace, followed by in-die quenching to achieve a strength of over 1.5 GPa. The process includes heating, forming, in-die quenching, and trimming. Laser trimming is the conventional method used for this purpose. However, laser trimming has limitations in terms of productivity and energy cost, and alternative methods have been explored, such as mechanical piercing during the hot stamping process at high temperatures. This study aims to optimize the process parameters, including the piercing temperature, time and clearance between the die-punch, to achieve optimal performance and their mechanical stability. The results show that hot piercing is the feasible method for cutting the boron-alloyed steel parts during the hot stamping process. In this study, the optimal performance is achieved under specific process conditions used for hot mechanical piercing, which is corresponding to differential clearance and mechanical piercing time, respectively. The size and distribution of the burr generated by the shearing process were not significantly affected by the hot mechanical piercing time with lower clearance. However, with the larger clearance, the hot mechanical piercing time significantly affected the size and distribution of the burr. In addition, hydrogen embrittlement becomes more severe as the martensitic phase transformation completes, and the hot mechanical piercing time has the greater influence on the process than the clearance conditions. Therefore, when designing the process for optimal performance of hot mechanical piercing, it is crucial to consider the effects of clearance and time as significant variables and verify their effects.

[소성1-4 | 13:45]

Development of resettable lightweight/cost-effective ferritic medium entropy alloy via $L2_1$ nanoprecipitation : 심상훈, 권현준 (한국재료연구원), 박강현, 송기안 (공주대학교), 장혜정 (한국과학기술연구원), 임가람* (한국재료연구원)

Keywords: High/medium-entropy alloy, Ferrite, L21 nanoprecipitation, Sub-grain, Superplasticity

최근 전 세계적으로 환경문제가 심각하게 대두됨에 따라 에너지 효율 증대를 위해 저비용/경량화와 같은 측면을 고려한 소재개발 연구가 중요하게 고려되고 있다. 하지만 이와 같은 지표를 달성한다고해도 실제 산업에 적용되고 있는 구조용 소재의 우수한 경제적인 이점 때문에 신소재의 대체는 대체로 쉽지 않는 실정이다. 이에 따라 산업적용성을 고려하기 위해서 저비용/경량화는 물론이고 준수한 기계적 물성, 가공성, 내산화성 등 다양한 물성의 충족을 요구로 한다. 최근, 극저온부터 고온까지 온도 범용성이 우수하고 뛰어난 기계적 물성을 가진 고/중엔트로피 합금 (High/medium-entropy alloy)은 일반적인 합금과 다른 신합금계 개발 분야로서 자리를 매김하고 있다. 등자 분율 조성의 단상계 고엔트로피 합금을 주력으로 연구하던 이전과 달리, 현재는 비등자 조성으로 시스템을 확장하고 구성 원소 혹은 구성 상의 혼합 엔트로피를 낮춘 2상, 3상 구조의 다상 미세 구조를 가진 컨셉을 활용한 공정계 고엔트로피 합금(eutectic high entropy alloy), 석출 경화형 고엔트로피 합금 등이 다양하게 연구되고 있다. 본 연구에서는 Al-Cr-Fe-Ni-Ti 중엔트로피 합금계에서 다양한 원소들의 비율을 조절해 조대한 ferrite 결정립 내 자발적으로 형성되는 $L2_1$ 나노 석출상을 구현한 주조조직을 설계했다. 그 후 열간 압연 공정을 통해 sub-micron 크기의 아결정립 형성을 유도해 고온 가공성을 크게 향상시켰다. 더불어 열간 압연처리된 소재에 부가적인 용체화 열처리를 수행하면 초기 미세구직 형태로 변모하는 미세구조의 반복적 특성이 재현되며 이는 기계적 특성의 'Reset'을 가능케 한다. 미세조직, 기계적 특성, 그리고 가공성의 'Reset' 혹은 반복적 회복 현상은 기존 Al이 첨가된 페라이트 강에서 나타나지 않던 결과로 소재적 측면에서의 신 패러다임을 제시할 수 있는 결과로 고려될 수 있다.

[소성1-5 | 14:00]

Investigation of cold trim in conjunction with tailored cooling method for aluminized boron steel in hot stamping process: Park Jae-myoung, Yoon Seun-chae*, Kim Hye-jin, Kong Je-youl, Park Kye-jeong, Lee Dong-yul (Hyundai Steel), Park Chan-hoon, and Son Seong-guk (Hyundai Motor Company)

Keywords: Hot stamping, Cold trim, Tailored cooling method, Carbon emission, Aluminized boron steel

The demand for hot stamping parts in the automotive industry is on the rise due to the increasing popularity of eco-friendly vehicles, enhanced crashworthiness, and weight reduction. Hot stamped parts are extensively used in automobile bodies, offering improved strength and formability over traditional cold stamping methods. However, the high strength and hardness characteristics of hot-stamped components elevate the risk of hydrogen-induced delayed fracture following cold trim. As a result, the industry often resorts to laser trimming methods, which provide both resistance to hydrogen embrittlement and acceptable shear quality. Nevertheless, this approach requires additional manufacturing equipment and extended processing times, ultimately reducing overall productivity. This study proposes a novel approach for applying cold trim to aluminized boron steel in the hot stamping process. It involves the creation of surface relief patterns on the die to minimize contact area with the material, thereby adjusting the cooling rate. This strategy softens the trim area, reducing shear stress and enhancing resistance to hydrogen embrittlement.

[소성1-6 | 14:15]

초음파 나노표면개질 공정이 철강 선재 소재의 탈탄층에 미치는 영향 : 김상현 (한국재료연구원, 국립안동대학교), 우영윤, 이영선 (한국재료연구원), 김영식 (국립안동대학교), 윤은유* (한국재료연구원)

Keywords: cold forging, yield ratio control steel, ultrasonic nanocrystal surface modification, decarburization

냉간단조용 비조질강은 단조 공정 후 조질 처리(Quenching & Tempering)를 생략하여 에너지 저감, 공정 시간 및 비용 절감이 가능하다. 항복비제어강은 2단 연속 열처리 공정을 통해 소성변형 시 동일한 인장강도 대비 낮은 항복강도로 제어하여 금형 수명을 보완할 수 있는 냉간단조용 비조질강이다. 항복비제어강 제조 과정에서 열처리 공정 중 소재 표면에 형성되는 탈탄층(Decarburized layer)은 취약한 물성으로 인해 성형 시 부품의 성형 불량으로 이어진다. 기존 탈탄층 제거법으로 소재 표면을 깎는 연삭 가공은 소재 폐기량 증가로 인한 경제성 문제가 있어 이를 보완할 수 있는 탈탄층 제거 공정기술 개발이 필요하다. 기존의 초음파 나노표면개질(Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification, UNSM)은 정적 및 동적하중이 적용된 볼을 초음파 진동으로 금속 표면에 20 kHz 이상의 속도로 타격하여 소재의 내마모성 향상을 목적으로 하는 공정이다. 본 연구는 탈탄층을 제거하기 위한 목적으로 초음파 나노표면개질 공정을 적용하고자 하였다. 탈탄층 제거를 효과적으로 수행하고자 열처리 조건 별 탈탄층 두께 및 초음파 나노표면개질 공정 후 탈탄층 두께를 분석하였다. 초음파 나노표면개질 공정 변수에 따라 탈탄층 깊이 및 영향을 확인하기 위한 표면부의 주사전자현미경을 통한 미세조직 분석과 Vickers 경도 시험을 통한 기계적 특성 분석을 진행하였다. 또한 X-ray 잔류응력 분석법을 통해 탈탄층 깊이에 따른 잔류응력을 분석하였다.

[소성1-7 | 14:30]

Fe-Mn-Cr계 비조질강을 활용한 바우싱거 효과 규명에 관한 연구 : 박문원, 이종혁 (인하대학교 제조혁신전문대학원), 임재한, 이규호 (현대제철), 장병록* (인하대학교 제조혁신전문대학원)

Keywords: Non-heat treatment, Bauschinger effect, tensile, compression

기존 철강산업에 이용하는 볼트용 조질강은 제조 공정에서 구상화 열처리와 Q/T열처리를 진행한다. 두 열처리를 진행하는 동안 배출되는 온실가스로 환경오염이 야기되었으며 경제적 비용도 소모된다. 한국은 2050 탄소중립을 선언했고 이에 맞춰 철강업계에서도

탄소 배출량을 감축할 필요성이 대두되었다. 그렇기 때문에 제조 공정을 단순화시켜 탄소 배출량을 감축하고 경제적 비용도 절감할 수 있도록 열처리를 생략하려는 다양한 연구들이 이뤄지고 있다. 바우싱거 효과는 금속의 인장-압축 변형 후 항복 강도가 감소하는 현상으로, 이를 조절한다면 원하는 기계적 특성을 구현할 수 있다. 본 연구에서는 Fe-Mn-Cr계 비조질강을 사용하여 바우싱거 효과(Bauschinger effect)가 기존 열처리 공정을 생략한 냉간 압조에 미치는 영향을 규명하고자 한다. 연구에서는 OM 및 SEM으로 인장-압축 전후의 미세조직을 관찰하였고 EBSD를 통해 전위 밀도를 측정하여 바우싱거 효과를 정략적으로 분석한다. 또한 TEM으로 관찰하여 인장-압축 전후의 전위 상태를 비교함으로써 바우싱거 효과를 규명하고자 한다. 이를 통해 열처리 공정을 생략할 수 있는 가능성을 제시하며, 철강 산업의 탄소중립 목표 달성에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

AR/VR 및 초미세 디스플레이기술
Room 봅슬레이+바이에슬론, 10월 29일

[초미세1-1 | 15:00] 초청강연(Keynote)
Development of Cd-free Quantum Dots for Industrial Applications : Tae-Gon Kim* (Samsung Electronics)
Keywords: QDs

Colloidal quantum dots (QDs) have been identified as the optimal candidates for emissive materials, given their distinctive optical characteristics, including high color purity and quantum efficiency. Cd- and Pb-based QDs, including CdSe, CdS, PbS, and CsPbBr3, have been the subject of extensive study and their synthesis and application methods are well developed, despite the potential adverse effects on human health and the environment. Alternatively, InP or ZnSe-based QDs have been identified as the optimal alternative due to their band gaps corresponding to visible light and their relatively low toxicity. In this presentation, I will present cadmium-free QDs that demonstrate near-unity photoluminescence quantum efficiency and high stability during processing and operation. Based on these superior optical properties, we have successfully applied the QDs for use in a color conversion sheet for an LCD backlight unit, then for use in color conversion pixels on various types of self-emitting blue light sources, including micro-LEDs and OLEDs. Finally, we are also trying to apply the QDs in QD-based electroluminescent devices.

[초미세1-2 | 15:35] 초청강연
Direct and Indirect Photopatterning of Quantum Dots : Moon Sung Kang* (Sogang University)
Keywords: Quantum dots, patterning, photolithography, crosslinking

Electroluminescence from solution processed light-emitting materials such as quantum dots (QDs) or organic luminophores is a suitable photon source for futuristic displays offering hyper-realistic images with free-form factors. Accordingly, a nondestructive and scalable process capable of rendering multicolored light-emitting materials patterns on a scale of several micrometers needs to be established. In this talk, two different nondestructive photopatterning methods for light-emitting materials, especially in focus on QD, are introduced, both of which exploit crosslinking reaction between the ligands of neighboring QDs. The first method exploits photoacivated crosslinking reacions. Using this method, QD films can be directly photocrosslinked through a photomask, and the crosslinked QD patterns can be formed after development step. This method is refered to as the direct photopatterning methods. The second method also exploits the crosslinking reactions, but this time, it is activated with heat. In this method, photoresist sacrificial patterns are first formed, QD films are deposited and thermally crosslinked, and then photoresist layers are stipped off to leave QD patterns behind. Because this methods avoids direct exposure of QDs to light, we refer this method to as the indirect photopatterning method. Different aspects of these two different photopatterning methods will be compared.

[초미세1-3 | 16:00] 초청강연
Patterning Strategy of colloidal quantum dots to design high-performance and high-resolution devices and sensors : Soong Ju Oh* (Korea University)
Keywords: NCs

Colloidal semiconductor and metal nanocrystals (NCs) have been shown to be promising materials for electronic and optoelectronic device applications because of their unique size dependent properties and solution processability. However, the integration of these materials into devices has been challenging due to a lack of available method to accurately control their fundamental properties and design the orthogonal fabrication process. Here, we study the physics of charge carriers in NC thin films and engineer the inherent properties of NC thin films thorough surface and interface engineering. Then, we introduce novel patterning techniques to achieve high resolution devices and systems by engineering the surfaces of nanocrystals, quantum dots, and perovskite materials. Inkjet printing and photolithography process are modified to pattern semiconductor, metal, and perovskite nanocrystals and quantum dots. A novel method is introduced through the surface modification and stabilization of nanocrystals, which is compatible with conventional patterning process based on all?solution processes. Finally, the strategy to incorporate various NCs into multi-functional device and system is discussed.

[초미세1-4 | 16:25] 초청강연
High-Resolution InGaN Nanorod Pixels for Advanced Near-Eye Display Applications : Yong-Ho Ra* (Jeonbuk National University)
Keywords: nanorod, GaN, nitride, light emitting diode, display

Next-generation VR, AR, and MR displays require smaller pixel sizes and higher luminance to achieve ultra-realistic resolutions. Among potential pixel materials, III-Nitride based materials are emerging as the most stable and promising candidates for next-generation display technologies. In particular, nanoscale III-Nitride nanorod structures are considered the most suitable for realizing

ultra-fine displays due to their advantages in pixel size, light efficiency, and integration. These GaN nanorod structures can be fabricated into desired shapes through a selective nan-patterning approach. This selective area growth method has shown great promise in controlling light extraction direction, enhancing color purity, and improving luminance by precisely managing the diameter and position of the GaN nanorods. In this study, we successfully fabricated nanorod heterostructures using selective area growth and investigated the structural, optical, and electrical properties of the fabricated nanorod-based LEDs. We found that controlling the spacing and diameter of the nanorods significantly enhanced quantum efficiency. This research is expected to play a crucial role in a wide range of applications, including next-generation AR, VR micro-displays, and nano-optoelectronic devices.

[조미세1-5 | 16:50] 초청강연

Micro-LEDs with directional emission for AR displays : 이재상* (서울대학교)

Keywords: 증강현실, 마이크로 LED, 브래그 분산 반사경, 양자점 색변환층, 직진광

고성능 증강현실(AR) 안경을 구현하는 데 있어 주요 과업 중 하나는 광학계와 microdisplay 간의 광결합 효율을 극대화하는 것이다. 일반적으로 AR 광학계는 광축을 기준으로 ±10도 내에 입사된 빛만을 고효율로 받아들이며, 이외의 빛은 소실되거나 stray light을 유발한다. 그러나 유기물, 양자점(QD), 페로브스카이트 또는 무기 반도체에 기반하는 대부분의 발광 다이오드(LED)는 넓은 방사 분포(Lambertian)를 갖고 있어 광학계와 결합 시 높은 광손실이 발생한다. 또한, 첫 세 가지 종류의 LED는 AR 안경에 필요한 높은 휘도 조건에서 구동 안정성이 매우 떨어진다. 이를 극복하기 위해 본 발표에서는 높은 구동 안정성의 질화갈륨(GaN) μLED, 산화물 기반 브래그 분산 반사경(DBR), 그리고 QD 색변환층(CCL)이 결합되어 고도의 방향성을 갖는 풀컬러 하이브리드 μLED 구조에 대해 소개한다. GaN epitaxy 상하단에 DBR을 장착하기 위해, epi를 실리콘 기판으로부터 반응성 이온 식각을 통해 분리하고, 새로운 기판 상에 스탬프 프린팅 방식으로 전사한다. 적, 녹색 μLED 구조는 세 개의 DBR 거울이 포함되는데, QD CCL은 상부, 중부 거울 사이에 위치하며, μLED epi는 중부, 하부 거울 사이에 위치한다. 청색 μLED 전계발광은 상부, 하부 거울 사이에서 무한히 반사되어 구조 내에 구속되며, 궁극적으로 QD CCL에 흡수되어 소실된다. 이에 따라 발생한 QD CCL의 광발광은 상부, 중부 거울 사이에서 공명하여, 고도의 방향성과 높은 색순도를 띄며 상부 거울을 통해 방출된다. 이와 같이 방향성 방사분포를 갖는 하이브리드 μLED 구조는 Lambertian 방사분포를 갖는 기존 LED와 비교했을 때, 회절 광학계와의 광결합 효율을 최소 4배 이상 향상시킬 수 있다. 본 발표에서 제안한 구조를 통해 고성능, 고순도의 풀컬러 AR 안경을 실현할 수 있다.

[조미세1-6 | 17:15] 초청강연

OLED 마이크로 디스플레이에서 화소 간 전기광학적 간섭에 의한 색재현율 변화 연구 : 이현구*, 심수빈, 강한을, 황연수 (숙명여자대학교), 강찬모, 안대현, 김주연, 조현수, 신진욱, 주철웅, 김기현, 변춘원, 조남성 (한국전자통신연구원), 윤혁민, 안영재, 김진선 (동진쎄미켐)

Keywords: OLED, 마이크로 디스플레이, 화소 간 간섭, 색재현율, 고해상도

최근 가상/증강현실 기기에 대한 관심이 높아지면서 이를 구현하기 위한 초고해상도 디스플레이에 대한 수요가 증가하고 있다. 실리콘 기판 기반의 마이크로 디스플레이는 매우 작은 크기에 높은 해상도를 구현할 수 있어 이미 다양한 가상/증강현실 기기에 적용되고 있다. 마이크로 디스플레이는 수광형 기반의 Digital Micromirror Device, Liquid Crystal on Si와 자발광 기반의 Organic Light-emitting Diode on Si (OLEDoS) and Micro Light-emitting Diode on Si 이 있다. 이 중 OLEDoS는 우수한 화질 특성과 추가적인 광원이 필요없어 경량박형이 가능하고 광학계도 단순화될 수 있어 차세대 가상/증강현실 기기로 각광받고 있다. 가상/증강현실 기기를 위한 OLEDoS는 3,000 pixel per inch (ppi) 이상의 높은 화소 밀도가 요구되고, 이로 인해 디스플레이를 구성하는 화소의 크기가 작아지고, 화소 간 간격도 매우 좁아지고 있다. 이로 인해 기존 디스플레이에서 발생하지 않던 문제들이 발생하고 있다. 먼저, 광학적 간섭 문제는 화소 간의 간격이 좁아짐에 따라 하나의 화소에서 발광한 빛이 주변 화소로 빛이 새어 나가는 현상으로, 백색 OLED와 적, 녹, 청 칼라필터 기술을 이용한 OLEDoS에서 주로 발생한다. 다음으로, 전기적 간섭 문제는 하나의 화소를 구동시킬 때 화소 간 간격이 좁아 주변 화소로 누설전류가 발생하여 주변화소가 같이 발광하는 현상으로, 백색OLED/칼라필터 기술 뿐만 아니라 적, 녹, 청 직접 패터닝 기술을 사용한 OLEDoS에서도 발생할 수 있다. 특히, 전도도가 높은 중간전하생성층을 이용하는 탠덤구조 기반의 OLED에서 매우 심각한 문제가 되고 있다. 이러한 화소 간 전기광학적 간섭은 화소의 색상을 왜곡하고 색재현율을 저하시키는 문제를 발생시킨다. 그러나, OLEDoS에서 전기광학적 간섭에 의한 누설 전류 및 광은 그 크기가 매우 작아 정량적 분석이 쉽지 않다. 본 연구에서는 OLEDoS구성하는 화소 파라미터에 따라 전기광학적 간섭 현상이 어떻게 달라지는지 시뮬레이션과 실제 측정을 통해 분석한다. Acknowledgement This research was partly supported by a Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT) grant funded by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE, Korea) (20015805, Development of material parts and processing technology for post InP fluorescence quantum dots), a National Research Foundation (NRF) grant funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT, Korea) (No. 2022R1A4A1028702), and an Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the MSIT (No. 2022-0-00026).

금속역사
Room 알펜시아홀, 10월 29일

[역사1-1 | 09:00]
월정사 팔각구층석탑 상륜부 금속부의 성분 분석을 통한 원형과 복원부의 분류 : 조남철* (공주대학교)
Keywords: 월정사 팔각구층석탑, 원형, 복원부, 도금, 황동

국보 제48호 월정사 팔각구층석탑은 자장율사가 창건한 강원도 평창군 진부면 오대산 월정사 경내에 있는 석탑으로 높이 15.2m의 석재와 금속부 장식으로 이루어진 복합재질의 문화재이다. 고려시대 화려한 귀족 불교 미술의 일면을 보여주는 월정사의 대표적인 문화재이다. 월정사 팔각구층석탑의 분석은 상륜부 금속부와 탑신부 풍탁에 한하여 실시되었다. 유물의 특성상 시료채취가 불가능하여 유물을 손상시키지 않고 분석하기 위하여 대표적인 비파괴분석법인 P-XRF(Innov-X Systems, USA)분석법을 실시하였다. Alloy모드를 사용하여 모든 분석대상에 동일한 조건(Measurement Time 60 sec)을 유지하여 분석을 실시하였다. 육안 관찰 결과 도금부와 도금박락부, 땜질 등과 같은 복원부, 균열이 발생하거나 철 부식물 등이 확인되었으며, 전체적으로 각 유물의 형태와 색도 등을 비교한 결과 원형(原形)으로 추정되는 유물과 후대에 복원한 것으로 추정되는 유물로 나누어 볼 수 있었다. 성분분석 결과 원형(原形) 유물과 복원부는 금속 주성분에서 확연한 차이를 보였다. 원형(原形) 유물의 주성분은 일반적으로 구리(Cu), 금(Au), 은(Ag)으로 아연이나 주석 등이 혼합된 구리합금이 아닌 순구리 재질임이 밝혀졌다. 또한 금이 검출 된 도금부의 존재는 외형적으로 순구리로 만든 금속장식에 도금한 것으로 추정된다. 화형장식, 풍탁 등의 복원 유물의 경우, 주성분이 구리(Cu), 아연(Zn), 주석(Sn)으로 구리와 아연이 약 7:2의 조성비를 가졌으며 금이나 은 등은 검출되지 않았다. 즉, 황동합금의 색과 광택을 이용하여 도금된 원형(原形)과 유사한 형태를 내고자 한 것으로 보인다. 이러한 결과는 향후 해당 유물의 부위별 금속 조성비를 확인하여 원형(原形)과 복원부를 분류하여 보존처리 시 활용하고자 한다.

[역사1-2 | 09:15]
고령 지산동 518호분 출토 금동제 관식 제작기법 연구: 한우림* (국립가야문화유산연구소)
Keywords: 고령 지산동 고분군, 대가야, 수은아말감도금, 금동제관식

고령 지산동 고분군은 가야고분군 세계유산으로 지정된 대가야 중심 고분군이다. 2010년 정밀지표조사를 통해 총 704기의 봉토분이 확인되었으며, 이중 518호분은 지산동 고분군 남쪽에 자리한 봉토분이다. 국립가야문화유산연구소에서는 2012년부터 2013년까지 발굴조사를 실시하였으며, 발굴 이전 도굴의 피해가 입었음에도 불구하고 금동제 관식 등의 금속 장신구가 출토되었다. 지산동 518호분에서 출토된 금동제 관식은 고구려와 신라에서 유행한 조우관(鳥羽冠) 부품으로 경주 황남대총 남분이나 금관총 금제 관식과 유사한 형태로 추정된다. 소지 부분으로 추정되는 부분의 성분분석 결과 Cu가 검출되며, 표면에서는 Cu와 함께 Au, Ag, Hg가 검출된다. 이는 합금하지 않은 구리 소지에 수은아말감 도금법을 활용하여 Au, Ag 합금을 도금한 것으로 추정된다.

[역사1-3 | 09:30]
원삼국시대 주조철부에서 관찰되는 주철탈탄 기술 비교 연구 : 이재성* (국립문화유산연구원 문화유산보존과학센터)
Keywords: 원삼국시대, 주조철부, 주철탈탄, 제강강

원삼국시대는 초기철기시대 이후(BC 100)부터 삼국시대 이전(AD 300)의 시대로 청동기의 실용성은 소멸하고, 본격적으로 철기 생산의 보급과 확대가 이뤄진 시기이다. 따라서 이 시기의 철기 제작기술 유입 및 확산의 경로를 파악할 수 없으나, 금속학적 연구를 통해 제작기술의 다양성이 확인되고 있다. 도끼의 일종인 철부는 많은 출토 수량만큼 형태도 다양하기 때문에 농공구나 무기로 광범위하게 사용되었음을 알 수 있다. 현재까지 원삼국시대 유적에서 출토된 주조철부는 크게 3가지 형태로 분류되지만 서로 다른 형태적 특징을 가지고 있어 제작기술에서 차이가 있음을 보여준다. 지금까지 분석된 대부분의 주조철부는 백주철로 제작되었기 때문에 취성이 커서 사용 중에 깨지기 쉬우므로, 낮은 탄소함량을 가진 미세조직으로 만들어 주어야 한다. 즉 탈탄처리를 통해 높은 취성의 백주철이 가진 단점을 보완해 주어야 한다. 이들 3가지 유형의 주조철부를 형태만으로 분류해서는 주조철부에 적용된 탈탄 여부를 알 수 없으므로 반드시 미세조직 분석이 필요하다. 이를 위해 금속학적으로 분석한 3가지 유형의 주조철부를 비교 검토하여 원삼국시대 주조철부에 적용된 주철탈탄 제강기술을 살펴보았다. 고고학적 연구에 따르면 중국에서는 기원전 5세기부터 주조철기를 사용하였으며, 주조철기 특유의 취성을 제거하려고 노력해 왔다. 그 기술 중 한 가지는 주조철기를 생산한 다음 별도의 가마에서 풀림 열처리를 하는 기술로 조직 내 탄소를 응집하거나 제거해, 주조철기의 취성을 제거하고 단조철기의 성질을 부여하는 것이다. 최근 발굴조사와 미세조직 분석이 늘어나면서 삼국시대 이전의 주조철부에서도 탈탄 기술이 확인되었다. 초기철기 시대로 편년되는 남양주 금남리 유적에서 출토된 주조철부는 형태를 주조방법으로 만들고, 날부위를 집중적으로 탈탄하였다. 주철탈탄 제강법이 적용된 주조철부로는 가평 대성리유적 출토 주조철부, 김포 양촌유적 출토 주조철부, 제주 용담동 출토 주조철부, 완주 신풍유적 출토 주조철부 등이 있다. 부채꼴 모양의 김포 양촌유적 출토 주조철부는 구상화 시멘타이트에서부터 펄라이트, 페라이트까지 다양하게 구성된 미세조직의 특징은 남양주 금남리 유적 주조철부와 유사하다. 한편 제주 용담동 주조철부와 가평 대성리 주조철부는 일반적인 백주철이 조직이 아닌 탈탄이 진행된 페라이트 조직이며, 완주 신풍유적 주조철부와 유사하다. 이처럼 주철탈탄법은 백주철에서 탄소를 낮춰 주철보다 낮은 탄소함량을 가진 미세조직을 만든다는 점에서 동일한 작업 목적을 가지고 있으나, 주철탈탄 과정의 세부적인 공정에서는 차이가 있을 것으로 판단된다. 현재까지는 연구된 수량이 적기 때문에 세부적인 공정을 파악하기 어려우나, 재현실험과 금속학적 분석 결과를 서로 비교하는 후속 연구를 통해 세부적인 탈탄 공정이 밝혀질 것이다. 본 연구는 국립문화유산연구원 '무기질 문화유산 보존처리 및 현장중심 실용기술 연구(R&D)'의 일환으로 수행되었다.

[역사1-4 | 09:45]

제조공정에 따른 고려시대 청동용기의 미세조직과 기계적 특성 변화 : 김소진 (국립문화유산연구원, 한양대학교), 김영도* (한양대학교)

Keywords: 청동용기, 미세조직, 제조공정, 화학조성, 집합조직

청동용기는 주조기법과 단조기법으로 제작되며 제조공정에 따라 다양한 미세조직이 관찰된다. 본 연구는 유적지에서 출토된 고려시대 청동용기 18점의 미세조직 관찰과 성분 분석을 통해 제조공정을 추론하고 이에 따른 기계적 성질을 확인하고자 했다. 청동용기 13점은 Sn의 함량이 20~24 wt%인 Cu-Sn 합금 소재를 이용하여 제작되었으며 α상과 β(M)상이 관찰되어 주조 이후 열간 단조와 담금질 처리를 수행했음을 알 수 있었다. 청동용기 3점은 Cu-Sn-Pb 합금 소재로 제작되었으며 α상과 α+δ상이 관찰되어 주조로 기형을 만들고 서냉하여 공정을 완료한 것으로 판단했다. 청동용기의 기종과 제조공정의 상관 관계는 정병을 제외하고는 확인되지 않았다. 제조공정에 따라 다양한 미세조직이 생성되었으며 이에 기계적 성질도 달라짐을 확인하였다. 주조 공정으로 인해 α상과 α+δ상으로 구성된 청동용기는 담금질 조직인 β(M)상 또는 γ상이 출현한 청동용기에 비해 비커스 경도값이 작았다. α상과 β(M)상으로 구성된 청동용기 6점을 선별하여 상분석과 커널 평균 방위차 분석을 실시한 결과, 경도에 영향을 미치는 요인이 β(M)상의 분율과 KAM값임을 알 수 있었다. 하지만 이들이 어떠한 비율로 기계적 성질 향상에 영향을 주는지는 확인할 수 없었다.

[역사1-5 | 10:00]

조선시대 대형 화살의 분류 기준과 제작기술 검토 : 최보배 (국립진주박물관), 이혜진 (육군박물관), 허일권*, 박학수 (국립중앙박물관 보존과학부)

Keywords: 조선, 대형 화살, 제작기술, 미세 조직, 수종 식별

조선시대 대형 화약무기는 천자·지자·현자·황자 총통 등이 있고, 대형 화살, 탄환을 발사체로 사용했다. 이중 대형 화살은 크기와 사용하는 무기에 따라 대장군전, 장군전, 차대전, 피령전으로 구분한다. 대형 화살은 화살촉(촉, 鏃), 화살대(목전, 木箭), 날개(철령, 鐵翎), 철테(철고, 鐵箍)를 조립해 만들었고, 외형은 현대 로켓이나 미사일과 유사하다. 오늘날까지 전하는 조선시대 대형 화살은 완전한 형태가 없고 부속품 21점만 남아있다. 대형 화살은 소모품의 성격을 가지기 때문에 전하는 수량이 적고, 다른 화약무기에 비해 과학적 연구가 미진했다. 이 때문에 대형 화살의 부속품으로 그 원형을 추정하고 계통을 분류하는데 한계가 있었다. 대형 화살은 소모품의 성격을 가지기 때문에 화약무기에 비해 연구가 미흡했으며, 특히 대형 화살의 외형과 재료에 관한 연구는 거의 없었다. 이 때문에 남아있는 대형 화살의 부속품이 어떤 화살인지 분류하는 데 어려움이 있었다.이에 본 연구는 대형 화살 부속품의 제원 측정, X선 투과 촬영, 3D스캐닝, 수종 식별, 금속 조직 분석 결과를 바탕으로 분류 기준을 재정립하고, 그 특징과 제작 방법을 규명하고자 했다. 화살촉은 목표물을 타격하는 촉두, 화살대와 연결하는 촉근으로 나눈다. X선 투과 촬영 결과 촉두 내부에서 다수의 기공을 관찰했다. 금속 조직 분석 결과 촉두는 공정 조성에 가까운 백주철 조직이며, 기둥 모양의 ledeburite와 pearlite를 확인했다. 또한 촉근 상부에서 조대한 결정립계를 가진 ferrite, 하부에서 pearlite를 관찰했다. 즉, 화살촉을 제작할 때 먼저 촉근을 단조로 제작한 후 주형에 꽂은 채로 촉두를 주조했음을 시사한다. 다음 화살대 부속품 3점을 대상으로 수종을 식별한 결과 광방사조직과 동성형 복합방사조직(단열+광방사조직), 단천공을 관찰했다. 또한 도관이 방사상으로 배열하는 특징을 확인하여 화살대가 가시나무아속에 속함을 밝혔다. 이는 조선시대 문헌에서 가시나무를 화살대 재료로 사용했다는 기록과 일치한다. 한편 철령은 뒤로 갈수록 폭이 넓어지는 유엽형이 많았고, 이는 조선시대 문헌 도설과 유사하다. 철령 앞부분의 각도는 22~25°이며, 뒷부분 각도는 74~83°로 비슷한 값이었다. 유일하게 국립중앙박물관 소장품 1점만 앞·뒤 각도가 37~38°의 반 타원형이었다. 마지막으로 대형 화살 부속품을 촉 지름과 철령 크기로 분류했다. 촉 지름은 현재 남아있는 천자, 지자, 현자 총통의 구경과 비교했다. 그 결과 국립중앙박물관 소장품 등 6점은 대장군전, 육군박물관 소장품 등 6점은 장군전, 서울역사박물관 소장품 등 2점은 차대전으로 분류했다. 철령 길이를 기준으로 분류한 결과 서울역사박물관 소장품 등 3점은 대장군전, 일본 가라쓰시 기탁품 등 4점은 장군전, 국립중앙박물관 소장품 1점은 차대전으로 분류했다. 이 연구는 조선시대 대형 화살의 구조와 재료를 분석하고 분류 기준을 재검토함으로써, 기존에 부족했던 조선시대 발사체에 대한 이해를 보완하고자 했다. 이에 향후 조선시대 화약무기의 기초 연구 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

[역사1-6 | 10:15]

도시-산업 환경에서 야외 청동 조형물의 부식 거동 연구 : 황화물 인공 파티나 부식 실험 : 권희홍 (국립현대미술관), 조남철* (국립공주대학교)

Keywords: 야외 부식, 야외 조형물, 파티나, Brochantite, Cuprite

야외 청동 조형물에서 발견되는 부식생성물은 구리합금과 대기오염 물질 간의 상호 작용으로 생성되기 때문에 다양한 부식 유형 및 부식생성물의 파티나(patina)를 형성한다. 본 연구에서는 야외 청동 조형물과 유사한 화학조성과 금속학적 특성을 가진 4원계 청동(Cu-Zn-Sn-Pb)을 대상으로 도시-산업 환경에서 일반적으로 확인되는 황화물 파티나의 부식 거동에서 나타나는 특성을 확인하기 위해 인공 파티나 부식 실험을 실시하였다. 파티나의 색도·반사도와 부식생성물의 상관관계를 확인한 결과, 황화물 파티나는 부식 거동에 따라 brochantite의 양이 증가하였으며, 색도 a* 가 파티나 성장과 관련되었다. 또한, cuprite와 brochantite를 분류할 수 있는 동시에 녹색의 brochantite가 파티나 표면에 피복되는 시점을 확인할 수 있었다. 특히, 반사도 황-적색(565~750㎚) 영역의 20%가 cuprite와 brochantite를 식별할 수 있는 변곡점임이 확인되었다. 파티나의 화학조성과 부식생성물과의 상관관계를 확인한 결과, 황화물 파티나의 주요 부식생성물인 brochantite의 정량적 변화를 결정하는 주요 요인으로 결정의 크기, 파티나 층의 두께 등과 같은 물리적인 원인과 함께 색 형성 이온으로 작용하는 Cu2+ 이온이 최외곽 층으로 이동함으로써 Cu 원소가 증가하는 원인 중 하나임을 확인하였다. 4원계 청동의 대기부식은 부식 거동에 따라 바탕 금속 Cu, Zn의 화학조성이 감소했지만, Sn, Pb의 원소는 상대적으로 증가하였으며, 외곽 층의 brochantite와 내부 층의 cuprite, cassiterite로 이루어진 파티나로 확인되었다. 이러한 결과는 향후 야외 청동 조형물의 파티나 표면의 색상, 화학조성, 부식생성물의 변화와 같은 부식 특성 및 보존을 위한 중요한 기본 데이터를 제공할 것으로 본다.

융합재료과학
Room 알펜시아홀, 10월 29일

[융합1-1 | 10:40] 초청강연

Polymer globule membranes for fine filtration of Au catalysts and fabrication of ultrafine Si nanowires : Tae Won Nam* (Pusan National University)

Keywords: Si nanowires, polymer, chemical etching

Advanced functionalities of silicon nanowires are size-dependent and downscaling of the nanostructure often leads to higher device performances. Singlecrystal silicon nanowires with diameters approaching a single unit cell are fabricated using membrane-filtrated catalyst assisted chemical etching. Atomically filtrated gold is used as uniform pattern to direct anisotropic etching of dense silicon nanowire arrays. The size of the nanowires can be controlled by engineering the molecular weight of Poly(methyl methacrylate) used to fabricate the polymer globule membranes. The smallest silicon nanowires with 0.9 nm diameters exhibit direct, and wide band gap of 3.55 eV and establishes a new record. The experimentally obtained silicon nanowires in this size fill the valuable gap below the fewnanometer regime where to date only theoretical predictions have been available. This fabrication approach could provide facile access to atomic-scale silicon, which can bring further advancement to next generation nanodevices

[융합1-2 | 11:05] 초청강연

Bio-inspired self-adaptive composites with reprogrammable self-folding behaviors : Sung Hoon Kang* (Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))

Keywords: bioinspired, adaptive, composites, self-folding, reprogrammable

Adaptability is one of the hallmarks of living systems that provide resilience to survive and flourish in a dynamically changing environment. I will present our efforts to study mechanically adaptive materials for dynamically changing loading environments by coupling stress with material synthesis [1]. Nature produces outstanding materials for structural applications, such as bone and wood that can adapt to their surrounding environment. For instance, bone regulates mineral quantity proportional to the amount of stress. It becomes stronger in locations subjected to higher mechanical loads. This capability leads to the formation of mechanically efficient structures for optimal biomechanical and energy-efficient performance. However, it has been challenging for synthetic materials to change and adapt their structures and properties to address the changing loading conditions. To address the challenge, we are inspired by the findings that bones are formed by mineralizing ions from blood onto collagen matrices. I will present a material system that triggers proportional mineral deposition from electrolytes on piezoelectric matrices upon mechanical loadings so that it can self-adapt to mechanical loadings. For example, the mineralization rate could be modulated by controlling the loading condition, and a 30-180% increase in the modulus of the material was observed upon cyclic loadings whose range and rate of the property change could be modulated by varying the loading condition. To expand the environment where the material can be utilized, we have investigated the synthesis of liquid-infused porous piezoelectric composites inspired by bone and pitcher plants [2]. I will present our synthesis approach and resulting mechanical properties. The material showed over 36 times increase in modulus and 30 times increase in dissipation after 12 million loading cycles, demonstrating self-adaptive behavior in air. Furthermore, the material can be (re)programmed to generate various shapes by self-folding based on spatial distribution of mechanical loading. We envision that our findings can contribute to new strategies for making resilient materials for dynamically changing mechanical environments, with potential applications including healthcare, vehicles, and infrastructure [3]. References 1. S. Orrego, Z. Chen, U. Krekora, D. Hou, S.-Y Jeon, M. Pittman, C. Montoya, Y. Chen, S. H. Kang, “Bioinspired materials with self-adaptable mechanical properties,” Advanced Materials, 32, 1906970 (2020). 2. T.-S. Wong, S. H. Kang, S. K. Y. Tang, E. J. Smythe, B. D. Hatton, A. Grinthal, and J. Aizenberg, “Bioinspired Self-Repairing Slippery Surfaces with Pressure-Stable Omniphobicity,” Nature, 477, 443-447 (2011). 3. G. Kitchen, B. Sun, S. H. Kang, “Bioinspired Nanocomposites with Self-Adaptive Mechanical Properties,” Nano Research, 17, 633 (2024).

[융합1-3 | 11:30] 초청강연

Effects of Radiation on 2D Materials-based Electronics : Yeonhoo Kim* (Korea Research Institute of Standards and Science)

Keywords: 2D materials, Radiation effect, MoS2, Transistors, Sensors

The space industry has steadily grown over the past decades and has the potential to expand even further in the future. Significant attention is paid to the effects of cosmic rays on devices used in satellites and spacecraft. The space environment is harsh due to the presence of numerous high-energy electrons, neutrons, and protons. These particles, collectively known as cosmic rays, travel through space at nearly the speed of light. There have been reports of satellite malfunctions caused by electronic damage from cosmic rays. Therefore, it is crucial to investigate the impact of cosmic rays on electronics within the space industry and to respond appropriately to these findings to ensure the success of space missions. Graphene and two-dimensional (2D) transition metal dichalcogenides (TMDs) have the potential to serve as alternative semiconductor materials for future electronics due to their attractive properties, including high

mobility and a tunable band gap. Additionally, large-scale electrical devices are of interest for the development of next-generation technologies. In this presentation, devices based on 2D materials is discussed. The performance changes of transistors, and sensors before and after irradiation with electrons, protons, and neutrons was explored. These results could provide insights for developing and fabricating novel devices capable of operating in harsh environments using emerging materials.

[융합1-4 | 11:55]

A Complex of Dissolved Copper With Halide Anion Reconstructs the Copper Catalyst During Acidic CO_2 Electroreduction

: Hyeontae Kim, Ji-Yong Kim (Seoul National University), Dae-Hyun Nam* (Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology), and Young-Chang Joo* (Seoul National University)

Keywords: Electrochemistry, CO_2 electroreduction, CO_2 conversion, Acidic electrolyte, Reconstruction

The electrochemical CO_2 reduction reaction (CO_2RR), facilitated by Cu-based catalysts, enables the conversion of CO_2 into value added multi-carbon products, including ethylene, ethanol, and propanol. To utilize this technology effectively, it is imperative to attain high carbon conversion efficiency. A fundamental approach to enhance carbon conversion efficiency is to increase the acidity to modify the local reaction environment. Recent studies indicate that even under the robust reductive potential of CO_2RR, the reconstruction of Cu catalysts that affects catalyst performance occurs, which is ascribed to the dynamic dissolution and redeposition of the catalyst. At this time, the acidic environment accelerates the dissolution of Cu, owing to its inherently corrosive property. However, the mechanism of the acidic environment on dissolution during CO_2RR remains ambiguous. Additionally, the effects on redeposition of Cu ion in the acidic electrolyte are also poorly understood. Therefore, it is essential to understand the impact of acidic environment on the Cu catalyst to effectively develop the acidic CO_2RR system. The abundant hydrogen ion in the acidic electrolyte markedly facilitates the hydrogen evolution reaction (HER), a competing reaction during acidic CO_2RR. Introducing substantial quantities of alkali cations (e.g., Li^+, Na^+, K^+) effectively suppresses the HER. This approach, however, involves dissolving highly soluble alkali metal halide compounds (e.g. KCl, KBr, KI), which leads to a pronounced accumulation of halide anions, such as chloride. In this research, we investigated the dissolution of Cu and the interaction between Cu ions and halide anions during acidic CO_2RR. It is assumed that the halide anions form complexes with the dissolved Cu^{2+} ions, a consequence of corrosion, ultimately resulting in $[Cu\text{-halide}]^+$ complexes. These positively charged complexes are readily redeposited due to the reduction potential, and we observed that the morphological characteristics of the reconstructed surfaces are influenced by the type of anion in the complex during this redeposition process. Consequently, the original Cu transforms into a new phase and anion-doped Cu, during the CO_2RR, potentially influencing the reaction performance. In summary, this study examines the corrosion behavior of Cu during acidic CO_2RR and explores how complexation-driven reconstruction affects the performance of acidic CO_2RR.

철강: 철강B-압연, 강종개발, 후처리
Room 알펜시아홀, 10월 29일

[철강B1-1 | 13:00]
중탄소강의 페라이트-펄라이트 미세조직과 항복강도에 미치는 Si 첨가의 영향 : 고재현 (한국재료연구원, 부산대학교), 김경원, 장재훈 (한국재료연구원), 이기영, 박현, 김정한 (동아대학교), 이정원, 김용현 (디와이파워주식회사), 홍성민 (㈜현대제철), 강전연* (한국재료연구원), 최윤석* (부산대학교)
Keywords: Medium carbon steel, Yield Strength, Silicon, Ferrite-pearlite, Non-quenched-and-tempered steel

대형 부품에 활용되는 비조질강에서 필연적으로 형성되는 페라이트-펄라이트 미세구조의 항복강도 향상을 위해, 본 연구에서는 중탄소강 중 페라이트-펄라이트 미세조직에 대한 Si 첨가의 효과를 분석하였고, 강도 증가를 강화 메커니즘 관점에서 해석하였다. Si 함량이 0.22에서 2.21 wt. % 범위인 0.3C-1.5Mn 강의 열연 판재를 제조하였고, 880ºC에서 오스테나이트화 후 느린 연속 냉각을 통해 페라이트-펄라이트 미세조직을 형성하였다. Si함량 증가에 따라 항복 강도는 401.1에서 573.6MPa로 증가하였다. 오스테나이트 입자 크기의 미미한 변화에도 불구하고, 페라이트 입자의 평균 직경은 8.8에서 5.0 μm로 감소하였으며, 펄라이트의 평균 층상 간격은 196.6에서 109.9 nm로 감소하였다. 이러한 미세구조적 특징에 대한 정량적 데이터를 바탕으로 강화 메커니즘을 고려하여 항복 강도 예측 모델을 제약 최적화 방법을 통해 도출하였다. 도출된 모델은 펄라이트 층상 간격의 미세화와 Si에 의한 페라이트의 고용체 강화가 주된 강화 기구인 것으로 나타내었다. 항복 강도 증가에 대한 이들의 기여도는 75%가 넘었지만, 페라이트 결정립 미세화와 펄라이트 부피 분율 증가와 같은 다른 것들의 영향은 제한적이었다.

[철강B1-2 | 13:15]
The effect of hydrogen embrittlement of laser cutting on 1.5GPa grade TRIP steel : 김형준, 정현빈, 고성민, 조누리 (Yonsei Univ.), 정기택 (POSCO), 이영국* (Yonsei Univ.)
Keywords: four-point bending, hydrogen embrittlement, TRIP steel

This research examines how laser-cutting impacts 1.5GPa grade Fe-1.5Si advanced high-strength steels (AHSSs) that have undergone quenching and partitioning (QP) processes to preserve austenite, which enhances resistance to hydrogen embrittlement. The study found that laser-cutting results in a loss of retained austenite in the heat-affected zone (HAZ) and creates notches due to the melting and solidification during cutting, leading to finer grains of prior austenite. These microstructural changes increase susceptibility to hydrogen embrittlement in the HAZ, causing early fractures. However, removing the notch or HAZ mechanically showed improved outcomes, with delayed fractures or no fractures at all. The findings highlight the critical influence of laser-cutting on the performance of AHSSs in environments prone to hydrogen embrittlement, underscoring the need for careful selection of cutting techniques in their use.

[철강B1-3 | 13:30]
고압수소가스 및 전기화학적 수소 환경 하 API X80급 라인파이프강의 수소취성 거동 : 오동규, 신승혁 (서울과학기술대학교), 유용재, 김규태 ((주)현대제철 연구개발본부), 황병철* (서울과학기술대학교)
Keywords: Gaseous hydrogen, electrochemical hydrogen, hydrogen embrittlement, slow strain-rate test (SSRT), Notch tensile strength

최근 화석연료의 탄소배출 절감에 대한 규제가 엄격해짐에 따라 수소에너지가 차세대 친환경 에너지로 주목받으면서, 수소 운송용 고강도 라인파이프강에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 라인파이프강과 같은 금속재료는 수소환경에 노출되면 표면으로부터 내부로 수소가 침투하여 전위, 결정립계와 같은 결함들과 상호작용하여 연성 및 강도가 현저히 감소하는 수소취성이 발생할 수 있다. 이러한 수소취성을 보다 신뢰성 있게 평가하기 위해서는 실제 사용환경과 동일하게 고압수소가스 환경 하에서의 실험이 필요하지만, 정비설치가 어려워 전기화학적 수소주입으로 수소환경을 모사하기도 한다. 이와 같이 수소주입원을 달리하여 모사할 경우 수소의 흡착 및 확산 거동이 달라 다른 수소취성 양상을 보일 수 있기 때문에 주입 환경에 따라 변화하는 수소취성 거동에 대한 이해가 필요하다. 본 연구에서는 베이나이트 및 페라이트계 기지조직에 일부 펄라이트를 포함하는 라인파이프강에 대하여 고압수소가스 및 전기화학적 수소 환경 하에서 수소 주입과 동시에slow strain-rate test (SSRT)를 수행하여 노치인장강도비 (RNTS, relative notch tensile strength)로 수소취성을 평가하였다. 이후 파단된 시편의 파면 및 파단면을 분석하여 수소 주입원 및 미세조직적 인자와 수소취성의 상관관계를 고찰하였다.

[철강B1-4 | 13:45]
Analysis of Low-Temperature Toughness of SA350LF3 Material under Different Heat Treatment Conditions : 박동준, 유진영, 천세호, 이성호, 송종한, 이승엽, 이정훈 (부산대학교), 이채훈, 이진모 ((주) 태웅), 이태경* (부산대학교)
Keywords: SA350LF3, 저탄소강, 열처리, 자유낙하시험

SA350LF3 소재는 원자력 발전 부품에 사용되며, 저온에서의 충격 내성을 향상하기 위해 QT 열처리를 적용한다. QT 열처리는 금속을 고온으로 가열한 후 급속히 냉각하는 quenching과, 직후 특정 온도에서 재가열하는 tempering으로 구성된다. Quenching을 통해 금속의 강도는 증가하지만, 취성이 동반되므로, tempering을 통해 금속 내부의 잔류 응력을 제거하고 미세조직 및 기계적 물성을 안정화한다. 그러나 SA350LF3 소재의 통상적인 QT 처리 후 저온 drop weight test에서 일부 시편의 충격 내성이 온도 기준

을 통과하지 못하는 현상을 관찰하였다. 이러한 문제는 quenching 횟수를 증가시킨 QQT 공정을 통해 충격 내성이 온도 기준을 통과하면서 해결하였다. 본 연구에서는 SA350LF3소재의 quenching 횟수와 시간을 변화시키며 4가지 열처리를 진행하고, 저온에서의 drop weight test를 진행하여 열처리 조건별로 온도를 변화시켜 가면서 저온에서의 파단 여부를 확인하였다. optical microscopy, scanning electron microscopy, electron backscatter diffraction등을 활용하여 열처리 시편의 미세조직을 분석하였고, 이를 drop weight test와 연계하여 기존 QT 열처리에서 quenching 횟수와 시간이 증가했을 때 저온에서의 충격 내성 향상의 원인을 규명하였다.

[철강B1-5 | 14:00]

공석강 내 Cu, Sn 함량에 따른 미세조직 및 기계적 물성 평가 : 김채영, 정문식 (한양대학교), 류건희, 최벽파 (한국과학기술원), 강민우 (현대자동차), 한정호* (한양대학교)

Keywords: Eutectoid steel, LME, Tramp element, Hot shortness, Segregation

탄소중립 사회가 도래함에 따라, 철강 산업의 온실가스 감축에 대한 적극적인 노력이 요구되고 있으며, 고로 제강의 경우 전기로 제강에 비하여 약 5배 이상의 온실가스가 발생함에 따라 최근 전기로 제강을 통한 고품위 철강소재 생산이 많은 주목을 받고 있다. 이러한 전기로 생산 강재의 경우, 스크랩 재활용으로 인하여 강재 내 Cu, Sn 등 트램프 원소가 잔존할 가능성이 높으며 이는 고온에서의 편석 작용을 통하여 강재 내 기계적 물성을 저하시킨다고 익히 알려져 있지만 여전히 트램프 원소의 종류 및 함량에 따른 강재 별 미세조직 및 기계적 물성의 연관성에 대한 고찰이 미비하다는 한계점이 존재한다. 특히 자동차 산업에서 흔히 사용되는 공석강의 경우 주조에서 선재 압연까지 반복적인 고온 성형을 거치는 대표적인 고성형성 강재로, 트램프 원소로 인한 고온 편석 거동과 LME는 가공 측면에서의 제약이 초래하여 향후 전기로 방식 전환을 통하여 고품위의 강재를 얻기 위해선 해당 강재 내 트램프 원소로 인한 미세조직적, 기계적 물성 변화 거동을 확실히 아는 것이 중요하다. 이에 본 연구에서는 대표적 트램프 원소인 Cu, Sn의 함량에 따른 공석강 내 미세조직 변화와 이러한 미세조직으로 인해 야기되는 기계적 특성 변화 원인에 대해 고찰하고자 한다. 이를 위해 진공유도용해장치 (VIM)을 이용하여 상용강 내 Cu, Sn 함량에 따라 합금을 제조하였으며, APT 분석을 통하여 강재 내 편석 거동을 확인하였다.

[철강B1-6 | 14:15]

Mechanical properties and carbide precipitation behavior of ultrahigh strength secondary hardening steels with reduced alloying elements : Yoonjung Won and Kisub Cho* (Kookmin University)

Keywords: secondary hardening, precipitation kinetics, ultrahigh strength steels

High Co-Ni secondary hardening steels are known for their ultrahigh strength, making them ideal for defense and aerospace applications. However, their high manufacturing costs limit widespread use. In this study, we applied an AI-based alloy design framework to develop new ultrahigh strength secondary hardening steels with reduced Co and Ni content. The newly designed alloys (7CoV, 9CoV, 12CoV) were produced and characterized. Mechanical property evaluations demonstrated that these alloys, with up to 59% less Co and 27% less Ni, achieved properties comparable to or exceeding those of AerMet360. Remarkably, the 12CoV alloy exhibited a tensile strength of 2.7 GPa while maintaining excellent toughness. Microstructural analysis revealed that the reduction in Co and Ni content, which led to a decrease in M_2C precipitation, was effectively compensated by the enhanced precipitation of MC carbides due to V addition. This strategic balance between reduced alloying elements and optimized carbide precipitation is key to achieving the desired mechanical properties in these ultrahigh strength steels.

[철강B1-7 | 14:30]

Development of high fracture toughness TRIP-maraging steel through the segregation engineering and α-Mn nanoprecipitation : 예정원, 김민석, 박은수* (서울대학교)

Keywords: Maraging steels, Grain boundary segregation engineering, BCC decomposition, J-based fracture test

마레이징 강(Maraging steel)은 로켓 엔진 케이스, 잠수함 선체 및 극저온 미사일과 같은 중요한 응용 분야에서 중요한 부품으로 사용되는 중요한 소재이다. 그러나 고강도가 요구되는 환경에서 주로 사용되는 마레이징 강은 강도-연신 trade-off를 극복하지 못하며 취성 특성을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서 Intragranular complex compound 석출에 의해 초고강도 특성을 가지는 Martensite 기지를 갖는 합금에Segregation engineering을 통하여 complexion 석출제어를 통한 마레이징 CCA의 고인성화를 달성하고자 한다. 이때, intergranular에서의 segregation 되는 원소를 찾기 위해, base system에 포함되는 elements(: Fe, Ni) 및 석출 강화 효과를 위해 첨가되는 elements(: Co, Mo)와 segregation enthalpy가 양의 관계를 갖는 element를 찾고자 하였다. 결과적으로 Mn 원소가 첨가되는 다른 원소에 대해 양의 segregation enthalpy를 갖는 것을 확인하였다. 또한 Mn 원소는 Fe 기반 합금에 첨가되었을 때 FCC 상의 안정성을 크게 증가시킨다고 알려져 있어Mn원소를 segregation engineering의 최적 원소로 선정하였다. 이 합금 설계 전략을 통해 intergranular에 FCC 오스테나이트(Y) 상이 석출된 합금을 설계할 수 있었다. 그러나 연성 FCC Y 상이 석출에 의해 발상하는 강도-연신 trade-off를 극복하기 위해, 열역학적 계산을 통해 석출된 FCC Y 상의 안정성이 낮은 합금을 선정함에 따라 변형 중 마르텐사이트 변태가 발생하는 변형 기구 (TRIP)를 갖는 합금을 설계하였다. 추가적으로 pseudo ternary에서 miscibility gap에 의한 BCC decomposition으로 인해 석출되는 α-Mn상의 석출 가능 열처리 조건을 최적화하여 약 1GPa 정도의 우수한 강도를 갖는 합금을 선정하였다. 또한 상기 전략에 따라 설계된 TRIP 마레이징 강의 J-based 균열 저항 곡선 및 비선형 탄성 파괴 역학 분석 방법을 통해 균열 성장 과정에서 elastic 및 plastic 기여에 대해 고찰하였다.

[철강B2-1 | 14:50]
전산재료과학을 활용한 고내식 강재 개발 탐색 : 조현석, 김경덕* (포항공과대학교)
Keywords: 내부식강, 희토류 금속, 푸베이 도표, 동전위 분극 실험
세계 각국에서 부식으로 인한 손실은 국내총생산(GDP)의 약 2~4%에 달하는 것으로 추정되며, 이에 따라 금속 구조재료의 부식 메커니즘 분석을 기반으로 한 고내식 강재 개발 연구가 필수적이다. 본 연구에서는 최근 해외에서 보고된 희토류 금속(Ce, La, Y)이 철강재료의 고내식성에 미치는 영향을 분석하였다. 다양한 pH와 전위 조건에서 안정한 고체 상과 이온 용해도를 계산하기 위해 CALPHAD(CALCulation of PHAse Diagrams)모델링 기법을 활용하였다. 희토류 조성 변화에 따른 안정 상의 분율을 도출하고, 이를 검증하기 위해 세륨(Ce)을 활용하여 부식 실험(분극 실험 및 전기화학 임피던스 분석)을 수행하였다. 본 연구결과는 Ce 외에도 철강재료의 내부식성을 향상시키는 희토류 원소를 탐색하여 차세대 고내식 강재 개발의 초석이 될 것이다.

[철강B2-2 | 15:05]
온간압연을 통한 극저온 인성과 수소취성 저항성이 우수한 저니켈강 개발 : 이현욱, 신혜주, 한정호* (한양대학교)
Keywords: 저니켈강, 온간압연, 라멜라이징 공정, 저온인성, 수소취성
액화천연가스(LNG:Liquefied Natural Gas)의 수요와 함께 전통적으로 액화천연가스 보관용기로 사용된 9%니켈강의 수요 역시 증가하고 있다. 9%니켈강의 주요 원소인 니켈은 반도체나 자동차 산업등 다양한 분야에서 활용이 증가하고 있어, 가격 경쟁력을 갖추기 위한 니켈 저감형 강재에 대한 연구가 진행되고 있다. 저니켈강에는 주로 QLT(Quenching-Lamellarizing-Tempering) 공정을 적용하며, 기존 QT 공정보다 오스테나이트 분율을 상승시켜 니켈 저감으로 인한 인성의 저하를 보강하고 있다. 본 연구에서는 Lamellarizing 온도 영역대에서 온간압연을 진행하여 오스테나이트 핵생성 사이트를 증가시키고, 높은 분율의 미세한 잔류오스테나이트를 형성시켜 추가적인 인성 향상을 목표로 하였다. 본 연구의 결과를 기존 QLT공정이 적용된 저니켈강, QT 공정이 적용된 9%니켈강과 미세조직 및 저온 인성을 비교하고 액화천연가스 온도대 보다 극한 환경인 액화수소 온도대에서의 적용 가능성을 확인하기 위해 수소취성 저항성을 저온 영역대에서 확인하였다.

[철강B2-3 | 15:20]
액화 수소 환경을 위한 Ni 함유 마르텐사이트 강 개발 : 한효주, 이현욱 (한양대학교 신소재공학과), 박민호, 소형섭 (현대제철 기술연구소), 한정호* (한양대학교 신소재공학과)
Keywords: 수소취성, 극저온 인성, 액화수소 보관용 강재, 마르텐사이트계 고니켈강
탈탄소-탄소중립 사회 이룩을 위해, 화석에너지를 효과적으로 대체할 차세대 에너지원으로 수소 에너지가 친환경 대체 에너지로 주목받고 있다. 기체수소는 압축하여 간단하게 활용이 가능하나, 에너지 저장 밀도가 낮고 고압수소를 견디기 위한 용기의 무게, 부피 및 안전상의 문제 등으로 인해 대용량 저장 및 운송에 어려움이 있다. 그에 반해, 액체수소 저장 방식은 높은 에너지 저장 밀도를 제공하며 상압 수준에서의 저장이 가능하여 대용량 보관 및 운송이 용이하다. 다만, 액화수소 보관용 강재는 우수한 수소 취성 저항성을 포함하여 사용 온도인 -253°C의 초저온에서 우수한 물성을 유지하는 것이 중요하다. 이러한 저장용 강재에 대한 명시적인 표준은 아직 정해지지 않았지만, 일본에서는 기존의 극저온용 강재인 9니켈강에서 니켈 함량을 높인 고니켈강에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 최근 다양한 산업군의 니켈 수요가 높아져 꾸준한 가격 상승이 예측되고 있고, 비교적 낮은 니켈 함량으로도 우수한 기계적 물성을 나타내는 강재를 연구할 필요가 있다. 본 연구에서는 Quenching-Lamellarizing-Tempering(QLT) 공정을 통해 템퍼드 마르텐사이트와 잔류 오스테나이트 구조를 형성하여 우수한 극저온 인성과 수소 취성 저항성이 최적화된 Fe-10Ni-XMn-0.025C 마르텐사이트 강 개발을 목표로 한다.

[철강B2-4 | 15:35]
페라이트/마르텐사이트 9-12Cr 내열강 템퍼링 열처리에 따른 미세조직 변화에 관한 연구 : 박봉천 (한국재료연구원, 부산대학교), 김성대 (부경대학교), 장재훈* (한국재료연구원), 강남현* (부산대학교)
Keywords: 내열강, 템퍼링, 석출모사, TEM
Ferritic/Martensitic 9-12Cr 내열강은 고온에서의 우수한 내산화성, 높은 열전도도, 낮은 열팽창 계수, 그리고 뛰어난 Creep strength로 인해 복합화력발전소의 스팀 터빈 소재로 주목받고 있습니다. 스팀 터빈의 발전 효율을 높이기 위해서는 더 높은 온도와 압력에서 작동해야 합니다. 따라서 이러한 조건에서도 안정적인 미세구조를 유지하고 높은 크리프 저항성을 가지는 소재가 필요합니다. 이를 위해서는 화학 조성, 열처리, 미세구조 등의 제조 공정을 최적화하는 것이 매우 중요합니다. 석출경화(Precipitation hardening)는 석출물을 통해 미세구조의 변화를 억제하여 크리프 강도를 높이기 위한 주요 메커니즘 중 하나입니다. Ferritic/Martensitic 9-12Cr 내열강에서 템퍼링을 통해 형성되는 대표적인 석출상으로는 $M_{23}C_6$, LAVES, MX가 있습니다. 주요 석출상인 $M_{23}C_6$ (M=Fe, Cr)은 약 60-80 nm 크기로 형성되어 grain boundary, lath, packet and block의 이동을 방해합니다. MX (M=V, Nb:X=C, N) 석출물은 약 20-30 nm 크기로 전위의 움직임을 효과적으로 저지합니다. LAVES (Fe_2M, M=W, Mo) 석출물은 약 200-300 nm 크기로 조대화가 빠르게 진행되어 미세구조의 안정성을 저해하는 것으로 알려져 있습니다. 본 연구에서는 9-12Cr 내열강의 템퍼링 열처리 과정에서 matrix와 different type preicipitates의 거동을 연구하였습니다. 합금은 10.2Cr-Mo-W-V-Co-C-Nb 조성으로 설계되었으며, 1170°C에서 5시간 동안 균질화 열처리를 수행하였습니다. 템퍼링 열처리는 670°C에서 1시간에서 300시간까지 수행되었습니다. 각 석출물의 형성 순서는 HR-TEM 및 EDS 분석을 통해 정의되었으며, 미세구조 분석 및 석출물 정량화는 HAADF-STEM으로 수행하였습니다. 석출물은 구형으로 가정하였고, 정량화를 위해 Image-Pro 11 소프트웨어를 사용하였습니다. 합금 열역학계산 및 석출모사는 MatCalc6 소프트웨어를 사용하여 시뮬레이션 하였으며, 이를 실험 데이터와 비교 분석하였습니다. 결

론적으로, 본 연구는 9-12Cr 내열강의 템퍼링 열처리 동안 석출물의 동역학에 대한 유용한 정보를 제공합니다. 이러한 연구 결과는 열처리 공정의 최적화를 통해 미세구조를 제어하여 9-12Cr 내열강의 크리프 강도를 향상시키는 데 기여할 수 있습니다.

[철강B2-5 | 15:50]

Effect of the annealing condition on the texture evolution in high-Si non-oriented electrical steel : Jimin Kim (UNIST), Seonghyeon Yoo, Yongkeun Ahn, Chun Ku Kang (Hyundai Steel R&D Center), and Sukbin Lee* (UNIST)

Keywords: Non-oriented electrical steel, annealing conditions, texture, EBSD

Non-oriented electrical steels have been used in many electromagnetic devices mainly due to their excellent soft magnetic properties. The performance of electrical steels depend not only on the silicon contents, but also on the grain size and the texture developed during the annealing process. With respect to the texture, it is desirable to achieve 〈1 0 0〉 //ND fiber as much as possible, which remains, however, a significant challenge. This is partly because the mechanisms on the texture evolution during the recrystallization and grain growth are not fully understood, and partly because it is difficult to control the spatial and fractional distribution of <111>//ND fiber (g-fiber) and <110>//RD fiber (a-fiber) during the cold-rolling process. In this study, we investigate the microstructure and texture evolution of high-Si non-oriented electrical steel during various annealing conditions (i.e., various heating rates and terminal temperatures). The characterization and analysis on microstructural evolution are performed based on the EBSD measurement. We present a few parameters playing significant roles in the texture development of the electrical steel sheets during annealing.

[철강B2-6 | 16:05]

위성체용 인바/고강도강 클래딩 강재 개발 : 신혜주, 이현욱, 김효건, 한정호* (한양대학교)

Keywords: 위성체, 고비강도, 저열팽창, 클래딩 공정, 클래딩재

위성체는 수명과 연료 효율성을 위해 무게 제한이 요구되어 경량성이 중요하며, 운용 궤도 상의 광범위한 온도 변화 (-200 ℃ ~ 100 ℃)와 우주 파편의 충돌이라는 극한 환경을 견디기 위해 낮은 열팽창계수와 고강도, 고인성을 요구한다. 위성체의 몸체와 표면은 내구성 및 에너지 효율을 위해 Al 합금을 주로 이용하며, 안테나 및 연결 부품은 송출 신호 장애 방지와 열 변형에 의한 내구성 저하 방지를 위해 비강도가 높은 Ti 합금과 저열팽창률을 갖는 INVAR 합금 또는 CFRP 복합재로 구성된다. 이때 특히 연결체, 안테나 부품은 상반 물성을 지니는 다양한 재료로 구성되어 복잡한 제조 과정과 고비용을 요구하며, 소재 간의 열팽창 차이로 인해 장기간 작동 시 피로 파괴가 발생하는 문제점이 있다. 이에 따라 본 연구에서는 고비강도, 고비인성, 저열팽창이라는 상반 물성을 확보한 단일 합금을 제작하기 위해 클래딩 공정을 적용하여 위성체용 인바-고강도강 클래딩재를 제작하였다.

[철강B3-1 | 16:30]

Dynamic recrystallization behavior and textural evolution of medium Mn steel after friction-stir welding (FSW) : Hyo-Nam Choi and Seung-Joon Lee* (Tech University of Korea (TU Korea))

Keywords: Medium Mn steel, texture, dynamic recrystallization, dual phase, friction stir welding

In the study, we investigated that the dynamic recrystallization behavior and texture evolution of medium Mn steel after friction-stir welding (FSW). To find welding conditions without welding defects, the hot-rolled plate was friction-stir welded at rotational speed of 80 rpm and traveling speed of 100 mm min^{-1} under tilt angle of 3° from normal direction. The microstructure was observed and analyzed by scanning electron microscope and electron backscatter diffraction. The hardness measurement was conducted using a micro-Vickers hardness tester. We aimed to elucidate the influence of dual-phase on the mechanical property after FSW as well as the texture.

[철강B3-2 | 16:45]

Development of high strength medium-Mn steel using machine learning aided genetic algorithm : Jin-Young Lee, Seung-Hyun Kim, Hyun-Bin Jeong (Yonsei Univ.), Keunwon Lee, Kisub Cho (Kookmin Univ.), and Young-Kook Lee* (Yonsei Univ.)

Keywords: Genetic algorithm:Machine learning:Alloy design:High-strength steel:Medium-Mn steel:Warm stamping

This study demonstrates the successful application of a machine learning (ML)-aided genetic algorithm (GA) approach to the inverse design of high-strength medium-Mn steel for the warm stamping process. Utilizing a comprehensive dataset on the tensile properties of medium-Mn steels, the boosted decision tree regression ML model exhibited the highest prediction accuracy. After optimizing the hyper-parameters of the GA to balance between exploitation and exploration, the ML-GA approach efficiently identified various combinations of chemical compositions and austenitizing conditions in a high-dimensional search space, surpassing the 2 GPa ultimate tensile strength (UTS) threshold. The inversely designed medium-Mn steels exhibited a martensitic microstructure with a small amount of retained austenite and demonstrated higher ductility compared to hot-stamped C steels, while maintaining UTS levels above 2 GPa. We delved into the relationship between the microstructure and tensile properties of the developed steels, providing mechanistic insights into how specific microstructural features contribute to their exceptional performance.

[철강B3-3 | 17:00]

Study on the strengthening behavior of friction-stir welded Fe-17Mn damping alloy : Jong-Hun Kim and Seung-Joon Lee*

(Tech university of korea)
Keywords: Fe-17Mn alloy, Friction-stir welding (FSW), Strengthening behavior, mechanical properties

In this study, the effect of rotation speed on the strengthening mechanisms of the Fe-17Mn damping alloy after friction-stir welding (FSW) was investigated. For this purpose, FSW was carried out by increasing rotational speeds from 440 to 760 rpm under the constant welding speed of 100 mm min-1. To examine the differences in microstructure and phase fraction, the regions of base metal and stir zone center were observed by using a scanning electron microscope equipped with an electron backscattered diffractometer. To evaluate the mechanical properties, micro-Vickers hardness and tensile tests were conducted. Despite differences in the microstructural characteristics of the welds, the stir zone center exhibited similar hardness and yield strength regardless of the rotation speed. Based on these results, we analyzed the reasons for the similar strength using a dislocation-based constitutive equation.

[철강B3-4 | 17:15]

적층제조를 통해 제작된 경사형 내식 경량철강의 열처리에 따른 적층계면 미세조직 및 표면 내식성 변화에 대한 연구 :김정훈, 문준오* (국립창원대학교), 박성준, 하헌영 (한국재료연구원), 이시환, 한흥남 (서울대학교 재료공학부)
Keywords: 적층제조, 경사형 합금, 경량철강, 스테인리스강, 내식성

경량철강(Lightweight steel)은 Fe-Mn-Al-C 성분계를 기본으로 하며, 이 때 각 합금성분의 함량에 의해 발현된 기지상에 따라 페라이트계, 듀플렉스, 오스테나이트계 경량철강으로 나눌 수 있다. 그 중 오스테나이트계 경량철강은 오스테나이트 기지에 나노사이즈의 κ-carbide(Fe_3AlC)를 석출시킴으로써 뛰어난 강도-연성 밸런스를 가진다. 그러나 경량화 효과를 높이기 위해 과도한 함량의 Al을 첨가하는 경우, $D0_3$(Fe_3Al) 상 생성 또는 κ-carbide의 입계 석출에 의해 내식성이 떨어지는 문제가 발생한다. 이를 보완하기 위해 본 연구에서는 오스테나이트계 경량철강 표면에 316L 스테인리스강 분말을 Powder Bed Fusion(PBF) 방식으로 적층제조하여 경사형 내식 경량철강을 제작 하였고 우수한 강도-연성 밸런스 및 표면 내식성 확보를 위해 열처리를 실시하였다. 열처리에 따라 316L 스테인리스강과 경량철강 사이의 적층계면에서 합금원소의 상호 확산이 발생한 것을 EPMA와 3D-APT 분석을 통해 확인하였다. 열처리 도중 316L 스테인리스강 속의 Cr, Ni 등이 경량철강 쪽으로 확산됨에 따라 적층계면의 경량철강은 기존의 오스테나이트 조직과 다른 B2(FeAl), $D0_3$ 상이 새롭게 생성 되었고, 경량철강쪽의 Al, C원소가 316L 스테인리스강 쪽으로 확산되어 빠져나감에 따라 적층계면의 스테인리스강 부분에서는 Cr 탄화물이 새롭게 석출되었고, 경량철강 부분에서는 오스테나이트 기지속 κ-carbide 생성이 억제됨을 TEM분석을 통해 확인하였다. 이와 같은 미세조직의 변화를 비커스경도, 나노인덴테이션 시험을 통해 분석한 기계적 성질과 연관 지어 고찰하였다. 마지막으로 분극시험을 통해 적층제조된 316L 스테인리스강 표면 미세조직과 연관 지어 내식성을 평가하였다.

[철강B3-5 | 17:30]

Low-temperature superplasticity in Fe-10.6Mn-xSi steel : Hyun-Bin Jeong, Jin-Young Lee, Ju-Chan Jin (Yonsei University), Hyung-Jin Cho (Yonsei University, Republic of Korea Air Force Logistics Command), and Young-Kook Lee* (Yonsei University)
Keywords: Low-temperature superplasticity, Medium-Mn steel, Interphase boundary sliding, solid-solution strengthening, dynamic reverse transformation

Recent advancements in superplastic medium-Mn steels, particularly those with added Si, have significantly reduced material and processing costs, achieving superplastic elongation of 303% at 763 K with a strain rate of 1 × 10-3 s-1. This development offers notable energy savings and reduced surface oxidation during superplastic forming. However, previous studies did not quantitatively explore the effects of Si content or cold reduction on the low-temperature superplasticity. In this study, we conducted a systematic investigation into how Si content affects the low-temperature superplasticity of Fe-10.6Mn-xSi steels subjected to 50% and 80% cold rolling. Superplasticity was predominantly facilitated by interphase boundary sliding between ultrafine recrystallized α and reverted γ grains, except in the cases of 50% and 80% cold-rolled 0.2Si specimens and the 50% cold-rolled 2.4Si specimen at the strain rate of 1 × 10-3 s-1. Remarkably, the 80% cold-rolled 3.5Si specimen achieved the highest elongation of 948% under conditions of 763 K and 1 × 10-4 s-1. The superplastic elongation increased with increasing thickness reduction by cold rolling and Si content, which was attributed to the enhanced stored energy, a driving force of both the recrystallization and the dynamic α'-to-γ reverse transformation. Additionally, Si promoted active interphase boundary sliding by increasing the difference in hardness between the α and γ phases. However, the 50% cold-rolled 5.5Si specimen, which contained δ ferrite-(Fe,Mn)3Si compound constituents, exhibited similar elongation to the 50% cold-rolled 3.5Si specimen. This similarity in elongation was because the dynamic α'-to-γ reverse transformation occurred rapidly only up to an engineering strain of ~100%. Consequently, it is suggested that an Si content of 3.5 wt% is optimal for enhancing low-temperature superplasticity in Fe-10.6Mn steel.

[철강B3-6 | 17:45]

오스테나이트계 경량철강의 합금 원소와 냉각 속도에 따른 미세조직 및 기계적 성질 변화에 대한 연구 :권민지, 문준오* (국립창원대학교), 박성준 (한국재료연구원)
Keywords: 경량철강, 냉각속도, κ-carbide, 용체화열처리, 3D-APT

최근 경량철강의 개발과 상용화를 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 경량철강은 높은 함량의 Al을 첨가하여 기존 철강 대비 10% 이상 낮은 밀도를 가지며, 이와 함께 우수한 기계적 특성을 가지고 있다. 또한 경량철강은 Fe-Mn-Al-C를 기본 성분계로 가지

며, 낮은 온도에서 시효열처리시 나노 사이즈의 미세한 κ-carbide가 입내에 석출되어 우수한 강도-연성 밸런스를 가진다. 반면에 냉각 중 고온에서 입계를 따라 조대한 κ-carbide가 석출되는 경우에는 경량철강의 인성을 크게 떨어뜨린다고 보고되고 있다. 이에 본 연구에서는 합금 원소의 함량과 냉각 속도 변화에 따른 경량철강의 미세조직 및 기계적 성질의 변화에 대해 고찰하였다. 이를 위해 Al, C, Mo, Cr의 함량을 달리하여 시편을 제작하였고, 용체화열처리 후에 수냉, 공냉 그리고 로냉으로 나누어 냉각 속도 변화에 따른 κ-carbide의 석출거동을 비교 분석하였다. 수냉의 경우 빠른 냉각속도에 따라 미세한 κ-carbide가 입내에 석출되었다. 반면, 공냉과 로냉의 경우, 냉각속도가 감소함에 따라 입내와 입계에서 조대한 κ-carbide가 석출되었으며 이로 인해 경량철강의 강도는 증가하였고 연성은 감소하였다. 하지만 Mo와 Cr을 첨가함에 따라 κ-carbide의 입계 석출이 억제되어 강도가 감소하는 반면에 연성이 회복되었다. 미세조직은 SEM, EBSD, TEM, 3D-APT을 이용하여 분석하였으며 Vickers hardness, impact test, tensile test를 통해 기계적 성질을 평가하였다.

첨단반도체 후공정 패키징 소재기술 심포지엄
Room 콘서트홀, 10월 29일

[후공정 1-1 | 09:00] 초청강연

Material Collaboration with AI Memory Packaging : 이규제* (SK하이닉스)

Keywords: HBM, 첨단 패키징 기술, MR-MUF, TSV 기술, AI 반도체

초고속 D램 HBM은 AI 시스템을 구현하는 메모리의 기술 한계를 돌파하도록 해준 주역으로, 지금의 AI 시대를 가능하게 해준 대표적인 AI 반도체 중 하나다. 생성형 AI와 함께 벼락같이 등장한 '히트상품' 이라고 보여지기도 하지만, 사실 HBM은 10년 넘는 오랜 기간 동안 수많은 기술 전문가들이 혼신의 힘을 다해 협업해 완성해낸, 반도체 기술 혁명의 산물이다. HBM을 구현하기 위한 TSV 기술은 이미 20여 년 전부터 기존 메모리의 성능 한계를 극복해줄 차세대 기술로 주목받았지만, 곧바로 상업화된 기술로 부상하지는 못했다. 인프라 구축의 어려움과 투자비 회수 불확실성 등 난제로 누구도 선뜻 개발에 나서지 못했기 때문이다. 결국 AMD-SK하이닉스의 공동연구로 2013년 HBM이 세상에 나오게 되었지만 실제로 시장과 고객이 만족할 만한 수준의 성능과 양산 품질로 시장이 본격 성장하게 된 것은 3세대 HBM2E부터라 볼 수 있겠고 여기에는 업계 최초로 도입된 MR-MUF라는 Advanced Packaging 기술이 판도를 바꾸기 시작했다 하여도 과언이 아니다. 이 기술은 현재 5세대를 거쳐 6세대까지 HBM의 핵심 기술로 지속 Extension되고 있는데, 당 발표에서는 MR-MUF와 관련된 Advanced Packaging 기술에 다양하게 적용되는 주요 공법과 소재 기술간의 Collaboration 동향을 소개하고자 한다.

[후공정 1-2 | 09:25] 초청강연

20μm 피치의 범프 수 500,000을 초과하는 칩온웨이퍼(CoW) 기술 : 최광성*, 주지호, 최광문, 신정호, 이찬미, 장기석, 오진혁, 윤호경, 문석환, 정지은, 이가은, 엄용성 (한국전자통신연구원)

Keywords: Chip-on-Wafer, Laser-Assisted Bonding with Compression, Laser Non-Conductive Film, 상온 스테이지, 20 μm

칩렛 집적 기술은 최첨단 반도체 노드를 사용하여 생산되는 하이 엔드 시스템 반도체와 관련된 개발 및 생산 비용을 줄이는 핵심 솔루션으로 인식되고 있다. 이 기술은 실리콘 인터포저에 GPU와 HBM을 통합한 2.5D AI 모듈이 주요 사례가 되어 고급 시스템 반도체의 비용 효율성을 높이는 것으로 간주된다. 이 기술의 실질적인 이점이 계속해서 검증됨에 따라 다양한 도메인에 걸친 확대와 적용이 예상된다. 그러나 2.5D 기술의 응용범위 확대는 몇 가지 기술적인 난관을 극복해야 가능하다. 그러한 과제 중 하나는 40μm 미만의 범프 피치의 칩렛을 위한 Chip-on-Wafer(CoW) 본딩 기술의 개발이다. 대량 리플로우, 성형 언더필(MuF) 또는 NCP/NCF 재료를 사용한 열압착 본딩과 같은 방법을 활용하는 CoW 기술은 최대 40 μm의 피치에 성공적으로 생산되고있지만 이 임계값 아래의 피치는 아직 해결 방안이 없는 것으로 생각된다. 여기에는 공극 없는 언더필 적용의 필요성과 특히 범프 밀도가 높은 경우 높은 압력을 적용하는 데 어려움이 있다. 이 논문은 20 μm 피치, 500,000개 이상의 범프가 있는 데이지 체인 칩을 300 mm 웨이퍼에 집적하기 위한 Chip-on-Wafer(CoW) 기술을 제안한다. 이 공정은 LABC(Laser-Assisted Bonding with Compression)에 특별히 최적화된 레이저 비전도성 필름(Laser NCF)과 함께 압축을 통한 LABC 공정을 활용한다. LABC 공정은 석영을 통해 압력을 가하여 본딩하는 것을 의미한다. LABC 공정에 맞춰진 레이저 NCF는 연기로 인한 공극이 형성되지 않고 짧고 균질화된 레이저 노출 기간 내에 솔더와 Cu 패드에서 산화물 층을 효율적으로 제거하여 안정적인 본딩을 수행한다. 또한, 레이저 NCF를 사용한 LABC는 상온 스테이지에서 수행되어 칩과 웨이퍼 간의 열 팽창 계수 차이로 인한 정밀도 저하를 완화할 수 있는 이점을 제공한다 이 속성은 특히 20μm의 미세 피치 본딩에 중요하다. 이 논문은 개발된 CoW 기술을 기존 본딩 방법과 비교하여 분석한다. 또한 주요 변수에 대한 최적화 프로세스를 설명하고, 이 기술을 사용하여 제조된 테스트 시료의 특성을 분석한다. Acknownledgement This research was, partly, supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education [2020M3H4A3106385 and 2020M3H4A3081764], and by Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI) grant funded by the Korea government. [24YB1100, Core technology for new microwave-reactive materials for low-carbon, high-quality semiconductor processing]

[후공정 1-3 | 09:50] 초청강연

글라스 기판을 활용한 어드밴스드 패키징 기술의 미래 방향 : 김성진* (아진전자)

Keywords: 글라스, 인터포저, 어드밴스드패키징, 반도체기판

최근 반도체 산업에서 고성능, 고밀도 패키징 기술의 수요가 증가함에 따라 반도체기판에도 관심이 쏠리고 있습니다. 하지만 FcBGA로 대표되는 유기기판은 미세 패터닝 기술의 한계로 인해 반도체 공정을 활용한 실리콘 인터포저를 활용하는 첨단 반도체 패키징 기술화로 빠르게 변화하고 있습니다. 다만, 실리콘 기판은 원형의 실리콘 기판을 활용함으로 인한 Loss와 고비용이 문제가 되어 대안 모색함에 있어 새롭게 글라스 기판을 활용한 반도체 패키징 기술이 주목받고 있습니다. 글라스 기판은 실리콘 기판과 유사한 기계적 특성과 높은 전기 절연성을 가지며, 저비용 대량 생산이 가능하다는 장점을 지닙니다. 뿐 아니라 열팽창 계수가 실리콘과 유사하여 열 변형을 최소화할 수 있어 반도체 소자의 신뢰성을 향상시킵니다. 본 발표에서는 글라스 기판의 기본 물성, 제조 공정, 그리고 기존 기판 대비 장점과 적용 사례를 중점적으로 다룹니다. 특별히 이를 통해 미래 반도체기판으로써의 가능성을 탐구하고, 반도체소자 실장의 적용 발전 방향을 제안합니다.

[후공정2-1 | 10:35] 초청강연

Nanomechanical modeling of fracture and plasticity in metallic multilayers during thermal cycles : Ill Ryu* (Seoul National University)

Keywords: Nanomechanical modeling,Fracture,Plasticity,Metallic multilayers,Thermal cycles

For optimal usage of nanostructures in various industrial applications, it is critical to obtain fundamental understanding of deformation and failure mechanisms at micron- and sub-micron length scale, where individual defects could play critical roles in exhibiting macroscopic mechanical properties. To get a mechanistic understanding of deformation and failure mechanisms and corresponding macroscopic response of crystalline metals at micron- and sub-micron length scale, the Nanomechanical defect dynamics model has developed to investigate size-dependent plasticity by coupling conventional continuum crystal plasticity finite element (CPFEM) with a discrete defect (DD) modeling. The proposed model could account for complex multi-physical phenomena, which would play an important role in obtaining a fundamental understanding of deformation mechanism at small scale. Applications of developed concurrent coupled model includes dislocation nucleation at a crack tip, nanoindentation, hydrogen embrittlement at submicron length scale. In this talk, the specific applications to metallic multilayers during thermal cycles will be addressed. The developed model will shed light on fundamental investigation of “defect-controlled” mechanical behaviors in crystalline materials, such as plasticity and damage and fracture.

[후공정2-2 | 11:00] 초청강연

Copper–Nonmetal Interface Engineering for Reliable Advanced Packages : Hanwool Yeon* (GIST)

Keywords: Copper–Nonmetal Interface Engineering for Reliable Advanced Packages

Advanced packaging (AVP)–the heterogeneous integration of disaggregated chips in a compact form–has become indispensable for the continued growth of the semiconductor industry. AVP interconnects provide short and dense chip-to-chip connections, which significantly enhance system performance without the need for aggressive transistor scaling. However, the rapid development of AVP interconnects has introduced crucial reliability challenges, including (1) poor heat dissipation, (2) copper (Cu) contamination, and (3) electromagnetic interference (EMI) in integrated chips. To address these issues, innovative advancements in packaging materials are required. In this talk, I will present my group’s efforts to establish material strategies for highly reliable packages, with a focus on Cu–nonmetal interfaces. First, regarding Cu–polymer interfaces, we have discovered that applying a self-assembled-monolayer (SAM) coating on Cu interconnects in organic interposers has synergistic effects on the reliability of the interposer under thermal, mechanical, and electrical stress. I will explain how SAM coating help mitigate issues related to poor heat dissipation and Cu contamination in polymer dielectrics used in organic interposers. Second, in terms of Cu–MXene interfaces, we have combined Cu and MXenes to create sub-2-μm-thick EMI shields, enabling conformal protection of non-flat chips from EM noise. In addition, our EMI shield achieves an 80 dB shielding performance, setting a world record among EMI shields of similar thickness. I will discuss how the Cu–MXene heterogeneous interfaces contribute to this unprecedented shielding performance. Acknowledgment: This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea Government (MSIT) (No. 2022R1C1C101359412).

[후공정2-3 | 11:25] 초청강연

The advanced packaging technology in AI era :2.5D & Chiplet for Integration : 김종헌* ((주)네패스)

Keywords: 첨단 패키징 기술, Fan Out Packaging, 2.5D, Chiplet

반도체 산업은 빅데이터, 고성능 컴퓨팅(HPC), AI, 엣지 컴퓨팅, 5G, 스마트 자동차 분야 등에 힘입어 지속 성장하고 있다. 한편 반도체 소자의 성능은 지속 집적화, 고도화되면서 개발 기간이 길어지고, 천문학적인 투자 및 재료, 기술의 한계를 극복하기 위한 돌파구가 시도 되고 있다. 반도체 패키징이 이러한 관점에서 재 조명되고 Backend foundry (시스템 반도체 패키징) 기술의 중요성도 날로 커지고 있다. 이는 반도체 및 시스템의 성능을 극대화 하기 위해서는 Chip 만이 아닌 패키징 기술의 발전이 필수 이기 때문인데, 특히 크기를 줄이고 성능, 방열 특성을 향상시키면서, 전력 소모 절감 줄일 수 있는 Wafer level packaging 을 시작으로 해서, Fanout packaging 및 System packaging, Chiplet 이 소형화 및 이종 집적(Heterogeneous Integration) 이라는 면에서 큰 관심을 받고 있고 국가 전략 기술로써 기대가 모아지고 있다. 본 발표에서는 시스템 반도체 산업의 발달과 함께 대두되는 패키징의 기술의 중요성과 기술 동향 및 향후 방향에 대해 조망해 본다.

복합화력발전용 증기터빈 소재부품 기술개발 심포지엄
Room 메도우, 10월 30일

[증기터빈1-1 | 09:10] 초청강연

복합화력 발전용 증기터빈 소재부품 기술개발 현황 : 정재석* (두산에너빌리티)

Keywords: 복합화력, 증기터빈, 소재부품

최근 유럽 및 국내의 녹색 분류체계에 포함된 가스 기반 전력생산 시스템인 복합화력발전소의 효율이 증가하고 있으며, 이는 가스터빈의 입구 및 배기가스 온도 증가와 대용량화에 기인한다. 이에 따라, 복합화력발전용 증기터빈 소재부품의 대용량화 및 내열 특성 확보를 통 한 고효율 복합화력발전 시스템을 구축 하려고 하며, 본 발표에서는 개요적으로 복합화력발전용 증기터빈 소재부품 기술개발 총괄과제에 속해 있는 각 세부과제별 기술개발 현황을 공유하고 상용화를 위한 제언이 제시될 예정이다.

[증기터빈1-2 | 09:30] 초청강연

소성불안정 기준에 따른 균열감수성지수를 이용한 열간단조작업에서 균열 예측 및 평가 : 이민식*, 이태경* (부산대학교), 이상원 (재료연구원), 정성군 (에스엔더블류)

Keywords: Crack susceptibility index Deformation processing map Plastic instability criteria Ziegler's parameter Hot working

A processing map representing the efficiency of power dissipation as a function of the temperature and strain rate has been used as a guide to depict the hot workability of metallic alloys. However, it has limitations in indicating the local positions where process-induced cracks may occur during hot-working operations. A process-induced crack is formed during hot deformation because the plastic instability associated with crack formation is more favorable than normal flow under a given set of process conditions. This paper proposes a novel approach to assess local cracks using the crack susceptibility index (CSI), which is based on Ziegler's plastic instability criteria. This solution provides useful information regarding the effect of each process parameter on the workability required for high-temperature processes. Lowering the CSI value by controlling process variables, such as the temperature and strain rate, is recommended for a design free from process-induced cracks. More importantly, a coded finite element subroutine coupled with the CSI can help visualize local positions where cracks may be produced during a hot-working operation. For experimental validation, a Gleeble test was performed on Ti6Al4V specimens containing four notches with different depths. The successful application of the CSI to the process design of shop-floor unmanned aircraft components helped confirm the applicability and validity of this study.

[증기터빈2-1 | 10:00] 초청강연

HR3C 오스테나이트계 내열강의 고온 산화 및 크리프 거동 분석 : 이건직 (한국과학기술연구원, 고려대학교), 손석수 (고려대학교), 심재혁* (한국과학기술연구원)

Keywords: 오스테나이트계 내열강, 스테인레스강, 고온 산화, 크리프, 석출물

온실가스 감축을 위한 화력발전의 에너지 효율 향상을 위해서는 전력을 생산하는 터빈의 작동 온도를 높이는 것이 핵심이다. 최근 전력 생산 비중이 크게 증가하고 있는 천연가스 복합화력 발전의 경우 주축인 가스터빈과 함께 증기터빈의 작동 온도를 높이는 것이 필요하며 이를 위해서는 650도 이상에서 적용 가능한 내열합금의 개발이 중요하다. 650도 이상의 온도에서는 기존에 증기터빈에서 널리 사용해 왔던 페라이트계 내열강의 적용은 어려운 상황이고 새로운 오스테나이트계 내열강 개발 및 적용 연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 25Cr-20Ni 조성의 HR3C 오스테나이트계 내열강의 복합화력 증기터빈 적용 가능성을 확인하기 위해 HR3C 합금의 고온 산화 및 크리프 거동을 조사하고자 한다. 고온에서 형성된 산화층 분석을 위해 TKD와 EDS 분석 기법을 적용하여 산화물의 상 종류를 구분하고자 하였으며 산화층 배열 양상을 열역학 평형 계산 결과와 비교하였다.

[증기터빈2-2 | 10:20] 초청강연

복합화력발전 증기터빈용 630 °C급 로터 제조와 기계적 특성 : 신종호*, 이민복, 송전영, 방승국, 정재석, 마영화 (두산에너빌리티)

Keywords: 복합화력발전

복합화력발전에서 가스터빈의 대형화 및 배기온도의 상승으로 증기터빈에 사용되는 핵심 부품들의 운전 온도가 상승되어 기존에 개발된 600 °C급 및 621 °C급 로터 소재들을 적용하기에 한계가 있다. 이에 두산에너빌리티에서 최근 한계 극복을 위해 고강도/고인성 630 °C급 로터 제조에 성공하였고, 로터 상용화를 위해 제조 공정의 표준화와 Material specification을 작성하였다. 논문에서는 1차 시제품과 2차 시제품을 제작하여 로터 제품의 물성을 평가 및 비교하였다. 제작한 제품들은 증기터빈용 로터에 요구되는 물성을 모두 만족하였으며, 1차 시제품 대비 2차 시제품은 고온 Creep 특성이 향상되었다. 두산에너빌리티에서는 제품의 열처리 온도를 최적화하여 material specification에서 요구되는 기계적 특성을 안정적으로 만족할 수 있는 로터 제조 공정 조건을 확보하였다.

[증기터빈2-3 | 10:40] 초청강연

바나듐 첨가 내열강의 고온 저주기 피로 특성 : 김진경* (한양대학교 재료화학공학과), 김성훈, 이태호 (한국재료연구원), 신종호 (두산에너빌리티)

Keywords: 내열강, 마르텐사이트, V, Co, 저주기 피로

증기터빈의 로터/블레이드의 사용 환경 온도를 높이기 위해 페라이트/마텐사이트계 내열강에 대한 연구가 활발히 진행되어왔다. 최

근에는 630도 환경에서 사용되기 위한 목적으로 Mo와 W을 첨가한 9-12% Cr강의 개발이 이루어졌다. 630도 급 페라이트계 내열강으로 사용되는 MTR10A는 3-4% Co를 함유하고 있다. Co는 고온에서 오스테나이트 안정성을 증가시키고 델타페라이트의 형성을 억제하기에 내열강의 핵심 원소이다. 하지만 가격 불안정성으로 Co의 일부를 대체하는 합금 설계가 요구되었고, 인공신경망 모델을 기반으로 합금 원소 함량과 크리프 강도 사이의 관계를 도출한 결과, V 첨가가 Co의 일부를 대체할 수 있을 것으로 판단되었다. V 첨가는 미세한 VN 석출상을 이용한 석출 강화로 크리프 수명에 긍정적인 효과를 보이는 것으로 알려져 있다. 본 연구는 V을 첨가하고 Co를 2.5% 수준으로 저감한 내열강의 630도 저주기 피로 물성을 조사하였다. Strain amplitude가 높은 조건은 기존 3Co 강종과 비슷한 피로수명을 보였으나 strain amplitude가 낮은 조건에서 피로 수명이 기존 강종에 비해 비약적으로 증가하였다. 변형 전후 미세조직 정밀분석을 통해 바나듐 첨가강의 피로 수명 증가 원인을 고찰하였다.

[증기터빈2-4 | 11:00] 조청강연

마르텐사이트계 내열강의 Cu 첨가에 의한 630C 크리프 거동 및 미세조직 분석 : 김두현 (고려대학교, 한국과학기술연구원), 이병현, 김긍호, 정우상, 김동익 (한국과학기술연구원), 신종호 (두산에너빌리티), 이태호 (한국재료연구원), 손석수* (고려대학교), 서진유* (한국과학기술연구원)

Keywords: 마르텐사이트강, 고온 크리프, 미세조직, 전위 밀도, TEM

복합화력발전은 가스터빈에서 발생하는 고온의 배기가스를 활용해 증기를 만들어 증기터빈을 구동하는 발전 시스템입니다. 이 시스템은 일반 화력발전에 비해 높은 발전 효율을 가지며, 더욱 친환경적입니다. 전 세계적으로 효율을 극대화하기 위해 더 가혹하고 고온의 환경에서도 사용 가능한 내열 소재의 개발이 진행되고 있습니다. 특히, 증기터빈의 효율을 향상시키기 위해 작동 온도를 상승시키면서도 발전 단가를 낮게 유지하려면, 저렴한 F/M계 내열강의 적용 비율을 높이는 동시에 F/M계 내열강의 고온 물성을 향상시키는 것이 중요합니다. F/M 내열강은 고온에서 크리프, 피로, 산화성 등이 우수한 물성을 보이지만, 다양한 구성 원소와 미량 원소들이 미세 조직에 영향을 미칠 수 있어, 단기 물성으로부터 장기 물성을 예측하기 어렵고 부품 제작 시 열처리 공정이 까다롭다는 특징이 있습니다. 현재 전 세계적으로 600°C 이상의 온도에서 9~12% Cr 강의 크리프 물성 향상 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특정 원소들의 함량에 따라 고온 크리프 시 석출 강화나 고용 강화 물성이 달라질 수 있어 합금 원소의 선택이 매우 중요합니다. 본 논문에서는 10 % Cr 이 함유된 마르텐사이트강으로 제조된 가스터빈의 로터 부품과 블레이드용 소재를 구분하여 연구하였으며, 로터 소재에는 오스테나이트상을 안정화하는 원소로 알려진 Co를 3% 첨가하였습니다. 블레이드 소재는 로터 소재와 유사하지만, 가격이 비싼 Co를 3% 대신 2%만 첨가하고 나머지 1%는 Co와 비슷한 역할을 하는 Cu를 추가하여, 고온 물성이 비슷하거나 그 이상의 성능을 가지도록 합금 설계하였습니다. 이러한 소재들에 대해 본 논문에서는 630°C 조건에서 다양한 응력 조건을 부여하여 크리프 파단 시험을 진행하였고, 이후 EBSD 미세 조직 분석을 통해 크리프 특성 변화를 비교 분석하였습니다. 또한 XRD 데이터를 이용해 각 소재들에 대한 전위 밀도값을 정량 비교해 보았고 추가적으로 TEM-EDS 분석으로 마르텐사이트 lath 사이의 석출물 비교분석을 진행하였습니다.

[증기터빈3-1 | 13:00] 조청강연

Fe-Mn-Al-C 오스테나이트계 경량강의 시효 시 입계 석출과 파괴거동의 해석 : 이동원 (포항공대), 윤건영, 박성준 (한국재료연구원), 이재상, 허윤욱* (포항공대)

Keywords: 입계파괴, 입계석출, 투과전자현미경, 벽개파괴

Fe–Mn–Al–C 오스테나이트계 경량강은 우수한 비강도를 가지고 있어서 차세대 고강도강으로의 활용을 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 이 강의 고강도는 시효처리 중 입내에 생성되는 나노사이즈의 κ-carbide 석출에 의한 것으로 알려져 있다. 그러나, 시효처리 중 결정립계에 형성되는 조대한 κ-carbide는 강의 연신율을 떨어뜨려 고강도에서의 사용을 어렵게 하고 있다. 본 연구에서는 시효 중 형성되는 결정립계의 cellular구조의 석출메커니즘을 이해하고, 강의 취성파괴에 입계석출물들이 하는 역할을 규명하고자 한다. 투과전자현미경 (transmission electron microscopy, TEM)을 이용하여 미세조직 분석을 진행한 결과, 시효초기 결정립계에서 $M_{23}C_6$ 상의 석출을 확인할 수 있었다. 시효가 진행됨에 따라 α-ferrite 와 κ-carbide 가 순차적으로 $M_{23}C_6$ 상에 붙어서 자라는 것을 확인할 수 있었다. 이 후 α-ferrite 와 κ-carbide 의 cellular 구조는 성장하여 결정립계를 뒤덮음을 확인하였다. 결정립계가 cellular구조로 뒤덮히면서 인장 파괴의 양상은 점차 입계취성파괴 형태로 변화되었다. Microcrack 형성 부위를 관찰한 결과 결정립계의 조대한 κ-carbide 와 α-ferrite 에서 cleavage crack이 형성됨을 확인할 수 있었다. 따라서, Fe-Mn-Al-C 오스테나이트계 경량강의 시효 시 결정립계 취화는 결정립계에 형성되는 조대 κ-carbide+α-ferrite cellular 석출상들의 Cracking이 그 원인임을 알 수 있었다.

[증기터빈3-2 | 13:20] 조청강연

발전용 경량철강의 나노 κ-carbide 전단 구동 동적변형시효 현상과 피로 특성 : 홍현욱*, 김시연, 주하연 (국립창원대), 김치원, 박성준 (한국재료연구원)

Keywords: FeMnAlC lightweight steel, Low-cycle fatigue, Dynamic strain aging, Deformation mechanism

최근 CO_2 배출 감소와 에너지 효율 향상을 위한 전세계적인 노력의 일환으로 발전 산업에서 경량화에 대한 수요가 증가하고 있다. 저압터빈 블레이드 소재의 경량화를 위해 FeMnAlC 합금이 유망한 후보소재로 떠오르고 있다. 본 연구에서는 Fe–22Mn–8Al–0.9C–0.02Nb (wt%) 경량 철강의 동적변형시효 (DSA) 발생과 이것이 저주기 피로 (LCF) 시험 동안 cyclic 반응 및 변형 거동에 미치는 영향을 25–400 °C의 온도 범위에서 고찰하였다. 초기 미세 구조는 나노 크기의 κ-carbide가 석출된 full γ-matrix 이다. 저주기 피로 동안, 응력 진폭은 25 °C, 100 °C, 400 °C에서 모든 변형 범위 (Δεt: 0.8–2.2 %)를 통해 파괴 시까지 cyclic softening을 보였다. 그러나 200 °C 및 300 °C에서는 cyclic softening 이후 현저한 cyclic hardening이 나타났다. 특히, 반주기

수명에서의 히스테리시스 루프는 200 °C와 300 °C에서 serration을 보여 주었다. 이는 cyclic hardening이 DSA 현상에 기인했음을 나타내며, 200 °C와 300 °C에서 음의 변형 속도 민감성에 의해 확인되었다. DSA 영역에서는 저주기 피로 수명이 크게 감소했다. 저주기 피로 동안 싸이클에 따른 순차적인 투과 전자 현미경 (TEM) 관찰 결과 변형이 여러 방향으로 shear band가 형성됨을 확인하였다. 나노 크기의 κ-carbide가 전위에 의해 intensive하게 shearing되면, 내부에 존재하던 탄소 및 알루미늄 원자가 {111} 면을 따라 배출되고, 만일 온도가 확산하기에 충분히 높다면, 이들 용질원자들은 전위들과 강하게 상호작용을 할 것으로 예상된다. 실제 경량철강 합금에서 3차원 atom probe tomography (APT) 분석을 통해 탄소 용질 원자의 배출의 슬립면 끝단에서 관찰되었고, drag effect로 인해 200 °C에서는 25 °C에 비해 곡선형 전위 활주가 자주 관찰되었다. 본 연구에서 미세조직 기반의 변형기구와 피로 특성에 대한 상관성을 토론하고자 한다.

[증기터빈3-3 | 13:40] 초청강연

경량철강 대형 소재의 냉각 조건에 따른 내부 특성 분포 변화 예측 : 박성준*, 김경원 (한국재료연구원), 이준희 (한국재료연구원, 동의대학교), 김성훈, 조효행, 박형권 (한국재료연구원), 이인섭 (동의대학교)

Keywords: Light-weight steel, Mechanical properties, Cooling condition

경량철강은 Al과 같은 치환형 경량원소를 함유하여 일반 철강소재 대비 밀도가 낮은 강으로, 수송기기, 무기체계, 발전설비 등에 적용시 경량화에 따른 다양한 이점을 기대할 수 있다. 오스테나이트계 FeMnAlC 경량철강은 시효열처리를 통해 결정립 내부에 미세하게 형성되는 κ-탄화물에 의해 큰 폭의 강화 효과를 얻을 수 있으나, κ-탄화물이 결정립계에 조대하게 형성되는 경우 연성 및 인성이 크게 저하될 수도 있다. 특히 소재 제조 공정 중 열간압연이나 열간단조, 균질화열처리를 위해 고온으로 가열 후 연속냉각하는 과정에서 냉각속도가 느린 경우, 시효 효과에 의해 연성 및 인성이 저하되어 결함이 발생하거나 심한 경우 소재가 파단될 수도 있다. 본 연구에서는 다양한 냉각 방법을 이용하여 오스테나이트계 경량철강을 고온으로부터 연속냉각하고, 냉각속도에 따른 기계적 특성 및 미세조직의 변화를 조사하였다. 그 결과 합금 조성 및 냉각속도에 따라 기계적 특성이 크게 변화하는 것을 확인하였다. 또한 유한요소해석을 이용하여 대형 소재의 냉각 공정을 모사하고, 부위별 온도 이력으로부터 얻은 냉각속도에 기초하여 소재 내부의 특성 분포 예측을 수행하였다.

[증기터빈4-1 | 14:10] 초청강연

Nimonic 80A 초내열 합금의 입계 파형 제어 및 기계적 특성 평가 : 김가영, 정휘윤 (부산대학교), 정희원 (한국재료연구원), 이제인* (부산대학교)

Keywords: 초내열합금, 입계파형, 열처리, 크립

복합화력발전은 화석연료를 연소시켜 1차로 가스터빈을 구동시킨 고온의 열을 보일러에 통과시킴으로써 2차로 증기터빈을 구동시키는 발전시스템이다. 이러한 복합화력의 발전효율을 향상시키기 위해 블레이드를 대형화하고 터빈입구온도를 상승시키는 연구가 최근 산업계의 주목을 받고 있다. 터빈에 주입되는 가스 및 증기의 온도가 상승함에 따라, 기존보다 더 높은 온도에서 장시간 구동시킬 수 있는 블레이드 소재의 개발기술이 요구되고 있다. 증기터빈 소재로는 내산화성, 내식성 등의 내환경성과 인장강도, 크립강도 등 고온 기계적 특성이 우수한 니켈기 합금이 주로 이용되고 있다. 본 연구에서는 구동온도가 650 ºC 수준인 환경에서 우수한 내환경성과 기계적 특성을 보일 것으로 기대되는 Nimonic 80a 합금의 열처리 제어기술을 확립하여, 미세조직 최적화를 통해 크립특성을 향상시키고자 한다. 이를 부연하면, 고용체 처리, 서냉, 및 시효처리로 대표되는 다단계 열처리를 통해 결정립계의 파형 및 석출물을 제어하여 입계에서의 균열 전파를 지연시키고자 한다. 고용체 처리 온도 및 서냉 속도, 그리고 시효온도와 같은 열처리 변수의 제어를 통해 입계의 파형이 극대화되고 크립특성이 향상되는 최적의 미세구조를 제시하고자 한다. 본 연구를 통해 현재보다 높은 온도에서 사용되는 미래 증기터빈을 위한 초내열 합금의 국산화 연구에 기여하고자 한다.

[증기터빈4-2 | 14:30] 초청강연

Investigating the factor for improving flowability of Ni-based superalloy powder for 3D printing : Seungil Park, Chaemin Seoul, Seunghan Kim, Guyoung Min, Jihyeon An (Chonnam National University), Uk Sim (Korea Institute of Energy Technology), and TAE-HOON KIM* (Chonnam National University)

Keywords: flowability, surface treatment

A 3D printing technology is one of the promising technologies in the future because it can easily fabricate complex structures. Among the 3D printing methods, the Powder Bed Fusion (PBF) method uses a roller to apply a layer of powder and hardens it using a laser. This PBF method uses a roller to push the powder, so the fluidity of the powder is important. When 3D printing is performed using powder with low flowability, stability of the finished structure may be low. To enhance the flowability of the powder, this study conducted an analysis of factors contributing to increased flowability, focusing on Ni-based powder. In particular, this study was conducted on how to improve fluidity by changing surface energy and roughness through surface treatment of powder. The powder was surface-treated using various methods such as acid treatment, plasma treatment, and etching treatment, and flowability was investigated through an electrochemical method and measurement of an angle of repose. As a result, factors that improve fluidity by creating hydrophobicity of powder through changes in surface energy and roughness were found. We anticipate that this study of factor for improving flowability is expected to contribute to the discovery of new methods for improving flowability.

[증기터빈4-3 | 14:50] 초청강연

L-PBF 적층한 IN625합금의 이방특성 제어를 위한 HIP 공정 설계 : 이병수*, 송영환 (한국생산기술연구원 기능성소재부품그룹), 한성

국, 김동수 (씨에스캠(주))
Keywords: L-PBF, Inconel 625, Hot Isostatic Pressing, MC, Laves

L-PBF로 적층한 Inconel 625합금의 미세한 결함과 결정립들 적층방향으로 성장되기 때문에 기계적 물성은 적층방향에 크게 의존하고 있다. 특히 상온보다는 고온에서 인장 강도 및 연신율의 변화가 적층방향에 따라 심각하게 의존한다. 본 연구에는 L-PBF로 제조한 Inconel 625합금의 고온 이방특성에 미치는 Hot Isostatic Pressing (HIP) 의 온도의 영향을 조사하였다. L-PBF 로 Inconel 625 합금을 적층방향으로 평행한 방향과 수직한 방향으로 제작하였으며 조형체의 크기는 직경16, 높이 100 mm 로 이다. HIP 처리는 1000 bar(100 MPa)에서 1100 ºC, 1150 ºC, 1200 ºCºC, 1250 ºC에서 4시간 가공 후 노냉하였다. 승온속도와 냉각속도는 10 ºC/s와 1 ºC/s 이다. HIP 가공 후 850 ºC에서 인장시험을 수행하였으며 기계적 물성을 비교 하였다. HIP온도가 증가할수록 재결정 분율이 증가하였으며 재결정립 크기는 70 ~ 120 μm 이다. 더욱이 HIP 온도가 증가할수록 입계에 조대한 MC상들이 형성되었다. HIP 온도가 증가할수록 인장강도는 지속적으로 감소하는 반면에 항복강도는 급격하게 감소하였다. 이방특성은 HIP 온도가 증가할수록 감소하였으며 특히 연신율이 크게 감소하였다. 반면에 1250 ºC에서 Laves상 형성으로 인해 연신율이 급격하에 감소하였다.

[중기터빈4-4 | 15:10] 조정강연

Effect of Nb and Mo addition on dynamic recrystallization behavior of Nimonic 80A during creep : Shaik Mahammad Ali*, Sangwon Lee, Hyungsoo Lee, Dae Won Yun, Young-Soo Yoo, Seong-Moon Seo, and Hi Won Jeong (Department of Extreme Materials Research Institute, Korea Institute of Materials Science)
Keywords: Dynamic recrystallization, Nimonic 80A, Creep properties, Deformation, Superalloys

The effect of alloying elements on the behavior of dynamic recrystallization (DRX) in Nimonic 80A superalloys was explored during creep at 750°C and 356 MPa. Additionally, the influence of the initial grain size on nucleation and DRX mechanisms was evaluated. An decrease in the initial grain size of the alloys accelerated the DRX during creep deformation, and vice versa. DRX formation was assessed at various creep strains through intermittent creep study. The DRX proceeds by the nucleation of new grains and formation of neckless like grain structure around highly elongated grains. The deformation mechanisms of the alloys are primarily governed by Orowan looping and dislocation shear, which are influenced by variations in the size of the γ' precipitates. The addition of Mo slows the atomic diffusion of Al into the γ' phase, leading to a reduction in γ' size and dislocation shearing of the γ' precipitates. In contrast, Nb contributes to an increase in γ' size, which facilitates the formation of dislocation Orowan loops. The solid solution strengthening of the alloys increased with the combined effect of Mo and Nb. The creep strain increased with higher Mo content, resulting in greater fraction of DRX during creep.

소재연구 데이터 심포지엄
Room 레이크, 10월 30일

[데이터1-1 | 09:00] 초청강연

소재 온톨로지 기반 연구데이터 통합을 위한 소재 생태계 플랫폼 구축 : 신정호* (한국화학연구원), 박민규 (주식회사 버추얼랩), 서동화 (한국과학기술원), 민성욱 (경기대학교), 김명진 (경북대학교), 김용주 (고려대학교), 신세은 (국립순천대학교), 차필령 (국민대학교), 이동화 (포항공과대학교), 임창동 (한국재료연구원), 신호선 (한국표준과학연구원), 김병현 (한양대학교 에리카)

Keywords: 소재 빅데이터, 온톨로지, 인공지능, 자연어처리, 디지털 전환

소재 분야에서 AI를 활용한 연구의 확산과 함께 이를 위하여 연구자들이 실질적으로 활용할 수 있는 소재 빅데이터 플랫폼 구축 및 활용이 필요한 상황이다. 특히 AI 모델의 정확도와 신뢰성을 위하여 고품질 소재 연구데이터의 축적이 강조되고 있고, 최근 전세계적으로 데이터 중심(Data-centric) AI 연구가 강조되고 있는 현상은 이와 무관하지 않다. 반면 플랫폼 구축의 난관은 소재 데이터가 세부 응용분야들의 특성에 기인하여 필요한 데이터 항목 및 그 형식이 매우 다양함에 따라 통합이 어렵다는데 있다. 소재 온톨로지의 구축은 소재분류체계에 따라 이종 데이터를 통합하고 이를 세부적으로 표준화하기 위한 근본적인 솔루션을 제공할 수 있다. 동 컨소시엄에서는 소재 온톨로지 기반의 통합된 생태계 플랫폼을 구축하여 국내·외 소재 데이터·AI 관련 연구사업들의 산출물을 통합하여 사용자 친화적인 인터페이스를 제공하는 웹기반 서비스를 개발하여 제공하고자 한다. 특히 현재 진행 중인 소재 HUB 구축 사업에 따른 데이터 산출물들을 동 플랫폼을 통하여 이용할 수 있다. 동 컨소시엄에서는 소재 연구데이터를 단순히 활용가능한 플랫폼이 아닌 전문가를 통한 검증 및 피드백을 통한 활성화에 집중하여 더욱 고도화된 서비스 형태로 제공하고자 한다.

[데이터1-2 | 10:00] 초청강연

언어 모델과 자율화 실험실 기반 소재 설계: 수전해 촉매 예시 : 김동훈* (한국과학기술연구원)

Keywords: 언어모델, 문헌데이터, 수전해 촉매, 머신러닝

최근 10년간 머신러닝 기반 신소재 개발 연구가 다각도로 이루어지고 있지만, 가장 큰 병목(bottleneck)은 연구자들이 활용할 수 있는 대형 실험DB가 사실상 전무하다는 것이다 (대형 계산DB는 여러 개 존재함). 세계 각지의 여러 연구실에서 생성되는 실험데이터를 하나의 대형 DB로 모으는 것은 매우 어려운 일이다. 그나마 가장 실현가능한 해법은 문헌(literature)으로부터 데이터를 추출해 오는 방법일 것이며, 이를 실현하기 위해서는 AI 언어모델 기반 문헌데이터를 추출하는 전략이 유효하다. 본인은 수전해 촉매(water splitting catalysis) 분야에 한정해서 언어모델 기반 문헌데이터를 추출한 연구성과들을 발표하고, 앞으로 남은 난제들을 공유한다. 더 나아가서 KIST Autonomous Lab (나노소재 설계용 자율화 실험실)에서 능동학습 기반으로 수전해용 촉매 소재를 설계하는 방식에 대해서도 소개한다.

[데이터1-3 | 10:30] 초청강연

자연어 처리 기술을 활용한 문헌 기반 PSPP 관계성 데이터 자동 구축 기술 : 이동화* (포항공과대학교)

Keywords: 소재데이터, 웹크롤링, 자연어처리, PSPP 관계성 데이터, 거대 언어모델

최근 인공지능(AI) 기술을 활용한 소재 설계 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 위한 대량의 소재 데이터 구축의 필요성이 점차 대두되고 있다. 문헌 데이터는 매년 수백만 건 이상 발행되어 양적으로 풍부하고, 동료 평가를 통해 높은 신뢰성을 갖추고 있으며, 공정-구조-물성-성능(Processing-Structure-Properties-Performance, PSPP) 인과관계를 내포하고 있어 문헌데이터를 통해 미래 소재 설계를 위한 핵심 데이터의 확보가 가능할 것으로 주목받고 있다. 이러한 텍스트 형태로 기술된 대량의 문헌을 효율적으로 처리하기 위해서는 웹크롤링, 전처리, 데이터 분류, 문맥 이해 등의 AI 기반 자연어 처리 기술을 활용한 자동화 기술이 요구된다. 우리는 이를 위해 웹크롤링을 통해 문헌 데이터를 수집하고, 딥러닝 모델의 복합 활용을 통해 텍스트 전처리 및 분류를 수행하며, 거대 언어모델(LLM)의 문맥 이해능력을 바탕으로 PSPP 관계성 데이터를 자동으로 구축하는 기술을 개발하였다. 우리는 이 기술을 저항 변화 메모리(ReRAM) 소재 분야에 적용하여, 약 2만 건의 문헌으로부터 소자 단위 PSPP 관계성 데이터를 성공적으로 구축하였다. 우리의 연구는 향후 다양한 소재 분야에서 문헌 데이터를 효율적으로 구축하고, 광범위하게 활용할 수 있는 새로운 가능성을 보여준다.

[데이터1-4 | 11:00] 초청강연

전자저널을 통한 데이터 수집 관련 법적 이슈: 저작권법과 TDM라이선스 : 박제범* (특허법인플러스·법률사무소플러스)

Keywords: 텍스트·데이터 마이닝(TDM), 저작권, TDM라이선스, 데이터수집

AI와 빅데이터를 활용한 연구 및 모델 개발이 점차 확대됨에 따라 데이터 수집의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 연구자들의 데이터 수집을 위한 전자저널에서의 저작물 이용 행위는 저작권법 등 법적 쟁점과 연관되어 있다. 특히, 크롤링을 통해 공개된 데이터를 이용하는 방법과 텍스트 및 데이터 마이닝(TDM)과 같은 방법에 관련된 저작권법적 이슈들을 살펴보고, 몇몇 공개된 주요 해외 저널의 TDM 라이선스 정책을 살펴보고자 한다.

[데이터2-1 | 13:00] 초청강연

소재연구데이터 기반 연구생태계 구축을 위한 표준어휘 및 스키마 : 이광렬* (한국과학기술연구원 계산과학센터)

Keywords: 소재, 연구데이터, 표준어휘, 표준스키마, 표준어휘사전 활용법

2021년 설립된 소재연구데이터센터에서는 소재연구데이터 표준화 전문위원회를 통해 데이터기반 소재연구 생태계의 근간이 되는 데이터 표준어휘와 스키마의 구축을 진행하고 있다. 이는 4차산업혁명시대의 연구자들이 연구데이터를 통해 소통하는 언어를 구축한다는 중요한 의미를 가진다. 본 발표에서는 국내 소재연구데이터의 표준화를 위한 기본 전략을 설명하고, 현재까지 완성된 표준어휘와 스키마를 소개한다. 또한, 데이터의 제출과 관리를 위한 표준어휘사전 활용 방법의 실질적인 안내와 함께 향후 표준어휘의 확대에 더욱 많은 연구자들이 참여할 수 있도록 표준어휘 작성 방법 및 사전작성 규칙에 대해서도 소개하고자 한다.

[데이터2-2 | 13:30] 초청강연

소재 실험데이터 구축 전략: 미래 모빌리티용 알루미늄 합금 : 김세훈*, 이민재, 이혜인 (한국자동차연구원)

Keywords: Aluminum Alloy, Experimental Data, Reliability, Future Mobility, Artificial Intelligence

최근 모빌리티 산업 분야에서 전 세계적인 탄소중립(Net-Zero)을 향한 환경규제 기준 만족을 위해 미래 모빌리티의 연비 및 전비를 개선시키려는 노력으로써, 모빌리티 차체·프레임의 강성을 유지하면서 공차중량을 감소시켜 모빌리티의 경량화와 동시에 다중 물성(고내식, 고내열, 고전도도, 고내구 등)을 만족시키기 위한 경량금속 소재 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 알루미늄 합금은 Covid-19로 시작되어 최근 미국의 인플레이션 감축법(IRA), 유럽의 핵심원자재법(CRMA) 등 강대국들의 보호무역 정책의 직접적인 영향을 받을 것으로 예고되고 있기 때문에 글로벌 공급망 리스크가 가중된 미래 모빌리티 분야의 경쟁력 확보를 위해 최근 국내에서도 해외 기술선진국에 종속되지 않을 원천소재 개발에 박차를 가하고 있다. 그러나 신소재 개발은 설계부터 상용화까지 주기가 10~20년으로 매우 길뿐만 아니라 많은 비용이 필요하고, 소재 구조/조성 등의 복잡성으로 인해 기존 시행착오식의 실험 연구로는 고성능 소재 개발에 한계가 존재한다. 이러한 이유로 최근 소재개발 가속화를 위해 인공지능을 활용하려는 시도가 있어 왔으나 그 기반이 되는 실험데이터의 수가 매우 적고 그 신뢰성마저 낮아 연구개발에 걸림돌이 되고 있다. 본 발표에서는 인공지능에 활용 가능한 신뢰성 있는 데이터를 생산하기 위한 소재 실험데이터 구축 전략에 대해 논의하고자 한다.

[데이터2-3 | 14:00] 초청강연

데이터기반 소재 개발 : 데이터플랫폼 활용의 예 : 장현주* (한국화학연구원)

Keywords: ChemDX

최근에 소재 분야에서도 인공지능을 활용하는 연구들이 활발히 진행되고 있다. 그러나 대부분의 소재분야 인공지능 연구가 계산데이터 또는 수집된 문헌데이터를 활용한 연구로 발표되고 있다. 소재 분야의 특성상 실험데이터 수집의 어려움과 공개된 실험데이터가 매우 제한적이라는 한계가 있기 때문이다. 본 발표에서는 한국화학연구원에서 구축한 화학 분야의 데이터 게이트웨이로서 다양한 데이터 및 인공지능 플랫폼을 제공하고 있는 ChemDX를 (https://chemdx.org) 소개하고자 한다. 한편, 소재 개발 실험의 전주기 과정의 데이터를 수집하기 위해 구축된 다양한 분야의 웹기반 소재데이터 플랫폼을 소개하고, 수집된 실험데이터에 인공지능 연구를 수행한 결과를 공유하여 소재 개발에서의 데이터 기반 연구 활용성에 대해 논의하고자 한다.

[데이터2-4 | 14:30] 초청강연

Data-driven discovery of electrochemistry in ferroelectrics : Yunseok Kim* (Sungkyunkwan University (SKKU))

Keywords: Ferroelectrics, piezoresponse force microscopy, HfO_2, electrochemistry, machine learning

HfO_2-based ferroelectrics have attracted attention due to their robust ferroelectricity and high CMOS compatibility. Intriguingly, their ferroelectricity can be associated with multiple origins. In particular, it is believed that electrochemical dynamics are strongly responsible for the existence of ferroelectricity. However, while piezoresponse force microscopy (PFM) has been widely used for evaluating ferroelectricity and, furthermore, PFM can be also used to explore electrochemical behaviors, it is challenging to identify the existence of electrochemical behavior in the ferroelectric materials. Here, we demonstrate a data-driven characterization workflow employing a variational autoencoder and probabilistic machine learning to understand electrochemical behaviors in HfO_2-based ferroelectrics. Our findings reveal that the electrochemical behaviors correlate with reversible electrochemical strain and irreversible surface electrochemical processes, which could contribute to the emergence of ferroelectricity. This concept for a data-driven workflow can be applied to various spectrum analyses beyond this specific study.

알루미늄
Room 포레스트, 10월 30일

[알루미늄1-1 | 08:30] 초청강연

탄소중립에 대응하는 국내외 알루미늄 산업 및 기술동향 : 김명균*, 하원, 김덕 (포항산업과학연구원)

Keywords: 알루미늄, 탄소국경조정제도, 탄소중립, 스크랩 재활용

23년 4월 월 EU의회 통과하고 26년부터 시행예정인 유럽의 탄소국경조정제조(CBAM, Carbon Border Adjustment Mechanism)는 탄소다배출산업 6개 대상품목(철강, 알루미늄, 시멘트, 비료, 전력, 수소) EU수입시 제조과정에서 EU기준을 초과하는 탄소배출량에 대한 배출권을 구매의무 부여하는 방식이다. 대상품목 중 국내산업에 큰 비중을 차지하는 철강 및 알루미늄이 이슈로 작용될 것으로 예상되며, 현재 국내 철강부문은 포스코, 현대제철 등 대기업과 정부지원하에서 탈탄소화에 집중하고 있다. 한편, 전기자동차는 큰 중량의 배터리로 인해 경량화가 중요하며, 가벼우면서 강하고 내식성이 뛰어난 알루미늄 소재채용은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 그러나 알루미늄은 원광석/정제/정련/용해/부품화 과정은 전기에너지로 사용으로 상당량 탄소(글로벌 평균 16.5톤 CO_2e/톤)를 배출하여 글로벌 제조사 중심으로 탈탄소기술개발이 진행 중이다. 현재 국내 알루미늄 산업 중 제련산업은 전무하여 잉곳은 전량 해외수입 의존하는 가운데, 인도 및 호주 등 고탄소 배출국가에서 수입하므로 수송기기용 알루미늄 부품화시 탄소중립이 가장 큰 기술적 이슈이다. 최근 자동차 메이커를 중심으로 사용되는 알루미늄 부품화과정 중 탄소이력관리 및 탄소저감 기술개발에 대한 관심을 기울이고 있으나, 국내 중소기업 위주 알루미늄기업은 많은 기술적 어려움을 겪고 있다. 본 강연에서는 탄소중립에 대응하고 있는 전기자동차 내 채용하고 있는 알루미늄 소재/공정 적용현황 및 글로벌 알루미늄 기업 신제련기술과 각광받고 있는 스크랩 재활용을 위한 기술개발노력에 대해 소개하고자 한다. 이와 더불어 국내 알루미늄 산업이 국내외 탄소중립에 대응하기 위해 나아갈 기술개발 방향에 대해 토론하고자 한다.

[알루미늄1-2 | 08:55]

AA7050 단조재의 석출거동 및 인장특성 : 이상화 (전북대학교, 조선대학교), 신정호 (세아창원특수강), 정재길* (전북대학교)

Keywords: 알루미늄 합금, 석출, 인장특성, 투과전자현미경, 원자단층촬영현미경

7050 알루미늄 합금은 시효 경화형 합금으로써 η-$MgZn_2$계 나노석출상의 생성에 의한 강화 효과가 높아 우수한 비강도가 요구되는 항공용 부품에 널리 사용되고 있다. 최종 제품의 우수한 기계적 특성을 위하여 주조재는 균질화, 단조, 용체화 및 시효 열처리와 같은 일련의 제조 공정을 거치게 된다. 특히, 시효는 준안정한 나노석출상(GP zone, η')을 생성시킴으로써 제품의 기계적 특성을 결정하는데 가장 크게 기여하는 것으로 알려져 있으며, 이들을 제어하는 것은 매우 중요하다. 하지만, 합금 조성이나 시효 방법에 따라 나노석출상의 종류, 크기 및 성질이 상이하여 용도에 따른 적절한 시효 조건을 찾아내는 것은 필수적이다. 따라서, 본 연구에서는 177도에서 AA7050 단조재의 시효 시간에 따른 경도와 전기전도도의 변화를 조사하였고, 나노석출상의 변화를 투과전자현미경과 원자단층촬영현미경을 사용하여 관찰하였다. 또한, 최적의 시효 조건을 찾기 위해 나노석출상 변화와 인장 특성과의 관계를 논의하였다.

[알루미늄1-3 | 09:10]

Al-10Si-0.35Mg 주조재의 미세조직 및 국부적 부식 거동에 대한 연구 : 김영서, 신한균 (동아대학교), 조영희, 어광준 (한국재료연구원), 이효종, 김정한* (동아대학교)

Keywords: 알루미늄, 금속간화합물, 부식거동, 미세구조

최근 자동차의 패러다임이 기존 내연기관 자동차에서 전력기반 자동차로 변함에 따라, 전기차의 에너지 효율 및 수명 향상을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히, 차체의 경량화를 통한 연비 효율을 증대시키기 위하여, 알루미늄 주조재는 차체뿐만 아니라 전장부품에도 폭넓게 적용되고 있다. 미래모빌리티용 알루미늄 주조재는 강도-연신율-전도도와 같은 상반특성 동시향상과 더불어 부품의 수명에 직접적으로 연관되는 내부식성의 확보가 중요하게 요구되고 있다. 알루미늄 주조재는 첨가 원소에 따라 다양한 생성상(금속간화합물 및 석출상)을 포함할 수 있으며, 이러한 생성상의 종류에 따라 부식의 반응속도가 달라지는 특성이 있다. 본 연구에서는 알루미늄 주조용 합금, Al-10Si-0.35Mg 합금의 첨가원소에 따른 내부식 특성을 평가하였고, 특히, 금속간화합물의 국부적인 부식 거동을 확인하고자 하였다. 염수 분위기에 노출시킨 시간에 따라 변화하는 합금의 형상을 AFM (Atomic force microscope)으로 분석하였으며, KPFM (Kelvin probe force microscope)으로 부식 반응성을 평가할 수 있는 일함수를 확인하였고, SECM (Scanning electrochemical microscope)을 통해 전기화학적 반응의 변화를 평가하였다. 또한 EBSD (Electron backscatter diffraction)를 통해 집합조직을 평가하여 부식 거동과 결정 방위의 관계성을 확인하고자 하였다.

[알루미늄1-4 | 09:25]

석출 경화형 Al-Zn-Cu-Mg합금의 마모 특성 : 신지용, 정현우 (한국재료연구원, 부산대학교), 정일석, 최은애 (한국재료연구원), 권세훈 (부산대학교), 한승전* (한국재료연구원)

Keywords: Al alloy, Al-Zn alloy, Al-Sn alloy, Wear

합금의 내마모성은 연질의 2차 상과 강도에 의해 결정된다. Al-Sn 합금은 정출된 2차 상을 가져 강도가 낮고, Al-Zn 합금은 석출된 2차 상을 가져 높은 강도를 가진다. Al-Zn 합금은 Al-Sn 합금에 비해 낮은 밀도를 가져 경량화에 유리하다. 본 연구는 석출 경화형 Al-Zn 합금과 Al-Zn 합금에 미량의 Cu, Mg를 첨가한 합금의 미세 조직과 마모 특성의 관계에 대해 연구하였다. Ball on Disc 시험(하중 10N, 회전 속도 50 rpm, 거리 1,000 m) 진행 결과, Al-Zn 합금은 Al-Sn 합금에 비해 높은 마찰계수를 보였으나, Al-Zn 합금에

Cu와 Mg가 첨가되었을 경우 기지에 균일하게 석출된 Zn 상의 윤활 작용과 강화 효과에 의해 가장 낮은 마찰계수를 보여주었다. Al-Sn 합금의 마모 궤적 외부에서 결정립 파괴가 관찰되었으며, Al-Zn, Al-Zn-Cu-Mg 합금의 결정립 파괴는 관찰되지 않았다.

[알루미늄1-5 | 09:40]

복합 주조 공정에 의한 Al-Si-Sr/Cu 바이메탈 제조 및 계면 반응층 제어에 관한 연구 : 임하윤 (한국재료연구원, 부산대학교), 김병주 (중소조선연구원), 천현석 (한국재료연구원, 부산대학교), 이윤수, 김수현* (한국재료연구원), 이욱진* (부산대학교)

Keywords: Al/Cu 바이메탈, 복합주조, 금속간화합물, 개량화 원소, Sr

Al/Cu 바이메탈은 구리의 높은 전기전도성 및 열전도성과 알루미늄의 경량성 및 내식성으로 인하여 Al-Cu 합금과 비교 시 무게 및 비용 절감의 장점을 가진다. 따라서 열교환 시스템, 외장 케이블과 같은 다양한 산업 분야에서 Al/Cu 바이메탈의 수요가 늘고 있다. 바이메탈을 제조하는 방법 중 하나인 복합 주조는 고체 상태인 금속에 다른 종류의 금속 용탕을 주입하여 응고시키는 공정으로 다른 접합 방법보다 공정 시간이 짧으면서 비용이 줄어드는 장점을 가지고 있다. 한편, Al/Cu계 바이메탈 제조 시 Al 합금의 응고 과정 중 생성되는 계면 금속간화합물은 취성이 강하므로 수 mm의 크기로 조대화될 경우 계면 균열이 발생하기 쉽고 접합 특성이 저하된다. 이러한 문제점을 해결하고자 Al/Cu 바이메탈 제조 시 반응층을 제어하는 다양한 방법 및 연구가 보고되고 있다. Al 합금 용탕의 조성 최적화나 온도 변화를 통해 응고 과정 중 생성되는 반응층의 두께를 제어할 수 있는 반면 금속간화합물 형상 개선에는 효과가 제한적이며, 지금까지 Al 합금에 개량화 원소를 첨가하여 계면 반응층의 미세조직을 제어하는 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에는 개량화 원소 중 하나인 Sr를 첨가하여 Al-Si-Sr/Cu 바이메탈을 제조하였다. 또한 복합 주조 공정 조건 및 Sr 첨가로 인한 계면 반응층의 미세조직 변화 및 바이메탈의 기계적 특성 변화를 연구하였다.

[알루미늄2-1 | 10:05] 초청강연

ICAA19 주요 발표 내용 및 동향 보고 : 김재황* (한국생산기술연구원, UST, 국가과학기술연구회)

Keywords: ICAA, 재활용, 합금설계, 열처리, 분석 고도화

ICAA 19 (The International Conference on Aluminum Alloys)가 지난 6월 미국 Georgia Institute of Technology에서 개최되었다. 세션은 Sustainability in design and recycling, Industrial Applications (Aerospace, Automotive and Packaging), Additive Manufacturing and Joining, New directions in alloy and process design (Including Artificial Intelligence and Machine Learning), Casting and Solidification, Modelling and Simulations (process and products), Microstructure Design – Alloying and Heat Treatments, Advanced Characterization and Testing, Deformation Behavior and Mechanical Properties (Fatigue and Fracture), Corrosion, Surface Treatments and Environment Sensitive Fracture 및 Emerging Markets and Applications 등 11개 테마로 구분되어 진행되었다. ICAA19에서 보고된 내용 중 인상적인 발표 내용을 공유하고자 한다.

[알루미늄2-2 | 10:30]

Al-Si 합금의 응고 거동 및 열처리에 따른 상변화 양상 및 기계적 특성 분석 : 문준혁 (서울대학교), 류채우* (홍익대학교), 박은수* (서울대학교)

Keywords: Al-Si 합금, microstructure, 고에너지 X-ray 구조 분석, 상변화제어

최근 다이캐스팅과 3D 프린팅을 비롯한 새로운 공정기술이 개발되면서, 이러한 기술을 활용한 차세대 구조용 재료 개발의 일환으로 우수한 기계적 물성 및 내구성을 지닌 Al-Si계 합금에 연구가 다시금 주목받고 있다. 그러나 알루미늄은 응고 과정에서 발생하는 응고열과 결정립 조대화로 인해 우수한 물성을 얻기 어려운 단점이 있으며, 이를 극복하기 위해 다양한 열처리 과정을 통해 물성을 향상하는 것이 중요한 과제로 남아 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 열처리 과정을 통해 미세구조를 제어하여 기계적 물성을 개선하려는 연구가 진행되고 있지만, 대부분의 연구는 열처리 후 미세구조 분석과 기계적 물성 측정에 중점을 두는 정성적인 연구에 머물러 있으며, Al-Si계 합금 내 복잡한 미세구조를 실시간 구조 분석을 기반으로 정밀하게 제어하는 방법에 대한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 Al-Si 합금의 제조 방식에 따른 미세구조 차이 및 준안정상의 형성 여부를 관측하고, 열처리 공정에 따른 상변화 양상을 고에너지 X-ray 구조 분석 실험을 통해 정량적으로 분석하여 기계적 특성과의 상관관계를 도출하고자 하였다. 또한, 열처리 공정에 따른 준안정상의 형성 여부, 조성, 구조 및 분율에 대한 고찰을 통해 합금의 특성을 최적화할 수 있는 (공정)-(미세구조 변화)의 빅데이터 베이스를 확보하고, 이를 바탕으로 기계적 물성과 연관 지어 Al-Si계 합금 개발을 위한 종합적인 가이드라인을 제시하고자 한다.

[알루미늄2-3 | 10:45]

AA2026 합금의 인장 특성 및 석출에 대한 사전변형과 이중시효 열처리의 영향 : 강현우, 김하늘, 김희국, 장병록* (인하대학교제조혁신전문대학원)

Keywords: AA2026 alloy, Double aging, Precipitation, Pre-deformation, Microstructure

AA 2026 합금은 AA 2024의 개선된 버전으로, Fe 및 Si 함량을 줄이고 열간 가공 중 재결정을 억제하기 위해 Zr을 첨가한 합금이다. AA 2026 합금은 강도가 높고 내손상성이 높아 항공기 부품에 널리 사용된다. 2000 계열 알루미늄 합금은 시효경화 현상을 이용하여 조직 내에 형성시킨 석출강화 현상으로 금속을 강화시킨 것이 특징이다. 본 연구에서는 기계적 물성을 향상시킬수 있는 시효 열처리 조건을 최적화하기 위해 사전변형된 AA2026 합금의 단일 시효 및 이중 시효 열처리에 대한 석출거동과 기계적 물성 차이를 비교하였다. 실험은 500ºC에서 4시간 동안 용체화를 진행한 후 5% 사전변형된 AA 2026 합금을 각각 190ºC에서의 단일시효와 120~160ºC 이후 190ºC에서 열처리한 이중시효 효과를 비교하였다. 미세구조의 변화 및 석출거동은 DSC 및 TEM을 통해 진행하였고 기계적 성질은 인장시험을 통해 평가하였다. 결과적으로 기존방법인 단일시효에서보다 이중시효 조건에서 더 높은

수준의 기계적 물성을 가지는 것을 확인하였다. 또한, DSC 및 TEM 분석을 통해 각각의 시효조건에 대한 GPzone과 S상 등 미세 석출물을 정량적으로 비교하였고 사전변형으로 발생한 전위와 하위 구조와의 상관관계를 분석하였다.

[알루미늄2-4 | 11:00]

Investigation of mechanical properties of friction-stir-welded AA6061 alloy at 20 K : Thanh Dat Nguyen (Korea Atomic Energy Research Institute, Chungnam National University), You Sub Kim, Chetan Singh (Chungnam National University), Stefanus Harjo (Japan Atomic Energy Agency), and Soo Yeol Lee* (Chungnam National University)

Keywords: Aluminum alloys, Friction stir welding, Heat-affected zone, Ultra-low temperature, Neutron diffraction

The development of hydrogen fuel cell vehicles is leading to the need for large-scale cryogenic tanks. This has positioned AA6061 alloy as a promising candidate due to its exceptional strength-to-weight ratio, robust resistance to hydrogen embrittlement, and excellent weldability. Friction stir welding (FSW) is a promising joining technique for large-scale AA6061 components, yet its mechanical behavior at ultra-low temperatures (ULT) remains largely unexplored. This study investigated the tensile properties of FSWed AA6061-T6 aluminum alloy at 20 K using in-situ neutron diffraction and orientation imaging microscopy. Comparative analysis of the base metal (BM) and heat-affected zone (HAZ) revealed significant enhancements in both strength and ductility at ULT compared to room temperature. The improved mechanical properties in BM were attributed to the contribution of nano-precipitates' strengthening and more homogeneous deformation at ULT than RT. While HAZ displayed a lower yield strength associated with FSW-induce softening, it presented the highest strain hardening rate (SHR), leading to exceptional tensile strength (346 MPa) and ductility (46.8%). This remarkable behavior is linked to the hardening of {111} grain families and refined dislocation structures. Both BM and HAZ experienced significant dislocation accumulation during ULT deformation, contributing to overall improvement in mechanical properties. Our findings elucidate the mechanisms underlying the exceptional mechanical performance of FSW AA6061-T6 at ULT, underscoring its potential for cryogenic applications.

[알루미늄2-5 | 11:15]

합금 설계를 통한 고Mg 알루미늄합금의 쌍롤주조 편석 제어 방법 : 장재철 (서울대학교, 한국생산기술연구원), 이강래, 송람, 최경환, 김봉환 (한국생산기술연구원), 정인호* (서울대학교)

Keywords: 알루미늄, 합금설계, Twin-roll Casting, 연속주조

최근 국제적인 탄소 배출량 저감 정책의 강화에 따라 제품 제조 과정에서의 에너지 절감이 요구되고 있다. 현재까지 알루미늄 판재 제조에 널리 사용되는 방법은 두꺼운 슬래브를 반복적으로 열연 및 냉연하여 얇은 두께의 판재로 만드는 것이다. 이 과정에서 많은 공정 에너지가 사용되므로 이산화탄소 배출량이 비교적 많아 이의 해결이 필요하다. 쌍롤주조법은 액체 상태의 금속을 차가운 롤에 주입하여 수 밀리미터 두께의 판재로 즉시 제조하는 방법으로, 판재의 두께를 줄이기 위한 공정이 필요하지 않으므로 환경 친화적인 방법이다. 그러나 이 방법은 공정의 특성상 판재 중심부에 필연적으로 중심 편석이 존재하게 되며, 합금 원소의 양이 증가할수록 편석의 양이 크게 증가한다. 또한 이 편석은 정편석 및 역편석 형태로 판재에 존재하여 판재의 품질에 치명적인 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 현재까지도 제한적인 합금만 제조가 가능한 실정이다. 본 연구에서는 열역학 계산을 통해 상 정출 거동을 예측하고, 편석 발생을 억제할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. Factsage FTLite 데이터베이스를 이용하여 Al-Mg-X 합금의 비평형 상 정출 거동을 계산하였고, 가능한 모든 합금 원소 조합을 조사하여 편석 제어에 효과적일 것으로 예상되는 합금 원소를 선정하였다. Lab-scale 쌍롤주조 장치를 사용하여 개발한 합금의 쌍롤주조 판재를 제조하였고, 개발된 합금의 중심 편석 변화를 관찰하였다. 중심 편석의 폭은 최종 응고 과정의 공정 액상 분율에 비례하였으며, 합금 원소 첨가를 통한 비평형 응고 중 기타 상의 생성은 최종 중심 편석의 분율을 효과적으로 제어할 수 있었다.

[알루미늄3-1 | 13:00]

알루미늄 용탕 내 비금속개재물 정량평가 방법 : 김덕*, 김명균 (포항산업과학연구원)

Keywords: 알루미늄, 용탕, 개재물, 정량분석, 정량평가

알루미늄 제품의 특성은 사용된 합금의 조성 외에도 제조공정 중 알루미늄 용탕의 품질에 크게 영향을 받는다. 알루미늄 용탕의 품질은 주로 내부에 포함된 수소가스와 비금속개재물에 의해 결정되며, 상대적으로 평가 및 제거가 용이한 수소가스와는 달리 비금속개재물은 이와 같은 대응에 한계가 있어 여러 가지 측면에서 문제가 되고 있다. 따라서, 알루미늄 용탕의 품질을 정확하게 평가하고 제어하기 위해서는 용탕 내 비금속개재물을 종류별로 파악하여 정량적으로 분석하는 것이 필수적이다. 종래 기술 중에도 이와 같은 알루미늄 용탕 내 비금속개재물 정량평가가 가능한 것들이 존재하나, 고가의 장비와 전문인력 그리고 장시간의 분석이 필요하거나, 반대로 지나치게 간략화된 결과만을 확보할 수 있는 등 현장에서 손쉽게 용탕의 비금속개재물 관련 품질을 정확하게 평가하기에는 어려운 점들이 많았다. 본 연구에서는 알루미늄 용탕 내 비금속개재물을 정량적으로 분석하여 용탕의 품질을 평가할 수 있는 용탕여과 방식의 새로운 기구와 이를 이용해 제조한 샘플의 분석 방법에 대해 논의하고자 한다. 3kg 내외의 알루미늄 소재를 용해하고 준비된 도가니를 40분 내외로 예열한 뒤 일정한 기공도를 갖는 필터를 통해 용탕을 2분 내외에 걸쳐 여과함으로써 용탕 내에 존재하는 비금속개재물을 농축하여 획득할 수 있다. 농축된 비금속개재물을 포함하는 용탕 여과 후 잔존 샘플을 경면 연마 후 광학현미경을 통해 미세조직을 관찰하고 이미지분석 기법을 활용하여 비금속개재물의 종류, 크기, 비율 등의 정량화된 평가 결과를 확보할 수 있다. 이와 같은 기구와 분석 방법은 기존보다 빠르고 경제적이면서도 꼭 필요한 만큼의 정확도로 분석 결과를 얻을 수 있어 향후 비금속개재물 제어를 통한 알루미늄 용탕 품질 개선에 매우 효과적인 수단이 될 것으로 기대 된다.

[알루미늄3-2 | 13:15]

AA 6007 판재의 Ti/Zr/V Conversion Coating Layer 미세조직 분석 및 판재 표면 개질에 의한 접착강도 향상 : 이재호, 박현순* (인하대학교), 허용강 (현대제철(주))

Keywords: 6007 aluminum alloy, Ti/Zr/V conversion coating, Electron microscope, XPS, Bond shear strength

국제적인 온실가스 배출 저감 요구에 따라 2050년까지 탄소중립 달성을 목표로 하고 있다. 이에 이산화탄소 배출에 큰 비중을 차지하고 있는 수송기기의 경량화를 통한 연비 향상을 목적으로 알루미늄 합금에 대한 연구가 이루어지고 있다. 그중에서 우수한 내식성의 구조재료인 6xxx계 알루미늄 합금의 내식성 및 표면 접착력 향상을 위해 환경오염이 발생하지 않는 Cr-free Ti/Zr conversion coating을 연구하였다. 수송기기의 프레임 및 부품들은 이종 재료일 경우 용접을 할 수 없어 구조용 접착제를 사용하게 되는데 판재의 표면 접착력 향상을 목적으로 Ti/Zr/V 기반의 Conversion coating 최적화 조건을 탐색 후 분석 및 측정하였다. 본 연구에서는 AA 6007을 사용하였으며 탈지와 코팅 시간, 온도, 표면 상태, 코팅 용액 조성 등의 공정 조건 변화에 따른 표면 코팅막과의 상관관계를 분석하였다. SEM-EDS와 XPS를 이용하여 코팅층의 전반적인 상태를 관찰 및 분석하여 표면 최적화 조건을 도출하였다. 이어서 AFM 등으로 표면 거칠기를 측정하고, 코팅된 판재의 측정된 접촉각으로 표면의 계면에너지 및 결합력을 계산하여 측정된 접착강도와의 관련성을 분석하였다. 결과적으로 개선된 표면 젖음성으로 수계 구조용 접착제와의 접착력을 향상하고, 마찬가지로 개선된 표면 거칠기로 판재의 상호작용점의 역할을 하는 Mechanical site가 증가하여 접착강도가 향상하였다.

[알루미늄3-3 | 13:30]

알루미늄 합금의 Step-quenching에 따른 나노 클러스터 형성의 변화 : 유용상 (한국생산기술 연구원, 전북대학교), 박선우, 이미영 (한국생산기술 연구원), 박지욱 (한국생산기술 연구원, UST 과학기술연합대학), 김대환, 전재열 (한국생산기술 연구원), 김재황* (한국생산기술 연구원, UST 과학기술연합대학, 국가과학기술연구회)

Keywords: 알루미늄 합금, 나노클러스터, 공공, Step-quenching, 자연시효

대표적 열처리형 알루미늄 합금으로 Al-Cu 합금(2xxx계), Al-Mg-Si 합금(6xxx계), 그리고 Al-Zn-Mg 합금(7xxx계)은 미세한 석출물의 생성을 통하여 우수한 기계적 특성을 얻을 수 있으며, 다양한 산업군에 사용되고 있다. 알루미늄 합금은 저온시효 동안 나노 클러스터 생성을 통하여 강도가 증가된다. 클러스터의 생성 거동은 용질원자 및 공공의 함량에 큰 영향을 미친다. 용질원자의 함량에 따른 클러스터 생성 거동은 많이 보고되어 왔다. 하지만 공공의 농도에 따른 나노클러스터 생성에 대한 연구는 아직 많이 진행되지 않았다. Step-quenching은 공공농도에 중요한 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 2xxx계, 6xxx계, 7xxx계 알루미늄 합금에 대한 Step-quenching에 따른 나노클러스터 생성 및 성장거동에 대하여 열분석과 경도 시험을 통하여 분석하였다.

[알루미늄3-4 | 13:45]

Al-Si-Mg 합금에 Fe첨가가 미세조직 및 기계적특성에 미치는 영향 : 박선우 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 박지욱 (한국생산기술연구원), 이미영, 유용상, 전재열, 김대환 (한국생산기술연구원), 김재황* (한국생산기술연구원, UST 과학기술연합대학, NST 국가과학기술연구회)

Keywords: Al-Si-Mg 합금, Fe 첨가,. 금속간 화합물, 미세조직, 기계적 특성

Al 합금은 자동차나 건축 분야에서 비강도 및 가공성이 우수하여 널리 사용된다. 세계적 환경 규제에 대응하기 위하여 알루미늄 합금의 재활용이 가속화되고 있다. 특히, secondary 경우, Fe 가 함유되어 있다. Fe 는 Al 합금에 첨가될 시 금속간 화합물을 형성하게 되어 연성을 저하시키며 크랙 발생을 유도한다. 합금의 재활용 과정에서 생긴 한계점을 극복하여 궁극적으로 자원 효율을 향상시키는 것을 목표로 연구가 진행되고 있다. 최근 연구에 따르면 D-SSE(deformation-semisolid forming) 과 caliber rolling 공정을 통해 금속간 화합물의 부정적 영향을 줄이고, 향상된 기계적 특성을 얻을 수 있게 되었다. 본 연구에서는 0.2Fe wt% 와 1Fe wt% 가 첨가된 압출재를 제작 후 Deformation 과 열처리 공정을 진행하였다. OM, SEM, EBSD를 이용하여 미세조직을 분석하고 경도 및 인장시험을 통하여 기계적 특성 평가를 실시하였다

[알루미늄3-5 | 14:00]

Parameters to determine the formation of hardening precipitates in Al7xxx alloy : 한정우*, 양하규, 박승준 (한국생산기술 연구원, 고려대학교), 강이승, 김규현* (한국생산기술 연구원)

Keywords: Lightweight materials, aluminum, microstructure analysis

Studies have been reported on microalloying, which adds a small amount of rare earth elements (Sc, etc.) to improve the mechanical properties of Al-Zn Mg-Cu (7xxx) alloy, a high-strength heat-treatable alloy. In previous studies, it was confirmed that the strength of 7xxx series aluminum alloy was improved by more than 20% just by adding a trace amount (<1wt.%) of Sc. Additionally, a study was reported to induce precipitation of MgZn2, the main strengthening phase, by increasing the amount of Zn-Mg, the main element of the 7xxx series alloy. However, increasing the amount of solute atoms to improve the strength of the alloy causes excessive thermal stress during the casting and solidification stages, which is a limitation in manufacturing aluminum billets for mass produced large parts. Accordingly, in this study, the amount of Zn-Mg, the main element of 7xxx series aluminum alloy, was changed while the amount of Cu was changed to investigate the effect on the mechanical properties of heat treated 7xxx series aluminum alloy. To study changes in microstructure and mechanical strength of Al-Zn-Mg-Cu alloy according to changes in Cu, Al-6.4Zn-2Mg-xCu-0.07Sc (x=) is used as the basis for the amount of Cu (wt.%) is 0~4 wt. It was measured in %. The microstructure of cast and heat-treated Al alloys was analyzed using It could be classified into density, (2) shape of the precipitate, (3) crystal orientation of the precipitate, and (4) induction of coarse phase formation at grain boundaries. In other words, it was found that Cu plays a very important role in the nucleation and

growth of precipitates in the Al matrix even though it is not an element (Zn-Mg) that constitutes the main reinforcing phase. Therefore, through this study, it was confirmed that Cu can act as a factor that reduces mechanical properties by creating coarse phases at grain boundaries, but also acts as an element that induces the formation of precipitates in the Al matrix.

[알루미늄4-1 | 14:25] 초청강연

국내 알루미늄 탄소 중립을 위한 산업 기술 동향 : 허용강*, 박호준, 노희석 (현대제철연구소)

Keywords: 알루미늄, 탄소 중립, 압연, 압출, 주조

최근, ESG(environmental, Social, Governance) 활동 일환으로 각국의 정부와 글로벌 기업 중심이 되어 탄소중립을 실현해가고 있다. 특히, 제조 산업에서는 LCA(Life Cycle Assessment, 전 과정 평가) 시스템을 도입하여 제조 전 과정인 원료 채취 단계, 가공, 조립, 수소, 사용, 폐기까지 발생하는 탄소량을 정밀하게 분석하고 평하고 있다. 이와 같은 데이터를 활용하여 대기 및 수계, 토양으로의 환경 부하량(오염도)을 정량화하고 환경에 미치는 잠재적 악영향을 규명, 평가하여 지구 환경을 개선하고 있다. 그 동안 제품의 요구성능과 공급/수급에 따른 가격 형성에 기인한 경쟁 구도가 형성되었다면, 가까운 미래에 LCA 도입으로 인해 탄소 발생량도 경쟁 구도에 필수로 고려해야 할 요소가 되었다. 이는 산업계에 큰 변화를 발생시키고 있다. 글로벌 이산화탄소 발생량은 2016년 기준 연간 494억톤에 달하고 있고, 이중 7.9%인 39억톤이 금속재료 환원에너지 사용으로 발생이 되고 있다. [1] 세부적으로는 철강에서 7.2%인 35.6억톤, 비철금속에서 3.4억톤을 발생하고 있기에 알루미늄 산업에서 발생시키는 이산화탄소는 전체 산업군에서 적은 비중을 차지하고 있다. 하지만, 전 세계에 사용되고 있는 철강1,951,000천톤과 알루미늄 67,092천톤의 양을 고려하여 광물 질량당 이산화탄소 발생량을 추정하면, 철강은 1.91 CO_2톤/톤, 알루미늄은 8.24 ~ 16.6 CO_2톤/톤의 발생량으로 보고되고 있다. [2] 알루미늄 제품 사용과정 중 이산화탄소 발생을 세부적으로 구분하면, 원료를 채취한한 뒤 정/제련하기 위한 상공정에서 70%를 상회하는 이산화탄소가 발생함을 알 수 있다. 따라서, 알루미늄 정/제련 산업 대표기업들은 우선적으로 정/제련 공정 중 배출량 감소를 위해 친환경 에너지 적용과 제련(Hall-Héroult Process) 공정의 탄소 전극을 불활성 전극으로 교체하고 있다. 국내는 지정학적 요인으로 인해 정/제련 산업이 정착되지 못했고, 향후에도 진입 가능성이 낮다. 따라서, 국내 알루미늄 산업은 잉곳을 수입하여 제품을 제조하는 주조, 압출, 압연, 인발 등과 같은 하공정에 집중하여 성장해왔다. 각 공정별 세부 탄소 배출량은 상이하지만 4.5 ~ 7.2 CO_2톤/톤 정도이다. 상공정 대비 탄소 배출량은 상대적으로 낮지만 LCA는 상공정 탄소 배출량까지 합산하기 때문에 저탄소 잉곳 적용뿐만 아니라, 하공정 중 탄소 배출량 저감도 필수이다. 금번 발표에서는 국내 하공정에서의 탄소 저감을 위한 산업 기술 동향에 대해 발표하고자 한다. [1] Climate Watch, the world resources institute (2020) [2] 8Billion Trees, Carbon footprint of construction materials (2023)

[알루미늄4-2 | 14:50] Canceled

Behavior of nanograined Al alloy : Sung Eun Kim* (Inha University)

Keywords: Aluminum, Alu,inum alloys

Nanostructured alloys are currently of much interest for their potential applications in extreme environments. Most research has focused on their high strength and ductility, however, for high temperature applications, work for their properties are important but nor much has been performed in Al nanograined alloys. In this work, their proerities were examined and these characterizations for Al alloys provide valuable information in the design of promising nanostructured materials

[알루미늄4-3 | 15:05]

알루미늄 압출재의 변형률 의존 파단 물성 확보 및 DSSE 모델 적용 : 홍서준, 김형서 (서울대학교), 경준석 (현대모비스), 이명규* (서울대학교)

Keywords: 알루미늄 압출재, 변형률 속도, 파단, 유한요소해석, DSSE

자동차 차체의 충돌 성능 평가에서 비용 절감을 위해 해석을 사용하는 상황에서, 차체의 주요 구성 요소인 알루미늄 압출재의 정확한 파단 물성을 확보하는 것이 중요한 과제로 대두되고 있다. 현재 알루미늄 압출재의 파단 물성은 준정적 속도 조건에서 전단, 평면 변형률 등 다양한 응력 모드의 파단 시편을 대상으로 실험과 Solid 요소 기반 해석을 병행하는 유한요소해석-실험 병행 방법을 통해 도출되고 있다. 그러나 실제 자동차 충돌 해석에서는 고속 변형률 속도에서 해석이 수행되며, 해석 계산 속도 향상을 위해 Shell 요소로 해석을 수행하기 때문에 정확한 결과를 얻기가 어려운 상황이다. 본 연구에서는 준정적 속도뿐만 아니라 다양한 변형률 속도 조건에서 소성 및 파단 물성을 확보하기 위한 시험과 해석을 수행하였다. 또한, Solid 요소와 Shell 요소를 사용할 때의 파단 해석 결과를 동일하게 만들기 위해 Domain of Shell to Solid Equivalence(DSSE) 모델을 적용하여 기존 파단 물성과 비교 및 분석을 진행하였다. 다양한 변형률 속도(0.001/s, 0.01/s, 0.1/s)에서 일축 인장 실험을 수행하고, 변형률 의존 경화함수의 매개변수를 도출하여 변형률 의존 구성방정식이 파단 물성에 미치는 영향을 분석하였다. DSSE 매개변수를 얻기 위해 주기적 경계 조건 아래 M-K 이론 접근법을 사용하였으며, 이를 기반으로 작성한 사용자 하위 프로그램(UMAT)과 기존 파단 물성을 대입하여 Shell 요소와 Solid 요소 사용 시의 해석 결과를 비교하였다.

[알루미늄4-4 | 15:20] Canceled

Exploring Corrosion Behavior of Al–Si–Mg Alloys: Role of Intermetallic Phases : Saif Haider Kayani*, Young-Hee Cho, Heon-Young Ha, and Jung-Moo Lee* (Korea Institute of Materials Science)

Keywords: Aluminum:intermetallic particles:pitting corrosion:dislocation

The influence of Cu-, Ni-, and Mn-rich intermetallic particles (IMPs) on the microstructure, high-temperature mechanical properties,

and corrosion behavior of Al–Si–Mg-based alloys was investigated. Microstructural analyses reveal the presence of Chinese script Mn-rich α-AlFeMnSi, Cu-rich Q-$Al_5Cu_2Mg_8Si_6$, and coarse block-like g-Al_7Cu_4Ni and thin needle-like d-Al_3NiCu IMPs, which contribute to the alloy's strengthening. All IMPs exhibit a cathodic electrochemical nature due to their high electron work function compared to the adjacent α-Al matrix. This leads to strong galvanic corrosion as indicated by Volta potential differences. Additionally, a significantly high misorientation at the IMPs and matrix interphase boundary contributes to stress localization during pitting attacks. However, due to their large Volta potential difference with the matrix, the Ni-rich g-Al_7Cu_4Ni phase acts as the primary cathode among IMPs, amplifying localized pitting while deteriorating the overall corrosion resistance of the Al–Si–Mg-based alloys.

항공재료
Room 평창1, 10월 30일

[항공1-1 | 08:30]
항공기용 레이저 충격 피닝 공정 기술을 통한 항공 구조물 피로 특성 향상 연구 : 박주영 (한국항공우주산업(주)), 이원근, 박재석 (두산에너빌리티), 정유인* (한국항공우주산업(주))
Keywords: 레이저 충격 피닝, LSP, 항공기 구조물, 피로 특성
레이저 충격 피닝 공정(Laser Shock Peening, LSP)은 레이저를 물질 표면에 조사하여 재료 표면 국부의 잔류응력(압축 잔류 응력)을 활용하여 구조물의 운용 피로 수명을 높일 수 있는 공정 기술이다. LSP 공정 기술 개발 및 산업 적용을 통해 항공기 구조물의 국부적인 영역에 피로 수명 증가로 설계 미변경 및 보강재 미투입으로 구조 건전성 확보, 경량화 실현, 추가적인 비용 감소가 가능하다. 또한, LSP 공정 기술 적용 확장으로 항공기 운용 중 부식 환경에 노출되어 발생하는 응력 부식 균열(Stress Corrosion Cracking, SCC) 저항성 향상이 가능하며, 용접 부품 내 열영향부(Heat Affected Zone, HAZ)의 수명 향상도 가능하다. 본 연구에서는 항공기용 LSP 공정 기술 적용 전/후에 대한 고주기 피로 시험(High Cycle Fatigue, HCF) 시험을 수행/비교를 통해 항공기 구조물의 피로 수명 향상 특성을 확인하였다.

[항공1-2 | 08:45]
고주파 열처리 조건에 따른 잔류응력 변화 분석 : 김경수* (퓨전이엔지), 김혁, 김민규 (현대자동차), 이동준, 조윤지 (한국재료연구원)
Keywords: 잔류응력, 고주파 열처리, XRD 측정법, Contour Method 측정법
일반적으로 고주파 열처리는 표면 경화법으로 알려져 있으며, 내마모성과 내 피로성을 향상시키기 위해서 다양한 조건으로 표면처리를 시행하는 것으로서, 고주파 열처리의 파워를 최대와 최소로 하는 조건을 자동차 부품에 적용하여 XRD 측정법을 이용하여 표면의 압축 잔류응력을 분석하였고, 파괴법인 Contour Method 측정법을 이용하여 표면 및 심부에 발생하는 잔류응력의 변화를 비교 분석하였다.

[항공1-3 | 09:00]
항공용 타이타늄 소재국산화 개발사례 및 향후 개발전략 : 김예진, 전현희, 오석근, 장영환, 정유인* (한국항공우주산업(주))
Keywords: 타이타늄, 항공소재, 국산화개발
항공용 타이타늄은 높은 파괴인성 값을 가지므로 고 손상허용이 요구되는 구조용 부품에 적용된다. 주요 구조용 부품에 적용되는 만큼 감항인증과 고객사의 요구조건을 만족하기 위해 소재/공정 개발 절차 및 요구도가 까다롭게 관리되며, 개발된 소재가 기존 대비 동등 수준 이상의 품질과 가격경쟁력을 확보해야 한다. 기존 국내 항공용 타이타늄의 경우, 전량 해외수입에 의존하였으며 한정된 소재 수급처로인한 장납기로 수급 불안정의 문제가 있어 지속적으로 국산화에 대한 필요성이 증가되었다. 그러나, 국내 타이타늄 업체는 항공용 소재 및 공정 개발 경험이 부족하여 개발 요구도 및 절차에 대해서 생소한 문제점이 있다. 본 발표에서는 이와 같은 문제점을 해결하여 개발을 진행한 국산화 개발 사례를 토대로 개발 절차 및 요구도를 설명하며, 국산화 개발 효과 및 향후 개발 방향을 설명하고자 한다.

[항공1-4 | 09:15] Canceled
항공용 AMS6490/6491 베어링강 합금의 국산화 : 권용혁, 김종식, 주경준, 금보경, 손희영, 이기영* (케이피씨엠)
Keywords: 베어링강, M-50, 국산화
터보샤프트엔진 가스발생기 로터 조립체에 장착될 소재 국산화를 위한 Ingot/Billet/Bar/Forging 공정개발 및 최적화, 경도 확보를 위한 열처리 공정 기술개발, 시험평가 절차 및 기술 확보가 필요하다. 항공용 엔진에 적용되는 소재부품의 국산화를 위한 연구개발이 국내 소재 업체 및 정출연/대학을 중심으로 활발히 이루어지고 있다. 이를 통해 당사에서는 터보샤프트엔진 가스발생기 로터 등에 사용되는 AMS6490/6491 규격을 만족하는 베어링 소재의 국산화를 위해 개발하고자 한다. AMS6490/6491 규격을 만족하는 베어링 소재 개발을 위해서는 진공용해/재용해 공정 개발, 최적의 열간 성형공정 기술개발이 필요하며, 수요기업의 개발규격서에 따라 10Heat를 제조 및 평가하였다. 제조공정 표준화 및 공정 신뢰성 확보를 위한 재현성 검증을 통해 수요기업의 엔지니어링 승인을 확보한 경험을 바탕으로 향후 항공엔진 소재부품 개발 국산화를 하고자 한다.

[항공2-1 | 09:40]
국산 복합재 활용 항공기 부품 국산화 개발 고찰 : 김희성*, 정유인* (한국항공우주산업(주))
Keywords: 항공소재, 복합재, 항공기 부품 국산화
복합재는 일반적으로 강화재와 매트릭스를 조합하여 물리적, 화학적으로 원래의 소재보다 우수한 성능을 갖도록 한 재료를 말한다. 최근 항공기 기체구조 소재로 비강도와 비강성이 우수한 복합재의 적용 비율이 높아지고 있으나, 소재 인증과 신뢰성 등의 이유로 외산 복합재가 대부분 적용되고 있다. 국내에서도 항공기용 고강도 탄소섬유 중간재 국산화 및 양산 시스템 구축이 진행되고 있으나 체계적합성 검증 시험에 소요되는 막대한 비용으로 인해 신뢰성 검증 확보에 많은 어려움을 겪고 있다. 복합재의 제작공정, 배치(Batch), 섬유 방향, 복합재 부품 제작공정, 장비, 환경조건 등의 변동성으로 인해 체계적합성 검증에 많은 시간과 비용을 필요로 하

기 때문이다. 외산 복합재의 경우 신뢰성은 확보되어 있지만 높은 조달 단가, 장납기 및 사용처에 따른 수출제한으로 인해 특히 전투기 양산 중 소재 수급이 불가하게되는 큰 리스크를 안고 있다. 결국 한국형 전투기 수출 경쟁력 확보를 위해서는 국산 복합재 부품 양산이 필연적이기 때문에 복합재 부품 국산화 개발 방향을 고찰하였다.

[항공2-2 | 09:55]

항공용 Ti-6Al-4V Mill Annealed & Beta Annealed 단조소재 국산화 : 주경준*, 김종식, 권용혁, 금보경, 손희영, 이기영* (케이피씨엠)

Keywords: Ti-6Al-4V, 타이타늄, Mill Annealed, Beta Annealed, 항공소재

타이타늄 및 타이타늄 합금은 높은 비강도와 우수한 내식성 등 다양한 열처리 조건을 적용하여 항공용 엔진 및 기체 소재로 많이 사용되고 있으나 최근 COVID-19, 우크라이나-러시아 전쟁 및 타이타늄 소재 전략자산화로 인해 국내에서는 항공 소재 조달에 어려움을 겪고 있어 항공용 Ti-6Al-4V 합금 국산화 기술개발을 추진하였다. 본 과제에서는 Ti-6Al-4V 합금의 Ingot에서부터 Billet, Forged Block에 대한 제조공정 국산화 기술개발을 통해 열처리 조건이 다른 Mill Annealed 및 Beta Annealed Ti-6Al-4V 모두 수요기업의 요구도를 만족하였으며, 수요기업의 QPL(Quality Products List)을 취득함으로써 항공용 타이타늄 단조재 국산화를 달성하였다

[항공2-3 | 10:10]

항공기용 소재 물성 평가를 위한 통계분석 플랫폼 개발 : 안교진 (한국항공우주산업(주)), 마태동 (테스코(주)), 정유인* (한국항공우주산업(주))

Keywords: 금속재, 복합재, 통계분석, 항공소재

본 논문은 항공기용 소재 물성을 평가하기 위한 통계분석 플랫폼 개발에 대해 다루고자 한다. 항공 산업에서는 소재의 기계적 특성과 신뢰성을 보장하기 위해 정확한 물성 데이터 수집과 분석이 필수적이다. 본 논문은 항공기용 소재 물성 관련 핸드북 MMPDS(Metallic Materials Properties and Development Standardization)와 CMH-17(Composite Material Handbook) 따라 다양한 통계 기법을 활용하여 각 절차에 따라 데이터의 특성을 분석하고, 허용값 개발을 위해 신뢰성 있는 데이터를 산출하기 위한 통계검정을 할 수 있는 플랫폼 개발에 대한 내용을 기술하였다. 개발된 플랫폼은 항공기용 소재 허용값 개발 및 항공기용 소재 국산화 과정에서 데이터 분석을 위해 활용된다. 사례로 국내 업체 항공기용 금속재료 개발 과정에서 해당 통계분석 플랫폼을 적용하여 데이터 분석 및 허용값 개발을 하였다. 해당 플랫폼은 주요 항공 소재의 물성 데이터베이스를 구축하고, 이를 바탕으로 통계적 분석, 가설 검정을 수행한다. 추가로 사용자 친화적인 인터페이스를 통해 엔지니어가 쉽게 데이터를 입력하고 분석 결과를 시각적으로 확인할 수 있도록 개발되었다. 본 연구의 소프트웨어는 항공 소재 개발뿐만 아니라 품질 관리와 시험 데이터 분석에 있어 중요한 도구로 활용될 수 있을것으로 기대된다.

[항공2-4 | 10:25]

항공기 구성품 피로 및 손상허용 시험에 따른 파단면 분석 사례 : 조은준*, 정유인, 박서신 (한국항공우주산업(주)), 손진일 (테스코)

Keywords: 항공기 구조물, 운용수명, 손상허용해석, 파단면

항공기 체계개발에서 항공기 구조물은 요구하는 운용수명을 갖도록 설계되어야 하며 이러한 설계 기준에 따라 운용수명 기준이 적용된다. 첫번째로 항공기 모든 구조물은 균열 성장해석을 통해 가정한 제작결함이 최소 2배의 설계 수명 동안에 기능적 손상이 없어야 하며, 특히 안전수명(Safe-life)품목으로 지정된 구조물은 내구성 해석의 일환으로 4배수의 안전수명 해석을 수행한다. 두번째로 모든 비행 안전(Safety of flight) 구조는 검출되지 않은 결함이 구조물의 가장 취약한 위치에 존재한다는 가정하에 설계 하중 스펙트럼하에 최소 2배수 동안 잔류 강도 요구도를 만족해야 한다. 이에따라 항공기 구조물의 운용수명 기준에 따라 내구성 및 손상허용 시험이 진행된 구조물의 파단면 분석 사례를 통해 예측된 수명과 실제 파단면의 결과값에 대한 사례를 비교해보고자 한다.

[항공3-1 | 10:50]

The effect of surface treatment processes on the residual stress distribution in S45C welded joints : 조윤지*, 백민재, 심현보, 최현성, 박현일, 석무영, 권용남, 이동준* (한국재료연구원), 성현민, 김두영 (현대자동차)

Keywords: 용접잔류응력, 표면처리공정, 압축잔류응력, 탄소강

Residual stress, a common issue in welding processes, is known to cause cracks in welds, leading to failure and significantly impacting the fatigue life of components. To address this problem, research has been conducted to control and evaluate the impact of residual stress in welded joints. In this study, the residual stress distribution in welds of S45C medium carbon steel, commonly used in automotive components, was analyzed. The residual stress was measured using the contour method and X-ray diffraction (XRD) technique, and a comparative analysis was performed to establish the most suitable measurement technique for welds. Additionally, two surface treatment processes, ultrasonic needle peening (UNSM) and shot peening (SP), were employed to introduce compressive residual stress into the welds. The changes in residual stress were analyzed for each process, and the optimal surface treatment conditions were determined. Finally, the study analyzed the residual stress distribution and microstructural changes that occur when welding tubular specimens and how these characteristics change after the introduction of compressive residual stress, focusing on microstructural evolution, hardness, and final residual stress distribution.

[항공3-2 | 11:05]

변형률 게이지 및 XRD 기법을 활용한 응력 추정 Stress estimation using strain gauge and XRD method : 반승현, 최

현성, 석무영, 이동준, 권용남, 박현일* (한국재료연구원)
Keywords: X-Ray Diffraction, 4 Point bending, Open hole tension, Deep drawing, Finite element simulatio

항공 분야에서 잔류응력은 항공기 구조물의 성능과 안전성에 중대한 영향을 미치는 요소이다. 항공기 부품은 제조, 가공, 조립 공정에서 잔류응력이 축적될 수 있으며, 이는 부품의 피로 수명, 강도, 변형 거동 등에 영향을 미친다. 특히, 인장 잔류응력은 피로 수명을 감소시키고 구조적 결함을 촉진하는 반면, 압축 잔류응력은 피로 저항성을 향상시키고 균열 발생을 억제하는 긍정적인 효과를 미친다. 이러한 잔류응력을 추정하는 방법으로 크게 소재의 기계적인 변형 거동을 기반으로 하는 파괴적인 방법인 홀드릴(Hole drill)과 컨투어(Contour) 방법이 있고 소재 결정 구조의 면간거리를 기반으로 추정하는 비파괴적 방법인 X-선이나 중성자(Neutron) 회절(Diffraction) 방법이 있다. 비파괴적 방법의 회절 기법이 널리 사용되고 있지만, 소재의 제조 및 가공 등에서 발생한 사용자가 식별하지 못한 이력들이 응력 추정에 오류를 발생할 수 있다. 본 연구에서는 X-선 회절 기법(X-Ray Diffraction, XRD)을 사용하여 추정된 소재에 형성된 응력 값에 대한 이해도를 높이기 위해 변형률 게이지(Strain gauge)를 통해 추가로 응력을 실험적으로 추정하였고, 유한요소해석을 통해 추정된 결과와 비교 분석하였다. 시험에 사용된 재료는 1.5 GPa급 고강도강 판재이며, 변형 형태에 따른 응력 추정 결과 차이를 알아보기 위해 4점 굽힘(4-point bending) 시험, 오픈 홀(Open hole) 인장시험 및 딥 드로잉(Deep drawing) 시험을 시행하였다. 결과적으로, 특정 조건에서는 XRD와 변형률 게이지 방법을 통해 실험적으로 추정된 응력 값과 유한요소해석을 통해 추정된 응력 값들이 상이한 것을 확인하였고 그 상관관계에 대해 고찰하였다.

[항공3-3 | 11:20]

금속소재의 피로 균열 치유를 위한 펄스전류 인가 공정설계 : 홍범락 (한국재료연구원, 부산대학교), 최현성, 석무영, 이동준, 권용남, 박현일* (한국재료연구원)

Keywords: 펄스 전류, 피로 균열, 균열 치유

항공기의 손상 허용(Damage Tolerance) 설계에서는 균열이 발생한 이후에도 항공기가 일정 시간 동안 안전하게 운항할 수 있도록 잔여 피로 수명을 예측하고, 정기적인 점검 및 유지보수를 통해 균열의 성장을 관리한다. 그동안 용접, 스톱-홀 기법, 접착 패치 기법 등과 같은 여러 가지 균열의 성장을 지연시키는 방법들에 관한 연구가 꾸준히 진행되어 왔었고, 최근에는 비파괴적이고 일정한 품질을 유지하기 쉽다는 장점이 있는 펄스전류를 이용한 균열 치유 기술(Electropulsing treatment, EPT)이 개발되고 있다. 통상적으로, 펄스전류를 균열부에 인가하게 되면 조건에 따라 균열선단에서 발생하는 줄열(Joule heating)로 인해 일부 용융용접이 되기도 하고 열팽창으로 인해 발생한 압축응력에 의해 국부적인 확산접합(Diffusion bonding)이 발생하기도 한다고 알려져 있다. 이러한 대략적인 메커니즘은 규명되었으나, 구체적인 공정조건과 조건에 따른 치유 메커니즘과의 상관관계에 대한 규명은 아직 미진한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 EPT의 구체적인 공정조건인 인가전류 타입, 최대 인가전류, 균열 형상 등이 균열 치유에 미치는 영향도를 분석하였고 그 상관관계에 대해 알아보고자 하였다. 열-전자기-구조를 모두 포함하는 다물리 유한요소 해석을 통해 균열부의 온도 그리고 변형 정도를 살펴보았고, 공정조건에 따라 U-자형 구간에서 발생할 수 있는 전자기력인 로렌츠힘의 영향을 분석하였으며, 이를 기반으로 EPT 공정을 설계하여 균열치유 시험을 시도해 보았다. 시험에 사용된 소재는 SUS 321 소재이며, 5 mm 두께의 SE(B) 및 M(T) 시편을 가공하여 약 1 mm 길이의 피로 균열을 생성하였고 조건별 EPT 공정을 수행하였다. 결과적으로, 저주파 직류 전류 파형을 인가했을 때 소재 전체의 열팽창이 미치는 영향 그리고 고주파 교류 전류 파형을 인가했을 때 발생하는 로렌츠힘의 영향 등을 분석할 수 있었고, 향후 EPT 공정의 적용 가능성을 살펴볼 수 있었다. 본 연구는 한국재료연구원 기관고유사업(주요사업, PNK9910)의 지원을 받아 수행되었습니다.

생체재료
Room 평창1, 10월 30일

[생체1-1 | 13:00]
Enhanced bioactivity of polyetheretherketone (PEEK) spinal fusion cage via Ti-ion implantation surface treatment: Sooyeong Kim, Sebin Lee, and Tae-Sik Jang* (School of Biomedical Convergence Engineering, Pusan National University)
Keywords: Spinal fusion cage, PEEK, Titanium, Bioactive, ion implantation

Spinal fusion cages are essential medical devices used to treat various spinal disorders, including degenerative disc disease, spinal fractures, and scoliosis. These cages facilitate maintaining spinal alignment and supporting bone growth, promoting faster recovery and reducing the risk of complications. Polyetheretherketone (PEEK) is widely recognized for the fabrication of spinal fusion cages due to its bone-mimicking mechanical properties and biocompatibility. However, PEEK's relatively bio-inert nature limits bone-to-implant integration, thereby undermine clinical effectiveness. In this study, we enhanced the biological properties of PEEK by introducing titanium (Ti) on its surface through a sputtering-based plasma immersion ion implantation (S-PIII). The S-PIII technique effectively implants Ti ions onto the PEEK surface, forming a Ti-implanted layer approximately 15 nm thick without causing noticeable deformation or damage to the cage. In particular, the Ti-implanted surface layer preserved its inherent physical and chemical properties under mechanically challenging conditions, such as adhesion and scratch tests. The Ti-implanted PEEK exhibited improved hydrophilicity, with a contact angle of approximately 63°, and retained Ti elements on its surface for over six weeks in PBS immersion conditions. In vitro studies with pre-osteoblasts revealed that the Ti-implanted PEEK significantly increased early-stage cell adhesion, proliferation rates, and differentiation efficiency. These findings suggest that Ti-implanted PEEK possesses great potential as a spinal fusion cage material due to its enhanced biocompatibility with osteoblasts.

[생체1-2 | 13:10]
Development of polycaprolactone (PCL)-based organic/inorganic hybrid membranes with bioactive ceramic (BC) for guided bone regeneration : Dong-Hee Hong and Tae-Sik Jang* (School of Biomedical Convergence Engineering, Pusan National University)
Keywords: Guided bone regeneration, PCL, Bioactive ceramic, electrospinning, biodegradation

The prevalence of periodontal disease is rapidly increasing, driven by factors such as accidents and age-related conditions. Guided bone regeneration (GBR) using biodegradable polymers is a widely used treatment for regenerating damaged periodontal tissue. Synthetic biodegradable polymers offer several advantages, including minimal immune rejection, ease of mass production, and controllable degradability. However, their relatively low affinity for bone tissue and insufficient mechanical properties pose significant challenges in clinical practice. In this study, we addressed these limitations by incorporating bioactive ceramics (BC) containing calcium (Ca) and silicon (Si) into polycaprolactone (PCL), a representative synthetic biodegradable polymer, to create bioactive organic/inorganic hybrid nanofibers using sol-gel and electrospinning methods. Compared to pure PCL, the PCL-BC hybrid nanofibers exhibited a similar fiber diameter of approximately 700 nm and showed no significant differences in shape, uniformity, or fiber integrity. TEM analysis confirmed that nano-sized BC particles were uniformly distributed within the nanofibers, maintaining a Ca-to-Si ratio of 1:1. Mechanical testing revealed that the ultimate tensile strength of PCL-BC hybrid nanofibers increased by up to 100% compared to pure PCL, while maintaining similar failure strain rates. Contact angle measurements indicated that PCL-BC hybrid nanofibers were more hydrophilic than pure PCL, with angles of 0° and 105°, respectively. In vitro studies demonstrated enhanced osteoblast spreading and increased cell area on PCL-BC hybrid nanofibers compared to pure PCL. Additionally, the CCK assay showed that the cell proliferation rate on PCL-BC hybrid nanofibers was over 80% higher than on pure PCL over time. These findings suggest that incorporating BC into PCL nanofibers significantly enhances bone cell differentiation, positioning this composite as a highly functional biomaterial for guided bone regeneration.

[생체1-3 | 13:20]
Transient Fiber Electrode for Ecofriendly and Surgical Friendly Devices : 김용우 (서울대학교 재료공학부), 김경섭, 배재영 (서울대학교 신소재공동연구소), 강승균* (서울대학교 재료공학부, 서울대학교 신소재공동연구소)
Keywords: 생분해성 소자, 섬유 전자, 웨어러블 소자, 체내 삽입형 소자, 헬스케어

섬유 기반 전자소자는 고유한 구조적 장점 덕분에 웨어러블 소자, 체내 삽입형 소자 등의 헬스케어 분야에서 뛰어난 부가가치를 주목받고 있다. 그러나 기존 섬유 기반 전자소자는 전자쓰레기가 발생하고 체내에 삽입된 경우 사용 후 추가적인 제거 수술이 필요하다는 한계를 갖는다. 이를 극복하기 위한 방법으로 생분해성 소재를 활용하는 생분해성 섬유 전극이 제작되었으나 완전 생분해가 불가능하거나 물성이 좋지 않아 개선이 필요하다. 본 발표에서는 완전 분해되며 물성이 뛰어나고, 대량생산이 가능한 새로운 생분해성 섬유 전극에 대해 다룬다. 섬유 전극은 폴리부틸렌 아디페이트 테레프탈레이트(PBAT) 용액에 텅스텐(W) 미세 입자를 넣어 건식 제트 습식 방적(Dry-Jet Wet Spinning)한 후, 폴리-뷰테인다이싸이 올 펜테노익 언하이드라이드(PBTPA)를 코팅하는 방식으로 제작

되었다. 개발된 섬유 전극의 전기적, 기계적, 방수, 그리고 생분해 특성이 조사되었으며, 섬유 전극을 활용하여 다양한 웨어러블 센서를 제작하여 헬스케어 분야에서의 응용 가능성을 확인하였다.

[생체1-4 | 13:30] 초청강연

Development of solid matrices for detection of small biomolecule by MALDI-TOF mass spectrometry : Jong-Min Park* (Hallym University)

Keywords: MALDI-TOF mass spectrometry, solid matrix, medical diagnosis, parylene film, TiO_2 nanowire

Matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight (MALDI-TOF) mass spectrometry has been widely used with organic matrices for the analysis of biomolecules having high molecular weight, such as peptides, proteins, and nucleotides, and has been studied for use in a variety of medical diagnostics. MALDI-TOF mass spectrometry has various advantages, including easy sample preparation, low sample consumption, short analysis time, high sensitivity, and a wide detection range. However, organic matrices for MALDI-TOF generate irreproducible mass peaks, hindering its application in the low mass-to-charge (m/z) range (<1000). Moreover, the quantitative analysis of small biomolecules by MALDI-TOF mass spectrometry is difficult due to the inhomogeneous crystallization of the sample-matrix mixture and, hence, requires the removal of the matrix noise. In this work, a parylene-matrix chip and a TiO_2 nanowire plate were developed as solid matrices for MALDI-TOF mass spectrometry. A parylene-matrix chip for the rapid detection and quantitative analysis of small biomarkers was fabricated by the deposition of a parylene-N thin film on a dried organic matrix array. By using a parylene-matrix chip, lysophosphatidylcholine (LPC) 16:0 was analyzed quantitatively for medical diagnosis and mortality prediction of sepsis, without organic matrix mass peaks in the low-molecular-weight range. Furthermore, a TiO_2 nanowire plate was developed by using a hydrothermal process. By using a TiO_2 nanowire plate, small amino acids could be analyzed quantitatively, and the peptides could be identified after photocatalytic decomposition.

[생체1-5 | 13:50] 초청강연

메타물질과 복사냉각 소재를 활용한 의공학적 기술 연구 : 이다솔* (연세대학교(미래캠퍼스) 의공학부)

Keywords: 나노 소재, 광학 소재, 의공학적 응용 기술

최근 나노포토닉스 분야는 마이크로 및 나노 기술의 급격한 발달로 빠르게 성장하고 있으며, 다양한 나노 구조체의 생산을 바탕으로 한 소재 및 디바이스 개발이 많은 주목을 받고 있다. 특히 나노 구조체의 인공적인 배열을 통해 빛의 성질을 자유롭게 조절함으로써 다양한 광특성을 구현할 수 있는 메타물질을 포함하여, 정교한 2차원 패터닝이나 대량 생산 등 각 응용분야에 초점을 둔 많은 나노 광학 소재의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 본 발표에서는 이와 같은 나노 광학 소재의 개발 및 이를 의공학적으로 응용하고자 하는 연구 결과를 공유하고자 한다. 세부적으로는 이미징 시스템에 적용 가능한 위상 제어 광학 소재/소자 기술과, 방사를 통한 온도 조절이 가능한 대면적 복사냉각 소재를 활용한 의공학 및 헬스케어 디바이스 응용 방안에 대해 소개하고자 한다.

[생체2-1 | 14:30] 초청강연

Ag2S Colloidal Quantum Dots for Near-infrared Photothermal Therapy & Imaging : Min-Jae Choi* (Dongguk University)

Keywords: Colloidal Quantum Dots, Near-infrared, Photothermal therapy, Biomedical imaging

Colloidal quantum dots (CQDs) have garnered significant interest for infrared applications, primarily due to their size-dependent bandgap and ambient stability. Their bandgap's tunability, ranging from near-infrared to short-wave infrared, makes them prime candidates as photothermal agents for the second near-infrared window (NIR-II, 1000–1700 nm) in photothermal therapy (PTT) – an emerging non-destructive method for cancer treatment. A major limitation, however, is the presence of toxic metals in conventional infrared CQDs, such as PbS and HgTe CQDs, which curtails their biomedical applications. Recently, silver sulfide (Ag_2S) CQDs have emerged as potential non-toxic alternatives for infrared CQDs:yet, achieving synthesis of monodisperse Ag_2S CQDs remains a challenge. Our team has identified that the size polydispersity of Ag_2S CQDs stems from fusion among the CQDs, a phenomenon linked to Ag_2S's relatively low lattice formation energy, which prompts fusion even at minimal thermal energy levels. To counter this, we introduce a new materials processing chemistry termed, "dual-ligand surface passivation," designed to inhibit CQD fusion and facilitate the synthesis of monodisperse Ag_2S CQDs. Contrary to conventional synthesis which solely employs oleylamine as a surface ligand, we incorporated oleic acid for enhanced surface passivation of CQDs. Our findings indicate that oleic acid establishes a more robust surface bond with CQDs, effectively reducing CQD fusion and resulting in the synthesis of highly uniform Ag_2S CQDs. Furthermore, we showcase the efficacy of PTT using these monodisperse CQDs. They exhibited a stable temperature transition from 35°C to 67°C upon infrared laser irradiation over a span of 2 h. Remarkably, this PTT demonstrated potent anticancer effects on MCF-7 cells (human breast cancer cells), eradicating nearly 100% of the cells with just 5 minutes of infrared irradiation.

[생체2-2 | 14:50] 초청강연

Design and processing of electrochemical materials for next-generation biointerfaces : Jimin Park* (KAIST)

Keywords: Biointerfaces, Electrochemistry, Enzyme-mimetic catalysts, Neurotransmitters

During the last few decades, research on interfacing digital and biological systems has significantly impacted many areas related to our economy and quality of life. For example, electronic devices for recording and modulating electrical signals in biological systems,

such as neural electrodes and cardiac pacemakers, have been used to treat a wide range of diseases and understand biological systems. To further advance the communication between digital and biological systems, however, we need to consider “chemical signals”, which function at many scales and affect the physiology and pathology of biological systems in a complex way. In this talk, I will introduce bioelectrochemical interfaces that can modulate important chemical signals in biological systems with digital inputs. Central to these interfaces is the use of nanoelectrocatalysts whose atomic structures and electronic configurations are engineered to catalyze the electrochemical generation of chemical signals. I have demonstrated that these nanoelectrocatalysts can be integrated into a wide range of biomaterials, including orthopedic implants and cardiovascular stents. Chemical signals produced by these nanoelectrocatalysts can control cellular signaling to reduce the remodeling time of the fractured bones or prevent restenosis. Recently, I extended this approach to develop neural probes capable of electrochemically producing gaseous neurotransmitters, nitric oxide and carbon monoxide, in the brain. For the first time, these probes enable the study of how these transient molecules affect neural signaling and animal behavior. I envision that my research in bioelectrochemical interfaces will advance our understanding and control over biological systems. This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2023-00210139)

[생체2-3 | 15:10]

Design and Application of Smart Gloves Based on Super-capacitive Ionic Sensor : Jeonghyun Kim*, YANG LURONG (Kwangwoon University), Yang Li, and Jianwen Liu (Shandong University)

Keywords: electronic skin, super-capacitive ionic sensor, machine learning, human-computer interaction, virtual teaching system

The development of wearable technology has provided a more convenient way for human-computer interaction. High-sensitivity, wide-response-range multifunctional electronic skin is a crucial component of intelligent human-computer interaction systems. We propose a supercapacitor ionic sensor (TPUS). By soaking electrospun TPU fibers in an ionic liquid as the sensing layer, the TPUS achieves a high sensitivity of 225.5 kPa^{-1} and a wide response range of 0.6 Pa^{-1} MPa. Silver plating on the electrospun TPU membrane serves as the electrode layer, ensuring the entire device is fully breathable. Utilizing the excellent performance of TPUS, we developed a smart glove that enables a gesture recognition human-computer interaction system. Additionally, by further integrating the hardware module made from TPUS with a one-dimensional convolutional neural network and a human-computer interaction module, we established a three-dimensional geometric virtual teaching system. Users can control the movement, scaling, and rotation of objects in the virtual scene by wearing the smart glove, allowing students to learn spatial geometry more intuitively. Moreover, by incorporating gaming elements into the learning process through the smart glove interaction interface, we enhanced students' interest in learning, offering a more intelligent and novel teaching model. In summary, the smart glove for virtual object control represents a significant advancement in human-computer interaction. The sensor proposed in this paper features innovative material and structural design, as well as precise data acquisition and analysis capabilities. As technology continues to evolve, this smart glove demonstrates the potential for intuitive and immersive interaction in the digital domain. Acknowledgments This work was supported under the framework of the international cooperation program managed by the National Research Foundation of Korea (2023K2A9A2A06060771).

[생체2-4 | 15:25]

Biodegradable and self-deployable materials and designs for minimally invasive electronics : 배재영 (서울대학교), 황경석 (UNIST), 김영서 (서울대학교), 김주영 (UNIST), 강승균* (서울대학교)

Keywords: 생분해성 소재, 생분해성 전자소자, 최소침습형 전자소자

삽입형 뇌-신경 인터페이스 소자 기술은 뇌전증과 같은 뇌질환을 진단하거나 뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI, Brain-Computer Interface)를 달성하는 데 중요한 역할을 한다. 그러나 기존의 삽입형 뇌-신경 인터페이스는 체내에 삽입하기 위해 대면적의 두개골 제거 수술이 필요하며 이로 인해 다양한 합병증을 유발할 수 있어 실제 사용에 어려움이 있었다. 또한 사용을 끝마친 소자는 체내에 잔여하면서 주변 조직과 간섭하거나 염증을 유발할 수 있어 2차 제거 수술이 필요하다는 문제도 존재하였다. 최근 주목받고 있는 생분해성 전자소자 기술은 삽입 후 일정 시간이 지나면 소자가 스스로 분해되어 사라지므로 2차 제거 수술의 위험성을 줄일 수 있지만 삽입 과정에서의 침습성 문제는 여전히 남아있었다. 본 발표에서는 삽입 과정부터 제거 과정까지 전 주기에서 최소 침습성 대면적 뇌 인터페이스 소자를 구현하기 위한 생분해성 소재와 디자인 설계기술에 대해 소개하고자 한다. 방사형 그물망 구조로 제작된 생분해성 형상기억 고분자 위에 초박막형 생분해성 무기질 전자 소자를 집적하여 두개골과 뇌 사이의 수 mm 이내의 좁은 공간에서도 소자가 파손되지 않고 넓은 면적에 고르게 펼칠 수 있다. 개발한 생분해성 최소침습형 전자소자를 활용하여 동물모델의 뇌에 삽입후에 뇌신호를 측정하고 소자가 생분해되는 과정을 실시간으로 장기간 모니터링함으로써 체내에서 활용가능성을 확인하였다.

인공지능재료과학
Room 평창2, 10월 30일

[인공1-1 | 08:30]

Prediction of elastic modulus, Poisson's ratio, and phase volume fraction from XRD patterns in high-elasticity aluminum casting alloys using deep learning models : Sehyeok Oh*, Yoon-Ho Lee (Korea Institute of Materials Science), Mingi Oh (Korea Institute of Materials Science, INTERX), Young-Hee Cho, Sang-Ik Lee, Jaimyun Jung, and Ho Won Lee* (Korea Institute of Materials Science)

Keywords: Aluminum alloys, Deep learning, Elastic modulus, X-ray diffraction

Key material properties of metal alloys, such as elastic modulus and Poisson's ratio, are generally obtained through mechanical measurement techniques. In this study, novel deep learning models are presented to predict elastic modulus, Poisson's ratio, and phase volume fraction of high-elasticity aluminum alloys for casting, from an x-ray diffraction (XRD) pattern. A casting process for an Al-Si-Ni alloy was conducted with four different cooling rates, and a total of 421 datasets, each consisting of a tuple of (chemical composition, cooling rate, XRD pattern data, elastic modulus, Poisson's ratio, phase volume fraction), was prepared for a deep learning model development. The XRD data, elastic modulus, and Poisson's ratio were obtained experimentally, while the phase volume fraction of the alloys was achieved through a thermodynamic calculation. The models were based on a residual convolutional neural network (CNN), which ensured a stable learning and a fast prediction. Among 421 datasets, 300 datasets were used in the model training, after augmented to 3000 using a forward diffusion process, resulting in a prediction accuracy improvement of up to 20%. The chemical composition and cooling rate were included in the model input space as well as the XRD data, and the prediction accuracy was 99.0% for the elastic modulus, 98.2% for the Poisson's ratio, and 98.5% for the phase volume fraction.

[인공1-2 | 08:45]

Improving Battery Cycle Life Prediction Across Diverse Chemistries and Conditions Using Machine Learning Models : Gaheun Shin and Joonhee Kang* (Pusan National Univ.)

Keywords: Prediction, Machine learning

Accurate prediction of battery cycle life is essential for safe and stable battery use. Previous studies have predicted battery cycle life using data limited to specific battery types and operating conditions. Consequently, predictive accuracy decreases when operating conditions or active materials differ from those presented in previous studies. Therefore, this study investigates ways to improve the accuracy of cycle life predictions and ensure robustness across different battery types and operating condition. We exploit features derived from the discharge data of LFP, NCA, and NCM batteries cycled under various operating conditions. Four machine learning models—Elastic Net, XGBoost, Support Vector Regression, and Gaussian Process—were compared and evaluated to identify the most suitable model for predicting battery cycle life. Our results demonstrate the impact of the battery type diversity used in model training on predictive accuracy. Additionally, we confirmed that temperature conditions during discharging have an impact on battery cycle life predictions, and accounting for temperature conditions improves predictive accuracy. This work highlights the promise in developing models that reliably predict battery cycle life across different active materials and operating conditions.

[인공1-3 | 09:00]

Investigation of lithium solvation behavior in organic liquid electrolytes using pretrained machine learning potential : Jinmu You*, Suyeon Ju, Gijin Kim (Seoul National University), and Seungwu Han (Seoul National University, Korea Institute for Advanced Study)

Keywords: Machine learning potential, Liquid electrolytes

Simulating the properties of liquid electrolytes (LEs) demands large simulation cells and extended time scales, making traditional ab initio methods impractical. Using machine learning potentials (MLPs) trained on a diverse set of structures with density functional theory (DFT) calculations offers an alternative method, providing a way to speed up these simulations. However, due to the chemical diversity and varied local configurations within LEs, defining an appropriate training domain for general electrolyte compositions is a significant challenge. Recently, several MLP models pretrained on extensive databases have been developed. These pretrained models demonstrate impressive transferability, indicating their potential to accurately describe a wide range of chemistries beyond their original training scope. In this study, we utilize SevenNet-0, a graph neural network interatomic potential pretrained on the Materials Project database, to explore the solvation properties of liquid electrolytes (LEs). Molecular dynamics simulations of representative carbonate solvents, including ethylene carbonate and dimethyl carbonate, are carried out with the system size of nearly 1,000 atoms. Although the training set primarily consists of crystal structures, our research shows that SevenNet-0 can describe the solvation shell structure with DFT-level accuracy. Additionally, we find that lithium ions are predominantly solvated in cyclic carbonates while forming contact ion

pairs or aggregated ions in linear carbonates. This suggests the capability of a pretrained model to capture the difference of dielectric properties among solvents with similar moieties, which is remarkable given that no explicit charge information was provided during training. This work highlights the generalizability of pretrained MLPs to new domains, emphasizing their potential for modeling more complex LE systems in advanced battery technologies.

[인공1-4 | 09:15]

Zero-shot Improvement of Machine Learning Potential for Adsorption : Wongyu Park and Jeong Woo Han* (Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University)

Keywords: machine learning potential, catalyst

Catalyst research using ab initio computational methodologies, such as Density Functional Theory (DFT), allows for highly accurate calculations of energy and forces. However, the significant computational demand makes it challenging to explore the vast structural space of catalytic materials. Recently, with the release of large DFT datasets, such as the Open Catalyst Project, there has been a growing effort to develop machine learning potentials (MLPs) that maintain the high accuracy of DFT while offering faster computation speeds. Most of the recent high-performing MLPs are based on Graph Neural Networks (GNNs). However, the adsorption prediction performance of current MLPs is still insufficient to fully replace DFT, necessitating further improvements in prediction accuracy. In this study, we focused on improving MLP performance for adsorption reactions based on the assumption that the energy of an atom should significantly change as its representation changes substantially. We quantified the change in representation by expressing the atom's representation before and after the adsorption reaction using various representation methods such as Smooth Overlap of Atomic Positions (SOAP) and Sine Matrix. Then, we corrected the predicted adsorption energy by multiplying the GNN's energy change prediction by the magnitude of the change in representation. Through this process, we observed that the magnitude of representation change for the same atom before and after adsorption varies significantly depending on the representation method used. Notably, when the representation change was calculated using SOAP and the energy change was corrected, we observed an improvement in adsorption energy prediction performance by approximately 10%. This study reports that this approach can enhance performance without the need for additional training and without significantly impacting prediction time since calculating the atomic representation using SOAP is not computationally demanding.

[인공1-5 | 09:30]

Crystal structure prediction for corner-sharing topology using neural network potential: Application to solid electrolytes : Seungwoo Hwang, Jiho Lee (Seoul National University), Sungwoo Kang* (Korea Institute of Science and Technology), and Seungwu Han* (Seoul National University)

Keywords: Crystal structure prediction, Machine learning potential, Oxide solid electrolytes

Materials with unique properties often owe these properties to their distinctive crystal structures. For instance, the characteristics of superconductors or superionic conductors arise from their specific topologies. Predicting crystal structure is a crucial initial step in discovering new materials with high-performance properties. Crystal structure prediction (CSP) is a computational method that involves finding the lowest energy structure by exploring the configurational space. This is usually achieved using global optimization algorithms, such as evolutionary algorithms, particle swarm optimization, or Bayesian optimization, combined with density functional theory (DFT) calculations to identify the global minimum. CSP is a universal method capable of predicting any crystal structure, regardless of the system. However, the primary bottleneck of this approach is the high computational cost associated with evaluating the energy of crystal structures using DFT. Consequently, DFT-based CSP methods are generally applied only to simple systems, such as binary compounds with fewer than 20 atoms. To enhance the throughput of CSP, machine learning potentials can be employed to accelerate the evaluation of crystal structure energies. As a result, neural network potential (NNP)-based CSP methods can handle more complex systems, such as ternary systems with up to 50 atoms. However, it remains challenging to address CSP problems in systems with more than 50 atoms due to the exponentially increasing computational difficulty. Our strategy for tackling more complex systems involves focusing on a specific target topology, rather than increasing the throughput in a universal manner. This approach leverages structural information specific to the target topology. In this work, we focus on predicting corner-sharing structures with more than 100 atoms, particularly in the system of solid electrolytes that contain lithium at various sites within the host structure. To reduce the search space, we first predict the host structure without specifying the exact lithium positions and then insert the lithium ions afterward. Furthermore, we use the structural information from the corner-shared topology, where the anion is located between two cations, to predict only the cation sites within the host structure. Initially, we generate the cation sites randomly, then place the anions between these cation sites, and subsequently relax the host structures using machine learning potentials. Finally, we insert lithium ions at Voronoi vertices obtained through Voronoi tessellation of the generated host structure and identify the stable sites using Monte Carlo simulation. As a result, we successfully predict the structures of known solid electrolytes with corner-sharing topologies, such as NASICON-type materials and $LiTa_2PO?$. We find that machine learning potentials trained on disordered structures can be effectively used to relax host structures and screen high-energy structures, thereby reducing the number of required DFT calculations. This method has the potential to be applied in the screening of new oxide solid electrolytes with corner-sharing topologies, facilitating the discovery of materials with high ionic conductivity.

[인공1-6 | 09:45]

Application of Pretrained Machine Learning Potential to Solid Electrolytes : JiHo Lee, Seungwoo Hwang (Seoul National Univ.), Youngho Kang* (Incheon National Univ.), and Seungwu Han* (Seoul National Univ.)

Keywords: Solid-state electrolytes, Machine learning potential, Universal potential, Li conductivity

Optimizing the performance of solid-state electrolytes (SSEs) is essential for their successful integration into battery technology. To effectively replace conventional liquid electrolytes, SSEs must achieve high ionic conductivity, exhibit good electrochemical stability, and maintain excellent compatibility with both anode and cathode materials. These performance metrics are critical in identifying the optimal SSE. Traditionally, density functional theory (DFT) or machine learning potentials are used to study these properties. However, the vast chemical space these methods need to cover presents a significant challenge. Recently, there has been increasing interest in using pre-trained universal potentials based on large databases to address this issue. In this study, we introduce the use of pre-trained universal potential, SevenNet-0 (Scalable EquiVariance-Enabled Neural NETwork), for investigating and optimizing the properties of general solid electrolytes. Utilizing SevenNet-0, we evaluated bulk ionic conductivity and explored the impact of doping, showcasing the model's capability to optimize these characteristics. Additionally, we examined the electrochemical stability window across a variety of materials, illustrating how SevenNet-0 can identify candidates with improved stability. Our findings confirm that the SevenNet-0 model is effective across a wide range of SSE properties, offering valuable insights into their performance. This study validates the use of pre-trained models in solid electrolytes and offers guidance for the future development of universal potentials tailored specifically for SSEs. Furthermore, we find that fine-tuning the pre-trained model further enhance its accuracy and adaptability, paving the way for more precise optimization of SSE properties.

[인공1-7 | 10:00] Canceled

Machine-learning-aided accelerated discovery of high-performance metal organic frameworks for adsorbent-water adsorption heat pump: Sanghyun Kim and Joo-Hyoung Lee* (Gwangju Institute of Science and Technology (GIST))

Keywords: Metal organic framework, Machine learning, Grand canonical monte carlo, Adsorption heat pump, Coefficient of performance

Adsorption heat pumps (AHPs) have attracted significant research attention owing to their low electricity consumption, reduced carbon emissions and utilization of low-grade heat. AHPs commonly use water as a working fluid due to its natural abundance and environmental friendliness, which enhances heat and mass transfer. The improvement of heating performance in AHPs is largely dependent on the development of high-performance adsorbent/water working pairs. In this study, we employ a machine learning (ML) model to discover high-performance metal organic frameworks (MOFs) for AHP adsorbents. By constructing an in-house dataset through Grand Canonical Monte Carlo (GCMC) simulations, we train a ML model to carry out accelerated screening over a large-scale MOF database and eventually identify six novel MOFs as potentially effective adsorbents for AHPs. The proposed MOFs exhibit high coefficient of performance for heating (COP_H) ranging from 1.69 to 1.88 and a specific heating effect (SHE) between 2649 and 3253kJ/kg. These results highlight proficiency of ML approaches in expedited design of adsorbents for water-based AHPs.

[인공2-1 | 10:25]

Optical property dataset of inorganic phosphor : Seunghun Jang* (Korea Research Institute of Chemical Technology)

Keywords: Inorganic phosphor, Dataset, Machine learning, Optical property

Developing inorganic phosphor with desired properties for light-emitting diode application has traditionally relied on time-consuming and labor-intensive material development processes. Moreover, the results of material development research depend significantly on individual researchers' intuition and experience. Thus, to improve the efficiency and reliability of materials discovery, machine learning has been widely applied to various materials science applications in recent years. However, the prediction capabilities of machine learning methods fundamentally depend on the quality of the training datasets. In this work, we constructed a high-quality and reliable dataset that contains experimentally validated inorganic phosphors and their optical properties, sourced from the literature on inorganic phosphors. Our dataset includes 3,952 combinations of 21 dopant elements in 2,238 host materials from 553 articles. The dataset provides material information, optical properties, measurement conditions for inorganic phosphors, and meta-information. Among the preliminary machine learning results, the essential properties of inorganic phosphors, such as maximum Photoluminescence (PL) emission wavelength and PL decay time, show overall satisfactory prediction performance with coefficient of determination (R^2) scores of 0.7 or more. We also confirmed that the measurement conditions significantly improved prediction performance.

[인공2-2 | 10:40]

사용자 수정형 AI 솔루션을 활용한 불량 저감 방법 : 이창선*, 남재혁, 김광육, 김용환 (인하대학교 첨단소재공정공학)

Keywords: 사용자 수정형 AI, 개선 업무용 간편 맞춤 AI, 수정 및 이해 가능한 AI, DDI(Design Document Interfcae), 반복적 예측 모델 개발과 공간 분할

기업의 업무는 일상 업무와 개선 업무로 구분할 수 있다. 검사원, 조업자, 기술자 등이 일상 업무 직원(staff)이며, 엔지니어, 연구자, 개발자 등이 개선 업무 직원인 전문가(expert)이다. AI 비전 검사, AI 설비 예지 정비 등이 일상 업무용 AI 이다. 일상 업무는

고정된 반복적 업무이기 때문에 사용자가 AI를 맞춤 개발 해야 할 필요가 없지만, 개선 업무는 수시로 변화하기 때문에 전문가는 AI를 자가 개발하여 사용해야 한다. 사용자 수정형(UM : User-Modified) AI가 필요한 이유이다. 신제품 개발 등의 개선 업무를 수행하기 위해서는 생산성, 품질, 비용, 납기 외에도, 안전, 환경, 에너지, 관련 법률 등을 종합적으로 고려해야 한다. 품질을 세분하면, 기능 품질, 사용성 품질, 유지보수 품질, 내구성 품질, 미적 품질, 호환성 품질 등이 있다. 기능 품질을 다시 세분하면, 기계적 특성, 자기적 특성, 전기적 특성, 광학적 특성, 화학적 특성, 열적 특성 등이 있다. 이러한 종합적 판단은 전문가만이 할 수 있다. 단, 전문가는 특정 판단 요소에 대한 약인공 지능을 스스로 개발하여 판단의 신뢰성을 높여야 한다. 기계학습 AI의 목적은 상관 관계 규명이다. 그리고, 제조업에서 기계학습 AI의 궁극적 목적은 인과 관계 규명이다. 상관 관계는 인과 관계와 비인과 관계로 분류할 수 있다. 비인과 관계가 발생하는 이유는 공통 인자, 데이터 불균형 등 다양하다. 인자 A와 인자 B가 은닉 공통 인자 C와 각각 인과 관계를 가질 때, A와 B는 비인과 관계를 발생 시킨다. 인자 D와 인자 F사이에 D와 데이터 불균형에 의한 상관 관계가 있는 은닉 인자 E가 있을 때, D와 F는 비인과 관계를 발생 시킨다. 기계 학습 AI는 역인과 관계 오류를 발생시킬 수 있다. 비인과 관계와 역인과 관계는 제조업에서는 일종의 AI 할루시네이션이다. AI 할루시네이션을 인지하여 해결하기 위해서는 도메인(전통 산업) 지식이 필요하다. 기존의 AI 분석 환경은 크게 두 종류이다. 첫 째는 코딩으로 분석하는 통합분석환경(IAE: Integrated Analytics Environment)이다. AI, 코딩 등 방대한 학습이 필요하기 때문에, Low코드-No코드 워크플로우 다이어그램 개발 환경이 개발되었다. 하지만, 이러한 시각적 개발 환경(VAE : Visual Analytics Environment) 또한 데이터마이닝 지식 등 적지않은 학습이 필요하다. 설계 문서 접점(DDI: Design Document Interface) AI 분석 환경을 사용하게 되면, 방대한 사전 학습 없이 본인의 프로젝트성 업무에 적합한 맞춤 AI를 도메인 전문가가 직접 수정 할 수 있다. IAE(통합분석환경) 에서는 코드로, VAE(시각적 분석환경)에서는 워크플로우 다이어그램으로, DDI 개발환경에서는 DDI로 AI 분석 지시를 내린다. 질문이나 지시 등 소통의 창구 혹은 접점이라는 관점에서 ChatGPT의 Chat와 UM AI의 DDI는 동일하다. 작업지시서 쓰듯이 엑셀 DDI로 AI 분석 설계를 하면, AI 솔루션 엔진이 설계대로 솔루션 및 산출물을 생성한다. UM AI 엔진은 AI 코딩 전문가가 개발한다. 도메인 전문가는 도메인 평가용 영향 예측 그래프를 이용해 예측 모델을 이해할 수 있으며, 필요시 DDI를 이용해 모델을 수정할 수 있다. AI 솔루션 엔진을 이용해 데이터 전처리, 시각화, 기계학습, 예측 모델 개발 등이 가능하다. UM AI를 이용하여 반복적 예측 모델 개발과 데이터 공간 분할을 하면 불량이 최소화된 데이터 공간을 도출할 수 있다. 특정 불량에 대한 1차 AI 예측 모델을 개발한다. 예측 모델을 이용하여 다수의 불량 감소 개선 공간 후보를 도출할 수 있다. 개선 공간 후보 중 여타 품질의 풍선 효과를 고려하여 1차 개선 공간을 선택한다. 여타 품질에 대해서는 AI 예측 모델이 없기 때문에 도메인 지식을 이용하여 풍선 효과를 고려한다. 1차 개선 공간만의 데이터를 가지고 2차 AI 예측 모델을 개발한다. 2차 개선 공간 후보에 대해 다시 도메인 지식을 이용해 2차 개선 공간을 선택한다. 같은 과정을 반복하면 최적 개선 공간을 도출할 수 있다.

[인공2-3 | 10:55]

다중 출처로부터 수집된 크리프 데이터의 전처리와 이를 활용한 최적 크리프 수명 예측 모델 : 이태주, 최윤석* (부산대학교)

Keywords: 니켈기 초내열 합금, 크리프, 기계학습, 물성예측

단결정 니켈기 초내열 합금은 고온, 고압의 환경에서 장시간 운용되는 항공기 엔진용 터빈 및 발전용 터빈의 블레이드에 주로 사용되는 재료로, 고온 운용 환경에서의 장기적인 안정성 즉 크리프 물성을 예측하는 것이 매우 중요하다. 고온 내구성을 평가하기 위한 실험 방법인 크리프 시험은 고온, 고응력의 환경을 장기간 유지하여야 하므로 비용 소모가 크다. 따라서, 직접 크리프 시험을 하지 않고 기존의 실험 데이터를 활용하여 특정 조건의 크리프 수명을 예측하는 연구에 대한 필요성이 고조되고 있다. 그러나, 현재까지 제시된 데이터를 활용하는 크리프 수명 예측 모델들은 수집된 데이터에 이상치(outlier) 데이터가 포함되어 있을 경우 예측 정확도가 현저히 낮아지는 한계가 있다. 본 연구에서는 수집된 크리프 데이터의 이상치를 제거하기 위하여 기계학습 기반의 크리프 데이터 전처리 기법을 개발 하였으며, 또한 전처리된 크리프 데이터를 활용하여 최적화된 수명 예측 모델을 구축하였다. 개발된 전처리 기법을 수집된 2세대 단결정 니켈기 초내열 합금인 CMSX4 합금의 크리프 수명 데이터에 적용하였으며, 구축된 수명 예측 모델의 예측능을 모델 학습에 사용되지않은 데이터를 활용하여 검증하였다.

[인공2-4 | 11:10]

MaTableGPT: GPT-based Table Data Extractor from Materials Science Literature : Gyeong Hoon Yi, Jiwoo Choi (Korea Institute of Science and Technology, Korea Univ.), Jaewoong Choi, Byungju Lee (Korea Institute of Science and Technology), Seok Su Sohn (Korea Univ.), Sang Soo Han*, and Donghun Kim* (Korea Institute of Science and Technology)

Keywords: GPT, table, zero-shot, few-shot, water splitting, oxygen evolution reaction

Extracting data from tables within scientific texts is crucial for the development of extensive databases. Tables in materials science research, however, vary widely, making rule-based extraction methods inadequate. In response to this issue, we introduce MaTableGPT, a GPT-based tool designed to extract table data from materials science publications. MaTableGPT incorporates essential strategies such as data representation in tables, splitting tables for improved understanding by GPT, and using follow-up questions to eliminate incorrect information. Applied to a large body of literature on water splitting catalysis, MaTableGPT reached an extraction accuracy (total F1 score) of up to 96.8%. Our detailed evaluations of GPT usage costs, labeling costs, and extraction accuracy across zero-shot, few-shot, and fine-tuning learning methods show a Pareto-front mapping. Here, the few-shot approach emerges as the most cost-effective, achieving high accuracy (total F1 score over 95%) with relatively low expenses (GPT usage cost of 5.97 US dollars and labeling cost for 10 I/O paired examples). Statistical analysis of the database created by MaTableGPT offers insightful observations regarding the distribution of overpotential and elemental utilization among the catalysts reported in the water splitting studies.

[인공2-5 | 11:25]

CatRE: A Transformer-based Relation Extraction Model for Water Splitting Catalysis Literature : Jiwoo Choi, Gyeong Hoon Yi (Korea Institute of Science and Technology, Korea university), and Donghun Kim* (Korea Institute of Science and Technology)

Keywords: Water Splitting Catalysis, Natural Language Processing, Relation extraction

Extracting and connecting complex scientific information from unstructured scientific literature is crucial for building large-scale databases. However, linking information scattered throughout a document remains a significant challenge, particularly when various names refer to materials. To overcome this challenge, we developed 'CatRE,' a Transformer-based relation extraction model focused on the field of water splitting catalysis. CatRE effectively extracts relationships between catalysts, their performance, and measurement systems within the material literature, achieving an accuracy of over 85%. While this work demonstrates the efficiency of our CatRE model and suggests its applicability to other fields, such as batteries, beyond just water electrolysis catalysts, the methods and approach will enable the extraction of relationships among materials and their various properties. The high-quality experimental data extracted will play a significant role in accelerating material discovery.

[인공2-6 | 11:40]

Implementing LLM chain of thought techniques for efficient data extraction from material science literature : Daegun Lee (Korea Institute of Science and Technology, Korea, Korea University, Korea), Seok Su Sohn* (Korea University, Korea), and Donghun Kim* (Korea Institute of Science and Technology, Korea)

Keywords: LLM, NLP, OER, Catalyst

Advancements in machine learning have propelled research into predictive analytics for material properties and the development of new materials using extensive datasets. In the realm of material science, while computational data is plentiful, there is a notable deficiency in the availability of high-quality experimental data. Typically, this experimental data appears in research papers in formats that are not structured, thus complicating the extraction process. Historically, extraction techniques have relied on pretrained language models such as BERT, which necessitates the use of hundreds of labeled examples for effective training, demanding substantial manual annotation efforts from researchers. To overcome these challenges, our study introduces the use of chain-of-thought (CoT) prompting combined with a few-shot approach using large language models (LLMs) to automate the extraction of unstructured experimental data. We strategically implemented CoT within our data extraction pipeline to maximize its utility. To reduce the subjectivity associated with CoT, we established an automated protocol for its generation. This method has not only streamlined the application process within the field of materials science but has also enhanced overall task performance, showing a 4% point increase in the F1-score over traditional few-shot methods, achieving an impressive F1-score of 96.4%, on par with BERT in classification tasks. Our findings underscore the significant potential of CoT prompting in improving data extraction from materials science publications, marking a pioneering achievement in the field.

[인공3-1 | 13:00]

Predicting Solidus and Liquidus Points of Alloys for Additive Manufacturing: A Machine Learning Approach : Jaemin Wang, Sang-Ho Oh, Hyeonseok Kwon, Hyoung Seop Kim, and Byeong-Joo Lee* (Pohang University of Science and Technology (POSTECH))

Keywords: Machine Learning, Explainable AI, Alloy Design, Thermodynamic Properties, Additive Manufacturing

Understanding the solidus and liquidus points is crucial for designing alloys for additive manufacturing (AM) powder, as these thermal properties significantly influence defects like solidification cracking. This study presents the development of an innovative machine learning model aimed at predicting the solidus and liquidus points of alloys, which are difficult to estimate due to their dependence on alloy composition. Traditional methods like CALPHAD (CALculation of PHAse Diagrams), although effective, require comprehensive databases that detail the entire alloy system, posing limitations in terms of database availability. To address these challenges, we developed a novel machine learning model that integrates a graph autoencoder with gradient boosting. In this model, the input is represented as a graph describing the alloy system, where nodes represent elements and edges represent interactions between elements. The graph autoencoder is employed to extract pertinent features from this graphical representation, effectively capturing the complex relationships within the alloy's system. These extracted features are then fed into a gradient boosting model, which performs the final prediction of the solidus and liquidus points. The proposed model was validated using ASM phase diagrams and thermodynamic calculations, demonstrating its accuracy and robustness. This approach offers a scalable and efficient solution for predicting the thermal properties of alloys, thus paving the way for more reliable alloy design in additive manufacturing. This study will delve into the methodology, validation, and implications of our machine learning model, highlighting its potential to enhance alloy design processes and mitigate defects in AM applications.

[인공3-2 | 13:15]

Transfer learning to predict hardness of additively manufactured high entropy alloys : Libin Zhang and Yoon Suk Choi* (Pusan National University)

Keywords: Machine learning, transfer learning, high-entropy alloys, additive manufacturing

As a subfield of artificial intelligence (AI), machine learning (ML) has achieved significant advancements in materials science. However, due to the data-intensive nature of machine learning models, their predictive accuracy can be inadequate when the available training data is small. Here, we present a case study exploring the potential of transfer learning (TL) to address the challenge of small training datasets. We developed a transfer learning-based artificial neural network (TrANN) to predict the hardness of additively manufactured Al-Co-Cr-Cu-Fe-Ni high-entropy alloys. By incorporating relevant material information into the model, our TrANN successfully modeled the small dataset that traditional machine learning algorithms struggled to fit. Our work demonstrate that transfer learning is a promising tool for overcoming the limitations associated with limited training data.

[인공3-3 | 13:30]

고엔트로피 합금의 경도 예측을 위한 특성인자 탐색 및 머신러닝 모델 최적화 : 김민규, 남충희* (한남대학교)

Keywords: 머신러닝, 고엔트로피 합금, feature Selection

본 연구에서는 파이썬 라이브러리를 활용하여 고엔트로피 합금(HEA)의 조성 기반 데이터에서 경도를 목표 값으로 하는 225개의 특성 데이터를 얻고, 약 500개의 데이터를 구축하였다. 데이터 구축 이후, 다음 네 가지 특성인자 선택 과정을 통해 8개에서 15개의 특성인자을 선택하였다. 첫 번째 단계는 분산 임계값(Variance Threshold)을 이용한 특성인자 선택, 두 번째 단계는 피어슨 상관계수(Pearson Correlation Coefficient, PCC)를 기반으로 한 특성인자 선택, 세 번째 단계는 순열 중요도(Permutation Importance) 분석, 마지막으로 유전 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)을 활용한 특성인자 선택 방법을 사용하였다. 이렇게 선정된 특성인자들을 바탕으로 랜덤 포레스트(RF), 서포트 벡터 회귀(SVR), 그래디언트 부스팅 회귀(GBR), LightGBM(LGBM) 모델을 각각 베이지안 최적화 기법을 통해 최적의 파라미터를 확인하였다. 각 모델에 대해 10-fold 교차 검증을 시행한 결과, LGBM 모델이 GBR, SVR, RF 모델에 비해 R^2 값이 더 높음을 확인하였다. 본 연구에서 개발된 머신러닝 모델을 통해 다양한 가상 공간의 HEA 소재들의 경도를 예측함으로써 신소재 개발에 소요되는 시간과 비용을 효과적으로 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다. 이 연구는 HEA 소재의 설계 및 개발 과정에서 데이터 기반 접근 방식의 유용성을 입증하며, 추후 소재 과학 분야에서의 다양한 머신러닝 적용 가능성을 제시한다.

[인공3-4 | 13:45]

물리 이론 기반 기계 학습을 활용한 금속 재료의 항복 강도 예측 : 이정아 (포항공과대학교), 피게이레두* (미나스제라이스 연방대학교), 박효진, 김형섭* (포항공과대학교)

Keywords: 머신러닝, 블랙박스 모델, 화이트박스 모델, 항복 강도, 입자 경계 슬라이딩

재료 과학에서는 다양한 실험 조건 및 금속 재료의 항복 강도를 측정하기 위해 많은 시간과 자원이 소모된다. 이러한 비효율성을 최소화하고자 다양한 온도와 변형률에서 단순한 순수 금속부터 복잡한 합금까지 광범위한 금속 재료에 적용할 수 있는 항복 강도를 예측하는 연구를 수행하였다. 구체적으로, 입자 경계 슬라이딩 메커니즘과 기계 학습 알고리즘을 병합하여 항복 강도에 영향을 미치는 중요한 요소를 식별하는 포괄적인 프레임워크를 구성하였다. 제안된 프레임워크의 유효성은 Fe60Ni25Cr15, Fe60Ni30Cr10 및 Fe64Ni15Co8Mn8Cu5와 같이 고엔트로피합금 및 중엔트로피합금을 포함하여, 철 기반 합금에 대한 실험을 통해 엄격하게 검증되었다. 본 연구는 실험 설계 프로세스를 크게 간소화하고 자원 활용을 최적화하며 재료 특성을 결정하기 위한 신뢰할 수 있는 예측 프레임워크를 구축하였다.

[인공3-5 | 14:00]

멀티모달 오토인코더 기반 매니폴드 러닝을 활용한 미세먼지 화합물 분류 시스템 개발 : 최준혁 (국민대학교), 조승호, 최하늘, 최진형 (한국과학기술연구원), 장혜정 (한국과학기술연구원, 과학기술연합대학원대학교), 조기섭* (국민대학교)

Keywords: 멀티모달, 오토인코더, 미세먼지, 화합물 분류

미세먼지는 유기 화합물, 광물, 금속 입자 등을 포함하는 대기 오염 물질로, 크기, 형상, 조성에 따라 인체 위해성이 결정된다. 최근 기후변화와 동아시아 국가들의 급격한 산업화로 고농도 미세먼지 발생이 증가하고 있어, 효과적인 대책 마련을 통한 오염원의 정확한 분석 및 규명이 요구된다. 본 연구에서는 SEM-EDS (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)를 활용한 미세먼지 개별 입자들의 조성 분석을 통해 유기 화합물, 광물, 철을 포함한 화합물, 그 외 금속 화합물 등 4가지 대분류와 약 130가지의 소분류로 구성된 화합물 분류체계를 수립한 바 있으나, 실험적 오류와 대기 중 aging으로 인해 조성 분석만으로 화합물을 정확히 분류하는데 일정한 한계를 보였다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 인공지능 기반 화합물 분류 시스템을 개발하여 화합물 분류의 신뢰성을 향상시키고자 하였다. 총 18개의 시료에서 채집된 19,000개의 개별 입자에 대한 이미지, 화학조성, 그리고 면적, 종횡비 등 형태 정보를 활용하여 멀티모달 오토인코더(Multimodal Autoencoder) 기반 비지도 학습을 수행하였으며, 매니폴드 러닝 (Manifold learning)을 통해 미세먼지의 주요 특징을 추출하였다. 잠재공간에 대한 신뢰성 검증을 위해 복원 데이터를 원본 데이터와 비교 분석 하였으며, 이후 검증된 잠재공간에서의 클러스터링을 통해 화합물의 분류체계를 확립하였다. 이러한 인공지능 기반 미세먼지 화합물 분류 시스템은 보다 신뢰성 있는 데이터를 제공할 뿐만 아니라, 오염원 규명 연구에 새로운 접근 방식을 제시함으로써 관련 연구의 효율성과 정확성을 크게 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

[인공4-1 | 14:25]

산업용 CT에서 Diffusion 기반 모델을 이용한 Sparse-view CT Reconstruction 기법 : 이종현 (한국생산기술연구원, 경북대학교), 김

동응, 모찬빈, 김문조, 원홍인, 이상아, 윤종필* (한국생산기술연구원)
Keywords: 산업용 CT, 비파괴검사, 알루미늄 다이캐스팅, Sparse-view CT Reconstruction, Diffusion model

산업용 CT기술은 알루미늄 다이캐스팅 제품의 비파괴 검사에서 점차 중요한 역할을 하고 있다. 이 기술은 제품의 내부 결함이나 구조적 문제를 파괴 없이 정밀하게 평가할 수 있어 제조 공정에서 품질 관리에 크게 기여한다. 그러나 고화질 CT 영상을 얻기 위해 긴 시간이 소요되는 점은 생산 효율성을 저하시키는 주된 요인으로 작용한다. 이 문제를 해결하기 위해 적은 수의 촬영만으로도 신속하게 단층 영상을 획득할 수 있도록 하는 기술을 Sparse-view CT Reconstruction이라 한다. 본 연구에서는 Sparse-view CT Reconstruction 위한 Diffusion 기반 모델을 제안하고, 이 모델이 Regression 기반 모델에 비해 전반적인 영상의 선명도를 향상시킬 뿐만 아니라 기포와 같은 결함 영역의 선명도 개선에도 효과적임을 실험적으로 확인하였다. 이러한 결과는 산업 현장에서 산업용 CT의 효율성과 활용도를 더욱 높일 것으로 기대된다.

[인공4-2 | 14:40]
Synthetic microstructure generation using diffusion transformers : Hoang Cuong Phan (Korea Institute of Materials Science, University of Science and Technology), Minh Tien Tran, Sehyeok Oh (Korea Institute of Materials Science), and Ho Won Lee* (Korea Institute of Materials Science, University of Science and Technology)
Keywords: Microstructure Generation, Diffusion Transformers, Parameter-Efficient Fine-Tuning, Overlap Crop, Microstructural Descriptors.

Diffusion models have demonstrated proficiency in generating superior-quality images:however, adapting large pre-trained diffusion models to new domains, which is crucial for practical applications, remains a significant challenge. This research presents a novel approach for synthetic microstructure generation using Diffusion Transformers (DiTs) to create high-quality and diverse microstructure images. We partially fine-tuned a pre-trained DiT-XL/2 model using parameter-efficient fine-tuning (PEFT), updating bias terms, class embeddings, normalization, and weights of attention and feed-forward network while keeping all other parameters fixed. This method improved image quality and diversity while significantly reducing training time and storage requirements by approximately 16.33% and roughly 16.73%, respectively, compared to full fine-tuning (FFT). Additionally, our proposed overlap crop technique with a 0.5 overlap ratio led to a 25.89% improvement in Fréchet Inception Distance (FID) over the conventional random crop method. The generated images were rigorously evaluated against microstructural descriptors, surpassing established benchmarks and outperforming previous methods in most statistical descriptors. These findings underscore the potential of DiTs to address data scarcity in materials science, offering a framework for generating extensive high-quality datasets for transfer learning and future research. This study marks the first comprehensive application of DiTs for microstructure image generation, paving the way for advanced applications in materials science.

[인공4-3 | 14:55]
Generative Language Model for Catalyst Discovery : Dong Hyeon Mok and Seoin Back* (Sogang University)
Keywords: Machine Learning, Language Model, Catalyst,

Recent advancements have shown that autoregressive language models can effectively generate inorganic crystal structures. Motivated by the advancements, we explored the potential of the language model as generative model for inorganic catalyst structures that includes surface and adsorbate atoms, and as a discovery tool for novel and promising electrocatalysts. We trained the language model based on GPT architecture with 2M of catalyst structure data, enabling the generation of string representations of catalyst structures. Since the validity metrics used in crystal structure generative models are not fully applicable to catalysts, we developed new validity metrics specialized for catalyst structure. The trained model struggles to prevent the generation of invalid structures containing overlapping atoms, while validly generated structures have high-quality. We addressed this issue by introducing a simple method to bypass overlapping atoms, which effectively prevented structural invalid generations without compromising generation quality. Furthermore, we fine-tuned the model with our own designed for the discovery of two-electron oxygen reduction reaction (2e-ORR) catalysts. Despite the relatively small size of dataset (only about 1,500 data) the fine-tuned model successfully learned the intrinsic rules of dataset and maintained high-quality catalyst generation. From the fine-tuned model, we discovered five novel and promising 2e-ORR catalyst candidates. In conclusion, our work not only highlights the autoregressive language model's robust catalyst generative performance but also its practical application in electrocatalyst design.

[인공4-4 | 15:10]
Improving Metallographic Image Segmentation of Carbon Steel via Self-supervised Learning : Hoang-Hai-Nam Nguyen (Korea Institute of Materials Science, Faculty of Advanced Materials Engineering, Korea University of Science and Technology), Hoheok Kim (Korea Institute of Materials Science), and Ho Won Lee* (Korea Institute of Materials Science, Faculty of Advanced Materials Engineering, Korea University of Science and Technology)
Keywords: Metallographic image segmentation, carbon steel, self-supervised learning

Accurate segmentation of microstructures is vital in materials science and metallurgy but is often impeded by a lack of labeled data. This study investigates the use of Self-Supervised Learning to improve segmentation accuracy of metallograph images of carbon steel. First, we utilize a Self-supervised method called Momentum Contrast (MoCo) to pretrain a ResNet CNN model on unlabeled images

from various metallograph datasets. Subsequently, we use the pretrained model as a backbone for a U-Net segmentation mode, which is then fine-tuned for semantic segmentation of labeled images. Our approach enhances segmentation accuracy by a considerable margin in various metrics compared to ImageNet pretraining method on the same model. This demonstrates the potential of Self-supervised methods in domains with limited labeled data.

가공-용접 및 접합
Room 평창3, 10월 30일

[용접1-1 | 09:00] 초청강연

재료과학에서 변화의 구동력과 잔류 엔트로피 : 김성수*, 정종엽 (한국원자력연구원)

Keywords: 엔트로피, 원자 배열, 발열 반응, 구동력, 격자 팽창

Boltzmann은 엔트로피를 S=k lnΩ = k ln {(Na+Nb!)/Na!/Nb!} 공식으로 정의하였다. 이 공식은 a와 b 원자가 섞일 때만 엔트로피가 정의된다는 오해를 불러일으켰다. 즉, 엔트로피는 a와 b 원자가 섞이는 합금에만 형성된다는 것이다. 이렇게 엔트로피가 오해되면서 20세기 이후 고체 물리와 재료과학에서 엔트로피는 제대로 이해되지 않았고 이 중요성은 고려되지 않았다. 엔트로피는 열적(thermal) 및 배열(configuration)의 두 가지 성분이 있고, 배열 엔트로피는 혼합(mixing)과 배열(configuration or arrangement)의 두 가지가 있다. Boltzmann의 정의는 혼합 성분만을 고려하고 있다. 이 오해가 초래한 가장 심각한 문제는 순금속의 엔트로피를 고려하지 않은 것이다. 원자가 구라는 가정은 원자가 구가 아니라는 사실 때문이다. 원자가 구라는 개념을 버리면 순금속에서조차 원자 배열 방향에 따른 엔트로피를 설명할 수 있다. 최근 엔트로피 변화가 궁극적으로 재료의 길이(부피) 변화를 유발하는 것이 보고되었다. 엔트로피가 중요한 이유는 가공에 의한 변형이나 급냉 처리와 같은 열적 기계적 처리로 가해진 열은 처리 후 일부는 잔류 엔트로피로 남고 이것이 사라지는 과정에서 길이 변화를 유발하기 때문이다. 엔트로피는 규칙성이 깨지면 증가하는 것이 본질이다. 열적 기계적 처리로 원자 배열이 흐트러지면서 재료에 남아 있는 열은 배열 엔트로피이다. 이 엔트로피는 열 분석하면 발열 반응으로부터 정량적으로 확인할 수 있다. 이 잔류 엔트로피는 들뜬(excited) 상태의 원자 배열이 평균 격자 거리를 증가시키고 이와 함께 3차원적으로 팽창시킨다. 잔류 엔트로피는 재료의 고온 가동 환경에서 확산으로 정렬되면서 방출되면서 발열(exothermic) 반응으로 보이고 이와 동시에 평균 격자 거리는 줄어든다. 궁극적으로 잔류 엔트로피 감소에 의한 격자 수축은 구조 재료 내부에 스스로 응력을 만들며 재료 변화의 구동력으로 작용한다. 잔류 엔트로피는 인장 변형으로 관찰되므로 잔류응력이라고 오인되는 것으로 판단된다.

[용접1-2 | 09:25]

VCoNi 중엔트로피 합금과 인코넬 718 초내열 합금 사이의 이종소재 레이저 용접부 미세조직 및 기계적 특성 : Hadis Esmaeilpoor (국립한밭대학교, 대전, 대한민국), 장태진, 손석수 (고려대학교, 서울, 대한민국), 김정한* (국립한밭대학교, 대전, 대한민국)

Keywords: 중 엔트로피 합금:IN718 합금:레이저빔 용접:기계적 특성:후 후열처리

현대 산업과 기술은 강도와 연성이 뛰어난 새로운 구조 재료에 대한 높은 수요를 가지고 있다. 최근 몇 년 동안, 고/중 엔트로피 합금(HEAs/MEAs)은 뛰어난 기계적 성질을 가진 새로운 다성분 고체 용액 재료로서 큰 관심을 받아왔다. 그중에서도 단상 면심입방(FCC) 구조의 VCoNi-MEA는 높은 인장 강도(>1 GPa)와 우수한 연성을 입증하였다. 상이한 재료의 통합이 요구되는 응용 분야에서 HEAs/MEAs는 종종 상업적으로 이용 가능한 구조 재료와 결합되어 성능-수명 비율을 향상시키고 있다. 특히, Inconel 718 초내열합금(IN718)은 높은 강도와 내식성으로 인해 항공우주, 가스 터빈, 석유 및 가스와 같은 중요한 부문에서 이상적인 소재로 평가된다. 본 연구에서는 VCoNi-MEA와 IN718 사이의 이종접합을 레이저 용접을 통해 성공적으로 수행하였다. 이 접합부의 미세조직 진화와 기계적 특성을 철저히 이해하기 위해, 용접부 단면에 대한 광범위한 미세조직 특성 평가가 전자현미경, 전자 후방 산란 회절, 에너지 분산형 X-선 분광법, 미세 X-선 회절 및 투과 전자현미경을 사용하여 수행되었다. 기계적 특성은 단축 인장 시험과 비커스 미세 경도를 통해 평가되었다. 레이저 빔 용접을 통해 균열이 없고 깊게 침투하는 접합부가 생성되었으며, 용접 금속은 주로 fusion zone 구역에서 FCC 구조를 나타냈다. 이 접합부는 약 400 MPa의 항복 강도, 약 750 MPa의 최대 인장 강도, 약 18%의 연신율 및 약 300 Hv의 경도 값을 가지는 우수한 기계적 특성을 보여주었다. 또한, ThermoCalc 분석에 따른 최적 온도에서의 후용접 열처리는 용접 금속의 기계적 특성을 더욱 향상시켰으며, 이에 대해 토의가 자세히 다루어질 것이다.

[용접1-3 | 09:40]

레이저 쇼크피닝 공정을 이용한 Co-Cr-Fe-Ni-Mo 중엔트로피 합금의 레이저 용접 후 극저온 기계적 특성 향상 : 이재혁 (단국대학교 신소재공학과), 김병찬 (공주대학교 기계자동차공학부), 이재훈, 하정홍, 이정훈 (한국생산기술연구원), 이동준 (한국재료연구원), 이동경 (공주대학교 기계자동차공학부), 문종언 (공주대학교 신소재공학부), 주수현* (단국대학교 신소재공학과)

Keywords: Medium-entropy alloy, Laser welding, Laser shock peening, residual stress

$Co_{17.5}Cr_{12.5}Fe_{55}Ni_{10}Mo_5$ 중엔트로피 합금(Medium-Entropy Alloy, MEA)은 극저온 환경에서 우수한 기계적 성능을 보이는 것으로 알려져 있으며, 이러한 특성으로 인해 다양한 극한 환경에서의 응용 가능성이 주목받고 있다. 본 연구는 $Co_{17.5}Cr_{12.5}Fe_{55}Ni_{10}Mo_5$ MEA의 레이저 용접 특성을 탐구하고, 용접 부위의 미세구조 및 기계적 특성을 분석하여 극저온 환경에서의 성능을 최적화하는 방법을 모색하고자 하였다. Bead on Plate(BOP)와 Butt 용접, 두 가지 레이저 용접 방식인 연구에 활용하였으며, BOP 용접에서 초기 단계에서 완전 침투(Full penetration)를 형성한 후 Porosity가 없는 최적조건을 설정하였다. 이후 이 최적조건을 바탕으로 Butt 용접을 진행하였으며, 형성된 용접부의 미세구조와 기계적 특성을 면밀히 분석하였다. 용접부와 열영향부(Heat affected zone, HAZ)에서 경도가 감소하였으며, 인장 시험에서는 주로 HAZ와 MP(Melt Pool) 영역에서 파단이 발생하였다. 특히, 77K의 극저온 환경에서 인장연성의 저하가 두드러졌으며, 이는 극저온 환경에서 용접부의 미세조직적 취약성이 기계적 성능 저하에 미치는 영향을 시사한다. 특히, 잔류응력 측정 시 MP 부위로 갈수록 인장 잔류응력이 증가하는 경향을 보였다. 따라서, 본 연구에서는 레이저 쇼크피닝 공정을 통해 $Co_{17.5}Cr_{12.5}Fe_{55}Ni_{10}Mo_5$ MEA 레이저 용접부에 국부적인 압축 잔류응력 및 미세조직 개선을 통하여, MP 및

HAZ 영역의 기계적 특성을 보완하였다.

[용접1-4 | 09:55]

액화수소저장용기 제작을 위한 기존 상용화 재료의 용접재료 개발 : 남현빈, 박철호* (조선대학교)

Keywords: 오스테나이트계 스테인리스강, 용접재료, 극저온 물성, 미세조직, 성분거동, 용접성

최근 액화수소의 수요량 증가로 인하여 액화수소의 저장 및 운송을 위한 저장 용기의 개발과 관련된 연구가 급격하게 증가하는 추세이다. 현재 극저온용 재료로 사용되는 오스테나이트계 스테인리스강(ASS)은 변형 유기 소성의 특성으로 인하여 저온에서도 극저온 인장 물성이 우수하다. 저장 용기, 파이프 및 밸브 등의 극저온 장비에는 용접이 필수적으로 수반되며, ASS 용접부에서 생성되는 고온/응고 균열, 합금성분 Cr/Ni 당량에 따른 delta-ferrite 형성과 관련된 미세조직 및 성분 거동이 용접성에 미치는 영향에 관한 연구가 지속적으로 수행되고 있다. 특히, ASS의 극저온 물성은 액화 수소저장용기 개발을 위하여 필수적으로 충족시켜야 하는 요구사항이다. 앞서 언급한 바와 같이, ASS는 극저온 영역에서 오스테나이트에서 마르텐사이트로 상변태되면서 비선형적 경화가 발생되며, 이러한 현상은 온도감소에 의하여 적층결함 에너지 감소가 유발되어 마르텐사이트화 상변태가 메인 극저온 메커니즘이 된다. 하지만 마르텐사이트 상변태에 의하여 극저온 강도는 상승하는 반면 연신율은 감소되는 경향을 보인다. 이러한 극저온에서의 용접부 특성을 개선 시키기 위하여 새로운 조성의 용접재료 개발이 필수적으로 요구되고 있다. 현재까지 고엔트로피합금 조성을 통한 신용접재료 개발과 관련된 연구가 수행된 바 있으나 저조한 상온 용접성에 의하여 한계를 나타내고 있다. 본 발표를 통하여 수소저장용기 제작 및 극저온 환경 적용성을 향상시키기 위한 신용접재료의 개발 방향을 제시하고자 한다.

[용접1-5 | 10:10]

핵융합로 구조용 ARAA강 용접부 화학성분 변화에 따른 미세조직 및 기계적 특성에 관한 연구 : 김경환, 문준오* (국립창원대학교), 박이현 (한국핵융합에너지연구원 증식 블랑켓 연구팀)

Keywords: Advanced Reduced-Activation Alloy(ARAA), TIG welding, Weld metal, Tempered Martensite, Post Weld Heat Treatment

전 세계는 지구온난화에 의한 지구의 생태 변화에 대한 심각성을 우려하고 있으며, 이를 해결하기 위한 방법으로 탄소 배출량을 줄이는 탄소중립 실현을 목표로 하고 있다. 이에 따라 탄소 배출량을 줄이면서도 산업계의 에너지 수요를 충족시키기 위해서는 기존의 화석에너지를 대체할 미래에너지원이 필요한 실정이다. 미래에너지원으로서 주목받고 있는 핵융합 에너지 발전은 주원료로 수소를 사용하여 기존의 에너지 발전에 비해 친환경적이며, 원자력 발전과 달리 방사능 유출에 대한 염려가 없다는 장점들이 있어 많은 연구들이 진행되고 있다. 핵융합로를 구성하는 주요한 부품 중 하나인 블랑켓(Blanket)은 핵융합 반응 시 중성자의 운동에너지를 열에너지로 변환 및 중성자를 차폐하는 기능을 담당한다. 따라서 중성자속 및 고온의 가혹한 환경에서 우수한 성능 유지가 필요하다. 저방사강은 우수한 기계적 특성 및 높은 대량 생산성과 더불어 중성자 조사 저항성이 크다는 장점들로 인하여 블랑켓 구조재로 고려되고 있는 후보재료 중 하나이다. 본 연구에서는 한국형 저방사강 후보소재 중 하나인 ARAA(Advanced Reduced-Activation Alloy)강의 용접부 화학성분 변화에 따른 용접부 미세조직 및 기계적 성질 변화에 대해 연구하였다. 이를 위해 Cr, W, Zr 함량이 다른 3종의 용접봉을 제작하였고, 이러한 3종의 용접봉을 이용하여 13mm 두께의 ARAA강 판재에 대해 TIG 용접을 실시 후, 열처리로에서 730ºC에서 60분간 용접 후열처리를 실시하였다. 주사전자현미경(SEM), 투과전자현미경 (TEM) 분석을 통해 용접 후열처리 전/후 용접부 위치별 미세조직 및 석출물 분포를 분석하였고, 상온 및 고온 인장시험 및 충격시험, 비커스 경도시험, 상온 및 고온 저주기 피로 시험 등을 통해 용접부 위치별, 용접 후열처리 전/후, 그리고 온도에 따른 기계적 성질을 평가하였다. 이를 통해 용접부 화학조성 변화에 따른 미세조직 변화와 기계적 성질 간의 상관관계에 대해 고찰하였다.

[용접2-1 | 10:35]

Strong resistance to Zn-assisted liquid metal embrittlement of austenitic-TWIP/martensitic-HSLA multi-layered steel sheets additively manufactured by laser cladding : Seok-Hyun Hong* (Welding & Joining Research Group, Technical Research Laboratories, POSCO) and Sung-Joon Kim* (Graduate Institute of Ferrous & Eco Materials Technology, POSTECH)

Keywords: Zn-assisted liquid metal embrittlement (LME), Austenitic twinning-induced plasticity (TWIP) steel, High-strength low-alloy (HSLA) steel, Additive manufacturing (AM), Multi-layered steel (MLS) sheet

In resistance spot welding, Zn-coated steel sheets are exposed to high temperature and stress, which may cause the liquid metal embrittlement (LME). TWIP steel has been reported to be susceptible to LME, and austenitic microstructure was often considered to be the cause of vulnerability. However, the explanation for the role of microstructure is still unclear. In this study, the austenitic-TWIP/martensitic-HSLA steel multi-layered sheets (MLSs) were manufactured. Compositionally graded multi-layers from TWIP to HSLA steels were deposited on the surface of a TWIP slab (140 mm-thick) by a powder feed additive manufacturing. This slab was homogenized, hot-rolled, and cold-rolled to fabricate a 1.6 mm-thick MLS with a 30 to 50 μm-thick clad layer depending on the number of depositions. After spot welding, the LME cracks were effectively alleviated in MLSs compared to monolithic TWIP steel sheets. Thus, the effect of the clad layer, or subsurface microstructure, on the severity of LME was investigated.

[용접2-2 | 10:50]

2.0 GPa급 웜스탬핑 중망간강 저항 점 용접부 접합강도에 미치는 Paint Baking 효과 연구 : 장여진, 황순기, 이수민 (동의대학교), 이진영, 이영국 (연세대학교), 김동옥 (한국자동차연구원), 박영도* (동의대학교), Sunusi Marwana Manladan (Bayero University)

Keywords: Warm stamping, Medium Mn steel, Resistance spot weldability, Microstructural evolution, Failure behavior

Martensite 조직을 가진 초고강도 중망간(Mn)강은 낮은 오스테나이징 및 성형 온도, 에너지 비용 절감, 높은 생산성 등의 장점으로 인해 자동차 차체에 적용되는 핫 스탬핑 보론강을 대체하기 용이한 소재로 주목받고 있다. 그러나 자동차 차체 적용을 위한 저항 점 용접부 특성 평가에 대한 연구는 현재까지 미흡하여 본 연구에서는 2.0 GPa급 중망간강 소재 대상으로 저항 점 용접을 수행했으며, 용접 접합부의 미세조직, 합금성분 편석, 기계적 특성 평가, 전단 및 십자 인장 하중에서의 파단거동을 고찰하였다. 그 결과, 용융부 영역(FZ)은 Fully Martensite이며, 주로 망간(Mn)과 탄소(C)의 원소 편석이 수지상 영역에서 관찰되었으나 핫 스탬핑 보론강의 저항 점 용접부에서 관찰되는 Fusion boundary 에서의 탈탄, 즉 Halo Ring은 관찰되지 않았다. 전단 및 십자인장 평가 결과 점 용접부 내 용융부 영역(FZ)과 열영향부(HAZ)에서 Secondary crack이 발생하였다. 기존 연구 결과에서 페인트 베이킹(PB) 후 다양한 접합강도 및 파단특성 개선이 보고 되었기에 본 연구에서 유사한 PB (180°C, 20분)이 적용됐으며, 이에 대한 효과를 조사하였다. PB 공정은 용융부 영역(FZ)과 열영향부(HAZ)에서의 원소 재분포 및 탄화물 형성을 유도했으며, 기계적 특성 평가 시 용접부 접합부에서 Secondary crack이 형성되지 않았다. 결과적으로 PB 공정 적용을 통해 저항 점 용접부의 전단인장강도 약 40% 증가했으며, 십자인장강도 약 100% 향상되었다.

[용접2-3 | 11:05]

알루미늄도금 열간성형강의 저항점용접특성 및 용접솔루션 개발 : 한도경* (포스코)

Keywords: 저항점용접, 열간성형강, 용접솔루션, 인공지능, 용접부 성능예측

최근 전세계적으로 화석연료의 고갈이 진행됨에 따라 지속가능한 개발, 탄소배출 규제, 대체 에너지의 개발 등 탄소중립을 목표로 하는 환경정책에 대응한 기술개발이 요구되고 있다. 전세계 자동차 메이커는 연비 향상이나 충돌 안전성 확보를 위해 차체의 경량화와 동시에 철강 소재의 강도 향상을 강력하게 추진하고 있다. 이러한 자동차 고객사들의 요구에 대응하기 위해, TRIP (Transformation Induced Plasticity) 강, TWIP(Twinning Induced Plasticity) 강, 마르텐사이트 강, HPF(Hot-Press Forming)강과 같은 고강도강(Advanced High Strength Steels, AHSS)을 개발하였으며 다양한 차종에 적용되고 있다. 특히 열간성형, Hot-Press Forming 강은 합금 원소의 첨가량을 최소화하면서 우수한 기계적 특성을 갖기 때문에 다양한 산업 분야에서 사용되고 있다. 특히, 해당 제품은 제조특성 상 위에서 언급한 자동차용 고강도강의 한계인 가공 후 원형으로 되돌아가고자 하는 Spring-back 현상을 최대한 억제할 수 있으며, 부품에 필요한 복잡한 구조를 얻기 위해 고온에서 성형할 수 있기 때문에 자동차, 항공우주, 조선 등의 분야에서 널리 사용되고 있다. 다만, 열간성형공정 과정 내 탄소의 외부 확산, 탈탄 현상을 방지하기 위해서, 소재의 표면에 금속계 도금을 실시하는 것을 피할 수 없고, 통상 상용화된 열간성형제품에는 알루미늄계 도금강판이 시판되고 있다. 그 결과 열간성형 중 모재로부터 Fe 금속원소가 알루미늄계 도금층으로 확산되어 Fe-Al계 금속간 화합물 및 표층에 산화물을 형성하고, 이것은 열간성형 소재의 저항상승에 직접적으로 영향을 발생시켜 저항용접성을 저하시키는 주된 요인 중 하나가 되고 있다. 또한, 용접 후 생성된 금속간 화합물층은 취성에 매우 민감하여, 자동차 부품에서 요구되는 일정수준 이상의 용접부 강도 또는 건전한 용접부를 얻는 것이 어려운 것으로 알려져 있다. 따라서 금번 연구에서는 기존 알루미늄계에서 탈피하여 포스코에서 새롭게 개발한 알루미늄 합금도금계 열간성형강판의 저항점용접성의 현황, 열간성형공정 시 열처리조건제어 및 점용접공정 개선 등 용접솔루션 개발을 진행하였으며, 열간성형조건에 따른 저항용접성의 변화를 도금층 내 미세구조분석으로 규명하였다. 이외에 4차 산업혁명의 흐름에 편승하여 인공지능(Artificial Intelligence)을 통한 저항점용접부 성능 및 품질예측에 대한 내용을 포함하고자 하며, 적용 가능한 다양한 기계 및 딥러닝 학습알고리즘과 신경망모델을 적용하여 양산 및 개발 중인 열간성형강판의 저항점용접특성을 예측하는 방안에 대하여 다루고자 한다.

[용접2-4 | 11:20]

Al-Zn 개발 도금재의 도금 부착량에 따른 저항 점용접 연속타점 시 전극 합금화 거동 연구 : 장여진, Nellikode savyasachi, 황순기 (동의대학교), 강남현 (부산대학교), 엄상호 (포스코 글로벌 R&D 센터), 이석규, 백두진 (포스코 기술연구원), 박영도* (동의대학교)

Keywords: Al-Zn 도금, 도금층, 도금 부착량, 전극 수명, 저항 점용접

현재 자동차 산업에서 차량 보증기간 증가로 인한 내식성 보증을 위해 아연 도금 강판의 채용이 현저히 증가하고 있다. 하지만 자동차 산업에서 주로 사용하는 GI 또는 GA 도금재의 경우 LME 균열 민감도 등의 제한이 다수 보고되어 왔다. 따라서 내식성 및 용접성의 향상을 목적으로 개발된 Al-Zn 도금재는 동일 두께 기준 아연 도금 대비 내부식성 높으며, LME 균열 민감도가 낮다고 보고되었다. 따라서 본 연구에서는 Al-Zn 도금재의 저항 점용접 특성 및 연속타점 시 전극 수명에 대한 원리 및 Cu-Cr 전극 합금화 거동 연구를 수행했다. 또한, 저항 점용접 연속타점 수명과 도금량과의 상관성 연구를 위해 Al-Zn 도금 부착량 낮은 경우와 높은 경우의 전극 합금화 거동을 함께 연구하였다. Al-Zn 도금 부착량이 낮은 경우 연속타점 용접 초기(Stage I) 전극표면에는 $CuAl_2$ 합금화 층 생성과 함께 전극 선단경의 증가율은 낮으나, Stage II 이후 전극 표면에 Central Cavitation의 발생으로 인해 전극 마모가 가속화되었다. 반면, Al-Zn 도금 부착량 높은 경우 용접 초기(State I) 전극 팁 직경 증가율이 높았으나, Stage I 이후 전극 표면의 Radial Cavitation이 발생하여 전극 마모율 감소 또는, 유사한 수준을 나타내었다. 본 연구 결과 Al-Zn 도금재의 연속타점 전극의 열화는 전극 표면에 $CuAl_2$ 및 Cu_9Al_4합금상의 형성에 따라 Cavitation 발생 및 성장과 함께 열화가 진행되며 도금 부착량이 높은 경우의 전극은 Radial Cavitation 형성에 따라 저항 점용접 과정에서 낮은 전류 밀도의 유지와 함께 Central Cavitation이 지연되어 점용접 연속타점 합금화 특성에 차이가 존재하였다.

[용접3-1 | 13:00]

1.5G급 초고강도강/Al 합금의 Lasser SPR 접합성에 미치는 리벳 재질의 영향 : 이목영* (㈜포스코)

Keywords: 초고강도강, 알루미늄합금, 기계적체결, 레이저 SPR, 리벳

전기자동차에서는 배터리 보호를 위하여 측면충돌에 대한 높은 저항성이 요구되어 핫프레스포밍강, MART강 등 1.5G급 이상의 초고강도강이 사용된다. 또한, 측면충돌저항성을 더욱 높이기 위하여 프리미엄급 차량에서는 알루미늄 프로파일이 사용된다. 이와같은

경우 초고강도강과 알루미늄합금의 이종접합이 요구되는데, 적용 가능한 접합방법이 제한적이다. 기계적 체결은 철강과 알루미늄의 이종접합에 많은 장점을 보유하여 널리 사용되고 있으나, 1.5G 급 이상의 강재에는 적용이 곤란하다. 초고강도강은 경도가 높은 마르텐사이트 조직을 다량 생성시켜 강도를 높이므로, 가열온도와 냉각속도를 제어하는 열처리를 통하여 소재의 강도 저하가 가능하다. 특히, 레이저를 사용하는 경우 접합부만을 선택적으로 연화시켜 부품의 강성은 유지하면서 접합하는 것이 가능하다. 본 연구에서는 레이저 조사 SPR 접합공정에서 접합특성에 미치는 리벳의 재질의 영향을 알아보고자 하였다. 초고강도강의 레이저 국부열처리를 통하여 비커스 경도 300 이하로 연하시키는 것이 가능하였으며, 강도 1G급 강재용 리벳을 사용하여 접합이 가능하였다.

[용접3-2 | 13:15]

레이저 와블링 용접이 Al/Cu 겹치기 용접부의 기계적 특성에 미치는 영향 : 윤성민, 유채은 (부산대학교), 김용 (고등기술연구원 지능기계시스템센터), 이제인* (부산대학교)

Keywords: laser wobble welding, lap joint, dissimilar welding, intermetallic compound, fatigue

전기자동차는 리튬 이온 배터리 팩을 동력원으로 사용하는 친환경 자동차이다. 배터리 팩은 여러개의 배터리 셀들로 구성되는데, 이때 불가피하게 Al과 Cu간 이종 접합이 필요하다. 최근에는 레이저 용접을 많이 적용하고 있지만, Al과 Cu의 경우 레이저 용접 시, 용접부 특성을 저하시킬 수 있는 여러 금속간화합물이 형성된다. 레이저 와블링은 동일 출력의 선형 용접에 비해 넓은 계면 비드폭의 확보, 용융풀 유동 변화를 통한 미세조직 제어 등의 장점이 있어 많은 연구가 되고 있다. 본 연구에서는 레이저 와블링 진폭을 0.1 (저진폭), 0.4, 0.5 mm (고진폭)로 다르게 하여, 용접부의 형상 및 미세조직의 변화와 이것이 기계적 특성에 미치는 영향을 단일 선형 용접 결과와 비교 분석하였다. 와블링 용접 시, 단일 선형 용접에 비해 계면 비드폭이 넓어졌으며, 진폭이 증가할수록 Cu 모재로의 용입이 감소하여 용접부 내 Cu 함량이 감소하였다. 단일 용접과 저진폭 용접 시편에서는 Al 용접부 내에 취성의 θ, η, γ 상이 주로 형성되었지만, 고진폭 용접 시편에서는 Al 용접부 내에 주로 연한 초정 α, α-θ 공정조직이 형성된다. 이러한 차이로 인해, 단일 선형 용접과 저진폭 용접 시편에서는 Al 용접부를 통해 파단이 발생하지만, 고진폭 용접 시편에서는 Al 열영향부를 통해 파단이 발생한다. 피로시험을 진행한 결과, 단일 선형 용접 시편 대비, 고진폭 용접 시편에서 피로수명이 약 15~30배 증가하였고, 더 높은 하중에서 10^6 cycle 시험 후에도 파단 되지 않았다. 이러한 결과를 바탕으로 Cu 모재 두께 대비 약 50% 정도 부분적으로 용입을 시켰을 때, 효과적으로 기계적 특성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

[용접3-3 | 13:30]

Ag 나노 다공성 시트와 무도금 Cu 기판의 산화 없는 접합기술 개발 : 조은진 (한국생산기술연구원, 국립안동대학교), 김예리 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 박영배 (국립안동대학교), 김동진* (한국생산기술연구원)

Keywords: Ag 나노 다공성 시트 신터링, 무도금 Cu 기판, 고온 대기 분위기 접합, 산화 방지, 후방산란전자 회절패턴분석 (EBSD)

이 연구는 Ag 도금된 기판-에폭시 몰딩 컴파운드(EMC)간 불충분한 접합력 이슈 해결을 위해, 도금되지 않은 Cu 기판을 사용하여 대기 분위기에서 Ag 나노 다공성 시트 접합이 수행되었다. 250°C와 280°C의 접합온도에서 10분 동안 15 MPa의 균일 가압력으로 몇 분 동안 도금되지 않은 Cu 기판(10×10×2mm)과 Ag 도금 다이(3×3×1mm)는 나노 다공성 Ag 시트로 접합되었다. 그 결과, 별도의 보조가스가 없는 280 °C의 접합공정에서 약 40 MPa을 초과하는 접합 강도가 달성되었으며, 이 과정에서 균일 가압 시스템은 250 °C와 280 °C의 고온 대기 분위기에서 Cu 기판의 표면 산화를 효과적으로 억제할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 접합 계면의 미세 구조를 주사전자현미경 (SEM)으로 분석한 결과, 접합 온도가 250°C에서 280°C로 증가함에 따라 소결 층의 necking 길이가 58% 증가한 것으로 나타났다. 또한, 소결된 계면의 결합 비율은 접합 온도가 250°C에서 280°C로 증가함에 따라 최대 30%까지 증가했다. 결과적으로, 접합 강도는 necking 길이와 연결 비율에 따라 크게 달라졌다. 이 연구는 도금 없는 Cu 기판에 대기분위기에서 산화없이 Ag 소결 접합을 구현하는 실질적인 대안을 제시함으로써 SiC MOSFET 파워모듈의 보편화를 보다 앞당길 수 있는 가능성을 제시한다.

[용접3-4 | 13:45]

The Effects of Aging Time on Mechanical and Thermal Properties of Sintered Silver nanoparticles with Pressure for Power Electronics : Yu Hayoung*, YehRi Kim, Min-Su Kim, and Dongjin Kim* (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))

Keywords: silver sintering mechanical properties thermal conductivity aging test reliability

Sintered silver (Ag) nanoparticles have been attracting attention as joining technologies to power module of electric vehicles (EVs) for decades. To design and simulate automotive power electronics, it is necessary to understand the changes in the properties of silver under various operating environments. Previous conventional researchers reported the properties of sintered silver particles without pressure due to concerns about mass production. However, recently, the applications of pressured Ag sintering have been applied to mass production in the TESLA A model 3, and understanding the properties of sintered silver under pressure has become important. In this study, aging tests, which are reliability evaluation experiments, were performed at 250 ℃ for varying the time from the initial state to 500 hours, and it was found that the pore network of the sintered Ag is important in explaining the change of mechanical and thermal properties according to different porosities and aging time. Since the porosity increases and the pore network weakens, the bonding strength between Ag atoms decreases, which leads to a decrease in the tensile strength and an increase in the strain, the increase of thermal conductivities.

[용접3-5 | 14:00]

Mechanical properties of in-air Cu sintering for SiC power module : Yeh Ri Kim (Korea Institute of Industrial Technology

(KITECH), Korea University), Ha-young Yu, and Dongjin Kim* (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))
Keywords: Cu sintering, in-air atmosphere, Pressure-assisted bonding, Mechanical strength, Microstructure

In response to the emergence of wide band gap semiconductor power modules, Cu sintering is emerging as a cost-effective interconnect technology in comparison to Ag sintering. However, the use of Cu sintering is limited by the occurrence of in-process oxidation, which has a substantial negative impact on the mechanical, thermal, and electrical properties of the material. Therefore, studies on Cu sintering in an air atmosphere are limited and typically performed using a protective atmosphere. In this study, Cu sintering was conducted in an air environment, resulting in the successful formation of a sinter joint without the occurrence of oxidation of the Cu. As a result, we achieved bonding strength exceeding approximately 36 MPa with a bonding time of 30 min at 250 °C. A correlation was identified between the size of the Cu particles and the features of the Cu joint structure As the size of Cu particles decreased from 2 μm to 0.3 μm, a 31% reduction in porosity and a 54% increase in the connected ratio were observed, respectively. The die shear strength of Cu sintered joints showed a significant increase when the Cu grain size was reduced to 0.3 μm, reaching 182% of the strength when the Cu grain size was 2 μm. This study conducted a comprehensive quantitative analysis to identify the crystallographic behavior of Cu sintered joints, specifically focusing on the role of Cu particle size and the bonding strength mechanism, while considering the interrelationship between microstructures and mechanical behavior.

[용접4-1 | 14:15]

API X70 ERW 강관 용접부 저온 충격 인성 향상 및 미세조직 안정화를 위한 M-A 저감 후열처리 공정 조건 최적화 : 이찬희, 백종민, 홍현욱* (국립창원대학교), 곽진섭, 전동현 (현대스틸파이프)
Keywords: Electric Resistance Welding, X70 steel pipe, Martensite-Austenite constituent, Low temperature toughness, Post seam annealing

본 연구에서는 극저온 석유수송용 전기저항용접(Electronic Resistance Welding, ERW) 강관의 용접부에 대한 Post Seam Annealing(PSA) 조건이 그 미세조직과 저온충격인성에 미치는 영향을 해석하고자 하였다. PSA를 적용하지 않은 as-weld 조건의 경우, 용접부에서 banitic ferrite가 관찰되었으며, 용접부인 bondline에서 Martencite Austenite constituent(M-A)가 pearlite와 함께 강관의 반경 방향에 평행하게 분포하는 것을 확인하였다. PSA가 적용된 강관의 경우, bondline 뿐만 아니라, Heat Affected Zone(HAZ) 영역에서 polygonal ferrite-pearlite 조직이 지배적으로 관찰되며, 특히 M-A가 약 3%의 분율로 관찰되었다. 이러한 M-A는 일반적으로 저온 환경에서 외부의 충격이 가해졌을 때, 그 계면에서 crack initiation을 일으키고, 주변으로 삼축 응력이 집중되도록 하여 BCC (100)면을 따라 벽개파단을 유발하는 등, 저온충격인성에 부정적인 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 또한 이러한 M-A는 일반적으로 용접을 하였을 때, HAZ에서 형성되는 것으로 알려져 있으나, 본 연구의 ERW 강관에 대한 PSA는 A3온도 이상에서 normalizing을 하기 때문에, 용접부가 아니더라도, 후열처리의 영향을 받은 영역에 다수의 M-A가 형성될 수 있음이 확인되었다. 이러한 M-A는 후열처리 조건에 따라, 분율, 크기, 내부 조직 등이 달라질 수 있음을 확인하였고, Gleeble을 통한 후열처리 모사시험을 통해 PSA 조건에 따른 M-A 등의 미세조직 변화와 저온충격 인성의 변화를 관찰하였다. 이때 특히 낮은 온도 및 느린 냉각 속도를 가지는 PSA 조건에서, 미세한 결정립 크기, 매우 낮은 수준의 M-A 분율이 나타나며 용접부와 모재부 모두에서 우수한 저온 충격 인성을 가지는 것이 확인되었다. 이러한 일련의 연구들을 통해, PSA와 같은 후열처리 조건이 미세조직과 저온충격 특성에 미치는 영향을 체계적으로 파악하고, ERW 강관 용접부의 저온충격 향상을 유도하기 위한 방안을 제시하였다.

[용접4-2 | 14:30] Canceled

구조용 탄소강 SM20C와 합금강 SCM420H 전자빔 용접 접합부에 대한 미세구조 및 기계적 특성 연구 : 이대국, 조용재, 박희수 * 인하대학교), 손태오 (인하대학교, HD한국조선해양), 김상열*, 현승균* (인하대학교)
Keywords: Electorn beam welding, Beam current, Heat affected zone, Martensite, Bainite

농기계용 클러치는 동력 전달 및 제어 역할을 하는 핵심 부품으로, 높은 기계적 신뢰성이 요구된다. 기존의 주물 공정과 절삭 가공 과정은 시간 소모가 크고 불량률이 높아 생산 효율이 저하될 수 있다. 이러한 문제를 개선하기 위해 최근에는 플로우 포밍(Flow forming) 공법의 적용이 주목받고 있다. 하우징(Housing)에는 성형 및 가공성이 우수한 기계 구조용 탄소강을 사용해 플로우 포밍을 적용할 수 있다. 그러나 축(Shaft)에는 하우징보다 더 높은 강도가 요구되기 때문에, 고강도 합금을 사용해야 한다. 공정 개선 및 기계적 특성을 충족하기 위해 하우징과 축에 서로 다른 강종을 사용하며, 이들 부품의 접합에는 안정성이 높은 전자빔 용접을 활용한다. 본 연구에서는 구조용 탄소강 SM20C와 합금강 SCM420H를 사용하여 실험을 진행하였다. 전자빔 용접기의 공정 변수 중 하나인 빔 전류(Beam current)를 30~50 mA 범위에서 조절하여 접합부를 제작하였으며, 용접 조건에 따른 미세구조 변화를 분석하기 위해 광학 현미경과 주사전자현미경(SEM)을 사용했다. 특히, 용접부의 경도와 인성에 직접적으로 영향을 미쳐 기계적 성질을 결정짓는 핵심 요소인 마르텐사이트와 베이나이트 상을 분석하였다. 용접부의 기계적 성질을 평가하기 위해 경도 및 인장시험을 실시하였으며, 각 소재의 용접부와 모재 간의 상관관계를 정량적으로 평가하여 미세구조 기계적 성질 사이의 관계를 분석하였다.

[용접4-3 | 14:45]

Improving Hot Tensile and Impact Toughness of Multi-pass Weld Metal of 460 MPa Fire and Seismic Resistant Steel : SAVYASACHI NELLIKODE, Yeong-Do Park* (Dong-Eui Univ.), Ye-Seon Jeong (Chosun Welding), and Hyung-Kwon Park (Korean Institute of Metals and Materials)
Keywords: H-Beam, Construction steel, Microstructure, Hot tensile testing, Martensite-Austenite Constituents

The objective of the study is to investigate the hot tensile and impact toughness properties of multi-pass weld metal in 460 MPa fire and seismic-resistant H-Beam steels, used in construction applications. The research focuses on understanding how microstructural variations influence high-temperature yield strength and impact properties of these welded parts. Welding was performed using different consumables, with modifications in the weld metal chemistry aimed at optimizing both high-temperature strength and impact toughness. Hot tensile tests were conducted at 600°C, achieving a minimum yield strength of 307 MPa, while Charpy impact tests were performed at -5°C to assess toughness. The microstructure of as-deposited (AD-WM) and reheated weld metal zones (RHZ) were characterized and analyzed, with particular emphasis on the role of alloying elements such as titanium (Ti), manganese (Mn), nickel (Ni), and molybdenum (Mo). The study found that increasing the Ti and Mn content in the weld metal promotes the formation of a fine acicular ferrite (AF) microstructure. This microstructure, characterized by high dislocation density and high-angle grain boundaries (HAGB), enhances material hardness and strength by impeding dislocation motion and reducing grain boundary sliding. Additionally, the incorporation of Ni and Mo into the weld metal strengthens it through solid solution hardening, hindering dislocation movement and maintaining a fine microstructure even at elevated temperatures. The fracture mechanism during hot tensile testing was found to involve the nucleation, growth, and coalescence of micro-voids, with dynamic recrystallization (DRX) playing a significant role. The study suggests that controlling deformation post-DRX is crucial in reducing cavitation and enhancing fracture resistance.

[용접4-4 | 15:00]

고온 환경에서 탄탈륨 합금과 스틸 폭발압접 계면의 미세조직 변화와 구조적 안정성 : 김시연 (국립창원대학교), 장성진 (나노종합기술원), 김동훈, 양성호 (국방과학연구소), 홍현욱* (국립창원대학교)

Keywords: Explosive welding, Ta/steel dissimilar metal, Interface, Microstructure, Thermal cycles

탄탈륨 (Ta) 합금은 융점이 3,000 °C 이상 매우 높고, 내마모성과 부식 저항성이 뛰어나 고온 산화/부식 분위기에 운용되는 구조용 강재들을 보호하는 클래드 (clad) 소재로서 발전, 우주항공, 석유화학, 국방 분야 등에 주로 사용된다. Fe계 철강 소재의 파이프의 내면에 고내식성 소재인 Ta 합금을 클래딩하는 double layer 파이프를 제작하기 위해서는 Fe 대비 Ta의 녹는점이 3,000ºC 이상으로 매우 높아 용융 접합이 어렵기 때문에 폭발에 의한 고속 충격에너지를 이용하여 고상 접합하는 폭발 압접으로 접합할 수 있다. 폭발 압접 시 공정변수에 따른 폭발 정도에 따라 탄탈륨 합금/스틸 접합 계면의 미세조직 및 기계적 건전성이 달라지기 때문에 반복 열사이클에 의해 파이프의 내구성이 달라지게 된다. 따라서, 본 연구에서는 탄탈륨 합금/스틸 이종재료 폭발 압접 계면부의 미세조직 및 기계적 건전성에 대해 고찰하고, start-up/shut-down을 모사한 반복 열사이클에 따른 접합 계면의 미세조직 변화에 대해 고찰하고자 하였다. 주사전자현미경을 통한 공정변수별 접합계면 관찰 결과, 폭발이 약한 조건에서는 폭발 압력 및 충돌에너지가 미흡하여 vortex가 생기지 않고 낮은 진폭의 파형 계면이 형성된 반면, 적정 폭발 조건에서는 Ta/Fe의 교반에 의한 vortex 및 높은 진폭의 파형 계면이 나타났다. 또한, 강한 폭발 조건에서 형성되는 inter-mixed zone (IMZ)의 경우 금속간 화합물 (Intermetallic Compound, IMC)의 취성에 따른 종방향 균열이 발생하였다. 한편, vortex가 형성된 파형 계면에서는 vortex 내부에 vortex melted zone (VMZ)이 관찰되었는데, 투과전자현미경을 통한 분석 결과, VMZ는 환형 diffraction pattern을 보이는 비정질 (amorphous)로 확인되었다. VMZ는 고속 충격 에너지에 의한 열과 shear force로 Fe와 Ta이 mixing되어 순간 melting되고, 주변을 에워싸는 차가운 탄탈륨 합금에 의해 매우 빠르게 냉각되어 비정질로 형성된다. 탄탈륨 합금과 스틸은 열팽창계수의 차이가 크기 때문에 반복 열사이클 시험 시 vortex의 모양과 VMZ 분포가 매우 중요한 인자임을 확인하였으며, 상변태 거동과 연계하여 고찰하고자 한다.

[용접4-5 | 15:15]

SUS316 용접 시뮬레이션을 통한 공정 최적화 연구 : 유한준, 장병록* (인하대학교제조혁신전문대), 박은혜 (인하대학교제조혁신전문대, 한국폴리텍대학)

Keywords: Welding, Simulation, FEM

용접은 제조 공정에서 매우 중요한 공정 중 하나로, 제품의 품질과 생산성을 크게 좌우한다. 그러나 용접 공정은 열 변형, 잔류응력, 결함 발생 등의 문제가 수반되며, 이는 최종 제품의 성능에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 한편 이러한 문제를 정략적으로 해결하기 어려운 것은 사실인다. 범용소재인 SUS316를 통해 부정적인 영향을 최소화하고 공정 효율성을 높이기 위해 용접 시뮬레이션을 수행하였다. 주유한 요소 해석(FEA)을 기반으로 한 시뮬레이션을 통해 다양한 용접 조건에서의 온도 분포, 열 변형, 그리고 잔류 응력을 예측하고, 이를 바탕으로 최적의 용접 공정을 도출하고자 한다 시뮬레이션 결과를 통해 공정 변수가 용접 품질에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

가공-표면처리
Room 오디토리움, 10월 30일

[표면1-1 | 09:00]
저압 고온 산화 후 유기물 코팅한 전해 동박의 내식성 향상 : 김두원 (한국재료연구원, 경상국립대학교), 최은애, 정일석, 박준상 (한국재료연구원), 강성규 (경상국립대학교), 한승전* (한국재료연구원)
Keywords: Electrodeposited copper foil, Corrosion resistance, Copper oxide layer, Anti-bacteria
구리는 구조물과 장식품에 사용되며 항균성을 띄기 때문에 접촉에 의한 감염 전파를 막을 수 있다. 하지만 산성 및 알칼리성 분위기 같은 극한 환경에서는 표면 오염과 부식이 쉽게 발생해 제품의 내구성을 저하시키고 항균성에도 영향을 끼친다. 본 연구는 구리의 내식성을 향상시키기 위해 저기압(낮은 산소 분압) 하에서 전해 동박을 산화시켜 치밀한 산화층을 표면에 형성시켰다. 동박과 산화시킨 동박에 지방산을 도포하고 가열한 후, 지방산 코팅이 산화 동박 그리고 산화시키지 않은 동박의 내식성 및 항균성에 미치는 영향을 평가하였다. 산화된 동박은 산화되지 않은 동박에 비해 염기 및 해수에 대한 내식성이 향상되었다. 유기물 코팅의 경우 산화 유무에 관계없이 내식성을 향상 시켰다. 추가로, JIS Z 2801:2010 항균시험을 통해 산화층을 형성시킨 동박 위에 지방산 코팅을 하였음에도 불구하고 박테리아를 99.9% 이상 사멸시키는 항균성을 유지하는 것을 확인하였다. 이로써, 저압 산화된 동박과 지방산 코팅이 내식성을 향상시키면서도 본래의 항균성을 유지할 수 있음을 입증하였다.

[표면1-2 | 09:15]
The development of pickling process : HyunJong Kim* (POSCO)
Keywords: pickling, acid, additives, inclusion, temperature
With the development of iron and steel industry, progress in the pickling directly affects the enterprise's economic toward social benefit. The purpose of this study is based on the optimization of each process parameter in the pickling process, such as the useful method of acid washing liquid and concentration of additives and control of inclusion. Application of this method to the actual pickling work were introduced at the current pickling process. This study showed that the current acid concentration control for the most appropriate pickling time, the inclusion content, and temperature should be modified with the different pickling condition in a certain range. Finally the resulting composition formula as pickling additives were adapted to the process line. The additives have positive effects on accelerating pickling and acid mist inhibition. With Application of the optimized pickling process, the resulting surface quality of the metal plate and pickling efficiency were improved obviously, including the production of acid mist volatilization and waste acid are decreased. It proved certain environmental friendliness and playing a positive role in the metal plate production from this process optimization. In addition, the cold rolling process efficiency from the the pickling process variation was analyzed.

[표면1-3 | 09:30]
철 산화 거동에 미치는 산소 분압의 영향 : 박준상 (한국재료연구원, 부산대학교), 김두원, 김강민, 정일석, 최은애 (한국재료연구원), 권세훈 (부산대학교), 한승전* (한국재료연구원)
Keywords: 철, 철산화물, 저압 산화
철은 대기 중 산소와 빠르게 반응하여 표면에 산화층이 형성되며, 이 산화층은 쉽게 박리된다. 그러나, 산화층이 충분히 두껍고 치밀할 경우, 내부 금속 기지를 보호하는 역할을 할 수 있다. 따라서, 치밀한 산화층을 형성시키기 위해 산화 거동을 이해할 필요가 있다. 본 연구는 산화 속도를 제어하기 위해 온도와 산소 분압을 변화시켰으며, 특히 대기압에 비해 낮은 기압에서 철의 산화 거동이 어떻게 변화하는지 살펴보았다. 일반구조용 강재인 SS275 (Fe-0.25C-0.45Si-1.4Mn)를 사용하여 500°C에서 1 atm ~ 1/50000 atm 하에서 5분 ~ 240분 동안 형성된 산화물층의 형상 및 두께를 측정하였다. 온도와 기압에 상관없이 시간이 지날수록 두께성장률이 포물선 형태로 급격하게 감소하였으며, 시간, 압력 그리고 온도에 따른 parabolic rate constant를 계산할 수 있었다. 이를 통해 압력과 온도를 고정한 상태에서 parabolic rate constant 변화의 기울기, 즉 활성화 에너지를 계산하였다. 대기 중 형성된 산화층과 비교했을 때, 1/10000 atm에서 형성된 산화층의 두께는 더 큰 반면, 더 낮은 압력인 1/50000 atm에서 형성된 산화층의 두께는 더욱 작은 것으로 나타났다. 그러나, 1/50000 atm에서 형성된 산화층의 경우 두께가 얇음에도 불구하고 접합성이 우수한 것으로 나타났다.

[표면1-4 | 09:45]
Ti-6Al-4V 합금의 산소함량에 따른 표면처리가 기계적 및 전기화학적 특성에 미치는 영향 : 박세영, 이동근* (국립순천대학교)
Keywords: Ti-6Al-4V, oxynitriding, Vacuum Rapid Oxynitriding (VRO), mechanical properties, electrochemical properties
최근 세계 경제 성장과 더불어 천연 자원 및 에너지에 대한 수요가 증가하고 있다. 그 중 Ti-6Al-4V 합금은 우수한 내식성, 기계적 특성, 경량화를 바탕으로 심해 및 초심해에서의 석유 및 가스 시추에 적용하기 위한 oil drill pipe에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 타이타늄의 낮은 표면 경도로 인한 마모 저항성 문제로 짧은 교체 주기와 적용 범위의 한계가 있다. 본 연구에서는 타이타늄의 마모 저항성을 개선하기 위해 질소와 산소 함량에 따른 Vacuum Rapid Oxynitriding (VRO) 공정을 적용하였다. 또한, 전기화학적 평가로 수소 이온의 영향을 받은 표면 경화층에 대해 볼 온 디스크(ball-on-disk) 방식으로 마모 시험을 수행

하여 전기화학적 특성과 기계적 특성 간의 연관성을 분석하였다. 더불어 혼합 가스 비율에 따라 TiO_2, TiN 및 TiN_XO_{1-X} 등의 다층(multi-layer) 형성 메커니즘 분석과 기계적 및 전기화학적 특성의 복합적인 실험 환경에서의 상이한 multi-layer과 열-확산층에 따른 영향을 고찰하였다.

[표면1-5 | 10:00]

Zn-Mg-Al 도금 강판의 전단면 내식성에 미치는 소재와 도금 두께 상관 연구 : 정창우, 나광수*, 장건우, 최혜림, 소성민 (현대제철 기술연구소)

Keywords: Zn-Mg-Al 도금, 용융아연도금강판, 내식성, 표면처리

일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 건자재(태양광구조물, 가드레일, 덕트 등)에는 주로 철강소재가 적용되고 있다. 그러나, 철강소재는 쉽게 녹이 발생하는 단점이 있는데 철강업계에서는 이를 방지할 수 있는 다양한 용융아연도금 강판을 생산하고 지속적으로 내식성을 향상시키려는 노력을 하고 있다. Mg이 포함된 용융아연도금 강판의 경우 우수한 표면 내식성 뿐만 아니라 가공부에서 도금층 크랙이 발생하거나 강판의 전단면에 노출된 소지층 부위에서도 양호한 내식 특성을 보이는 것으로 알려져 있다. 이는, 도금층에 포함된 Mg성분에 의해 치밀하면서도 안정적인 부식 생성물인 Simonkolleite나 LDH(Layered Double Hydroxide)가 생성되어 도금층 크랙이나 전단면에 노출된 소지층을 보호하는 self-healing 효과를 제공하기 때문이다. 따라서 Mg이 포함된 도금 강판의 경우 아연도금강판 대비 비교적 낮은 도금부착량으로도 동일한 내식성을 확보할 수 있기 때문에 도금부착량을 저감하여 강판의 원가 절감 부분에 기여할 수 있다. 하지만, 아연도금강판 대비 도금부착량을 지나치게 낮출 경우 양호한 내식성을 확보하지 못할 수 있고, 반대로 높을 경우 소재의 제조원가 상승을 야기시킬 수 있기 때문에 적정 도금부착량을 도출하는 것이 중요하다. 이 때 소치층의 두께에 따라 전단부 직상의 표면 도금층의 소진량과 미세조직특성이 변화할 수 있는데 이에 대한 연구 및 실험적 고찰은 미미한 실정이다. 본 연구에서는 전단면 내식성에 미치는 소재(Fe 소지층) 두께와 도금 두께에 대한 상관 영향 분석을 통해서 일정시간 전단면 내식성을 확보할 수 있는 소재 두께 별 최소 도금 두께를 실험적으로 확인하고자 하였다. Zn-Mg-Al 용융 도금을 위해서 일본 RHESCA 社의 HSPS-250AN 장비를 사용하였고, 용융도금용 Full-hard 소재는 1, 3, 5 mm 두께로 준비하여 도금 두께 별로 도금 모사를 진행하였다. 내식성 평가를 위해서 염수분무시험장비(Q-Fog)를 활용하여 5% Nacl 용액 조건, ASTM B117 규격 하에서 진행하였다. 전단면과 전단면 직상의 표면에서의 부식특성을 확인하였고, 형성되는 부식생성물과 도금층의 미세조직 변화를 규명하기 위해 SEM, XRD 분석을 진행하였다.

[표면2-1 | 10:25]

Effects of Different Peening Techniques on Residual Stress and Microstructure of Nickel alloy : 바이바오성, 김선규, 문준호 (부산대학교 기계공학부), 이원근 (두산에너빌리티), 윤은섭 (한국수력원자력), 반치범* (부산대학교 기계공학부)

Keywords: Peening:Microstructure:Residual stress:Nickel alloy

Advanced surface treatment techniques such as Water Jet Peening (WJP), Air Laser Peening (ALP), Underwater Laser Peening (ULP), and Ultrasonic Nanocrystalline Surface Modification (UNSM) can effectively mitigate Stress Corrosion Cracking (SCC) by introducing compressive residual stress. However, due to differences in the treatment mechanisms, these techniques exhibit varying effects on compressive residual stress, surface roughness, hardness, and microstructure. Therefore, understanding the characteristics of each treatment method is crucial for selecting the appropriate technique based on specific requirements. In this study, WJP, ALP, ULP, and UNSM were applied to Alloy 600 and Alloy 690 specimens in single and multiple passes (x2, x4, and x8). To meet the surface stress improvement requirements of nuclear power components, all methods produced a compressive residual stress layer of 1mm in depth. The study systematically analyzed the impact of each technique on surface roughness, hardness, residual stress, and microstructure, and further explored the mechanisms behind the differences in surface characteristics induced by these processes.

[표면2-2 | 10:40]

역 그라디언트 구조를 통한 우수한 인장 물성-성형성 달성 : 김래언*, 구강희, 최연택, 이정아, 김형섭* (포스텍)

Keywords: 헤테로 구조, 성형성, 굽힘 시험, 인장 시험

헤테로 구조를 통해 우수한 강도-연성의 조합을 획득할 수 있다. 그러나 계면 간 물성 차이로 인한 성형 중 크랙이 발생하여, 낮은 성형성을 갖게 된다. 헤테로 구조의 산업 적용성을 확대시키기 위해, 우수한 인장 특성뿐 아니라 성형성에 대해서도 향상시킬 방안이 필요하다. 해당 연구에서 성형성에 최적화된 헤테로 구조의 미세조직 배치를 제시한다. 냉간 압연된 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금에 양쪽 면에 레이저 처리함으로써 역 그라디언트 구조 (소프트한 외부-하드한 내부)를 제조하였다. (1) 그라디언트 구조를 토해 이웃한 도메인 간 물성 차이를 줄이고 (2) 소프트한 영역에 외부에 배치함으로써 외부 크랙 진전을 방지하였다. 그 결과, 벤딩 성형에서 우수한 굽힘성과 인장 시험에서 뛰어난 인장 물성을 동시 획득하였다.

[표면2-3 | 10:55]

고온고압수 환경에서 원자력 발전소 밸브용 Stellite 6-WC 및 Deloro 50-WC 복합 소재의 마모특성 :한종민, 김중훈 (한국생산기술연구원, 동아대학교), 손태봉 (한국원자력산업기술연구조합), 노명섭 (대경기술), 김형찬, 김병준, 남대근 (한국생산기술연구원), 전종배 (동아대학교), 김병구* (한국생산기술연구원)

Keywords: 금속, 하드페이싱, 표면처리, 원자력 소재, Stellite 6

원자력 발전소(Nuclear Power Plant, NPP) 1차계통에 사용되는 밸브의 디스크와 시트는 고온, 고압(343ºC, 150 atm) 수화학 환경에서 부품 간 여닫음에 따른 마모가 발생하는 조건에서 운용된다. 부품의 수명을 향상시키기 위해 현재 내마모성이 우수하고 경제

적으로 효율적인 코발트(Cobalt, Co) 기지의 Stellite 6 소재 하드페이싱이 적용되고 있다. 그러나 Co는 하드페이싱 마모 잔해가 원자로 노심으로 이동하여 중성자 조사를 받을 때 방사선 방출 핵종인 Co-60으로 변환되며, Co-60 핵종의 방사선은 전기적으로 중성인 차폐가 어려운 고에너지 감마선을 방출한다. 이는 원자력 종사자의 피폭량의 95%가 Co 방사성 동위원소의 감마선에 기인하여, 종사자의 안전과 환경에 큰 위험을 초래한다. 이에 따라, 원자력 발전소 내 재료의 Co 함량을 저감하면서도 기존의 내마모성과 경제성을 유지할 수 있는 대체 소재 개발을 위한 연구가 국내외에서 진행되고 있다. 본 연구에서는 Co의 사용량을 줄이기 위해 코발트(Co) 기반 소재인Stellite 6에 탄화 텅스텐(WC)을 첨가한 Stellite 6-WC 복합소재와 니켈(Ni) 기반 소재인 Deloro 50에 WC를 첨가한 Deloro 50-WC 복합소재를 각각 제작하여, 이들의 기본 물성 및 마모 특성을 평가하였다. WC의 무게 비율을 0, 20, 40, 60, 80%로 변화시킨 복합소재 분말을 파우더 믹스로 제작하여, 410 기판(10×90×120 mm)에 레이저 적층 하드페이싱을 수행하였다. 하드페이싱된 블록을 가공하여 미세조직 시편, 경도 시편, 마모 디스크 시편을 제작하였다. 마모 핀 시편은 Stellite 6 100% 적층 블록으로 제작하여 모든 조건 실험에서 동일하게 적용하였다. 상온 공기, 상온 수화학, 고압 수화학 및 고온 고압 수화학 환경에서 핀온 디스크 마모 실험을 수행하였고, 실험 시편의 마모 전후 무게 감량을 10^{-4}g 수준으로 측정하였다. 광학현미경을 활용하여 마모흔 형상과 마모 프로파일을 분석하고, XRD를 통해 마모 전후 조직을 분석했으며, 전자현미경을 사용하여 마모흔 직하 미세조직, 미세경도(Vickers hardness) 및 나노인덴터를 통해 매트릭스 경도를 측정하였다. 본 연구를 통해 NPP 밸브의 Co 함량을 저감하면서도 안정성을 유지할 수 있는 Stellite 6-WC 복합소재 및 Deloro 50-WC 복합소재의 기초 물성 데이터를 확보하였다. 연구 결과는 NPP 환경에서의 Stellite 6-WC 및 Deloro 50-WC 마모 메커니즘을 도출하여 밸브의 Co 함량 저감을 달성하고, Co-free 소재를 적용함으로써 원자력 종사자 및 환경의 방사선 피폭량 절감에 기여할 것으로 기대된다.

[포먼2-4 | 11:10]

디스플레이 전극용 Al계 비정질 증착막의 열처리 온도 및 반복에 따른 기계적, 전기적 특성에 관한 연구 : 민병욱* ((주)이엠엘, 한국기술교육대학교), 김성근, 소원 (한국전자기술연구원), 전창우 ((주)이엠엘), 박금환 (한국전자기술연구원), 박은수* ((주)이엠엘)

Keywords: 디스플레이, 비정질, 박막

다양한 형태로 변형되는 디스플레이가 등장함에 따라 낮은 전기 저항을 가짐과 동시에 높은 유연성이 디스플레이 전극 소재에 요구된다. 하지만, 기존에 사용되던 금속 전극 소재들은 반복적인 변형으로 인해 전기 전도도가 저하되거나 균열 및 파단 등의 손상이 일어나는 문제점을 갖고 있다. 이에 비해 Al계 비정질 합금 박막은 기존 전극 소재와 달리 강도 및 내산화성이 우수하고 높은 탄성 변형 한계를 지니고 있어 반복적인 변형에도 전도도 변화가 작아 디스플레이 전극 소재로 이용이 가능하다. 본 연구에서는 Al계 비정질 합금 조성을 선정하고, 고청정 가스분무법 (Gas atomization)을 이용하여 구형 분말로 제작했다. 제조된 분말을 고밀도 성형이 가능한 HIP(Hot Isostatic Press) 공법으로 가압 소결하여 증착 타겟을 제조했다. DC magnetron sputtering 공정을 통해 Si Wafer 기판에 Al계 비정질 합금을 600nm 증착하여 미세구조, 기계적, 전기적 특성을 분석했다. 또한, 다양한 온도에서의 열처리로 증착막의 나노결정화를 통해 미세구조 변화와 각 특성의 변화를 확인하였다. 복적인 열처리를 통해 열적 안정성을 평가하였으며 디스플레이 전극 소재로서 적합성을 확인했다. 본 연구는 중소벤처기업부의 2024년중소기업기술혁신개발사업의 지원에 의한 연구임 [RS-2024-00419621]

[포먼2-5 | 11:25]

제철소 현장 사용 연주롤 부식/마모특성 분석 및 소재 개선안 도출 : 조재억*, 임창희, 홍대근, 김기범 (포스텍 친환경소재대학원), 박남규 ((주)성욱)

Keywords: 제철공정, 연주롤, 부식마모, 육성용접, 레이져클래딩, 용사

제철공정 연주롤을 대상으로 부식-마모현상을 분석하고 laser cladding, 용사제품의 미세조직과 기계적 특성 도출, 신합금 신공정 적용 제품을 분석하였다. 롤코팅 제품의 HAZ영역, 결정입계를 고찰하고 또한 세부분석 결과를 바탕으로 연주롤 재질 및 코팅공정을 개선안을 제시하였다. 또한 용사, 레이져클래딩. 육성용접 등 코팅공법에 따른 장단점을 분석하였다. 주요 내용은 다음과 같다. - 롤 마모 특성과 비정상 마모에 미치는 공정 변수 검토 - 코팅층 미세조직 및 석출상 분석 - 현장적용 환경조건 분석 및 개선방안 도출

고엔트로피합금
Room 대관령2, 10월 30일

[고엔1-1 | 08:30]
CoCrNi계 중엔트로피 합금의 열처리 공정에 따른 석출 강화 거동의 정량적 분석 : 한상윤, 류채우* (홍익대학교)
Keywords: Continuous precipitate, Discontinuous precipitate, 정합 석출

고엔트로피 및 중엔트로피 합금은 기존 합금과 달리 다양한 원소가 유사한 비율로 혼합되어 있어 극한 환경에서도 뛰어난 기계적 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 특히, CoCrNiAlTi계 합금은 우수한 물성을 지닌 CoCrNi 중엔트로피 합금에 Al과 Ti를 첨가하여, 열처리 공정에 따라 정합 석출이 가능하며 구조재료로서 응용 가능성이 주목받고 있다. 본 연구에서는 FCC 단상과 $L1_2$ 정합 석출 구조를 갖는 CoCrNiAlTi계 중엔트로피 합금의 열처리 온도와 시간을 정밀하게 제어하여, $L1_2$ 구조를 갖는 석출물의 석출 거동을 결정립계 내부에서 일어나는 Continuous precipitate(CP)와 결정립계에서 형성되는 Discontinuous precipitate(DP)로 구분하고, 각각의 정합 석출 거동이 기계적 물성과 내식성에 미치는 영향을 고찰하고자 한다. 이를 위해 CP 영역과 DP 영역에서 나타나는 석출물의 크기 및 분포를 변화시킨 후, 인장시험과 분극 실험을 통해 기계적 물성과 내식성을 평가하고, 미세 구조와 물성의 상관관계를 규명하고자 한다. 주조한 합금은 균질화 처리 후 압연 및 재결정 공정을 진행하였으며, 다양한 열처리 조건을 통해 열처리 온도 및 시간 제어를 통해 CP 영역과 DP 영역에서 나타나는 석출물의 크기 및 분포 양상을 제어하였다. $L1_2$ 석출 양상은 Synchrotron X-ray diffraction과 이미지 분석을 통해 정량화하였으며, 인장시험과 분극 실험을 통해 기계적 물성과 내식성을 평가하였다. 본 연구를 통해 다양한 석출 유도 열처리 공정이 CoCrNi 기반 중엔트로피 합금의 기계적 물성과 내식성에 미치는 영향을 체계적으로 이해하고, 최적의 열처리 조건을 도출하여 고엔트로피 및 중엔트로피 합금의 상용화를 위한 초석을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

[고엔1-2 | 08:45]
다원계 합금에서의 나노 라멜라 구조 형성을 통한 가공 경화능 향상 : 장태진, 이유나, 백주현 (고려대학교), 오상호, 최연택, 이병주, 김형섭, Alireza Zargaran (포항공과대학교), 손석수* (고려대학교)
Keywords: 다원계 합금, 가공 경화, 헤테로 구조

다양한 산업분야에 걸쳐 충분한 연성을 가지는 고강도 합금의 개발이 지속적으로 요구되고 있다. 이는 일반적으로 전위, 결정립계와 같은 다양한 결함들을 사용하는 야금학 전략을 활용하여 이루어져 왔으나, 이러한 전통적인 강화기구들은 가공 경화능을 악화시켜 연성을 감소시킨다고 알려져 있다. 본 연구에서는 이러한 강도-연성 딜레마를 해결하기 위해 높은 밀도의 정합 쌍정 계면을 가지는 다원계 합금을 설계하였고, 이를 통해 가공 경화능을 크게 향상시켜 우수한 기계적 물성을 가지는 다원계 합금을 개발하였다. 높은 밀도의 정합 계면 형성을 위해 다양한 Mo 함량을 가지는 CoNiMo 합금에 high-pressure torsion (HPT) 공정을 적용하고, 열역학 계산을 기반으로 면심 입방 구조 (FCC), 조밀 입방 구조 (HCP) 를 가지는 범위에서 열처리 온도를 설정하였다. 그 결과, 높은 Mo 함량을 가지는 CoNiMo 합금에서 높은 밀도의 정합 쌍정 계면, FCC-HCP 정합 계면으로 이루어진 나노라멜라구조를 구현하였다. Mo 함량이 증가할수록 나노라멜라구조는 미세화 되어 더 높은 정합 계면 밀도를 보였으며, 이러한 미세조직 변화는 가공경화능을 크게 향상시켰다. 그 결과, 가장 높은 Mo 함량을 가지는 합금에서 인장 강도 1681 MPa, 균일 연신 11.9%의 매우 우수한 기계적 물성을 보였다. 이러한 나노라멜라구조의 우수한 가공경화능을 변형 거동과 함께 FCC-HCP 구조 사이의 헤테로 변형 관점에서 규명하였다.

[고엔1-3 | 09:00]
구리 및 구리-은 합금 용탕을 이용한 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금내 3차원 연속연결 dual-phase 헤테로조직 제작과 전기전도도 향상 연구 : 최문수* (단국대학교), 구강희 (포항공과대학교), 최용석 (단국대학교), 문종언 (공주대학교), 한승전 (한국재료연구원), 김형섭 (포항공과대학교), 주수현* (단국대학교)
Keywords: Liquid metal dealloying:Cu melt:3D interconnected structure:Electrical conductivity

금속용탕 탈성분법(Liquid Metal Dealloying, LMD)은 전구체 합금에서 금속용탕과 혼화성이 높은 원소를 선택적으로 제거해 탈합금시키고, 동시에 금속용탕 성분이 전구체 합금 내부로 3차원 연속연결구조를 형성하는 공정이다. 본 연구는 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금(High-Entropy Alloy, HEA)을 전구체로 사용하는 LMD 공정을 처음으로 연구하였으며, 순수한 Cu 용탕과 Cu-Ag 합금 용탕이 CoCrFeMnNi HEA 전구체내에 발생시키는 3차원 자기조직화(self-organization) 현상을 LMD 반응 시간에 따라 관찰했다. 실험 결과, Cu와 반응성이 높은 Mn과 Ni이 가장 먼저 탈합금되었고, Cu-rich melt channel이 전구체 합금 내부로 침투했다. 또한, Cu가 고상의 ligament로 확산되어 합금화되는 과정도 관찰되었다. 이때 형성된 3차원 연속연결구조는 기존의 단순 LMD 시스템에서 관찰된 구조와는 크게 달랐으며, 이는 고상과 액상의 구성 성분 내 복잡한 확산 거동 및 생성된 CoCrFe-rich FCC상의 ligament와 전구체 결정립 간의 결정방위관계에 기인한 것으로 판단된다. LMD 공정 후 냉각 과정에서 최종적으로 $Cr_{2.1}Mn_{6.1}Fe_{2.4}Co_{3.3}Ni_{4.2}Cu_{81.9}$와 $Cr_{22.2}Mn_{6.2}Fe_{23.9}Co_{22.8}Ni_{18.3}Cu_{6.6}$로 이루어진 FCC dual phase 고엔트로피 복합재료가 제작되었다. 이 복합재료는 3차원 연속연결 헤테로구조를 가지며, 기존의 기지상과 강화상으로 구분되는 단순한 구조가 아닌, 각 상의 장점들이 결합된 우수한 물성을 보여줄 수 있다. 본 연구에서 제작된 복합재료는 전기전도도가 8.26×105 S/m(CoCrFeMnNi HEA)에서 1.48 × 106 S/m로 약 80% 증가하였고, 강도는 179.9 HV에서 191.4 HV로 약 7% 증가했다. 향상된 전기전도도는 Cu 농도가 본 연구보다 높은 다른 MEA들과 비교했을 때도 20% 이상 높은 수치로 측정되었다. 이는 LMD 공정으로 제작된 Cu-rich상이 적은 부피분율로도 3차원 연속연결구조를

이루고, 전자 유동성이 높은 Cu-rich상의 조성 덕분에 전기전도도가 크게 향상된 것으로 분석된다. 또한, 구리 용탕의 온도를 낮추기 위해 Ag와 Cu 합금 용탕을 사용하여 입자 미세화를 극대화하였고, 용탕 내 Ag의 조성과 공정 시간에 따른 물성 변화를 관찰하였다. 앞으로 LMD 공정의 최적화와 추가 연구를 통해 HEAs의 다중 주 원소 개념을 바탕으로 한 향상된 다기능성을 구현할 수 있을 것으로 기대된다.

[고엔1-4 | 09:15]

FeMnAlTiSiMg 초경량 고엔트로피 합금의 열역학적 설계 및 미세조직 제어를 통한 비강도 향상 : 이한성, 송은효, 이용건 (아주대학교 에너지시스템학과), 유휘근 (아주대학교 첨단신소재공학과, (주)솔고바이오메디칼), 안병민* (아주대학교 에너지시스템학과, 아주대학교 첨단신소재공학과)

Keywords: powder metallurgy, high entropy alloy, lightweight, thermodynamic, complex bonding

고엔트로피 합금(high entropy alloys, HEAs)은 엔트로피 엔지니어링을 통해 설계되는 새로운 패러다임의 합금으로, 높은 엔트로피 효과를 통해 혼합 엔탈피로 인한 원소 간 상호 고용체의 한계를 극복하여 단순 고용체를 형성하며, 기존 합금에 비해 유연한 설계와 우수한 기계적 물성은 극한 소재의 가능성을 가진다. 고엔트로피 합금의 설계에는 다양한 열역학적 복잡성이 고려되어야 하며, 합금화 인자, 상 안정성, 격자 구조에 영향을 미치는 변수들은 고엔트로피 합금의 형성 가능성을 결정한다. 특히 열역학적 변수가 매우 상이한 경량 원소를 고엔트로피 합금에 첨가하기 위해서는 이러한 복잡성을 고려하고 이를 극복하기 위한 연구가 수반된다. 본 연구에서는 FeMnAlTiSiMg 초경량 고엔트로피 합금을 설계하여 비강도 향상을 목표로 하였으며, 경량 원소인 Al, Ti, Si, Mg를 동시 첨가함에도 안정한 상을 형성하는 고엔트로피 합금을 미세조직 제어를 통해 제조하고자 하였다. 경량 고엔트로피 합금의 연구는 Al과 Ti를 첨가는 조성이 주를 이루고, Si와 Mg의 첨가 시 발생하는 금속간화합물 형성 및 용융점 강하로 인해 이에 대한 연구는 미비하였다. 그러므로 본 연구에서는 분말 공정을 통해 과포화 고용체를 형성하고, 복합 결합을 통해 열역학적 복잡성을 극복하여 단순 고용체 고엔트로피 합금을 제조하고자 하였다. 결과적으로, 마그네슘이 0.25 몰 첨가된 HEA에서 가장 우수한 기계적 물성이 나타났으며, 이는 경량 원소 Mg의 첨가가 격자 왜곡 및 잔류 응력, 미세조직과의 상관성을 규명함으로써 설명하였다. 본 연구는 고엔트로피 합금의 비강도를 증가시키기 위해 초경량 고엔트로피 합금을 열역학적 복잡성을 기반으로 설계하였으며, 이는 차세대 경량 극한 소재 연구에 방향성을 제시할 수 있다.

[고엔1-5 | 09:30]

자연 혼합 유도 설계로 개발된 BCC 내열 고엔트로피 합금의 탄성 및 소성 변형 거동 연구 : 김재권, 김지영 (서울대학교), 오현석 (University of Wisconsin-Madison), 박은수* (서울대학교)

Keywords: BCC 내열 고엔트로피 합금, 자연 혼합 유도 설계, 상 안정성, 상온연성, 변형 거동

극한환경 항공우주 분야의 급속한 발전에 따라, 초고온 환경에서 높은 내구성을 가진 안전 중요 고온 구조 응용 (Safety-Critical Structural Applications, SCSA)을 위한 신합금 개발의 필요성이 커지고 있다. 특히, BCC 내열 고엔트로피 합금(Refractory High Entropy Alloy, RHEA)은 Ni계 초합금, Ti계 합금 대비 뛰어난 고온 강도 유지성, 상 안정성 및 낮은 열전도성을 가짐이 보고되어 차세대 SCSA 소재로 각광받고 있으며 세계적으로 항공우주 관련 프로젝트에서 연구되고 있다. 그러나 상기 장점에도 불구하고, 적용 온도(800°C 이상)에서 상 안정성의 급격한 저하와 실온에서의 낮은 연성 등으로 인해 상용이 제한되고 있다. 본 연구에서는 "자연 혼합 유도 설계(Natural Mixing Guided Design, NMGD)"라는 독특한 합금 설계 방법을 사용하여 기존 상용소재 대비 우수한 상 안정성을 가진 BCC RHEA을 개발했다. NMGD는 여러 BCC 내열 원소로 구성된 모합금을 자연 응고시키는 동안 구성 원소들이 특정 원소군으로 분류되는 특성을 활용한다. 흥미롭게도, 선택된 합금들 중 일부는 상온에서 우수한 연성을 나타냈으며 독특한 변형거동을 보였다. 본 연구에서는 이러한 우수한 실온 연성의 이유와 변형거동의 상관관계를 밝히는 것을 목표로 하여 중성자 산란 회절을 통한 재료의 탄성 변형 거동을 확인, SEM 내 실시간 변형 분석을 통한 소성 변형 거동 분석을 진행했다. 본 연구의 결과들은 향후 RHEA 개발에서 우수한 상 안정성과 실온 연성을 동시에 확보하기 위한 NMGD 확장 전략을 제안하며, RHEA를 안전 중요 고온 구조 응용의 표준에 더욱 가깝게 만들기 위한 시금석이 될 것이다.

[고엔1-6 | 09:45]

Thermodynamic description of the Co-Cr-Fe-Mn-Ni-Ti multicomponent system : 오상호, 이병주* (포항공과대학교)

Keywords: High entropy alloy, CALPHAD, thermodynamic database

High-entropy alloy (HEA) has emerged as a promising new structural material in recent years. The most representative HEA is the Cantor alloy, which has an equiatomic composition of CoCrFeMnNi and consists of a FCC single phase. Many studies has been conducted to enhance the mechanical properties of HEAs by controlling the composition and introducing alloying elements. For example, the addition of elements such as Ti has been reported to induce strengthening effects through the precipitation of new phases. Given the vast potential combinations of compositions and alloying elements, prediction of phase equilibria using thermodynamic calculation is essential for efficient research. Thermodynamic calculation for HEAs requires the consideration of more than ternary interaction since they involve multiple elements with meaningful compositions, unlike conventional alloys where solute elements are present in dilute amounts. This presents a challenge in developing thermodynamic databases for HEAs, as existing commercial databases often have limitations in their predictive performances. In the present work, a multicomponent thermodynamic database for the senary Co-Cr-Fe-Mn-Ni-Ti system was developed based on a previously validated thermodynamic description of the Cantor alloy.

[고엔2-1 | 10:10] 초청강연

CrMnFeCoNi계 형상기억 합금설계 : 임진수랑, 정휘윤, 최지환, 이제인* (부산대학교)

Keywords: 고엔트로피 합금, 형상기억합금, 상변태온도, 합금설계

극한 환경용 신 구조소재로써 주목을 받는 CrMnFeCoNi계 고엔트로피 합금은 적층결함에너지 제어를 통해 쌍정유기소성 또는 변태유기소성 효과를 갖도록 설계하는 것이 가능한데, 최근 오스테나이트 상과 마르텐사이트 상의 가역적인 상변태를 유도함으로써 회복 특성이 발현되는 형상기억 신합금 개발연구가 보고된 바 있다. 본 연구에서는 열역학 계산을 이용하여 합금조성 조절에 따른 상변태 온도를 예측하였고, 오스테나이트 상과 마르텐사이트 상이 가역적인 상변태를 보이는 형상기억 합금 조성영역 전체를 3~5원계 영역에서 조망하였다. 시차주사열량계 (DSC) 및 열기계 분석기 (TMA)를 이용한 열분석을 통해 합금의 조성변화에 따른 상변화 온도의 변화를 정량분석하였으며, 조성제어를 통해 고엔트로피 신합금이 도달할 수 있는 최대 회복률 및 최고 형상기억 온도에 대하여 논의하였다. 본 연구를 통해 우수한 기계적 특성을 보이는 신합금 개발에 중점이 맞춰져 온 고엔트로피 합금 개발 연구가 고성능 형상기억 신합금 개발로 확장될 수 있는 가능성을 제시하고자 한다.

[고엔2-2 | 10:30] 초청강연

L-PBF 방식으로 제작된 CoCrNiFe 중엔트로피 합금의 수소취성 저항성 향상에 관한 연구 : 이동현*, 정재영, 정현, 안윤희 (충남대학교), Yakai Zhao (Institute of Materials Research and Engineering, Singapore)

Keywords: 금속적층제조, 고엔트로피 합금, 수소 취성, 열처리, 결정립계 강화

최근 레이저 기반 적층 제조 기술이 발전함에 따라, 적층 제조 기술을 통해 다양한 조성의 고/중엔트로피 합금을 제작하고 활용하는 것에 대한 학계와 산업계의 관심을 크게 끌고 있다. 특히, 레이저 분말 베드 용융(Laser Powder Bed Fusion, L-PBF) 공정은 급속 용융/응고 조건과 후속 열-기계적 사이클을 통해 복잡한 응고셀 조직을 형성하여 우수한 기계적 특성을 나타내는 고/중엔트로피 합금을 제조할 수 있는 잠재력을 지니고 있다. 특히, CoCrFeNi 중엔트로피 합금은 단일 FCC 구조이며 Mn의 부재로 인해 낮은 수소 침투량을 나타내어 L-PBF 공정으로 제작할 경우 우수한 수소 취성 저항성이 추가적으로 예상된다. 그러나, 기존 연구에 따르면, L-PBF 제작된 CoCrFeNi 중엔트로피 합금에 대한 실시간 수소 장입 인장시험에서 응고셀 구조가 오히려 결정립계에 수소를 집중시켜 결정립계 균열을 유발하고 수소 취성을 야기하는 것으로 밝혀졌다. 따라서, 본 연구에서는 L-PBF로 제작된 CoCrFeNi 중엔트로피 합금의 수소 취성 저항성을 향상시키기 위한 방안으로 (1)후열처리를 통한 미세조직 제어와 (2)보론 첨가를 통한 결정립계 강화의 효과를 검토하였다. 후열처리 및 보론 첨가에 따른 수소 취화 민감도, 수소 유기 균열 전파, 수소 트랩/확산 거동 변화에 대해 관찰하고, 이를 바탕으로 L-PBF로 제작된 고/중엔트로피 합금의 수소 취성 기구를 고찰한 내용을 소개하고자 한다.

[고엔2-3 | 10:50] 초청강연

제일원리계산을 활용한 다원계 합금 내 수소 고용 거동 예측 :고원석* (인하대학교)

Keywords: Multi-component alloys, Hydrogen in alloys:First-principles:Density functional theory

수소에너지는 화석에너지의 고갈과 지구온난화의 위협을 극복할 수 있는 가장 적합한 형태의 에너지원으로 주목받고 있으며 그에 따라 수소의 저장/운송 과정에서 사용되는 적절한 소재 개발이 중요해지고 있다. 최근 고엔트로피합금의 응용 측면에서도, 극저온 액화수소저장 용기나 금속수소화물 기반 저장합금과 같은 용도의 새로운 소재 개발이 주목받고 있다. 따라서 고엔트로피합금 내 수소의 거동을 분석하기 위한 첨단화된 실험 기법의 개발과 적용이 활발하게 시도되고 있으며, 실험적 분석의 한계를 보완하기 위한 시뮬레이션 기법의 개발과 적용 역시 중요해지고 있다. 본 연구에서는 제일원리 (First-principles) DFT (Density Functional Theory) 계산 기법을 통해 고엔트로피합금 내 수소 고용거동을 예측할 수 있는 방법론을 구축하고, 이를 활용하여 실험분석과의 밀접한 연계를 통해 수소 거동에 대한 보다 심층적인 이해를 도모하며, 확립된 기법을 향후 합금 설계에 활용하고자 한다.

[고엔2-4 | 11:10]

In-situ hydrogen embrittlement of CrCoNi medium-entropy alloy : Yoonmoon Chung, Hyo Joo Han, and Jeongho Han* (Hanyang University)

Keywords: medium-entropy alloy, CrCoNi, hydrogen embrittlement, in-situ

High-entropy alloys (HEAs) are innovative materials that offer unique mechanical properties and stability, particularly attracting attention for their potential applications in extreme environments. Among such environments, hydrogen-rich conditions pose notable challenges, as conventional alloys often exhibit hydrogen embrittlement, leading to significant degradation of mechanical properties even with minimal hydrogen absorption. In contrast, FCC-based HEAs are generally known to exhibit excellent resistance to hydrogen embrittlement due to several factors: the inherent characteristics of the FCC structure, such as high lattice symmetry and multiple slip systems:the complex interactions among various elemental atoms:and the solid solution strengthening effect, which hinders hydrogen penetration into defects. A prime example is the Cantor alloy (FeMnCrCoNi), with recent studies focusing on the advanced CrCoNi medium-entropy alloy. While traditional research predominantly employs pre-charging methods to assess hydrogen embrittlement, these approaches may not fully capture material behaviors under service conditions. In this context, in-situ hydrogen charging tests offer a significant advantage by more accurately simulating real-world environments. This study introduces in-situ hydrogen charging of CrCoNi to provide a deeper understanding of its performance under realistic conditions. Unexpectedly, this approach resulted in rapid fracture and pronounced embrittlement, revealing critical insights into the material's behavior. The research aims to elucidate the underlying causes through various experiments, including post-mortem fracture surface analysis.

[고엔3-1 | 13:00]

L-DED로 제작된 Co-Cr-Fe-Mn 고엔트로피 합금의 기계적 특성과 형상 기억 특성에 미치는 탄소 첨가의 영향 : 박민수, 장위, 이욱진* (부산대학교)

Keywords: 적층 제조, L-DED, 형상기억합금, 고엔트로피합금

Co-Cr-Fe-Mn-Ni계 고엔트로피합금은 동일 또는 거의 동일한 조성비의 5가지 주요 원소로 이루어진 FCC 합금으로, 넓은 조성범위에서 단상을 가지며 다양한 물리적 특성의 발현이 가능하다. 특히 Ni을 Co로 대체한 Co-Cr-Fe-Mn 합금의 경우 FCC상과 HCP상 사이의 마르텐사이트 동소변태에 의한 형상 기억 현상이 일어난다고 보고되고 있다. 한편 FCC/HCP 형상 기억 합금에서 탄소 첨가는 탄소가 기지에 고용되거나 탄화물을 형성하여 기계적 특성뿐만 아니라 형상 기억 특성도 향상된다고 알려져 있다. 그러나 Co-Cr-Fe-Mn 합금에서 탄소 첨가의 영향은 아직 조사된 바 없다. 본 저자들은 이전 연구에서 Co-20Fe-19Cr-18Mn (wt. %)을 Laser direct energy deposition (L-DED)를 통해 제작하였으며, 본 조성의 합금을 L-DED 프린팅 할 시 형상 기억 특성이 발현 가능함을 확인하였다. 이와 연계한 후속연구인 이번 연구에서는 탄소 첨가가 Co-Cr-Fe-Mn 합금의 미세조직 및 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 Co-20Fe-19Cr-18Mn-0.6C (wt. %) 합금을 L-DED를 통해 제작하였으며, 탄화물 형성을 위한 열처리를 진행하였다. 열처리 전후의 미세조직, 기계적 특성 및 형상 기억 특성을 분석하였다.

[고엔3-2 | 13:15]

Study of Low Carbon Green Fabrication Based Spherical Agglomerates of High-Entropy Alloy Powders Based on a Low-Carbon Process : Minjong Kim, Taehyeob Im, Gertrude Mugwe Mongella, and Caroline Sunyong Lee* (Hanyang Univ.)

Keywords: High-entropy alloy, Manufacturing process, Solid solution, Hydrogen reduction, Mechanical properties

Gas atomization is one of the representative methods to manufacture high-entropy alloy (HEA) powders, with molten metal being atomized with gas to form spherical particles. However, this method requires high energy for melting the materials, emitting a large amount of carbon during powder production. In this study, we propose a process for developing spherical agglomerates of high-entropy alloy powders based on the environmentally friendly ‘‘hydrogen reduction process’’ as an alternative to gas atomization. Using a high-energy milling system (2,400 rpm), it is expected that micron-sized oxide powders can be ground into nano-sized particles, achieving solid solutions among oxide powders since the solidified powders have a relatively lower hydrogen reduction process temperature due to its reduction in mixing Gibbs Energy. Additionally, since Cr in HEA elements is considered to be difficult to reduce via hydrogen reduction as it requires temperature above 1,200 °C to reduce Cr2O3, this study aims to lower the process temperature to reduce Cr2O3 through the nano-sized and solid solution formation of oxide powders. TGA (Thermo Gravimetric Analysis) results confirmed that low-temperature hydrogen reduction is possible at much lower temperature than its melting process temperature of approximately 1,900 °C used in the conventional gas atomization method. Powders milled under high-energy environment were manufactured into spherical agglomerates through a spray drying process, achieving a sphericity of over 0.9, making them favorable to replace spherical gas atomized powder. Finally, we measured the mechanical properties including hardness and elastic modulus of the sintered parts formed from powders produced by the low-carbon process using nanoindentation and compared them with the properties of parts formed from powders produced by the gas atomization method.

[고엔3-3 | 13:30] Canceled

Development of Fe-rich complex concentrated alloys (CCAs) for high-temperature applications : VIKAS SHIVAM*, Dong Whan Kim, and Eun Soo Park (Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University, Republic of Korea)

Keywords: Complex concentrate alloys (CCAs), Alloy design, Microstructure, Precipitation strengthening, Mechanical properties

The complex concentrated alloys (CCAs) have gained enormous attention for almost two decades due to their exciting mechanical properties. However, the major drawback of these alloys is the high cost accompanied by the equimolar proportion of constituent elements. In the present work, we have designed a series of Fe-rich non-equiatomic alloy compositions (Fe ³ 40 at %) by following the pseudo-binary and semi-quantitative method based on the CALPHAD approach to meet the industrial applications at the temperature range of 600-800 °C. The composition of the alloys is selected in such a way that it leads to the formation of the FCC and L12 phases to mimic the superalloy-like γ-γ' microstructure. The first class of elements, which includes Fe, Ni, Co, and Cr, prefer to partition to the γ and stabilize it. The second class of elements Al and Ti have greater atomic radii and large differences in binary mixing enthalpy with Ni promoting the formation of the ordered γ' phase. The as-cast alloys after homogenisation treatment at 1100°C followed by cold rolling subjected to the solutionizing treatment at 1000°C for 15 min. The single-phase FCC structure after solutionizing was subsequently aged at 600, 700 and 800 °C at different holding times to understand the precipitation kinetics. The microstructure stability and precipitation behavior were examined through SEM and TEM analysis. The hardness and tensile properties were evaluated at the different states of the alloy.

[고엔3-4 | 13:45]

철계 $L1_2$ 석출강화 합금의 저온 변형 메커니즘 : 문광현, 김진경* (한양대학교)

Keywords: 다성분계합금, 석출 강화, 저온 변형, 변형 거동, 마이크로밴드

$L1_2$ 석출강화 합금은 정합계면을 가지는 석출물을 통해 연성 저하 없이 높은 강도를 유지하며, 저온에서도 우수한 물성을 갖는

것으로 보고되었다. 본 연구는 철계 $L1_2$ 석출강화 합금의 저온 변형 시 미세조직 변화와 기계적 물성에 대한 고찰을 수행하였다. 열간압연 이후 1000도에서 열처리를 통해 재결정 조직을 얻은 후 700도에서 어닐링을 수행하여 결정립 내부와 입계에서 각각 $L1_2$ 구조의 연속 석출물과 불연속 석출물을 형성하였다. 기계적 물성은 상온(293 K)과 저온(123 K)에서 인장시험을 통해 평가되었으며, 123 K에서 변형된 재료는 상온과 비교하여 강도와 연성이 모두 증가한 것을 확인하였다. 변형률에 따른 변형 거동은 불연속 석출물 영역과 연속 석출물 영역으로 나누어 관찰하였다. 불연속 석출물 영역에서는 낮은 변형률에서 전위와 불연속 석출물이 상호작용하여 변형이 집중되었고, 이로 인해 결정립계에 slip band가 형성되었으며, 높은 변형률에서는 결정립계 근처에서 microband가 형성되었다. 연속 석출물 영역에서는 변형 초반에 slip band가 형성되고, 변형이 진행됨에 따라 slip band의 밀도가 증가하였다. 높은 변형률에서는 microband와 미세한 변형쌍정이 형성되었다. 관찰된 다양한 변형 기구의 발현은 저온 기계적 물성 향상에 중요한 역할을 하는 것으로 판단된다.

[고엔3-5 | 14:00] 초청강연

Oxidation Behaviors of Refractory High Entropy alloys at High Temperatures : J. S. Park* (Hanbat National University)

Keywords: high temperature, high entropy alloys, oxidation, coatings, flame stability

High-temperature high entropy alloys have received attention due to their enlarged applicability to gas turbines, aircraft engines, etc. The component of Mo or Nb usually undergoes severe oxidation issues due to sublimation properties. For example, Mo contained in the alloy sublimated at about 500 °C to form MoO3, which has weakened mechanical properties due to significant mass reduction. In this study, pack cementation coatings have been selected to protect the surface of the alloy. When the Si powders were used for coatings, silicide was produced at the surface of the high entropy alloys. Some examples have been examined such as AlMoNbTaTiZr or NbMoTiCo, etc. As a result of the oxidation tests, the uncoated AlMoNbTaTiZr or NbNoTiCo specimens exhibited meager oxidation resistance, while the coated alloys showed superior oxidation resistance. The oxidation behaviors of several refractory high entropy alloys are also discussed to build the protective coating strategy for engineering applications at high temperatures.

[고엔3-6 | 14:20] 초청강연

적층제조 CoCrNi 중엔트로피합금의 초극저온 (4.2K) 물성에 미치는 열간 등방압 가압법의 영향 : 김영균*, 심상훈, 윤성준, 나영상 (한국재료연구원)

Keywords: 중엔트로피합금, 적층 제조, 액체 헬륨, 미세조직, 기계적 특성

This study investigates the effect of hot isostatic pressing (HIP) on the microstructure and mechanical stability of additively manufactured CoCrNi medium-entropy alloys (MEAs), fabricated by direct energy deposition (DED), at cryogenic temperatures down to the liquid helium temperature (4.2 K). Subsequently, the HIP treatment facilitated to improve the microstructural homogeneity and structural densification, particularly the pore defects in the original additively manufactured state. Poorly limited ultimate tensile strength (UTS) and total elongation (T.E.) were observed in the DED-processed CoCrNi MEA, whereas the HIP-treated CoCrNi exhibited excellent UTS × T.E. synergy (~76 and ~69 GPa×%) at 298 K and 4.2 K. Furthermore, in-depth microstructure analyses from different viewpoints were conducted to elucidate the main deformation and/or failure mechanisms, taking into account of twinning-induced plasticity (TWIP) and intergranular fractures at ambient and cryogenic temperatures. Our findings provide significant insights into the structural/mechanical stabilities of HIP treatment in DED-processed CoCrNi MEAs at ambient to deep cryogenic temperatures near absolute zero kelvin (4.2 K).

[고엔4-1 | 14:40] 초청강연

동적재결정 현상을 통한 Fe-Cr-Ni-Al-Ti 철계 고엔트로피 합금의 초소성 특성 연구 : 송기안*, 박강현 (공주대학교 신소재공학부, 첨단분말소재부품센터), 심상훈, 임가람, 권현준 (한국재료연구원), 장혜정, 김진우 (한국과학기술연구원)

Keywords: high-entropy alloys:superplastic behavior:mechanical properties:dynamic recrystallization:precipitates:strain rate sensitivity

초소성 특성은 수 백% 이상의 변형율을 나타내는 특성으로, 이를 활용하여 재료의 성형성을 확보할 수 있다. 일반적으로 초소성은 입계 미끄럼 (grain boundary sliding, GBS) 메커니즘에 의해 발생한다고 알려져 있다. 입계 미끄럼은 $0.5T_m$ 이상의 고온에서 10 μm 이하의 미세한 결정립 (HAGB)을 유지할 때 발생할 수 있다고 보고되었다. 다양한 연구가 수행됨에 따라 미세한 아결정립 (LAGB)을 형성하는 합금에서도 초소성 특성이 나타날 수 있다고 보고되고있다. 구체적으로, 변형 동안 전위축적 및 결정립의 회전을 통해 동적재결정이 발생할 수 있으며, 이를 통해 초소성 특성을 확보할 수 있다. 따라서, 초소성 특성을 확보하기 위해서는 미세한 결정립을 형성하거나, 혹은 동적 재결정이 발생할 수 있는 미세조직을 확보하는 것이 필요하다. 본 연구에서는, L21-Ni2TiAl 석출상으로 강화된 페라이트계 Al-Cr-Fe-Ni-Ti 고엔트로피 합금을 개발하였다. 본 고엔트로피 합금은 석출상의 제어를 통해 상온 및 고온에서 우수한 강도를 확보하였지만, 상온에서의 불충분한 연성으로 인해 성형성이 부족하다는 단점이 있다. 따라서, 이를 개선하기 위해 앞서 기술한 초소성 특성을 구현하기 위한 공정방안을 개발하고자 하였다. 구체적으로, 열간압연 및 열처리 공정을 수행하여 동적 재결정을 유도할 수 있는 미세한 크기의 아결정립을 형성시키고자 하였으며, 또한, 온도와 변형속도를 제어하여 초소성 특성을 개선하고자 하였다.

[고엔4-2 | 15:00] 초청강연

Effect of Cr and Al Concentrations on Microstructure and Mechanical Properties of Ductile Nb-Ti-Cr-Al Refractory

Medium-entropy Alloys : In-Chul Choi* (Kumoh National Institute of Technology), Ji-Won Kim (SeAH CSS Corp.), Sang-Kyu Yoo (Dorco Co., LTD.), and Dong-Hyun Lee (Chungnam National University)
Keywords: BCC structured medium-entropy alloy:Microstructure:Mechanical property

To achieve refractory medium-entropy alloys (MEAs) with a relatively low density and high room-temperature ductility, $(NbTi)_{100-x}(CrAl)_x$ alloys are fabricated via a vacuum arc melting method. In particular, the effect of Cr and Al contents on the microstructure and mechanical properties is investigated. All $(NbTi)_{100-x}(CrAl)_x$ alloys are MEAs with a primary body-centered cubic (BCC) solid-solution phase. As the Cr and Al contents increase, the nanohardness and maximum shear stress for the elastic-to-plastic transition increases, primarily because of severe lattice distortion. In addition, results of room-temperature compression tests show that an increase in both the Cr and Al contents improves the yield strength without compromising elongation. However, when the total contents of Cr and Al surpasses 40 at.%, ordered B2 and Laves C14 phases form within the BCC matrix, thus resulting in catastrophic failure. Compared with other refractory alloys, including Ni-based superalloys, $(NbTi)_{70}(CrAl)_{30}$ MEAs exhibit superior characteristics in terms of specific yield strength and elongation.

[고엔4-3 | 15:20] 조청강연

Liquid metal dealloying **공정을 이용한 3차원연속연결 고엔트로피 합금 제조공정 연구** : 주수현* (단국대학교)
Keywords: liquid metal dealloying, high-entropy alloy, 3D interconnected structure

금속용탕탈성분법(Liquid Metal Dealloying, LMD)은 2011년 처음 학계에 보고된 새로운 금속소재 공정으로 여러가지 새로운 현상과 특이한 미세조직적 특징들로 인해서 학계에 주목을 받고 있다. 기존의 화학적 탈성분법은 귀금속에 국한되는 단점이 있었지만, LMD 기법은 금속용탕의 낮은 산소농도를 활용하여 비귀금속원소의 3차원 연속연결구조를 나노스케일로 제작 할 수 있는 유일한 대안으로 여겨지며 금속기지 복합재료게 만들 수 있는 장점도 지니고 있다. 이러한, 배경을 바탕으로 C, Si, Nb, Fe, stainless steel, Ti, 그리고 Ti alloy와 최근에는 고엔트로피 합금까지 나노포러스 형태로 제작되었으며, 넓은 비표면적을 활용한 촉매, 커패시터, 센서 등에 응용이 기대된다. 지금까지의 LMD 연구는 단순한 순금속 또는 2원계 합금들의 3차원 연속연결구조 개발에 연구가 집중되었다면, 앞으로는 합금원소의 첨가를 통한 물성향상과 응용에 주안점이 모아질 것을 판단된다. 이에 따라, 본 발표에서는 LMD 공정으로 만들 수 있는 다양한 3차원 연속연결 나노구조 고엔트로피 합금의 제조공정 및 물성에 대한 연구결과를 소개하고자 한다.

에너지재료
Room 루지홀, 10월 30일

[에너지1-1 | 08:30]
Conductive meta-cellulose material with high electrolyte wettability for use as a current collector in Li-based energy storage : Young A Lee*, Sang Jin park, Chan Young O, K. B. Kim, E.J. Seo (KIST), K.H. Lee (Institute for Advanced Engineering), M.S. Kim, and Myoung Woon Moon (KIST)
Keywords: 전해질, 젖음성, 리튬 이차전지, 셀룰로즈

The wettability of electrolytes is essential for the excellent performance of electrochemical energy storage devices. It enhances electrolyte ion diffusion and increases the ion-transfer surface area, thereby improving specific capacity. In metal-based battery anodes, high wettability reduces nucleation overpotential, promotes uniform formation of solid electrolyte interphase (SEI), and inhibits dendrite growth, significantly ensuring cycle stability and safety. One approach to enhancing electrolyte wettability involves adding additives to lower viscosity or interfacial energy. However, this could decrease lithium ionic concentration. On the other hand, many attempts have been made to adopt various solid interface materials, but the conflict between wettability and conductivity limits material selection. As a novel approach, we propose modifying the solid interface in contact with the electrolyte to maximize wettability using cellulose nanocrystals, a natural material. We have developed an innovative high electrolyte wettable meta-cellulose material for an anode or current collector in lithium-ion batteries. The high aspect ratio nanostructures, featuring a defined pattern of metallic domains, yield distinct electrical properties and electrolyte affinity compared to non-conductive cellulose nanocrystals. Our experiments have confirmed the excellent wettability of this meta-cellulose with carbonate-based electrolytes, achieving an entire wetting state at the solid interface. Cross-sectional analysis revealed uniform lithium ion diffusion across the surface, which could lead to good electrochemical performance. These findings demonstrate the potential of this meta-cellulose material to significantly improve performance, stability, and safety in advanced energy storage applications, offering hope for future advancements in the field.

[에너지1-2 | 08:45]
고니켈 단결정 양극재의 고전압 환경 구조 열화 메커니즘 연구 : 홍진석, 차주영, 김소진, 김민기, 이승용* (한양대학교)
Keywords: 고니켈 단결정 양극재, 고전압

전기 자동차, 드론, 에너지 저장 시스템에 대한 수요가 증가함에 따라 더 높은 에너지 밀도를 가진 2차 전지에 대한 필요성이 커지고 있다. 이러한 요구 사항을 충족하기 위해 배터리 용량을 결정하는 양극 재료에 대한 연구가 심화되었고, 이에 따라 높은 용량을 제공할 수 있는 고니켈 양극이 주목받고 있다. 하지만 고니켈 양극재는 배터리 작동 중 체적 변화에 의해 발생하는 입자 간 균열 때문에 용량이 쉽게 저하된다. 이 문제를 해결하기 위해 결정립 경계를 제거하는 단결정 양극을 적용하여 배터리 수명을 향상시키는 방법이 제시되었다. 하지만 단결정 양극재는 고전압 구동시 입자 내에서 gliding 및 rotation과 같은 구조적 열화가 발생하여 성능이 저하되는 것으로 알려져 여전히 개선을 필요로 한다. 특히 이러한 구조적 열화 현상에 대한 근본적인 이해가 매우 제한적이기에 정확한 문제 해결에 어려움을 겪고 있다. 본 연구진은 투과전자현미경(TEM)과 X선 회절(XRD) 분석을 기반으로, 고전압 조건에서 고니켈 단결정 양극에 발생하는 열화 메커니즘을 연구하였다. TEM 이미징을 통해, 양극재 합성 후 본질적으로 존재하는 dislocation이 고전압 작동 이후 다른 결정면 방향으로 재정렬되는 것을 확인하였다. 특히, 고전압 충전 상 및 사이클 후 양극의 TEM 분석과 in-situ XRD 분석을 기반으로 dislocation의 재정렬이 gliding 현상과 밀접한 연관이 있음을 밝혀내었다. 또한 전자에너지 손실 분광법(EELS) 분석을 통해 이러한 결함의 화학적 특성을 파악함으로써, 이들이 전지의 전기화학적 성능에 미칠 수 있는 영향을 검토하였다. 본 연구 결과는 고니켈 단결정 양극재의 고전압 거동에 대한 근본적인 이해를 확장시킴으로써 양극재의 성능 향상을 위한 올바른 개발 방향 설정에 기여할 것으로 기대한다.

[에너지1-3 | 09:00]
Room-Temperature Sodium Batteries Using NASICON-Type 3D Framework-Based Composite Solid Electrolytes : Jin Seok Yang and Chan-Jin Park* (Chonnam National University)
Keywords: Solid-state sodium battery, Composite solid electrolyte, 3D ceramic framework, Na-ion conducting pathway

The growing demand for portable energy storage devices has led to a surge in interest in battery technologies. Sodium batteries have emerged as a promising alternative due to their operational similarities to lithium batteries, combined with the advantages of the abundance of sodium resources and lower costs. Solid-state sodium batteries (SSSBs) are attracting significant attention as a safer option, offering superior thermal stability, non-flammability, and reduced risks of leakage, volatility, fire, or explosion compared to liquid electrolytes. Composite solid electrolytes (CSEs), which integrate the benefits of ceramic and polymer electrolytes, are particularly appealing in this context. However, CSEs face challenges in achieving sufficient ionic conductivity of solid electrolyte at room temperature and reducing interfacial resistance between electrodes and electrolyte. In this study, we developed a high-efficiency three-dimensional Na-ion conducting Na-Zr-Ca-Zr-Si-P-O (3D NZCSP) framework to enhance the overall conductivity of CSEs. The 3D NZCSP structure provides a continuous ionic pathway that facilitates sodium ion mobility while enhancing the mechanical property

of the CSE. The polymer component of the CSE was synthesized via the thermal polymerization of butyl acrylate (BA) using in-situ polymerization techniques, which resulted in excellent electrode-electrolyte interfacial properties. The optimized CSE showed an ionic conductivity of 0.707 mS cm^{-1}, more than three times higher than that of solid polymer electrolytes (SPEs). It also demonstrated remarkable voltage stability of up to 4.88 V versus Na/Na? at 30 °C (4.65 V for SPE), and an improved sodium transference transfer number of 0.62 (0.41 for SPE). In Na stripping/plating tests, the Na|CSE|Na cell exhibited lower and more stable overpotential (16.7 mV at 0.1mA cm^{-2}) when compared to Na|SPE|Na (104.9 mV at 0.1mA cm^{-2}), while the Na|CSE|NVMP cell demonstrated excellent rate performance with a capacity of 94.4 mAh g^{-1} over 300 cycles at a rate of 1 C. These findings suggest that the CSEs based on the 3D NZCSP framework have significant potential as electrolytes for SSSBs.

[에너지1-4 | 09:15]

Composite Solid Electrolytes Based on PVDF-HFP and Silica for Enhanced Lithium-Oxygen Battery Performance : Hyeon-Bin Na and Chan-Jin Park* (Chonnam National University)

Keywords: Li-O_2 battery:Redox mediator:Sulfonated PVDF-HFP:Silica

Lithium-oxygen (Li-O_2) batteries are considered promising for next-generation energy storage systems due to their high theoretical capacity. However, practical application faces significant challenges, including large charge polarization and the shuttle effect associated with lithium iodide (LiI) as a redox mediator, along with issues related to durability. In this study, a novel composite polymer electrolyte was developed using sulfonated poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) (PVDF-HFP) to effectively suppress the shuttle effect. Additionally, silica was incorporated to enhance chemical stability as well as mechanical and electrochemical properties. This integrated electrolyte aims to improve both the performance and safety of the battery. The composite electrolyte demonstrated an ionic conductivity of 1.29 mS cm^{-1}, a lithium transference number of 0.68, and a stable electrochemical window of up to 4.5 V, as confirmed by linear sweep voltammetry (LSV). As a result, the Li-O_2 battery achieved a cycle life of 191 cycles, more than double that of a bare lithium anode. The battery also maintained excellent electrochemical stability, with low polarization of less than 30 mV over 500 cycles at a current density of 0.1 mA cm^{-2} in symmetric Li/CGPE/Li cells. Finally, X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) analysis showed that iodine residues on the lithium anode were minimized, confirming the successful suppression of the shuttle effect. These results indicate that the composite electrolyte effectively protects the lithium anode, reduces self-discharge, and significantly enhances overall battery performance.

[에너지1-5 | 09:30]

Chemo-mechanical responses driven Li pathways in all-solid-state batteries. : Hwiho Kim and Jongwoo Lim* (Seoul National University)

Keywords: All-solid state batteries, X-ray microscopy, sulfide electrolyte

As the demand for safer, more efficient, and longer-lasting batteries increases, all-solid-state batteries (ASSBs) are emerging as a promising alternative to conventional lithium-ion batteries (LIBs). Unlike LIBs, which use a liquid electrolyte that can dissipate stress during cycling, ASSBs utilize a solid electrolyte that fundamentally alters the stress management within the battery. This study investigates the chemo-mechanical behavior of NCM (Nickel Cobalt Manganese) particles in ASSBs, using operando X-ray microscopy to explore their response at the single-particle level and compare it with that in LIBs. Our findings reveal that ASSBs exhibit significantly higher heterogeneity in the cathode particles compared to LIBs. In ASSBs, the solid electrolyte creates persistent stress fields due to continuous solid-solid contact, leading to non-uniform lithium distribution within the cathode. This heterogeneity is most pronounced during discharge and persists even after extended relaxation periods, suggesting that internal stress within the cathode is not effectively relieved. In contrast, LIBs, which rely on a liquid electrolyte, show more homogeneous chemical states within the NCM particles, as the liquid electrolyte helps mitigate internal stress through crack formation and hydraulic pressure. Further analysis shows that cycling temperature plays a crucial role in managing internal stress and improving battery performance. ASSBs cycled at elevated temperatures (55°C) exhibited reduced heterogeneity and less residual stress compared to those cycled at room temperature (25°C). Elevated temperatures soften the solid electrolyte, allowing the cathode to release stress more effectively, which in turn enhances ionic conductivity and reduces the risk of structural degradation. In long-term cycling tests, ASSBs cycled at 55°C demonstrated better retention and less strain within the lattice structure, indicating a more stable and durable performance. Conversely, ASSBs cycled at 25°C showed significant structural degradation, with stress-induced changes observed from the surface to the bulk of the primary particles. This study underscores the importance of understanding and controlling chemo-mechanical responses at the single-particle level in ASSBs. The persistent stress and chemical heterogeneity observed in ASSBs are key factors that can limit their performance and longevity. By addressing these challenges, particularly through temperature management and material optimization, it is possible to develop more reliable and efficient solid-state batteries that can meet the growing demands of modern energy storage applications.

[에너지1-6 | 09:45]

Exploring the potential of lithium fluoride iron phosphate (Li_2MPO_4F, M = Fe, V, Mn) for future lithium-ion batteries: comparative study based on first principles and molecular dynamic simulations : Jae-In Song (Dankook Univ.) and Yong-

Seok Choi* (Dankook Univ.)

Keywords: Li-ion battery, cathodes, cation substitution, first principles calculations, molecular dynamics

$LiFePO_4$ (LFP) cathode with olivine crystal structure played a key role in safe and affordable energy storage, thanks to its low-cost iron and high electrochemical stability within a voltage range of commercial electrolytes (2.8-3.4 V). To maintain these benefits while enhancing its energy density, Li_2MPO_4F was developed by introducing fluorine (F) while replacing iron with other transition metals (M). However, previous studies on these materials have primarily measured performance within a limited voltage window (e.g., 2.5-4.5 V), making it challenging to analyze their performance under advanced electrolytes with a broader voltage range. In this study, we utilized first-principles and molecular dynamics calculations to investigate the electrochemical performance of Li_2MPO_4F with three types of transition metals (M = V, Fe, Mn). Comprehensive calculations on theoretical voltages, atomic structures, and diffusion coefficient were conducted after structural optimization to predict the impact of transition metals on cathode performance. Based on a close comparison of the predicted results, this study discusses the pros and cons of each cation substitution and suggests suitable cathode materials for batteries with high energy density and/or superior rate capability.

[에너지2-1 | 10:10] 조청강연

Electrochemical H_2O_2 production : Jong Min Kim* (Korea Institute of Science and Technology (KIST))

Keywords: Hydrogen peroxide, two-electron oxygen reduction reaction, single-atom catalysts, carbon-based catalysts

Electrochemical hydrogen peroxide (H_2O_2) production through the two-electron oxygen reduction reaction (2e- ORR) is considered a promising alternative to the anthraquinone process due to its eco-friendliness and on-site production. Despite its advantages, it lacks highly efficient 2e- ORR catalysts to achieve high H_2O_2 production at a practical level. Although there has been enormous research activity focused on the development of new 2e- ORR catalysts based on carbon-based materials, there is still a long way to go before reaching the practical performance and stability. To overcome these drawbacks, we have developed highly efficient and stable carbon-based catalysts for 2e- ORR by controlling atomic structure and composition. For example, our Co-N_5-O-C single-atom catalyst with highly coordinated Co-N_5 moieties and electro-withdrawing epoxides can achieve excellent selectivity as well as ultrahigh mass activity through the fine tuning of the coordination environment. Furthermore, CO_2-derived boron-doped hierarchical porous carbon catalyst demonstrates impressive H_2O_2 productivity in a flow reactor system by overcoming the activity-selectivity dilemma of state-of-the-art oxidized carbon catalysts. We believe that our findings will accelerate the advancement of electrochemical H_2O_2 production as an alternative to the conventional anthraquinone process.

[에너지2-2 | 10:35]

A Hybrid Photocatalyst Designed for the Direct Conversion of Air-Captured CO2 : 최충석* (성균관대학교)

Keywords: 광촉매, 태양열, 탄소중립

광촉매 내에서 전자와 열의 흐름을 결합하여 태양 에너지 활용을 증대시키고 광화학적 CO2 환원을 위한 맞춤형 인터페이스를 가진 삼원 하이브리드 광촉매 구조를 발표합니다. 이 광촉매는 Cadmium Sulfide(CdS QDs)이 균일하게 분산된 다중벽 탄소나노튜브(CNTs)에 Cobalt Phthalocyanine(CoPc) 분자가 부착된 구조로 구성됩니다. CdS QDs는 가시광선을 흡수하여 전자-정공 쌍을 생성하며, CNTs는 CdS에서 생성된 전자를 CoPc로 신속하게 전달합니다. 또한, CNT 구성 요소의 흑체 특성은 전자 전도체 역할 외에도 지역적인 광열 가열을 생성하여 추가적인 에너지 입력 없이 직접적인 광화학적 변환을 위해 아민으로 포집된 CO2, 즉 카바메이트를 활성화 시키며, 이를 통해 CoPc 분자는 카바메이트/H2O를 선택적으로 CO/H2로 환원합니다.

[에너지2-3 | 10:50]

Enhancing the photocatalytic performance of $ZnIn_2S_4$ using a wide band gap Z-scheme partner : URUPALLI BHARAGAV, Dong-Seog Kim, Geun-Jae Oh, and Yeon-Tae Yu* (Jeonbuk national university)

Keywords: Hydrogen generation, Methyl orange degradation, Z-scheme, water splitting, Photocatalyst

$ZnIn_2S_4$ has gained extensive attention as a visible active semiconductor for photocatalytic and photoelectrochemical water-splitting applications. However, pristine $ZnIn_2S_4$ failed to exhibit stable and efficient performance due to its intrinsic recombination and photo-corrosion. Hence, the design and development of $ZnIn_2S_4$ based combinations through heterojunction formation is an effective approach to manifest catalytic systems with strong redox capabilities. When coupled with $ZnIn_2S_4$, the synergistic effect of surface-enriched Ag_2WO_4 opens up an effective charge transfer channel. Ag_2WO_4 integration is a viable remedy for ZIS photo-corrosion, as evidenced by the prolonged degradation potency and photocatalytic recyclability. Furthermore, this thorough structural analysis and methodical investigation of the charge transfer pathway between the components of the Z-scheme not only demonstrate their extraordinary functionality but also provide a plan for the creation of futuristic multifunctional systems.

[에너지2-4 | 11:05]

수전해 수소생산을 위한 $PdRhO_x$@N-CeO_2 코어-쉘 나노입자의 합성과 광전기화학적 촉매특성 : 오근재, 김동석, BHARAGAV URUPALLI, 유연태* (전북대학교공대)

Keywords: $PdRhO_x$, N-CeO_2, 코어-쉘, 나노입자, 광전기화학촉매

CeO_2는 전이금속 산화물로서 광을 흡수하는 능력이 뛰어나며, 화학적으로 안정적이고, 광부식에 대한 저항성이 높아 수전해를 위한 광전기화학적 촉매로 연구되고 있다. 또한, Ce^{4+} 에서 Ce^{3+}의 변환을 통해 산소공공을 증가시켜 활성 영역을 확장할 수 있다. 그러나, CeO_2는 대부분의 광흡수가 자외선 영역에서 일어나 광 활용 효율이 낮으며, 주로 산화반응을 촉진시키기 때문에 환원반응인 수소발생반응에 적합하지 않다. 이를 개선하기 위해 $PdRhO_x$ 조촉매를 적용하였다. $PdRhO_x$는 PdO와 Rh_2O_3의 낮은 밴드갭으로 (각각 2.3 eV, 1.7 eV) 주로 가시광 영역대의 빛을 흡수하여 광 활용 효율을 증가시킬 수 있으며 환원반응을 촉진시켜 수소발생반응을 증가시킬 수 있다. 또한, PdRhOx는 기존의 조촉매로 사용되던 PdO와 Rh_2O_3보다 좋은 수소흡장능력을 가지고 있어 촉매특성을 더욱 향상시킬 수 있다. $PdRhO_x$는 Pd-Rh 합금을 대기와 Pd과 Rh이 산화될 수 있는 400°C 이상의 온도에서 소성하여 합성하였다. 이러한 고온에서의 소성은 Pd-Rh가 응집되어 각자 다른 크기를 갖는 $PdRhO_x$로 산화되며, 밴드갭이 변화하게 되어 안정적인 촉매를 합성할 수 없다. 이를 해결하고자 코어-쉘 구조를 적용하였다. 본 연구에서는 Pd-Rh(alloy)@N-CeO_2 코어-쉘 나노입자를 수열합성법으로 합성 후 소성과정을 거쳐 $PdRhO_x$@N-CeO_2 코어-쉘 나노입자를 합성하였다. 또한, 열처리 온도에 따른 $PdRhO_x$@N-CeO_2 코어-쉘 나노입자의 결정구조 변화 및 촉매 활성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 다양한 온도 (500-800°C)에서 소성을 진행하였고 최적의 소성온도를 도출하였다. 이 코어-쉘 나노입자의 결정성과 결합구조를 조사하기위해 XRD 분석과 XPS 분석을 실시하였고, 광전기화학적 촉매특성은 3전극 구조의 셀을 구성하여 분석하였다.

[에너지2-5 | 11:20]

Phase-Field Modeling of Constituent Redistribution in U-Zr Metallic Fuel : Impact of Porosity-Induced Thermal Conductivity Changes : Woo-Jin Jung (Kyung Hee university), Ju-Seong Kim (Korea Atomic Energy Research Institute), and Kunok Chang* (Kyung Hee university)

Keywords: Nuclear engineering, U-Zr fuel, constituent redistribution, porosity, sodium infiltration

U-Zr metallic fuel, recognized for its superior thermal conductivity compared to conventional UO2 fuel, is being investigated for use in fourth-generation nuclear power plants with higher power outputs. Burnup experiments have shown that U-Zr fuel undergoes a redistribution phenomenon, leading to increased Zr concentrations in specific regions. This redistribution results in non-uniform power output, making it essential to understand and control this phenomenon quantitatively. To address this, we developed a one-dimensional multiphysics simulation model that incorporates elemental diffusion, temperature gradients, changes in thermal conductivity due to increasing porosity, variations in chemical composition, and the effects of sodium infiltration. The model assesses the spatial distribution of several phases within cylindrical U-Zr fuel and examines the redistribution of elements and constituents based on the radial temperature distribution of the fuel. By incorporating experimentally evaluated porosity and sodium infiltration, the model predicts a more realistic microstructure that accounts for inhomogeneous thermal conductivity.

[에너지3-1 | 13:00]

전이금속 기반 상온 자기냉각 소재인 Mn-Fe-P-Si 및 Ni-Mn Heusler 합금 설계에 따른 자기냉각 물성 연구 : 이태우, 김영훈*, 안경한* (성균관대학교 자연과학캠퍼스)

Keywords: 자기열량효과, Mn-Fe-P-Si, Ni-Mn Heusler

현재 널리 사용되고 있는 기체 압축 냉각 기술은 높은 에너지 소비량과 함께 지구 온난화 등 기후 변화의 주요 원인 중 하나로 지목되고 있다. 기체 압축 냉각 시스템에서 사용되는 기체 냉매는 온실 가스와 유독 가스를 방출하여서 환경 친화적이지 않기 때문에, 이를 극복할 수 있는 차세대 냉각 기술로서 자기열량 효과(Magnetocaloric effect)를 이용한 자기냉각(Magnetic cooling) 기술은 친환경 냉각기술로서 많은 주목을 받고 있다. 자기열량 효과는 자기장 인가/제거에 따라서 자기냉각 물질이 가열/냉각하는 현상으로, 이를 이용해서 친환경적이며 고효율 냉각이 가능하다. 특히, 범용 냉각 응용을 위해서는 상온에서 자기열량 효과를 활용할 수 있는 유망한 자기냉각 소재 개발이 필수적이다. 기존의 Gd-Si-Ge, La-Fe-Si 등 자기냉각 소재는 다양한 온도 범위에서 높은 자기냉각 성능을 보이나, 희소 자원이자 고가인 희토류 원소를 사용하여 상용화에 어려움이 있어서, 저가이면서도 높은 성능을 가진 비희토류 상온 자기냉각 소재 개발이 필수적이다. 본 발표에서는 전이금속 기반 상온 자기냉각 소재 중에서 Mn-Fe-P-Si 소재에서 Si 자리에 Ge, Sn, Sb, Bi 등 다양한 원소들을 치환함으로써 고엔트로피 자기냉각 소재를 합성하였고 그에 따른 자기냉각물성 변화에 대해서 고찰할 예정이며, Ni-Co-Mn-Ti Heusler 소재에서는 Ti 원소와 완벽히 고용되는 Sn 원소의 함량 변화에 따른 결정구조 및 자기냉각물성 변화에 대해서 발표하고자 한다.

[에너지3-2 | 13:15]

Analysis of Microstructure and Magneto-caloric effect on La-based Magneto-caloric Materials by Hot rolling process : Seon Yeong Yang (Korea Institute of Materials Science (KIMS), Sunchon National University), Min Jik Kim, Woo Seok Yang (Korea Institute of Materials Science (KIMS)), Jeoung Han Kim (Hanbat National University), Kwang Seok Lee (Korea Institute of Materials Science (KIMS)), Dong Geun Lee (Sunchon National University), and Da Seul Shin* (Korea Institute of Materials Science (KIMS))

Keywords: La-Fe-Co-Si alloy, Magneto-caloric effect, Hot rolling process, Multi-step heat treatment

Magnetocaloric materials (MCM) are attracting the spotlight in the application of magnetic refrigeration due to the large magnetocaloric effects (MCE) leading to a thermal response upon application of a magnetic field. Among them, the La-Fe-Co-Si compounds have attracted attention via MCE near room temperature, small hysteresis, and non-toxic constituting elements due to their

usage for magnetic refrigeration. Especially, the development of the shaping structure of materials such as plates, and wire is essential to achieve enhanced heat transfer efficiency with the fluid in the magnetic refrigeration. However, the limited deformation technologies for shaping MCM into desired geometries are a significant challenge due to the intrinsic brittleness of the MCM. In this study, we developed a manufacturing technology as a part of the MCM componentization of La-Fe-Co-Si alloy. To determine the formability of the La-based quaternary alloys, we systematically investigated multi-scale characterization via Nano-indentation, as well as the hot/cold forging process. We achieved a compression ratio of around 70% by the hot rolling of La-Fe-Co-Si alloy, and the effect of hot rolling deformation on the MCM properties was analyzed. The resulting microstructures were analyzed and compared using scanning electron microscopy (SEM) and electron backscatter diffraction (EBSD). Transmission electron microscopy (TEM) was performed to identify compositional variations within the 1:13 phase due to the forming process, and numerous distorted regions were found to be associated with the decreasing magnetocaloric properties in the hot-rolled specimens. Additionally, the magnetocaloric properties were enhanced through microstructure manipulation via a multi-step heat treatment process. This study successfully implemented the componentization forming process for MCM, such as sheets and plates with a thickness of 1 mm, using hot rolling for magnetocaloric materials with a Curie temperature (T_C) of approximately 270–280 K.

[에너지3-3 | 13:30]

Bilayer Structure Devices for Hydrovoltaic Energy Harvesting : kaiying zhao and Cheolmin Park* (Yonsei University)

Keywords: Hydrovoltaic, enegy harvesting, aerogel, hydrogel, MXene

Free-standing and film-type Hydrovoltaic energy generators (HEGs) are promising for wearable and portable applications due to their ability to harness ionized moisture interacting with hydrophilic materials without the need for a water container. These HEGs, however, often face performance issues under low humidity conditions. In this presentation, I will present high-performance HEGs with enhanced capabilities across a wide range of environmental conditions. The innovative HEG design features a bilayer structure comprising a negatively surface-charged, hydrophilic MXene (Ti3C2Tx) aerogel paired with a polyacrylamide (PAM) ionic hydrogel. First-principle simulations predict that the MXene aerogel selectively captures positive charges from the hydrogel's salts and water, enabling high electric output across a broad relative humidity range of 20% to 95%. By substituting the hydrogel with a PAM-based organohydrogel that offers superior water retention and structural stability, the HEG achieves sustained electricity generation for over 15 days within a temperature range from −20 to 80 °C. These MXene aerogel HEGs, when connected in series, can power commercial electronic components in various outdoor settings and function as self-powered sensors for monitoring finger movements and facial expressions. In addition, I will introduce a film-type HEG designed to operate effectively at low humidity levels (down to 20%). This HEG utilizes an ion-selective polymer aerogel as the electricity-generating layer and a water-collecting gel as a reservoir. The water-collecting gel maintains moisture supply even in low-humidity environments, which is crucial for the aerogel's vertical microstructure, developed during freeze-drying. This structure enhances moisture delivery and electricity generation, resulting in a stable open-circuit voltage of 1.1 V for over 500 minutes under 20% relative humidity. This HEG demonstrates the potential for various self-powered electronic applications in dry conditions and offers insights for future HEG designs aimed at green and sustainable power generation.

[에너지3-4 | 13:45]

A Biodegradable Silk-based Energy-generating Skin with Dual-mode Tactile Perception : Shengyou Li and Cheolmin Park* (Yonsei university)

Keywords: Electronic skin, silk fibroin, moisture electric generator, triboelectric generator

Tactile e-skin with artificial mechanoreceptors can perceive static pressure and dynamic vibrations. However, the complexity of these tactile sensing systems has challenges in power consumption and recyclability. In this presentation, I will present a dual-mode energy-generating skin (EG-skin) capable of self-powered haptic sensing using a biodegradable hygroscopic film based on silk fibroin and phytic acid. At 85% relative humidity (RH), this EG-skin generates an open-circuit voltage of 1 V and a maximum short-circuit current density of 110 μA cm^{-2} via moist electric generation (MEG). At ambient 35% RH, it produces a dual-mode energy output of 8.4 μW cm^{-2} by combining triboelectric nanogenerator (TENG) with MEG. Static pressure and dynamic vibration sensing are further demonstrated through the coupling of TENG and MEG. In practice, this EG-skin can be used to emulate Morse code for encrypted communication. In addition, a three-terminal artificial synaptic device can be driven by this EG-skin to realize self-powered operation.

나노소재
Room 봅슬레이+바이에슬론, 10월 30일

[나노1-1 | 08:30]
Low-Cost Single Crystal Materials: Production and Potential Uses : Sunghwan Jin* (Kangwon National University)
Keywords: Single crystal materials, graphene, 2D materials, high-energy-density battery

Most commonly used materials are polycrystalline, composed of numerous grains and grain boundaries that often act as defect sites. In contrast, single crystal materials, which lack these boundaries, typically exhibit superior properties compared to their polycrystalline counterparts. However, their widespread use has been limited by the high cost of production. In this presentation, I will discuss our innovative strategies for producing single crystal materials at a more affordable cost, thereby making them accessible for a broader range of applications. I will particularly highlight our recent efforts to explore the potential applications of these low-cost single crystal materials, focusing on their use as substrates for the synthesis of single crystal 2D materials and as current collector materials in high-energy-density batteries.

[나노1-2 | 08:45]
Colloidal Synthesis of P-type Zn3As2 Nanocrystals : SEONGCHAN KIM, NAMYOUNG GWAK, SEUNGKI SHIN, JAEYOUNG SEO, DONGJOON YEO, JINA NA, SUNGWON KIM, and Nuri Oh* (Hanyang University)
Keywords: colloidal synthesis, zinc arsenide, II-V semiconductor, p-type

Zinc pnictide (Zn3Pn2, where Pn= P, As, or Sb) are II-V Semiconductors composed of earth-abundant elements from groups II and V of the periodic table. These materials exhibit remarkable properties, including high carrier mobility, low effective mass, anisotropic charge transport, and narrow band gaps. Among them, Zn3As2, with a band gap of approximately 1.0eV, stand out as a promising candidate for optoelectronic applications across a broad spectrum of wavelengths. The inherent p-type characteristics and suitable bandgap of Zn3As2 make it particularly attractive in light of the abundant inorganic n-type nanomaterials. Colloidal synthesis of nanocrystals(NCs) from compound semiconductors allows for precise size control, enabling a wide range of tunable electrical and optical properties. Zn3As2 NCs, in particular, show promise for low-cost, large-area processing, with potential applications in solar energy harvesting and photodetection from visible to infrared regions. However, research on colloidal Zn3As2 NCs has been limited by challenges such as the lack of suitable precursors, surface oxidation, and complex crystal structures. Common precursors, such as diethylzinc and tris(trimethylsilyl)arsane, often result in overly reactive species that produce ZnAs NCs with inadequate crystallinity and suboptimal stoichiometry. In this study, we present a novel, facile solution-based synthetic approach to produce highly crystalline p-type Zn3As2 nanocrystals with precise stoichiometry. By carefully controlling the feed ratio and reaction temperature, we successfully synthesized colloidal Zn3As2 NCs and elucidated the mechanism of As precursor conversion during the initial stages of Zn3As2 formation. These nanocrystals were utilized as active layers in field-effect transistors, demonstrating inherent p-type characteristics with native surface ligands. To further enhance charge transport properties, a dual passivation strategy involving phase-transfer ligand exchange was employed, achieving hole mobilities of up to 0.089cm2V-1s01. This work not only advances the synthesis of nanocrystals but also opens new avenues for research into p-type nanomaterials.

[나노1-3 | 09:00]
Abnormal Melting behavior of Spiky Gold Mesoparticles Recovered from Gold Alloy Inlay Using Aqua regia : 이지은, 김지영, 곽민경, 박은수* (서울대학교)
Keywords: Gold mesoparticle, Chemical reduction, Spiky nanoparticle, nucleation and growth, Melting-point depression

귀금속으로 분류되는 금은 치과주조용 인레이 합금에 다량 함유되어 있으며, 왕수 용액 상에서 이온 형태로 존재하고 이를 환원제와 결합시켜 석출·환원된 순수한 금 미립자를 제조할 수 있어, 이는 자원 재활용 측면에서 큰 가치가 있다. 금은 벌크 형태에서 황금색으로 나타나지만, 전도성 금속 물질 표면에 전기장이 형성되어 플라즈몬(plasmon)들이 규칙적인 주기를 가지고 이동하는 현상인 Surface plasmon resonance(SPR) 현상이 나타나는 미립자의 경우, 입자의 크기와 모양에 따라 흡수 및 산란되는 파장이 자유롭게 조절되어 다양한 색을 나타내는 특성이 있다. 금 미립자는 구형을 비롯하여 매우 다양한 형태가 존재하며 온도, pH, 환원제 종류 등에 따라 크기와 형태가 다르게 나타나는 것으로 알려져 있다. 이러한 독특한 물리적·광학적 특성과 화학적 특성으로 인해 금 미립자 제조 방법과 입자의 크기 및 형태 조절에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 연구에서는 질산과 염산을 혼합하여 제조한 왕수 용액에서 염화금산 형태로 존재하는 금 이온을 환원제인 메타중아황산나트륨과 반응시켜 spiky branches를 가지는 shape의 미립자를 석출·환원하였으며, 제조된 미립자를 열처리한 후 색과 형상이 변화하는 현상을 관찰하여 이에 대한 원인을 규명하고자 하였다. 그리고 금 메조입자 콜로이드의 핵 생성 및 성장 메커니즘에 대하여 고찰하였으며, spiky gold의 tip 부분의 성장과 환원제의 비율 및 열처리 온도 간의 상관관계에 대하여 이해하고자 하였다. 이를 위하여 Differential Scanning Calorimetry와 Scanning Electron Microscopy 및 Transmission Electron Microscopy를 이용하여 열 분석 및 이미지 분석을 통해 미립자의 size에 따른 melting-point depression effect를 확인하였으며, spiky gold 입자의 FCC 결정면 결정 방위 관계에 대해 이해하고자 하였다. 본 연구는

화학적 환원 방법을 통해 제조된 금 입자의 형상, 크기, 색 변화의 상관관계 개념 이해에 대하여 가이드 라인을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

[나노1-4 | 09:15]

지지층을 이용한 다양한 표면 에너지를 갖는 임의의 기판으로의 그래핀 전사 최적화 : 남정욱, 홍성진, 전기홍, 박지혜, 박민석, 박재원, 우윤성* (단국대학교 신소재공학과)

Keywords: 표면에너지, 그래핀, 도핑, 응력, 기판, CVD

우수한 물리적 특성을 가진 그래핀은 다양한 산업에 적용되며 특히, 그래핀과 이종 물질의 다층막 구조는 박막 트랜지스터, 광학 소자, 투명전극 및 EUV Pellicle과 같은 다양한 분야에 적용될 수 있다. 따라서, 응용 분야에 따라 다양한 물질로 이루어진 기판으로의 그래핀 전사 공정이 요구되며, 그래핀과 이종 물질 간의 균일한 계면과 우수한 접합 특성을 위해서는 그래핀의 주름, 잔존 유기물 등의 제어가 매우 중요하다. 화학기상증착법(CVD)로 합성한 그래핀 필름은 대면적으로 연속적인 생산이 가능하다는 장점이 있다. 하지만, 그래핀을 임의의 기판으로 옮기는 과정에서 발생하는 잔존 유기물과 주름, 찢어짐과 같은 결함에 의해 그래핀 고유의 우수한 특성을 잃게 될 수 있다. 본 연구에서는 다양한 전사 보호층 물질을 이용하여 표면 에너지가 다른 임의의 기판 위에 그래핀을 전사하여 라만 분광법과 AFM을 이용하여 그래핀의 물리적 특성을 분석하였다. 화학기상증착법(CVD)으로 구리 포일 위에 합성한 그래핀을 친수성 물질인 Cellulose acetate와 소수성 물질인 PMMA 및 Paraffin을 보호층으로 사용하여 각각 표면 에너지가 다른 pristine SiO2/Si, HMDS가 코팅된 SiO2/Si, 오존 처리를 한 SiO2/Si 기판에 전사하였다. Raman 분광법을 이용하여 보호층 및 전사된 기판의 종류에 따라 보호층이 코팅된 상태와 제거된 상태의 그래핀에 가해지는 응력과 도핑을 비교, 분석하였고, AFM을 이용하여 그래핀의 표면 형상을 분석하였다. 실험 결과, 그래핀의 응력은 보호층이 코팅된 그래핀과 기판 사이의 상호 작용에 의해 결정되며 보호층 제거에 의해 크게 영향을 받지 않은 반면, 그래핀의 도핑은 보호층 제거 후에 크게 변하였으며 기판의 종류에 의해 주로 결정되었다. 보호층을 제거 후 친수성인 보호층을 사용하여 친수성 기판에 전사된 그래핀은 균일한 압축 응력과 넓은 범위의 도핑을 보이는 반면, 소수성인 보호층을 사용하여 소수성을 갖는 높은 표면 에너지의 기판에 전사된 그래핀은 압축 및 인장에 걸치는 넓은 범위의 응력과 낮고 비교적 균일한 도핑 농도를 보였다. 또한, 그래핀의 전자 이동도와 밀접한 2D FWHM은 보호층과 기판 사이의 표면 에너지 차이가 클수록 작은 값을 보였다. 이로부터 임의의 기판으로 전사되는 그래핀의 물리적 특성은 기판과 보호층의 표면 에너지에 의해 모두 영향을 받으며, 기판의 특성에 따라 적절한 보호층 물질을 사용하여 전사된 그래핀의 우수한 특성을 확보하는 방법을 제안하고자 한다.

[나노2-1 | 09:40] Canceled

Chiral Nanomaterials and Their Applications : Jihyeon Yeom* (KAIST)

Keywords: Chirality, Nanomaterials, Chiroptical, Circularly Polarized, Chiral materials

Chiral inorganic nanomaterials exhibit unique properties stemming from their asymmetric structures, Their interesting optical, magnetical, and biological properties make them important in various scientific and technological domains. This talk presents an overview of the synthesis, characterization, and applications of chiral inorganic nanomaterials across different scales. Depending on their scale of chirality, these materials manifest intriguing chirality-dependent phenomena, offering opportunities for tailored functionalities. Various synthesis methods, including chirality transfer and self-assembly approaches, enable precise control over the chirality and morphology of these nanomaterials. In terms of applications, chiral inorganic nanomaterials find utility in sensing, photonics, and biomedicine. Their chirality often governs their optical, electronic, and catalytic properties, making them attractive candidates for advancing technologies such as optoelectronics, drug delivery, and environmental remediation. Understanding the interplay between chirality and properties of nanomaterials unlocks avenues for innovative solutions across a broad spectrum of disciplines, underscoring their significance in contemporary materials science and nanotechnology.

[나노2-2 | 09:55]

Chiroptical synaptic perovskite memristor as reconfigurable physical unclonable functions : HoYeon Kim and Cheolmin Park* (Yonsei University)

Keywords: chiroptic synaptic perovskite memristor, physical unclonable function, digital fingerprints, data storage and encryption, optoneuromorphic functions

Physical unclonable functions (PUFs) analogous to digital fingerprints are rapidly gaining recognition as a vital component for strengthening hardware security and encryption. Despite significant progress in developing various optical and electrical (memory-based) PUFs, a reconfigurable electrical PUF with sensitivity toward circularly polarized light has rarely been demonstrated. We demonstrate a chiroptical synaptic memristor as a reconfigurable PUF based on a two-dimensional organic–inorganic halide chiral perovskite. This device effectively discerns circular-polarization states and exhibits photo-responsive electrical output under circularly polarized-light illumination. Such features notably benefit opto-neuromorphic functions. An artificial vision system built using this device adeptly performs image-categorization tasks. Additionally, by leveraging a 10 × 10 crossbar array of the chiral synaptic memristors, we develop a PUF capable of reconfigurable data encryption and decryption based on a polarized light state. This innovation is characterized by a diverse and adaptable range of photoelectric functionalities for secure optical data storage and encryption.

[나노2-3 | 10:10]

Tunable Hydrogen Sensor with Sonication-Induced Palladium Nanogaps in a Capacitive Structure : Sang-kil Lee, Junho Lee, Jiwoo Hong, Seyoung Park, Hyun-Sook Lee, Kyu Hyoung Lee*, and Wooyoung Lee* (Yonsei Univ.)

Keywords: hydrogen sensor, capacitive, nanogaps, Pd thin films, sonication

Hydrogen is an environmentally friendly energy source, but its high flammability and undetectability upon leaking present substantial safety challenges. To address this, a novel and highly reliable hydrogen sensor is developed. Unlike previous resistive nanogap sensors, this sensor incorporates a capacitive mechanism to enable real-time monitoring of the behavior of Pd nanogaps, generating stable capacitance signals within a specific value range. As a higher Pd crack density limits deformation during initial exposure to 4% H_2 (N_2 balance), creating smaller nanogaps essential for high sensitivity, a simple ultrasonication is used to induce fine seed-cracks in the thin-metal-film/polydimethylsiloxane system. As the sonication time increases, the initial cracks densify and the error decreases, allowing easy control of the average Pd nanogap size. This enables customization of the sensing range, affording an ultra-low H_2 detection limit of 3 ppm. Repeatability tests conducted using 300 ppm H_2 over 50 cycles reveal superior durability and signal stability to previous Pd nanogap sensors. The novel capacitive sensor offers a reliable solution for H_2 detection: a significant breakthrough in commercializing highly sensitive and selective Pd nanogap sensors. Leveraging its stability and tunability, this paves the way for a future energy society with enhanced safety of H_2 utilization.

[나노2-4 | 10:25]

Highly luminescent shell-less indium phosphide quantum dots enabled by atomistically tailored surface states : Namyoung Gwak, Seongchan Kim, and Nuri Oh* (Hanyang Univ.)

Keywords: indium phosphide, colloidal nanocrystal, III-V semiconductors

Contrary to the prevailing notion that shell structures arise from the intricate chemistry and surface defects of InP quantum dots (QDs), we introduce an innovative strategy that remarkably enhances the luminescence efficiency of core-only InP QDs to over 90%. This paradigm shift is achieved through the concurrent utilization of group 2 and 3 metal-derived ligands, providing an effective remedy for surface defects and facilitating charge recombination. Specifically, a combination of Zn carboxylate and Ga chloride is employed to address the undercoordination issues associated with In and P atoms, leading to the alleviation of in-gap trap states. The intricate interplay and proportional ratio between the Ga- and Zn-containing ligands play pivotal roles in attaining record-high luminescence efficiency in core-only InP QDs, as successfully demonstrated across various sizes and color emissions. Moreover, the fabrication of electroluminescent devices relying solely on InP core emission opens a new direction in optoelectronics, demonstrating the potential of our approach not only in optoelectronic applications but also in catalysis or energy conversion by charge transfer.

표면계면
Room 봅슬레이+바이에슬론, 10월 30일

[표면계면1-1 | 11:00]
레이저 텍스처링 및 자동 섬유 배치 (AFP)를 활용한 금속-열가소성 복합재 하이브리드화 기술에 대한 연구 : 정준영*, 신용현, 김보성 (현대자동차(주)), 최행선 (서진산업(주)), 강나루, 강정석 (한국탄소산업진흥원), 박창규 (서울과학기술대학교)
Keywords: 금속-복합재 하이브리드화, 자동 섬유 배치, 레이저 텍스처링, 열가소성 탄소섬유 복합재

자동차 산업에서는 경량화 목표를 달성하기 위해 강철, 알루미늄 합금 등 구조용 금속에 비해 가볍기 때문에 유리나 탄소섬유를 첨가한 강화 플라스틱을 차체에 적용하는 것이 활발히 고려되고 있다. 그러나 섬유 강화 플라스틱(FRP) 복합재료의 높은 재료 가격과 낮은 생산성으로 인해 차체에 적용하는 데 한계가 있습니다. 따라서, 기존 강철이나 알루미늄 차체 부품에 열가소성 탄소섬유 강화 플라스틱 (Carbon Fiber Reinforced Thermo-Plastic, CFRTP) 복합재를 국부적으로 적용할 수 있도록 AFP(Automated Fiber Placement)를 이용한 금속 표면의 레이저 텍스처링 기술과 접합 기술의 하이브리드 기술을 연구했다. 금속 재질과 주요 레이저 공정 변수에 따른 금속 표면 레이저 텍스처링 거동에 대한 연구를 실시하였고, AFP 주요 공정 변수에 따른 금속과 CFRTP의 접합력 및 기계적 성능에 대해 연구하였다.

[표면계면1-2 | 11:15]
Investigation of in-situ Scanning Electron Microscopy technique for microstructural evolution of Li ion batteries : Jiung Cho* (Hongik University)
Keywords: Li ion battery, dendrite, In situ SEM

In-situ techniques have proven to be an important and powerful tool for understanding lithium extraction/insertion mechanisms. Among the techniques, the in-situ SEM technique provides a wide field of imaging and analysis of non-equilibrium or metastable states, which makes the experimental samples close to the realistic bulk batteries. Silicon (Si) has drawn attention as an active anode material for next-generation Li-ion batteries because of its theoretical capacity 10 times higher than graphite and low lithiation potential. The degradation mechanism of Li-alloy based anodes is the reversible capacity fades since a large volume expansion/shrinkage occurs. Addressing the above issues during the electrochemical response of the battery, that related to the commercial use of Si-based electrodes. In this work, the in-situ SEM cell was specially designed for observing a cross-sectional image. The cell was composed of the Si electrode, a Li metal as a counter electrode, and a glass microfiber separator. The ionic liquid electrolytes exhibit favorable properties such as negligible vapor pressures, high thermal stability, wide electrochemical windows, and inflammability. We elucidate the morphological evolution of the silicon-based electrodes in LIBs during the charge/discharge process in real-time. The combination of in-situ SEM testing and cross-sectional observation yields detailed information on the cracking of the micron-sized individual particles in the Si electrode that was milled by a cross-section polisher. That provides critical insights into the chemomechanical effect mechanism. We can discuss how the Li-alloy materials may be controlled to improve the cycling performance of the device

[표면계면1-3 | 11:30]
Improved Sensitivity and Recovery Time of ZnO/SWCNTs-Based Nitric Oxide Gas Sensor Utilizing Photo-Stimulated Desorption Method at Room Temperature Environment : Kyung Eun Kim, Ryang Ha Kim, Beom Su Jo, and Young Lae Kim* (Gangneung-Wonju National University)
Keywords: Single-walled carbon nanotube, Zinc oxide, Nitric oxide, Photo-stimulated desorption, Room-temperature operation

Nitric oxide (NO) is a colorless, odorless gas that is highly reactive with oxygen in the air. NO gas causes environmental problems and explosions in both life and industrial settings:therefore, NO gas detection is necessary to prevent these issues. Previous research has focused on detecting NO gas using sensors that typically operate at high temperatures, between 160 and 300°C. Sensors operating at high temperatures require high power consumption and are not portable, making it necessary to develop NO gas sensors that can operate at room temperature. Single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) have a large specific surface area, excellent thermal conductivity, and high tensile strength, making them suitable for use in wearable sensors. Zinc oxide (ZnO) possesses excellent physical and chemical properties, along with advantages such as chemical stability, environmental friendliness, and low synthesis cost. In this work, a ZnO/SWCNTs-based NO sensor will be fabricated to provide a rapid and excellent response and recovery rate to NO gas, even at room temperature. The NO sensor based on pristine SWCNTs exhibited a response of 4.17% at an NO gas concentration of 50 ppm. However, the NO sensor based on ZnO-decorated SWCNTs showed a significant improvement with a response of 32.94% at the same concentration, an enhancement of 690%. Despite this improvement, the recovery rate was low. To address this issue, an external light source was used. Experimental results showed that using a UV light source (405 nm) accelerated the recovery rate, attributed to photo-stimulated desorption, a phenomenon where gas molecules adsorbed on the surface are desorbed by light irradiation. Utilizing photo-stimulated desorption, the recovery time of the nitric oxide gas sensor was reduced from 2,400 seconds to 83 seconds at a nitric oxide concentration of 100 ppm, shortening the time by approximately 39 minutes. As a result, the high sensitivity and rapid recovery

characteristics of the ZnO/SWCNTs-based NO gas sensor developed in this study can prevent air pollution and explosion accidents caused by nitric oxide gas leaks even at room temperature.

[표면계면1-4 | 11:45]

브레이크 마찰재의 탄성계수와 스퀼소음 상관관계 연구 : 이상목*, 장연하, 이병찬, 김율구 (현대자동차㈜), 현은재 (상신브레이크), 한재동 (새론오토모티브), 이성주 (KB오토시스)

Keywords: 브레이크 마찰재, 탄성계수, 스퀼소음

본 연구에서는 브레이크 시스템의 마찰재 물성 중 하나인 탄성계수와 스퀼소음과의 연관성을 규명하고자 하였다. 먼저, 스퀼소음과 마찰재와 디스크 간 마찰계수의 영향성을 줄이기 위해, 마찰재의 하층재 두께를 조절하여 샘플을 제작하였다. 마찰재의 하층재 종류와 두께별로 탄성계수가 상이한 경향성을 보이는 것을 확인하였으며, 위 샘플을 이용하여 브레이크 다이나모미터에서 스퀼소음 평가를 실시하였다. 평가 결과, 하층재의 두께 및 재질에 따라 변화한 탄성계수 값이 스퀼 소음의 발생 빈도와 음압 크기에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다. 탄성계수가 상승할수록 스퀼소음이 감소하는 경향성을 확인할 수 있었으며, 결과의 신뢰성 검증을 위해 다른 브레이크 시스템에서도 탄성계수와 스퀼소음이 연관성이 있는지 확인해보았다. 그 결과, 마찰재가 특정 값의 탄성계수 범위에 있을 때, 스퀼 소음이 감소하는 경향성을 확인하였다. 따라서 시스템의 탄성계수(or 강성)과 마찰재의 탄성계수 간의 비율이 중요하다고 추정할 수 있었다. 본 연구는 마찰재의 탄성계수 조절이 스퀼소음을 억제하는데 중요한 인자로 활용될 수 있다는 것을 시사한다.

[표면계면1-5 | 12:00]

철 섬유의 크기에 따른 브레이크용 마찰재의 마찰특성 및 마찰표면 특성에 대한 연구 : 서형조, 장호, 손석수* (고려대학교)

Keywords: 접촉고평부, 스틱-슬립, 철 섬유, 브레이크 마찰재

본 연구에서는 자동차용 브레이크 마찰재에 사용되는 원료들 가운데 강화재로서 사용되는 가장 핵심적인 원료 중 하나인 철 섬유의 크기에 따른 마찰 특성을 비교 분석하였다. 브레이크용 마찰재에 들어가는 다른 원료들의 영향을 최대한 줄이기 위해 단순조성의 마찰재를 제작하였으며, 모든 원료들의 함량은 동일하며, 상대적으로 긴 철 섬유와 짧은 철 섬유, 서로 다른 크기를 가지는 2종류의 철 섬유를 사용하여 각각 마찰재를 제작하였다. 상대재인 브레이크 디스크로는 일반적으로 가장 널리 사용되는 회주철 디스크를 사용하였다. 마찰 특성을 분석하기 위해 차량의 제동 과정을 모사하는 장비인 1/5 스케일 축소형 제동검력기를 사용하였으며, 다양한 속도에서 실험을 진행하여 철 섬유의 크기에 따른 마찰 특성 및 마찰재의 표면에 존재하는 접촉고평부의 분포를 확인하였다. 실험 결과, 짧은 철 섬유(SS)를 사용하여 제작한 마찰재가 긴 철 섬유(LS)를 사용한 마찰재보다 상대적으로 더 높은 마찰계수와 스틱-슬립 진폭을 가지는 결과를 보여주었다. 이를 통해 LS 마찰재의 표면에서만 생성되는 2차고평부의 역할보다 1차고평부 역할을 하는 철 섬유의 영향이 더 큰 것을 확인하였다. 반면 마모량 결과에서는 LS가 더 높은 마모량을 보여주었다. 마모량은 마찰계면에서 접촉고평부의 파괴로 인해 결정되므로, LS에서 보다 더 활발한 접촉고평부의 파괴를 확인하였다. 마찰계수와 스틱-슬립의 진폭 결과와는 상반되게 마모량 측면에서는 1차고평부보다 2차고평부의 영향이 주요하게 작용하여 마모량이 결정되는 것을 확인하였다.

[AW-3 | 13:00] 동국송원학술상 수상기념강연

코팅층과 기판 사이의 부착강도 측정 기술 연구: 스퍼터 코팅층과 페인트 코팅층 중심으로 : 조영래* (부산대학교)

Keywords: 부착강도, 스퍼터링, 페인팅, 계면, 측정 기술

본 발표는 40년 동안 고민하고 연구했던 내용으로 이종소재의 본딩기술과 계면공학에 관심 있는 여러 재료공학 연구자들과 함께 고민하고 싶은 내용이다. 산업의 발전과 함께 복합적인 재료의 기능성 혹은 내구성을 향상시키기 위한 목적으로 코팅층의 적용이 필수적으로 요구되고 있다. 스퍼터링(sputtering) 및 페인팅(painting)과 같은 코팅 방법은 각각의 특성과 응용 범위에 따라 광범위하게 사용되고 있으며, 이들 코팅층(coating layer)과 기판(substrate) 사이의 부착강도(adhesion strength)는 코팅층의 성능과 수명을 결정하는 중요한 요소로 작용하고 있다. 본 연구에서는 코팅층과 기판 사이의 부착강도를 평가하기 위해 다양한 시험 방법들을 적용하고 각각의 원리와 적용성을 비교 분석하였다. 먼저, 인장 시험기를 사용한 풀 오프 시험(Pull-off Test)을 통해 코팅층과 기판 사이의 부착강도를 평가하였으며, 스크래치 시험(Scratch Test)을 통해 코팅층의 기계적 내구성을 평가하였다. 또한, 접착성 테이프 시험(Adhesive Tape Test)과 크로스 해치 커트 시험(Cross Hatch Cutter Test)을 활용하여 표면 접착력을 정성적으로 평가하고, 돌리 테스트(Dolly Test)를 통해 작은 면적에서의 정밀한 부착강도를 측정하였다. 박리 시험(Peel Test)을 통해서는 필름 형태의 코팅층의 접착력을 평가하였으며, 마지막으로 연필 경도 시험(Pencil Hardness Test)을 통해 코팅층의 표면 경도와 긁힘 저항성도 평가하였다. 연구 결과, 각 시험 방법은 코팅층의 특성과 부착강도를 평가하는 데 상호 보완적인 정보를 제공하며, 특히 스퍼터 코팅층과 페인팅 코팅층 간의 부착강도 차이를 정량적으로 비교하는 데 유용한 도구로 활용될 수 있음을 확인하였다. 스퍼터링에 의해 형성된 코팅층은 일반적으로 더 높은 부착강도를 보였다. 반면, 페인팅 코팅층의 부착강도는 코팅 재료의 특성과 기판의 표면 상태에 크게 의존하였다. 본 연구에서 제시된 다양한 부착강도 측정 방법들은 산업 응용에서 코팅층의 선택과 적용시 중요한 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대되며, 각 코팅 방법에 따른 최적의 적용 조건을 파악하는 데 유용한 정보를 제공한다. 이러한 결과는 코팅층의 신뢰성을 향상시키고, 다양한 환경에서의 재료 성능을 극대화하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 끝으로, 코팅층과 기판 사이의 정량적인 부착강도 측정기술은 간단하지 않기 때문에, 향후 이종소재의 본딩기술과 계면공학에 관심 있는 여러 연구자들과 함께 추가적인 공동연구를 기대해 본다.

[표면계면2-2 | 13:25]

A mechanism for the corrosion inhibition of SA106 Gr.B carbon steel in alkaline nitrite solutions: Do Haeng Hur* (Korea

Atomic Energy Research Institute), Jeoh Han (Central Research Institute of Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd.), Soon-Hyeok Jeon, and Hee-Sang Shim (Korea Atomic Energy Research Institute)

Keywords: Carbon steel, Nitrite, Corrosion inhibition, Polarization, X-ray photoelectron spectroscopy, Passive film

The purpose of this study was to investigate the composition of oxide films formed on SA106 Gr.B carbon steel in solutions with and without nitrite at 35 ºC for 1000 h. In the blank solution, the steel showed a high corrosion rate of 10.94 ug/cm^{2}h, and was covered with thick and easily-crumbling oxides composed of Fe3O4 and γ-FeOOH. With the addition of 50~600 ppm nitrite, the corrosion rate was greatly reduced to 0.0004 ug/cm^{2}h, and an extremely thin Fe_3O_4 film of less than 5-10 nm was formed. Ammonium ions were identified on the oxide film surface and in the nitrite solution, and ammonium ions were only adsorbed to the outermost layer and were not incorporated into the oxide film. The nitrites are electrochemically reduced to ammonium ions, which provides the driving force for the oxidation of carbon steel into a protective Fe_3O_4 film. The overall reaction of corrosion inhibition on carbon steel can be described as follows. $3Fe + NO_2^- + 2H_2O + 8H^+ + 6e^- = Fe_3O_4 + NH_4^+ + 4H_2$

[포면계면2-3 | 13:40]

Zn, Al, Mg계 용융도금 제품을 이용한 흑화강판 개발 : 홍문희*, 김종상 (포항공대철강대학원), 백두진, 백제훈, 이경황, 이석규, 김태철 (포스코)

Keywords: 용융도금, 흑화강판, GI/GA 강판, 고내식 도금강판

용융아연도금 강판은 자동차용 차체를 비롯한 가전, 건재 등 다양한 용도에 오랫동안 사용이 확대되고 있으며, 이에 관한 연구도 꾸준히 이루어지고 있다. 또한 최근에는 Mg을 첨가한 고내식 도금강판에 관한 연구가 활발하게 진행되었으며 용융도금 강판의 중요한 성질인 내식성, 가공성, 용접성 등에 대한 다수의 논문이 발표되었다. 이들 용융아연 도금강판을 분류하여 보면 아연을 주성분으로 하는 GI, GA 강판, Al을 주성분으로 하는 Al 도금강판, Zn+Al 성분을 기본으로 하는 Galfan, Galvalume 및 여기에 Mg을 첨가한 PosMAC, ZAM, ZEXEED 등 다양한 제품이 용도에 맞게 생산이 되고 있다. 특히 Mg을 포함하는 Zn-Al-Mg계 도금강판은 대기 중에 노출시 흑화현상이 발생하는 것은 잘 알려져 있으며, 흑화 발생 메커니즘에 대하여는 대기 노출 때에 도금층 표면에 LDH (layered Double Hydroxide) 층이 형성되면서 ZnO층 형성을 억제하고 최종적으로는 Mg(OH)2 수산화물 또는 Al2O3 산화물이 형성된다는 이론이 정설로 받아들여지고 있다. (G. Jiang,Pro. of Galvatech'23, Seoul, Rep. of Korea, October 2023, p.159). 또 다른 이론은 도금층 표층에 형성되는 MgO 및 Al2O3 산화물과 연계하여 생성되는 DLO (Double layered oxide, ZnO/ZnO+Al2O3) 극표층의 산소결핍 ZnO 산화물의 반사율 차이에서 기인한다는 연구가 있으며 (Y. Uchida et al, Tetsu-to-Hagane. 72(1986), p. 1013). 최근에는 국내 연구진에 의하여 Zn-Al-Mg 도금강판을 대상으로 고습화 흑색강판 표면을 분석한 결과 산소결핍 ZnO 산화물 이론이 타당한 것으로 발표가 되었다 (강유진, 이명훈 www.preprints.org, doi;10,20944/preprints 202312. 0634.v1). 많은 경우에 용융 도금강판은 도금층 내식성 향상 및 미관을 목적으로 도장 처리를 실시하여 사용하는 경우가 많은데 이 경우에도 최근에는 건축물 등에도 검정색 도장을 사용하는 경우가 늘어나고 있다. 본 연구에서는 최근의 탄소배출량 감소 연구 경향에 발맞추어서 도장처리를 하지 않고 상업적으로 생산되는 용융도금 강판 자체로 흑색 구현이 가능한 기술개발 가능성을 검토하였다. 다양한 용융도금 제품 100*200 크기의 컷샘플을 100~150ºC의 온도에서 습도를 80~95 RH% 범위로 유지한 후에 수증기를 이용하여 1~2시간 훈증을 하였다. 시험은 상업적으로 판매되는 호리바 제품을 활동하여 밀폐된 공간에서 지지대에 시험편을 직각으로 세운 후에 수증기에 접촉하는 방법으로 행하였다. GI 및 Al 제품은 거의 반응이 없었으며 Mg 첨가제품은 0.5% 이상 첨가에 흑색으로 변하였다. 흥미로운 것은 GI 유기 피복 제품 및 스팽글 제품도 일부 흑화 현상을 보였다. FIB를 이용하여 도금층 단면을 관찰한 결과 3~6 μm 깊이로 흑화 처리가 되어있었으며 흑화는 Mg, Al을 포함하는 라멜라 층에서 진행이 되었고 Al, Zn 초정의 단상에서는 흑화현상이 관찰되지 않았다. 또한 O농도가 흑화처리 부분에서 높게 나타났다. 또 다른 방법인 NaOH 20% 용액을 사용한 경우에는 Al+Zn 용융도금 제품에서만 흑화현상이 나타났으며, Zn, Al 단독 및 Mg 첨가제품의 경우 흑화현상이 발생하지 않았다.

[포면계면2-4 | 13:55]

금속 3D 프린팅 기반 충돌형 노즐이 마이크로 버블 발생량 증가에 미치는 영향 : 정민후, 박창규* (서울과학기술대학교), 조대원, 손현기 (한국기계연구원)

Keywords: 금속 3D 프린팅, 마이크로 버블, 충돌식 노즐, 전산 유체 역학 시뮬레이션, 와류

최근 농업 및 폐수처리, 식품가공, 의료, 반도체 세척 등 여러 산업 분야에서 마이크로 버블의 물리적, 화학적 특성에 대한 관심이 높아짐에 따라 마이크로 버블의 효능 및 발생 기술 개발에 대한 연구가 진행되고 있다. 마이크로 버블은 10-100um 직경의 작은 기포로 정의된다. 마이크로 버블은 부력이 작아 매우 느리게 상승하는 특성을 가지고 표면적이 넓으며 기체와 액체 계면에서 음전하 특성을 갖기 때문에 미세 물질을 흡착하는 특성을 가지고 있다. 또한 기포가 파괴되면서 자유 라디칼을 생성하기에 살균에 효과적이다. 또한 마이크로 버블은 압축성이 높고 초음파에 대한 반사성이 높기 때문에 초음파 진단의 조영제로도 매우 효과적이다. 가압 용해식 마이크로 버블 노즐은 압력 강하를 크게 만들어야 한다. 이를 위해서는 노즐에 다양한 가공을 할 수 있는 방법이 필요하였다. 목적을 달성하기 위해 금속 3D 프린터를 사용하여 기계 가공으로는 불가능한 노즐 가공을 통해 새로운 개념의 충돌식 마이크로 버블 노즐을 개발하였다. 개발을 통해 예상되는 특성은 전산 유체 역학 시뮬레이션(CFD)을 통하여 확인하였다. 충돌식 마이크로 버블 노즐은 충돌 판과 금속 3D 프린터로 제작한 리블렛 미세구조물에 유체가 부딪히면서 추가로 항력을 증가시켜 압력 강하를 높임으로 인해 일반적인 기체의 석출보다 더 많은 마이크로 버블 발생을 목적으로 설계하였다. 기본 충돌판 노즐과 추가로 3D 프린팅 미세구조물을 설계한 노즐의 버블 발생량 비교 결과, 미세구조물이 설계된 노즐이 기본 충돌판 노즐의 버블량보다 평균 175% 정도 많은 버블량을 발생시킨 것으로 확인되었다. 전산 유체 역학 시뮬레이션을 통해 속도 변화 차이와 와류 강도를 비교하였다.

철강: 철강B-압연, 강종개발, 후처리
Room 알펜시아홀, 10월 30일

[철강B4-1 | 08:30]
상온 인장 시험 중 DIC 적용을 통한 austenitic steel의 불균일 소성 변형 분석 : 박지원, 강신곤* (동아대학교)
Keywords: 인장시험, Digital Image Correlation (DIC), 불균일 변형, 국부 변형 , austenitic steel
금속 재료의 인장 시험 시, 인장 곡선에서 선형 관계를 보이는 탄성 변형 이후 재료의 미세구조가 영구적으로 변하는 소성 변형이 발생한다. 소성 변형은 재료 전체가 균일하게 변형되는 균일 소성 변형과 특정 부위에서 집중적으로 변형이 일어나는 불균일 소성 변형으로 구분할 수 있다. 최대 인장 강도 이후 국부적으로 응력이 집중되고, 재료의 단면적이 감소하는 현상인 necking이 대표적인 불균일 소성 변형 중 하나이다. 그러나 특수한 조건을 만족하는 경우, yield point phenomena (YPP), serration과 같이 최대 인장 강도 이전부터 국부적인 변형과 관련된 현상이 발생하기도 한다. 이들은 각각 Lüders band, Portevin-Le Châtelier (PLC) band라 불리는 deformation band의 전파를 동반한다. 이와 관련된 기존 연구들은 주로 인장 시험 시 발생하는 stress fluctuation의 근본적인 원인을 밝히는 데 초점을 맞춰 왔다. 이를 통해 재료 내부 미소 영역에서 발생하는 불균일 변형을 해석하였다. 그러나 인장 시험편에서 관찰되는 deformation band의 생성, 전파, 소멸 등 거시적 관점에서 불균일 변형에 대한 고찰이 충분히 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 균일 변형과의 비교를 통해 불균일 변형에 대한 이해도를 높이고자 한다. 상온 인장 시험 시, Fe-Ni-Cr-Mo계 austenitic STS는 일반적인 인장 변형 거동을 보이며 불균일 변형과 관련된 현상으로는 necking만 나타난다. 반면, Fe-Mn-C-Al계 TWIP steel은 특정 조건에서 YPP, serration, necking이 복합적으로 나타나기 때문에 두 강종의 변형 거동을 분석하였다. 미세구조 분석을 통해 austenite 단상 구조를 확인한 후, 상온 일축 인장 시험과 함께 digital image correlation (DIC) 분석을 수행하였다. 인장 시험편 길이 방향에 대한 local strain 및 strain rate를 측정하고, VIC-2D analysis software를 통해 chart 및 map을 추출하였다. 이때 인장 시험편 gage section 외부 영역을 포함하여 axial section 전체를 분석 영역으로 지정하였다. 그에 따라 gage section 외부로의 deformation band 전파 영역 확장, deformation band 존재 여부에 따른 necking으로의 전개 과정 등 deformation band의 영향을 확인하였다.

[철강B4-2 | 08:45] Canceled
오스테나이트계 스테인리스강에서의 질소에 의한 bake hardening 효과 : 오정모, 강지현* (영남대학교)
Keywords: bake hardening, 오스테나이트계 스테인리스강, strain aging, Cottrell atmosphere
Bake hardening은 변형시효(strain aging)를 통해 전위 주변에 탄소로 이루어진 Cottrell atmosphere를 형성시켜 항복강도를 증가시키는 공정이다. 성형된 자동차 프레임의 도료를 굳히는 통상의 baking 공정에서 자연적으로 bake hardening 효과가 나타나기 때문에 추가적인 성형과 시효 공정 없이 항복강도 향상을 기대할 수 있다. 일반 강종의 bake hardening은 탄소를 활용하지만 스테인리스강의 경우 예민화 발생을 억제하기 위해 탄소 첨가를 배제하기 때문에 bake hardening 효과 구현이 제한적이다. 최근 고강도화를 위해 침입형 원소로서 고용 강화 효과가 탄소보다 뛰어난 질소를 첨가한 오스테나이트계 스테인리스강이 활발하게 연구 개발되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 오스테나이트계 스테인리스강에서 질소에 의한 bake hardening 효과를 탐색해보고자 한다. 0.34 wt% 질소를 함유한 합금에 대해 다양한 사전 변형율, 온도, 시간 조건에서 baking을 수행하였을 때 5-30 MPa의 항복강도 향상을 보였으며, 이것이 질소의 효과임을 확인하기 위해 질소가 첨가되지 않은 상용 오스테나이트계 스테인리스강과 질소를 첨가한 오스테나이트계 스테인리스강을 추가로 비교 분석 하였다.

[철강B4-3 | 09:00]
노치 인장 시편을 활용한 304L 및 316L 스테인리스강의 수소취성 평가 : 신승혁, 김상규, 오동규, 황병철* (서울과학기술대학교)
Keywords: Hydrogen embrittlement, Austenitic stainless steels, Electrochemical hydrogen charging, Notch tensile properties
탄소중립 실현을 위한 에너지원으로서 수소에 대한 관심이 높아지고 있으나, 수소 에너지의 상용화에는 여전히 많은 어려움이 있다. 이는 수소의 저장과 운반에 사용되는 금속 재료가 수소 환경에 노출될 경우 수소취성으로 인해 기계적 물성이 저하될 수 있기 때문이다. 따라서 수소취성으로 인한 물성 저하를 최소화하고 수소 에너지를 효율적으로 활용하기 위해서는 수소 환경에 적합한 재료를 선택하는 것이 중요하다. 오스테나이트계 스테인리스강은 수소취성 저항성이 우수하여 수소 충전소의 고압 수소 배관 및 밸브와 같은 수소 인프라에 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 오스테나이트계 스테인리스강도 여전히 수소 환경, 응력 및 변형 상태, 오스테나이트 안정도, 미세조직적 인자와 같은 여러 요인에 의해 수소취성 저항성이 감소될 수 있다고 보고되고 있다. 본 연구에서는 노치 인장 시편과 전기화학적 수소 주입 방법을 활용하여 서로 다른 오스테나이트 안정도를 갖는 304L 및 316L 스테인리스강의 수소취성 저항성을 평가하고자 하였다. 또한 시험 전 시편에 수소를 사전 주입하는(ex-situ) 방법과 시험 중 수소를 시편에 연속적으로 주입하는(in-situ) 두 가지 유형의 전기화학적 수소 주입 방법을 적용하여 내부 및 외부 수소, 즉 수소 환경이 오스테나이트계 스테인리스강의 노치 인장 거동에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

[철강B4-4 | 09:15]
S31803 듀플렉스 스테인리스강의 어닐링 온도에 따른 미세조직과 기계적 특성 간의 상관관계 : 권동영 (영남대학교), 나혜성, 최재영 (㈜에이치브이엠), 강지현* (영남대학교)

Keywords: Duplex stainless steels, Annealing temperature, Toughness, Tensile properties, Strain partitioning

듀플렉스 스테인리스강 (DSS)은 오스테나이트와 페라이트 2상 조직으로 구성되어 오스테나이트계 스테인리스강 대비 항복 강도와 내부식성이 우수하며, 페라이트계와 오스테나이트계 스테인리스강 사이의 인성을 나타낸다. 이러한 우수한 특성으로 선박, 담수화 설비, 석유 화학 산업, 원자력 발전소 및 열교환기 등의 가혹한 환경에서 주로 사용된다. 활용처에서의 경제성 및 안전성을 확보하기 위해 DSS의 기계적 특성에 미치는 미세조직의 영향에 대한 연구가 필수적이다. 본 연구에서는 S31803의 어닐링 온도에 따른 미세조직과 기계적 특성 간의 상관관계를 살펴보았다. 어닐링 온도가 850°C에서 1250°C로 증가함에 따라 오스테나이트의 분율은 감소하였으며, 저온에서는 σ상이 상 계면에 형성되었다. 또한, 1250°C 의 경우를 제외하고는 어닐링 온도가 증가하면 항복강도와 인장강도는 증가하고 연신율과 가공경화율은 약간씩 감소하였다. 이는 기존에 보고된 Lean DSS강에서의 연구 결과와는 상반되는 결과인데, 그 이유는 Lean DSS강에 비해 S31803 DSS의 경우 오스테나이트 안정성이 높아 어닐링 후 퀜칭 시와 변형 시 마르텐사이트가 발생하지 않았기 때문이다. 반대로 본 연구에서는 어닐링 온도의 증가에 따라 페라이트의 고용강화분이 증가하여 항복강도가 상승한다. 또한, 어닐링 온도에 따라 페라이트와 오스테나이트 간의 강도 차이가 증가하기에 변형 시 strain partitioning이 심화되어 연신율이 감소하였다. 충격 인성은 오스테나이트 분율 증가 시 함께 증가하는 거동을 보였으나, 낮은 어닐링 온도 구간에서는 σ의 생성으로 인해 높은 오스테나이트 분율에도 불구하고 낮은 충격 인성 값을 나타내었다.

[철강B5-1 | 09:40]

탄소강의 γ/α 상변태 중의 응력 거동 분석 : 유용재*, 김규태*, 홍상문 (현대제철㈜)

Keywords: 탄소강, 좌굴, γ/α 상변태

열연 코일 생산 시 냉각 후 권취가 이루어지는데, 이 때 탄소 함량이 다소 높거나 경화능 원소가 첨가된 경우, 권취 직전에 상변태가 완료되지 않을 수 있다. 이로 인해 열연 코일은 냉각되면서 내경의 진원도가 감소하는 좌굴 현상을 보인다. 좌굴 현상은 변태 소성의 결과로 해석하거나 강성의 저하로 설명할 수 있다. 강성은 두께와 Young's Modulus의 영향을 받게 되는데, 본 연구를 통하여 오스테나이트 상과 페라이트 상이 혼재된 경우에서 각 비율에 따른 응력의 거동을 비교하였고 강성과의 관계를 고찰하여다. 그 결과, γ/α 상변태 분율에 따른 Young's Modulus와 항복강도의 변화는 없었다. 따라서 좌굴을 개선하기 위해서는 철강 제품을 권취 전에 모든 상변태를 완료 시키지 않으면 효과가 크지 않을 것으로 기대된다.

[철강B5-2 | 09:55]

바나듐 첨가강의 정적 재결정 거동 및 그 미세조직에 관한 연구 : 배철준*, 김종명, 나광수 (현대제철연구소)

Keywords: 고강도 철강소재

글로벌 환경 규제 대응 및 승객 안전성 향상은 자동차 산업의 핵심 전략이며, 이를 실현하기 위해서는 자동차에 적용되는 철강소재의 고강도화가 필수적이다. 그 결과, 고강도 철강소재 개발은 철강 제조사의 핵심 과제로 자리잡고 있으며, 철강소재 제조 경쟁력을 나타나는 주요 지표로 작용하고 있다. 현재 국내외 주요 철강 제조사들은 자동차 샤시 및 차체 부품으로 적용되는 냉연강판을 효율적으로 생산하기 위해 연속소둔공정 또는 연속소둔과 용융도금을 동시에 할 수 있는 연속용융아연도금공정을 채택하고 있습니다. 따라서, 우수한 기계적 특성을 갖는 냉연강판을 제조하기 위해서는 연속소둔과정에서 발생하는 야금학적 현상을 이해하는 것이 중요하며, 특히 냉연강판의 최종 미세조직을 결정하는 재결정 거동을 이해하는 것이 필수적이다. 본 연구는 C 0.04~0.06 wt% 및 Mn 1.0~2.0 wt%의 성분계에서 바나듐 첨가가 재결정 거동에 대해 분석하였다. 또한, 전자현미경을 활용하여 재결정 과정 중 나타나는 미세조직의 변화를 관찰하였다. 특히, 후방산란전자 회절분석을 통한 기지 내 미소 변위 분석, 투과 전자현미경을 활용한 전위구조 변화, 그리고 원자탐침분석을 통해 합금원소의 입계 편석 평가하였다. 이러한 미세조직 분석 결과와 기계적 물성 간의 연관성을 해석하였고, 이를 바탕으로 우수한 기계적 특성을 냉연강판 제조 방법을 제시하고자 한다.

[철강B5-3 | 10:10]

열처리형 고강도 탄소강의 기계적 특성 및 미세조직 발달 : 유승호* (포스코 기술연구원), 고성훈, 주석환, 서동우 (POSTECH 친환경소재대학원)

Keywords: 중장비용, 고강도, 고경도, 저온인성

산업기계 분야 중장비용 철강재의 경우, 기기 전동화 및 사용효율 증대에 따라 인장강도 1 GPa 이상의 고강도화가 요구되고 있다. 특히, 소재 사용수명 등 사용자 이점 측면에서 기존의 단순 고강도(경도) 뿐만 아니라 저온에서의 충격인성 기준을 동시에 충족시켜야만 한다. 강도-연성(인성) 상관관계에 따라 재래의 야금학적 방법론으로 두 가지 물성이 모두 뛰어난 소재를 제조하는 것은 도전적인 일이다. 이 연구에서는 상용 제조 가능성을 염두하고, 열처리형 중장비용 탄소강의 미세 합금원소 및 제조조건에 따른 재질과 미세조직 발달에 대해 알아보았다. 먼저, 실험실에서 진공용해된 잉곳(Ingot)재를 압하비 4:1 이상으로 열간압연한 후 공냉시켰다. 진공용해는 기존 상용소재를 기준으로 하여 Ni, Nb, Ti, B 등의 효과를 알아보기 위해 설계하였다. 통상 열처리 소재의 경우, 열간압연 개시 또는 종료온도를 특별히 제어하지 않으나 이 연구에서는 이에 대해서도 고려하였다. 열간압연 된 시편은 상온까지 냉각 후 오스테나타이징(Austenitizing) 처리를 위해 임의의 온도로 재가열 후 상온까지 급속냉각(Quenching) 시켰다. 열처리가 완료된 시편은 상온인장 및 경도 시험을 실시하였으며 SEM, EBSD로 미세조직을 분석하였다. 분석 결과, 열처리형 고강도(경도) 탄소강은 성분계와 압연 조건에 따라 최종 물성과 미세조직 발달에 차이가 있음을 확인하였다. Nb, Ti와 같은 미세 원소와 압연 온도 변화에 따라 구오스테나이트 입도 (PAGS)가 다르게 나타났으며, 이는 기계적 특성으로 연결되었다. 한편, PAGS 미세화에 유효한 미세 원소는 재가열 열처리 후 미세 탄질화물 석출을 유발시켜 충격인성에는 위해한 것으로 판단되었다. 결론적으로, 시장에서 요구되는 기가급의 중장비용 고강도(경도) 열처리형 탄소강 제조를 위해서는 원가를 고려한 성분 설계와 함께 조업조건 최적화가 반드시 필요하다.

[철강B5-4 | 10:25]

초고장력강의 홀확장성에 미치는 미세조직의 영향 : 홍진성*, 한영철, 문인기, 정유담, 배효주, 한성경, 권태우 (현대제철연구소)

Keywords: 초고장력강, 홀확장성, 상간경도차, 페라이트, 마르텐사이트

연비 및 충돌 규제 강화 등 자동차 산업의 변화에 따라 자동차 강판에 적용되는 초고장력강의 비율이 증대되고 있다. 동일한 부품에 더 높은 강도를 갖는 강판을 적용하기 위해서는, 강도를 높이는 동시에 낮은 강도의 강판 대비 유사 수준의 성형성을 확보해야 한다. 이를 위하여 초고장력강의 성형성을 증가시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 성형성을 평가할 수 있는 다양한 지표 중 홀확장성은 구멍이 뚫린 판재를 대상으로 펀칭으로 구멍을 확장했을 때, 크랙 없이 얼마나 구멍이 확장 가능한지를 나타내는 값으로, 일반적으로 강재의 국부 성형성을 평가할 수 있는 지표이다. 본 연구에서는 유사 수준의 강도를 갖지만 서로 다른 상으로 구성되어 있는 강판을 제작하여, 냉연 초고장력강의 홀확장성에 미치는 미세조직의 영향을 분석하고자 하였다. 홀 확장성은 일차적으로 연질상과 경질상의 상간 경도차에 영향을 받는 것으로 확인되었다. 경질상과 연질상의 상간 경도차가 4 GPa 이상인 일반적인 DP강의 경우에는 20% 수준의 매우 낮은 홀확장성을 보였으나, 상간 경도차를 약 1 GPa 수준으로 낮추었을 때는 약 90% 수준의 매우 높은 홀확장성을 달성할 수 있었다. 상간 경도차를 저감시키기 위해서는 연질상의 경도를 높이는 것 보다 경질상의 경도를 낮추는 것이 효과적이었으며, 합금설계 및 공정조건 변경 등을 통해 경질상의 경도를 낮출 수 있었다. 본 연구에서 수행된 다양한 미세조직을 갖는 강판의 홀확장성 평가 결과를 통해 미세조직을 구성하는 상의 종류, 분율, 경도, 구성 형태 등이 냉연 초고장력강의 홀확장성에 미치는 영향에 대해 설명할 수 있었다.

[철강B5-5 | 10:40]

Recent Development of Hot-rolled AHSS for Lightweight Chassis : Jewoong Lee*, Sungil Kim, Taejin Song, and Youngroc Im (POSCO)

Keywords: AHSS, Chassis, Automotive, Complex phase, HER

The development of ultra-high-strength automotive steel sheets for lightweight automobiles is still an effective strategy from the material point of view. In the case of cold-rolled steels for BIW(Body In White), it has been a long time since steel with 980MPa of UTS or higher were commercialized, and the use of 1.2GPa and 1.5GPa of cold-rolled steels is also increasing. However, in the case of hot-rolled steel for chassis, the increase in strength is not as fast as that of cold-rolled steel, because chassis parts are the lower structure of a vehicle and are very sensitive to durability. In this presentation, we will discuss the development strategy and key issues of POSCO's ultra-high-strength steels for automotive chassis applications.

[철강B5-6 | 10:55]

Mechanical Behavior on bendability of Martensitic Hot Stamped Manganese Steel : Byung-Gil Yoo*, Jewoosoo Kim, Seong Kyung Han, and Tae Woo Kwon (Hyundai Steel R&D Center)

Keywords: hot stamping, manganese band, martensite, and nanohardness

The purpose of this study is to investigate the effect of manganese (Mn) addition on the bendability (i.e., crashworthiness according to VDA238-100 standard) of 1.5-1.8 GPa hot stamping (or press hardening) steels for automotive application. Nanohardness distribution on Mn bands of higher strength martensitic microstructure shows more inhomogeneous mechanical properties in the localized zone. The results are discussed in terms of the influence on a higher bendability with the homogeneous martensitic microstructure and grain refinement enhancing with precipitations.

[철강B5-7 | 11:10]

구상화 열처리 생략형 강재의 냉간 성형 특성 및 부품 제조 공정 영향성 고찰 : 최윤석, 남궁승, 최규석, 정성수* (현대제철㈜ 기술연구소), 김민규 (현대자동차 남양연구소), 반원규 (서한기술연구소)

Keywords: 탄소 중립, 냉간 단조, 석출물, 결정립 성장, 침탄

최근 글로벌 제조 산업에서는 탄소 중립에 대한 요구가 강화되는 추세이며, 특히 자동차 산업의 경우 LCA(Life Cycle Assessment)와 같은 CO_2 배출 규제가 적용되는 실정이다. 이에 국내 자동차 부품 제조 산업에서는 탄소 배출 저감을 위해 제조 공정 축소 및 생략 등 다양한 활동을 진행하고 있다. 일반적으로 자동차 구동계 부품은 고 합금강 소재를 활용하여 단조, 가공 및 열처리를 통해 최종 제품의 목표 형상과 가혹한 환경에서 구동할 수 있는 기계적 물성을 확보한다. 부품 제조 공정 중 단조는 소재를 소성 변형하는 공법으로 단조 온도에 따라 열간, 온간 및 냉간 단조로 구분할 수 있다. 특히 냉간 단조는 치수 정밀도 및 소재의 회수율이 우수하기 때문에 자동차용 부품 산업에서 적용이 지속적으로 확대되고 있는 추세이다. 그러나 냉간 단조는 상온에서 성형하기 때문에 소재의 연성을 확보하기 위해 사전 구상화 열처리가 필수적으로 수행되어야만 한다. 이러한 장시간 열처리는 대량의 CO_2를 배출하여, 친환경 저탄소 방향에 반하는 결과를 초래한다. 이에 본 연구에서는 구상화 열처리를 생략할 수 있는 냉간 단조용 신규 합금강(20CrMnB5-2)을 개발하였다. 또한 최적의 합금 설계를 통해 부품의 최종 침탄 열처리 물성을 확보하였으며, 침탄 시 발생하는 열변형 현상(치수 변형)을 저감하였다. 이러한 효과의 메커니즘을 규명하기 위해 기존 양산재(SCR420H)와 신규 개발강의 석출물 분포/사이즈 및 냉간 성형량에 따른 이상 결정립 발생 온도(Grain Coarsening Temperature)를 비교 평가하였다.

[철강B5-8 | 11:25]

Si-Al 첨가량에 따른 강재의 scale/matrix 계면 형상 변화 및 descaling성 연구 : 김득중* (POSCO기술연구원)

Keywords: Scale, 산화, Si, Al, descaling

Since Si and Al have a high affinity for oxygen, understanding the oxidation behavior of these steels is important for the commercial production of steel sheets with high Si and Al content. Therefore, this study investigates the changes in the scale/matrix interface morphology and descaling properties according to the addition of Si and Al. Through this research, it was confirmed that the scale/matrix interface morphology varies significantly with the amount of Si and Al added. Additionally, it was observed that the descaling characteristics change with the heating temperature in the furnace when the amount of Al added to high Si steel varies, and this phenomenon was examined.

[철강B5-9 | 11:40]

고Mn강의 내부 산화에 따른 표면크랙 생성 거동 : 이동원*, 김연석, T.T.T.Trang (포항공과대학교), 조원태, 강명훈 (포스코 기술연구원), 이재상, 임창희, 허윤욱* (포항공과대학교)

Keywords: 입계 산화, 표면 품질, 미세조직 분석, 고Mn강

고Mn강은 우수한 기계적 특성을 바탕으로 탄소강뿐만 아니라 기존의 스테인리스강의 사용 영역을 대체하는 연구들이 활발히 진행되고 있다. 고Mn강의 실질적인 활용을 제한하는 요인 중 하나로, 생산 공정 중 발생하는 표면 크랙으로 인한 생산원가 상승을 들 수 있다. 연속 주조와 열연 공정에서 발생하는 고Mn강의 표면 균열 거동은 여타 강종에서 일반적으로 사용되는 RA 측정으로는 정확한 평가를 하기 어렵다는 한계점이 존재한다. 이와 관련하여, 본 연구에서는 고Mn강의 내부 산화 거동과 표면크랙 형성의 상관관계에 대해 조사하였다. Al이 함유된 고망간강의 온도 및 시간에 따른 내부 산화 거동을 조사하였으며, 그 결과 결정립 내부보다 결정립계를 따라 더 깊게 산화물이 형성됨을 확인하였다. 온도에 따른 결정립계의 내부 산화 거동은 고온 인장 시험 중 표면 균열 형성 거동과 일치하는 것을 확인하였다. 표면 균열 형성에 대한 내부 산화층의 역할을 명확하게 하기 위해 열간 압축 시험을 실시하였다. 고온 압축응력 하에서 내부 산화층이 외부산화층으로의 변화가 일어나는 것과 변화한 외부산화층의 균열에 의한 박리가 확인되었다. EPMA, EBSD와 TEM 분석을 통해 내부 산화 거동과 표면크랙 형성거동을 정밀하게 해석할 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로, Al이 함유된 고 Mn강의 내부 산화 거동과 표면 크랙 형성의 상관관계에 대해 논하고자 한다.

[철강B6-1 | 13:00]

저탄소 베이나이트/마르텐사이트 복합 조직강의 미세조직 정량화 방안 : 조재영*, 고성웅 (㈜포스코 기술연구원)

Keywords: 베이나이트, 마르텐사이트, EBSD, 조직 정량화

최근 구조물의 거대화 및 장스팬화에 따라서 TS 800MPa 이상의 초고강도 구조용 강재에 관심이 증대되고 있다. TS 800MPa급 이상의 초고강도 강재의 경우 베이나이트/마르텐사이트 조직의 복합구조로 구성되어 있다. 하지만 하부 조직의 복잡함과 분석 한계로 조직의 정량화 방안이 아직 구축되어 있지 않은 실정이다. 본 연구에서는 저탄소 베이나이트/마르텐사이트 복합 조직강의 미세조직 정량화 방법을 EBSD 분석을 이용하여 도출코자 하였다.

[철강B6-2 | 13:15]

Dual phase 강재의 변형거동 및 고강도화 조직 설계 원리 구축 : 오성탁*, 윤덕빈, 이형근, 이상협, 현영민, 김영우 (현대제철 기술연구소)

Keywords: Dual phase steel, martensite, microstructure, morphology, mechanical properties

Dual phase (DP) 강재는 페라이트와 마르텐사이트의 연하고 경한 혼합 조직을 기반으로 인성을 확보하면서 고강도화 구현이 가능한 강재이다. 일반적으로 마르텐사이트 분율이 증가할수록 DP강재의 강도는 증가하나 연성이 하락하는 거동이 보고되어 있다. 그러나, 마르텐사이트 분율이 증가하더라도 DP강재의 연성이 증가하는 반대의 거동 결과를 본 연구를 통해 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 DP강재의 신율을 확보하면서도 어디까지 고강도화가 가능할것인가에 대한 기초연구로써, 조직학적 관점에서의 인장 변형거동 고찰과 화학적-결정학적 관점에서의 물성 고찰을 통해 DP강재의 강재 개발에 대한 설계 원리구축을 하고자 한다. 시험 결과, 마르텐사이트 분율 증가에 따라 지속적인 강도 향상은 기대할 수 없으며, 특히, 본 연구의 DP강재에서 마르텐사이트 분율증가에도 강도 하락 및 연성 향상의 결과가 있음을 확인하였다. 또한, 입내 침상 마르텐사이트와 달리, 입계의 구형 마르텐사이트 형성이 변형거동에 미치는 영향에 대해 긍정적인지, 부정적인지, 혹은 영향이 없는지 아직 명확하게 규명되지 않았다. 이는 같은 DP강에서도 조직학적으로 입내와 입계의 마르텐사이트의 형상에 따라 인장 변형거동의 해석을 달리 접근할 필요가 있음을 의미한다. 이에, 본 발표에서는 다양한 관점에서의 상관관계와 해당 DP강재의 고강도화 조직 설계원리에 대해 논하고자 한다.

[철강B6-3 | 13:30]

함정용 고연성강 개발 및 충돌성능 해석 : 김상호*, 노명현 (포스코 기술연구원)

Keywords: 고연성, 중탄소, 냉각속도, 충돌흡수에너지

고연성강은 기존강 대비 연성을 크게 향상시킨 강으로서, 충돌 시 높은 변형 하에서도 선체의 안정성을 확보할 수 있는 장점이 있다. 2017년 미국 이지스함 충돌 사고로 인해 다수의 인명 피해가 발생함에 따라 승조원의 생존성 강화에 대한 요구가 증가하였고 이를 계기로 기존강 대비 충돌 안정성이 우수한 고연성강을 전투함에 채용함으로써 승조원의 생존성을 높이고자 하는 목적으로 개발이 시작되었다. 개발 목표는 기존강과 비교해 연신율이 35% 이상 향상된 HD35급 고연성강으로 정하고 고연성강 개발을 위해 연성에 영향을 미치는 합금성분, 제조방법, 미세조직 등의 다양한 인자들을 면밀히 검토하였다. 인장강도-연신율 특성에서 중탄소강이 저탄소강 및 고탄소강에 비해 더 우수한 특성을 나타내었고, 냉각속도(CR)의 경우 저CR재가 공냉재 및 고CR재에 비해 더 나은 특성을 나타내었다. 개발된 고연성강은 기존강과 동일한 강도와 인성을 가지면서도 연성은 크게 향상된 결과를 나타내었다. 고연성강을

함정에 적용했을 때를 가정하여 충돌 성능을 해석한 결과, 고연성강을 적용할 경우 기존강과 비교해 약 50% 향상된 충돌흡수에너지를 나타내었다. 또한, 선체 구조상 Hull과 보강재에 모두 고연성강을 적용하는 경우와 Hull에만 적용하는 경우를 비교했을 때 충돌흡수에너지의 차이가 거의 없어 Hull에 고연성강을 적용하는 것으로 충분한 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

[철강B6-4 | 13:45]

화학기상 증착법을 활용한 일반 노말라이징 강재 표면의 자기조립형 그라파이트층 형성 거동에 관한 연구 : 박민호*, 현영민 (현대제철연구소), 현상화, 이재현 (아주대학교), 천승환 (현대제철연구소)

Keywords: 철강, graphite, normalizing heat-treatmet

급속한 산업의 성장으로, 만은 산업 분야에서는 뛰어난 특성을 보유한 첨단 소재를 개발하기 위한 다양한 연구들이 수행되고 있다. 이중 탄소소재는 첨단 분야인 우주 및 항공 산업뿐만 아니라 다양한 일상생활 용품에도 응용 될 수 있는 차세대 신소재로 각광받고 있다. 이러한 탄소 소재로 활용 가능한 탄소 동소체는 그래핀/그라파이트, 탄소섬유, 탄소나노튜브 등이 있으며, 전기적, 기계적, 화학적 특성이 우수하여 구조물로의 적용 가능성도 보여주고 있다. 1960년대부터 금속촉매로부터 다양한 형태의 탄소 동소체 합성 방법에 대한 연구가 지속되었으며, 니켈을 촉매로 이용하여 탄화수소로부터 얻거나 표면에 증발 시킨 탄소를 통해 흑연층을 만드는 연구가 처음 진행되고 이와 동시에, 단결정 백금(Pt) 촉매 위에서 흑연층을 제조하는 연구도 진행되었다. 이러한 탄소층은 고온에서 금속 속매에 고용되었던 탄소 원자가 냉각 과정에서 촉매 표면에 석출되며 생성되게 된다. 위의 연구를 기반으로 다양한 금속촉매(Ru, Ir, Co, Re, Ni, Pt, Pd)를 이용한 그라파이트 합성이 연구되었다. 그러나 Fe 촉매를 활용한 그라파이트 합성에 관한 연구는 미비한 상황이다. 본 연구에서는 화학기상 증착법을 활용, 일반 열처리 강재를 촉매로 사용하여 그라파이트층을 합성하고, 합성한 그라파이트층에 대한 결정학적 특성 평가 및 성장기구 규명에 대한 연구를 수행하였다. 그라파이트 층은 아세틸렌 gas를 전구체로 활용하였으며, 전구체의 분압 및 온도에 따른 그라파이트의 특성을 분석하였다. 일반 열처리 강재에 그라파이트 층을 합성하는 경우, 전구체의 분압이 낮을수록 self-catalytic reaction에 의한 고결함 탄소층의 두께가 얇아진 것을 확인 할 수 있다. 또한 합성온도가 증가할수록 결정성이 우수한 그라파이트 층이 합성된 것을 확인하였다. 투과전자현미경을 이용한 그라파이트 층 단면분석을 통해, 합성 온도와 관계없이 강재 표면에 형성된 그라파이트 층은 결정성이 우수했으며 그 두께는 약 200 nm 인 것을 확인 하였다. 이후 결정성이 우수한 그라파이트 층의 표면에 가까울수록 결함의 양이 증가하며, 그라파이트 표면은 비정질 탄소와 유사한 형태의 탄소층이 합성된 것을 확인 하였다.

[철강B6-5 | 14:00]

고압 기체수소 축압기용 내수소취성이 우수한 초고강도강 개발 : 장우길*, 서현주, 김용우, 정환교, 이주동 (㈜포스코 기술연구원)

Keywords: 철강재료, 수소, 축압기, 고강도 RNTS

수소사회의 가장 선두에 있는 수소자동차의 충전수요를 충족시키기위해 국내에서는 수소경제 활성화 로드맵을 통해 2030년까지 약 310개의 충전소를 설치하는 계획이 수립되어 진행 중이다. 수소연료 자동차의 수소충전용기의 높은 압력때문에 수소충전소에서는 충전 전 고압을 유지하는 축압기가 필수적이다. 고압의 기체를 안정적으로 보관 및 충전하기 위해서는 높은 강도뿐아니라 우수한 수소취성 저항성이 필요하다. 현재 축압기에 사용되는 소재는 항복강도 0.9~1GPa 이하이며, RNTS 0.5~0.6수준이다. 현재 국내 충전소에 적용되고 있는 축압기 용기는 수입에 의존하고 있어 축압기용 용기의 국산화를 위해 내수소취성을 가지는 고강도 강재 개발이 필수적이다. 축압기의 고성능화 및 안전성 확보를 위해 고강도 및 고RNTS 재료에 대한 개발이 국내외 여러 연구기관들에 의해 수행되었다. 하지만 1GPa이상의 강도를 확보한 경우 수소취성 민감도가 증가하여 RNTS가 급격하게 낮아지는 문제점이 있다. 본연구에서는 규격에서 허용하는 성분범위 내에서 제조조건의 최적화를 통한 석출물의 분포 및 크기를 제어하여 1GPa 이상의 강도와 함께 0.7 이상의 RNTS를 확보하였다.

[철강B7-1 | 14:15]

Precision Process Simulation of a Total Rolling Mill : Sang-Moo Hwang* (CAPEC)

Keywords: hot strip mill, plate mill, fully automated mill, process simulation, process set-up and control, finite element method

Ensuring products desired properties and dimensions through sound set-up and control of the entire processing is imperative in modern plate mills and hot strip mills. Conventional approaches, including those basd on mill operators' experience, those based on mathematical models to be upgraded by mill trials or learning, and those based on Artificial Intelligence which uses the production data to determine optimal values of diverse process parameters for process set-up and control are reckoned not ideal for a modern mill that often is faced with diverse orders of a small batch of a steel product with special requirements regarding its stength, ductility, and other material properties. In this paper, we present a finite element based simulator for the precise prediction of the evolution of the temperatures, microstructures, strip profiles, residual stresses, waves. Also predicted are dimensional changes. The computation time is smaller than actual time taken for the processing from the reheating furnace to the cooling bed or downcoiler, implying that simulation may be performed prior to actual production to examine the validity of the current pocessing conditions and determine an ideal way of process set-up and control. It is to be noted that the proposed technology will serve as a basis for production of deisred products without human intervention, or for a fully automated mill.

[철강B7-2 | 14:30]

스테인리스강 슬라브에지 저감을 위한 최적설계 방법 개발 : 손일헌* (POSCO기술연구원 제강연구그룹)

Keywords: 스텐인리스강, 열간압연, 슬라브에지, 최적설계

본 연구는 스테인리스강의 열간압연 후 제품의 에지부에 발생하는 슬라브에지 (slab edge)를 저감하기 위한 방법을 제안한다. 슬라브에지는 열간압연 후 에지부에 일정한 폭으로 발생하는 주름흠 (wrinkle) 형태의 결함이다. 슬라브에지는 제거가 되어야 하므로 고객이 요구하는 주문폭을 맞추지 못하는 경우가 발생할 수 있고, 생산성이 저하되는 원인이 된다. 연주 과정에서 슬라브 단변부를 컨벡스 (convex) 형상으로 만들어 압연을 하면 슬라브에지를 저감할 수 있다. 슬라브 단변부를 정의하는 형상에 따라 열간압연 완료 후 슬라브에지의 크기도 다양하게 변화된다. 본 연구에서는 상용 유한요소 (Finite Element Method) 해석 프로그램인 DEFORM-2D와 최적화 알고리즘 (optimization algorithm)을 결합한 최적화 툴을 개발하여 슬라브에지를 최소화하는 슬라브 단변부의 형상을 도출하였다.

[철강B7-3 | 14:45]

미세조직 제어를 통한 석출경화형 고강도 스테인리스강 소재 개발 : 권영진* (㈜포스코)

Keywords: 스테인리스강, 석출경화

석출경화형 스테인리스강은 마르텐사이트 기지 조직에 시효열처리를 통한 미세 석출상을 생성시켜 추가적인 강도 향상이 가능하기 때문에 고강도 및 내마모성 요구되는 컨베이어 벨트, 자동차 탄성 소자 등의 분야에 사용되고 있다. 여기서 합금원소 변화에 따라 마르텐사이트 기지조직에 페라이트 및 잔류 오스테나이트 분율에 변화가 생기게 되고 이러한 미세조직 변화는 고온 열간가공성 및 시효 열처리 후 기계적 물성에 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 석출경화형 스테인리스강의 성분 조절을 통해 강재 미세조직을 제어하여 고온물성 및 상온물성 평가를 진행하였다. 열간압연이 수행되는 고온에서 델타 페라이트 및 오스테나이트 상 분율 및 성분 파티셔닝이 열간가공성에 미치는 영향에 대해 분석하여 열간 가공성 향상을 위한 핵심 인자를 도출하였다. 또한 시효열처리 후 고강도 및 고인성 구현을 위한 마르텐사이트, 페라이트 및 잔류 오스테나이트 상 분율 및 석출경화 거동 제어 방안을 분석하였다.

[철강B7-4 | 15:00]

고강도 페라이트계 스테인레스강의 특성과 활용 : 박지언*, 최가영 (포스코 기술연구원)

Keywords: 페라이트, 스레인레스, 고강도, 용접성, 성형성

페라이트계 스테인레스강은 가전, 주방용품, 자동차 부품 등 다양한 산업 분야에 사용되고 있다. 최근 가전 제품의 대형화로 인해 세탁기나 건조기의 경우 제품의 안전성을 확보하기 위해서는 소재의 두께를 더 높여야 하나, 이는 제품의 무게 증가 및 CO2 발생량 증가로 이어지는 문제가 있다. 따라서 소재의 두께 증가를 방지하기 위해서는 소재의 항복강도가 향상되어야 한다. 이를 위해 기존에는 조질압연 등을 통해 항복강도를 높이는 시도를 하였으나 이는 용접부의 항복강도가 다시 하락하여 제품의 안정성을 떨어트리는 문제가 있다. 따라서, 본 연구에서는 페라이트계 스테인레스강의 항복강도를 높이기 위해 Si과 Cu를 첨가하여 그 특성에 대해 조사하였다. 먼저 페라이트계 스테인레스강에 Si을 첨가하면 substitution으로 고용되고, Fe와 Si의 탄성계수와 원자크기 차이로 인해 전위의 cross slip 억제 및 pinning 하여 강도 강화 효과가 나타나는 것으로 알려졌다. 실제 Si 첨가시 항복강도는 96.7MPa/wt% 증가하는 것으로 나타났다. 또한, Cu는 페라이트계 스테인레스강의 항복강도를 높이는 효과적인 원소이며, 나노사이즈의 미세 Cu 석출물로 인해 항복강도가 향상되는 것으로 알려져 있다. Cu 첨가시 항복강도는 89.3MPa/wt% 증가하는 것으로 나타났으며, 고온 용접 모사 열처리후에도 항복강도가 유지되는 것을 확인하였다. 그러나, 과도한 Si과 Cu 첨가는 성형성 및 표면 품질 하락이 발생하게 된다. 본 연구에서는 16Cr 페라이트계 스테인레스강에 Si과 Cu의 적절한 첨가를 통해 항복강도가 350MPa 이상인 제품을 생산하여 품질 특성에 대해 평가하였다.

[철강B7-5 | 15:15]

무방향성 전기강판 자성에 미치는 승온속도의 영향 : 박준수*, 김정우 (포스코 기술연구원)

Keywords: 무방향성 전기강판, 승온속도, 집합조직, 철손, 자속밀도

무방향성 전기강판은 모터나 발전기 등과 같은 회전기기의 철심소재로 널리 사용되는 연자성 재료로 중요한 자기적 특성으로는 외부 자기장에 자화되는 정도를 나타내는 자속밀도와 그에 따른 에너지 손실인 철손이 있다. 무방향성 전기강판에서 철손을 저감시킬 수 있는 가장 효율적인 방법으로는 Si, Al등 비저항 증가 원소의 함량을 증가시키는 방법, 두께를 박물화하는 방법 등이 있는데 이는 또다른 중요한 특성인 자속밀도를 감소시키는 모순적인 특징이 있다. 반면, 철은 자기 이방성을 가지기 때문에 자성은 집합조직에 의해서도 영향을 받는데 집합조직의 개선은 성분 함량의 증가, 두께 박물화 등과는 다르게 철손과 자속밀도 중 어느 한 쪽을 손해보지 않고 동시에 향상시킬 수 있다. 최근 전기강판 및 모터의 고효율화에 따라 보다 저철손이면서 동시에 고자속밀도인 소재에 대한 니즈가 증가하고 있기에 다양한 방법을 통해 집합조직을 개선시킬 수 있는 기술개발이 필요하다. 본 연구에서는 무방향성 전기강판의 제조 공정 중 마지막 공정인 냉연판 소둔 공정에서 승온속도에 따른 미세조직 및 집합조직의 변화를 관찰하고 최종적으로 자성에 미치는 효과에 대해 확인하고자 하였다. 냉연판 소둔 시, 승온속도를 증가시킬수록 동일한 균열 열처리 시 결정립 크기가 감소하는 경향이 나타났고, 자성에 불리한 {111} 집합조직이 감소하였으며 {110} 집합조직이 증가하는 결과를 확인하였다. 승온 속도의 증가에 따른 집합조직 개선은 최종적으로 무방향성 전기강판의 철손을 감소시키고 자속밀도를 향상시키는 효과로 구현됨을 확인할 수 있었다.

이차전지 원료소재
Room 콘서트홀, 10월 30일

[이차전지 1-1 | 08:30]
니켈 매트 제조를 위한 Top Submerged Lancing Furance pilot 탈철 설비 : 서민석*, 박진균, 김종호, 이병필, 최준성, 우광선, 김영우 (포항산업과학연구원)
Keywords: 니켈, 산화광, 탈철, 이차전지, TSL
니켈 산화광 중 사프로라이트는 건식제련을 활용하여 니켈을 추출한다. RK-EF 공정을 통해 저품위 니켈 산화광을 페로니켈로 제조한 후 황화 및 탈철공정을 통하여, 고순도 니켈 매트 중간물을 생산할 수 있다. 황화 및 탈철공정에서 황은 니켈과 반응하여 Ni_3S_2가 되어 매트로, 산소는 철과 반응하여 산화철이 되어 슬래그로 배출된다. TSL(Tob Submerged Lancing) Furnace은 탈철 공정을 통하여 니켈 매트를 생산할 수 있는 설비다. 기존 연구에서 시뮬레이션을 활용하여 원료 및 부원료 투입량에 따른 공정 온도와 슬래그 및 매트의 조성, 니켈 회수율 등을 예측하였다. 본 연구에서는 최종적으로 pilot scale 설비를 활용하여 니켈 매트를 제조하고자 한다. Pilot 설비를 가동하기 위해서 검토를 진행한 내용과 탈철공정의 조업 중 중요한 부분에 대해 발표하고자 한다. [사사문구] 본 발표내용는 2022년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술 평가원 신사업맞춤형핵심 광물 개발·활용 기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(20227A10100010)

[이차전지 1-2 | 08:45]
Ni 건식 제련 중 공정부산물 재활용 시 슬래그 점도 측정 : 신현우 (동아대학교 공과대학 금속공학과), 강영조* (동아대학교 공과대학 신소재공학과), 최준성 (포항산업과학연구원 자원정제련연구그룹)
Keywords: LIB, Ni matte, 부산물, 점성, MgO 포화용해도
전기차 시장의 성장에 따라 리튬 이온 전지(LIB) 수요가 급증함에 따라 NCM 양극재의 주요 성분으로써 이차전지소재 원료인 Ni 제련/정제 관련 연구가 활발하게 진행되고 있다. 황산니켈 (NiSO4) 원료를 위한 중간물인 Ni matte를 제조하는 건식제련법은 황화 반응과 탈철 공정을 이용하는 공정으로써, 습식 공정에 비해 비교적 단순하다는 장점이 있다. 한편, 최근 여러 이차전지원료소재 정제 공정은 다양한 공정 부산물이 발생함으로써 환경처리 이슈가 발생하고 있다. 본 연구는 여러 이차전지 원료소재 공정 부산물로 발생하는 황산염 성분을 Ni matte 용융환원 (RKEF) 및 탈철 (PSC) 공정 중 첨가하여 재활용하는 경우 제련 공정 슬래그의 물성, 특히 점성에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. FeO-SiO2-MgO 3원계 슬래그에 황산염 부산물이 들어갔을 경우에 대해서 FeO의 농도와 Na2O의 첨가량을 변화시켰을 때 용융 슬래그의 점성을 회전 점도계를 이용하여 조사하였다. 측정 중 FeO의 보존을 위하여 CO/CO2 혼합가스를 이용해 점성 측정 산소분압을 제어하여 FeO의 산환원을 억제하였으며, 측정 후 전위차 적정 분석과 inductively coupled plasma 분석(ICP-OES)을 통해 슬래그 조성을 확인하였다. 또한 공정 중 발생한 황산염을 재활용하는 경우 Na가 내화물에 침식을 일으킬 경우에 대해 황산염을 첨가했을 때의 슬래그가 MgO 도가니에 용융시켜 ICP-OES분석을 통해 MgO의 포화용해도를 측정하였다.

[이차전지 1-3 | 09:00]
이차전지 원료소재 공정 및 설비 Engineering 기술개발 : 유수환*, 이현철, 송한목, 강덕윤, 이수현 (포스코이앤씨)
Keywords: Engineering, Process, Simulation, Scale-up
리튬이온배터리 시장이 커짐에 따라 원료소재에 대한 수요도 증가하고 있다. 그에 따라, 이차전지 원료소재 제조 공정 및 설비 엔지니어링 기술개발은 고효율, 저비용, 친환경적 배터리 원료 공급을 목표로 하고 있다. 본고에서는 Engineering 기술개발 측면에서의 공정 Flow 최적화, Scale-up, Simulation, 구조해석, 유동해석 등을 간략하게나마 소개하고자 한다. 최적화된 공정 설계를 통해 원료 소모와 부산물 생성을 최소화하며, 생산 과정의 일관성과 안정성을 확보를 위한 연구를 수행한다. 또한, CAPEX 분석을 통해 설비 투자 비용을 효율적으로 관리하고, 투자 대비 최대의 생산 효율을 도모하기 위한 전략 기반을 구축한다. Simulation 및 구조해석을 통해 설비의 효율성을 사전에 평가하고, 이를 바탕으로 최적화된 Scale-Up 방안을 마련하여 대규모 생산 설비 설계에 적용한다. 이러한 Engineering 중심의 기술개발은 고순도, 고성능의 배터리 원료소재를 안정적으로 공급할 수 있는 시스템을 구축하며, 전반적인 생산 비용 절감과 품질 향상에 기여할 것이다. 이를 통해 지속 가능한 에너지 솔루션 제공을 목표로 하고 있다.

[이차전지 1-4 | 09:15]
Fundamentals of Carbothermic Reduction of LiFePO4 Cathode Active Materials with Graphite Anode Active Materials : Yuri Kim and Il Sohn* (Yonsei Univ)
Keywords: Lithium Iron Phosphate Battery:Carbothermic reaction:Recycling:Thermogravimetric analysis
LFP (Lithium Iron Phosphate) batteries are increasingly utilized in various applications, particularly in electric vehicles and energy storage systems, owing to their strong safety profile, long lifespan, and environmentally friendly characteristics. However, the widespread use of these batteries poses significant challenges regarding their end-of-life disposal. Recycling LFP batteries is essential for recovering valuable materials such as lithium, iron, and phosphorus, reducing environmental impact, and promoting a circular economy. This study investigates the fundamental reactions involved in the reduction of LFP into valuable metals, aiming to elucidate

the underlying mechanisms. The experimental samples consisted of a mixture of $LiFePO_4$ and graphite, intentionally excluding other battery components such as foils, electrolytes, and separators. Thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) were performed non-isothermally up to 1000°C at a heating rate of 20 K/min under inert and reducing gas atmospheres. Quadrupole mass spectrometry (QMS) was employed to monitor the evolution of gases during the reaction. The reduction process was found have two pronounced reactions: the direct reduction of $LiFePO_4$ by carbon within the pellet and the generation of CO gas through the Boudouard reaction. X-ray diffraction (XRD) analysis identified the final products as Fe_2P and Li_3PO_4. In addition, morphological changes during the reduction process were characterized using SEM-EDS, revealing the early formation of the iron phosphate phase (Fe_2P) at the boundary of $LiFePO_4$ particles, followed by the emergence of lithium phosphate phases, $Li_4P_2O_7$ and Li_3PO_4.

[이차전지2-1 | 09:40] 초청강연

전기자동차 폐배터리의 건식재활용공정 개발 현황 : 한길수*, 이광정 ((주)영풍)

Keywords: 폐배터리, 전기자동차, 재활용, 건식재활용

2023년 전기차 판매량은 전년 대비 35% 증가한 약 1377만대로 판매 침투율이 약 17%에 달했으나, 연간 성장율은 전년 대비 감소하였다. 이렇듯 최근 전기자동차 시장의 성장세가 다소 주춤하는 상황임에도 불구하고 향후 전기자동차 시장의 성장에 대해서는 대부분 긍정적인 예측은 변함이 없다. 이러한 꾸준한 전기자동차 시장의 성장은 향후 폐배터리 발생의 양적인 부분만이 아니라 원재료 확보의 이슈 및 환경 문제에 대한 사회와 기업의 관심을 증대시키고 있으며, 이로 인해 폐배터리 재활용이 포함된 순환경제의 필요성이 이미 사회 전반적으로 대두되고 있는 상황이다. 이러한 환경에 대응하기 위하여 기존의 재활용업체 뿐만 아니라 자동차사, 이차전지 제조사, 이차전지소재사, 비철제련사 등에서 폐배터리 시장의 주도권을 확보하기 위해 폐배터리 선점, 재활용 기술 경쟁력 확보 등의 치열한 경쟁을 벌이고 있는 현실이다. 향후 대량으로 배출되는 전기자동차 폐배터리의 신속한 처리를 위해서는 생산성이 탁월한 재활용공정 기술이 필요하며, 건식 재활용기술이 하나의 대안으로 제시될 수 있다. 이에 현재 국내외에서 개발되고 있는 건식 재활용기술들을 살펴보고, 그중 용융환원법을 이용한 재활용공정에 대해 좀 더 상세한 분석을 하고자 한다. 또한 향후 건식 재활용 공정이 극복해야 할 이슈사항들을 도출하고 그 해결 및 개발 방향을 제안하고자 한다.

[이차전지2-2 | 10:05]

전기차 사용후 배터리 상태별 리사이클링 전처리 기법 : 이주승*, 한상우, 김완이, 김천, 손봉군, 김민재, 박중길 (포스코홀딩스)

Keywords: 전기자동차(Electric Vehicle, EV), 리튬이온배터리, 리사이클링, 전처리공정

전기자동차(Electric Vehicle, EV)의 급격한 보급에 따라, 사용후 배터리의 처리 문제 또한 점차 중요한 환경적, 경제적 과제로 대두되고 있다. 특히, 재사용이 어려운 배터리의 리사이클링을 통해 리튬, 니켈, 코발트와 같은 유가금속을 추출하여 배터리 제조의 원료로 재활용하는 과정은 자원 순환 측면에서 필수적이다. EV배터리 리사이클링은 이러한 희귀 자원의 효율적 활용을 가능하게 하며, 탄소 배출 감소에도 기여할 수 있다. 그러나 리사이클링 공정에서 발생하는 폐기물 처리 문제와 화재 위험 등의 안전성 확보는 여전히 중요한 과제로 남아 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 폐기물 최소화와 안정성을 확보할 수 있는 전처리 공정을 제안하고, 이를 검증하기 위한 기초 실험 결과를 제시하고자 한다.

[이차전지2-3 | 10:20]

Evaluation of the recycling process for improving lithium recovery from lithium compounds in spent batteries : 정은진*, 엄형섭, 박연우 ((재)포항산업과학연구원), 김완이, 한상우 (포스코홀딩스)

Keywords: 사용후 배터리, 리튬, 재활용, 자원순환

최근 전기자동차 시장은 캐즘기를 겪으며 순차적으로 성장해오던 사용후 배터리의 재활용 시장도혹한기를 겪고 있다. 이에 따라, 유관기관들의 공장 가동율이 저조하는 추세를 보이고 있으나, 캐즘기를 극복한 폐배터리 시장이 내년 44GWh에서 2040년에는 3천 300GWh 규모로 확대될 것으로 전망을 하고 있다. 이는, 폐배터리의 양적인 부분만이 아니라 원재료 확보의 이슈 및 환경 문제에 대한 기업과 사회의 관심 증대로 배터리 재활용이 포함된 순환경제의 필요성이 매우 중요해짐을 시사하고 있다. 사용후배터리의 재활용 기술구축에 있어, 원료의 수급 및 전처리, 친환경적 유가금속 회수 등 전세계적으로 자원순환에 친환경적 기여가 가능한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 전처리의 방법에 따라 원료내 품위, 생성화합물 등에 따라 공정조건이 상이할 수 있어 고함량 다종의 불순물이 포함된 Feed에 대한 처리기술 개발의 역량구축이 필수적이다. 최근 다양한 BM(Black Mass)원료가 입고됨에 따라 원료다변화에 따른 품위 또한 다양하게 검토되고 있어 본 연구에서는 폐리튬이온배터리의 원료 중, Al의 품위가 많은 원료내 Li 회수방법에 대해 검토하고자 하며, 이론적 접근과 실험고찰을 비교함으로써 원료의 다양화에 있어 회수 방안에 대해 평가, 제시하고자 한다.

[이차전지3-1 | 10:45] 초청강연

Regulating Supersturcture Domain Dispersion in Lithium-rich Layered Oxide Cathodes for Low Cost, High Energy, and Superb Reversibility :정기영* (포항산업과학연구원 (RIST)), 최근호 (포스코홀딩스), 박혁준 (한국표준과학연구원 (KRISS))

Keywords: Lithium-ion Battery (LiB):Cathode Active Material (CAM):Li-rich Layered Oxide Cathode (LLO):Li- and Mn-rich Cathode (LMR):

Lithium-rich layered oxides (LLOs) have recently been at the center of attention as a promising low-cost and high-energy cathode taking advantage of the additional anionic oxygen redox. A unique Li–Mn superstructure unit in a Li2MnO3-like domain is essential for harnessing anionic oxygen redox:however, excess occurrence of lattice-oxygen redox in the localized Li2MnO3-like domain inevitably

results in irreversible oxygen release and structural destruction in LLO cathodes, which hampers their practical adoption in lithium ion batteries. Here, we unravel the conventional synthesis mechanism of LLO cathodes and its critical governance on the domain crystallography, which is proved by a suite of in situ probing techniques. Based on our understanding, we regulate the superstructure domain dispersion in LLO cathodes by promoting direct synthesis reactions between precursor powders, which renders chemically and structurally homogeneous intermediates and transforms the final LLO structure with uniformly dispersed small-sized Li2MnO3-like domains. We further demonstrate that delocalization of the Li2MnO3-like domains in LLO enhances electrochemical properties by effectively suppressing the excessive oxidation of labile oxygen. The present study provides fundamental insights into regulating homogeneities in chemical and structural properties of synthetic intermediates upon calcination to achieve highly stable and reversible Li-rich cathodes towards broader market penetration.

[이차전지3-2 | 11:10]

전도성 셀룰로오스 나노구조를 활용한 리튬 배터리 전극 소재 연구 : 박상진, 이영아, 김기백, 오찬영, 서은지, 김민석 (한국과학기술연구원), 이광희 (고등기술연구원), 문명운* (한국과학기술연구원)

Keywords: 셀룰로오스, 전극, 탄소 구조체

셀룰로오스는 나무, 식물, 면화 등에서 추출되는 천연 물질로 환경 친화적이고 지속 가능한 소재로 알려져 있다. 또한 나노 셀룰로오스는 높은 비강도, 내화학성, 절연성, 흡착 특성과 같이 우수한 물리 화학적 특성 덕분에 의료, 생명공학, 전자, 센서, 수처리, 에너지 분야 등에서 활발하게 연구되고 있다. 특히, 셀룰로오스는 배터리 소재로서도 많은 관심을 받아왔는데 소재의 화학적 내구성 및 접착 특성을 활용하여 분리막, 바인더로 사용하기 위한 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 그러나 셀룰로오스 자체는 절연체이기 때문에 전극 소재로 사용하기에 한계가 있다. 본 연구에서는 셀룰로오스 나노크리스탈(CNC) 필름에 아르곤 이온빔 처리 공정을 이용하여 수직으로 배열되어 있고 높은 전기 전도성을 갖는 메타 셀룰로오스 나노구조(MCNS)를 제작하였다. 형성된 MCNS는 기계적 강도가 높고, 전해질에 대해서 우수한 젖음성 특성을 보였다. 이러한 MCNS소재를 이용하여 코인 셀을 제작하여 전기화학적 성능을 평가하였다. 본 연구를 통해 셀룰로오스 기반 소재의 전기 전도성 한계를 극복하고 배터리 전극 소재로의 가능성을 제시하고자 하며, 나아가 차세대 전극 개발에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[이차전지3-3 | 11:25]

Effect of Chemical Bonding Agents and their Mixtures on the Tensile Strength of Aluminum 8079 and Cast Polypropylene Bonding for Secondary Battery Pouches : Emmanuel Appiah, Jin Woong Park, Byoung Jun Han, Jung Hyun Kang, and Jeoung Han Kim* (Hanbat National University)

Keywords: Molecular layer, chemical bonding agent, environmental resilience, tensile strength, direct adhesion

The growing need for precise and reliable adhesions in electronic applications has increased interest in studying and developing interface bonding and direct adhesion between different materials. This study focuses on a direct adhesion method for bonding polymer and metal using chemical bonding agents or their mixtures for developing lithium-ion battery pouches. In this research, cast polypropylene (CPP) and aluminum (Al) 8079 are bonded polymer and metal, respectively. A comparative analysis was conducted to assess the impact of the individual chemical bonding agent on the bonding strength of Al-CPP. The selected chemical bonding agents were mixed and used for bonding. The results showed that the chemical bonding agents had a limited effect on the initial tensile strength of the Al-CPP bonding, with a maximum of 22MPa. In contrast, their mixtures had a stronger effect, reaching approximately 30MPa. These effects were also evident in various environmental resilience tests, such as the thermal cycle, where the mixtures maintained higher tensile strengths. The surface characteristics of the aluminum before and after the chemical treatment at the nanoscale were studied using Scanning Electron Microscopy (SEM), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), contact angle analysis, and surface roughness measurement. The SEM analysis revealed the formation of nanopores with diameters ranging from 25-30nm on all the treated aluminum samples, aiding in mechanical adhesion. XPS analysis indicated that the chemical bonding agents formed covalent bonds on the aluminum, enabling molecular adhesion with the polymer matrix.

[이차전지4-1 | 13:00]

P/P급 진공증류 장치를 이용한 용융염 전해 Crude Li metal 고순도 정련기술 개발 : 박재신*, 여경민, 정명원, 박운경, 조민영 (포스코홀딩스미래기술연구원), 김종성 (비츠로셀)

Keywords: 리튬금속, 분별증류, 고순도 정련, 이차전지, 전해제련

리튬 금속은 배터리, 의약품, 유리 및 세라믹 등 여러 산업에서 다양하게 활용되고 있으며, 특히 급증하고 있는 전기차 시장에 대응하기 위해 주행거리 향상을 위한 리튬금속 음극재를 적용한 고용량 이차전지 제조를 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 일반적으로 리튬금속은 염화리튬으로부터 용융염 전해제련법을 통해 97~99 wt.% 수준의 리튬 조금속을 제조한 후 정련 공정을 거쳐 99.9% 이상의 battery grade급 고순도 리튬금속을 제조하게 된다. 리튬 조금속의 고순도 정련을 위한 상용 정련 공정으로 기계적, 화학적 방법 및 진공 증류법 등의 공정이 활용되고 있으며, 주요 불순물 원소인 Na 및 K를 효율적으로 제거하는 것이 고순도 리튬 금속 제조를 위한 핵심 기술로써 이에 초점을 맞춘 연구가 활발하게 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 차세대 리튬 이차전지 음극용 소재 적용을 위해 용융염 전해를 통해 얻어진 리튬 조금속 내 불순물 원소별 분별증류 거동 해석을 진행하고, L/S의 고순도 정련실험을 통해 분별증류 공정을 통한 고순도화 가능성을 확인하였으며, 양산화 기술 개발을 위해 P/P급 고순도 정련 실험을 실시하였다.

[이차전지4-2 | 13:15]

Pyrometallurgical Recycling of Spent Li-ion Batteries by utilizing Hydrogen Reduction : Juheon Lee (RD Solution, Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University), Jeong Suk Yun (RD Solution), Sanghoon Lee (RD Solution, Yonsei Industry Cooperation Center, Yonsei University), DHANASEKAR KESAVAN (RD Solution), and Il Sohn* (RD Solution, Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University)

Keywords: pyrometallurgy, EOL-LIBs, chemical composition, micro-structure, LiFePO4

The demand and production of lithium-ion batteries (LIBs) are steadily increasing, leading to a corresponding rise in the amount of end of life lithium-ion batteries (EOL-LIBs) and the development of recycling processes for EOL-LIBs is essential. Pyrometallurgical recycling process was utilized for recycling that produces less toxic substances having a high resource recovery rate compared to other methods under hydrogen atmosphere. hydrogen is recognized as a next-generation eco-friendly resource and It can be directly utilized as a reducing agent. In this study, we developed pyrometallurgical recycling process for LiFePO4 (LFP) batteries using hydrogen. Isothermal reduction of LFP was analyzed within temperature range of 800ºC to 1000ºC and hydrogen content ranging from 30% 100%. The reduction products, including Li_3PO_4 and Fe_2P, were identified, and the particle size and distribution of these products were analyzed under varying conditions. The reduction behavior of LFP was analyzed using a thermogravimetric analyzer (TGA) and gas analyzer. For elemental and phase analysis, carbon sulfur analyzer, inductively coupled plasma (ICP), x-ray fluorescence (XRF), and x-ray diffractometer (XRD) were utilized. The micro-structure of the particles were identified using back-scattered scanning electron microscopy (SEM-BSE) and energy dispersive spectormeter (EDS). The characteristic behavior of pyrometallurgically recycled LFP was observed in terms of its chemical composition and microstructural changes. This analysis provides essential data for the development of a separation process required after the pyrometallurgical recycling process.

[이차전지4-3 | 13:30]

폐배터리로부터의 유가금속 회수를 위한 전력화 공정 개발 : 김병규*, 이고기, 홍영란 ((재)포항산업과학연구원)

Keywords: 리싸이클링, 전력화, 구리-이산화망간, 친환경

배터리 산업이 성장함에 따라 사용 후 배터리(EoL LIBs)의 처리 방안은 지속적인 화두가 되고 있다. 이 중 재사용이 불가능한 전지로부터 유가금속을 회수할 수 있는 재활용 기술은, EoL LIBs를 전처리한 뒤 염산, 황산 등의 용매에 침출 후 정제하는 방식으로 구성된다. 전처리 방식에 따라 건식, 습식으로 구분되는 기술의 전단부와 달리, 후단부의 공정은 대부분 [침출 - 불순물 제거 - 용매추출 - 결정화]의 단계를 거쳐 리튬, 코발트, 니켈, 망간, 구리 등의 유가금속을 회수한다. 이 중 불순물 제거 공정에 적용되는 방법은 공침법이 주가 되며, 이 과정에서 첨가제로 막대한 양의 소다를 사용할 뿐만 아니라 공정 폐개물로 망초 등의 불순물이 발생한다. 따라서 첨가제의 사용량을 줄일 수 있는 불순물 제거 공정의 개발은 차후 친환경적 공정 개발에 있어 핵심적인 역할을 수행한다. 제거되는 불순물 중 가장 많은 비율을 차지하고 있는 것은 구리, 철, 알루미늄이며, 이 중 구리의 경우는 공정 후반부에서 동추출 등의 공정을 통해 다시 회수하는 것이 일반적이다. 본 연구는 이 점에 착안하여, 동추출 공정과 망간 회수 공정을 동시에 수행할 수 있는 전력화 공정을 제언하고, 이를 구현하기 위한 기초적인 단계의 실험을 진행함으로써 추후 상기 공정의 개발 가능성을 모색하였다. 이를 위하여, 산 용액으로 침출된 유가금속에 대한 각각의 전기화학적 물성을 평가하였다. 이후, 해당 실험으로부터 확보한 전위 및 과전압 등을 고려하여, 이산화망간과 구리가 각각 전극 표면에 증착될 수 있는 조건을 탐색하였다.

[이차전지4-4 | 13:45]

Investigating thermodynamics and kinetics of LMO EOL-LIBs through innovative pyrometallurgical recycling : Seojin Lee, Sanghoon Lee, and Il Sohn* (Yonsei University)

Keywords: pyrometallurgy:carbothermic reduction LIBS:Lithium Manganese Oxide:

The rapid increase in the use of lithium-ion batteries (LIBs) demands significant resource consumption and results in a large number of spent batteries. Recovering valuable metals from these spent LIBs has become essential. In this study, a thermogravimetric analyzer (TGA) was utilized to examine the thermodynamics and kinetics involved in the reduction of Lithium Manganese Oxide (LiMn2O4) batteries. The reduction process of composite pellets, consisting of the cathode active material (LMO) and anode graphite, was conducted by heating from room temperature (RT) to 1000 °C at a constant heating rate of 20 °C/min under Ar atmosphere to determine the reduction mechanism. By analyzing the mass loss data from the TGA alongside gas evolution monitored with a gas analyzer, the theoretical reaction was identified. Subsequent reduction experiments using an induction furnace in confirmed the potential for efficient pyrometallurgical recycling of commercial batteries.

P1 : 적층제조 및 분말
Room 2층 로비, 10월 28일

[P1-1]]

스캔 전략에 따른 DED 18Ni300 마레이징 강의 미세조직 및 기계적 특성 : 주수빈, 노건우, 정영훈 (경상국립대학교), 백민재, 이동준 (한국재료연구원), 김정기* (경상국립대학교)

Keywords: Scan strategy, Maraging steel, DED, back-stress, residual stress

적층 제조 공정 중 하나인 직접용융증착법(Direct Energy Deposition, DED)은 빠른 공정 속도와 높은 형상 자유도로 복잡한 형상 제작 및 제품 수리에 사용되고 있다. 하지만, 공정 중 빠른 냉각속도와 overlap에 의한 큰 온도구배가 발생하여 적층재 내부에 이방성 및 잔류응력이 형성되는 문제가 발생한다. 상기 이방성 및 잔류응력 응집의 해결을 위해 다수의 연구에서 적층 제조 중 레이저 스캔 전략을 변경하여 부품의 조형을 수행하나, 레이저 스캔 전략에 따른 미세조직 변화는 소재 물성에 영향을 미치게 되므로 각 요소에 대한 정량적인 평가가 필요하다. 이에 본 연구에서는 scan strategy 중의 하나인 stripe pattern의 각도를 조절하여 DED 공정된 18Ni300 마레이징 강의 미세조직 분석 및 기계적 특성 변화를 확인, 최적의 stripe pattern 각도를 도출코자 하였다. 각 Layer를 45도로 회전할 경우, 0도와 90도에 비해 반복되는 적층 Layer가 적어 잔류응력 분포에 차이를 보임과 동시에 각 Layer의 cooling rate 증가가 일어나 더 미세한 lath martensite가 형성되는 것이 관찰되었다. 이로 인해 더 많은 Geometrically Necessary Dislocation와 back-stress가 형성되어 우수한 기계적 특성을 가지게 됨을 확인하였다. 상기 결과를 통해 레이저 스캔 중 각 Layer의 각도 차이에 따라 lath martensite의 형상 및 잔류응력이 변화하고 이에 따라 기계적 특성이 조절할 수 있음을 확인하였다.

[P1-2]

Development of martensite-austenite dual-phase microstructure in maraging steel using additive manufacturing : Hyeonbeen Noh (KAIST), KenHee Ryou (KAIST, Northwestern University), Kwang-Hyeok Lim, Gi-Dong Sim, and Pyuck-Pa Choi* (KAIST)

Keywords: Martensite, Austenite, Maraging steel, Additive manufacturing

As one of the advanced high-strength steels, dual-phase (DP) steel has been widely used in automotive industry. However, its microstructure has been limited to combination of ferrite and martensite with uneven distribution. In this work, we developed the martensite-austenite dual-phase microstructure using elemental partitioning during the additive manufacturing. Microstructural characterization as well as mechanical test were performed.

[P1-3]

Microstructure, hardness, and corrosion resistance of WC-Ni cemented carbides fabricated by spark plasma sintering : Namhyuk Seo, Junhyub Jeon (Jeonbuk National Univ., KITECH), Ji-Woo Park, and Min-Su Kim* (KITECH)

Keywords: Cemented carbides, spark plasma sintering, corrosion behavior, hardness, microstructure

Cemented carbide materials are extensively utilized in various industrial applications, including wear-resistant components, cutting tools, and geo-engineering instruments, due to their exceptional durability. Due to harsh conditions in those applications, the cemented carbides were expected to have high strength, wear resistance, and corrosion resistance. While the traditional WC-Co cemented carbides exhibit superior hardness and strength, WC-Ni cemented carbides offer better oxidation and corrosion resistance. In the present study, the microstructure, hardness, and corrosion resistance of WC-Ni cemented carbides were investigated under various nickel content (7–27 wt%) to identify the optimal composition balancing moderate hardness and corrosion resistance. The alloys were fabricated by using spark plasma sintering (SPS) to minimize porosity formation. Microstructural analysis was conducted using Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM), and the corrosion resistance was evaluated through electrochemical testing by measuring polarization curves. The effect of Ni content on the hardness and corrosion behavior of WC-Ni cemented carbides were discussed with their microstructural characteristics.

[P1-4]

금속 3D 프린터용 구형 Ti-6Al-4V 분말의 SiO_2 나노입자 코팅을 통한 유동 특성 향상과 기계적 특성 향상 연구 및 특성 평가 : 이종익, 강태후, 김욱주, 김세훈, 정상희, 한지민, 이빈* (경희대학교)

Keywords: Laser powder bed fusion, Ti-6Al-4V, SiO_2

본 연구에서는 L-PBF(Laser Powder Bed Fusion) 공정에 주로 활용되는 합금인 Ti-6Al-4V에 소수성의 SiO_2를 혼합하여, 강도 및 경도 등 기계적 물성을 향상시키는 연구를 진행하였다. 산화물인 SiO_2 나노입자의 분산을 통해 Ti-6Al-4V 분말의 유동성 향상과 나노입자 분산으로 인한 적층 제조 시편의 강화 효과를 확인하였다. 잔류응력으로 인한 기계적 물성의 저하를 최소화하기 위해 상변태가 일어나지 않는 온도 범위 내에서 열처리를 진행하였고 as-built 시편과 비교를 통해 PBF 적층 제조 소재에 대한 기계적 특성 강화 효과를 확인하였다. 3D tubular mixer를 사용하여 Ti-6Al-4V 합금과 0.1 wt%의 SiO_2를 혼합한 후, PBF 장비를 활용하여 cubic 형태 샘플과 인장 샘플을 제조하였다. 이후 적층 제조된 샘플의 상대밀도와 OM을 통한 미세조직 확인 및 XRD 분석을 통해 SiO_2 첨가로 인한 grain size 및 형상 관찰, 상변화 유무, 적층 밀도 변화 등을 관찰하였다. 더하여 SEM, EBSD를 이용해

as-built Ti-6Al-4V 적층 시편과 혼합분말의 적층 시편 간의 열처리로 인한 미세조직 변화를 분석하고, 비커스 경도와 나노 인덴테이션을 통해 SiO_2의 유무에 따른 기계적 물성 변화 거동, 열처리에 따른 변화를 관찰하였다. 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2023-00212081)

[P1-5]

직접 에너지 증착 방식 적층제조로 제조된 티타늄기반 고엔트로피합금 : 김주호, 전서연, 최현주* (국민대학교)

Keywords: 고엔트로피 합금, 직접 에너지 증착, 티타늄

인체의 뼈와 장기를 대체하기 위한 생체 재료에 대한 관심이 높아짐에 따라, 특히 치과 임플란트에서는 높은 반복 하중과 생화학적 환경에 안정적이며 기계적으로 적응 가능한 재료가 필요하다. 이와 같은 생체 재료는 인체 내에서 안정성을 유지해야 하며, 특정 형태로 가공할 수 있는 기계적 특성을 가져야 한다. 그러나 많은 재료가 인체에 독성을 유발하는 문제를 겪는다. 티타늄 합금은 전자에 대해 비전도성과 비흡수성 특성을 지니고 있어 진공 상태에서도 고유의 화학적, 물리적 특성을 유지하며 변형에 강한 저항성을 나타낸다. 고엔트로피 합금(High entropy alloys: HEAs)은 여러 금속으로 구성되어 높은 잔류 엔트로피를 특징으로 하며, 고엔트로피, 느린 확산, 격자 왜곡 및 칵테일 효과와 같은 네 가지 고유한 특성을 통해 기존 합금보다 우수한 기계적 특성과 고체 용액 강화 능력을 보인다. 본 연구에서는 티타늄 기반 HEAs를 직접 에너지 증착(Direct energy deposition: DED) 방식으로 적층 제조하여, 최적의 제조 조건을 모색하고, 특히 높은 반복 하중과 생화학적 환경에서의 응용을 고려한 프로세스-구조-특성 관계를 조사하였다. 광학현미경(Optical microscope: OM)과 주사 전자현미경(Scanning erectron microscope: SEM)을 통하여 미세구조를 관찰하였고, X선 회절 분석기(X-ray diffractometer: XRD)를 통하여 상을 분석하였다. 경도와 밀도 등 물성을 측정하였다.

[P1-6]

SLMed Inconel 625의 Serration 열처리를 통한 Grain Boundary Embrittlement 개선 및 변형거동 분석 : 김태경, 양철혁, 홍현욱* (국립창원대학교 소재융합시스템공학과), 이지원, 차도진, 한정민, 조현철 (두산에너빌리티)

Keywords: Additive Manufacturing, Inconel 625, SLM, Heat Treatment, Microstructure

Inconel 625는 우수한 고온성능을 필요로 하는 항공우주, 발전, 방위 산업 및 기타 응용 분야에 널리 사용되고 있으며, 4차 산업혁명시대에 발맞추어 기존의 주조공정의 한계를 극복하고 복잡한 구조를 효과적으로 구현할 수 있는 적층제조(AM) 공정에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 적층 직후의 as-built 상태에서 높은 잔류응력, 미세편석 그리고 상당한 미세조직적 이방성은 기계적 특성을 저하시키기 때문에 적절한 미세구조 및 우수한 고온 기계적 특성을 달성하기 위한 후열처리에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서 제시하는 Serration 열처리를 통해 결정립계를 제어하여 고온 구조용 재료로써 적합하도록 SLM 공정으로 적층제조된 Inconel625의 특성을 변화시키고자 하였다. 총 2가지의 후열처리 조건 (RX, GBS)을 적용하여, 열처리 조건에 따른 미세조직적 변화가 적층 성형재의 기계적 특성에 미치는 영향을 평가하였고 그 결과를 as-built 상태와 Wrouhgt 합금과 비교하였다. RX(재결정) 열처리가 적용된 합금의 경우, 700 ℃ 고온 인장 이후 절단면 관찰을 통해 Grain Boundary Embrittlement흔적을 확인할 수 있었으며, 그로 인해 열위한 연성을 보였다. TEM 관찰결과, 나노사이즈의 산화 개재물이 Stacking Fault의 확장을 억제하여 이러한 결과를 야기하였을 것으로 판단되었다. 반면 GBS 열처리가 적용된 합금의 경우, 일반 단조재와 타 열처리 조건과는 다른 Serrated된 Grain Boundary를 확보할 수 있었고, 그로 인해 Grain Bounary Cracking 저항을 개선시킬 수 있었다. 본 연구결과는 실제 고온 구조용 재료에 적용될 적층제조된 Inconel 625의 후열처리 설계에 기초적인 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

[P1-7]

L-PBF로 적층 제조된 Haynes230 합금의 미세조직 및 결함 제어 연구 : 김지수 (한국생산기술연구원, 경북대학교), 성지현 (한국생산기술연구원), 박성혁 (경북대학교), 김다혜* (한국생산기술연구원)

Keywords: Haynes230, 적층 제조, L-PBF, 미세조직, 결함 제어

Ni계 초내열합금은 발전 분야의 가스터빈과 항공우주 분야의 발사체 연소기 등 고온 환경에서 뛰어난 성능을 요구하는 부품에 주로 사용된다. Haynes 230은 Ni-Cr-W-Mo 합금으로, 뛰어난 열간 강도와 고온 산화 저항성을 자랑하며, 고온에서도 높은 강도와 내구성을 유지한다. Haynes 230의 적층 제조 활용 사례는 드물지만, 열원에 의해 빠르게 용융 및 응고하는 과정에서 크랙 등 내부 결함이 발생하는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 Laser Powder Bed Fusion(L-PBF) 공정의 주요 변수가 적층 제조된 Haynes 230 합금의 밀도, 공극률 등 적층성에 미치는 영향을 평가하고, 미세조직 변화와 내부 결함의 생성 추이를 관찰하였다. 또한 크랙의 형상과 생성 원인을 분석하고, 기계적 물성의 변화를 연구하였다.

[P1-8]

적층제조용 Rene80 Ni기 초내열합금 합금 설계 및 EBM 적층성형재 크리프 물성과 합금 성분 간의 상관관계 분석 : 이찬희, 김태경, 홍현욱* (국립창원대학교), 이병수, 이해진 (한국생산기술연구원)

Keywords: Ni-based superalloys, Electron beam melting, Alloy design, Microstructure, Creep

Ni기 초내열합금은 고온에서 우수한 기계적 강도, 크리프 특성 그리고 내부식·산화 특성을 가지기에 가스터빈의 베인 혹은 터빈 블레이드와 같이 고온·고압의 가혹한 환경에 사용되는 부품의 소재로 널리 사용된다. 이때 Ni기 초내열합금의 고온에서의 기계적 특성은 L12 규칙격자 γ'-Ni3(Al,Ti) 석출상의 분율이 높을수록 전위의 움직임을 효과적으로 방해하여 우수해지나, 용접성은 떨어지게 된다. 이는 용접 시 급열 이후 급격히 냉각하는 짧은 시간 동안에도 석출 kinetics가 매우 높은 γ'이 다량 석출되고 수축 및 γ/γ'의 negative misfit으로 인해 발생한 잔류응력이 응고 균열과 같은 고온균열 및 strain aging crack과 같은 저온균열을 발생시키기 때문

이다. 또한 용접은 금속의 용융과 응고 과정을 이용한 공정으로 Powder Bed Fusion(PBF) 및 Directed Energy Deposition(DED)와 같은 적층제조 공정과 그 원리가 근본적으로 유사하기 때문에 낮은 용접성은 낮은 적층제조 용이성을 암시한다. 이러한 이유로 현재까지 주로 γ' 분율이 20% 이하로 낮은 Ni기 초내열합금(IN718, IN625 등)에 대해 적층제조가 이루어지고 있다. 하지만 가스터빈의 온도를 높여 효율을 향상시키기 위해서는 고온 크리프 특성이 우수한 고분율 γ' 합금들의 사용이 필수적이며 복잡한 냉각유로 설계를 통해 냉각 효율 증대 및 효율 상승을 위해 적층제조 공정을 이에 적용시키기 위한 연구가 중요히 고려되고 있다. 본 연구에서는 전자빔 용융(Eloectron Beam Melting, EBM) 방식을 사용해 γ' 강화상 분율이 40%이상 높은 René 80을 reference 합금으로 적층제조를 시도하였다. 하지만 넓은 범위에서 EBM 조건을 조절하여 적층제조를 하더라도 고온균열 및 arc blowing 현상 발생으로 인해 20mm 높이 이상으로의 적층이 불가능하였다. 이에 본 연구에서는 합금 성분계를 개량함으로써 적층제조 용이성을 크게 향상시킴과 동시에 René 80 이상의 고온강도를 확보하고자 하였다. 기존 René 80 성분의 합금 성분 기준선에서 Ti 감소 (5 →3 wt%), 2.5 wt% Ta 첨가 및 1.0 wt% Hf 첨가를 통해 균열 없는 EBM 제조 뿐만 아니라 개선된 분말 특성(구형에 더 가까운)을 얻는데 성공하였다. 또한 Atom Probe Tomography(APT) 분석 및 제일원리 계산을 통해 γ' 상 안정성 및 γ/γ' lattice misfit 값의 증가가 전위의 움직임을 효과적으로 방해하여, 개발재에서 stacking fault가 γ'석출물 안에 갇혀 외부로 extend 되지 못하고 우수한 크리프 물성을 가진다는 것을 확인하였다. 그리고 합금 성분이 개량된 René 80을 EBM으로 적층제조 후 표준 열처리를 적용하였을 때 870 ºC에서 기존 주조 제품에 비해 우수한 인장 특성을 나타내었으며 이는 Primary γ'은 a/3<112> 부분 전위에 의해 전단 되어 적층 결함을 남기고, 50 nm 미만의 미세한 secondary γ'와 강하게 상호 작용하기 때문으로 확인되었다.

[P1-9] Canceled

Two-phase flow simulation of annular-slit gas atomizer : Sungho Kim (Hanbat National University), Changwoo Jeon (EML), Chung-Soo Kim (Korea Institute of Industrial Technology), and Jeong Jae Kim* (Hanbat National University)

Keywords: gas atomization, two-phase flow, metal powder, flow structure, CFD

The present study investigates the physics underlying high-pressure gas atomization used in metal powder production. To better understand how flow structures and slit angle and inside the chamber influences droplet size, a numerical study of two-phase flow is performed using the Eulerian-Eulerian Volume of Fluid interface tracking method. The study focuses on an annular-slit gas atomizer that atomizes molten aluminum with nitrogen as the atomizing gas. Eight cases with varying slit angle and the diameter of molten aluminum are examined, keeping the geometry and other operational parameters constant. The research identifies several interfacial instabilities at different stages of the atomization process with two-phase flow simulation. The results show that recirculation region formed by slit nozzle was changed with the slit angle of the nozzle. Although the effect of diameter of molten aluminum was not clearly shown in flow structures, the diameter of powder decreases with smaller diameter of molten aluminum. Additionally, the nozzle slit angle affect flow structures including mean velocity, vorticity, and turbulent kinetic energy inside the chamber which closely related with the metal powder diameter. This study has been partly conducted with the support of the Korea Institute of Industrial Technology as "Innovative Partner Company Project (KITECH-JF240013)"

[P1-10]

후열처리를 통한 강도와 연성이 우수한 Ti-6Al-4V 합금 SLM 성형체 개발 : 조윤환, 이찬희 (국립창원대학교), 김치원 (한국재료연구원), 한정민, 최용혁 (두산에너빌리티), 홍현욱* (국립창원대학교)

Keywords: Ti-6Al-4V, Selective Laser Melting (SLM), α′ martensite, α+β lamellae, Post-heat treatment, Tensile properties

Ti–6Al–4V 합금은 우수한 비강도 및 인성 때문에 다양한 산업 분야에서 활용되고 있고, 최근에는 Ti 합금의 비싼 비용을 절감하기 위해 선택적 레이저 용융(Selective laser melting. SLM)등과 같은 적층제조 공정이 접목되고 있다. 그러나 적층제조 공정의 높은 냉각 속도로 인해 적층제조된 Ti–6Al–4V 합금은 미세한 α' 마르텐사이트 구조를 나타내고, 해당 α' 마르텐사이트 구조는 높은 강도를 나타내지만 매우 열위한 연성으로 인해 인성이 매우 낮아 산업적으로 활용되기 위해선 후열처리를 통해 연성을 향상시켜야 한다. 따라서, 본 연구에서는 SLM 공정에 의해 제조된 Ti–6Al–4V 합금의 후열처리 조건에 따른 미세조직 변화거동 및 상온 인장 특성에 대해 조사하였다. As-built 합금은 SLM 공정의 높은 냉각 속도로 인해 prior columnar β 결정립 내에 미세한 α' 마르텐사이트 구조가 형성되었고, β 안정화 원소(V, Fe)들은 α' lath 경계에 과포화상태로 고용되었다. Stress-relief 열처리(593 ºC/2 h/AC)는 α' 마르텐사이트 구조를 유지한 채로 α' lath 경계에 나노 사이즈의 미세 β 입자 석출을 촉진시켜 경도를 미세하게 증가시켰다(~20 HV). 800–950 ºC에서의 고온 열처리 이후 α' 마르텐사이트 구조는 α+β lamellae 구조로 분해되었고, 고온 열처리를 적용한 Ti–6Al–4V 합금의 미세조직 및 인장 특성에 stress-relief 열처리의 영향은 미비함을 확인하였다. 후열처리 온도 및 시간이 증가함에 따라 lamellae 구조의 폭은 증가하였으며, 이에 따라 연성이 향상되었다. As-built Ti–6Al–4V 합금을 950 ºC 1시간 열처리 후, α' 마르텐사이트 구조는 α+β lamellae 구조로 완전히 분해되었고 lamellae 구조의 폭은 약 2.56 μm였고 경도는 약 367 HV였으며, 우수한 강도 및 연성(Yield strength: 939 MPa, fracture elongation: 17%)이 나타났다.

[P1-11]

High-Fidelity Multiphysics Simulation for Laser Powder Bed Fusion: A Coupled CFD-DEM Approach to Predict Microstructural Evolution and Defect Formation : ROHIT RAJ and Shi-Hoon Choi* (Sunchon National University)

Keywords: Additive Manufacturing, Laser powder Bed Fusion, Discrete Element Method, Coupled Fluid Dynamics, Monte- Carlo.

Laser powder bed fusion (LPBF) is one of the most popular metal additive manufacturing techniques or metal 3D printing. It can be

considered a superior process to other 3D printing methods due to its capability to produce complex designs and non-traditional geometries in engineered structural materials with low material waste. Generally, discrete and particulate metal matters are used as building materials for LPBF. Thus, the discontinuous behaviors shown by the powder materials cannot be simulated solely using conventional continuum-based computational approaches, such as finite-element or finite-difference methods. The progress of this emerging technology is hindered by the lack of high-fidelity predictive tools necessary for cost-effective optimization of printing designs. Despite its advantages, LPBF-manufactured parts often suffer from defects, with porosity being one of the most significant. The powder spreading process can develop porosity level, inhomogeneity in layer height and particle size distribution. We develop a high-fidelity computational tool to provide high-resolution simulations of the multiphase, multiphysics processes of LPBF. Simulations of LPBF of metals must tackle a complex granular solids and multiphase fluids system that undergoes intra and inter-phase interactions and thermal-induced phase changes, including melting, vaporization, and solidification, which are challenging to model. Key to this tool is a multi-phase, semi-coupled resolved Computational Fluid Dynamics (CFD) and Discrete Element Method (DEM). DEM is a proven numerical method to model discrete matter, such as powder particles, by tracking the motion, packing density and temperature of individual particles. We developed a powder spreading model using DEM for multi-layered process. It predicts significant improvement in powder bed void fraction and stresses on underneath layer. design and optimization of powder-based additive manufacturing processes. The multiphysics model is in meso-scale and is used to track and observe the formation of porosities, and considers phenomena such as multi-phase flow, melting/solidification, radiation heat transfer, capillary and thermo-capillary (Marangoni effect) forces, recoil pressure, geometry dependent absorptivity and finally evaporation and evaporative cooling. In AM, microstructural features are like those in traditional solidification processes, but the introduction of mobile heat sources leads to significant microstructural heterogeneity. We know the grain structures are dependent on local and global temperature profile, but the precise relationship is not very clear. In this study, we use an idealized molten zone and temperature-dependent grain boundary mobility in a kinetic Monte Carlo model to predict the three-dimensional grain structure in additively manufactured metals. This research methodology enables a systematic analysis of the relationship between initial powder size distribution and packing density in LPBF processes, providing practical insights for process optimization with their microstructures. Measured results were validated with the literature data.

[P1-12]

Near-α Ti6242 합금 DED 성형체의 미세조직 기반 연성향상 고찰 : 조윤환, 한재연 (국립창원대학교), 권영상 (㈜쎄타텍), 박정효, 김규식 (국방과학연구소), 홍현욱* (국립창원대학교)

Keywords: Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo, Direct energy deposition (DED), α′ martensite, α+β lamellae, Post-heat treatment, Tensile properties

Ti–6Al–2Sn–4Zr–2Mo 합금은 기존 Ti-6Al–4V 합금의 고온 기계적 특성을 향상시키기 위해 개발된 near-α 합금으로 항공우주 분야 등에 활용되고 있다. Ti–6Al–4V 합금과 마찬가지로 Ti–6Al–2Sn–4Zr–2Mo 합금 또한 복잡한 형상 제조 및 Ti 합금의 비싼 공정 비용 절감을 위해 선택적 레이저 용융(Selective laser melting. SLM), 직접 용착 방식(Directed energy deposition. DED)등과 같은 적층제조 공정이 접목되고 있다. 그러나 적층제조 공정의 빠른 냉각 속도로 인해 α' 마르텐사이트가 생성되고 이로 인해 강도는 높지만 연신율이 5 % 정도로 매우 낮은 연성을 나타낸다. 따라서, 후열처리를 통해 산업에 활용할 수 있을 정도의 연성을 확보하여야 한다. 그러나, 현재까지 후열처리 설계에 대한 연구 및 변형기구 등에 대한 고찰이 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 DED 공정에 의해 제조된 Ti–6Al–2Sn–4Zr–2Mo 합금의 후열처리에 따른 인장특성 및 변형기구에 대해 고찰하였다. As-DEDed 샘플의 미세조직은 basket-weave 및 Widmanstäten 형태의 α' 마르텐사이트가 혼재하였고, 후열처리 이후 lath 폭이 소폭 증가하였으며 타 문헌에서 나타난 입자(particle) 형태의 β상은 나타나지 않았다. 인장시험 결과, As-DEDed 샘플의 강도와 연신율의 조합이 매우 우수하게 나타났다. 인장파면 분석 결과, 모든 시편에서 dimple이 지배적으로 관찰되었으며, lack of fusion 및 un-melted powder 등과 같은 적층제조 결함은 관찰되지 않았다. 인장파단 후 TEM 분석결과, α lath 내에 높은 전위밀도가 관찰되었고, β상 내에 다수의 slip line이 관찰되었다. 인장시험 시, 연질의 β상이 인장 변형을 수용하여 우수한 연성이 나타난 것으로 판단된다.

[P1-13]

Implementation of Abaqus AM Modeler for Direct Energy Deposition Additive Manufacturing Process of 316L : Saurabh Pawar and Shi-Hoon Choi* (Sunchon National University)

Keywords: Additive manufacturing, Direct Energy Deposition, Finite Element Analysis, Thermal – Structural analysis, Abaqus

Additive manufacturing (AM), specifically through the powder-based Direct Energy Deposition (DED) method, has shown rapid growth in the past decade and demonstrated significant potential in terms of its ability to handle complex fabrication of three-dimensional (3D) geometrical designs and cost-effectiveness. Numerical simulation is a powerful way to optimize the process parameters. To cope with the growth rate of the AM field, researchers have been exploring different techniques to simulate the AM processes to accelerate the current understanding of thermo-mechanical behavior. The thermal complexities during the DED process are amplified by several physical phenomena like material deposition, material state change, and a moving heat source. Traditionally, these physical variations are implemented on modeling using different user-subroutines in popular commercial software like Abaqus, which requires considerable expertise. However, in a recent technological update, a new AM Modeler plugin has been introduced in the

Abaqus version, which simplifies AM process simulation. The current study presents a detailed implementation of the AM modeler plugin for thermal and structural analysis of DEDed 316L. The effect of laser scanning strategy, laser power, and laser speed on melt pool size have all been evaluated in detail. The critical factors such as temperature distribution and residual stresses have been examined to shed light on the process effect of the clad structure. The forecasting capability of the AM modeler is assessed by comparing the predicted melt pool dimension with experimental evidence reported in the literature.

[P1-14]

Fabrication of Mo-Si-B Alloy Through Spark Plasma Sintering Using Mo Powder With Uniformly Dispersed La_2O_3 Nanoparticles Through Ultrasonic Spray Pyrolysis : Woocheol Kim, Jeong Hyun Kim, SiYeon Kim (Seoul National University of Science & Technology), Young-In Lee, and Jongmin Byun* (Seoul National University of Science & Technology, The Institute of Powder Technology)

Keywords: High-temperature materials, Mo-Si-B alloys, Ultrasonic Spray Pyrolysis(USP), Uniformly dispersed oxides, Spark Plasma Sintering(SPS)

High-temperature materials are used in environments subjected to intense heat and pressure. The prime example is Ni-based superalloy, commonly used in gas turbine blades. Recently, there has been a shift towards developing next-generation high-temperature materials to replace Ni-based superalloys, with the goal of enhancing the operating efficiency and fuel economy of gas turbines by increasing the turbine inlet temperature. Among the various alloys under study, the Mo-Si-B alloys have emerged as promising candidates for these new high-temperature applications. Mo-Si-B alloys have a higher melting point than Ni-based superalloys and exhibit exceptional mechanical properties at elevated temperatures. Especially, Mo-Si-B alloys composed of Mo phase and intermetallic compound phases have garnered attention due to their outstanding properties, including superior oxidation resistance and mechanical properties at high temperatures. Recent research has concentrated on commercializing the Mo-Si-B alloys as next-generation high-temperature materials by utilizing oxide dispersion strengthening to enhance their mechanical properties at elevated temperatures. As a result, efforts are focused on achieving uniform dispersion of oxides, with the Ultrasonic Spray Pyrolysis(USP) recognized as an effective method for evenly distributing various oxide compositions. Furthermore, recent research is exploring the Spark Plasma Sintering(SPS) method to address the challenge of decreased sinterability caused by the addition of oxides. In this study, MoO_3 powder with uniformly dispersed La_2O_3 nanoparticles was fabricated by the USP method. Then, sintering was performed with the SPS system to create Mo-Si-B alloys with uniformly dispersed La_2O_3 nanoparticles. The microstructure and mechanical properties of the resulting materials were then analyzed.

[P1-15]

Directed Energy Deposition(DED)공정으로 제조된 타이타늄계 합금과 산화물 분산 강화 합금의 적층 물성 비교 : 정재우, 김건우, 성지현, 이윤선* (한국생산기술연구원)

Keywords: Directed Energy Deposition(DED), 타이타늄 합금, 산화물 분산 강화 합금, 미세조직, 기계적 물성

타이타늄 합금은 높은 강도와 경량성, 우수한 내식성을 갖는다. 난가공성 등의 문제로 사용에 제한이 있었으나 적층제조를 통한 성공적인 부품 제작, 활용 사례가 보고되며 항공우주, 의료 등 다양한 산업분야에서 수요가 늘어나고 있다. 또한 금속 적층제조 기법 중 Directed Energy Deposition(DED) 공정은 모재의 국부적 영역에 적층이 가능하여 손상, 마모된 부위의 보수가 가능하고, 이종소재 적층을 통한 물성 강화 등 장점을 갖는 기술이다. 본 연구에서는 Ti-6Al-4V 분말을 사용하여 DED 공정의 주요 변수에 따른 적층 형상, 미세조직, 기계 물성 변화 분석을 진행하였다. 타이타늄계 산화물 분산 강화 합금 분말을 사용하여 동일한 공정 조건 범위의 실험을 진행하였으며 두 소재 간 물성을 비교하고자 한다. 특히 산화물 분산 강화 합금 적층제조 시 용융 및 응고과정에서 산화물 간 응집이 일어날 경우 소재 내 결함을 유발, 기계적 물성을 저하시킬 수 있다. 적층공정 조건에 따라 소재 내 산화물의 분산, 결함, 미세조직, 기계적 물성을 평가하였다. 이 논문은 2024년도 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 21-106-A00-006(KRIT-CT-23-019), 반응성 고증착률 적층제조 기술 특화연구실)

[P1-16]

BN 세라믹 강화재에 따른 알루미늄 복합재료의 적층 특성 : 김수민, 최윤석*, 이욱진 (부산대학교)

Keywords: Aluminum Matrix Composites, Direct Energy Deposition, microstructure

본 연구에서는 적층제조용 경량 소재인 알루미늄 합금(AlSi10Mg)에 BN 세라믹 분말을 첨가하여 알루미늄 합금에 비해 DED 적층특성이 얼마나 향상되었는지 평가하였다. 순수 알루미늄 합금에 BN 분말을 교반주조하여 분산시키고 gas atomization을 실시하여 BN 강화 알루미늄 복합재료 분말을 제조하였다. DED 공정을 이용하여 BN을 포함한 알루미늄 복합재와 순수 알루미늄 합금 분말을 각각 적층 하였다. 이후, BN 첨가에 따른 알루미늄 복합재료의 적층 특성을 비교하기 위해 FE-SEM, EBSD, EPMA, 아르키메데스 밀도, 경도 및 인장시험 분석을 각각 실시하여 적층 특성을 비교 평가하였다. 분석결과, BN 첨가에 따른 알루미늄 복합재의 경도가 상승했으며 기공율이 감소하였다. 또한 응고 미세조직이 Columnar cell 에서 Equaxied cell로 변화하였으며 결정립 크기가 감소하였다. BN 세라믹 강화재의 첨가는 알루미늄 복합재의 미세구조를 개선하여 더 균일한 조직을 형성하는데 기여하였다.

[P1-17]

Direct energy deposition 적층 방식으로 제조된 high=carbon high-chromium cold work tool steel의 기계적 특징에 미치는 uniform rapid quenching 후처리 영향 : 박정현 (인하대학교), 전주현 (Quintus Technology Korea), 이기안* (인하대학교)

Keywords: Direct energy deposition, AISI D2 cold work tool steel, Uniform rapid quenching, Microstructure: Mechanical properties

다양한 Metal additive manufacturing 공정 기술 중 direct energy deposition (DED) process는 conventional 가공 공정으로 수행하기 어려운 복잡한 형상의 구현이 가능하고, 부품 표면의 수리 및 유지 보수가 가능한 공정 특징을 가지고 있어 공구 및 금형 산업에서의 적용 가능성이 제시되고 있다. 또한 공구강 소재에서는 우수한 기계적 특성을 얻기 위해 적절한 후열처리가 필수적으로 요구된다. Uniform rapid quenching(URQ) 후처리 방법은 고온, 고압 조건에서의 열처리 이후 급속 냉각을 하는 후처리 방식이며, 결함 감소 및 균일한 냉각 효과를 제공하여 공구강 소재에서의 적용 가능성이 제시되고 있다. 본 연구에서는 대표적인 high-carbon high-chromium 냉간 공구강 소재인 AISI D2를 DED 공정으로 제조하였으며, 이후 URQ 후처리(URQ DED D2)와 기존 standard 후열처리(ST DED D2)를 적용하여 초기 미세조직 분석 및 기계적 특성을 조사, 비교하였다. ST DED D2는 1.3±0.3μm의 평균 결정립 크기를 나타냈으며 rod-type의 secondary carbide가 관찰되었다. 반면 URQ DED D2는 0.9±1.1μm 를 보여 ST DED D2에 비해 미세한 결정립 크기를 나타냈으며 추가적으로 block-type의 secondary carbide가 확인되었다. 비커스 경도 측정 결과, URQ DED D2는 711.6 ± 11.4 HV로 ST DED D2 (720.1 ± 10.0 HV)와 유사한 값을 나타내었다. URQ DED D2의 인장 강도, 항복 강도, 연신율은 1996.1 ± 14.1 MPa, 1514.4 ± 16.9 MPa, 0.8 ± 0.1 %의 값을 나타내었으며 ST DED D2에 비해 더 높은 강도 및 유사한 연신율을 나타내었다. 또한 URQ DED D2는 ST DED D2에 비해 우수한 충격 인성을 보였다. 상기 관찰 결과들을 기반으로 DED 공정으로 제조된 AISI D2소재의 URQ 적용에 따른 변형, 파괴 기구와 미세조직의 변화 및 그 연계성을 함께 토의하고자 하였다.

[P1-18]

L-PBF 공정을 통한 Cu 기판 위 Al heatsink 직접 적층 성형을 위한 Al/Cu 접합계면 형성거동 : 강동욱, 송영환* (한국생산기술연구원)

Keywords: L-PBF, Heatsink, Cu/Al 이종소재, 접합계면, Single layer

전력반도체의 방열성능을 증가시키기 위한 방안으로 DBC 기판 위에 thermal grease로 heatsink를 접착하는 방식을 대신하여 heatsink를 직접 접합하거나 L-PBF 공정으로 heatsink를 직접 적층 성형하는 방안이 연구되고 있다. L-PBF공정을 사용해 Cu기판 위에 Al의 적층시 접합영역에서 성장한 금속간화합물에 적층이진행됨에 따른 가열과 냉각이 반복되어 열응력이 중첩되 크랙이 발생하는 문제가 있다. 이에 본 연구에서는 첫 layer 적층시 Cu/Al 접합영역에서 생성되는 금속간화합물 층이 얇고 Al 층이 두꺼운 L-PBF 공정 조건을 도출하여 다음 layer 적층시 접합영역에 가해지는 열의 영향을 감소시키는 것을 목표로 Single layer 적층 실험을 진행하였다. 실험에서 heatsink의 소재로 Al7SiMg 분말을 사용했으며 Cu기판 위에 Al7SiMg 분말을 60 μm, 80 μm, 100 μm, 120 μm로 도포한 후 laser power(300~480W)를 변경하여 single layer를 적층하였다. 금속간화합물 층 대비 Al7SiMg 층이 두껍고 상면이 균일한 single layer 조건을 도출하기 위해 공정조건에 따른 실제 적층 높이, 상면의 적층 형상, Cu 기판에 대한 Al7SiMg 합금의 침투 깊이 및 금속간화합물의 형성 거동을 OM, SEM 관찰 및 영상분석 결과를 비교 분석했다. 그 결과 layer thickness의 증가에 따라 평균높이가 증가하는 경향을 보이며, 두께 산포는 laser power의 증가에 따라 감소하지만 480W에서 완전히 제거되지 않는 경향을 보였다.

[P1-19]

L-PBF 공정을 사용한 Cu/Al 이종소재 적층성형 공정최적화를 위한 공정조건 별 single melt pool 및 금속간화합물 형성 거동 연구 : 강동욱, 송영환* (한국생산기술연구원)

Keywords: L-PBF, Cu/Al 이종소재, Single melt pool, 금속간화합물, 공정최적화

최근 전기차내 전장부품의 고집적화 및 고전력화 추세에 따라 전장부품의 방열성능 제고를 위한 방안으로 금속 L-PBF 공정을 활용한 거대 비표면적 heatsink 제조 기술이 주목받고있다. 하지만 L-PBF 공정을 통해 동판 위 Al 합금의 적층시 접합영역에서 금속간화합물이 생성되어 접합영역의 물성을 감소시키는 문제가 있다. 이에 본 연구에서는 L-PBF 공정을 통해 동판 위에 Al 합금 heatsink를 직접 성형하는 것을 최종목표로 동판 위에 Al 합금의 적층시 laser power, scan speed, layer thickness 조건의 변화에 따른 single melt pool 형성 거동과 금속간화합물 층의 생성 거동을 분석했다. 실험에서 사용된 분말은 Al7SiMg 분말을 사용하였으며 동판 위에 분말을 각각 60 μm, 80 μm, 100 μm로 한 층 도포한 후 laser power(300~400W), scan speed(800~1000mm/s)를 변경하여 각각의 조건으로 single melt pool 시편을 제작했다. 공정조건에 따른 melt pool의 width, depth, balling 및 crack과 같은 형상특성 및 결함 생성거동을 OM, SEM 관찰 및 영상분석을 통해 비교 분석했다. 그 결과 single melt pool width는 laser power와 layer thickness의 증가 및 scan speed의 감소에 따라 증가하며, layer thickness의 증가에 따라 연결되지 않는 melt pool이 감소하는 경향을 보였다.

[P1-20]

Directed Energy Deposition으로 제조된 Inconel 718 적층재의 결정립 미세화 및 등축화 연구 : 조덕현, 이재준 (동아대학교), 박지영, 이욱진 (부산대학교), 이학성 (동아대학교), 정중은* (한국재료연구원), 전종배* (동아대학교)

Keywords: 적층제조, 초합금, 인코넬718, 나노입자, 결정립도

Directed energy deposition (DED) 공정으로 제조된 Inconel 718 적층재는 고입열로 인한 결정립 조대화가 발생하여 기계적 물성의 저하가 보고되고 있다. 이에 본 연구에서는 DED 공정으로 제조된 Inconel 718 분말과 ZrO_2 나노입자를 혼합한 적층재의 결

정립 미세화 및 등축화를 통한 기계적 물성의 향상에 대한 연구를 진행하였다. 입도 200 nm, 2 wt.% ZrO_2 나노입자를 첨가하여 swing planetary mixer 방식으로 분말을 혼합하였다. 공정 변수 레이저 출력 (150 W, 250 W, 350 W)와 에너지 밀도 (179 J/mm, 250 J/mm, 417 J/mm)를 변경하여 적층하였다. ZrO_2 나노입자를 접종한 Inconel 718 적층재는 250 W, 1000 mm/min 조건에서 미세한 등축정이 우세 발현되었다. 위 조건의 미세조직 발현 인자 해석을 위해 체적 에너지 밀도 (volumetric energy density), 마랑고니 대류 (Marangoni convection), 접촉비 (contact ratio) 값을 추정하였다. 측정 결과 체적 에너지 밀도, 마랑고니 대류, 접촉비가 증가할수록 결정립 미세화 및 등축화가 촉진되었다. ZrO_2의 첨가에 의한 핵생성 거동을 분석하기 위해 transmission electron microscope (TEM) 분석을 진행하였다. 분석 결과 준안정상 $L1_2$ 구조를 가지는 Al_3Zr 금속간 화합물의 형성은 불균일 핵생성 (heterogeneous nucleation) 및 결정립계 피닝 효과 (grain boundary pinning)에 기인하여, 결정립 미세화 및 등축화 효과가 촉진되었다. 또한 적층조직의 미세화 및 이방성 감소에 따라 표면부와 계면부를 포함하는 전 부위에서 평균 41~49 Hv로 향상되었다. 결론적으로, 주상정에서 등축정으로의 천이는 준안정상 $L1_2$ 구조의 Al_3Zr 금속간 화합물에 의해 발생하며, 체적 에너지 밀도, 마랑고니 대류, 접촉비가 모든 조건 중 가장 높은 조건 (250 W, 1000 mm/min)에서 효과가 극대화되었다. 본 연구를 통해 Inconel 718 적층재의 결정립 제어를 위해, 재료의 수급이 쉽고, 가격이 저렴한 ZrO_2 나노입자의 활용 가능성을 확인하였다.

[P1-21]

MEX 공정에 fine featured 기능을 활용하여 제조된 순수 구리의 미세구조 및 기계적특성 : 이나윤, 박소연 (인하대학교), 백소령 (Markforged), 김대용 ((주)에이치알티시스템), 이기안* (인하대학교)

Keywords: Metal material additive manufacturing: fine featured: pure copper: mechanical properties: micro structure

MEX공정은 폴리머와 금속 분말을 혼합한 필라멘트 혹은 펠렛 형태의 피드스톡을 압출하여 적층 한 후 탈지, 소결을 통해 순수 금속 부품을 얻는 방식이다. 고사양의 부품 수요의 확대로 인해 최근 적층 제조를 활용하여 복잡한 형태의 구리 부품을 제조하려는 시도들이 이루어지고 있다. 그러나 구리의 경우 레이저 흡수율이 매우 낮아서 대표적으로 이용되는 레이저 기반의 금속 적층 제조를 적용하기 어렵다. 따라서 최근에는 소결 기반의 적층 제조를 활용한 구리 부품 제조가 검토되고 있다. 하지만 MEX 특성상 열처리를 하지 않는다면 printing void와 같은 결함이 존재하여 기계적 특성에 치명적인 영향을 미칠 수 있으므로, 초기 적층 제조 공정 조건을 최적화하는 것이 매우 중요하다. 이를 해결하기 위해 소프트웨어 최적화를 통한 fine featured 기능이 도입되었다. 본 연구에서는MEX에서 기존 정량화된 공정으로 제조된 구리와 fine featured 기능을 활용한 구리의 미세조직 및 기계적 물성을 조사하였다. 기존 MEX 공정으로 제조된 구리의 상대 밀도는 92.63% 수준을 보였다. 미세조직 관찰 결과 높이별로 결정립도 차이가 나타났으며 평균 86.01 μm의 입도를 나타냈다. 인장 시험 결과 평균 74.79 MPa의 항복강도와 평균 200.16 MPa의 인장강도로 적층 높이별 큰 차이를 나타내지 않았다. 연신율은 49.7~57.96% 값을 가지며 적층 상부가 낮은 연신율을 보였다. 면 별로 측정한 충격인성 결과 building direction plane (BD)은 40.57 J/cm^2 이며 width direction plane(WD)은 40.22 J/cm^{2}으로 나타났다. 반면 fine featured 기능을 활용한 구리의 경우 밀도는 94.08% 수준으로 밀도가 증가하였다. 미세조직 관찰결과 높이별로 결정립도 차이가 나타나지 않았으며 평균 63.87 μm의 입도로 미세화 되었다. 또한 기존 큰 결함인 printing void가 사라지고 미세한 기공이 분포하였다. 인장 시험 결과 평균 138 MPa의 항복강도와 평균 268.22 MPa의 인장 강도로 적층 높이 별 큰 차이를 나타내지 않았으며 향상된 물성을 보였다. 연신율은 40.66~55.45% 값을 가지며 적층 상부가 낮은 연신율을 보였다. 면 별로 측정한 충격인성 결과 building direction (BD) plane 은 43.68 J/cm^2 이며 width direction (WD) plane은 44.57 J/cm^{2}으로 역시 향상된 물성을 보였다. 상기 결과들을 바탕으로, MEX공정에서 정량화된 공정으로 제조한 구리와 fine featured 기능을 도입한 구리의 기계적 특성 및 변형, 파괴 기구를 미세조직과 연계하여 논의하고자 한다.

[P1-22]

산소 원자를 포함한 A356 알루미늄 합금의 적층 제조 : 한주연, 김수민, 이소민 (국민대학교), Zhenxing Zhou (Tohoku University), 주미란 (연세대학교), Weiwei Zhou, Naoyuki Nomura (Tohoku University), 배동현 (연세대학교), 최현주* (국민대학교)

Keywords: 알루미늄 합금, 적층제조, LPBF

최근 연구에 따르면, A356 알루미늄 합금에 산소 원자를 고용시킨 I-A356 합금에서 산소가 기지 내에 고용되어 밴드를 형성함으로써 결정립을 미세화하고 전위 이동을 용이하게 하여 강도와 연성을 동시에 향상시키는 결과가 보고된 바 있다. 본 연구에서는 이러한 I-A356 합금의 결정립 미세화 효과를 활용하여, 적층 제조 공정에서 발생하는 셀 구조의 한계를 극복하고 기계적 특성 저하를 방지하고자 한다. 이를 위해, 셀 구조의 크기를 감소시켜 기계적 특성을 향상시키는 것을 목표로 하며, 레이저 출력 및 속도와 같은 공정 변수를 최적화했다. 본 연구에서는 ZnO 나노입자가 첨가된 A356 합금 잉곳을 사용하여, 아토마이징을 통해 입자 크기가 50 μm 이하인 분말을 제조하였고, 이를 레이저 분말 기반 융합(Laser Powder Bed Fusion, LPBF) 적층 제조 공정에 적용했다. 제조된 합금 분말된 형상, 마찰계수, 유동도, 입도 분포 등의 분석을 하였다. 이후, 적층된 시편의 셀과 결정립 크기 등을 SEM 및 EBSD를 통해 미세구조를, 비커스 경도 측정을 통해 기계적특성을 분석하여 LPBF 적층 제조 공정을 통해 제작된 I-A356 합금의 물성에 미치는 산소의 영향을 평가하고자 한다.

[P1-23]

타구치 메소드를 이용한 조성 탐색 및 직접 에너지 증착 적층제조 공정(DED)으로 제조한 Al-Si-Zn-Mg-Cu 합금의 미세조직 및 기계적 특성 평가 : 김도원, 전서연, 최현주* (국민대학교)

Keywords: Direct energy deposition, 적층 제조, 알루미늄, 미세조직, 기계적 특성

알루미늄 합금은 우수한 비강도와 전기전도도를 바탕으로 미래 모빌리티 및 항공·우주 분야에서 널리 활용되고 있다. 그러나 알루

미늄은 비강도가 높아질수록 열전도도가 저하되는 상반(Trade-off) 특성을 가지고 있어, 이를 향상시키는 알루미늄 합금 개발 연구가 많아지고 있다. 타구치 메소드는 직교 배열을 사용해 최소한의 실험으로 변수들의 최적 조합을 찾아 품질과 성능을 극대화하는 방식이다. 이를 활용하여 본 실험에서는 체계적이고 효율적으로 조성을 설계하였다. 또한 직접 에너지 증착 적층 제조 공정(Direct energy deposition)을 사용하여 복잡한 형태나 대형 부품을 더욱 효율적으로 제조할 수 있고, 짧은 공정 시간과 원자재 대비 낭비되는 비율을 줄일 수 있다. 특히 여러 개의 Feeder를 사용할 수 있기에 다양한 조성을 가진 금속 시편을 간단히 제작할 수 있다. 이에 본 연구는 비강도와 열전도도를 동시에 향상시킬 수 있는 최적의 합금 조성을 탐색하였으며, 3차원 적층 제조 공정의 Laser Power와 Scan Speed를 조절하여 최적 조건을 도출하였다. 최적 조건으로 제작된 시편의 기계적 특성은 경도와 전기전도도로 평가하였고, 미세구조는 XRD, SEM-EDS 분석을 통해 상세히 검토하였다.

[P1-24]

기계학습과 오토엔코더를 이용한 DED(Directed Energy Deposition) 공정 설계 및 물성 예측 : 안성빈, 전서연, 최현주* (국민대학교)

Keywords: 경량철강, 적층제조, 기계학습, 물성예측, 재료설계

4차 산업 혁명으로 인한 인공지능을 이용한 기술 및 연구방법이 새롭게 각광받게 됨에 따라, 신소재 공학 측면에서도 기존의 실험 중심 연구에서 과거의 쌓아온 자료를 인공지능 모델에 학습시켜 조성과 공정에 따른 물성의 상관관계를 규명하는 빅데이터 중심 연구를 도입하는 움직임이 커지고 있다. 조성과 공정조건에 따라 재료의 결정구조와 그에 따른 물성이 크게 달라지는 경량철강 특성 상, 조건을 충족하는 물성을 가지는 재료를 제작하기 위하여 인공지능 모델 학습 및 오토엔코더를 통한 소재 설계를 통하여 재료 구상 및 제작 시간을 대폭 줄일 수 있어 생산성을 크게 증가시킬 수 있다. 본 연구에서는 기존의 DED(Directed Energy Deposition) 실험을 통하여 도출한 비커스 경도와 전기 전도도의 데이터와 스케일링, 노이즈 첨가를 통하여 증강한 데이터를 활용하였다. 기본적인 알고리즘은 기존의 학습모델인 GBR(Gradient boosting regressor)에 액티브 러닝을 접목하여 인공지능 모델의 정확도 및 성능을 개선하였다. 모델에 데이터를 학습하고, 오토엔코더를 이용하여 특정 조건을 만족하는 비커스 경도에 대한 DED 데이터 리스트를 제작한 다음. 조성과 공정으로부터 전기 전도도를 예측함으로써, 높은 정확도로 공정 조건 설계 및 물성 예측을 수행할 수 있다.

[P1-25]

치환법을 이용한 알루미늄 분말의 니켈 코팅과 발열특성 연구 : 안서영, 손인준*, 김경태, 김창균, 박준영, 장한 (경북대학교)

Keywords: 니켈치환도금, 알루미늄 분말, 고체연료

알루미늄(Al) 분말은 높은 강도와 가연성으로 인해 무기 산업과 항공 우주 분야에 널리 사용된다. 본 연구는 고체 로켓 연료에 사용되는 알루미늄(Al) 분말의 연소 효율을 향상하기 위해 니켈 치환 도금에 관한 연구를 수행하였다. 알루미늄(Al)분말은 자연상태에서는 산화막이 형성되어 연소 효율을 저하시키기 때문에 이를 제거하기 위해 불산과 DI water을 희석하여 에칭을 진행하였다. 에칭된 알루미늄(Al)분말은 도금시간(5/10/20/40분)에 따라 니켈 치환 도금액에서 도금을 진행하였다. 도금된 Ni/Al층은 산화막보다 더 우수한 화학적, 열적, 가연성 특성을 발현하여 연속 연소를 억제하는 동시에 우수한 발열 에너지를 증가시킨다. 도금 후 분말의 표면 및 단면을 Fe-SEM 및 EDS를 통해 분석하였으며, 치환 도금된 알루미늄(Al)분말과 기존 알루미늄(Al)분말의 발열 반응은 TGA-DSC로 평가하여 비교하였다.

[P1-26]

Analysis of Porosity and Layer Thickness Relationships in Metal Additive Manufacturing : 김효규 (한국생산기술연구원), 조요섭 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 한동운, 김성탁* (한국생산기술연구원)

Keywords: 금속3D프린팅, 공정 매개변수, 레이어 두께, 내부 결함, 마이크로 CT

적층제조(AM)는 설계 자유도, 유연한 프로세스, 대폭 감소된 생산 단계 등의 장점을 갖고 있어 소규모 제조에서 더 빠르고 효율적인 생산이 가능하다. L-PBF(Laser Powder Bed Fusion)의 주요 공정 매개변수에는 레이저 출력, 스캐닝 속도, 해치 거리, 레이어 두께 및 제작 방향이 포함된다. 이러한 매개변수는 최적의 밀도로 부품을 생산하는 데 중요하다. 그렇지 않으면 제조된 부품에 다공성및 균열과 같은 결함 문제가 발생할 수 있다. 결함은 분말 재료 특성, 분말 층의 불균일한전달, 제조 중 변형, 레이저 빔, 스캐닝 조건으로 인해 형성이 되고, 이러한 다양한 유형의 결함들은 크기및모양, 3D 분포가 다르다.이 연구의 목표는 접근 가능한 적층두께에 따른 내부 결함에 대한 전반적인 결과를 수집하기 위함이다. 결함 분석 방법으로 X-선 단층촬영 방법을 채택하였고, 이 방법은 적층제조의 결함을 비파괴적인 분석 방법으로 널리 활용되고 있다. 이번 연구를 통하여 적층두께에따라 발생하는 결함(기공)의 형태 및 크기, 구형도의 결과를 체계적으로 수립하고자 한다.

[P1-27]

SLM 출력 메쉬 구조 Grade 23 Ti의 선직경 설계와 이에 따른 미세조직 및 나노 기계적 물성 연구 : 성지원, 유휘근, 이충현 (㈜솔고바이오메디칼, 아주대학교), 이한성, 송은효, 안병민* (아주대학교)

Keywords: additive manufacturing, selective laser melting, biocompatibility, nanoindenter, microstructure

구조용 소재 내부에 메쉬 구조(mesh structure)를 형성하는 것은 밀집 구조(dense structure)와 비교하여 충격 에너지 흡수, 열 전달, 경량화 등의 측면에서 장점이 있다. 특히 생체재료에서 메쉬 구조는 해면골(spongy bone)의 다공성 구조(porous structure)를 모사하여 골유합(osteointegration)에 유리한 환경을 제공한다. 이러한 생체재료용 메쉬 구조는 적층제조(additive manufacturing, AM) 중 불순물을 제어하여 순도 높은 출력이 가능한 선택적 레이저 용융(selective laser melting, SLM) 공정으로 제조 시 이점을 가진다. 하지만, 메쉬 구조에서 선직경(strand diameter)은 개구 크기(pore size)를 제어하여 출력 중 열 유동도에 영향을 미침으로써 반

복되는 용융 및 열 충격에 의해 미세조직이 변화하며, 이는 충격 에너지 흡수에 주요 인자인 나노 기계적 물성을 변화한다. 본 연구에서 생체적합성이 우수한 Grade 23 Ti 소재를 SLM 공정을 적용하여 열유동에 따른 미세조직 변화 및 기계적 물성에 관해 연구하고자 하였다. 메쉬 구조의 선직경을 0.5, 0.7, 0.9 mm로 선정하였으며, 개구율(open area ratio) 70%로 SLM 출력하였다. SLM의 출력 조건은 이전 연구에서 우수한 출력 결과를 얻은 VED 58.94 J/mm³를 선정하였으며, 출력 후 650 ºC, 1h 어닐링 처리하여 support로 인한 변형을 제거하였다. 선직경에 따른 미세조직 변화를 확인하기 위해 주사전자현미경(scanning electron microscopy, SEM)을 통하여 α, β상 거동을 관찰하였으며, nanoindenter를 이용하여 H_{IT}, E_{IT}, C_{IT} 분석을 수행하고, 선직경 - 열유동에 따른 나노 기계적 물성과 미세조직의 상관성을 연구하였다. 이를 통해 메쉬 구조 최적화를 통한 생체 소재의 기계적 물성 개선의 기초 자료를 확보하고자 한다.

[P1-28]

Preliminary Investigation into the Development of Polymer-Based Binder Systems for Binder Jet 3D Printing of Metal Powder : Tran Thi Yen (Korea Institute of Industrial Technology), Min A Bae (Korea Institute of Industrial Technology, Pusan National University), and Jae Ho Baek* (Korea Institute of Industrial Technology)

Keywords: Binder, 3D printing, polymer, polyethyleneimine, metal powder

In this research, we develop and investigate polyethyleneimine (PEI)-based polymer mixtures as potential binders for 3D printing of metal powder. A PEI solution (20% in deionized water, PEI20) is blended with polyacrylic acid (PAA20), polyvinyl alcohol (PVA20), and polyvinylpyrrolidone (PVP20), each prepared as a 20% solution in deionized water. These polymers are added dropwise to the PEI solution in increments, achieving final concentrations of 5%, 10%, and 12% by total polymer weight. The resulting polymer mixtures are coded as PEI20-x%A, where 'A' represents the added polymer. To systematically assess the compatibility of the obtained binders with metal powder, we investigate their surface functionalities, morphology, viscosity, and surface tension). Additionally, key factors such as surface finish, dimensional accuracy, and compressive strength of the green bodies under different curing conditions (uncured and cured) are evaluated to understand the binders' efficacy in binding metal powder. Although no improvement in compressive strength is observed for most of the binders in the uncured state (except for PEI20-5%PAA20 and PEI20-10%PAA20), the compressive strength of cured samples outperforms that of the PEI20-only binder. Notably, the PEI20-12%PVP20 binder exhibits the highest compressive strength (36.22 MPa), achieving a 41% increase compared to the PEI20-only binder (25.76 MPa). Other samples, such as PEI20-10%PVA20, PEI20-5%PAA20, and PEI20-10%PVP20, also demonstrate enhanced strength, with values of 32.19, 28.53, and 26.07 MPa, respectively. This enhancement in mechanical properties might be attributed to the formation of hydrogen bonds between the amine groups of PEI and the functional moiety of the added polymers (e.g., -OH). The findings of this study provide valuable insights into the development of efficient binder systems for binder jet 3D printing of metal components and lay a foundation for future advancements in binder formulation tailored for metal powder applications.

[P1-29]

저온용 피드스톡을 이용한 150 um 이하 박판형 부품 제조기술 : 장진만, 이원식* (한국생산기술연구원)

Keywords: 마이크로 분말사출성형, 박육부품, 피드스톡, 탈지, 소결

최근 소형화 및 초정밀화에 대한 산업의 요구에 의해 마이크로 부품에 대한 많은 연구가 진행되어지고 있으며, 그 응용범위도 나날이 넓어지고 있는 추세이다. 3차원 형상을 갖는 마이크로 부품들을 제조하는 방법들로는 마이크로 전해주조, 마이크로 정밀주조 등 여러가지 방법들이 적용되고 있으나, 그 중에서도 마이크로 분말사출성형기술은 대량생산이 가능하고 복제기능성을 가지고 있어 복잡형상을 가진 마이크로 부품의 제조에 강점을 가지고 있어 크게 주목받고 있다. 특히, 박육 부품의 경우 높은 가공단가와 더불어 모듈화를 위한 조립(접합)과정에서 불량률이 높은 단점을 가지고 있어 높은 형상자유도와 일체화가 가능한 장점을 가지고 있는 금속분말사출성형공정이 박육 부품을 제조하기 위한 대표적인 공정기술로 자리매김하고 있다. 본 연구에서는 금속분말사출성형공정을 이용하여 150 um 이하 박육 부품을 제조하고자 하였으며, 이를 위해 저온에서도 유동성을 가질 수 있는 저온 사출성형용 피드스톡을 제조하고, 변형이 없는 건전한 부품제조를 위한 탈지/소결공정을 최적화하였다.

[P1-30]

금속 3D 프린팅에서 폴리머 종류에 따른 젯팅 바인더의 특성 연 : 배민아 (한국생산기술연구원, 부산대학교), Tran Thi Yen, 김경호, 백재호* (한국생산기술연구원)

Keywords: 3D 프린팅, Binder Jetting, Metal binder

AM(Additive Manufacturing) 공정은 적층재료, 공급방법, 분사 방법 등에 따라 다양한 공정 방식으로 나눠지는데 이 중 BJ(Binder Jetting) 공정은 다른 공정들에 비해 경제적인 면에서 효율적으로 대량의 부품을 생산 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 현재까지 BJ 공정의 선행연구는 출력된 제품의 품질에 영향을 주는 분말 층 두께, 입자 크기와 같은 분말의 특성에 맞추어 진행되고 있었으나, 사용되는 바인더의 종류에 따라 출력품의 강도, 치수 정밀도와 같은 품질 특성 또한 크게 영향을 미치기 때문에 본 연구에서는 metal 3DP에 사용되는 metal powder와 폴리머 바인더와의 적합성에 대한 검토하였다. 유기 solvent를 사용하여 폴리머 바인더의 점도와 장력을 조절하여 프린팅 헤드에서 토출이 가능하도록 바인더 특성을 조절하였으며, 바인더가 토출될 시 생성되는 드롭의 형상을 확인하고 휘발속도를 측정하여 헤드 노즐에서의 건조성을 확인하였다. 또한 metal powder와 폴리머 바인더의 강도를 확인하여 3DP 바인더로 사용 가능성을 검토하였다.

[P1-31]
성형유변학을 이용한 사출속도 최적화 : 장진만* (한국생산기술연구원)
Keywords: 마이크로 분말사출성형, 피드스톡, 점도, 성형유변학, 금형
분말사출성형공정에 있어 피드스톡의 점도는 전단속도, 온도, 고상률 및 바인더 조성의 함수로 결정된다. 그러나 모세관 레오미터를 이용한 피드스톡의 점도거동실험은 피드스톡 자체에 대한 점도거동이기 때문에 이를 실제 사출기에 장입하고 금형으로의 사출성형 시에 변화하는 점도거동은 산출할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 이를 보완하기 위해 사출기에 직접적으로 레오미터를 포함하는 금형을 장착하여 피드스톡의 점도거동을 산출하는 방식 등이 사용되고 있으나, 부품의 형상이 바뀌면 거동이 달라지는 문제가 있을 뿐 아니라 캐비티크기가 작은 마이크로 분말사출성형에 있어서는 이를 적용할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 실제 사출기에 장착된 금형을 이용하여 각 사출속도에 대한 상대점도를 산출하는 방식으로 피드스톡의 상대적인 점도거동을 관찰하고 이를 이용하여 점도가 Newtonian 거동을 나타내는 사출속도를 선택하여 실험을 진행하고자 하였으며, 이를 성형유변학(molding rheology)이라 명명하였다. 본 연구에서는 사출성형기를 통해 성형 유변학 곡선을 생성하고 공급원료와 금형 치수가 피드스톡의 점도에 미치는 영향을 연구했습니다. 마이크로 금속사출성형공정에 있어 금형 내 유변학은 공급원료의 고유 점도보다는 캐비티의 모양 및/또는 크기와 공정 조건에 따라 달라집니다. 최적의 사출속도는 성형유변학 곡선의 뉴턴 흐름 영역에서 결정되었습니다. 최적의 속도로 사출된 마이크로 부품에서는 치수편차가 약 5 μm 이하로 나타났습니다.

[P1-32]
산화물 분산을 위한 pure Ti와 Ti-6Al-4V의 산화구동력 및 상형성 거동에 대한 열역학적 분석 : 임현태, 박창수, 박형기* (한국생산기술연구원)
Keywords: Pure Ti, Ti-6Al-4V, 산화물 분산 강화 합금 (Oxide dispersion-strengthened alloy), 열역학 계산 (Thermodynamic calculation), 산화구동력 (Oxidation driving force)
일반적으로 산화물 분산 강화 합금은 금속 기지에 미세한 산화물들이 분산되어서 기계적 물성을 향상시키는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 pure Ti와 Ti-6Al-4V 기지에 산화물을 분산시키기 위해 열역학 계산을 통해 각각의 산화구 동력 및 상형성 거동을 비교 분석하였다. TCTI5 데이터를 기반으로 Thermo-Calc 소프트웨어를 이용하여 pure Ti와 Ti-6Al-4V 기지에 산소가 고용될 때의 산화구동력을 계산하였다. 온도에 따른 산화 반응의 표준 깁스 자유 에너지 변화를 비교 분석한 결과, pure Ti-O 고용체 시스템이 Ti-6Al-4V-O 고용체 시스템보다 더 높은 산화구동력을 갖는다. Ti-6Al-4V-O 고용체 시스템에서 Al과 V 원소의 산화구동력이 Ti보다 더 낮은 산화구동력을 가지기 때문에 pure Ti-O 고용체 시스템보다 더 낮은 산화구동력을 가지는 것으로 판단된다. 그리고 SSUB5 화합물 데이터를 기반으로 pure Ti와 Ti-6Al-4V 기지에서 1 wt% Y_2O_3의 상형성 거동을 온도에 따른 평형 상분율로 나타내었다. Pure Ti 기지에서 Y_2O_3 상은 1,730 K에서 완전히 녹아 들어갔지만, Ti-6Al-4V 기지에서 Y_2O_3 상은 1,818 K에서 완전히 녹아 들어갔다. 따라서 이러한 열역학 계산을 통해 pure Ti와 Ti-6Al-4V 기지에 Y_2O_3 산화물이 분산 될 수 있음을 확인하였다.

[P1-33]
적층 제조된 고규소 전기강에 타이타늄 첨가가 끼치는 미세구조 및 자기적 특성의 변화 연구 : 홍승의, 류건희*, 최벽파* (한국과학기술원)
Keywords: 적층제조, 연자성체, 전기강
연자성체의 일종인 전기강은 철에 1~4wt.%의 규소를 첨가한 합금으로, 크게 방향성 전기강과 무방향성 전기강으로 나뉜다. 이 중 무방향성 전기강의 경우 모든 방향에 대해 균일한 자기적 성능을 가지고 있어 전기 모터의 rotor의 핵심 재료로 활용되고 있다. 전기강의 핵심 평가 요소로는 전력 손실이 많이 활용되는데, 이는 히스테리시스 손실과 와전류 손실로 나뉘고 그 둘의 비중은 외부 자기장에 따라 크게 달라진다. 전기강의 경우, 기존의 변압기나 저속 모터와 같이 외부 자기장의 진동수가 낮은 경우에는 히스테리시스 손실의 비중이 상대적으로 높게 나타난다. 반면에, 외부 자기장의 진동수가 높은 고주파수 환경에서는 와전류 손실의 비율이 크게 증가하게 되는데, 고속 모터나 초소형 인덕터 등이 이에 해당된다. 특히 전기차 산업의 발전으로 고속 전기 모터의 수요가 점점 늘어나고 있는데, 이 때문에 와전류 손실을 최소화한 무방향성 전기강의 필요성 또한 높아지고 있는 상황이다. 선행 연구에서는 전기강 내 규소 비율을 높이고, 타이타늄을 추가하여 결정립 미세화를 이끌어내어 와전류 손실을 최소화하고자 하였다. 이를 위해 Fe-6.5 wt.%Si에 Ti을 1.5/3/4.5 wt.%를 첨가하여 적층제조하였을 때의 자기적 특성의 변화를 관찰하였었다. 이에 이어서, 본 연구에서는 타이타늄을 첨가하여 적층 제조된 시편의 미세조직과 자기적 성질의 관계를 규명하고자 하였다. 이를 위해 전력손실과 보자력 등의 자기적 특성을 측정하고, 외부 자기장에 따른 자구(magnetic domain)의 형성과 변화를 관찰하였다. 최종적으로는, 관찰된 자기적 특성의 변화를 미세조직의 변화를 기반으로 설명해볼 것이다. 또한 적층 제조 과정에서 발생한 hot cracking 현상의 관찰과 해결 방안 또한 모색해보았다.

[P1-34] Canceled
지속가능한 전자 장치 및 부품 개발을 위한 전 공정 인쇄기반 유연 전극/히터 : 김한중, 김준희, 박정민, 김윤갑* (구미전자정보기술원)
Keywords: 적층제조, 잉크젯 프린팅, 전사인쇄, 유연 전극, 줄 히터
본 연구에서는 표면을 소수성 처리한 폴리이미드(Polyimide, PI) 필름(또는 Glass) 위에 잉크젯 프린팅 방식으로 은(Silver, Ag) 소재의 전도성 잉크로 메쉬(Mesh) 구조을 인쇄한 후, 수용성 합성고분자인 폴리비닐알코올(Polyvinyl Alcohol, PVA) 용액을 이용하여 Ag Mesh 구조물 만을 인쇄한 기판으로부터 온전히 분리시켜 Ag Mesh 구조물을 포함한 PVA 필름 기반의 유연 전극(30 mm × 150 mm)을 성공적으로 제작할 수 있었다. 이를 통해 얻은 유연 전극의 전체 두께는 약 30 μm까지 줄일 수 있었으며, 이 경우, 550 nm파장에서 약 86%의 높은 광투과율과 1.6 Ω의 낮은 전기적 저항 값을 확인할 수 있었다. 준비한 Ag Mesh 구조물 기반 유

연 전극은 기존의 인쇄 전극과 달리, 인위적인 구부림(Bending)과 비틀음(Twisting)에 대한 우수한 내구성과 기판에 대한 강한 부착력(Adhesion)을 가지고 있음을 확인하였다. 또한, 제작한 유연 전극의 양단에 전압을 인가하여(전류를 흘려주어) 줄-발열(Joule-Heating) 특성을 확인하였고, 이를 통해 낮은 전압에서도 구동이 가능한 히터(Heater)로 활용할 수 있음을 실험적으로 증명하였다.
This work was supported by the Korea Innovation Foundation (INNOPOLIS) grant funded by the Korea government (MSIT) (2020-DD-UP-0278).

[P1-35]

레이저 기반 적층제조를 위한 nano-Y_2O_3 입자가 분산된 산화물 분산 강화 pure Ti 분말의 in-situ 제조 기술 : 임현태, 박창수, 박형기* (한국생산기술연구원)

Keywords: Pure Ti, nano-Y_2O_3, 산화물 분산 강화 (Oxide dispersion-strengthened), 적층제조 (Additive manufacturing), In-situ 제조 (In-situ fabrication)

레이저 기반 적층제조 기술은 원자재 낭비 감소, 복잡한 구조의 구성 요소 제조 능력, 제품 개발 시간 단축 등의 장점으로 인해 다양한 분야에서 널리 사용되고 있다. 하지만 이러한 장점과는 달리 현재 적층제조에 적용되는 분말들은 용융 및 급속 응고가 반복되는 공정으로 인해 부품 내부에 많은 기공 및 크랙과 함께 소재 이방성이 발생하여 기계적 물성이 열위 하다는 단점이 있다. 따라서, 본 연구 에서는 나노입자 산화물이 분산된 적층제조용 산화물 분산 강화 pure Ti 분말의 in-situ 제조 기술을 개발하여 적층제조 부품의 이방성을 억제함과 동시에 분산 강화 효과를 통해 기계적 물성을 향상시켜 부품의 신뢰성을 확보하고자 하였다. 열역학을 기반으로 in-situ 가스 분무 공정을 설계하여 용해 중에는 용융된 Ti 메트릭스에 고용되고 가스 분무 시에는 냉각 동안 분말 내부에 석출될 수 있는 산화물의 조성 및 함량을 도출하였다. Pure Ti + 1 wt% Y_2O_3의 산화물 분산 강화 Ti 합금으로 조성을 도출하였고, 전극 유도 용융 가스 분무 (EIGA) 공정을 통해 적층 제조용 구형 분말로 제조하였다. 제조된 분말의 단면 미세구조를 관찰한 결과 수십 nm의 Y_2O_3 입자가 분말 내부에 균일하게 분포되어 있었다. 이러한 열역학적 계산 및 실험은 ODS Ti 분말이 가스 분무 공정에 의해 in-situ로 제조될 수 있음을 확인했다.

[P1-36]

FDM 방식 금속 3D 프린팅으로 제조된 순수 Cu의 저온 충격 특성 : 홍민기, 임민혁, 배주은, 이지운*, 홍순직, 송기안, 문종언 (국립공주대학교)

Keywords: 구리, 소결, 적층제조

FDM(Fused Deposition Modeling)은 열가소성 필라멘트를 노즐을 통해 한 층씩 적층하여 3차원 형상을 제작하는 3D 프린팅 기술이다. 최근에는 금속 분말과 열가소성 수지를 혼합한 필라멘트를 사용하여 금속 제품을 출력하는 연구가 활발히 진행되고 있다. FDM 방식은 다른 금속 3D 프린팅 기술에 비해 비용이 저렴하고 접근성이 높아 금속 3D 프린팅의 대중화에 기여할 것으로 기대된다. 본 연구에서는 FDM 방식 금속 3D 프린팅 기술을 활용하여 Cu 분말 혼합 필라멘트로 'green parts'를 출력하고, 탈지 및 소결 공정을 거쳐 Cu 시편을 제작하였다. 소결된 시편과 고온 등방압 프레스 (HIP)를 적용하여 제작된 시편들의 기계적 특성을 인장 시험 및 충격 시험을 통해 평가하였다. 이후, EBSD (전자후방산란회절) 분석을 통해 일반 구리 시편 단면 및 샤르피 충격시험 파단면의 결정립 크기 및 형태를 관찰, 미세조직 분석을 통해 FDM 방식 금속 3D 프린팅 기술의 가능성을 검증하고, 소결 방식에 따른 Cu 시편의 결정 구조 및 기계적 특성 변화에 대해 고찰하였다.

[P1-37]

플라즈마 기반 분말 제조 공정(Plasma rotating electrode process, plasma atomization)을 이용한 Ti-6Al-4V 및 IN625 고청정 분말 제조 기술 : 박정효*, 김대웅, 김연태, 김규식 (국방과학연구소), 권영삼, 이주성 ((주)쎄타텍), 김중석, 정승진 (동양엠더블유(주))

Keywords: Ti-6Al-4V, IN625, 플라즈마 회전 전극, 플라즈마 분무

Ti-6Al-4V 합금은 우수한 비강도, 내식성 등의 특징을 가지고 있고, IN625 합금은 우수한 고온 내산화성, 기계적 특성을 가지고 있어 우주/항공, 국방, 발전 산업에서 중요 부품으로 적용되고 있다. 최근 Ti-6Al-4V 및 IN625 합금과 적층 제조 공정을 이용하여 설계 최적화를 통한 소재 및 부품 성능을 극대화하기 위한 연구들이 진행되고 있다. 현재 적층 제조에 적용하는 금속 분말은 주로 가스 분무(gas atomization)로 제작되고 있으며, 높은 산소 함량, 위성 분말, 넓은 분말 크기 분포 등의 특징을 가지고 있어 적층 성형체의 특성에 악영향을 미치는 것으로 제시되고 있다. 반면 플라즈마를 활용하여 분말을 제작하는 경우, 불활성 기체에 의한 오염(아르곤 내 수분 및 산소) 효과를 감소시키고, 플라즈마의 높은 온도와 분위기를 활용하여 분말 공정 동안 정련 효과를 기대할 수 있는 것으로 알려지고 있다. 이에 본 연구에서는 고성능 PBF(Powder bed fusion)과 DED(Direct energy deposition) 공정을 위한 고청정 분말을 제조하기 위하여 플라즈마 기반 분말 제조 공정인 플라즈마 회전 전극(Plasma rotating electrode process)과 플라즈마 분무(Plasma atomization) 장비를 제작하였다. 이 장비를 활용하여 Ti-6Al-4V 및 IN625 고청정 분말을 제조하기 위한 분말 제조 기술을 연구하여 공정 조건과 분말 특성(분말 크기 분포, 위성 분말, 구형도, 조성 등)의 관계에 대하여 고찰하였다.

P2 : 전산재료과학
Room 2층 로비, 10월 28일

[P2-1]
Atomistic Simulations of Cu-Sn alloys using a Deep Neural Network Potential : Jae Hur and Won-Seok Ko* (Inha Univ.)
Keywords: Deep learning potential, Active-learning scheme, Molecular dynamics simulations, First-principles calculations, Cu-Sn alloy

Sn-Ag-Cu (SAC) alloys are considered to be among the most promising of lead-free solder candidates, and most electronic packaging industry aims to the possible use of nanosized SAC solder joints in the future. However, there are several issues that need to be resolved, including the formation of intermetallic compounds (IMCs) at the interface of SAC/Cu interconnections that have been proven to adversely affect the mechanical and electrical properties. Understanding these intricate phenomena caused by the interdiffusion between the solder alloy and Cu requires atomic simulations, where the accuracy is critically determined by the presence of reliable interatomic potentials. However, the previously developed potentials are somewhat defective in describing the properties of IMCs and even the properties of pure Sn which exhibits allotropic phase transformations due to the complex bonding characteristics. Therefore, we developed a machine-learning-based deep potential (DP) for the Cu-Sn binary system. Training datasets for both the unary (Cu, Sn) and binary (Cu-Sn) systems were generated on-the-fly by utilizing the active-learning scheme. The resulting DP model gives predictions consistent with first-principles calculations for both the unary and binary systems in terms of fundamental physical properties, including formation energy, equilibrium volume, equation of state, interstitial energy, vacancy and surface formation energy, as well as elastic moduli. Compared with previous empirical potentials, the developed DP model yielded better predictions not only for properties of unary phases (e.g., α -Sn, β-Sn and bct-Sn), but also for the properties of stable IMCs (e.g., $Cu_{20}Sn_6$, Cu_3Sn, and Cu_6Sn_5). The developed DP for the Cu-Sn systems provides an important opportunity to advance the understanding of atomic-scale phenomena in soldering applications.

[P2-2]
Computational Study of Zirconium Oxidation Using Phase-Field Modeling : Jiho Kim and Kunok Chang* (Kyung Hee university)
Keywords: Phase-field modeling, Zirconium, Oxiadtion, LOCA

Zirconium is used as a cladding material for the modern nuclear reactor due to its low thermal neutron absorb cross-section, which is crucial for the neutron economics of nuclear power plants. Zr alloy is stable at low temperatures with one single phase, HCP structure(α) zirconium. However, at a high temperature above 1100K, it starts forming the other phases, BCC structure(β) zirconium. Not only β phase precipitation take place, but the oxidation process can also occur. Consequently, a monoclinic zirconium oxide (α-ZrO_2) forms, which can harm the integrity of nuclear fuel cladding. It is known that the oxide film formed on the Zr cladding surface can adversely affect the mechanical integrity. Specifically, it requires limiting the amount of maximum oxidation, or the 'equivalent cladding reacted'(ECR), which should not exceed 17% at LOCA. This criterion is proposed for maintaining mechanical integrity even during rapid cooling, assuming reflooding in the event of a LOCA accident. This study simulated the microstructure change of the Zr-O binary system using phase-field modeling and included three phases α, β, and α-oxide for both 1D and 2D. Through this, we simulated how the α, β, and oxide phases change in microstructure during the Zr cladding oxidation process. Besides, the simulation result compared the kinetics of the Zr cladding with Wagner's metal oxidation theory. Most importantly, this research evaluates which factors are essential variables in the growth of Zr oxide film.

[P2-3]
Understanding How Local Strain Causes Structural Degradation in Li-Excess Manganese Cathodes : Mu Geun Son, Hyeonji Shin (Pusan National Univ.), Hoje Chun* (Massachusetts Institute of Technology), and Joonhee Kang* (Pusan National Univ.)
Keywords: Li-excess cathode, density functional theory, redox mechanisms

With the increasing demand for high-capacity rechargeable batteries, continuous advancements in cathode materials are essential. Among the potential candidates, Li-excess Mn-rich (LMR) cathodes, known for their superior capacity compared to traditional cathodes, are attracting attention for commercialization. However, Li_2MnO_3, which is predominantly used in LMR cathodes, undergoes structural degradation in the voltage plateau region, and its atomic-level mechanisms have not yet been precisely elucidated. In this study, we employ first-principles density functional theory (DFT) calculations to investigate the process of structural change and redox mechanisms of Li_2MnO_3 induced by local strain. Our findings suggest that local intrinsic strain significantly influences changes in redox mechanisms, Mn migration, and the formation of O-O dimers. Additionally, the process of structural collapse due to strain was further confirmed through ab-initio molecular dynamics (AIMD) calculations. We believe these new insights will pave the way for the development of more robust and efficient LMR cathodes, ultimately contributing to the advancement of high-capacity rechargeable batteries.

[P2-4]

Diffusion Coefficients of Hydrogen in Copper by Machine Learning Interatomic Potentials and Path-Integral method : Gibum Kim and Takuji Oda* (Seoul National University)

Keywords: Hydrogen Diffusion, Copper, Machine Learning Interatomic Potentials, Path-Integral Methods, Transition State Theory

Hydrogen behavior in materials has attracted considerable attention in materials science and engineering in relation to hydrogen-induced damage such as hydrogen embrittlement and hydrogen energy applications through combustion, electrochemical and nuclear fusion reactions. The diffusion coefficient is one of the fundamental properties controlling the hydrogen behavior in a material. However, at low temperatures, experimental data on diffusion coefficients often show significant discrepancies due to trapping effects by lattice defects, making accurate measurements difficult. To overcome the difficulty in experiments, theoretical and computational methods have also been employed. However, classical molecular dynamics (CLMD) simulations fall short in reproducing hydrogen diffusivity at low temperatures due to nuclear quantum effects (NQEs), which play a crucial role in diffusion mechanisms. In this study, we simulated hydrogen diffusion in copper using machine learning (ML) interatomic potentials combined with path-integral (PI) methods. The ML potentials were trained on density functional theory (DFT) calculation data, providing a more accurate representation of atomic interactions compared to empirical potentials. PI calculations were adopted to efficiently model the NQEs of hydrogen diffusion. For high temperatures where NQEs are not significant, CLMD simulations were used to reduce the calculation cost. In addition, to clarify the NQEs in detail, we compared the free energy profile of hydrogen migration between classical and PI methods and evaluated the diffusion coefficients of hydrogen using Classical Transition State Theory (CTST) and Path-Integral Quantum Transition State Theory (PI-QTST). All DFT calculations, classical calculations and PI calculations were performed by VASP code, LAMMPS code, and PIMD code, respectively. For ML potentials, we constructed moment tensor potentials (MTPs) using the MLIP package. As a result, the diffusion coefficients estimated from CLMD showed good agreement with experimental data at high temperatures. However, at low temperatures, the diffusion coefficients were overestimated compared to experimental results. A comparison of the free energy profiles between classical and PI methods indicated that NQEs increased the O-T-O migration barrier and decreased the T-O-T migration barrier for hydrogen diffusion, where O and T denote octahedral and tetrahedral interstitial sites, respectively. Since O-T-O migration is the rate-determining step, the diffusion coefficients calculated with PI methods decreased and better agreed with experimental data. The NQEs on the hydrogen diffusion behavior in copper consist of the acceleration of migration due to quantum tunneling and the deceleration of migration due to zero-point vibration, which are effective at lower and higher temperatures, respectively. Consequently, the NQEs showed a nonlinear temperature dependence.

[P2-5]

제일원리 계산을 활용한 수소취성 저항성 개선을 위한 복합 석출물 설계 : 김창훈, 김선규, 김신현, 이동화* (포항공과대학교)

Keywords: 제일원리, 수소취성, 복합석출물

최근 다양한 고강도강의 사용이 늘어나고 있음에도, 수소의 침투에 따른 고강도강에서의 수소취성 현상의 개선은 강도 향상에 비해 크게 이루어지지 않고 있다. 이러한 수소취성의 영향을 줄이기위해 최적의 조성 선별, 입계 엔지니어링 및 석출물 형성에 많은 노력을 기울이고 있다. 특히, 석출물 내부에 공공을 통한 수소의 트랩사이트를 형성함으로써 수소취성을 효과적으로 개선할 수 있다고 보고되고 있으나, 단일 석출물로는 다량의 공공이 형성될 수 있는 석출물을 형성하기 어려운 문제점이 있다. 이에 실험적으로 카바이드내에 다양한 원소들을 첨가하여 탄소공공이 형성된 복합 석출물을 만드는 연구들이 시도되고 있으나, 철강 분야 특성상 긴 공정 시간과 각 샘플에서 형성된 석출물을 분석하고 수소의 영향을 판단하는데 많은 비용과 시간이 들게 된다. 본 연구에서는 제일원리 계산을 통해 다양한 카바이드(TiC, VC 등) 에서 탄소 공공을 쉽게 형성할 수 있도록 도와줄 수 있는 전이 금속 후보군을 도출하였다. 특히, TiC와 VC에서 몰리브덴(Mo)을 첨가하는 경우, 탄소 공공의 형성을 촉진시켜 수소를 효과적으로 트랩할 수 있는 결과가 도출되었다. 본 연구는 석출물 내 탄소 공공 형성을 촉진시키는 전이금속을 예측하며, 해당 공공에서 수소의 탈착 에너지를 비교 분석함으로써 수소취성 문제의 해결에 기여할 수 있는 복합석출물 후보군을 제안한다.

[P2-6]

Predicting Microstructure Changes in Ni-Cr Systems by Considering Grain Boundary Effects : Woojien Lee and Kunok Chang* (Kyung Hee University)

Keywords: Molten Salt Reactor(MSR), Ni-Cr alloy, Grain boundary, Phase-field, Corrosion

The increasing global focus on environmentally sustainable energy solutions has highlighted the importance of nuclear power as a key component of future energy strategies, due to its low carbon emissions and high energy density. Among the various nuclear reactor designs currently under development, fourth-generation reactors have garnered significant attention for their potential to offer enhanced safety, efficiency, and waste management capabilities. One such design, the Molten Salt Reactor (MSR), is particularly promising due to its inherent safety features, such as passive cooling and lower operating pressures, which differentiate it from conventional Pressurized Water Reactors (PWRs). Ni-based alloys have been widely utilized in highly corrosive components due to their excellent corrosion resistance. Corrosion in molten salt environments is still controversial, but it is known that Ni-Cr-Mo-centered Hastelloy N, etc. have shown excellent corrosion properties. In this study, the microstructure of the Ni-Cr underlying Hastelloy N was predicted by considering the grain boundary effect, and the ability to predict the behavior of Cr near the grain boundary, which is key to the corrosion resistance of future Ni-based alloys, was demonstrated.

[P2-7]

상장모델을 이용한 중성자 조사 환경에서의 재료 미세구조 결함 형성 및 성장 예측 : 조일현, 장근옥* (경희대학교국제캠퍼스)

Keywords: 상장모델, 미세구조 결함, 중성자 조사

원자력 재료는 조사손상에 의해 그 기계적 성질의 열화(경화, 팽윤 등) 현상이 일어나며, 이는 장시간 운전하는원전의 안전성을 저하할 우려가 있다. 중성자 조사 환경에서 재료는 Cascade 현상을 일으켜 기존 격자구조에서벗어난 Frenkel 결함(자기침입형 원자와 공공)을 생성한다. 두 종류의 Frenkel 결함은 축적되어 각각의 집합체를형성한다. 대표적으로 이차원 면상결함인 전위고리 또는 삼차원 구상결함인 공극이 있으며, 자기침입형 원자의집합체와 달리 공공으로 이루어진 집합체는 전위고리 또는 공극 모두 형성할 수 있다. 이들의 형성은 경계면 에너지와 적층 결함 에너지와 관련이 있다. 금이나 지르코늄과 같이 적층결함 에너지가 작은 경우 공공으로 이루어진전위 루프를 형성한다. 재료 미세구조 결함의 생성과 성장을 모사하기 위해, 장거리 상호작용과 단거리 상호작용을 동시에 모사할 수 있으며 삼차원 모델링이 가능한 상장모델을 이용한 연구가 이루어졌다. 또한 자유에너지에고유응력 개념을 고려하여, 결함을 직접 추적하지 않고도 결함에 의한 탄성 영향을 나타낼 수 있다. 최근에는 전위고리의 비등방 특성을 고려한 성장 모사 방법과 공극의 온도에 따른 성장이 연구되고 있다. 그러나 공공으로 이루어진 전위고리와 공극이 어떤 조건에서 선호되는지에 대해서는 알려진 바가 없다. 본 연구에서는 상장모델을 이용해 Frenkel 결함의 확산에 의한 공공으로 이루어진 전위 고리와 공극의 형성 및성장 조건을 밝혀내고자 한다. Cahn-Hilliard 방정식을 통해 침입형 원자와 공공의 자유에너지 분포에 따른 농도분포 변화를, Allen-Cahn 방정식을 통해 전위고리 또는 공공의 성장을 고려하였다. 또한 탄성이 결함의 성장에 미치는 영향(성장 속도, 방향 의존성)을 추가로 고려하였다.

[P2-8]

Development of Machine Learning Interatomic Potential to Describe Hydrogen Migration Behavior in Alpha and Beta Zirconium : Seongbeen Lee and Takuji Oda* (Seoul National Univ.)

Keywords: Zirconium: Hydrogen diffusion: Machine-learning interatomic potentials: Atomistic simulations

Zirconium (Zr) alloys are used as cladding materials in nuclear reactors, primarily due to their favorable thermodynamic, mechanical, and nuclear properties. However, the ductility of these materials significantly diminishes when hydrogen accumulates beyond its solubility limit, leading to the formation of hydrides. Since the behavior of hydrogen solutes and the stability of hydride phases are influenced by multiple factors such as temperature, stress, and microstructure, the understanding is still limited despite extensive experimental studies. Molecular dynamics (MD) simulations hold promise for investigating zirconium-hydrogen interactions at the atomic scale. Available potential models, however, fall short in accurately capturing hydrogen solute behavior and the formation dynamics of hydrides. Machine learning interatomic potentials (MLIPs) have recently garnered attention for their high accuracy comparable with first-principles calculations used in training. In this study, we developed a moment tensor potential (MTP) [*], a type of MLIPs, to simulate the migration behavior of solute hydrogen in alpha-Zirconium (α-Zr) and beta-Zirconium (β-Zr), which form hcp and bcc lattices, respectively. The training data was prepared by density functional theory (DFT) calculations. The validity of the constructed potential model was verified by comparison with experimental results and DFT calculations. All DFT calculations were performed by VASP code and MTPs were constructed using the MLIP package by combining supervised and active learning. The developed MTP achieved a root mean square (RMS) error of 4.0 meV/atom for energy from DFT. The MTP nicely reproduced DFT results on the lattice and elastic constants of both α-Zr and β-Zr phases in geometry-optimized structures. In addition, the MTP successfully captured the thermal expansion behavior of both phases over a range of temperatures, with results reasonably consistent with experimental observations. Finally, we calculated the hydrogen diffusion coefficients for both phases using molecular dynamics (MD). Although some discrepancies with available experimental data were observed, fair agreement was confirmed for both α-Zr and β-Zr phases. For both phases, we identified diffusion mechanisms by searching for transition states using the nudged elastic band method and comparing the migration barrier with the diffusion coefficients calculated by MD. The reasons for the discrepancy with the experimental diffusion coefficients will be discussed. Reference * Novikov, I. S., et al. (2021). Machine Learning: Science and Technology, 2(2), 025002.

[P2-9]

Comparison and Analysis of Radioisotope Adsorption Performance of Transition Metal-Doped Metal Organic Frameworks (MOFs) Using DFT Simulation : Hwanhui Lee, Jeongho An, and Kunok Chang* (Kyung Hee University)

Keywords: DFT, Metal-Organic Frameworks, Adsorption, Radionuclide

Nuclear power generation is an efficient means of producing electricity, but it has the drawback of generating a large amount of radioactive waste during the process. Among these, Co-60 is a gamma-emitting radionuclide, while Sr-90 and Cs-137 are long-lived radionuclides that negatively impact the health of exposed individuals. If the separation and adsorption of these radionuclides can be achieved easily, they could hold high commercial value, leading to active research in this area. Metal-Organic Frameworks (MOFs) are widely used for the selective adsorption of elements, and among them, MOF-303 is known to adsorb radioactive isotopes such as Xe and I. This study focuses on the characteristics of MOF-303 and uses the Density Functional Theory (DFT)-based program QUANTUM ESPRESSO to predict and compare the adsorption properties of Co, Sr, and Cs on MOF-303. Additionally, transition metals such as Cu, Au, and Ag were doped into the open metal sites of MOF-303 to enhance its adsorption energy, and these were compared. Graphene

was selected as the comparison group for the adsorption energy comparison, and the calculations were performed by placing the target atoms in various anticipated adsorption sites and conducting structural optimization. Additionally, Density of States (DOS) calculations were performed to determine the reasons for the increased adsorption energy when each transition metal was doped. The results of this study are expected to make a significant contribution to the safe and commercially competitive management of radioactive waste.

[P2-10]

Recycling Battery Waste $LiCoO_2$ as an Electrocatalyst for Water Electrolysis : Gyuchan Kim, Jin Ho Bang, and Byung-Hyun Kim* (Hanyang University ERICA)

Keywords: electrocatalyst, OER, battery material

The growing demand for energy has driven research into fuel and battery materials. However, little attention has been paid to the management of the associated waste, despite its importance. In this study, we address these challenges by investigating $LiCoO_2$(LCO), which is traditionally used as the cathode in batteries due to its high charge/discharge efficiency. It is known that the decrease in capacitance after many charge/discharge cycles is due to the phase transition of the layered structure LCO to the spinel structure. This study reveals the potential of LCO after phase transition as an oxygen evolution reaction (OER) catalyst for electrochemical water splitting. Density functional theory (DFT) calculations provide insight into the electrochemical properties of layered LCO and spinel LCO, and the phase transition leads to enhanced OER activity. In addition, the study includes detailed modeling of the LCO to account for structural defects that can occur during battery charge and discharge cycles. This study provides a detailed understanding of the development of LCO as OER electrochemical catalysts and offers a practical approach for recycling used LCO based on theoretical and experimental findings.

[P2-11]

Elucidating Interface Reaction of Argyrodite/Li metal as Solid-State Electrolyte/Anode Composition using Moment Tensor Potentials : Ji Seon Kim and Sang Uck Lee* (Sungkyunkwan University)

Keywords: Solid-state electrolyte, Machine learning potentials, Interface reaction, Molecular Dynamics

Recently, Argyrodite (Li_6PS_5Cl) has been interested as a favorable candidate for solid-state electrolytes because of its high ion conductivity at room temperature and relatively ductile mechanical properties. However, in the interface between Li metal which ideal material for the anode, and argyrodite SE, the decomposition of the argyrodite layer is strongly decreases the ionic conductivity by inhibition of Li diffusion due to the formation of a low ionic conductive product. Thus, further understanding the interfacial reaction and preventing the decomposition of argyrodite is essential for their practical use in ASSBs. Although some investigations about the interfacial dynamics between argyrodite Li metal are reported, the overall simulation scale is relatively small to describe the extensive interfacial reaction despite the high computation costs. To overcome these points, we systematically designed and enlarged the interface system and observed the interfacial dynamics between SSE and anode region by employing machine learning potentials which conducted nanosecond-scale dynamics simulations on enlarged interface models with high accuracy. Our simulations indicate that Li metal continuously penetrates the argyrodite region and the PS_4 polyhedron gradually decomposes which promotes the composition of argyrodite (P, S, and Cl) reversibly diffusion into the Li metal region. Notably, over time it was observed that as SEI nucleation form and grow, the decomposition rate of the Argyrodite PS_4 layer gradually decreases, eventually reaching a point where it no longer continues. Based on the exploration of interfacial reactivity on the large-scale system, these theoretical results unveil the extent of argyrodite decomposition and provide insights into the complex interfacial reactions with other interfaces consisting of sulfide-based electrolytes-Li reactivity metal.

[P2-12]

Unveiling the Solvation Structure in Lithium Metal Batteries: A Comparative Study of Carbonate-Based and Ether-Based Electrolytes : Un Hwan Lee and Joonhee Kang* (Pusan National Univ.)

Keywords: Li metal battery, electrolyte engineering, density functional theory, Li ion solvation shell

With the growing demand and interests in lithium-ion batteries, research in battery is increasingly focused on achieving higher energy densities. The most promising candidates are lithium metal batteries, which replace the graphite anode with lithium metal. However, the use of carbonate-based organic solvent electrolytes in these batteries has led to various side reactions, such as dendrite formation, which compromises battery performance and safety. To mitigate these issues, recent studies have explored the use of ether-based solvents in organic electrolytes to reduce side reactions. In this study, we employed first-principles density functional theory (DFT) calculations to compare two commonly used ether solvents and carbonate solvents, dimethoxyethane (DME) and dimethylcarbonate (DMC), in the context of lithium metal batteries. We analyzed the differences in binding energies of the lithium solvation structures formed by these solvents, both in the presence and absence of the FSI anion. Additionally, we compared the redox stability of these solvents by evaluating their highest occupied molecular orbital (HOMO) and lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) levels. Furthermore, ab initio molecular dynamics (AIMD) simulations were conducted to construct the electrolyte structure and to compare the solvent/anion ratio within the lithium solvation shell. This work provides a molecular-level basis for understanding the electrolyte behavior in lithium

metal batteries and offers insights into the enhanced stability of lithium metal anodes in ether-based solvents compared to carbonate-based solvents.

[P2-13]

Solidification Simulation of Aluminum Alloys: Controlling Beta Phase Formation with Phase-Field Simulation : Hyung-Uk Jang, Hwi-Jae Cho, Dong-Uk Kim, and Pil-Ryung Cha* (Kookmin Univ.)

Keywords: Computational Materials Science & Engineering, Modeling and Simulation, Aluminum

The increasing demand for eco-friendly materials and stricter carbon emission regulations necessitate the use of recycled materials in various industries. Recycled aluminum alloys contain iron, which can lead to unintended microstructural changes. This study investigates the casting characteristics of alloys with varying Fe and Mn contents. Using a phase-field model that incorporates CALPHAD-type free energy, we simulate microstructure formation and precipitation during solidification in AA 386 casting material and similar alloys with Fe and Mn impurities. The model helps analyze the impact of Fe and Mn on microstructures and examines methods to suppress the beta phase through compositional and processing adjustments. This research aims to optimize the use of recycled aluminum alloys while maintaining material performance.

[P2-14]

Construction of All Element Database for Diffusivity and Solution Enthalpy in Liquid Pb Using Machine Learning Potentials : Seoyeon Bak, Takuji Oda* (Seoul National University), Junhyoung Gil (North Carolina State University), Jimin Lee, Chaeyeong Kim, Hyunseok Lee, Sehyeok Park, and Jonghyeon Park (Seoul National University)

Keywords: Liquid metal, machine learning potentials, molecular dynamics, density functional theory, material informatics

Liquid metals (LMs), such as liquid Na or Pb, have wide applications for advanced nuclear energy systems as promising coolant, tritium breeder, or spallation target materials. Since the stability and mobility of impurities in LMs are related to the safety and economy of energy systems, many experimental studies have been devoted to determining these properties. For example, O as an impurity is crucial for oxidation of LMs or steels, which affect the harshness of air combustion of LMs and steel corrosion in LMs. Meanwhile, the retention and release of volatile radionuclides such as Kr, Xe, I, and Po in LMs should be thoroughly understood and controlled. However, due to the difficulty of high-temperature LM experiments, the property database is often only available for a limited number of impurities. In this study, for liquid Pb, we calculated the impurity diffusivity and solution enthalpy for all elements by molecular dynamics (MD) using machine-learning moment tensor potentials (MTPs). An automatic scheme combining supervised learning and active learning was developed to efficiently generate MTPs for each element. The training data were obtained by density functional theory (DFT) calculations with expectations that the accuracy of the MTPs would be comparable to that of DFT. All DFT calculations were performed by VASP code and MTPs were constructed using the MLIP package. For solution enthalpy, to raise the accuracy of the MTPs near that of experiments, an empirical correction was applied to the enthalpy of impurity elements in their reference states using experimental binding energy and cohesive energy for molecules and crystals, respectively. The calculation results were compared with available experimental data and those of liquid Na from a previous study. The calculated diffusivity was in reasonable agreement with experimental data or slightly overestimated the experiments for certain elements possibly due to the formation of impurity complexes in experiments, since the calculation evaluated the diffusivity of an isolated impurity atom. The order of magnitude of diffusivity was overall smaller in liquid Pb than in liquid Na, which seemed to be due to the larger atomic size of liquid Pb than that of liquid Na. For solution enthalpy, the agreement with experimental data was greatly improved after correction, validating the importance of correction. The calculated solution enthalpy in liquid Pb showed similar group specific trends with that in liquid Na. The calculation results of solution enthalpy were additionally modeled with the gaussian process regression (GPR), indicating that binding energy and electronegativity of the impurity element largely correlate with the solution enthalpy.

[P2-15]

Carbon Allotropes electrocatalyst for an overall water-splitting (HER/OER) : Junho Seok, HUNG NGO MANH, and Sang Uck Lee* (Sungkyunkwan University)

Keywords: Carbon-allotropes, carbon-based metal-free HER/OER catalyst, curvature effect, polygon combination, degree of deformation

Graphene is widely studied for its tunable mechanical and electrical properties, but its planar structure limits its effectiveness as an electrocatalyst for hydrogen evolution reaction (HER) and oxygen evolution reaction (OER) due to weak adsorbate binding. Despite various strategies, such as heterogeneous doping and strain effects, significant improvements in binding strength have been limited. Here, we systematically investigated a range of 2D carbon allotropes with diverse local structures, including α-, β-, δ-phagraphene, h567, r57, pha, and psi, differing from the C666 structure of graphene. Comprising 11 different polygon combinations, these carbon allotropes exhibited superior catalytic activity compared to graphene, with C558 showing the highest performance. Previous studies suggested that curvature enhances graphene's catalytic properties. Thus, we applied compressive strain (-5%, -10%) to these carbon allotropes, creating curved carbon structures. This modification notably improved catalytic activity, especially for C558. Enhanced binding strength was confirmed through electronic structure analyses, such as the p-band center and ICOHP. Additionally, C558 's

degree of deformation from planarity increased pz orbital occupancy, thereby further enhancing HER/OER performance. This study uniquely highlights the importance of local structural variation and curvature in optimizing the efficiency of 2D carbon allotropes as electrocatalysts.

[P2-16]

Assessing Ionic Conductivity and Diffusion Pathways in $Li_{10}GeP_2S_{12}$ through Machine-Learning Molecular Dynamics : Seonhye Park and Joonhee Kang* (Pusan National Univ.)

Keywords: solid electrolyte, ion conductivity, Machine-learning molecular dynamics(MLMD), crystal hamiltonian graph neural network(CHGNet)

The solid electrolyte is a critical component of all-solid-state lithium batteries (ASSLBs), but it faces challenges related to achieving high ionic conductivity and ensuring electrochemical and chemical stability. First reported in 2011, $Li_{10}GeP_2S_{12}$ (LGPS) has attracted significant interest for ASSLB applications due to its high ionic conductivity ($> 1 \times 10^{-2}$ S cm^{-1}) and wide electrochemical stability window. While there have been many efforts using ab initio molecular dynamics (AIMD) to evaluate the ionic conductivity of LGPS and identify lithium-ion diffusion pathways, AIMD's limitations in system size, simulation temperature, and timescale make accurate prediction and analysis of lithium-ion diffusion challenging. To overcome these limitations, molecular dynamics simulations based on machine-learning interatomic potentials (MLIPs) have gained popularity. Machine-learning molecular dynamics (MLMD) addresses the shortcomings of AIMD, particularly at low temperatures and for large-scale systems. In this study, we aim to assess the high ionic conductivity of LGPS and identify lithium-ion diffusion pathways on a large scale using crystal hamiltonian graph neural network (CHGNet), a type of machine-learning interatomic potential. By fine-tuning CHGNet to achieve accuracy comparable to density functional theory (DFT) calculations, we conduct long-timescale MLMD simulations to explore lithium-ion behavior not only through extrapolation to high-temperature conditions but also directly at room temperature.

[P2-17]

비대칭적 계면에너지 이방성이 고려된 phase-field 모델을 활용한 정출 및 석출상 시뮬레이션 : 조회재, 장형욱, 김동욱, 차필령* (국민대학교)

Keywords: phase-field, 계면에너지, 이방성, 미세조직

공학용 금속 재료에는 여러 종류의 석출물이 다양한 형태로 존재하며, 이들의 형태는 기계적 특성에 크게 영향을 준다. 그러나 고체 내에서 상간 계면 에너지를 측정하는 것은 현실적으로 매우 어렵기 때문에 석출물 형태를 이론적으로 예측하는 데 한계가 있다. 계면 에너지 이방성이 적용된 phase-field 모델을 사용하면 계면 에너지가 정확히 주어졌을 때 석출물 형태를 정확하게 예측할 수 있으며, 반대로 석출물 형태가 주어진 경우에도 phase-field 모델을 이용해 계면 에너지 이방성을 추정할 수 있다. 하지만 기존의 계면 에너지 이방성 phase-field 모델은 회전 대칭 이방성만 고려하기 때문에 비대칭적 구조를 가진 실제 석출물에 대한 적용이 제한적이다. 본 연구는 기존 모델을 확장하여 비대칭적 계면 이방성을 고려할 수 있도록 코드를 개발하였다. 이 코드는 미세 구조 이미지를 통해 비대칭적 형상을 포함한 다양한 석출물의 계면 에너지 이방성을 추정하고 phase-field 모델에 활용해 정출상과 석출상의 성장 시뮬레이션을 수행한다. 이를 통해 높은 종횡비의 침상 및 판상형 정출물의 성장을 구현하고 이방성 인자에 따른 천이 조건을 탐색한다. 또한, 탐색한 이방성 인자를 통해 다양한 형상의 석출물 형성을 구현하여 이방성 인자와 석출물 형상 간의 상관관계를 도출한다. 이 코드는 비대칭 형상을 포함한 일반적인 석출물에도 적용할 수 있으며, 추후 연구를 통해 다양한 석출물의 계면 이방성 정보를 수집하고 이를 형상 예측에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

[P2-18]

제일원리 계산 기반 무질서도 최적화를 통한 리튬전고체전지용 고이온전도성 아지로다이트 고체전해질 설계 : 장명조 (한국과학기술연구원, 고려대학교), 심준형* (고려대학교), 류승호* (한국과학기술연구원, 과학기술연합대학원대학교)

Keywords: 제일원리계산, 전고체전지, 머신러닝, 아지로다이트

최근 차세대 이차전지로 전고체전지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 전고체전지는 고체전해질을 사용하여 발화 위험이 없고, 우수한 안전성과 높은 에너지 밀도를 제공할 수 있다. 전고체전지의 핵심 과제는 높은 이온전도도를 실현하는 고체전해질의 개발이다. 액체전해질에 준하는 고이온전도도를 보이며 주목을 받는 황화물계 아지로다이트 구조의 고체전해질은 최근 구조 내 금속 원소 치환 및 음이온의 site disorder 도입을 통해 10 mS/cm 급의 높은 이온전도도를 보이고 있다. 본 연구에서는 아지로다이트 고체전해질 내부의 할라이드 종류와 함량에 따른 site disorder 구조 최적화를 진행하였고, 고체전해질의 무질서도와 이온전도도의 연관성을 밝혀 무질서도 최적화를 통한 이온전도도 극대화 설계 전략을 제시하였다. 또한 머신러닝 포텐셜 기반 AIMD(제일원리 분자동역학)을 통해 효율적이면서 정확한 이온전도 예측 시스템을 구축하였고, 신규 고이온전도 고체전해질 후보군을 제시하였다.

[P2-19]

A Computational Study of the Enhanced Structural Stability and Electrochemical Performance of NaVO Cathodes in AZIBs : Huncheol Seo (Department of Applied Chemistry, Center for Bionano Intelligence Education and Research, Hanyang Uni), Younghee So, Sungwook Mhin (Department of Materials Science and Engineering, Kyonggi University), and Byung-Hyun Kim* (Department of Applied Chemistry, Center for Bionano Intelligence Education and Research, Hanyang Uni)

Keywords: Aqueous Zn-Ion Battery, Vanadium-based Cathodes, Density Functional Theory

Lithium-ion batteries (LIBs) are widely used in electronic devices, electric vehicles, and energy storage systems (ESS) due to their high energy density and long cycle life. However, LIBs face challenges such as fire risks and high costs, leading to the exploration of aqueous zinc-ion batteries (AZIBs) as a promising alternative. Although AZIBs offer advantages such as safety, environmental friendliness, and abundant raw materials, they currently have shorter lifespans and lower power density compared to LIBs. Vanadium-based cathodes, particularly V_2O_5, are known for their high theoretical capacity and cycle stability but suffer from issues like structural instability, low conductivity, and dissolution. To overcome these challenges, pre-intercalation of various cations into V_2O_5 has been explored to improve structural stability and ion conductivity. In this work, a $Na_2V_6O_{16}{\cdot}2H_2O$ (NaVO) cathode was synthesized using a simple sonochemical method. Density functional theory (DFT) calculations revealed that NaVO experiences less volume expansion compared to V_2O_5 during ion insertion. Furthermore, DFT analysis identified that NaVO's unique structure significantly lowers the energy barrier for Zn^2? diffusion, which in turn enhances its electrochemical performance.

[P2-20]

제일원리 계산을 이용한 고용량, 고전압 안정성 층상형 소듐 양극재 설계 : 권은지 (한국과학기술연구원, 고려대학교), 유승호 (고려대학교), 류승호* (한국과학기술연구원, 과학기술연합대학원대학교)

Keywords: 제일원리계산, 소듐이온배터리, 소듐양극재, 소듐층상형양극재, DFT

소듐은 저렴한 비용과 풍부한 자원으로 리튬의 희소성 및 가격 변동성에 대응할 수 있을 뿐만 아니라, 리튬과 유사한 전기화학적 특성으로 기존 리튬이온배터리 시스템을 활용할 수 있기 때문에 리튬이온배터리의 대체재로 주목 받고 있다. 최근 소듐이온전지의 에너지밀도 향상을 위해 양극 활물질을 구성하는 전이금속 원자의 산화-환원(Cation redox) 뿐만 아니라 산소 음이온의 산화-환원(Anion redox)을 활용하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 고전압에서(4.2V vs. Na^+/Na) 산소 음이온이 산화-환원 반응에 참여하게 됨에 따라 양극의 구조가 불안정해지고, 산소 기체 발생 및 그로 인한 voltage-fading 등의 문제가 일어나게 된다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 전이금속 원소 및 비-전이금속 원소 치환 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 산소 음이온의 산화-환원 반응의 메커니즘을 이해하기 위한 연구 또한 진행되고 있다. 본 연구는 제일원리 계산을 이용하여 층상형 소듐 양극재에 다양한 원소들을 치환하고, 이것이 양극재의 열역학적, 구조적, 동역학적, 그리고 전기화학적 특징에 미치는 효과를 분석하였다. 고전압에서 개선된 구조안정성과 높은 작동전압을 가지는 최적 조성의 소듐 양극재를 제시하였으며, 구동전압별 산화-환원 반응에 참여하는 원소와 그 메커니즘을 원자들의 전자구조적 측면에서 해석하였다.

[P2-21]

Stability and Activity of atomic Catalysts: The Impact of Atom Spacing : Soyun Lee, Yewon Yang, and Joonhee Kang* (Pusan National Univ.)

Keywords: Single-Atom Catalyst, transition metal, ORR(Oxygen Reduction Reaction), DFT(Density Fuctional Theory)

Since the Industrial Revolution, the worldwide demand for energy has consistently risen, with a large share of this energy being derived from fossil fuels. This dependency has created two significant challenges: increasing difficulties in obtaining oil supplies and the rapid progression of global warming. Addressing these issues by developing renewable and environmentally friendly alternative energy sources is essential for sustainable development. Fuel cell technology is attracting attention as a viable solution due to its high energy efficiency and reduced environmental impact. These fuel cells produce energy through electrochemical reactions, converting hydrogen into water while generating both electricity and heat, with overall efficiencies reaching 70-80%. Despite these advantages, the broader use of fuel cells is limited by the expensive platinum (Pt) catalysts needed to enhance the oxygen reduction reaction (ORR). This study focuses on investigating alternative catalysts to Pt, specifically single-atom catalysts (SACs) loaded with nitrogen-doped carbon (NC) materials. Using density functional theory (DFT), we investigated the stability and catalytic performance of transition metal SACs. In particular, to effectively design the atomic environment of metal atoms in SACs, we focused on the spacing of transition metal atoms by synthesizing homologous dual-atom structures. Key results reveal ideal SAC configurations that enhance oxygen adsorption strength, which is essential for boosting ORR performance. These results indicate that the effects of atomic catalysts are strongly influenced by factors such as the spacing of transition metal atoms, strain management, and the presence of carbon defects. This is attributed to their interactions with oxygen molecules and effective management of energy barriers. This underscores the potential of non-platinum catalysts and offers valuable insights into design factors that impact fuel cell catalyst performance. By refining these factors, we expect to solve the problems of high cost and scarce resources associated with Pt-based catalysts.

[P2-22] Canceled

Effect of Interface Energy in the Hysteresis of the Terminal Solid Solubility of Hydrogen : Sanghyun Ji and Kunok Chang* (Kyung Hee University)

Keywords: Zirconium, Hydride, Interface Energy

In the pressurized water reactor (PWR), some fraction of hydrogen generated by the corrosion of the zirconium cladding diffuses into the cladding, and could lead to the precipitation of zirconium hydride phase. The precipitated hydrides later could cause mechanical failure of the cladding. The maximum amount of hydrogen that can exist in solution without forming hydrides is called terminal solid solubility (TSS). The TSS of hydrogen in zirconium has a hysteresis. In this research, we tried to explain the hysteresis by simulating the

nucleation and dissolution of hydrides considering the effect of interface energy using the Multiphysics Object Oriented Simulation Environment (MOOSE) finite element framework.

[P2-23]

Design of Mn-based Cation-Disordered Rocksalt Cathodes via Machine Learning-based Potential : Hyeonji Shin and Joonhee Kang* (Pusan National Univ.)

Keywords: Cation-disordered Li-excess rocksalts(DRXs), Li percolation, Crystal Hamiltonian Graph Neural Network (CHGNet)

For a carbon-neutral society, the electrification of power sources instead of fossil fuels has become a key trend. The demand for the performance of lithium-ion batteries (LIBs) is continuously rising, leading to sustained research to enhance cathode materials. Recently, cation-disordered Li-excess rocksalt (DRX) has become a notable material, with both cations and anions arranged in face-centered cubic (FCC) structures. Unlike conventional layered oxides, which have reached their limits in increasing capacity, DRX can offer additional capacity through the redox reactions of transition metals (TM) and oxygen. Among redox-active transition metals, Mn is being studied as one of the most promising candidates due to its earth-abundance and ability to exist in multiple oxidation states. However, for DRX to function effectively as cathode materials, it is important to optimize the unique Li diffusion mechanism known as 0-TM percolation, which differs from that of layered materials. In this study, a Crystal Hamiltonian Graph Neural Network (CHGNet), a type of machine learning (ML)-based interatomic potentials, was used to examine the percolation network formed within the Mn-based DRX on a larger scale than density functional theory (DFT). The CHGNet is custom-trained for a Mn-based DRX by using DFT calculation data to improve its accuracy. Through the repetition of Monte Carlo simulations and relaxation processes, the most probable DRX structure can be predicted, and the extent of percolation activation in the structure can be observed. This research will serve as the foundation for understanding DRX redox mechanisms, electrochemical performance, and cyclability, ultimately contributing to the commercialization of DRX as next-generation cathode active materials.

[P2-24]

Phase Field Study on Nitrocarburizing of Fe-N-C : Kim Ye-Lim, Dasari Mohan (Kookmin Univ.), Arijit Roy (University of Michigan, USA), and Cha Pil-Ryung* (Kookmin Univ.)

Keywords: phase field model, nitrocarburizing, Fe-N-C

Nitrocarburizing is a thermochemical surface treatment process designed to enhance the surface performance of steel components by forming compound layers of iron nitrides and carbides. This process improves corrosion resistance, fatigue performance, and wear resistance. Understanding the formation and growth of these layers is crucial for optimizing the nitrocarburizing process and enhancing material properties. In this study, we used a phase field model to analyze the formation and growth mechanisms of nitrocarburized layers under various conditions through 2D simulations. The simulations were conducted at 813K, where nitrogen and carbon diffused to form compound layers ε-Fe_2(N,C), γ'-Fe_4(N,C) and a diffusion zone. We focused on the changes in the thickness of the nitrocarburized layers under different processing conditions. The phase field model allowed us to precisely predict the changes in thickness and the microstructural evolution of the layers. We confirmed that as the processing time increases, the thickness of the nitrocarburized layer also increases, which has a significant impact on material properties. These results clearly demonstrate how slight changes in processing parameters affect material thickness and properties. This research provides valuable insights into the correlation between nitrocarburizing process parameters and the evolution of compound nitride and carbide layers. We anticipate that this approach can contribute to the optimization and performance enhancement of nitrocarburizing processes.

[P2-25]

Design of High-Performance and Low-Cost Electrochemical Single-Atom Catalysts : Yewon Yang, Soyun Lee, and Joonhee Kang* (Pusan National Univ.)

Keywords: DFT, single-atom catalysts, Nitrogen-doped graphene

As part of efforts to achieve carbon neutrality and mitigate global warming, eco-friendly hydrogen-based energy systems are gaining increasing attention. Consequently, the importance of electrochemical energy storage and conversion systems is becoming more pronounced. Platinum is widely used as a catalyst in hydrogen fuel cells: however, its high cost presents a significant barrier to commercialization. Therefore, the development of cost-effective and efficient alternative catalysts is essential. Additionally, ammonia is regarded as a key raw material for fertilizers and an important medium for hydrogen energy storage. Improving electrochemical ammonia production technologies necessitates the development of catalysts that are highly efficient, stable, and cost-effective. In studying catalytic reaction mechanisms, the surface chemistry of each catalyst material plays a critical role. Since all catalytic reactions are governed by the interactions between the catalyst surface and reactants, a precise understanding of the catalyst surface state is directly linked to the interpretation of catalytic activity. In this study, we employed density functional theory (DFT) calculations to model a nitrogen-doped graphene single-atom catalyst and conducted electronic structure analysis to understand the principles governing adsorption characteristics. Our computational results provide insights that suggest potential directions for the development of new single-atom catalysts.

[P2-26]

Phase-field modeling of anisotropy in grain boundary properties in uranium dioxide : Bohyun Yoon (Kyung Hee University), Nele Moelans (KU Leuven), and Kunok Chang* (Kyung Hee University)

Keywords: phase field, grain growth, parallel computing

Understanding the microstructural evolution of nuclear fuels is essential to assessing fuel performance since the microstructural features significantly affect various properties of the fuel. The grain morphologies impact many important properties such as thermal conductivity, swelling, fission gas release, and mechanical stability. Thus, there have been a lot of efforts to investigate grain growth kinetics in nuclear fuel. The phase-field method is a powerful methodology to predict the microstructural evolution such as grain growth. This study focuses on incorporating an anisotropy of grain boundary properties into the phase-field simulation of uranium dioxide. The misorientation and inclination dependence effect was introduced for the grain boundary energy in limited cases of polycrystalline structures. We have examined the influence of anisotropy in grain boundary energy and mobility on grain growth kinetics. To perform large-scale 2D simulations, we utilized CUDA-accelerated parallel computing, which consumed only approximately 20% of the time required by serial computation to obtain the same results.

[P2-27]

Solid-State Sintering of Pressed Powder Compacts Using a Coupled Finite Element and Phase Field Model : kim kiyoun, Pil-Ryung Cha*, Sandeep Sugathan, Hyunjoo Choi (Kookmin University), JiHoon Kim, and Hossein Ghorbani-Menghgari (Pusan National University)

Keywords: phase field model: sintering: Fe-Si: finite element method: diffusion mechanisms

Solid-state sintering plays a pivotal role in modern manufacturing industries, for enhancing the mechanical properties of materials and manufacturing complex components. Taking this significance into account, we develope a numerical model for sintering through a multi-scale approach combining finite-element-method and phase-field method. Here, the powder compaction is simulated by the finite element method based on multi-particle (MPFEM) and the sintering of pressed compacts is simulated by the phase-field method (PFM). The implementation and execution of powder compaction are performed using the commercial FEM software Abaqus and Python scripts. MATLAB code is used to generate appropriate Representative Volume Elements (RVE) to prevent overclosure between particles and ensure the accuracy of the simulation. The FEM data of the powder compact with unstructured grids are converted into structured grids for the sintering simulation. We simulate the solid-state sintering process in powder systems using a phase-field model that considers grain growth through boundary migration, and various diffusion mechanisms (surface, grain boundary and volume). The microstructure evolution is modeled by coupling Cahn-Hilliard nonlinear diffusion equation for conserved composition fields, and the time-dependent Allen-Cahn structural relaxation equation for non-conserved structural order parameter fields. In this study, we employ the model to investigate the compaction and sintering process of Fe-Si powders. The phase field model enables efficient simulation of a large number of particles through parallel GPU computation. Furthermore, we systematically examine the effects of fine-to-coarse particle mixing ratios, sintering temperatures and compaction pressures on the density of the sintered compacts and compare with experiments.

[P2-28] Canceled

Theoretical Analysis into Solid Electrolyte Interphase for Suppressing Hydrogen Evolution Reaction in Aqueous Batteries : DongKyu Kim and Hyeyoung Shin* (Graduate School of Energy Scienceand Technology (GEST),Chungnam National University)

Keywords: Lithium-ion batteries, Aqueous batteries, Hydrogen evolution reaction, Solid electrolyte interphase

Aqueous electrolyte batteries are promising candidates for energy storage due to their nonflammability, environmental friendliness, and cost-effectiveness. However, their development is hindered by low energy density, primarily caused by the narrow electrochemical stability window of water and electrode materials with low capacity. To address this, metal anodes with high specific capacity offer excellent prospects, but they often face challenges with stability and activity, particularly due to dendrite growth and undesirable side reactions in water-based electrolytes. Among these, the hydrogen evolution reaction (HER) is a significant side reaction that poses a major challenge. Although water-in-salt electrolytes have demonstrated enhanced electrochemical stability, increasing the voltage of aqueous batteries by lowering the anode potential remains difficult due to HER. Utilizing a solid electrolyte interphase (SEI) to suppress HER in aqueous electrolyte systems is efficient as it reduces costs by avoiding the use of high concentrate additives. In particular, previous studies experimentally demonstrated that the potential of HER increased from -1.04 V to -1.8 V in SEI rich in Li_3PO_4 compared to Ag/AgCl, effectively suppressing HER and improving the stability of metal cathodes in aqueous environments to improve the performance of aqueous electrolyte batteries. Based on this result, this research theoretically focused on the mechanism for suppressing HER and improving the overall performance of aqueous electrolyte battery. This approach offers a cost-effective and efficient solution, providing a pathway for the advancement of aqueous metal batteries without the need for costly additives.

[P2-29]

미세조직 기반 변형 모델을 이용한 중성자 조사 환경 하 원자로 내부 구조물 재료의 결정립 경계 균열 거동 모사 : 안동현*, 김종

민, 김지수 (한국원자력연구원)
Keywords: 원자로 내부 구조물, 결정소성, 미세조직, 중성자 조사, 초기 손상

본 연구는 강화된 원자력 안전 규제 하에서 중성자 복합하중 환경에 노출된 원자로 내부 구조물의 건전성 평가 체계 구축을 목표로, 스테인리스강의 중성자 조사에 의한 경년 열화 현상을 정량적으로 예측하기 위해 결정소성유한요소법 기반의 초기 손상 모델을 개발하였다. 중성자 조사는 스테인리스강의 강도 증가와 연성 감소를 유발하며, 미세조직적으로는 결정립 경계를 중심으로 초기 균열을 발생시킨다. 전위 루프 생성 및 소멸에 따른 강도 변화와 변형률 집중에 의한 재료 파괴 현상을 고려하여 초기 균열 발생 메커니즘을 모델링하였다. 미세조직 형상 모델에 상기 재료 거동을 반영하여 조사 시편의 초기 균열 손상을 모사한 결과, 중성자 조사에 의해 결정립 경계와 내부 영역 간의 파손 거동 차이가 발생하는 것을 확인하였다. 본 연구 결과는 향후 부품 규모의 조사재 손상 모델 개발을 위한 기반을 마련하며, 원자력 발전소 구조물의 안전성 평가에 기여할 것으로 기대된다.

P3 : 타이타늄
Room 2층 로비, 10월 28일

[P3-1]
Ti-15Zr 상용화 연구 : 남연우, 고성철 (한국재료연구원, 부산대학교), 심재원, 박찬희 (한국재료연구원), 이제인* (부산대학교), 이상원* (한국재료연구원)
Keywords: 타이타늄, Ti-Zr합금, 생체재료, 임플란트
기존의 임플란트 소재로는 순수 타이타늄(grade 4)과 Ti-6Al-4V가 널리 사용되고 있다. 하지만 Grade 4는 강도가 낮아 강제적 파절에 대한 위험성이 높고 Ti-6Al-4V는 합금원소의 영향으로 생체 적합성이 떨어지기 때문에 새로운 생체재료의 개발이 요구된다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 스트라우만(Straumann)이 독자적으로 개발하여 임플란트 재료로 사용하고 있는 록솔리드(Roxolid)는 85%의 타이타늄과 15%의 지르코늄으로 구성된 합금으로, 최대 인장 강도 900-1000 MPa에 달하는 높은 기계적 특성을 가지며 높은 생체 적합성을 나타낸다. 본 연구에서는 유도 스컬 용해법(Induction Skull Melting, ISM)을 사용하여 Ti-15Zr 합금을 제조하고 결정립 미세화를 위하여 베타 단조를 실시한 후, 다양한 온도 범위에서 열간 압연 및 후열처리를 진행하였다. EBSD를 통하여 미세조직과 해당 상(Phase)을 관찰하였으며, 상온 인장 거동을 평가하여 기계적 특성을 분석하였다. 연구 결과, Ti-15Zr의 합금은 록솔리드의 인장강도에 상응하는 높은 기계적 특성을 보였다. 이에 따라 임플란트 소재의 수입 의존도를 줄이고 내수시장에서의 경쟁력을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

[P3-2]
Wrought Ti-6Al-4V 합금의 레이저 용접: 레이저를 이용한 표면 국부 열처리와 Furnace를 이용한 전 영역 열처리의 기계적 물성 변화 비교 연구 : 김민재, 서성지 (한국생산기술연구원, 한양대학교), 한정호 (한양대학교), 박지용* (한국생산기술연구원, 과학기술연합대학원대학교)
Keywords: Ti-6Al-4V합금, 레이저 용접, 열처리, 경도, 잔류응력
Ti-6Al-4V 합금은 고강도, 우수한 내부식성, 낮은 밀도를 가져 항공, 해양 및 의료 산업에 널리 사용되는 소재이다. 이러한 Ti-6Al-4V 합금은 항공, 해양 산업 등에 사용되므로 복잡하고 큰 부품을 주로 요구하지만, 복잡하고 큰 재료를 실제로 제작하는 것은 높은 비용이 요구되어 가격 면에서 효율적이지 못하다. 이러한 이유로 용접을 통해 복잡하고 큰 재료를 만드는데, 깊고 빠르게 용접을 할 수 있다는 장점이 있는 레이저를 이용한 용접은 Ti-6Al-4V 합금에서 자주 사용되는 용접 방법이다. 하지만 레이저를 이용한 용접 시 국부 가열로 인한 급냉으로 인해 잔류응력 및 뒤틀림이 발생하는데 이로 인해 기계적 물성의 저하가 일어나고 이러한 기계적 물성의 저하를 해결하기 위해 열처리가 사용된다. 본 연구에서는 레이저를 통한 국부 열처리와 Furnace를 이용한 전 영역 열처리를 통해 열처리를 진행하였고, 이에 따른 잔류응력 변화를 XRD를 통해 측정하였다. 추가적으로 열처리에 따른 경도값의 변화를 확인하기 위해, 용접부 깊이에 따른 경도값 변화를 Vickers Hardness Test를 통해 측정하였다.

[P3-3]
생체용 Ti-Zr 기 합금에서의 형상기억특성 : 이혜미, 최희은, 김재일* (동아대학교)
Keywords: 형상기억합금, β형 Ti-based 합금, 생체재료
Ti-Ni 기 형상기억합금은 교정용 와이어, 심혈관 스텐트와 같은 생체용 합금으로 활용되어 왔다. 하지만 단원소 Ni의 생체독성으로 인해 생체용으로 적합하지 않아 Ni-free Ti 기 형상기억합금의 개발이 필수적이다. 특히 Zr은 생체적합성이 우수하고 변태변형률 향상에도 효과적이기 때문에 Ti-Nb-Zr 3원계 합금에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 하지만 Ti-Ni 기 형상기억합금 대비 여전히 낮은 슬립임계응력 및 변태변형률을 나타낸다. Ti-Nb-Zr 합금에 Mo 첨가 시 고용강화효과와 변태변형률 증가를 통한 단점 보완이 가능하나, 다량 첨가 시 응력 히스테리시스가 증가하는 문제가 있다. Sn 첨가 시 변태변형률 증가와 더불어 응력 히스테리시스가 감소한다고 보고되었다. 선행연구에서는 우수한 형상기억효과를 위해 Ti-6Nb-xZr-Mo-Sn (at%) 합금을 설계하였다. X=26~30에서 30Zr의 합금에서 최대 초탄성 회복변형률과 변태변형률을 나타냈고 이는 Zr의 함량 증가가 변태변형률을 증가시킨 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 선행 연구보다 고 Zr 조성에서 기계적 특성 및 형상기억특성을 조사하였다. 진공 아크 용해로를 통하여 Ti-Zr-Nb-Mo-Sn 합금을 용해하였고 최종 두께 0.4±0.02 mm로 냉간압연 후 방전가공을 통해 시편을 커팅하였다. Ar 분위기에서 진공 봉입 후 다양한 온도에서 열처리 진행 후 퀜칭하였고, 합금의 형상기억합금특성 및 초탄성 특성을 조사하기 위하여 파단 시험과 사이클 시험 등 인장실험을 수행하였다

[P3-4]
(Ni+Cu)-rich Ti-(36,37,38)Ni-15Cu 합금의 용체화처리 및 시효처리에 따른 기계적 특성에 미치는 영향 : 김기성, 남태현*, 류연주 (경상국립대학교)
Keywords: Ti-Ni-Cu, 시효처리, 기계적 특성
Ti-Ni-Cu 합금은 우수한 형상기억효과 및 초탄성을 가지는 합금으로 첨가되는 Cu의 함량에 따라 다른 마르텐사이트 상변태 거동을 보인다.합금은 Cu의 함량을 10 at.% 이상 첨가할 경우 B2-B19의 상변태 거동을 보인다고 알려져있다. 또한 B2- B19상변태의 경우 B2-B19' 상변태에 비해 히스테리시스가 작다는 특징이 있어 액츄에이터로 산업적으로 쓰이고 있다. 우수한 형상기억효과 및

초탄성 특성을 얻기 위해서는 마르텐사이트 변태 시 소성변형이 일어나지 않도록 슬립임계응력을 높여야한다. 슬립임계응력을 높이기 위한 방법으로는 가공열처리를 통한 가공경화나 시효처리를 통한 석출강화가 있다. 하지만 Cu 함량이 높은 Ti-Ni-Cu 합금에서는 냉간가공 하기에 취성의 특성을 가져 가공경화가 되지 않을뿐만 아니라 Ti3Ni4 type의 석출물이 생성되지 않아 석출강화 효과를 기대할 수 없다. 하지만 최근 선행연구에 따르면 Cu의 함량이 높은 (Ni+Cu)-rich Ti-35.5Ni-15Cu 합금에서 연성의 Ti(Ni,Cu)2상이 생성됨 을 보고하였으며, 이 상을 이용해 변태온도를 낮추거나 변태 히스테리시스를 증가 시키는것 없이 가공성이 향상되었다. 또한 적절한 시효처리 시 C11b-type 의 미세한 Ti(Ni,Cu)2 석출물에 의한 석출강화효과로 초탄성 특성이 향상됨을 보고하였다. 즉 Ti3Ni4 type 의 석출물뿐만 (Ni+Cu)-rich Ti-Ni-Cu 합금에서 Ti(Ni,Cu)2에 의한 초탄성 향상이 가능하다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Ni 함량을 증가시켜 Ti(Ni,Cu)2상 상의 양을 조정하여 용체화처리 시 연성의 Ti(Ni,Cu)2상을 통해 가공성을 얻고, 시효처리를 통한 석출강화를 이용하여 초탄성을 향상시켜 가공성과 초탄성을 모두 충족시키는 것이 목적이다.

[P3-5]

스퍼터링 방식을 이용한 티타늄 기판에서의 구조색 연구 : 정지윤, 송용원*, 이윤서, 이찬후, 심초은 (한국공학대학교)

Keywords: 티타늄, 스퍼터링, 다층박막, 티타늄화합물

최근 티타늄은 웨어러블 기기, 스마트폰과 같은 모바일 기기에 다양하게 적용되는 추세이며 시장의 관심도가 매우 높다. 또한 제품선택 요소 중 감성 디자인이 중시되고 있는 시장의 특성상 기술적 특성뿐만 아니라 질감이나 다양한 색상에 관한 연구도 요구되고 있다. 기존의 색상을 구현하는 방법으로는 화학색이 있으나, 이는 금속 고유의 질감을 표현할 수 없고 고온 환경이나 자외선에 노출되면 쉽게 변색된다는 단점이 있다. 본 연구에서는 화학색의 단점을 극복할 방안으로 재료의 표면구조를 변화시켜 색을 구현할 수 있는 구조색에 관한 연구를 진행하였다. 구조색 구현을 위한 연구를 위해 Grade 2의 티타늄 기판 위에 Reactive Magnetron Sputtering을 이용해 2개 층의 티타늄 화합물 Multi-Layered-Structure 박막을 증착했다. 다층 박막을 투과한 빛은 각 층의 두께에 따른 경로 차이에 의해 간섭현상이 일어나 합성된 빛이 최종적으로 눈에 들어오게 된다. 본 연구를 통해 스퍼터링 공정 변수를 제어하여 박막의 두께 변화로 야기되는 간섭효과를 통해 색 변화의 경향성을 확인하였다. 최종적으로 소재의 부식 및 마모를 방지하여 코팅산업의 생선 효율성을 높일 수 있을 것으로 기대되며 티타늄 소재의 다양한 색상 선택지를 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

[P3-6]

Ti-8Mo 합금의 기계적특성에 미치는 산소함량의 영향 : 고성철, 남연우 (한국재료연구원, 부산대학교), 심재원 (한국재료연구원), 최윤석* (부산대학교), 이상원* (한국재료연구원)

Keywords: Ti-Mo 합금, 인장 시험, 마르텐사이트 변태

Ti-Mo 합금은 우수한 생체 적합성, 부식 저항성, 높은 연성 및 낮은 탄성계수를 지니고 있어 의료용 재료로서 높은 연구 가치를 가지고 있다. 이 합금은 변형 쌍정(Deformation Twinning), 마르텐사이트 변태(Martenstie transformation), 재배열(Reorientation)과 같은 복합적인 변형 메커니즘을 나타내어 우수한 연신율과 낮은 탄성계수 특성을 가진다. 그러나 Ti-Mo 합금은 상대적으로 낮은 강도를 가지고 있어, 응용 범위에 한계가 있을 수 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 산소 함량의 증가가 강도를 향상하는 데 기여할 수 있다. 본 연구는 Ti-8Mo 합금의 기계적 특성과 변형 메커니즘에 산소 함량이 미치는 영향을 조사하였다. Ex-situ 인장 시험을 수행하였으며, 후방산란전자회절(EBSD)을 통해 변형 메커니즘을 분석하였다.

[P3-7]

Investigation of anisotropy behaviour in lamellar structure of pure titanium : HaSeong Baek, Jeong-Rim Lee (Dept of Mechanical Engineering, Incheon National University), Yong-Taek Hyun (Metallic Materials Division, Korea Institute of Materials Science, Changwon, 51508, Republic of Kor), and Tea-Sung Jun* (Dept of Mechanical Engineering, Incheon National University)

Keywords: Pure titanium, Tensile behaviour, Lamellar structure, Anisotropy

Due to their excellent corrosion resistance, decent biocompatibility, and high specific strength, titanium and it alloys have been used in a variety of applications such as biomedical, aerospace, automotive industries. Pure titanium typically shows strong anisotropy and insufficient strength unlike Ti alloys in applications so that various methods (e.g., cold rolling, severe plastic deformation (SPD)) have been studied to enhance their strength or to reduce their anisotropy. However, most studies have focused on titanium alloy for processing or heat treatment in order to increase strength or reduce anisotropy. In this study, we aim to investigate pure titanium with a lamellar structure that exhibits high strength but low ductility, and to enhance its mechanical properties and reduce anisotropy through heat treatment. Uniaxial tensile tests were conducted along with RD and TD directions with digital image correlation method to get precise strain data and analyse global strain distribution map. Electron backscatter diffraction was used to characterise the microstructure of initial and deformed specimens. It was found that the equiaxed structure showed a good ductility but low strength while lamellar structure produced by only water quenching presented a good strength but very low ductility in both the RD and TD specimens, which were analogous to other studies [1,2]. Tempering was performed on a quenched specimen, showing that the strength of the specimen slightly decreased, but the ductility greatly increased by about 10~13% compared to the only water-quenched sample. These findings indicate that optimizing the lamellar structure of pure titanium through heat treatment can enhance its strength while reducing anisotropy.

[P3-8]

Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn 합금의 인장 및 충격 특성에 대한 시효 처리의 영향 : 황정우 (한국재료연구원, 창원대학교), 김재호, 양준

하 (한국재료연구원), 정영웅 (창원대학교), 엄종택* (한국재료연구원)
Keywords: 준안정 베타 타이타늄, 시효처리, 인장 특성, 충격 특성

널리 활용되는 준안정 베타 타이타늄 합금 중 하나인 Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn 합금은 우수한 기계적 특성 및 가공성 그리고 내식성으로 인해 우주·항공 산업에 주로 사용되고 있다. 하지만, 준안정 베타 타이타늄 합금의 기계적 특성은 열처리 및 시효 처리에 의해 크게 영향을 받기 때문에 실제 산업에서의 활용을 위해서는 열처리 및 시효 처리가 필수적으로 요구된다. 현재까지 대부분의 준안정 베타 타이타늄 합금 연구는 대부분 열처리 및 시효 처리 조건에 따른 인장 특성 변화에 관한 연구들만 진행되었다. 본 연구에서는 Solution Treatment (ST) 및 Single Aging (SA) 뿐만 아니라 Pre-aging이 미세조직 및 기계적 특성 변화에 어떤 영향을 미치는지 연구하기 위해 Duplex Aging (DA)도 진행되었다. 시효 처리 조건에 따른 정적 특성인 인장 특성뿐만 아니라 고속 변형 환경 하에서의 평가를 위해 Charpy 충격 인성 시험을 통한 동적 특성도 평가하였다. 인장 및 Charpy 충격 인성 시험 후 파면 및 파단면 균열 전파 경로 분석을 통해 시효 처리 조건에 따른 미세조직 변화가 기계적 특성에 미치는 영향 분석 및 그에 따른 파괴기구 규명의 연구를 수행하였다.

[P3-9] Canceled

타이타늄 스크랩 재활용을 위한 표면 세정 기술 개발 : 안성민 (국립한밭대학교), 박찬희 (한국재료연구원), 김정한* (국립한밭대학교)
Keywords: Titanium, Scrap, Recycling, Ultrasonic cleaning

타이타늄은 높은 강도를 자랑하고 강철보다 가벼운 밀도로 뛰어난 물성을 자랑한다. 내식성 및 생체 적합성도 뛰어나기 때문에 항공우주, 군사, 해양, 화학, 의료 등 다양한 분야에서 중요한 소재로 사용이 되고 있다. 이처럼 타이타늄에는 수 많은 장점이 존재하지만 가공시 수많은 스크랩을 발생시켜 손실율이 크다. 하지만 현재 국내에서 발생하는 스크랩의 대부분을 저가에 외국으로 수출하고 있는 상황이다. 이러한 상황을 해결하기 위해서는 스크랩 표면에 묻어있는 윤활유와 오염물질을 효과적으로 제거하는 기술 개발이 요구된다. 실험시 스크랩은 실공정 중 발생한 타이타늄 grade 2 스크랩을 사용하였고, 세척액의 경우 아세톤, 수산화나트륨 등 다양한 탈지액과 불산-질산 혼합 산성용액을 이용하였다. 세척액의 종류, 농도, 세척 시간 등의 공정변수를 제어하며 실험을 진행하였고, 초음파 세척시 주파수에 차이를 두어 실험을 하였다. 세척된 스크랩의 물성을 분석하기 위해 CS 분석 및 ONH 분석을 진행하였으며, 표면의 상태를 보다 정확히 파악하기 위해 XPS 분석을 진행하였다. 또한 잔류 유기물의 잔재량을 비교하기 위해 TGA 분석을 시행하였다. 최적화된 공정을 통해 세척된 스크랩을 분석한 결과 공정 변수에 따라 잔존 유기물 함량을 유의미하게 감소시킬 수 있었다.

[P3-10]

Wire Laser Additive Manufacturing 공정으로 제조된 Ti-6Al-4V 적층재의 용접부 신뢰성 연구 : 심영래 (동아대학교, 한국재료연구원 극한재료연구소), 김종근 (동아대학교, 케이피 항공산업(주)), 윤승욱, 유운용 (케이피 항공산업(주)), 이협, 어두림, 윤종천 (한국생산기술연구원 3D프린팅제조혁신센터), 신선미 (한국생산기술연구원 울산기술실용화본부), 정중은 (한국재료연구원 극한재료연구소), 전종배* (동아대학교)
Keywords: Ti-6Al-4V, WLAM, additive manufacturing, TIG, fusion zone

Ti-6Al-4V (Ti64) 합금은 티타늄 합금 시장의 약 50%를 차지하며, 높은 강도와 우수한 피로도, 내식성 및 극저온 특성으로 우주항공 산업에 광범위하게 적용되는 합금이다. 최근 우주발사체 분야의 중요한 목표는 발사 비용을 최대한 낮추며, buy to fly (BTF) ratio를 1에 근사하게 맞추는 것으로 이를 위한 핵심기술로 wire laser additive manufacturing (WLAM) 기술이 주목받고 있다. WLAM 기술을 이용하여 우주 발사체에 탑재되는 가스 봄베, 탱크 등에 사용되는 Ti64재를 직접 적층하면 Ti64 소재의 소재비 및 난삭성에 의한 높은 가공비 등의 절감효과가 발생될 것으로 기대된다. AM 공정으로 우주 발사체에 탑재되는 구형의 가스 봄베, 탱크 등을 제조하면 내부의 표면을 가공하는 과정이나 열처리를 하는데 있어 어려움이 있을 수 있다. 따라서 같은 공정 조건으로 2개의 반구 형태로 적층하여 후가공 및 열처리 후 용접을 통해 완제품을 제조하는 것이 효율적이다. 이러한 이유로 WLAM을 이용하여 Ti64재를 적층 시, 적층재 및 용접부의 신뢰성은 적층 부품의 안정성 측면에서 매우 중요하다. 현재까지의 연구를 통해 최적화된 wire feeding 기반의 공정으로 제조된 적층재의 결함, 미세조직, 기계적 특성은 일반적인 주조재, 단조재에 대비하여 동등 이상의 우수한 특성이 보고되었다. 기계적 특성을 저하시키는 적층 결함은 공정 최적화가 불충분한 경우, 표면 결함인 spatter, humping, 내부 결함에는 lack of fusion (LOF), 기공 등이 검출되었고, 미세조직은 열 이력에 따라 다양하게 발현되는데, 주요 미세조직으로는 α colony 구조, basket weave 구조, martensite 등이 있다. 일반적으로 적층재는 주조재, 단조재에 비해 냉각속도가 빠르기 때문에 결정립의 크기가 미세하여 더 우수한 항복강도, 인장강도를 갖는 반면 prior β grain boundary의 성장 방향에 따른 기계적 이방성이 나타나는 특징이 있다고 알려져 있다. 현재까지 Ti64 단조재의 경우, tungsten inert gas (TIG), laser, E-beam 등의 용접 연구, powder bed fusion (PBF) 공정으로 제조된 모재를 laser를 이용하여 용접한 연구도 보고되었지만 WLAM 공정으로 제조된 적층재의 TIG 용접 연구에 관한 기존 보고 사례는 전무하다. 이에 본 연구에서는 WLAM 공정으로 제조된 모재에 TIG 용접을 수행하고 적층재 및 용접부의 특성에 대해 신뢰성 평가를 수행하였다. 이를 위해 WLAM 공정으로 제조된 적층재 및 용접부의 미세조직, 상온 인장 특성 및 내부 결함에 대해 분석하였으며 열원에 따른 냉각속도 차이가 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 영향에 대해 고찰하였다.

[P3-11]

Ti-2Al-9.2Mo-2Fe 합금의 석출상 제어에 따른 고주기 피로 특성 분석 : 신수홍, 이승우, 이동근* (국립순천대학교)
Keywords: beta titanium, phase transformation, ω phase, high cycle fatigue test

현재 지구온난화로 인해 탄소중립은 전 세계적인 핵심 과제로 대두되고 있으며, 자동차 산업 분야에서 탄소 배출 감축을 목표로 하고 있다. 이에 온실가스 배출 감축 및 연비 개선 등을 위한 차량 부품 경량화 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 이 중 베타 타이타늄 합금은 낮은 탄성계수와 내식성 등이 우수하여 차량 부품 경량화 소재로서 이상적인 재료이다. Ti-2Al-9.2Mo-2Fe (2A2F) 합금은 자동차 스프링과 같은 차량 재료로 활용하기 위해 개발된 LCB (Low Cost Beta) 타이타늄 합금으로 현재 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 스프링의 경우 지속적인 반복 하중으로 인해 피로 파절 발생이 우려되어 고주기 피로 특성은 가장 중요한 요소 중 하나이다. 따라서 본 연구에서는 Ti-2Al-9.2Mo-2Fe (2A2F) 합금을 시효처리한 후 고주기 피로 특성을 평가하였다. 450 ℃, 500 ℃, 550 ℃ 시효 온도에서 각각 4 h 동안 유지시켜 시효처리를 수행하였고, 기계적 특성을 평가하기 위해 비커스 경도, 상온 인장시험, 회전 굽힘 피로시험을 진행하였다. 시효처리 후 다양한 석출물 (α 상, ω 상)의 분포, 크기 및 상분율 등과 같은 미세조직 변화를 나타내었으며, 이에 상이한 고주기 피로 특성이 나타났다.

[P3-12]

Investigation of Deoxygenation of Off-Grade Titanium Using Magnesiothermic Reduction in a Hydrogen Atmosphere : JASR Silva, So-Yeong Lee, and Ho-Sang Sohn* (Kyungpook National University)

Keywords: titanium, deoxygenation, magnesiothermic, hydrogen, thermodynamic

Deoxygenation of off-grade titanium is crucial in the titanium industry due to the destructive effects of high oxygen content on the material's mechanical properties. This research investigates deoxygenation approach using magnesiothermic reduction in a hydrogen atmosphere, aiming to reduce the oxygen concentration in titanium. Achieving this reduction would enable the use of off-grade titanium in high-value titanium alloys, improving the commercial profitability of titanium production. Experiments were conducted using off-grade titanium sponge (Ti) with magnesium (Mg) as the reducing agent, at temperatures ranging from 600-800°C. The reactions occurred under varying atmospheres of argon (Ar) and hydrogen (H_2), with different reaction times to assess their impact on oxygen removal. The study also explored the effect of adding yttrium chloride (YCl_3) in varying mole ratios (0.1, 0.2, and 0.3) combined with magnesium chloride ($MgCl_2$) under 0.5 atm hydrogen partial pressure with argon. The results showed that increasing hydrogen partial pressure significantly enhanced oxygen removal, with higher pressures yielding lower oxygen content. Extended reaction times further improved deoxygenation, demonstrating that both factors are critical to achieving low oxygen levels. Comparisons between hydrogen and argon atmospheres revealed that hydrogen-added conditions were markedly more effective in reducing oxygen content. The introduction of YCl_3 into the reaction presented a complex effect. While an initial increase in oxygen content was observed with a 0.1 mole fraction of YCl_3, higher concentrations led to a notable decrease in oxygen levels, especially after 12 hours under 0.5 atm hydrogen partial pressure. This suggests that YCl_3 plays a significant role in the deoxygenation process, with its effectiveness dependent on concentration and reaction conditions. In conclusion, magnesiothermic reduction in a hydrogen atmosphere, addition with YCl_3, offers a promising approach to achieving low oxygen content in off-grade titanium.

[P3-13]

Shot Peening 후 질화처리가 Ti-12.1Mo-1Fe 합금의 마모 특성에 미치는 영향 : 이승우, 박세영, 신수홍, 정영훈, 이동근* (국립순천대학교)

Keywords: Metastable β-titanium alloy, shot peening, nitriding, wear properties

타이타늄 합금은 높은 비강도와 비피로강도를 가져 자동차 구조물 등에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 타이타늄 합금은 내마모성이 떨어져 이를 개선하기 위해 표면에 압축잔류응력을 부여하는 숏피닝 등의 표면처리법이 적용되고 있다. 또한, 숏피닝 전처리 후 질화처리 시 미세한 결정구조로 질소 원자의 확산을 위한 더 많은 사이트를 제공하고, 더 깊은 질소 확산 영역이 형성된다고 알려져 있다. 이에 본 연구에서는 값싼 합금원소인 Mo, Fe의 첨가로 가격경쟁력이 우수한 준안정 β Ti-12.1Mo-1Fe 합금을 이용하여 숏피닝 전처리에 따른 질화처리 우수성과 마모 특성을 조사하였다. 진공 분위기에서 0.6 MPa로 50 μm의 AHSS ball을 사용하여 표면을 2 min동안 숏피닝 처리하였으며, 이후 750 ℃에서 4 hr동안 순수 질소 가스 분위기에서 질화처리를 수행하였다. As-recived, 숏피닝, 질화처리, 숏피닝 후 질화처리로 총 4가지 조건의 미세조직을 관찰하였으며, ball-on-disc 시험을 수행하여 각 조건의 마모 특성을 조사하였다. 숏피닝 전처리가 준안정 β 타이타늄 합금 표면의 평균 결정립 크기를 감소시키고, 질소 원자의 확산 깊이를 증가시킴을 확인하였다.

[P3-14]

타이타늄 합금의 수소취성 분석 : 서재완, 권교민 (한국공학대학교), 김혜진 (현대제철), 이동근 (순천대학교), 이승준* (한국공학대학교)

Keywords: Ti alloy, Hydrogen embrittlement

본 연구에서는 합금 조성이 다른 Ti-6Al-4V와 Ti-12.1Mo-1Fe의 수소취성을 연구하였다. 이를 연구하기 위해 b-Transus가 다른 두 합금의 열연 판재를 800 ℃에서 1 시간 어닐링을 진행하였고 상온에서 전기화학적 수소주입을 진행한 후 Slow strain rate tensile test (SSRT)를 이용해 기계적 특성 및 수소취성 저항성을 비교하였다. Silver (Ag) decoration 실험을 통해 수소 확산거동을 확인하였으며, 주사전자 현미경 (SEM-EBSD)를 통해 두 합금의 미세조직적 차이를 확인하고 파단면 및 수소 유기 크랙 관찰을 통해 미세조직과 상관관계를 분석하여 수소취성 저항성이 달라진 원인을 밝혀내고자 한다.

[P3-15]

Ti 금속 - WC 분말 간 자발 반응을 이용한 Ti-TiC 복합재료 제조 : 김태윤 (부산대학교), 김재혁 (한국재료연구원), 이제인* (부산대학교)

Keywords: Arc-plasma melting, Titanium, Titanium carbide, compressive test

타이타늄 합금은 높은 비강도와 우수한 내식성을 보인다는 점에서 항공우주, 해양, 에너지 산업으로부터 차세대 구조재료로 주목받고 있다. 하지만 철, 니켈기 합금에 비해 타이타늄 합금은 고온 기계적 특성 및 상 안정성이 상대적으로 낮으므로, 이를 극복하기 위해 타이타늄 기지 복합재료를 활용하는 방안이 대두되고 있다. 일반적으로 핫프레싱 또는 방전플라즈마 소결법과 같은 분말야금 방식을 통해 타이타늄 기지 복합재료가 제조되고 있지만, 이는 기지-강화재 간의 낮은 젖음성으로 인해 계면 결합력이 약하고 강화재의 응집성이 커짐으로써 재료의 기계적 특성이 저하되는 결과를 유발하는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 랩스케일 플라즈마 아크용해 장비를 이용하여 WC분말과 순수 타이타늄을 용해함으로써, 용탕-입자 간 자발적인 반응을 통해 WC보다 열역학적으로 안정한 TiC 강화상을 갖는 타이타늄 기지 복합재료를 제조하였다. 금속 펠렛과 강화재 분말의 혼합과정을 최적화함으로써 최대 65 vol.%의 강화상 분율을 갖는 Ti(W)-TiC 복합재료를 얻는 것이 가능하였다. 강화재 분율이 증가함에 따라 경도와 압축강도가 대체로 증가하는 경향이 나타났으며, Ti 기지가 hcp에서 bcc로 전이됨에 따라 압축 거동이 달라지는 결과를 확인하였다. 압축실험 전/후 복합재료 시편의 미세조직 분석을 통해 기지 내 TiC 강화상이 기계적 특성에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다.

[P3-16]

낮은 탄성계수를 가지는 Ti-(14-2x)Nb-(6+x)Sn (x = 0.5, 1, 1.5) (at.%) 합금 설계 : 구태균, 김수영, 민건기, 남태현* (경상국립대학교)

Keywords: 생체재료, 타이타늄, 탄성계수, Ni-free, Texture

TiNi 합금은 우수한 형상기억효과와 초탄성으로 생체재료 분야에서 널리 사용되고 있지만, 체내 삽입 시 Ni 이온 용출로 인한 알레르기 및 염증 반응과 합금과 뼈 사이의 탄성계수 차이로 인한 응력 차폐 효과가 나타나는 등 생체재료로서의 한계가 존재한다. 이를 해결하기 위해 Ni-free β Ti 합금이 연구 되었고 그 중 Ti-Nb 합금은 상온에서 초탄성과 형상기억특성을 보인다고 보고되었다. 해당 합금에 Sn 첨가 시 Ms 감소와 ω 상 억제 효과가 있다고 보고되었고, 해당 인자들은 탄성계수에 영향을 미치는 인자들이기 때문에 Ti-Nb-Sn 합금계를 선택하여 낮은 탄성계수를 가지는 합금을 설계하기로 하였다. Ti-Nb-Sn 합금계에서 각 원소의 함량을 바꾸어 탄성계수를 조사한 보고에 따르면 Ti-15Nb-xSn 합금계에서는 Ti-15Nb-5.5Sn 합금의 탄성계수가 32.2 GPa로 가장 낮았고, Ti-xNb-8Sn 합금계에서는 Ti-11Nb-8Sn이 26.1 GPa로 가장 낮았다고 보고되었다. 따라서 해당 합금들의 조성 사이에 이보다 더 낮은 탄성계수를 가지는 합금이 있을 것이라 예상하였고, Ti-(14-2x)Nb-(6+x)Sn (x=0.5, 1, 1.5) 합금을 설계하여 초탄성 및 탄성계수를 조사하고, 낮은 탄성계수를 가지는 다양한 원인을 조사하였다. XRD 시험 결과 3개의 합금 모두 단일 β 상이었으며 재결정 texture와 e/a ratio 모두 탄성계수에 강한 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 재결정 texture 중 γ-fiber texture가 형성된 합금의 탄성계수는 형성되지 않은 합금보다 높았다. 세 합금의 탄성계수는 29.6 GPa, 35.5 GPa, 47.4 GPa로 뼈의 탄성계수와 유사하였고, Ti-13Nb-6.5Sn 합금의 탄성계수가 가장 낮았다.

[P3-17]

Ti scrap을 활용한 FeTi 잉곳 제조 기술 개발 : 유혜연, 유연정, 김연지, 노윤경, 이초롱* ((주)동아특수금속)

Keywords: Ti scrap, Ti cobble, Pretreatment, Recycling, Ferro titanium

FeTi는 Ti이 약 35~75wt.% 함유된 합금철로 산소 및 질소와의 반응성이 높아 철강을 생산하는 제강 공정 중 산화물을 제거하는 용도로 주로 활용된다. 이러한 FeTi는 정광을 환원하거나 Fe, Ti 각 원소재를 용해하여 합금화 하는 두 공정으로 제조된다. 전자의 공정은 Ti의 적은 매장량과 복잡한 환원공정으로 인한 경제적인 부분과 결속되므로 일반적으로 후자의 공정을 적용하여 FeTi을 생산하고 있는 실정이다. 또한, 다양한 산업군에 사용되는 Ti의 수요가 급증함에 따라 공급 불안정, 단가 상승 등의 문제로 원소재를 Scrap으로 대체하고 있으며, 가격 경쟁력을 확보하기 위해 Ti scrap의 비율을 기존보다 높여가는 추세이다. 그러나 국내에서는 반응성이 높아 다루기 어려운 Ti scrap의 전처리 및 용해 기술이 부족하여 FeTi를 전량 수입에 의존하고 있다. 따라서 수입의존도를 낮추고 안정적인 소재 확보를 위한 Ti scrap의 전처리 및 FeTi 제조기술 개발이 필요하다. 본 연구에서는 Ti sponge와 scrap을 각각 활용하여 제조된 FeTi 잉곳의 성분을 비교 분석한 후 Ti sponge의 대체 소재로써 활용할 수 있는 가능성을 검토하였다. Ti scrap은 전처리 공정을 통해 표면 불순물을 제거한 후 Cobble*로 제조하고 주조 시 충진율을 개선하기 위해 Puck**으로 압축하여 사용하였다. 단가가 높은 원소재를 활용한 잉곳을 제작하기 전에 반응성 확인을 위해 대기분위기에서 용해 후 산소와 질소를 분석한 결과 원소재 대비 크게 증가함을 확인하였다. 이러한 결과를 토대로 진공 분위기에서 FeTi 잉곳을 용해하였으며 변수는 소재로 설정하였다. 제작된 잉곳은 주요 성분과 가스불순물을 분석하여 'ASTM A324' 규격에 부합한지 비교하고, 최종적으로 scrap을 활용한 약 1 ton급의 FeTi 양산용 잉곳 생산 가능성을 확인하였다. * Cobble: scrap을 파쇄하여 직경 20mm 내외의 자갈 형상으로 제조한 제품 ** Puck: cobble을 직경 50mm, 높이 20mm 내외의 원기둥 형태로 압축한 제품

[P3-18]

전자빔 용해 공정변수 제어를 통한 Ti-6Al-4V 합금 스크랩 재소재화 기술 개발 : 임연민, 천수진, 허형민 ((주)에이치브이엠), 원종우, 현용택 (한국재료연구원), 최재영* ((주)에이치브이엠)

Keywords: Ti-6Al-4V alloy, Electron beam cold hearth melting, Recycling

타이타늄 합금은 높은 비강도, 우수한 내식성 및 생체 친화력으로 항공용 소재 뿐만 아니라 의료용 재료등 다양한 산업분야에 적용이 되고 있지만, 높은 제조 비용과 제한된 자원으로 타이타늄 스크랩 재활용이 중요한 이슈로 부각되고 있다. 해외 선진사와 달리 국내의 경우 타이타늄 스크랩을 활용한 용해기술 부재로 인해 재사용 되지 못하고 전량 해외로 역수출 되어 다시 고가의 소재로 수입해야 하는 상황에 놓여 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 순수 타이타늄 및 타이타늄 합금 스크랩의 용해기술 개발이 반드시 필요한 실정이다. 전자빔을 활용한 용해공정은 고 진공 및 높은 열원으로 인해 반응성 금속 및 고융점 금속을 용해하는데 용이한

것으로 알려져 있으나, 고진공 하에서 용해를 진행하므로 증기압이 높은 Al과 같은 소재의 휘발로 인해 합금성분 제어가 어렵다는 단점을 가지고 있다. 따라서, 타이타늄 합금 스크랩의 합금성분 제어를 위한 전자빔 용해공정 변수 제어 기술개발이 반드시 필요하다. 본 연구에서는 전량 해외로 역수출 되고 있는 Ti-6Al-4V 합금 스크랩을 재소재화 하기위해 전자빔 용해 공정변수 제어 (전류, 용해시간)를 통해 300(W) × 550(L) × 40(T)의 잉곳을 제조 하였다. 전자빔 용해 전과 후의 타이타늄 합금의 주 원소 및 N/O 함량 분석을 위해 스크랩과 용해 후 잉곳의 성분 분석을 진행 하였으며, 용해공정 변수 제어를 통하여 부위별 합금성분이 잘제어된 잉곳을 제조 하였다.

[P3-19]

전자빔 용해를 활용한 고청정 니티놀 잉곳 제조 기술 개발 : 허형민, 임연민, 최재영* ((주)에이치브이엠)

Keywords: 니티놀, 전자빔, 고청정, 용해기술

니티놀(Nitinol)은 우수한 형상 기억 효과, 초탄성 및 우수한 감쇠 특성, 저주파에서 높은 작동력(actuation force)으로 인해 MEMS 분야에서 박막 증착을 위한 스퍼터링 타겟 소재로 널리 사용되고 있다. 이러한 응용 분야에서 니티놀의 성능을 극대화하기 위해서는 고청정 니티놀 잉곳의 제조가 필수적이다. 전자빔 용해 (Electron Beam cold hearth Melting, EBCHM)는 고에너지 밀도 열원을 사용하여 고융점 금속 용해 및 미량의 불순물을 효과적으로 정제할 수 있어 고순도 합금 제조에 유리하다고 알려져 있다. 본 연구에서는 전자빔 용해를 활용하여 고청정 니티놀 잉곳을 제조하는 방법을 개발하 하였다. 이를 위해 니티놀의 주요성분인 Ni과 Ti의 합금 성분을 제어하고 수율 향상시키기 위해 다양한 전자빔 출력과 용해 시간 조건을 수행하였다. 이러한 실험을 통해 고순도 니티놀 합금을 제조하기 위한 최적의 용해 조건을 도출하였다.

[P3-20]

타이타늄 합금의 마모 거동 분석 : 한지혜, 김동규 (한국공학대학교), 이동근, 신세은 (순천대학교), 이승준* (한국공학대학교)

Keywords: 타이타늄, 내마모 특성

본 연구에서는, Ti-6Al-4V 합금과 Ti-Mo-Fe계 준안정 베타 합금의 미세조직 분석과 마모 거리 증가에 따른 마모 형상, 내마모 특성 및 마모 메커니즘에 대한 연구를 진행하였다. 서로 다른 베타 변태 온도를 가지는 세 합금을 800 °C에서 어닐링 진행 후 공랭 과정을 통해 제작하였다. 합금 원소 첨가가 미세조직에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 주사전자현미경을 통해 초기 미세조직을 관찰하였다. 마모 특성 평가는 ball-on-disc로 50 N의 하중에서 마모 진행 거리 30 m 부터 800 m까지 진행하였다. 마모 시험 후, 미세조직 변화와 마모 형상 및 트랙을 주사전자현미경과 입체 레이저 현미경을 통해 분석 진행하였다. 마모 거리별 내마모 특성에 미치는 영향들의 비교를 통해 타이타늄 합금의 마모 메커니즘을 규명하고자 한다.

[P3-21]

TiAl 합금의 쉘 몰드 종류에 따른 주조 반응성 비교 : 유연정, 김연지, 유혜연, 노윤경, 이초롱* ((주)동아특수금속)

Keywords: Precision casting, ISM, Ti-4822, turbine wheel

최근 지구온난화가 심각해지며 탄소 배출량을 저감하여 온실가스 배출을 감소시키고자 하는 자동차 환경 규제가 더욱 강화되고 있다. 그로 인해 신차 개발 시 엔진 성능 향상 및 연료 소비 효율을 개선할 수 있는 다운사이징의 핵심 부품에 해당하는 터보차저(WGT, WasteGate Turbocharger)를 탑재시키고 있다. 터보차저는 연소 후 버려지는 배기가스를 활용하여 터빈을 회전시키며 엔진으로 과급 공기를 공급하는 장치로 Ni계 초내열 합금이 주로 사용되고 있었으나, 고온 강도 및 비강도가 우수한 타이타늄 합금으로 대체한다면 단점인 터보 래그 개선이 가능하다. 따라서 터보차저의 주요 부품인 터빈 휠을 고온 물성이 우수한 TiAl 합금으로 제작하고자 하였다. 본 연구에서는 반응성이 높은 타이타늄의 용해를 위해 진공 스컬 유도 용해 (Induction Skull Melting, ISM)를 활용하고, 낮은 유동성을 해결하기 위해 원심 주조 방법으로 건전한 터빈 휠 형상을 구현하고자 하였다. 공정 변수는 쉘 몰드 종류로 A, B, C 총 3가지 소재를 선정하였으며, A의 경우 몰드와의 반응으로 박육부가 제대로 구현되지 않고 표면에서 기공이 관찰되는 반면 B, C의 경우 건전한 형상이 구현되었음을 확인하였다. 육안으로 관찰되지 않는 용탕과 쉘 몰드의 반응성을 비교하기 위해 터빈 휠 단면부 조직 분석, EDS (Energy Dispersive Spectroscopy), 경도 시험 후 α-case 두께를 확인하고 TiAl 정밀주조에 가장 적합한 쉘 몰드를 확립하였다.

[P3-22]

Ti-6Al-4V 합금 팬 블레이드의 항온단조 공정 설계 : 김상훈, 이성호 (국방과학연구소), 이상원 (한국재료연구원), 조종래 (한국해양대학교), 이경훈 ((주)한밭중공업), 김동훈* (국방과학연구소)

Keywords: 터빈 엔진, 팬 블레이드, 항온단조, Ti-6Al-4V, 공정 설계

항공용 가스터빈 엔진의 팬 블레이드는 위치마다 에어포일(Airfoil)의 형상과 코드(Chord)의 길이가 다르며, 두께가 얇고 길이 방향으로 뒤틀어진 복합 형상을 갖기 때문에 기계 가공을 통한 에어포일 형상 구현 시 표면 특성 저하 및 소재 비용 상승의 문제가 있어 후가공을 최소화하는 단조 공정으로 제작하는 것이 바람직하다. 항온단조는 금형 및 성형체의 온도가 거의 동일하게 제어된 분위기에서 형상이 복잡한 단조품을 근사 정형(Near-net shape)으로 제작하는 공정으로써 단조품의 특성이 유지되고 소재 비용이 절감될 수 있다. 엔진 경량화를 위해 주로 타이타늄 합금으로 제작되는 항공용 가스터빈 엔진의 팬 블레이드를 근사 정형의 단조품으로 제작하기 위해서는 항온단조 공정 설계 연구가 필요하며, 본 연구에서는 Ti-6Al-4V 합금의 블레이드를 제작하기 위한 예비성형체 설계, 금형 설계, 그리고 항온단조 공정 조건(단조 온도 및 단조 속도)을 결정하기 위한 공정 설계를 진행하였다. 항온단조를 위한 금형, 단조품 형상을 설계하고 유한요소 해석을 통해 최적의 예비성형체 형상을 도출하였다. 설계된 형상으로 제작된 납(Pb) 예비성

형체를 이용하여 상온에서 단조 모사 시험을 진행하여 팬 블레이드 단조품의 형상 구현 정도를 확인하였다. 또한, 고온 압축 시험을 통해 Ti-6Al-4V 합금의 공정 변형 지도를 도출하고, 유한요소해석을 통해 공정 조건에 따른 온도 및 변형률 속도 변화를 반복적으로 해석하여 최적의 단조 온도 및 단조 속도를 도출하였다.

P4 : 철강-제선, 제강, 환경, 에너지
Room 2층 로비, 10월 28일

[P4-1]

고압수소 수송용 API X52강 용접부의 수소 취화 거동 : 이아영, 이홍구 (울산대학교), 조성규, 주형건 (현대제철 기술연구소), 신상용* (울산대학교)

Keywords: welded API X52 steel, microstructure, hydrogen embrittlement, slow strain rate test, small punch test

세계 각국이 순환경제의 핵심인 수소에너지 사용량 증가를 위해 고압수소 수송용 강관의 재료로 API X52강도 사용되고 있다. 고압수소 수송 파이프라인을 건설하기 위해서는 용접이 필수적이다. API X52강의 모재는 페라이트와 펄라이트로 구성되어 있고, 용접부는 모재와 달리 침상형 페라이트와 입상형 베이나이트 조직으로 구성되어 있으며, 개재물 또한 모재와 상이하다. 용접에 의한 불균일한 미세조직, 개재물과 같은 수소취화에 영향을 미치는 미세조직학적 인자들이 수소취성에 모재보다 더 복합적으로 작용하게 된다. 그러나 여전히 철강재료 용접부에서의 수소 침투 및 수소에 의한 복합적인 파괴 거동은 명확히 규명되지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 API X52강의 용접부 미세조직을 분석하고, SEM-EDS를 통해 복합적인 개재물을 분석하였으며, 질소 또는 고압 수소 분위기에서 slow strain rate tensile test와 small punch test를 실시하여 물성을 평가하였다. 이후 각 시험편의 파면을 EBSD로 분석하고 미세조직, 복합적인 개재물, 물성 및 파면 정량화 값들간의 상관관계를 조사하여 수소 수송용 API X52강 용접부의 수소취화거동을 규명하고자 하였다. 본 연구는 '현대제철'의 연구과제 및 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. (RS-2024-00406598, 2024년 산업혁신인재성장지원사업)

[P4-2]

400계 Martensite STS 연속주조 시 생성되는 slag rim 형성 메커니즘 규명 : 조선호, 윤호균 (창원대학교 신소재공학부), 문희종, 유종영 (세아창원특수강), 이재현*, 김선구* (창원대학교 신소재공학부)

Keywords: Martensite stainless steel, Continuous casting billet, Mold powder, Slag rim, Mold oscillation

마르텐사이트계 스테인리스 강은 내마모성, 내부식성이 뛰어난 강종으로 도물류, 컨테이너 등에 이용되고 있다. 그러나 이러한 강종은 Cr, C 함량이 높기 때문에 연속주조 시 crack 및 break-out이 발생하기 쉬운 강종으로 알려져 있다. 이러한 결함들의 발생요인으로는 여러 인자가 있지만, 연속주조 시 mold meniscus 영역에서 형성된 slag rim 형상과 크기는 주편/몰드의 윤활 및 열전달에 큰 영향을 미치기 때문에 주편 품질 과 생산성에 중요한 역할을 미치는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 마르텐사이트계 스테인리스 강을 연속주조로 billet 생산 시 동일한 mold powder를 적용하여도 slag rim의 크기가 다르게 형성되는 원인을 규명하였다. 정상적으로 형성된 slag rim은 slag rim 상부에서는 dendritic morphology, 중심부에서는 rhombus morphology, 하부에서는 round morphology가 관찰되었다. 이러한 morphology의 형성 mechanism을 규명하기 위해 XRD로 결정구조 분석, SEM, EDS로 phase의 조성 분석, 또한 phase의 형성 거동을 파악하기 위해 각 온도별로 mold powder 용융실험을 진행하여 결정상을 분석하였다. 분석결과를 바탕으로 규명한 정상적 크기의 slag rim 형성 및 성장은 다음과 같다. 먼저 용융 mold slag가 mold 벽면에 부착되어 slag film을 형성하고, 존재하는 용융 slag는 binder 역할을 한다. 그리고 mold oscillation으로 인해 유입되는 용융 slag가 slag film에 연이어 부착되며, 부착된 용융 slag는 결정상을 형성한다. 한편 크기가 큰 비정상의 slag rim은 정상 크기의 slag rim과는 다르게 slag film이 형성되지 않았고, 중앙부에 비정형상이 고착된 morphology가 관찰되었다. 이러한 원인은 연속주조 중 비정상적 mold oscillation, 주조온도 부적합 등으로 미용융 mold powder가 mold meniscus 영역에서 부착되어 slag rim을 형성하였기 때문이라고 사료된다.

[P4-3]

3D porous Fe_2O_3-Incorporated Basalt filter unit for Simultaneous Removal of As(III) and As(V) from Aqueous Solutions: Adsorption kinetics and mechanism : Minjung Song (Hongik Univ. in Sejong Campus, Gikkeoi Hamkke), Adam Gopal Ramu (Hongik Univ. in Sejong Campus), Deajong Yang (Gikkeoi Hamkke), and Dongjin Choi* (Hongik Univ. in Sejong Campus)

Keywords: Fe_2O_3. Basalt · As(III) and As(V) adsorption · Water remediation

Arsenic remediation from polluted water is a worldwide concern. Fe_2O_3-basalt composites were manufactured using a one-pot solvothermal process and analyzed using several methods. The composite has structural defects, stability, and continuous porosity from basalt encapsulating Fe_2O_3. At neutral pH 7, the Fe_2O_3-basalt composite adsorbs 5.39 mg/g As(III) and 5.71 mg/g As(V). Both As(III) and As(V) adsorption on Fe_2O_3-basalt matched the Langmuir model better than the Freundlich model. Its arsenic mitigation efficacy was maintained after five regeneration cycles, indicating it may be used again to remove As(III) and As(V) from neutral pH water. Sustainability trials showed that the Fe_2O_3-basalt composite could keep arsenic levels below WHO guidelines in treated water. These findings demonstrate the composite's long-term water treatment potential.

[P4-4]

고체 내화재의 회전에 따른 슬래그/용강 계면 이동 모사 연구 : 이하나 (한국공학대학교), 최병권 (현대제철), 정용석*(한국공학대학교)

Keywords: 시뮬레이션, 계면 이동, 내화재, 용강, 슬래그

철강 조업에서 세라믹 내화재는 다양한 공정에서 용기(container)로 쓰이지만, KR 공정 등에서 임펠러로 쓰이며 용강을 물리적으

로 혼합한다. 임펠러로 쓰인 내화재가 슬래그/용강 계면과 맞닿을 경우 슬래그에 의한 화학적 부식과 용강의 기계적 유동에 의한 부식이 발생된다. 선행된 연구에서는 슬래그/용강과 회전자로 이용된 내화재의 부식 반응을 보기 위해 FRT(finger rotating test)를 진행하였다. FRT 실험에서 슬래그/용강에 담긴 고체 내화재가 회전할 때 회전 속도에 따라 3상(슬래그/용강/내화재) 계면이 변화한다. 이 현상을 통해 내화재에 대한 용해도가 낮은 용강이 내화재 계면으로 상승하여 슬래그에 의한 내화재 부식을 방지 할 수 있음을 발견하였다. 이 현상을 규명하기 위해 회전속도에 따른 3상 계면의 상승을 수모델과 이에 대한 전산모사(Fluent)을 통해 해석하였다. 이를 통하여 3상 계면의 상승은 회전속도와 두 유체의 점도 차이에 의존함을 알 수 있었다. 본 연구에서 얻어진 전산모델을 적용하여 실제 슬래그/용강/내화재의 계면상승 결과를 해석하였으며 슬래그와 용강 사이의 계면 장력에 미치는 요인과 계면 장력에 의한 계면 이동효과를 고찰하였다.

[P4-5] Canceled

슬래그울 제조를 위한 슬래그 종류에 따른 용융 거동 : 나미란, 김선중*(조선대학교), 강유빈, 윤진호 (고등기술연구원 융합소재연구센터)

Keywords: Slag wool, Melting temperature, Slag

슬래그 울은 산업 부산물인 슬래그를 용융 및 섬유화하여 생산되는 단열재이다. 최근 순환 자원의 활용이 주목되는 시점에서 철강 산업 등에서 발생되는 다양한 슬래그 부산물을 사용할 필요가 있다. 이러한 다양한 슬래그 부산물을 슬래그 울 생산에 활용하기 위해서는 각 슬래그의 조성에 따른 슬래그 용융 거동을 조사할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 슬래그 울 제조를 위해 여러 슬래그들의 용융 거동을 파악하였다. 슬래그의 용융 시작 온도를 확인하기 위해 FactSage를 통해 슬래그의 용융 시작 온도를 계산하였다. 또한 각 슬래그의 TG/DTA 결과와 FactSage 결과를 기반으로 조성에 따른 슬래그 용융 거동을 파악하였다. 슬래그는 고로 슬래그, 아연 슬래그, 페로니켈 슬래그, 제강 슬래그, 몰리브덴 슬래그를 활용하였다.

[P4-6]

Fe-Mn 철강 조성에 따른 내부 결정립계 편석 및 석출상 거동 연구 : 박규민, 김세호* (고려대학교)

Keywords: 저합금강, PAGB, 원자탐침현미경

철강재의 강도를 높이기 위한 첨가재로서 탄소와 망간은 비용대비 가장 효과적으로 알려져 있으며, 특히 Fe-Mn 철강은 광범위한 조성 범위에서 다양한 분야에 활용된다. 이 같은 합금 철강재의 성능을 결정짓는 요인 가운데 재료의 결정립계 인근에 존재하는 석출물 및 미세 편석 원소가 주요하다. 본 연구에서는 Fe-Mn 철강재 중에서도 quenching 이후 200도의 낮은 온도에서 tempering을 진행한 서로 다른 조성의 low-manganese steel에 대하여, 철강재에서 오스테나이트 고온상이 급냉 후 마르텐사이트로 상변태 되기 전 형성된 prior austenite grain boundary(PAGB)에서의 입계 편석 및 석출상을 관찰하고자 하였다. 미세 편석 원소 및 석출상 관찰을 위한 고도 분석에는 원자탐침현미경(Atom Probe Tomography)을 활용, 같은 열처리 조건에서 제작한 Fe-1.0Mn, Fe-1.9Mn에 대하여 원자탐침현미경 분석을 진행, 미세조직을 관찰하였다. 이를 통해 Fe-1.9Mn 시편에 대하여 보론(B) 및 탄소(C)의 편석을 관찰할 수 있었다.

[P4-7]

함철 부산물과 Al dross간 발열 반응 거동에 대한 기초 연구 : 김윤하, 김선중*(조선대학교)

Keywords: Thermite reaction, Calorific value, mill-scale, Al dross

Al과 Fe_2O_3간 반응은 기계적, 열적 처리를 통해 발열반응이 발생한다. 발열반응시 순간적으로 극도의 고열이 발생되며 이와 같은 반응을 Thermite 반응이라고 한다. 일반적으로 테르밋 반응은 고융점 금속 산화물의 환원, 무탄소 철합금 제조, 강재용접 등에 사용한다. 본 연구에서는 밀스케일내에 함유되어 있는 철산화물과 Al dross 내에 함유되어 있는 금속성 Al간의 Thermite 반응에 따른 발열 반응에 대한 기초 연구를 진행하였다. Fe/Al의 몰혼합비에 따른 발열량을 Bomb calorimeter을 활용해 측정하였다. Mill scale 내 철산화물과 Al dross 내 금속성 Al 반응을 확인하기 위해 Fe_2O_3, FeO, Al powder를 활용하여 분석 후 비교하였다. 반응 후 회수된 샘플을 XRD, SEM-EDS 분석을 통해 상분석을 진행하였다.

[P4-8]

탄재 활용 가능성을 위한 새만금 재배 케나프의 열분해 거동 : 박민수, 김선중*(조선대학교)

Keywords: Biomass, Kenaf, Pyrolysis

지구온난화의 주된 원인은 CO_2이며 지속적으로 증가하는 추세이다. 철강 산업은 CO_2배출량이 전체의 23%정도로 온실가스 배출량이 많은 사업이다. 따라서 CO_2배출량을 줄이기 위해 새로운 대체 에너지나 연료를 개발하는 기술이 필요하다. 대체 탄소 자원으로 바이오매스가 고려되며, 그 중 케나프는 척박한 환경 조건에서 성장 속도가 매우 빠르며, 현재 새만금 간척지에서 재배되고 있다. 따라서 본 연구에서는 케나프를 일정한 온도에서 열분해 실험을 진행하였고, 얻어진 시료의 발열량, 탄소함량 등을 조사하였다. 열분해 온도는 세포벽 주성분인 헤미셀룰로오스, 셀룰로오스, 리그린이 분해되는 구간으로 나누어 573 ~ 1073 K으로 진행하였다.

[P4-9]

수소 직접환원철 (H-DRI) 생산을 위한 CH_4, CO, H_2의 열역학적 검토 : 박주호, 박원범, 위태규 (포항공과대학교 친환경소재대학원), 강윤배*(포항공과대학교 친환경소재대학원, 포항공과대학교 신소재공학과)

Keywords: 수소환원, 침탄, 가스 사용량, 에너지 사용량

최근, 기후변화 대응 수단으로써 각 산업에서 온실가스 배출 감축을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 코크스 및 미분탄을 철광

석의 환원제로 활용하는 철강 산업의 경우, 수소 (H_2)가 해당 원료의 대체재로 주목받고 있으나, H_2를 통해 철광석을 환원하여 수소 직접환원철 (H-DRI)을 생산하는 경우 침탄에 의한 직접환원철의 용융에 소모되는 에너지 감축을 기대하기 어렵다. 따라서, 메탄 (CH_4) 혹은 일산화탄소 (CO)를 철광석의 환원 및 침탄에 일부 활용하는 방안이 고려되어야 한다. 철광석 환원 및 침탄 시 가스 사용량, 에너지 사용량과 같은 공정 변수에 미치는 가스종의 영향을 검토하기 위해 FactSage를 활용하여 열역학 시뮬레이션이 수행되었다. 철광석 환원 시 CH_4-H_2, 침탄 시 CH_4-CO-H_2가 검토되었다. CH_4의 경우 환원 및 침탄 시 흡열반응이 발생함을 확인하였다. 철광석 환원 시 H_2 대비 가스 사용량이 낮은 편에 속하나, 높은 비열뿐만 아니라 흡열반응에 의해 소모되는 열에너지로 인해 전반적인 에너지 사용량이 증가함을 확인하였다. CO의 경우, 발열반응을 통해 침탄을 발생시키므로 CH_4-CO 배합 시 비교적 넓은 온도 구간에서 침탄 가스로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. H_2의 경우 CH_4 대비 상대적으로 낮은 비열과 흡열량으로 인해 에너지 사용량이 낮은 것으로 평가되었다. 그러나, CH_4-H_2를 배합하여 철광석을 침탄하는 경우, H_2는 직접적으로 침탄에 참여하지 않을 뿐만 아니라 CH_4의 분해를 통한 침탄 반응을 억제시키는 효과가 있는 것으로 확인되었다. 각 가스별 특성을 파악한 후 혼합 가스가 철광석 환원 및 침탄에 미치는 영향을 고찰하였다.

[P4-10]

친환경 가탄재 최적화를 위한 슬래그 포밍 분석 및 가스 정량화 연구 : 안효주, 박준혁, 허성준, 배영훈, 이종원, 박노근*(영남대학교신소재공학부), 강영조, 심상철 (동아대학교 공과대학), 이은진, 박미숙, 김효민 (머티리얼솔루션파크)

Keywords: 슬래그, 슬래그포밍, 가탄재, 폐플라스틱, 탄소중립

전 세계적으로 지구온난화가 심화됨에 따라, 2050년까지 탄소 중립을 달성하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 철강 산업의 경우, 전체 산업 부문에서 높은 수준의 CO_2 배출을 차지하고 있는 만큼 철강 생산 공정에서의 탄소 배출 저감이 필수적이다. 본 연구는 2050 이전 탄소 중립 목표 달성을 위한 실질적 방안으로 폐플라스틱을 활용한 친환경 가탄재를 개발하고, 실험을 통해 기존 가탄재 대체 가능성을 확인하였다. 전기로 조업에서 이용되는 가탄재는 고온에서 연소 시 다량의 CO_2를 배출하게 된다. 이를 해결하기 위한 방법으로 가탄재의 일부분을 폐플라스틱으로 대체하였으며, 배출되는 CO_2의 양을 감소시키고 무분별하게 버려지는 플라스틱을 재활용하고자 하였다. 3원계 슬래그에 가탄재와 폐플라스틱을 일정 비율 첨가하여 슬래그 포밍 효율을 관찰하고자 하였으며, 이때 정면에서 슬래그 포밍을 관찰한 후 시간에 따라 변화하는 면적값을 데이터로 도출하여 폐플라스틱 첨가 여부에 따른 슬래그 포밍 변화를 비교하였다. 폐플라스틱을 첨가하였을 때 슬래그 포밍 효율이 기존 코크스와 유사하게 나타나는 것을 실험을 통해 확인하였다. 또한 본 연구에서는 가스분석기 장비를 활용하여 슬래그 포밍 데이터와 비교하였다. 가스 분석을 통해 실험 중 생성된 CH_4, H_2, CO, CO_2 등의 가스를 실시간으로 분석하고, 반응이 진행됨에 따라 내부에서 발생하는 메커니즘을 유추할 수 있었다. 폐플라스틱 내 C와 H의 결합이 깨지면서 생성된 H_2와 CO, CO_2 가스량을 정량화하였으며 CO와 CO_2의 농도가 슬래그 포밍에 미치는 영향을 분석하였다. 이후 EPMA를 활용하여 포밍 최대 반응 지점 이후의 시편 단면을 성분 분석하였으며, H_2와 CO, CO_2 가스가 FeO 환원에 미친 영향을 폐플라스틱 첨가 여부에 따라 비교하였다. 실험을 통해 폐플라스틱을 첨가한 가탄재의 경우 탈산이 더 효과적으로 이루어짐을 확인하였다. 위 분석 결과를 통해 슬래그 포밍 과정에서 일어나는 화학적 변화를 관찰하였으며, 폐플라스틱을 첨가한 친환경 가탄재가 슬래그 포밍에 미치는 긍정적인 영향을 확인하였다.

[P4-11]

Single Hot Thermocouple(SHT)를 이용한 슬래그 중 Al2O3 함량에 따른 CaO의 용해속도 연구 : 이나경, 정용석* (한국공학대학교)

Keywords: 전기로 슬래그, 제련, CaO 용해, 탈황

최근 2050 탄소 중립을 위해 전기로의 활용이 높아지고 있다. 그러나 전기로는 강 품질이 낮다는 단점을 갖고 있다. 강 품질은 용강 내 'S' 함량과 관련된다. 용강 내 높은 'S' 함량은 강의 인장강도 및 연신율을 낮춘다. 이러한 이유로 강 품질 향상을 위해 CaO를 슬래그로 투입 후 용해하여 용강 내 황을 제거한다. 한편, 전기로 내의 화학에너지 공급과 Fe 회수를 위해 Al dross를 투입하기도 한다. Al dross는 슬래그 중 Al2O3 함량을 증가시킨다. 이에 따라, 슬래그 내 Al2O3 함량에 따른 슬래그의 물성을 연구하는 것이 중요하다. 이러한 바탕을 근거로 본 연구에서는 슬래그 내 Al2O3 함량에 따라 CaO가 어떻게 용해되는지에 대해 연구하였다. 실험에 사용한 슬래그 조성은 CaO(45, 42.5, 40, 37.5, 35 wt%)-SiO2(45, 42.5, 40, 37.5, 35 wt%)- Al2O3 (0, 5, 10, 15, 20 wt%)-MgO((10wt%)이었으며, 이 슬래그에서 CaO의 용해 거동을 관찰하였다. 슬래그의 조성은 염기도를 1로 고정하고 Al2O3 함량을 0, 5, 10, 15, 20 wt%로 바꾸어 가며 연구하였다. 실험 장비는 SHTT(Single hot thermocouple technique)를 사용하였으며, 1600 ºC에서 실험을 진행하였다. 슬래그의 Al2O3 함량이 증가함에 따라 입자 내 슬래그 침투량이 증가함을 확인하였으며, CaO 입자의 용해 시간은 Al2O3 함량이 증가할수록 감소하였다.

[P4-12]

Light Flash Analysis Method를 이용한 수소 환원 HCl의 열전도도 조사 : 하윤철, 김리주, 서인국, 이준호*(고려대학교)

Keywords: 수소환원제철, 유동환원로, 열전도도, HCI

유동환원로에서 수소 가스에 의해 환원된 분철광석은 Hot Compacted Iron(H_2-HCI)으로 압축된 후 전기 용융로로 이송 및 장입된다. 공정의 에너지 효율을 향상시키기 위해서는, 전기용융로 장입 전 H_2-HCI의 온도를 정확하게 추정하는 것이 중요하다. 그러나, H_2-HCI는 이송 과정 중 산화될 수 있으며, 경우에 따라서는 발화를 억제하기 위해 표면에 산화막을 생성시킬 필요가 있다. 이 경우 산화막(스케일)의 형태와 두께가 H_2-HCI의 냉각 거동에 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 Light Flash Analysis 법을 사용하여 유동환원로에서 수소환원 후 제작된 H_2-HCI의 열전도도를 측정하였다. 이때, 산화막의 종류와 두께의 영향을 동시에 평가하였으며, 산화막은 상대적으로 낮은 열전도도를 나타냈다.

[P4-13]

팽창 흑연 첨가에 따른 MgO-C 저취 내화물 부식 특성 : 박찬근, 정용석*(한국공학대학교)

Keywords: Expanded Graphite, MgO-C, Purging plug, 용강반응, CO_2

최근, 전기로 조업 효율 증가를 위해 용강 바닥부에 위치한 풍구 내화물을 통해 가스를 주입하여 용강 교반을 유도하는 저취 조업이 고려되고 있다. Ar/CO_2 혼합 가스를 이용한 저취 조업이 고려되고 있으며, 이는 철강 공정 중 발생하는 CO_2의 재활용과 CO_2에 의한 용강 내 탈탄 반응을 유도하여 교반능 향상에 기여할 수 있다. 기존의 저취 내화물로서 열충격 저항성이 우수한 high carbon MgO-C이 사용되지만, CO_2 저취 조업 시 MgO-C 내 carbon이 CO_2 가스에 의해 쉽게 산화 및 자체 열화 반응{MgO(s) + C (s) = Mg(g) + CO(g)}에 의해 내화물의 물성 저하를 유발할 수 있다. 이를 억제하기 위해 MgO-C 내 carbon 함량 감소가 요구되나 이는 MgO-C의 열물성 감소로 조업 시 열충격에 의해 쉽게 손상될 수 있다. 이에 따라 MgO-C 내 carbon 함량은 낮으면서 열충격 저항성이 우수한 내화물 개발이 요구되고 있다. 최근, carbon의 종류 변경에 따른 내화재의 열 물성 향상에 대한 연구가 보고되고 있다. 본 연구에서는 Exapnded graphite (팽창흑연) 첨가 함량에 따른 MgO-C 부식특성을 연구하였다.

[P4-14]

Development of briquetting technology for fine ore agglomeration in sintering process : Jong in Park*(POSCO)

Keywords: sintering process, briquette, agglomeration

The steel products manufacture process includes the reduction and melting of iron ore and rolling process. Sintering, which is a raw material processing is a thermal process of converting loose fine particles into a solid coherent mass by heat without fully melting. Sintered ore manufactured from a sintering plant is used as a raw material of the blast furnace. Recently, Due to the depletion of high-quality iron ore, the proportion of fine ore is increasing. Sinter productivity strongly depends on permeability in sinter packed bed due to increase of air flow rate in it. An increase of fine ore in raw material lowers the permeability of sintering bed and the yield of the sinter ore. To solve this problem, the agglomeration process of fine ore was developed, but there was a problem with the weak strength of the agglomerates. In this study, strength improvement technique of the agglomerates is described by the developing of briquetting process. Forming properties and moisture content were determined based on the mix of raw materials and the method of adding the CaO source used as a binder has been determined. In addition, compacting type roll that maintain strength and increase production were developed. In the field test, it has been confirmed that the briquettes are loaded into the sinter machine without breaking.

[P4-15] Canceled

함철 더스트 철강원료 활용 기술 개발 : 정용수*(포항산업과학연구원(RIST))

Keywords: 더스트, 함철부산물, 철강원료

환경부는 지속가능한 자원순환사회의 기반을 구축하기 위해 제정된"자원순환법"을 시행하고 있다. "자원순환법"은 순환자원 인정, 자원순환 성과관리, 제품순환 이용성평가, 폐기물처분부담금 등 제품의 생산부터 유통, 소비, 폐기에 이르는 전 과정에서 폐기물의 발생을 줄이고, 재활용을 촉진하기 위한 다양한 신규 제도를 담았다. 이러한 제도들은 폐기물이 발생한 이후의 관리에 초점을 맞췄던 그간 국내 자원순환 정책의 패러다임을 근본적으로 바꾸기 위해 도입된 것이며, 주요내용은 다음과 같다. 제품의 생산 단계부터 폐기물의 발생을 원천적으로 줄이고, 재활용이 쉽게 되는 제품을 생산하도록 개선했다. 연간 지정폐기물을 100톤 이상 또는 그 외 폐기물을 1,000톤 이상 배출되는 사업장에 자원순환 성과관리 제도가 적용된다. 이들 사업장에 대해 맞춤형 자원순환 목표를 설정하고, 순환이용 및 감량 실적 등을 지속적으로 평가한다. 사업장 별 목표는 국가 자원순환 목표, 업종별, 사업장 별 자원순환 여건 등을 고려하여 설정한다. 이행실적이 우수한 사업장에는 재정적, 기술적 우대조치를, 미달 사업장에는 명단 공개 및 기술지도 등을 조치한다. 슬래그, 더스트 및 내화물등 다양한 형태의 부산물이 철강산업에서 발생하고 있다. 그 중 더스트 및 슬러지는 는 Fe 공급원으로 소내 재활용을 하고 있다. 더스트에 함유되어 있는 K, Na, Cl 및 Zn등 성분은 제철소 내 공정 재활용 시 조업 장애 및 공정 부하를 야기한다. 부하 발생원인은 조업중의 KCl(융점 776 ºC), ZnCl2(융점 283 ºC),K2ZnCl4(융점 ca300 ºC)등의 저융점 화합물이 Binder로 작용하여 ZnO, ZnFe2O4, Fe2O3,Fe3O4와 같은 물질들이 응집되어 고형물을 형성한다. 고형물은 내화물, 집진기등에 고착되어 내화물 용락 및 집진기 폐색등의 문제를 발생한다. 더스트에 함유되어 있는 유해성분을 효과적으로 제거 혹은 무해화하여 유가자원인 Fe를 제철소에서 재활용 하고자 한다. 유해물질의 특성과 활용방법에 맞게 유해물질 제거를 위한 더스트 전처리 기술을 개발하고 환원기술과 접목하여 더스트를 고부가가치 철원 공급원으로 활용한다. 더스트 재활용 기술 개발로 철강 부원료 및 공정 재활용을 통해 제철소 내 부산물 순환 프로세스 구축이 가능하다.

[P4-16]

가스환원 열간 압축철(HBI)의 미세구조 및 잔류상 분석 : 조규섭*(한국생산기술연구원), 김용희 (현대제철)

Keywords: 탄소중립, 철강, 직접환원철, 미세구조, 기공

최근 국내에서도 철강 산업의 탄소 중립화를 달성하기 위하여 수소환원제철 등과 같은 가스(Gas) 직접환원 그린(Green) 제철에 대한 관심이 높아지고 있으며, 특히, 국내 철강업의 대표적인 고로(Blast Furnace) 조업에서 발생하는 이산화탄소(CO_2)를 저감하기 위한 기술 개발에 대한 연구가 진행되고 있다. 탄소 중립 목표 달성을 위한 중간 단계 과정으로 직접 환원철(Direct Reduced Iron)이나 직접 환원 열간 압축철(Hot Briquetted Iron)을 고로 또는 전기로(Electric Arc Furnace) 조업의 장입 원료로 사용하기 위한 선행 연구가 진행되고 있으나, 제강 조업 변수에 영향을 미치는 직접 환원철이나 열간 압축철의 미세구조나 잔류상에 대한 상세한 분석은 좀 더 필요하다. 열간 압축철(HBI)은 고로 조업의 원료인 구형의 펠렛(pellet)을 수소가스(H_2)나 일산화탄소(CO) 등의

Poster Session I

혼합가스로 환원한 후 고온에서 열간 압축 성형한 단괴 형태(briquette)의 소재이다. 철광석 펠렛의 성형 및 환원 조건, 그리고 열간 압축 성형 조건 등에 따라 단괴의 미세 구조 및 환원 잔류 상(phase)들의 분포는 단괴 내에서도 매우 큰 편차를 나타낸다. 본 연구에서는 해외(Midrex) 생산 직접 환원 단괴철을 절단하고 광학현미경과 주사전자현미경으로 단면 미세 구조를 관찰하였으며, 단괴철의 환원 정도에 따른 미환원 영역, 중간영역, 환원영역으로 나누어 잔류상의 크기와 면적분율을 비교 분석하였다. 미환원 영역에서는 약 10% 정도의 환원철이 형성되어 있었으며 나머지 잔류상은 미환원 산화철(FeO)상으로 이루어져 있었다. 또한 미환원 영역에는 잔류 기공(pore)의 분율이 가장 높게 나타났으며, 불순 산화물도 일정량 포함되어 있었다. 이와 같은 잔류 미환원 산화철과 잔류 기공들의 크기, 면적분율 및 분포를 환원 영역별로 비교 분석하였다.

[P4-17]

샤프트로 내부 반응 모사를 위한 열유체 해석 모델 개발 : 신재원, 선민주*, 김혁*(현대제철연구소)

Keywords: 수소환원, 탄소중립, 샤프트로, 전산유체역학

고로 공정은 상부에서 장입된 철광석, 코크스가 하부에서 취입되는 열풍과 반응하여 철광석을 환원 및 용융시켜 용선을 생산하는 공정이다. 고로와 유사한 제선 공정 중 하나인 샤프트로 공정은 상부에서 장입되는 펠렛 형태의 철광석이 하부에서 취입되는 CO와 H_2로 구성된 환원가스에 의해 환원되어 고체 상태의 직접환원철(DRI)을 생산하는 공정으로 환원가스의 종류와 생산되는 제품의 형태가 다른 특징을 가진다. 철강 생산 과정에서 발생하는 탄소 배출을 줄이기 위해 기존의 고로/전로 방식에서 샤프트로 및 전기로 방식으로의 전환이 요구된다. 따라서, 열유체 해석을 활용한 샤프트로 내부 반응 모사 모델을 개발하여 초기 안정적 도입을 위해 활용하고자 한다. 본 연구에서는 열유체 해석을 활용하여 샤프트로 내부 반응 모사를 위한 모델을 개발했다. 기존 7가지 상(gas, solid, hot metal, slag, PCI, PCH, fine)사이의 상호작용과 철광석의 환원 및 용융 반응 등을 해석하는 고로 모델에서 2가지 상(gas, solid)의 상호작용 및 철광석의 환원 반응을 활용했고, O_2, N_2, H2O 가스가 취입되는 고로에서 환원가스가 직접 취입되는 샤프트로로 변환하기 위해 H_2, CO, CO_2, CH_4가스를 추가했으며 샤프트로 조업조건에 맞게 취입 가스 온도 및 유량을 수정했다. 또한 장입물의 종류를 펠렛으로 변환하고 샤프트로 형상에 맞게 계산 도메인을 수정했다. 기존 고로에서는 연화융착대 이후 용융된 장입물이 용선으로 배출되지만 샤프트로에서는 환원된 DRI가 고체 상태로 하강하기 때문에 DRI 생산량을 반영하여 고로 하부 경계조건을 수정했다. 이외에도, 샤프트로 내부에서는 환원제로서 코크스 및 미분탄이 사용되지 않고 고로 하부에서 발생하는 용융 반응이 일어나지 않는 점을 고려하여 풍구단 연소 반응 및 환원철의 용융 반응 등을 제거했다. 전환된 모델이 열·물질 밸런스 측면에서 정합성을 가지는지 확인하기 위해 레퍼런스 데이터를 활용하여 샤프트로 높이에 따른 온도, 산화철의 환원률 및 노정 가스 조성, 유량 등을 비교했고, 내부 가스 온도 분포 등의 해석 결과를 가시화하여 레퍼런스 데이터 결과와 정성적인 경향성이 일치하는지 확인했다. 결과적으로, 열유체 해석을 활용한 샤프트로 모델을 개발하고 내부 반응에 대한 결과를 정량, 정성적으로 비교함으로써 모델의 정합성을 확인했다.

[P4-18]

전기로 제강 환원 슬래그의 탈황능과 free-CaO 및 다이칼슘실리케이트 생성에 미치는 조성 영향 평가 : 윤누가*(고려대학교 신소재공학부)

Keywords: 제강 환원 슬래그, 탈황능, free-CaO, 다이칼슘실리케이트

제강 슬래그는 정련 과정 종료 후 시멘트나 건설용 자재로 활용될 수 있다. 그러나, 제강 슬래그의 경우 높은 염기도 조업 기준으로 인해 free-CaO 및 Ca_2SiO_4(C2S)가 존재할 수 있다. Free-CaO가 존재하는 경우, 자체 분화가 발생하며 C2S가 존재하는 경우, β-C2S가 냉각 중 γ-C2S로 상변태 됨에 따라 팽창과 분화가 일어난다. 이러한 슬래그는 시멘트나 건설용 자재로의 재활용이 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 제강 슬래그의 Rietveld를 통한 상분석을 수행하여 free-CaO 및 C2S 상의 존재 여부를 확인하였다. 또한, 환원성 제강 슬래그의 조성 변화에 따른 탈황능과 free-CaO 및 C2S 발생량을 FactSage를 사용하여 열역학적으로 조사하였다. 본 연구를 통해 적절한 탈황능을 유지하면서 free-CaO 및 C2S가 생성되지 않는 조건을 확인하였으며, 이러한 결과는 이후 제강 슬래그의 건설용 자재로의 재활용을 위해 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

P5 : 비철금속
Room 2층 로비, 10월 28일

[P5-1] Canceled
자전연소합성법을 이용한 비정질 붕소 나노입자 분말 제조 : 주신형(충남대학교 공대 신소재공학부 나노재료공정연구실), 네르시시얀하이크 (충남대학교 급속응고신소재연구소), 김홍물 (하나AMT), 이종현*(충남대학교 공대 신소재공학부 나노재료공정연구실, 충남대학교 급속응고신소재연구소)
Keywords: Boron, Combustion synthesis, Particle size, Temperature, SHS
붕소 분말은 높은 경도 및 내열성, 연소 발열량을 가진 비금속 재료로, 반도체, 초전도체, 및 항공우주 분야에서 두루 사용되고 있다. 이러한 특성 때문에 고온 환경에서도 우수한 안정성을 유지하며, 다른 물질과의 반응성이 높아 다양한 합금 및 화합물의 제조에 사용된다. 최근 반도체의 나노 기술과 배터리 등의 에너지 저장 장치에서도 붕소 분말의 활용 가능성이 주목받고 있다. 특히 분말합성시 사용되는 붕소 분말은 높은 반응성 및 가공용이성, 우수한 연소특성 등의 목적으로 비정질 붕소에 대한 요구가 높아지고 있다. 본 연구에서는 붕소 나노입자 분말 제조를 위해 자전연소합성법(SHS)을 이용한 합성을 연구하였다. 자전연소합성법은 모재의 에너지만을 이용하여 합성하는 방식으로 합성과정에서 별도의 에너지원이 불필요하고, 열환원법 및 전해제련법에 비해 합성공정이 적다는 장점을 가진다. 합성시 열 유도를 통한 연소반응시 환원제의 양을 화학양론적으로 부족하게 하면 반응물의 대부분은 액상의 산화붕소의 형태로 남아있었다. 이는 연소 파라미터를 감소시키고 붕소 나노입자 형성에 도움을 주었다. 제조된 붕소 나노입자의 크기는 약500nm로 관찰되었다. 제조된 붕소는 형상(FE-SEM), 순도(ICP) 등에 대하여 분석하였다.

[P5-2]
Effect of Cu or Fe contents on the tensile properties and corrosion resistance of the as-cast Al-Si-Cu alloy : Namhyuk Seo, Junhyub Jeon (Jeonbuk National Univ., KITECH), Ji-Woo Park, Dae-Up kim, and Min-Su Kim*(KITECH)
Keywords: Aluminum alloys, high-pressure die casting, corrosion behavior, tensile properties, alloy composition
For the high-pressure die casting process, Al-Si-Cu alloys (ADC12 or A383) have been widely used in the automotive industry due to their excellent properties such as high strength, excellent corrosion resistance, favorable castability, etc. The addition of Cu and Fe to the Al-Si-Cu alloys is known to enhance their strength and hardness. However, an excessive amount of those elements might lead to a decrease in ductility and corrosion resistance. In the present study, the tensile properties and corrosion resistance of the as-cast Al-Si-Cu alloys were investigated at different Cu or Fe contents. Alloy composition was controlled in the range of the ADC12 commercial alloy grade. Microstructure analyses were conducted using the X-ray diffractometer (XRD) and field-emission scanning electron microscope (FE-SEM). From electrochemical tests, the corrosion resistance of the Al-Si-Cu alloys was assessed by measuring polarization curves. The effect of alloy composition on the mechanical and electrochemical behaviors of the Al-Si-Cu alloys was discussed along with their microstructural characteristics.

[P5-3]
디지털 이미지 상관법(Digital Image Correlation, DIC)기반 머신러닝을 활용한 5000계열 알루미늄 합금의 극저온 환경에서의 인장 거동 분석 : 이종원 (영남대학교 신소재공학과), 박노근*(영남대학교 신소재공학과, 영남대학교 신소재공학부), 허성준, 한희주 (영남대학교 신소재공학부)
Keywords: Digital Image Correlation(DIC), Machine Learning, 5000 Series Aluminum Alloys, Cryogenic Atmosphere, Plastic Deformation
최근, 지구의 환경오염이 대두됨에 따라, 청정 에너지원을 사용하기 위해 다양한 환경에서 이용될 수 있는 소재의 개발이 요구되고 있다. 그중, -252°C 이하의 극저온 환경에 노출되는 액체수소 저장 및 수송용 소재나 우주항공용 소재 개발연구가 대두되고 있다. 극저온은 소재의 전위 이동 메커니즘 등 여러 특성을 변화시키기 때문에 상온과는 상이한 변형 및 파괴 거동을 보인다. 이러한 거동은 액체수소를 주입하거나 추출하는 과정에서 열충격으로 인한 변형, 우주 쓰레기와의 충돌과 같은 외부 요인들이 장비나 시설의 안정성에 중대한 영향을 미쳐 심각한 결함을 초래할 수 있다. 따라서 저장 및 수송에 이용되는 장치를 구성하는 소재에 대한 열충격 저항성, 균열의 생성 및 전파 등을 고려해야 하며, 이는 극저온 환경에서 재료의 변형 거동을 이해하는 것이 안정성을 확보하는 데 있어 핵심적임을 의미한다. 한편, 디지털 이미지 상관법(Digital Image Correlation, DIC)은 변형 거동을 정밀하게 분석하는 데 효과적인 기술이다. 이는 변형 시험 전 시편에 도포 점들 포도 시킨 점을 이용하여, 변형 중 이동하는 점들의 위치 변화를 계산하여 시각화하여 나타내는 기법이다. 그러나 극저온 환경을 조성하더라도, 변형 시 발생하는 Adiabatic heating에 의한 냉매 기화 발생 문제, 도포한 점의 소실, 촬영 등 기술적 제약이 따라 DIC 활용에 많은 어려움이 있었다. 본 연구에서는 DIC 분석에 머신러닝을 활용하여 극저온 환경 적용에 따르는 기술적 제약을 극복하고자 하였다. 이를 통해 액체수소 보관에 이용될 수 있는 알루미늄 5000 계열 소재를 이용하여 극저온 인장 시험 중 발생하는 변형 거동을 DIC를 이용하여 분석하였다. 이후 OM, EBSD 등을 이용하여 변형 거동과 미세조직간의 상간관계를 이해하고자 하였다. 본 연구를 통해 극저온 환경에서의 소재 변형 거동을 효과적으로 포착하고 분석할 수 있음을 확인하였다.

[P5-4]
Behavior of Impurities on Electron Beam Melting and Refining Process of High-Purity Zirconium : Soosung Kim*(Korea

Institute of Industrial Technology, Kyung Hee University), Hyun-chul Kim, Myungsuk Kim, Jieun Kim, Yehui Kim (Korea Institute of Industrial Technology, Korea University), Bin Lee (Kyung Hee University), Kyoung-Tae Park, and Dong-Hyun Kim*(Korea Institute of Industrial Technology)

Keywords: Zirconium, Electron Beam Melting and Refining (EBMR), Activity Coefficient, Sputtering Target

Zirconium sputtering target is the Physical Vapor Deposition (PVD) process in the manufacturing of high permittivity thin-layer structures for display devices. The high purity of zirconium ensures the required electrical conductivity and permittivity of the thin film in devices. Vacuum Arc Remelting (VAR) is commonly adopted for the purification of high-melting point metals. However, VAR use of consumable electrodes, leading to lower efficiency in the purification process. Electron Beam Melting and Refining (EBMR) has been developed for the purification of high-melting point metals. The EBMR focuses an electron beam on materials in a high vacuum environment. A previous study investigated the removal of impurities in refractory metals by considering the partial pressure of the refractory metal and oxides, as well as the solubility conditions of gas components. In the current study, the activity coefficients of zirconium and metallic impurities were calculated at various temperatures using the Calculation of Phase Diagrams (CALPHAD) method. Furthermore, the equilibrium saturated vapor pressure of metal components was determined using the Antoine equation. The separation factor of impurities was then derived from the activity of components to predict the tendency of impurities removal. To predict the correlation of electron beam power and temperature during the EBMR process, a simulation of the EBMR process was conducted using the Finite Element Method (FEM). Based on the results of the simulation and thermodynamic calculations, the EBMR process was applied to zirconium sponge. The removal of impurities from zirconium ingots was assessed through ICP-OES. The distribution of impurities and microstructure were analyzed by SEM, EDS and XRD, and the results were discussed.

[P5-5]

Cu-Ga-Si 합금의 Ga, Si 함량 제어 기반 기계적 및 광학적 특성 거동에 관한 연구 : 조가은, 강결찬, 정의감, 홍성환, 박혜진, 김기범*(세종대학교)

Keywords: CIE L*a*b* 색 공간, 고용강화, 전이 에너지

컬러합금 중, Cu-계 컬러 합금은 구리에 용질 원소를 첨가하여 전이 에너지를 제어함으로써 색상 및 기계적 물성을 제어할 수 있다. 한편, 현재까지 연구된 합금들만으로는 구현 가능한 색상 범위가 한정적이며, 외장재로 사용하기엔 강도가 낮다는 한계가 있다. 따라서 새로운 합금 설계를 통해 이러한 한계점을 극복하고자 하였다. Ga 원소는 Cu에 대한 높은 고용한도를 가지고 있을 뿐만 아니라, 고용되었을 때 Cu의 전자 구조에 영향을 미쳐 전이에너지를 증가시킨다. Cu내Ga 함량이 증가함에 따라 더 높은 전이 에너지를 유도하여 물질의 광학 특성을 다른 가시 파장으로 이동시켜 보다 다양한 색상 표현을 가능할 것이라 사료되었다. 따라서 본 연구에서는 Cu에 약 1-19 at. %의 Ga을 첨가하여 색도 변화 및 고용강화 효과를 얻고자 하였다. 동시에 고용 한도 이내인 1-5 at. %의 Si을 첨가함으로써 결정립 미세화를 통한 부식 저항성 및 기계적 강도 향상을 유도하고자 하였다. 최종적으로 고용 한도 내의 Ga과 Si을 첨가함으로써 단상 영역의 Cu-Ga-Si 합금을 설계하였다. 이러한 합금 설계를 통해 기계적 및 광학적 특성을 분석했을 때, 새로운 광학적 및 기계적 특성을 구현하였다. 각 합금은 가로 12 mm, 세로 6 mm, 높이 50 mm의 판형의 형태로 Induction melting 주조법을 사용하여 제조되었다. 주조된 시편들은 Muffle Box Furnace(Pyrotech)를 사용하여 700 ºC에서 30분 동안 등온 열처리된 후 즉시 약 2 ºC의 얼음물에 급랭되었다. 각 합금들의 상 및 미세조직을 분석하기 위해 각각 X-선 회절 분석기 (XRD: Panalytial)와 주사 전자 현미경(SEM: JEOL JSM-6390)을 사용하였으며, 비커스 경도 시험(Micro-indenter: SHIMADZU HMV-G21DT)을 통해 기계적 물성을 측정하였다. 또한 분광 측색계(Photon-spectrometer: SCINCO, Colormate)를 사용하여 합금의 광학적 특성을 평가하였다.

[P5-6]

리플로우 공정 방식에 따른 Sn-Ag-Cu/Cu 접합부의 미세구조 및 기계적 특성 분석 : 장준호, 강승연, 정재건, 류채우*(홍익대학교)

Keywords: 무연솔더, 솔더링, 접합계면

솔더링 공정은 두 모재 사이에 배치된 솔더를 용융시켜 재료 표면의 확산 현상을 통해 전기적 및 기계적 접합을 형성하는 과정으로, 전자 산업에서 제품의 경량화 및 소형화 추세에 따라 더욱 주목받고 있다. 기존의 와이어 본딩 방식에 비해 솔더링 공정은 접합부의 크기가 작고 신호 이동 경로가 짧으며, 고착 강도가 높아 초소형 및 고효율화를 요구하는 현대 산업에서 활용 가능성이 매우 크나, 열화에 따른 신뢰성 저하 문제는 여전히 해결해야 할 과제로 남아있다. 이러한 문제를 해결하고 생산 효율을 높이기 위해, 기존의 Reflow soldering 방식을 대체할 수 있는 Laser soldering 방식에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 Sn3.0Ag0.5Cu(SAC305) 솔더를 사용하여 Reflow oven과 Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL) 두 가지 솔더링 공정을 적용하였으며, 솔더링 직후 접합부에서 형성되는 금속간 화합물의 미세구조를 분석하고 기계적 특성을 평가하였다. 나아가, 등온 열화에 따른 계면에서의 금속간 화합물 상변화 양상을 관찰하고, 이로 인한 솔더 접합부의 전단 강도 저하 양상을 규명하였다. 다양한 공정 조건에서 SAC305 솔더 접합부의 미세구조 및 신뢰성 특성을 분석함으로써 최적의 공정 조건을 도출하고, Laser soldering 방식의 활용 가능성을 검토하였다. 이를 통해 전자 산업에서 생산 효율을 높이고, 제품의 신뢰성을 향상시키는 방안을 제시하고자 한다.

[P5-7]

NCM계 폐 리튬 이온 배터리 양극재의 수소 환원 배소 및 수침출에 의한 Li 회수 : 손호상*, 황재호, 이상엽, 이소영 (경북대학교)

Keywords: 리사이클링, NCM, 수소 환원, Li 회수

Ni, Co, Mn, Li 등을 포함하고 있는 리튬 이온 배터리 양극재를 재활용 할 수 있다면, 환경오염을 완화하고 자원 공급의 안정성을 높일 수 있을 것이다. 건식 처리 공정 중 수소를 이용한 환원배소는 사용 후 NCM계 양극재의 분해에 유리하고 높은 Li 회수율과 낮은 CO2 발생량 면에서 장점이 있다. 본 연구에서는 사용 후 NCM계 양극재를 수소 분위기 중 환원배소하고 수침출하여, Li 회수율에 미치는 환원 온도의 영향에 대하여 조사하였다. Ar 분위기 및 H2 분위기 각각에서 NCM계 black mass를 1,000 ℃까지 승온하는 동안 무게 변화를 관찰하고 배가스를 분석하였다. 등온 실험은 300~1,000 ℃ 범위이며, 목표 온도에 도달하면 Ar+H2 50 vol%로 설정하였다. 환원이 끝난 시료를 수침출하였고 침출 여액과 잔사를 분리하였다. 침출 여액은 Li 농도를 분석하여 회수율을 계산하였다. 또한 각 단계마다 시료를 XRD로 상분석하였다. Ar 분위기에서 승온 실험 시 온도가 증가함에따라 지속적인 무게 감소를 보였고 H2 분위기에서는 약 310 ℃부터 무게가 감소하기 시작, 약 550 ℃부터 2차 무게 감소를 보였다. XRD 결과로부터, H2 분위기에서 보다 낮은 온도에서 black mass의 열분해가 시작된 것으로 보인다. 등온 수소 환원 실험에서는 반응 온도가 높을수록 무게 감소율과 무게 감소량이 큰 경향을 보였고, 300 ℃ 이상에서 NiO가 전부 금속 Ni 상으로 환원된 것으로 생각된다. 또한 400 ℃ 이상에서 Li2CO3가 생성되었음을 확인하였다. Li 회수율은 400 ℃ 이상에서 약 90 % 수준을 달성했다.

[P5-8]

배관류 방사화 폐기물의 제염을 위한 전극 설계 및 전해 제염 공정 연구 : 최우석, 박성현 (충남대학교), 네르시시얀하이크 (충남대학교 급속응고신소재연구소), 이종현*(충남대학교, 충남대학교 급속응고신소재연구소)

Keywords: 제염, 전해 제염, CRUD, 스테인리스

제염은 방사성 물질로 오염된 시설, 부품 및 부지 등으로부터 방사화 오염 물질을 제거하는 과정을 의미하며 일반적으로 물리적 제염과 화학적 제염으로 분류된다. 물리적 제염법은 대표적으로 고압수 분사제염, 도막박리제염, 초음파제염, Grit blast 등 물리적으로 오염을 제거하는 방법이 있으며 화학적 제염법은 강산 혹은 강염기 등 화학제염제를 이용하여 방사화 폐기물의 표면을 부식시켜 오염을 제거하는 방법이 있다. 본 연구에서는 화학제염의 일종인 전해 제염법을 통해 제작된 모의 방사화 오염 시편의 표면 제염을 진행하였다. 전해 제염법은 제염 시간이 상대적으로 짧으며 높은 제염 계수를 얻을 수 있다는 장점이 있으나, 형상이 복잡한 물체의 제염은 불균일한 전자기장의 분포로 인해 적용이 어려우며 배관류 폐기물의 경우 냉각수가 지나가는 내부가 방사화되기 때문에 적용이 어렵다는 단점이 있다. 본 연구에서는 배관류 폐기물의 전해 제염 적용을 위하여 배관 내부에 삽입 가능한 전극을 설계하였으며, 중성염 전해질을 사용하여 모재와 전해질의 화학반응을 억제하여 모재표면의 산화정도를 예측 가능하게 하였으며 추후 자동화 공정에 적용을 목표로 하였다. Cyclic Voltammetry, Anodic polarization 등 전기화학적 측정을 통해 금속 이온의 산화 환원 거동을 확인하였으며, 정전류법을 통해 전해 제염연구를 수행하였다.

[P5-9]

CuTi 양극 내 산소가 Ti전해정련 과정에 미치는 영향연구 및 회수 전착물 특성평가 : 임규석(충남대학교), Hayk Nersisyan, 이종현*(충남대학교, 충남대학교 급속응고신소재연구소)

Keywords: 타이타늄, 전해정련, 용융염, 금속

현재 타이타늄 스펀지는 주로 Kroll법에 의해 생산되고 있다. 그러나 생산된 Ti 스펀지의 약 10~15%는 규격 외 등급으로 분류되며 1000 ppm 이상의 산소를 가지게 된다. 또한, 티타늄 소재를 가공하는 경우 가공 과정에서 발생하는 열로 인해 대기 중 산소와 반응하여 산소가 고용되는 문제가 발생한다. 이러한 규격 외 스펀지와 스크랩은 가격이 상대적으로 저렴하기 때문에, 이를 전해정련하여 고순도화하고 고부가가치 제품으로 전환하기 위한 연구가 필요하다. 본 연구는 CuTi 양극내 산소가 전해정련에 미치는영향에 대하여 연구를 진행하였다. Ti Sponge에 CuO 를 첨가한 후 1200도로 가열하여 산소오염량이 제어된 양극을 제조하였다. 산소농도0.5, 1, 2, 3 wt%의 산소농도를 가지는 양극을 제조하였다. 전해질은 공정(eutatic)조성의 LiCl-NaCl-KCl용융염을 사용하였으며, 7.5mol% $TiCl_2$를 첨가하였다. 타이타늄의 전기화학적 거동을 확인하기 위하여 순환 전압전류법(Cyclic voltametry) 및 양극분극거동(Anodic Polarization) 분석을 진행하였다. 550 ℃의 온도에서 정전류법으로 CuTi 양극을 전해정련하여 Ti을 전착하였으며, 회수된 Ti 및 양극은 Fe-SEM, EDS를 이용하여 형상 및 조성을 분석하였다.

[P5-10]

$CaCl_2$–NaCl–CaO 용융염에서 페로브스카이트 및 스피넬 산화물 기반 불활성 양극 재료의 부식 특성 연구 : 김완배(충남대학교신소재공학과), 네르시시얀 하이크 (급속응고신소재연구소), 이종현*(충남대학교신소재공학과, 급속응고신소재연구소)

Keywords: 용융염, 불활성 양극, 비철금속, 전해환원, 친환경

금속 산업으로 인한 온실가스 배출은 지구 온난화의 주요 원인 중 하나이다. 온실가스를 저감하기 위해 알루미늄, 구리, 아연 등을 포함한 비철 금속 산업에서는 기존의 소모성 탄소 양극을 대체할 수 있는 불활성 양극 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 불활성 양극은 탄소 물질을 포함하지 않는 금속, 세라믹 및 서멧 소재로 분류되며, 이를 통해 금속 산화물의 전기분해 과정에서 탄소 물질이 아닌 산소 가스가 생성되어 온실 가스 배출이 없는 친환경 공정으로 전환될 수 있다. 현재 불화물 기반 용융염에 대한 양극 소재 연구는 상당한 진전이 이루어졌으나, 염화물 및 알루미늄을 제외한 다른 비철 금속에 대한 연구는 부족한 상황이다. 본 연구에서는 페로브스카이트 구조의 $YCrO_3$와 스피넬 구조의 $NiFe_2O_4$ 및 $CuFe_2O_4$ 불활성 양극 재료의 고온 부식 특성을 염화물 기반 용융염에서 조사하였다. 특히 $YCrO_3$ 양극의 경우 부식속도가 약 0.036 mm/y이고, 평균 산소 삽입 에너지가 -1.7 ev 로 다른 양극과 비교해 높은 부식 및 산화 저항성을 보였다. 위 연구를 통해 염화물 기반 용융염에 적용할 수 있는 양극 소재를 탐색하는 동시에, 금속상 혼합을 통한 서멧 제조의 이점을 확인하였다.

[P5-11]

산화 네오디뮴으로부터 Nd – Fe 합금 제조를 위한 저온 전해제련공정 연구 : 이동희(충남대학교), Hayk Nersisyan (충남대학교 급속응고신소재연구소), 김완배, 최우석, 정준모 (충남대학교), 이종현*(충남대학교, 충남대학교 급속응고신소재연구소)

Keywords: 네오디뮴, Cyclic voltammetry, Chronopotentiometry, Nd - Fe 합금

기존의 네오디뮴 상용 공정에서 사용되는 LiF – NdF_3 – Nd_2O_3 계 (1050 ~1150 ºC)보다 낮은 온 도(1173K 또는 1223K)에서 Nd-Fe 합금을 제조하기 위한 전해 제련 공정을 시도하였다. 이를 위해 텅스텐 음극(W) 대신 철 음극(Fe)을 사용하여 Nd-Fe 합금의 제조 가능성을 평가하였다. 철을 음극으로 사용하였을 때와 텅스텐을 음극으로 사용하였을 때의 Nd^{3+}/Nd^{2+} 및 Nd^{2+}/Nd 분해 전압을 비교하기 위해 순환 전류법(Cyclic voltammetry)을 이용하였다. 또한, Nd 금속 생성 시 전해질과의 불균화 반응을 억제하기 위해, Nd 금속을 추가하여 전해질 내 NdF_2의 유무에 따라 Nd 금속 장입 전후의 차이를 관찰하기 위해 Cyclic voltammetry을 채택하였다. 해당 과정으로 제조된 Nd 금속 또는 Nd-Fe 합금의 형성 여부는 Cyclic voltammetry, Chronopotentiometry 등의 전기화학적 평가 방법과 SEM 및 XRD 분석을 통해 확인하였다

[P5-12]

NCM계 리튬이온 전지 Black Mass의 CO에 의한 환원 거동과 수침출에 의한 Li 회수 : 이상엽, 황재호, 이소영, 손호상*(경북대학교 첨단소재공학부 금속재료공학전공)

Keywords: 리튬이온배터리, 재활용, CO 가스, 환원, 탄산 리튬

리튬이온 배터리(LIB)는 높은 에너지 밀도와 긴 수명으로 전기자동차와 휴대용 전자기기의 필수 전원 공급원으로 자리 잡았으나, Li과 Co의 희소성으로 인해 자원 공급의 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 코발트를 대체할 수 있는 NCM 계열 배터리와 LFP 배터리가 개발되었지만, 리튬 수요의 급증으로 인해 폐기된 배터리에서 리튬을 회수하는 기술의 중요성이 부각되고 있다. 본 연구는 각종 공정에서 발생하는 CO 가스를 활용하여 폐 NCM 계열 배터리의 Black Mass를 환원시키고 리튬을 회수하는 방법에 관하여 고찰하였다. 수직관상로를 사용하여 Ar-CO 혼합 가스 분위기에서 환원 온도별 영향을 조사하였다. 환원 열처리를 한 시료는 증류수를 활용하여 수침출을 진행하였고 침출 여액을 건조하여 분말 형태로 회수하였다. 회수한 분말과 침출 잔사는 XRD와 ICP 분석을 통해 생성상과 순도를 확인하였다. CO 가스를 이용한 환원 공정에서 400 ºC부터 Li2CO3가 생성되며, 500 ºC부터 NiO와 CoO가 금속상으로 환원되면서 무게 감소가 발생하였다. 환원한 시료에서 수침출 과정을 통해 약 99 % 순도의 Li2CO3를 회수하였으며, 이는 배터리 재활용 공정에서 경제적, 환경적 이점을 극대화할 수 있는 중요한 방법이 될 것으로 기대된다.

[P5-13]

음극 재질에 따른 염화마그네슘을 이용한 고순도 마그네슘 제련 연구 : 이재원, 이동희 (충남대학교 신소재공학과), 이종현*(충남대학교 신소재공학과, 충남대학교 급속응고신소재연구소)

Keywords: 염화마그네슘, 전해공정법, Fe함량

최근 이산화탄소 배출 규제에 따라 경량소재로서의 Mg수요가 증가하고 있다. 마그네슘 제조공정은 열환원법과 전해공정법으로 구분되는데 현재 Mg의 85%는 열환원 공정으로 제조되고 열환원공정의 주 원료는 MgO를 이용한다. 이 열환원법에서 발생되는 CO_2 가스를 줄이기위한 MgO를 원료로한 전해제련법이 연구되고 있으나, 용해도가 0.05% 미만이라는 낮은 용해도를 가지는 단점이 존재한다. 반면에 전통적인 무수염화마그네슘을 원료로 사용하는 전해제련공정의 경우, CO_2가스발생량을 크게 줄일 수 있어 탄소중립 기술로 다시 주목받고 있다. 전해제련 기술의 문제점 중의 하나는 음극물질로 철음극을 사용하기 때문에 Mg잉곳 내 Fe함량이 비교적 높다는 사실이다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 음극 재료를 선별하여 전해제련을 거친 후, 마그네슘을 제조하였으며, 마그네슘 순도 측정을 위해 ICP – OES 분석을 진행하였다. 본 실험은 NaCl – $CaCl_2$– $MgCl_2$에서 1023 K 또는 1073 K에서 진행되었으며, $MgCl_2$를 이용하여 Mg 금속을 생산하기 위한 전기화학적 데이터측정(Cyclic voltammetry, chronopotentiometry) 또한 진행하였고, 발생 Cl2 가스의 재순환을 위해 안정적 처리방안 또한 수립하였다.

[P5-14]

사용 후 배터리 블랙 파우더로부터 금속 리튬 직접회수 : 이찬욱, 주신형, 최우석 (충남대학교 공대 신소재공학부 나노재료공정연구실), 이종현* (충남대학교 공대 신소재공학부 나노재료공정연구실, 급속응고신소재연구소,충남대학교, 대전, 대한민국)

Keywords: 블랙파우더, 금속 리튬, 전해제련

현재 전기차 및 전자기기 산업의 성장과 동시에 폐배터리의 수량은 급속도로 증가하고 있다. 이에 따른 자원 고갈 문제와 환경오염 문제가 심화되고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위해 폐배터리 재활용 분야가 주목 받고 있다. 폐배터리 재활용 공정에서는 주로 건식 공정과 습식 공정을 통해 희소금속을 추출하고 있다. 건식 공정은 고온 처리를 포함하고 있어 대부분의 리튬이 휘발되어 회수가 어렵다. 현재 리튬 회수는 주로 습식 공정을 통해 이루어지고 있으나, 이 과정에서 블랙 파우더를 용해시키기 위해 강한 산성 용액이 사용된다. 이로 인해 다량의 폐수가 발생하며, 이 역시 환경 오염을 지속시키는 요인으로 작용한다. 이러한 환경적 문제를 최소화하고 리튬 회수율을 높이기 위해, Electrowinning 공정을 활용하여 선택적 금속 회수 가능성을 평가하였다. 본 연구는 폐이차전지 재활용 전처리 과정에서 확보한 블랙 파우더를 기반으로, Electrowinning 방식을 활용하여 순도 높은 리튬 금속을 회수하는 것을 목표로 연구를 수행하였다. XRD 와 SEM을 통해 블랙파우더의 조성 및 표면 특성을 분석하였고, 다양한 압력 조건에서 펠렛 전극을 제조하여 전기화학적 분석을 통해 블랙 파우더 내의 금속의 산화환원 거동을 평가하였다. 또한 회수된 리튬의 순도를 검증하기 위해 ICP 분석을 통해 정량적 분석을 수행하였다.

[P5-15]

Investigation of Ring-shaped Agglomeration in the Rotary Kiln during Alkali-roasting Process of Korean Vanadium-bearing Titanomagnetite (VTM) Concentrate : 허정호(한국지질자원연구원), 박현식 (한국지질자원연구원, Colorado School of Mines), 신동주*(한국지질자원연구원)

Keywords: Korean Vanadium-bearing Titaniferous Magnetite (VTM) concentrate, Alkali-roasting, Rotary Kiln, Ring-shaped Agglomeration

바나듐은 90% 이상 고강도 철강 합금제로 활용중인 희유금속이며, 동시에 신재생 에너지 산업 및 발전 잉여전력의 저장 활용을 위한 대용량 에너지 저장 장치 (ESS), 내진용 특수강, 화학용 촉매, 안료 제조용 등으로 다양하게 활용되고 있다. 첨단 산업이 발달함에 따라 바나듐 수요가 지속적으로 확대되고 있으며 가격 상승과 함께 특정 국가 편중에 의한 수급 불안정성이 상존하고 있는 실정이다. 따라서 바나듐 자원 수요 확대 대응을 위한 함바나듐 자원으로부터 바나듐의 자립 생산 및 기술 개발이 필요하다. 본 연구에서 사용된 바나듐 생산 공정의 주원료는 국내 포천 지역의 vanadium-bearing titaniferous magnetite (VTM) 정광이며, Na_2CO_3 염배소 (Na_2CO_3 salt roasting) – 침출/정제 (water leaching/purification) 공정 연계를 통해 고순도 V_2O_5를 최종적으로 생산하는 건-습식 혼합 제련 공정이다. VTM의 염배소는 로타리 킬른 (rotary kiln)을 통해 수용성 sodium vanadate ($NaVO_3$)로 전환시키는데, 이때 적절한 Na_2CO_3 사용량과 온도를 제어하지 못할 경우 VTM-Na_2CO_3 particle agglomeration 현상을 발생시켜 킬른 튜브 내 응집물 (deposit) 및 고리 (ring)를 형성시키고 이로 인해 원료 적체 현상이 나타날 수 있다. 이는 원료의 통기성을 악화시키고 반응성을 저해하며 동시에 원료의 안정적인 흐름을 방해하여 공정 안정성을 떨어뜨리는 것으로 알려져 있다. 즉, 염배소 공정에서의 원료의 sticking phenomena를 이해하는 것이 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 100 kg/day 급 semi-pilot rotary kiln을 사용하여 sticking behavior을 평가하였다. 염배소 공정 중 sticking behavior를 시각적으로 확인하였으며, 형성된 ring 샘플링을 통해 XRD 및 SEM-EDS 평가를 진행하였다. 동시에 heating microscope test 및 FactSage^{TM} 8.3 prediction을 병행하여 sticking behavior에 미치는 원료의 고온 물성의 영향을 평가하였다. 또한 VTM-Na_2CO_3 phase diagram을 고찰함으로써 원료의 고온 물성과 sticking behavior에 상관 관계를 도출하였다.

[P5-16]

Effect of Coating on Metallic Materials-Based Separator Plates to Enhance Corrosion Resistance and Hydrogen Permeability : HeeGwon Shin*, HyeJin Kim, SeungPill Jung, JaeHo Lee, and DongYul Lee (Hyundai Steel)

Keywords: Metallic Materials-Based Separator Plates, Corrosion Resistance, Hydrogen Permeability

Proton Exchange Membrane (PEM) fuel cells operate through the chemical reaction of hydrogen and oxygen to generate electrical energy. At standard temperature, PEM is recognized for its higher energy conversion efficiency compared to heat engines. To achieve such high efficiency, the role of the metal separator plate, a multi-functional component in fuel cells, is crucial. The metal separator plates supply reactant gases for the chemical reaction and also provide electrical conductivity. Recently, stainless steel and titanium-based separator plates are chosen for their electrical conductivity, low density, high mechanical strength, and low hydrogen permeability. In particular, these metals exhibit high corrosion resistance in a PEM fuel cell environment due to the formation of a stable and protective metal oxide film on their surfaces. However, the metal oxide film is electrically insulating, leading to a reduction in the electrical conductivity of the metal separator plates. To enhance the conductivity of the metal separator plates, a noble material coating is applied to remove the metal oxide film and reduce the plate thickness for cleaning or etching the metal surface [1]. In this study, the effects of Au and Pt coatings on metallic material-based separator plates were investigated to enhance corrosion resistance and hydrogen permeability. The corrosion resistance of metallic-based separator plates was compared based on the type of metal and coating materials through electrochemical analyses such as Open Circuit Potential (OCP), potentiodynamic, and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) tests. Hydrogen permeability was compared based on the type and thickness of the metal separator plate, and the effectiveness of reducing hydrogen permeation by coating was confirmed.

[P5-17]

친환경 무연황동에 관한 연구 : 최준영*, 정원석, 이시담, 박철민 ((주)풍산)

Keywords: 무연황동, 쾌삭황동, 납 규제, 수도용 자재

황동합금은 우수한 기계적 강도와 가공성을 바탕으로 오래전부터 다양한 산업에 널리 사용되어왔다. 황동의 경우 주요 원소인 Cu, Zn 외에 첨가되는 원소에 따라 쾌삭황동, 단조황동, 내식황동, 고력황동 등으로 구분되며, 황동합금중 가장 많이 쓰이는 쾌삭황동의 경우 2~4%수준의 납(Pb)이 첨가되어 있기 때문에 수도용 자재 생산시 인체에 대한 유해성을 방지하기 위하여 코팅 또는 특수 표면처리를 실시해왔다. 하지만 2000년대 초반부터 유럽의 RoHS, ELV 및 미국의 NSF 등의 각종 규제를 통해 인체에 유해한 납 사용을 제한받고 있으며, 특히 최근 국제구리협회에서도 황동합금의 납 저감을 위한 로드맵을 발표하면서 인체에 유해하지 않은 친환경 무연황동이 각광받고 있다. 현재 산업계에서 사용되고있는 무연황동은 대표적으로 Si계 무연황동과 Bi계 무연황동으로 분류되고 있으며 합금 특성에 따라 다양한 제품에 적용되고있다. 본 연구에서는 납이 첨가되지 않은 친환경 Si계 무연황동의 특성향상을 위하여 Cu-Zn-Si-X계 황동합금의 첨가원소에 따른 특성에 대하여 고찰하였으며, 최종적으로 현재 산업계에서 요구하고 있는 납이 첨가된 유연황동을 대체할 수 있는 수준의 무연황동을 개발하였다.

[P5-18]

적층 결함 에너지 기반 소성변형을 이용한 Cu-Al-Zn-Sn 컬러 합금의 특성 거동 연구 : 강결찬, 정의감, 조가은, 조창희, Yusupov

Dilshodbek, 박혜진, 홍성환, 김기범*(세종대학교)
Keywords: 컬러 합금, 소성변형, 적층 결함 에너지, 압연

Cu-X 이원계 합금은 첨가 원소 제어(X=Al,Zn,Sn,Ni,…)를 통해 적층 결함 에너지(SFE)를 효과적으로 제어할 수 있다고 보고된 바 있다. 이러한 합금은 SFE와 기계적 특성만이 아니라 첨가 원소에 따라 Optical Transition Energy 및 전기적 구조를 변화시켜 기존의 Cu의 색이 아닌 특수한 고유색을 발현시키는 것이 가능하다. 이러한 Cu 계 합금은 다양한 분야에서 활용되고 있지만 기존의 특성 제어 방식은 특성 구현 범위가 제한적이기 때문에 현재 연구 개발 트렌드에 발 맞추어 새로운 특성 제어 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 새로운 Cu계 합금을 설계하였고, 첨가원소를 통해 SFE를 제어하여 새로운 특성 제어 방식을 구현하고자 하였다. SFE가 낮은 합금의 경우 소성변형을 통해 합금 내에 다양한 결함을 유도하는 것이 가능하고 SFE가 낮을수록 더 높은 밀도의 Deformation twin과 Dislocation을 형성한다고 보고된 바 있다. 이러한 이론을 바탕으로 Cu에 첨가원소 Al과 Zn의 함량을 설계하여 SFE를 제어하고, 소성변형을 통해 합금 내에 결함 밀도를 제어하여 합금의 특성 변화 거동을 연구하고자 한다. 합금 설계를 통해 Cu-Al-Zn-Sn 합금의 Al과 Sn 첨가원소의 함량을 제어하여 합금의 특성 거동 연구를 진행하였다. SFE 감소에 큰 영향을 주는 Al 함량을 증가시키고 비교적 영향력이 작은 Zn 함량을 감소시켜 SFE를 제어하였고, 이에 따른 합금의 광학적 특성과 기계적 특성을 제어하였다. 또한, 합금의 압연 압하율을 제어하여 합금의 기계적 특성을 비교하였으며, 각 합금의 인장시험을 실시하였다. EBSD 측정을 통해 합금의 미세조직을 정밀 분석하였으며, 합금의 미세조직과 결함 밀도를 비교하여 적층 결함 에너지를 비교하고자 하였다. 합금의 광학적 특성의 경우, 합금의 반사도를 측정하여 산업계 전반에서 주로 사용되는 CIE L*a*b*색 공간으로 환산하여 비교 분석하였다.

[P5-19]
Cu-Ni-Si-Mn-Sn 합금의 열처리 조건에 따른 기계적, 물리적 특성 연구 : 김준형*, 박철민, 최영철, 남효문, 문선영, 박승훈 ((주)풍산 소재기술연구원)
Keywords: Cu-Ni-Si-Mn-Sn alloy, High strength, Good bending workability

자동차 또는 전기전자 부품으로 사용되는 동합금은 기기의 조립이나 작동에 부여되는 응력에 견딜 수 있는 높은 강도(High Strength)와 함께 소형화, 고집적화의 구현에 필요한 우수한 굽힘가공성(Good bending workability)이 요구되고 있다. Cu-Ni-Si(Corson)계 동합금은 고강도 구리합금으 대표적인 석출경화형 합금으로 구리 기지 (Cu matrix) 중에 Ni-Si계의 미세한 금속간화합물을 석출시킴으로써 강도가 향상되는 합금이다. 이 합금의 고강도화 수단으로는 Ni, Si의 함유량을 높이거나 석출처리 후 마무리 압연율으 증대 등이 알려져 있다. 그러나 Ni, Si을 다량으로 첨가하게 되면 조대한 Ni-Si 정출물이 Grain boundary에 생성되어 열간압연 시 균열이 발생할 뿐만 아니라 용체화처리 후에도 기지 내 고용이 어려워 완제품에서 오히려 강도가 저하된다. 또한 압연율을 증가시키게 되면 굽힘 가공 특성에 악영향을 미치게 된다. 이에 본 연구에서는 Cu-Ni-Si 합금에 Mn과 Sn을 첨가하여 강도 향상과 열처리 조건을 통해 굽힘가공성 향상을 도모하였다. 고주파 용해로를 이용하여 제작된 Cu-Ni-Si-Mn-Sn 합금을 열간압연 및 냉간압연, 중간열처리, 용체화처리, 석출처리를 통해 시편을 제조하였다. 제조된 시편을 FE-SEM, FE-TEM을 이용하여 미세조직을 관찰한 결과 Cu-Ni-Si계 합금의 대표적인 사방정계 구조인 Ni_2Si 석출물 및 Mn 첨가에 따른 입방정계 구조인 $Mn_6Ni_{16}Si_7$ 석출물을 관찰하였으며, 인장강도 960 MPa, 굽힘가공성 90º R/t <2.0으로 강도와 굽힘가공성이 우수한 합금을 제조하였다.

[P5-20]
실험계획법을 통한 Cu-Ni-Si-Sn-Zn계 합금의 최적 제조 조건 도출 연구 : 박승훈*, 박철민, 최영철, 남효문, 문선영, 김준형 (㈜풍산 소재기술연구원)
Keywords: 동, 동합금, Corson, 비철금속, 실험계획법

최근 환경규제 강화 및 탄소중립 기조에 맞추어 완성차 업계의 하이브리드/전기차 판매량이 지속적으로 증가하고 있다. 특히 전기차로의 패러다임 변화로 인해 차량 내 전기 전자 부품 수 증가 및 전기 회로의 집적도가 높아지면서 발열 문제가 대두되고 있으며, 이에 따라 기존 소재보다 우수한 방열 특성을 가진 커넥터 소재가 필요한 실정이다. 동합금 중 Corson계 합금은 우수한 기계적 특성을 가짐과 동시에 높은 전기전도도 및 열전도 특성을 가지기 때문에 기존의 커넥터 소재를 대체할 수 있을 것이라 판단된다. 본 연구에서는 Cu-Ni-Si-Sn-Zn계 합금의 최적 제조 조건을 도출하기 위해 합금의 기계적 특성에 영향을 미치는 잠재인자에 대해 분석하였다. 실험계획법을 통해 Zn 함량, 석출 온도, 석출 시간이 인장강도 및 전기전도도에 미치는 영향을 분석하였고, 이를 바탕으로 인장강도 540MPa, 전기전도도 34%IACS를 달성하여 커넥터 소재로 적합한 Cu-Ni-Si-Sn-Zn 합금을 개발하였다.

[P5-21]
Cu-Te-P 동합금의 니켈 첨가 및 최종압연 압하율에 따른 기계적 특성 연구 : 남효문*, 박철민, 최영철, 문선영, 김준형, 박승훈 ((주)풍산소재기술연구원)
Keywords: Cu-Te-P 동합금, 경도, 내연화 온도, 전기전도도

전기자동차의 배터리 용량의 증가 및 고속 충전으로 인하여 고전압 릴레용의 용량이 450V급에서 1000V급으로 추세가 바뀌고 있다. 이에 따라 전기자동차의 구동 과정에서 아크 발생시 에너지가 커지며 이를 견디기 위한 접점 소재용 동합금의 고신뢰성이 요구되고 있다. 현재 고전압 릴레이에 적용되고 있는 순동 계열의 접점소재는 경도 및 내연화 온도 특성이 부족하여 차단 동작 시 접점 부위의 원자 이동이 발생하하는 과정에서 동합금 손상과 용착과 같은 다양한 문제가 발생되며 안전사고 발생 확율이 높아지고 있다. 따라서 이러한 아크 충격에 견디는 전기전도도, 경도, 내연화온도 특성이 우수한 Cu-Te 계열 동합금이 최근 주목을 받고 있다. 본 연구에서는 Cu-Te-P 동합금의 미량의 Ni 첨가와 최종압연 압하율에 따른 기계적 특성에 대한 연구를 수행하였다. 각 합금은 주조,

열간압연, 냉간압연, 열처리, 최종압연으로 샘플을 제조하였다. 최종압연품의 미세조직을 분석하기 위하여 FE-SEM을 사용하였고, 기계적 특성을 분석하여 전기자동차 고전압 릴레이용 접점 소재 특성에 적합한 Cu-Te-P-Ni계 동합금을 개발하고자 하였다.

[P5-22]

Thermo-Mechanical Double Aging 공정이 Cu-Ni-Co-Si계 합금 특성에 미치는 영향 : 강덕호*, 최영철, 홍혜민 ((주)풍산 소재기술연구원)

Keywords: 동합금, 석출경화, Corson, 커넥터, Cu-Ni-Co-Si

최근 커넥터 시장의 성장과 함께, 부품의 소형화 및 고신뢰성이 요구되고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해, 부품은 작고 얇아질수록 강도가 높아야 하며, 고집적화로 인한 발열을 효과적으로 제어해야 내구성을 유지할 수 있다. 이에 따라, 높은 강도와 함께 우수한 전기전도도를 동시에 갖춘 동합금의 필요성이 증가하고 있는 실정이다. 현재 전기.전자 부품용 동합금으로 널리 사용되는 Corson 합금은 작은 원반 모양의 Ni_2Si 입자에 의한 석출경화형 합금으로, 인장강도 700-800 MPa, 전기전도도 40%IACS 수준의 비교적 높은 강도와 전기전도도를 겸비하고 있으나, 신규 고강도/고신뢰성 커넥터에 적용하기에는 물성이 충분하지 않아 최근에는 Cu-Ni-Si계 합금의 Ni을 Co로 대체한 Cu-Ni-Co-Si계 합금이 개발되고 있다. 본 연구에서는 석출경화형 동합금의 물성을 개선하기 위해 두 가지 공정(DA, TMDA)을 적용하였으며, 각 공정의 시효 시간, 시효 온도, 변형량이 Cu-Ni-Co-Si계 합금의 강도와 전기적 특성에 미치는 영향을 분석하였다.

[P5-23]

Lithium leaching from cathode black powders of spent $LiFePO_4$ batteries thermally treated in different atmospheres : Jong-Won Choi*, Mooki Bae, Hyunju Lee (Resources Utilization Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)), Hyunjoon Lee (University of Science and Technology, Daejeon 34113, Republic of Korea), and Sookyung Kim*(Resources Utilization Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), University of Science and Technology, Daejeon 34113, Republic of Korea)

Keywords: Lithium iron phosphate (LFP: LiFePO4), Oxidative-leaching, Sodium persulfate, Selective lithium leaching, Thermal treatment

Herein, we present a method for efficient, selective, and acid-free lithium leaching at room temperature from spent $LiFePO_4$ (LFP) batteries, utilizing sodium persulfate ($Na_2S_2O_8$) as a promising lixiviant. However, unlike previous reports, we found that lithium was not fully leached despite using 1.05 times the theoretical amount of $Na_2S_2O_8$, hypothesizing that organic matter in cathode black powders (BPs) of spent LFP hindered the leaching efficiency of lithium (LE_{Li}). To improve LE_{Li}, the BPs were thermally treated at 500 °C under different atmospheres. For thermally treated BPs in an active atmosphere with air, further oxidative leaching by $Na_2S_2O_8$ was ineffective due to the already high oxidation state of iron. In contrast, for thermally treated BPs in an inert atmosphere with Ar, lithium was leached by 99.9±1.1% with selectivities of 99.5% and 99.6% over iron and phosphorus, respectively, under optimal leaching conditions (1.05 times the theoretical amount of $Na_2S_2O_8$, pulp density of 100 g/L, room temperature, and 30 minutes). These results indicate that the presence of organic matter in the BPs affects LE_{Li} and must be removed for efficient lithium leaching with minimal $Na_2S_2O_8$ consumption.

[P5-24]

Silicon Addition in Novel Almag5 Alloy: Balancing Castability, Strength, and Conductivity : Umar Daraz (Korea Institute of Industrial Technology, University of Science and Technology) and Hyunkyu Lim*(Korea Institute of Industrial Technology)

Keywords: Aluminium, Castability, Mechanical Properties, Electrical Conductivity

The novel alloy Almag5 is increasingly recognized for its industrial potential due to its high strength and castability. This study explores the effect of silicon (Si) on Almag5 to enhance its electrical conductivity (EC). We evaluated the hot tearing behavior of Almag5-xSi (0 to 6.0 wt pct Si) alloys using a constrained rod casting mold and investigated the fluidity changes with Si addition. Si content influenced the types and fractions of solidification phases (Al_3Mg_2, Mg_2Si, and eutectic Si), significantly altering the freezing range and eutectic liquid fraction. The hot tearing susceptibility curve exhibited two peaks, primarily due to double ternary eutectic reactions and the evolution of solidification phases. Fluidity results indicated a decrease in oxidation rate and freezing range, alongside an increase in the heat of fusion with rising Si content. EC measurements using SIGMASCOPE SMP10 showed an increase in EC with up to 3% Si addition, followed by a decline beyond 3%. The added Si consumed some Mg atoms to form Mg_2Si, reducing the Mg content in the ternary eutectic liquid and decreasing the fraction of Al_3Mg_2. In the Al-6Mg-2Si alloy, nearly all Mg atoms formed Mg_2Si, leaving no Al_3Mg_2 or eutectic Si. For Si content between 2 and 6.0 wt pct, excess Si formed eutectic Si, causing a sharp decrease and subsequent increase in the eutectic liquid fraction. Mechanical properties indicated that adding 1% Si to binary Al–5Mg alloy slightly increased yield stress but significantly reduced ductility and tensile strength due to brittle eutectic Mg_2Si and π-$Al_8FeMg_3Si_6$ particles. Adding 3% Si further reduced yield stress and ductility due to increased intermetallic volume fraction. We also studied the effect of different aging cycles (T4, T5, T6, and T7) on the EC of Almag5-xSi (0 to 6.0 wt pct Si) alloys.

[P5-25]

페스크랩을 이용한 전처리 시료로부터 팔라듐의 선택적 침출을 위한 고효율 리싸이클링 공정기술 개발 : 이호세(희성피엠텍주식회사), 정

병조 (디에스엠주식회사), 이민형*(희성피엠텍주식회사)
Keywords: 리싸이클링, 팔라듐, 침출공정, 회수기술, 폐스크랩

본 연구에서는 폐스크랩 (제약폐수 슬러지 및 폐촉매)을 이용하여 전처리 된 시료로부터 회수된 팔라듐 슬러지 및 폐촉매의 침출을 위해 최적의 운전조건을 도출하고자 왕수(aqua regia)를 활용하였고 농도에 따른 스크랩 조성별 침출 효율을 확인하기 위해 3, 6, 10, 12M의 왕수를 각각 300 ml씩 준비하였다. 팔라듐 폐촉매에 왕수침출을 적용하여 침출한 결과, 완전 침출까지 총 480 min의 침출시간이 소요되었고 염산만을 사용하여 팔라듐 폐촉매를 침출한 경우에는 침출되지 않는 것을 확인하였다. 왕수 침출용액에 고순도의 염소가스를 주입하였을 때 가장 침출속도가 빠른 것을 확인하였으며, 염산과 질산 용액에서는 침출 반응이 일어나지 않는 것을 확인하였다. 왕수농도에 따른 팔라듐 슬러지 및 폐촉매 침출률을 도출할 수 있었다. 염소수는 금속과의 반응성이 좋아 적용성이 크며, 일반적으로 염소가스의 주입은 외부로부터 공급하고, 또한, 공정 내에서 발생하는 염소가스를 침출에 사용할 경우, 염소가스 취급에 편리하다는 장점이 있다. 보통 침출 시 왕수를 사용하나 질소가스 처리 후 염산으로 침출이 가능하며, 침출율도 왕수보다 높고 1회 작업으로도 침출이 가능한 것을 확인하였다. 수득한 팔라듐 침출액의 화학침전 단일공정 또는 환원제로 포름산(HCOOH), 하이드라진(N_2H_4) 등을 사용하여 환원 일괄공정에 적용이 가능하며 고순도(99.99%) 팔라듐 회수율을 기존 공정 대비 약 3% 이상 향상시킬 수 있었다.

[P5-26]

3D 프린트용 고청정 Alloy 939 합금의 잉곳 제조 기술개발 : 박상규, 최재영*((주)에이치브이엠)
Keywords: Alloy 939, 진공유도용해(VIM), 모합금 제조 기술, 3D Printing, Powder

가스터빈은 압축기로부터 압축된 공기가 연소실에서 연료와 혼합되어 연소함으로써 발생한 고온, 고압의 기체에 의해 터빈을 구동하여 전기를 발생시키는 회전형 열기관으로, 크게 압축 가스터빈은 압축기로부터 압축된 공기가 연소실에서 연료와 혼합된 후 연소하고, 이때 발생한 고온, 고압의 기체로 터빈을 구동하여 전기를 발생시키는 회전형 열기관이다. 크게 압축부, 연소부, 터빈부로 구성되어 있으며, 이중 터빈부 부품은 고온, 고압에서 작동되기 때문에 내식성, 산화성, 피로 성능, 크리프 강도 등 우수한 성능이 요구된다. 하지만 이러한 부품들은 고온, 고압의 환경에서 작동되기 때문에 열피로, 부식, 소손 등 다양한 형태의 부품 손상이 발생되며, 점검 후 새로운 부품으로 교체하고 있다. 이 때 교체하는 부품의 대부분은 해외에서 수입하고 있기 때문에 경제적인 측면에서 비효율적이다. 이에 3D 프린팅을 활용한 최첨단 수리·보수 기술이 개발되었으며, 3D 프린팅 금속 분말 개발되고 있다. 하지만 국내의 경우 일반적으로 사용되는 소재(Alloy 718, Alloy 625 등)에 초점을 맞추어 3D 프린팅용 금속 분말을 생산하고 있으나, Alloy 939와 같이 가스터빈 부품으로 적합한 소재에 대해서는 금속 분말이 생산되지 않고 있다. 해외의 경우 수요가 적어 주문·생산 방식으로 유통되기 때문에 제조 비용이 높다는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 국내 기술을 기반으로 한 3D 프린팅용 Alloy 939 분말 제조 기술의 개발이 필요한 실정이다. VIM으로 제조된 모합금의 성분을 분석하기 위해 분광분석기(spark optical emission spectrometer, S-OES)와 유도결합 플라즈마 분광 분석기(inductively coupled plasma optical emission spectroscopy, ICP-OES)를 이용하여 정량적, 정성적 분석을 실시하였으며, CS, NO 분석기를 이용하여 모합금 내 C, S, N, O 함량을 분석하였다.

[P5-27]

Separation and Recovery of Gold and Palladium from Wasted Integrated Circuit Chip of Credit Card by Ion Precipitation and Ion Exchange-Resin : Jiseok Kim*(Korea Institute of Industrial Technology)
Keywords: Recovery, Gold:Palladium, Precipitation, Ion exchange-resin

Now days, the generation of wasted integrated circuit chip (herein after IC) chips, which contain precious metals such as gold and palladium, is measured as 2.4Mton whole world. Since the value of precious metals such as gold and palladium are high as usual and domestic supply is keeping high consistently dependent on imports, obtaining those metals from IC chips is important. In the existing process, the IC chip is dissolved in aqua regia and precipitated with several stages. Serious environmental pollutants can be generated with this process especially using aqua regia would bad since it can decompose most of valuable metals in the earth. Thus, separating gold and palladium from solution of IC chips stripped with sodium cyanate by precipitation and ion exchange is introduce in this study. It is well known that cyanide solution is also a substance harmful to the environment and the human body, but since it is a solvent that is easy to extract dissolved ions, it can be reused, so the environmental burden can be relatively less. To precipitate precious metal ions in cyanide solution zinc was added in a 1:1 molar ratio with gold. The dissolved oxygen in the solution reacts more preferentially with the zinc reducer than with the noble metal ions, which can interfere with leaching. Therefore, the injection of nitrogen gas into the solution was conducted to reduce the dissolved oxygen in the solution to 1mg/L or less. By injecting nitrogen gas was performed under condition of 1mg/L or less of dissolved oxygen because the remaining oxygen reacts more preferentially with the zinc reducer than with the noble metal ions, which can interfere with leaching. To compare ion fractionation efficiency with other processes, ion exchange resin process was also performed by using both base and acid-based products. The process was simply carried out by mixing the resin with the liquid solution. After adsorbing all of metal ions from the solution with ion exchange resin, research was proceeded to find process that can separate gold and palladium and solutions that can be selectively separated. All of ion tendencies are analyzed by ICP (Inductively Coupled Plasma) spectrometry and XRF (X-ray Fluorescence). Both processes resulted in sufficient process efficiency to precipitate the ions present in the leaching cyanide solution, but it was confirmed that the tendency of ions to be reduced was different depending on the set process conditions. These conditions were considered as process time, temperature, and solid/liquid ratio.

[P5-28] Canceled

용융탄산염 전해법을 활용하여 폐NCM으로부터 Li2CO3 회수 : 양재열, 이정훈*, 최준호, 김용관, 심영보, 조문행, 전준경 (연화신소재)

Keywords: NCM, Li2CO3, 용융탄산염, 건식제련

본 연구에서는 용융탄산전해질을 기반으로한 전해환원 공정을 활용하여 폐 NCM으로부터 친환경적 공정으로 탄산리튬(Li2CO3)을 회수하였다. 전해 시스템은 지름 20 mm, 길이 500 mm의 흑연 봉을 양극으로 활용하고, 폐 NCM을 양극과 동일한 크기로 압축하여 니켈 와이어로 고정하여 사각 니켈바구니에 장입하여 구성하였다. 용융탄산염은 K2CO3-Na2CO3 이원계 염을 활용하여 900 ℃ 전압 2 V로 유지하며 전해 공정을 수행하였다. 전해공정이 완료된 후에는 회수된 용융탄산염을 파분쇄, 수용해, 증발농축, 건조 공정으로 탄산리튬을 회수하였으며, 공정 후 XRD 분석을 통해 K2CO3-Na2CO3와 Li2CO3의 분리를 명확히 확인하였다. 이는 전해 기반 염인 K2CO3-Na2CO3의 재사용이 가능할 뿐만 아니라 고순도의 Li2CO3의 회수가 가능하다. 또한 XRF를 활용하여 전해 후 잔여물의 Ni, Co, Al, Mn의 성분비를 분석한 결과 각각 41%, 14%, 14%, 6%로 전해 전의 비율(42%, 8%, 26%, 14%)과 유사함을 확인하였고 전해 공정 후 Ni, Co, Mn, Al 등의 유가금속을 회수 할수 있는 후 공정에 활용이 가능함을 확인하였다.

P6 : 역학측정
Room 2층 로비, 10월 28일

[P6-1]

고신축 및 저투습성 무기 봉지재료의 주름 구조와 신축성간 상관관계 분석 : 유현지, 김한글, 황경석, 김주영*(울산과학기술원)

Keywords: 열적산화법, 봉지재료, 신뢰성 평가, 전기적 칼슘 시험법, 주름 구조

빠르게 발전하는 전자소자의 형태에 맞춰 장수명과 고신축성을 동시에 보장할 수 있는 봉지 재료가 필수적으로 요구된다. 폼팩터의 발전은 주로 소자를 구성하는 유연한 유기 재료에 의해 크게 이루어졌으나, 이러한 재료는 공기 중의 수분과 산소와 쉽게 반응하여 소자의 수명을 단축시키는 특성을 지닌다. 따라서 유리와 비슷한 수준의 낮은 수분 투습도를 갖는 고밀도의 무기 봉지 재료의 사용이 필요하고, 신축성을 높이기 위해 두께를 얇게 적용하는 기술 개발이 이루어지고 있다. 그러나 비정질 무기산화물은 취성파괴 거동을 띄며 신축 소자에 적용되기엔 부족한 탄성 변형 한계를 가지기에 구조적으로 신축성을 높일 수 있는 접근이 필요하다. 본 연구에서는 일축 물결 주름 구조의 적용을 통해 고신축성과 저투습성을 갖는 봉지 재료를 기계적 신뢰성을 평가하였다. 단결정 실리콘 기판에 균일한 주름 구조를 도입하는 3단계 식각 공정을 개발하였고, 기판을 고온에서 산화시킴으로써 고밀도의 실리카 봉지 재료를 제작하였다. 평평한 박막과 다양한 주름 구조 및 두께를 갖는 봉지재료를 제작한 후 일축 인장 실험을 통해 기계적 물성을 평가함으로써 최대 20% 이상의 신축성을 갖는 주름 구조를 최적화하였다. 또한, 수학적 해석법을 통해 변형 거동을 평가함으로써 봉지재료의 신축성과 주름 구조 간의 상관 관계를 분석하였다. 그리고 가속 환경에서의 전기적 칼슘 시험법을 통해 방습 특성을 평가함으로써 소자의 수명 및 구동 신뢰성을 예측 및 평가하였고, 본 연구 결과를 통해 유연 전자소자로의 적용 가능성을 크게 높일 것으로 기대된다.

[P6-2]

열 산화 공정을 이용한 실리카 봉지막 개발 및 신뢰성 평가 : 조지현, 김나향, 황경석, 김주영* (울산과학기술원)

Keywords: 열 산화법, 실리카, 봉지 재료, 주름 구조, 신축성

유기 광전자 소자는 장기적인 신뢰성을 보장하기 어렵다. 이를 해결하기 위해서는 수분, 산소와 기타 외부 물질로부터 소자를 보호하는 봉지 재료를 요구한다. 일반적으로 유기 광전자 소자의 신뢰성을 확보하기 위해서는 10^{-4} 또는 10^{-5} g/m^2 day 이하의 수분 투습도가 필수적이다. 낮은 수분 투습도를 가지면서 높은 신축성을 가지는 관계는 상충관계이기 때문에 구조적인 관점에 초점을 맞추어 신축성을 높이면서 낮은 수분 투습도를 가지는 재료에 대해서 연구하였다. 열 산화법으로 증착한 실리카 박막은 결함이 거의 없는 미세구조를 가지기 때문에 낮은 수분 투습도를 가진다. 실리카의 기계적 물성 측정 결과를 바탕으로 주름 구조를 도입함으로써 일축, 이축 연신성을 향상시켰다. 사전 변형을 준 기판 위에 실리카 박막을 전사시키고 사전 변형을 제거한 결과 두 종류의 주름 구조를 형성하였다. 주름 구조의 진폭과 파장의 비를 활용하여 신축성을 평가하였으며 전기적 칼슘 시험을 통해서 수분 투습도를 측정하였다. 최종적으로 주름 구조 실리카 봉지 재료의 반복 신축 시험을 통하여 신뢰성과 낮은 수분 투습도를 확인하였다. 따라서 고신뢰성, 고신축성, 낮은 수분 투습도의 특성을 가지는 봉지 재료를 개발하였다.

[P6-3]

유한요소해석 기반의 자가 확장성 및 생분해성 생체삽입소자의 구조 설계 기술 개발 : 김수민, 황경석 (UNIST), 배재영, 강승균* (서울대학교), 김주영* (UNIST)

Keywords: 유한요소해석, 생분해성, 형상기억고분자, 자가 확장성

뇌전증, 뇌졸중과 같이 질병의 진행 속도가 빠르고 조기 진단이 어려운 뇌-신경계 질환을 효과적으로 치료하고 진단하기 위해서는 뇌 표면에 직접 부착하는 생체삽입형 전자소자를 통해 넓은 영역의 전기적 신호를 실시간으로 모니터링하는 기술이 필요하다. 일반적인 생체삽입형 전자소자는 감염의 위험과 염증 반응을 일으키지 않도록 생체적합성이 높은 재료가 사용되지만, 체내에서 기능이 다한 후 별도의 제거 수술이 필요하다. 이 과정에서 모든 구성 재료가 체액으로 분해 가능하다면 환자들의 2차 제거 수술에 대한 위험성과 부담감을 줄일 수 있고 체내에서 형태 변형이 가능하도록 구조 설계를 통해 넓은 범위의 신호를 측정할 수 있어 이에 대한 연구가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 생분해성 형상기억고분자를 활용하여 미세 침습으로 소자를 삽입하고, 체온에 의한 자가 확장성으로 인해 다방면에서의 신호 측정이 가능하도록 구조 설계를 하고 체액에 의해 녹아 사라질 수 있는 전자소자를 제작하고자 하였다. 형상기억고분자의 열-기계적 물성을 측정하고, 이를 기반으로 전자소자의 삽입 과정을 유한요소법을 통해 모델링하여 전체 전자소자의 기계적 특성과 변형 거동을 분석하였다. 이 과정을 통해 전자소자의 구조에 따라 변형 과정에서 전자소자에 가해지는 변형률을 최소화할 수 있는 최적의 구조를 도출하였다. 따라서, 생분해성과 자가확장성 특성을 동시에 갖춘 전자소자를 구현하고, 기계적 모델링에 기반한 전자소자의 구조 설계 방안을 제시하고자 하였다.

[P6-4]

계장화 압입시험을 이용한 QST(Quenching and self-tempering) 공정으로 제조된 H 형강의 국부 표면 잔류 응력 측정 : 전지헌, 이소현, 김주영* (UNIST)

Keywords: 잔류응력, 소성쌓임, QST 공정, 압입시험, H형강

H 형강은 건축 구조물 및 선박에 사용되는 H 형상의 구조용 철강 재료이다. 반복 재난 환경 및 해양 등 다양한 환경에서 사용

되기 위해서 고강도와 고인성을 가진 고성능 H 형강이 요구되어지고 있다. 이를 위해 H 형강의 성능을 향상시키기 위한 공정 및 조성이 고안되고 있다. 특히, 고온압연(hot-rolling), 급냉(quenching)과 자기템퍼링(self-tempering) (QST) 공정을 통해 고성능 QST H 형강에 대한 연구가 진행되고 있다. 하지만 생산 공정 중 재료 내부에 발생하는 온도와 압력구배로 인해 잔류응력이 불가피하게 발생하며, 이는 재료의 성능을 저하시킬 수 있다. 많은 연구에서 잔류응력은 재료 내부의 온도 구배로 인한 국부적 부피 변화로 발생한다고 알려져 있다. 재료 내부에 잔류응력이 존재하면, 외부 하중과 더불어 잔류응력이 더해지기 때문에 설계된 재료의 항복 강도보다 낮은 하중에서도 항복이 일어날 수 있다. 따라서 구조용 재료의 신뢰성을 확보하기 위해서는 잔류응력을 정확하게 측정하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 비파괴적 측정 방법인 계장화 압입시험을 통해 H 형강의 잔류응력을 측정하는 방법을 제안하고자 한다. QST 공정을 통해 생산된 H 형강에 압입 시험을 진행하여, 발생한 소성쌓임의 변화를 위치에 따라 잔류응력과 물성에 대한 상관관계를 조사하였다. 결과적으로 소성쌓임 측정을 통해 H 형강의 위치에 따른 물성을 고려하여 잔류응력을 도출하는 방법을 제안하고자 한다.

[P6-5]

나노인덴테이션을 활용한 압입자의 형상에 따른 Zircaloy-4에 대한 크리프 및 기계적 특성 분석 : 신기숲, 박민지, 조아름, 정회연, 박연경, 박태원, 김진현, 전은채* (울산대학교)

Keywords: Zircaloy-4, 나노인덴테이션, 점탄성 특성, Berkovich tip, Sphero-Conical tip

핵연료 피복관은 고온에서 내열성 및 크리프 저항성이 우수한 Zircaloy-4 소재를 사용하며, 핵연료를 안전하게 보관하고 열을 냉각재에 전달하는 역할을 하기 때문에 피복관의 손상 및 파괴를 예측하기 위해 크리프 및 기계적 특성 평가가 필요하다. 피복관의 두께가 마이크로 스케일로 매우 얇아 bulk한 Zircaloy-4 소재의 기계적 특성과 다르게 나타날 수 있기 때문에 Nanoindentation으로 국소부위의 크리프 특성에 대한 정량적 분석이 필요하다. 크리프는 소재에 일정한 하중이 가해진 상태에서 시간의 지남에 따라 소재가 계속 변형되는 현상으로 재료의 점탄성과 관련이 있다. 이에 본 연구에서 Nanoindentation을 사용하여 크리프 실험을 진행하기 위해 최대 하중을 점진적으로 인가한 후 hold 시간에 대한 깊이 데이터 값에 Voigt model을 적용하여 Zircaloy-4 소재의 점탄성 특성에 대해 분석하고자 하였다. Nanoindentaion은 다양한 압입자를 적용할 수 있으며 압입자 형상에 따라 침투 깊이 및 투영 면적이 다르기 때문에, 압입자 형상에 따른 점탄성 및 기계적 특성을 분석할 필요가 있다. 일반적으로 많이 사용되는 Sphero-Conical tip과 Berkovich tip으로 실험을 수행하여 Voigt model을 통해 얻은 탄성계수 및 점탄성 특성의 차이를 비교하였다. 최대 하중 hold 시간은 100초, 150초, 200초로 설정하여 각 압입자 형상을 고려한 Voigt model로 피팅하여 초기 탄성계수, 나중 탄성계수, 점탄성 계수를 추출했다. 실험 결과, Berkovich tip을 사용한 실험에서 얻어진 점탄성 계수는 Sphero-Conical tip을 사용한 실험 결과보다 약 3배 더 높게 나왔음을 확인했으며 또한 초기 탄성계수, 나중 탄성계수는 Berkovich tip에서 각 2~3배 높게 나타났음을 확인하였다. 이는 Berkovich tip의 기하학적 특성에 의해 더 높은 값이 측정된 것으로 판단된다. Sphero-Conical tip과 Berkovich tip을 사용해 얻은 실험값을 비교하여 압입자의 형상에 따른 기계적 특성이 달라짐을 확인했으며, 추후 크리프 및 기계적 특성 분석에 더욱 적합한 압입자 형상에 대한 연구를 진행할 예정이다. 이 성과는 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 국책연구사업임(No. RS-2022-00156205)

[P6-6]

핵융합 구조재료인 Fe-9Cr 합금의 조사온도에 따른 He 이온 조사취화 변화 분석 : 정회연, 조아름, 박태원 (울산대학교), 이승현, 장대식, 이상빈, 이기현, 천영범 (한국원자력연구원), 이정구, 전은채* (울산대학교)

Keywords: 조사취화, 조사온도, 경도변화, 결함, 나노인덴테이션

화석연료 고갈을 대비하고 지속가능한 친환경 에너지를 생산하기 위해 세계 각국에서 핵융합 발전 사업을 추진하고 있다. 핵융합 과정은 1억℃ 이상의 고온의 환경에서 수소융합에 의해 핵융합 에너지가 발생하며, 고에너지의 중성자가 핵융합로 대면재에 고속으로 충돌하게 된다. 대면재에 중성자가 조사되면 소재 내부 격자와 충돌하게 되어 공공 등의 결함을 형성하기 때문에 대면재의 취성이 증가한다. 재료가 취화될수록 크랙 생성 및 성장 가능성이 증가하여 취성파괴를 초래할 수 있으며, 이는 일반적으로 열처리를 통해 재료를 연화시켜 취화를 완화시킬 수 있다. 하지만 핵융합 구조재료를 대상으로 중성자 조사 시 온도를 동시에 가해주었을 때 온도에 따라 취성이 얼마나 감소하는지 정량적으로 분석한 연구가 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서 핵융합 구조재료인 ARAA (Advanced Reduced-Activation Alloy)강을 대상으로 25℃, 300℃, 400℃ 온도환경에서 He 이온이 50,000appm 조사된 시편과 조사환경에 노출되지 않은 모재 시편을 비교하여 각 온도에 따른 조사취화 변화를 분석하고자 하였다. 취화를 분석하기 위해 나노인덴테이션의 CSM (Continuous Stiffness measurements)을 사용하여 경도를 평가하였으며 조사된 시편과 조사되지 않은 시편의 경도 차이를 바탕으로 취화를 정량화하였다. 25℃ 환경에서 조사된 시편의 경우 경도가 최대로 증가하였으며, 온도가 증가함에 따라 경도가 감소하였고 400℃에서 조사된 시편의 경도는 최대 경도에 비해 80% 감소하였다. 이는 기존에 알려진 바와 같이 온도가 올라갈수록 원자의 이동이 활발해지며 결정 결함의 감소로 인해 재료의 연성이 증가한 것으로 설명할 수 있다. 또한, 이온 조사되었음에도 400℃ 환경에서 거의 모재에 가까운 경도를 가지는 것을 통해 그 이상으로 온도를 증가시키면 조사에 의해 생성된 결함이 소멸하여 조사취화를 100% 완화시킬 수 있음을 시사한다. 조사온도에 따른 조사취화 변화는 미세조직의 결함 및 전위밀도 등을 통해 명확히 설명되기 때문에 추후 TEM 분석을 통해 조사취화에 의한 경도변화와 미세조직 간의 상관관계를 추가적으로 분석할 예정이다. 이 논문은 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구이며(RS-2024-00349003, 공기업 연계 현장 실무교육 지원), 이 성과는 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 국책연구사업임(No. RS-2022-00156205).

[P6-7]

PI/PI 유연 기판의 접착 방법에 따른 Cu interconnect의 굽힘 변형 분석 : 함주빈, 손혜진 (안동대학교 대학원 재료공학과), 김병준 (한국공학대학교), 김영천* (안동대학교 대학원 재료공학과)

Keywords: 접착방법, 유연소자, 기계적 거동, 유한요소해석

최근 유연한 전자 기기의 개발이 활발히 이루어지면서, 유연소자는 굽힘 상태가 지속적으로 반복되는 가혹한 실사용환경을 견딜 수 있도록 요구받고 있다. 이러한 환경에서 발생하는 변형은 굽힘 부위에 집중적으로 반복 응력을 발생시켜 결과적으로 제품을 손상하거나 파손시킨다. 따라서 유연소자의 굽힘 변형에 따른 기계적 특성 측정 및 신뢰성 평가는 필수적이다. 본 연구에서는 유연기판 두 층의 접착방법에 따라 응력 및 변형율의 변화를 관찰하였다. 유연기판의 접착 방법은 전체 접착, 테두리 접착, 가로 부분 접착, 세로 부분 접착으로 총 4가지로 달리하였고, 상단 층에 구리 배선을 증착한 후 반복 굽힘 실험을 실시하였다. 유한요소해석을 통하여 4가지 방법 접착한 유연기판을 모델링하였고, 최대 2%의 변형율을 가하여 배선의 inner bending, outer bending에서 굽힘 변형율을 산출하였다. 접착 방법에 따라 기판의 변형은 다르게 나타났고 기판 위 배선의 굽힘 변형율 또한 다르게 측정되었다. 기판을 부분적으로 나누어 분석하여 접착 방법이 굽힘 변형율에 미치는 영향을 조사하여 굽힘 변형율을 낮출 수 있는 접착방법을 선정할 수 있었다.

[P6-8]

유한요소해석에서 실제 압입자의 형상을 고려한 압입시험의 구현과 딥러닝을 활용한 인장물성예측 : 김동엽 (안동대학교 대학원 재료공학과 청정·에너지소재기술연구센터), 김종형 (John A. Paulson School of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, Cambridge, MA, 02138), 김영천* (안동대학교 대학원 재료공학과 청정·에너지소재기술연구센터)

Keywords: 머신러닝, 전이학습, 유한요소해석, 압입시험, 인장물성

재료의 물성 측정은 사용되는 용도나 환경에 적합한 재료를 선정하는 데 중요한 역할을 한다. 특히, 압입시험은 압입곡선을 이용해 재료의 물성을 구하며, 이를 통해 기존의 인장시험 결과를 예측할 수 있다. 그러나 기존 연구에서 압입시험 결과를 통한 보정은 재료와 실험 조건에 따라 인장곡선을 정확히 모사하지 못하는 경우가 있었고, 이를 극복하기 위한 딥러닝을 도입하고자 하는 연구가 많이 진행되고 있다. 이러한 딥러닝은 많은 양의 입력 데이터를 요구하며, 이는 시간과 비용 면에서 실제 실험을 통해 확보하기 어렵기에 데이터 생성을 위해 주로 유한요소해석이 사용된다. 기존 연구에서는 유한요소해석으로 구형 압입시험을 모델링 할 때, 일반적으로 압입자 첨단을 완벽한 구형으로 가정하는데 이는 실제 압입자의 형상을 반영하지 못한다는 한계점으로 지적되어 왔다. 본 연구에서는 실제 압입자의 형상을 3D 현미경을 이용해 얻은 데이터를 기반으로 보정한 유한요소해석을 실시한다. 먼저 완전한 구형 압입자 모델링을 사용한 유한요소해석으로 학습을 진행한 후, 이를 실제 형상을 기반으로 한 압입자 유한요소해석으로 전이학습을 통해 실제 시험에 가깝게 머신러닝 모델을 개선하고자 하였다.

[P6-9]

나노압입시험을 통한 리튬이온전지용 양극활물질 Ni-Rich NCM의 기계적 특성 및 전기화학적 특성 분석 : 박지현 (안동대학교), 남승훈 (명지대학교), 김영천* (안동대학교)

Keywords: NCM, 압연 공정, PR 공정, 나노압입시험, 충·방전 시험

리튬이온전지는 전기차와 휴대용 전자기기와 같은 다양한 응용 분야에서 중요한 재생 가능한 에너지원으로 널리 사용되고 있으며 높은 에너지 밀도, 긴 수명, 그리고 빠른 충전 속도 등의 이점으로 주목받고 있다. 특히 주요 소재인 Ni-Rich NCM은 높은 용량을 제공하며, 비용 측면에서도 장점을 지닌다. 그러나 전극 제조 과정에서 에너지 밀도를 극대화하기 위해 압연 공정을 진행할 때, 과도한 압력이 가해지면 입자가 파괴될 수 있으며, 이로 인해 전해질과의 반응이 가속화되어 부반응이 발생하게 된다. 이는 결국 배터리 성능 저하로 이어지기 때문에, 압연 공정 시 최적 압력을 선정하기 위해서는 개별 입자의 파괴 거동에 대한 연구가 필수적으로 요구된다.본 연구에서는 나노압입시험법과 포토레지스트(photoresist, PR) 공정을 통하여 NCM 양극재 단일 입자의 기계적 파괴 특성을 정량적으로 측정하였다. 이를 위해 PR을 웨이퍼에 도포하고 다양한 크기의 원통형 홀을 패턴화하여, 개별 NCM 입자를 랜덤으로 배치하였다. 이후 평면 압입자를 사용해 단일 입자에 대한 나노압입시험을 수행하고, 하중-변위 곡선을 분석하여 NCM 입자의 파괴 거동을 평가하였다. 더불어, 동일한 시료로 리튬이차전지 코인 셀을 제작하여 충방전 테스트를 수행하고, 기계적 특성과 전기화학적 성능 간의 상관관계를 분석하였다.

[P6-10]

NanoIndentation을 활용한 유연소재막의 두께별 기계적 물성 분석 : 백하은, 박민지, 조아름, 이정구, 전은채* (울산대학교)

Keywords: Nanoindentation, 유연소재, 경도, 탄성계수

차폐재는 다양한 형태의 에너지와 물질의 전파를 차단하는 데 사용되기 때문에 주로 전자기기나 전자 회로 등에 적용되고 있다. 최근 사용되는 차폐재는 전자기기의 경량화 및 유연성이 요구됨에 따라 동일한 사양이 충족되어야 하며, 통신기기의 주파수가 높아질수록 열이 발생하여 소자의 노화를 가속화시키기 때문에 높은 내열성을 가져야 한다. 이러한 필요를 충족하기 위해 열저항성이 높은 여러 소재가 개발되고 있으며, 유연한 성질을 가져 다양한 소자에 적용이 용이한 고분자 소재가 주목받고 있다. 유연성은 소재의 경도와 탄성계수와 같은 기계적 물성에 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있는데, 이러한 기계적 물성들은 소재의 크기에 따라 변하는 size effect를 갖고 있다. 특히 차폐재의 경우에는 사용되는 제품의 크기에 따라 두께가 달라져야 하므로 차폐재의 두께에 따른 기계적 물성 변화 분석이 중요하다. 이러한 유연한 차폐재의 두께는 유연성을 담당하는 폴리머 모재가 결정하기 때문에 본 연구에서는 유연한 차폐재의 모재로 사용될 가능성이 있는 Polyimide(PI) 소재에 대해 두께에 따른 기계적 물성 변화 여부를 분석하였다. 경량화를 위해 전기방사를

통하여 nanoscale의 PI 섬유를 얻었으며 microscale의 막을 제조하였다. 제작된 시편의 형상을 확인하기 위해 SEM 분석을 진행하였으며, 화학적 구조 분석을 위하여 FTIR 분석을 진행하여 제조된 시편이 PI임을 확인하였다. 일반적인 세라믹, 금속 결합과는 달리 nanoscale의 섬유가 엉켜서 하나의 재료가 되므로 두께별로 기계적 특성이 달라질 것이며 기존 기계적 특성 평가 법이 적용되기 어려울 것이라 예상하였다. 이러한 예상을 바탕으로 10 μm에서 300 μm까지 다양하게 조절된 PI를 nanoscale의 평가가 가능한 NanoIndentation을 활용하여 경도와 탄성계수를 분석하였다. 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재 기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00408180)

P7 : 복합재료
Room 2층 로비, 10월 28일

[P7-1]
파우치형 이차전지 외장재용 AA8079 합금의 표면 전처리 연구 : 박진웅, 강정현, Appiah Emmanuel, 한병준, 김정한* (한밭대학교)
Keywords: AA8079 합금, 알칼리 처리, 철 금속간화합물, 산 처리, 사출성형
이차 전지 파우치 필름 제조에 사용되는 AA8079 알루미늄 합금은 Al-Fe-Si 합금으로 재료 내부에 철(Fe)-금속간화합물 형태로 존재한다. 이러한 금속간화합물은 매우 안정한 상태로 존재하며 알루미늄 모재와의 전위차이로 인해 폴리머와 접합시 균열 및 부식에 원인이 된다. 따라서 폴리머와의 접합을 수행하기 전 알루미늄의 표면은 금속간화합물과 오염물들이 제거된 상태가 유지되어야 한다. 본 연구에서는 효과적으로 알루미늄 표면에 존재하는 철(Fe)-금속간 화합물(IMC)을 제거하기 위한 연구를 수행하였으며, 무연신 폴리프로필렌(CPP)과의 접합합을 수행하여 해당 전처리가 접합강도에 미치는 영향을 조사하였다. 알루미늄 샘플은 탈지처리를 통해 표면 불순물들을 제거하였고 NaOH 수용액에서 기존에 존재하던 산화피막을 제거하고 표면 금속간화합물들을 드러내게 하였다. 그 후 초음파를 사용하여 질산 및 불산 용액에서 AA8079 알루미늄 합금의 표면 전처리를 효과적으로 수행하였다. SEM, EDS 및 XPS 분석을 통해 산 처리 후 알루미늄 표면에 금속간 화합물들이 완전히 제거된 것을 확인하였다. 알루미늄 표면 전처리 후 사출기를 통해 ISO-19095 규격의 알루미늄-폴리머 접합 시험편을 만들고 인장실험을 통해 접합강도를 측정하였다.

[P7-2]
회주철 금속복합재료 상 고온 마모 특성 비교 연구 : 임유진, 최재성, 김현일, 차원진, 조일국* (동의대학교)
Keywords: 회주철, 금속복합재료, 미세조직, 상 고온 마모
본 연구에서는 TiC 입자를 강화재로 사용하여 FC250 회주철을 모재로 하는 금속복합재료를 용융가압함침 공정을 통해 제조하였다. 복합재의 기계적 특성을 향상시키기 위해 austempering 및 quenching-tempering 열처리를 수행하였고, ball-on-disc 방법을 사용하여 실온, 50ºC, 100ºC 에서 상 고온 마모 시험을 통해 복합재의 마모 거동을 평가하였다. 열처리 전 모재의 FC250에 TiC를 첨가한 후, 모든 열처리 조건에서 경도가 약 2배 증가하였다. SEM-EPMA 분석을 통해 FC250에 TiC가 고르게 분포되어 있음을 확인하였다. 열처리 후 펄라이트 조직은 빠른 냉각속도에 따라 펄라이트, 조대 마르텐사이트, 미세 마르텐사이트 순으로 변화하는 것을 관찰하였다. 특히, quenching-tempering 열처리 조건은 모든 마모 시험 온도 조건에서 마모 폭이 약 1/5로 감소하고, 마모 깊이가 약 1.4배 얕아짐을 확인하였다. 이는 경도가 높은 TiC의 첨가와 열처리에 따른 미세조직이 마르텐사이트로의 변태가 금속복합재료의 경도 및 내마모성을 향상시켰기 때문이다.

[P7-3]
초고속 가공용 샤프트 소재 적용을 위한 고종횡비 TiC/Fe 금속복합재 제조 및 특성 연구 : 박현재*, 신상민, 이태호, 강민우, 조승찬, 이상복, 이상관, 김정환* (한국재료연구원)
Keywords: 고유진동수, 공작기계, 금속복합재, 주축 샤프트
최근 공작기계 산업에서는 재료제거비율을 향상시킨 고속 가공과 마이크로 수준의 표면 조도를 달성할 수 있는 초정밀 가공에 대한 수요가 증가하고 있다. 산업에서 요구되는 가공속도와 가공 정밀도 수준을 달성하기 위해서는 고속 회전 시 우수한 동적 안정성을 유지할 수 있는 주축 개발이 선행되어야 한다. 한편, 샤프트의 밀도는 스핀들의 가공 정밀도에 직접적인 영향을 미치므로 공작기계 스핀들의 동적 특성을 향상시키기 위해서는 샤프트의 무게 절감이 필수적이다. 따라서 동적 안정성 향상을 위해서는 주축 샤프트의 무게 절감 및 1차 고유진동수를 증가시켜 공정의 영향을 최소화하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 기존 상용 제품으로 사용되고 있는 SUS420J2 소재를 대체하기위해 저밀도, 고강도, 고강성 특성을 가진 TiC/Fe 기지 복합재를 활용하여 공작기계 주축의 동적 안정성을 향상시켰다. 우선, 용융가압함침공정을 통해 TiC 강화재에 다양한 Fe기지의 복합재를 제작하고 해당 소재의 미세조직 및 기계적 특성을 측정하였다. 또한 TiC/Fe 복합재의 1차 고유진동수 및 감쇠비를 측정하고 비교 평가하였다. 이를 통해, 고속 가공용 주축 사프트에 TiC/Fe 기지 복합재를 적용한다면 진동 저감을 통한 우수한 가공 성능을 확보할 수 있다는 것을 확인하였다.

[P7-4]
압출공정을 통한 금속복합소재 제조 및 특성 연구 : 이태호, 김정환*, 조승찬, 신상민, 박현재, 강민우, 이상복, 이상관 (한국재료연구원)
Keywords: 알루미늄, 마그네슘, 복합재료, 압출, 배향
인공위성용 구조물은 정확한 치수의 요구와 유지를 위해 우주에서의 온도변화나 다른 환경요인에 의한 형상 변화가 없는 경량의 고강도 재료를 필요로 한다. 특히 우주공간에서 반복적인 태양 노출에 의한 극심한 온도 차이로 인한 열변형을 최소화 하기 위해서는 적절한 재료의 선택과 설계 기술이 필요하다. Al과 Mg은 대표적인 산업용 경량금속으로 경량성과 높은 비강도를 가지고 있으며 특히 Al은 가공이 용이하여 주조와 소결 등 다양한 제품의 소재로 활용되어진다. 하지만 우주환경에서 사용되기 위해서는 낮은 열팽창 계수와 높은 열전도도를 요구한다. 금속복합재료는 단일 소재 대비 강도와 강성이 높으며 사용하는 강화재의 종류에 따라 다양한 특성을 향상 시킬 수 있는 소재이다. 열전도도가 높은 강화재로는 cBN, hBN, 탄소섬유 등이 있으며 이러한 강화재들은 저열팽창, 고열전도의 우수한 성질을 가졌으며 압출 공정을 통해 내부의 기공을 제거하고 강화재의 단일 배향을 유도하여 단일 소재 대비 우수한 성능을 가진 금속복합소재를 제조할 수 있다. 본 연구에서는 Al과 Mg을 금속복합소재의 기지재로 사용하며 압출 공정을 통해 강화재의 배향을 유도한 금속복합소재를 제조하여 미세조직 관찰 및 열 물성 측정을 통한 분석을 진행하였다.

[P7-5]

고인성/고윤활/고내마모특성 구현을 위한 조압연롤 합금 설계연구 : 길희진, 정휘근, 정야호, 김한수*, 이원혁 ((주)코나솔 중앙연구소)

Keywords: DCI, Graphite, VC, 고내마모성, 고윤활성

DCI(Ductile Cast Iron, 이하 'DCI')는 고온강도, 고연성, 고온윤활성을 지닌 소재로, 고온에서 강압하가 요구되는 조압연롤에 널리 적용되어 왔다. 사회적, 생태적, 기술적 환경의 변화에 따라, 초고강도 소재의 수요와 생산이 빠르게 증가되고 있으나, DCI는 초고강도 소재의 조압연에 물성의 한계를 보이고 있다. 이로인해 압연롤교체 주기가 짧아지며, 생산성의 저하로 이어져, 초고강도 소재 제조 경쟁력을 심각하게 저해하는 요인으로 작용하고 있다. 본 연구에서는 전산열역학 모델링 기반의 신규 합금 설계를 통해, 기존의 DCI의 미세조직에 VC를 석출상으로 새로이 도입함으로써 내마모성을 크게 향상시켰다. 특히, 펄라이트 기지에 흑연과 VC 석출비 최적화를 통해, DCI를 뛰어넘는 윤활성과 내마모성을 동시에 구현할 수 있었다. 본 연구결과는 열간 조압연롤의 교체 주기를 연장함으로써 생산성을 증가시키고 공정 비용을 절감할 수 있으며, 이는 철강산업 및 첨단소재산업의 지속 가능한 성장과 경쟁력 확보에 기여할 것으로 기대된다.

[P7-6]

고품위 분말야금 압연롤 제조를 위한 개재물 제어연구 : 정휘근, 길희진, 정야호, 김한수*, 이원혁 ((주)코나솔 중앙연구소)

Keywords: atomizing, top slag, 분말청정도, 개재물, 내피로 특성

철강산업에 사용되는 압연롤은 크게 주조압연롤과 분말야금압연롤로 대별된다. 제조비용의 경제적인 잇점때문에 주조압연롤이 범용으로 사용되고 있지만, 내마모성, 내피로성, 고강도가 요구되는 심가공 압연공정에는 분말야금 압연롤이 선택적으로 사용되고 있다. 분말압연롤 제조에 사용되는 철강기지복합재는 대기가스아토마이저를 사용하여 제조하는데, 제조공정상 산소와 질소 분순물 함량을 저감하기 어려워 개재물에 의한 물성열화의 위험을 내포하고 있다. 본 연구에서는 전산열역학 계산을 통하여 합금성분과 슬래그 조성을 최적화함으로써, 제조분말의 산소와 질소 불순물 함량을 극적으로 저감하였다. 이에 따라 제조분말을 고온등방가압성형하여 제조한 벌크재의 인장물성과 내피로성이 크게 향상되었다. 본 연구의 결과는 분말압연롤의 품질과 수명을 연장함으로써 철강산업의 경쟁력을 높이는데 크게 기여할 것으로 기대된다.

[P7-7]

Al-Si 합금 - 질소 가스 간의 자발 반응을 이용한 알루미늄기 방열 복합재료 제조 : 최정원, 이제인* (부산대학교)

Keywords: 알루미늄, 질화반응, 아크멜팅

최근 경량화가 요구되는 자동차, 전자기기 산업 분야에서 열관리를 통해 제품의 성능을 높이기 위한 고성능 방열 복합재료 개발에 대한 관심이 증가하고 있다. 이에 따라 반도체 재료와 비슷한 수준의 열팽창계수 및 높은 열전도도를 가지는 방열 소재 개발의 필요성이 대두되고 있다. 본 연구에서는 아크 플라즈마 용해 공정을 적용하여 질화알루미늄을 강화재로 갖는 알루미늄 기지 복합재료를 제조하였다. 과공정 조성의 알루미늄-실리콘 합금 (20, 30, 40 at.% Si)을 기지로 하여 고강도 및 경량화 효과를 극대화하였고 질화알루미늄의 자발적인 합성을 통해 낮은 열팽창과 높은 열전도 특성을 구현하고자 했다. 복합재료로 제조 시, 과공정 조성의 합금기지는 아공정 조성의 합금에 비해 자발반응으로 형성되는 질화알루미늄의 부피분율이 최대 2배 이상 증가하였으며, 특히 20 at.% Si의 조성에서 알루미늄 용탕과 질소 가스의 반응을 통해 2분 30초 내 25 vol.% 이상의 질화알루미늄이 생성된 모재가 제조되었다. 이는 기존의 분말 야금/교반 주조 공정과는 차별화된 결과로써, 고분율의 복합재료가 빠른 속도로 제조됨을 의미한다. 미세구조 및 기계적/열적 특성 분석을 통해 본 연구에서 개발된 복합재료의 방열소재 적용 가능성을 평가하였으며, 동시에 최적의 특성을 갖는 Al-Si/AlN 복합재료 설계 방안을 제시하였다.

[P7-8]

Cu/Al 클래드 복합재의 직사각 단면형상 압출공정 해석 : 윤덕재*, 김응주 (한국생산기술연구원)

Keywords: Finite Element Method, Hydrostatic extrusion, Clad Bus-bar, Cold tube Forming, Composites

이종 복합재는 두 종류 이상의 특성이 다른 금속을 적층하여 사용하는 것으로 단일 금속 소재만으로는 얻기 어려운 물리적 특성을 확보하게 된다. 그러나 이종금속간의 유동응력의 차이와 두 금속이 완전히 접합되지 않은 상태에서 이종복합재간의 다른 변형거동으로 인하여 복합재의 파단, 쏠림 등의 문제가 발생하게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 이종복합재의 유동물성 차이에 따른 변형특성과 압출공정에서 공정변수에 따른 변형특성을 분석하고자 한다. 따라서 본 연구에서는 전기차용 직사각 단면형상의 복합재 버스바(Busbar) 부품개발 가능성을 살펴보고자 한다. 이에 Cu/Al 클래드 복합재의 압출공정 변수에 따른 변형특성을 분석하기 위해 상용 AFDEX_3D 프로그램을 활용한 유한요소해석을 수행하였다. 여기서 압출금형의 형상설계에 따른 복합재의 변형특성에 미치는 영향 분석과 정수압 압출공정에서 이종복합재 압출실험한 결과와 비교 검토하였다.

[P7-9]

강화 입자 크기에 따른 c-BN/Mg 금속복합소재의 열 특성 변화 연구 : 신상민, 이태호, 박현재, 조승찬, 이상복, 이상관, 김정환* (한국재료연구원)

Keywords: 금속복합소재, 액상가압, 고방열, 저열팽창

환경 및 에너지 효율을 고려한 경량소재에 대한 수요 증가로 인해 철강 및 알루미늄 등 기존 소재를 대체하는 마그네슘 (Mg) 소재 개발 및 실용화에 대한 연구가 진행되고 있다. 또한, 최근 우주항공용 초경량 소재에 대한 개발 이슈로 인해 고방열, 저열팽창 소재에 대한 관심이 많아지고 있다. 마그네슘 및 그 합금은 경량, 고비강도, 진동/충격 흡수능 등의 특성을 가지고 있다. 그러나, 우주소재로 적용되기 위해선 우수한 열 전도 특성 및 저열팽창 특성을 만족해야 하므로 새로운 고방열/저열팽창 마그네슘 소재 개발이 요구되고 있다. 마

그네슘 합금 중 상대적으로 우수한 열전도 특성을 보이는 소재가 존재하나, 저열팽창의 마그네슘 합금소재를 개발하는 것은 쉽지 않은 실정이다. 마그네슘의 높은 열팽창계수를 떨어뜨리기 위한 방법으로 금속복합소재 개발이 있다. 금속복합소재 (Metal Matrix Composite, MMC)는 금속기지의 우수한 특성과 산화물, 탄화물, 질화물 등 강화입자의 고경도, 고온 안정성, 화학 안정성, 저열팽창 등 과 같은 우수한 특성을 극대화 시킬 수 있는 소재이다. 따라서, 본연구에서는 열 전도 특성이 우수하고 저열팽창 특성을 가지는 cubic BN 강화입자를 사용하여 c-BN/Mg 금속복합소재를 제조하고 열 특성 평가를 하였다. 다양한 BN 강화입자의 크기 에 따른 열 특성 변화를 관찰하고 이유에 대한 고찰을 진행하였다. Acknowledgement 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00281508)

[P7-10]

교반주조 및 다이캐스팅 공정을 이용한 SiC-Al 복합재료의 미세조직 및 기계적 특성 분석 : 이동현, 조승찬*, 김정환, 강민우, 이상복, 이상관 (한국재료연구원)

Keywords: Metal Matrix Composites, silicon carbide, stir casting, die casting

본 연구에서는 Al 합금을 기지재로 하고, SiC를 강화재로 사용한 금속복합재료의 미세조직 및 기계적 특성을 분석하였다. SiC 강화재는 30 μm와 100 μm의 두 가지 크기로 사용되었으며, 복합재료의 제조는 교반주조(stir casting)와 이후 다이캐스팅(die casting) 공정을 통해 이루어졌다. 첫 번째로, 교반주조 공정에서 SiC 입자를 분산시키고 복합소재를 제조한 후, 이를 다시 녹여 다이캐스팅 공정을 수행하여 최종 복합소재를 제조하였다. 두 공정을 거친 복합재료의 미세조직 분석을 통해 SiC 입자 크기와 공정 조건에 따른 미세구조의 변화를 관찰하였으며, 기계적 특성 시험을 통해 강화재 크기 및 제조 공정에 따른 복합소재의 인장 강도 등의 변화를 비교 분석하였다. 본 연구는 복합재료의 미세조직과 기계적 특성 간의 상관관계를 이해하는 데 기여하며, SiC 강화 금속복합재의 최적화된 제조 공정을 제시하는 데 중요한 기초 자료로 활용될 수 있다.

P8 : 재료분석
Room 2층 로비, 10월 28일

[P8-1]
Effect of Oxygen in Fe-Ti Hydrogen Storage Alloy With Microstructure Analysis : IJUN RHO, Chang-Gi Lee, and Se-Ho Kim* (Korea Univ.)
Keywords: Hydrogen storage, Fe-Ti alloy, Oxidation, arc-melting furnace, phase separation
Hydrogen is seen as an important future energy source owing to environmental concerns and the increasing cost or scarcity of fossil fuels. Some of the alloys used for hydrogen storage include LaNi2, ZrV2, Mg2Ni and FeTi. Fe-Ti based alloys are widely used due to their good adsorption and desorption capability and relatively low cost. They exhibit significant variations in hydrogen storage capacity depending on the Fe/Ti ratio. Despite the advantages of these FeTi alloys, there has been little research into how their properties change in an oxygen atmosphere. In this study, FeTi alloys of different compositions were produced and the effects of oxygen on each were investigated. Fe2Ti, Fe60%-Ti40% and FeTi were cast in an arc melting machine and then heat treated in an oxygen atmosphere. The alloys were then analysed using SEM, EDS and APT to investigate the effects of oxygen on the alloys.

[P8-2]
하나로 중성자 공학용 회절기(잔류응력장치) 활용 연구와 빔 타임 신청 방법 : 채호병*, 우완측 (한국원자력연구원)
Keywords: 하나로, 중성자, 회절, 잔류응력장치.
본 연구에서는 한국원자력연구원의 연구용 원자로인 하나로의 중성자 회절기(잔류응력장치Residual stress instrument, RSI)를 활용한 연구 예시와 이를 활용하기 위한 빔타임 신청에 대해 소개한다. 중성자는 X선과 달리 재료 내부까지 깊게 투과할 수 있는 특징을 가지고 있어 구조용 소재의 특성을 분석할 때 유용하다. Debye-Scherrer geometry를 이용한 중성자 공학용 회절기인 잔류응력장치는 1.46 Å의 파장과 4°의 검출 범위를 가진 위치 민감형 검출기를 사용하여 25-100°의 2θ 각도 범위에서 샘플로부터 회절된 중성자를 수집한다. 해당 장치를 활용한 연구로는 대표적으로 용접 재료 등의 잔류응력 분포 분석이 있다. 용접 재 내부의 특정 위치에서의 회절 피크를 측정하여, 응력에 따른 면간 거리의 변화와 Hooke's law를 활용하여 잔류응력을 계산한다. 뿐만 아니라, 중성자 회절기에 인장 시험 장치 및 환경 장치를 설치하여 응력, 변형, 온도 등에 따른 회절 피크의 변화를 실시간으로 관찰 할 수 있다. 회절 피크의 강도, 위치, 폭을 프로파일링하여 미세조직적 정보를 정량화 할 수 있다. 하나로 중성자 빔 장치를 이용하기 위해서는 하나로 이용자사무실(useroffice@kaeri.re.kr) 또는 장치담당자(hob2021@kaeri.re.kr, chuckwoo@kaeri.re.kr)에게 빔타임 제안서를 제출하여 빔타임을 배정받는다(홈페이지: https://www.kaeri.re.kr/hanaro). 특허 또는 기업의 이익을 목적으로 하는 경우와 다르게 학술논문 작성이 목적인 경우 이용료가 면제된다.

[P8-3]
사용후핵연료 심층처분용 구리용기의 대기 산화가 처분 초기 부식특성에 미치는 영향 분석 : 장준혁*, 김가영, 이민수, 윤석 (한국원자력연구원)
Keywords: 구리, 대기부식, 호기성 지하수, 처분용기, 부식
원자력발전으로 발생하는 사용후핵연료를 지하 500미터 깊이의 안전한 암반층에 영구 격리하기 위해 심층처분방식이 개발되었다. 심층처분은 처분용기, 완충재, 뒤채움재로 구성된 공학적 방벽과 암반이라는 천연 방벽을 다중방벽재로 활용한다. 그 중 처분용기는 사용후핵연료를 외부환경으로부터 격리하는 최종단계로서, 뛰어난 기계적 강도 뿐만 아니라 1백만년 이상 유지할 수 있는 우수한 내부식성을 갖춰야 한다. 현재 Active Corrosion 특성을 가지고 있는 구리가 처분용기 재료로서 가장 큰 주목을 받고 있다. 처분용기는 고발열성 사용후핵연료를 대기중에서 장입 후, 수십~수백년의 호기성 분위기를 거쳐, 1백만년동안 혐기성 지하수 조건에서 유지된다. 본 연구에서는 고발열 사용후핵연료를 처분용기에 장입 시 발생하는 대기부식이 처분 초기 호기성 분위기에서의 구리 부식에 미치는 영향을 분석하였다. 40, 90, 140도의 온도에서 구리시편을 산화시킨 후 표면구조변화를 산화시간에 따라 관찰하였다. 또한 다양한 온도에서 1개월 동안 산화시킨 구리 시편을 한국원자력연구원 지하연구시설(KURT)에서 채취한 지하수에 침지시켜 부식특성을 평가하였다. 본 연구결과를 통하여 90도 이하의 온도에서 발생하는 대기부식은 처분용기의 부식특성에 큰 영향을 미치지 않음을 확인하였다. 이러한 결과는 심층처분 시설운용에 도움이 될 것으로 판단된다. 본 연구는 2023년도 과학기술정보통신부 한국연구재단의 원자력연구개발사업의 지원을 받아 수행되었다(2021M2E3A2041351, 2021M2E1A1085193).

[P8-4] Canceled
첨단패키지용 구리 배선 미세구조 분석용 시편 제작 및 손상 : 박가현, 박경진, 차호일, 서윤경, 현문섭, 박윤창* (나노종합기술원)
Keywords: 첨단패키지, TSV, Bump, Cu, 시편손상
첨단패키지을 이용한 동종/이종 반도체의 적층이 활발하게 연구되고 있다. 특히 전도성이 좋은 전해도금 Cu 금속 배선과 TSV(Through Silicon Via) Cu, μ-Bump(Cu/Sn)의 Cu 등이 패키징공정에 주요 재료로 사용되고 있다. Cu는 전도성이 좋지만, 기계적으로 연성(Ductile)이 크고, 확산(Diffusion)이 잘되기 때문에 실제 전기 배선으로서의 활용과 미세구조분석에서 주의가 필요하다. 본 발표에서는 Cu의 미세구조를 손상없이 관찰하기 위한 시편 준비방법과 전자현미경적 분석시 고려해야할 사항과 이를 통한 패키징재료의 불량분석 사례 등에 대해서 공유하고자 한다. 기계적 연마에의한 미세조직의 손상, Cu 확산에 의한 불량과 시편제작과정중

의 확산 손상, SEM-EBSD 분석을 위한 시편 70도 기울임에 의한 이미지 왜곡, 동일영역 단면/평면 TEM 분석을 위한 FIB 시편 준비 방법, 펨토초레이저, 이온빔연마기에 의한 손상과 해결방법에 대해서 토의하고자 한다

[P8-5]

Microstructure analysis of shear edge by stamping shape in segmented core stamping process for xEV traction motor : Lee YoungMin*, Cheong HoonHee (Hyundai Transys Electrification Materials Team), Kim YeongKwang (Hyundai Transys e-Motor Engineering Design Team), Park DaeBum, and Choe Hyejeong (Hyundai Steel Advanced Research Team)

Keywords: Segmented core, Stamping, Shear edge

The segmented core used in the traction motor of the eco-friendly vehicle has an advantage in that it is easier to winding the coil compared to the integral core, and the fill factor of the wound coil increases, thereby improving motor performance. In addition, when the core is defective, only the defective core needs to be replaced without having to replace the entire core. In order to connect the segmented cores, yokes, teeth, moreover connecting portions of the core are required. When manufacturing the divided core shape, the coupling groove and the coupling protrusion are formed to connect the segmented cores. However, compared to the integral core, the segmented core has an increased edge surface of the stamping, and thus the iron loss of the traction motor is increased due to work hardening and residual stress when stamping the edge surface of the core. When the core stamping of the electrical steel is metal forming, the shape of the shear edge surface forms a roll over, a sheared zone, a ductile fracture, and a burr. In this study, the microstructure of the shear edge according to the stamping of the segmented core was analyzed. For positions with different stamping shapes such as straight line, curve, and edge shapes, such as yoke, teeth, corner, coupling groove, and coupling protrusion, the shear edge was microstructure analysis use optical microscope, scanning electron microscope. The topography was confirmed through a laser microscope. In addition, the work hardening and residual stress were analysis by shape through a microhardness tester and EBSD.

[P8-6]

사용후핵연료 심층처분을 위한 3D 프린팅된 구리코팅층의 부식현상 분석 : 김가영*, 우정현, 장준혁, 이영호, 윤석 (한국원자력연구원)

Keywords: 구리, 처분용기, 부식, 3D 프린팅 기법

원자력발전소에서 배출된 고준위방사성폐기물을 수 만년 이상의 기간 동안 격리하기 위해 심층처분방식이 개발되었다. 심층처분은 처분용기, 완충재, 뒤채움재로 구성된 공학적 방벽과 암반이라는 천연 방벽을 다중방벽재로 활용하는 것으로 고준위방사성폐기물을 지하 500 m 깊이의 암반에 처분하는 것이다. 고준위방사성폐기물을 직접적으로 밀봉하는 처분용기는 내부는 주철로, 외부는 구리를 사용한 이중용기를 사용하는데, 이는 기계적 건전성과 내부식성 확보를 위한 것이다. 내부 주철용기 바깥에 구리용기를 단조로 제작하여 덧씌우거나 혹은 내부 주철용기 표면에 전해전착으로 구리코팅층을 형성하는 방법으로 처분용기를 제조하고 있다. 구리 처분용기 제조방법의 다양성을 확보하고자, 본 연구에서는 구리코팅층 제조에 3D 프린팅기법을 적용하였으며, 이와 같이 3D 프린팅으로 제조된 구리 코팅층의 부식특성을 타? 및 임피던스 측정을 통해 관찰, 분석하였다. 또한 부식된 구리코팅층의 표면 형태와 조성을 분석하였다. 모든 실험은 국내 처분환경조건을 반영하고자 한국원자력연구원 내 지하처분연구시설에서 채수된 지하수 용액을 바탕으로 수행되었다. 본 연구는 과학기술정보통신부 한국연구재단의 원자력연구개발사업의 지원을 받아 수행되었다 (2021M2E3A2041351).

[P8-7]

전자 회절법을 활용한 Ti-Fe-O 합금 내 수소 결합위치 규명 : 강재동*, 크리슈나모한 테케파트 (한국과학기술연구원), 윤영철, 전초록 (한국과학기술연구원, 서울대학교), 이승철, 김진우* (한국과학기술연구원)

Keywords: Electron diffraction, Hydrogen storage materials, TiFe alloy, Hydrogen bonding site

수소는 탄소 배출이 없는 에너지 생성이 가능한 청정 에너지원으로 온실가스 배출을 줄이고 기후 변화에 대응할 수 있어 주목을 받고 있다. 그러나 수소 기체의 낮은 저장 밀도는 수소에너지의 효율적인 저장과 운송을 어렵게 한다. 이런 문제점을 해결하고자 수소를 고밀도로 저장할 수 있는 다양한 고체수소저장 소재가 개발되어 왔다. 고체수소저장소재의 수소저장 용량과 효율성, 가역성 등을 최적화하기 위해서는 소재 결정구조 내 수소 결합위치를 규명하고 수소가 소재 표면이나 내부 구조에 어떻게 결합되어 저장되는지를 이해하는 것이 필수적이다. 하지만 수소 특유의 작은 원자 크기로 인하여 수소를 전자현미경을 통해 직접적으로 관찰하여 소재 구조 내 수소의 결합위치를 실험적으로 규명하는 것은 어려움이 있어 왔으나, 최근 단결정 엑스선 결정학과 같은 방식을 전자 회절 패턴 분석에 적용하여 나노미터 크기의 소재에 대한 원자단위 결정 구조를 규명하는 방법들이 개발되고 있다. 또한, 전자는 엑스선에 비해 수소와 같은 경원소들에 의해 크게 산란된다는 장점을 통해서 결정 구조 내에서 수소 원자의 위치를 관측하기에 용이하다. 본 연구에서는 전자 결정학 분석과 DFT 계산을 활용하여 금속수소화물계 고체수소저장 소재인 Ti-Fe-O 합금에서 수소 결합위치를 확인하고 결합위치 종류에 따른 수소 결합에너지를 규명하였다. 이로부터 전자 결정학 측정법을 통해 수소를 포함한 고체수소저장소재의 원자단위 구조를 규명할 수 있는 가능성을 제시하였고, 또한 산소와 같은 비금속원소를 활용하여 새로운 금속수소화물계 수소저장 소재를 설계하고 최적화하는 데 필요한 중요한 정보를 제공 가능하다.

[P8-8]

A Study on Hydrogen Embrittlement Fracture of Hybrid Electric Vehicles (HEV) U/D Brake Return Spring : 유평열*, 이영민, 장진혁, 정훈희 (현대트랜시스)

Keywords: 리턴 스프링, 수소취성, 스프링강

하이브리드 자동차는 내연기관 엔진과 전기모터를 결합하여 동력을 발생시키는 차량으로, 두 동력원을 활용하여 차량의 구동 효율을 극대화한다. 이러한 하이브리드 시스템에서 변속기는 엔진과 전기모터가 생성하는 출력을 적절하게 배분하여 차량의 효율성과 주행 성능을 향상시키는 중요한 역할을 담당한다. 변속기의 기어비 변속에는 클러치 또는 브레이크가 사용되며, 리턴 스프링에는 높은 내구성과 탄성을 가진 스프링강이 사용된다. 원소재인 선재와 리턴 스프링은 제조 공정 또는 제조 후 보관 중에 외부 환경에 노출되면서 수소가 재료 내부로 침투하여 기계적 물성이 저하되는 수소취성(Hydrogen Embrittlement) 현상이 발생할 수 있다. 수소취성은 주로 고강도 강재에서 나타나며, 침입한 수소는 소재 내부의 공극(Void), 전위(Dislocation), 입계(Grain boundary), 석출물 등에 포획되어 결함을 유발한다. 본 연구는 리턴 스프링에서 수소취성에 의해 발생된 파단면과 미세조직을 분석하였다. 이를 위해 광학현미경과 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 시편의 파단면과 표면을 조사하였다. 분석 결과 파단면에서 입계 파면과 함께 대표적인 수소취성의 조직인 Grain boundary gapping, Void, Ductile hairline 조직이 관찰되었고, 표면 조직에서는 균열이 관찰되었다. 이러한 미세조직은 스프링 조립과정 중 인가된 외부 압축응력에 의해 소재 내부에 잔존하고 있던 수소가 이동하면서 파괴를 유발한 것으로 판단된다. 이 연구 결과는 수소취성이 리턴 스프링의 내구성과 신뢰성에 미치는 영향을 이해하는데 기여할 것으로 기대된다.

[P8-9]

양성자 조사 원자로 노심구조부품 절곡부 모사재에 대한 마이크로 변형조직 분석 : 진형하* (한국원자력연구원), 김상은 (한국원자력연구원, 명지대학교), 김동진 (한국원자력연구원)

Keywords: EBSD, Micro-compression test, Austenitic stainless steel, Pressurized heavy water reactor

국내 원전 원자로 건전성 평가를 위하여 현재 오스테나이트 스테인리스강으로 제작되는 CE형 원자로 노심구조부품의 절곡부를 대상으로 양성자 조사 시험 기법을 활용한 중성자조사 효과를 평가 분석하는 연구가 진행 중에 있다. CE형 원자로 내부 구조물 목업 절곡부의 위치에 대한 기계적 물성 및 미세조직에 대한 차이점을 마이크로 역학물성 평가법과 전자현미경 분석법으로 확인한 바 있다. 중성자 조사 효과를 모사하기 위하여 절곡부와 유사한 변형조직을 가지는 모사시험편을 대상으로 미시건이온빔 센터에서 양성자 조사 시험을 진행하였다. 양성자 조사 후 절곡부 모사재에 대한 변형 조직 분석을 위해서 집속이온빔 기술과 저에너지 이온 밀링 기법을 동시에 이용하여 기존 비조사 상태와 동일한 마이크로 시험편을 제작하여 마이크로 압축 시험을 수행하여 변형거동을 분석하였다. 절곡부와 같이 높은 변형상태에서 오스테나이트 스테인리스강의 조사후 미세조직 변화를 TEM으로 분석하고 마이크로 변형 시험 결과와 비교하였다.

P9 : 집합조직
Room 2층 로비, 10월 28일

[P9-1]

소성가공 및 시효 통한 17-4PH 다상조직 적층제조강의 집합조직 및 결함구조 제어 : 정세은, 조유연 (국립강릉원주대학교 신소재·생명화학공학부), 김재우 (서울대학교 재료공학부), 황승균, 박용훈, 김병창, 최병철, 주지훈, 정도헌, 정효태 (국립강릉원주대학교 신소재·생명화학공학부), 최인석 (서울대학교 재료공학부), 신중호* (국립강릉원주대학교 신소재·생명화학공학부)

Keywords: 압연, 스테인리스, 경도, 미세조직

적층제조의 경우 특장점을 활용하기에 앞서 다양한 공정 변수로 인한 신뢰성 있는 미세구조 제어에 대한 연구가 필요하다. 17-4PH는 상분율 및 석출물 제어를 통해 다양한 물성을 설계 할 수 있으나 신뢰성 있는 예측이 어렵다. 즉 적층제조 다상조직강이 보유한 넓은 공정 환경을 활용한 고성능 합금의 개발을 위해서는 공정 조건에 따른 미세조직과 기계적 성질간의 관계에 대한 체계적인 분석이 필요하다. 본 연구에서는 다상조직 적층제조강에 대한 소성가공 및 시효처리를 통해 상분율과 집합조직을 제어하고, 다상조직강 내에 잔존하는 오스테나이트의 분율을 제어하기 위해 변형 유기 마르텐사이트(Strain Induced Martensite, SIM)의 메커니즘에 대해 고찰하였다. 17-4PH를 질소 분위기에서 선택적 레이저 용융(Selective Laser Melting, SLM)방식으로 제작하고, 다상조직 적층제조강에 대한 소성가공 효과를 평가하기 위해 압하량 30%에서 75% 범위에서의 압연을 시행하였다. 각 압하량별로 480ºC와 620ºC에서 두 시간 시효 처리하여 ECCI 및 EBSD를 통해 집합조직 및 결함구조의 분포변화를 분석하였다. 멤스(Micro Electro Mechanical Systems, MEMS) 기반 나노인덴터를 활용한 2차원 나노경도 맵핑을 통해 미세조직 변화에 따른 기계적 특성을 분석하였다.

P10 : 금속역사
Room 2층 로비, 10월 28일

[P10-1] Canceled

조선시대 괘불궤에 사용된 장석과 철물의 미세조직 관찰을 통한 제작기술 고찰 : 홍주현 (국립문화유산연구원), 이은우 (국가유산청), 김소진* (국립문화유산연구원)

Keywords: 괘불, 궤, 장석, 철물, 제작기술

괘불(대형불화)을 보관하는 상자를 괘불궤라고하며, 일반적으로 몸체를 목재로 제작한 뒤 구조적인 보강과 장식적인 기능을 위해 장석을 부착해 완성한다. 장석은 목가구나 건조물에 부착하는 금속으로 금, 은, 동, 철, 백동 등 여러 금속을 재료로 사용한다. 괘불궤에는 판재의 결구를 보완하기 위한 광두정, 감잡이, 앞바탕 등의 장석이 사용되며 경첩, 들쇠, 고리, 자물쇠 등의 기능 위주의 장석도 부착된다. 이처럼 괘불궤에 사용된 장석을 통해 조선시대 금속 가공기술과 공예기법을 확인할 수 있다. 본 연구는 2015년부터 시작한 '대형불화 정밀조사' 과정에서 함께 조사된 괘불궤 중 일부에서 채취한 철(Fe)을 소재로 한 장석의 미세조직을 관찰해 조선시대 철기 제작기술을 확인하고자 하였다. 금속현미경과 SEM-EDS를 이용한 분석 결과 시료에서 공석 조직이 확인되며 길게 연신된 비금속개재물과 ferrite와 pearlite층의 연속적인 출현을 통해 저탄소의 철소재를 단접 가공해 제작했음을 알 수 있다. 또한 시료 표면에서 조직의 재결정화 현상이 관찰되어 형태 가공 후 응력 제거를 위한 불림(normalizing) 처리가 이루어졌던 것으로 보인다. EDS 분석 결과 장석 시료에서는 철(Fe) 외에 다른 성분이 검출되었는데 장식성을 가미하기 위한 목적으로 은(Ag)과 주석(Sn), 납(Pb), 안료 등을 사용했던 것으로 보인다. 장석 제작시 사용 목적에 맞춘 열처리 기술을 선택적으로 적용했음을 확인할 수 있다.

P11 : 수소재료
Room 2층 로비, 10월 29일

[P11-1]
L-PBF로 제작된 SUS 316L의 수소 취성 민감도 평가 : 이성광 (한국생산기술연구원, 경북대학교), 이선 (한국생산기술연구원, 부산대학교), 이재훈 (한국생산기술연구원, 울산대학교), 최지환, 하정홍 (한국생산기술연구원), 김태욱* (경북대학교), 이정훈* (한국생산기술연구원)
Keywords: SUS 316L, Laser Powder Bed Fusion, Hydrogen embrittlement, Slow Strain Rate Test, Austenite steel
스테인리스강 SUS316L은 우수한 내식성과 기계적 성질로 인해 다양한 산업 분야에서 중요한 역할을 하며, 특히 고압 수소 저장 시스템인 수소 탱크에서 널리 사용된다. 최근에는 Laser Powder Bed Fusion(L-PBF) 기술이 주목받고 있다. L-PBF는 금속 분말을 레이저로 녹여 층층이 쌓아 올리는 3D 프린팅 기술로, 높은 정밀도와 복잡한 형상의 제작이 가능하다. 이 기술을 통해 제작된 SUS316L은 균일한 미세조직과 높은 밀도를 가지며 향상된 기계적 성질로 수소 취성에 대한 민감도가 낮은 특징을 보인다. 그러나 L-PBF로 제작된 SUS316L의 수소 취성에 대한 연구는 아직 충분히 이루어 지지 않았다. 이에 따라 수소 장입 방법에 따른 수소 취성 거동의 변화를 심층적으로 연구할 필요가 있다. 본 연구는 L-PBF로 제작된 SUS316L 시편을 대상으로 사전 수소장입과 변형 중 수소장입 방법을 사용하여 수소 취성에 대한 민감도를 평가하였다. 저속 변형율 시험 종료 후 SEM, EBSD, XRD를 이용해 파단면의 형상, 미세조직, 상변화를 분석하였고, TDS를 통해 시편 내 수소 장입량을 측정하였다.

[P11-2]
Al계 도금 종류에 따른 BCC계 철강의 수소취화 특성 : 천세영, 문병록 (부산대학교), 이석규, 백두진 (포스코 자동차소재연구소), 강남현* (부산대학교)
Keywords: 수소취화, 초고강도강, 도금, In-situ SSRT
초고강도강은 자동차용 재료로 우수한 기계적 특성을 가지며 경량화와 안전성 향상에 크게 기여할 수 있다. 그러나 이러한 강재는 특히 수소취화 민감성이 높아 자동차용 소재로의 적용 시 주의가 필요하므로, 이와 같은 수소취화를 방지하기 위해 강재 표면에 도금처리를 하는 방법이 연구되어 왔다. 그래서 본 연구는 자동차 강판에 적용하기 위한 A 도금재와 B 도금재의 수소취화 특성을 비교하고, 그 메커니즘을 규명하기 위해 수행하였다. In-situ SSRT(Slow Strain Rate Test)를 수행하여 각 도금층의 내수소취화 특성을 평가하였으며, permeation, TDS(Thermal Desorption Spectroscopy)통해 각 도금층의 유효 확산계수를 측정 및 수소 트랩량을 분석하였다. 또한 EPMA, EBSD를 통해 도금층의 미세구조를 분석하였고, 도금층의 미세구조와 수소 확산 계수, 수소 트랩사이트와의 상관관계를 도출하여 수소취화 메커니즘을 규명하였다.

[P11-3]
고압수소용 템퍼드 마르텐사이트강의 수소취성에 미치는 시멘타이트 형상의 영향 : 김상규 (서울과학기술대학교), 정환교 (포스코 기술연구원 강재연구소), 황병철* (서울과학기술대학교)
Keywords: Tempered martensite, Cementite, Morphology, Hydrogen embrittlement
퀜칭 및 템퍼링 열처리된 템퍼드 마르텐사이트강은 우수한 강도와 연성 또는 인성의 조합을 가질 수 있기 때문에 고압수소 저장 및 운송용 강재로 널리 사용된다. 그러나 이러한 강재들은 고압수소 환경 하에서 장시간 사용시 기계적 물성이 크게 저하되는 수소취화 현상이 종종 발생할 수 있다. 이러한 수소취성 현상은 템퍼드 마르텐사이트 강의 결정립 크기, 전위밀도, 탄화물 종류, 형상 및 분율 등과 같은 미세조직적 인자들에 의해 결정되기 때문에 화학조성과 열처리 조건 제어를 통해 수소취성 저항성을 향상시키는 것이 중요하다. 일반적으로 Si는 시멘타이트 내 용해도가 낮은 원소로 템퍼링이 진행되는 동안 시멘타이트의 성장 속도를 감소시키는 것으로 알려져 있다. 또한 시멘타이트와 마르텐사이트의 상간 계면은 수소취성 저항성을 저하시키는 가역적 수소 트랩 사이트로 작용할 수 있기 때문에 시멘타이트 형상의 변화가 수소취성에 미치는 영향에 대한 체계적인 이해가 필요하다. 본 연구에서는 Si 함량 제어를 통해 시멘타이트 형상이 다른 3종류의 강을 제조한 후 저속인장시험을 수행하여 수소취화 거동을 평가하고, 미세조직적 인자들이 수소취화 저항성에 미치는 영향과 그 메커니즘을 고찰하였다.

[P11-4]
FCAW 용접된 고망간강 용접부의 수소 취성 민감도 평가 : 이재훈 (한국생산기술연구원, 울산대학교), 이선 (한국생산기술연구원, 부산대학교), 이성광 (한국생산기술연구원, 경북대학교), 최지환, 하정홍, 이정훈* (한국생산기술연구원)
Keywords: 고망간강, 수소 취성, 수소 잠입량, Electrochemical Hydrogen Charging, Slow strain rate test
환경 오염과 지구 온난화 문제를 줄이기 위해 수소 에너지에 대한 관심과 수요가 증가하고 있다. 수소는 약 -253 ºC에서 액화되며, 기체 수소에 비해 부피가 1/800로 줄어든다. 따라서 액체 수소 연료 탱크에 사용되는 재료는 극저온 환경에서 우수한 기계적 특성을 가져야 한다. 고망간강은 높은 망간 함량으로 인해 오스테나이트(austenite)상을 형성하며, 면심입방체(FCC) 격자의 미세조직을 가져 극저온 환경에서도 안정된 기계적 성질을 유지한다. 기존에 액체 수소 저장 탱크 소재로 활용되고 있는 스테인리스 강과 기계적 성질이 유사하면서도 상대적으로 저렴하여 차세대 액체 수소 저장탱크로 주목받고 있다. 그러나, 고망간강은 높은 탄소 함량으로 인해 용접 시 고온 균열의 발생 가능성이 높아 용착 금속부(weld metal, WM)와 열영향부(heat-affected zone, HAZ)에 문제가 발생할 수 있다. 특히, 이러한 WM와 HAZ는 수소 환경에서 수소가 금속 내부로 침투하여 결함들과 상호작용함으로써 인성이

현저히 감소하는 수소취성에 더욱 민감하다. 따라서 고망간강 용접부의 수소 취성 민감도을 확인하는 연구가 필요하다. 본 연구는 FCAW 용접된 고망간강 시편을 대상으로 사전 수소 장입과 변형 중 수소 장입 방법을 사용하여 수소 취성 민감도를 평가하였다. 변형 중 수소 장입은 수소 장입과 저속 변형율 시험(slow stain rate test)을 동시에 진행하였다. 실험 후 SEM, EBSD, XRD를 통해 파단면, 미세조직, 상변태를 분석하였으며, 열탈착분석법(thermal desorption spectroscopy)을 통해 시편 내 수소 장입량을 확인하였다.

[P11-5]

Mg-Ni 합금에서 Ni 함량(Mg100-xNix [x=15, 20, 25(at%)]) 변화가 수소저장특성에 미치는 영향 : 정소진 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 박태윤, 곽륜호, 박성민 (한국생산기술연구원), 손석수* (고려대학교), 박형기* (한국생산기술연구원)

Keywords: Mg-Ni Alloy, Hydrogen storage alloy, Metal hydride, Plateau pressure

Mg계 수소저장합금은 부피저장밀도가 높으며 7.6wt%에 달하는 높은 수소 저장 용량을 갖추고 있다. 따라서 이동형뿐만 아니라 고정형 시스템에서도 안전하고 경제적인 수소 저장 기술로 주목받고 있다. Mg계 수소저장합금의 특성은 수소와 강하게 반응하여 열역학적으로 매우 안정적인 MgH_2 상을 형성한다. 그러나 이러한 안정성은 수소 흡수-방출 속도를 저하시키고 높은 작동 온도를 요구한다는 단점이 있다. 작동 한계를 개선하기 위해 Mg과 전이 금속의 합금화를 통한 연구가 활발히 진행 중이다. 본 연구에서는 Ni 함량 변화에 따른 Mg계 수소저장합금의 저장 특성을 분석했다. Ni 함량이 변화하더라도 수소의 최대 저장 용량은 감소하는 반면, PCT 곡선의 평탄압은 유사하게 나타났다. 이러한 현상의 원인을 규명하기 위해 세 가지 조성에서의 상 형성 거동을 Thermo-Calc를 통해 분석하고, 상관관계를 조사하였다. 또한, XRD, FE-SEM, TEM 분석을 통해 미세조직과 상의 변화를 조사한 결과, 모두 과공정 구조(Hyper-eutectic structure)인 Primary Mg_2Ni 상과 층상 구조(Lamellar structure)의 Mg/Mg_2Ni 상으로 이루어져 있었다. 분석을 통해 Ni 함량 변화가 수소저장특성에 미치는 영향은 주로 최대 수소저장량에서만 차이가 있었음을 확인하였다.

[P11-6]

Ferro V-Ti-Cr 수소 저장 합금에 대한 Y 및 Y_2O_3의 영향 : 홍성찬, 석경찬, 백민아, 강규병 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 이준호* (고려대학교), 나태욱* (한국생산기술연구원)

Keywords: 수소저장합금, bcc, 바나듐, 페로바나듐, 이트륨

BCC 구조의 고체 수소 저장 재료인 바나듐계 수소저장합금이 최대 수소 저장량이 매우 높다는 장점이 있지만 바나듐의 가격이 매우 높아 대량생산의 어려움이 있다는 단점도 있다. 이를 해결하기 위해 V를 상대적으로 가격이 저렴한 ferro V로 치환하는 연구들이 진행 중이다. 그러나 ferro V로 치환 시 V의 함량이 낮아지고 BCC 상이 줄어들어 수소 저장량이 적어지기 때문에 그 부분을 보완시킬 수 있는 다른 원소들을 첨가해 합금을 만드는 것이 일반적이다. 따라서 이 실험에서는 V계 수소저장합금의 대표적인 예시 중 하나인 V-Ti-Cr 계에서 V를 Ferro V로 치환하고 불순물(Fe,Al,Si)을 보완하기 위해 Y를 선택했다. 그뿐만 아니라 V 합금에 산화물을 첨가하는 연구의 발전을 도모하기 위해 산화물 형태인 Y_2O_3 또한 첨가해 두 원소들의 함량에 따른 수소 저장 특성에 끼치는 영향을 비교했다.

[P11-7]

고온 수전해 분위기가 고Cr 스테인리스강에 미치는 영향 : 김대현*, 한성희, 김진하, 한준희, 이윤수, 최병학 (강릉원주대학교), 김영식 (삼성이앤에이주식회사)

Keywords: 고온 수소취성, 수전해, SOFC, Water Electrolysis, High Temperature Hydrogen Attack

지구온난화 및 기후문제에 대응하기 위해 전세계적으로 탄소중립을 시행하며 화석연료의 사용을 줄이거나 없애기 위한 정책과 기술개발이 선호되고 있다. 이에 차세대 에너지원으로 수소에너지를 사용기위해 수요가 급증하고 있다. IEA(International Energy Agency)는 2020년 90Mt → 2030년 210Mt → 2040년 380Mt → 2050년 5030Mt으로 수소 수요 전망을 예측하고 있다. 급격히 증가하는 수소의 수요를 충족하기위해 수소를 생산하는 기술이 매우 빠르게 발전하고 있으며 여러 기술중 고체산화물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell. SOFC)가 주목받고 있다. SOFC는 600~1000 ℃에서 구동되어 다른 연료전지와 다르게 백금 촉매를 사용하지 않으며 에너지 효율이 뛰어난 장점이 있다. SOFC의 여러 부품 중에 분리판은 고온의 수전해 분위기에 직접적으로 영향을 받게 되기에 대부분 스테인리스강을 사용하는데 열전도도, 기계적 강도 등 수전해 분위기에서 우수하기 때문이다. 특히 21 ~ 23Cr wt%의 높은 Cr을 함유한 스테인리스강은 가공성, 전기적, 열적, 기계적 특성이 더욱 뛰어나다고 보고되었다. 하지만 고온의 수소분위기에 장시간 사용될 경우 고온 수소취성(High Temperature Hydrogen Attack. HTHA)을 간과할 수 없으며, 고온의 수전해 분위기에서 장시간 테스트한 연구 논문과 보고서가 부족하다. 이에 본 연구에서는 700 ℃ 수전해 분위기에서 1년간 영향을 받은 고Cr 스테인리스강의 인장시험 및 미세조직의 변화를 연구하였다.

[P11-8]

비기계식 수소 압축기를 위한 V계 BCC합금 설계 : 석경찬 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 홍성찬, 강규병, 백민아 (한국생산기술연구원), 이준호* (고려대학교), 나태욱* (한국생산기술연구원)

Keywords: 바나듐, 수소저장합금, 수소압축기, 키네틱

수소 에너지의 효율적인 저장과 운송은 차세대 에너지 시스템에서 중요한 과제이다. 특히, 수소모빌리티의 보급이 확대됨에 따라 수소충전소와 고압 수소압축기의 수요도 증가하고 있다. 기존의 기계식 압축기는 높은 설치비용, 열과 진동, 소음 발생으로 인한 에너지 손실, 그리고 윤활유로 인한 수소 순도 저하 등으로 인해 유지보수 비용이 상당히 높다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 설치

및 유지 비용이 저렴한 비기계식 수소압축기를 개발하고자 한다. 비기계식 수소압축기에 바나듐계 수소저장합금을 사용할 경우, 높은 엔트로피 변화로 인해 다른 수소저장합금과 비교할 때 동일한 온도 차에서 더 높은 압축비를 가질 수 있다. 그러나 바나듐계 수소저장합금은 히스테리시스와 반응속도(키네틱), 그리고 비용 측면에서 문제가 될 수 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 페로바나듐을 기반으로 각 원소가 수소저장합금의 성능에 미치는 영향을 확인하였다.

[P11-9]

FCC와 HCP상의 이중상 FeMnCoCr 고엔트로피합금의 수소 영향 분석 비교 연구 : 정지윤, 이동현*, 정재영, 정현, 안윤희 (충남대학교)

Keywords: 고엔트로피합금, 수소 취성, 나노압입시험, 변형-유기 상변태

수소충전소용 금속용기는 수소를 저장하고 공급하는 과정에서 높은 압력 변화와 온도 변화가 수반되어 극한 환경에서의 고강도 및 고인성이 확보된 소재의 사용이 요구되고 있다. FCC 구조의 고엔트로피합금은 수소 취성에 대한 저항성이 높으며 변형-유기 상변태를 도입할 경우, 강도와 인성을 동시에 향상시킬 수 있다고 알려져 있다. 이 때, FCC계 고엔트로피합금에서 발생 가능한 변형-유기 상변태로는 HCP 구조의 ε 마르텐사이트와 BCT 구조의 α′ 마르텐사이트이다. 따라서, 변형-유기 상변태 현상이 수소취화 거동에 미치는 영향을 온전히 파악하기 위해서는, 각 변태상에서의 수소 영향을 규명하는 것이 필수적이다. γ 상과 α′ 상 간의 수소 영향 차이는 많은 연구를 통해 밝혀진 바 있으나, γ 상과 ε 상에서의 수소 영향 차이를 비교/분석한 연구는 미비한 실정이다. 이에, 본 연구에서는 γ 상과 ε 상을 지닌 이중상 고엔트로피합금 Fe50Mn30Co10Cr10에 대해 나노압입시험을 수행하여, 각 상의 기계적 특성을 파악하고 사전 수소 장입 방법을 이용하여 각 상에 미치는 수소의 영향을 분석하고자 하였다. Strain rate sensitivity, 수소 확산계수를 분석하여 각 상의 수소 취성 메커니즘을 파악하고 인장시험을 진행하여 합금의 미세조직 변화, 수소 취성 거동을 평가하고자 하였다.

[P11-10] Canceled

수소 혼소 환경에서의 수소 운송용 배관 소재 수소취성 및 피로 수명 평가 : 김동오, 김준서, 이진영 (서울과학기술대학교), 이정훈, 강성, 이창희 (포항산업과학연구원), 권용남, 홍종화 (한국재료연구원), 변재원* (서울과학기술대학교)

Keywords: Hydrogen embrittlement, Hydrogen fatigue, Slow strain rate tensile test, API 5L pipeline steel

전 세계적으로 수소 경제가 도입되면서 수소의 생산, 활용, 저장, 운송에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 운송 분야에서는 기존 가스 배관을 모두 수소용 배관 소재로 교체하는 데 많은 비용이 필요하기 때문에, 기존 가스 배관을 활용하면서 천연가스에 일정량의 수소를 혼합해 운송하는 방법이 제안되고 있다. 그러나 수소는 재료와 접촉할 때 기계적 특성을 저하시킬 수 있는 수소취성을 유발한다. 따라서 장시간 피로 환경에 노출되는 가스 배관 소재의 경우, 수소가 혼합된 가스를 운송할 때 수소의 함유량이 피로 수명에 어떠한 영향을 주는지 평가하는 시험 방법이 필요하다. 본 연구에서는 수소 혼합 가스 이송 환경에서 배관용 소재의 수소취성 및 피로 수명을 평가하였다. 국내에서 고압가스배관으로 사용되는 API 5L 가스 배관 소재를 대상으로, 수소 환경을 모사하기 위해 in-situ 수소 주입용 챔버를 장착하여 전기화학적 수소 주입과 동시에 저속변형률시험(Slow strain rate tensile test) 및 기계적 피로 시험을 수행하였다. 이 시험법을 바탕으로 다양한 전류 밀도에서 API 5L x42 소재의 수소 취성을 평가하였으며, 수소 주입량에 따른 피로 수명의 변화를 평가하였다.

[P11-11]

용접한 탄소강의 PWHT 온도와 시간에 따른 수소취성 영향 분석 : 김진하*, 한성희, 김대현, 이윤수, 한준희, 최병학 (강릉원주대학교), 김영식 (삼성이앤에이주식회사 엔지니어링 기술부), 황병철 (서울과학기술대학교)

Keywords: 수소취성(HE, Hydrogen Embrittlement), 탄소강, 용접, 전기화학적(electrochemical) 수소장입, 용접후열처리(PWHT)

화석연료의 사용으로 인해 지구온난화가 가속화되어 수소에너지가 새로운 에너지원으로 각광받고 있다. 그러나 수소는 금속재료에 대하여 수소취성(HE, Hydrogen Embrittlement)를 일으킨다. 현재 배관의 재질로 사용하고 있는 탄소강에서의 용접 위치의 수소취성 영향을 보고자 한다. 본 연구에서는 기존 배관재질과 동일한 탄소강을 용접하여 다양한 조건에서 PWHT(Post Weld Heat Treatment)진행 후 ex-situ 전기화학적 수소장입하였다. 그리고 SSRT 후 OM(Optical Microscope)와 SEM(Scanning Electron Microscope)을 통해 미세조직의 파단면과 표면, 내부의 균열에 HIC(Hydrogen Induced Cracking)의 발생여부를 관찰하고 Micro Vickers hardness를 통하여 용접부 위치에 따른 수소장입 전 후 경도를 비교하였다. 이를 통해 용접한 탄소강의 PWHT 온도와 시간에 따른 수소취성 저항성(내수소취성)을 분석하였다.

[P11-12]

V 함량에 따른 CoCrNi 중엔트로피 합금의 수소영향 비교 : 정재영, 정현, 안윤희, 정지윤, 이동현* (충남대학교)

Keywords: 중엔트로피 합금, 미세구조, 바나듐, 격자 뒤틀림, 수소취성

CoCrNi 중엔트로피 합금의 경우, 낮은 적층결함에너지(Stacking Fault Energy)와 높은 고용강화효과로 인해 Cantor 합금보다 우수한 기계적 물성을 가진다. 최근에는 중/고엔트로피 합금을 구성하는 다른 합금원소보다 크기가 큰 바나듐(V)을 첨가하여 격자뒤틀림으로 인한 높은 고용강화를 발생시켜 항복강도를 향상시키는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 또한, 격자 뒤틀림은 FCC 단일 상의 중/고엔트로피 합금에서 높은 수소함량에도 불구하고 전통적인 합금에 비해 우수한 수소취성 저항성의 원인으로 보고된 바 있다. 하지만, CoCrNi 중엔트로피 합금의 격자 뒤틀림에 의한 수소영향은 아직까지 많이 알려지지 않았다. 따라서, V함량을 조절하여 격자 뒤틀림 정도를 제어하고자 하였으며 수소 장입 전, 후의 경도변화, 수소확산계수, pop-in 거동 등을 비교하여 수소의 영향을 평가하고자 하였다.

[P11-13]
순수 타이타늄의 온도별 기계적물성 : 이정찬, 안찬울, 윤준원 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 정두원 (한국생산기술연구원), 손석수 (고려대학교), 박창수* (한국생산기술연구원)
Keywords: 상온, 극저온물성, 기계적특성, 타이타늄
타이타늄은 높은 비강도, 우수한 내식성 등 다양한 장점을 가지고 있어, 항공우주 분야의 소재로 이미 널리 사용되고 있으며, 최근에는 극저온용 소재로서도 주목을 받고 있다. 극저온용 소재로서 사용되기 위해서는 타이타늄의 기본적인 변형 메커니즘을 파악할 필요가 있다. 타이타늄의 경우 상온에서는 전위 슬립이 주된 변형 메커니즘으로 작용하는 반면, 저온 환경일수록 전위 슬립의 영향이 줄어들고 쌍정의 형성이 변형 메커니즘의 주된 영향을 준다고 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 순수 타이타늄을 이용하여 기본적인 변형 메커니즘을 파악하고자 하였으며, 상온부터 극저온까지 다양한 온도 조건(300, 150, 77, 20 K)에서 인장실험을 진행하였다. 그 결과, 온도가 낮아질수록 항복강도가 증가하였으며 극저온용 재료로서 널리 사용되는 오스테나이트계 스테인리스강이나 알루미늄 합금 등 과 같은 FCC계 재료들과는 다르게 300K 조건에서 가장 낮은 연신율을 보였다. 인장시험 후 이러한 결과를 보인 원인 및 타이타늄의 변형 메커니즘을 파악하기 위해서 SEM ,EBSD 분석 등을 진행하였다.

[P11-14]
알칼라인 수전해용 Ni 촉매의 산화 온도에 따른 OER 거동 : 차은빈 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 서보성, 서건원 (한국생산기술연구원), 김동회 (고려대학교), 박광석* (한국생산기술연구원)
Keywords: 알칼라인 수전해, Ni 촉매, Ni 산화물, 수소 발생 반응(OER), 전하 이동 저항
알칼라인 수전해 공정은 양극에서 산소 발생 반응(Oxygen Evolution Reaction, OER)과 음극에서는 수소 발생 반응(Hydrogen Evolution Reaction, HER)으로 나누어져 있다. 2개의 전자가 사용되는 HER 대비, 4개의 전자가 사용되는 OER은 반응 메커니즘이 복잡하고 반응 속도가 느려 상대적으로 높은 과전압과 낮은 에너지 효율을 보여 전체 수전해 반응의 성능을 떨어뜨리는 요인이 된다. OER 촉매로 사용되는 소재 중 Ir, Ru 등이 가장 좋은 성능을 보이고 있지만 이들은 희소성이 높은 귀금속으로 대규모 생산 적용 시 비용이 높아지는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위한 방안으로 자원이 풍부하고 비교적 비용이 저렴한 전이금속 Ni을 촉매로 활용하는 방안이 연구되고 있다. 특히, 전극 표면에서의 반응에 의한 영향을 가장 많이 받기 때문에 Ni를 산화시켜 전극 표면 산화층 간 거동을 향상시킴으로써 더 높은 성능을 보여준다고 보고되고 있다. 본 연구에서는 Ni 촉매의 산화 온도에 따른 Ni 산화물층 형성 거동과 그에 따른 OER 성능에 미치는 영향에 대해 연구하였다. LSV(Linear Sweep Voltammetry) 분석 결과, 400 ºC 산화 온도에서 가장 낮은 과전압과 함께 가장 높은 전류밀도를 나타내었다. 반면, 600 ºC 산화 온도에서는 높은 과전압과 함께 전류밀도가 감소하였다. EIS(Electrochemical Impedance Spectroscopy) 분석 결과, 600 ºC 산화 조건이 가장 높은 전하 이동 저항을 보여주었다. 이와 같은 이유는, TEM(Transmission Electron Microscopy) 분석 결과, 600 ºC 산화 조건에서 약 379.89 nm 수준의 Ni 산화물층이 형성되었기 때문이다. 반면, 400 ºC 산화 조건에서는 Ni 산화물층의 두께가 약 88.35nm 수준으로 이로 인한 낮은 전하 이동 저항을 보였다. 또한, XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy)를 통해 Ni 산화물층의 O1s 피크를 분석함으로써 OER 성능과의 관계를 분석하였다.

[P11-15]
Ti-Fe-O 삼원상의 수소화 및 탈수소화 거동에 따른 결정구조 변화 : 윤영철 (한국과학기술연구원, 서울대학교), 강재동, Krishnamohan Thekkepat (한국과학기술연구원), 박은수* (서울대학교), 김진우* (한국과학기술연구원)
Keywords: Hydrogen storage materials, TiFe alloy, DFT simulation, crystal structure
고체 수소 저장 소재 중 TiFe계 수소저장합금은 상온 및 20기압 정도 조건에서 수소를 가역적으로 저장이 가능하다는 이점을 가지고 있으나 표면 산화층이 초기 수소화 과정을 방해하기 때문에 진공 열처리 공정을 거쳐야 하는 문제점이 존재한다. 이를 극복하기 위해 다양한 원소를 첨가하여 TiFe 합금의 초기 수소화 거동을 개선하려는 연구가 이루어지고 있다. TiFe 합금에 비금속 원소인 산소를 첨가하는 경우 특정 화학조성에서 활성화 과정 없이 상온 저압 수소화가 가능한 Ti100-xFexOy 삼원상(τ 상)을 형성하게 된다. Ti100-xFexOy 삼원상은 at.% 기준 약 $25 < x < 40$, $10 < y < 15$ 조성 범위에서 $Fd\bar{3}m1$ 구조를 나타내며 수소가 용해되어 안정화되는 interstitial site를 갖는 것으로 알려져 있으나, τ 상의 화학·구조적 인자와 수소 저장 특성(초기 수소화 용량, 수소화 압력, 탈수소화 온도 등) 사이의 체계적인 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 1000 ºC 등온 Ti-Fe-O 상태도를 기반으로 TiFe(B2)상과 τ 상의 2상 평형을 이루는 Ti-Fe-O 합금을 제조하고 τ 상의 평형 화학 조성에 따른 수소 저장 특성을 확인하였다. 그 후 TGA-MS 분석을 통해 수소화된 Ti-Fe-O 합금들의 탈수소화 온도와 활성화 에너지를 측정하여 τ 상의 평형 조성에 따라 달라지는 결정 구조와 탈수소화 될 수 있는 경로의 활성화 에너지를 DFT 시뮬레이션을 통해 비교하였다. 수소화 및 탈수소화 거동에 따른 결정 구조 변화를 확인하기 위해 Ti-Fe-O 합금들의 탈수소화 온도에서 열처리한 뒤 XRD 분석을 통해 회절 패턴의 변화를 관찰하였다. 이로부터 Ti-Fe-O 2상 평형 합금의 수소 저장 메커니즘을 규명하고 우수한 수소 저장 특성을 나타내는 Ti-Fe-O계 합금을 설계하기 위한 전략을 제시하고자 한다.

[P11-16]
수소 주입에 따른 수소압력용기 소재 파괴인성 및 균열전파 거동 : 배동화, 이영광, 이창희, 오윤석, 이정훈* (포항산업과학연구원(RIST))
Keywords: 탄소강, 수소압력용기, 피로균열전파, 파괴인성
국내 수소경제 활성화를 위해 수소 충전소 등 관련 시설의 구축에 대한 수요가 증가하고 있다. 그 중 탄소강 고압 저장탱크에 대한 수요도 동시에 증가함에 따라 고압수소 환경에서의 특화된 안전검사가 필요하다. 수소 저장설비의 안전성 확보를 위해 해외에

서도 수소취성에 대한 평가를 추진 중에 있으나, 현재 국내에는 고압 수소가스 분위기를 구현한 시험평가 시스템이 절대적으로 부족하다. 수소가스 분위기 하 시험평가를 대체하기 위해 전기화학적 수소 주입을 통한 수소압력용기용 소재의 파괴인성 및 피로균열전파 거동을 평가하고, 대체 시험법 개발의 가능성에 대한 연구를 진행하였다.

[P11-17]

Atomic Force Microscopy를 활용한 TiFCeV 수소저장합금에서 in-situ 탈수소화에 따른 변화 관찰 : 유진영, 이수민 (성균관대학교), 황규빈, 심재혁 (한국과학기술연구원), 김윤석* (성균관대학교)

Keywords: 수소저장소재, blister, AFM, TEM, LSM

고체수소저장소재로 각광받고 있는 TiFeCeV 합금에서 수소화 전/후 따라 표면에서 blister가 형성이 관찰되고 있다. 수소저장합금에서 수소화 전/후에 따른 표면변화는 blister의 형태로 나타나는 현상을 관찰할 수 있지만, 어떤 과정을 거쳐 blister가 발생되는지에 대한 메커니즘에 대한 연구는 많이 진행되어 있지 않다. 본 연구에서는 atomic force microscopy를 활용하여 TiFeCeV 수소저장합금에서 수소화 전/후에 따른 미세표면에서의 전기적 특성 변화를 분석하였다. 특히, 실시간 탈수소화에 따른 표면 변화 측정을 진행하여 blister의 형성 과정을 관찰하였으며, 탈수소화가 진행됨에 따라 blister가 점점 커지는 것을 관찰할 수 있었다.

[P11-18]

Effect of pre-existing hydrogen to damage evolution on 1.5G ultra-high strength steel : HyeJin Kim (Hyundai-Steel, R&D center), Gun-Jin Shin (Seoul National University, Materials Science & Engineering), Seung-Pill Jung, Ki-Jung Kim, Seung Chae Yoon (Hyundai-Steel, R&D center), Myoung-Gyu Lee* (Seoul National University, Materials Science & Engineering), and Dong-Yeul Lee (Hyundai-Steel, R&D center)

Keywords: Hydrogen embrittlement, Fracture model, Martensitic steel

Recently, for reinforcing the regulation of CO2 emission and growing environmental concern in the automobile industry, uses of ultra-high strength steels (UHSSs) above 1GPa grades are gradually increasing as the means of car-body weight reduction for automobiles. However, it is well-known that a little limitation presents due to concerned issue on hydrogen embrittlement (HE) for usage in case of the UHSSs. Research on the ignition and fracture characteristics of materials by hydrogen injection has been conducted by many researchers. However, there are limited research on securing the Hydrogen enhanced localized plasticity (HELP) or hydrogen enhanced de-cohesion (HEDE) experiment method by hydrogen influence and fracture or damage criterion using it and applying it to computer simulation at the finite element level. Most numerical studies of hydrogen transport utilize computational simulation at the atomic level, but have not reached the level that can be linked to larger scale computational simulation (e.g., crystal plasticity, continual-plastic analysis model). Therefore, the direction of experimental R&D in the future is to enable the development of a model corresponding to each scale, the securing of material model constants necessary for it, and the verification of the model. In this study, we investigate feasibility on hydrogen diffusion and fracture model based on the experimental approach using finite element method (FEM) on the 1.5G tensile strength martensitic steel. The fracture analysis was performed to quantitatively assess the role of the pre-existing hydrogen with respect to the overall deformation modes. It is reasonable to assume that the effects of hydrogen with various level on ductile fractures would be more pronounced under triaxial stress conditions generated by introducing as a given specimens, as Notched tensile, Plane strain, Central hole, and Shear mode. The 4 type of specimens were tested under differential hydrogen concentration using slow strain rate tensile test (SSRT), in a similar manner, to quantitatively evaluate effect of triaxial stress conditions corresponding to fracture strain estimated using digital image correlation (DIC). In respect of simulation, the hydrogen diffusion prediction was based on Oriani model [1] and the combined ductile and brittle fracture models [2] were supposed in this study. As a results, the developed fracture model was validated on compact-tension specimen, and the feasibility was verified on hydrogen diffusion and fracture phenomenon based on numerical and experimental approach.

References [1] R.A Oriani , “The diffusion and trapping of hydrogen in steel, Acta Metallurgica 18 (1) (1970): 147-157. [2] Dadfarnia, M, Sofronis, P, and Neeraj, T. "Hydrogen Interaction with Multiple Traps: Can It Be Used to Mitigate Embrittlement?" International Journal of Hydrogen Energy 36 (16) (2011): 10141-10148.

P12 : 열전
Room 2층 로비, 10월 29일

[P12-1]
비화학양론적 스키너라이트 $Cu_{3+m}SbS_3$: 박상준, 김일호* (국립한국교통대학교)
Keywords: thermoelectric: skinnerite: non-stoichiometric: off-stoichiometric

친환경적이고 경제적인 반도체 소재로서 3원계 Cu-Sb-S 화합물인 $Cu_{12}Sb_4S_{13}$ (tetrahedrite), $CuSbS_2$ (chalcostibite), Cu_3SbS_3 (skinnerite) 및 Cu_3SbS_4 (famatinite)의 안정한 상이 보고되었고, 광학적/전자적 특성이 우수하여, 최근 열전재료로서 연구가 진행되고 있다. 그 중 스키너라이트는 온도가 증가할수록 Cu 원자가 정렬된 위치에서 무질서하게 이동하면서 상전이가 발생하기 때문에 orthorhombic 구조(263 K 이하에서 공간군 $P2_12_12_1$), monoclinic 구조(263–395 K에서 공간군 $P2_1/c$,) 그리고 orthorhombic 구조(395 K 이상에서 공간군 Pnma)의 세 가지 결정구조를 가지는 것으로 알려져 있다. 최근 비화학양론적 조성으로 전기적/열적 특성에 미치는 Cu계 열전재료의 연구결과가 보고되었고, Cu의 결핍(공공)이 캐리어(정공) 농도를 증가시켜 열전성능의 향상 가능성이 제시되었다. 본 연구에서는 스키너라이트의 Cu 성분을 결핍 또는 초과시켜 비화확양론적 조성($Cu_{3+m}SbS_3$: -0.04 £ m £ 0.04)에 대한 결정구조적 안정성과 열전 특성의 변화를 조사하였다. Acknowledgment : 본 결과물은 2024년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다 [2021RIS-001(1345370811)].

[P12-2]
비화학양론 Chalcopyrite $Cu_{1+m}FeS_2$의 열전특성 : 오현식, 김진솔, 박상준, 김일호* (국립한국교통대학교)
Keywords: thermoelectric: chalcopyrite: non-stoichiometric: off-stoichiometric

특정 물질(화합물 반도체)의 결정구조를 유지하면서 화학조성의 미세조절이 반도체의 물리적 특성에 영향을 미칠 수 있다. 최근 Cu계 p형 열전재료의 비화학양론 조성이 전기적/열적 특성에 미치는 연구결과가 보고되었고, Cu의 결핍(공공)이 캐리어(정공) 농도를 증가시켜 열전성능의 향상 가능성이 제시되었다. 본 연구에서 비화학양론 chalcopyrite $Cu_{1+m}FeS_2$ ($-0.02 \le m \le 0.02$)를 기계적 합금화와 열간압축 성형공정을 통해 합성하여, Cu 함량의 변화에 따른 결정구조의 분석과 열전특성의 변화를 조사하였다. Cu 함량에 따라 chalcopyrite의 격자상수가 변하였고, 이는 Cu 또는 S의 공공의 생성/소멸의 결과로 해석되었다. 또한 Cu 함량에 따라 전기전도도, 제벡계수, 열전도도, 출력인자, 성능지수 등 열전특성의 변화가 확인되었고, 이에 대한 분석과 함께 화학양론 chalcopyrite $CuFeS_2$의 열전특성과 비교하였다. Acknowledgment : This study was supported by the Basic Science Research Capacity Enhancement Project (National Research Facilities and Equipment Center) through the Korea Basic Science Institute funded by the Ministry of Education (Grant No. 2019R1A6C1010047).

[P12-3]
Zn가 도핑된 에스케보르나이트 $Cu_{1-x}Zn_xFeSe_2$의 열전특성 : 최세현, 류재종, 박상준, 김일호* (국립한국교통대학교)
Keywords: thermoelectric: eskebornite: doping

결정구조가 tetragonal system인 칼코파이라이트(chalcopyrite: $CuFeS_2$)와 유사한 에스케보르나이트(eskebornite: $CuFeSe_2$)는 자성반도체로서, 열전 재료로서의 응용 가능성이 있다. 우리의 선행 연구에서 에스케보르나이트의 합성/성형 공정변수의 최적화를 진행하였고, 기계적 합금화를 통해 에스케보르나이트 단일 상을 성공적으로 합성하였다. 진성 $CuFeSe_2$의 열전특성을 측정한 결과, 523 K에서 출력인자 PF = 1.52 $\mu Wm^{-1}K^{-2}$ 및 성능지수 ZT = 0.37 × 10^{-3}의 열전성능을 얻었다. 본 연구에서 Zn가 도핑된 에스케보르나이트 $Cu_{1-x}Zn_xFeSe_2$ (x = 0.02-0.08)를 제작하여, Zn 함량에 따른 결정구조와 열전특성을 분석하였다.
Acknowledgment : This study was supported by the Basic Science Research Capacity Enhancement Project (National Research Facilities and Equipment Center) through the Korea Basic Science Institute funded by the Ministry of Education (Grant No. 2019R1A6C1010047).

[P12-4]
Evaluation of the Thermoelectric Properties of Layered $K_{0.8}Ti_{1.73}Li_{0.27}O_4$ (KTLO) Oxide Material : Pi Ji Hee, Park Chul Oh, Koo Ga Yeong, Hwang Jeong Yun*, and Lee Kyu Hyoung* (Yonsei University)
Keywords: Thermoelectric, layered structure, oxide material

Low-dimensional materials with layered structures are bonded by weak covalent bonds between atoms and exhibit interatomic interactions. These materials have the potential for various applications due to their potentially excellent electrical, optical, and mechanical properties. Current research is focused on the structural bonding of low-dimensional materials with layered structures, utilizing synthesis methods that enable the synthesis and control of low-dimensional materials. The control of conductivity through structural changes impacts various applications, and the advantage of minimizing resistance can enhance performance in fields sensitive to heat transfer. In this study, single crystals of $K_{0.8}Ti_{1.73}Li_{0.27}O_4$ (KTLO) were synthesized using the flux method, and Ag element was selected as a dopant to enhance electrical conductivity. The KTLO powder was mixed with Ag powder and then they were annealed. The annealed powder was sintered using hot pressing, and the thermoelectric properties were evaluated.

[P12-5]

에스케보르나이트 $Cu_{1-x}Ni_xFeSe_2$ 열전 반도체의 p-n 전이현상 : 류재종, 최세현, 박상준, 김일호* (국립한국교통대학교)

Keywords: thermoelectric: eskebornite: doping

에스케보르나이트(eskebornite: $CuFeSe_2$)는 흥미로운 전기적/자기적 거동을 보이는 정방정계 결정구조의 I-Ⅲ-VI_2 반도체이지만, 이에 대한 실험적 연구결과의 보고는 일부 문헌에 제한적이다. 본 연구에서 에스케보르나이트의 Cu^+ 자리에 Ni^{2+}를 도핑한 $Cu_{1-x}Ni_xFeSe_2$ (x =0.02-0.08)를 고상합성하여 열전특성을 조사하였다. 350 rpm의 회전속도로 12시간 mechanical alloying을 진행한 후, 623 K에서 70 MPa의 압력으로 2시간 hot pressing을 진행하였다. XRD 상분석 결과 에스케보르나이트 상 이외에 소량의 2차상이 검출되었고, 이것은 입방정계 결정구조의 펜로우자이트(penroseite: $NiSe_2$)로 분석되었다. 323-623 K의 온도범위에서 열전특성을 측정하였다. 제벡계수는 저온에서 p형이었으나, 고온에서 n형으로 변화하여, 온도상승에 따른 majority-minority carrier의 전이현상(p-n transit)이 발견되었다. Ni의 도핑량이 증가하면 저온에서 제벡계수가 양의 방향으로 증가하였지만, 고온에서 음의 방향으로 증가하였으며, p-n 전이온도는 저온으로 이동하였다. Ni의 도핑량이 증가하면 전기전도도가 감소하였고, 양의 온도 의존성이 더욱 커져, 비축퇴 반도체 거동을 보였다. 그러나 열전도도는 음의 온도 의존성을 보였고, Ni 함량이 증가하면 열전도도가 증가하였다. $Cu_{0.98}Ni_{0.02}FeSe_2$가 $ZT_p = 0.30 \times 10^{-3}$ @ 523 K 및 $Cu_{0.94}Ni_{0.06}FeSe_2$가 $ZT_n = 0.55 \times 10^{-3}$ @ 623 K의 최고 성능지수를 나타냈다. Acknowledgment : This study was supported by the Basic Science Research Capacity Enhancement Project (National Research Facilities and Equipment Center) through the Korea Basic Science Institute funded by the Ministry of Education (Grant No. 2019R1A6C1010047).

[P12-6]

Al2O3 fiber가 분산된 BiSbTe 합금 소결체의 열전 성능 향상에 관한 연구 : 하지원, 조성재, 백건우, 김대현, 김현중, 홍순직* (공주대학교)

Keywords: BiSbTe alloys, Al2O3, Nanofibers, Heat Treatment, Thermoelectric material

본 연구에서는 p형 BiSbTe 합금 분말에 Al2O3 fiber를 분산시켜 복합 분말의 구조적 및 열전 특성을 체계적으로 조사하였다. 또한, 구형의 Al2O3를 분산시켜 분산제의 형상에 따른 복합 분말의 특성을 비교하였다. BiSbTe 합금 분말은 수분사법을 통해 제조되었으며, 고에너지 볼 밀링 공정을 사용하여 BiSbTe/Al2O3 복합 분말을 제조하였다. 이렇게 얻어진 복합 분말은 통전가압소결 공정을 통해 소결체로 제작되었으며, 제작된 소결체의 전기전도도와 열전도도를 측정하였다. Al2O3 분산제가 첨가될 경우, BiSbTe 기지에서 Al2O3 이차상이 형성되어 핀닝 효과가 발생, 결정립 크기가 감소하였다. 소결체의 결정립은 다양한 방향성을 가지며 층상구조를 형성하여 다결정성을 나타내었다. 350K에서 BiSbTe/Al2O3 fiber는 최저 열전도도 값인 0.85 W/mK를 기록하였으며, 이는 BiSbTe와 저차원 Al2O3 fiber 간의 계면에서 발생하는 포논 산란 효과에 기인하는 것으로 보인다. 이후 소결체를 진공 열처리하였고, 열처리 전후의 열전 특성을 분석하였다. 열처리 과정에서 결정립이 성장하면서 전기전도도가 최대화되었으며, 400 K에서 열처리 후 소결체의 열전성능지수는 열처리 이전에 비해 약 30.3% 증가하였다.

[P12-7]

N형 열전반도체 칼코파이라이트 $Cu_{1-x}Zn_xFeS_2$: 김진솔, 권혁민, 박상준, 김일호* (국립한국교통대학교)

Keywords: thermoelectric: chalcopyrite: doping

칼코파이라이트(chalcopyrite: $CuFeS_2$)는 narrow bandgap n-type 반도체로서, 도핑에 의해 캐리어 농도 제어가 가능하여, 물리적/전기적/열적 성질의 변화가 기대되는 화합물이다. 본 연구에서 칼코파이라이트의 Cu^+ 자리에 Zn^{2+}를 도핑하여 캐리어 농도 제어에 따른 열전특성의 변화를 조사하였다. 기계적 합금화(350 rpm / 12 h)와 열간 압축 소결(773 K / 2 h / 70 MPa)의 고상합성/성형공정으로 $Cu_{1-x}Zn_xFeS_2$ (x = 0.02–0.08) 화합물을 제작하여, 결정구조 분석과 열전특성을 평가하였다. X-선 회절 결과 합성분말과 소결체 모두 칼코파이라이트 단일상으로 존재하였다. Zn의 도핑량에 따른 전하이동특성(홀계수/캐리어농도/이동도)과 열전특성(전기전도도/제벡계수/열전도도/출력인자/성능지수)을 측정하여, 진성 칼코파이라이트의 특성과 비교하였다. Acknowledgment : This study was supported by the Basic Science Research Capacity Enhancement Project (National Research Facilities and Equipment Center) through the Korea Basic Science Institute funded by the Ministry of Education (Grant No. 2019R1A6C1010047).

[P12-8]

Thermoelectric characteristics of bulk Cr_2Te_3 with low lattice thermal conductivity : Donghyun Shin, Joseph Ngugi Kahiu, and Ho Seong Lee* (Kyungpook National University)

Keywords: Chromium telluride, metal chalcogenide, thermoelectric material, low lattice thermal conductivity, layered structure

In this study, we aimed to synthesize bulk Cr_2Te_3 and evaluate its thermoelectric properties. Previously, Cr_2Te_3 has primarily been synthesized in thin film form for studies that focused on its magnetic properties. We hypothesized that the intrinsic layered structure of Cr_2Te_3 would contribute to low lattice thermal conductivity. Our experimental results confirmed the successful synthesis of a homogeneous single-phase specimen and revealed a significantly low lattice thermal conductivity of 0.31 W/mK at 673 K. Additionally, we explored the substitution of titanium and germanium at chromium sites as a method to enhance thermoelectric performance, achieving a notable increase in the power factor.

[P12-9]

Ni이 도핑된 칼코파이라이트 $Cu_{1-x}Ni_xFeS_2$의 열전특성 : 권혁민, 김진솔, 박상준, 김일호* (국립한국교통대학교)

Keywords: thermoelectric: chalcopyrite: doping

칼코파이라이트(chalcopyrite: $CuFeS_2$)는 n형 반도체(밴드갭 ~0.53 eV)로서 도핑에 의해 캐리어 농도 조절이 가능하여 열전재료로서 가능성이 있다. 본 연구에서는 칼코파이라이트의 Cu^+ 자리에 Ni^{2+}를 도핑하여 캐리어 농도 제어에 따른 열전특성의 변화를 조사하였다. 합성과 성형을 위해 기계적 합금화(MA: mechanical alloying)와 열간 압축 소결(HP: hot pressing) 공정을 진행하였다. Ar 분위기에서 350 rpm의 회전속도로 12시간 MA를 실시하였고, 합성된 분말을 진공 중에서 70 MPa의 압력으로 773 K에서 2시간 HP를 진행하였다. XRD 상분석 결과 2차상이 검출되지 않은 것을 근거로 칼코파이라이트 상이 성공적으로 합성된 것을 확인하였다. Ni의 도핑량이 증가함에 따라 격자상수가 감소하여 칼코파이라이트 구조의 Cu 자리에 Ni이 잘 치환되었음을 재확인하였다. MA-HP 시편들에 대한 SEM 미세조직 관찰 및 EDS 원소분석을 수행하였고 열전특성을 평가하였다. Ni 함량이 증가하면, 전기전도도와 열전도도 증가하였고, 제벡계수의 절대값과 출력인자가 감소하였다. 그 결과 $Cu_{0.96}Ni_{0.04}FeS_2$가 623 K에서 PF = 0.50 및 ZT = 0.18의 최고 열전성능을 나타냈다. Acknowledgment : This study was supported by the Basic Science Research Capacity Enhancement Project (National Research Facilities and Equipment Center) through the Korea Basic Science Institute funded by the Ministry of Education (Grant No. 2019R1A6C1010047).

[P12-10]

$CuFeSe_{2-y}S_y$ 고용체의 고상합성 및 열전특성 : 장순만, 최세현, 김진솔, 김일호* (국립한국교통대학교)

Keywords: thermoelectric: eskebornite: chalcopyrite: solid solution

결정구조가 유사한 두 화합물의 고용체 형성은 포논산란을 강화하여 열전특성의 개선에 도움이 된다. 최근 Cu-칼코제나이드계 열전재료로서 에스케보르나이트(eskebornite: tetragonal $CuFeSe_2$)와 칼코파이라이트(chalcopyrite: tetragonal $CuFeS_2$)의 연구결과가 보고되고 있다. 본 연구에서 에스케보르나이트-칼코파이라이트 고용체인 $CuFeSe_{2-y}S_y$ (y = 0-2)를 고상합성하여, 고용량에 따른 결정구조 및 열전특성의 변화를 조사하였다. S의 고용량(y)이 증가할수록 격자상수가 감소하였고, y = 0.8-1.6인 경우, 에스케보르나이트-칼코파이라이트 복합체로 존재하였다. 고용체의 열전특성을 측정한 결과, S의 고용량(y)이 증가하면, 전기전도도와 출력인자가 증가하였고, 제벡계수는 p형에서 n형으로 전이하였다. 이것은 에스케보르나이트는 p형 반도체이고, 칼코파이라이트는 n형 반도체이기 때문이다. 한편, y = 1.6인 고용체 시편($CuFeSe_{0.4}S_{1.6}$)이 623 K에서 1 $Wm^{-1}K^{-1}$ 이하의 최저 열전도도를 나타냈다. 이것은 에스케보르나이트 또는 칼코파이라이트 단일 상의 열전도도보다 낮은 값으로, 포논산란 강화에 한한 고용효과가 존재한다고 판단한다.
Acknowledgment : This study was supported by the Basic Science Research Capacity Enhancement Project (National Research Facilities and Equipment Center) through the Korea Basic Science Institute funded by the Ministry of Education (Grant No. 2019R1A6C1010047).

[P12-11]

Enhancing the thermoelectric performance of NbCoSn half-Heusler by modifying energy band structure : Hail Park* (Korean Advanced Institute of Science and Technology (KAIST))

Keywords: Thermoelectric, Heusler, NbCoSn, Band engineering

The NbCoSn-based half-Heusler compound is a promising thermoelectric (TE) material candidate due to its outstanding advantages. However, the current performance of this material is still far behind compared to other TE materials, despite various approaches such as substitution, doping, and nanostructuring. In this study, we introduce a new approach to enhance TE performance by modifying the energy band through substitution and doping. Specifically, we propose substitution at the Nb site from a band engineering perspective, rather than focusing on thermal properties.

[P12-12]

작업자 환경개선과 안전을 위한 착용가능한 펠티에 모듈 기술 개발 : 이재웅* (한국생산기술연구원)

Keywords: 열전소자, 펠티에, 온열질환, 냉각조끼, 냉각헬맷

중대재해처벌법이 2022년에 시행되면서 작업 현장에서 안전이 그 어느 때보다 중요해졌습니다. 특히, 온열질환과 관련된 사고는 건설업뿐만 아니라 제조업, 물류업, 운수업 등 다양한 산업에서 지속적으로 발생하고 있습니다. 이러한 상황에서 작업자의 건강을 보호하기 위한 효과적인 기술적 대비책이 필요합니다. 기존의 냉각복은 냉각수, 얼음, PCM 등 다양한 냉매를 사용하고 있지만, 각각의 방법에는 한계가 존재합니다. 따라서, 더욱 효과적이고 지속 가능한 냉각 기술을 적용한 차세대 냉각복 개발이 절실히 요구되고 있습니다. 이 새로운 냉각착용 기술은 온열질환 예방에 기여하며, 중대재해처벌법에 따른 안전 기준을 충족하는 데 중요한 역할을 할 것입니다. 본 연구에서는 열악한 환경에 노출되어 있는 중소제조기업을 비롯한 다양한 산업의 작업자를 보호할 수 있는 범용 프로토타입 설계 및 제작을 진행하였습니다. 연구에서 활용한 펠티에 모듈은 소형으로 전류제어가 가능한 특성을 가지며 국소 정밀 온도 제어가 가능하고 소형화/경량화 제품의 개발이 가능하여 범용 프로토타입 개발에 유리합니다. 또한 냉매를 사용하지 않고, 증기압축 구조가 없어 저소음, 저진동으로 작동이 가능하여 인체에 직접 닿거나 가까운 곳에 위치해도 작업자에게 주는 불편을 최소화 할 수 있습니다. 야외 작업자를 위한 조끼형태의 펠티에 냉각조끼의 발열부는 32도 이하로 유지하면서 냉각부는 최소 3시간이상 15도 이하를 유지할 수 있었습니다. 안전헬맷의 형태에 펠티에 모듈을 장착하여 외부에서 햇빛아래 44도 이상 유지되던 헬맷의 내부온도를 30도 이하로 유지할 수 있다는 것을 확인하였습니다. 본 연구를 통해 개발한 착용가능한 펠티에 모듈기술은 단순히 제조업과 건설업에만 국한되지 않고, 레저 산업과 고령층의 일상생활에도 큰 도움이 될 수 있습니다. 이를 통해 많은 사회 구성원들이 혜택을 받아 건강한 삶을 유지할 수 있을 것으로 기대됩니다.

[P12-13]

폐열 회수를 위한 복사열 환경 열전 발전 시스템 개발 : 윤태영, 김종태, 백주영, 김정민, 정석환, 김동환* (대구경북과학기술원)

Keywords: 열전발전소자, 열전발전시스템, 폐열회수, 폐열발전, 복사열발전

산업체에서 재활용되지 않고 버려지는 열을 '폐열'이라고 한다. 폐열은 온도에 따라 저온(100 ℃ 이하), 중온(100 ℃~400 ℃), 고온(400 ℃ 이상)으로 구분할 수 있으며, 공정의 특성과 온도 조건에 맞는 회수 기술을 통해 에너지 효율을 극대화하는 것이 중요하다. 탄소 배출을 줄이고 에너지를 절약하기 위해서는 폐열 회수 시스템의 개발이 필수적이다. 폐열을 회수하여 바로 전기를 만들 수 있는 이점이 있어 열전기술을 폐열 회수 발전에 활용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 철강 공정에서 발생하는 폐열을 회수하기 위해 열전 발전 시스템을 개발하였다. 제철소의 연속 주조 공정과 유사한 환경을 구현하기 위해, 알루미늄 블록에 카트리지 히터를 장착하여 열원으로 사용하였고, 냉각원으로는 가공된 알루미늄 블록에 물을 순환시켰다. 열전 발전 소자에 균일한 열전달을 위해 단열재 보드를 사용하여 공기의 흐름을 차단하였으며, 열전 발전 소자는 그 크기에 맞게 제작된 가이드에 끼워 냉각원에 밀착시켜 원활한 냉각이 이루어지도록 설계되었다. 또한, 열원과 일정한 거리를 두어 복사 형태로 열을 전달받을 수 있게 하였다. 시스템에서는 열원을 하부에 배치하고, 동일한 크기의 냉각원을 상부에 배치하였으며, 높이를 조절할 수 있게 설계하였다. 열전 발전 소자의 흡열부 온도가 200 ℃에 도달하도록 온도 평가를 수행하였다. Acknowledgment : 이 연구는 2024년 과학기술정보통신부 DGIST R&D 프로그램(24-ET-02)과 산업통상자원부 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)(2021202080023C)의 지원을 받아 수행되었습니다.

[P12-14]

복사열 환경 열전 발전 소자 특성 평가 : 윤태영, 김종태, 백주영, 김정민, 정석환, 김동환* (대구경북과학기술원)

Keywords: 열전발전소자, 열전발전시스템, 폐열회수, 폐열발전, 복사열발전

산업체의 여러 공정에서 다양한 온도의 열이 배출되고 있으며, 일부는 회수하여 재활용되고 있지만, 여전히 버려지는 폐열의 비중이 높다. 열전 기술은 폐열을 회수하여 추가적인 과정 없이 바로 전기를 생산할 수 있으며, 간단한 구조로 다양한 형태로 제작 가능하여 공정 특성에 맞게 폐열 회수 효율을 극대화할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 이유로 열전 기술을 폐열 회수에 적용하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 제철소의 연속 주조 공정과 유사한 환경으로 제작된 열전 발전 특성 평가 장비를 활용하여 열전 발전 소자의 발전 특성을 평가하였다. 48x48mm^2 크기의 열전 발전 소자의 흡열부는 최대 200 ℃, 냉각부의 온도는 30 ℃~50 ℃ 범위에서 조절하여 온도 조건에 따른 열전 발전 소자의 특성 변화를 관찰하였다. 또한, 동일한 온도 조건에서 복사열 흡수를 높이기 위해 흡열 소재의 코팅 및 표면 처리가 열전 발전 소자의 발전 성능에 미치는 영향을 확인하였다. Acknowledgment : 이 연구는 2024년 과학기술정보통신부 DGIST R&D 프로그램(24-ET-02)과 산업통상자원부 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)(2021202080023C)의 지원을 받아 수행되었습니다.

P13 : 마그넷
Room 2층 로비, 10월 29일

[P13-1]
Detection of higher-order harmonics of local eddy current : Changhyo Sun, Jin Young You, Jungi Kim (Sungkyunkwan University), Jae Won Jeong (Korea Institute of Materials Science (KIMS)), Yooun Heo (Inha University), and Yunseok Kim* (Sungkyunkwan University)
Keywords: Atomic force microscopy, Multidimensional magnetic force microscopy, Harmonic eddy current, Soft magnetic composites
Soft magnetic composites (SMCs) are critical in electromagnetic applications such as robotics and electric motors due to their high flux density, magnetic permeability, and low core losses. However, the application of an external magnetic field to SMCs can induce eddy currents on their surfaces, leading to undesirable energy dissipation. Extensive research has been devoted to exploring the multiple harmonics of eddy currents, with substantial progress in understanding their macroscopic behavior. Nevertheless, the microscopic characteristics of eddy current harmonics remain underexplored. In this study, we utilized multidimensional magnetic force microscopy (MMFM) to investigate the multiple harmonics of eddy currents at the micro- and nanoscale. Our findings reveal that the eddy current harmonics vary locally, depending on the distribution of magnetic particles within the SMCs. These results demonstrate that MMFM is a powerful tool for probing the local magnetic properties and harmonic behavior of materials at finer scales. This advancement deepens understanding of eddy current and provides the insight for optimizing SMCs with enhanced performance in a wide range of applications.

[P13-2]
Optimization of grain boundary diffusion using Tb-Al-Cu alloys in Nd-Fe-B sintered magnets : Lee Donghyun (DGIST, Kyungpook National University), Seong Chan Kim, Hyeonjong Jeong, Juyoung Baek, Tae-Young Yun, Jong Tae Kim (DGIST), Jaehyuk Kim (Yonsei University), Sumin Kim (KIMS), Donghwan Kim, Sang Hyub Lee (R&D Center, Star Group), Jong Wook Roh (Kyungpook National University), Dong Hwan Kim, and Jeongmin Kim* (DGIST)
Keywords: Grain boundary diffusion process, Nd-Fe-B magnet, Low melting point alloy, Coercivity, Remanence
The sintered Nd-Fe-B magnets have been widely used in the fields of a wide range of applications, such as hard disc drives, magnetic sensor, wind power generators, efficient air-conditioner compressors and motors for electric vehicles. Nd-Fe-B sintered magnets have a large maximum magnetic energy product, but in high-temperature environments such as the motors of eco-friendly cars, the coercivity decreases and performance deteriorates. To achieve high coercivity and remanence at high temperatures, heavy rare-earth (HRE) based grain boundary diffusion process (GBDP) is widely used. However, the high price of HRE makes it necessary to reduce it. In this study, the temperature and time conditions of the GBDP process were optimized using a low-melting point HRE diffusion material based on Nd-Fe-B sintered magnets with Al and Cu added. The addition of a low melting point metals has the effect of reducing the amount of Tb used. The magnetic properties and microstructure of Tb-Al-Cu diffusion magnets with various compositions are discussed.

[P13-3]
Investigation of nanocrystalline structure formation and soft magnetic properties in Fe-P-B-Si-C-Cu alloys under various heat treatment conditions : EUNJIN PARK, Hyungjin Nam, and Seonghoon Yi* (Kyungpook National University)
Keywords: soft magnetic, nanocrystalline, heat treatment, annealing
Fe-based soft magnetic amorphous alloys have attracted tremendous interest in both academia and industry due to their high efficiency and low core loss when used as core materials in transformers and motors. In this study, we investigated the crystallization behavior and magnetic property changes of the Fe-P-B-Si-C-Cu alloy under various heat treatment conditions. Amorphous ribbons were prepared using arc melting and melt spinning techniques, followed by annealing at different temperatures and durations. Characterization was performed using X-ray diffraction (XRD), Thermal analysis (SDT), VSM, and DC BH tracer loop measurements. Results showed that heat treatment induced crystallization with the formation of α-Fe, Fe3C, and Fe-Si phases. Magnetic properties, such as coercivity and saturation magnetization, varied with heat treatment conditions, indicating the critical role of annealing parameters. It is essential to determine the optimal heat treatment conditions to achieve desirable magnetic properties by balancing coercivity and saturation magnetization. This study successfully identified the optimal heat treatment conditions for achieving these balanced properties.

[P13-4]
GFA and primary phase precipitation temperature control for the implementation of Fe-Co based ultra-high performance nanocrystalline soft magnetic materials : Subin Ahn (Seoul National University), Wook Ha Ryu (Kumoh National Institute of Technology), Hee-Soo Kang(Research Institute of Industrial Science & Technology) and Eun Soo Park* (Seoul National University)

Keywords: High magnetic saturation, Low coreloss, Nanocrystal, Nanocluster, Multi-nucleation

As the electronics market, including smartphones and smart homes, expands, there is increasing demand for higher performance components such as inductors. The performance of inductors heavily relies on the properties of their core soft magnetic materials. These materials must possess excellent magnetic properties such as high saturation magnetic flux density (Bs), low coercivity (Hc), and low core loss to meet the stringent requirements of modern electronic devices. This study focuses on maximizing the content of ferromagnetic elements like Fe and Co to achieve low core loss in nanocrystals. However, increasing the ratio of ferromagnetic elements complicates the control of nanocrystalline size and distribution. Higher ferromagnetic content tends to decrease the glass-forming ability (GFA), leading to difficulties in achieving a uniform and controlled nanocrystalline structure. To overcome these challenges, we incorporated two immiscible elements as nucleation sites within the amorphous matrix. These immiscible elements facilitate the formation of nanoclusters, which act as nucleation centers, promoting uniform nanocrystal formation throughout the material. Our designed composition demonstrated significantly higher saturation magnetic flux density (Bs) and comparable coercivity (Hc) to commercial nanocrystalline materials like Finemet. This enhancement in Bs is critical for improving the performance of inductors, as it directly correlates with the ability of the core material to handle higher magnetic fields without saturation. Furthermore, the comparable coercivity (Hc) ensures that the material maintains low energy loss during magnetization and demagnetization cycles, which is essential for efficient inductor performance.

[P13-5]

Strategy for Enhancing Magnetic Properties in Hot-Deformed Nd-Ce-Fe-B Magnet with 50% Ce Substitution as Potential Gap Magnet : Ye Ryeong Jang and Wooyoung Lee* (Yonsei University)

Keywords: Permanent magnet, Rare-earth, Nd-Fe-B, Hot-deformed magnet, Nd reduced magnet

The strongest permanent magnets available today are rare earth magnets made from $Nd_2Fe_{14}B$, which have a maximum energy density ($(BH)_{max}$) of 240 to 415 kJ/m³ at room temperature. However, their use of rare earth metals makes them expensive and raises sustainability concerns. On the other hand, traditional hard ferrite magnets are much weaker, with (BH)max values up to 33 kJ/m³, but they are much more affordable. This creates a substantial gap between the performance of ferrite magnets and Nd-Fe-B magnets. Therefore, need to develop permanent magnets that minimize or eliminate the use of critical rare earth (RE) elements while narrowing the performance gap between hard ferrite and Nd-Fe-B magnets is becoming increasingly important. One promising approach is to optimize the use of the rare earth element Ce. Strategically, partially substituting the more critical Nd with as much Ce as possible in Nd-Fe-B permanent magnets could enhance resource and economic efficiency, as well as sustainability. Various approaches to substituting Nd with Ce have been explored, and hot deformation has been adopted as one of the potential methods to improve low coercivity of Ce substituted Nd-Fe-B magnet. We propose a strategy of simultaneously adding low-melting-point alloys and high-melting-point nanopowders to achieve high magnetic properties in hot-deformed magnets with a high substitution level of 50% Ce. The hot-deformed magnet with the addition of 3wt% $Nd_{70}Al_{30}$(at%) and 1wt% Nb demonstrated an improvement in coercivity from 7.7 kOe to 10 kOe, while maintaining remanence, resulting in a high maximum energy product of 26 MGOe, compared to the magnet without these additions. The addition of low-melting-point alloys improved the poor grain boundaries, thereby enhancing coercivity, while the addition of high-melting-point nanopowders suppressed c-axis expansion and promoted a uniform distribution of grain boundary phases. This strategy could lead to the design of more efficient and sustainable magnets, particularly in applications where both high coercivity and energy density are critical.

[P13-6]

Soft magnetic properties of Fe-based amorphous ribbons : Moosung Kim, Sejin Jang, and Seonghoon Yi* (Kyungpook National University)

Keywords: Amorphous, Magnet, Soft Magnet

Soft magnetic materials play a crucial role in various electronic applications due to their excellent magnetic properties. In this study, we investigate the soft magnetic properties of Fe-Si-C-P amorphous ribbons with enhanced glass-forming ability (GFA) and tailored magnetic characteristics. The compositions were designed with relatively high phosphorus (P) and carbon (C) content in iron (Fe) base. By incorporating high levels of P and C, several advantages emerge. For instance, it enhances ductility and flexibility, improve corrosion and oxidation resistance, and enables cost-effective production due to the availability and affordability of these elements. The alloys were synthesized via arc-melting followed by melt-spinning to produce flexible ribbons. The microstructural evaluation was conducted using techniques such as X-ray diffraction (XRD) to confirm the amorphous nature and scanning electron microscopy (SEM) for microstructure observation. Thermal analysis was carried out using simultaneous differential thermal analysis (SDT). The magnetic properties were characterized using vibrating sample magnetometry (VSM) loop to measure magnetization density, coercivity etc. Our results demonstrate the feasibility of tailoring soft magnetic properties in Fe-Si-C-P amorphous ribbons through precise composition design and processing techniques.

[P13-7]

Design of Fe-Based Amorphous Cores for Enhanced Soft Magnetic Performance : seongjun kim, Hyungjin Nam, Hyeseong

Choi, Sejin Jang, and Seonghoon Yi* (Kyungpook National University)
Keywords: amorphous, soft magnet

The growing demand for energy-efficient and compact electronic devices has highlighted the critical need for advanced soft magnetic materials. These materials are essential for minimizing energy loss in electromagnetic components such as transformers, inductors, and motors. Among various materials, Fe-based amorphous soft magnetic materials have emerged as highly promising due to their exceptional combination of magnetic properties and structural advantages. The lack of long-range atomic order in amorphous materials results in negligible magnetocrystalline anisotropy, leading to low coercivity and high permeability. Additionally, the Fe-based composition ensures high saturation magnetization, while the amorphous structure contributes to superior mechanical properties and corrosion resistance. In this study, we aimed to design a soft magnetic material with high mechanical properties and excellent performance at high frequencies by fabricating Fe-based amorphous cores. To achieve this, we first identified compositions with favorable magnetic properties and advantageous sintering temperature ranges during the thermal analysis stage for ribbon forms, and then proceeded with the sintering process. Amorphous ribbons were fabricated using the melt-spinning technique, followed by milling to produce fine powders. To create a bulk form while preserving the amorphous structure, spark plasma sintering (SPS) was conducted within the supercooled liquid region. The amorphous structure of both the powders and the bulk material was confirmed through X-ray diffraction (XRD) and differential thermal analysis (DTA). The magnetic properties were evaluated using a vibrating sample magnetometer (VSM), DC tracer, and AC analysis.

[P13-8]

Soft Magnetic Properties of Nanocrystalline with Protective Amorphous Layers Formed from (Fe, Ni, Co)-Based Amorphous Alloy : 최광수, 이승훈* (경북대학교)
Keywords: 비정질 합금, 연자성 재료, 연자성 특성, 나노결정, 열처리

본 연구는 (Fe, Ni, Co)기지의 비정질 합금의 열처리를 통해 연자성 특성의 나노 결정과 이를 감싸는 비정질 보호층으로 이루어진 나노 구조의 열 안정성과 연자성 특성에 대한 연구를 수행했다. (FeNiCo)기지의 비정질 합금은 Tx1와 Tx2 사이 온도의 열처리를 통해 독특한 (Ni, P)-rich 비정질 보호층을 가지는 α-FeCo(Ni) 나노 결정을 형성하였다. 이러한 나노 구조는 500 ºC 온도에서 288 시간 노출에도 ~30 nm 나노 결정의 크기를 유지했으며, 고온 환경에서 α-FeCo(Ni) 나노 결정의 성장을 억제한 (Ni, P)-rich 비정질 상의 열 안정성에 대해 고찰했다. 또한, (Fe, Ni, Co) 비정질 및 나노결정 합금의 온도에 따른 자속 밀도의 거동과 연자성 특성에 대해서 분석하였다. 이러한 우수한 열 안정성을 가지는 (Fe, Ni, Co)나노 결정 합금의 연구 결과는 인덕터와 같은 산업 부품의 설계의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

[P13-9]

Soft Magnetic Properties of Fe-based Amorphous Core Prepared by Various Sintering Methods : Hyungjin Nam, Seongjun kim, Eunjin Park, and Seonghoon Yi* (Kyungpook National University)
Keywords: Amorphous, Magnet, SMC

Soft magnetic materials have attracted significant attention in various industries due to their exceptional magnetic properties and wide-ranging applications. With the growing demand for miniaturization, these materials have become increasingly important. Characterized by high permeability, low hysteresis loss, and high saturation magnetization, soft magnetic materials are ideal for advanced technological applications. Unlike crystalline structures, amorphous materials offer enhanced yield strength and corrosion resistance, making them particularly advantageous. In this study, amorphous ribbons were fabricated using the melt-spinning technique, followed by milling to produce fine flakes for the sintering process. The amorphous state was confirmed through X-ray diffraction (XRD) and differential thermal analysis (DTA). Sintering was conducted via spark plasma sintering (SPS) and hot press sintering, both selected to preserve the amorphous structure and optimize magnetic properties. The primary objective was to maintain stable permeability and high magnetic performance in the high-frequency range. Magnetic properties of the amorphous toroidal cores were evaluated using vibrating sample magnetometry (VSM), DC tracer, and AC analysis. The results confirmed that the materials exhibited excellent soft magnetic properties, validating their potential for high-frequency applications in advanced soft magnetic devices.

[P13-10]

Coercivity and Microstructure Improvement Through Internal Grain Boundary Diffusion in SPSed Nd-Fe-B Magnet : Seong Chan Kim (DGIST), Dong Hyun Lee (DGIST, Kyungpook National Univ.), Jaehyuk Kim (Yonsei Univ.), Jungwoo Ha (DGIST), Kyoung-Hoon Bae (R&D Center, Star Group), Jong Wook Roh (Kyungpook National Univ.), Dalhyun Do (Keimyung Univ.), Jong Tae Kim, Tae-Young Yun, Seok-Hwan Chung, Jeongmin Kim, and Dong Hwan Kim* (DGIST)
Keywords: Permanent magnet, Nd-Fe-B magnet, Spark Plasma Sintering, Grain boundary diffusion, Coercivity

The Grain Boundary Diffusion Process (GBDP) is a widely utilized technique for enhancing the coercivity of Nd-Fe-B sintered magnet. This process involves coating the magnet surface with heavy rare earth elements, such as Dy and Tb, followed by their diffusion along the grain boundaries. However, GBDP is limited by non-uniform diffusion, grain growth, and diffusion depth. In this study, we fabricated an Nd-Fe-B sintered magnet with controlled grain growth using Spark Plasma Sintering (SPS). TbH was selected as

the diffusion source, which was mixed with Nd-Fe-B powder to fabricate the magnet. Then, heat treatment led to the formation of continuous grain boundaries, and the internal grain boundary diffusion of TbH resulted in enhanced coercivity. TbH was uniformly diffused into the magnet through internal grain boundary diffusion. The microstructure and coercivity at various positions within the magnet were compared with those of the GBD-treated SPSed magnet.

[P13-11]

Soft magnetic properties of the amorphous core prepared by spark plasma sintering of amorpohous powder (Fe, $Co)_{68.7}$(B, P, Si, $C)_{24.5}$(Cr, Mo, $Al)_{6.8}$: Jinah Kim and Seonghoon Yi* (Kyungpook national university)

Keywords: Soft magnetic, Amorphous, ring core

Soft magnetic materials are currently experiencing substantial growth in various industries due to their unique properties and versatile applications. The increasing demand for efficient and miniaturized electronic devices, coupled with the rapid expansion of renewable energy technologies, has led to a growing interest in soft magnetic materials for energy conversion and storage applications. Soft magnetic materials offer several advantages such as high permeability, low hysteresis loss, and high saturation magnetization that make them highly desirable for various applications. In this study, we made 20um amorphous ribbon with melt-spinning and flakes with spex-milling. The amorphous phase was confirmed through XRD analysis, and the vitrification temperature and crystallization temperature were confirmed through DTA(Differntial Thermal Analysis). In order to reduce core loss through an increase in specific resistance, various thicknesses of insulation coating were performed, and an experiment was conducted to find the optimal experimental conditions. After that, SPS(Spark Plasma Sintering) was performed in the supercooled region in thermal analysis to make an amorphous bulk ring core. . The coated layer was analyzed through FE-SEM. VSM(Vibraing Sample Magnetometer), DC tracer loop, and AC analyzer were used to evaluate the soft magnetic properties of the soft magnetic ring cores. We were confirmed to have low core loss in the high frequency range, and to have excellent amorphous soft magnetic characteristics such as initial permeability and coercivity.

[P13-12]

High Saturation Magnetization of Fe-based Soft Magnetic Composites (SMCs) : Won-Chan Shin, Dong-Hun Han, Muhammad Arif (Kyung Hee University), Young-Kwang Kim (Research Institute of R-Materials Co. Ltd.), and Jong-Soo Rhyee* (Kyung Hee University)

Keywords: Soft magnetic composites, Magnetic properties, Core loss

This study focuses on the development of Fe-based soft magnetic composites (SMCs) aimed at achieving high saturation magnetization, low coercivity, and high density, which are critical parameters for industrial applications. A series of Fe-based SMCs were synthesized using a hot-press technique, a method that not only facilitates the formation of dense and uniform composite structures but also offers a streamlined production process compared to traditional methods. The SMC samples exhibit significantly high saturation magnetization and low coercivity. The achieved high density further enhances their applicability in high-performance electromagnetic devices. The superior magnetic properties and ease fabrication process of the Fe-based SMCs as promising candidates for replacing traditional silicon steel sheets in various applications, including transformers, inductors, and electric motors.

[P13-13]

Relationship of microstructure and magnetic properties of 45EH Grade sintered Nd-Fe-B permanent magnets for traction motor : Jinhyeok Jang*, Pyeongyeol Yu, and Hoonhee Cheong (Hyundai Transys)

Keywords: permanent magnets, maximum energy product, intrinsic coercivity, grain boundary diffusion process

Nd-Fe-B permanent magnets exhibit the highest magnetic properties among currently available permanent magnets and are prevalent in diverse industrial fields. The increasing demand for hybrid electric vehicles (HEVs) and EVs has highlighted the critical role of Nd-Fe-B permanent magnets, which are utilized as core materials for traction motors. These magnets are classified into grades based on their magnetic properties, specifically their maximum energy product (BHmax) and intrinsic coercivity (iHc). The numerical prefix denotes the average value of the maximum energy product, while the subsequent letter indicates the heat-resistant grade (M, H, SH, UH, EH, AH) associated with the intrinsic coercivity. This study utilized 45EH Grade Nd-Fe-B sintered permanent magnets, a common choice for traction motors. It delved into the correlation between the mag magnetic properties and microstructure of two types of permanent magnets with the same grade but different manufacturing processes. Accordingly, the B-H tracer equipment evaluated the magnetic properties (residual flux density, intrinsic coercivity, maximum energy product), a scanning electron microscope (SEM) and field emission electron probe microanalyzer (FE-EPMA) analyzed the microstructure (heavy rare earth grain boundary diffusion, grain size, and grain boundary phase composition) affecting these properties. Here, the relationship between the heavy rare earth grain boundary diffusion process (GBDP) and the intrinsic coercivity was intensively verified by evaluating the microstructure and magnetic properties. Furthermore, the statistical analysis results indicate that the manufacturing process employed can significantly influence magnetic properties, even for Nd-Fe-B permanent magnets of the same grade.

P14 : 상변태
Room 2층 로비, 10월 29일

[P14-1]
내산화 코팅된 Nb-16Si-22Ti-5Cr-3Al 합금의 1500 ºC에서 산화 거동 및 미세 구조의 비교 : 오정석, 박지니, 성효진, 박준식* (국립한밭대학교)
Keywords: Nb 합금, silicate, 산화 거동, 내산화성, 확산 코팅
본 연구에서는 Nb-16Si-22Ti-5Cr-3Al 합금에 Si 팩 세멘테이션 코팅을 적용하여 내산화성 개선 효과를 비교하였다. As-cast 합금, silicide 코팅된 합금은 1500 ºC에서 최대 10 h 시간 동안 산화 시험을 진행하였다. as-cast 합금은 산화되어 외관이 훼손되었으며 열악한 내산화성이 확인되었다. 하지만 silicide 코팅된 합금은 10시간의 산화 시험 후에도 기존의 외관을 유지하였다. Nb-16Si-22Ti-5Cr-3Al 합금에 Silicide 코팅이 적용될 경우 합금 원소로 이루어진 silicide가 형성되어 내산화성이 개선되었다. 1500 ºC에서 1 h 산화 시 as-cast 합금의 mass gain은 172.5 (mg/cm^2) 감소하였으나, silicide 코팅된 합금의 경우 0.7 (mg/cm^2) 증가하였다. 따라서 Nb-16Si-22Ti-5Cr-3Al 합금에 silicide 코팅 시 합금의 내산화성이 개선되며 산화를 방지하고 코팅층이 안정적으로 유지되었다. 따라서 Nb-16Si-22Ti-5Cr-3Al 합금의 고온 재료의 사용 가능성에 대해 확인하였다.

[P14-2]
Study on Thermal Behaviors of Ion-Irradiated CuZr-Based Amorphous Microwires using Flash DSC : Shuang Su (Harbin Institute of Technology, Seoul National University), Myeong Jun Lee (Seoul National University), Wook Ha Ryu (Seoul National University, Kumoh National Institute of Technology), Min Kyung Kwak (Seoul National University), Zhiliang Ning*, Yongjiang Huang (Harbin Institute of Technology), and Eun Soo Park* (Seoul National University)
Keywords: Free volume content: Ion irradiation: Flash DSC: Amorphous microwires: Thermal behaviors
Rejuvenation treatments have emerged as an effective strategy to enhance the energy state of metallic glasses (MGs), significantly improving their ductility at room temperature. These rejuvenated MGs exhibit a high free volume content, and ion irradiation has proven to be a particularly effective method for introducing substantial excess free volume to the surface of MGs, thereby elevating their energy states. In this study, we utilized a combination of conventional differential scanning calorimetry (DSC) and flash DSC to quantitatively assess the impact of free volume content on the thermal behaviors of CuZr-based amorphous microwires (AMs) subjected to ion irradiation under continuous heating conditions. Our experimental work established the correlation between transformation phenomena and the time/temperature scales of these AMs across a broad temperature range, from the glass transition temperature to the melting point. By analyzing characteristic temperatures and transformation enthalpy at various positions along the microwires, we were able to determine the energy state and effective cooling rate of the ion-irradiated AMs. This research provides critical insights into the thermal behavior of rejuvenated AMs and offers valuable guidance for the future design of AMs with enhanced free volume content.

[P14-3]
Effect of Extrusion Processing Conditions on Structural Characteristics and Enhanced Machinability of Free-Cutting Leaded-Brass Alloy : 이지은, 김지영, 김민석 (서울대학교), 최이슬 (한국재료연구원), 이시연 (원진금속), 박은수* (서울대학교)
Keywords: Leaded-Brass, Hot extrusion, Extrusion temperature, Mechanical property, Machinability
유연황동합금(Cu-Zn-Pb 합금)의 경우 열간 직접 압출이 진행됨에 따라 마찰열과 소성가공시 발생하는 여분의 열로 인해 온도가 상승하여 여러 가지 문제점을 야기한다. 따라서 압출시 공정 결함을 최소화하면서도 공정에 필요한 에너지를 절약 가능한 이점을 가질 수 있는 압출 온도 범위의 최적화가 필요하다. 본 연구는 열간압출공정 상에서 유연황동합금의 구조적 특성에 관한 연구로, 미세구조 및 기계적특성을 분석하여 이와 절삭성과의 상관관계를 이해하고자 하였다. 열간 압출 공정 조건에 따른 절삭성 효과를 알아보고자, 열간 압출 온도를 670 ºC, 730 ºC로 달리하여 직접 압출 공정을 거친 $Cu_{58}Zn_{39}Pb_3$ 조성의 유연황동합금 상용제품에 대하여 압출 온도 및 시편 위치에 따른 미세구조 변화를 면밀하게 관찰하였다. 미세조직 관찰 결과, Widmanstätten 구조가 나타났던 주조 시편이 압출이 이루어지는 온도 영역에 따라 미세구조상에서 homogeneity가 다르게 나타나는 것을 확인하였고, Vickers hardness test와 Uniaxial tensile test를 통해 기계적 특성 또한 미세구조의 homogeneity와 연관지어 해석하였다. 최종적으로는 드릴링 절삭성 평가를 진행하여, 미세구조 및 기계적 특성과 절삭성과의 관계를 알아보고자 하였다. 분석 결과를 통해 소성가공시 발생하는 열로 인하여 상태도 상에서의 beta 안정 평형 온도보다 낮은 온도에서 압출을 시행하여도 안정적으로 단일 beta 영역에서 압출이 가능함을 확인하였으며, 절삭성 개선을 위해서는 기계적 특성 뿐만 아니라 blocky 구조의 alpha 상을 가지면서 균일한 분포의 Pb가 중요한 역할을 하는 것을 확인할 수 있었다. 본 논문은 유연황동합금의 실제 상용제품에 대한 산업적 대형 스케일에서 온도 제어를 통해 공정 결함을 최소화하면서 에너지를 절약할 수 있는 열간압출공정의 최적화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[P14-4]
Ti-Zr-Ni 준결정의 헬륨 이온 조사 및 기계적 반응에 결정립 크기가 미치는 영향 : 이명준, 유근희 (서울대학교), 윤국노, Mehdi Balooch, Peter Hosemann (University of California, Berkeley), 박은수* (서울대학교)
Keywords: 준결정, 핵융합로, 헬륨 이온 조사

핵융합로에 사용되는 구조 재료는 지속적으로 방사선 손상이 가해지기 때문에, 방사선 손상 저항성이 높아 특성 열화가 적은 재료를 사용하는 것이 매우 중요하다. 준결정은 translational invariance가 존재하지 않는 것에서 기인하는 낮은 열 전도도와 높은 강도와 같이 뛰어난 특성으로 인해, 핵융합로의 1차벽 구성 재료로 활용될 가능성을 가진 것으로 생각되며, 최근에는 Ti-Zr-Ni계 준결정과 텅스텐을 층층이 쌓아 핵융합로에 활용하고자 하는 연구 또한 보고된 바가 있다. 본 연구에서, 우리는 냉각 속도를 달리하여 결정립 크기가 서로 다른 Ti-Zr-Ni icosahedral 준결정을 제작하고, 헬륨 이온 조사를 진행한 뒤 조사에 대한 반응이 어떻게 다른지 확인하여 결정립 크기에 따라 조사 저항성이 어떻게 달라지는지 확인하였다. 또한, 이온 조사를 진행한 뒤 나노인덴테이션을 통해 기계적 특성이 어떻게 달라지는지를 확인하였다. 본 연구를 통해 핵융합로의 구조 재료로 준결정을 활용하는 데에 더 많은 insight를 제공할 것으로 기대한다.

[P14-5]

Analysis of Self-Healing Behavior in Co-Based Superalloys by Spontaneous Segregation of B and Y During In-Situ Tensile Test at Elevated Temperature : 민현기 (서울대학교), 윤국노 (University of California Berkleley), 이정수 (Max Planck Institut), 박은수* (서울대학교)

Keywords: Superalloy, High temperature Materials, Self-healing

고온용 구조 소재는 고효율 발전 등을 위한 가스 터빈 및 우주 산업 등에 널리 사용되는 미래 산업의 핵심 소재이다. 하지만 이와 같은 금속 소재, 특히 독특한 미세구조를 가져 고온 물성이 우수한 초합금(superalloy)의 작동 온도는 거의 한계에 달했으며, 이를 해결하기 위한 새로운 패러다임의 필요성이 강조되고 있다. 이에 본 연구에서는 금속 분야에서는 생소한 자가치유의 개념을 코발트기 초합금계 내부에 도입하였다. 부연하면, 고온 환경에서 과고용된 치유 원소가 결함부로 자발적으로 편석되어 결함부를 강화하고 메꾸는 자가치유 기작의 발현을 통하여, 금속 재료가 결함에 능동적으로 감응해 결함을 자가 치유하게 함으로써 합금의 작동 온도와 사용 수명을 비약적으로 증가시키고자 하였다. 특히 이러한 자발적 자가 치유 기작을 위하여, 다양한 변수를 고려하여 치유 물질을 결정하였다. 이를 위해 Co 합금 내에서 결함부와의 결합 에너지, 상호 확산 계수 및 결함 강화 에너지를 계산하여 자가 치유를 위한 후보 물질을 결정하였다. 이후, 자가치유 기작의 면밀한 분석을 위하여 자가치유 기작을 결함부 강화 및 파괴 지연 기작, 결함부로의 석출을 통한 결함 차폐 기작, 계면 안정화와 그에 따른 기존 특성 회복 기작으로 나누어 설명하고, 각 기작이 재료의 물성 회복에 어떠한 영향을 끼치는지를 정량적으로 분석하고자 하였다. 이러한 물성의 회복을 면밀히 분석하기 위하여, 본 연구에서는 개발한 소재에 의도적으로 균열을 형성하고 이를 SEM 내부에서 실시간으로 관찰하였다. 부연하면, 고온으로 가열된 소재의 균열 선단을 실시간 EDS와 EBSD 분석을 통해 과고용된 치유 원소가 결합부로 편석되어 결함부위를 강화하고, 결함부에서 석출되어 결함을 닫는 자가 치유 기작을 확인하였다. 또한, 재료의 실제 사용 환경을 모사한 유사 크리프 시험을 통하여 재료의 물성 회복을 검증하였다. 그 결과 치유 원소의 첨가를 통해 재료가 외부 응력에 감응하여 파괴를 지연시키고 결함을 차폐하는 자가 치유 기작이 실제 사용 환경 내부에서 효과적으로 발현되었음을 확인하였다. 이와 같은 연구 결과는 기존의 금속에서는 구현하기 어려웠던 자가 치유 기작의 초기적 연구로써, 다양한 소재 분야에 적용 가능하다는 점에서 큰 의의가 있다.

[P14-6]

첨가원소에 따른 NiTi 기반 형상기억합금의 미세조직 및 변형 거동 연구 : 김종태, 정주리 (한국생산기술연구원, 연세대학교), 전재열, 한준희, 강이승* (한국생산기술연구원)

Keywords: Shape memory alloy, Phase transformation, Mechanical Properties, Phase trasformation

형상기억합금 온도의 변화에 의해 변형된 형상이 원래의 형태로 돌아갈 수 있는 합금을 뜻하며, 마르텐사이트 상변태에 기인하는 형상기억효과와 초탄성 거동의 특징을 갖는다. 특히 NiTi 형상기억합금의 경우 높은 상안정성과 상대적으로 높은 가공성 그리고 뛰어난 형상기억효과로 인해 가장 많이 연구되고 있으며, 기계, 항공 등 다양한 산업 분야에서 이용되는 합금이다. 그러나 NiTi 합금은 낮은 상변태 온도 및 기계적 물성으로 인해서 사용의 한계를 나타낸다. 이러한 한계를 극복하기 위해 Hf, Zr, Pd, Co, Cu 등 고용도가 높아 NiTi 합금의 고온상인 B2 구조를 유지하며, 상변태 온도 및 변형 거동의 변화를 주는 원소들을 첨가하는 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 NiTi 형상기억합금의 낮은 상변태 온도 및 기계적 물성을 증가시키기 위해 NiTi 합금의 결정구조 및 상변태 거동을 유지할 수 있도록 치환형으로 고용될 수 있는 Co와 Hf을 이용한 $(Ni_{50-x}Co_x)_{50}(Ti_{50-y}Hf_y)_{50}$의 합금을 설계하였다. 또한 첨가원소의 함량에 따른 미세조직 변화와 마르텐사이트 상변태 변형 거동을 X선 회절, 주사전자현미경, 압축시험을 이용하여 분석하였다.

[P14-7]

준안정 오스테나이트계 스테인리스강에서 전기화학반응 중 발생하는 마르텐사이트 변태 고찰 : 이귀형, 채준영, 이명진, 한흥남* (서울대학교)

Keywords: 전기화학반응, 양극 차징, 음극 차징, 마르텐사이트 변태

다양한 초기 표면 거칠기와 조성의 준안정 오스테나이트계 스테인리스강에서 전기화학반응 중 마르텐사이트 변태가 관찰되었다. 시편을 작동전극으로 하여 양극 차징을 수행한 결과, 시편 극표면에 한정하여 마르텐사이트 변태가 발생함을 EBSD, XRD 및 페라이트스코프 관측을 통해 확인하였다. 전기화학반응 중 발생하는 마르텐사이트 변태를 폭넓게 고찰하고자, 시편을 작동전극이 아닌 보조전극으로 활용하여 환원반응을 관찰하는 음극 차징을 수행하였다. 임계 전류 밀도와 임계 시간을 초과하는 조건에서 음극 차징 중 마르텐사이트 변태가 발생하였다. 전기화학반응 중 발생하는 마르텐사이트 변태 현상을 정성적으로 파악하기 위해, COMSOL Multiphysics 소프트웨어를 활용하여 양극 및 음극 차징 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 산화-환원 반응 중 양극 및 음극 차징 모두에서 시편 극표면에 전하 축적이 발생이 발생할 수 있음을 시뮬레이션 모델을 통해 확인하였다. 결과적으로, 전기화학반응 중 발생하는 마르텐사이트 변태 현상이 시편 극표면에서 발생하는 전하의 축적으로부터 영향을 받을 수 있음을 발견하였다.

[P14-8]

Enhanced Mechanical Properties of Amorphous Blades : Sejin Jang, Moosung Kim, and Seonghoon Yi* (Kyungpook National University)

Keywords: Amorphous, Metallic glass, Blade

Scalpels used in modern surgical procedures require exceptional precision and durability. Traditionally, crystalline materials have been the preferred choice due to their inherent strength and durability. However, these materials are prone to performance degradation under the various loads and wear conditions encountered during surgery. Moreover, some metallic materials, such as Ni and Cd, pose potential risks of allergic reactions, raising concerns about patient safety. Amorphous alloys have emerged as a promising alternative, offering superior properties compared to conventional crystalline materials. The amorphous structure provides high strength and hardness, along with excellent resistance to corrosion and wear, meeting the stringent demands of surgical applications. Additionally, by excluding elements harmful to the human body, these alloys enhance patient safety. In this study, an amorphous alloy was synthesized using an arc melting process, followed by the production of bulk metallic glass (BMG) through suction casting. The resulting BMG was analyzed using SDT and XRD, and an amorphous blade was subsequently fabricated using proprietary grinding techniques. The developed blade is expected to demonstrate superior performance compared to existing crystalline material-based scalpels. This research aims to overcome the limitations of conventional crystalline materials by leveraging the advantages of amorphous alloys, ultimately developing safer and more efficient surgical scalpels. The outcomes of this study are anticipated to enhance both the performance of surgical instruments and the safety of patients.

[P14-9]

Development of Fe-Based Amorphous materials for Enhanced Thermal Neutron Shielding and Corrosion Resistance : Hyeseong Choi and Seonghoon Yi* (Kyungpook National University Nanostructured Materials Lab)

Keywords: amorphous, thermal neutron shielding, Gd, wire

The development of highly reliable radiation shielding materials is essential for the safe disposal, storage, and transportation. Large quantities of radioactive waste generated by nuclear power plants, as well as the waste produced by hospitals and research facilities. Gadolinium, particularly the stable isotope ^{157}Gd, is renowned for its exceptional thermal neutron absorption capability, with a thermal neutron capture cross-section of 254,000 barns (cm^{-1}). This value is approximately 66 times higher than the well-known ^{10}B, which has a cross-section of 3,840 barns, indicating that gadolinium can achieve superior thermal neutron shielding with minimal addition. Notably, when the alloy is fabricated in wire form, it exhibits superior mechanical strength and stress resistance compared to its powder or flake counterparts. The wire form also offers enhanced mechanical durability and flexibility. Furthermore, the uniform stress distribution in wire form improves the material's overall durability and allows for efficient coverage of large areas, making it advantageous for the uniform arrangement in shielding structures. The issue of low corrosion resistance in Fe-Gd compounds can be mitigated by leveraging the homogeneous and defect-free characteristics of the amorphous microstructure. This uniform composition across the entire material ensures consistent performance. Additionally, by incorporating aluminum, which readily reacts with oxygen, a passive layer can be formed, significantly enhancing corrosion resistance. This study aims to develop Fe-based amorphous alloys that utilize gadolinium's superior thermal neutron absorption capability. The research will focus on evaluating the mechanical properties, corrosion resistance, and thermal neutron shielding performance of these materials to assess their potential for various applications.

[P14-10] Canceled

Cu-Ge 컬러합금의 소성변형 공정 기반 광학적 및 기계적 특성 제어에 관한 연구 : 이강현, 조가은, 정의감, 심아진, 강결찬, 박혜진, 홍성환, 김기범* (세종대학교)

Keywords: 컬러 합금, 압연, 소성 변형, 적층 결함 에너지, 재결정화

컬러 합금은 재료 표면에만 국한하지 않고 재료 전체에 고유한 색상을 구현할 수 있는 합금이다. 이러한 컬러 합금의 색상 구현 범위를 확대하고, 기계적 특성을 향상시키는 것이 컬러 합금 연구의 핵심 연구 사항이라 할 수 있다. 이를 위해 합금 설계에서 조성을 제어하거나 다른 원소를 첨가하는 방식이 주로 연구되어 왔다. 선행 연구에 따르면 Cu-Ge 이원계 합금은 Ge의 조성을 제어함에 따라 색을 변화시킬 수 있고, 기계적 특성을 향상시킬 수 있다. 이러한 Cu-Ge 합금에 추가적으로 색상 구현 범위를 확대하고, 기계적 특성을 더 향상시킬 목적으로 본 연구에서는 이러한 Cu-Ge합금의 소성 변형 공정인 열간 압연과 냉간 압연을 진행하였다. Cu-Ge합금은 Cu합금 중 낮은 결함 에너지(SFE)를 가진다. 낮은 SFE를 가지는 금속은 소성 변형을 받을 때 고밀도의 쌍정 결함과 고밀도의 전위를 나타낸다. 이는 합금의 상태 밀도와 전자 구조에 영향을 미친다. 이로 인해 소성 변형인 열간 압연과 냉간 압연을 통해 색상 구현 범위가 확대되고, 기계적 특성이 향상될 것으로 사료된다. 재결정화가 일어나게 되면 새로운 결정립이 형성되어 미세구조에 큰 영향을 준다. 열간 압연과 냉간 압연은 이러한 재결정화의 발생 여부에서 차이를 보이고 그에 따른 기계적 특성 변화와 색상 변화를 파악하였다. 또한, 열간 압연 시 열처리하는 온도를 조정하여 재결정화도를 제어하였다. 그리고 그에 따른 기계적 특성 변화와 색상 변화도 파악하였다. Cu에 3-7 at%의 Ge를 첨가한 샘플들을 Induction Melting 주조법을 사용하여 제작하였다. 주조된 샘플들은 가스 주입용 Muffle Box Furnace (Pyrotech)를 사용하여 700°C에서 30분동안 열처리를 진행하였고 즉시 2°C 얼음물에 급랭시켜 용체화 처리를 진행하였다. 이후 샘플들을 압하율 83%까지300 °C, 400 °C, 500 °C에서 열간 압연을 진행하고, 냉간 압연 또한 진행하였다. 각 합금의 상 분석과 미세조직 분석은 XRD(Pananalytical Empyrean)와 SEM(JEOL JSM-6390)을 사

용하여 수행하였다. 합금의 광학적 특성은 분광 측색계(Photon-Spectrometer: SCINCO, Colormate)를 사용하여 측정하였고, 기계적 특성은 비커스 경도 시험(Micro-Indenter: SHIMADZU HMV-G21DT), UTM(Universal Testing Machine)을 사용하여 측정하였다.

[P14-11]

$MgAl_2O_4$ spinel 개재물의 Mold slag로의 용해거동 : 김기원, 정용석* (한국공학대학교)

Keywords: $MgAl_2O_4$ spinel, Mold slag, 개재물 용해거동, SHTT

$MgAl_2O_4$ spinel 개재물은 높은 융점과 높은 경도로 인해 제품의 품질과 강의 주조성에 유해합니다. 다른 비금속 개재물인, Al_2O_3 개재물 용해 연구는 많이 진행되었으나 몰드 슬래그 내 용해거동 연구는 미비한 편입니다. 본 연구는 슬래그의 $MgAl_2O_4$ 포화도와 온도에 따른 $MgAl_2O_4$의 용해 특성을 이해하고자 슬래그 내 스피넬 함량과 온도에 따른 실험을 수행하였고 Mgal2O4 spinel은 단결정을 큐브 형태로 커팅하여 사용했습니다. 실험장비는 Single Hot Thermocouple Technique(SHTT)을 사용하여 용해거동을 실시간 관찰하며 측정하였습니다. 보다 명확한 측정을 위한 부피 계산 모델을 제시하였습니다. Shrinking core model을 사용해 용해 메커니즘을 제시하였고, Gibbs-Thomson equation으로 체적 변화를 해석하였습니다. Arrhenius equation으로 $MgAl_2O_4$의 용해 활성화 에너지를 제시하였습니다.

[P14-12]

Mn 첨가량에 따른 바이메탈의 특성 변화 : 정주리, 김종태, 전재열, 한준희, 강이승* (한국생산기술연구원)

Keywords: 바이메탈, specific deflection

바이메탈은 서로 다른 열팽창계수를 가진 두 합금이 접합된 합금으로, 두 합금의 열팽창 계수의 차이에 의해 바이메탈이 한 쪽으로 휨이 발생하며, 고온에서는 열팽창이 작은 합금의 방향으로 합금이 휘게 된다. 이러한 바이메탈의 특성은 전자개폐기, 온도계, 전자주전자 등 다양한 온도 제어 및 감지 기기에 활용이 되며, 사용되는 조건에 따라서 적절한 두 합금의 열팽창 격차는 달라지게 된다. 본 연구에서는 VIM을 이용하여 invar 합금과 invar 합금에 Mn의 첨가량을 달리한 합금을 주조하고, 냉간 압연을 이용하여 두 합금을 접합시켜 바이메탈을 제조하였다. 제조된 바이메탈은 X-선 회절분석기(XRD)와 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 미세조직을 분석하고, 주조된 합금의 열팽창 계수와 제조된 바이메탈의 specific deflection을 측정하여 측정결과를 비교하였다. 본 연구를 통해 바이메탈의 invar 내 Mn의 첨가량이 바이메탈의 열팽창 특성에 미치는 영향을 분석하고, 이를 기반으로 바이메탈의 최적화된 열팽창 계수 차이를 확보하여 다양한 응용분야에 적용하고자 한다.

[P14-13]

Tailoring NiTi-based Shape Memory Alloy Characteristics through the Extrinsic Size Effect : Ji Young Kim (Seoul National University), Jinwoo Kim (Seoul National University, Korea Institute of Science and Technology), Kook Noh Yoon (Seoul National University), Wook Ha Ryu (Seoul National University, Kumoh National Institute of Technology), Won-Seok Ko (Inha University), and Eun Soo Park* (Seoul National University)

Keywords: Shape memory alloy, Martensitic transformation, Extrinsic size effect, In-situ SEM, MD simulation

Nanoscale shape memory alloys (SMAs) have recently attracted particular attention because of their unique shape recovery characteristics. In particular, previous studies have focused on the phenomenon of the signal of shape memory behavior disappearing below the critical size. However, examining the deformation and phase transformation behaviors of SMAs at a small scale, considering the extrinsic size effect, has been challenging due to issues such as ion damage formed during focused ion beam sampling. Thus, in this study, we tried to investigate the extrinsic size effect of polycrystalline NiTi-based SMAs by overcoming the limitations of the conventional experimental method. In particular, we suggest a novel fabrication method of NiTi-based free-standing SMA nanoparticles based on liquid-to-liquid phase separation and selective leaching in the Ni-Ti-Gd system, which is inspired by reported processing techniques of the bulk metallic glass. We utilized the melt-spinning technique to obtain liquid-to-liquid phase-separated microstructure. Due to the gradient in the cooling rate across the entire specimen, a droplet structure with various sizes was formed, ultimately producing particles in the size range of 100-1600 nm after selective leaching. The extrinsic size effect of obtained particles is then examined by conducting in-situ mechanical tests on individual particles within an electron microscope. Then, we carefully compared the experimental results with the results of molecular dynamics simulation to analyze the mechanical behavior of the nanoparticles. Interestingly, the isotropic polycrystalline NiTi-based shape memory alloy particles show size dependence on recoverable strain, which shows decreasing recoverable strain as the particle size increases until the critical size. The origin was a size-dependent transition temperature studied by molecular dynamics simulation. This study provides a theoretical basis for fabricating isotropic polycrystalline shape memory alloy nanoparticles and novel guidelines for studying the size effect of shape memory alloys, excluding any unintended effects such as ion beam damage. We also expect that the results will provide an effective guideline for tailoring shape memory alloy characteristics based on the extrinsic size effect, especially the constructed size-stress-temperature phase diagram. Finally, we expect the study to accelerate the design and practical uses of shape memory alloys not only through composition but also through size.

[P14-14]

다단계 액체금속탈합금화 공정을 통한 TiFe계 합금의 표면 개질 : 이소영 (서울대학교), 김진우* (한국과학기술연구원), 박은수* (서울대학교)

Keywords: 탈합금화, 다공성합금, 수소저장합금, 표면개질

TiFe계 수소저장합금은 상온에서 수소압을 제어하여 수소를 높은 부피당 에너지밀도로 저장하고 가역적으로 수소를 흡방출할 수 있지만, 초기수소화를 위한 활성화 과정이 요구된다는 문제점이 있다. 수소저장합금의 초기수소화 과정은 합금의 표면에서 일어나기 때문에 TiFe 합금의 표면은 수소 저장 특성에 큰 영향을 준다. 따라서 본 연구에서는 TiFe계 수소저장합금의 표면적 증가 효과 및 결정결함에 의한 수소 흡방출 압력, 초기 수소화 거동 등 수소 저장 특성의 개선 가능성을 고찰하기 위하여 liquid metal dealloying (LMD) 법을 응용하여 다공성 표면을 갖는 수소저장합금을 제조하였다. 이때 LMD 공정은 고온의 금속 용탕에 전구체 합금을 담지하여 합금 내 특정 원소를 용출해내어 다공성 물질을 제조하는 기술이다. 본 연구에서는 다공성 표면을 갖는 TiFe 합금을 제조하기 위해 다단계 LMD 공정을 제안하였다. 다단계 LMD 공정은 TiFe 합금을 Al 용탕에 담지하여 표면에 Al 원소를 합금화하고 다시 Mg-Ca 용탕에 담지하여 표면의 Al 원소를 다시 탈합금화하는 과정으로, 다공성 표면을 갖는 TiFe 합금의 제조가 가능하다는 것을 확인하였다. 이를 통해 다공성 표면을 갖게 된 TiFe 합금은 수소 흡수 및 방출 속도에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다.

[P14-15]

Combinatorial elastic deformation mechanism-mediated large elasticity in nanostructured eutectic alloys : Sung Hwan Hong*, Hae Jin Park (Sejong University), Gian Song (Kongju National University), and Ki Buem Kim (Sejong University)

Keywords: Superelasticity, eutectic alloy, elastic deformation mechanism, phase transformation, lattice reorientation

Superelastic alloys exhibit a beneficial large elasticity driven by reversible phase transformation depending on stress. Grain refinement in the alloys down to nanoscale improves the elastic properties through restraining the dislocation activity. However, the nanostructured superelastic alloys have only been successfully developed in single-phase alloys with large workability. The limited microstructure significantly hinders further improvement in overall elastic properties of the superelastic alloys. Here we report novel nanostructured superelastic eutectic alloy exhibiting an ultrahigh yield strength (~ 2.4 GPa) and a large improved elasticity (~ 7.6 %). The nanoscale eutectic structure comprising β and B2-NiTi phases with lamellar spacing of 5 ~ 20 nm enables large elasticity through combinatorial elastic deformation mechanisms combined with reversible lattice reorientation in β phase and reversible phase transformation in B2-NiTi phase. Our discovery on nanostructured superelastic eutectic alloy might offer the possibility of new class elastic materials surpassing the elastic properties in single-phase alloys.

[P14-16]

Designing and Surface Functionalization of Photo-reactive Heterostructure : Hae Jin Park*, Gyeol Chan Kang, Sung Hwan Hong, and Ki Buem Kim* (Sejong University)

Keywords: Alloy design: water splitting: metal oxide: TiO2

Titanium-based alloys offer numerous advantages, such as being lightweight, having adequate strength, good corrosion resistance, and reasonable cost, making them suitable for a variety of applications and a subject of continuous study. Additionally, TiO2, a titanium oxide with outstanding properties such as strong oxidation power, high chemical stability, and efficient light absorption, is actively researched in the field of water-splitting photo-electrodes. To simultaneously leverage the strengths of these materials, this study proposes a method for developing photo-electrodes by forming TiO2 and other functional oxides on a titanium-based alloy substrate in a single step. In this study, a Ti-based alloy was developed through alloy design, considering the formation of oxide nanostructures. The alloy was selected as a precursor to form multi-functional oxides through a one-step hydrothermal process, an uncomplicated method for oxide formation. This approach represents a novel and valuable effort to expand the application of Ti-based alloys in functional materials. The alloys were designed as binary alloys, consisting of titanium and a minor element, chosen based on various thermodynamic parameters and oxidation stability using the Ellingham diagram. Additionally, the minor elements were selected for their potential to form oxides with band structures favorable for photo energy absorption when combined with TiO2. Consequently, this study aimed to confirm the relationship between the oxide morphology, the compositional gradient in the depth direction, and the water-splitting properties of the functional oxides formed according to the selected minor element.

[P14-17]

Mapping을 통한 니켈기 초내열합금의 합금원소 및 온도에 따른 표면 고온 산화 및 고온 열화 미세조직 분석 : 한성희*, 김대현, 김진하, 이윤수, 한준희, 최병학 (강릉원주대학교), 최광수 (국립과학수사연구원)

Keywords: 니켈합금, 초내열합금, 고온산화, Ellingham diagram

니켈기 초내열합금의 산화반응은 합금원소 중 Cr/Al성분에 따라 다르게 나타난다. 저Cr/저Al에서는 표면에 NiO 산화층이 형성되고, 고Cr/저Al에서는 표면에 CrO 산화층과 그 직하에 AlO 산화물이 형성된다. 그리고 저Cr/고Al에서는 표면에 AlO 산화층과 그 직하에 Cr 집적층이 형성된다. 그러나 실제로는 위와 같은 산화층과 산화물이 바로 형성되는 것이 아닌 산화반응이 종료되었을 때의 결과이다. 본 연구에서는 EDS와 Mapping을 이용하여 다양한 조건에 따른 크리프 시험편들과 코팅을 한 블레이드 시험편들의 관찰하였다. 관찰한 시험편들과 산화속도, Ellingham diagram data, 이온화 경향을 통해 니켈기 초내열합금 산화반응의 과정에 대해 분석하였다.

P15 : 마그네슘
Room 2층 로비, 10월 29일

[P15-1]
First-Principles Study of Martensitic Phase Transformations in Mg-Sc Shape Memory Alloys : Hye-Hyun Ahn and Won-Seok Ko* (Inha Univ.)
Keywords: Shape memory alloys, Density functional theory, Free energy calculation, Martensitic phase transformation, Mg-Sc alloys
Lightweight shape memory alloys (SMAs), such as Mg-Sc, have attracted much attention owing to their lower density than traditional NiTi-based SMAs. However, its very low phase transition temperature limits practical application. Mg-Sc SMAs has been reported to exhibit the shape memory effect between random solid solution structures, such as the high-temperature stable austenite (BCC) and low-temperature stable martensite (orthorhombic or HCP). However, research on the structural ordering of these alloys remains limited, and there is a possibility that the phase transformation occurs between ordered intermetallic compounds with partial disordering of atoms in a particular sublattice (i.e., B2 austenite ↔ B19 martensite). To clarify this issue, density functional theory (DFT) calculations with special quasirandom structure (SQS) and additional harmonic approximation were used to examine the effect of ordering in phase transformation behaviors. This work provides fundamental insights into Mg-Sc SMAs research and new perspectives for designing lightweight SMAs.

[P15-2]
Mg-Ca 용탕에서 LMD 공정으로 제조된 Mg-Ti 복합재료의 미세조직 변화 : 윤현준, 장지은, 박보현 (경북대학교), 주수현 (단국대학교), 박성혁* (경북대학교)
Keywords: Liquid metal dealloying: Mg-Ca molten metal: Melt temperature: Mg-Ti composite: Microstructure
일반적으로 복합재료는 강화재의 크기가 미세하고 균일하게 분포할수록 물성이 향상된다. 그러나 기존 복합재료 제조 방법인 분말야금법과 교반주조법 등은 강화재를 균일하게 분포시키기 어렵다는 단점이 있다. 금속 용탕 탈성분법(Liquid metal dealloying, LMD)은 이러한 기존 복합재료 제조 공정에서 발생하는 문제를 해결할 수 있는 새로운 복합재료 제조 공정이다. LMD는 고체 금속 합금 전구체를 액체 금속 용탕에 장입하여 특정 원소를 탈합금시켜 제거하고, 금속 용탕이 그 빈 자리에 침투하여 새로운 복합재료를 형성하는 공정법이다. LMD을 통해 제조된 Mg-Ti 복합재료는 각 기지재가 3차원 연속연결구조로 균일하게 분포되며, 복잡하게 얽혀 있어 강한 결합구조를 가진다. 이때 Mg와 Ti 기지재의 크기는 용탕 온도 및 장입 시간에 따라 크게 변한다. TiCu합금 전구체를 낮은 온도의 Mg 용탕에서 탈합금 반응시킬 때 제조되는 Mg-Ti 복합재료의 조직이 미세화 되는 것으로 알려져 있다. 그러나 낮은 용탕 온도는 Cu의 탈합금 거동을 느리게 하여 LMD 공정의 효율을 저하시킨다. 본 연구팀의 이전 연구에서 Mg 용탕 내 Ca 첨가가 Cu의 탈합금 속도를 크게 향상시키고 Mg-Ti 복합재료를 미세화시키는 효과가 있음을 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 Ca를 첨가한 낮은 온도의 Mg 용탕을 이용하여 LMD 공정 효율 저하를 최소화하면서 미세한 Mg-Ti 복합재료를 제조하고자 하였다. 이를 위해 Mg-Ca 용탕 온도와 탈합금 시간에 따른 Mg-Ti 복합재료의 미세조직 변화를 OM, SEM, EDX, XRD, EBSD 등을 통해 분석하고, 비커스 경도 측정을 통해 복합재료의 기계적 물성 변화를 분석하였다.

[P15-3]
3차원 연속연결구조 Mg-Ti 복합재료의 Al 용탕 장입을 통한 표면 특성 향상 : 박보현, 장지은, 윤현준 (경북대학교), 주수현 (단국대학교), 박성혁* (경북대학교)
Keywords: Liquid metal dealloying: Mg-Ti composite: Al molten metal: Microstructure: Hardness
금속 용탕 탈성분법(Liquid metal dealloying, LMD)은 비귀금속 원소의 3차원 연속연결구조를 만들 수 있는 새로운 복합재료 제조 공정으로, 전구체를 이루는 합금 원소 중 금속 용탕과 혼화성이 높은 특정 합금 원소가 선택적으로 분리되어 연속연결구조의 다공성 구조 및 복합재료가 제조된다. LMD로 제조된 Mg-Ti 복합재료는 미세한 3차원 연속연결구조를 가지기 때문에 기존 복합재료에 비해 우수한 물리적 그리고 화학적 특성을 가진다고 알려져 있다. 하지만 LMD를 통해 제조된 Mg-Ti 복합재료는 갈바닉 부식으로 인하여 내부식성이 크게 감소하는 문제점이 있다. 이를 개선하기 위해 소재의 내부식성 뿐만 아니라 내마모성을 향상시킬 수 있는 표면 특성 개선 방안이 필요하다. 본 연구에서는 LMD 공정을 통해 제작된 Mg-Ti 복합재료를 Al 용탕에 장입시켜 시편 표면에서의 Al 합금화 반응을 야기시켜 복합재료의 표면 물성을 향상시키고자 하였으며, Al 용탕 장입 시간에 따른 미세조직 및 물성 변화를 분석하였다. Mg-Ti 복합재료를 Al 용탕에 짧은 시간 장입시키면 Al 원자들이 표면에 빠르게 확산되어 일부 영역에서 Mg와 Ti 기지재 내에 고용된다. 장입 시간이 길어지면 Mg 기지재 내 Al 확산량이 증가하여 Al2Mg3 상이 형성되거나 Ti와 Mg 사이에서 TiAl3 상이 형성된다. 이러한 미세조직적 변화로 인해 복합재료의 표면부의 경도가 크게 향상된다.

[P15-4]
Zn 미량 첨가가 Mg-5Bi-3Al 합금 고속 압출재의 석출 거동과 기계적 물성에 미치는 영향 : 안제형, 진상철, 안건웅 (경북대학교), 이정훈 (한국생산기술연구원), 박성혁* (경북대학교)
Keywords: Mg-5Bi-3Al alloy: Zn addition: High-speed extrusion, Age hardening, Precipitation

자동차, 항공기, 철도 등 수송기기의 경량화를 위해 낮은 밀도와 높은 비강도를 가지는 마그네슘에 대한 관심이 증대하고 있으며, 압출재 형태로의 산업적 적용이 점차 확대되고 있다. 그러나 상용 마그네슘 합금은 낮은 최대 압출 속도로 인해 생산 단가 및 압출 부품 가격이 증가하여 제한적으로 사용되어 왔다. 이를 극복하기 위해 최근 열간 균열 없이 고속 압출이 가능한 Mg-5Bi-3Al (BA53) 합금이 개발되었으며, 고속에서 제조되었음에도 우수한 기계적 물성을 나타냈다. BA53 합금은 압출 후 시효 열처리를 통해 기계적 물성을 추가적으로 상승시킬 수 있지만, 이전 연구 결과에 의하면 180 °C의 시효 열처리 시 최대 경도에 이르는 데 128시간이 소요되어 매우 느린 석출 반응을 보였다. 최근 연구에서는 Mg-Bi 합금에 Zn를 첨가시 Mg_3Bi_2 상의 석출 거동을 촉진시킨다는 결과가 보고되었다. 그러나 Zn는 마그네슘 합금의 융점을 급격히 낮추기 때문에 고속 압출성을 유지하기 위해서는 다량 첨가할 수 없다. 이에 본 연구에서는 압출성을 저해하지 않고, 석출 거동을 촉진하기 위해 BA53 합금에 미량의 Zn를 첨가하여 고속 압출재를 제조한 후 시효 경화 거동 및 석출물 특성을 분석하였다. 이를 위해 BA53 및 BA53-0.5Zn 합금 빌렛을 400 °C 에서 40 m/min의 속도로 압출하였으며, 시효 시간에 따른 압출재의 경도 변화를 분석하고 시효 열처리에 따른 미세조직 및 석출물 변화를 SEM, XRD, EBSD, EPMA 등을 이용하여 상세히 분석하였다.

[P15-5]

Ca 첨가에 따른 Mg–3Al 마그네슘 합금 압연재의 미세조직 및 기계적 특성 변화 : 김형준, 김현지 (경북대학교), Jiehua Li (University of Leoben), 박성혁* (경북대학교)

Keywords: Rolled Mg–3Al alloy: Ca addition: Microstructure: Texture: Tensile properties

마그네슘 합금은 가장 가벼운 구조용 금속 소재로, 높은 비강도, 뛰어난 기계가공성 및 우수한 진동 감쇠능 등의 여러 우수한 특성을 지니고 있어 항공 및 운송 분야에서 경량화 소재로 주목받고 있다. 그 중에서도, 압연을 통해 제조되는 마그네슘 합금 판재는 높은 생산성과 우수한 기계적 특성으로 인해 다양한 산업 분야에서 널리 사용되고 있다. 그러나, 육방조밀구조를 가지는 마그네슘 합금은 압연 과정에서 발생하는 강한 기저 집합조직(basal texture)으로 인해 상온에서의 낮은 성형성을 나타내는 한계가 있다. 집합조직을 제어하기 위해 다양한 희토류 원소(Rare earth element)를 첨가하는 방법이 제시되지만, 희토류 원소의 높은 비용과 제한된 가용성으로 인해 경제적인 제약이 존재한다. Ca은 희토류 원소와 유사하게 마그네슘의 압연재의 집합조직을 약화시키는 것으로 알려져 있으나, 1 wt.% 이상 첨가 시 소재의 연성이 크게 감소한다고 보고되었다. 본 연구에서는 Mg–3Al 합금에 소량(0.2 wt.%)의 Ca을 첨가하여 열간 압연을 통해 판재를 제조한 후 균질화 열처리를 수행하고, 소량의 Ca 첨가가 압연재의 미세조직과 인장 특성에 미치는 영향에 대해 조사하였다.

[P15-6]

Achieving ultrahigh tensile strength at cryogenic temperature without compromising ductility in AZX311 Mg alloy : Hafiz Muhammad Rehan Tariq (Department of Mechanical Engineering, Incheon National University), Umer Masood Chaudry (Research Institute for Engineering and Technology, Incheon National University.), and Tea-Sung Jun* (Department of Mechanical Engineering, Incheon National University, Research Institute for Engineering and Technology, Incheon National University.)

Keywords: Cryogenic Deformation, Twinning-induced grain refinement, Precipitate-dislocation interactions, AZX311 Mg alloy

Magnesium (Mg) alloys have demonstrated potential in cryogenic applications, such as aerospace and space exploration, hydrogen storage and liquid nitrogen storage tanks, where maintaining structural integrity under extremely low temperatures is crucial [1]. While previous studies have reported high tensile strengths at cryogenic temperatures, these gains often come at the cost of reduced ductility, leading to a common strength-ductility trade-off [2, 3]. In this context, the current study on hot-rolled AZX311 (Mg-3Al-1Zn-1Ca) alloy presents a significant advancement by achieving a balanced combination of strength and ductility. The alloy exhibits ultra-high strength at cryogenic temperatures while retaining ductility comparable to that observed during room-temperature deformation. The alloy exhibited a yield strength of 275 MPa, an ultimate tensile strength of 320 MPa, and an elongation of 12.6% at room temperature. Under cryogenic conditions, the yield strength increased to 375 MPa, the ultimate tensile strength reached 457 MPa, and the ductility remained nearly unchanged at approximately 12%. Detailed analysis of the deformation mechanisms, conducted using SEM/EDS-EBSD and TEM techniques, reveals that the enhanced tensile strength is primarily due to precipitation and grain boundary strengthening, coupled with increased dislocation interactions. The retention of ductility at Cryogenic temperature is attributed to the activity of non-basal slips.
References : [1] H.M.R. Tariq, U.M. Chaudry, C.-S. Kim, T.-S. Jun, Synergetic improvement in strength and ductility of AZX211 Mg alloy facilitated by {10–12}-{01–12} twin-twin interactions during pre-stretching at cryogenic temperature, Journal of Materials Research and Technology (2024). [2] U.M. Chaudry, H.M.R. Tariq, N. Ansari, S.Y. Lee, T.-S. Jun, Room and cryogenic deformation behavior of AZ61 and AZ61-xCaO (x= 0.5, 1 wt.%) alloy, Journal of Magnesium and Alloys (2024). [3] U.M. Chaudry, H.M.R. Tariq, N. Ansari, C.-S. Kim, S.Y. Lee, T.-S. Jun, Exceptional improvement in the yield strength of AZ61 magnesium alloy via cryo-stretching and its implications on the grain growth during annealing, Journal of Alloys and Compounds 970 (2024) 172630.

[P15-7] Canceled

경량 Mg-Li-Bi계 합금의 미세조직 및 기계적 성질에 대한 Al 함량의 영향 : 이병권, 고은찬 (전남대학교, 한국생산기술연구원), 김용호, 유효상, 손현택* (한국생산기술연구원), 홍성길 (전남대학교)

Keywords: 마그네슘, 리튬, 알루미늄, 미세구조, 기계적특성

가장 가벼운 금속 구조 재료인 마그네슘은 철강의 22%, 알루미늄의 64의 무게를 갖는다. 우수한 비강도 및 비탄성계수, 우수한

진동 흡수능, 전자파 차폐성을 갖는 마그네슘 합금은 항공기, 자동차, 의료기기 및 전자제품 등 많은 산업에 사용되고 있다. 하지만 마그네슘 합금은 육방밀집구조(HCP, Hexagonal closed packed)의 결정구조로 제한된 슬립 시스템으로 인해 상온에서 성형성이 떨어진다. 이러한 단점을 보완하기 위해 리튬을 마그네슘 합금에 첨가하면 Li 함량에 따라 다른 결정 구조를 갖는다. Li 함량이 5.7 wt.% 미만인 경우 α-Mg(HCP)의 결정구조를, 5.7~10.3 wt.%인 경우 α-Mg(HCP)+β-Li(BCC)의 결정구조를, 10.7 wt.% 이상인 경우 β-Li(BCC)의 결정구조를 갖게 되어 Li 함량이 증가함에 따라 상온에서의 성형성이 향상되며, 0.534g/cm3의 낮은 밀도를 갖는 Li 첨가에 의해 더 낮은 밀도를 갖는 합금을 개발할 수 있다. Bi를 Mg 합금에 첨가하게 되면 Mg3Bi2의 미세한 이차상이 기재내에 형성된다. 이러한 미세한 Mg3Bi2는 823°C의 높은 융점을 가져 열간 압출 중에도 고용되지 않고 미세하게 남아 있어 압출재의 강도와 연성을 동시에 향상시킬 수 있다고 알려져 있다. Al의 첨가는 고용강화 효과에 따른 강도 및 강성 향상 효과를 기대할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Al이 4, 6, 8 wt.% 첨가된 Mg-8Li-2Bi-0.5Zn 합금의 주조재 및 압출재의 미세조직 및 기계적 특성에 관한 연구를 수행하였다. 각 합금은 전기로를 이용하여 SF6+CO2 가스 분위기에서 중력주조하여 제조하였으며, 빌렛 250°C, 다이 200°C, 컨테이너 350°C 의 조건 하에서 14:1의 압출비로 열간압출 하여 4mm의 판상 압출재를 제조하였다. 주조재 및 압출재의 미세조직 분석을 위해 FE-SEM, EDS를 사용하였고, 기계적 특성 분석을 위해 인장시험을 실시 하였다.

[P15-8]

AZMX1100 합금 판재의 성형성에 미치는 열처리 영향 : 박태연, 최인철* (국립금오공과대학교)

Keywords: 마그네슘합금, 열처리, TRC, 열간압연

마그네슘은 구조용 금속중에서 가장 가벼운 재료이나 상온성형성 및 강도가 낮아 현재 상용화되고있는 경량재료를 대체하지 못하고 있다. 마그네슘의 낮은 상온성형성, 낮은 강도는 집합조직 및 미세조직에 의해 크게 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서 롤 성형성이 우수하고 약한 집합조직이 형성될 수 있는 AZMX1100 합금을 열간압연하고 열처리한 후 미세조직 및 집합조직의 변화와 그에 따른 기계적 물성변화를 분석하였다. 또한 열처리 조건이 다른 소재에서 그에따른 기계적 물성을 인장시험 및 비커스 경도시험을 통해 분석하였다. 그 결과 압하율 16%로 8PASS를 진행하여 최종압하율 80% 시편에 대하여 균질화열처리 후 T6 열처리를 진행한 시편(8-T6)에서 UTS 268.3MPa±3.7, YS 184.3±2.2MPa로 기계적강도가 높게 형성이 되었으며 동일조건으로 열간압연 8PASS를 진행한 후 균질화열처리 및 공랭을 진행한 시편(8-N)에서는 23.1±1.5%의 높은 연신율을 가짐을 확인 할 수 있었다. 이는 열처리 이후 집합조직이 TD및 RD 방향으로 넓게 분산되기 때문임을 확인하였다.

[P15-9]

마그네슘-비정질분말 복합시트를 이용한 전자파 차폐능의 고효율화 : 이상봉*, 김경택, 김성제, 강민혁 (금오공과대학교)

Keywords: 전자파차폐, 마그네슘, 비정질분말, 복합시트. 합금판재

최근 전자기기 및 통신산업의 발달과 더불어 전자기파 노출이 점차 증가하고 있고, 전자기기로부터 발생하는 전자파에 장기간 노출에 따른 유해성도 일부 보고되고 있다. 또한 전자기파 간섭(EMI)으로 인해 전자기기의 오작동과 신호 품질 저하와 같은 문제를 야기시킨다. 구조용 금속 중 가장 낮은 밀도를 가지는 마그네슘 합금은 1.74g/cm3의 밀도를 가지며 높은 비강성, 뛰어난 진동감쇠력과 더불어 전기전도도와 전자기파 차폐능이 우수한 것으로 알려져 있다. 현재까지 마그네슘 합금의 전자기파 차폐능에 관한 연구는 대부분 주조재와 압출재에 한정되어 있으며, 향후 수송기기 및 통신장비의 케이스재로 응용을 위해선 압연판재를 이용한 차폐능에 관한 연구가 필요하다. 본 연구에서는AZ31 마그네슘 합금판재와 Cu판재, Al판재, 비정질 시트를 이용해 복합시트를 제조한 후, 각 소재 조합별 무게 대비 전자파 차폐능 변화에 대하여 실험적으로 분석을 진행하였다. 전자파 차폐효과는 반사 손실이라는 인자가 가장 영향을 미치게 되는데. 이는 전기전도도가 높을수록 반사 손실이 커져 차폐효과가 높아지게 된다. 높은 전기전도도를 가진 Cu 판재, Al 판재 및 전자파 차폐성이 우수한 비정질 시트와 전반적으로 우수한 AZ31 판재를 조합하여 특성향상을 이룰 수 있는 방안을 제시하였다. 각기 두께 1mm의 Cu, Al 5XXX, AZ31합금 판재의 전자파 차폐능을 네트워크 분석기와 차폐율지그를 이용해 30 MHz ~ 1.5 GHz 대역에서 측정하였다. 또한 높은 투자율을 가지는 비정질 Fe-Si계 합금분말과 SBR바인더를 혼합하여 판재를 제작한 뒤, 이를 각기 다른 금속판재에 접착하여 복합시트를 제작하였다. Cu/비정질판재, Al5XXX/비정질판재, AZ31/비정질판재 및 Cu/AZ31, Al5XXX/AZ31 등 소재의 다양한 조합을 가지는 복합시트의 전자기파 차폐특성을 측정하고 비교분석하였다. 금속 판재의 미세조직은 광학 및 전자현미경을 이용해 측정하였으며, 비정질 분말의 결정화도는 XRD를 이용하여 측정하였다. 소재의 조합에 따라 보여지는 전자기파 차폐특성을 각 판재의 미세조직 및 복합시트 제작을 위해 이용한 비정질분말의 결정화도 및 형상 (Flake의 종횡비)과 연관하여 분석하였다. 본 연구를 통해 미세조직 및 소재에 따른 전자파 차폐특성의 변화 및 다양한 소재의 조합을 통해 전자파 차폐능 극대화를 이루는 방안을 제시하고자 한다.

[P15-10]

전기자동차용 배터리 방열 필러 적용을 위한 MgO의 소수성 표면 개질 : 박세영, 이진영, 이은서, 전유은, 박유진, 민성욱* (경기대학교)

Keywords: sol-gel 공정, 소수성, 표면 개질, 배터리 안정성

최근 전기자동차의 이용률이 증가함에 따라 배터리 화재 및 폭발 사고 또한 증가하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 배터리 자체의 안정성 개발뿐만 아니라 배터리팩의 열관리 시스템에 대한 개발이 필수적이다. 배터리팩의 열관리 시스템인 방열 필러는 열을 효과적으로 방출하여 내부에 열이 축적되는 문제를 해결한다. 그중 높은 열전도율을 가진 Magnesium Oxide(MgO)는 상용화되고 있는 Aluminum Oxide(Al_2O_3)보다 낮은 비용, 낮은 밀도 (3.58 g/cm³) 그리고 높은 열전도율 (30-60 W/mK) 등의 장점으로 방열 필러 소재로서 주목받고 있다. 하지만 이러한 장점을 가지고 있는 MgO는 높은 흡습성으로 인해 쉽게 $Mg(OH)_2$로 변환되기 때문에 구조가 붕괴되어 열전도율이 감소한다는 단점이 존재한다. 이러한 단점을 해결하기 위해 표면 개질 또는 코팅을 진행하여

MgO의 높은 흡습성을 제한하고 $Mg(OH)_2$로 구조 변환을 억제함으로써 방열 필러에 적용 가능성을 확인하고자 한다. 본 연구에서는 비극성을 띠는 C-F 결합을 형성하여 물과 약한 상호작용으로 인한 소수성을 부여하기 위해 Fluorine Alkyl Silane(FAS)를 사용하였다. 또한 FAS와 MgO가 반응할 수 있도록 Sol-gel 공정을 통해 가수분해와 축합반응을 유도하였다. 이때 Si-C와 C-F 결합을 FT-IR과 XPS를 확인하여 FAS와 MgO가 성공적인 결합을 이루는 것을 확인하였으며 SEM과 EDS를 통해 MgO 표면에 Fluorine이 균일하게 존재하는 것을 확인하였다. 또한 Contact angle 측정을 이용해 소수성이 향상된 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 MgO가 $Mg(OH)_2$로 쉽게 변환되지 않고 방열 필러 내부에서 높은 열전도율을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

[P15-11]

고속충돌에 따른 AZ31 열연재의 미세조직 변화 및 파괴 거동 : 이정훈, 유진영, 천세호, 이성호, 송종한, 박동준, 이승엽 (부산대학교), 이정훈 (한국생산기술연구원), 김윤호 (서울대학교), 이태경* (부산대학교)

Keywords: 마그네슘 합금, 고속 충돌, 탄도 반응, 쌍정

마그네슘 합금은 낮은 밀도와 높은 비강도를 가지고 있어 구조물의 경량화를 실현시키기 위한 매력적인 소재로 많은 연구가 진행이 되고 있다. 다양한 충격에서의 마그네슘 합금의 거동에 대해서 많은 연구가 진행이 되었지만, 경량화가 필요한 항공 산업 또는 방위 산업 등에서 빈번하게 발생하는 탄도 반응에 대해서는 거의 연구가 되지 않고 있다. 이러한 탄도 거동에 대해 마그네슘 합금은 HCP (Hexagonal Close-Packed) 구조를 가지고 있어 다양한 소성 반응이 결합된 복잡한 변형 메커니즘을 가지고 있다. 항공 및 방위산업 등에서의 마그네슘 합금 적용을 위해서는 고속충돌에서의 복잡한 변형 메커니즘의 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 초고속 조건에서 다른 두께를 가진 열연재 AZ31 판재에 대해 탄도 실험을 진행하여 관통이 일어나는 경우와 관통이 일어나지 않는 경우에 대해 분석을 진행하였다. 관통이 진행된 부위, 관통의 주변 부위, 시편 고정 부위에 대해 SEM, EBSD를 통한 미세조직적 분석을 진행하여 고속 하중 조건에서의 주요 변형 기구인 쌍정의 핵생성과 전파를 관찰할 수 있었으며, 이를 통하여 고속 조건에서의 파괴 메커니즘을 규명하였다

[P15-12]

AZ61합금의 열처리에 따른 전자파 차폐능의 변화 : 이상봉*, 강민혁, 김경택, 김성제 (금오공과대학교)

Keywords: 마그네슘, AZ61, 전자파차폐, 석출

최근 전자기기 및 통신산업의 발달과 더불어 전자기파 노출이 점차 증가하고 있고, 항공산업 및 의료분야 등 다양한 산업분야에서 재료의 전자기파 차폐능은 의미가 중요해지고 있다. 전자기파 차폐능은 차폐재의 형상 및 전자파원의 특성에 따라 영향을 받으며, 특히 재료의 미세조직에 따라 큰 변화를 나타낸다. 수송기기 및 휴대용 전자기기에 적용을 위해서는 경량 차폐재의 개발이 요구된다. 금속계 차폐재로 주로 이용되는 철과 니켈합금은 높은 자성을 가지며, 구리와 알루미늄합금은 높은 전기전도도를 가진다. 구조용 금속 중 가장 낮은 밀도를 가지는 마그네슘 합금은 높은 비강도와 뛰어난 제진성과 더불어 전기전도도와 전자기파 차폐능이 우수한 것으로 알려져 있다. 현재까지 마그네슘 합금의 차폐능에 관한 연구는 대부분 주조재와 압출재에 대한 연구에 한정되어 있으며, 향후 수송기기 및 통신장비의 케이스재로 응용을 위해선 압연판재의 차폐능에 관한 연구가 필요하다. 본 연구에서는AZ61 마그네슘 합금판재 열처리를 통해 미세조직 변화를 유도하고, 이에 따른 전자기파 차폐능 변화에 대하여 실험적으로 분석을 진행하였다. 6Al-1Zn-0.2Mn-Mg (wt.%) 조성의 합금을 열간압연을 통해 두께 1 mm의 판재를 제조한 뒤, 350°C에서 재결정 열처리를 실시하였다. 압연판재를 400°C에서 균질화 처리(T4)한 뒤 200°C에서 시효처리를 실시하였다. 각 열처리 과정과 시효처리 후 미세조직을 관찰하고, $Mg_{17}Al_{12}$상의 분포 및 정량적 분석을 실시하였다. 압연, 재결정, T4, T6 등 여러가지 열처리 조건의 판재에 대해 전자기파 차폐특성을 네트워크 분석기와 차폐율지그를 이용해 30 MHz ~ 1.5 GHz 대역에서 측정하였다. 재결정 열처리 후 판재의 미세조직은 변형이 없는 등축정 결정립을 나타내며, 압연방향을 따라 배열된 2차상을 가진다. 시효처리에 따른 2차상의 양의 변화는 전자현미경을 이용해 측정하였으며, 200°C에서 과시효처리한 경우 광학현미경으로도 관찰가능한 정도로 2차상이 성장하였다. 각 열처리 상태에서 전자파 차폐특성을 측정하고, 이를 비교하고 미세조직특성과 연관하여 분석하였다. 이를 통해 각 미세조직 구성요소가 전자파 차폐능에 미치는 영향에 대해 고찰하였다.

P16 : 고온재료
Room 2층 로비, 10월 29일

[P16-1] Canceled
Constitutive Modeling for Temperature-Dependent Deformation Behaviors in Fir-Tree Root of Single Crystal Superalloy Turbine Blade : Tae Yang Bang, Yoon Suk Choi* (Pusan National University), and Taejun Yun (Doosan Enerbility)
Keywords: Superalloys, Temperature-dependent deformation behaviors, Finite element analysis, Crystal plasticity, Fir-tree

Turbine engines, widely used in airplanes and power plants, employ fir-tree connections to attach Ni-based single crystal superalloy turbine blades to turbine disks. Given the temperature-dependent deformation behaviors of superalloys, understanding the stress and strain changes at the fir-tree under varying temperatures is essential for accurate structural analysis. In this study, tensile tests and finite element analyses (FEA) were conducted on the fir-tree at 25 °C and 500 °C. Two constitutive models, based on continuum mechanics and crystal plasticity, were employed in the FEA. The results revealed different plastic behaviors at the two temperatures, attributed to varying slip behavior with temperature. The crystal plasticity-based constitutive model qualitatively predicted these behaviors. This study highlights the importance of constitutive modeling for temperature-dependent deformation behaviors in the FEA of the fir-tree to enhance structural analysis accuracy.

[P16-2]
적층제조 공정으로 제작된 Inconel 939W 초내열합금의 열처리 공정 제어에 따른 미세조직 변화 거동 및 크리프 특성 평가 : 양철혁 (국립창원대학교), 전선영, 김중석 (두산에너빌리티 GT터빈개발팀), 홍현욱* (국립창원대학교)
Keywords: Selective laser melting, Inconel 939W, Heat treatment design, Microstructure, Creep

Ni기 초내열합금은 고온에서 산화 저항성과 크리프 특성이 우수하기 때문에 가스터빈과 항공우주 산업에서 널리 사용되고 있다. 최근 가스터빈의 효율을 높이기 위해서, 내부 냉각 유로를 복잡한 형상으로 만들어진 다양한 부품을 적용하고자 한다. 기존 주조방식은 부품의 복잡성 (complexity)에 대한 한계가 있으므로 설계의 다양성 실현을 위해 적층 제조를 통한 초내열합금 제작에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 적층 제조 시 성형체의 인장, 피로특성은 주조합금 대비 동등하거나 우수하지만, 크리프 특성이 열위하며, 이를 개선하기 위한 적정 열처리에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 적층 제조된 Inconel 939W 초내열합금의 unique 미세조직학적 특성을 기반으로 하여 크리프 특성을 향상시킬 수 있는 열처리 조건을 도출하고자 하였다. 기존 주조합금에 적용되는 상용 열처리를 적층 제조 합금에 적용한 결과, 크리프 특성이 주조합금 대비 매우 열위하였는데, 이는 micro편석에 의한 결정립계 액화와 작은 크기의 결정립 분포, 그리고 재결정률이 낮기 때문으로 확인되었다. 이를 개선하기 위해 용체화 열처리 온도와 시간을 증가시켜 결정립 성장과 재결정을 극대화하고자 하였다. 이때, 용체화 열처리 온도가 적정수준 이상 도달 시 액화 (liquation) 발생이 우려되어 열열학 계산 및 시차주사열량계 (Differential Scanning Calorimetry, DSC)를 통해 상변태점을 분석하여 Solidus 온도 이하에서 가장 높은 온도로 설정하였다. 적정 설계된 열처리시 결정립 크기는 180–200 μm, 재결정률은 99% 이상의 조대 등축정 결정립을 유도하였다. 아울러, γ-matrix에 존재하는 γ'의 분포 또한 크리프 특성에 대해 주요인자이므로 열처리 조건 변수에 따른 γ'의 최적 크기 및 분포를 얻고자 하였다. 크리프 시험 결과 (800 ºC/216 MPa), 제안된 열처리 조건에 의해 상용 열처리 대비 크리프 수명이 3 배 이상 향상시키는 데에 성공을 하였다. 열처리 변수에 따른 미세조직 evolution과 이들이 크리프 변형 거동에 미치는 영향을 정량·정성적으로 고찰하고자 한다.

[P16-3]
한국형 핵융합로 대면재 ARAA강의 He 이온 조사에 의한 조사결함 생성 거동 : 최재훈, 김연서 (울산대학교), 김정기, 권재호 (울산과학기술원), 이승현 (한국원자력연구원), 노상훈 (부경대학교), 박성수 (울산과학기술원), 이정구* (울산대학교)
Keywords: He 이온조사, ARAA강, 조사량, 조사온도, Black dot

최근 화석 연료의 고갈을 대비하기 위한 친환경적 대체에너지로 핵융합 에너지가 주목받고 있다. 핵융합 에너지를 발생시키기 위한 핵융합로 내부에서는 중수소와 삼중수소의 핵융합 반응에 의해 고속 중성자가 발생한다. 이러한 고속 중성자가 대면재와 충돌하게 되면 재료 내에 전위루프, void와 같은 다량의 결함이 형성되며, 이는 대면재를 취화시키는 원인이 된다. 동시에 대면재는 핵융합을 일으키기 위한 고온 조건으로 인해 연화가 일어나게 되어 대면재에서는 고속 중성자 조사에 의한 취화와 고온에 의한 연화가 동시에 일어나게 된다. 이러한 고속 중성자 조사 및 고온 조건에서도 우수한 물성을 유지할 수 있도록 국내에서는 ARAA(Advanced Reduced Activation Alloy)강이 개발되었으며, 현재 ITER(International Thermonuclear Experimental Reactor)에 적용하기 위하여 ARAA강의 물성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 한국형 핵융합로 대면재인 ARAA강에 대하여 He 이온 조사 시 조사량과 조사온도에 따른 조사결함 생성 거동을 분석하였다. 먼저 조사량의 영향을 분석하기 위해 25 ºC에서 500, 5,000 및 50,000 appm의 조사량으로 He 이온 조사 후 미세조직을 관찰하였다. 그 결과, 500 및 5,000 appm의 조사량에서는 결함이 관찰되지 않았지만, 50,000 appm의 조사량에서는 black dot 형태의 결함이 관찰되었다. 또한 조사온도의 영향을 확인하기 위하여 25, 300 및 400 ºC의 온도에서 50,000 appm의 조사량으로 He 이온 조사된 미세조직을 비교하였다. 그 결과, 25 ºC의 조사온도와 비교하여 300 및 400 ºC의 조사온도에서는 black dot 형태의 결함의 생성 분율이 감소하고 그 크기는 증가한 것을 확인할 수 있었다. 본 실험을 통해 한국형 핵융합로 대면재인 ARAA강의 경우에는 50,000 appm의 조사량까지는 전위루프나 void와

같은 비교적 조대한 결함은 생성되지 않고 black dot 형태의 미세한 결함만이 생성되는 것을 확인할 수 있었다.

[P16-4]

일방향 응고 공정으로 제조된 CM247LC 소재 Blade 시편의 미세조직 및 상·고온 기계적 특성 : 원경운* (인하대학교), 이형수, 서성문 (한국재료연구원), 권석환 (한국로스트왁스㈜ 기술연구소), 권혁주 (한스코㈜), 이기안 (인하대학교)

Keywords: CM247LC superalloy, Directional Solidification, Turbine blade, Microstructure, room and high temperature mechanical properties

가스터빈이 작동하는 극한의 고온 및 고압 환경에서는 블레이드의 파단 위험을 줄이는게 필수적이며, 이를 위해 블레이드 제조 시 단결정 또는 일방향 응고 공정을 통해 미세조직을 제어하는 방법이 제시되고 있다. CM247LC 합금은 낮은 탄소 함량으로 인해 고온 환경에서의 미세조직적 안정성이 뛰어나 장기적인 사용에 유리한 소재이다. 본 연구에서는 일방향 응고 공정으로 제조된 CM247LC 소재의 실제 블레이드 부품을 제조하여 위치에 따른 결함과 미세조직 등을 조사하였다. 블레이드 부품의 위치별로 큰 결함은 관찰되지 않았으나, Interdendritic 영역에서 γ/γ′ eutectic 조직의 주변으로 ~10 μm 크기의 irregular pore가 관찰되었으며 일부 pore 내부에 밀집된 carbide가 관찰되었다. 석출상인 γ′의 크기, 형태, 분율은 큰 차이를 보이지 않았다. 블레이드의 root 부위에서 시편을 채취하여 상온과 427°C 온도에서 인장 시험을 각 3회씩 수행하였다. 상온 인장 시험 결과 항복강도는 779 MPa, 781 MPa, 773 MPa로 유사하였으나, 인장 강도와 연신율에서 차이가 존재하였다. 또한 일반적인 경향과 달리 독특하게도 고온 인장 시험의 경우 항복강도가 805 MPa, 833 MPa, 845 MPa로 상온 인장 시험보다 높은 항복 강도를 나타내었다. 인장 시험 후 파단면을 관찰하였을 때, interdendritic 영역의 조대한 script-type의 MC 탄화물에서 균열이 시작되어 전파됨을 확인할 수 있었다. EBSD 관찰 결과 γ′ 석출상의 효과적인 강화 효과를 확인할 수 있었으며, 선형적인 low angle grain boundary가 형성되어 slip에 의해 변형이 일어남을 유추할 수 있었다. 상기 결과들을 바탕으로 일방향 응고 공정으로 제조된 CM247LC Blade 부품의 미세조직과 변형 거동의 영향에 대해 논의하고자 하였다.

[P16-5]

Laser powder bed fusion 공정으로 제조된 CM247LC 적층재에서 발생하는 strain age cracking 완화를 위한 합금 설계 및 미세조직 분석 : 김봉철 (한국재료연구원, 동아대학교), 이상원, 정중은, 최백규, 김인수 (한국재료연구원), 전종배* (동아대학교), 도정현* (한국재료연구원)

Keywords: CM247LC, Laser powder bed fusion, Heat treatment, Strain age cracking, Lattice misfit

LPBF (laser powder bed fusion) 공정은 복잡한 형태의 금속 부품을 높은 정밀도로 제조할 수 있어 정밀주조 공정으로 제조되어 왔던 주조품들을 대체할 수 있는 적층제조 공정 기술로 주목을 받고 있다. 복잡한 형상의 주조품들을 제조하기 위하여 LPBF 공정 조건에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있으나 LPBF 공정에 최적화된 소재 설계에 대한 연구는 상대적으로 미비한 상황이다. 주조 합금으로 개발된 CM247LC는 우수한 고온 특성을 갖는 석출경화형 초내열합금으로서, γ′상의 높은 부피 분율로 인해 적층 제조와 적층 후 열처리 과정에서 균열이 발생하는 것으로 알려져 있다. LPBF 공정으로 균열이 발생되지 않는 CM247LC 급 합금이 개발된다면, 기존의 소재보다 월등한 고온 특성을 갖기 때문에 보다 높은 온도에서 사용되는 고부가가치 부품들에 적용할 수 있다. 본 연구에서는 LPBF 공정으로 적층 후, 열처리 공정 중 γ′상 형성에 의해 발생하는 균열인 SAC (strain age cracking)을 완화하기 위하여 CM247LC 합금을 보완 설계하는 연구를 수행하였다. γ 기지와 γ′상의 정합계면에서 격자 상수의 차이로 발생하는 탄성응력장을 최소화하기 위하여 격자부정합을 제어하고, 균열 저항성을 확보하기 위하여 DR (deformation resistance)를 제어하여 합금을 설계하였다. 설계 합금들의 열처리 후 격자부정합 차이를 미세조직을 통하여 비교 분석하였으며, 수지상 영역에 따른 미세경도를 비교하여 SAC 균열저항성을 평가하였다. 향후에 LPBF 공정에 적용하여 열처리 수행 후, SAC 균열 형성 여부를 평가할 계획이다.

[P16-6] Canceled

침지 실험을 통한 316H 스테인리스 강의 650°C NaCl-$MgCl_2$ 용융염 환경 부식 특성 평가 : 남승주, 이원찬 (국립한밭대학교), 신기승, 윤지현 (한국원자력연구원 재료안전기술개발부), 김정한* (국립한밭대학교)

Keywords: 스테인리스, 용융염, 부식

용융염 원자로(molten salt reactor)는 대형 가압수형 원자로 시스템에 비해 안전성, 비용 효율성 측면에서 우수한 장점을 제공하는 것으로 알려져 있다. 316H 스테인리스 강은 ASME Code Section III Division 5에 등록된 소재로서 고온 크리프 특성과 내식성이 뛰어나며 20년 이상의 설계 수명 데이터가 확보되어 있어 차기 용융염 원자로의 구조재로 사용이 고려되고 있다. 그러나 316H 스테인리스 강은 가혹한 용융염 환경에서의 부식 저항성이 대단히 낮을 것으로 우려되고 있지만 이에 대한 정밀한 실험이 전 세계적으로 진행된 바가 거의 없다. 본 연구에서는SS316H의 내식성을 평가하기 위한 목적으로, SS316H를 각 100시간, 300시간 동안 NaCl+$MgCl_2$ 용융염에 침지하였다. 전처리 과정을 끝낸 샘플들을 수분과 산소 농도가 각 5 ppm이하로 유지되는 글러브 박스 안에서 고순도의 NaCl+$MgCl_2$ 염에 각각 100시간, 300시간 동안 침지하였다. 실험 후 샘플을 꺼내어 표면 면적과 무게 감소율을 측정하였다. 또한 실험에 사용된 샘플과 용융염의 분석을 위해 XRD, SEM/EDS 분석을 진행하였다. 침지실험 후 무게 변화를 통해 SS316H가 용융염 환경에서 부식속도를 구하였다. 이러한 부식률 정보는 재료의 내구성과 특성 변화를 분석하는데 기여하며 극한 환경에서의 재료 선정에 중요한 지침을 제공할 것으로 예상된다.

[P16-7]

Ni 중 Al 농도가 수소용해도에 미치는 영향 : 임지원, 강영조* (동아대학교)

Keywords: 수소 가스터빈, 초내열합금, 수소용해도

수소 가스터빈은 터빈 인렛부의 온도가 높을수록 발전 효율이 증대되는 특징이 있어 고온용 소재인 초내열합금이 사용된다. 초내열합금의 기지로 사용되는 금속은 Ni, Co, Ti 등이 있으며 그중 Ni은 초내열합금의 기지로 가장 많이 쓰이는 금속으로, Al 첨가 시 Ni3Al(γ'상)의 형성으로 고온영역에서의 강도 확보에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 따라서 기계적 강도를 악화시키는 것으로 알려져 있는 수소와 Ni계 초내열합금 간의 관계는 수소 가스터빈에서 매우 중요하게 작용한다. 하지만 고온에서의 Ni계 초내열합금과 수소와의 열역학적인 관계에 대해 알려진 바가 많지 않다. 이에 본 연구에서는 1773K 이상의 온도에서의 Ni 중 수소의 열역학적 성질을 파악하기 위해 Ar-H2 혼합가스 분위기에서 평형 시킨 후 수소 농도를 분석하였으며 도출된 용해도 정보를 이용하여 Ni 중 Al의 첨가가 수소용해도에 어떤 영향을 미치는지 조사하였다.

[P16-8]

CM247LC 합금 판재의 레이저 조사를 통한 L-PBF 공정 최적화 : 안동혁 (한국재료연구원, 부산대학교), 윤대원, 정희원, 유영수, 서성문 (한국재료연구원), 최윤석 (부산대학교), 이형수* (한국재료연구원)

Keywords: CM247LC, Laser powder bed fusion, Hot cracking, Defect

Laser Powder Bed Fusion (L-PBF) 공정은 기존 주조 공정보다 형상 자유도와 재료 절감의 장점을 가져 다품종, 소량 생산이 필요한 주조품 제조를 대체할 수 있는 공정 기술로 주목을 받고 있다. 하지만 기존의 주조에 사용되던 합금의 조성들은 L-PBF 공정에 적용하기에 어려운 문제점이 남아 있다. 일방향응고 주조 합금으로 개발된 니켈 초합금 CM247LC의 경우 높은 γ′ 강화상 분율로 인해 고온 환경에서의 우수한 기계적 특성을 가지고 있다. 하지만 CM247LC 합금의 L-PBF 공정 적용 시 고온 균열이 발생하고, L-PBF 공정의 복잡한 공정변수들은 적층재에 Lack of fusion, 기공과 같은 결함을 발생시켜 기계적 특성이 낮아지는 결과를 가져오기 때문에 산업계에 적용하기 어려운 문제가 있다. CM247LC 합금과 같이 높은 γ′ 강화상 분율을 갖는 초내열합금에 L-PBF 공정을 적용하기 위해서는, 고온 균열 완화를 위한 합금 조성 개량 및 L-PBF 공정변수 최적화가 필요하다. 본 연구에서는 CM247LC 합금 1종과 조성 개량 (Hf-free, B-free, Al-free) CM247LC 합금 3종의 판상 주조 시편을 준비하여, L-PBF 공정변수 최적화 연구를 수행하였다. 금속 분말을 이용한 적층에 앞서 준비된 판재에 레이저를 직접 조사하여 조건별 Melt Pool 형상에 대한 분석을 진행하였고, 레이저 조사로 형성된 결함의 분율에 미치는 합금 원소의 영향을 분석하였다. 진행된 결과는 추후 CM247LC 분말을 활용한 L-PBF 공정에 활용할 예정이다.

[P16-9]

Laser Powder Bed Fusion 공정으로 제조된 Inconel 718 합금의 재결정 구동력에 미치는 Layer Thickness의 영향 : 심영래 (한국재료연구원, 동아대학교), 도정현, 최백규, 김인수, 이상원 (한국재료연구원), 전종배* (동아대학교), 정중은* (한국재료연구원)

Keywords: Inconel 718, L-PBF, recrystallization, creep ductility, dislocation cell structure

Inconel 718은 석출경화형 Ni기 초내열합금으로 우수한 고온 기계적 특성, 용접성, 내식성을 나타내어 우주항공, 방산, 원자력, 발전 산업 등 다양한 고온 부품 제조에 널리 사용되고 있다. 고온 기계적 특성은 주로 γ"상의 석출강화 효과에 기인하는데, 시효 열처리 과정에서 약 3 vol. %의 γ'상(N i_3Al)과 약 20 vol. %의 γ"상 (Ni_3Nb)이 형성되는 것으로 알려져 있다. γ"상의 석출속도가 상대적으로 느려 변형시효균열 (strain-age cracking)에 대한 저항성이 높아, 석출경화형 초내열합금 중 우수한 용접성을 나 타내며 gas tungsten arc welding (GTAW), shielded metal arc welding (SMAW), electron beam welding (EBW) 등 상용 용접 공정 적용이 가능하다. 이러한 특성을 바탕으로 최근 내부 구조가 복잡한 부품 제조에 적층 제조 기술로 Inconel 718을 적용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. Directed energy deposition (DED), powder bed fusion (PBF), electron beam melting (EBM) 등이 고려되고 있으며, 공정 단순화, 가공비 절감 및 제조시간 단축 등의 이점이 있어 터빈 고온 부품, 우주발사체 엔진부품 등 고부가가치 산업에서 특히 주목받고 있다. 그러나 적층 제조 부품은 적층 조건 및 후처리 조건에 따라 최종 부품의 특정 편차가 커 부품 형상, 사용 환경에 최적화된 조건 적용이 필수적으로 요구된다. 이와 관련된 금속학적 인자로는 적층 제조 중에 발생하는 소성변형 및 잔류응력 이 있는데, 이는 열처리 이후 부품의 결정립 크기 및 형상, 결정립계 형상 및 강도에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 특히, 최근 L-PBF Inconel 718 소재에서 열처리에 따른 크리프 연성 저하가 보고되었는데, 이의 원인으로 열처리 중 불순물의 유입, 적층 조건에 따른 합금원소의 편석 거동, 전위 셀 구조 (dislocation cell structure) 내 소성변형 기구 감소, 결정립계 강도 저하 등 다양한 인자들이 제시되고 있다. 이에 본 연구에서는 L-PBF 공정 조건 중 layer thickness가 전위 셀 구조 및 전위밀도 등 초기 미세조직과 재결정 구동력에 미치는 영향에 대해 알아보았고, 향후 적층 조건에 따른 재결정 거동 및 크리프 특성 변화를 확인하고, 앞서 제시된 크리프 연성 감소 기구에 대한 고찰을 진행할 계획이다.

[P16-10]

Oxidation and Microstructure Evolution of YSZ-coated Ni-based Superalloy : Nomin-Erdene Battulga and Keesam Shin* (Changwon National University)

Keywords: TBC, high temperature oxidation, microstructural characterization, thermally grown oxide layer

In the effort to achieve higher operating temperatures in internal combustion engines, thermal barrier coatings (TBCs) have emerged as a crucial solution for extending the life of gas turbine blades. TBCs effectively maintain improved mechanical properties and provide oxidation resistance, enhancing the overall performance of these components at elevated temperatures. This research explores the effects of high temperatures on air plasma sprayed (APS) double-ceramic layer coatings, including a YSZ top coat and a NiCrCoAl bond coat. The study examines microstructural changes in TBCs over durations ranging from 50 to 5000 hours at 850°C and 1000°C. Coupon-

shaped specimens were analyzed using SEM, SEM/EDS, and EBSD techniques. The top coating was found to have an average thickness of ~530 μm, while the bond coating had an average thickness of ~120 μm. Diffusion processes caused the depletion of distinct APS particles, dark β-(Ni-Al), and light γ-(Cr-Ni) phases in the bond coat. EDS analysis identified that the Thermally Grown Oxide (TGO) layer primarily consisted of a single-alumina layer, with Ni-Cr-Co mixed oxides forming on the TGO layer at 1000°C after 250 hours. The TGO layer's thickness increased with time and temperature, reaching up to approximately 9.9 μm after 5000 hours at 1000°C. An excessively thick TGO layer can cause TBC system failure due to increased stress and cracking, potentially compromising the material's integrity and performance. Cracks resulting from thermal mismatch were observed near the TGO layer, particularly in areas with local bulges.

[P16-11]

차세대 용융염 원자로 설계를 위한 고온 NaCl+$MgCl_2$ 용융염에서 Ni-201의 부식거동 연구 : 이원찬, 남승주 (국립한밭대학교), 황성식, 윤지현, 전순혁 (한국원자력연구원), 김정한* (국립한밭대학교)

Keywords: 용융염, MSR, 니켈부식, 고온미세조직, 침지

전 세계적으로 15개 이상의 연구 기관이 참여하는 용융염 원자로(molten salt reactor) 개발은 미국의 ORNL 등을 포함하여 전통적인 대형 가압수형 원자로 시스템에 비해 안전성, 비용 효율성 측면에서 우수한 장점을 제공하는 것으로 알려져 있다. 그러나 통상적인 구조재는 가혹한 용융염 환경에서의 부식 저항성이 대단히 낮아 현실적으로 용융염 원자로에 활용이 불가능하다. 현재는 Redox potential이 상대적으로 높은 순수 니켈을 기존 구조용 소재에 클래딩하는 기술이 대안으로 고려되고 있다. 그러나, 니켈의 용융 염화물에서의 부식 특성에 관한 연구는 전 세계적으로 여전히 부족하다. 본 연구에서는 전기화학적 방법과 침지실험을 통하여 분극 곡선과 부식 메커니즘을 확인하였다. 장비는 특수 제작된 글러브박스를 사용하였는데, 글러브박스는 산소와 수분을 5 ppm 이하로 제어하였으며 용융염 전해 장치가 장착되어 동전위분극실험과 침지실험을 수행할 수 있었다. 순수 니켈 금속의 분극 곡선은 650°C 용융염 내에서 뛰어난 재현성을 나타내며, 뚜렷한 입계부식과 니켈 산화물이 표면에 확인되었다. 이를 통해 부식 속도를 계산하였으며 부식기구에 대한 분석을 수행하였다.

[P16-12] Canceled

Ni계 내열합금의 고온 기계적 특성에 미치는 합금원소의 영향 : 박재현* (포항산업과학연구원(RIST))

Keywords: radiant, tube, creep, Ni alloy

제철소등 산업현장에서 사용되는 radiant tube는 니켈함량이 50% 이상 높고 900도 이상에서 사용되는 경우가 많다. 장시간 radiant tube를 사용시 creep등 고온환경노출에 의한 손상이 발생하므로 creep등 고온거동을 평가하는것은 매우 중요하다. 본연구에서는 50% 내외 Ni 성분 내열합금에 C, Cr, W, Al 등 원소 함량을 변화시켜 creep시험, 고온인장시험등 기계적시험을 평가하였고 creep시험후 SEM등을 이용 석출물 변화등을 관찰하였다. 시험결과 알루미늄을 첨가시 고온항복강도를 향상시키는 효과는 있으나 creep 특성향상에 미치는 영향은 미미하였고 탄소와 텅스텐을 동시에 첨가시킨 경우 creep특성이 향상됨을 확인하였다.

[P16-13]

700°C NaCl-$MgCl_2$ 환경에서 Alloy 800H의 표면거칠기가 부식특성에 미치는 영향 : 김채원* (한국원자력연구원), 이시진 (세종대학교), 정현아 (경북대학교), 이현근, 김대종, 신기승 (한국원자력연구원)

Keywords: 용융염 부식, 표면 거칠기, Alloy 800H, NaCl-MgCl2

용융염 원자로(Molten salt reactor, MSR)는 사고시 고유 안전성과 효율적인 연료 사용으로 인한 방사성 폐기물 감소로 주목받고 있는 차세대 원자로이다. 하지만, 현재 가동중인 원자로(약 300C)대비 매우 높은 운전온도(약 650C)와 강한 부식성을 가지는 용융염을 사용한다는 점은 실제 MSR을 개발하는데 있어서 가장 큰 한계점으로 작용하고 있다. 이에 더하여, 현재까지 용융염 부식연구 결과들은 대체로 1960년대 미국에서 주도해온 불화계 염(Fluoride salts)내 연구가 많은 반면 우리나라가 사용하는 염화계 염(Chloride salts)에 대한 데이터는 매우 부족한 실정이다. 이에 따라, 본 연구에서는 염화계 염내 800H의 용융염 부식 데이터를 얻을 뿐만 아니라, 표면 거칠기에 따라 부식 특성이 어떻게 바뀌는지 보고자한다. Alloy 800H는 부식전 SiC grit 1000과 Diamond paste 1 micron으로 표면을 달리하여 준비하였으며, 이를 700C NaCl-$MgCl_2$에에서 100시간 동안 노출 후 부식 특성을 살펴보았다. 부식 후 표면 거칠기가 거친 SiC grit 1000으로 연마한 면이 더 깊은 부식층을 보였으며 자세한 결과는 추후 학회장에서 논의할 예정이다.

P17 : 디스플레이재료
Room 2층 로비, 10월 29일

[P17-1]
Photocleavable Ligand-based Direct Optical Lithography of InP-based Core/Shell Quantum Dots : Jaehwan Lee, Seongbeom Yeon, and Himchan Cho* (KAIST)
Keywords: Quantum dots, Direct optical lithography, patterning, PLQY

Direct optical lithography has emerged as a powerful patterning technique for implementing next-generation high-resolution quantum dot (QD) displays. However, since this technology relies on chemical reactions occurring on the QD surface, it requires careful attention, particularly for InP-based core/shell QDs, which are sensitive to the surface environment and can experience a reduction in luminescence efficiency during patterning. In this study, we introduce a fabrication method for intrinsically photosensitive InP-based core/shell QDs and a patterning technology that can be applied in various environments. This was achieved by substituting the surface of InP-based core/shell QDs with specially designed photo-cleavable ligands, which we named 3-((but-3-enoyloxy)methyl)-2-nitrobenzoic acid (BNA) ligand. The BNA ligand is composed of a carboxylic acid and an ortho-nitrobenzyl ester, allowing for effective ligand exchange and photo cleavage reactions. Through comprehensive analyses, including surface characterization and optical properties assessment, we elucidated the properties of the BNA ligand and the patterning mechanism. Our method demonstrates that high-resolution patterns at the micrometer scale can be uniformly formed while minimizing the reduction in luminescence efficiency of InP-based core/shell QDs. Notably, the short chain length after the cleavage reaction has been found to enhance the electrical conductivity of the QDs films after patterning. Consequently, we were able to demonstrate that ligand cleavage based direct optical lithography has a high potential for application in next-generation displays and various optoelectronic devices.

[P17-2]
Bright Colloidal Deep-blue-emissive Europium Halide Perovskite Nanocrystals : Jaeyeong Ha, Seongbeom Yeon, Jaehwan Lee, Hyungdoh Lee, and Himchan Cho* (KAIST)
Keywords: colloidal europium perovskites, deep-blue emission, ligands, precursors, phase transformation

Europium halide perovskites are emerging as promising candidates for environmentally-benign blue light emitters with their narrow emission linewidth. However, the development of high-photoluminescence quantum yield (PLQY) colloidal europium halide perovskite nanocrystals (PNCs) is hindered by the limited availability of colloidal synthetic methods and the elusive reaction mechanisms. Here, we provide an effective synthetic route for achieving high-PLQY deep-blue-emitting colloidal $CsEuBr_3$ PNCs. Distinct phase evolution routes involving Eu^{2+}:CsBr, Cs_4EuBr_6, and $CsEuBr_3$, are identified using two different Br-organic ligand complex precursors, oleylammonium bromide (OLAMHBr) and trioctylphosphine dibromide ($TOPBr_2$). The OLAMHBr precursor initially promotes the formation of Eu^{2+}:CsBr phase, which, upon surpassing a threshold, transforms into the $CsEuBr_3$ perovskite phase via lattice reorganization of CsBr, mediated by a proton transfer reaction. In contrast, the $TOPBr_2$ precursor initially induces the formation of core/shell Cs_4EuBr_6/CsBr PNCs, which subsequently transform into $CsEuBr_3$ through a nucleophilic addition reaction. The $TOPBr_2$ route exhibited enhanced CsEuBr3 phase homogeneity, resulting in a significantly higher PLQY (40.5%: full-width-at-half-maximum (FWHM) = 24 nm) at 430 nm, compared to the OLAMHBr route (16.5% at 418 nm). Notably, the phase-pure $CsEuBr_3$ PNCs demonstrated a world-record PLQY among the reported colloidal deep-blue-emitting lead-free PNCs that exhibit a narrow emission linewidth (FWHM < 25 nm). This work reveals the significant role of organic ligands in the colloidal synthesis of $CsEuBr_3$ PNCs and highlights their potential as non-toxic, solution-processable blue-light emitters.

[P17-3]
Non-destructive Ligand Modification of Colloidal Perovskite Nanocrystals via Olefin Metathesis for Direct Optical Lithography : Seongbeom Yeon (KAIST), Yoseph Kim (Chungbuk National University), Seongkyu Maeng, Jaeyeong Ha, and Himchan Cho* (KAIST)
Keywords: Colloidal perovskite nanocrystals, Olefin metathesis, Direct optical lithography, Ligand modification

Direct optical lithography is a process wherein precise patterns are formed by utilizing light to induce changes in the dispersibility of nanocrystals. To achieve effective incorporation of high-resolution pixels within displays, the application of lithography technology is essential, wherein direct optical techniques play a crucial role. Furthermore, direct optical lithography offers the advantage of reducing processing steps and enabling solution compatibility, large-area processing, and versatility with various materials. To enable direct optical lithography, photosensitive properties must be conferred via ligand exchange or the use of additives. However, such ligand modifications and subsequent patterning processes often compromise the optical and electrical properties of nanomaterials, especially in metal halide perovskite nanocrystals (PNCs). In this study, we address these issues by conducting ligand modification, endowing the ligands with light-sensitive attributes without damaging the pristine PNCs (PNC-P)' surface. We achieve ligand modification through

olefin metathesis reactions and systematically investigate the effects of the modified ligands on the optical properties, colloidal stability, and morphologies of PNCs with modified ligands (PNC-M). Furthermore, we attain high-resolution patterns by utilizing PNC-M possessing photosensitive property through ligand modification.

[P17-4]

Realizing Narrow Vertical Light Emission via 2D Photonic Crystal with Suppressed In-Plane Propagation : Youngjun Chung, Jonggwan Min, and Myungjae Lee* (Seoul National University)

Keywords: VR Display, OLED, Photonic Crystal, Lambertian Emission, Narrow Vertical Emission

As the virtual reality (VR) market continues to expand, organic light-emitting diodes (OLEDs), as self-emissive display panels, are recognized as promising solutions for VR display engines. However, to maximize the optical efficiency of these displays, it is critical to ensure that the etendue of the display panel matches that of eye box to minimize optical loss [1]. A major challenge in this alignment arises from the inherent Lambertian emission profile of OLEDs, which results in a broad angular distribution of light. To address this challenge, converting the Lambertian emission profile into a more collimated beam that directs light more efficiently towards the viewer's eyes is necessary. In this study, we designed a 2D photonic crystal (PhC) capable of emitting light with high vertical directional emission from a small area of underlying organic fluorescent dye. This phenomenon arises from the inhibition of light propagation in the direction parallel to the PhC, due to the formation of the photonic band gap at visible wavelengths, thereby enhancing the propagation in the direction perpendicular to the PhC. The PhC structure was designed and optimized using finite-difference time-domain (FDTD) simulations through the Lumerical software package, maximizing forward-directed light emission. Our simulations demonstrated that the PhC could successfully transform a Lambertian emission profile into a more collimated output, thus improving the optical efficiency of the display panel. To validate our design of PhC, we fabricated the PhC on top of an organic fluorescent dye and conducted a series of emission angle measurements. Given the need for precise measurement of emission angle within the 10° range, we employed Fourier optics technique to analyze the angular distribution of the emitted light. By capturing the Fourier plane image and performing an inverse Fourier transform, we calculated the emission angle within the desired angular range, confirming that our PhC design effectively narrows the emission beam profile. In conclusion, our 2D PhC design enables the realization of narrow beaming of light emitted from an organic fluorescent dye whose radiation angle follows a Lambertian distribution at certain wavelength. The integration of our PhC design into self-emissive display panel can increase the efficiency in that the intensity of display panel was increased due to conversion of beam profile from Lambertian to narrow vertical emission in angular space. This advancement will contribute to the development of next-generation VR displays, where modulation of the angle of incidence at each pixel is required to provide a comfortable viewing experience. Reference: [1] Hsiang, En-Lin, et al. ‘‘AR/VR light engines: perspectives and challenges.’’ Advances in Optics and Photonics 14.4 (2022): 783-861.

[P17-5]

Fourier Imaging for Analyzing Light Radiation Patterns and Angular Distribution : Jonggwan Min, Youngjun Chung, and Myungjae Lee* (Seoul National University)

Keywords: Fourier optics, Angular distribution, Photoluminescence, imaging

Displays are essential devices for conveying a wide range of information through visual means. As modern display technologies continue to advance, there is a growing emphasis on optimizing performance in terms of thin thickness, high resolution, and viewing angles. Concurrently, the need for sophisticated techniques to visualize and analyze the intricate light interactions within display components has become increasingly critical. In this study, we employ Fourier imaging techniques to investigate the directional and scattering properties of light in display devices. Fourier imaging allows for the quantitative measurement of angular light distribution, providing valuable insights into the complex optical interactions within these systems. By leveraging the principles of Fourier optics, we transform the spatial patterns of light into the angular domain, thereby elucidating the angular distribution and radiation characteristics of light sources. The rear focal plane of the lens represents the space where the Fourier transform of light is physically manifested, and the distribution of light obtained in this plane corresponds to the angular distribution of the light [1]. We enhanced the conventional Fourier imaging system by integrating additional functionalities that allow for the simultaneous analysis of light properties alongside angular distribution. These enhancements include polarization decomposition, wavelength resolution, and the capability to measure photoluminescence and electroluminescence characteristics. Utilizing this system, we analyzed the directionality and efficiency of light in photonic structures, such as photonic crystals, and effectively characterized the radiation patterns of structures emitting light at specific angles. In detail, by controlling the emission direction of light from fluorescent materials and directing it at oblique angles, we were able to simultaneously analyze the angular distribution and photoluminescence characteristics through our Fourier imaging system. Our findings demonstrate that Fourier imaging is a powerful tool for analyzing the emission patterns of displays, offering a pathway to enhanced design and optimization, including the improvement of viewing angles and the efficient design of display size. These advanced design methodologies and sophisticated analyses are expected to contribute significantly to the development of next-generation display platforms. Reference : [1] Cueff, S., Berguiga, L., & Nguyen, H. S. (2024). Fourier imaging for nanophotonics. Nanophotonics, 13(6), 841-858.

[P17-6]

Direct optical lithography of perovskite composites for color conversion applications using photocrosslinkable polymer : Sun Jae Park and Himchan Cho* (Korea Advanced Institute of Science and Technology)

Keywords: Perovskite, Poymer, Direct optical lithography, Color conversion, Flexible

Metal halide perovskite (MHP) nanocrystals (NCs) have been widely known for their outstanding color purity, making them ideal for high-resolution displays with a wide color gamut. The need for sufficient thickness and stability is crucial to achieve high-efficiency color conversion layers for next-generation displays. While incorporating MHP NCs into polymers is a one of the most effective approach to fabricate stable down-conversion layers with free high form factor, an optimized patterning technique for stretchable MHP composites has yet to be developed. In this study, we present a straightforward approach for directly patterning thick and stable MHP composite patterns using a photocurable flexible polymer. The MHP composite ink showed uniform particle distribution and high stability, owing to the ligand engineering process. The high stability of MHP composite has been indicated by negligible decreases in photoluminescence intensity over a 1-hour. High-resolution patterns of ~30 μm line width were successfully demonstrated. Furthermore, the thickness of composite can be adjusted between tens to hundreds of nm, by varying the composite of ink, reaching a maximum achievable thickness of ~300 μm.

[P17-7]

산화물/금속/산화물 3층 구조 투명 전극에서 전기 전도도와 광투과도에 미치는 중간층 금속 두께의 영향 : 문성용, Liao Wenfeng, 이동휘, 신동훈, 이상훈, 조영래* (부산대학교)

Keywords: 투명전극, 전기 전도도, 광투과도, 산화물/금속/산화물, 유연 전극

현재 전자 디스플레이(electronic display)는 전자기기에서 매우 중요한 부분을 차지하고 있다. 최근 전자기기의 고성능화로 인해 전자 디스플레이 또한 높은 성능을 요구받고 있다. 그 결과로 현재 유연 투명전극(flexible electrode)의 요구량이 급속히 증가하고 있지만, 종래에 주로 사용하던 재료인 ITO(indium tin oxide)와 IZO(indium zinc oxide)는 다양한 요구 특성을 충족하지 못하고 있다. ITO는 결정 구조상 낮은 기계적 물성과 높은 난이도의 증착조건을 요구하고 있으며, IZO는 비정질 구조를 갖지만 ITO에 비해 낮은 전기 전도도를 가지기 때문에 고성능 유연 투명전극의 단일 소재로 사용되기에는 한계가 있다. 본 연구에서는 IZO의 낮은 전기 전도도을 보완하기 위해 IZO를 유연한 PET기판에 스퍼터(sputter) 법으로 증착시킨 다음, 전도도가 우수한 은(Ag)을 동일한 방법으로 얇게 추가로 증착하여 전기 전도도 향상을 모색하였다. 즉, Ag가 전기 전도도에 미치는 영향을 연구하기 위해 PET기판 위에 IZO와 Ag를 각각 증착한 단층 시편과 IZO 위에 Ag를 증착한 2층 시편에 대해서 독립적으로 물성분석을 하였다. 추가로, Ag는 금속 소재이기 때문에 낮은 광투과도를 가질 것으로 예상되어, 얇은 Ag 위에 IZO를 추가로 증착하였다. 최종적으로는, Ag의 두께를 변화시켜 제조한 3층 박막 구조(IZO/Ag/IZO)에서 중간층 Ag의 두께 변화가 3층 박막 구조의 물성에 미치는 영향을 분석하기 위해 전기 전도도와 광투과도 변화를 체계적으로 분석하였다. 본 연구의 결과는 투명 유연전극 재료의 성능 향상과 응용 가능성을 높이기 위한 연구의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

[P17-8]

Effect of microstructure on properties of AZOY thin film : Wenfeng Liao, Sung-Youg Mun, and Young-Rae Cho* (Pusan National University)

Keywords: Magnetron sputtering, Transparent conductive coating, UV imprinting, Adhesion

Transparent conducting AZOY (contains a small amount of Y2O3 in addition to Al2O3 and ZnO) films have been deposited by RF magnetron sputtering on polymer substrates at room temperature. We compared the adhesion, hydrophobicity, transparency, and conductivity of AZOY films with and without micropatterns. In this study, UV imprinting was used to prepare microstructures on the polymer surface. The structural characteristics of the films were analyzed using Scanning electron microscopy, Tape Test, Contact Angle Measurement, Four-Point Probe.

[P17-9]

승온속도 및 소결 온도가 MoO_2 소결체의 입성장, 치밀화 거동에 미치는 영향 : 정재훈 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 정하국, 이종범* (한국생산기술연구원)

Keywords: MoO2, 소결, 디스플레이

MoO_2는 고온에서 우수한 전기적 특성 및 기계적 특성을 나타내는 소재로 다양한 고온 응용 분야에서 사용되고 있다. 또한 높은 녹는점과 산성 및 알칼리성 전해질에서 화학적 안정성을 가지고 있는 금속성 물질로 리튬 이온 배터리의 전극촉매, 광촉매, 가스 센서 및 전극 분야에서 각광받고 있다. 본 연구에서는 MoO_2를 사용하여 다양한 승온 속도 및 타겟 온도로 소결하여 소결 조건 차이에 따른 MoO_2 소결체의 입성장과 치밀화에 미치는 영향을 탐구하였다. 수 마이크로 사이즈 MoO_2를 1축 가압 (300MPa) 후 성형체 MoO_2를 소결 온도 (850 ºC, 900 ºC, 950 ºC, 1000 ºC) 와 승온속도에 차이를 두어 (10 ºC/min, 50 ºC/min, 250 ºC/min) 소결하였다. 소결체의 밀도는 GAS Pycnometer 및 Archimedes 원리를 통해 측정하였으며, XRD을 통해 소결체의 결정구조 및 상 변화를 조사하였고, 미세조직은 SEM을 이용하여 분석하였다. 각 분석을 통해 MoO_2 소결온도 및 승온 속도에 따른 소결체의 입성장 및 치밀화에 미치는 영향에 대해서 알아보았다.

[P17-10]

All-Solution-Processed Stretchable Quantum Dots LEDs : Jina Na, Nuri Oh*, Seongchan Kim, Seungki Shin, Namyoung Gwak, and Jaeyoung Seo (Hanynag University)

Keywords: Display, Quantum dot, Nanomaterial, Stretchable device

The upcoming era of skin-integrated light-emitting displays demands suppleness, stretchability, and high brightness characteristics. Consequently, ongoing research has aimed at achieving a stretchable display that surpasses the capabilities of existing bendable and flexible displays. The emergence of colloidal quantum dots (QDs) synthesized through solution processes has garnered significant attention as potential luminescent materials for displays. However, while these QDs exhibit colloidal behavior, transitioning them into emissive layers for display applications presents a distinct challenge. The inherent cohesive forces between QDs lead to the development of rigid characteristics, rendering them unsuitable for integration into deformable display components. As a result, the application of such QDs to components requiring intrinsic flexibility and deformability has remained elusive. In this study, we introduce a novel approach to creating a stable and highly stretchable QD-based LED (SQLED). We fabricated an intrinsically stretchable emissive layer by blending an elastomer with colloidal QDs, which exhibit high color purity and narrow emission bandwidths. In addition, we developed an optimal stand-alone electrode by blending poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrene sulfonate) (PEDOT:PSS) with bis-sulfonamide. This ensured minimal resistance variation during stretching and achieved low sheet resistance. As a result, we present an economically viable solution through an all-solution processing technique. This innovation marks a significant stride towards realizing stable operation under mechanical deformation and cost-effective stretchable displays with remarkable optical and mechanical properties.

[P17-11]

기판에 대한 부착력이 강화된 유연 인쇄 전극 및 이를 이용한 투명 사이니지 : 김한중, 김준희, 박정민, 김윤갑* (구미전자정보기술원)

Keywords: 유연 인쇄 전극, 유연 사이니지, 부착력

일반적으로 인쇄 전극은 기판에 대한 약한 부착력으로 인해, 그 응용 분야에 제한이 있는 것으로 알려져 있다. 이에, 인쇄 전극의 기판에 대한 부착력을 개선하기 위한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 잉크젯 방식으로 다양한 기판 위에 인쇄한 Ag Mesh 구조물 기반의 투명 전극의 부착력 개선을 위해, ~5um의 두께를 갖는 광경화성 절연층을 adhesion layer로 적용하고 이에 따른 부착력 및 기계적 유연성을 비교 조사하였다. 그 결과, Ag Mesh 투명 전극의 부착력과 유연성은 광학 및 전기적 성능(광투과율과 전기전도도)의 큰 손실없이 효과적으로 개선할 수 있음을 실험적으로 증명할 수 있었다. 부착력이 개선된 Ag Mesh 기반의 투명 인쇄 전극에 LED를 전기적으로 연결하여 유연투명 사이니지를 사용이 가능함을 실험적으로 증명할 수 있었다.

Acknowledgment : This work was supported by the Korea Innovation Foundation (INNOPOLIS) grant funded by the Korea government (MSIT) (2020-DD-UP-0278).

[P17-12]

마찰교반용접을 적용한 Al 타겟의 기계적 특성 및 박막의 전기적 특성 : 윤상민, 김정준, 김영균* (고등기술연구원)

Keywords: 알루미늄, 스퍼터링 타겟, 알루미늄 박막, 비저항, 마찰교반용접 Aluminum, Sputtering target, Thin Films, Resistivity, FSW

스퍼터링 공정은 물리적인 코팅 방법으로, 타겟을 대상 물체 표면에 박막의 형태로 코팅하는 방법으로 널리 이용되고 있다. 공정의 특성상 타겟 표면 및 내부의 입자들이 그대로 기판 표면에 코팅되므로, 고품질의 타겟이 요구되고 있다. 알루미늄은 높은 전기전도도를 가지고 패턴 형성이 용이하며, 유리 기판과의 부착력이 좋아 디스플레이 핵심 구성 요소인 배선 및 배리어층 형성을 위해 알루미늄 소재가 주로 사용되고 있다. 기존에 사용되고 있는 스퍼터 설비는 Planar type의 타겟을 연속 배열하여 사용 중에 있다. 그러나 이러한 방식은 타겟과 타겟 사이에 Shield가 위치하여, 장시간 방전 시 Shield에 부착된 Particle들이 기판으로 떨어지고, 소자의 불량을 야기하는 원인이 된다. 또한 타겟의 폭이 좁아 Magnet 구동의 한계로 Shield 부위의 Non-Erosion 영역이 많이 생겨 타겟의 효율이 저하된다. 이를 해결하기 위해 하나의 대면적 타겟 제조가 필요하나, 압출, 압연 등의 소성가공의 이용이 어려울 정도의 대면적 타겟이 요구되므로, 생산에 어려움이 있다. 이에, 본 연구에서는 마찰교반용접을 이용한 대면적 타겟 제조 가능성을 확인하고자 한다. 마찰교반용접 시 타겟의 미세구조가 변경되어, 타겟의 기계적 특성 및 미세구조의 변화가 박막의 전기적 특성에 미치는 영향을 확인하였다. 이를 확인하기 위해 2인치 DC-Magnetron sputter system을 이용하여 박막을 제조하였고, 이때 타겟은 일반 압연 타겟과 마찰교반용접으로 제조된 타겟을 비교 분석 하였다. 타겟의 기계적 특성 및 미세구조를 확인하기 위해 타겟의 경도 및 미세구조를 관찰하였으며, 박막의 전기적 특성 확인을 위해 4 point probe와 Alpha Step을 이용하여 비저항을 비교 분석하였다.

P18 : 나노소재
Room 2층 로비, 10월 29일

[P18-1] Canceled

Aerodynamic Fluttering Type TENG(Triboelectric-Nanogenerator) that based on Nanowire Mesh Electrode : Park Seheuk, Seol Minhyeok, Jeong Jinyong, Choi Jinsung, and Kim Kwanlae* (Seoul National University of Science & Technology)

Keywords: TENG, Nanowire, Mesh, Wind Power, Fluttering

Energy harvesting technology has received significant attention for its sustainable potential. TENG (Triboelectric-Nanogenerator) is an energy harvesting technology that can convert frictional energy into electrical energy and is suitable for portable and wearable electronics. Based on wind energy, various TENGs with flapping-type films have been studied. In previous studies, TENG based on wind power had a limitation that it could only be applied to wind speeds over narrow sections. Surface modification is one of the techniques frequently used to increase the performance of TENG. By adopting a nano-scale mesh form for the electrode, the contact area can be increased, and TENG output can be expected to be improved finally. Based on this theory, various materials were reviewed together for fluttering type TENG. To increase the efficiency and practicality of TENG, intermediate layer, and high dipole moment are applied. PDMS (Polydimethylsiloxane) is adopted as an intermediate layer role based on its advantages such as low cost, biocompatibility, and optical transparency. PVDF (Polyvinylidene fluoride) is a material that has been mainly studied in PENG(Piezoelectric-Nanogenerator) based on its excellent piezoelectric properties and thermal stability. Based on the high dipole moment of PVDF B-phase, high power generation efficiency is obtained. The suitable material enables compliance of power generation even at low fluttering frequency. In addition, the fluttering type TENG operated only limitedly when vortex was generated in the turbulent flow in the past. Through structural improvement, the rear film fixing method was adopted and power can be generated effectively even in the case of laminar flow and turbulent flow. Therefore, it is possible to compensate for the shortcomings of wind power generation, which is only possible at high wind speeds.

[P18-2]

Development of a Tunable Pd-Based Capacitive Sensor for Ultra-Low Concentration Hydrogen Detection with High Repeatability : Jiwoo Hong, Sang-kil Lee, Junho Lee, Seyoung Park, Hyun-Sook Lee, Kyu Hyoung Lee*, and Wooyoung Lee* (Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University)

Keywords: Capacitive Mechanism, Pd Nanogap Sensor, Hydrogen Sensing, Serpentine Pattern

This study introduces a novel approach for developing a Pd-based sensor for low-concentration-hydrogen detection using a capacitive mechanism. Utilizing photolithographic serpentine-shaped Pd patterns on a polydimethylsiloxane (PDMS) substrate enabled controllable formation and well-repeatable operation of Pd nanogaps, allowing uniform stress distribution during hydrogenation/dehydrogenation processes. The hydrogen sensing range of capacitive Pd nanogap sensors was customized by controlling the thickness of the Pd layer: 10 nm-thick Pd for wide-range operation from 50 ppm to 10,000 ppm and 8 nm-thick Pd for lower concentration, reaching an ultra-low LOD of 3 ppm. The sensor exhibited perfect repeatability over 100 cycles at 1,000 ppm hydrogen, the lowest concentration for repeatability tests among Pd nanogap sensor studies. Leveraging the excellent hydrogen selectivity inherent to Pd, this tunable and reliable sensor significantly boosts the potential of Pd nanogap sensors for commercialization and advancing the hydrogen-based economy.

[P18-3]

순차적 침투 합성법을 통한 PMMA- InO_x 유-무기 복합 박막 제작 중 공반응물의 효과 분석 : 고민경, 전나리* (충남대학교)

Keywords: 순차적 침투 합성법, 유-무기 복합 박막, 진공 증착 공정, FTIR spectroscopy

유-무기 복합 박막은 신축성 디스플레이, 소자 봉지 기술, 배터리 전극 보호 피복 등의 다양한 연구분야에서 주목받고 있는 재료이다. 순차적 침투 합성법(sequential infiltration synthesis)은 원자층 증착(atomic layer deposition)에서 파생된 새로운 진공 증착 공정으로, 2000년대 초반 처음 학계에 보고된 이래 유-무기 복합 박막 제작 공정으로 지속적인 관심을 받고 있다. 원자층 증착 공정에서는 전구체와 기판의 자기 제한적 표면 화학 반응을 활용하여 무기 박막을 증착 시키는 반면, 순차적 침투 합성법은 고분자 기지 내부 전구체의 용해, 확산, 화학반응을 이용하여 유-무기 복합 박막을 합성시킨다. 본 연구에서는 polymethylmethacrylate (PMMA) 고분자 박막을 기반으로, trimethylIndium (TMIn) 금속 전구체와 두 가지 공반응물인 H_2O, EG(ethylene glycol)를 활용한 순차적 침투 합성법을 수행하였다. 또한 Fourier-transform infrared spectroscopy, High-resolution X-ray photoelectron spectroscopy, Spectroscopic ellipsometer 분석을 통해 공반응물 종류에 따라 형성된 PMMA-InO_x 유-무기 복합 박막의 화학적, 구조적, 광학적 특성을 분석하였다. 연구결과, 순차적 침투 합성 공정 중 공반응물 종류에 따라 형성되는 PMMA-InO_x 유-무기 복합 박막의 성장 거동, 조성 분포, 화학적 결합 상태 등이 조절 가능함을 확인하였다. 본 연구에서 제시한 방법은 향후 다른 고분자 기지 및 금속 전구체를 사용하여 화학적, 물리적 특성 조절이 가능한 유-무기 복합 박막 제작에 활용될 것으로 기대된다.

[P18-4]

순차적 침투 합성법을 통한 저유전율 유-무기 복합 박막 증착 : 정지현, 전나리* (충남대학교)

Keywords: 순차적침투합성법, 저유전율, 유-무기복합박막, 원자층증착법

반도체 소자의 고집적, 고밀도 회로에서 신호 지연 현상은 소자 성능에 큰 악영향을 미칠 수 있으므로, 저유전율(low-k) 소재 역시 반도체 성능 향상에 중요한 요소이다. 우리는 순차적 침투 합성법(sequential infiltration synthesis, SIS)을 이용하여 저유전율 고분자-SiOx 유-무기 복합 박막을 증착하고자 하였다. SIS는 원자층 증착법(atomic layer deposition, ALD)에서 유래된 새로운 유-무기 진공 증착 공정이다. 전구체의 노출과 배기를 반복하며 표면에서의 자기 제한적인 화학반응을 이용한 ALD와는 다르게, SIS는 고분자 박막 혹은 기판 내부로 전구체를 침투시켜서 고분자 내부에서의 화학반응을 이용하여 무기 물질을 합성하는 기술이다. 우리는 poly(2-vinylpyridine), poly (methyl-methacrylate), poly(acrylic acid) 등 다양한 고분자 박막을 사용하였고, 각각 두 종류의 Si 전구체(tris(dimethylamino)silane, di(isopropylamino)silane)와 공반응물(hydrogen peroxide, water)을 사용하였다. 또한 Al 핵생성 및 고분자 팽창을 위해 trimethylaluminum(TMA)-water, TMA-glycidol 전처리 SIS 단계를 진행하였다. Spectroscopic ellipsometer, X-ray photoelectron spectroscopy, scanning electron microscopy, Fourier-transform infrared spectroscopy 등을 이용하여서 증착된 유-무기 복합 박막의 두께 증감 및 굴절률 변화를 측정하고, Si, C, O, Al, N 등의 화학 조성 분포를 분석하였다. 이번 연구 결과를 발판삼아, 향후 블록 공중합체 박막을 이용한 SIS 공정을 통해서, 더욱 다양한 특성 제어가 가능한 저유전율 유-무기 복합 박막을 제작할 수 있을 것으로 기대된다.

[P18-5]

Ga-Doped $Li_7La_3Zr_2O_{12}$의 합성조건 변화에 따른 미세구조 및 이온전도도 특성 : 황인성 (한국생산기술연구원, 한양대학교), 김호형 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 이민수 (한국생산기술연구원, 한양대학교), 임진섭 (한국생산기술연구), 김현우 (한양대학교), 박재영* (한국생산기술연구원)

Keywords: Nanostructure, 전고체배터리, Size control, 이온전도도, Ga-doped $Li_7La_3Zr_2O_{12}$

상용화 되어있는 리튬 이온 배터리를 이용한 배터리는 최근 잇다른 화재사건과 사건 사고들로 인해 안정성 문제가 지속적으로 제기되고 있다. 액체 전해질을 이용한 리튬 이온 배터리는 발화 및 폭발 위험성이 있으며 특히 고온에서 위험성이 더욱 커지게 된다. 반면 전고체를 이용한 배터리는 고온에서도 안정하며 전해질이 가연성의 액체이기 때문에 일어나는 여러가지 문제들, 예를 들면 화재 및 폭발 사고에서도 비교적 안전하다. 또한 전고체 배터리는 높은 에너지 밀도와 낮은 자가 방전율로 인해 배터리의 크기와 부피를 줄여 더욱 효율적인 설계와 좋은 배터리 성능을 가능하게 할 수 있다. 이러한 이유들로 시장 전망은 전고체 배터리에 더욱 집중하고 있으며 향후 미래를 보았을때도 리튬 이온 배터리에서 전고체 배터리로의 전환은 반드시 필요하다. 본 연구에서는 향후 주목받고 있는 전고체배터리 소재 중 하나인 Ga-doped $Li_7La_3Zr_2O_{12}$ (Ga-LLZO)에 합성 및 전지 특성에 고찰하였다. 전고체 소재에 관한 연구는 최근 많이 이뤄졌지만 입자크기 제어와 그에 따른 배터리 성능에 관한 연구는 상대적으로 활발히 이루어지지 않았다. Ga-ZZO의 고주파 집속 균질화법을 이용하여 합성 조건에 따른 입자 크기를 제어함으로 이온 전도도의 특성을 평가하였다. 재료적 특성에 대한 평가를 위해 X선 회절 분석(XRD)을 이용한 결정성 특성 평가 및 입도분석기(PSA) 통한 입자의 사이즈 등을 확인하였다.

[P18-6] Canceled

레이저 패터닝 기반 웨어러블 헬스케어용 AgNW/PEDOT:PSS 신축성 히터 제작 : 변정은, 이정우* (부산대학교)

Keywords: 용액 공정, 레이저 공정, 은나노와이어, 약물 전달, 온열 치료

건강에 대한 사람들의 관심 증가로 헬스케어 산업, 특히 열을 활용한 치료 분야가 확장되고 있다. 열을 이용한 온열 치료는 통증 완화와 치유 촉진에 도움을 줄 수 있으나, 현재 열 공급 디바이스는 무겁고 부피가 있어 필요한 부위에 열을 국소적으로 집중하는 데 어려움이 있다. 따라서, 사용자의 편의성을 높이고 정밀한 온열 치료를 가능하게 하는 웨어러블 히터 디바이스 개발이 헬스케어 분야에서 중요한 연구 주제로 부상하고 있다. 본 연구에서는 폴리머 박막에 레이저를 조사하여 작은 크기부터 대면적에 이르기까지 다양한 패턴을 쉽고 빠르게 구현하는 방법을 제시하였다. 단순한 용액 공정을 통해 은 나노와이어(AgNW)가 내재된 PEDOT:PSS 전도성 박막을 제조하였으며, 이를 통해 차세대 신축성 히터의 필수 요소인 변형에 대한 안정적인 전도도와 내구성을 크게 향상시켰다. 이와 같은 용액 공정 및 레이저 공정 기반의 효율적이고 비용 효과적인 마이크로 제조 기술을 통해 제작된 히터는 높은 전도도를 바탕으로 우수한 발열 특성을 나타내며, 변형에도 안정적인 발열 성능을 유지하였다. 또한 헬스케어 분야에서 맞춤형 크기와 디자인을 필요로 하는 다양한 응용 분야에 적용될 수 있으며, 이를 통해 보다 효과적이고 정밀한 열 치료 및 약물 전달 방법을 가능하게 하는 새로운 신축형 열 공급 디바이스로의 활용 가능성을 제시하였다.

[P18-7]

$Ti_3C_2T_x$ 나노 플레이크를 첨가한 Sn-Bi 복합체 합성 및 패키징용 저온 솔더 특성 평가 : 이재정, 쒸에한, 최호정, 류혜지, 정두현, 김혜영, 이준용, 우윤성* (단국대학교)

Keywords: $Ti_3C_2T_x$, Sn-Bi solder, Solvent, Reflow

Electronic packaging에서 solder는 주요한 재료가 된다. Pb이 주성분이었지만, 인체 및 환경에 심각한 피해를 주기 때문에 Sn을 기반으로 한 무연 솔더(Lead-free solder)가 활발히 사용되고 있다. 특히, SAC(Sn-Ag-Cu)을 통상적으로 사용하지만 용융 온도(217 ºC)가 높아 이를 대체할 수 있는 저온에서 사용 가능한 Sn-Bi(138 ºC)가 크게 관심을 받아 많은 연구가 진행되고 있다. 이는 Chip 및 회로들의 미세화로 인한 내열성 저하의 문제가 뒤따르기 때문이다. 그러나 Bi의 brittle한 단점을 개선하기 위해 CNT,

GNS 등의 nano composite을 합성한 연구가 진행되고 있다. 빠르게 경박단소 화 되는 Chip들을 패키징 하기 위해서 brittle 제어가 필수적이다. 따라서 MXene 첨가를 통해 IMC 성장의 억제 및 구조의 미세화 특히, 저온에서의 기계적 물성 강화 특성을 위한 합성 과정이 필요하다. 본 연구에서는 MAX 소재 중 하나인 Ti_3AlC_2를 etching하여 MXene 소재인 2차원 시트 형상의 $Ti_3C_2T_x$를 제조하였다. 합성된 $Ti_3C_2T_x$를 분말 및 solvent에 분산된 잉크 형태로 제작하여, 각각 ball milling과 paste mixer를 사용하여 0.2 wt% 함량으로 $Ti_3C_2T_x$를 solder paste와 혼합하였다. 이 때, 분산 용액의 용매 및 Ball milling의 공정 제어를 통하여 Sn42Bi58 solder 내부에 $Ti_3C_2T_x$ 나노 플레이크가 균일하게 분산된 복합체를 제작하고자 하였다. Reflow 공정으로 형성된 $Ti_3C_2T_x$가 첨가된 Sn42Bi58 solder의 표면 및 미세조직을 광학 및 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였으며, 이로부터 $Ti_3C_2T_x$ 나노 플레이크가 솔더링 및 기판과의 계면에서 금속간화합물(IMC)의 형성에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 마이크로 경도 측정과 나노 압입법 등을 이용하여 $Ti_3C_2T_x$의 유무 및 함량에 따른 Sn42Bi58 복합체의 기계적 강도를 비교하였다. 이러한 실험 결과를 바탕으로 $Ti_3C_2T_x$가 첨가된 저온 솔더 복합체가 전력 반도체 등 우수한 방열 특성과 기계적 신뢰성이 요구되는 전자 패키징용 소재로 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

[P18-8]

Effect of Deposition Tilt Angle on Hydrogen Sensing Performance in Pd-Coated SnO_2 Nanorod Arrays : Wooyoung Lee*, Hyun-Sook Lee, and Serin Choe (Yonsei Univ. Materials Science and Engineering)

Keywords: Hydrogen gas sensor, Pd-coated SnO_2, Nanorod arrays, GLAD, Tilt angle

The nanorod array (NRA) structure plays a crucial role in enhancing the response performance of metal oxide semiconductor (MOS)-based gas sensors due to its specific reaction principles. The high surface area and unique morphology of NRAs provide more active sites for gas interactions, leading to improved sensitivity and faster response times in detecting gases. In this study, we examined the influence of distribution morphology and pore density of Pd-coated SnO_2 NRAs on their resistance in air and hydrogen (H_2) gas sensing response. To achieve diverse distributions, SnO_2 NRAs were fabricated using electron beam glancing angle deposition (GLAD), with tilt angles varied from 80° to 50°. SEM image analysis revealed that at a tilt angle of 80°, the NRs formed clusters. As the angle decreased, the clusters became more compact, and at 50°, they were so densely packed that the individual rod structures were no longer discernible. It was observed that lower tilt angles corresponded to an increase in NR length. The resistance in air (R_a) significantly decreased with lower tilt angles, likely due to the formation of multiple current paths from the densely packed rods. However, despite the increase in NR length, the responsiveness to hydrogen gas was low. The gas responsiveness was found to be more influenced by the porosity within the NRA than by the length of the NRs. Larger tilt angles resulted in higher porosity, which increased the R_a and provided more reaction sites for hydrogen gas, thereby enhancing the sensor's overall responsiveness. This study highlights that optimizing the tilt angle during the fabrication of NRAs is crucial for balancing porosity and NR length, which significantly impacts the air resistance and hydrogen gas sensing performance of MOS-based sensors.

[P18-9] Canceled

Post-Heat Treatment Influence on the Long-Term Performance of Pd-Coated SnO2 Nanorod Array Hydrogen Sensors : Sang-hyun Park, Hyun-Sook Lee, and Wooyoung Lee* (Yonsei Univ.)

Keywords: Hydrogen gas sensor, Pd-coated SnO_2, Nanorod arrays, Aging effect, post-heat treatment

Recently, in line with the era of eco-friendliness and smart biotechnology, the demand for H_2 detection technology has been increasing. Among the various types of H_2 sensors, a sensor based on a Metal-Oxide-Semiconductor (MOS) can achieve high sensitivity and fast response time. However, these MOS sensors have a major issue of long-term stability that needs to be addressed in order to be applied to commercial H_2 sensors. In this study, we present the optimal post-heat treatment conditions for Pd-coated SnO_2 nanorod (NR) array sensors that can maintain H_2 sensing performance over a long period without significant degradation. The SnO_2 NRs were fabricated using e-beam GLAD. After depositing a catalyst Pd layer on top of the nanorods, the post-heat treatment was carried out in a box furnace under ambient air conditions. The post-heat treatment was conducted at varying temperatures of 200, 300, and 400°C, and was performed in one or two stages to evaluate its effects. The H_2 sensing response of the sensor, treated under various conditions, was monitored for over 100 days to identify the conditions that minimize aging effects and ensure long-term stability. Our findings demonstrate that the hydrogen sensor based on Pd-SnO2 NRs maintains a consistent response and exhibits long-term stability through optimized post-heat treatment procedures. This research contributes to the development of reliable and durable hydrogen gas sensors based on Pd-SnO2 NRs, which are crucial for advancing eco-friendly technologies.

[P18-10]

Effects of Molecular Size and Lewis Acidity of Metal Precursors on the Reactivity of Sequential Infiltration Synthesis : Jiwoong Ham and Nari Jeon* (Chungnam National University)

Keywords: Atomic layer deposition, Sequential infiltration synthesis, Group 13 metal, organic/inorganic hybrid material

Sequential Infiltration Synthesis (SIS) is a novel vacuum deposition method for synthesizing organic-inorganic composites by infiltrating precursors into polymer films. SIS utilizes chemical reactions between precursors, similar to atomic layer deposition, but requires an additional precursor exposure step for the infiltration and diffusion of precursors into the polymer. The diffusion is primarily

influenced by factors such as the molecular size of the precursors, and the free volume of the polymer matrix. The chemical reaction between the precursor molecules and the polymer matrix may stem from Lewis acid-base interactions between the metal atoms in the precursor molecules and the functional groups of the polymer. In this study, trimethylaluminum (TMAl) and trimethylindium (TMIn) were used as metal precursors, while poly(methyl methacrylate) served as the polymer matrix to explore the SIS reaction characteristics. Although TMAl and TMIn contain the same ligand, the size of the metal elements and the presence of dimer forms can affect the size of each molecule. Furthermore, despite being in the same group (Group 13), the energy levels of the valence electrons differ, leading to variations in Lewis acidity. Therefore, using two precursors with the same ligand but different metal atoms in SIS can result in significant differences. Based on this background, the study systematically analyzed the effects on SIS chemical reactivity and inorganic growth behavior.

[P18-11] Canceled

Lange Scale WS2-Based Monolayer Heterojunction for Advanced Optoelectronic Applications : Mikiyas Mekete Meshesha*, Yeojin Choi, Yuna Lee, and Sungjin An* (Kumoh National Institute of Technology)

Keywords: Monolayer, Optoelectronic, TMDs, Responsibility

Tungsten disulfide (WS_2) is emerging as a highly promising two-dimensional (2D) material for a range of optoelectronic applications. Its remarkable electrical conductivity, impressive mechanical strength, and advantageous optical properties make it an attractive candidate for various technological innovations. Despite these benefits, WS_2 exhibits significant response to visible light range only, which constrains its effectiveness and limits its application in optoelectronic devices. To overcome this limitation and enhance the functionality of WS_2, we propose a novel approach: synthesizing a heterojunction by combining WS_2 with a low band gap 2D material, tungsten telluride (WTe_2). WTe_2 has a different electronic structure compared to WS_2, and integrating these two materials could potentially address the only visible light range responsibility issue and broaden the range of applications. We employ the chemical vapor deposition (CVD) method to achieve this synthesis. By using CVD, we can create a well-defined WS_2/WTe_2 heterojunction on a large scale, which is essential for practical applications. The formation of WS_2/WTe_2 was confirmed using various analytical techniques, including optical microscopy, atomic force microscopy (AFM), Raman spectroscopy, scanning electron microscopy (SEM), and transmission electron microscopy (TEM). The results from these analyses demonstrate that the material has been properly formed. This technique enhances the performance of WS_2 in optoelectronic devices by ensuring high-quality, large-scale production of these heterojunctions.

[P18-12]

Enhanced NO_2 Gas Sensing in Humid Environments Using Titanium-Based MOF-Coated SnO_2 Nanowires : Sungjoon Moon, Ka Yoon Shin, Wansik Oum, Eun Bi Kim, Seonwoo Jang, and Hyoun Woo Kim* (Hanyang University)

Keywords: Gas sensor, SnO_2 nanowires, Metal-Organic Frameworks, Coating, NO_2 gas

In this study, we examined the NO_2 gas sensing properties of SnO_2 nanowires (NWs) and SnO_2 NWs coated with titanium-based metal-organic framework 901 (MOF-901). Both sensors demonstrated strong selectivity for NO_2 detection. At 200°C, the SnO2 NWs and MOF-901-coated SnO_2 NWs exhibited responses of 9.7 and 8.2, respectively, to 10 ppm of NO_2. Notably, in a humid environment, the MOF-901-coated nanowires outperformed the uncoated ones, primarily due to their hydrophobic characteristics and the protective MOF layer. The MOF-901-coated sensor maintained superior performance at relative humidities (RH) of 20% and above. At 80% RH, the responses to 10 ppm NO_2 were 6.6 for the MOF-901-coated sensor and 4.0 for the pristine sensor. Additionally, the MOF-901-coated SnO_2 NWs demonstrated improved selectivity. This study highlights the significant role of MOF-901 in mitigating water vapor interference, enhancing the NO_2 gas response of SnO_2 NWs under humid conditions. Acknowledgment: This paper was published in Sensors & Actuator: B. Chemical [Sensors & Actuators: B. Chemical 344 (2021) 130176]

[P18-13] Canceled

Hydrogen Sensing Performance of Pd-Based Catalysts on SnO_2: Effects of Single and Bimetallic Combinations on Response Characteristics Across Different Concentrations : Taewon Lim, Hyun-Sook Lee, and Wooyoung Lee* (Yonsei University)

Keywords: Hydrogen sensor, SnO2 nanorods, Noble metal, Bimetal, Catalytic effect.

We investigated the effects of individual noble metal catalysts (Pd, Pt, Au, and Ag) and their combinations with Pd (Pd-M, where M = Pt, Au, or Ag) on the hydrogen sensing performance of SnO2 nanorod arrays. The dual metals were deposited in a multilayer structure of Pd-M-Pd on the top surface of the SnO2 nanorod arrays and were alloyed through a post-heat treatment process. Among the single metal catalysts, Pd exhibits the highest sensing response at 100 ppm of H2. In the sensing response graph for hydrogen concentrations ranging from 1 ppm to 2%, the bimetallic catalysts exhibited different behaviors depending on the materials used. The Pd-Pt catalyst demonstrated linearity similar to that of Pd and had the highest reactivity across the entire concentration range. Since Pd is excellent in hydrogen adsorption and Pt is excellent in dissociation of hydrogen molecules, more efficient sensing performance can be expected when these two metals are combined. In contrast, Pd-Au and Pd-Ag were less reactive than Pd at concentrations below 1000 ppm and

tended to exhibit saturation at concentrations above 1000 ppm. Au or Ag have lower hydrogen adsorption capacity than Pd. If some of the active sites of Pd in Pd-Au or Pd-Ag alloys are replaced by Au or Ag, the overall hydrogen adsorption capacity may decrease. This may cause the reactivity to be lower than that of Pd alone. Our results indicate that the Pd-M combinations exhibit varying hydrogen sensing responses across different concentrations, depending on the hydrogen dissociation and affinity characteristics of the noble metal M.

P19 : 항공재료
Room 2층 로비, 10월 29일

[P19-1]
직접용융증착법을 활용해 접합한 Hastelloy X / IN792 이종소재의 인장 변형 중 계면 안정성 : 성예찬, 강호성 (경상국립대학교), 김범준 ((주)갓테크), 김정기* (경상국립대학교)
Keywords: Ni-superalloy, DED, Response surface methodology, mechanical property, heat treatment
항공 및 발전 분야에 사용되고 있는 내열소재는 1000 ºC 이상의 고온환경, 잦은 기동 및 정지가 발생함에 따라 부품의 손상이 발생한다. 따라서, 기존에는 체계의 유지보수를 위해 신규 외산 부품을 들여와 교체하였으나, 최근 글로벌공급망의 불안정에 따라 신규부품 도입에 높은 비용 및 시간이 요구된다. 상기 문제점을 해결하기 위해 유지보수 기술의 국산화에 따른 비용 절감이 필요하므로 본 연구에서는 DED(Directed Energy Deposition)를 통해 손상된 IN792 일방향응고재에 Hastelloy X를 접합하고 접합부의 기계적 성능을 평가하여 유지보수의 방향성을 제시하고자 하였다. 적층 과정에서는 공정변수에 따른 결함을 줄이기 위해 데이터 기반 공정최적화 방법 중 하나인 RSM(Response Surface Methodology)을 적용하여 최적 공정조건을 도출하였으며, 유지보수 후 석출상 형성을 위해 보편적인 IN792의 열처리 조건으로 열처리를 진행하였다. 그 결과, 접합 계면에서는 일부 원소의 확산에 의한 미세균열 및 탄화물이 관찰되었고 대부분 SiC 기반의 탄화물로 분석되었다. 또한, 인장시험 시 substrate에 수직인 시편에서는 접합부에서 파단이 발생하지 않아 substrate의 손상이 없었으나, 수평인 시편에서는 접합부의 미세 균열부에서 크랙이 성장하여 substrate로의 손상이 일어난 것을 확인하였다. 상기 결과는 접합 중 계면에서 발생되는 이차상이 substrate의 안정성에 큰 영향을 미침을 보여주므로 본 발표에서는 미세균열 및 탄화물이 파단에 미치는 영향과 파단의 원인에 대해 고찰하였다.

[P19-2]
The influence of residual stress induced by hole expansion on fatigue crack growth : Minjae Baek*, Dong Jun Lee*, Hyunsung Choi*, Moo-Young Seok, Hyeonil Park, Yong Nam Kwon, Yunji Cho, Younwoo Shin, and Hyunbo Sim (Korea Institute of Materials Science (KIMS))
Keywords: Hole ExpansionMethod, Genetic Algorithm, Compressive Residual Stress, Residual Stress Method, Fatigue Crack Growth
Residual stress induced plastic deformation during the fabrication of aircraft components significantly influences their fatigue life and crack propagation characteristics. Hole expansion process has been widely used to generate residual stress in these components by expanding the hole around a designated area, this process generates compressive residual stress, effectively mitigating crack growth. The surface compressive residual stress augments the fatigue limit and enhances mechanical properties, particularly by suppressing stress corrosion cracking (SCC). Achieving the desired magnitude of residual stress necessitates the design of an optimal hole expansion process. Conducting repetitive experimental designs for this purpose proves to be prohibitively costly and time-consuming. Thus, it is necessary to efficiently analyze the relation between the process variables and the primary outputs through finite element analysis. In this study, the optimized hole expansion process has been design by analyzing the relation between design variables of hole expansion process such as Insert Angle, Mandrel Diameter, and Plate Hole Diameter and the primary outputs of the process such as residual stress magnitude and distribution, and stress of mandrel. By utilizing the resultant optimal process, we have compared and assessed the residual stress induced in the material during the hole expansion process using three different type of measurement methods, namely X-ray diffraction (XRD), hole drilling, and contour analysis. Subsequently, we have analyzed the implications of these findings on fatigue crack growth

[P19-3]
ML-DIC 이미지 기반 피로균열전파 거동분석을 통한 Al 합금 압연재의 압연 방향과의 각도 구분 : 김도현, 홍범락, 좌비오, 신윤우, 이승환, 최현성, 박현일, 석무영, 이동준, 권용남* (한국재료연구원)
Keywords: 금속, 기계발광, 항공재료, 압연재, 피로균열전파
항공기 구조재료는 높은 강도, 경량성, 내식성, 내열성 등 다양한 특성이 요구된다. 그중 특히 알루미늄 7000계열은 경량성, 높은 강도, 피로 수명, 부식 저항성, 응력 부식 균열 저항성 및 파괴 인성 값을 나타낸다. 더욱이, 압연 판재로 편리하게 가공할 수 있다는 장점을 가진다. 이러한 특성으로 인해 현재 항공우주 및 자동차 구조 부품의 주요 재료로 널리 사용되고 있다. 손상 허용 설계 접근 방식을 채택한 알루미늄 합금으로 제작된 항공 우주 구조물에서 피로 균열의 전파 특성에 대한 이해는 구조적 무결성 평가 및 향상에 필수적이다. 이는 구조물의 피로 손상 해석을 수행하는 데 중요한 기반이 되며. 항공우주 구조물의 설계 및 유지 보수 전략에 있어 중대한 영향을 미친다. 피로 균열 전파는 Log da/dN과 LogΔK 사이의 선형 관계를 기반으로 구조물의 신뢰성 향상과 유지 보수 비용의 절감에 기여하며, 안전한 설계 및 장기적인 내구성 확보에 중요한 역할을 한다. 기계 발광(Mechanoluminescence, ML) 재료는 다양한 기계적 자극이 가해질 때 발광 현상을 나타내는 고체 상태의 물질이다. 이러한 발광 현상은 응력 및 변형과의 상관관계를 나타나게 된다. 본 연구에서는 SrAl2O4:Eu2+, Dy3+(SAO)와 CNT (Carbon Nano Tube)를 혼합하여 제작한 ML-CNT 필름을 이용하여 응력 감지 센서로서의 가능성과 피로 균열 전파 특성을 정밀하게 분석하고자 한다. ML-CNT 필름의 포함된 SAO의 ML 특성을 이용하여 극한 환경에서의 균열 탐지와 균열 선단의 정확한 위치, 균열 길이를 특정하며 밝고, 오래 지속 발광하는 녹색 PL(지속 발광)과 필름에 포함된 CNT를 이용하여 무작위 스펙클 패턴을 구현한 DIC(Digital Image correlation) 분석을

적용하였다. 이를 통해 균열 선단의 변형장을 도출하며, 피로 균열 성장률 및 K 값을 유추해 보았다. Al7050 합금은 Zn, Mg, Cu 등의 첨가물과 함께 시효 과정을 통해 MgZn2(η, η') 석출물을 포함하고 있으며, 석출물은 합금의 주요 강화 기구로 작용한다. 그리고 Al7050 압연재는 압연 공정으로 인해 압연 방향과의 각도에 따라 피로 특성 등이 다르다. 압연 방향에 따라 LT는 주로 결정립 내부, TL은 결정립계를 따라 균열이 성장한다. 이로 인해 균열 선단의 집중된 응력의 차이가 나타나며, 기계 발광(ML)을 통해 균열 선단의 변형장에 대한 ML 이미지가 다름을 확인하였다. ML 발광 현상의 응력 및 변형과의 상관관계 기반한 이미지가 다르며, 추후 이미지 및 DIC 등을 통한 CNN(Convolutional neural networks)으로 압연과의 각도를 구분하는 것을 목표로 하고 있다.

[P19-4]

파면분석을 통한 Inconel 706 대형 단조품의 상온 및 고온 피로균열전파 거동에 관한 연구 : 배정빈, 김영빈, 이준민, 이서영, 김상식* (경상국립대학교)

Keywords: Inconel 706, 피로균열전파, 파면분석, 하중비, 고온

대형 단조품 적용을 위해 개발된 Inconel 706 합금을 발전 부품과 같은 고온 회전 부품에 성공적으로 적용하기 위해서는 피로균열전파 저항성과 파괴인성 등 손상허용 특성에 관한 이해가 필수적이다. 본 연구에서는 대형 단조품에서 CT(compact tension) 시편을 채취하여 25, 450, 및 650°C의 온도와 0.1, 0.7의 하중비 조건에서 피로균열전파 시험을 수행하였다. 연구 결과, 온도 증가에 따라 균열이 진전되는 임계 응력확대계수 범위와 제2영역이 시작되는 피로균열전파 속도가 큰 폭으로 증가하는 것이 관찰되었다. 또한 특정 온도와 하중비 조건에서 제2영역의 기울기가 변하는 "천이 현상"이 관찰되었다. 정량적인 파면분석을 통해 Inconel 706 합금에서 관찰되는 기울기의 변화는 여러 파괴기구가 경쟁하면서 일어나는 것으로 고찰하였다.

[P19-5]

암시야 모드에서 변형률 계측을 위한 PL-DIC patch의 정량적 특성 연구 : 신윤우, 좌비오, 이승환, 최현성, 박현일, 석무영, 이동준, 권용남* (한국재료연구원)

Keywords: 알루미늄 합금, 비파괴검사, 형광재료, 디지털 이미지 상관법, 결함

7xxx 계열 알루미늄 합금은 2xxx 계열 합금에 비해 강도 대 중량비, 피로 특성이 우수하고 내식성이 우수하여 항공기 구조 재료로 널리 사용되고 있다. A7050 합금은 열처리에 대한 민감도가 낮아 압연 시트 형태로 생산할 수 있어 다양한 항공기 구조 부품에 적합하다. 이러한 재료로 만들어진 항공기 구조물 내부의 균열을 탐지하는 것은 어려운 작업이며, 검사 과정에서 이를 간과하면 치명적인 사고로 이어질 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해, 다양한 비파괴 검사 방법이 연구되어 왔으며, 그 중에서 형광재료의 사용이 선택되었다. 형광재료 중 SAO($SrAl_2O_4$:Eu) 는 인광현상과 기계발광현상을 모두 가지고 있다. 그중 인광현상은 형광현상과 달리 물질이 흡수한 빛을 방출하는데 시간이 좀 더 걸린다. 이는 물질 내부의 전자 상태와 관련이 있다. 인광현상에서는 '트리플릿 상태'의 전자가 관련되며, 이 상태는 에너지를 더 오래 유지할 수 있다. 이로 인해 인광현상은 빛을 흡수한 후에도 일정 시간 동안 빛을 계속해서 방출할 수 있다. 지속시간은 몇 초에서 몇 시간, 심지어 며칠까지도 이어질 수 있다. 위와 같은 현상을 활용하여 암실에서 구조물 내부의 균열을 탐지하기 위해 SAO와 CNT(Carbon nanotube)를 합성한 patch를 제작하였다. 따라서 본 연구에서는 실제 조건을 모방하기 위해 무작위의 위치, 각도, 크기의 결함을 의도적으로 도입한 A7050-T7451로 제작된 시편을 사용하였다. 시편에 PL-CNT patch를 부착한 후 암실에서 인장시험 중에 변형하고 있는 patch의 이미지를 촬영하고, 각 이미지를 DIC 분석하여 실제 실험과 같이 구현한 FEM과 비교, 분석하였다.

[P19-6]

단결정 초내열합금의 결정 방위에 따른 크리프 이방성 분석 : 장익제 (국립창원대학교), 구지호 (두산에너빌리티(주)), 김은경, 함성효 (STX 엔진(주)), 이재현* (국립창원대학교)

Keywords: Superalloy, Creep anisotropy, Single crystal, RENE N5

단결정 니켈기 초내열합금은 고온에서도 부품이 기계적 특성을 유지할 수 있도록 설계된 합금으로 높은 녹는점, 크리프 저항성, 고온 산화성을 지니며 항공 및 발전용 터빈 블레이드의 소재로서 자주 이용된다. 이때 터빈 블레이드는 고온/고응력이라는 환경에서 장시간 사용되어야 하므로 기계적 특성은 주로 크리프 특성으로 평가되고, 응력 방향에 따라 크리프 수명의 차이가 크게 발생한다. 본 연구에서는 3.0wt% Re가 함유된 2세대 초내열합금인 RENE N5 단결정 초내열합금에서 <001> 방위 이외에도 <011> 방위에서의 크리프 거동을 관찰하였다. 관찰 결과 중온(760 ºC)의 경우 <001> 방위에선 1~3차 크리프 단계가 모두 확인되었으나, <011> 방위에서 1차 크리프 도중 파단이 발생하는 거동을 확인할 수 있었다. 이를 통해 중온(760 ºC)에선 <001>보다 <011> 방위에서 크리프 수명이 현저히 감소됨을 확인할 수 있었다. 고온(980 ºC)에서는 <001> 방위와 <011> 방위 모두 3차 위주 크리프 커브를 보이며, 이러한 크리프 거동을 통해 중온에 비해 고온(980 ºC)에서는 크리프 거동의 방향에 대한 의존성이 떨어짐을 확인할 수 있었다.

[P19-7]

분말 야금 기반 Ni기 초내열합금의 쇼트 피닝 공정 후 열처리에 따른 미세 조직 및 기계적 특성 분석 : 심현보*, 홍범락, 조윤지 (한국재료연구원, 부산대학교), 최현성, 박현일, 석무영, 권용남, 이동준* (한국재료연구원)

Keywords: 쇼트 피닝, 압축잔류응력, 고온크리프, 고주기피로, 니켈 초내열합금

니켈 기반 초내열합금(Ni-based superalloy)은 고온에서 뛰어난 강도, 크리프 저항성, 피로 저항성, 내산화성 및 내식성을 자랑하며, 복잡한 형상을 가공할 수 있는 우수한 가공성을 지니고 있어 항공기 엔진 및 터빈 블레이드와 같은 고성능 부품에 주로 사용된다.

차세대 항공기 가스 터빈 엔진은 효율성 향상과 배기가스 배출 감소를 위해 더 높은 온도에서 작동해야 하며, 이를 위해 재료의 특성 개선이 필수적이다. 표면강소성공정 중 쇼트 피닝(Shot Peening), SMAT(surface mechanical attrition treatment), UNSM (Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification) 등의 공정은 초미세 결정립 및 나노결정립 미세구조를 형성하여 강도를 향상시키고, 표면에 압축 잔류응력을 인가하여 재료의 피로특성을 향상시키는 공정이다. 이 중 쇼트 피닝은 경제성과 편리성을 동시에 충족시키며, 금속 표면에 고속으로 작은 구체를 충돌시켜 수많은 딤플을 형성하고, 이를 통해 표면층에 압축 잔류응력을 유도하여 기계적 특성을 향상시키는 데 널리 사용되고 있다. 하지만, 표면에 유도된 소성변형은 고온에 어닐링 열처리를 하면 변형이력이 없어지게 되므로, 기어와 같이 상온에서 구동되는 부품에 적용되는 것이 일반적이다. 따라서, 표면강소성공정을 초내열 합금에 적용하기 위해서는 소재의 사용온도에서의 미세조직, 기계적특성 및 잔류응력의 변화에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 쇼트 피닝 시간을 달리하여 피닝 시간이 재료의 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. 본 연구에서는 분말 야금으로 제조된 Ni 초내열합금으로 시편을 제작한 후 각각 30초, 1분, 3분, 5분, 10분, 30분, 60분 동안 쇼트 피닝 공정을 적용하였다. 이후 피닝된 시편에 대해 고주기 피로(HCF) 시험과 고온크리프 시험(응력-파단 시험)을 진행한 결과, 고온크리프 특성이 향상되는 것을 확인하였다. 이에 대한 원인을 분석하기 위해 SEM과 EBSD를 이용하여 미세구조를 관찰하였고, XRD 잔류응력 측정을 통해 잔류응력을 평가하였다. 그 결과, 일반적으로 크리프 특성을 저하시키는 것으로 알려진 결정립의 미세화에도 불구하고, 압축 잔류응력이 고온에서 여전히 유지하고 있어, 이러한 잔류응력의 영향으로 크리프 성능이 향상되었음을 확인할 수 있었다. 반면, 고주기 피로 시험에서는 피로 성능의 향상이 관찰되지 않았다. 피로 파단면 분석 결과, 소재 내부에 결함이 존재했으며, 균열이 동일한 지점에서 시작됨으로써 피로 성능이 향상되지 않았음을 확인할 수 있었다.

[P19-8]

Premium Quality Inconel 718 **합금 빌렛의 결정립 미세화 공정개발** : 김종식, 주경준, 권용혁, 금보경, 이기영* (케이피씨엠)

Keywords: 인코넬718, 항공엔진, 회전체 디스크, 결정립 미세화

터보팬 항공엔진 회전체 디스크 단조품은 높은 기계적 물성과 미세조직적 균일성이 요구되어 3차 용해(VIM-ESR-VAR)를 통해 소재 결함을 최소화한 프리미엄급 소재가 사용된다. 또한 회전체 디스크에 요구되는 파괴특성 등을 보장하기 위해 미량성분 제어와 함께 결정립 미세화가 필요하다. 본 연구에서는 수요기업 개발요구도에 따라 제조된 국산 프리미엄급 인코넬 718 잉곳 소재를 이용하여 석출상 제어를 통해 빌렛의 결정립 미세화(ASTM No.8 이상) 공정을 개발하였다.

[P19-9] Canceled

항공용 Ti-6242 Ingot/Billet **국산화에 대한 연구** : 조경준*, 김종식, 권용혁, 금보경, 손희영, 이기영* (케이피씨엠)

Keywords: Ti-6242, 타이타늄, 항공재료, 고온강도, 크립저항성

정부는 항공엔진 국산화의 선결조건으로 관련 소재부품 개발을 추진하고 있다. 타이타늄 및 타이타늄 합금은 높은 비강도와 우수한 내식성 등 다양한 열처리 조건을 적용하여 항공용 엔진 소재로 많이 사용되어 지고 있다. 특히 Ti-6242 합금은 높은 고온강도와 우수한 크립 저항성으로 인해 항공엔진 핵심소재로 사용되어 지고 있다. 본 과제에서는 항공용 Ti-6242 소재 국산화를 위해 Ingot/Billet 제조기술 선행연구를 수행하였다.

[P19-10]

일방향 초내열합금에서 Zr첨가가 응고거동과 주조성에 미치는 영향 : 진혜숭, 조대현, 주윤곤 (국립창원대학교), 서성문 (한국재료연구원), 구지호 (두산에너빌리티(주)), 이재현* (국립창원대학교)

Keywords: Superalloy, IN792, Directional solidification, Castability, Zirconiu

IN792 합금은 석출경화형 Ni기 초합금으로, 600 ºC에서 900 ºC 사이의 중온에서 우수한 강도와 크리프 특성을 가지며, 내산화성 및 내부식성이 뛰어나다. IN792 합금은 입계강화를 위해 C, B, Zr을 첨가하였으며, 주요 강화기구는 γ' 석출에 의한 강화이다. 그러나 높은 γ'함량으로 인하여 주조성이 좋지 않아 고온균열에 상당히 민감한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 입계강화원소가 응고거동과 주조성에 미치는 영향을 연구하였다. Crack이 발생한 부분과 발생하지 않은 eutectic 성분을 관찰하여, 크랙 발생 eutectic에서의 Zr 함량을 비교 분석하였다. 분석 결과, 크랙이 발생한 eutectic에서 Zr 함량이 높게 관찰되었으며, 이는 응고 중에 Zr이 액상으로 편석 되었음을 나타낸다. 이를 통해 Zr이 액상으로 편석될 경우 응고거동에 미치는 영향을 분석하였다. Zr의 편석은 액상에 고농도로 존재하게 되어 응고과정에서 국부적인 조성을 변화시키며, 이러한 조성 변화는 균열 발생을 촉진하는 응고거동의 불안정을 야기할 수 있음을 확인하였다.

[P19-11] Canceled

항공 가스터빈용 Waspaloy **소재 및 형단조품 개발** : 권용혁, 김종식, 주경준, 금보경, 손희영, 이기영* (케이피씨엠)

Keywords: AMS5704, Waspaloy, Ni Base

터보샤프트엔진 가스발생기 터빈에 장착될 초내열 합금소재 및 형단조품을 개발하고자 한다. 초내열 합금소재 개발을 위해서는 미량원소 제어 공정 설계, 편석 및 비금속 개재물 최소화 공정 설계 및 Grain Size 성장방지 기술 개발과 형단조품 개발을 위해서는 최적 열간 공정 해석 및 단조 프로세스 정립이 필요하다. 현재 항공용 첨단엔진에 적용되는 소재부품의 국산화를 위한 연구개발이 국내 소재 업체 및 정출연/대학을 중심으로 활발히 이루어지고 있다. 당사에서는 터보샤프트엔진 가스발생기 터빈 등에 사용되는 AMS5704 규격을 만족하는 소재 및 형단조품의 국산화를 위해 개발 중에 있다. 이를 통해 향후 첨단항공엔진 국산화 소재부품 적용을 기대한다.

P20 : 반도체
Room 2층 로비, 10월 29일

[P20-1]
Electrochemical Template-free Growth of Vertical Single-crystalline Cu Nano-rods for BEOL Interconnect : Jae Yong Song* and Jae Wook Lee (Pohang University of Science and Technology)
Keywords: electrodeposition, Cu single crystal, nanoscaling effect, semiconductor, interconnection

Metal interconnects are essential for the electrical interconnect of various electronic devices, with copper having replaced aluminum since the 1990s as the preferred material for IC chip interconnects. As copper offers advantages such as high-speed signal processing and low heat loss due to its low resistivity (1.7 μΩ·cm), it has become the core interconnect metal. Recently, the Cu interconnect pitch has been scaled down to accommodate the ultrafine pitches (40 nm or less) of IC devices, requiring dimensions of about 40 nm or less. However, copper's low resistivity is not maintained at such ultrafine pitches because the mean free path (MFP) of electrons in copper is approximately 40 nm. As the interconnect dimension decreases to the MFP or less, electron scattering at the surface and grain boundaries significantly increases, causing the resistivity to increase by about tenfold, and then the electrical conductivity decreases rapidly with further scaling, resulting in higher resistance in the interconnect line and severe RC delay. Previously, it was reported a facile one-step electrochemical process, termed filamentary one-dimensional nano-crystalline growth in an ultra-dilute electrolyte. This process facilitates the vertical growth of various metals such as AuCu, Au, and Ag nanowires[1] on a substrate without requiring templates or surfactants. In this study, we investigate the template-free growth mechanism of single crystalline Cu nano-rods and control copper nanowire (NW) size by adjusting deposition parameters in electrochemical synthesis. Additionally, the growth of single crystalline Cu nanorods is applied to the nanopattern on substrates to evaluate the suitability of copper nanowires as a via interconnect. The present work is expected to open up the possibility of single crystal metal interconnect for future BEOL process. Acknowledgment : This work was supported by a Basic Science Research Program (RS-2023-00262873) funded By the Ministry of Science and ICT and National Research Foundation of Korea (NRF) Reference : [1] Park, Sun Hwa, et al. "Template-free and filamentary growth of silver nanowires: application to anisotropic conductive transparent flexible electrodes." Nanoscale 5.5 (2013): 1864-1869.

[P20-2]
Low Temperature Solder ball solution for Memory package products : Study by Bi Composition in Sn-Ag-Cu solder based : Dohyun Kim* (Sungkyunkwan University, Samsung Electronics) and Hoojeong Lee (Sungkyunkwan University)
Keywords: Low temperature solder, Sn-Ag-Cu-Bi, Reflow temperature, Package, SMT

Driven by the growth of smartphones, tablets, and other mobile devices, as well as the proliferation of IoT sensors and connected devices, there is a growing demand for memory packages that are smaller, thinner, and have higher performance. The reduction of package size might face new challenges in the package manufacturing process, especially the solder ball attachment process that includes reflow. The dynamic package warpage occurs during the reflow process of the package assembly. This warpage is more likely to be affected thinner packages and higher process temperatures, which could lead to higher failure rates in the SMT process. Therefore, there are many ongoing studies to reduce the reflow temperature using low-temperature solder balls for memory package products. In this paper, it was investigated the addition of Bi to Sn-Ag-Cu alloy solder ball, which is the one of representative solders for memory packages, to lower the melting point. The solder properties of the SAC-Bi solders of nine different compositions were examined. The compositions were chosen with Bi contents ranging from 0wt% to 20wt% in the SAC solder system, and the Ag and Cu contents were fixed at 3.0wt% and 0.2wt%, respectively. There were obtained the vertical section of the phase diagram and thermodynamic information in the Bi content range by CALPHAD. The DSC data of each solder powder showed an endothermic peak that could be used to predict the melting point, and this was compared with the simulated phase diagram. The solder balling test was evaluated using each solder ball at various reflow temperature ranges. All samples were fully melted at 240°C, some samples were melted at 220°C and had a complete single ball, and no samples were totally melted at 200°C. The results of the shear test showed that the shear strength of the solder balls ranged from 35 MPa to 78 MPa on average. It was also experimented the aging test with the samples that were reflowed at 220°C to find optimized composition at the reflow temperature, and the aging temperature was at 125°C, aging time were 0, 168, 300 and 500 hours.

[P20-3]
Substrate interaction through 2D TMDCs materials in WS_2/MoS_2 vertical heteroepitaxy : Lia Saptini Handriani, Minjoo Kim, Yelim Kim, and Won Il Park* (Hanyang University)
Keywords: MoS_2, WS_2, vertical heteroepitaxy, MOCVD

Two-dimensional transition-metal dichalcogenide (TMDC) heterostructures have garnered significant attention due to their tunable optical and electronic properties, such as interlayer excitons, inter-band tunnelling, and enhanced light absorption. TMDC

heterostructures can be fabricated either through mechanically exfoliating different materials or using chemical vapour deposition (CVD) techniques. However, exfoliated heterostructures often face limitations in scalability and quality issues, making them less suitable for large-area applications. In addition, polycrystalline underlayer grown using CVD can influence the crystalline structure of the overgrown layers, presenting obstacles to attaining high-quality heterostructures. this study, we employ metal-organic chemical vapour deposition (MOCVD) to grow WS_2 on exfoliated MoS_2 flakes, aiming to unravel how substrate interacts with adatoms influenced by the thickness of the MoS_2 layer and substrate properties. Raman and PL mapping confirmed that vertical heterostructures formed on MoS_2 layers with one to three layers, but no growth occurred on thicker layers. Furthermore, high-resolution TEM and SAED diffraction patterns verified the vertical heteroepitaxy and single-crystal structure on thin MoS_2 layers, in contrast to the polycrystalline WS_2 structure observed on bare SiO_2/Si substrates.

[P20-4]

Laser Assisted Bonding 기술을 적용한 DEG/Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더 접합부 취성파괴 특성 연구 : 한성희 (한국생산기술연구원(KITECH), 국립안동대학교), 한상은 (한국생산기술연구원(KITECH), 성균관대학교), 최동규 (한국생산기술연구원(KITECH), 경기대학교), 박영배 (국립안동대학교), 유세훈* (한국생산기술연구원(KITECH))

Keywords: Laser Assisted Bonding, 취성파괴, DEG 표면처리, 솔더 접합부, 금속간화합물

솔더 접합부 인터커넥션 방법으로 많이 사용되는 Mass Reflow(MR) 방식은 기판 전체가 고온에 노출되고, 공정 시간이 길기 때문에 패키지 기판의 휨변형(warpage)을 유발할 수 있다. Warpage는 미세피치 접합부에서 접합부 결함으로 인한 수율 및 신뢰성 저하를 유발할 수 있다. Warpage 문제를 해결하기 위해 기판의 국부적인 영역에 짧은 시간에 열을 가하게 되는 레이저 어시스트 본딩(Laser Assisted Bonding, LAB) 방식이 도입되고 있다. LAB 방식은 공정 시간이 5초 이내로 짧아 열에 노출되는 시간이 짧다. 따라서 장시간 고온 노출에 의해 발생하는 warpage를 줄일 수 있다. 이러한 LAB 공정은 승온-냉각시간이 빠르기 때문에 열이력이 MR과는 차이가 많이 나며, 이에 따른 솔더 내부나 접합부의 미세조직이 기존 리플로우와 다를 수 있다. 따라서 이 연구에서는 솔더 접합부 인터커넥션 방법으로 LAB 방식을 적용하여 Ni-less 표면처리인 DEG와 Sn-3.0Ag-0.5Cu 솔더 접합부 미세조직을 평가하였고, 미세조직에 영향을 받게 되는 취성 파괴 특성에 관한 연구를 진행하였다. LAB 방식을 적용하였을 때, 접합부의 금속간화합물 층의 두께는 MR 방식에 비하여 2~4배 가량 더 얇게 형성되며, 취성파괴율이 낮은 것을 확인하였다. LAB 방식에서 레이저의 파워를 점차 증가시켜 접합을 진행하였을 때, 금속간화합물 층의 두께가 증가하였으며 이에 따라서 취성파괴율 또한 증가하는 경향을 관찰하였다.

[P20-5]

Exploring the effects of inorganic ligand on performance of InP-based core/shell quantum dots phototransistor : Seungwoo Lee, Seongbeom Yeon, Jaehwan Lee, and Himchan Cho* (KAIST)

Keywords: InP Quantum dots, Inorganic ligand, Ligand exchange, Phototransistor

Colloidal quantum dots (QDs), especially indium phosphide (InP) QDs, show great potential for optoelectronic devices due to their size controllable bandgaps and high color purity. These QDs are typically capped with long organic ligands like oleic acid (OA) to maintain uniform dispersion in solvents. However, these ligands act as insulators, leading to poor charge transfer between the QDs and semiconductor layers, which limits device performance. To improve the performance of QD-based devices, ligand exchange processes of OA-capped QDs have been proposed. In these processes, long-chain insulating ligands are usually replaced with shorter inorganic ligands such as metal chalcogenide complex (MCC) ligands. However, quantum dots capped with inorganic ligands face challenges, including high surface trap densities that can impede charge transport, as well as significantly reduced dispersion stability, complicating their industrial use. Here, we fabricate high charge transport, high dispersion stability MCC-capped InP QDs - oxide semiconductor based hybrid phototransistor. This is achieved by fine-tuning the solvent characteristics in which the MCC-capped QDs are dispersed, as well as optimizing the concentration, ligand type, annealing temperature and substitution process.

[P20-6]

Heat Transfer Modeling for 2.5D Chiplet Architectures: A Numerical Simulation Approach : Minjun Chun, Sam Yaw Anaman (Hanbat National University), Jung-Won Lee, Lewis Kang (nepes Co), Jung Ho Kim (Asicland Co), Inhak Han (Baum Design Systems Co), Jae Yong Song (Pohang University of Science and Technology), and Hoon-Hwe Cho* (Hanbat National University)

Keywords: Chiplets, Heat Transfer, Heat source, Simulation

The rapid progress in chiplet-based AI semiconductors demands effective strategies to mitigate the adverse effects of heat generation on system performance. This present study is dedicated to creating a comprehensive modeling and simulation approach aimed at optimizing heat dissipation in chiplet heterogeneous integration. By delving into the complexities of 2.5D chiplet architectures, our objective is to enhance the understanding of heat conduction and its impact on overall system performance. Utilizing COMSOL software, our method involves detailed thermal modeling techniques and precise power consumption measurements to ensure a thorough analysis of heat dissipation efficiency. Through a systematic process encompassing domain sizing, boundary conditions, thermal properties, and iterative solving, our investigation offers valuable insights into architectural design, simulation environments, and optimization strategies to enhance heat dissipation efficiency. Additionally, the computational speed associated with the mesh

system was evaluated, and the effect of heat source placement on heat distribution was determined. The research's findings are expected to significantly contribute to the development of advanced packaging technologies for chiplet-based semiconductors, addressing critical challenges associated with heat dissipation in high-performance computing applications.

[P20-7]

Laser-Assisted Bonding 공정에 따른 Ni-less 표면처리와 Cu/Sn-Ag 필러 범프 간의 접합부 특성 평가 : 한상은 (한국생산기술연구원, 성균관대학교), 한성희 (한국생산기술연구원, 국립안동대학교), 이후정 (성균관대학교), 유세훈* (한국생산기술연구원)

Keywords: laser-assisted bonding, Ni-less surface finish, pillar bump, fine pitch interconnects, interfacial intermetallic compound

최근 고성능 반도체의 수요가 증가함에 따라 저전력, 고성능, 고밀도의 첨단 패키징 기술이 요구되고 있다. 이에 따라 I/O(Input/Output) 핀의 수가 증가하고 미세 피치 인터커넥션 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근 미세 피치 인터커넥션 접합 기술로 Laser-assisted Bonding(LAB) 기술이 주목받고 있다. LAB 공정은 영역 레이저 빔을 사용하여 특정 칩을 선택적으로 정밀하게 조사한 것이 가능하여 뒤틀림이 적고 생산성이 높으며 미세 피치 애플리케이션을 구현할 수 있다. 또한, LAB 공정은 승온 및 냉각이 매우 빠르기 때문에 기존의 TCB 및 리플로우 공정과 비교하여 다른 접합 특성을 보일 것으로 예상된다. 본 연구에서는 LAB 공정을 사용하여 40 μm 피치 Cu/SnAg 필러 범프를 Ni-less 표면 처리가 된 Cu pad과 접합하였다. LAB 공정에서 레이저 파워가 높아질수록 접합부 금속 간 화합물(IMC)의 두께가 증가하는 것을 관찰하였으며, 전단 시험 후 파괴 모드는 레이저 파워와 시간이 증가함에 따라 변화함을 알 수 있었다. 이와 함께, LAB 접합조건에 따른 접합부의 접촉 저항 특성도 함께 논의하였다.

P21 : 융합재료과학
Room 2층 로비, 10월 29일

[P21-1]
Material Selection Method based on Engineering and Product Personality: A Case Study of Trekking Pole : Jong Won Lim and Jaeho Choi* (Gangneung-Wonju National University)
Keywords: design requirements, material perception, material selection, product personality, trekking pole

The purpose of this study is to select the most suitable material for trekking pole by applying a material selection method combining tangible and intangible properties of materials. This method consists of describing design requirements according to function, constraints, personality, and objectives and selecting materials appropriate for each item. A trekking pole is a wand-type tool used for hiking. There are three main reasons to use trekking poles: safety, longevity, and endurance. Trekking poles make trekking over many types of uneven terrain safer. Longevity comes from reduced wear and tear on joints such as the knees during long descents. Also, by doing some work off our legs, it allows us to go further and recover faster, which helps our endurance especially on long day trekking. When backpacking, factors such as endurance, safety, and longevity become more important. The design requirements for trekking pole are as follows. The function of the trekking pole is distributing body weight and absorbing shocks. In terms of the constraints of the trekking pole, materials with high bending strength are required to prevent the poles from buckling under the weight of a person. And high impact strength materials are required to prevent the poles from being damaged when dropped on hard objects such as rocks. Additionally, poles are used in a wide variety of environments, so materials with good corrosion resistance are required. And the personality of poles is given by selecting material class using material perception data that analyzes the consumers' feelings about the material through unsupervised learning of data mining. Considering the design objectives of poles, lightweight materials are needed to allow the users to handle the poles easily for long periods of time, and high hardness materials are required to avoid scratches when poles hit other objects. Also, if possible, inexpensive materials are needed. Next is the final step in material selection. As supplementary information on the sustainability aspect of trekking pole, materials with low carbon dioxide emissions and energy requirements in the manufacturing processes are considered. In conclusion, the material selection method used in this study is expected to be a method to select the most suitable materials for the trekking poles desired by consumers and intended by designers.

[P21-2]
Development of a High Q-Factor Photonic Crystal Resonator for Enhanced Light-Protein Interaction Analysis : Gyuin Baek, Samuel Kim, and Myungjae Lee* (Seoul National University)
Keywords: Protein_structure_analysis, Photonic_crystal, Biosensor

As advancements in modern medical technology continue, the need for comprehensive protein structure analysis has become increasingly critical. Given the complex arrangements and conformations of proteins, their functions can vary substantially depending on their structural configurations. Consequently, it is essential to achieve a thorough understanding of protein structures before their application in any context [1]. This study introduces a novel platform for protein structure analysis by measuring light-protein interactions. Given that the interaction between light and proteins is amplified when the light remains intense over an extended period and within a confined space, it is crucial to have a high-quality factor (Q-factor). A high Q-factor, which indicates a resonator's efficiency in confining light, is essential for accurately measuring these light-protein interactions. In this study, we designed and fabricated a high Q-factor resonator based on photonic crystals. Resonators utilizing photonic crystals offer significant advantages over alternative resonator types, including superior frequency selectivity, design flexibility, and, particularly, enhanced photonic confinement capabilities. We designed photonic crystal as a Si_3N_4 slab with periodically etched holes, with the varied hole designated for the placement of gold nanoparticles at the location where light intensity is maximized. Most resonators fabricated with Si_3N_4 successfully measured interactions between light and multiple proteins: however, interaction with single proteins has been challenging to measure primarily due to Si_3N_4's low refractive index. This low refractive index leads to weak light confinement, subsequently reducing the Q-factor. We identified the optimal structural design that achieves a high Q-factor exceeding 1000, through finite-difference time-domain (FDTD) simulations, in the visible wavelength range. We fabricated the high Q-factor device, using a CMOS-compatible manufacturing process. A Si_3N_4 slab was deposited on a glass wafer via plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD) and patterned using e-beam lithography. Inductively coupled plasma (ICP) etching was then employed to etch holes with a radius of 70 nm periodically on the Si3N4 slab. After the transfer of gold nanoparticles, we measured the field profile using a near-field scanning optical microscope (NSOM) to verify that light was indeed concentrated at the gold nanoparticle, as predicted by simulation. In previous studies, photonic sensors for proteins have successfully detected the presence of proteins [2]. The development of this platform is anticipated to advance the capabilities of such sensors, enabling not only the detection of proteins but also the detailed analysis of their structural properties. In future research, a gold nanoparticle will be integrated in the resonator. We aim to measure the interaction between light and a single

protein by using this high Q-factor device. By integration of the gold nanoparticle, light will be further concentrated onto the protein. This dual focusing strategy will significantly enhance the intensity of light concentrated onto the protein.

References : [1] Kuhlman. B and Bradley. P, Nat. Rev. Mol. Cell. Biol. 20, 681–697 (2019). [2] Altug. H, Oh. S. H, Maier. S. A and Homola. J, Nat. Nanotechnol. 17, 5-16 (2022).

P22 : 가공-열처리
Room 2층 로비, 10월 29일

[P22-1]
Evaluation of microstructure and mechanical properties of hot forged high-manganese steel at cryogenic temperatures
: GangHo Lee (Korea Institute of Industrial Technology, Pukyong National University), Byoungkoo Kim (Korea Institute of Industrial Technology), Sanghoon Noh (Pukyong National University), and Byung Jun Kim* (Korea Institute of Industrial Technology)
Keywords: High-manganese steel, TWIP effect, Mechanical properties, Cryogenic temperature, Deformation mechanism

As global energy demand continues to rise, hydrogen is increasingly recognized as a clean energy source, with liquid hydrogen becoming a crucial element in the hydrogen economy due to its high energy density and suitability for low-temperature storage and transport. Materials used in liquid hydrogen's cryogenic environment must exhibit high strength and resistance to deformation. High-manganese steel, with its austenitic structure and twinning-induced plasticity (TWIP) mechanism, is considered a promising candidate for such applications. However, studies on the performance of hot-forged high-manganese steel under cryogenic conditions are still in the early stages, necessitating a deeper understanding of deformation mechanisms across varying temperatures and manufacturing processes. This paper aims to evaluate the cryogenic properties of hot forged high-manganese steel and assess its potential as a material for liquid hydrogen applications. The study involved heat treatments within the 700–1050°C range, and mechanical properties such as strength, hardness, and impact toughness were measured at both room and cryogenic temperatures. Additionally, X-ray diffraction (XRD) and electron backscatter diffraction (EBSD) analyses were performed to gain further insight into the impact of microstructural changes on the material's properties.

[P22-2]
석출강화형 초내열합금 Inconel 740H의 미세조직적 특성 기반 열처리 설계에 따른 입계 미세조직 제어 및 고온 크리프 특성 평가
: 양철혁, 김시연 (국립창원대학교), 정희원 (한국재료연구원), 홍현욱* (국립창원대학교)
Keywords: Inconel 740H superalloy, Heat treatment design, Microstructure stability, MC carbide decomposition, Creep properties

미래 발전용 시스템으로 각광받고 있는 A-USC 조건은 에너지 효율 향상과 이산화탄소 저감을 위해 주증기 온도 750 ºC, 35 MPa 압력을 요구한다. 따라서 기존 오스테나이트계 합금의 적용이 불가능한 실정이므로 내환경성과 고온 기계적 특성이 우수한 Ni기 초내열합금이 유일하게 적용되고 있다. Inconel 740H는 750 ºC급 소재로 Ni기 초내열합금 중 유일하게 ASME code 2702로 승인되어 보일러용 무계목 튜브에 적용할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Inconel 740H 초내열합금의 미세조직 안정성 및 크리프 특성 향상을 위한 열처리 설계에 대해 면밀히 분석하고자 한다. Inconel 740H 단조재는 1150 ºC/30 min/WQ 용체화처리 되었으며, 최적 열처리 설계를 위해 상용 열처리재와 제안 열처리재를 분석하였다. 상용 열처리는 1step Aging(800 ºC/16 h/AC) 조건으로, 제안 열처리1은 주 강화상 γ'의 균일한 분포 및 높은 분율을 위해 2step Aging(650 ºC/16h + 800 ºC/16h/AC) 조건으로, 제안 열처리2는 수냉으로 인한 내부 잔류 응력 해소를 위해 2step Aging(1060 ºC/2 h/AC + 800 ºC/16 h/AC) 조건으로 시행하였다. 열처리 조건별 고온 안정성 평가를 위해 750 ºC에서 0~5,000 h 열간 노출을 실시하여 미세조직 및 고온 인장 특성을 비교 분석하였다. 세가지 열처리 조건 모두 주 강화상 γ' 크기 및 고온 인장에서 유사한 특성과 열화저항성이 우수함을 확인하였다. 또한 세가지 열처리 조건들의 크리프 특성 개선여부를 확인해 보고자, 750 ºC/270 MPa 조건으로 실시하였다. 그 결과, 제안 열처리2(1,773hr) > 상용 열처리(1,546 hr) > 제안 열처리1(1,057 hr)로 제안 열처리2 조건이 가장 우수한 크리프 수명을 보였다. 세가지 열처리 조건에서 γ'의 크기가 유사했기 때문에 입계 Carbide를 중점적으로 분석하였다. Inconel 740H는 입계에 Cr-rich $M_{23}C_6$ carbide의 석출이 지배적이라고 알려져 있다. 반면 본 연구의 제안 열처리2 1060 ºC/2 hr/AC 과정에서 다른 열처리 조건 대비 Nb,Ti-rich MC carbide가 입계에 다량 석출되어 크리프 수명을 향상 시킨다고 판단하였다. 입계 탄화물 효과 정밀분석을 위한 EPMA 분석 결과, 입계 MC 탄화물 분율은 상용: 12 %, 제안 1: 10 %, 제안 2: 33 %로 크리프 수명이 가장 긴 제안 열처리2 조건이 가장 높게 나타났다. 결정구조학적 분석 결과, 입계 $M_{23}C_6$와 MC 탄화물 모두 공유하는 두 γ 기지 중 하나의 γ 기지와 특정 방향 관계를 가지는 것을 확인하였다. 또한, 750 ºC/270 MPa 크리프 시험시 특정 방향 관계가 없는 MC 탄화물 경계면에서 Cr의 함량이 밀집된 것을 확인하였으며, 이는 MC + γ →$M_{23}C_6$ + γ′ 반응에 의한 상변태 결과임을 확인하였다. 즉, MC 탄화물은 크리프 시 온도와 응력이 균열 형성이 아닌 상변태를 위한 Decomposition에 기여하므로 균열에 대한 저항성이 높은 것으로 판단된다. 따라서 MC 탄화물 석출이 가장 활성화되는 제안 열처리2 조건이 Inconel 740H에 최적 열처리 조건임을 확인하였다.

[P22-3]
Selective Laser Melting으로 제조한 AlSi10Mg 합금의 Direct HIP 공정 별 미세구조 및 특성 변화 연구
: 강철*, 김건희, 김원래, 이택우, 강현수 (한국생산기술연구원), 김정래 (한국생산기술연구원, 한양대학교), 최선진 (한양대학교), 유병주, 황우진 (원에이엠), 김형균* (한국생산기술연구원)
Keywords: SLM공정, Hot Isostatic Pressing, Si 석출, 결함 제거, 미세구조

Additive manufacturing(AM) 공정 중 Selective Laser Melting(SLM) 방식은 기존에 주조나 절삭 공정 등으로 제작하기 어려운 복잡한 형상을 구현할 수 있다는 장점으로 인해 항공우주, 의료, 방산 및 자동차 등 다양한 산업에서 주목받고 있다. 현재 연

구되고 있는 재료 중 AlSi10Mg 합금은 높은 비강도와 우수한 전도성으로 인해 특히 항공 우주 분야에서 널리 활용되고 있다. 그러나 SLM공정으로 제조한 AlSi10Mg 합금은 급냉으로 인해 잔류응력이 발생하며, Si의 과고용으로 인해 특성 저하 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 후처리 공정이 필수적이다. 기존의 Stress Relief(SR) 열처리 공정은 잔류응력을 해소하고 조건에 따라 Si 석출을 제어할 수 있으나, SLM공정에서 발생한 결함을 완전히 제거하기에는 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 고온의 환경에서 등방성 압력을 가하여 재료의 결함을 제거하고 밀도를 높이며, 동시에 잔류응력을 해소하고 Si 석출을 제어할 수 있는 Direct Hot Isostatic Pressing(HIP)공정이 주목받고 있다. 그러나 현재 AlSi10Mg 합금의 Direct HIP공정 효과에 대한 연구는 충분히 보고되지 않은 상태이다. 본 연구에서는 SLM 공정으로 제작된 AlSi10Mg 합금을 Direct HIP공정 온도 조건별로 비교 분석하였다. 각 온도 조건별 기계적 물성과 열적 및 전기적 특성을 평가하였고, Si 석출과 미세구조의 변화를 비교 해석하였다.

[P22-4]

퀜칭 수조의 냉각능 향상을 위한 유동특성 예측방안 연구 : 박성익, 이창수, 박종화, 조상현, 김윤재, 황수빈, 김대성* ((주)대창솔루션)

Keywords: Quenching (퀜칭), Layer of Vapor (증기막), Flow Characteristics (유동특성), Computer Fluid Dynamic(전산유체), Cooling Capacity (냉각능)

퀜칭(quenching) 열처리는 고온의 금속재료를 냉매를 사용하여 빠르게 냉각시켜 요구되는 기계적 특성을 확보하는 공정이다. 사용되는 냉매로 물(water)를 많이 사용하지만 기화온도가 낮아 고온의 금속재료와 접촉할 경우 라이덴프로스트 효과(leidenfrost effect)로 인해 증기막(layer of vapor)이 생성되어 냉각능이 감소된다. 이러한 이유로 냉각능을 높이기 위해 외력(펌프, 프로펠러 등)으로 유동을 만들어 증기막을 제거한다. 특히 대형의 잉곳(ingot), 주강(cast steel)은 유동이 부족할 경우 생성된 증기막이 제거되지 못하면 불균일한 냉각(un-uniform cooling)이 이루어진다. 이는 금속재료의 내부조직 차이로 인한 열 변형(heat distortion), 균열(crack) 등이 발생될 수 있으므로 균일한 냉각(uniform cooling)이 이루어 질 수 있는 유동특성을 확보하는 것이 매우 중요하다. 최근 퀜칭 열처리로 발생될 수 있는 열 변형, 균열 등을 예측하는 연구는 많이 진행되고 있으나, 증기막의 효율적 제거를 위한 유동특성에 관한 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 당사에서 보유하고 있는 퀜칭 설비의 최적 유동특성을 확보하기 위해 수조의 위치별 유속을 측정하고, 측정된 결과 값과 가장 유사한 CFD 해석조건을 도출하였다. 도출된 해석조건을 기준으로 CFD 해석을 통해 최적의 유동특성을 확보하고, S45C 환봉 절단시험을 통해 유동특성을 검증하였다.

[P22-5]

열에너지 수치를 이용한 플라즈마 질화층 예측 제어 장치 현장 적용 기술 : 전동술*, 안경준 (한국생산기술연구원)

Keywords: Master Nitriding Curve, 플라즈마 질화, 열에너지수치 제어, 질화층 예측 제어

열처리 시 제품에 열에너지를 가할 경우 이에 비례하는 열처리 품질을 얻을 수 있다는 열에너지수치를 이용한 열처리 품질 예측 제어 기술을 SCM415 강종의 플라즈마 질화 공정에 적용하여 열에너지수치에 따른 플라즈마 질화층 두께 예측 모델을 개발하였다. 플라즈마 질화층 두께 예측 모델 개발을 위해서 질화 온도와 공정 시간을 변화시켜 플라즈마 질화 공정 실험을 진행하였으며, 제품이 받은 열에너지수치를 측정하기 위해서 제품의 표면온도를 실시간으로 측정하였다. 실시간으로 측정된 표면온도를 이용하여 제품에 가해진 누적된 열에너지수치를 연산한 후 질화 온도, 공정 시간에 따른 누적 열에너지수치와 질화층 두께를 분석하여 질화층 두께가 누적 열에너지수치에 따라 단일 곡선의 유일함수로 나타나는 Master Nitriding Curve(MNC)를 도출하였다. 또한 MNC 질화층 두께 예측 함수를 적용한 제어 프로그램과 구동 장치를 제작한 후 플라즈마 질화 생산 장비에 ADD-ON 제어 장치로 탑재 및 연동화하여 실시간으로 제품에 가해지는 누적열에너지 수치를 측정하고 MNC 예측 함수로 실시간으로 연산된 질화층 두께를 예측하여 목표값으로 설정된 질화층 두께에 도달 시 공정을 종료 제어하는 방식으로 생산 현장 장비에 적용하였다. 생산 현장 장비에 적용 후 MNC 예측 질화층 두께와 생산 제품의 실측 질화층 두께를 비교한 결과 ±6.9% 이내의 예측 제어 정확도를 확인하였다

[P22-6]

Correlation between stabilization heat treatment and microstructure evolution in hot-forged Ti-6Al-4V for turbine blades : Jae-Yeon Han, Yoon-Hwan Cho (Changwon Nation University), Chiwon Kim (Korea Institute of Material Science), Jiho Gu (Doosan Enerbility), and Hyun-Uk Hong* (Changwon Nation University)

Keywords: Ti-6Al-4V, Primary α, α+β lamellar, Stabilization treatment, Tensile property

Ti-6Al-4V alloy is widely used in turbine blades due to its high specific strength, toughness, and corrosion resistance. The alloy can form Equiaxed α, α+β lamellar, and Bi-modal structures depending on post-heat treatment, with the Bi-modal structure providing superior strength and ductility. Aerospace Material Specification (AMS) guidelines recommend achieving a Bi-modal structure in Ti-6Al-4V forgings through solution treatment followed by aging. While stabilization heat treatment between these processes is considered essential for large components, its effects on Ti-6Al-4V are not well studied. This research examines the impact of stabilization heat treatment on the microstructure and mechanical properties of Ti-6Al-4V forgings. Samples with and without stabilization heat treatment were aged, and their microstructures compared. Stabilization heat treatment led to increased lamellar width and more pronounced segmentation within the lamellar colonies (α lath=576 nm, β film=95.2 nm). In contrast, samples without stabilization treatment exhibited narrower lamellar structures and less segmentation (α lath=493 nm, β film=64.1 nm). These results suggest that stabilization heat treatment in Ti-6Al-4V wrought products influences the increase in lamellar width and the development of segmentation during the aging process. Despite these microstructural differences, tensile tests at room temperature and 260°C showed no significant impact of

stabilization treatment on mechanical properties. The study concludes that while stabilization heat treatment influences the microstructure, it has minimal effect on the tensile properties of Ti-6Al-4V forgings.

[P22-7]

냉간가공된 AISI 316L의 저온 열화학 표면경화공정 적용을 위한 변형조직 및 결함 제어 연구 : 김현진, 김민한 (한국생산기술연구원 동남본부), 차성철, 박헌준 (현대자동차그룹-현대케피코), 김준호* (한국생산기술연구원 동남본부)

Keywords: 저온침탄, 스테인리스, 표면경화, 열화학표면처리, 변형조직

현 산업에서 널리 활용되는 AISI 316L은 낮은 내구성과 항복강도로 인해 산업에서 적용이 제한되고 있으며, 이를 해결하기 위한 방법 중 하나로 인발, 압연 등의 냉간가공이 적용되고 있다. 하지만 높은 기계적 물성을 위해 지나친 소성변형을 가하게 되면 AISI 316L에서도 재료 내 결함과 마르텐사이트 조직 형성을 피할 순 없다. 이러한 결함들은 확산방해 인자로 작용하기 때문에, 침입형 확산을 주로 이용하는 저온 열화학 표면경화공정에서는 중요한 인자로 고려되고 있다. 저온침탄, 저온질화로 불리우는 이들 공정은 침입형 원소가 격자 사이에 과포화 고용되며 발생하는 압축응력으로 인해 격자 팽창을 유도하고 경화층이 형성된다. 그러므로 소성변형 중 발생된 결함이나 마르텐사이트로 인해 격자팽창이 제한되거나 응력이 분산되면 경화층 형성에 어려움이 발생하게 된다. 따라서 냉간가공된 AISI 316L에 저온 열화학 표면경화공정을 효율적으로 적용하기 위해서는, 재료에 존재하는 변형조직 및 결함을 제어하는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 냉간가공된 오스테나이트계 스테인리스강에 냉간가공 중 발생된 변형조직을 회복시키기 위해 973 K에서 역변태 열처리를 실시하였고, 재결정과 결정립성장을 유도하기 위해 1373 K에서 용체화처리를 실시하였다. 또한 이들 시료에 저온진공침탄을 각각 15 시간, 30 시간 실시해 표면경화층의 거동을 확인하였다. 광학현미경(Optical microscopy, OM)을 활용해 미세조직의 변화와 경화층을 관찰하고 X선 회절 시험(X-ray diffraction, XRD)을 통해 우선성장방위 및 회절강도의 변화를 확인하였다. 전자 후방 산란 회절(Electron Backscatter Diffraction, EBSD)를 통해 역 극점도 지도(Inverse Pole Figure map, IPF map)로 구성된 상의 변화와 방위차(Local misorientation)를 측정하였다. 본 연구의 결과에서 열처리 시간과 온도가 증가함에 따라 α`마르텐사이트 상이 점진적으로 감소하거나 제거되었고 XRD를 통해 결정성의 증가 및 주성장방위의 변화가 확인되었다. 각각의 열처리 시간이 증가함에 따라 동일한 저온침탄 공정동안 경화층의 두께와 경도가 증가하였으나 역변태 열처리를 통해서는 침입형확산을 방해하는 인자를 충분히 제거하지 못함을 확인하였다. 또한 소성변형에 의해 형성된 변형조직은 용체화처리 후에도 변형조직 인근에서 발생되는 핵생성으로 인해 방위차가 유지되었으며 저온침탄 효율을 높일 수 없었다. 이를 해소하기 위해서는 긴 시간의 용체화처리를 수행하거나 격자팽창을 통한 잔류응력을 해소할 만큼의 침탄시간이 필요함을 확인하였다.

P23 : 가공-주조및용고
Room 2층 로비, 10월 29일

[P23-1]

마르텐사이트계 sulfur 쾌삭 스테인리스강 billet 내 유화물 형성거동 해석 : 윤호균*, 조선호 (창원대학교), 임종현, 문희종, 김천야, 유종영 ((주)세아창원특수강), 김선구*, 이재현* (창원대학교)

Keywords: 쾌삭 스테인리스강, 유화물, 연속주조, 일방향응고

Sulfur 쾌삭 스테인리스강은 우수한 기계적 특성 및 내식성을 유지하면서 가공성을 향상시킨 강종으로, 정밀가공을 요하는 복잡한 형상의 산업용 기계부품 등에 널리 사용되고 있다. 해당 강종의 쾌삭성은 합금내에 존재하는 유화물에 의해 결정된다. 유화물은 합금 내에서 응력 집중부로 작용해 절삭 가공 시 강도를 크게 낮추며, 절삭 공구와 합금 사이의 마찰력을 감소시켜 공구의 손상 또한 방지한다. Sulfur 쾌삭 스테인리스강의 안정적인 연속주조를 위해서는 billet 내의 유화물의 분포 및 형성 mechanism을 파악하는 것이 필수적이다. 이와 관련해 탄소강을 대상으로 한 연구는 보고되고 있으나, 쾌삭 스테인리스강에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 마르텐사이트계 sulfur 쾌삭 스테인리스강 billet의 유화물의 형성 거동 및 유화물의 형성기구를 규명하였다. Billet의 표면부에서 중심부까지 두께방향으로 유화물의 분포를 관찰한 결과 구형의 Type I 유화물이 대부분 존재하였으며, Billet의 표면부에서 중심부로 갈수록 유화물의 개수는 크게 감소하였고, 유화물의 크기는 증가하였다. 초정 Delta 페라이트(δ)로 응고 시작하여 응고 진행에 따라 액상과 δ의 분율이 감소하면서 포정반응에 따라 오스테나이트(γ)가 형성되었다. 이후로는 δ가 완전히 소비되며 γ 와 잔류액상만이 공존하는 영역이 형성되는 것으로 응고완료 되었다. Type I유화물은 γ 형성 이전에 존재하는 interdendritic의 잔류액상에서 편정반응에 의해 형성되어 응고가 진행됨에 따라 조대화 되었다. Type II 유화물은 γ 형성 이후에 entrapped 된 잔류액상에서 공정반응을 통해 형성되었음을 확인하였다.

[P23-2]

전산모사를 통한 B5L급 보론 스테인리스강용 잉곳 몰드 설계 : 황수빈, 이창수, 박종화, 조상현, 박성익, 김윤재, 김대성* ((주)대창솔루션)

Keywords: Borated Stainless Steel(보론 스테인리스강), Gravity casting(중력주조), Computational simulation(전산모사), Ingot mold design(몰드 설계), Shrinkage defect parameter(수축결함 파라미터)

ASTM A887 B5급 보론 스테인리스강(BSS, Borated Stainless Steel)은 스테인리스강에 보론을 1.25 wt.% 이상 첨가하여 크롬(Cr)과 보론(B)화합물인 붕화물(Cr2B)를 생성함으로 내식성과 열중성자 흡수능이 높아 원자력 발전소에서 발생하는 사용후 핵연료의 습식저장조용 조밀랙 및 건식저장용기의 브라켓(Bracket)용 판재 소재로 사용되고 있다. 보론의 경우 산소 친화도가 높아 일반적인 대기 용해방법으로는 다량의 보론을 첨가하기 어렵고, 기지에 생성된 붕화물은 낮은 융점, 상온에서 깨지기 쉬운 취성(Brittleness)을 띄고 있어 열간 및 냉간 가공성이 매우 낮아 해외 철강제조사는 진공용해 후 연주공정을 적용하거나, 분말 야금법(Powder Metallurgy)으로 판재를 제작하고 있다. 하지만 국내의 경우 주조 공정으로 1.25 wt.% 이상의 보론을 포함하는 열간 압연 방법, 주조공정(액상가압형, 교반공정) 및 압연공정을 이용한 중성자 흡수 복합소재 판재 등에 대한 기초 연구 단계로, 제조기술을 확보하지 못하여 전량 수입에 의존하고 있다. 이에 본 연구에서는 기 선진 업체와 달리, 주조용해 공법을 적용하기 위해 1.25 wt.% 이상 보론 스테인리스강 조괴(Ingot)를 제작하기 위한 몰드 설계를 진행하였다. 몰드 설계 및 전산모사를 수행하여 응고거동과 수축결함을 예측하고, 해석 결과를 기반으로 시험조업 수행 후, 조괴 절단 및 비파괴 검사를 통해 전산모사에 적용된 보론 스테인리스강의 열유동 물성 및 수축결함 파라미터(Niyama, Feeding Efficiency, Hot Tear Intensity, 등)를 도출하여 건전부 85% 이상을 만족하는 몰드를 설계할 수 있었다.

[P23-3]

MAR-M-246 니켈기 초내열합금을 활용한 저비용 터빈휠 제조기술 개발: 이만길*, 김성욱, 이준호, 민지후 (진성정밀금속(주))

Keywords: 니켈기 초내열합금, 정밀주조, 터빈휠, 저비용, 표준화

1. 서론 최근 전기차 시장(BEV : Battery Electric Vehicle)의 확대로 터보차저 시장 축소가 예상되지만, 배터리 충전 문제 등이 해결되지 않아 성장세가 둔화되고, 하이브리드차 시장이 급성장하고 있으며, 하이브리드차 시장 증대는 CO2 저감에 따른 엔진 고효율화를 의미하며, 이는 곧 가솔린엔진용 터보차저 시장 확대를 의미함. 터빈 입구온도(TIT : Turbine Inlet Temperature)는 엔진효율이 증가할수록 자연스럽게 온도가 상승되며, 이에 맞는 재료 및 공정개발이 이루어져야 한다. 최근 들어 자동차용 터보차저 분야도 터빈 입구온도(TIT)가 기존 Max 980 ºC에서 Max 1050 ºC로 상승하고 있어, 고온내열의 터보차저 어셈블리부품이 요구되고 있다. 터보차저의 핵심부품이라 할 수 있는 터빈휠은 엔진에서 나오는 폐열을 받는 부분으로 고온내열 재료선정 및 공정개발이 절실한 상황임. 본 연구는 자동차용 터보차저분야의 핵심부품인 터빈휠을 니켈계 초내열합금인 MAR-M-246을 이용하여 저비용으로 개발하는 것을 목표로 하고 있음. 2. 제조기술 개발 2-1. 스크랩을 활용한 제조공정 개발 Ni계 초내열합금 MAR M 246 스크랩과 잉곳의 최적 배합비를 선정하기 위해 배합비별 별주시편을 제작하고, 성분분석, 고온인장 등 기계적특성 시험을 통하여 선정함으로써 소재의 신뢰성을 확보함. 스크랩(Scarp) 사용으로 제조원가를 절감함. 2-2. 터빈휠 개발 저비용 터빈휠 제작을 위해 압탕, 게이트 등 다양한 주조방안 설계와 시뮬레이션 (ProCAST 해석프로그램으로 주조방안의 온도, 응고, 수축기공, 미스런 등을 분석) 수행으로 최적방안을 선정함. 선정된 주조방안으로 금형을 제작하고 시작품을 제작함. 성분분석, 비파괴검사, 치수측정으로 터빈휠 시작품을 검증함. 2-3. EBW 이종재질인 터빈휠(MAR M 246)과 샤프트(SCM440)의 접합부 파단강도 만족을 위해 EBW(Electron beam

welding)을 함. 시험조건(진공도, 가속전압, 전류, 용접속도, 용접시간)을 변수로 두고 EBW 시험을 수행함. 다양한 조건으로 시험한 EBW 시편 정밀분석(미세조직분석, 파단강도시험 등)으로 검증하고 최적 용접조건을 수립함. 2-4. 표준화 정밀주조법으로 개발한 터빈휠의 양산화와 품질 안정화를 위해 코팅(몰드)-주조-후처리의 제작공정에 대한 재현성을 확보하여 최종 양산화(TRL_8단계)까지 수행할 수 있는 작업표준서를 작성함. 3. 결과 본 과제는 저비용 터빈휠 제작 및 양산화를 목적으로 하고 있음. 저비용 터빈휠 생산을 위해 스크랩(SCRAP) 활용, 주조방안 개발, 작업표준화로 품질을 안정화하여 양산화 적용함. 4. 결론 스크랩을 활용한 제조공정 개발과 터빈휠 최적주조방안 선정 및 주조공정 개발로 1050 ºC급 저비용 (스크랩 활용) 내열합금소재 터빈휠을 제작함. 제조/공정 원가절감 및 국내자원 선순환 활성화가 기대가 되며, 하이브리드전기자동차 터보차저시장 공략으로 사업화 추진 예정임. 자동차용 터빈휠 뿐만 아니라 선박, 항공기, 발전용 터보차저용 터빈휠도 개발 및 양산 가능할 것으로 예상됨. 향후에는 해외(수출) 진출이 가능할 것으로 판단됨.

[P23-4]

니켈저감형 개발합금을 활용한 박육주조 터빈하우징 공정개발: 이준호*, 김성욱, 이만길, 민지후 (진성정밀금속(주))

Keywords: 니켈저감, 로스트왁스공법, 박육주조, 터빈하우징, 표준화

1. 서론 최근 들어 전기차 시장 확대로 인한 2차 전지시장의 활성화로 니켈소요량이 증대하고 있으며, 또한 자동차, 항공기 및 발전용 엔진의 효율 극대화로 터보차저가 일반화되고 있는 실정임. 니켈소요량 증대는 터빈하우징 가격을 상승시키는 원인이며, 엔진의 효율 극대화는 박육주조 기술개발의 필요성 이 증대됨. 로스트왁스(LostWax)공법 용탕의 유동성은 주조품의 건전성을 좌우하는 주요 인자임. 특히 얇은 주조품일 경우 용탕의 흐름이 불량할 뿐만 아니라 주입된 용탕이 주형과의 접촉에 의해 온도가 급감하여 용탕의 유동성이 떨어져 성형 불량이나 주조 결함이 발생할 수 있고, 주조품 제작이 용이하지 않음. 유동성 개선을 위해 주입온도 상승시 결정립 조대화로 기계적특성 저하를 가져올 수 있음. 따라서 본 과제의 기술개발을 통해 4 mm급 박육주조 터빈하우징 유동성 개선에 관한 주조 공정 개발을 목표로 함. 2. 공정개발 2-1. 금형공정 개발 고온 내열 박육 주조용 금형설계 및 제작을 위해 RP(Rapid Prototyping)로 터빈하우징 몰드를 제작하여 주조품을 제작하고 RP와 주조품의 3차원 치수측정 데이터를 비교하여 수축율 및 역구배(Reverse)를 결정함. 터빈하우징의 복잡한 내부 유로 형상을 감안하여 외형금형과 중자금형을 설계·제작함. 2-2. 사출공정 개발 터빈하우징 단품은 수축율을 감안한 금형으로 왁스사출을 수행함. 압탕(Riser), 런너(Runner), 게이트(Gate)는 주조방안 설계 및 시뮬레이션을 통해 최적주조방안을 선정했으며, 금형으로 제작함. 왁스 제작 시 손질공수를 최소화, 품질 안정화가 기대되며, 이를 통해 제조원가 절감이 예상됨. 2-3. 코팅공정 개발 로스트왁스(LostWax)공법으로 박육주조 터빈하우징 개발을 수행함. 내부유로 구현 및 강도 유지가 핵심이며, 이를 위한 코팅 연구를 수행함. 최종 PRIMARY & SECONDARY COATING의 점도 및 코팅 차수 개선으로 코팅공정을 확정함. 2-4. 주조공정 개발 터빈하우징의 박육부의 유동성을 확보하기 위해 몰드 소성온도(1,000 ºC 이상) 유지와 용탕 주입까지 최소시간(1분 이내)을 표준화하여 품질 안정화함. 3. 결과 금형 – 사출 – 코팅 – 주조 공정개발로 4 mm급 박육주조 양산화 계획임. 4. 결론 4 mm급 박육주조 터빈하우징 개발은 니켈저감형 개발합금을 이용하여 내부결함 없이 형상을 구현하며, 양산용 표준화를 구축하는 것임. 현재 니켈저감형 개발합금에 대한 연구는 진행 중이며, 연차별로 개발한 합금을 이용하여 터빈하우징 공정개발 및 표준화작업 진행중임. 향후 박육주조 공정개발 및 표준화를 통해 자동차용 터빈하우징 양산화가 가능할 것으로 예상됨.

[P23-5]

주조 공정 고도화를 위한 장입재 처리 : 이상환* (한국생산기술연구원)

Keywords: 주조, 장입재, 회수철, 절단, 전처리

주조공장에서 회수철은 자원 재활용, 공정 효율, 제품 품질 등 측면에서 중요한 장입재이다. 철계 주조공장에서 회수철은 장입재 전체 중량의 절반 정도를 차지하기 때문에 어떻게 사용되느냐에 따라 공정, 제품에 미치는 영향이 매우 크다. 회수철의 크기, 형태 등은 장입, 용해 공정에 영향을 크게 미치기 때문에 사용하는 에너지에도 영향을 크게 미친다. 주조 공정을 개선하고, 에너지를 효율화하기 위해서는 회수철을 절단 전처리하여 소형화하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 주조 공정 개선 및 용해 에너지 효율화를 위해 실시한 회수철의 절단 전처리 연구 사례 두 건을 소개하고자 한다. 한 건은 일반적인 유형의 회수철 연구 사례이고, 다른 한 건은 초대형 회수철 연구 사례이다. 일반 회수철의 경우, 절단 전처리를 대부분 주조공장에서 아직 하지 않고 있는데, 관련 기술을 공장 맞춤형으로 적용하는 것이 바람직하고, 가급적 무인화를 위해 자동 장치의 도입을 검토해 보는 것이 좋다. 초대형 회수철의 경우, 기계적 절단 전처리 방법의 현재 수준으로는 어려움이 많으므로 열적 방법의 도입을 시도해 볼 만하다.

[P23-6]

주조 공정 데이터의 시계열적 유형 분류 : 이상환*, 김효섭 (한국생산기술연구원)

Keywords: 주조, 용해, 시간, 전력, 시계열데이터

주조공장에서 용해로 운용 시, 품질 고도화 및 에너지 효율화를 위해 중요한 인자가 많다. 최근 제조 현장에서는 전력을 모니터링(에너지 가시화)하면서, 에너지를 절감하고자 하는 수요가 늘고 있다. 그런데 이 방법을 활용하여 에너지 절감 효과를 제대로 높이기 위해서는 전력 데이터에 관한 체계적인 연구가 선행되어야 하고, 에너지 절감 원리와 개념을 올바르게 이해한 상황 속에서 바람직하게 전력을 제어하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 주조공장의 용해 공정 전력 데이터를 시계열적으로 상세하게 분석하기 위해, 짧은 시간 주기로 정밀하게 측정 수집하였다. 용해 전력 데이터를 시간-전력 그래프로 표현하였고, 각 구간을 효과적으로 나누어 분석하는 방안을 제안하였다. 용해 공정 시간이 효율적인 그룹과 비효율적인 그룹 등으로 분류하였고, 그룹별로 구간별 소요 시간을 분석하였다. 용해 공정 시간에 따라서 전력 구간 I의 중간 단계, 구간 III의 피크, 구간 IV의 마디 등 전력 유형의 변화 경향이 어떠

한지 살펴보았다. Acknowledgment : 본 연구는 기획재정부에서 지원하는 한국생산기술연구원의 제조혁신지원사업 중, '인공지능 기반 주조 공정 품질 예측 및 관리 시스템 개발' 과제를 통해 진행되었다.

[P23-7]

소실모형 주조법으로 제작된 자동차 터빈 하우징 부품의 Flow-3D를 이용한 주조해석 : 이강래* (한국생산기술연구원(KITECH))

Keywords: 소실모형주조, Lost foam casting, 자동차 터빈하우징 부품, 알루미늄, 주조해석

소실모형주조(Lost Foam Casting)공정은 주형제작에 필요한 코어를 생략할 수 있고, 형상이 복잡하더라도 foam의 설계변경을 통해 주조제품을 최소한의 후가공으로 생산할 수 있기 때문에 Near-net shape로 대량생산이 가능하다. 특히 독일 등을 중심으로 알루미늄 자동차부품 생산에 소실모형주조공정을 적용하여 알루미늄 주조제품을 생산하고 있다. LFC 공정을 이용한 알루미늄 주조품을 자동차용부품에 적용하기 위해서는 내부결함이 적어야 하고, 내충격성 등 기계적 성질 또한 매우 우수하여야 한다. 이를 위해서는 foam 분해가스의 빠른 제거가 필요하며, 최적의 냉각효과를 얻을 수 있는 주조방안의 설계도 필요하다. 본 연구에서는 자동차 터빈 하우징 부품을 소실모형주조법으로 제조하기 위한 기초자료를 확보하기 위하여 다양한 주조방안에 대한 주조해석을 실시하였다. 이를 통해 foam 분해가스가 모두 제거되어 내부결함의 발생가능성을 줄이고자 하였다. 주조해석은 Flow-3D를 이용하여 실시하였으며, 주조해석에 필요한 foam의 물성치를 조사하고, 여러 가지 주조조건을 변경하여 적용하였다.

[P23-8]

Dicing saw 가공베드용 주물의 주조해석 : 이강래* (한국생산기술연구원(KITECH))

Keywords: Dicing Saw, 회주철, 주조방안, 가공베드, 주조해석

다이싱은 웨이퍼를 처리한 후 반도체 웨이퍼에서 다이를 분리하는 공정이다. 다이싱 톱은 매우 얇은 다이아몬드 블레이드 또는 다이아몬드 와이어가 장착된 고속 스핀들을 사용하여 반도체 웨이퍼, 유리, 세라믹, 크리스털 및 기타 여러 유형의 재료를 다이싱, 절단 또는 홈을 파는데 사용된다. 이런 다이싱 공정에서 정밀도와 정확성을 보장하기 위해 자동화가 필요하며, 다이싱용 가공베드는 공정 중 발생되는 진동을 흡수할 수 있는 능력이 필요하다. 해외기업의 경우 이를 달성하기 위해서 주철소재의 베드를 개발하여 dicing saw 제작에 사용하고 있다. 이에 대응하기 위하여 본 연구에서는 내진성능이 우수한 소재를 개발하고, 개발된 소재를 이용해 가공베드를 주조하기 위하여 최적의 주조방안을 설계하기 위하여 주조해석을 실시하였다. 주조해석은 Flow-3D를 이용하여 실시하였으며, 여러 가지 주조조건을 변경하여 적용하였다. 그리고 주조해석 결과를 실제주조결과와 비교하여 그 효과를 검증하였다.

[P23-9]

사형주조 공법으로 제조한 극저온용 고망간강 단조용 잉곳의 부위별 기계적 물성 연구 : 김용래*, 강민수, 강래철, 박성수 ((주)영신특수강)

Keywords: 사형주조, 고망간강, 단조용 잉곳, 기계적 특성, 비금속개재물

오스테나이트계 고망간강은 기존에 사용되고 있는 국제해사기구(IMO)에서 지정한 4가지 합금(오스테나이트계 스테인리스강, 알루미늄합금, 9%Ni강, Invar 합금)에 비해 가격 경쟁력이 높으며, 우수한 내수소취성과 극저온 인성을 보유하고 있어 극저온용 재료로 다양한 부품에 적용하여 개발 중에 있다. 본 연구에서는 극저온용(-253 ºC) 고망간강 주·단조품을 개발하는 과정에서 사형주조 공법으로 제조한 단조용 잉곳의 부위별 비금속개재물 및 기계적 특성을 대상으로 연구하였다. 단조용 잉곳 제조를 위하여 사형몰드는 알파셋 조형 공법으로 제작하였고, 극저온용 고망간강 용탕은 고주파 전기유도용해로를 이용하여 제작하였다. 이후 절단전열처리를 수행하여 불필요한 부위(압탕부, 주입라인 등)를 가우징 공법을 통하여 제거하였으며, 최종 제작된 단조용 잉곳의 '주입부-중간부-끝단부'를 채취하여 경도/인장/충격/비금속개재물 시험을 수행하여 비교 평가하였다.

[P23-10]

발전 터빈용 주강 부품의 가압주조를 위한 주조해석기술 개발 : 이강래, 최경환*, 장재철 (한국생산기술연구원(KITECH)), 손재화, 변삼섭 (터보파워텍(주))

Keywords: 주강, 금형, 가압주조, 주조해석

발전 터빈 회전체의 유체 흐름을 제어하기 위한 주강 부품은 고온·고압의 작동 환경에서 사용되므로, 높은 온도와 기계적 특성이 요구된다. 따라서, 대표적으로 다량의 니켈(Ni)을 첨가한 CA15(AISI 410)와 같은 합금이 주로 사용되며, 주조 시 발생하는 수축공과 같은 미세 기공을 최소화하기 위해 주로 원심주조법이 사용된다. 그러나 내경부 제거 시 기공이 집중되거나, 제품 형상으로 가공하는 과정에서 많은 소재가 손실되고 가공 비용이 발생하므로, 이를 개선할 필요가 있다. 가압주조(또는 용탕단조) 방식은 Near-net shape를 얻을 수 있고, 응고 중 가압에 의해 수축 기공의 발생이 현저히 감소하므로, 높은 신뢰성을 요구하는 발전 터빈 부품의 제조에 적합하다. 본 연구에서는 제품의 형상, 가압 방향, 용탕 온도, 금형 온도 등의 변수를 달리하여 가압주조 조건을 가정하고, 주강의 기공 발생 거동을 조사하였다. 금형을 가압할 때 용탕의 수축 체적만큼 가압하면 내부에서 발생하는 수축 기공을 억제할 수 있을 것으로 예상되었으며, 제품의 형상과 방향을 다르게 할 경우 결함이 생성되는 위치를 제어할 수 있었다. 또한, 금형 온도는 응고 쉘 생성에 필요한 적정 온도 범위를 확인하는 데 중요하였다. 결과적으로, 유체 해석 기술을 이용하여 가압주조에 적합한 가압시간과 변위, 금형 및 용탕 온도의 선정이 가능하였다.

[P23-11]

다이캐스팅 해석용 샷 슬리브의 최적화 공정조건 기술 개발 : 남정호* (한국생산기술연구원)

Keywords: 다이캐스팅, 샷 슬리브, FDM요소생성, 유동 해석, 최적화

알루미늄 합금과 같은 경량 소재의 대표적 주조법인 고압 다이캐스팅법은 복잡한 모양의 제품을 단번에 제조할 수 있는 경제적인 주조 방법 중의 하나로서, 슬리브를 통해 고속/고압으로 용탕을 금형 캐비티에 주입하여 주물을 만드는 주조 방법이다. 다이캐스팅 공정에서 샷 슬리브는 금속 용융물이 금형에 효과적으로 주입되도록 하는 중요한 역할을 한다. 본 연구는 다이캐스팅 공정의 성능을 극대화하기 위한 샷 슬리브의 최적화 조건을 규명하기 위해 진행되었다. 연구의 주요 목적은 샷 슬리브의 직경과 길이 등의 설계 파라미터 결정과 초기 주입량, 플런저 이동 속도 조건 등이 공정 성능에 미치는 영향을 체계적으로 분석하고, 최적화된 조건을 제시하는 것이다. 다이캐스팅 공정에서의 샷 슬리브의 열적 및 유동적 특성을 분석하기 위해 유한 차분법(FDM)과 유동 해석(CFD) 기법을 활용하였다. 다양한 소재와 샷 슬리브의 직경과 길이 및 초기 주입량 등을 변화시켜 가며 샷 슬리브 모델을 시뮬레이션 하여 금속 용융물의 유동 및 응고 거동을 분석하였다. 이와 함께, 고압 다이캐스팅 주물 생산의 현장 작업자가 쉽고 빠르게 활용할 수 있는 수치 시뮬레이션 툴을 개발하였다. 연구 결과, 슬리브 내부 유동 수치해석 모듈은 고압 다이캐스팅 공정의 변속 과정에 발생되는 용탕 내 공기의 혼입을 최대한 억제시킬 수 있는 주조 조건과 설계에 매우 유용한 주조 전용 수치해석 기법을 개발하였다. 최적화된 샷 슬리브 설계와 초기 용탕 양과 프런저 속도를 조합하여 공정의 안정성을 높이고, 제품의 기계적 특성 및 표면 품질을 개선하는 것으로 나타났다. 또 한, 샷 슬리브의 주입 초기 용량 및 플런저 속도와 변속 시점 등이 금속 용융물의 주입 및 냉각 과정과 슬리브 내부의 공기가 용탕 속 혼입에 결정적인 영향을 미친다는 것이 확인되었다. 본 연구 통해 다이캐스팅 공정에서 샷 슬리브의 최적화를 위한 실질적인 파라미터를 도출하고, 공정 개선 및 제품 품질 향상에 기여할 것으로 기대한다.

[P23-12]

극저온용 오스테나이트계 고망간 주조재의 단조 유무에 따른 미세구조 및 기계적 특성 변화 : 이승희, 박지원, 강신곤* (동아대학교)

Keywords: 고망간강, 편석, 석출물, 오스테나이트, 기계적 물성

고망간강(High-Mn Steel)은 비자성 특성을 가진 오스테나이트계 철강 소재로, 저렴한 비용과 함께 저온 환경에서 뛰어난 인성과 인장 강도를 제공하여 극저온 환경에 적합한 소재로 잘 알려져 있다. 그 중 POSM_CS400A는 20 wt% 이상의 Mn과 3 wt% 이상의 Cr, 그 외에도 C, Cu 등의 주요 합금원소를 함유하는 강종으로 고강도, 저온 인성, 내마모성 등 다양한 방면에서 우수한 특성을 보여 LNG 저장 및 이송용 탱크와 같은 극저온용 강으로 활용되고 있다. 그러나 높은 합금원소의 첨가량은 응고 과정 중 편석 발생 가능성을 높일 수 있다. 이는 Cr 탄화물 등의 석출물 형성을 촉진하고 오스테나이트의 안정성을 변화시켜 입실론 마르텐사이트 조직이 생기는 등 미세구조 불균일성을 초래하여 기계적 특성을 저하시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 주조재의 단조 유무에 따른 미세구조 및 기계적 특성 변화를 확인해 보고자 한다. 주조 및 단조재의 편석 정도와 석출물은 OM, SEM, EDS, EPMA를 통해 분석하였다. 시편 내 입실론 마르텐사이트의 생성 여부는 XRD 및 Feritscope를 사용하여 확인하였다. 주조재와 단조재의 편석 정도에 따른 기계적 특성 차이는 경도, 충격, 인장시험을 통해 평가하였다.

[P23-13]

인서트 고압 다이캐스팅 공정에 의한 이종금속 소재 제조에 관한 연구 : 김태형 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 이근효 (한국생산기술연구원), 문재호 ((주)코넥), 신제식* (한국생산기술연구원)

Keywords: high pressure die-casting, interfacial bonding, insert alloys, surface treatment

다수의 부품과 접합가공공정으로 제작되는 자동차 차체의 경우 최근 생산성 향상과 제조원가 절감을 목표로 부품이 일체화 대형화되는 추세이다. 한 해외 전기차 제조사의 경우 다수의 부품으로 구성된 후면 구조용 프레임을 부품 한 개로 성형하기 위한 초대형 다이캐스팅 공정 개발 및 부품 상용화에 성공하였다. 하지만 다이캐스팅 부품이 대형화됨에 따라 공정시간의 증가, 주조품 외곽부 품질 등의 이슈가 발생하고 있고, 초대형 다이캐스팅 공정으로 성형할 수 있는 부품 형상의 한계 및 설비 투자비의 증가 문제가 제기되고 있다. 이러한 상황에서 기설치된 중소형 다이캐스팅 장비를 이용하여 대형 일체형 부품을 제조할 수 있는 인서트 고압주조 공법이 대안 공법으로 주목받고 있다. 본 연구에서는 인서트 소재 종류 및 표면처리 공정이 인서트 고압 다이캐스팅 공법으로 제조되는 이종소재의 계면접합 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

[P23-14]

중력사형주조를 적용한 친환경자동차용 알루미늄 합금 48 V DC-DC 컨버터 하우징(6 Phase) 개발을 위한 주조방안 연구 : 강문석, 이찬주 (한국화학융합시험연구원), 권규수, 박진우 ((주)에이씨케이), 김민호* (한국화학융합시험연구원)

Keywords: Gravity sand casting, Converter housing, Aluminum alloy, Eco-friendly vehicle, Casting simulation

DC-DC 컨버터 하우징은 배터리의 전압을 고전압에서 저전압으로 변환해 전장 시스템에 전력을 공급하는 DC-DC 컨버터를 보호하며, 컨버터에서 발산되는 열을 효율적으로 전달해 주변으로 분산되도록 하는 방열판 기능을 하는 부품으로 하우징 구조는 단위 부품의 발열 특성에 직접적인 영향을 미치기 때문에 제한적 공간과 중량을 사용하여 최적의 하우징을 제작하는 것은 컨버터의 내구신뢰성에 중요한 영향을 미치게 된다. 하지만 복잡한 내/외부 형상으로 인해 사형주조로 제작하는 것이 상대적으로 용이하나 컨버터 하우징은 일반 자동차 및 산업용 부품 소재 대비 상당한 박육 경량부를 가지며, 박육 경량부인 방열핀 내부의 개재물 및 결함 등을 관리하기 때문에 국내 알루미늄 주물업계에서는 이에 따른 기술을 갖추지 못하고 있는 실정이다. 따라서 48 V DC-DC 컨버터 하우징을 개발하기 위해서는 지정된 알루미늄 소재 성분 최적 관리, 주조기술 확립, 해석을 통한 설계 검증, 시제품 제작을 위한 생산기술 확보 등이 고려되어야 하며, 특히, 3.5 mm 이하의 박육 경량부에 대한 품질을 확보하기 위한 중력사형주조 기술 확립 및 제품의 품질 확보 방안이 검토되어야 한다. 이에, 본 연구에서는 Sprue/Runner/Ingate 비율, Ingate 위치, 압탕 형상 및 위치, 주물사/코어의 종류 등 다양한 설계인자를 고려한 다음 충전해석 및 응고해석을 통해 48 V DC-DC 컨버터 하우징(6 Phase)에 대한 최적의 중력사형주조 방안을 도출하고자 하였다.

[P23-15]

저압사형주조를 적용한 GE90 항공기 제트 엔진용 알루미늄 합금 Gear Housing 개발을 위한 주조방안 연구 : 이찬혁, 강문석 (한국화학융합시험연구원), 권규수, 박진우 ((주)에이씨케이), 김민호* (한국화학융합시험연구원)

Keywords: Gear housing, Low pressure sand casting, Aluminum alloy, Aircraft jet engine, Casting simulation

항공기용 Gear Housing은 복잡한 내/외부 형상으로 인해 사형주조로 제작하는 것이 상대적으로 용이하나 항공기용 알루미늄 주조품은 일반 자동차나 산업용 부품 소재보다 강도가 월등히 높을 뿐만 아니라 내부의 개재물 및 결함 등을 엄격히 관리하기 때문에 국내 알루미늄 주물업계에서는 이에 따른 기술력을 갖추지 못하고 있는 상태이다. 또한, Gear Housing 개발 및 제작 시 알루미늄 신합금 및 고효율 제조공정 개발을 위한 합금 설계 기술, 용해/주조기술, 가공기술, 열처리기술, 시험·평가기술 및 시뮬레이션 기술 개발 및 연구가 필요하나 국내의 기어, 하우징, 축계 등 제조업체는 항공기에 적합한 수준의 제품에 대한 개발 또는 제작 경험이 매우 부족한 실정이다. 따라서 Gear Housing을 개발하기 위해서는 지정된 알루미늄 소재 성분 최적화 설계, 주조기술 확립, 해석을 통한 설계 검증, 시제품 제작을 위한 생산기술 확보 등이 고려되어야 하며, 특히, 고강도 및 엄격한 품질기준을 확보하기 위한 정밀 사형주조 기술 확립 및 제품의 품질 확보 방안이 검토되어야 할 것으로 사료된다. 이에, 본 연구에서는 용탕온도, 주입시간, 주입압력 등 다양한 설계인자들을 고려한 저압사형주조 방안을 개발하기 위해 다양한 조건에서 주조해석을 수행하였다. 특히 주조해석을 통해 충진 및 응고 시 예상되는 문제점을 해결하기 위한 방안을 도출하고자 하며, 이를 반영하여 주조결함을 최소화할 수 있는 최적의 저압사형주조 방안을 확립하고자 한다.

P24 : 재료강도
Room 2층 로비, 10월 29일

[P24-1]
Cu 및 Zr 첨가에 따른 A356 합금의 피로 균열 진전 거동 : 우두현 (동국대학교), 송태웅 (HYUNDAI SUNGWOO), 박찬우, 윤영준, 조창훈(동국대학교), 구자욱, 전승병 (DR AXION), 정창열* (동국대학교)
Keywords: A356, Cu, Zr, Heat Treatment, Fatigue Facture
자동차 경량화 요구에 따라 수송기기 산업에서 많이 사용되는 A356 합금에 대해 첨가원소 및 열처리 조건에 따른 기계적 특성에 관한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 특히 Zr은 AI-Si계 합금의 수지상 간격 및 결정립 크기를 감소시키고 열처리 조건에 따라 Zr 석출상이 형성되어 고온특성이 개선된다고 보고되고 있으나, 형성된 석출상에 따른 피로 진전 거동 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 Cu 및 Zr 첨가에 따른 A356 합금의 미세조직 및 피로 균열 진전에 대해 분석을 하였다. Cu 첨가 합금에서 구형의 Al2Cu로 인한 피로 균열 굴절이 관찰되었으며, Cu 및 Zr 첨가 합금에서는 1~3 μm 크기의 Zr 석출상으로 인한 균열 굴절이 뚜렷하게 나타났다. 이는 Zr 분산상 형성에 따라 균열 진전을 억제하고 굴절을 유도하여 피로 수명 증가하는 것으로 판단된다. 또한 석출상과 피로 균열과의 상호작용에 대한 분석을 주사전자현미경 및 EDS를 이용하여 기본 A356 합금과 비교하였으며, 기계적 특성과 연관성을 정량적으로 나타내었다. Acknowledgment : 본 연구는 정부의 재원으로 한국에너지기술평가원 [20214000000010]과 한국연구재단 [LINC 3.0 1345370693]의 지원을 받아 수행된 연구임.

[P24-2]
A356 합금의 Cu 및 Zr 첨가에 따른 장주기 피로 특성 : 조창훈, 박찬우, 우두현, 윤영준 ((동국대학교), 송태웅 (HYUNDAI SUNGWOO), 정창열* (동국대학교)
Keywords: A356, Cu, Zr, Very-high-cycle Fatigue, Fatigue Fracture
수송 기기에서 경량 목적으로 사용되는 A356 소재에 대한 합금 개량 및 이에 따른 기계적 특성에 대한 연구가 많이 진행되고 있으나, 109 cycle 이상의 장주기 피로는 평가에 많은 시간이 소요됨에 따라 상대적으로 시간이 적게 소요되는 108 cycle 이하의 고주기 피로 연구를 주로 진행해온 실정이다. 그러나 고온 및 부식 조건과 같은 가혹한 환경에서 고주기 피로로 설계된 수명과 실제 수명이 다른 결과를 나타내며, 장주기 피로는 부품의 예상수명을 확인할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 Al-Si 합금계에서 Cu 및 Zr 첨가에 따른 장주기 피로 특성 평가를 실시하였다. 용체화 6시간 시효 5시간 조건의 A356+0.5 wt%Cu, A356+0.5 wt%Cu+0.2 wt%Zr 합금은 통상적인 응력 조건에서 응력 진폭이 증가함에 따라 피로수명이 감소하는 전형적인 특성을 나타내며, A356+0.5 wt%Cu+0.2 wt%Zr 합금이 더 긴 수명을 나타내었다. 또한 3×10^8 cycle 기준으로 피로한을 측정한 결과 고온에서 A356+0.5 wt% Cu+0.2 wt%Zr 합금이 A356+0.5 wt%Cu 합금 대비 우수한 고온 피로 특성을 보였다. 피로한으로 측정된 응력에서 Cu 및 Zr 첨가에 따른 109 cycle 이상의 장주기 피로 실험을 통해 피로 파단면 분석을 하였으며 상온 및 고온에서 장주기 피로에 따른 균열 진전과 석출상과의 상호작용 및 피로수명과의 연관성을 도출하였다. Acknowledgment : 본 연구는 정부의 재원으로 한국에너지기술평가원 [20214000000010]과 한국연구재단 [LINC 3.0 1345370693]의 지원을 받아 수행된 연구임

[P24-3]
Inconel 740H 초내열합금의 합금 성분 조절에 따른 결정립계 강화 유도 열처리 설계 및 nodule-like γ′ 석출물 발생이 크리프 특성에 미치는 영향 : 양철혁, 김시연 (국립창원대학교), 김치원, 정희원 (한국재료연구원), 홍현욱* (국립창원대학교)
Keywords: Inconel 740H superalloy, Creep properties, lamellae γ' precipitation, blocky-type Cr-rich M23C6 carbide, naked grain boundary
높은 에너지 효율과 환경적 문제점의 해결을 목표로 하는 현대 화력 발전기술에서는 높은 온도와 압력의 터빈 증기를 안정적으로 처리할 수 있는 초내열합금의 중요성이 증가하고 있다. 이에 따라, 화력 발전용 터빈에서의 증기온도와 압력을 극대화하기 위한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존 USC(600 ºC/25MPa) 조건 대비, A-USC 조건(700 ºC, 35MPa)의 기준을 만족하기 위해서는 적합한 소재의 적용뿐만 아니라 해당 소재의 기계적 특성을 최적화할 수 있는 적정 열처리 설계가 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 Inconel 740H의 합금성분 범위 내에서 기계적 특성을 향상시키기 위해 개발된 초내열합금에서 열처리 조건에 따른 장기 열간 노출에 대한 미세조직적 안정성 및 크리프 특성에 미치는 요인을 분석하고자 하였다. 합금성분의 개발은 크리프 특성의 향상을 위해 Inconel 740H 대비 C, Cr, Co 함량 감소 및 Ti/Al ratio, Mo 함량 증가 조절되었다. 열처리 조건은 동일한 용체화 처리 (1150 ºC/30 min/WQ) 이후, 두 가지 시효처리가 적용되었다:1) 단일 시효(SAG): 800 ºC/16 h/AC 및 2)이중 시효(STBG): 1060 ºC/2h/AC + 800 ºC/16h/AC. 두 열처리 조건 모두 약 90-100 μm 크기의 γ -matrix가 관찰되었으며, 결정립 내부에는 약 35 nm 크기의 구형 γ’ 입자가 유사한 분율로 형성되었다. 또한, SAG 이전 MC 탄화물 안정화 열처리가 진행되었음에도 불구하고 입계 MC 탄화물의 분율도 유사하였으며, 입계 탄화물은 Cr-rich $M_{23}C_6$ carbide가 지배적이었다. 하지만, 두 열처리 조건에 따라서 입계 Cr-rich $M_{23}C_6$ carbide의 분율은 매우 다르게 형성되었다. SAG 열처리 조건의 경우, 결정립계의 Blocky-type carbide가 높은 분율로 연속적으로 형성되었다. STBG 열처리 조건의 경우에는, Cr-rich $M_{23}C_6$ carbide가 입계에서 완전히 존재하지 않았다. 750 ºC에서 최대 5,000시간 동안의 장기 열간 노출 이후, 두 열처리 조건에서 유사한 γ’ 조대화 속도가 나타났으며, 급격한 열화는 나타나지 않았다. 이로 인해 미세 경도 및 인장 특성의 유사한 저하가 주로 발생하였다. 한편, SAG 열처리 조건은 STBG 열처리

조건보다 우수한 크리프 저항성을 나타냈다. 두 열처리 조건의 경우 크리프 동안 전위의 거동은 Orowan looping mechanism으로 동일한 γ' 상호작용이 나타났다. 하지만, 크리프 파단이후 STBG 조건에서만 결정립계에서 조대화된 Lamellae γ' precipitation이 지배적으로 형성된 것을 확인하였다. SAG 열처리 조건에서는 결정립계 탄화물의 높은 비율이 입계 강화 효과에 중요한 역할을 하였다. 높은 분율의 입계 탄화물은 크리프 시험동안 입계 강화 효과와 grain boundary sliding을 방지할 뿐만 아니라, 결정립계 lamellae γ' precipitation을 효과적으로 방지하고, 결정립계에서의 전위 집적을 억제함으로써 입계 크리프 저항을 향상시킴으로써 달성되었다.

[P24-4]

아공석강의 미세조직 기반 일축 피로 수명 기반 다축 복합하중 피로 수명 예측 : 이상림, 신종훈, 최윤석* (부산대학교), 김현기, 김동휘, 강민우, 홍승현 (현대자동차(주))

Keywords: 아공석강, 피로수명 모델링, 결정소성 유한요소해석, FIP

아공석강은 높은 강도와 피로 수명을 가지기 때문에, 반복 응력 환경에서 사용되는 구조 부품의 주요 소재로 꼽힌다. 반복적인 하중을 받는 구조물의 안전성 확보를 위해 정확한 피로 수명 예측은 필수적이다. 이에 따라 피로 수명 예측 모델링 연구가 활발히 진행되고 있지만, 기존 모델들은 복합 하중 조건에서의 정확도가 낮고, 재료의 미세조직적 특성을 충분히 반영하지 못하는 한계를 지니고 있다. 본 연구에서 아공석강의 미세조직 특성을 고려한 유한요소해석법을 개발하였고, 이를 활용하여 일축 피로 수명 기반 아공석강의 다축 피로 수명 모델링을 제시하였다. 미세조직 특성을 반영하기 위해 cellular automata (CA) 기법을 사용하여 펄라이트와 초석 페라이트의 공간적 분포를 고려한 가상 미세조직을 생성하였다. 생성된 가상 미세조직은 실제 아공석강과 유사한 통계적 특성을 가지도록 하였으며, 여기서 추출한 5개의 대표체적요소(RVE)를 유한요소 해석에 활용하였다. 펄라이트와 페라이트의 소성 변형 거동을 모델링하기 위해 결정 슬립 시스템을 고려한 탄-점소성 구성 모델을 개발하고, 이를 가상 미세조직에 적용하여 결정소성 유한요소해석을 수행하였다. 다양한 fatigue indicator parameter (FIP)를 활용하여 피로 수명을 예측하고 비교 분석하였으며, 일축 하중 조건에서 얻은 예측 결과를 바탕으로 다축 하중 조건에서의 피로 수명 예측 모델의 정확도를 검증하였다. 또한, 각 FIP의 예측 능력을 비교하고, 왜 특정 FIP가 더 우수한지에 대해 고찰하였다.

[P24-5]

Nb 첨가 경량 철강의 장기 열 노출 후 슬립 밴드 형성 억제를 통한 기계적 특성 향상 : 주하연, 김시연 (국립창원대학교), 김치원, 박성준 (한국재료연구원), 홍현욱* (국립창원대학교)

Keywords: Lightweight steel, Nb addition, Nb-free, Grain refinement, κ-carbide, Deformation mechanism

최근 에너지 효율 향상을 통한 발전설비의 온실가스 저감과 소재 절감이라는 경제적, 사회적 요구에 적용하여 고비강도 철강소재 후보로 FeMnAlC 합금계의 경량철강이 고려되고 있다. 주로 수송기용 소재로서의 활용을 목표로 변형 및 파괴거동에 대한 연구는 상온 환경에 국한되었다. 이에 따라 본 연구에서는 발전 부품용 소재로 적용하기 위해 오스테나이트계 경량철강의 Nb 첨가 유무에 따른 상온 및 고온 특성 및 변형거동, 그리고 고온 열노출에 따른 열화 저항성에 대해 비교분석 하였다. 연구 합금인Fe-20Mn-8Al-1.0C (20Mn), Fe-20Mn-8Al-1.1C-0.1Nb (20MnNb) 모두 550 ºC-1시간 시효 열처리 후 강화상 κ-carbide의 석출에 의한 가장 큰 경도 상승율이 확인되었으며, 크기나 분포의 차이는 확인되지 않았다. 한편 20MnNb 합금의 결정립 크기가 25 μm로 20Mn 합금의 결정립 크기 (49 μm) 대비 미세화 된 것을 확인하였다. 인장특성 비교 결과 Nb 첨가 유무에 상관없이 시효 열처리 시 상온과 고온에서 모두 κ-carbide 석출에 의한 강화 효과가 확인되었다. 또한 가공경화율은 Nb첨가 합금에서 더 높게 나타나는 것이 확인되었는데, 이는 상온에서 기지 내 shear band사이의 κ-carbide와 전위들의 상호작용으로부터 shearing과 Orowan bypassing 기구에 의한 동시 주도 변형이 원인으로 판단된다. 고온의 경우 20Mn 합금의 변형거동은 상온과 마찬가지로 multi-directional shearing이 지배적으로 나타나는 반면, 20MnNb 합금은 상온에서의 uni-directional shearing과 달리 multi-directional shearing이 주로 관찰되었다. 이는 열적활성화에 의한 slip system의 활성화인 것으로 보이며 이로부터 slip line refinement에 의해 가공경화율이 더 높은 것으로 판단된다. 열화저항성 평가를 위한 400 ºC-5000시간 열노출 결과, 유해상 석출이나 결정립 조대화 등의 변화는 나타나지 않았다. 그러나 결정립내 slip band의 형성이 관찰되었고, 열노출 시간이 길어질수록 조밀해지며 20Mn 합금에서 더 조밀하게 나타나는 것을 확인하였다. 400 ºC-5000시간 열노출 시 20Mn, 20MnNb 두 합금 모두 강도는 유지되었으나, 20Mn 합금에서 연신율이 1000시간에서 3000시간까지 점차 감소하다 5000시간에서 급격한 감소를 보인다. 반면, 20MnNb 합금에서는 연신율이 유지되었다. 한편 열노출 후 인장시험 결과 20Mn 합금은 결정립계 파단에 의한 취성파괴가 일어나고, 20MnNb 합금에서는 dimple을 동반한 연성파괴가 주로 관찰되었다. 미세조직 관찰결과 20Mn 합금에서 전위가 결정립계로 pile-up되어 결정립계 취화를 초래하기 때문에 균열이 발생하는 것으로 판단된다. 이는 열노출에 의한 인장 특성이 열화됨을 시사한다. 상기 결과로부터 FeMnAlC 합금계에서 Nb 첨가는 열노출에 대한 미세조직 및 기계적 특성 안전성을 높임을 확인하였다.

[P24-6]

고압수소가스 및 전기화학적 수소 분위기 in-situ 저속변형률 시험을 통한 OCTG 강의 수소취성 평가 : 곽윤서, 오동규, 황병철* (서울과학기술대학교)

Keywords: Gaseous hydrogen, Electrochemical, Hydrogen embrittlement, Slow strain rate test (SSRT), Notch tensile strength

최근 수소 등 새로운 친환경 에너지들이 주목받고 있지만, 현재까지는 석유산업이 에너지 생산에 큰 비중을 차지하고 있다. 유정관으로 사용되는 oil country tubular goods (OCTG) 강은 석유 생산 중 발생하는 황화가스에 의해 표면으로부터 재료 내부로 수소가 침투하여 수소취성이 발생할 수 있다. 수소취성은 금속 내부로 침투한 수소가 전위, 공공, 계면 등과 같은 결함들과 상호작용

하여 연성 및 강도가 현저히 감소하는 현상이다. 일반적으로 OCTG 강은 페라이트 기지조직에 펄라이트를 포함하는 미세조직을 갖는데, 이때 시멘타이트 입계, 페라이트-펄라이트 계면 등 다양한 결함에 수소가 트랩(trap) 될 수 있다. 특히 펄라이트는 수소환경에서 취약하다고 보고되고 있어 이에 대한 연구가 필수적이지만, 황화가스에 의한 부식과 수소 트랩에 의한 수소취성 발생에 대해 복합적으로 고려해야 하기 때문에 이를 구분하여 고찰하기 매우 어렵다. 본 연구에서는 API J55급의 OCTG 강재에 대하여 트랩된 수소가 지배적으로 작용하는 고압수소가스 환경과 부식을 동반하는 전기화학적 분위기 하에서 수소주입과 동시에 slow strain-rate test (SSRT)를 수행하였다. 이후 파단된 시편을 분석하여 펄라이트를 포함하는 페라이트 강재에서의 수소취성 발생 양상을 고찰하였다.

[P24-7]

용체화 열처리 후 냉각패턴 변화에 따른 Fe-Mn-Al-C 경량철강의 미세조직 및 물성 변화에 대한 연구 : 권민지, 문준오* (국립창원대학교), 박성준 (한국재료연구원)

Keywords: 경량철강, 냉각속도, κ-carbide, 용체화열처리

경량철강은 높은 함량의 Al 첨가를 통해 기존 철강 대비 10% 이상 낮은 밀도를 가지며, 이와 함께 우수한 기계적 특성을 가짐으로써 많은 연구가 진행되고 있다. 경량철강은 Fe-Mn-Al-C 성분계를 기본으로 하고 있으며, 합금 원소 함량에 따른 기지상 미세조직 변화에 따라 오스테나이트, 페라이트, 그리고 듀플렉스계로 나누어진다. 특히, 오스테나이트계 경량철강은 우수한 연성을 가지는 오스테나이트 기지에 나노사이즈의 κ-carbide를 석출시킴으로서 높은 강도와 우수한 연성을 동시에 확보할 수 있다. κ-carbide는 Fe_3AlC의 stoichiometry를 가지고 있으며 경량철강을 고온에서 용체화 처리 후 낮은 온도에서 시효 열처리 시 입내에 미세하게 석출되어 물성 향상에 기여한다. 반면에 냉각 중에 κ-carbide가 입계를 따라 조대하게 석출되는 경우에는 경량철강의 인성을 크게 떨어뜨리는 인자로 작용한다. 이에 본 연구는 합금원소의 함량 및 용체화 열처리 후 냉각 패턴의 변화에 따른 κ-carbide의 형성 거동 및 이에 따른 기계적 성질의 변화에 대하여 고찰하였다. 냉각 패턴은 수냉, 공냉으로 나누어 실시하였으며, Al, C, Mo, 그리고 Cr의 합금원소 함량을 변화시켰다. 미세조직의 경우, OM, SEM, EBSD, EDS, TEM을 이용하여 분석하였으며, 기계적 성질의 경우, Vickers Hardness, Impact test, 그리고 Tensile test를 이용하여 평가하였다. 마지막으로 κ-carbide의 석출거동을 고려하여 다양한 화학조성 및 냉각 패턴에서 미세조직의 변화와 기계적 성질 간의 상관관계에 대하여 고찰하였다.

[P24-8]

오스테나이트 고 Mn 주강의 인장 및 충격 특성에 미치는 미세조직의 영향 연구 : 이인성, 김순태* (연세대학교 철강연구소)

Keywords: 고Mn 주강, EBSD, 실온 인장 및 극저온 충격 시험, TWIP

ASTM A 351에 등재된 CF3 오스테나이트 스테인리스 주강 (CF3 합금) 대비 고 Mn 주강 (HMBASE 합금)의 실온 인장 및 극저온 (-196 ºC) Charpy v-notch 충격 특성은 OM, EBSD, FE-SEM-EDS와 XRD에 의한 미세조직 분석 및 ferite-scope에 의한 마르텐사이트 (α′) 측정에 의해 연구되었다. HMBASE 합금의 항복 및 인장강도는 CF3 합금보다 각각 1.31 배 및 1.28 배 정도 높게 나타났다. HMBASE 합금의 연신율은 CF3 합금보다 약 5 % 정도 낮았지만, 58 %의 고연신율을 나타내었다. 극저온에서 충격시험 결과, HMBASE 합금은 TWIP 효과에 기인하여 충격인성을 저해하는 마르텐사이트 (α′) 가 미량 (0.29 %) 형성된 반면에, CF3 합금은 TRIP 효과에 기인하여 58 %의 마르텐사이트 (α′) 가 형성되었음을 알 수 있었다. HMBASE 합금은 높은 항복 및 인장강도임에도 불구하고 고연성에 기인하여 충격흡수에너지 값은 CF3 합금과 비슷하였다. 16.2 mJ/m^2의 적층결함에너지 (SFE)를 갖는 0.02 wt.% C함유 CF3 합금과 비교해서, 25.2 mJ/m^2의 SFE를 갖는 HMBASE 합금이 고강도, 고연성 및 고충격인성을 나타낸 이유는 첫째, 0.44 wt.%의 고탄소 첨가에 의한 침입형 고용체강화 효과, 둘째, 인장 및 충격 시험 동안 TWIP기구에 따라 형성된 수많은 미세한 기계적 쌍정 입계와 결정립에 의한 Dynamic Hall-Petch강화 효과에 기인한 것이다.

[P24-9]

주증기배관용 SA508 Gr.1A Mn-Mo계 저합금강의 냉각속도에 변화에 따른 미세조직 분석 : 김민철*, 현세미, 홍석민, 김종민 (한국원자력연구원)

Keywords: 주증기배관, SA508 Gr.1A 저합금강, 냉각속도, 파단전누설

주증기배관은 원전의 증기발생기에서 생성된 증기를 2차측 터빈발전기계통과 기타 보조기기로 전달하는 역할을 하고 있으며, 한국표준원전에는 SA106 Gr.C 강이 적용되고 있다. 주증기배관 내부로는 고온 고압의 증기가 이동하므로 배관에는 우수한 강도와 파괴인성을 갖는 소재의 적용이 필요하다, 최근 2차측 배관에도 배관 파단시의 동적 하중을 배제하여 설계하중을 감소시키기 위해 파단전누설(Leak Before Break, LBB) 개념의 적용이 추진되고 있으며, 이를 위해 기존 SA106 Gr.C 보다 파괴인성이 우수한 SA508 Gr.1A Mn-Mo계 저합금강의 적용이 고려중이다. 충분한 LBB 안전여유도 확보를 위해서는 항복강도와 J-R 파괴저항성을 향상시키는 것이 매우 중요하다. SA508 Gr.1A와 같은 저합금강의 특성 개선을 위해서는 합금원소 조절뿐만 아니라 미세조직 제어를 통한 특성 개선을 고려할 수 있다. 저합금강은 오스테나이트화 열처리 후 냉각속도의 변화에 따라 미세조직이 급격히 변화하고, 이러한 미세조직의 변화는 저합금강의 기계적 특성의 변화를 유발한다. 따라서 미세조직 제어를 통한 저합금강 배관재의 기계적 특성 개선을 위해서는 냉각속도에 따른 미세조직 변화에 대한 정량적인 분석이 필요하다. 본 연구에서는 합금원소 조절을 통해 기계적 특성을 개선한 SA508 Gr.1A 저합금강 배관제 시제품을 이용하여 냉각속도 변화에 따른 미세조직의 변화를 체계적으로 분석하고자 하였다. 이를 위해, 냉각속도를 0.1°C/s부터 100°C/s까지 조절하여 딜라토미터 분석을 수행하여 SA508 Gr.1A 저합금강의 상변태 거동을 분석하였다. 또한 OM, EBSD, 나노압입시험을 통해 두 가지 이상의 상을 가지는 저합금강의 상분율을 정량화하고, 각 분석법의 결과를 비교/분석하였다.

[P24-10]

냉각속도에 따른 주증기배관용 SA508 Gr.1A 저합금강의 상분율 및 파괴특성 분석 : 현세미 (한국원자력연구원), 박근호 (한국원자력연구원, 충남대학교), 홍석민, 김종민, 김민철* (한국원자력연구원)

Keywords: SA508 Gr.1A 저합금강, 냉각속도, 상분율, 파괴인성

원자력발전소의 주증기배관은 오스테나이트화 열처리 후 수냉과 템퍼링 과정을 통해 제작된다. 이때 배관의 두께에 따라 냉각속도가 달라지며, 이로 인해 미세조직의 차이가 발생한다. 상분율, 결정립 및 석출물 크기와 같은 미세조직의 차이는 기계적특성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 원하는 기계적 특성을 확보하기 위해서는 냉각속도의 변화에 따른 미세조직 형성과 기계적 특성 변화에 관한 연구가 수행되어야 한다. 기존 연구에서는 미세조직의 구별이 뚜렷한 소재를 이용했으나, 두 가지 이상의 상을 가진 저합금강의 상분율에 따른 기계적 특성 변화에 대한 연구는 부족하다. 따라서 본 연구에서는 딜라토미터 분석을 통해 실제 열처리 블록의 냉각속도인 0.3°C/s, 1.2°C/s, 15°C/s의 조건에서 SA508 Gr.1A 저합금강의 상변태 거동을 확인하고, 냉각속도에 따른 상분율의 변화가 파괴 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 딜라토미터 분석 결과, 0.3°C/s 조건에서는 페라이트와 펄라이트, 그리고 소량의 베이나이트가 형성되었으며, 1.2°C/s 조건에서는 페라이트와 펄라이트의 분율은 감소하고 베이나이트의 분율이 증가하였다. 15°C/s의 급냉 조건에서는 대부분이 저온변태상인 베이나이트와 마르텐사이트가 형성되는 것으로 나타났다. 냉각속도가 증가함에 따라 저온변태상 분율의 증가로 주증기배관의 사용온도인 286°C에서의 인장 및 J-R 파괴저항성이 향상되었다. 그러나 15°C/s의 급냉조건에서는 동적변형시효 현상이 유발되어 강도는 크게 증가한 반면, J-R 파괴저항성은 감소하였다. 저온에서의 파괴 인성은 냉각속도의 증가로 저온변태상이 형성되어 충격천이특성과 천이영역 파괴인성이 향상되는 경향이 나타났다.

[P24-11]

초초임계 고효율 화력발전 보일러용 후보소재의 피로 수명 예측을 위한 모델 연구 : 김대웅 (한국표준과학연구원, 서울과학기술대학교), 임재용 (서울과학기술대학교), 홍성구* (한국표준과학연구원, 과학기술연합대학원대학교)

Keywords: 화력발전, 보일러, 피로, 수명

초초임계 고효율 화력발전의 설계 및 운전 조건에서의 구조적 신뢰성 평가를 위해서는 경제성과 정확한 피로 수명 예측이 필수적이다. 본 논문에서는 보일러 튜브 후보소재들의 피로 수명을 예측하는 통합 모델을 개발하기 위하여 새로운 에너지 기반 접근법을 제시한다. 제안된 방법은 Mashing 거동과 cyclic stress-strain 관계, 그리고 기존의 응력 기반 또는 변형률 기반 피로 수명 예측 모델을 활용한다. 이는 modified morrow 모델의 구조를 따르는데, 이 모델은 재료의 인성(온도 보상 파라메터)을 Morrow 모델에 포함하여 온도의 영향을 고려한다. 본 모델은 기존에 개발된 Modified morrow 모델과 다르게 재료의 인성을 평가하기 위한 인장시험을 생략해도 된다는 것이며, 그 대신 피로 시험 결과로부터 모든 재료상수를 도출할 수 있다. 본 연구에서는 오스테나이트계 소재를 대표로하여, 모재 및 용접소재를 활용하여 전 온도에서의 피로 데이터를 사용하여 모델을 검정하였다. 이는 다양한 초초임계 보일러 튜브 재료와 그 용접부에 걸쳐 높은 정확도를 나타내었으며, Modified morrow 모델의 성능과 거의 동등하였다.

[P24-12]

Ti 첨가를 통한 Al-Fe-Cr-Ni-Co 합금의 석출상 제어 및 상온·고온 기계적 물성 강화 연구 : 송호섭, 최지석 (삼기), 심종철 (인성), 윤상일* (삼기)

Keywords: Microstructure, Precipitation hardening, Mechanical properties

금속재료는 그 소재와 제조·가공 조건에 따라 다양한 성질을 가지며 다양한 환경에서 각 조건에 맞는 소재가 사용된다. 산업이 발전함에 따라서 점차 극한의 환경에서 활용할 수 있는 재료의 필요성이 대두되었다. 그 중에서도 Ni계 초합금은 약 700 ºC의 사용온도에서 우수한 기계적 성질을 갖는 것으로 널리 알려져 있으나, 최근 Ni 원자재 가격의 급격한 상승에 Ni원소 저감형 또는 대체할 수 있는 합금 개발이 시급해지고 있다. 상온에서 우수한 기계적 특성을 갖는 것으로 보고되었다. 이는 대게 B2-NiAl 석출상의 형성과 변형 시 석출상의 상변태에 기인한다. 그러나 B2-NiAl은 상대적으로 고온에서 연화가 발생하는 것으로 알려져 있어, 약 700 ºC 정도의 고온에서 제한적인 특성을 나타낸다. 따라서 본 연구에 서는 뛰어난 상온물성을 갖는 $Al_{0.5}FeCrNiCo$ 합금과 700 ºC의 높은 온도에서도 우수한 기계적 성질을 갖는 L_{21}-Ni_2TiAl 상의 형성을 유도하기 위해 Ti를 첨가한 합금의 고온 변형 거동 및 기구에 대해 규명하고자 하였다. 구체적으로 $Al_{0.5}FeCrNiCoTix$(x=0, 0.1, 0.2)합금의 미세조직과 기계적 물성에 대해 X선 회절, 주사전자현미경, 투과전자현미경, 만능재료시험기를 활용하여 연구하였다.

P25 : 에너지재료
Room 2층 로비, 10월 30일

[P25-1] Canceled

$BaTiO_3$(BTO)의 분말 크기 및 승온 속도에 따른 소결 특성 연구 : 정재훈 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 현승균 (인하대학교), 정하국, 이종범* (한국생산기술연구원)

Keywords: BaTiO3, MLCC, 소결

적층 세라믹 콘덴서라 불리는 MLCC(Multi-Layer Ceramic Capacitor)는 Capacitor의 한 종류로 전기에너지를 저장했다 일정량 공급하는 댐 역할을 하는 수동부품으로 다른 Capacitor에 비해 다양한 환경에서 안정적으로 작동하고 대량생산과 소형화에 유리한 장점을 가지고 있다. 최근 휴대용 전자기기의 수요증가에 맞물려 전자제품의 다기능화 및 경박 단소화로 MLCC의 수요가 증가하고 있으며 전장용 및 산업용에 대응하는 고신뢰성이 중요해짐에 따라 미세구조 개선의 중요성이 부각되고 있다. 미세구조 개선을 통한 MLCC의 용량구현과 신뢰성을 향상시키기 위해 여러 소결 변수에 의한 입성장과 치밀화관련 많은 연구가 진행되고 있으나 승온속도 차이에 따른 입성장과 치밀화 등 소결 특성 관련된 연구는 드물다. 본 연구에서는 MLCC 유전체로 사용되는 $BaTiO_3$ (BTO)를 사용하여 다른 입도 크기의 BTO 분말을 이용하여 다양한 승온 속도에 의해 BTO를 소결하여, 분말 크기 및 승온속도 차이에 따른 BTO 소결체의 입성장과 치밀화에 미치는 영향을 탐구하였다. BTO 분말 입도 크기는 150 nm 및 250 nm이며, 1축 가압(300MPa) 후 성형체 BTO를 타겟 온도 1200 ºC까지 승온 속도에 차이를 두어 (10 ºC/min, 50 ºC/min, 100 ºC/min) 소결하였다. XRD, SEM 및 Archimedes 원리에 의해서 각 소결체의 결정 구조, crystallite size 및 밀도 측정을 통해 BTO 입도 크기 및 승온 속도에 따른 소결체의 입성장 및 치밀화에 미치는 영향에 대해서 알아보았다.

[P25-2]

Li-ion transport kinetics of $Li_{10}GeP_2S_{12}$ solid electrolyte and its response to isovalent cation substitutions (X = C, Co, Pb, Ti, Sb, Nb, Mn, Bi): density functional theory and machine-learning-assisted molecular dynamics study : KO HYEOKJIN, CHO MINHA, and CHOI YONGSEOK* (Dankook Univ.)

Keywords: Solid electrolyte, $Li_{10}GeP_2S_{12}$, Molecular dynamics, Density Functional Theory

Although the superior mechanical properties and non-flammability of solid electrolytes substantially improve the safety of Li-ion batteries, these merits are mostly nullified by lower Li ionic conductivity than the organic counterpart. However, the discovery of lithium superionic conductors, such as $Li_{10}GeP_2S_{12}$ (LGPS) with its ionic conductivity comparable to that of the liquid electrolytes used in current Li-ion batteries, marks a turning point as it opens the potential for fast-charging solid-state batteries. In this study, we explore the LGPS-based solid electrolytes with even higher ionic conductivity by adding cation dopants. Using density functional theory (DFT) calculations and machine-learning-based molecular dynamics (ML-based MD) simulations, we demonstrate the crystal structures of LGPS after doping eight different cations of C, Co, Pb, Ti, Sb, Nb, Mn, and Bi. The thorough comparative analysis suggests C and Pb are promising dopants that can enhance the ionic conductivity up to 43.5%. The intrinsic atomic mechanisms responsible for this enhanced ionic conductivity are further elucidated by analyzing two Li-ion transport mechanisms of paddle-wheel dynamics and cooperative hopping. With a particular focus on the dopant properties on the dynamics of Li-ions and surrounding tetrahedra, we also provide a fundamental guideline for developing solid electrolytes with superior conductivity.

[P25-3]

PAN 기반 분리막을 통한 바나듐 양극재를 사용한 수계 아연 이온 전지의 저속 수명 특성 보고 : 이은서, 이진영, 박세영, 박유진, 전유은, 민성욱* (경기대학교)

Keywords: 수계 아연 이온 전지, Polyacrylonitrile (PAN), 겔 전해질

수계 아연 이온 전지는 환경친화적이고 수계 전해질을 사용해 안전하다는 장점이 있어 차세대 에너지 저장 장치의 배터리로 주목받고 있다. 바나듐 산화물은 높은 이론 용량과 우수한 수명 특성으로 인해, 수계 아연 이온 전지의 대표적인 양극 소재로 평가받고 있다. 그러나 낮은 전류밀도에서 바나듐 양극을 사용하는 경우에 빠른 용량 감소와 짧은 사이클 수명 등의 문제가 발생한다. 이러한 문제점의 원인은 전해질과 전극 간의 비효율적 상호작용으로 인한 덴드라이트 형성, 전해질 불안정성으로 여겨진다. 이러한 점에서 겔 전해질은 기존의 수계 전해질에 비해 비교적 낮은 이온전도도를 가지지만 뛰어난 기계적, 물리적 유연성으로 높은 안정성을 제공하고, 전극과의 접촉 저항을 줄여 덴드라이트 형성을 억제할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 전기방사법으로 제작한 PAN(Polyacrylonitrile) 기반의 분리막을 침지 후 만들어진 겔 전해질을 사용해 덴드라이트 형성 억제 및 전극과 전해질 간의 상호작용에 의한 배터리의 전기화학적 특성을 조사하였다. 비교군으로 보편적으로 쓰이는 Glass fiber 분리막에 액상 전해질을 사용한 셀을 사용하였으며, 이에 따른 배터리의 용량과 사이클 특성 및 계면 저항을 측정하였다. 또한 소재의 내구성에 대한 평가를 위해 사이클 특성 평가 후 셀 내부의 양극과 음극의 소재 분석을 진행하였다.

[P25-4]

Enhancing Durability and Capacity Retention of Ultrafine-Grained Aluminum Foil Anodes in Lithium-Ion Batteries : Hee-

Tae Jeong and Woo Jin Kim* (Hongik University)
Keywords: Aluminum: Ultrafine Grains: High Strength: Li-ion Batteries: Capacity

In this study, we present our successful fabrication of commercial-grade pure aluminum anode foil (99.5%, 2NAl) with an ultrafine-grained (UFG) microstructure and high hardness, achieved through cold rolling. Under identical rolling conditions, a coarse-grained microstructure with a low hardness was attained from the high-purity Al foil (99.99%, 4NAl). The UFG 2NAl foil exhibited enhanced lithium-ion diffusivity and reduced nucleation and activation overpotentials for forming the β-LiAl phase compared to the 4NAl foil. The high-density grain boundaries in the UFG 2NAl foil facilitated the rapid formation of a uniform β-LiAl phase layer on its surface, thereby mitigating mechanical damage within the β-LiAl phase layer caused by volume changes during the lithiation and delithiation processes. The high hardness of the UFG 2NAl sample effectively prevented macroscopic plastic deformation during cycling, thus preserving the integrity of the β-LiAl phase layer and inhibiting the formation of cracks within the unreacted Al matrix. The collective advantages of reduced overpotential, enhanced Li-ion diffusivity, and high resistance to mechanical damage and plastic deformation in UFG 2NAl contribute to its superior durability and capacity retention compared to the high-purity Al in electrochemical cycling.

[P25-5]
Deformation Mechanism Maps of Pure Lithium: Their Application in Determining Stack Pressure for All-Solid-State Lithium-Ion Batteries : Hee-Tae Jeong and Woo Jin Kim* (Hongik University)
Keywords: Deformation: Friction: Grain: Metals: Stress

This study provides a guide for enhancing the stability of the interface between the Li metal anode and solid-state electrolytes (SSEs) in all-solid-state Li-ion batteries by controlling stack pressure. It begins by formulating constitutive equations for various creep deformation mechanisms in pure Li, based on a careful analysis of the experimental data for Li gathered from the literature over the past 60 years. This analysis facilitates the construction of comprehensive deformation mechanism maps (DMMs) for pure Li. Next, it is demonstrated how DMMs can aid in determining the ideal stack pressure to mitigate void/dendrite formation at the interface between the Li metal and SSEs. This optimal stack pressure is found to vary depending on factors such as the Li metal thickness, the aspect ratio of the Li metal, current density, grain size of the Li metal, and temperature. Experimental data are compared with the predictions, and the results are discussed.

[P25-6] Canceled
Ru2P/Ir2P Heterostructure Promotes Hydrogen Spillover for Efficient Alkaline Hydrogen Evolution Reaction : Jae Hun Seol, Seong Chan Cho, and Sang Uck Lee* (Sungkyunkwan University)
Keywords: Alkaline, hydrogen evolution reaction, heterostructure, synergy effect, density functional theory

Efficient and durable electrocatalysts toward alkaline hydrogen evolution reaction (HER) are of great significance for the widespread application of anion-exchange membrane water electrolyzer (AEMWE). Numerous single-phase catalysts, such as Ru_2P, have been explored as efficient HER catalysts: however, many have failed to overcome the inherent sluggish kinetics of the two separate steps involved in the alkaline HER: water dissociation and hydrogen production. In this study, density functional theory calculations are conducted to identify promising combinations of Ir_2P and Ru_2P materials that promote fast cascade water dissociation and H_2 production via kinetically favorable hydrogen spillover from the Ru2P surface to the adjacent Ir_2P. An unprecedented construction of Ir_2P cluster-decorated Ru_2P hollow nanotubes (c-RP/IP HNTs), which feature a cooperative heterostructural synergy is developed. This configuration shows greater performance than commercial Pt/C, achieving an overpotential of 23.2 mV at 10 $mAcm^{-2}$ and maintaining long-term stability for 55 h in half-cell tests. Furthermore, the practical AEMWE test, incorporating c-RP/IP HNTs, demonstrated a remarkable single-cell performance of 12.23 A cm−2 at 2.0 V and operated stably under 1.0 A cm^{-2} for over 250 h. This surpasses that of the state-of-the-art proton-exchange membrane WE.

[P25-7] Canceled
Enhancement of Performance and Stability in Lithium-Silver Alloy Anode through Microstructure Adjustments : Seungho Lee, Chaeyeon Yeom, and Jonghyeon Lee* (Chungnam National University)
Keywords: LMBs, Li-Ag alloy, annealing process, mircostructure, dendrite

Lithium-metal batteries (LMBs) are advantageous in that they offer high-energy-density energy storage. Unfortunately, their commercialization is hampered by the collapsing structure of the lithium-metal anode during cycling, their low cycling stability due to the formation of lithium dendrites, and their poor capacity retention. In this study, we developed a lithium-silver alloy, which contains 10 at% silver (AL10), and has a redox potential similar to that of Li/Li^+ as a result of electrochemical alloying with silver. Furthermore, adjustments of AL10 by altering its microstructure using an annealing process (AL10-A), can induce more homogenous lithium electrodeposition, effectively suppress lithium dendrites, and increase the diffusion rate of lithium ions. As a result, a symmetric cell with AL10-A as the anode could operate stably for a long time of lithiation/delithiation with a small deviation. Moreover, the capacity retention of the full cell, with AL10-A as the anode paired with delithiated NCM as the cathode, remained high and the cell exhibited excellent rate capabilities.

[P25-8] Canceled

Impact of Grain Boundary Engineering on Lithium Kinetics in Li-Mg Alloy Anodes for Li-ion Batteries through Controlled Cooling and Cold Rolling : Chae Yeon Yeom, Woo Seok Choi, Seung Ho Lee, and Jong Hyeon Lee* (Chungnam National University)

Keywords: Li-ion battery, Anode, Li-Mg alloy, Grainboundary

Li-ion batteries (LIBs) are crucial for electric vehicles and electronic devices due to their increasing demand. Developing anode materials with high energy, output, and cycling characteristics is vital. Li-metal anodes are promising for their high theoretical capacity and low reduction potential. However, their high reactivity with the electrolyte causes uneven SEI layers and low coulombic efficiency. Additionally, cycling-induced cracking and Li dendrite formation lead to degradation, safety issues, and internal short circuits. Li–Mg alloy is notable for its broad solid solution range, allowing high specific capacity without phase transformation and avoiding intermetallic compounds. The alloy forms a binary system with unique grain boundary (GB) segregation characteristics. During casting, Li tends to segregate at the GBs, forming a Li-rich phase. This study examined Li-kinetics in Li-Mg alloys by controlling GB density through cold rolling and controlled cooling rates. Results showed that when GB density was increased to an appropriate level, cycling performance improved. The improvement is due to the Li-rich phase at GBs, which enhances Li-ion movement and increases ion transfer rates. Furthermore, various electrochemical analyses identified the optimal grain size for the Li-Mg alloy.

[P25-9] Canceled

탄소 중립 제철을 위한 알칼리 전해질 기반 Fe_3O_4의 전해 환원 연구 : 박성현, 최우석, Hayk Hacob Nersisyan, 이종현* (충남대학교)

Keywords: 탄소 중립 공정, 수소, 전해환원, 산화철, 마그네타이트

지구 온난화의 심화로 인해 친환경 공정 개발에 대한 관심이 증대되면서, 제철 및 비철금속 산업 또한 탄소 중립 공정의 개발이 요구되고 있다. 현재 대부분의 친환경 제련 공정은 CO_2 배출을 줄이기 위해 코크스를 수소로 대체하여 H_2O의 발생을 목표로 연구가 진행 중이다. 그러나 수소 환원 공정에서 필요한 대량의 수소는 고가의 전기분해 과정을 통해 생산되므로, 공정 단가를 낮추기 위한 수소 촉매와 물 전기분해에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 기존 수소 환원 공정은 수소를 제조하는 electrolysis 단계와, 제조된 수소를 사용하여 산화철을 환원하는 열 환원 단계로 구분된다. 하지만, 전해 환원 공정을 도입하면 수소생산에 투입되는 전기에너지를 직접 환원공정에 투입하고, 고온의 열 환원 공정을 생략함으로서 보다 효율적으로 산화철로부터 직접 Fe로 환원할 수 있다. 본 연구에서는 마그네타이트(Fe_3O_4)을 원료로 사용하여 알칼리 조건의 NaOH 전해질에서 Fe_3O_4의 전해환원에 대한 연구를 수행하였다. 온도에 따른 Cyclic Voltammetry와 Electrochemical Impedance Spectroscopy를 통해 Fe_3O_4의 전기화학적 거동을 평가하였으며, 정전류법을 이용하여 Fe_3O_4의 전해 환원 실험을 진행하였다. 또한, 실험 전, 후 XRD, XPS 그리고 SEM/EDS 측정을 통해 직접 환원철의 특성 분석을 진행하였다.

[P25-10]

리튬 이차전지용 Si-Al-Ti-Fe 나노 복합 구조 합금의 설계 및 전기화학적 특성 평가 : 김지용 (인하대학교), 서종민, 양정윤, 석은, 정구환 (강원대학교), 성재욱, 현승균* (인하대학교)

Keywords: 리튬 이차전지, 실리콘 합금, 음극 소재, 전기화학적 특성, 미세조직

현재 리튬 이차전지의 음극 소재로 널리 사용되는 탄소계 음극재는 낮은 이론 용량(372 mAh/g)으로 인해 한계가 있다. 따라서 최근에는 높은 이론 용량을 가진 실리콘 음극재가 주목받고 있다. 실리콘은 4,200 mAh/g의 높은 이론 용량을 가지지만, 충 방전 시 심각한 부피 팽창으로 인해 구조적 손상과 SEI 층의 불안정성이 발생한다. 이를 해결하기 위해 SiO_x, Si-C 복합재, 실리콘 합금 등 구조에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 그중 실리콘 합금은 상태도를 기반으로 한 합금 설계가 가능하기 때문에 미세조직과 비용량을 예측 및 제어할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 상태도를 바탕으로 고용량 Si-Al-Ti-Fe 합금을 설계하였으며, 합금 조성의 변화에 따른 전기화학적 특성의 변화를 관찰하였다. 미세조직 분석에는 FE-SEM, XRD, TEM을 사용하였고, 전기화학적 특성은 Coin cell 평가를 통해 진행하였다. 그 결과, 합금 조성의 제어를 통하여 높은 비용량 및 우수한 수명 특성을 갖는 합금 개발에 성공하였으며 합금의 조성에 따른 미세조직의 변화와 전기화학적 특성의 관계를 고찰하였다. 이러한 결과 및 고찰은 고성능 리튬 이차전지의 상용화에 중요한 기초 자료를 제공하며, 차세대 전기차 및 에너지 저장 장치의 성능을 향상시켜 전지 산업에 기여하는 바가 클 것으로 기대된다.

[P25-11]

리튬이온이차전지용 1,800mAh/g 실리콘 음극 소재 개발을 위한 나노 복합 구조 실리콘 합금 설계 : 김재원 (인하대학교), 서종민, 양정윤, 석은, 정구환 (강원대학교), 성재욱, 현승균* (인하대학교)

Keywords: 리튬이온이차전지배터리, 실리콘 음극재, 실리콘 합금, 활성상/비활성상 매트릭스

실리콘은 높은 이론 용량(Li22Si5 기준 4200 mAh.g), 낮은 환원전위, 풍부한 매장량으로 인한 낮은 원가 덕분에 탄소계 음극재 소재를 대체할 수 있을 것으로 고려되고 있다. 그러나, 실리콘 음극재는 리튬화/탈리튬화 과정 중에 발생하는 심각한 부피 변화(300-400%)에 의한 균열 및 분쇄, 과도한 SEI 성장, 초기 효율 감소, 사이클링 특성 악화 등의 문제점이 존재해 상용화에 걸림돌이 되고 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 부피 변화에 의한 기계적 응력을 감소시키는 방향으로 저차원-실리콘 나노구조, SiOx, Si-C 복합소재, 실리콘 합금 등의 연구가 진행되고 있다. 특히, 실리콘 합금에 관한 연구는 상태도를 바탕으로 한 합금설계를 통해 실리콘 합금의 미세조직과 비용량을 예측하고 제어할 수 있으며 비교적 저렴한 공정으로 대량생산이 가능하다는 장점을 가지고 있으나 다른 연구에 비해 많은 연구가 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 활성상/비활성상 매트릭스(Active/Inactive matrix) 구조 설계를 활용한 Si-Ti-Al-Cu 합금을 설계한 후, 급속응고장치(RSP)를 사용해 실리콘 합금 음극재를 제조하였다. 상술한 활성상/비활성상 매트

릭스 구조 설계는 실리콘 합금 내 실리콘 활성상이 리튬과 반응할 시 발생하는 부피 팽창을 주변의 비활성상이 억제해 기계적 응력을 감소시켜 주는 것으로 알려져 있고 급속응고장치는 10^4~10^7 K s^{-1}의 매우 빠른 응고속도로 실리콘 활성상의 미세조직을 나노화 시킬 수 있는 공정이다. 제조된 실리콘 음극재는 SEM, XRD, TEM, Coin cell 평가를 통해 미세조직과 전기화학 특성을 분석하였고 우수한 수명특성과 1800 mAh/g 급 비용량(Gravimetric capacity)을 가지는 실리콘 음극재 개발에 성공하였다.

[P25-12]

리튬 이온 배터리용 알루미늄 음극재의 표면 개질을 통한 효율 향상 : 문준혁 (서울대학교), 류채우* (홍익대학교), 박은수* (서울대학교)

Keywords: 열기계적 나노 성형, 알루미늄 음극재, 표면 개질

리튬 이온 배터리의 성능 개선을 위한 소재 개발 연구는 전 세계적인 탄소 중립 및 친환경 에너지 전환 노력과 맞물려 지속적으로 진행되고 있으며, 특히 전극 물질은 배터리의 용량과 수명 등 주요 성능 지표에 중대한 영향을 미치기에 그 연구 개발의 필요성이 더욱 증대되고 있다. 현재 음극재로 주로 사용되는 흑연은 충방전시 부피 변화가 적어 배터리의 안정성을 높이는 장점이 있으나, 용량이 낮아 이를 대체할 물질에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 대안 중 하나로 알루미늄은 높은 용량 특성으로 인해 흑연을 대체할 물질로 주목받고 있으나, 리튬화 과정에서 발생하는 부피 팽창이 재료의 균열과 분해를 초래하여 배터리 성능을 저하시키는 문제가 여전히 존재한다. 본 연구에서는 열기계적 나노 성형(Thermomechanical nanomolding, TMNM) 기법을 이용하여 알루미늄의 표면을 개질하여 부피 변화에 따른 소재의 손상을 최소화함으로써 배터리의 안정성과 용량을 향상하고자 하였다. 또한, 표면 개질로 인해 변화한 표면 형상이 리튬 이온의 거동에 미치는 영향을 분석하고, 이로 인한 상변화 거동에서 알루미늄 음극재의 파괴 정도를 고찰하였다. TMNM 기법으로 개질 된 알루미늄 음극재는 리튬 이온과 알루미늄과의 반응으로 형성된 새로운 합금에 의한 부피 팽창 충격을 완화하여, 충방전 사이클 동안 안정성을 유지하였으며, 이는 리튬 이온 배터리의 성능을 향상하는데 기여하였다. 이와 같은 표면 개질 기술은 차세대 리튬 이온 배터리 개발에 중요한 정보를 제공할 것으로 기대된다.

[P25-13] Canceled

음극의 DLC 코팅을 활용한 수계 아연 이온 전지의 전기화학적 성능 연구 : 이진영, 민성욱*, 이은서, 박세영, 박유진, 전유은 (경기대학교)

Keywords: 수계 아연 이온 전지, DLC (Diamond-like Carbon)코팅, 음극

에너지 저장 시스템(Energy Storge System, ESS)에는 리튬 이온 배터리(LIB)가 사용되는데, 유기 전해질의 사용으로 화재위험성에 대한 문제점이 대두되고 있다. 그에 따라 수계 전해질을 사용한 아연 이온 전지 (Zinc-Ion Batteries, ZIBs)에 대한 관심이 증가되고 있는데, 이러한 수계 아연 전지는 높은 부피당 밀도, 낮은 비용 및 뛰어난 안전성 등의 장점을 제공한다. 하지만, 수계 아연 이온 전지 음극에서 발생하는 덴드라이트는 전지의 안정성 저하의 주요 원인이 되고 있어, 이의 성장을 억제하기 위한 음극의 개발이 필요하다. DLC(Diamond-like Carbon) 코팅의 경우 전기전도도를 높이고, 전해질과의 접촉을 줄여 안정성을 향상시킨 보고가 존재한다. 이러한 보고를 토대로 수계 아연 이온 전지에서의 DLC 음극 코팅이 수계 아연 전지의 전기화학적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 코팅은 10 nm, 20 nm, 30 nm의 두께로 진행하였으며, 음극의 전기화학적 성능과 안정성을 평가하기 위해 1 mA/cm^2의 전류밀도에서 대칭 셀 테스트를 진행하였다. 그 결과 Bare Zn 대칭 셀이 약 15시간 뒤 열화가 일어난 것에 비해 DLC 코팅한 아연 음극의 경우 50시간 이상 지속됨을 확인하였으며, 이는 덴드라이트 생성의 억제를 의미한다. 또한 Voltage Hysteresis의 경우 30 nm의 DLC 코팅 음극이 가장 낮은 값을 가져, 효율적인 에너지의 변환이 가능함을 의미한다. 이러한 결과를 통해 양극과의 반응성을 확인하여 DLC 코팅 음극의 전기화학적 분석을 진행하였고, 차세대 ESS 전지의 적용에 대해 논의하고자 한다.

[P25-14]

Characterization of High-Capacity GeP_5/C Composite Anode Materials for Potassium-Ion Batteries : Eun-San Jo and Chan-Jin Park* (Chonnam National University)

Keywords: Potassium-Ion Batteries: High energy ball-milling: Alloy-based anode: Carbon coating

Due to the increasing demand and rising prices of lithium-ion batteries (LIBs), research on potassium-ion batteries (PIBs), one of the next-generation batteries, is also becoming more active. Potassium is abundant in the Earth's crust (20,000 ppm) and possesses a standard redox potential close to that of lithium (-2.93V vs. SHE), with a small Stokes radius, allowing for high ion mobility. However, when graphite is used as an anode material in PIBs, it exhibits poor cycle life and a limited capacity of 273 mAh g^{-1}, highlighting the need for research into more suitable anode materials. Meanwhile, GeP5, an alloy-based phosphide anode material, has four times higher electrical conductivity compared to graphite and features a layered structure similar to black phosphorus, making it advantageous for potassium-ion storage. In particular, the red phosphorus used in the synthesis is low-cost, chemically stable, and offers a high theoretical capacity of 1,154 mAh g^{-1} when alloyed with potassium to form K4P3. However, phosphorus undergoes significant volume expansion during the alloying reactions associated with charge and discharge cycles, and this issue similarly arises in GeP5 alloys with high phosphorus content. Therefore, in this study, GeP5 was synthesized using high-energy ball milling, and carbon coating was applied to mitigate the volume expansion. The most promising sample, GeP5/C-30, with 30wt% carbon content, demonstrated reversible capacities of 568.11 and 413.90 mAh g^{-1} after 100 cycles at current densities of 100 and 300 mA g^{-1}, respectively, during galvanostatic discharge-charge tests. Additionally, at a current density of 800 mA g^{-1}, the sample exhibited a reversible capacity of 185.72 mAh g^{-1} after 500 cycles, with a capacity retention rate of 54.57%. Subsequently, a PIB full cell was fabricated using the GeP5/C-30 anode and a KFe[Fe(CN)6·xH2O] cathode, which demonstrated a reversible capacity of 271.09 mAh g^{-1} after 200 cycles at a current density of 300 mA g^{-1}. These results suggest that the GeP5/C-30 anode material has significant potential as a high-capacity anode material for PIBs.

[P25-15] Canceled
마그네슘 열환원을 통한 특정 결정면 성장 고엔트로피 탄화물 나노 촉매 합성 및 수전해 특성 평가 : 정준모, Hayk Nersisyan, 이종현* (충남대학교)
Keywords: 고엔트로피, 수소, 촉매
금속 산업은 산업부문 온실가스 배출량의 38.3%를 차지하며, 산업부문 중 가장 많은 온실가스를 배출하고 있다. 온실가스 배출을 줄이기 위해 금속산업에서는 철광석을 수소로 환원시키는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 위해서는 고순도 수소가 요구된다. 고순도 수소는 대부분 전기분해를 통해 얻어지며, 고가의 금속인 Pt를 촉매로 사용하기 때문에 이를 대체하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 수소 발생용 촉매로 {100} 및 {111} 면이 노출된 단결정 고엔트로피 탄화물 나노 결정(High Entropy Carbide, HEC)을 합성하기 위해 새로운 마그네슘 열환원 방법을 사용했다. 마그네슘 열환원 반응 중 액체 Ni이 HEC {111} 면의 성장 억제를, 액체 Al이 {100} 면의 성장을 억제함을 확인하였다. HEC는 10 mA/cm^2 기준으로 0.159 V의 낮은 과전압으로 수소 생성 반응에 대한 우수한 전기촉매 활성을 보인다.

[P25-16]
리튬이온이차전지용 나노 복합 구조의 Si-Ti-Al-Ni 음극재 합금 설계에 관한 연구 : 나인성 (인하대학교), 서종민, 양정윤, 석은, 정구환 (강원대학교), 성재욱, 현승균* (인하대학교)
Keywords: 리튬이온이차전지배터리, 실리콘 음극재, 실리콘 합금
실리콘 음극재는 현행 리튬이온이차전지의 흑연 음극재에 비해 높은 이론 용량(4200mAh/g)을 가지고 있어 차세대 음극 소재로 주목받고 있지만, 리튬화/탈리튬화 과정 중에 심각한 부피팽창으로 인해 구조적 손상과 전기화학 특성이 악화되는 문제점이 존재한다. 이를 해결하고자 실리콘 음극재 연구는 실리콘의 형태를 저차원-실리콘 나노소재, SiOx, Si-C 복합재, 실리콘 합금 등으로 변화시켜 부피팽창에 의한 기계적 응력을 감소시키는 방향으로 진행되고 있다. 특히, 실리콘 합금은 상태도를 기반으로 실리콘의 미세조직과 전기화학 특성을 미리 예측하고 합금설계 할 수 있다는 장점을 가지고 있으나 많은 연구가 이루어지지 않았다. 본 연구는 Si-Ti-Al-Ni의 4원계 실리콘 합금을 설계해 실리콘 합금 음극재를 제조하였다. 특히, Ti, Al, Ni의 조성 비율 변화에 따른 미세조직과 전기화학 특성 간의 관계에 관해서 고찰하였다. 제조한 실리콘 음극재는 FE-SEM, XRD, TEM, Coin cell 평가를 통해 미세조직과 전기화학 특성을 분석하였다.

[P25-17]
Experimental Study on an Acoustic Field-Based System for Ultrafine Particle Aggregation : Taehoon Park, Hai-Joong Lee, and Hyo-Soo Lee* (Korea Institute of Industrial Technology(KITECH))
Keywords: Acoustic field, Particle aggregation, Particle filtering
Fine and ultrafine particles in polluted air present significant challenges to human safety and the efficiency of air conditioning systems, especially in high-usage environments. Conventional filtration methods often fail to effectively reduce these particles, leading to increased energy consumption and higher maintenance costs. This study explores a novel approach that utilizes an acoustic field with optimized sound frequency and pressure to reduce ultrafine dust concentrations in the air conditioning system of a large department store—a setting representative of a real-world, high-usage environment. By employing sound-driven particle aggregation, the system enhances fine dust removal while minimizing the pressure differential in the air conditioning system, thereby reducing energy consumption. Key parameters such as airflow, temperature, humidity, and dust concentration were monitored in real time using IoT sensors and cloud-based data analysis. The experimental results showed that at specific frequencies, particularly 53.125 Hz, the system achieved a dust reduction efficiency of up to 99% within 5 minutes, significantly outperforming natural decay conditions. This research not only advances smart building technology but also provides a new perspective on the application of acoustic fields for fine particle aggregation, extending its potential use beyond traditional contexts.

[P25-18]
프로세스에 따른 적층세라믹 콘덴서의 미세조직 및 잔류응력 변화 연구 : 이종범, 정하국* (한국생산기술연구원)
Keywords: MLCC, 잔류응력, XRD, EBSD
전기 자동차의 분야 적용 확대에 따라서 적층세라믹 콘덴서(MLCC)의 수요는 크게 증가되었고 제품의 성능 뿐만아니라 안정성의 요구가 커지면서 신뢰성 문제가 크게 대두되고 있다. MLCC는 수 마이크로의 유전층과 전극층이 수 백층 이상 적층되어 있어 제조 공정 중크랙에 대해 매우 민감한 시스템 구조를 갖고 있다. MLCC 제조는 크게 적층, 가소, 소결 및 도금의 공정으로 이루어져 있다. 각 공정에서의 압력, 분위기 및 온도가 다르고 또한 전극층 소재와 유전층 소재의 열팽창 계수 등의 차이가 있기 때문에 각 공정에 따른 MLCC 내에서의 미세조직 변화가 일어나면서 커버층의 내부응력 변화에도 영향을 줄 것으로 생각되어진다. 본 연구에서는 각 공정에 따른 내부층의 미세조직 변화를 EBSD를 이용하여 커버층의 내부응력 변화와의 관계를 비교 분석해 보았다.

[P25-19] Canceled
열처리 온도에 따른 수열합성법으로 제조된 BaTiO3의 물성 변화 연구 : 이종범, 정하국* (한국생산기술연구원)
Keywords: hydrothermal synthesis, annealing process, XRD, DSC, TEM
BaTiO3는 Cubic 구조에서는 상유전체, Tetra 구조에서는 강유전체를 갖는 소재로서 적층세라믹캐퍼시터 (MLCC) 및 그러한 구조

에 따른 전기적 특성 변화에 의해 압전체로도 많이 사용되어지고 있다. BaTiO3는 크게 고상 및 수열합성법에 의해 제조되는데 수열합성법의 경우 BaOH+TiO3로 고상합성 공정보다 단순하며, 높은 순도 및 나노급 크기의 BaTiO3 분말을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 상용화된 수열합성법에 의해 제조된 BaTiO3 분말을 이용하여 650-900도의 온도 범위에서 6시간 동안 열처리에 의해 초기의 Cubic 구조가 Tetra 구조로 변화되는 상변화 및 분말의 크기 및 분포 변화를 관찰하였다. 초기 Cubic 구조의 BaTiO3는 800도 이하의 온도에서는 상변화는 일어나지 않았으며, 그 이상의 온도에서 Tetra 구조로 변화를 하였다. 또한 DSC 분석에 의해서 열처리 온도가 높을수록 Tetra 구조의 결정화도는 증가됨을 확인하였다. 분말의 사이즈는 열처리 온도가 증가할수록 커졌으며, tetra 구조로 변화 이후의 분말 크기 성장 속도는 급격히 빨라졌다. 열처리 온도에 따른 분말 크기를 비교하여 성장 활성화에너지를 구하였는데 약 33.2 kJ/mol 이었으며, 이는 나노사이즈 효과에 의한 것을 판단되어졌다. TDA 분석에 의해 수열합성 공정 중에 생긴 OH기가 제거에 의해서 중량이 크게 감소되는 것을 알 수 있었다.

[P25-20]

Synergetic Effects of Edge Formation and Sulfur Doping in Graphene-Based Catalyst for an Efficient Oxygen Reduction Reaction : SeKwon Oh* (KITECH)

Keywords: Graphene, ORR, sulfur doping, hydrogen, M-N-C

Transition metal nitrogen carbon complexes (M-N-C) are considered as a promising ORR catalyst to replace Pt [1]. The M-N-C catalysts were synthesized by pyrolyzing mixture of metal, nitrogen and carbon at 400-1000°C. The ORR activity of M-N-C depend on the transition metal and carbon elements. Currently, Fe-N-graphene is regarded as highly active catalyst for ORR among other M-N-C materials [2-4] but still not comparable to that of commercial Pt/C, therefore, many efforts such as modification of structure, doping new atom to promote catalytic activity are in progress. The present work is to enhance oxygen reduction reaction (ORR) activity of transition metal-nitrogen-graphene catalysts through formation of edge site and doping S by facile ball milling method. The edge-activated S-doped Fe-N-graphene (EA-SFeNG) was successfully synthesized by simply mixing graphene oxide (GO), melamine as a nitrogen source, sulfur and iron acetate using ball milling, and then followed by pyrolysis treatment for 2 h at 700 °C, and then optimized to exhibit the best ORR catalytic performance. The ORR performance of the EA-SFeNG was measured to have the onset potential (V_{onset}: 1.02 V_{RHE}) and the half wave potential ($V_{1/2}$: 0.848 V_{RHE}) that is comparable to those (V_{onset}: 1.05V, V1/2: 0.865V) of the commercial 20wt.% Pt/C. The S in the catalyst exists in the form of SOx, and the ball milling process increase edge sites in the catalysts, which acted as a highly ORR active site. It was demonstrated from the measurement of nanoscale work function by kelvin probe force microscopy that the work function of the EA-SFeNG catalyst is significantly reduced by the S doped and the active edge sites formed in the catalyst. Hence, the excellent ORR performance of the EA-SFeNG catalyst can be attributed to the increase in the defect density such as the doping S and the edge site in the graphene.

[P25-21]

Cobalt-iron-phosphorus catalysts for an efficient hydrogen production via hydrolysis of ammonia borane solution : SeKwon Oh* (KITECH)

Keywords: Hydrogen, Ammonia borane, catalysts, hydrolysis, Co-Fe-P

Co-Fe-P catalysts for fast hydrogen generation from hydrolysis of NH3BH3 were fabricated by an electro-deposition. Effects of cathodic current density and plating time on the microstructures of the Co-Fe-P catalysts and their catalytic activities for hydrolysis of NH3BH3 were explored. The microstructure, surface morphologies, and composition of the Co-Fe-P catalysts were analyzed by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS), respectively. Their hydrogen generation kinetics were measured using mass flow meter (MFM). The particle sizes and composition of Co-Fe-P catalysts were depended significantly on the current densities and deposition times during an electro-deposition. As a current density increase, the particle sizes of the Co-Fe-P catalysts increased. With an increase in deposition time, the particles of the Co-Fe-P catalyst get agglomerated densely. The hydrogen generation kinetics of the catalysts was depended largely on their microstructures, which was affected by the electro-deposition conditions such as current density and deposition time. In particular, the Co-Fe-P catalysts, which was deposited at 50 mA for 5min, exhibits the best hydrogen generation rate of 2858.min-1g-1-catalyst in 1 wt% NH3BH3 solution at 30 oC. With an increase in a solution temperature from 10 to 60 oC, the hydrogen generation rate increases dramatically. Specially, at 60 oC, which is the optimal temperature for the best PEMFC operation, the hydrogen generation rate was 8915 ml.min-1g-1-catalyst in 1 wt% NH3BH3 solution at 60 oC. With increasing the concentration of NH3BH3 from 0.5wt% to 3wt% , the hydrogen generation rate of the Co-Fe-P catalyst increased gradually from 1900 ml.min-1g-1-catalyst to 8105 ml.min-1g-1-catalyst . This behavior of the Co-Fe-P catalyst was in contrast with that of noble metals such as Ru and Pt. Since it is necessary to increase the concentration of NH3BH3 in the solution for high hydrogen storage density, it is considered that the Co-Fe-P catalyst is more suitable than noble metal catalysts for a practical use.

[P25-22]

Effect of Heat and Chemical Treatment on the Corrosion Resistance and Contact Resistance of Ferritic Stainless Steel : JinHo Park* (Korea Atomic Energy Research Institute)

Keywords: Stainless steel, Corrosion resistance, Contact resistance

Ferritic stainless steel is widely utilized across various industrial sectors, including power plants, due to its excellent corrosion resistance and mechanical properties. However, many applications demand even higher levels of corrosion resistance and contact resistance. To achieve these enhancements, surface modification combined with immersion in acidic solutions can be employed. This study investigates the enhancement of corrosion resistance and contact resistance of ferritic stainless steel through heat treatment and chemical treatment.

P26 : 고엔트로피합금
Room 2층 로비, 10월 30일

[P26-1]

Unique stacking fault structure in FCC-HCP dual phase high entropy alloy : 김민석, 김지영, 박은수* (서울대학교)

Keywords: High entropy alloy, Dual phase, Stacking fault energy, Low temperature annealing, Atomic ordered structure.

강도와 연성은 구조 재료의 범용적 활용을 위해 확보해야만 하는 가장 중요한 기계적 특성이다. 하지만, 일반적으로 합금의 강화 메커니즘은 필연적으로 연신율의 감소를 동반하며 반대로 연신율의 증가는 합금의 강도를 감소시키는 경향이 있다. 최근 이러한 Strength-ductility trade-off 현상을 극복할 수 있는 TRIP/TWIP 고엔트로피 합금 (HEA)이 연구 개발되고 있으며 차세대 구조재료로써 각광받고 있다. 특히 FCC와 HCP 상으로 구성된 Dual phase High Entropy alloy (이하 DP-HEA)는 다중 변형 메커니즘을 가져 고강도이면서도 훌륭한 연성을 가지는 것으로 알려져 관련 합금에 대하여 활발한 연구가 이루어지고 있다. 최근의 연구에 따르면 고엔트로피 합금의 SFE제어를 통하여 변형 메커니즘을 제어할 수 있으며, SFE를 감소시키면 TWIP 메커니즘과 TRIP이 순차적으로 활성화되며 SFE를 극단적으로 감소시킬 경우 FCC상과 HCP마르텐사이트 상이 공존하는 DP-HEA 합금을 설계할 수 있다. 본 연구에서는 열역학 데이터 베이스 기반 시뮬레이션 소프트웨어인 Thermocalc를 활용하여 SFE를 제어하는 것을 통하여 DP-HEA를 설계 및 제조하였다. 제조한 DP-HEA의 초기 미세구조는 균질화 및 퀜칭 공정 이후 FCC상과 HCP 상을 가지는 것으로 확인되었으며, 이후 냉연과 저온 열처리 공정을 통하여 미세구조 최적화를 진행하였다. 이러한 저온 열처리 공정은 국부적 austenitization을 위하여 필수적인 공정으로, 저온 열처리 공정 이후 DP-HEA는 마르텐사이트 상과 준안정 오스테나이트 상 film이 교차되는 복합재 형상의 독특한 미세구조를 형성하였다. XRD 분석을 통하여 국부적인 austenitization이 성공적으로 수행되었음을 확인하였으며, SEM 이미징과 EBSD 분석을 통하여 FCC상과 HCP 상의 분율과 형상에 대한 분석을 진행하였다. 573K의 낮은 온도에서의 열처리만으로도 나노단위의 미세한 FCC상과 HCP상이 교차되는 라멜라 구조를 형성할 수 있음을 확인하였다. 이러한 라멜라 형상의 미세구조는 Phase boundary hardening effect에 의하여 HEA의 인성을 높일 수 있다. 나아가, 본 연구에서는 STEM분석을 통하여 저온 열처리 후 HCP 상 내에 독특한 Atomic ordered structure가 존재하는 것을 확인하였으며, 이러한 heterogeneous한 구조는 전위의 방해물로 작용하여 DP-HEA의 강화 메커니즘으로 작용할 가능성이 있다. 본 연구의 결과는 DP-HEA 합금의 설계 및 Strength-ductility trade off 극복을 위한 연구 방법론에 대한 가이드라인으로써 활용될 수 있을 것으로 사료된다

[P26-2]

FCC 컴플렉스 고용 합금계의 조성-온도-결정립-강도 상관관계 구축 : 김동환, 안혜상, 류욱하 (서울대학교), 정휘윤, 이제인 (부산대학교), 박은수* (서울대학교)

Keywords: 고엔트로피 합금, 기계적 물성, 항복 강도, 전기음성도, 비선형 회귀

금속계에 컴플렉스 고용 합금이라는 새로운 개념이 도입된 이래로, 그 기계적 물성에 대한 연구가 다양한 방면에서 진행되어 왔다. 예를 들어 여러 종류의 4주기 전이 금속 원소들이 혼입된 FCC 컴플렉스 고용 합금계는 극저온 조건에서 우수한 항복 강도와 파괴 인성을 나타낼 수 있음이 보고되기도 하였다. 그러나 특정한 주요 원소와 미량의 첨가 원소로 구성된 전통적인 합금에 비해 정해진 주요 원소가 없는 컴플렉스 고용 합금은 선택할 수 있는 조성 범위가 훨씬 넓어 자유도가 너무 높기 때문에, 원하는 수준의 특성을 지닌 신합금을 설계하기 위해 훨씬 더 많은 시간과 노력을 들여야 한다는 어려움이 있다. 이러한 노력의 범위를 줄이고 컴플렉스 고용 합금을 구조 재료로써 더 효율적으로 활용하기 위해서는, 이러한 미지 합금계의 물성을 실험 없이도 간접적으로 예측할 수 있는 수단이 필요할 것이다. 본 연구에서는 합금계 조성의 전기음성도 차이 값을 활용하여 컴플렉스 고용 합금의 기계적 물성을 예측하고자 하였다. 우선 Ni-Fe-Cr 컴플렉스 고용 합금계를 선택하였고, 다양한 조성을 가진 fcc 단상 합금 시편들을 제작하였다. 여러 가지 결정립 크기와 온도 조건에서의 인장 시험을 통해 그 항복 강도를 확보하여 전기음성도 차이와의 상관관계를 분석하였고, 나아가 파이썬 모듈을 통한 비선형 회귀를 활용하여 조성-온도-결정립에 따른 항복 강도의 일반적인 관계식을 도출하였다. 또한 이 일반식을 사용하여 FCC 단상의 컴플렉스 고용합금이 조성, 온도 및 결정립이 제어된 환경에서 1GPa에 준하는 항복 강도를 나타낼 수 있음을 예측하기도 하였다. 본 연구를 통해 미지조성 합금의 기계적 물성을 간접적으로 예측하고, 원하는 수준의 특성을 지닌 새로운 합금계의 개발을 위한 최적 조성을 선정하는 데 도움을 줄 수 있으리라고 기대한다.

[P26-3]

Engineering mechanical characteristic of Cr-Mn-Fe-Co-Ni Complex Concentrated Alloys (CCAs) under Varied Stress/Strain Conditions : 예정원, 김민석, 김지영, 박은수* (서울대학교)

Keywords: Complex concentrated alloys (CCAs), Formability, Deformation mechanism, Fracture forming limit diagram (FFLD), Elemental information

Complex concentrated alloys (CCAs)는 다수의 원소로 이루어진 합금으로 격자 비틀림 효과와 그에 따른 solid solution strengthening 효과로 인해 높은 강도와 인성 등의 우수한 기계적 특성을 보인다. 이러한 특성으로 인해 CCAs는 차세대 구조재료로서 주목을 받고 있지만, CCAs가 구조재료로서 상용화되어 사용되기 위해서는 다양한 strain conditions에서의 기계적 특성 평가가 필수적으로 필요한 상황이다. 이를 위해 본 연구에서는 실험 결과 기반의 numerical simulation을 통해 다양한 strain condition에서의 plasticity를 확인할 수 있는 (Fracture) Forming Limit Diagram[(F)FLD] 작도를 수행하였다. 또한 본 연구에서5원계(Cr, Mn,

Fe, Co, Ni) CCAs에서 재료의 변형기구가 다양한 strain condition에서 plasticity에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 이를 위해 항복 강도에 영향을 미친다고 알려진 electronegativity difference ($\Delta\chi$)를 제어하여 항복 강도 차이가 (F)FLD에 미치는 영향을 제거하였다. 이후, 재료의 변형 기구가 CCAs의 (F)FLD에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 이를 위해 열역학적 계산을 통해 SFE를 제어하여 Slip, Twin induced plasticity(TWIP), Transformation induced plasticity(TRIP) 그리고 TRIP assisted Dual Phase (TADP)와 같이 서로 다른 변형 메커니즘을 갖는 CCAs 조성을 설계하였고, 각 조성의 기계적 특성과 다양한 strain condition에서 (F)FLD를 평가하였다. 그 결과 Twinning induced plasticity를 통해 변형하는 재료의 경우 모든 strain condition에서 우수한 plasticity를 갖는 것을 알 수 있었다. 이러한 원인을 분석하고자 다양한 stress/strain condition에서 미세구조 분석(ECCI, EBSD)을 진행하였다. 그 결과, Twinning induced plasticity를 통해 변형하는 재료의 경우 다양한 stress/strain condition에서도 유사한 twinning thickness를 갖는 것을 확인하였고, 이를 통해 다양한 stress/strain condition에서 TWIP CCA가 우수한 plasticity원인을 규명할 수 있었다

[P26-4]

Precipitation-hardened high-entropy alloy with efficient strength-ductility balance over broad temperature spectrum : SYED MUHAMMAD HAMZA IFTIKHAR, Kangjin Lee, SeungHwan Shin, and Gian Song* (Kongju National University)

Keywords: Titanium: Precipitation-hardened alloys: Mechanical properties: Microstructure: Incoherent precipitate

The $Al_{0.5}CoCrFeNi$ alloy including FCC + B2-NiAl phases, has shown a decent strength-ductility balance at room temperatures. However, the yield strength of this alloy is insufficient to cater to modern day structural applications such as aerospace, pressure vessels and power engines. Previous research efforts have shown that the addition of Ti element in B2-NiAl-hardened alloy can further improve the strength of this alloy. This is attributed to the combined effect of formation of $L2_1$ precipitates instead of B2 precipitates. Therefore, in the present study, we attempted to add the Ti element into $Al_{0.5}CoCrFeNi$ alloy to improve its strength. In addition, the investigation of microstructural evolution and mechanical properties at different aging temperatures was carried out. The microstructural analysis was performed using an X-ray diffractometer, scanning-electron microscope and transmission-electron microscope. The mechanical properties were evaluated using the universal testing machine (UTM) with a strain rate of 1×10^{-3} s^{-1}. As a result, it was found that the addition of Ti in $Al_{0.5}CoCrFeNi$ alloy results in a crystal structure evolution of B2 to $L2_1$ precipitates, showing excellent strength-ductility balance at various temperatures, including cryogenic and elevated temperatures.

[P26-5]

$Fe_{45.9}Ni_{10.3}Co_{33.4}Cr_{2.5}Mo_{7.9}$ 그리고 $Fe_{43.2}Ni_{10.3}Co_{33}Cr_{3.8}Mo_{9.7}$ 고엔트로피합금의 열처리 온도 및 시간에 따른 석출거동, 미세조직, 기계적 물성 변화 연구 : 김태형, 이재혁 (단국대학교), 배재웅 (부경대학교), 김형섭 (포항공과대학교), 문종언 (공주대학교), 주수현* (단국대학교)

Keywords: high-entropy alloy: precipitate: coefficient of thermal expansion: mechanical property

고엔트로피 합금(High-entropy Alloys, HEAs)은 다원소 주성분으로 구성되며, 기존 합금과 다른 특성으로 인해 주목을 받고 있다. 특히 최근에는 Invar 합금에 준하는 낮은 열팽창계수를 보이는 고엔트로피 합금계에 대한 관심도 대두되어 있는데, 석출물에 따른 열팽창계수와 강도에 끼치는 영향과 열처리 온도 및 시간에 따른 석출거동 및 특성 변화에 대한 연구는 부족하다. Fe, Ni, Co, Cr과 Mo를 포함하는 HEA에서는 다양한 석출물들이 생성될 수 있으며, 이러한 석출물들은 높은 경도를 가져 합금을 강화하지만 높은 열팽창계수를 지녀 합금의 저열팽창 성능 저하를 초래할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 저열팽창계수를 보일 것으로 예상되는 FeNiCoCrMo 합금 조성에서 Cr 및 Mo 함량을 제어하여 석출물과 열처리 온도 및 시간에 따른 상관관계를 알아보고자 한다. $Fe_{45.9}Ni_{10.3}Co_{33.4}Cr_{2.5}Mo_{7.9}$ 그리고 $Fe_{43.2}Ni_{10.3}Co_{33}Cr_{3.8}Mo_{9.7}$ HEA을 주조 후 냉간 압연 하였으며, 550 ℃, 750 ℃, 950 ℃에서 5 min, 10 min, 30 min, 1 h, 그리고 2 h동안 열처리하였다. 각 시편은 주사전자현미경, X-선 회절 분석을 통해 미세조직 및 상분석을 수행하였으며, 열처리 온도 및 시간 따른 경도, 인장강도, 열팽창계수 및 자성특성을 관찰하였다. 이러한 연구 결과를 토대로 HEA 조성 설계와 석출물 제어를 통해 새로운 고강도·저열팽창 합금개발의 방향성을 제시하고자 한다.

[P26-6] Canceled

A high-performance, dual-phase Fe-rich complex concentrated alloys (CCAs) with enhanced strength-ductility synergy : VIKAS SHIVAM*, Dong Whan Kim, and Eun Soo Park (Seoul National University)

Keywords: Complex concentrate alloys (CCAs): Alloy design: Microstructure: Mechanical properties.

To attain an optimum balance of strength and ductility is a vital requirement for most engineering applications. However, achieving these two properties simultaneously is generally exclusive. The alloy design approach of complex concentrated alloys in a multi-component space with the concept of increased configurational entropy has provided new avenues with lots of opportunities. In the present work, we have attempted to explore the possibility of designing the two-phase microstructure of FCC and BCC/B2 phase in the Fe-rich composition (Fe^3 50) to meet some industrial applications. The CALPHAD approach was adopted to design the alloy compositions by selecting the elements based on their binary mixing enthalpy. A high configurational entropy-based FCC matrix was generated by utilizing the Fe, Mn, Co, Cr, and Ni elements. Afterwards, the element Al is added in different proportions to understand the BCC/B2 phase formation in different volume fractions in the FCC matrix and their effect on mechanical properties. The continuous precipitation of BCC/B2 characteristic is preferred by following the homogenization of the as-cast alloy. The DSC thermograms were used to understand the phase transition and determination of the transformation temperatures. The phase, microstructure evolution, and

precipitation behaviour were examined through XRD, SEM, and TEM analysis. The room temperature mechanical properties, i.e., hardness and tensile, were evaluated at the different states of the alloy.

[P26-7]

4.2 K에서 기계적 불안정성이 완화된 γ′ 강화형 중엔트로피 합금 개발 : 이준석, 김태형 (부경대학교), 이정완 (포항공과대학교), 김영균, 나영상 (한국재료연구원), 배재웅* (부경대학교)

Keywords: 고엔트로피 합금, 극한 환경, 나노 석출물, 기계적 불안정성, 변형 미세조직

최근 연구에 따르면 고엔트로피 합금(high-entropy alloys, HEAs)으로 알려진 다성분계 합금은 독특한 미세구조적 특성을 가지고 있으며, 이는 전위 이동에 큰 영향을 미쳐 기계적 물성 향상에 기여할 수 있다. 특히, 단상의 면심입방(face-centered cubic, FCC) 구조의 기지(matrix)를 가지는 고엔트로피 합금은 극저온에서 우수한 파괴인성과 손상 저항성을 나타내지만, 이러한 FCC 기지만으로는 해당 합금을 극저온 공학 응용에 필요한 강도를 충족시키지 못하는 단점이 있다. 또한, 20 K 이하의 특정 임계 온도에서 발현되는 불연속 소성 변형(discontinuous plastic flow, DPF)으로 인해 응력-변형률 곡선에서 관찰되는 응력 상승/하강 현상(stress drop in serration)은 소재의 연성 및 파괴에 영향을 끼치며, 변형 불안정성에 의한 내구성 열화 및 구조 재료로서 신뢰성을 악화시키는 한계가 있다. 따라서, 초저온과 같은 극한환경에서의 적용과 소재의 신뢰성 확보를 위해서는 우수한 기계적 물성과 더불어 20 K 이하에서 변형 불안정성이 완화된 합금을 개발하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 용체화 처리 후 시효 처리를 통해 FCC 기지에 정합성을 띄는 나노 크기의 γ′ 석출물로 구성된 중엔트로피 합금(medium-entropy alloys, MEAs)을 개발하였으며, 해당 합금의 미세조직은 X-ray diffraction (XRD), electron backscatter diffraction (EBSD), electron channeling contrast imaging (ECCI)를 통해 관찰되었다. 용체화 처리 시간을 5분에서 30분으로 증가시킴에 따른 결정립 크기 변화 및 기계적 물성을 조사하였으며, 인장시험 결과 4.2 K에서 용체화 처리 시간이 증가함에 따라 항복강도와 인장강도가 각각 718 MPa, 1362 MPa에서 624 MPa, 1228 MPa로 감소한 반면, 연신율은 51%에서 53%로 증가하였다. 특히, STS304L과 같은 상용 스테인리스 강에 비해 초저온에서의 기계적 불안정성이 상당히 완화된 양상을 보였다. 이전 연구 결과에 따르면, 4.2 K의 인장시험에서 STS304L은 약 350 MPa의 stress drop을 나타낸 반면, 본 연구의 합금의 경우 약 40~50 MPa 로 STS304L에 비해 상당히 감소된 stress drop을 나타내었으며, 이는 초저온에서의 기계적 불안정성이 완화된 것을 보여준다.

[P26-8]

TiC 분산 강화를 통한 multi-phase 고엔트로피 합금의 내마모성 및 TiC의 입계 윤활 특성 연구 : 송은효, 이한성, 안병민* (아주대학교)

Keywords: high entropy alloy, dispersing strengthening, powder metallurgy, wear, titanium carbide

산화물, 탄화물 등을 재료에 분산시켜 재료를 강화하는 분산 강화(Dispersion Strengthening)는 대표적인 재료의 강화기구이다. 산화물을 분산시키는 경우와는 달리, 탄화물을 분산시키는 경우, 탄화물은 재료 내에 고용되거나, 재료 속 구성 원소와 반응하지 않는다. 탄화물은 그 형태가 유지된 상태로 재료에 강화 효과를 부여한다. 또한 탄화물은 높은 경도와 내마모성을 보이기 때문에 이를 분산시킨 경우, 전체 재료의 경도 및 내마모성 또한 증가할 것을 기대할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 점을 활용하여 TiC를 고엔트로피 합금에 분산시켜 연구를 진행하였다. 본 연구에서는 기계적 합금화를 이용하여 TiC 분산 강화 고엔트로피 합금 분말을 제조하고, 방전 플라즈마 소결을 이용하여 고엔트로피 합금의 치밀화를 진행하였다. XRD를 통해 TiC 분산 강화에 따른 고엔트로피 합금의 결정 구조와 상 변화를 확인하였으며, SEM-EDS를 통해 미세조직과 원소의 분포, 상 거동을 분석하였다. 이후 TiC 분산에 따른 기계적 물성을 연구하기 위하여 micro-Vickers hardness test와 compressive test를 수행하였으며, 상용 합금 SUS304과의 tribology properties 확인을 위해 reciprocating wear test를 수행하였다.

[P26-9]

CrMnFeCoNi계 합금의 형상기억특성에 미치는 Co/Ni 조성비의 영향 : 임진수랑, 정휘윤 (부산대학교), 오현석 (위스콘신대학교), 이제인* (부산대학교)

Keywords: High-entropy alloy, Shape memory alloy, Martensitic transformation

'고엔트로피 합금 (High-entropy alloys)' 개념이 보고되면서 합금 설계 영역이 다성분계로 확장되었고, 이를 바탕으로 우수한 신합금을 개발하는 연구가 각광을 받고 있다. 그 중, 가장 많이 주목 받는 FCC 구조의 CrMnFeCoNi 합금계에서 적층결함에너지를 낮춰 쌍정유기소성, 변태유기소성을 보이는 우수한 물성의 신합금이 개발되고 있다. 조성비를 제어함으로써 CrMnFeCoNi 합금의 FCC 상안정성을 조절하는 것이 가능한데, Co/Ni 비가 높은 CrMnFeCoNi 합금에서 FCC/HCP 상간의 가역적인 마르텐사이트 변태에 의한 형상기억특성이 나타난다고 알려져 있다. 하지만, Co/Ni 비에 따른 미세조직, 상변태 거동 및 형상기억특성 변화에 대한 체계적인 연구가 부족해 회복 특성이 우수한 신합금 개발이 더딘 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 고엔트로피 합금의 Co/Ni비를 세밀하게 조절하면서 나타나는 미세조직, 마르텐사이트 변태 및 형상기억특성 변화를 정량적으로 평가하고, 그 상관관계에 대해 분석하였다. 본 연구에서 사용한 $Cr_{20}Mn_{20}Fe_{20}Co_{40-x}Ni_x$ (x = 0, 2, 4, 5, 6 at. %) 합금에서 Ni 함량이 증가할수록 미세조직 내 열유기 HCP 상 분율이 감소하고, 상변태 온도가 20 K/at. % 이상 감소하는 것으로 확인되었다. 특히, 마르텐사이트 변태 개시 온도 (M_s)가 상온 이하인 합금에서 열유기 마르텐사이트가 나타나지 않으면서 우수한 회복 특성이 나타나는 걸 확인하였다. 본 연구를 통해 CrMnFeCoNi 합금의 조성-미세조직-형상기억특성 간의 상관관계를 분석하였으며, 회복특성을 높이기 위한 신합금 설계 방향을 제시하고자 한다.

[P26-10]

Impact of DCT cycles on the surface hardening of pre-strained Cantor (CoCrFeMnNi) alloy : SUMAIRA SADIQ, Hafiz

Muhammad Rehan Tariq, Tea-Sung Jun* (Incheon National University), and Nur Izzati Muhammad Nadzri (Universiti Malaysia Perlis (UniMAP))

Keywords: Cantor alloy, Deep Cryogenic Treatment, Surface Hardness, Dislocation Density

The Cantor alloy has gained significant attention over the past decade as a highly promising alloy system due to its remarkable ductility and fracture toughness. Unlike traditional alloys, which typically feature a single principal element in the matrix with limited additions of other elements for enhancing properties, these innovative alloys are intentionally engineered with multiple principal elements in equal or nearly equal atomic proportions [1]. In this study, we investigated the effects of cyclic deep cryogenic treatment (DCT) on the surface hardness of pre-strained Cantor (CoCrFeMnNi) alloy. As-casted Cantor alloy cuboid samples were pre-compressed up to 6% strain with the standard strain rate of 10^{-3}/s. Multiple DCT cycles were applied on these pre-compressed samples (PC+DCT). Each DCT cycle consisted of 24-hour liquid nitrogen soaking and 1-hour tempering at room temperature. Micro-Vickers Hardness was measured for as-casted sample, pre-strained sample, and all PC+DCT samples. Interestingly hardness values were increased until 2-DCT cycles and a significant decline in hardness values was observed in 3 and 4 DCT cycled samples. Dislocation densities were assessed by the Williamson Hall Method on the XRD data of each sample. The PC+2DCT sample showed the highest dislocation density among all. The fundamentals of surface hardening were discussed with detailed SEM/EDS-EBSD and TEM analyses. References [1] Z. Zeng, M. Xiang, D. Zhang, J. Shi, W. Wang, X. Tang, W. Tang, Y. Wang, X. Ma, Z. Chen, Mechanical properties of Cantor alloys driven by additional elements: a review, Journal of Materials Research and Technology 15 (2021) 1920-1934.

[P26-11]

AlCrNbVZr계 내화 고엔트로피 합금의 경량화 및 고온 안정성 연구 : 윤교식, 이강민 (아주대학교), 송은효, 이한성, 안병민* (아주대학교)

Keywords: high entropy alloy, powder metallurgy, refractory, lightweight, oxidation behavior

내화 고엔트로피 합금(refractory high entropy alloy)은 내화 합금의 높은 내화 특성과 고엔트로피 합금의 느린 확산 효과로 장기간 고온 안정성이 유지되는 장점을 가진다. 이러한 내화 고엔트로피 합금에 Al, Ti와 같은 경량 원소 첨가하여 기존 내화 합금보다 경량화된 재료를 설계하는 것이 가능하다. 열역학적 변수를 고려하여 경량원소인 Al을 첨가한 AlCrNbVZr 내화 고엔트로피 합금을 설계하였다. 본 연구에서는 이 중 가장 밀도가 높은 Nb의 분율 제어를 통해 $AlCr(Nb)_xVZr$계 내화 고엔트로피 합금의 경량화를 달성하고 내화 특성에 대하여 연구하였다. 내화 고엔트로피 합금은 기계적 합금화를 이용하여 제조하였다. 구성 원소 중 단단한 내화 원소에 의한 오염을 최소화하기 위하여 WC jar, ball을 사용하였으며, BPR 10:1, 200RPM의 조건에서 12시간동안 milling을 진행하였다. 이후 이론 융점의 65%인 1350°C에서 50Mpa의 압력으로 8분간 방전 플라즈마 소결을 진행하여 분말을 치밀화하였다. 치밀화 이후 소결 특성의 향상을 위하여 1300°C에서 2시간동안 어닐링 열처리와 1350°C에서 12시간동안 균질화 열처리를 진행하였다. Nb 분율에 따른 고엔트로피 합금의 합금화 거동 및 미세구조 변화 관찰을 위해 XRD(X-ray diffraction) 및 SEM-EDS(scanning electron microscope-energy dispersive X-ray spectroscopy) 분석을 진행하였다. Nb 분율에 따른 경량화 달성을 연구하기 위하여 Pycnometer를 이용하여 밀도를 측정하고, TGA(Thermogravimetric Analyzers) 분석을 시행하였다. 또한 micro Vickers hardness 시험과 Nano indentation 시험을 통해 상온에서의 기계적 물성을 확인하였다.

[P26-12]

CrMnFeCoNi 형상기억합금의 인장특성에 미치는 결정립 크기와 시험온도의 영향 : 최지환, 정휘윤, 임진수랑, 이제인* (부산대학교)

Keywords: High-entropy alloys, Tensile property, Deformation mechanism, Microstructure

고엔트로피 합금 (High-entropy alloy, HEA)은 여러 원소가 동등하거나 그에 준하는 분율로 혼합된 합금으로, 기존의 상용합금과는 다른 독특한 특성을 보이는 연구가 다수 보고되고 있다. 그 중 CrMnFeCoNi 합금계에서 Co와 Ni의 조성비 조절을 통해 개발된 $Cr_{20}Mn_{20}Fe_{20}Co_{35}Ni_5$ 합금은 Cantor 합금에 비해 낮은 적층결함에너지를 갖게 됨에 따라 fcc-hcp 상간의 가역적 상변태가 나타나 형상기억특성을 발현하는 것으로 보고되었다. 이 합금은 비교적 낮은 응력에서 응력유기 마르텐사이트 변태가 진행되어 가공경화율이 크고 인장강도 및 연신율이 결정립 크기에 따라 크게 변화한다. 이에 따라 본 연구에서는 재결정화 열처리를 통해 CrMnFeCoNi 형상기억합금의 미세조직을 제어함으로써 결정립 크기에 따라 나타나는 인장 특성의 변화를 고찰해보고자 한다. 진공유도용해로를 통해 제조된 합금은 균질화처리 및 온간압연 이후 FCC 단일상 영역의 다양한 온도에서 재결정화 열처리되었다. 이후 저온(100K), 상온(293K) 그리고 고온(500K)에서 인장시험을 진행하여 합금의 결정립 크기 및 시험 온도에 따른 인장 특성의 변화를 평가하였으며 변형량에 따른 미세조직 관찰을 통해 변형의 미세조직적 메커니즘을 분석하고자 한다. 본 연구에서는 압연 및 열처리에 따른 합금의 재결정 거동을 확인하고 결정립 크기와 변형 온도에 따른 소재의 변형 메커니즘과 인장 특성 변화를 규명하고자 한다.

[P26-13

The impact of titanium as an alloying element on the microstructural development, mechanical properties, and catalytic performance of $CoCrFeNi_2Ti_x$ high entropy alloys : MUHAMMAD AOUN ABBAS, Dilshodbek Yusupov, Gyeol Chan Kang, Jun Su Ha, Dong-sung Hong, Ga Eun Jo, kang Hyun Lee, Sung Hwan Hong, and Ki Buem Kim* (Sejong University)

Keywords: High entropy alloy, Phase transformation, catalytic properties, HER, and OER

High entropy alloys (HEAs) have recently gained significant attention due to their exceptional mechanical properties, remarkable

thermal stability, and excellent catalytic activity. Developing new HEAs for applications in clean energy conversion is critically important. This study explores the use of HEAs in catalytic clean energy conversions, specifically focusing on hydrogen evolution reactions (HERs) and oxygen evolution reactions (OERs). We investigated the influence of titanium (Ti) addition on the phase stability, microstructure, mechanical properties, HER, and OER performance of cast $CoCrFeNi_2Ti_x$ HEAs, with x ranging from 0 to 1 in molar ratio. Experimental results were analyzed and compared with theoretical parameters such as entropy, enthalpy, and atomic size difference. The HEAs were synthesized via arc-melting casting under vacuum conditions. Detailed phase and microstructural analyses were conducted to establish correlations between microstructure and mechanical properties. The base alloy, an equiatomic $CoCrFeNi_2$ HEA system, exhibited a fully face-centered cubic (FCC) phase without Ti addition and with a small Ti addition ($CoCrFeNi_2Ti_{0.3}$). Further Ti additions ($CoCrFeNi_2Ti_{0.5}$ and $CoCrFeNi_2Ti_{0.8}$) promoted the formation of the laves phase, significantly enhancing mechanical strength. However, $CoCrFeNi_2Ti$ showed notable embrittlement due to a higher fraction of the laves phase. Transition metals and their alloys, with partially filled d orbitals, are expected to exhibit high catalytic activity for HER. Our study demonstrates that the developed HEAs offer exceptional electrocatalytic performance for hydrogen production, providing an effective and cost-efficient alternative to platinum electrocatalysts. Our findings indicate that $CoCrFeNi_2Ti_x$ HEAs possess high-performance attributes with improved mechanical and electrochemical properties. The consistency between theoretical and experimental thermophysical parameters underscores the potential for further development and optimization of HEAs for practical applications. This study lays the groundwork for advancing HEAs in clean energy technologies.

[P26-14]

BCC구조의 초경량 AlTiVCr 고엔트로피 합금의 Al, Ti의 비율에 따른 미세구조의 변화 및 기계적 물성 제어 : 홍동성*, Yusupov Dilshodbbek, 하준수, MUHAMMAD AOUN ABBAS, 강결찬, 홍성환, 김기범* (세종대학교)

Keywords: 고엔트로피 합금, 기계적 물성, AlTiVCr 합금설계

고엔트로피 합금은 4-5개 이상의 금속 원소가 동비율의 조성으로 구성되어 있는 합금이다. 높은 엔트로피로 인해 자유 에너지가 낮아짐으로써 금속간 화합물의 형성 없이 단일 고용체 형체를 형성한다. 그 중 BCC구조의 고엔트로피 합금은 높은 강도를 갖고 있어 고성능 항공우주 구조물 혹은 자동차 부품을 만드는데 유리하여 연구가 진행되고 있지만, 상대적으로 연성이 부족해 가공하는데 어려움이 있으며 낮은 밀도를 요구하여 상용화에 한계를 갖고 있다. 본 연구에서는 초경량 원소를 활용한 고강도의 BCC구조의 고엔트로피 합금 설계를 진행하였고, 원자 반경 차이를 최소화하여 강도 및 연성의 균형을 갖춘 우수한 합금 설계를 의도하고자 하였다. 본 연구에서는 초경량이며 고강도 BCC 구조를 나타내는 AlTiV 합금계를 이용하여 연성을 확보한 초경량 고엔트로피 합금을 개발하고자 한다. 고용체 형성능을 추정하기 위한 매개 변수를 Ω >1 으로 조성을 제어하여 Al-Ti 금속간 화합물 형성을 억제하고, 단상 영역에서의 원자 반경 차이를 최소화하여 연성을 확보하고, 초경량 원소인 Cr을 첨가하여 고강도를 유지하고 합금의 기계적 물성을 평가하고자 하였다. 합금의 제조는 $Al_xTi_{80-x}V_{15}Cr_5$ (x= 30, 35, 40, 42.5, 45, 47.5, 50, 60 at.%) 조성의 합금을 아크 용해법과 흡입 주조법을 통해 직경 3mm, 길이 50mm의 봉상형 시편을 주조하였다. 시편의 미세조직과 상 분석은 전자주사현미경(SEM: JEOL JSM-6390), X선 회절분석(XRD: Panalytial)을 이용하였으며, 기계적 물성 평가는 Vickers Hardness시험을 통한 경도 측정과 만능시험기(UTM, Universal Testing Machine)를 이용한 압축 시험을 상온 압축 시험을 진행하였다.

[P26-15]

Influence of the phase formation, microstructure and mechanical characteristics of $(CrFeNiCu)_{100-x}V_x$ high entropy alloys : Dilshodbek Yusupov, Abbas Muhammad Aoun, Dong Sung Hong, Gyeol Chan Kang, Hae Jin Park, Sung Hwan Hong, and Ki Buem Kim* (Sejong University)

Keywords: Microstructure, mechanical characteristics, phase formation, high entropy alloy

In this study, the as-cast $(CrFeNiCu)_{100-x}V_x$ (x = 0 - 20 at.%) high entropy alloys series were designed by adding V with content to base equatomic CrFeNiCu high entropy alloy in order to analyse the effects of V elements on the microstructure, phase formation, mechanical properties and deformation behaviour of the HEAs with lower density. The addition of V content to HEAs caused changing dual phase FCC (FCC1 and FCC2) to a mixture of BCC, FCC1 and FCC2 phases. TEM results of $(CrFeNiCu)_{100-x}V_x$ (x = 5 and 12 at.%) HEA exhibited BCC and phases with precipitates. Strongly depending on the increasing volume fraction of the BCC phase, the yield strength of the HEA enhanced from 291 to 1717.47 MPa while decreasing plasticity until 10.65%.

[P26-16]

압연공정 제어를 통한 Al-Cr-Fe-Ni-Ti 고엔트로피 합금의 초소성 특성 향상 연구 : 신승환, 박강현 (공주대학교), 심상훈, 임가람 (한국재료연구원), 송기안* (공주대학교)

Keywords: 압연, 초소성, 동적재결정, 아결정립

초소성 특성은 변형 시 입계 미끄럼 현상을 통해 네킹 현상 없이 수백 % 이상의 우수한 변형율을 나타내는 특성으로 알려져 있으며, 이는 재료의 성형성을 효과적으로 개선시킬 수 있다. 입계 미끄럼 현상은 높은 온도에서 미세한 결정립 크기를 유지하는 합금에서 주로 발생하는 것으로 보고되었으나, 동적재결정 현상을 통해 미세한 결정립이 형성될 때에도 초소성 특성이 나타날 수 있다고 보고되었다. 실제로, 이전 연구에서 압연 및 열처리 공정을 통해 미세한 크기의 아결정립을 형성시킨 Al-Cr-Fe-Ni-Ti 고엔트로피 합금은 고온에서 변형 시, 동적 재결정 현상을 통해 최대 315 %의 변형율을 달성할 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서는 압연 공정

제어를 통해 Al-Cr-Fe-Ni-Ti 고엔트로피 합금의 초소성 특성을 더욱 향상시키고자 하였다. 구체적으로, 압연 온도 및 압하율 등의 공정조건 제어를 통해 초소성 특성을 향상시킬 수 있는 미세조직을 확보하고자 하였다. 또한, 주사전자현미경, 후방산란회절을 통해 미세조직을 관찰하였고, 만능시험기를 활용하여 초소성 특성을 평가하였다.

[P26-17]

Interstitial alloying enabled the ultra-high mechanical properties and related strengthening/deformation mechanisms in CoCrNi medium-entropy alloys : 심상훈, 전승민, 김영균, 나영상* (한국재료연구원)

Keywords: Medium-entropy alloy, Nitride, Mechanical properties, Deformation-induced twinning, Thermally-activated deformation

20여년전, 2004년 Cantor와 Yeh 연구 그룹에 의해 창제된 고엔트로피 합금은 기존의 통념을 벗어난 미세 구조 형성 메커니즘과 이를 기반으로 한 뛰어난 기계적 특성, 내산화 특성, 피로저항성 및 코팅 접합성 등으로 학계에서 큰 주목을 받았다. ‘Cantor 합금’으로 지칭되는 CoCrFeMnNi 합금을 기반으로 주요 원소를 제거해 파생된 3원계 등자조성 CoCrNi 합금은 다른 고/중엔트로피 합금 대비 높은 격자불일치도와 낮은 적층결함에너지의 조합으로 우수한 최대 인장 강도와 연성의 조합을 가능하게 한다. CoCrNi 합금은 CoCrFeMnNi합금과 달리 상온에서도 쉽게 나타나는 쌍정유기소성 현상에 의해 유도되는 ‘동적 Hall-Petch 효과’에 의해 전위의 ‘Mean free path’가 감소하고 가공경화율이 상승하는 특징을 갖는다. 본 연구에서는 등자조성을 갖는 CoCrNi 합금에 침입형 원소인 질소를 첨가 후 열/가공 공정 변수를 제어해 Cr nitride 형성을 제어하였다. 이와 같은 Cr nitride는 우수한 석출 강화를 일으키며 기계적 강도 향상에 지대적인 영향을 끼친다. 또한, 질소의 첨가는 석출상 형성 외 기지 내에도 고용이 일어나며 질소 미첨가 소재 대비 마찰응력이 증가하고 쌍정유기소성 현상에 의한 가공경화 메커니즘 영향 또한 지배적으로 나타난다. 질소 첨가에 따라 변화하는 CoCrNi 합금의 미세조직 발달 양상, 기계적 특성 변화, 그리고 변형 조직의 차이를 분석을 통해 이해하고 열적활성화 변형 개념을 적용해 심층적인 변형 기구 해석에 대해 규명하고자 한다.

P27 : 철강-압연, 강종개발, 후처리
Room 2층 로비, 10월 30일

[P27-1]
고망간강의 석출강화기구에 대한 고찰 : 송호정 (동아대학교), 박건우 (울산과학기술원), 이동호 (포스코 기술연구원), 박시욱 (국방과학연구소), 이학성 (동아대학교), 장재훈 (한국재료연구원), 전종배* (동아대학교)
Keywords: 고망간강, 석출강화, 탄화물, 항복강도

고망간강 (High-Mn Steel)은 STS316 대비 낮은 소재 원가, 높은 항복 및 인장강도, 우수한 극저온인성 및 상자성 발현 특성으로 자동차 차체용 강판, 잠수함 선체 등 다양한 분야에서 이용 가능성이 높다. 고망간강의 산업적 활용도를 높이기 위해, 기계적 성질을 향상시키는 것이 필수적이며, 특히 후물재 및 열연재의 기계적 성질 개선에 대한 연구가 최근 주목받고 있다. 이에 항복강도 예측 모델 적용으로 고망간강의 항복강도를 예측하는 연구 또한 활발하게 진행중이다. 고망간강의 강화기구는 결정립계 강화, 고용강화, 석출강화, 가공경화, 2상 강화로 분류되며, 이 중에서도 석출강화가 항복강도 상승에 큰 영향을 미친다. 석출강화를 일으키기 위해서 일부 연구에서는 V, Ti, Nb 등의 합금원소를 첨가하여 MC 계열 탄화물을 석출하고 Orowan dislocation looping 식을 통해 석출강화효과를 해석한 사례가 있다. 이때 이용된 Orowan dislocation looping mechanism은 석출물이 기지와 부정합 계면을 이룬다는 가정하에 전개되었다. 하지만 일부 문헌에서는 MC 탄화물이 고망간강의 기지상인 Austenite와 반정합 계면을 이룬다는 연구가 진행된 바가 있어 Orowan dislocation looping mechanism의 적용에 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 기존 문헌에 발표된 고망간강의 항복강도 예측 모델 중 석출강화식의 적용 사례에 대해 정리하였다. 또한 적용된 식의 원류, 가정, 전개 방식 및 도입 파라미터 등에 대해 고찰하였으며 해당 모델 적용의 타당성에 대해 논의하였다.

[P27-2]
고강도 내진 철근의 불균일 항복 거동에 대한 미세구조 및 기계적 물성 분석 : 박형준, 박지원, 강신곤* (동아대학교)
Keywords: 금속, 탄소강, 철근, Tempcore, 불균일 항복

일반적인 고강도 내진 철근은 열간압연 후 표면을 수냉하는 Tempcore 공정을 통해 생산된다. 해당 공정을 통하여 냉각속도가 빠른 표면부에서는 마르텐사이트(martensite)가 생성되고, 이후 내부 남아있는 열 에너지가 표면부 방향으로 이동하면서 셀프 템퍼링(self-tempering)이 일어나 템퍼드 마르텐사이트(tempered martensite) 조직이 나타난다. 반면, 중심부의 냉각속도는 느리기 때문에 페라이트(ferrite)와 펄라이트(pearlite)가 공존하는 조직이 형성된다. 400 MPa급에서 700 MPa급으로 철근의 강도가 높아질수록 경화층의 두께가 증가하는 것이 일반적이며, 대부분의 Tempcore 철근은 tempered martensite로 형성된 경화층의 깊이가 증가함에 따라 재료의 항복강도가 증가한다. 일반적으로 ferrite-pearlite 구조를 가지는 시편은 불연속 항복 거동을 보이지만, tempered martensite 구조를 가지는 시편은 연속 항복 거동을 보인다. 경화층의 두께에 따라 시편의 항복거동이 바뀌며, 그중 600 MPa급의 철근에서 미세구조에 따라 연속 항복과 불연속 항복이 모두 나타날 수 있다. 이때 항복 거동이 다르게 나타나면 각각의 측정 기준이 달라진다. 본 연구에서는 Tempcore 공정을 통해 생산된 SD 600S 상용 철근의 미세구조와 항복 거동의 상관관계에 대하여 분석하였다. 이를 위해 OM 및 SEM을 사용하여 중심부 pearlite, ferrite의 morphology와 경화층 tempered martensite의 분포를 비교하였고, 철근의 중심부 미세구조에 따른 기계적 특성을 알아보기 위해 비커스 경도시험, 인장 시험을 시행하였다.

[P27-3]
Ni 함량에 따른 저탄소 TMCP강의 저온 충격인성과 미세조직의 상관관계 분석 : 최정현, 황성원, 유성훈 (부산대학교), 김우준, 고성웅 (㈜포스코), 강남현* (부산대학교)
Keywords: 선체 구조용 강재, 저탄소강(Low carbon steel), TMCP, 니켈(Ni), 충격인성

저탄소 TMCP강은 우수한 용접성을 유지하면서 미세한 페라이트와 베이나이트 및 마르텐사이트와 같은 저온 변태 조직 형성으로 인해 강도가 우수하여 선체구조 또는 해양플랜트용으로 널리 사용되고 있다. 이러한 BCC 강재는 비교적 높은 연성-취성 천이온도(Ductile to brittle transition temperature)를 가져 극지방과 같은 저온 환경에서의 충격에 취약하다는 단점이 있다. 이를 보완하고자 일반적으로 철강 업계에서는 Ni을 소량 첨가하여 충격인성을 향상시킨다. Ni은 오스테나이트 안정화 원소로 저탄소강에서 $\gamma \rightarrow \alpha$ 변태를 억제하고 미세한 저온변태조직을 형성시켜 모재와 열영향부의 충격인성을 동시에 향상시키는 것으로 보고되고 있다. 하지만 경화능 원소인 Ni을 과도하게 첨가할 경우 조대한 MA을 형성하여 오히려 인성을 저하시킬 수 있고, 또한 고가 원소인 Ni은 제조단가를 상승시키므로 Ni 함량의 최적화가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 저탄소 TMCP강에서 Ni 함량에 따른 미세조직의 변화와 저온충격인성의 상관관계를 규명하고 저온 충격인성이 우수한 Ni 함량을 최적화하고자 한다. 샤르피 충격 시험을 통해 Ni 함량의 변화에 따른 저탄소 TMCP강의 저온 충격인성을 평가하였고, Ni 함량별 페라이트, 베이나이트 및 MA 조직을 LOM, SEM, EBSD를 통해 분석하여 각 조직의 분율을 정량화하였다. 이후 충격파면 및 파단면과의 비교분석을 통해 Ni이 저탄소 TMCP강의 충격인성에 미치는 미세조직의 영향을 규명하였다.

[P27-4]
이상영역 열처리 및 항온 열처리된 3Mn TRIP강의 미세조직 및 기계적 물성 : 임용수, 김진경* (한양대학교)
Keywords: 중망간강, TRIP effect, 이상영역 열처리, 항온 열처리

3~12 wt.%의 망간이 첨가된 중망간강(Medium Mn steel)은 우수한 기계적 물성을 나타내어 차세대 고강도 자동차용 강판소재로서 활발한 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 Fe-3Mn-0.2C-1Al (wt.%) 중망간강을 열간 압연, 냉간 압연, 600 ºC~760 ºC에서 1시간 동안 이상영역 열처리하였다. 열간 압연 조직은 템퍼드 마르텐사이트, 페라이트, 오스테나이트 및 M/A 조직으로 구성되어 있었으며 XRD 분석 결과 오스테나이트 분율은 약 8.2%였다. 냉간 압연 이후 이상영역 열처리한 시편의 경우, 700 ºC에서 1시간 열처리한 시편이 약 17.2%로 가장 높은 오스테나이트 분율을 나타내었으며, 시멘타이트 또한 가장 적게 존재하였다. 700 ºC에서 1시간 열처리한 시편의 인장시험 결과, 항복강도, 인장강도, 연신율이 각각 339.4 MPa, 810.0 MPa, 18.5%로 나타났다. 인장강도의 향상을 위해 열처리 시간을 줄여서 700 ºC에서 30분 열처리한 시편을 XRD 분석과 인장시험 진행한 결과, 오스테나이트 분율은 20.0%로 나타났고 항복강도, 인장강도, 연신율이 각각 396.4 MPa, 833.5 MPa, 16.9%로 연신율의 큰 감소 없이 강도의 향상을 보였다. 하지만 여전히 낮은 항복강도의 향상 및 오스테나이트 안정도 증가를 목적으로 이상영역 열처리 이후 항온 열처리를 진행하여 베이나이트를 형성시키고자 하였다. 항온 열처리 이후 미세조직을 분석하고 기계적 성질과의 상관관계를 고찰하였다.

[P27-5]

Co 함량에 따른 Fe-6.5Si 규칙상 형성 거동 변화분석 : 윤준원 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 배상환 (한국생산기술연구원), 권기혁 (포항산업과학연구원), 이제인 (부산대학교), 손석수 (고려대학교), 박창수* (한국생산기술연구원)

Keywords: 전기강판, Fe-Si, Fe-6.5Si, 규칙상, 기계적특성

Fe-Si계 합금은 전기적 응용 분야에서 중요한 역할을 한다. 특히 Fe-6.5Si계 합금은 Fe-3.5Si 및 Fe-4Si 합금에 비해 더 높은 전기 저항성과 낮은 자력 손실을 가지고 있다는 장점이 있다. 그러나 Si의 함량이 높아질수록 자속 밀도는 감소하고, B2, DO3 규칙상 형성으로 인해 취성이 증가하여 깨지기 쉽다는 단점이 있다. Co는 자력 손실을 줄이면서 자속 밀도를 유지할 수 있는 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 Fe-6.5Si계 합금의 자기적 특성을 향상시키기 위한 목적으로 Co를 첨가할 때에 B2, DO3 등의 규칙상 형성 거동 변화를 분석하고자 하였다. 기계적인 특성의 변화를 확인하기 위해 VIM(진공 유도 용해법)을 이용하여 Co 1 wt%, 3 wt%, 5 wt% 함량에 따른 합금을 용해한 후 균질화 작업을 거쳐 열간 압연 된 시편을 사용하여 실험을 진행하였다. XRD 분석 결과, Co의 함량이 증가할수록 규칙상(B2, DO3)이 증가하는 경향을 보였다. 추가적으로 DSC, SEM, EBSD를 통해 미세조직 변화 및 규칙상 형성 거동을 관찰하여 이에 대한 변화를 분석하였다.

[P27-6]

3Mn Q&P강의 퀜칭 온도가 미세조직 및 기계적 물성에 미치는 영향 : 김규헌, 임용수 (한양대학교), 김지훈 (Tohoku Univ.), 김진경* (한양대학교)

Keywords: 중망간강, Q&P, TRIP

망간의 함유량이 3~12wt%인 중망간강(Medium Mn steel)은 3세대 고강도강으로 우수한 강도와 연성을 가지고 있어 활발한 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 Quenching and partitioning (Q&P)공정을 적용한 중망간강의 오스테나이트화 열처리 후 퀜칭온도에 따른 미세조직과 기계적 물성의 상관관계를 조사하였다. Fe-3Mn-0.2C-1Al(wt%) 강을 균질화, 열간 압연, 냉간 압연 후 Q&P 공정을 진행하였다. 860 ºC에서 5분 동안 오스테나이트화 열처리 된 재료를 딜라토미터로 측정한 마르텐사이트 개시 온도 (Ms)를 바탕으로 선정한 다양한 퀜칭 온도 조건으로 퀜칭 후 파티셔닝 및 수냉을 수행하였다. Q&P 공정 후의 일반적인 미세조직은 잔류 오스테나이트와 마르텐사이트, 소량의 페라이트이었다. 퀜칭 온도가 잔류 오스테나이트, 마르텐사이트 등의 상분율, 기계적 물성, 오스테나이트가 마르텐사이트로 상변태하는 transformation-induced plasticity(TRIP) 거동에 미치는 영향을 고찰한 후 해당 강종의 미세조직 및 기계적 물성 최적화 방안을 도출하였다.

[P27-7] Canceled

고압수소용 템퍼드 마르텐사이트강의 수소취성에 미치는 Nb 함량의 영향 : 이유진, 김상규, 신희창, 황병철* (서울과학기술대학교)

Keywords: Tempered martensite, Carbide, Microstructure, Hydrogen embrittlement

최근 수소가 지속 가능한 친환경 에너지로 주목받으며 수소의 저장 및 운송에 필요한 인프라용 강재에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그중 퀜칭 및 템퍼링 열처리를 통해 제조된 템퍼드 마르텐사이트강은 높은 강도와 연성을 가져 압력 용기로 널리 사용되고 있다. 그러나 이러한 강재는 고압 수소 환경에 지속적으로 노출되면 강도와 연성, 인성 등과 같은 기계적 물성을 저하시키는 수소취성 현상이 발생할 수 있다. 수소 원자가 금속 표면에서 내부로 침투할 때, 강재의 미세조직 내 전위, 결정립계 및 석출물들은 각각 다른 활성화 에너지를 갖는 수소 트랩사이트로 작용하며, 수소취성 저항성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 특히 Nb 첨가 시 결정립 미세화, NbC 탄화물 생성 등의 미세조직 변화가 발생하면서 수소취성 저항성이 향상될 수 있다. 그러나 Nb 함량에 따른 수소 트랩 거동이나 수소취성 변화에 대한 연구는 다소 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 Nb 함량이 다른 3종류의 템퍼드 마르텐사이트강을 제조한 후 in-situ 전기화학적 수소주입 환경에서 저속변형률시험을 수행하여 수소취성 저항성을 평가하였으며, 수소 열탈착 거동 분석을 통해 Nb 함량에 따른 수소 트랩 거동을 해석하였다.

[P27-8]

오스테나이트계 스테인리스강의 극저온 변형 중 변형유기 마르텐사이트에 의한 Lüders band 거동 : 김진섭, 김진경* (한양대학교)

Keywords: Austenitic stainless steel, Lüders band, 마르텐사이트

최근 수소사회로서의 전환이 촉구되며 수소생산 및 저장·운송용 소재에 대한 요구가 증가하고 있다. 수소 저장·운송용 소재는 우수한 극저온 물성을 필요로 하며, 그 중 오스테나이트계 304 스테인리스강이 극저온에서의 우수한 기계적 성질로 액화 가스 운송. 보

관 합금으로 널리 사용되고 있다. 하지만 304 스테인리스강은 극저온 변형 초기 Lüders band를 보이며, 이를 해소하기 위해선 Lüders band 거동 중 나타나는 변형 메커니즘에 대한 깊은 이해를 필요로 한다. 본 연구는 상용 304 스테인리스강을 ASTM E8 규격으로 가공한 후, 상온 (293 K) 및 극저온 (123 K)에서 인장시험을 진행하여 123 K에서 strain 2%~6% 사이에 나타나는 Lüders band를 확인하였다. Lüders band가 나타나는 strain 구간별 미세조직을 X선 회절 (XRD) 및 후방산란 전자 회절 (EBSD), 전자 채널링 콘트라스트 이미지 (ECCI) 분석을 통해 관찰하여, Lüders band가 전파된 영역에서 BCC 마르텐사이트 변태가 주로 나타남을 확인하였다. 이후 Lüders band 초기와 후기 미세조직을 투과전자현미경 (TEM)으로 관찰하여, Lüders band 초기부터 재료에 적층 결함, HCP 마르텐사이트가 주로 형성되며 국부적인 BCC 마르텐사이트 변태가 일어남을 확인하였다. 또한 Lüders band 후기에는 조대한 BCC 마르텐사이트가 형성되어 BCC로의 상변태가 주요 변형 메커니즘임을 규명하였다. 본 결과를 바탕으로 Lüders band 전파에 따른 변형 기구, softening 및 hardening 거동, Lüders band band 해소 방안을 고찰하였다.

[P27-9]

Impact of Ni_3Ti ($L1_2$) Precipitation on Strength and CTE of Invar Alloy : Jaejun Jeong*, Seok-Hwan Hong, and Dong-Woo Suh* (Pohang University of Science and Technology)

Keywords: INVAR, Intermetallic, Hardness, Tensile strength, CTE

INVAR alloys are well known for their near zero CTE (Coefficient of Thermal Expansion). This characteristic is considered suitable for use as a structural material in the space industry where extreme temperature variations occur. To enhance their durability, extensive research has focused on strengthening Invar alloys utilizing carbides. However, there is limited research on strengthening Invar alloys using $L1_2$ phase, and its effect on CTE has not been well-documented. In this research, we investigated the effect of Ni_3Ti ($L1_2$) precipitation on both the strength and CTE of Invar alloy. In case of the Ni_3Ti-strengthened Invar alloy, the precipitation strengthening effect of Ni_3Ti ($L1_2$) was most significant after aging at 650 ºC for 5 hs, resulting in a notable increase of tensile strength (996 MPa) compared to conventional Invar alloy (437 MPa). Additionally, the CTE of Ni_3Ti-strengthened Invar alloy was nearly comparable to that of conventional Invar alloy. Compared to carbide-strengthened Invar alloys, which have been previously reported, utilizing Ni_3Ti ($L1_2$) shows a grater promise for strengthening Invar alloy while maintaining low thermal expansion properties.

[P27-10] Canceled

Delayed quenching 온도에 따른 열연 코일의 미세조직과 기계적 특성 : 정민섭, 오동규, 신승혁, 황병철* (서울과학기술대학교)

Keywords: Pipeline steels, Microstructure, Mechanical properties

원유와 천연가스의 장거리 수송에 사용되는 라인파이프강은 최근 자원고갈 문제로 인해 북극해, 시베리아와 같은 심해와 한랭 지역으로 그 사용 환경이 확대되고 있다. 라인파이프강은 사용 환경이 가혹해짐에 따라 고강도와 우수한 변형능 및 저온인성이 요구되고 있으며 이러한 기계적 특성을 얻기 위해 가공열처리 제어 공정(TMCP, thermo-mechanical control process)을 통해 물성을 확보하고 있다. TMCP로 제조된 라인파이프강은 제어압연 및 가속냉각 조건에 따라 다각형 페라이트(PF, polygonal ferrite), 침상형 페라이트(AF, acicular ferrite), 입상형 베이나이트(GB, granular bainite) 등 다양한 페라이트 및 베이나이트계 미세조직을 나타낸다. 이러한 복잡한 미세조직은 기계적 특성에 서로 다른 영향을 미치기 때문에 TMCP 조건에 따른 미세조직 제어가 매우 중요하다. 실제로 TMCP 중 오스테나이트 단상 영역에서 열간압연 종료 후 가속냉각 동안 2상 영역을 통과하면서 페라이트가 형성되는데, 페라이트의 부피 분율이 증가하게 되면 탄소가 오스테나이트로 많이 농축되어 경화능이 증가됨으로써 상대적으로 경한 저온변태조직이 형성될 수 있다. 본 연구에서는 TMCP에서 열간 압연 종료 후 권취 공정을 거치기 전 공석온도 부근에서 8초간 유지하는 delayed quenching 공정을 도입하였다. 이를 통해 delayed quenching 공정 도입 유무와 유지 온도에 따른 API 라인파이프강의 미세조직을 분석하고 인장 및 충격 시험을 진행하여 미세조직과 기계적 특성 간의 상관관계를 고찰하였다.

[P27-11]

고온 질화를 통한 오스테나이트계 스테인리스강의 내수소취성 개선 : 권영제, 강지현* (영남대학교)

Keywords: Austenitic Stainless Steel, High Temperature Nitriding Treatment, Austenite Stability, Strengthening, Hydrogen Embrittlement

탄소중립을 위한 수소 경제로의 진입이 임박함에 따라 수소인프라용 소재의 개발이 필요하다. 상용 316L 스테인리스강은 FCC 구조로 인해 내수소취성이 뛰어나 현재 수소인프라용 소재로 여러 활용처에 사용되고 있다. 316L보다 Ni 함량이 낮은 304L은 FCC 구조의 안정성이 낮아 변형 시 마르텐사이트로 변태하여 강도가 높은 반면 고압 수소에 노출될 경우 취성이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 고온 질화를 통해 FCC 구조의 안정성을 높여 304L의 수소취성민감성을 개선하고자 하였다. 0.8 mm 두께의 상용 304L 오스테나이트계 스테인리스강판을 고온 질화 처리하여 미세조직과 경도, 인장 물성 변화를 분석하고 내수소취성을 평가하였다. 1200°C에서 3시간 고온 질화 처리 시 시편 내에 질소가 균일하게 분포했고, 결정립이 조대화 되었다. 이에 따라 인장강도와 항복강도 모두 120 MPa, 경도가 40 HV0.05만큼 증가하였고, 내수소취성이 향상되는 것을 확인하였다.

[P27-12]

Cr-rich BCC 석출상이 포함된 FeCrNi 철계 오스테나이트강의 수소 취성 거동 : 옥일섭, 김진경* (한양대학교)

Keywords: 오스테나이트, 스테인리스, 수소취성, Cr-rich BCC

FeCrNi 계열 오스테나이트 스테인리스 강은 높은 오스테나이트 안정성에 기인한 높은 수소고용도 및 낮은 수소확산도로 인해 수소취성 저항성이 높은 합금이다. 본 연구는 $Fe_{70}Cr_{20}Ni_{10}$ (wt. %) 합금 내 Cr-rich BCC 석출상의 미세조직, 기계적 물성, 수소취성

거동에 대한 영향을 분석하였다. 열간 압연, 1200 ºC에서 균질화 처리 후 75% 냉간압연을 수행 후 결정립 크기 조건을 4 ~ 10 μm으로 조절하기 위해 800도에서 각각 5시간(A800-5), 1000도에서 1시간(A1000-1)으로 열처리된 재료의 미세조직 및 변형기구를 분석하였다. 수소 장입 전 물성의 경우 A800-5 샘플은 많은 Cr-rich BCC 부피분율 및 작은 결정립 크기에 기인해 A1000-1 샘플 대비 높은 강도 및 작은 연신율을 보였다. 파단된 샘플의 TEM관찰 결과, 두 재료 모두 변형유기 BCC 마르텐사이트 변태 및 변형 쌍정 메커니즘을 나타냈다. 100 mA/cm^2 조건으로 48시간동안 수소 장입 후 상온에서 10^{-4} s^{-1} 변형률로 인장시험한 결과, A800-5 샘플의 연신율 감소가 A1000-1 샘플 대비 컸으며, 이는 파단된 샘플의 수소 장입 영역 내에서 생성된 sigma 상의 취성에 기인한다. 두 재료의 수소취성 거동은 이차상의 효과, 수소 장입 영역의 깊이, 에지 크랙 거동 및 변형 메커니즘을 고려하여 비교 분석하였다. 본 실험 결과를 바탕으로 열처리 조건에 따른 Cr-rich BCC 분율 등의 미세조직적 변화가 수소장입 후 기계적 물성, 크랙 거동, 변형거동에 미치는 영향을 고찰하였다.

[P27-13]

Influence of Mo_2C precipitation strengthening on impact toughness in Invar alloy : Seok-Hwan Hong*, Jaejun Jeong, and Dong-Woo Suh* (Pohang University of Science and Technology)

Keywords: Invar, Carbide, Tensile Strength, Toughness, CTE

With the growing importance of space industry development, there is an increasing demand for low materials that combine low thermal expansion with high strength and impact toughness. Carbide-strengthened Invar alloy, known for its high strength and low CTE (Coefficient of Thermal Expansion), is a promising candidate for such applications. However, the toughness of this alloy has not been well-documented. In this research, we investigated the strengthening effect of Mo_2C precipitation in Invar alloy and its effect on the impact toughness. To achieve fine Mo_2C precipitation, solution treatment was conducted at a high temperature as close as possible to the melting point of Mo_2C, followed by aging. The Mo_2C-precipitated Invar alloy, which underwent solution treatment and aging, demonstrated increased tensile strength (832 MPa) compared to conventional Invar (437 MPa) after aging. Although the CTE slightly increased, the low thermal expansion properties were also well preserved. However, large amount of coarse Mo_2C was observed along the grain boundaries in the post-annealed microstructure, leading to intergranular fracture. As a result, the impact toughness significantly decreased in the Mo_2C-precipitated Invar alloy due to intergranular precipitation of Mo carbide.

[P27-14]

자동차 샤시용 1.0 GPa급 초고강도 열연 강판 개발 : 이성형*, 도형협, 김지원, 손경주, 위성준, 김규태 (현대제철)

Keywords: Hot rolled steel, 1.0 GPa, Bainite, Trailing arm, Shear surface

최근 자동차 산업은 충돌 규정 강화 대응, 연비 향상을 위한 추가 경량화 등의 이유로 기존 소재보다 높은 강도의 소재에 대한 니즈가 증가하였다. 환경 보호 및 배출 가스 규제 강화 대응 방안인 전기차의 경우 엔진, 변속기, 연료 탱크 등의 내연기관 부품이 사라지는 대신 대용량 배터리가 추가되어 내연기관 차량 대비 공차 중량이 크게 증가하기 때문에 경량화는 더욱 중요한 요소이다. 자동차 샤시 부품은 주로 열연 강판이 사용되며 초기에 인장강도 370 MPa, 440 MPa급 소재를 사용하였고 이후 경량화를 위해 590 MPa급, 780 MPa급으로 점점 고강도화 되었다. 이에 본 연구에서는 샤시 부품의 추가 경량화 및 부품 성능 향상을 위해 열연 1.0 GPa급 열연 강판을 개발하고자 하였다. 열연 1.0 GPa급 소재는 최적의 합금 설계 및 저온 권취를 적용하여 전단면이 우수한 베이나이트 조직 확보하면서 1.0 GPa 이상의 고강도를 구현하였다. 그리고 트레일링암 부품 제작 및 성능 평가 결과 목표 대비 성능이 2배 향상된 것을 확인하였다.

[P27-15]

Paintability and Corrosion Resistance Evaluation of Cut-edge in the Automotive Body : Junmu Park*, Jinho Rhee, Hyunyeong Jung, Jinhwa Jeon (Hyundai-Steel), Hwiyong Lee, Yunbo Shim, and Hyunmin Ahn (Hyundai-Motor)

Keywords: Paintability, Corrosion Resistance, Cut-edge

The main cause of initial surface corrosion issues, despite the application of optimized materials and surface treatments tailored to the vehicle type/parts, primarily stems from defects in the surface treatment, such as plating or organic coatings. The most common cause of such defects is the formation of burrs at the edges during the metal manufacturing process. The shearing process is the method for separating materials in the automotive industry, and typically, all materials undergo shearing processes during various component manufacturing stages. However, since burr management is mostly qualitative at present, it is challenging to provide precise judgment criteria when issues arise. Therefore, in this study, we aimed to conduct corrosion resistance evaluations for burr-prone areas according to the material type and propose management criteria and methods accordingly. To assess the corrosion resistance of vulnerable areas in the electrodeposition coating, we analyzed the level of burrs on actual press parts and fabricated electrodeposition coating samples using simulated plate materials. The fabricated samples underwent electrochemical analysis of the edge areas, enabling a comparative assessment of the corrosion resistance of the electrodeposition coating based on the material type. As a result, it was confirmed that controlling the level of burrs led to an improvement in corrosion resistance, with particularly excellent corrosion resistance observed when applying galvannealed steel, surpassing the corrosion current criterion by over 40 times.

[P27-16]

The Effect of Steel on Corrosion of Bimetallic FDS Joints for Automotive Body : Jin-Ho Rhee*, Jun-Mu Park, Hyun-Yeong Jung, Jin-Hwa Jeon (Hyundai-Steel), and Suk-Jong Yoo (KG Mobility)

Keywords: Automotive Steel, Galvanic Corrosion, FDS (Flow Drilling Screw)

The application of lightweighting technologies is the essential factor in minimizing the carbon emissions and increasing energy efficiency in the automotive industry. Aluminium, as the lightweight material, is increasingly used for automotive parts, and mechanical fastening techniques become necessary for multi-material parts composed of aluminium and steel due to challenges in conventional welding. FDS is one of hybrid mechanical joining techniques specialized for accessing single side. However, galvanic corrosion of aluminium in FDS joints could occur due to the electrochemical potential difference in bimetallic contacts. Therefore, it is crucial to verify the corrosivity depending on the type of steel and the structural environments in FDS joints. In this study, the corrosion properties of FDS joint between 6,000 series aluminium alloy (AA) and two types of steel were evaluated through a cyclic corrosion test following GMW14872 for 63 cycles. Corrosion thinning results of AA were compared when coupled with galvaanealed steel (GA) and cold rolled steel (CR), both having a tensile strength of 600 MPa commonly used in automotive body in Asia. The analysis was conducted in three areas as gap, interface, and underneath hardware to explore the corrosion level. As a result, GA increased the corrosion life of AA compared to CR coupled with AA by up to 2.5 times. In the gap region, the outermost joint between AA and steel exhibited the most significant thinning of AA among the three areas, with a reduction of 580 μm when coupled with CR, attribute to the galvanic and crevice corrosion effects. Additionally, it was found that corrosion cross-sectional extent of AA with GA in the gap region indicated 43% of that with CR. The zinc-based coating on FDS hardware prevented penetration from the salt solution, but side of the hardware acted as weak region, showing only 30% thickness after the corrosion test.

[P27-17]

Gr.80 고강도 원자력 철근의 기계적 성질에 미치는 합금성분의 영향 : 원성빈*, 김길수 (동국제강)

Keywords: 고강도, 원자력, 철근, 합금설계, ASTM A615

원자력 발전소를 구성하고 있는 구조물의 내진성능을 확보하기 위해 재료의 특성과 설계가 중요하겠지만 구조물에 적용된 철근 및 콘크리트의 품질 또한 중요한 요소로 작용된다. 콘크리트 경화 후 발생한 공극은 콘크리트의 압축강도 저하를 유발하여 전체적인 구조성능에 영향을 미치게 되는데 공극 발생을 줄이기 위해 기존 대비 고강도의 철근을 적용하여 배근 간격을 넓혀 설계하는 방법이 있다. 원자력 철근은 전통적으로 ASTM A615 Gr.60 (60 ksi, 항복강도 420MPa급) 한가지 강도 Grade의 제품이 주로 사용되어 왔으나 콘크리트의 품질 확보를 위해 최근 한국콘크리트학회 및 한국수력원자력 등 원전구조물 건설 관련 기관들이 설계기준 개발 연구를 수행하여 Gr.80 (80 ksi, 항복강도 550 MPa급) 원자력 철근을 적용할 수 있도록 여러 기준들을 개정하고 있으며 향후 국내 원전구조물 건설에도 고강도 원자력 철근이 적용될 것으로 예상된다. 이에 본 연구는 80% 이하 저항복비 특성을 가지면서 ASTM A615 - Grade 80 고강도 원자력 철근 개발을 위해 합금성분 첨가가 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 설계된 합금조성은 진공 용해로를 이용해 잉곳으로 제작하여 열간압연 모사 Pilot 압연을 통해 판재 형상으로 제조하였고, 빌렛에 용접으로 잉곳을 접합한 소재를 철근 생산공장에서 열간압연하여 철근 형상으로도 제조하였다. 합금조성에 따른 연속냉각곡선 (Continuous Cooling Temperature, CCT)을 JMatPro simulation을 통해 도출하였으며 합금성분 첨가에 따른 CCT 변화로 철근의 미세조직이 달라짐을 확인하였다. 온도에 따른 석출물의 거동을 예측하기 위해 FactSage 열역학 해석을 수행하여 기계적 성질에 미치는 영향을 확인하였다. 철근의 미세조직은 광학현미경 (OM) 및 주사전자현미경 (SEM)을 통해 확인하여 기존 철근 대비 변화된 결정립 크기 및 분율을 분석하였다. 이러한 미세조직 특성들이 결과적으로 기계적 성질에 미치는 영향을 확인할 수 있었으며 이를 통해 Gr.80 고강도 원자력 철근을 개발하였다.

[P27-18]

Invar강 용접봉의 기계적 물성 향상을 위한 합금 원소 첨가 효과 분석 : 김연지, 유연정, 유혜연, 노윤경, 이초롱* (㈜동아특수금속), 김성욱, 최지웅 (포항산업과학연구원)

Keywords: Invar36, Welding rod, Rolling, Drawing, LNGC

Invar 강은 –196 ºC~260 ºC 온도 구간에서 열팽창계수가 매우 낮으며 철에 비해 약 1/10 이하의 열팽창계수를 가진다. 이와 같은 특성을 가진 Invar 강은 약 -163 ºC 극저온의 액화천연가스를 견딜 수 있어 LNG 화물창과 연료탱크의 소재로 활용되고 있다. 대형의 LNG 화물창은 강판을 용접하여 제작되는데, 용접 시 용접 특성 저하 방지를 위해 동일한 소재인 Invar 용접봉을 활용한다. 그러나 Invar 용접봉 제작은 국내에서 전무하고 전량 수입하여 사용하고 있다. 이를 위한 국산화 Invar 용접봉 제작 연구를 진행 중이며, 추가로 상용 용접봉의 기계적 물성을 향상시키기 위해 원소를 미량 첨가하여 용접봉을 제작 후 비교 분석하였다. 본 연구에서는 Invar강 스크랩을 활용한 상용 용접봉과 합금 원소 첨가 용접봉을 제작하여 첨가 원소에 따른 열팽창계수 및 물성 변화를 비교하고자 하였다. 단시간에 균질한 제품을 제작할 수 있는 유도 스컬 용해 (Induction Skull Melting, ISM)를 이용하여 봉재를 제작하였고, 열간압연 및 인발 공정을 거친 dia. 2 mm의 coil을 수동 TIG 용접봉 제작을 위해 1,000 mm 길이로 절단하고 직선 교정을 실시하였다. 이후 표면의 산화막을 제거하기 위해 표면 가공 후 최종적으로 dia. 1.6 × 1,000 mm 용접봉을 제작하였다. 제작된 상용 용접봉과 원소 첨가 용접봉을 활용하여 T 0.7 mm인 Invar강 판재를 수동 TIG 용접으로 겹치기 용접 (Lap joint)을 진행하였다. 용접 후 용접 단면 치수는 약간 차이가 있었으나 미세구조는 두 용접재료에서 비슷한 양상을 보였다. 그러나 경도는 HAZ에서 합금원소를 첨가한 용접봉이 다소 높음을 확인하였다. 이러한 기계적 물성 차이 원인 파악을 위해 탄화물 분포 및 크기 등을 추가로 분석하고 원소 첨가 용접봉 활용 가능성 여부를 판단하였다.

[P27-19]

SCM420 합금강 단조부품의 열처리 공정 최적화 : 이준하 (국립한밭대학교), 신경식 (㈜세림티앤디), 김정민* (국립한밭대학교)

Keywords: SCM420, alloy steel, heat treatment, microstructure, hardness

자동차 부품 등에 널리 사용되는 저합금강인 SCM420은 단조 등 소성가공 공정의 중간 또는 최종적으로 보통 열처리를 수행하게 되며, 이를 통해 성형성을 높이거나 최적의 기계적 성질을 갖게 된다. 본 연구에서는 SCM420을 사용한 단조 부품을 제조하는 과정에서의 어닐링 및 급냉-템퍼링 열처리 조건에 따른 미세조직과 경도의 변화를 조사하였다. 구상화 어닐링 열처리 조건의 경우 성형성 개선 효과를 높이기 위해 1단보다는 2단계 공정을 적용하는 것이 조직 연화에 도움이 될 것으로 기대하였으나 큰 차이가 발견되지는 않았다. 다만, 어닐링 열처리 전의 소성 가공량이 많을수록 어닐링 후의 경도저하가 더 뚜렷한 것으로 나타났다. 급냉-템퍼링 열처리의 경우 급냉 공정을 일반적인 조건(1단계) 및 2단계 조건, 즉 2가지를 선정하여 미세조직 및 경도의 차이를 비교하였으며, 2단계 급냉 시편의 경우 미세조직이 상대적으로 더 미세하지만 경도는 약간 낮은 것으로 조사되었다. 급냉 후에는 575 ºC에서 2시간 템퍼링 공정을 추가로 실시하였으며, 2단계 급냉 공정 시편의 경우가 템퍼링 미세조직이 더 미세하였고 경도도 더 높은 경향을 보였다. 한편, 템퍼링 열처리 과정 중 마르텐사이트 기지의 분해 및 연화 그리고 미세한 탄화물의 형성이 이루어지며, 이에 대한 정밀한 관찰을 위해 현재 TEM분석이 진행 중이다.

[P27-20]

티타늄 함유 슈퍼 듀플렉스 내식강의 부식특성 : 한윤기, 김정민* (국립한밭대학교)

Keywords: duplex stainless steel, titanium, corrosion, electrochemical

슈퍼 듀플렉스 내식강은 우수한 내식성과 기계적 성질을 겸비할 수 있기 때문에 해양산업부품 등에 많이 사용되고 있으며, 미세조직과 기계적 성질을 최적화하기 위해 소성가공 및 열처리 조건에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다. 저자들은 건전한 대형부품의 제조에 필수적인 성형성과 부식특성을 개선하는 연구를 수행하고 있으며, 화학조성 측면에서는 소량의 Ti첨가가 매우 효과적임을 관찰한바 있다. 본 연구에서는 0.2%Ti가 첨가된 S32750 합금을 중심으로 제조공정 변수에 따른 미세조직과 전기화학 부식특성의 변화를 조사하였다. 기본적인 제조공정의 경우 1100 ºC 고용화 열처리 후 압연을 수행하고, 추가적으로 850 또는 950 ºC에서 최종 열처리하는 조건이며, 950 ºC 열처리 조건에서는 가열시간을 1시간과 10시간, 2가지로 선정하여 미세조직 조대화의 영향을 조사하였다. 최종 열처리 온도와 상관없이 기본 합금조성 대비 0.2%Ti 첨가를 통해 부식전위가 상승하는 결과가 관찰되었으며, EIS분석결과에서도 표면피막의 부동태 안정성이 향상되는 것으로 나타났다. 미세조직의 조대화 영향의 경우 예상한 것과는 달리 내식성을 오히려 약간 개선되는 경향이 관찰되었으며, 페라이트/오스테나이트 분율 및 제2 석출상 분율의 변화에 주로 기인한 것으로 사료된다.

[P27-21]

VC석출 분말야금압연롤 소재의 물성/가공성 평가 연구 : 정야호, 김한수, 길희진, 정휘근, 이원혁* (㈜코나솔)

Keywords: 분말야금, 압연롤, 금속복합소재, canning-HIP, 내마모

최근 철강, 첨단소재 등 다양한 산업에 걸쳐 기가스틸 등 초고강도 소재가 개발되면서 생산량이 꾸준히 증가하고 있다. 기존의 고속도강 압연롤은 내마모성의 한계로 인하여 교체 주기가 짧아 생산성 저하의 문제를 보이며, 초경 압연롤은 내마모성이 우수하지만 가공이 어려운 단점이 있다. 본 연구에서는 전산열역학을 기반으로 한 합금설계를 이용하여 내마모성이 우수한 Fe-VC계 분말 소재를 개발하였다. 또한 이를 이용하여, 고온등방압성형을 통해, 제조한 벌크소재가 우수한 복합물성을 지니는 것을 확인하였다. 자체 개발한 고온압연모사 내마모시험장비를 이용한 평가와 기계적 물성평가를 통해 기가급 철강 소재에 적용가능한 분말야금 압연롤 소재의 특성을 확인하였다. 개발된 소재의 가공성은 기존 주단조 고속도강 및 상업용 분말야금 소재와 비교한 결과, 기존 고속도강과 유사한 수준의 성능을 나타내는 것으로 확인되었다. 본 연구를 통하여 철강산업의 생산성을 비약적으로 향상시키는 분말야금 압연롤을 제조할 수 있는 가능성을 확인하였다. 또한, 분말합금설계 및 미세조직 제어를 통해 차세대 압연공정을 위한 압연롤 제조기술을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

[P27-22] Canceled

Comparative analysis of Thermal Expansion Coefficients for LNGC Invar plates of varying thickness using a push rod dilatometer : 최지웅, 김성욱*, 이현석, 최미선 (포항산업과학연구원)

Keywords: LNG carrier, Invar alloy, CTE(Coeffcient of thermal expansion)

최근 가스 이송 산업에서는 LNG와 NH_3 등의 친환경 가스 연료에 대한 관심이 높아지고 있다. LNG를 해외에서 도입할 때, 저장 및 운송의 경제성을 확보하기 위해 극저온 상태로 액화하는 것이 필수적이다. LNG를 이러한 초저온 상태로 유지하기 위해서는 특수 단열 기능을 갖춘 전용탱크가 필요하며, 탱크의 내벽에는 주로 극저온 환경에서 열팽창계수(CTE)가 낮은 Invar 박판(두께 0.7~1.5 mm)이 사용된다. CTE는 주로 Vertical mode push rod dilatometer를 이용해 측정되지만 시편 고정 방법에 문제점이 있어 정확한 측정값을 도출하기에 어려움이 있다. 본 연구는 동일한 조성을 가진 Invar 합금 판재의 열팽창계수(CTE)를 측정하며, 시험편 고정 방법과 두께의 다양화를 통해 도출된 CTE 값을 비교하였다. LNG 저장용기에 사용되는 Invar 합금 판재의 CTE는 LINSEIS L75H 장비를 이용해 ASTM E228 규격에 따라 –180 ºC에서 상온(25 ºC)까지, 승온 속도 10 ºC/min 으로 측정되었다. 두께 4 mm의 Invar 판재는 R방향과 T방향에서 각 각 1.421 및 1.316 0ppm/ ºC로 측정되어 1.5±0.5 ppm/ ºC의 범위를 만족하였다. 반면 0.7 mm 두께의 invar 판재는 고정 치구 유무에 따라 각각 1.3598 및 1.2189 ppm/ ºC로 측정되어 큰 차이를 보였다. 따라서 합금 판재 두께에 따른 열팽창계수 측정 시, 시편 고정 방법이 재현성과 신뢰성에 영향을 미친다는 것을 시사한다.

P28 : 알루미늄
Room 2층 로비, 10월 30일

[P28-1]
시효 시간 및 Cu 첨가 조건이 Al-Mg-Si 합금의 미세조직 및 부식 거동에 미치는 영향 분석 : 홍현빈, Raj Narayan Hajra (국립한밭대학교), 신은주 (한국원자력연구원), 김재국, 이종숙 (전남대학교), 김정한 (국립한밭대학교), 김재황* (한국생산기술연구원), 조훈휘* (국립한밭대학교)
Keywords: Al alloys, Cu addition, artificial aging, electrochemical behavior, precipitation behavior

세계적으로 온실가스 배출을 줄이기 위한 노력이 지속되고 있으며, 이로 인해 연비 규제가 강화되고 경량 소재에 대한 수요가 증가하는 추세이다. 그 중, 6xxx계 Al 합금은 철강 대비 높은 비강도와 가공성, 내식성으로 차량 및 항공기의 경량 소재로 널리 사용되고 있다. 차량 및 항공기 이용의 안전성을 위해 Cu를 첨가하여 강도 특성을 향상시키는 연구가 진행되었으나 내식성의 저하 문제가 대두되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 강도와 내식성의 최적화를 위해 다양한 열처리 조건 및 Cu 첨가 조건에 따른 6xxx계 Al 합금의 미세조직 및 전기화학적 거동을 분석한다. Cu의 첨가 여부에 따른 Al 합금을 제작하고, 인공 시효 조건을 다양하게 설정하였다. 전기화학 계측기 (Potentiostat)를 사용하여 전기화학적 거동을 측정하였으며, 인공 시효 시간이 증가할수록 높은 부식 속도를 보였으나 Cu가 첨가된 경우 반대의 양상을 보였다. 광학 현미경(Optical Microscope, OM)으로 부식된 시편의 단면을 관찰하여 표면에서의 부식 형태와 깊이를 확인하였다. 시차 주사 열량계(Differential Scanning Calorimetry, DSC)와 투과 전자 현미경(Transmission Electron Microscope, TEM), 소각 중성자 산란 장치(Small Angle Neutron Scattering, SANS)를 이용하여 각 조건별 석출물에 따른 미세조직 거동 차이를 비교하고 분석하였다.

[P28-2]
Mechanical properties and thermal conductivity on Non-Heated Al-Si alloys fabricated by High Pressure Die Casting : 강청아* (한국재료연구원, 부산대학교), 조용희, 이윤호 (한국재료연구원), 이제인 (부산대학교), 조영희* (한국재료연구원)
Keywords: Al-Si alloy, High Pressure Die Casting(HPDC), Thermal conductivity, Mechanical properties, Castability

경량성, 주조성, 열전도도 및 유동성이 우수한 Al-Si계 합금은 수송기기 부품 소재로 많이 활용되고 있으며, 최근에는 다이캐스팅 공법을 적용한 Al-Si계 합금에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한, Al-Si계 합금은 강도를 향상시기기 위하여 Mg과 같은 합금원소를 첨가하거나 인공시효 열처리를 통한 시효 강화를 통해 기계적 특성을 개선하여 왔다. 그러나, 수송기기 분야에서 부품 일체화 및 대형화가 요구됨에 따라 열처리에 의한 제품의 변형을 최소화 할수 있는 비열처리화(Non-Heated) 소재 개발에 대한 요구가 높아지고 있다. 비열처리형 합금은 열처리형 합금보다 물성이 낮기 때문에, 주요 합금원소인 Si 외에도 다양한 합금 원소를 첨가하여 정출상의 생성 및 형상 제어를 통한 비열처리형 합금의 특성 개선이 필요하다. 그러나 정출상을 활용한 강도 개선은 xEV에서 요구하는 열 전도도(Thermal conductivity) 특성과 Trade-off 관계를 갖는다. 입중그룹에서 다이캐스팅 소재를 받아, 합금조성 변화에 따른 이들의 미세조직 변화를 분석하고 이를 기반으로 인장특성 및 열전도도의 변화를 해석하였다. 합금의 응고 거동과 형성되는 정출상을 예측하기 위해 열역학 전산모사 (Factsage)를 활용하여 계산하였고, 광학 현미경 및 주사 전자 현미경을 통해 미세조직을 관찰하였다. 각각의 합금은 수지상 간격 (Dendrite Arm Spacing, DAS)은 성분 차이에 의해 크게 차이가 나지 않았으나, 서로 다른 정출상이 형성되었다. 각각의 합금의 기계적 특성을 측정하기 위하여 인장 시험을 평가하였다. Fe 과 첨가는 정출상의 fraction을 증가시켜 인장 강도는 향상되었지만, 형성되는 Fe 금속간 화합물 (Intermetallic compounds, IMCs)이 연신율에 부정적인 영향을 끼치게 평가되었다. 열 전도도는 레이저 플래시(Laser flash) 방법을 사용하여 평가하였다. Fe 대비 Si 함량이 낮은 경우, 물성과 열전도도가 동시에 낮은 값으로 평가되었다. 합금 CT 분석 결과 기공이 높은 분율로 존재하였으며, 기공 영역에서는 EDS 결과 산화물이 관찰되었다. Si 함량이 낮은 합금에 Fe 첨가 시, 주조성(Shrinkage, Oxide particle)에 부정적인 영향을 미침을 관찰하였고, 이러한 결과는 합금의 밀도를 낮추어 열전도성이 떨어지는 결과임을 고찰하였다. 따라서 물성과 열 전도도를 동시에 향상시킬 때는 다양한 원소의 첨가가 주조성에 미치는 영향을 고려해야한다.

[P28-3]
시효 전 압연 공정이 Al-Zn-Mg-Cu-Sc-Zr 합금의 미세조직과 기계적 물성 변화에 미치는 영향 연구 : 천현석 (한국재료연구원, 부산대학교), 김지수 (한국재료연구원), 임하윤 (한국재료연구원, 부산대학교), 김수현* (한국재료연구원)
Keywords: Al-Zn-Mg-Cu alloy: Sc, Zr, Mn alloy elements, high Zn alloy, prerolling, mechanical propertie

에너지와 환경 분야에 관심이 증가하면서 운송 산업 내에서 비강도 향상을 통한 연비 개선이 활발하게 시도되고 있다. 알루미늄 합금 중 상대적으로 높은 물성을 보이는 7000계 합금은 항공, 차량 산업의 다양한 부품 소재로써 활발히 사용되고있다. 하지만 다양한 부품에 적용을 위해 여전히 추가적인 물성 향상이 요구되고있다. 본 연구에서는 시효 전 가공을 통해 고 Zn 함량의 Al-Zn-Mg-Cu-Zr-Sc-Mn 합금 기계적 특성의 향상에 대한 연구를 진행하고자 하였다. 합금계 주 강화상 형성 원소로 알려진 Zn 함량이 다른 2가지의 고 Zn함량 시편을 주조하고, 시효 전 가공을 수행해 시료 물성에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 고용화 열처리 후 수냉 된 시료를 시효 전 압연하였고, 여러가지 압연율을 2가지 합금에 적용하였다. 경도, 인장 시험으로 기계적 물성의 변화를 측정하였으며, 이때 나타나는 물성차이의 원인을 SEM-EDS, EBSD, DSC, XRD로 확인하고자 하였다. 모든 시료에서 주 강화 상인 Zn/Mg계 상 형성을 알 수 있었으며, 압연량의 증가에 따라 피크 경도에 도달하는 시간이 감소하는 것을 알 수 있었다. 시효

전 가공 적용에 의해 나타나는 전위 및 결함등의 차이를 확인하고, 증가한 내부 결함의 변화가 고 Zn 합금의 강도 및 연신율에 미치는 영향과 내부 에너지 차이가 석출물 형성에 차이를 만드는지 확인하였다. 또한 가공 과정에서 나타나는 정출상의 분쇄와 분포가 미치는 조직적인 영향을 통해 고 Zn 합금의 제작을 위한 공정을 최적화 하고자 하였다.

[P28-4]

인서트 캐스팅된 알루미늄 합금간 계면 처리 방법에 따른 접합 특성 및 열전도 특성에 대한 연구 : 김하늘, 김희국, 장병록* (인하대학교)

*Keywords: v*알루미늄, 이종 접합 소재, 열전도도, 접합 특성, 미세 조직

인서트 캐스팅은 다이캐스팅을 통해 서로 다른 금속을 결합하여 부품 결합 공정을 획기적으로 줄일 수 있는 방법이다. 본 연구에서는 알루미늄 압출재에 대해 알루미늄 다이캐스팅을 통한 결합을 진행한다. 결합부의 계면 특성 개선을 위해 알루미늄 압출재 표면에 아연 도금을 진행하였으며, 도금층의 두께에 따른 계면 접합 특성과 열전도 특성에 대한 분석을 진행한다. 아연 도금을 하지 않았을 때는 접합 계면에서 크랙이 발생하였고, 접합 강도나 열전도 특성이 불량하다. 그러나 아연 도금 이후 인서트 캐스팅을 진행할 경우 아연 도금과 주조재 간에 합금층이 형성되며 접합 특성이 개선된다. 이로 인해 열전도 특성 또한 향상된다.

[P28-5]

와이어-아크 적층제조 공정으로 제조된 A7075 알루미늄 소재의 후처리에 따른 기계적 특성 변화 : 천현석 (한국재료연구원, 부산대학교), 김원경, 윤연희, 박유빈 (한국재료연구원), 임하윤 (한국재료연구원, 부산대학교), 김수현, 이윤수* (한국재료연구원)

Keywords: 알루미늄, 와이어-아크 적층 제조, 미세조직, 기계적 특성

적층제조는 고밀도의 열원을 이용하여 설계한 형상을 3차원적으로 쌓아 올리는 생산 방식이다. 이 중 와이어-아크 적층제조(wire-arc additive manufacturing, WAAM) 공정은 기존의 아크 용접 방식을 적층제조에 응용한 기술로, 금속 소재의 전극과 모재 사이에 높은 전류와 전압을 이용하여 아크 플라즈마를 발생시킴으로써 금속을 녹이고 이것을 쌓아서 3차원 형상의 금속 제품을 제조하는 방식이다. 이 방식은 생산 속도가 매우 빠르고(스틸 또는 알루미늄의 경우 약 1~4 kg/h, 경우에 따라 10 kg/h 도달 가능), 분말 대비 와이어의 가격 저렴하고 사용 및 보관의 편의성이 높으며, 다른 적층제조 공정 대비 초기투자비용이 낮을 뿐만 아니라, 사용자가 모든 브랜드의 전원 및 조작기의 결합과 개조가 가능한 개방형 시스템 등 다양한 장점을 가지고 있어 고속·저가 적층제조 기술로 각광받고 있다. 이러한 와이어-아크 적층제조 공정을 활용하여 제조한 소재는 적층 과정에서의 공정변수뿐만 아니라, 가공방법 및 열처리와 같은 후처리 조건에 따라 다양한 기계적 특성을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 와이어-아크 적층제조 공정 중 입열량을 최소화하기 위하여 CMT(cold metal transfer) 모드를 활용하여 고강도 A7075 알루미늄 소재를 제조하였다. 제조한 소재에 대하여 적층방향과 수평 및 수직 방향으로 인장시편을 가공하였으며, 다양한 열처리 공정(F, T4, T5, T6)을 적용하고 미세조직 분석 및 인장시험을 수행하였다. 그 결과 후처리 조건에 따라 인장특성이 크게 변화하였으며, 이를 미세조직과 연계하여 해석하였다. (감사의 글) 본 연구는 한국연구재단의 나노·소재 기술개발사업(2021M3H4A1A0409199921)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

[P28-6]

OQMD를 바탕으로 한 기계 학습을 통해 설계된 La 또는 Sr이 첨가된 Al-Cu 합금에서의 새로운 석출물에 관한 연구 : 전서연, 박수원, 조아연 (국민대학교), 김세훈 (한국자동차연구원), 김용주 (고려대학교), 최현주* (국민대학교)

Keywords: Al-Cu 합금, 석출 강화, 열처리, 미세구조, 기계적 성질

알루미늄 합금은 높은 비강도와 우수한 열 및 전기 전도성을 지녀 자동차, 항공우주, 건축 등 다양한 분야에서 널리 활용된다. 최근에는 기존 합금 원소 외에도 새로운 원소를 첨가하여 미세구조를 제어하거나 새로운 석출물을 유도함으로써 기계적 특성을 개선하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 석출 강화로 인한 재료 강도의 향상은 석출상이 전위 이동뿐만 아니라 음향 양자(phonon) 이동도 저해하여, 일반적으로 열 및 전기 전도성과 재료 강도 특성 사이의 상충 관계가 발생한다. 따라서 이 두 가지 특성을 동시에 만족시키는 재료 개발이 필요하다. 본 연구에서는 OQMD 기반의 기계 학습을 활용하여 잠재적인 석출물을 계산하고 이를 실증하여 기존 석출물의 물성 한계를 극복하고자 한다. 이를 위해 Al-Cu 합금에 소량의 란타넘(La)과 스트론튬(Sr)을 첨가하여 기계적 특성을 분석하고 새로운 석출물을 유도하고자 하였다. Al-Cu-La 및 Al-Cu-Sr 합금을 주조하고 압출 과정을 거쳐 시편을 제작하였으며, 용체화 처리 조건과 인공시효 조건을 다르게 하여 연구를 진행하였다. 시효 처리 조건 설정과 열처리에 따른 새로운 석출물 유도를 확인하기 위해 시차주사열량계(DSC)를 활용하였고, 미세구조와 상 분석을 위해 주사전자현미경(SEM)과 X선 회절분석(XRD)을, 기계적 특성 평가는 비커스 경도 시험과 전기전도도 측정을 통해 열처리 조건에 따른 석출상과 기계적 특성 간의 관계를 분석하였다.

[P28-7]

과도한 스칸듐 함량이 Al-Zn-Mg-Cu(7xxx 시리즈) 합금의 기계적 성질과 미세구조에 미치는 영향 : 박승준* (한국생산기술연구원, 고려대학교), 한정우, 양하규 (한국생산기술연구원), 강이승, 김규현* (한국생산기술연구원)

Keywords: 경량소재,알루미늄,희토류,미세구조 분석

7xxx 시리즈 알루미늄 합금(Al-Zn-Mg)은 기계적 특성을 향상시키기 위해 과포화 고용체의 인공 시효 처리를 거친 석출 경화 합금입니다. 소량의 스칸듐(Sc)을 첨가하면 일관된 MgZn2 침전물의 형성을 촉진할 수 있지만, 과도한 Sc 첨가는 해로운 영향을 미칠 수 있습니다. 과도한 Sc는 2차 상의 형성과 1차 $MgZn_2$ 입자의 조대화를 초래하여 원하는 미세 침전물 분포를 방해할 수 있습니다. 고온에서 과시효는 석출물 조대화를 유발하여 전위 장벽으로서의 효율성을 감소시키고 합금의 기계적 특성을 저하시킵니다. 이전 연구에서는 Cu 4.0 wt.%와 Sc 0.07 wt.%를 함유한 합금이 Sc 함량이 다른 합금에 비해 석출물 크기가 더 크고 기계적 강도가 감

소한 것으로 나타났습니다. 이를 더 자세히 조사하기 위해 본 연구에서는 Sc 함량을 1.5 wt%로 증가시키고 120°C에서 24시간, 120°C에서 48시간, 240°C에서 24시간 열처리를 적용했다. 광학 현미경(OM), X선 회절(XRD), 주사 전자 현미경(SEM), 에너지 분산 분광법(EDS) 및 인장 시험을 사용하여 주조 및 열처리된 7xxx 시리즈 알루미늄 합금에 대한 미세 구조 분석 및 기계적 특성 평가를 수행했습니다. 그 결과, 이전 연구의 Cu 4.0 wt%/Sc 0.07 wt% 합금에 비해 결정립 크기는 증가하고 기계적 강도는 감소한 것으로 나타났으며, 240°C/24 h 열처리 합금에서는 강도가 크게 감소하는 것으로 나타났습니다. 본 연구에서는 각 합금의 미세구조를 분석하여 과도한 Sc 함량과 과시효가 경화 석출물 형성에 미치는 영향을 명확히 하는 것을 목표로 합니다.

[P28-8]

Al-Zn-Mg-Cu (7xxx) 합금의 미세구조 및 기계적 특성에 미치는 Cu와 Sc 첨가의 영향 : 양하규*, 한정우, 박승준 (한국생산기술연구원, 고려대학교), 강이승, 김규현* (한국생산기술연구원)

Keywords: 경량소재, 알루미늄, 희토류, 미세구조분석

7xxx계 알루미늄 합금은 열처리를 통해 미세구조 변화를 최적화하기 위해 MgZn2 경화 침전물의 형성을 유도하는데, 이는 기계적 특성에 영향을 미친다. 일반적으로 열처리 공정에는 소성 가공, 균질화, 용체화 및 인공 시효가 포함된다. 7xxx계 알루미늄 합금의 기계적 특성을 더욱 향상시키기 위해 희토류 원소인 Sc을 미량 첨가하는 microalloying 기법이 사용되는데, Sc 첨가로 Al3Sc 석출물이 형성되어 핵생성 사이트를 제공하고, 재결정화 억제로 인한 결정립 미세화를 통해 전위의 이동을 방해하여 합금의 기계적 특성을 향상시키는 것으로 알려져 있다. 반면, Cu는 Al 매트릭스 내 고용도가 매우 낮고, 결정립 경계 영역에서 금속간 화합물(intermetallic compounds) 형성을 유도하여 균열이 시작되고 확산되는 지점을 제공한다. 그럼에도 불구하고, Al 7050 합금에서 Cu의 함량은 주요 석출상 MgZn2를 형성하는 Mg의 함량과 동일하다. Cu의 함량이 증가할수록 석출물의 성장이 가속화되어 기계적 특성이 감소하는 경향이 관찰되었다. Sc을 미량 첨가하면 이러한 석출물 성장을 억제하여 기계적 특성이 향상될 수 있지만, Cu의 함량이 과도하거나 부족할 경우 Sc의 첨가 효과가 미미하거나 오히려 기계적 특성이 저하되는 현상이 나타났다. 이를 통해 Sc 미량 첨가의 효과가 단순히 Sc 단독의 효과가 아니라, 다른 원소와의 상호작용에 의해 영향을 받을 수 있다는 것을 확인하였다. 따라서 우리는 이전 연구에서 고려되지 않았던 Sc microalloying의 효과를 재검증하고, Sc microalloying의 효과에 대한 Cu의 영향에 대해 미세구조 분석을 진행하였다.

[P28-9] Canceled

RE 원소 첨가에 따른 Al-Si 합금의 미세조직, 기계적 및 전기적 특성에 관한 연구 : 고은찬, 이병권 (전남대학교, 한국생산기술연구원), 김용호, 유효상, 손현택* (한국생산기술연구원), 김태훈 (전남대학교)

Keywords: Al alloy, 경량 소재, 미세조직, 기계적 특성, 전기전도도

알루미늄과 그 합금은 높은 비강도, 우수한 열전도도, 그리고 낮은 밀도로 인해 자동차 및 항공우주 산업에서 중요한 구조재료로 광범위하게 사용되고 있다. 특히, 전자기기와 같은 고열 전도성을 요구하는 응용 분야에서는 알루미늄 합금이 제품 성능과 수명에 중요한 영향을 미치며, 열전도율과 기계적 특성이 우수한 Al 합금은 기존의 구리 합금을 대체할 수 있는 가능성을 가지고 있다. 본 연구는 Al-Si 합금에 희토류(RE) 원소를 첨가하여 미세조직, 기계적 특성 및 열적 특성의 변화를 분석함으로써, Al 합금의 성능을 향상시키기 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다. 본 연구에서는 Al-Si 합금에 0, 0.5, 1.0 및 2.0 wt%의 RE 원소를 첨가한 후, 유도로를 사용하여 주조를 진행하고 압출 과정을 통해 합금을 제조하였다. 제조된 합금의 미세구조를 분석한 결과, RE 원소의 첨가로 인해 AlSi 금속간화합물의 형성이 촉진되었으며, RE 함량이 증가함에 따라 AlSiRE 금속간화합물이 형성되고 그 면적 분율이 증가하는 것을 확인하였다. 또한, 압출 공정 중 금속간화합물은 미세 입자로 분쇄되었고, 압출 방향으로 연신되어 배열되는 경향을 나타냈다. 전기전도도는 IACS(International Annealed Copper Standard) 기준으로 측정되었으며, 1 wt% RE 첨가 시 최대 전기전도도 값인 57.3%IACS를 기록하였다. 이는 Al-Si 합금 내에서 적절한 RE 첨가량이 전기전도도에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 또한, 기계적 특성을 평가하기 위해 인장시험을 진행한 결과, RE 함량이 증가함에 따라 최대 인장강도는 108.1MPa로 향상되었으며, 이는 RE 원소가 합금의 기계적 강도를 강화시키는 역할을 할 수 있음을 보여준다. 그러나 연신율의 경우, RE 함량이 1wt%까지 증가함에 따라 최대값인 40.2%에 도달한 후, 추가적인 RE 첨가로 인해 감소하는 경향을 확인하였다.

[P28-10]

고온 열처리된 Al-Mg-Si계 합금의 열안정성에 미치는 Ni 미량원소의 영향 : 남수민 (한국재료연구원, 경북대학교), 손현우*, 어광준 (한국재료연구원), 이재석 (한국재료연구원, 부산대학교), 김용유 (한국재료연구원, 과학기술연합대학원대학교), 최명식 (경북대학교)

Keywords: Al-Mg-Si 합금, 미세구조, 석출거동, 시효경화, APT

Al-Mg-Si계 합금은 높은 비강도와 우수한 성형성을 가져 전기자동차 배터리 외장재 등의 경량구조재료로 사용되고 있다. 그러나 Al-Mg-Si계 합금이 열환경에 지속적으로 노출될 시, 열연화로 인해 석출물이 조대해지며 기계적 특성이 저하되므로 Al-Mg-Si 합금의 열안정성 향상이 요구되고 있다. 이러한 문제를 해결하고자 β-type 나노 석출상의 계면에 미량원소를 편석시켜 열안정성을 향상하기 위한 연구들이 보고되고 있다. 그러나 Al 합금에서 열안정성을 향상시키기 위해 사용되는 미량원소는 일반적으로 높은 가격을 가져 산업적으로 활용하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는, Al-Mg-Si계 합금에 Ni를 미량 첨가하고 고온 열처리를 수행하여 Ni의 기지 고용도를 증가시켜, Ni의 석출물 계면 편석을 통해 열안정성 및 기계적 물성을 동시 향상시키고자 하였다. 냉간압연된 시험편을 540 ºC, 600 ºC에서 용체화처리하였고, 급냉 후 200 ºC, 260 ºC에서 200시간까지 인공시효하였다. 경도시험을 통해 석출 거동을 확인하였으며, DSC, TEM, APT를 활용하여 석출 거동 변화의 원인을 분석하였다. 분석 결과, Ni 미량 첨가에 의해 시효 경도의 최대 경도값이 상승하였으며, 과시효 구간에서는 경도 저하를 방지하므로 Ni에 의해 열안정성을 향상된 것을 기대하였다. 이는

TEM 촬영을 통해 β-type 나노 석출상의 계면에 Ni이 편석되어 석출물의 조대화를 방지하여 열안정성을 향상시켜 기계적 특성의 저하를 방지하는 것으로 드러났다.

[P28-11]

풀러렌을 첨가한 알루미늄 복합재의 레이저 경화 특성 연구 : 이소민, 김수민, 한주연, 이효정, 최현주* (국민대학교)

Keywords: Fullerenes, Aluminum matrix composite, Laser hardening, Nanopacrticles, Mechanical property

최근 탄소 나노 소재를 기반으로 한 알루미늄 복합재에 관한 여러 연구가 진행되고 있다. 특히, 풀러렌은 매우 안정한 분자 구조를 가지며 고온에서 금속 원자의 확산을 방해하여 우수한 기계적, 열적 특성을 가지는 복합재 개발의 핵심 재료로 사용되고 있다. 알루미늄 복합재는 항공우주 및 자동차 산업 등 다양한 분야에서 널리 사용되고 있으며 제조 공정을 통해 성질을 조절할 수 있다. 그 중 레이저 경화 공정은 레이저 빔을 사용하여 금속 표면을 국부적으로 가열하고 급속 냉각함으로써 표면 경도 및 내마모성을 향상시키는 기술이다. 본 연구에서는 풀러렌을 2 vol%, 3 vol%, 5 vol% 로 첨가한 알루미늄 복합재를 제작한 후, 레이저 경화 공정을 통해 열처리 없이 기계적 성질 강화 효과를 관찰하고자 한다. 고에너지 볼밀링 공정을 통해 풀러렌을 알루미늄에 분산시켜 복합재 분말을 제작하고 480도에서 압연을 진행하였다. 다양한 레이저 파워와 속도 조건을 설정하여 실험을 수행하고, 최적의 공정 조건을 통해 강화된 복합재를 제작하였다. 미세구조 분석은 OM, SEM, XRD, XPS 기법을 사용하여 수행하였으며, 비커스 경도 시험을 통해 경도 변화를 평가하였다.

[P28-12] Canceled

열간 비틀림된 7000계 알루미늄 합금의 Zn 함량에 따른 고온 거동 분석 : 민병현 (인하대학교), 손태오 (인하대학교, HD한국조선해양), 이지운 (국립공주대학교), 현승균, 박현순* (인하대학교)

Keywords: Al-Zn-Mg-Cu alloy, Hot workability, Hot torsion test

7000계 알루미늄 합금은 자동차, 항공기 및 항공 우주 산업에서 널리 활용되고 있다. 그러나 이 합금은 일반적으로 성형성과 가공성이 낮아 열간 소성 가공이 필요하며, Zn 함량이 증가하면 η' 및 η 상과 같은 석출상 형성을 촉진하여 기계적 특성이 강화된다. 따라서 본 연구에서는 고강도 Al-Zn-Mg-Cu 합금의 열간 소성 공정을 최적화하고 제품의 미세 구조적 품질을 향상시키기 위해 Zn 함량에 따른 고온 변형 특성의 변화를 관찰하고자 하였다. Al-Zn-Mg-Cu계 합금은 DC 연속주조 방식으로 제작하였으며, 열처리는 각각 460°C 및 475°C에서 12시간 동안 용체화 처리를 거친 후 300°C, 350°C, 400°C, 450°C에서 1/s의 변형률 속도로 고온 비틀림 시험을 진행하였다. 합금은 Zn 함량에 따라 7075, 7050, 7068로 구분하였으며, 실험 결과 350°C, 400°C, 450°C 에서 Zn 함량 증가에 따른 최대 응력 감소가 관찰되었다. 이러한 감소는 석출상에 의한 것으로 판단되며, SEM, TEM 및 XRD를 이용해 평균 석출상 크기 분석 및 상 분율 분석을 진행하였다.

[P28-13]

질화기반공정으로 제조된 마이크로/나노 하이브리드 복합재 : 이지원, Kanhu Nayak, 한주연, 이건배, 최현주* (국민대학교)

Keywords: Al matrix hybrid composite, nano reinforcement, NISFAC process

위성 운영 환경에서의 급격한 온도 변화에 대응하기 위해 사용되는 금속은 낮은 열팽창, 높은 열방출, 고강도 및 경량 특성을 동시에 갖춰야 합니다. 그러나 단일 보강재를 사용하는 Al 기반 금속 매트릭스 복합재로는 이러한 특성들을 동시에 달성하기 어려운 한계가 있습니다. 최근 하이브리드 복합재는 매트릭스 내 다양한 보강재의 시너지 효과를 통해 이러한 한계를 극복할 수 있어 여러 응용 분야에서 주목받고 있습니다. 하지만 이러한 하이브리드 복합재의 기계적 및 열적 특성을 균형 있게 최적화하려면 Al 매트릭스 내 다양한 보강재와 결정립 구조의 조합을 탐구할 필요가 있습니다. 본 연구에서는 SiC와 CNT로 강화된 알루미늄 매트릭스에 다이아몬드를 첨가한 하이브리드 복합재를 제조하여 그 기계적 및 열적 특성을 평가하였습니다. Pure Al과 Al/5%SiC 나노 강화재에 SiC와 다이아몬드의 함량을 다르게 하여 총 4종류의 하이브리드 복합재 분말을 제작하였으며, 이 분말을 이용해 질소 가스 분위기에서 660 ºC로 1시간 동안 질화물 유도 자가 형성 공정(NISFAC)을 통해 하이브리드 복합재를 제조하였습니다. 이후 580 ºC에서 1시간 동안 핫 프레스하여 고밀도화를 진행하고 미세 구조를 분석하였습니다. 이 과정에서 항복 강도, 열전도도, 열팽창계수 등의 기계적 및 열적 특성을 측정하였습니다. 연구 결과, SiC 나노 분말의 함량이 증가할수록 항복 강도가 증가하였으며, 열전도도는 다이아몬드와 SiC 함량이 가장 높은 복합재에서 최대치를 기록했습니다. 또한, 가장 낮은 열팽창계수는 SiC가 가장 많이 첨가된 복합재에서 나타났습니다. 후속 연구에서는 c-BN을 추가로 첨가한 복합재를 연구할 계획입니다.

[P28-14] Canceled

Nano-scale co-precipitation Mechanism in Al–Si–Mg Alloys : saif kayani*, Sang-Ik Lee, Yoon-Ho Lee, Kwangjun Euh, and Young-Hee Cho* (Korea Institute of Materials Science)

Keywords: Aluminum: precipitation: age-hardening, automotive applications

Al-Si-Mg casting alloys are the primary choice in the automotive industry for lightweight engineering. These alloys derive their strength and age-hardenability from the high density of Si- and Mg-rich nano-precipitates. In this work, we report the nano-scale co-precipitation of Si and Mg_2Si phases in an Al-Si-Mg alloy prepared by direct chill casting followed by T5 heat treatment. Owing to the high content of Si, Si-rich clusters are formed during the early stage of aging. With the aging time, the Si-rich cluster transforms into cuboidal Si precipitates exhibiting a cube-cube orientation relation with the Al-matrix. These Si precipitates act as nucleation sites for Mg-Si-rich, β^2 precipitation exhibiting a needle-like morphology with a length of approximately 100 nm. On the other hand, fine dot-

like β^2 precipitates are also present in the matrix, formed at Mg and Si-rich regions. Such complex precipitation behavior improves the age-hardenability of the alloy with an enhanced precipitation mechanism, thereby, making them an ideal candidate for extreme automotive applications.

[P28-15]

Al-Mg-Si계 알루미늄 합금의 미량 원소 제어를 위한 B 첨가의 영향 : 윤연희, 정대한, 이정무, 안지혁, 이윤수* (한국재료연구원)

Keywords: 알루미늄, 스크랩, 재활용, 전기전도도, 하네스

환경 변화에 대응한 온실가스 감축 목표를 달성하기 위하여 자동차 산업에서는 경량화에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 차량 경량화를 위한 소재로는 고장력강, 알루미늄, 마그네슘 및 탄소 복합재 등 다양한 소재가 거론되고 있으며, 부품의 요구 특성에 따라 적재적소에 적용되고 있다. 이 중 알루미늄은 비강도, 가공성, 내구성 및 비용적인 장점 등으로 인하여 가장 주목받고 있으며, 그 사용량은 향후 지속적으로 증가할 것으로 예측된다. 이러한 장점에도 불구하고 알루미늄 1톤을 제조하기 위해서는 약 16톤이라는 많은 양의 탄소가 배출(철의 경우 1톤 제조 시 약 2.5톤 탄소 배출)되기 때문에, 신지금의 사용량을 줄이기 위한 스크랩 재활용 관련 연구가 시급하게 필요한 실정이다. 이러한 노력의 일환으로 본 연구에서는 Al-Mg-Si계 알루미늄 스크랩의 미량 원소를 제어함으로써 자동차용 하네스 소재로의 활용 가능성을 검토하였다. 우선 산업적으로 많이 사용되는 상용 Al-Mg-Si계 알루미늄 합금의 조성을 하네스용 알루미늄 소재의 조성과 서로 비교하였으며, 이를 통하여 전도도 향상을 위하여 제어하고자 하는 미량 원소를 도출하였다. 문헌조사를 통하여 이러한 원소들을 B의 첨가를 통하여 감소시킬 수 있음을 확인하였으며, 열역학 계산 결과를 바탕으로 적정한 B 첨가량을 도출하였다. 실제 B 첨가 여부에 따른 Al-Mg-Si계 알루미늄 잉곳을 제조하였으며, B 첨가 여부 및 잉곳 위치에 따른 미량 원소의 함량 변화는 발광분광분석기, 반응생성물의 분석은 광학현미경과 주사전자현미경을 이용하여 검토하였다. 연구 결과를 바탕으로 Al-Mg-Si계 알루미늄 스크랩을 자동차용 하네스 소재로 재활용하기 위한 불순물 원소 제거 가능성을 확인하였다. (감사의 글) 본 연구는 2024년도 산업통상자원부(MOTIE) 및 산업기술기획평가원(KEIT)의 소재부품기술개발사업(RS-2024-00431677)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

[P28-16]

Pitting 부식환경에서 Zn 첨가량에 따른 Al-Zn-Mg-Cu계 합금의 응력부식균열 저항성 평가 : 이민재, 이혜인 (한국자동차연구원), 양대철, 손석수 (고려대학교), 김세훈* (한국자동차연구원)

Keywords: Al-Zn-Mg-Cu Alloy, Stress Corrosion Cracking, Slow Strain Rate Test, Pitting Corrosion

전기동력을 주로 활용하는 미래형 모빌리티들은 주행거리 상승을 위하여 장착되는 무거운 배터리 때문에 다른 부품들에서 계속적으로 경량화를 요구하고 있다. 경량화를 위한 여러가지 소재 중에서 고강도 알루미늄 합금은 다양한 형태로 경량화와 고강도를 동시에 만족하는 결과들을 나타내며 점차 시장이 커지고 있다. 고강도 알루미늄 합금으로 잘 알려진 7xxx계 합금은 높은 강도로 다양한 구조재로 많이 사용되고 있지만, 강도가 향상될수록 부식에 취약한 특징이 있다. 따라서 다양한 모빌리티에 맞추어 활용하기 위해서는 강도 향상과 함께 응력부식균열 (Stress Corrosion Cracking, SCC)저항성이 향상된 고강도 알루미늄 합금에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 항공기 소재로 널리 사용되는 Al-Zn-Mg-Cu계 알루미늄 합금이 Pitting이 발생하는 부식환경에서 주요 원소인 Zn의 첨가량에 따라 변화하는 특성을 관찰해보고자 하였다. 각 시편은 25 ºC, 3.5%NaCl 수용액 내에서 특정 전압을 인가하여 Pitting이 발생하기 쉬운 부식환경을 조성하였으며, 조성된 분위기에서 10^{-5}/sec의 변형률로 저속인장시험(Slow Strain Rate Test, SSRT)을 실시하였다. 각 부식 환경에서 SSRT가 완료된 시편의 강도 및 신율의 변화를 통하여 SCC특성을 분석하였고, SEM을 통한 시편 파면의 미세조직을 관찰하여 Al-Zn-Mg-Cu계 알루미늄 합금의 Zn첨가량에 따른 SCC 특성에 미치는 영향을 고찰하였다.

[P28-17] Canceled

순수 알루미늄의 재결정 조직에 미치는 압하율 및 풀림 열처리 조건의 영향 : 김선기* (㈜나이스엘엠에스), 조대연, 이근효, 김준현, 하성호 (한국생산기술연구원), 윤상민, 김영균 (고등기술연구원), 구승현 (㈜나이스엘엠에스)

Keywords: 알루미늄, 냉간압연, 풀림열처리, 재결정

알루미늄은 비중 2.7 g/cm^{3}의 경량 금속 소재이면서 FCC 격자 구조를 가지고 있어 소성 변형 특성이 우수하기 때문에 판재 및 다양한 형상의 중간재 및 제품으로 제조되어 산업적으로 폭넓게 응용되고 있다. 특히 압연 공정의 경우, 현재의 다양한 산업적 요구를 만족할 수 있는 두께로의 열간 및 냉간 압연이 가능하며, 기계적 특성을 확보하기 위한 방안인 압하율에 따른 소성 변형 특성과 관련하여 미세조직의 변화와 압연 조건에 따른 풀림 열처리 공정 조건 및 이에 따른 특성 평가에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 그러나 산업적으로 높은 기계적 특성을 필요로 하는 알루미늄 합금에 대해서는 관련 연구가 폭넓게 진행되었으나, 순수 알루미늄의 경우 소성 가공에 따른 기계적 특성의 변화가 비교적 크지 않고, 구조재료의 목적으로는 크게 활용되고 있지 않기 때문에 이에 대한 연구가 상대적으로 부족한 상황이다. 또한 순수 알루미늄은 냉간 소성 변형 이후 높은 회복특성을 보이는 것으로 알려져 있어, 소성 변형 직후의 특성 평가가 쉽지 않고, 이러한 이유로 극저온 압연과 같은 특수 공정 기술을 사용한 실험 및 평가가 진행되었으나 이에 대한 결과는 아직까지 충분하지 않은 상황이다. 이에 본 연구에서는 순수 알루미늄 압출재를 사용, 상온에서 다양한 압하율로 냉간 압연을 진행한 후, 유지 온도와 시간을 변화하여 풀림 열처리를 진행하였다. 각 풀림 열처리 조건에 대해 거시조직과 미세조직 및 미소 경도를 측정과 함께, 냉간 압하율에 따른 결정 방위의 변화 등을 검토함으로써, 전자기기등의 물리적 특성이 요구되는 분야에 적용하기 위한 기초 자료로 활용하고자 하였다.

[P28-18] Canceled

고방열 알루미늄합금의 유동성 향상을 위한 합금 원소 첨가에 따른 영향 : 김용호, 유효상, 이병권, 고은찬, 손현택* (한국생산기술연구원)

Keywords: Aluminum, electric conductivity, fluidity, microstructure, mechanical properties

대표적인 경량 소재인 알루미늄 합금은 소형 경량화에 대한 기술적 요구로 인해 각 부품 적용에 대한 연구 개발 및 상용화가 가속되고 있고, 최근 대두되는 에너지 효율 및 전기 부품의 장수명화를 위해 고방열 및 고강도 특성을 갖는 Al 합금 개발이 필요하며, 이러한 특성을 가지는 합금은 자동차 및 전자기기 등 경량, 고강도 및 방열 특성이 요구되는 다양한 분야에 응용이 가능하며, 시장 확대를 위해 유동성이 향상된 알루미늄 합금 개발이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 알루미늄 합금의 전기전도도 및 유동 특성 향상을 위해 Si, Mg, RE 등 원소 첨가량 변화에 따른 2차 상의 분포, 유동도, 미세조직 및 전기전도도 특성에 관한 연구를 수행하였다. 사용된 알루미늄 합금은 고주파용해로를 이용하여 주조하였고, 200 ºC 온도로 예열된 금형(ø80x200mm)을 사용하였다. 압출 가능하도록 가공된 빌렛(Ø70×90)을 직접압출을 통하여 4 mm 두께의 판상 압출재를 제조하여 미세조직 및 기계적 특성을 분석하였다. 유동성 분석을 위해 나선형 금형의 몰드를 사용하였고, 미세조직 분석을 위해 FESEM, EBSD를 사용하였고, 상 분석 및 전기적 특성 분석을 위해 X-선 회절분석과 전기전도도 분석을 하였다. 압출 및 합금원소 첨가에 따른 기계적 특성을 평가하기 위해 인장시험을 실시하였다.

[P28-19]

Mg 및 Zn 첨가가 T5 열처리 Al-Si 합금의 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향 : 김재권 (서울대학교), 김도향 (연세대학교), 박은수* (서울대학교)

Keywords: Al-Si 합금, 일체화 다이캐스팅, T5 열처리 실시간 인장 및 SEM 관찰

최근 국내외 차량 제조사들의 소재 특성 향상과 차체 경량화 등의 요구에 따라 Al-Si 합금계를 통한 부품 일체화 다이캐스팅 기술이 각광받고 있다. 일반적으로 400 - 600°C 사이에서 수행되는 T6열처리는 소재 형상의 변형을 동반하므로 150 - 250°C 사이의 저온 열처리만 수행되어 형상 변화가 거의 없는 T5열처리형 Al-Si계 신합금 개발이 요구되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 석출경화형 합금원소 마그네슘의 함량 조절을 통해 주조 시 형성되는 조대한 금속간화합물의 영향을 최소화하여 소재의 강도와 연성을 최적화하고자 한다. 더불어, 고용강화형 합금원소 아연(Zn)의 첨가를 통해 T5 열처리 시 필연적으로 동반되는 석출강화능 저하를 아연 첨가를 통한 고용강화 효과 증대로 보강하고자 한다. 마그네슘 및 아연의 조성은 열역학적 데이터베이스 기반 및 실험적 인장특성 결과를 통해 최적화를 이루었으며 개발 소재에 대한 실시간 인장 및 SEM관찰을 수행하여 마그네슘 및 아연 함량에 따른 개발 합금의 미세조직 - 기계적물성간의 상관관계를 규명하였다. 본 연구결과는T5 열처리형 다이캐스팅용 Al-Si계 합금 설계에 대한 새로운 강화 기작을 제공하며 이를 통해 합금설계의 새로운 가이드라인을 제시하고자 한다. 더불어, 현재 전량 수입에 의존하고 있는 다이캐스팅용 Al-Si합금의 국산화에 기여하고자 한다.

[P28-20]

항공용 고강도 Al-Zn-Mg 알루미늄 합금의 Zn, Mg 비율이 기계적 특성 및 응력부식균열 저항성에 미치는 영향 : 이혜인, 이민재 (한국자동차연구원), 전서연, 최현주 (국민대학교), 김세훈* (한국자동차연구원)

Keywords: 고강도, 알루미늄, 내식성

탄소배출 감축하고 환경문제를 해결할 미래 모빌리티로서, 급성장하고 있는 자율 주행차, 수소 전기차, UAM 등의 모빌리티 기술 개발에 대한 연구가 증가하고 있다. 특히, 모든 나라에서 도시집중화 현상이 나타나면서 인구 천만 명이 넘는 대도시가 증가하고 있다. 이러한 인구 밀집 현상은 자동차의 상습정체 심화 및 육상운송의 한계를 나타냈다. 이러한 문제점 해결을 위해 UAM 기술 개발에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히, 경량화를 통한 UAM의 고효율화를 위하여 저중량, 고강도의 소재 개발이 요구되고 있다. 본 연구에서는 Zn와 Mg 함량 변화를 통해 설계된 Al-Zn-Mg계 알루미늄 합금의 기계적 특성 및 응력부식균열(SCC) 거동에 대한 저항성을 측정하였다. 3.5% NaCl의 염수 환경에서 electric potential(전위)을 제어하여 10^{-5}/s의 속도로 SSRT 시험을 진행하였다. SCC의 주요원인으로 알려져 있는 양극 용해 환경과 수소 취성 조건에서 샘플의 SCC에 대한 민감도를 측정하여 다양한 환경에 노출되는 UAM 소재의 적용가능성을 검토하였다.

[P28-21]

과공정 Al-Si-Cu-Mg 합금에서 Mg 첨가 및 열처리에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화 : 박유빈, 손현우, Saif Haider Kayani, 이정무* (한국재료연구원)

Keywords: hypereutectic Al-Si, casting, microstructure, mechanical properties

Al-Si 합금은 경량이며 주조성 및 강도, 연성 등의 제반 기계적 특성이 우수하여 수송기기의 경량화 소재로 널리 사용되고 있다. 이중에서 특히 Si 13% 이상 첨가된 과공정 Al-Si 합금은 주조성이 좋고 강도가 우수할 뿐만 아니라, 열팽창 및 내마모성이 우수하다. 과공정 Al-Si 합금에서는 Al-Si의 공정 조직에 더하여 초정 Si이 생성되는데, 초정 Si은 기지인 Al에 비하여 열팽창계수가 작고 경도가 높은 특성을 가지고 있어, 합금의 열팽창 및 내마모 특성을 향상시킨다. 과공정 Al-Si의 특성은 생성되는 초정 Si의 크기, 분포, 분율 등에 따라 달라지는데, 입자미세화제 첨가, 주조시 응고 속도 제어, 용탕처리 등을 통하여 미세조직적 특징을 개선할 수 있는 것으로 알려져 있다. 최근에는 과공정 Al-Si 합금에 Mg을 첨가하면 초정 Si뿐만 아니라 공정 Si의 미세조직적 특징도 변화하는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 과공정Al-Si-Cu-Mg 합금에 Mg의 함량을 달리하고 용체화처리 등의 열처리 조건을 달리하여 시편을 제조하고 이에 대한 미세조직 및 기계적 특성을 평가하여 이들이 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 영향을 검토하였다.

[P28-22]

초음파인가된 Al-Mg-Si계 합금 연속주조 빌렛의 미세조직에 대한 균질화 열처리 조건의 영향 : 정재헌, 조훈, 김태형, 박서진, 송람*
(한국생산기술연구원)

Keywords: Al-Mg-Si alloy, Continuous casting, Ultrasonic treatment, Solidification structure, Homogenization

연속주조 공정으로 제조되는 알루미늄 합금 빌렛은 응고 과정에서 가스에 의한 기공 및 조대 정출물의 생성, 불균일한 미세조직 등으로 인해 각종 결함이 발생할 수 있다. 이는 주조 이후의 공정에 악영향을 미쳐 최종 제품의 기계적 특성을 저하시키기 때문에 주조 과정에서 건전한 응고조직을 얻는 것은 매우 중요하다. 일반적으로 주조 중에 결정립 미세화제를 첨가하지만, 경우에 따라 첨가한 미세화제가 슬래그와 함께 제거되어 충분한 미세화 효과를 얻지 못하거나, 과첨가 시에는 미세화제의 응집에 의한 문제를 야기할 수 있어 이를 개선하기 위한 미세화제 개량화 및 미세화제 대체 방법에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 한편 응고조직을 제어할 수 있는 방법 중 하나인 Ultrasonic treatment는 금속 용탕 내에 직접 발진장치를 도입하여 초음파를 인가하는 것으로, 이때 알루미늄 합금의 고-액 공존영역에서 인가할 경우 초음파 인가로 발생하는 acoustic streaming과 이로 인한 cavitaion bubble에서 생성된 충격파로 인해 발생하는 dendrite fragmentation 효과로 추가적인 미세화제 첨가없이 미세하고 균일한 응고조직을 얻을 수 있다. 최종 압출품의 기계적 특성 향상을 위해서는 이러한 응고조직의 특성을 고려한 균질화 열처리의 제어가 필요하다. 본 연구에서는 자동차 구조재용 부품에 사용되는 Al-Mg-Si계 합금에 대해 연속주조공정 중 초음파 인가 공정을 적용하여 미세한 응고조직을 갖는 연속 주조 빌렛을 제조하였고, 이후, 균질화 열처리 온도 및 시간에 따른 응고조직 변화를 OM 및 FE-SEM을 통해 관찰하였다. 초음파 인가 유무 및 열처리 전 후 Al 기지 내 용질원소의 분포변화를 EPMA를 통해 분석하였고, 열처리에 따른 합금 내 상변화를 XRD를 활용하여 분석하였다. 본 연구 결과를 바탕으로 초음파 인가를 통해 제조된 연속주조 빌렛에 대한 최적 균질화 열처리 조건을 도출하였다.

P29 : 가공-용접 및 접합
Room 2층 로비, 10월 30일

[P29-1]
레이저 충격 피닝을 통한 고망간강 용접재의 극저온 인장 물성 향상 : 이선 (부산대학교), 이성광 (경북대학교), 이재훈 (울산대학교), 최지환, 하정홍 (한국생산기술연구원), 이태경* (부산대학교), 이정훈* (한국생산기술연구원)
Keywords: Twinning-induced plasticity, Austenite stability, cold-resistant, phase transformation, FCC structure

탄소 배출 규제로 인해 액화천연가스(LNG), 액화수소가스(LH2) 등 청정 연료의 수요가 증가할 것으로 예상됨에 따라 대용량 연료를 저장 및 운송할 수 있는 극저온 소재의 물성과 안정성 확보가 요구된다. 현재 극저온용 소재로 사용되는 9% 니켈강과 오스테나이트계 스테인리스강은 높은 니켈 함량으로 인해 경제적 단점이 있으며, 이를 대체할 소재로 고망간강이 주목받고 있다. 고망간강은 가공 시 변형 쌍정을 형성하여 쌍정 변형 유도 소성 효과로 균열 전파를 억제하고, 극저온에서도 안정한 오스테나이트 상을 유지한다. 이러한 고망간강을 이용해 청정 연료 저장 탱크와 부품을 제조하기 위해 용접이 사용된다. 하지만 용접 시 용착금속부(weld metal, WM)와 열영향부(heat-affected zone, HAZ)에서 미세조직 변화로 인해 인성이 저하된다. 특히 HAZ에서는 용융선으로부터 거리에 따라 생성된 미세조직의 기계적 특성이 달라지며, 모재에 비해 강도가 크게 저하되어 용접재 파괴에 큰 영향을 미친다. 이러한 배경에서 고망간강 용접재의 WM과 HAZ에 선택적으로 잔류 압축 응력을 생성함으로써 강도 향상을 유도할 수 있는 레이저 충격 피닝(laser shock peening, LSP)을 적용하였다. 본 연구는 LSP 가공된 고망간강 용접 시편의 극저온 인장 거동과 미세조직을 관찰하여 LSP을 통한 극저온 물성 변화를 확인하였다.

[P29-2]
석출물 형성에 따른 고망간강 용접부의 결정립 미세화와 기계적 특성 연구 : 박정빈, 강남현* (부산대학교)
Keywords: 고망간강 용접부, 석출물, 결정립 미세화, 오스테나이트, 기계적 성질

전 세계적으로 에너지 수요가 급증하면서 환경오염이 심각한 문제로 떠오르고 있다. 이에 따라 친환경 에너지원으로 주목받는 액화천연가스(LNG)의 사용이 증가하고 있으며, LNG는 -196 ºC의 극저온에서 압축 보관되어 운송된다. 이러한 특성 때문에 LNG 저장탱크는 특정 재료로만 제작될 수 있다. 주로 사용되는 재료에는 오스테나이트계 스테인리스강, 9% 니켈강, Al 5083 합금, Invar 합금, 고망간강 등이 있으며, 특히 고망간강은 다른 합금 원소에 비해 저렴한 망간(Mn)을 10~30% 범위로 첨가하여 가격 경쟁력이 우수하다. 최근에는 고망간강을 활용한 LNG 압력 탱크의 제작이 증가하고 있으며, 이에 따른 용접 공정 연구도 활발히 진행 중이다. 그러나 FCC계 합금인 고망간강의 용접부는 낮은 항복강도가 문제점으로제기되고 있다. 이를 개선하기 위해 용접부의 기계적 성질을 향상시키려는 연구가 필요하다. 하지만 후처리 공정의 제약으로 인해 용착금속의 결정립 미세화가 거의 유일한 강화 방법으로 알려져 있다. 고망간강 용접재료의 개발과 항복강도 향상을 위해서는 첨가되는 합금 원소, 첨가량, 형성되는 석출물이 중요하다. 합금 원소와 첨가량에 따라 SFE가 변화하면서 다양한 조직이 형성될 수 있다. ε 및 α'-martensite의 비율이 증가하면 인장 강도와 항복강도가 향상되지만 인성은 감소하는 것으로 알려져 있다. 또한, 항복강도를 높이기 위해서는 석출물 형성과 조직의 미세화를 유도해야 하며, 석출물의 종류, 크기, 분포가 중요한 요소이다. 결론적으로, 고망간강 용접부의 우수한 인성과 높은 항복강도를 확보하기 위해서는 미세한 austenite 기지를 형성하는 화학 조성의 용접재료 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 용착금속의 미세조직과 기계적 특성에 미치는 탄소(C), 망간(Mn), 바나듐(V)의 영향을 분석하였으며, 열역학적 시뮬레이션, 인장 및 충격 시험, 경도 평가, LOM, SEM-EBSD 등을 통한 미세조직 관찰을 수행하였습니다.

[P29-3]
Driving force of oxygen-free Cu sintering in the air on cold-rolled Cu substrates : YehRi Kim (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH), Korea University), Ha-young Yu (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)), Byeong Kwon Ju (Korea University), and Dongjin Kim* (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))
Keywords: Cu sintering, in-air atmosphere, Pressure-assisted bonding, Mechanical strength, Microstructure

In recent years, the use of Ag sintering with Ag plating substrates has become a dominant feature of die-attach technology in response to the advent of wide band-gap semiconductor power modules. However, the adhesion of an epoxy molding compound (EMC) to the Ag plating surface is poor, which increases the risk of insulation breakdown and reduces the durability of the power module. Currently, Cu sinter bonding on a Cu surface is emerging as a prominent choice due to its high adhesion to the EMC and cost-effectiveness compared to Ag sintering. However, the bonding process at temperatures exceeding 250 °C results in severe oxidation of the Cu, which significantly degrades the mechanical, thermal, and electrical properties. To address this issue, previous studies have proposed a Cu sintering with Cu substrates in protective atmosphere to prevent the oxidation of Cu nanoparticles. Nevertheless, the leading automobile original equipment manufacturers (OEMs) are interested in improving price competitiveness and establishing a reliable structure through oxidation-free Cu sintering in the air atmosphere. In this study, we propose a solution to the above-mentioned issues through the introduction of oxygen-free Cu sinter bonding without reductive or protective sintering atmosphere. The air-pressure-assisted Cu sintering was conducted at a temperature of 250 °C in an air atmosphere. Cold-rolled Cu substrates with various rolling rates were investigated to identify the potential driving force of Cu sintering. This study quantitatively analyzed the crystallographic behavior of

the Cu-sintered joint structure involved in the rolling rates of the Cu substrates and the mechanism of bonding strength, considering the relationship between microstructures and mechanical behavior.

[P29-4]

HY-60강 GMAW 용접부의 피로 파면 분석 및 연구 : 임유진, 신현준, 이진경, 이상필, 배동수, 조일국* (동의대학교)

Keywords: GMAW, HY-60강, 미세조직,피로,파괴

본 연구에서는 고강도 저합금강인 HY-60강에 GMAW 용접을 실시하고 피로 부하 응력이 300 MPa인 조건에서 피로 시험을 진행하여 용접부의 파면 및 미세조직을 분석하였다. Weld metal(WM)과 Base metal(BM)의 경계부에서 macro-crack 및 slip band 형태가 관찰되었다. 육안으로 발견되지 않은 crack을 확인하기 위해 비파괴 시험인 PT시험을 진행하였으며, 이 과정에서 발견된 미세crack 및 용접부를 OM으로 관찰한 결과, WM에서는 수지상 성장 방향이 HAZ를 기준으로 수직에 가까운 형태로 나타났다. 또한, WM/BM 경계의 HAZ부에 가까울수록 BM의 결정립 성장이 관찰되었으며, BM에서는 결정립계가 불연속적인 검은색의 형태로 관찰되었다. 이를 SEM으로 분석한 결과, BM의 결정립계에서 크랙이 발생하였고 입내에는 slip trace가 발생한 것을 확인하였다. 또한, BM/HAZ 경계부에 가까울수록 더 많은 crack과 crack의 전파가 관찰되었으며, SEM 고배율관찰을 통해 피로 파괴가 HAZ와 BM의 경계부에서 발생한 것을 확인하였다. 이는 용접시 HAZ 근접부에서 결정립이 성장하고, 성장된 결정립 및 그 입계 석출물을 따라 피로 하중에 의해 cavity 생성 및 균열이 성장한 후, 성장된 cavity가 BM 결정립을 따라 균열로 전파되어 최종적으로 연성파괴를 유발하였음을 시사한다. 피로 파면 분석 결과, 최종 파단면에서 dimple의 존재로 연성파괴가 관찰되었고, 반복적인 하중하에서 결정립계에 발생한 cavity가 pore의 형태로 파단면에 존재했으며, 균열은 striation에 대해 수직방향으로 전파되었음을 관찰하였다. WM의 용접 pass의 삼중 겹침 영역에서 Ti-Al-V계 석출물, 탄화물 및 산화물이 관찰되었고, HAZ에 형성된 입자들은 C와 Cu의 농도가 높고, O와 결합된 Cu 산화물인것을 SEM-EDS를 통해 확인하였다. 용접부 및 BM의 비커스 경도를 측정한 결과 WM의 bottom과 upper부분의 경도는 유사한 반면, middle부의 경도가 이들보다 높음을 확인했고, 용접부의 미소 경도 는 WM > HAZ > BM 순으로 나타났다.

[P29-5]

UPM을 활용한 전력반도체용 AMB 기판 접합 연구 : 조성민 (인하대학교), 김근수 (호서대학교), 현승균* (인하대학교)

Keywords: UPM, Cu, Al2O3, Brazing, Active metal

환경 문제가 대두되며 친환경 자동차에 대한 관심이 증가하고 있고 그중 전기 자동차는 차세대 자동차로서 가장 주목받고 있다. 전기 자동차는 배터리에 충전된 전기에너지를 인버터를 통해 모터를 구동시킴으로서 자동차에 동력을 전달하는데 이러한 모터 구동에 있어서 전력반도체(Power semiconductor)는 핵심적인 역할을 한다. 전력반도체는 배터리에서 공급되는 전력을 변환하여 모터를 구동시키는데 동작 시에 많은 열이 발생하게 된다. 이러한 열은 반도체에 각 부위에 균열을 발생시키고 그러한 균열로 인해 반도체의 내구성이 떨어지게 된다. 본 연구는 전력반도체에서 열을 전달하고 전기적으로 절연해 주는 역할을 하는 AMB(Active Metal Brazing) 기판에 UPM(Unidirectional Porous Metal)을 적용하여 성능을 개선하려는 시도를 하였다. AMB 기판은 일반적으로 구리(Cu)와 알루미나(Al2O3)가 접합된 형태로 이루어져 있어 두 재료의 열팽창계수 차이로 인해 열이 가해질 때 접합부에 응력이 발생한다. Bulk Cu에 비해 탄성계수가 더 낮아 유연한 특성을 갖는 UPM Cu를 적용해 효과를 보기 위해 각각의 재료의 접합을 시도하였다. 접합된 시편 각각의 전단강도를 측정하였을 때 Bulk Cu의 경우에 약 75.63MPa의 값을 보였고 UPM Cu의 경우에는 약 25.16MPa의 값을 보였다. 기존의 결과와 비교했을 때 두 경우 모두 사용 가능한 수준의 값을 나타냄을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 토대로 추후 다양한 신뢰성 실험을 통해 UPM Cu의 효과를 확인할 계획이다.

[P29-6]

17-4 PH 스테인리스강 적층제조 및 단련재 이종용접부 특성 고찰 : 주하연, 김종훈 (창원대학교), 이지원, 최용혁, 한정민 (두산에너빌리티), 홍현욱* (창원대학교)

Keywords: 17-4PH Stainless steel, Dissimilar Welded Joints, Additive manufacturing, strain imcompatiability, precipitation hardening

17-4 PH (Precipitation Hardening) 스테인리스 강은 고강도, 우수한 내식성 및 경화 능력으로 인해 항공, 우주, 방산, 해양 등 다양한 산업 분야에서 널리 사용되고 있다. 해당 산업에서는 보다 더 복잡한 소재 요구가 증가하고 있으며, 일반적인 제조 방법으로는 구현하기 어려운 형상의 부품 생산이 필요한 상황이다. 최근 연구들은 이러한 문제를 해결하기 위해 적층 제조된 17-4 PH 스테인리스강의 미세구조 및 기계적 특성을 단조재와 비교하는데 중점을 두고 있다. 3D 프린팅 기술은 복잡한 형상을 정밀하게 구현할 수 있다는 장점이 있지만, 제작 가능한 부품 크기에는 한계가 존재한다. 이러한 문제점을 해결하고자, 본 연구에서는 L-PBF방식으로 제작된 17-4PH 스테인리스 강과 단조된 17-4 PH 스테인리스강 간의 이종 용접부 특성을 조사하고자 하였다. 본 연구에 사용된 AM재와 단조재 모재 모두 full-martensite 조직을 가지고 있으며, AM재에 비해 단조재의 결정립이 더 미세함을 확인하였다. 이러한 두 모재를 GTAW와 EBW 방식으로 용접한 후, 미세조직 및 기계적 특성 평가를 위해 SEM 분석 및 비커스 경도, 인장 평가 등을 실시하였다. 비커스 경도 측정 결과를 통해 단조재와 AM재의 열 영향부 석출 거동이 다름을 확인하였다. 이에 대한 결과로부터 변형 거동을 확인하기 위해 인장 시험을 시행하였다. 상온 인장 시험 결과 용접 열 영향부에 발생한 경도차에 의한 strain imcompatiability에 의해 가장 낮은 경도값을 나타내는 영역에서 파단이 발생함을 확인하였다. 이 결과를 바탕으로, 본 연구에서는 AM 및 단조 17-4PH 스테인리스 강의 이종 용접 시의 석출 거동 평가와 이로 인한 strain imcompatiability를 제어하는 후열처리 방법을 제안하고자 한다.

[P29-7]

UPM Cu을 이용한 EV 전력모듈용 Cu-Sn 천이액상확산 접합 연구 : 김홍석 (인하대학교), 김근수 (호서대학교), 현승균* (인하대학교)

Keywords: UPM. Transient liquid phase bonding, Intermetallic compound, Power module, Cu-Sn

전자기기가 고집적화될수록 많은 열이 발생하여 반도체 소자의 성능이 저하되고, 제품의 신뢰성을 저하시킬 수 있다. 현재 EV(Electric Vehicle) 파워 모듈용 전력반도체 소자는 성능 향상을 위해 Si 기반 전력반도체에서 와이드 밴드 갭(Wide-band gap) 기반 전력반도체로 전환되고 있다. 이에 따라 파워 모듈의 구동 온도가 상승하여 칩 접합부의 고온 신뢰성 향상이 요구된다. 기존에는 Sn 기반의 솔더를 이용한 솔더링(Soldering) 공정으로 칩 접합이 이루어졌지만, Sn 기반의 솔더는 낮은 용융점을 지니고 있어 파워 모듈의 구동 온도가 높아짐에 따라 재용융 가능성이 존재한다. 이에 따라 비교적 저렴하고 융점이 높은 금속간 화합물을 형성하는 천이액상확산(Transient Liquid Phase, TLP) 접합이 제안되고 있다. 기존의 TLP 공정은 공정시간이 매우 길다는 한계가 있고, 기존의 Sn 솔더는 열전도도가 낮고 부족한 기계적 특성을 나타내 이를 개선을 하고자 한다. 본 연구에서는 일방향 다공성 금속체인 UPM (Uni-directional Porous Metal)을 Sn sheets 사이에 중간층으로 삽입하여 TLP bonding 공정에 적용하였다. 일방향 다공성 금속체는 일방향으로 기공이 형성되어 있는 구조를 가지므로, 수직 방향의 탄성율이 종래의 다공성 금속체에 비해 낮으며, 이에 따라 열충격에 의한 열기계적 응력을 완화시킬 수 있고, 고온에서의 신뢰성 향상을 기대할 수 있다. 중간층으로 삽입된 UPM Cu에 의해 Sn의 확산 영역이 증가되어 접합에 소요되는 공정 시간을 단축시킬 수 있다. 접합은 진공 및 300°C에서 다양한 접합 시간을 유지한 채 진행되었다. EDS 분석 결과를 통해 접합 공정 후 접합부에 Sn이 남아 있지 않고 모두 금속간화합물로 변화함을 확인하였다. 이후 진행될 전단강도 측정과 열충격, 열사이클 테스트 및 고온저장실험을 통해 열 기계적 특성 개선을 확인하는 것이 본 연구의 목적이다.

[P29-8]

링-코어 빔 출력비에 따른 Al-Cu 레이저 용접부 특성에 미치는 듀얼 빔의 영향 : 유채은, 윤성민 (부산대학교), 김용 (고등기술연구원), 이제인* (부산대학교)

Keywords: dissimilar welding, dual laser beam, intermetallic compound, fatigue

전기자동차의 배터리팩은 수 백 개의 배터리 셀들 간에 전기적인 연결이 요구되는데, 이 때 Al 또는 Cu로 이루어진 리드탭과 Cu 버스바는 주로 레이저를 이용하여 접합된다. 레이저 용접은 신속한 공정과 손쉬운 자동화, 그리고 높은 정밀도와 반복성으로 배터리셀 접합에서 각광받는 공정이다. 하지만 Al과 Cu를 레이저로 접합하게 되면, 두 소재의 물리적 특성이 달라 다양한 용접부 결함이 나타나며, θ, η, γ 등의 금속간화합물이 용융부에 형성된다. 이러한 결함과 취성의 금속간화합물은 용접부의 특성을 저하시키므로, 이를 최소화하기 위한 공정 최적화가 필요하다. 최근, 원형의 코어 빔 주위에 링 형태의 빔을 추가함으로써, 용융풀 확대 및 레이저 흡수율 증가, 스패터 및 기공 감소 효과를 얻는 듀얼 빔 레이저 공정이 주목을 받고 있다. 따라서 본 연구에서는 듀얼 레이저 빔을 적용하여 Al, Cu 박판 간의 용접을 수행하고, 이 겹치기 용접부의 특성을 평가하였다. 링 빔의 출력이 700 W 이하일 때, 링 빔의 출력이 증가하면 비드폭과 용입깊이가 증가하여 인장전단강도가 증가하는 반면, 링 빔의 출력이 900 W 이상일 경우 Al, Cu의 섞임이 과도하게 증가하여 금속간화합물의 다량 형성으로 인해 인장전단강도가 낮아진다. 용접부의 내구성을 평가하기 위해 피로시험을 진행한 결과, 링 빔의 출력이 300 W일 때 가장 큰 100 N의 하중에서 10^6 cycle의 피로수명을 보였다. 용접부의 취성은 금속간화합물 형성과 밀접한 관련이 있으므로, 본 연구를 통해 미세조직과 용접부 특성 간의 연관성을 분석하고자 하였다.

[P29-9]

Silver Sintered Al FPCB/Al FPCB Lap Joints : YEHWAN LEE (Korea Institute of Industrial Technology, Inha university) and DONGJIN KIM* (Korea Institute of Industrial Technology)

Keywords: BMS, Al FPCBs lap joint, Ag sinter joining, EBSD

This study was carried out to realize the lap joints between aluminum (Al) flexible printed circuit boards (FPCBs), which allows for the reduction of system volume and manufacturing cost in the battery management system (BMS). To achieve robust lap joints without any solder balls, significant voids, and additional defects, pressured Ag sinter joining was applied at 250 °C for durations ranging from 5 to 30 min. The circuit of Al FPCBs each comprised 19 pads of 4.5 mm^2 (total pad area 85.5 mm^2), with each pad bonded using Ag sintered paste with an ethylene glycol (EG) organic solvent. The pressurized environment was bonded using aluminum plate jigs at the top and bottom to maintain maximum thermal conductivities. The macroscale morphologies and microstructures and texture behaviors were investigated using SEM, XRD, and EBSD observations at each time interval. The results from the microscopic point of view indicated that the porosity of the Ag sintered layer tended to decrease as the joining time increased from 5 to 30 min, and that tensile strength increased with the increase in time. This study can provide positive insights into the issues encountered in conventional solders by applying Ag sintering technology for the world's first time to serial lap joint bonding of Al FPCB/Al FPCB.

[P29-10]

Ag-X 나노 복합구조를 활용한 반도체 패키지 저온 소결 접합 용 나노 다공성 실버 개발 : 김민서, 성재욱, 현승균* (인하대학교)

Keywords: 전력반도체, 패키지 접합 재료, 합금설계, Ag 소결, 나노 다공성 재료

차세대 전력반도체의 높은 작동 온도에서 신뢰성을 유지할 수 있는 접합 재료에 대한 연구가 활발히 진행중이다. 차세대 접합 재료로 각광받고 있는 나노 실버는 낮은 소결 온도와 높은 융점을 가지기 때문에 저온 공정과 신뢰성 확보가 가능하다. 하지만 높은 제조 단가로 인해 양산 적용을 위한 추가적인 연구가 필요하다. 반면 나노 다공성 실버는 마이크로 크기의 실버 입자에 나노 크기

의 기공을 구현한 것으로, 저온 소결 등 높은 표면적을 통한 나노 물성의 구현이 가능하며, 나노 실버의 높은 제조 단가를 극복할 것으로 기대된다. 본 연구에서는 Ag-X 나노 복합구조의 탈성분(dealloying)을 통한 저온 소결 페이스트 용 나노 다공성 실버를 개발하고 소결 특성을 평가하였다. Arc melting을 통해 5가지 조성의 Ag-X 합금을 제조하였고, rapid solidification process(RSP)를 통해 나노 복합구조의 Ag-X 리본을 제조하였다. 리본을 마이크로 크기의 분말로 분쇄한 후, 탈성분 조건을 최적화해 나노 다공성 실버를 제조하였다. X선 회절 분석법(X-ray diffraction, XRD)과 전계 방출형 주사전자현미경(Field emission scanning electron microscopy, FE-SEM)을 통해 탈성분 전후 다공성 미세조직 및 구성상 변화를 확인하였다. 또한 BET(Brunauer Emmett Teller)를 통해 기공 특성을 분석하였고, 시차 주사 열량계(Differential scanning calorimetry, DSC)를 통해 나노 다공성 은의 소결 온도를 분석하였다.

[P29-11] Canceled

4.2K 환경에서의 Gas Tungsten Arc Welding STS 316L의 미세조직 및 인장 특성 평가: 전승민* (한국재료연구원 (KIMS), 창원대학교), 나영상*, 김영균 (한국재료연구원 (KIMS)), 임동우 (㈜크리오스)

Keywords: GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), Cryogenic, Stainless steel, Microstructures, tensile properties

본 연구에서는 Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) 방식으로 용접된 STS 316L에 대하여 상온 (293K) 에서부터 초극저온 (4.2K) 까지 액체 헬륨을 사용한 극저온 인장시험기를 통해 기계적 특성을 평가하고 미세조직을 분석하였다. GTAW 공정에 사용된 필러는 모재와 동일한 STS 316L 필러를 사용하였다. 초기 미세조직은 용접 부위에 따라 미세조직 형태가 구분되었으며, 모재인 Base zone은 equiaxed grain 형태를 보였지만, 용접 부인 Fusion zone은 columnar grain 형태를 나타내었다. 또한, Fusion zone 에서 열방출에 의한 열수축 과정에서 Geometrically Necessary Dislocation (GND)가 다량 도입되는 것을 확인하였다. 상온 및 극저온 인장 특성의 경우, 용접 부와 모재가 모두 포함된 시편을 인장시험 수행하였다. 상온에서 약 400 MPa의 항복강도와 0.17 수준의 연신율을 나타낸 반면, 극저온 환경 (77K, 4.2K) 에서는 항복강도, 인장강도 및 연신율 모두 크게 상승하는 것을 확인하였다. 또한, 상온과 극저온 모두 용접 부에서 파단이 발생하였다. 이는 용접 부와 모재의 미세조직적 차이가 초극저온 환경에서의 인장특성과 상관관계가 있는 것으로 확인되었다. 본 연구에서는 GTAW 방식으로 제작된 STS 316L에 대하여 온도에 따른 미세조직 특성 분석을 통해 초극저온 환경에서의 GTAW STS 316L의 변형 거동에 대해 논의하고자 한다.

[P29-12]

Mechanisms of microstructure evolution and mechanical properties in friction stir welded joints of dual-phase steel at cryogenic temperature : Hyun-Hak Kang, Seung-Chang Han, and Tea-Sung Jun* (Incheon National University)

Keywords: Friction stir welding, Dual-phase steel, Cryogenic deformation, EBSD

A persistent challenge for automotive manufactures is enhancing vehicle fuel efficiency and reducing CO_2 emissions. A promising approach involves utilizing advanced high-strength steels (AHSS), particularly dual-phase (DP) steels, known for their superior strength, ductility, and consistent yield behavior. However, the application of welded joints in these materials is restricted by a narrow range of suitable welding conditions and reduced mechanical properties when using conventional welding techniques. Friction stier welding (FSW) offers a robust solution for integrating DP steels into automotive applications. Although some studies have examined the temperature effects on the microstructure and mechanical properties of DP steel welds, the behavior under cryogenic conditions is less understood, highlighting a significant knowledge gap given the environmental challenges vehicles face and the potential for innovative FSW applications in DP steels. This study quantiativelt analyzes the deformation behavior of DP980 steel friction stir welded joints. The digital image correlation (DIC) technique is employed to investigate the local strain distribution during uniaxial tension at room and cryogenic temperatures (i.e., -50 and -150 ^{o}C). Microstructural and texture analyses were performed using scanning electron microscopy (SEM) and electron backscatter diffraction (EBSD) to asses the influence of deformation behavior on FSWed DP980 steel at both room and cryogenic temperature. Adiitionally, nanoindentation and kernal average misorientation (KAM) assessments reveal variations in dislocation densities across the stir zone (SZ), heat-affected zone (HAZ), and base metal (BM), further elucidating the mechanical property enhancements.

[P29-13]

연속 냉간 압연 공정에서 100 K급 GA도금용 열연강판의 용접 후열처리 최적화에 관한 연구 : 노형섭, 윤중길*, 이상호, 심관우, 조승한 (현대제철㈜)

Keywords: 100 K, 초고장력강, 후열처리, 용접부, 판파단

최근 차량 충돌평가 기준이 강화되어 안전, 편의 장치가 늘어남에 따라 자동차의 중량은 지속적으로 증가하고 있다. 자동차의 중량증가는 연비 하락을 불러 일으켜 소비 비용 증가 및 환경 오염 등의 문제를 야기한다. 이런 문제의 대책으로 자동차의 요구 강성을 유지할 수 있는 높은 강도의 강판을 사용하여 강판 두께를 줄이는 경량화에 대한 니즈가 급증하고 있다. 철강 기업들은 이러한 니즈에 부응하여 초고장력강 개발 및 양산에 사활을 걸고 있다. 하지만 초고장력강의 경우 물성 확보를 위한 고합금 설계가 불가피하며, 이는 변태 발열, 설비 과부하 등의 요인을 유발, 생산 난이도를 높이기 때문에 개발 및 양산을 어렵게 한다. 특히, 냉연 연속 생산 라인에서 고합금 소재의 용접은 용접 시에 생성되는 주조 조직 및 급가열/급랭에 따른 상변태 그리고 이에 따른 기계적 물성 변화 등의 종합적인 고려가 필요한 고난이도 기술이 필요하며, 그래서 관련 기술 개발이 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 연구는 100 K급 GA 도금용 열연강판을 대상으로 하는 연속 냉간 압연 공정에서 많이 발생

되는 용접부 파단의 저감을 위해 용접성 향상을 추구하고, 용접성 향상을 위한 방법으로 후열처리 최적화 조건 도출을 목적으로 실험을 진행했다. 여러 실험을 통해 도출된 최적 용접 조건을 이용하여 레이저 용접된 시편에 후열처리 조건을 0부터 430 V까지 변경, 적용하여 테스트를 진행하였고, 이렇게 제작된 시편을 용접부 경도, Erichsen 시험, 인장 시험 및 미세조직 분석을 시행하여 비교하였다. 결과적으로, 경도 Profile 및 편차는 280~430 V, Erichsen 시험은 280~370 V에서 양호하였다. 그리고 냉간 압연 이후 용접부 크랙은 280~370 V, 용접부 두께 변화는 0~340 V에서 양호하였다. 특이 사항으로 Erichsen 시험 결과 중 후열처리 조건이 370 V 초과되는 경우 용접부는 템퍼 취성에 의하여 기계적 물성이 오히려 낮아지는 것을 확인하였다. 종합적으로 100 K급 GA 도금용 강판의 후열처리 조건으로 280V ~ 340 V가 최적이라고 판단하였으며, 이러한 결과는 현장에 적용하여 해당 강종의 용접부 파단의 발생을 거의 없애는 수준까지 개선하는 효과를 얻을 수 있었다.

[P29-14]

하나로핵연료 Grapple head 용접 장치에 관한 개선점 고찰 : 소원재*, 도정민, 김종환, 김기남, 정용진 (한국원자력연구원)

Keywords: 핵연료집합체, 용접, Grapple head, 침투탐상검사

한국원자력연구원에서는 다목적 연구용 원자로인 하나로(High-flux Advanced Neutron Application Reactor, HANARO)의 구동핵연료를 국산화 하여 제작하고 있다. 하나로핵연료는 조립되는 핵연료봉의 개수에 따라 36봉형과 18봉형 두가지 형태의 집합체로 조립되며 집합체 제조의 마지막 단계로 Grapple head 와 Grapple head lock을 용접하는 공정을 거친다. Grapple head 와 Grapple head lock은 핵연료집합체 상부에 위치한 금속 구조물로 지르칼로이-4 소재를 사용한다. 용접부는 직경 25 mm 와 20 mm이며 아르곤 가스 분위기의 GTAW(가스텅스텐아크용접)를 이용하고, 침투탐상검사를 수행하여 용접부의 크랙이나 개구부를 검사한다. 현재 사용 중인 용접장치는 용접기에 집합체 장착 지그를 결합시킨 형태이며 반자동 형태의 용접이 가능한데, 이를 개선하여 집합체의 장착을 편리하고 정확하게 할 수 있으며, 더욱 자동화된 형태의 용접이 가능 하여 작업 편의를 향상시킬 수 있다.

[P29-15]

Heat-Resistant Reliability of Large-Area Sintered Silver Nanoparticles for Direct Cooling in Power Modules : Yu Hayoung*, Seoah Kim, and Dongjin Kim* (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))

Keywords: direct cooling silver sintering thermal shock test reliability heat sink

Direct cooling, connecting technology the bottom of the power modules to the heat sink with a metal-based bonding material, is emerging as a key technology for implementing the high-power density power modules and inverters. In this study, sintered silver nanoparticles without pressure are used for bonding material, because of its high thermal conductivity. Despite the importance of developing direct cooling with sintered silver is increasing, especially in large-area for using in power module and inverters, it has been gone through difficulty to apply in practice due to implementation difficulty. Therefore, in the industry, there is a pressing need to test reliability and ensure the quality of direct cooling technology in large. In this study, it is implemented that Ag sintering between electroplated Ni/Au finished Al substrates and Cu dies in a direct cooling structure in large area at a low temperature of 175 ºC without pressure. Furthermore, reliability test with thermal shock test was conducted at various temperature from -40 ºC to 105 ºC and shear test was also performed to test bonding strength. Therefore, it succeeded in elucidating the fracture mechanism related to reactivity and thermal conductivity between Ag sintered layers, substrates, and dies.

[P29-16]

Microstructure-based analysis of degradation resistance and high-temperature mechanical properties in Ti-added RAFM steel welds : Jae-Yeon Han, Yoon-Hwan Cho (Changwon Nation University), Chiwon Kim, Chang-Hoon Lee (Korea Institute of Material Science), Seung-Jin Jung (Chosun Welding Co., Ltd), and Hyun-Uk Hong* (Changwon Nation University)

Keywords: Reduced-Activation Ferritic/Martensite (RAFM) steel, EBW, GTAW, Heat-Affected-Zone (HAZ), Thermal stability, MX precipitate

Nuclear fusion power is an emerging clean energy source due to its lack of environmental pollutants and the absence of resource depletion risks. The extreme conditions of high neutron and thermal flux in fusion reactors make Reduced Activation Ferritic/Martensitic (RAFM) steel a key candidate material. However, RAFM steel welds face challenges related to deformation incompatibility, coarsening of metastable precipitates, and the formation of harmful phases. This study investigates the effects of adding Ti to increase MX precipitates and applying a low tempering temperature (730°C) to enhance dislocation density. The Electron Beam Welding (EBW) process was used to narrow the Heat-Affected Zone (HAZ), with Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) serving as a comparison. Microstructural analysis showed that 0.013 wt% Ti increased MX precipitates (2.0 → 4.6%) and reduced the size of M23C6 precipitates (148.9 → 119.3 nm). Tensile tests at 550°C demonstrated superior properties in Ti-added and EBW specimens due to the increased MX precipitates, high dislocation density, and narrower HAZ. Hardness tests after 500 hours at 550°C indicated better thermal stability in Ti-added and EBW specimens. TEM analysis confirmed these findings, showing narrower lath widths and higher dislocation densities in Ti-added and EBW specimens. High-temperature fatigue and creep tests further validated the improved performance of these materials, attributed to MX precipitates and reduced heat input. The results suggest that Ti addition and EBW processing enhance the degradation resistance of RAFM steel for fusion reactor applications.

[P29-17]
Driving force for enhancing the cold silver sinter joining using time domain-dependent Ag-Au epitaxy and interfacial stress : Dongjin Kim* (Korea Institute of Industrial Technology)
Keywords: Ag/Au interface: heteroepitaxial growth: cold sintering: power electronics: texture

We reveal the mechanism of the cold silver sinter joining process using time-dependent characteristics of Ag-Au interactions grown in the highly (111) orientation. In the initial (~15 min) state at 175 °C, the Ag-Au inter-diffusion layers developed strongly in the (001) direction, and with increasing time (~ 60 min), they switched epitaxial growth in the (111) orientation. The gradual Ag-Au epitaxial growth behavior with a higher stacking-fault energy (SFE) at 175 °C was the dominant factor linearly increasing the cold silver sinter joining strength and ultimately maximizing energy absorption leading to fracture. The surface finish of Au, which can contribute to the time-dependent growth of Ag-Au inter-diffusion layers, underwent a dramatic transformation from a Cube texture to a γ-fiber texture over time. This change was attributed to the micro/nanoscale shear deformation, and reduction of the twin boundary fraction. This study unveiled the in-depth fundamental mechanism for strengthening and pressureless cold sinter joining of Ag-Au epitaxial layers by comprehensively considering this texture behavior, changes in X-ray residual stress, and mechanical properties.

[P29-18]
Driving forces of solid-state Cu-to-Cu direct bonding suppressing the work-hardening loss by refill friction stir spot welding : Dongjin Kim* (Korea Institute of Industrial Technology)
Keywords: refill friction stir spot welding, work-hardening loss, Cu to Cu direct bonding, busbar: recrystallization

In this study, the solid-state bonding of the Cu-to-Cu parallel connection with no fusion zone and keyhole formation was achieved using the refill friction stir spot welding (RFSSW) process. During the refilling process, significant plastic flow and thermo-compressive behavior promoted geometric and continuous dynamic recrystallization behaviors and highly oriented (111) microstructures, serving as key mechanisms to prevent work-hardening loss and reinforce the joint. Furthermore, the refinement of the grain size without work-hardening loss, increased by 50.8% which was from 61 Hv in the base material to 92 Hv in the thermo-mechanically affected zone (TMAZ). Even, the hardness of the TMAZ/stir zone interface noticeably increased up to 138 Hv as the reduction in the stacking fault energy (SFE) due to the infiltration of Al element at the trace from the tool. The contribution of microstructural features to the mechanical property was quantitatively investigated by a modified Hall-Petch relationship in terms of the grain size, sub-grain size, and dislocation density. This study systematically investigated the driving forces for the implementation of Cu to Cu direct bonding, where work-hardening loss can be suppressed, through the RFSSW process from the perspective of dynamic recrystallization behavior and SFE due to partial alloying of Al elements.

[P29-19]
Thermo-mechanical reliability of oxidation-free Ag porous sheet bonding on bare Cu substrates : Dongjin Kim* (Korea Institute of Industrial Technology)
Keywords: Ag porous sheet, thermos-mechanical reliability, SiC MOSFET, power module

In the present study, it was carried out to investigate the thermomechanical reliability in which harsh aging conditions on the commercial Ag nano-porous sheet bonding onto the die and substrate of both Ag plating surface finishes. To conduct thermo-mechanical reliability tests, die-attached specimens were placed in an oven operated at 250 °C. Die-attached specimens were extracted at intervals of 125 h, 250 h, and 500 h to evaluate the shear strength of the Ag nano-porous sheet joints. All joints of Ag sheet bonded die-attachments that underwent thermal aging tests for up to 500 h maintained their robustness when combined with the Ag plating layer. The initial strength was about 43 MPa at the joining process temperature of 175 °C, which caused an improvement in bonding strength more than two times that of 145 °C. Specimens bonded at 145 °C, subjected to aging up to 250 h, exhibited an initial shear strength of approximately 20 MPa, which subsequently increased to about 45 MPa. However, beyond the 500h mark, the strength exhibited a decline, reverting to levels comparable to the initial approximately 20 MPa. In contrast, specimens bonded at 175 °C exhibited an initial strength of approximately 42 MPa. Following the 250 h aging time, the strength increased to around 60 MPa. However, after 500 h, a notable decline in strength occurred, diminishing to 19 MPa, more than a twofold reduction from the initial strength.

P30 : 생체재료
Room 2층 로비, 10월 30일

[P30-1] Canceled
Optimizing Porous PDMS Microstructures for Durable and Thermally Stable Wearable Sensors : hyejun Kim, Seongu Kim, and Jeonghyun Kim* (Kwangwoon Univ.)
Keywords: Wearable Sensors, PDMS Microstructures, Mechanical Durability, Thermal Stability, Capacitive Hydration Sensor

The rapidly advancing field of wearable sensor technology necessitates the development of materials that provide user comfort while also exhibiting superior mechanical durability and thermal stability. These attributes are particularly critical for sensors designed for continuous, long-term monitoring in dynamic environments. In response to these demands, an in-depth investigation into the optimization of polydimethylsiloxane (PDMS) with an engineered porous structure is presented. The research is focused on tailoring the microstructural properties of PDMS to enhance its suitability for advanced wearable sensors, particularly those integrating a capacitive-type hydration sensor. The structure of the proposed sensor incorporates a hybrid system utilizing PI polyimide substrates, which are known for their excellent thermal resistance and mechanical flexibility. To improve the flexibility and thermal performance of the material, the mixing ratio of deionized water (DIW) and isopropanol (IPA) was precisely manipulated. Additionally, controlled porosity of PDMS packaging was achieved by adjusting the curing temperature. A systematic variation of the DIW-IPA ratios and curing conditions was undertaken to observe their impact on the pore size distribution, uniformity, and overall mechanical properties of the PDMS. This is crucial as it demonstrates that the material can withstand the physical demands imposed by dynamic environments, thereby extending the operational lifespan of wearable sensors. Furthermore, the microstructural refinement of PDMS, influenced by the curing process and the DIW-IPA mixture, plays a pivotal role in enhancing the material's durability and ensuring the sustained functionality of the integrated sensor components. The controlled pore structure allows for improved breathability, reducing the likelihood of skin irritation, a common issue with prolonged sensor attachment. This advancement in material science and device engineering underscores the critical interplay between these domains in developing next-generation wearable sensors. The insights gained from this research contribute significantly to the broader field of wearable technology, offering a pathway to creating more resilient, reliable, and user-friendly devices. As the demand for continuous health monitoring grows, the ability to produce materials that can withstand the mechanical and thermal stresses of daily wear becomes increasingly important. This study not only provides a framework for material optimization but also sets the stage for future innovations in wearable sensor technology, where comfort, durability, and stability are paramount. Acknowledgments This research was supported by the Basic Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the MSIT (RS-2023-00222124).

[P30-2] Canceled
Non-Invasive Blood Glucose Monitoring Using Near-Infrared Light: A Novel Approach to Improve Accuracy and Patient Comfort : Jeonghyun Kim*, Seongu Kim, and Yeonjae Yang (Kwangwoon Univ.)
Keywords: Flexible, Wearable, Glucose Measurement Accuracy, Infrared reflection

With the rising number of young diabetes patients, the importance of real-time blood glucose monitoring using medical wearable devices has become increasingly significant. However, many wearable blood glucose monitoring devices currently available on the market require complex blood sampling processes, which are inconvenient for patients and often produce results that significantly differ from actual blood glucose levels. This study proposes a non-invasive method to estimate blood glucose levels by directing near-infrared light (800 nm ~ 2000 nm) onto the skin and observing changes in the reflected light. Although wearable devices based on this principle have already been developed, achieving accurate blood glucose measurements remains a major challenge. This issue was addressed by using OP-AMPs to detect subtle changes in infrared light reflection due to variations in glucose levels. Experimental results in the laboratory demonstrated that the voltage changes detected by the photodiode were sensitive to changes in glucose concentration. Therefore, this study suggests the potential to reduce patient discomfort associated with invasive blood glucose measurement methods and decrease the occurrence of diabetes-related emergencies. Acknowledgments This research was supported by the Basic Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the MSIT (RS-2023-00222124).

[P30-3]
생분해성 다이오드의 고주파 정류 특성 파라미터 측정을 통한 신경 재생 디바이스의 표준화 : 김재원, 김경수, 문경환, 구자현* (고려대학교)
Keywords: 생분해성, 다이오드, 교류 특성

생분해성 무선 전기자극 디바이스를 이용해 신경 재생에 도움을 주는 연구에서 생분해성 다이오드의 역할은 중요하다. 이는 무선 전력 전송에 이용되는 수 MHz의 주파수를 가지는 교류 신호를 신경 재생을 위한 전기 자극에 이용되는 직류 신호로 바꾸어 준다. 생분해성 무선 전기자극 디바이스에 사용되는 생분해성 다이오드는 PIN 다이오드가 주로 사용된다. PIN 다이오드는 PN접합 사이에 진성층을 가진다. 이는 PN 다이오드에 비해 더 넓은 동작 주파수 범위를 가지고, 더 높은 전력을 처리할 수 있다는 장점을 가진다. 하

지만 무선 전력 전송에 사용되는 수 MHz ~ 수십 MHz의 주파수 범위에서는 다이오드의 도핑 농도, 진성층 사이의 간격 등 다양한 변수에 따라 단순한 저항으로 기능하기도 한다. 이는 다이오드의 정류 특성을 나타내는 전류-전압 특성 측정만으로는 파악하기가 어렵다. 다이오드의 고주파 특성을 나타내는 파라미터에는 소수 캐리어가 재결합하는데 걸리는 시간을 나타내는 캐리어 수명, 특정 주파수에서의 캐패시턴스와 인덕턴스 값, 다이오드에 순방향 전류가 흐르다가 역전류 값에 도달하는데 걸리는 시간을 나타내는 역회복 시간 등이 있다. 이들은 다이오드의 전류 흐름을 만들어주는 전하 캐리어의 이동도를 나타내어 고주파 교류 전류를 효율적으로 정류할 수 있음을 나타낸다. 따라서 본 연구에서는 전류-전압 특성 측정뿐만 아니라 다이오드의 고주파 특성을 나타내는 파라미터를 측정하여 생분해성 다이오드의 고주파 정류 특성과의 관계를 파악하고, 이를 생분해성 전기자극 디바이스에 적용하여 말초신경 전기자극에 활용할 수 있다. 더 나아가 해당 파라미터들과 생분해성 디바이스의 출력 값과의 관계를 파악하여, 일정한 품질을 가지는 것이 어려운 현재의 생분해성 전기자극 디바이스의 한계를 극복할 수 있을 것이라고 기대한다.

[P30-4] Canceled

A Blood Pressure Measurement Device Using a Supercapacitive Ionic Pressure Sensor : Lee Junyeong, Lee Minjoo, and Kim Jeonghyun* (Kwangwoon Univ.)

Keywords: Flexible, Wearable, Supercapacitive, Pressure, Machine learning

The increasing prevalence of hypertension and the growing elderly population underscore the importance of real-time blood pressure monitoring. Photoplethysmography (PPG) based blood pressure measurement techniques offer the advantages of small size and ease of use, allowing users to conveniently monitor their blood pressure in real time. However, commercially available PPG sensor-based devices may suffer from reduced measurement accuracy due to issues such as interference between the skin and sensor, as well as weak pulse signals. To address these issues, we have developed a ring-shaped device that integrates PPG and pressure sensors. This device leverages the accuracy of cuff-based automatic blood pressure measurement methods. It utilizes machine learning to establish a correlation between PPG sensor values and pressure values, enabling accurate blood pressure measurement when users manually apply pressure. As users apply slight pressure while wearing the ring, the device can accurately measure blood pressure based on the learned correlation between PPG sensor and pressure values. Additionally, the device is designed with a compact circuit using micro-soldering technology, providing portability and convenience in a small ring form factor. Flexible materials are used to enhance comfort, minimizing discomfort during measurements. The measured blood pressure data is transmitted in real time to a smartphone via Bluetooth Low Energy (BLE) communication, allowing users to monitor their blood pressure conveniently, free from time and location constraints. In conclusion, this study presents a ring-shaped device that enables simpler and more accurate blood pressure monitoring compared to existing methods, combining the advantages of cuff-type devices to enhance user convenience and measurement accuracy. Acknowledgments This research was supported by the Basic Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the MSIT (RS-2023-00222124).

[P30-5] Canceled

Ultrahigh Temperature Sensitivity for Human Healthcare monitoring via Precious Metals Atomic Layer Deposition on V-MXene : Computational and Experimental Exploration : Debananda Mohapatra (Ulsan National Institute of Science and Technology), Hyun Jin Kang, Jung Woo Lee* (Pusan National University), and Soo-Hyun Kim* (Ulsan National Institute of Science and Technology)

Keywords: Iridium atomic layer deposition (ALD), precious metals, V-MXene, temperature sensor, healthcare monitoring

The global healthcare landscape, driven by the Internet of Things (IoT), is rapidly evolving to enable the precise measurement of physiological body parameters in remote patients, facilitating symptom monitoring without the need for hospital visits. The development of 2D materials, along with the growing interest in MXene-based sensing devices, has inspired the introduction of a novel approach: incorporating iridium (Ir) precious metal into vanadium (V)-MXene through industrially favored atomic layer deposition (ALD) techniques. This work achieves precise control and a delicate balance of Ir single atoms or clusters on V-MXene, resulting in a unique precious metal-MXene embedded heterostructure (Ir-ALD@V-MXene) tailored for real-time sensing in healthcare applications, particularly thermography, within a human-machine interface. The Ir-ALD@V-MXene structure demonstrates exceptional durability and sensing performance, with a sensitivity of 2.4% °C−1 compared to pristine V-MXene's 0.42% °C−1, outperforming several conventional MXenes and graphene, highlighting the significance of the innovative Ir-ALD process. Advanced ultra-high-resolution transmission/scanning transmission electron microscopy, with aberration correction, confirms the presence of Ir atomic clusters on the well-aligned 2D-layered V-MXene structure and their formation into an advanced heterostructure (Ir-ALD@V-MXene). The enhanced sensing mechanism is further investigated using density functional theory (DFT) computations. This rational design, leveraging the Ir-ALD process on the relatively unexplored V-MXene, holds the potential to drive further developments in precious metal ALD processes for next-generation wearable personal healthcare devices.

[P30-6]

Shape memory vascular clip with biodegradable core mediating gradual recovery of blood flow : Sungeun Kim, Byungsoo Kim, Seunghun Han, Bon Jekal, Sehwan Park, and Jahyun Koo* (Korea Univ.)

Keywords: Cerebral Hyperperfusion Syndrome, Blood Flow Rate Regulation, Shape Memory, Biodegradable, Implantable

Cerebral hyperperfusion syndrome (CHS) is a rare but devastating complication following a revascularization procedure, which is one of the most standard treatments for ischemic stroke. CHS is difficult to diagnose and might lead to the fatal effect of a cerebral hemorrhage. Current clinical management for CHS, including intensive blood pressure control, requires high medical costs and labor of medical personnel. Therefore, as a potential solution, devices that prevent hyperperfusion immediately after surgery and allow gradual cerebral blood flow adaptation are promising preventive measures for CHS. Here, we have developed a vascular clip made of shape memory polymer (SMP) that autonomously compresses the cerebrovascular vessel in response to body temperature and a biodegradable polymer that gradually releases the compressed cerebrovascular vessel. This clip aims to reduce excessive cerebral blood flow post-revascularization surgery and gradually restore normal cerebral blood flow over time. Customized vascular clips, produced by a 3D printer, can accommodate various sizes of blood vessels for different applications. The rate of blood flow reduction can be adjusted by customizing the clip's design. The autonomous compression feature of the vascular clip using SMP offers ease of use and consistent effects for physicians and patients. The clip's ability to regulate blood flow was validated using a custom-made artificial blood flow model and an in-vivo rat model.

[P30-7]

Bi-directional cyclic mechanical stimulation regulates metastatic behavior and apoptosis in melanoma cells via mechanotransduction pathways : TaeHoon Lee and Junmin Lee* (POSTECH)

Keywords: Cyclic stretch, cancer cell, metastasis, apoptosis, mechanotrasduction

Metastatic behavior of cancer cells is key to advancing research and treatment. Studies indicate that mechanical stimuli can alter cell morphology, phenotype, and apoptosis, but their impact on metastasis remains underexplored. Here, we created a PDMS-based bioreactor to apply cyclic mechanical stimulation in two directions. Melanoma cells exposed to 0.5Hz bi-directional cyclic stretch with 10% strain for 6 hours aligned perpendicularly to the stretch. This also increased nuclear expression of mechanotransduction markers like MKL1 and YAP, with effects tied to the cells' metastatic potential. We found that MKL1 overexpression was linked to actin filaments forming from cytoplasm to nucleus. Mechanical stimulation influenced apoptosis, making low-metastatic cells more prone to it. Co-culture experiments showed that cancer cells with different metastatic potentials responded uniquely to the stimulation, suggesting possibilities for selective therapy. Our findings suggest that highly metastatic cancer cells react quickly and strongly to mechanical stimuli, aiding their survival. This research and platform could advance metastasis-based cancer diagnosis and treatment strategies.

[P30-8]

3D Printable and Multifunctional Hyaluronan Based Hydrogel patches for Skin Disease : Hyeong Seok Kang, Seo-Jun Bang (Hanyang University), Chan Ho Moon (The Catholic University of Korea), Ju Yeong Gwon (Hanyang University), Jong Hwa Seo, Hyun Lee (The Catholic University of Korea), and Hyun-Do Jung* (Hanyang University)

Keywords: 3D printing, Hydrogel, Multifunction

Hydrogels are attractive wound healing patches due to their advantages, such as good biocompatibility and a moist environment. However, pure hydrogels have a few limitations as wound healing dressings, including low mechanical properties and functionality. In this study, hyaluronan was synthesized with methacrylate into hyaluronic acid methacrylate (HAMA) to address limitations in mechanical properties, and MXene and DNA were incorporated to make multifunctional hydrogel patches. MXene is a ceramic nanoparticle with high thermal conductivity, while DNA derived from salmon enhances tissue regeneration. NMR and FT-IR analysis were conducted to confirm synthesized HAMA. The Mechanical properties of hydrogels were evaluated. In vitro and In vivo tests were performed to examine hydrogel patches.

[P30-9]

3D-Printed Tissue-Specific Nanospike-Based Adhesive Materials for Time-Regulated Synergistic Tumor Therapy and Tissue Regeneration In Vivo : Hyeong Seok Kang (Hanyang University), Hyun Lee* (The Catholic University of Korea), Seojoon Bang, and Hyun-Do Jung* (Hanyang University)

Keywords: 3D printing, nanospiked magnesium,Tumor Therapy, adhesive DNA

Innovative theragenerative platform comprises tissue-specific nanospiked hydroxyapatite decorated with magnesium (nMg) and adhesive DNA (aDNA). The incorporation of nMg within polylactic acid (PLA) matrix confers photothermal capabilities and helps to modulate mechanical and degradation properties and improve the biocompatibility of theragenerative platform. Simultaneously, the immobilized aDNA contributed to the enhancement of vascularized bone healing. These 3D-printed tissue-adhesive theragenerative platforms exhibit superior mechanical properties and offer controlled degradability. Moreover, they enable the eradication of bacteria and osteosarcoma through hyperthermia and promote angiogenesis and osteogenesis, both in vitro and in vivo. This groundbreaking approach is poised to pave the way for the fabrication and design of novel implantable biomaterials that integrate therapeutic and regenerative functions.

[P30-10]

3D Printed Electroconductive and Stretchable Composite Hydrogel Patches for Accelerated Wound Healing : Seo-Jun

Bang, Hyeong Seok Kang (Hanyang University), Chan Ho Moon (The Catholic University of Korea), Ju Yeong Gwon (Hanyang University), Jong Hwa Seo, Hyun Lee (The Catholic University of Korea), and Hyun-Do Jung* (Hanyang University)
Keywords: 3D printing, hydrogel, tissue regeneration

Effective wound healing is essential for the skin injury. Polymer-based hydrogel patches, particularly those using Gelatin methacryloyl (GelMA), are ideal due to their biocompatibility. To improve flexibility of GelMA, dopamine methacryloyl (DMA) is added. MXene (Ti3C2) and DNA molecules are incorporated to enhance functionality. MXene allows for electrical stimulation and photo-thermal therapy (PTT) under near-infrared (NIR) laser exposure, while DNA accelerates wound healing process. Analyses confirmed the synthesis of GelMA and DMA, and evaluations physical properties were conducted. In vitro and in vivo tests demonstrated accelerated wound healing and the eradication of bacteria and melanoma cells through PTT.

[P30-11]
Nature-inspired microneedle patches by 4D printing for accelerating incisional and diabetic wound healing : Seo-Jun Bang (Hanyang University), Hyun Lee* (The Catholic University of Korea), Hyeong Seok Kang, and Hyun-Do Jung* (Hanyang University)
Keywords: 4D printing, wound healing, microneedle

Microneedle (MN) patches have been fabricated by various methods and utilized as a platform to deliver biomolecules or drugs for aiming enhancement of tissue regeneration. In addition, uniquely structured MNs including tilted or curved structure have been investigated for better wound healing characteristics by suppressing wound opening compared to straight microneedles. However, producing specifically structured MNs with conventional methods is hard to be achieved and requires large loss of materials. As a way for solution to that challenge, digital light processing (DLP)-based 3D printing has emerged due to their high precision and accuracy. Here, we are introducing DLP-based 4D printing for fabricating shape memory polymer (SMP) based MN patches with viper fang-like structure which could be utilized to accelerate diabetic wound healing.

[P30-12]
3D Printed Biodegradable Hydrogel-based Multichannel Nerve Conduits Mimicking Peripheral Nerve Fascicules : Yerim Lee, Jahyun Koo*, Woo-Youl Maeng, Kyung Su Kim, and Daeun Sung (Korea University)
Keywords: nerve guidance conduits, peripheral nerve injury, mimicking real nerve fascicles, digital light processing, in vivo animal studies, food-grade dye, peripheral nerve regeneration

Treating peripheral nerve injury (PNI) is a prevalent clinical challenge. The improper dispersion of regenerating axons makes it difficult to develop nerve guidance conduits (NGCs) for treating PNI. The multichannel NGCs, designed to mimic the fascicular structure of nerves, are proposed as an alternative to single hollow lumen NGCs. Hydrogel-based NGCs with microscale multichannels resembling actual nerve fascicles are fabricated using digital light processing as 3D printing. Gelatin methacryloyl (GelMA) and polyethylene glycol diacrylate (PEGDA), which are biodegradable and photocurable, are used as the printing solution. Addition of a food-grade dye to the printing solution can prevent overcuring by adjusting the optical path length of light and regulating the polymerization rate. This work further demonstrates that the addition of dyes can enable high-resolution printing, resulting in the achievement of fine multichannels with a diameter of 200 μm. In vivo animal studies using a rat sciatic nerve injury model shows that GelMA/PEGDA-based multichannel NGCs can significantly improve peripheral nerve regeneration, as indicated by improved paw withdrawal forces, increased sciatic function index, and muscle fiber growth. Furthermore, the mechanical properties, pore size, and biodegradation rate of the hydrogel constituting the NGCs successfully demonstrate the feasibility of hydrogel-based multichannel NGCs for accelerating nerve regeneration.

[P30-13]
Constructing electrical interface of plants using arrowhead subsrate-free hydrogel microneedle : Geonho Lee and Junmin Lee* (Pohang University of Science and Technology)
Keywords: Plant physiology monitoring, Microneedle, 3D printing, Hydrogel

Precise evaluation of plant health is crucial in the realm of agriculture to maximize crop yield. The recent development of electrical impedance spectroscopy (EIS) presents a promising avenue for monitoring plant physiology in real time. Traditional electrode-based techniques face challenges due to the barrier posed by the plant's tough epidermis, resulting in unreliable impedance data. Despite these limitations, there is a lack of research aimed at enhancing the accuracy of plant impedance monitoring. To improve electrical conductivity with minimal disruption, hydrogel microneedles can serve as a minimally invasive first electrode, linking secondary electrodes to the plant's vascular system. In this study, gelatin methacryloyl (GelMA) microneedles were investigated for their potential to refine plant EIS measurements. GelMA, a biocompatible hydrogel commonly used in tissue engineering, offers a high swelling capacity that aids in sap movement. Microneedles were constructed using GelMA and a polydimethylsiloxane (PDMS) thin film for demolding and application onto plant stems. Furthermore, barbed microstructures were integrated to enhance adhesion strength, while the substrate-free design reduces stress on plant structures, supporting long-term, unrestricted plant growth. Results indicated that the

GelMA microneedle array notably decreased contact impedance levels compared to the control group, showcasing the efficacy of this technique for accurate, real-time monitoring of plant water stress and ion concentrations. This minimally invasive approach introduces a novel method for direct assessment of plant physiological conditions, opening possibilities for enhanced crop management and environmental regulation through impedance-based measurements.

P31 : 가공-표면처리
Room 2층 로비, 10월 30일

[P31-1]
Improvement in bonding strength of Al_2O_3 coating by multi-layered system : Sumin Song (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH), Hanyang University), Suhyun Bae, Seongjun Hong, Taebum Kim (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)), Jeongho Han (Hanyang University), and Kyuntaek Cho* (Korea Institute of Industrial Technology (KITECH))
Keywords: Laser cladding, Ceramic coating, Multi-layered coating, Gradient coating

Ceramic has been considered as a significant material to improve the coating properties due to its outstanding hardness, high-temperature stability and superior wear resistance. Since building ceramic coating on metal substrate by laser cladding has been challenging due to mismatch of the coefficient of thermal expansion (CTE), multi-layered system whose composition is gradually changed has been highlighted as one of the novel solutions to overcome thermal-physical differences and reduce crack generations. In this study, an experimental study was conducted to investigate improvement of the coating performance by gradient coating. In order to demonstrate the effect of multi-layered system on coating performances, two specimens produced by duplex-layered system and multi-layered system were manufactured by introducing Ni intermediate layer, respectively. Bonding strength was compared by EPMA line scanning, which was evaluated by measuring the length of diluted area at each interface. As coating delamination could be attributed to specific phases such as chromia, spinel and nickel oxide, XRD was carried out to identify the phase of each coating. Furnace Cycle Test (FCT) was conducted at 1200 ºC to determine the ability to withstand high temperature without fracture and cracking. It is expected that thermal stresses caused by a large temperature gradient could be released by gradient coating, which result in reduction in coating defects such as pores and cracks. As a result, it is clearly indicated that multi-layered ceramic coating was stably manufactured by overcoming thermal-physical differences between metal and ceramic.

[P31-2]
기계학습을 이용한 AA1100에 미치는 부식 환경의 영향 분석 : 김민태, 서정우, 정용주, 이주희, 장희진, 김희수* (조선대학교)
Keywords: 알루미늄, 부식, 기계학습

순도 99% 이상인 알루미늄 합금 AA1100은 에어컨이나 자동차 냉난방기의 열교환기 및 전기도체로 사용된다. 알루미늄의 부식 저항성은 부동태 피막에 의존하므로, pH와 전극전위 등 부동태에 영향을 주는 요소들이 알루미늄의 내식성을 크게 좌우한다. 알루미늄은 Cl-이 함유된 환경에서는 공식에 취약하다. 대기 및 수질 오염물질인 황과 황산화물은 수용액에 용해되어 SO42-를 생성하는데, SO42-은 부식을 가속화하기도 하고 억제하기도 한다. 수용액 중 산소의 농도는 금속의 부식전위에 영향을 주어 부식 거동에 변화를 일으킬 수 있다. 본 연구에서는 동전위 분극 실험을 통하여 Na2S, NaCl, $H2O_2$의 농도에 따른 AA1100의 부식 거동을 기계학습을 통하여 분석하였다. 기본적인 기계학습 기법인 Support Vector Machine과 Random Forest, K-Nearest Neighbor 등을 이용하여, AA1100합금의 부식전위와 부식속도, 공식전위에 대하여 분석을 실시하였다. 실험 결과를 가장 적합하게 해석하는 기법을 선정한 후 회귀 분석을 실시하여, 각 화합물이 AA1100 부식에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다.

[P31-3]
Fe-Cr 스테인리스강의 부식에 관한 기계학습 분석 : 서정우, 정용주, 김민태, 장희진, 김희수* (조선대학교)
Keywords: 스테인리스, 부식, 기계학습

최근 친환경 자동차 소재에 대한 관심이 높아지고 있다. 이 중 자동차 배기계 소재는 산성 응축수에 의한 내부 균일 부식과 제설염 등에 의한 외부 국부 부식에 취약하므로 고내식성 소재의 개발이 요구되며, 이 부품은 600 ºC 이상의 고온에 노출될 수 있으므로 내식성 뿐만 아니라 우수한 내열성 및 내산화성이 필요하다. 본 연구에서는 자동차 배기계 소재로서 이용가치가 높은 Fe-Cr 합금을 기반으로, 추가적인 합금 원소인 Ti와 Mo, Si이 합금의 부식에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 실험계획법으로 통하여 얻어진 실험 결과를 기계학습을 통하여 분석하였다. 이때 기본적인 기계학습 기법인 Support Vector Machine과 Random Forest, K-Nearest Neighbor 등 중 실험 결과를 가장 적합하게 해석하는 기법을 선정한 후 부식전류와 공식전위에 회귀분석을 실시하고, 각 합금원소의 영향에 대하여 조사하였다.

[P31-4]
Ni 합금의 고온 부식에 미치는 합금원소의 영향 : 정용주, 김민태, 서정우, 장희진, 김희수* (조선대학교)
Keywords: Ni합금, 고온부식, 기계학습

본 연구에서는 Ni 합금의 700 ºC 부식 거동에 미치는 합금원소(Co, Cr, Mo, W, Al, Ti, Ta)의 영향을 조사하였다. Box-Behnken 방식의 실험계획법을 통하여 각 합금원소의 함량을 조절하여 합금을 설계하였으며, 700 ºC에서 순환식 부식 처리를 실시하였다. 이때 부식의 정도는 질량변화량(mass gain)으로 측정하였다. 일정한 부식 사이클이 끝난 후의 질량변화량을 측정하였다. 기계학습 기법으로는 Support Vector Machine과 Random Forest, K-Nearest Neighbor 등을 사용하였는데, 이 중 실험 결과를 가장 적합하게 해석하는 기법을 선정한 후 질량변화량를 대상으로 기계학습을 실시하였다. 이에 각 합금원소가 700 ºC에서 Ni 합금의 부

식 거동에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

[P31-5]

Si 및 Sn 첨가가 Batch형 Zn-Al-Mg 용융도금재에 도금층 두께 및 내식성에 미치는 영향 : 김송현 (한국생산기술연구원, 순천대학교), 양시진, 전재열* (한국생산기술연구원)

Keywords: Zn-Al-Mg, Coating thickness, Corrosion, Microstructure

최근, Batch형 Zn 용융도금 시, 도금재의 내식성을 향상시키기 위해 Al, Mg 등의 합금 원소가 첨가되고 있다. 저자들은 이전 연구에서 Al과 Mg을 첨가하여 Zn 용융도금 대비 우수한 내식성을 갖는 Batch형 Zn-Al-Mg 용융도금 기술을 확립하였다. 본 연구에서는 Si 및 Sn 첨가가 Batch형 Zn-Al-Mg 용융도금재의 내식성에 미치는 영향을 평가하였다. 용융도금 조성은 Zn-2.5Al-3.0Mg-0.05Si-0.05Sn, Zn-2.5Al-3.0Mg-0.1Si-0.05Sn, Zn-2.5Al-3.0Mg-0.2Si-0.05Sn, Zn-2.5Al-3.0Mg-0.2Si-0.01Sn의 네 가지 5원계 조성을 각각 준비하였다. 피도금재는 SS400 탄소강 재질의 와셔를 사용하였으며, 전처리된 와셔를 470 ºC로 가열된 각 조성의 용융도금욕에 각각 3분간 침지하여 용융도금을 진행하였다. 용융도금재의 미세조직은 FE-SEM을 통해 분석하였으며, 내식성은 동전위 분극실험을 통해 평가하였다. 동전위 분극 실험 결과, Si 및 Sn을 동시 첨가할 경우, Zn-2.5Al-3.0Mg 대비 E_{corr}이 증가하고 I_{corr}은 감소하였다. Sn 함량이 일정할 때, Si 함량이 증가할수록 E_{corr}은 증가하고 I_{corr}은 감소한 반면, Si 함량이 일정할 때, Sn 함량이 증가할수록 E_{corr}은 감소하고 I_{corr}은 증가하였다. Si 및 Sn을 동시 첨가할 경우, Zn-2.5Al-3.0Mg 대비 내식성이 향상되었으나, Sn 함량이 증가할수록 내식성이 소폭 감소하는 경향을 보인다.

[P31-6]

다층구조 설계 기반 고엔트로피 합금 코팅의 계면 제어 및 결정화 메커니즘 규명 : 이유진, 서진오, 신지우, 강결찬, 박혜진, 홍성환, 김기범* (세종대학교)

Keywords: 스퍼터링 공정, 고엔트로피 합금, 다층구조 코팅, 결정화 메커니즘, 계면 제어

최근 높은 경도와 우수한 내마모성 및 내산화성을 바탕으로 한 고엔트로피 합금 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 고엔트로피 합금의 우수한 특성은 금속 코팅에 대한 연구에도 활용되고 있다. 그 중 고엔트로피 합금을 이용한 다층구조 금속 코팅은 단층 코팅에 비해 계면이 많아 전위 생성 및 이동을 억제하여 보다 우수한 특성을 가진다. 다층구조 설계 시 FCC 구조와 BCC 구조가 교차로 증착된 코팅의 경우, Incoherent interface에 의해 전위 이동에 대한 장벽이 형성되어 강도를 향상시킬 수 있다. 이러한 물성 향상을 위해서는 다층 코팅의 구조 설계가 매우 중요하며, 특히 층간 계면이 미치는 영향에 대한 체계적인 연구가 필요하다. 우리는 선행연구를 통해, 결정질 층으로 이루어진 고엔트로피 합금 코팅의 다층구조 설계 시 기판과 코팅 층간 계면에서 국부적 비정질 층이 형성되어 다층구조 코팅의 결정구조 형성에 영향을 미치는 것을 알아내었다. 이러한 결과를 바탕으로 본 연구에서는 고엔트로피 합금 코팅의 층간 계면에 집중하여 다층구조 코팅의 국부적 비정질 층의 상 제어를 위해 Si wafer 기판에 버퍼층을 증착하여 코팅 층간 계면에서의 결정화 메커니즘을 분석하고자 한다. 또한, 상 제어를 기반으로 한 결정화 메커니즘 분석 결과를 기반으로 다층구조 설계를 통해 BCC 구조와 FCC 구조가 교차로 증착된 다층구조 코팅을 개발하여 층간 계면에서의 핵 생성 및 성장에 따른 결정화 메커니즘에 대해 연구하고자 한다.

[P31-7]

스테인리스강의 전해연마 용액에 글리세롤 첨가가 부동태 피막 특성 및 내식성에 미치는 영향 : 최보은 (한국생산기술연구원, 부산대학교), 김용환* (한국생산기술연구원)

Keywords: 전해연마, 부동태, 글리세롤, 내식성, 스테인리스강

전해연마(EP)는 스테인리스강에 대해 잔류응력을 유발하지 않고 표면조도 향상과 디버링이 가능한 표면 가공방법으로 반도체 장치, 의료기기, 식품 산업 등 청정도 확보가 요구되는 분야에 폭넓게 적용되고 있다. 또한, 전해연마 표면은 별도의 화학적 부동태 처리에 의하지 않고서도 일정 수준의 부동태 피막을 형성하게 됨에 따라 스테인리스강의 내식성 강화에도 기여하게 된다. 한편, 오스테나이트계 스테인리스강의 전해연마에는 주로 고농도의 황산과 인산 혼합물이 대표적인 전해액으로 사용되고 있으며, 물 또는 알콜계 첨가제를 일정 부분 추가하는 연구들이 알려져 있다. 이 중 알콜계 첨가제들에 관한 연구는 대부분 전해연마 과정에서 필수적인 점성층(viscous layer)의 안정성 및 균일성을 제어함으로써, 표면의 불균일한 전해, 피트 발생 등을 감소시켜 표면조도의 향상을 목적으로 이루어져 왔다. 그러나, 다수의 연구에도 불구하고 전해연마 후 형성되는 부동태의 특성과 이와 관련한 내식성 등에 대한 자세한 보고는 비교적 부족한 상황이다. 본 연구에서는 알콜계 첨가제 중 글리세롤에 대해 316L 스테인리스강 전해연마에 따른 부동태 형성 및 내식성에 미치는 영향을 조사하였다. 황산 및 인산의 기본 전해액과 글리세롤을 첨가한 경우에 대해 전해연마를 실시하여, 전류밀도 및 온도 조건에 따른 표면거칠기(Ra), 광택도(GU) 등 연마 표면특성을 비교하였다. 또한, XPS 및 AES를 이용해 Cr/Fe 및 CrOx/FeOx ratio, 산화막 두께를 분석하여 부동태 피막의 특성을 조사하는 한편, 동전위분극시험 및 전기화학 임피던스(EIS)를 통해 내식성을 분석함으로써, 전해액 중 글리세롤 첨가에 따른 영향을 비교 고찰하였다.

[P31-8]

금속 소재 기반 방빙 재료에 관한 연구 : 함진희*, 신지영 (국방과학연구소), 우상혁, 심원미 (중앙대학교)

Keywords: Anti-icing, Hydrophobic, SLIPS

방빙 기술은 항공기 운항 시 구조 안전성 및 공력 확보를 위하여 필요한 기술이며, 이를 위한 다양한 방빙 기술개발 연구가 수행중이다. 무인항공기 역시 날개에서의 적설 및 결빙으로 성능저하를 초래하고 있어 이의 방지 기술개발이 필요하나, 무인항공기 특

성상 중량에 대한 한계로 방빙 시스템에 상당량의 중량을 허락하기 쉽지 않다. 이러한 중량에 대한 논란 없이 결빙 문제 해결을 위하여 표면개질을 통한 소수성 기반 소재를 활용하려는 연구가 러시아, 독일 및 프랑스 등 세계 각국에서 진행 중이다. 표면개질을 통한 방빙 소재 개발은 추가적인 설비 없이 항공기 날개에서의 결빙 문제를 해결할 수 있어 경량화가 필요한 항공기에 효율적인 방빙 시스템으로 적용할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 방빙을 위한 표면개질을 통한 금속 소재 기반 소수성 재료에 관한 연구를 수행하고, 이의 내구성 향상을 위한 시도 및 다양한 기계적 특성 분석을 수행하였다.

[P31-9]

초소수성 코팅과 실리콘 오일 함침 표면의 결빙 방지 및 제빙특성 연구 : 신지영*, 함진희 (국방과학연구소), 이수민, 이정훈 (부경대학교)

Keywords: Hydrophobic, Silicone Oil-impregnation, De-icing, Anti-icing

항공기 이착륙 과정에서 대류권 이상의 극저온 환경에 노출되면 과냉각된 수증기 또는 물방울이 고체 표면에 응축되어 결빙 현상이 일어난다. 결빙 및 착빙이 리딩에지(Leading edge)에 발생하게 되면 항력이 증가하게 되고 더 나아가 항공 사고를 유발시키는 원인이 된다. 이를 방지하기 위한 항공기 결빙 보호장치로는 열이나 진동, 방빙액 등을 외부로 방출하는 기술이 사용되고 있지만 전력 효율을 높이면서 방빙 및 제빙의 성능을 향상시키는 기술에 많은 관심을 받고 있다. 본 연구에서는 항공기 소재로 사용되는 알루미늄 합금의 초소수성 표면과 윤활액 담지로 표면을 개질하였으며 과냉각 액적이 표면 특성으로 인해 표면에서 이탈하도록 리딩에지 후면에 발열 필름을 부착하였다. 각 표면에 대한 제빙 시험장치와 결빙풍동장치 평가를 통하여 제빙 및 방빙 성능을 비교분석하였다.

[P31-10]

아연-니켈도금품질에 미치는 탑코팅 영향: 정인필*, 김영춘 (현대트랜시스)

Keywords: Zn-Ni electroplating, top-coating

자동차 외장부품에 사용되는 강(Steel) 제품은 표면의 부식 방지 및 내식성 강화를 위해 아연-니켈 도금이 활용된다. 아연-니켈 도금은 표면에 산화피막을 형성하여 대기 등의 외부 경로부터 모재인 스틸을 보호하여 부식현상을 지연시키고 방지한다. 그러나 아연-니켈 도금층은 공정상의 문제나, 과도한 외부환경(습도가 높은 환경 등)에서는 아래 화학식와 같이 백녹(white rust) 현상이 일어난다. 중간 생성물인 ZnO, Zn(OH)2 은 불안정 산화물로, 백화나 백녹으로 불리우며 보호피막이 아니다. 따라서 시간이 지남에 따라 부식을 가속화시켜(백녹발생→도금층 손상→모재 노출/부식(적녹)) 제품의 기능 저하 및 수명을 단축시킨다. 이러한 백녹을 방지하기 위해서는 외부환경 개선으로 습도를 낮게 유지하는 방법과 도금 후처리로 크로메이트(Cr처리)와 top-coating 처리를 통해 도금층을 외부환경으로부터 보호하는 방법이 있다. 현 도금 공정 인자는 온도, 도금욕의 조성 및 농도, 전류 밀도 등의 다양한 변수가 존재하며 이러한 것들을 적절히 통제되어야만 기준에 충족시킬수 있는 제품을 만들 수 있다. 그래서 Zn-Ni 합금 도금이 개발되고 상용화된 이래 다양한 변수에 대한 도금 특성 연구가 진행되었지만, 도금 공정과 후처리 유무에 따른 내식성과 도금 특성을 직접적인 관계를 규명하는 연구는 많지 않았다. 따라서 본 연구는 도금 후공정에 따른 도금 특성을 비교하기 위하여, 도금 표면 외관 분석, 도금 두께 측정, 염수분무 시험 (Salt Spray Test)과 부식 복합시험(Cyclic Corrosion Test)을 통해 내식성에 미치는 영향성을 확인하였다. 아연-니켈 전기도금층의 표면을 주사현미경으로 분석시, 도금층 표면에 미세한 균열이 있음을 알 수 있었다. 또한 크로메이트 처리(Cr 코팅)에도 미세한 균열도 있음을 알 수 있었다. 이에 반해 top-coating처리시 표면 코팅 효과로 미세한 균열이 메꾸지는 것을 알 수 있다. 도금 공정별 튜브를 염수분무 시험결과, top-coating를 처리하지 않은 튜브에서는 초기 백화 또는 백녹이 발생하고, 적녹까지 부식이 진행되었다. 이는 염수분무 시험 시, OH-가 이온이 도금층의 균열사이로 침투하여 아연 도금층을 산화시켜 백녹이 발생된 것이다. 이에 반해 top-coating를 처리한 튜브는 1,200시간 염수분무 시험결과에도, 백녹이 부분적으로 발생하였으나 모재가 부식하여 발생하는 적녹까지 발생하지 않음을 알 수 있다. 그 이유는 코팅층이 도금층을 보호하고 표면 결함도 예방하면서 아연도금층의 수명이 증대되었다.

[P31-11]

인코넬 718의 건식 밀링 중 절삭성 및 표면 건전성 평가 : 이택, 윤일채, 허재영, 장경훈, 강익수* ((재)대구기계부품연구원)

Keywords: 인코넬 718, 밀링, 공구 마모, 표면 건전성

IN718은 항공우주, 원자력 발전, 가스터빈 및 자동차 부품에 널리 사용되는 니켈 기반 내열 초합금으로, 고온에서도 우수한 피로 저항성, 산화 저항성, 부식 저항성 및 기계적 특성을 유지한다. 그러나 IN718은 낮은 열전도율, 공구 간의 화학 반응, 높은 가공경화율 및 국부적인 절삭 온도 증가로 인해 공구의 심각한 여유면 마모(Flank wear)를 유발하며 공구 수명이 크게 단축된다. 이러한 공구 마모는 피삭재의 표면 건전성(Surface integrity)에 큰 영향을 미치며, 가공 중 절삭 온도 증가와 소성 변형으로 인해 변질층(Damaged layer)이 형성된다. 이는 IN718의 취약한 성질로 인한 피로 파괴를 유발하여 최종 제품의 성능 저하를 초래할 수 있다. 본 연구는 IN718의 가공 품질을 향상시키기 위해 절삭성(절삭력, 공구 마모)과 표면 건전성(표면 거칠기, 변질층) 사이의 관계를 연구하였다. IN718 소재는 VIM-VAR(진공 유도 용융-진공 아크 재용융) 공정을 통해 얻어졌으며, AMS 5596M 규격에 따라 열간 롤링 및 열처리하였다. 피삭재는 100 × 100 × 100 mm의 블록 형태로 제작하였으며, Daegu Tec사의 직경 10 mm, PVD 코팅(AlTiCrN) 초경 공구(HES 4100T-R0.5 TT5525)를 사용하여 가공하였다. 가공 장비는 Doosan NX6500II 머시닝 센터를 사용하였으며, 가공 길이는 피삭재의 가장자리에서 1패스를 100 mm로 설정하여 측면 밀링을 수행하였다. 절삭 속도, 이송 속도, 반경 절삭 깊이(Ae) 및 축 방향 절삭 깊이(Ap)를 포함한 가공 조건은 사전 실험을 통해 최적화된 조건을 사용하여 가공 패스에 따른 IN718의 절삭성과 표면 건전성을 평가하였다. 실험 결과, 건식 밀링으로 인해 주로 연마 마모(Abrasion wear)와 응착 마모(Adhesion wear)가 관측되었다. 가공 패스가 증가함에 따라 여유면 마모 너비가 증가하며 최대 주절삭력(F_c)이 108.43N에서 282.9N으로 증가

했으며, 3패스에서 가공 깊이 가장자리에 미세 치핑이 관측되었다. 가공면의 표면 건전성 관측 결과, 가공 패스가 증가함에 따라 변질층 영역이 증가하며 표면 거칠기가 0.433 μm에서 0.521 μm로 증가하였다. 가공 패스가 증가함에 따라 공구와 IN718 간의 응착 및 연마 기구로 인한 높은 마찰열과 소성 변형이 공구의 여유면 마모 너비 및 미세치핑을 유발하며 절삭력 및 IN718의 변질층 깊이를 증가시킨 것으로 사료된다. 이를 통해, 본 연구는 IN718의 건식 밀링 가공 공정에서 발생하는 공구 마모와 IN718의 표면 건전성의 상호 작용을 심층적으로 이해하는데 기여할 것으로 기대된다. 사사: 본 연구는 한국산업기술평가관리원 소재부품기술개발사업 (No. 20011143)의 지원으로 수행되었습니다.

[P31-12]

용융염 원자로 구조재의 금속 피복 열영향 특성 : 윤지현*, 신기승 (한국원자력연구원), 김정한 (한밭대학교)

Keywords: 용융염 원자로, 클래딩, 용접, Ni, Type 316H

용융염 원자로(MSR) 의 구조재료는 650℃에 이르는 고온의 부식성 용융염이라는 가혹한 사용 환경에 장시간 사용되므로 용융염에 대한 부식저항성이 최우선적인 특성으로 고려된다. 부식성 용융염으로 인한 문제를 해결하기 위해 효과적인 방법으로 모재의 표면에 내식성이 우수한 재료를 피복함으로써 부식, 마모 및 고온산화성을 향상시키고자 하는 연구가 해외 선진 연구기관에서 시도되고 있다. 내식성 금속 코팅 기술에는 다양한 화학적, 물리적 방법이 있으나 기술의 성숙도 측면에서는 용접에 의한 오버레이(overlay)와 레이저를 이용해서 모재의 표면에 부식 저항성 금속을 적층하는 레이저 클래딩(cladding)이 대표적이다. 현재까지 MSR의 유력한 후보재료는 Type 316H 스테인리스강이며 그에 적합한 피복재로는 니켈(Ni)이 적합할 것으로 평가 받고 있다. 용접 오버레이와 레이저 클래딩과 같은 금속 피복 공정은 공히 내식성 금속에 열적 에너지를 가해 용융시켜 주 구조재 금속에 적층하는 공정으로서 필연적으로 구조물 모재는 고열에 의해 일부 용해, 재응고, 미세조직 변화 등의 열영향을 받는다. 따라서 부식저항성 뿐만 아니라 구조 부품으로서 필요한 기계적 특성 및 미세조직 안정성 등이 피복 공정 후에도 일정 수준 이상을 유지함을 반드시 검증해야 한다. 그러나, 현재까지 부식저항성 금속의 오버레이 용접이나 레이저 클래딩 시에 모재의 열영향에 대한 체계적인 연구결과는 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 Ni을 GTA(Gas Tungsten Arc) 오버레이 용접과 DED(Direct Energy Deposition) 레이저 클래딩 방법으로 Type 316H 스테인리스 강에 피복한 후, 경계면에 가까운 모재에서의 미세조직 변화와 경도, 기계적 특성의 변화를 관찰하여 금속 피복 공정에 따른 열영향을 평가하였다.

[P31-13]

슬러리 용액을 이용한 핵연료 피복관 크러드 모사 기술 : 하성준, 전순혁, 허도행, 심희상* (한국원자력연구원)

Keywords: 피복관, 크러드, 크러드 유기 국부부식

원자력 발전소의 1차계통에서 발생하는 크러드 (Corrosion-Related Unidentified Deposits, CRUD)는 1차계통 구조재료의 부식과정에서 철과 니켈 이온이 발생하여 형성된 금속산화물 부식생성물이다. 이러한 크러드는 핵연료 피복관의 표면에 부착되어 주요 발전소 문제를 발생시킨다. 피복관에 부착된 크러드는 열전달 효율을 저하시켜 국부적인 온도 상승을 발생시키며, 이로 인해 피복관 표면의 부식이 가속화되고 산화층의 불균일화를 일으킬 수 있다. 또한, 부식이 장시간 진행되면 피복관 산화층 내 수소화물 형성에 의한 피복관 파단이 발생하기도 한다. 이는 피복관 건전성에 심각한 위협이 되며, 핵연료의 안전성을 저하시키는 주요 요인이 된다. 하지만, 피복관 표면에 크러드 층의 형성은 불가피하기 때문에, 크러드가 피복관의 건전성에 미치는 영향을 평가하는 것이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 핵연료 피복관에 크러드를 부착시켜 크러드가 피복관에 미치는 영향을 평가하기 위해, 슬러리 코팅 방법을 도입하여 다공성 크러드 부착을 모사하는 연구를 수행하였다. 크러드 모사 시편은 마그네타이트 (Fe_3O_4) 분말과 액상 바인더를 활용하여 슬러리 용액을 제조한 후, 지르코늄 피복관 표면에 코팅, 건조, 탈지 공정을 통해 제조하였다. 제조된 샘플은 FIB-SEM 및 XRD 분석을 통해 특성 평가를 수행하였으며, 실제 원전에 형성된 크러드층과 비교한 결과, 매우 높은 유사성을 보였다. 이 연구 결과는 크러드 유기 국부부식 (Crud-Induced Localized Corrosion, CILC) 실험을 위한 샘플 제조 기술로 활용할 계획이며, 제조된 샘플을 이용하여크러드가 피복관에 미치는 영향을 평가할 예정이다.

[P31-14]

A study on the passive film stability formed by nitric acid passivation on stainless steel in acid solution : SeKwon Oh* (KITECH)

Keywords: Stainless steel, passive film, passivation, nitric acid, corrosion

Stainless steel is an alloy enriched with chromium at levels of around 10% or higher, and it finds extensive use across a range of industries due to its outstanding corrosion resistance. The excellent corrosion resistance of stainless steel is originated from the passive film formed on the surface in its natural state. However, depending on the application, a variety of processes such as welding and heat treatment can result in localized breakdown of the passive film, thereby compromising its corrosion resistance properties. To address this issue, passivation treatment which involves chemical immersion such as nitric acid is used to create a denser passive film on the surface of stainless steel compared to its natural state. Austenitic stainless steel such as SUS 304 and SUS 316 are composed of similar elements including Fe, Cr, Ni, Mn, Cu, and Si except for Mo. It is known that SUS 316 which contains about 2-3% Mo (molybdenum) has better corrosion resistance than SUS 304. It has been reported that the main reason for the superior corrosion resistance of SUS 316 compared to SUS 304 is due to the presence of molybdenum. It lowers the dissolution rate of the passive film in its natural state and thus increases the durability of the passive film. However, the studies investigating the stability of the passive film on stainless steel as affected by its composition including incorporation of Mo within the passive film are currently insufficient. In particular, research

focusing on the comparison and correlation of passive film stability in 304 and 316 stainless steel as influenced by the composition of the passive film resulting from passivation treatments has not been clearly reported. In this study, stainless steels 304 and 316 were passivated with nitric acid treatment to form a passive film, and the stability of the passive film was analyzed. Based on these analysis results, we aim to investigate the correlation between the stability and the constituents of the passive film, and to elucidate the cause of the stability of the passive film. To analyze the durability and stability of the passive film formed by nitric acid passivation treatment, potential decay tests were conducted in sulfuric acid solution. Additionally, STEM-EELS and XPS analyses were conducted to investigate the thickness and structure of the passive film formed by nitric acid passivation treatment.

[P31-15]

습식 코팅공정을 활용한 고종횡비 TGV의 seed layer 형성 기술 : 김호형 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 이민수, 박재영* (한국생산기술 연구원)

Keywords: TGV, Seed layer, 촉매입자, 습식코팅, 단차피복성

고성능 컴퓨팅, 인공지능, 빅데이터 분야의 빠른 성장에 따른 기하급수적으로 늘어나는 데이터 정보량과 급속도로 증가하는 처리속도에 대응하기 위한 반도체 산업의 패키징 소재 및 기술의 변화가 요구되고 있다. 이에 따라 기존의 TSV((Through Silicon Via) 대비 우수한 전기적, 열적 특성 및 미세 식각공정이 가능하여 전력 효율성과 신호 전달속도를 향상시킬 수 있는 TGV(Through Glass Via) 기판의 반도체 패키징 적용에 관한 연구가 시급한 실정이다. 그러나 TGV 기판의 적용을 위해서는 micro 미세 홀의 내벽에 균일한 seed layer를 형성하여야 하지만 기존의 Sputtering방법으로는 증착 직진성에 의해 높은 종횡비의 미세 홀 내에 균일하게 증착되기 어려운 단차 피복불량 문제의 한계가 있다. 본 연구에서는 이러한 건식 증착방법의 한계를 극복하기 위해 습식 코팅공정을 활용한 용액 함침으로 미세 홀 내부 확산을 통한 촉매 입자 코팅과 도금공정으로 균일한 seed layer 형성이 가능하도록 하였다. 수십 micro 홀 내부에 균일하게 촉매 코팅층을 형성할 수 있도록 10~20 nm 크기의 촉매 입자가 분산되고 산성 혹은 염기성 도금액에 내구성을 가지도록 산화물기반 바인더를 혼합하여 촉매 코팅제를 합성하였다. 그리고 미세 홀의 표면과 내벽에 균일한 코팅을 위해 기판의 젖음성이 향상될 수 있는 전처리 공정을 실시한 후 습식 담금 코팅방법으로 촉매 코팅을 하였다. 그 다음 표면에 기능성 리간드를 가지는 유리 기판과 촉매 코팅층간의 화학적 결합을 유도하기 위하여 일정 시간 건조를 한 후 무전해 동도금을 실시하였다. 전처기 공정을 실시한 시편은 젖음성이 향상되어 micro 홀 표면과 내벽에 균일하게 도금이 되었고 열충격시험 이후에도 유리와 도금층간의 계면 박리가 발생하지 않는 우수한 밀착성을 확인하였다.

[P31-16] Canceled

전통 칠보공예의 재현성과 대중화를 위한 금속 기판과 패터닝 기술 연구 : 이민수 (한국생산기술연구원), 김호형 (한국생산기술연구원, 인하대학교), 박재영* (한국생산기술연구원)

Keywords: 칠보공예, 구리 기판, 은 도금, 레이저 패터닝, 확산방지층

전통 금속 공예의 한 분야인 칠보공예는 세대를 거쳐 소수의 장인들에 의해 계승되어 왔다. 한국의 칠보공예는 전통적인 기법과 재료를 통해 다양한 유물에 반영되어 있으며, 특히 금과 은(Ag) 기판을 사용하거나 자유로운 곡선을 구현하기 위한 선이나 시트 등을 활용한 패턴을 통해 귀금속의 아름다움을 투명 유약에 반사시켜 고급스러운 이미지를 부여하고, 귀중한 물건으로서의 가치를 높였다. 이러한 칠보공예는 실용적 가치와 감성적 디자인 측면에서 현대 공예품으로서의 잠재력을 지니고 있다. 본 연구에서는 기존에는 은박(Ag foil)을 구리 기판 위에 덮어 은 기판과 같은 미려한 색상을 구현하는 전통 방식과 유사한 효과를 유지하면서도 비용 문제를 해결하기 위하여 구리 기판에 은 도금과 레이저 패터닝 기술을 적용한 금속 기판을 제작하여 칠보의 대중화를 시도하였다. 그러나 구리 기판에 직접 은 도금을 형성할 경우, 구리는 은보다 확산 속도가 빠르므로, 열처리 시 구리 원자가 은 층으로 확산되어 은의 고유 광택이 변하고, 표면이 거칠어지며 어두워지는 등 변색 문제가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해, 구리 기판 위에 금속 간의 반응이나 원자 간의 이동을 억제하기 위한 확산방지층을 형성하는 방법이 사용된다. 이번 연구에서는 무전해 은 금속층을 형성하는 방안을 도입하여 칠보용 금속 기판을 제작하는 방법과 은 도금층에 레이저 패터닝 공정을 적용한 후 국부적인 열에 의해 발생할 수 있는 표면 확산 문제를 방지하기 위해 무기 보호층을 적용하는 방법을 통하여 각각 변색을 방지 특성을 확인하였다.

P32 : 이차전지원료소재
Room 2층 로비, 10월 30일

[P32-1]
Enrichment of nickel contents of low grade laterite ore using a beneficiation process : Gilsang Hong, Jaehoon Lee, Jeongwoo Kim, Heewon Kang, and Hyunjung Kim* (Hanyang University)
Keywords: Nickel, Laterite, Flotation, Magnetic separation

The demand for nickel, a crucial raw material, is increasing in response to the growing demand for electric vehicles with the objective of achieving a net carbon footprint of zero. In response, there has been a corresponding rise in interest in research into nickel enrichment in low-grade laterite ores. The improvement of the nickel grade through beneficiation remains a significant challenge due to the complex mineralogical properties and its dispersion into fine particles. Moreover, beneficiation processes present a favorable environmental and economic profit in comparison to hydrometallurgical or pyrometallurgical processes, which continue to engage the attention of researchers. In this study, the crystal structure of low-grade limonitic laterite was altered to a form in which nickel and sulfur coexisted. Subsequently, the material was subjected to flotation using the same method as that employed for nickel sulfide ore, followed by additional magnetic separation to enhance the recovery of nickel. Ultimately, the nickel was enriched to more than three times its initial content, with a recovery of approximately 40%.

[P32-2]
Research progress on separating active materials of spent LFP batteries via flotation : Hyojeong Nam, Gilsang Hong, Eunji Park, Dohyeon Roh (Hanyang University), Junseop Lee, Hyerim Kim (Korea Mine Rehabilitation and Mineral Resources Corporation(KOMIR)), and Hyunjung Kim* (Hanyang University)
Keywords: LFP, Active Materials, Separation, Flotation, Direct Recycling

The large demands for electric vehicles are driving the continuous development of LIBs in recent years. Especially lithium iron phosphate ($LiFePO_4$, LFP) batteries have been wholesale employed due to the superiorities of high safety, low cost, and long life. However, the average life span of LIBs is 5-10 years, resulting in accumulation of LIBs waste with significant environmental challenges. Therefore, to mitigate the future environmental burden and minimize the loss of critical minerals, recycling LIB waste is inevitable. Nowadays, direct recycling of spent LIBs is getting more attention as a promising alternative to conventional pyrometallurgy and hydrometallurgy since it can simplify the process effectively. The key points of LFP direct recycling involve pretreatment and separation techniques which allow to reutilize electrode materials non-destructively. Thus this review explores the latest trends and challenges in spent LFP batteries recycling via flotation as a separation tool between cathode and anode active materials.

[P32-3]
Surface Doping by the High-Valence Element to Enhance the Electrochemical Performance of Li-rich Layered Oxide Cathode Materials : Daewon Oh and Chang Woo Lee* (Kyunghee Univ.)
Keywords: Lithium-ion batteries: Li-rich layered oxide cathode materials: Oxygen release: High-valence element: Surface doping

Nowadays, lithium-ion batteries (LIBs) are widely used in portable devices, electric vehicles (EVs), and grid-scale energy storage systems. Specifically, Li-rich layered oxide cathode materials (LLOs) are attracting attention as cathode active materials for next-generation LIBs due to their low cost, superior thermal stability, and higher specific capacity compared to other layered cathodes such as nickel-rich cathode materials. LLOs consist of two coexisting phases: Li2MnO3 and LiMO2 (M=Ni, Co, Mn). The superior specific capacity of LLOs is due to the presence of the Li2MnO3 component, which is activated during the initial charging process. Additionally, their structural reconstruction facilitates reversible anion redox reactions. However, they suffer from poor rate capability, voltage decay, and poor cycling stability, originating from irreversible structural distortion and oxygen release from lattice oxygen. Herein, we prepared surface-doped LLOs using high-valence elements. The surface high-valence element doping forms stronger TM-O bonds than Ni-O, Co-O, and Mn-O, inhibiting the release of lattice oxygen. Moreover, high-valence element doping provides broad pathways for Li+ diffusion due to the large ionic radius of the dopants. Compared to pristine LLOs, those doped with high-valence elements are expected to increase structural stability and enhance electrochemical performance.

[P32-4]
산화물계 전고체 전지용 고체전해질 재활용을 위한 기초연구 : 이현준 (과학기술연합대학원대학교), 이현주, 배무기, 최종원 (한국지질자원연구원), 김수경* (과학기술연합대학원대학교, 한국지질자원연구원)
Keywords: 습식제련, 전고체전지, 고체전해질, 재활용, 차세대 이차전지

현재 리튬 이차 전지는 전 세계적으로 대표적인 친환경 에너지입니다. 하지만 폭발, 발화 등 안정성이 낮은 치명적인 문제를 가지고 있습니다. 이러한 문제를 해결하기 위해 전고체 전지가 유망한 차세대 이차 전지로 논의되고 있으며 전고체전지의 상용화에 앞서

선도적인 재활용 연구도 필요할 것으로 판단됩니다. 전고체 전지는 고체 전해질의 구성과 구조에 따라 분류되며 현제는 고분자 고체 전해질이 높은 비중을 차지하고 있으나 향후 산화물계와 황화물계 고체 전해질의 높은 점유율이 예상됩니다. 황화물계 고체 전해질의 경우 수분과의 반응성이 높아 습식제련을 통한 재활용이 어렵습니다. 에에 따라 본 연구에서는 산화물계 고체 전해질 중, LLZO($Li_7La_3Zr_2O_{12}$) 고체전해질을 선택적 침전법을 이용하여 분리하고 각각 옥살산, Na_3PO_4 및 pH 조절을 통해 순차적으로 분리하는 연구를 진행하였습니다. 본 연구에서는 각 반응에서의 공침이 발생하지 않고 모든 원소의 회수율이 90% 이상임을 확인하였습니다.

[P32-5]

LFP계 리튬이온 배터리 부산물 중 Li 선추출 조건 연구 : 하류, 강영조* (동아대학교)

Keywords: 리튬이온배터리, 폐배터리 재활용, 리튬 회수, 탄소 함량, 탄산리튬

이차전지의 수요 증가에 따라 재활용을 통한 유가금속 회수의 중요성 또한 증가하고 있다. 특히, 리튬 인산철($LiFePO_4$, LFP) 배터리는 니켈과 코발트를 사용하지 않는다는 환경적 이점을 지니고 있지만, 그에 반해 리튬 함량이 상대적으로 낮아 재활용 과정에서 효율적인 리튬 회수 기술이 요구된다. 본 연구는 LFP 폐배터리에서 리튬을 효과적으로 회수하기 위한 최적의 조건을 탐색하고, 탄소 함량이 리튬 회수 효율에 미치는 영향을 체계적으로 분석하고자 하였다. 선추출을 위한 배소실험은 온도와 배소 분위기 뿐만 아니라 양극재와 음극재 부산물 혼합비 등 다양한 조건에서 실시하였으며 침출실험을 통하여 각 조건에서의 리튬 회수율을 평가하였다. 이러한 접근법을 통해 탄소 함량이 리튬 회수 과정에서 화학적 반응 메커니즘과 처리 공정 효율성에 미치는 영향을 평가하였으며, 다양한 실험 결과를 바탕으로 리튬 회수 효율을 극대화할 수 있는 최적의 탄소 함량 범위를 도출하고자 하였다.

[P32-6]

Synthesis and Design of $LiMn_{0.5}Fe_{0.5}PO_4$/C Cathode Active Materials Using Spray Drying Process : Jun Yeop Lee and Chang Woo Lee* (Kyunghee Univ.)

Keywords: Cathodes: Lithium-ion battery: Spray drying, Olivine structure

Lithium-ion batteries (LIBs) are widely used in electric vehicles and electronic devices due to their high energy density and power density. The cathode materials such as NCM, LFP, NCA, etc. are key factors determining the performance of LIBs. Among them, olivine-structured cathode materials have many advantages such as high structurale stability, and lower material cost. However, the limitation of only 1D Li^+ pathway along b-axis leads the poor Li^+ diffusion rate, electrical conductivity, and low energy density. To overcome these problems, various modification strategies such as cation substitution, morphology design, carbon coating, etc. have been conducted In this work, the synthesis of $LiMn_{0.5}Fe_{0.5}PO_4$/C cathode materials is conducted by solid-state method and spray drying process. For optimization, various process conditions are explored, and a study has been conducted on the electrochemical behavior of the obtained cathode materials.

[P32-7] Canceled

Analysis of Impurity Influence in Lithium Sulfide for Performance Enhancement of Sulfide-Based Solid Electrolytes on All-Solid-State Batteries : jongchan park (Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), University of Science and Technology (UST)), Hye-Won Jo (Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), Pusan National University), Byeong-Min Ahn (Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)), Jun-Ho Park*, Jeong-hee Choi*, and Jun-Woo Park* (Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), University of Science and Technology (UST))

Keywords: ASSB(All-solid-sate-battery), SSE(Solid-state-electrolyte), Li_2S, impurity,

All-solid-state batteries (ASSBs) are attracting attention as one of the next-generation energy storage devices due to their high energy density and excellent thermal safety. However, the commercialization of ASSBs still faces a major hurdle due to high manufacturing costs. In particular, the cost of raw materials for solid electrolytes accounts for a significant portion of the overall manufacturing costs, with more than 90% determined by the price of Li_2S (>$3000/kg). Li_2S is a crucial material that significantly impacts the performance of solid electrolytes. However, during the manufacturing process, impurities are generated in Li_2S, and variables such as particle size and purity of Li_2S directly affect the electrochemical performance of solid electrolytes. In this study, we investigated the mechanism of impurity generation in Li_2S and analyzed the impact of the amount and type of impurities on the electrochemical performance of solid electrolytes. The ICP analysis results revealed impurities in Li_2S at levels of 4.0 wt%, 1.8 wt%, and 1.5 wt%. In the solid electrolytes synthesized from Li_2S with varying impurity levels, a trend was observed where the ionic conductivity decreased as the impurity content increased in the case of the dry synthesis method. However, in the case of the wet synthesis method, the opposite result was obtained. Through this, we aim to suggest directions for improving the manufacturing process of high-purity and reducing costs, thereby contributing to the commercialization of ASSBs.

[P32-8] Canceled

Study on the influence of raw material impurities for improving the performance of sulfide-based solid electrolytes for all-solid-state batteries : 강우진 (한국전기연구원, 과학기술연합대학원대학교), 조혜원 (한국전기연구원, 부산대학교), 안병민 (한국전기연구원), 최정희, 박준호* (한국전기연구원, 과학기술연합대학원대학교)

Keywords: 이차전지, 전고체전지, 고체전해질, 고체전해질 불순물, 황화리튬

All-solid-state batteries (ASSBs) are attracting attention as one of the next-generation energy storage devices due to their high energy density and excellent thermal safety. However, the commercialization of ASSBs still faces a major hurdle due to high manufacturing costs. In particular, the cost of raw materials for solid electrolytes accounts for a significant portion of the overall manufacturing costs, with more than 90% determined by the price of Li_2S(>$3000/kg). Li_2S is a crucial material that significantly impacts the performance of solid electrolytes. However, during the manufacturing process, impurities are generated in Li_2S, and variables such as particle size and purity of Li_2S directly affect the electrochemical performance of solid electrolytes. In this study, we investigated the mechanism of impurity generation in Li_2S and analyzed the impact of the amount and type of impurities on the electrochemical performance of solid electrolytes. The ICP analysis results revealed impurities in Li_2S at levels of 4.0 wt%, 1.8 wt%, and 1.5 wt%. In the solid electrolytes synthesized from Li_2S with varying impurity levels, a trend was observed where the ionic conductivity decreased as the impurity content increased in the case of the dry synthesis method. However, in the case of the wet synthesis method, the opposite result was obtained. Through this, we aim to suggest directions for improving the manufacturing process of high-purity Li_2S and reducing costs, thereby contributing to the commercialization of ASSBs.

[P32-9]

복합용액 제조 및 용매추출공정 개선을 위한 기초 연구 : 박연우*, 엄형섭, 정은진 (포항산업과학연구원)

Keywords: 리사이클링, 유가금속, 용매추출, 복합용액

현재 전기차 시장은 캐즘의 단계를 거치고 있으나, 배터리 기술 발전 및 전기차 충전 설비 등의 인프라 확대에 따라 전기차의 시장 침투율은 점진적으로 확대될 전망이다. 따라서 전기차 시장 확대와 동시에 발생하는 폐리튬이온배터리에 대한 대응책이 필요하며, 국내외 다수의 리사이클링 회사들이 폐리튬이온배터리로부터 유가금속 회수를 통해 리튬이온배터리의 효율적인 원료 확보를 위한 기술 경쟁이 심화되고 있다. 용매추출법을 통한 유가금속 회수의 경우, 고순도화 및 결정화를 통해 황산코발트, 황산니켈 등의 단일 제품을 제조하는 방법과 망간, 코발트 및 니켈을 포함하는 복합용액의 형태로 공급하는 형태로 나눌 수 있다. 현재는 각 리사이클링 회사의 설비 및 기술 노하우에 따라 폐리튬이온배터리로부터 유가금속을 회수하기 위한 효율적인 방법을 적절히 선택함과 동시에 기존공정 개선을 위한 노력을 기울이는 추세를 보인다. 이에 본 연구는 폐리튬이온배터리로부터 유가금속을 분리 및 확보하기 위한 방법 중 유가금속을 포함하는 복합용액 제조에 대한 기초연구 내용을 소개한다. 상용 공정에서 활용 중인 용매추출법과 용매추출 조성을 기반으로 코발트 및 니켈을 포함하는 복합용액 제조를 위한 실험적 접근 및 조건을 제시한다. 나아가, 복합용액 제조를 위한 용매추출 조건 별 유가금속의 거동 및 회수율을 살펴보고 용매추출공정 개선 가능성에 대한 평가를 실시하였다.

[P32-10]

건식 공정을 통한 니켈 매트 정제 잔사 재활용 기술 개발 : 서민석*, 박진균, 김종호, 이병필, 최준성, 우광선, 우강주 (포항산업과학연구원)

Keywords: 니켈, 정제, 잔사, 재활용

니켈 매트 정제 공정을 통해서, 이차전지 양극재 소재 중 하나인 황산니켈을 제조가 가능하다. 하지만 니켈 매트 정제 공정 중 매트의 침출 단계에서 침출되지 않은 잔사가 일부 발생한다. 해당 잔사 중 니켈의 성분은 약 20%로 니켈의 원료로서 재활용 가치가 높다. 정제 잔사의 주요 성분은 NiS, Fe_2O_3, SiO_2이며, 해당 잔사를 전기로에서 재활용할 수 있는지에 대한 가능성을 검토하기 위한 연구를 진행했다. 잔사를 1500도에서 용해할 경우, Ni이 70% 이상인 니켈 매트 제조가 가능하였으나, 슬래그 내 높은 Ni 함량으로 인하여 낮은 회수율을 보였다. 이는 환원 분위기 제어를 통하여, 매트 내 Fe 함량을 증가시켜, 회수율을 증가시키는 연구를 진행하였다. [사사문구] 본 발표내용은 2022년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술 평가원 신사업맞춤형핵심 광물 개발·활용 기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(20227A10100010)

[P32-11]

Enhancing the elcectochemical performance of Ni-rich NCM cathode materials by surface coating with $LiSrPO_4$ for lithium-ion batteries : Seong Ju Sim, Jun Ho Park, Bong Soo Jin (Korea Electrotechnology Research Institute), Man Soo Choi (Korea Atomic Energy Research Institute), and Hyun Soo Kim* (Korea Electrotechnology Research Institute)

Keywords: $LiSrPO_4$, Coating, Cathode materials, Lithium-ion battery

The demand for electric vehicles and power electronics has significantly increased, driving the need for next-generation lithium-ion batteries with high gravimetric and volumetric energy densities. Ni-rich layered $LiNi_xCo_yMn_{(1-x-y)}O_2$ (Ni-rich NCM) ($x \geq 0.8$) materials have been developed and commercialized as the cathode materials for high-energy lithium-ion batteries (LIBs) due to their high reversible capacity (>200 mAh g^{-1}), relatively high operating voltage (3.6 V vs Li/Li^+), and low cost. However, Ni-rich NCM suffers from severe degradation in cycle life with increasing Ni contents. This deterioration can be attributed to various issues such as phase transitions during charge-discharge cycles, surface side reactions, and the reaction of Ni^{4+} with oxygen release, leading to the destruction of the crystal structure. A conventional method to enhance the electrochemical stability of cathode materials is surface coating. Surface coating protects the cathode materials from reactions with air moisture and HF from organic electrolytes, thereby improving interfacial stability. Various coating materials, including carbon, metal oxides (Al_2O_3, SiO_2, TiO_2), metal phosphates (Li_3PO_4), and conductive polymers, have been reported for surface modification of cathode materials. An ideal coating should be uniformly applied on the surface of the cathode materials and exhibit high lithium-ion conductivity. In this study, we employed $LiSrPO_4$ as a coating material on the

surface of $LiNi_{0.9}Co_{0.05}Mn_{0.05}O_2$ to explore its potential role in enhancing surface stability against side reactions and acting as a lithium-ion conductor for Ni-rich NCM cathodes. The coating process was conducted using the sol-gel method to form a uniform coating layer. The effects of $LiSrPO_4$ coating on the structural characteristics, morphology, and electrochemical properties were investigated. The $LiSrPO_4$-coated NCM exhibited improved cycling performance and rate capability through surface protection and reduced resistance compared to the pristine NCM. This study suggests that $LiSrPO_4$ coating is a promising approach for improving the electrochemical performance of Ni-rich NCM cathodes.

[P32-12]

폐리튬이온배터리 리사이클링을 통한 유가금속 회수 및 정제 부산물 활용 평가 : 박연우*, 정은진, 엄형섭 (포항산업과학연구원)

Keywords: 리사이클링, 유가금속, 부산물 활용

전기차 배터리 수요는 2023년 750 GWh 이상으로, 직전년도 대비 40% 상승하는 등 점진적인 증가세를 보이고 있다. 전기차 배터리 수요의 증가는 주요 유가금속인 리튬, 니켈, 코발트 등의 수요 또한 증가시키기 때문에 원료 자급이 어려운 국가들은 폐리튬이온배터리 리사이클링을 통한 유가금속의 안정적인 확보가 필요하다. 따라서 폐리튬이온배터리로부터 유가금속을 회수하기 위한 상용화 공정들이 제시되었으며, 회수율을 더 높이기 위한 개선공정 연구가 수행되고 있다. 또한 유가금속 회수 이후 발생하는 부산물은 주로 알루미늄, 철, 칼슘 등으로 구성된다. 이러한 부산물 역시 곧바로 폐기하는 것이 아닌 순환자원으로써 활용하기위한 연구가 수행되고 있다. 본 연구에서는 폐리튬이온배터리로부터 주요 유가금속들의 분리 및 회수 방법에 대한 실험적 고찰과 유가금속 회수 후 발생한 부산물의 활용 가능성을 평가한다. 알루미늄의 조성이 상대적으로 높은 폐리튬이온배터리의 유가금속 혼합 원료를 기반으로, 황산을 활용한 불순물 제거 및 유가금속 회수에 대한 실험적 접근 및 실험 결과를 비교하였다. 그리고 유가금속 회수 이후 발생한 부산물의 조성을 분석하여 철강 슬래그와의 배합을 통해 무기 장섬유 제조 응용 가능성에 대한 평가를 제시하였다.

[P32-13]

Analysis on various separation processes for direct recycling of cathode material from black mass in spent lithium-ion battery : 강우진 (한국전기연구원, 과학기술연합대학원대학교), 안병민, 심성주, 김현수, 진봉수 (한국전기연구원), 최정희, 박준호* (한국전기연구원, 과학기술연합대학원대학교)

Keywords: Lithuim ion battery, Spent cathode recycling, direct recycling

With the recent strengthening of low-carbon policies and the accelerated transition from internal combustion engine vehicles to electric vehicles, the global electric vehicle market is rapidly growing. Consequently, a significant increase in the generation of waste lithium-ion batteries (LIBs) is anticipated. NCM ($Li(Ni_xCo_yMn_z)O_2$), a representative cathode active material of LIBs, uses expensive and scarce metals as raw materials. To address this, both pyrometallurgical and hydrometallurgical processes are actively utilized to recycle materials from waste batteries. The pyrometallurgical process involves melting crushed waste batteries at high temperatures to recycle them into alloys or slag, while the hydrometallurgical process chemically treats the sorted black mass of crushed waste batteries to recover raw materials. However, these processes consume high amounts of energy and pose significant environmental pollution issues due to toxic substances. This challenge has led to growing interest in direct recycling processes (such as solid-state method, hydrothermal method, eutectic salt method, etc.) for cathode active materials. Direct recycling targets only the cathode active material, requiring more complex and delicate pretreatment processes compared to traditional methods. Specifically, technology is needed to efficiently separate the cathode material from the current collector and the active material from the conductive agent and binder. In this study, we propose separation processes for cathode active materials suitable for black mass obtained under various conditions. We analyze black mass from three different conditions, identify and classify the impurities contained in each, and introduce processes to efficiently remove these impurities and isolate only the cathode active materials. After each separation process, the obtained cathode materials are analyzed to determine the removed substances, removal efficiency, and impact on the cathode active material. Additionally, to verify the state of the active material post-separation, direct recycling processes are applied, and the electrochemical properties under each condition are examined.

[P32-14]

구리 집전체 레이저 패터닝 및 전해액 젖음성 평가 : 서은지, 오찬영, 조서현, 이영아, 박상진, 김기백, 김민석 (한국과학기술연구원(KIST)), 이광희 (고등기술연구원(IAE)), 문명운* (한국과학기술연구원(KIST))

Keywords: 구리 집전체, 레이저 패터닝, 전해질 젖음성, 무음극 리튬극속 전지, 수지상 형성

이차전지 핵심 요소 중 하나인 집전체 소재로 구리가 주로 사용되는데 이는 높은 전기 전도도와 활물질과 반응하지 않는 안정성 때문이다. 이러한 전기화학적 특성을 기반으로 대다수의 리튬 이차전지에 구리 음극 집전체가 사용되고 있다. 그러나 리튬금속 전지 혹은 무음극 리튬금속 전지에 적용시 수지상(dendrite) 형성의 문제를 야기할 수 있다. 이는 구리 자체의 리튬 친수성(lithiophilicity)이 좋지 않기 때문이며, 이를 극복하기 위해 구리 표면에 리튬 친화성 소재를 코팅하거나 3D다공성 구조를 형성하는 등의 다양한 시도가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 구리 호일(Cu foil) 표면에 패터닝을 통해 친리튬 표면을 구현하였다. 레이저 패터닝 기술을 적용하여 마이크로 패턴 구조를 형성하는 동시에, 레이저 조사를 통해 국부 산화층을 형성하였다. 해당 레이저 마이크로 패턴은 수십마이크로 미터 크기의 선형 배열(line array) 및 원형 배열(dot array) 형태로 구현되었다. 이후, 리튬이 포함된 전해질을 이용하여 표면 젖음성(surface wetting) 및 전해액 젖음성(electrolyte wettability)을 평가하였다. 측정은 아르곤(Ar) 분위기 글러브박스 내에서

진행하였으며, 기존 구리 집전체 대비 접촉각(contact angle) 및 젖음성 거동(wettability behavior)을 분석하였다. 향후 연구에서는 간단한 코인셀을 제작하고 셀 성능 평가를 진행하여 기존 구리 집전체 대비 레이저 패터닝 구리 집전체의 전기화학적 성능 향상을 확인할 예정이다.

[P32-15]

전도성 셀룰로오스 나노 탄화 구조체 기반 무음극 리튬메탈 전지 소재 연구 : 김기백, 박상진, 이영아, 오찬영, 서은지, 김민석 (한국과학기술연구원(KIST)), 이광희 (고등기술연구원(IAE)), 문명운* (한국과학기술연구원(KIST))

Keywords: Lithium-metal Battery(리튬메탈배터리), Anode-less(무음극), Cellulose(셀룰로오스), Ion-Beam(이온빔), Nano-carbon array(나노탄소구조)

본 연구에서는 지속 가능한 소재인 셀룰로오스 소재에 전도성을 부여하여, 리튬이온과 친화적인 차세대 음극 소재의 개발가능성을 제시한다. 전도성 메타 셀룰로오스 구조(conductive meta cellulose structure)는 셀룰로오스 분말로 제작한 필름 표면에 Ar 이온 빔 에칭 처리를 함으로써, 수직 배열한 나노 탄화 구조(nano carbon structure)가 형성되는 것이 특징이다. 이러한 나노 탄화 구조는 절연물인 셀롤로오스 소재를 금속과 비슷한 수준의 전도성을 띄게 한다. 나노 탄화 구조는 자체적인 기계적 강성이 높아 내구성이 우수하며 여러 번의 충방전 사이클을 거치는 과정에서도 구조적 안정성을 유지한다. 나노탄화 구조 표면에 리튬화(Lithiation) 처리를 거쳐서 무음극 리튬메탈 전지(anode-less lithium metal battery)의 음극-집전체로 적용하였다. 리튬화된 나노탄화 구조체는 높은 표면적 및 내부 탄소/금속물질 초구조체 (superstructure)에 의하여 이온 저장 용량(Specific Capacity)을 늘릴 수 있었고, 안정적인 SEI층을 형성하여, 배터리 셀의 충방전 사이클을 유지하는데 도움을 주는 것으로 확인하였다.

P33 : 표면계면
Room 2층 로비, 10월 30일

[P33-1]
Artificial Synaptic Transistors Based on 2D MoS2 for Neuromorphic Computing Applications : JeongYeol Park, Kanghoon Seo, Bolim You, Jihoon Huh, Yohan Lee, Seung Ji Lo, Myung Gwan Hahm, and Moonsang Lee* (Inha University)
Keywords: Neuromorphic Computing, Artificial Neural Networks (ANNs), 2D Molybdenum Disulfide (Mos2), Artificial Synaptic Transistor

While Transition Metal Dichalcogenide (TMDC) materials are increasingly recognized for their potential in neuromorphic computing, their use as channel materials in field-effect transistors (FETs) remains elusive. In this study, we investigate the use of 2D Molybdenum Disulfide (Mos2) to fabricate a artificial synaptic transistor, leveraging its unique semiconducting properties to emulate synaptic functions. Our synaptic transistor exploits gate-triggered and polarization-induced resistive switching mechanisms inherent to 2D MoS2. This enables the transistor to replicate key synaptic behaviors such as excitatory and inhibitory postsynaptic currents, potentiation and depression, and paired pulse facilitation. By modulating the conductance states of the FET, we demonstrate its capability to serve as an artificial synapse with multiple stable conductance states, outstanding linearity, and low power consumption. Furthermore, we perform extensive artificial neural network (ANN) simulations using binary MNIST dataset digits, with 784 input neurons corresponding to 28x28 pixel images and 10 output neurons. Training on 42,000 MNIST digits and updating synaptic weights with conductance values derived from 18,000 training samples achieved an impressive recognition rate on the testing data. These findings highlight the potential of 2D MoS2-based FETs in advancing neuromorphic hardware systems, offering robust synaptic functionalities and effective learning rules for complex neural network applications.

[P33-2]
중수로 사용후연료저장조 안전성 강화를 위한 개방된 수증기 환경에서의 304L 스테인리스강 고온 산화 평가 : 권태윤, 임우현, 박진우, 김상은, 이명제, 한준희, 이민규 (명지대학교), 진형하 (한국원자력연구원), 신찬선* (명지대학교)
Keywords: 사용후연료 저장 트레이, 수증기 환경 고온 산화, 304L 스테인리스강

중수로 원전은 가동 중에 매일 소량의 핵연료 다발을 교체하며, 교체된 핵연료는 일정 기간 사용후연료 저장조 (SFP: Spent Fuel Pool)에서 습식 저장되어 사용후 핵연료의 높은 붕괴열을 냉각시킨다. 자연재해와 같은 예상치 못한 원인으로 SFP의 냉각 기능 고장이나 냉각수 상실 등의 비정상 상태가 발생할 수 있다. 중수로 원전을 안전하게 관리하고 대응하기 위해 비정상 상태 시나리오와 해석 체계를 개발하고 있으며, 이를 성공적으로 개발하기 위해서는 비정상 상태에서 수조 내 재료의 거동에 대한 이해가 필수적이다. 중수로 SFP에서 핵연료 다발은 304L 스테인리스강 (STS304L)으로 제작된 저장 트레이에 수평으로 조밀하게 쌓여 수중에 배치된다. 냉각수가 상실되면 핵연료의 붕괴열로 인해 수증기가 발생하고 저장 트레이의 온도가 급격히 상승하며, 이로 인해 수증기-공기 환경에서 고온 산화가 일어난다. 이러한 환경에서 STS304L의 고온 산화 거동을 이해하는 것은 비정상 상태에서 저장 트레이와 선반의 건전성을 평가하는 데 필수적이다. 지금까지 열중량 분석기를 사용한 밀폐된 환경에서 과열 증기에 의한 스테인리스강의 산화에 대한 연구는 일부 이루어졌지만, 개방된 수증기 환경에서 고온의 304L 재료가 어떻게 산화되는지에 대한 연구는 아직 거의 이루어지지 않았다. 이 연구에서는 STS304L 재질의 저장 트레이가 개방된 수증기 환경에서 고온 산화되는 과정을 모사하기 위해, 양쪽이 개방된 유리관 내에 시편을 배치하고 유도 가열 방식을 사용하여 시편을 가열하였다. 가열된 상태에서 유리관 내에 수증기를 흘려주면서 STS304L의 고온 산화 실험을 수행하였다. 이 실험을 통해 STS304L의 온도와 유량 조건에 따른 산화 속도, 표면 산화층, 그리고 물성 변화를 분석하였다. 구체적으로 표면적당 무게 증가량을 각 온도별로 측정하여 산화 속도를 평가하였고, 동일한 온도에서 유량 조건을 달리하여 유량이 산화에 미치는 영향을 평가하였다. 또한, 산화된 시편의 단면을 주사 전자 현미경으로 관찰하여 형성된 산화물의 형태를 분석하였으며, 에너지 분산 X선 분광법을 통해 산화물의 조성을 확인하였다. 경도 시험을 통해 산화 전후 STS304L의 물성 변화를 비교하였다. 이러한 연구 결과는 304L 스테인리스강의 고온 물성 데이터베이스(DB) 구축에 기여하며, 중수로 사용후연료 저장조의 장기적인 안전 관리 기술 확보에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

[P33-3]
Re 첨가에 따른 Ni계 고엔트로피합금 응고 및 미세 편석 거동 분석 : 김대윤, 김민서, 유재원, 김유석, 신원상, 김윤준* (인하대학교)
Keywords: High entropy super alloy, Micro segregation, in-situ synchrotron, Directional solidification

Ni계 고엔트로피합금은 고온 물성이 뛰어나 차세대 원자로, 항공기 엔진용 부품 등에 활용 가능한 초내열 합금으로서 많은 연구가 진행 중이다. Ni계 고엔트로피합금의 고온특성은 기존 Ni 초내열 합금과 마찬가지로 고온에서 형성되는 γ, γ' 상 및 고온에서의 석출상 형성 거동에 영향을 받는다. 특히, Re과 같은 내화원소는 확산 속도가 느려 석출상 계면에 편석되어 석출상의 조대화를 억제하여 고온 강도를 증가시킬 것으로 예상된다. 따라서, 본 연구에서는 기존 Ni계 고엔트로피합금에 Re 원소를 미량 첨가하는 합금 설계를 통해 Ni48Co17Fe8Cr7Al5Ti5Nb3Mo2W1Re4(wt%)? 성분계를 확립하여 고온 특성을 확보하고자 하였으며, 특히 합금의 응고 과정에서 Re 원소의 편석 거동을 분석하여, γ, γ' 상 형성에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다. 이를 위해 in-situ synchrotron X-ray 이미징 분석 기법과 Bridgman 방식 일방향 응고 실험을 활용하여 응고 거동을 관찰하였다. 또한, 광학현미경 및 주사전자현

미경을 통해 석출상 계면에서의 미세편석에 대해 분석을 진행하였다.

[P33-4]

원자탐침단층촬영법을 활용한 Al 7075-T4 합금의 계면 내 원소 편석 거동 분석 : 김민서, 김대윤, 유재원, 김유석, 신원상, 김윤준* (인하대학교)

Keywords: Al 7075, Atom-Probe Tomography, Segregation, Interfacial Energy, Stress Corrosion Cracking

Al 7075 합금은 Zn, Mg, Cu 원소가 합금된 대표적인 석출 경화 합금으로, 뛰어난 비강도와 내식성을 갖고 있어 널리 사용되고 있으나, 응력 부식 균열(Stress Corrosion Cracking, SCC)에 취약한 것으로 알려져 있다. SCC의 원인은 잔류 응력과 입계 부식으로 알려져 있는데, 특히 석출물 계면에서의 원소 편석이 입계 부식에 큰 영향을 미친다고 보고되었다. 본 연구에서는 계면 에너지를 정량화 할 수 있는 가장 효과적인 분석 방법인 원자탐침단층촬영법(Atom Probe Tomography, APT)을 이용하여 Al 7075-T4 합금의 주요 편석 원소의 종류, 분포 및 계면에너지를 측정하여 SCC에 영향을 미칠 수 있는 원소에 관한 정량적인 연구를 수행하였다. APT 분석을 통해, 기지 내 E-phase 및 η-phase 석출물의 형성을 확인하였다. 형성된 석출물의 계면에 편석된 원소 분포를 확인한 결과 η-phase 사이에서 Cu가, E-phase와 η-phase 사이에는 Zn 원소가 모여 있는 것으로 관찰되었다. 편석된 원소의 조성을 토대로 Gibbsian elemental excess를 정량화 할 수 있었고, 이를 토대로 기지/E-phase/η-phase 사이에 형성된 계면의 계면에너지를 도출하였다. 또한 E-phase와 η-phase 사이에서 계면 에너지 절댓값이 1038 mj/㎡로 가장 컸다. 실제로 해당 계면에서 SCC 현상이 시작될 것으로 예측되며, 본 연구 성과물을 바탕으로 합금 설계 및 열처리 공정 개선 등을 통해 계면 형성 억제 및 편석을 최소화 할 수 있는 공정 조건 확립에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

[P33-5]

리사이징 처리가 재활용 탄소섬유와 폴리프로필렌 수지와의 계면결합력에 미치는 영향 : 김경하, 김경은, 김대업* (한국생산기술연구원)

Keywords: Carbon fibers, Surface properties, Surface treatment, Sizing, Polypropylene

탄소섬유는 저밀도, 높은 비강도, 내열성, 우수한 열전도성 및 전기전도성을 가진 경량 소재로서, 항공우주산업뿐만 아니라 향후 전 산업 분야로 적용이 확대될 전망이다. 하지만 탄소섬유의 높은 가격으로 인하여 고가의 부품에만 사용되며 자동차 등의 분야에 상용화 되기는 경제적으로 무리가 있다. 탄소섬유의 가격 절감 및 환경 오염 문제를 해결하기 위해서 사용된 탄소복합재를 회수하여 재활용할 수 있도록 업사이클링하는 기술이 절대적으로 필요하다. 본 연구에서는 탄소복합재로부터 회수된 재활용 탄소섬유의 업사이클링을 목적으로 탄소섬유와 폴리프로필렌 (PP) 수지와의 계면 결합력을 향상시키기 위하여 PP와 조합이 우수한 3-Methacryloxypropyltrimethoxysilane(MPS, KBM-503, Shin Etsu)를 사용하여 탄소섬유에 리사이징 처리를 하여 열적, 물리적, 화학적 특성 변화 및 기능기 메커니즘을 규명하였다. 탄소섬유를 리사이징 후 TGA를 이용하여 평가한 결과, 100~200 ºC와 390 ºC에서 무게 변화가 관찰되었고, 1초와 3초간 처리한 탄소섬유는 각각 1.08%와 2.27% 무게 감소를 보였다. 사이징 처리시간에 따른 계면전단강도를 평가한 결과에서는 1초간 처리 시 계면전당강도가 가장 높았으며 3초 처리 시에는 약 14% 감소하였다. 리사이징 전후의 성분변화를 보면, 처리시간에 따라 탄소의 양은 감소하였고, 산소와 실리콘의 양은 증가하였다. 또한 C1s 피크를 분석한 결과는 O=C-O가 질산 처리에 비하여 미미하게 감소하였지만 C-O 및 C=O의 양은 다소 증가하였다. 본 연구결과에서는 리사이징 처리한 탄소섬유가 상용 탄소섬유에 비하여 동등이상의 기계적/열적/화학적 특성을 나타내었으며 추후에 최적의 조건으로 표면처리 한 재활용 탄소섬유와 열가소성 수지를 함침한 탄소복합재를 제작한 뒤 기계적 특성을 비교 평가할 예정이다.

[P33-6]

CMOS-integrable and Reconfigurable 2D Ambipolar Tellurene Synaptic Transistors for In-memory Computing : Bolim You (Department of Materials Science and Engineering, Inha University, Program in Semiconductor Convergence, Inha University), Yuna Kim (Department of Materials Science and Engineering, Inha University), Jihoon Huh (Department of Materials Science and Engineering, Inha University, Program in Semiconductor Convergence, Inha University), Jeongyeol Park, Yohan Lee, Seung Ji Lo, Myung Gwan Hahm (Department of Materials Science and Engineering, Inha University), and Moonsang Lee* (Department of Materials Science and Engineering, Inha University, Program in Semiconductor Convergence, Inha University)

Keywords: two-dimensional tellurene, aluminum oxide passivation, synaptic transistors, in-memory computing

Despite significant efforts to annihilate the Von Neumann bottleneck with brand new 2D nanomaterials-based cutting-edge device structures, there's plenty of room for exploring alternative computing architectures that leverage 2D nanomaterials and in-memory computing. Here, we introduce a groundbreaking strategy featuring a 2D ambipolar tellurene (Te) synaptic transistor to achieve CMOS-integrable and reconfigurable logic-in-memory computing. This innovative scenario integrates seamlessly with complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) technology, utilizing p/n-switchable ambipolar characteristics inherited from precise Fermi level alignment via thermal atomic layer deposition. In addition, the architecture exhibits remarkable synaptic behaviors while maintaining conventional inverter performance within a compact single 2D Te device architecture. Expanding these findings, we demonstrate a compact, programmable CMOS inverter with reduced spatial complexity, and also visualize the construction of diverse complementary logic-in-memory computing. We believe this study uncovers an elegant pathway to revolutionary in-memory computing that transcends the boundaries of the Von Neumann architecture based on 2D nanomaterials.

[P33-7]

Transitioning from P-type to Ambipolar Characteristics in Two-Dimensional Tellurene through Al_2O_3 Thin Film Deposition

: Jihoon Huh (Department of Materials Science and Engineering, Inha University, Program in Semiconductor Convergence, Inha University), Yuna Kim (Department of Materials Science and Engineering, Inha University), Bolim You (Department of Materials Science and Engineering, Inha University, Program in Semiconductor Convergence, Inha University), Jeongyeol Park, Yohan Lee, Seung Ji Lo, Myung Gwan Hahm (Department of Materials Science and Engineering, Inha University), and Moonsang Lee* (Department of Materials Science and Engineering, Inha University, Program in Semiconductor Convergence, Inha University)
Keywords: Semiconductor, 2D materials, Tellurene, Al_2O_3 Thin Flim Deposition, Ambipolar characteristics

Two-dimensional nanomaterials are gaining significant attention in various scientific and industrial applications due to their unique physical, chemical, and electronic properties. Among these materials, two-dimensional tellurene (2D Te) is increasingly recognized for its high carrier mobility, narrow bandgap, and excellent air stability. In this work, we report the transformation of p-type characteristics to ambipolar properties in 2D Te FET through the deposition of an Al_2O_3 thin film using Atomic Layer Deposition (ALD) followed by O_2 doping. The development of ambipolar 2D Te transistors eliminates the need for synthesizing and transferring additional n-type materials, thus simplifying the fabrication process without the issues of material degradation. Additionally, the ability to fabricate the device within a single material region without additional doping processes is expected to significantly enhance integration density. This simplification and anticipated improvement make ambipolar 2D Te transistors promising candidates for the implementation of CMOSFETs and logic circuits such as inverters.

P34 : 인공지능재료과학
Room 2층 로비, 10월 30일

[P34-1]
고특성 α+β Ti 합금 시스템 분석 및 합금 설계 전략 구축을 위한 대형 언어모델 기반 LangChain 알고리즘 개발 : 서기완 (서울대학교), 김도향 (연세대학교), 박은수* (서울대학교)
Keywords: 대형 언어모델, Olson Flow-Block Diagram, 합금 설계, 타이타늄

현대 산업 수준이 나날이 발전함에 따라 기존 소재를 뛰어넘는 고특성 소재에 대한 수요 또한 함께 증가하는 추세이다. 특히 금속 소재의 경우 향상된 성능과 함께 낮은 유지비용 및 친환경성에 대한 요구가 높아지고 있어 이와 함께 차세대 신합금 개발 체계의 복잡도가 증가하고 있다. 본 발표자는 합금 설계라는 과정을 시스템 적인 관점에서 접근하여 그 계층적 구조를 단순화하고 이에 따라 설계 과정의 효율성을 높이고자 한다. 합금의 공정 과정, 미세구조 그리고 그에 따른 각종 특성 간의 유기적인 관계를 체계적으로 분석하기 위해 본 연구에서는 Olson flow-block diagram을 유용한 분석 도구로서 사용하고자 하는데, 이는 복잡한 시스템의 작동 시퀀스를 단순화해서 시각화 하는데 특화되어 있는 도식으로 앞서 언급한 공정, 미세구조 그리고 특성 간의 상관 관계를 체계적으로 분석할 수 있도록 해준다. 하지만 사전 데이터를 기반으로 Olson flow-block diagram을 수기로 작도하기 위해서는 방대한 양의 연구 데이터가 요구되며 정확도까지 확보하기 위해서는 많은 시간과 자원의 투자가 요구된다는 분명한 단점 또한 존재한다. 이러한 한계를 돌파하기 위해 본 연구에서는 ChatGPT와 같은 대형 언어모델의 뛰어난 일반화 능력과 작업 효율성을 활용하고자 한다. 다만, ChatGPT는 각기 다른 데이터 소스간 연결이 힘들고 사용자의 의도에 맞춰 프로그램을 수정하기 어렵다는 단점을 가지고 있어 LangChain과 같은 대형 언어모델 프레임워크를 활용한 코드를 작성하여 상기 Olson flow-block diagram의 작도를 자동화할 수 있는 알고리즘의 개발을 목표로 연구를 진행하였다. 본 포스터에서는 작성한 코드의 작동 원리를 설명하고, 코드를 구동하여 작도한 Ti 합금에 대한 Olson flow-block diagram을 분석하여 고특성 TRIP Ti 합금 설계 전략을 구축하고자 한다. [Acknowledgement] This work was supported by Korea Research Institute for defense Technology planning and advancement(KRIT) grant funded by the Korea government(DAPA(Defense Acquisition Program Administration)) (No. KRIT-21-106-A00-006, Reactive High Deposition Rate Additive Manufacturing, 2023)

[P34-2] Canceled
다공성 구조체의 재료 및 설계변수별 탄성계수 예측을 위한 인공신경망 적용 : 함민지, 문인용* (한국생산기술연구원)
Keywords: Additive manufacturing (적층제조), Elastic modulus (탄성계수), Artificial intelligence (인공지능), Artificial neural network (인공신경망), Porous structures (다공성 구조)

다공성 구조의 탄성계수 예측은 항공우주, 생물의학, 구조 공학 등 다양한 분야에서 필수적이다. 기존의 방법은 재료 특성, 설계 변수, 기계적 거동 간의 복잡한 상관관계를 정확하게 파악하는 데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 재료 특성 및 설계 매개변수에 따른 다공성 구조물의 탄성계수를 예측하기 위한 인공 신경망(Artificial Neural Network, ANN)모델을 제시한다. ANN 모델은 유한 요소 해석(Finite Element Analysis, FEA) 시뮬레이션을 통해 생성된 데이터셋을 기반으로 학습되었다. 그 결과, 테스트 데이터셋에서 높은 예측 정확도를 나타냈으며, 탄성계수에 가장 큰 영향을 미치는 설계 변수를 성공적으로 식별하고, 새로운 데이터에 대해 일반화된 예측 능력을 가지고 있음을 확인하였다. 이 연구는 광범위한 실험적 테스트나 복잡한 시뮬레이션 없이 신뢰할 수 있는 기계적 특성 예측을 가능하게 함으로써, 다공성 구조물 설계 및 최적화에서 ANN이 강력한 도구가 될 수 있음을 입증한다. 제안된 방법은 설계 효율성을 높이고, 맞춤형 기계적 특성을 가진 고급 재료의 개발을 촉진할 수 있다. 향후 연구에서는 ANN 모델의 예측력을 검증하기 위해 다른 기계적 특성을 예측하고 실험적 검증을 통합하는 모델을 확장할 예정이다.

[P34-3] Canceled
내열강의 크리프 특성 기계학습 및 상관관계 분석 : 조태현, 최윤석* (부산대학교), 오창석 (한국재료연구원)
Keywords: 내열강, 크리프, 인공지능, 상관관계 분석

본 연구에서는 다양한 조성의 내열강에 대해 크리프 수명 데이터를 수집하였으며, 수집된 조성-크리프 데이터를 이용하여 효과적인 크리프 수명 예측이 가능한 순방향 기계학습 프로토콜을 개발하였다. 또한, 조성, 원자단위 물성, 열역학 기반 계산데이터를 활용하여 각 특성별 크리프 수명과의 상관관계 분석을 진행했다. 순방향 기계학습 프로토콜은 데이터 전처리, 피쳐 가공(feature engineering), 최적 학습 모델 비교/선정으로 구성되었다. 데이터 전처리는 조성을 이용한 원자단위 물성 계산과 열역학 계산 데이터 생성을 포함하며, 조성별 크리프 수명 데이터의 Larson-Miller parameter 선도를 이용한 목표 온도, 응력에서의 크리프 수명 데이터 추출을 포함한다. 전처리된 데이터에 대해 Pearson correlation analysis, recursive elimination, best subset selection 등의 피쳐 가공 과정을 통해 상관관계가 높은 데이터 조합을 추출하였고, 이를 Bootstrap 방식을 활용하여 모델의 예측 재현성을 평가함으로써 각 알고리즘에 대해 하이퍼 파라미터 최적화를 진행하였다. 이렇게 각 알고리즘별로 최적화된 다양한 기계학습 결과를 비교·분석하여 크리프 수명을 예측하는데 있어 최적의 학습 모델을 선정하고 신뢰성을 검증한 후 최종적으로 최적 학습 모델의 성능을 높이기 위해 앙상블 학습을 진행하였다.

P35 : 가공-소성가공
Room 2층 로비, 10월 30일

[P35-1]
고온 변형 거동에 따른 1.6 wt. % 고탄소강의 전위 밀도 변화 : 안유정 (한국생산기술연구원, 순천대학교), 전재열* (한국생산기술연구원)
Keywords: High carbon steel, Recrystallization, Dislocation density, Williamson-Hall plot, Warren-Averbach method

고탄소강은 높은 탄소 함량으로 인해 취성이 강하여 저탄소강 대비 성형성이 저하되지만, 고온 변형 과정에서 발생하는 동적 재결정에 의해 전위 밀도를 감소시키고 미세조직을 개선하여 이러한 단점을 보완할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 탄소 함량 1.6 wt. %인 고탄소강의 고온 변형 거동에 따른 전위 밀도 변화를 분석하였다. 고온 압축 시험은 초기가열온도가 서로 다른 1200 ºC 또는 1100 ºC 두 조건에서 수행하였으며, 압축 시험 온도는 1100 ºC, 1000 ºC, 900 ºC 및 800 ºC, 변형률 속도는 1.0 s^{-1}, 0.1 s^{-1}, 0.01 s^{-1} 및 0.001 s^{-1}에서 변형률 50 %로 압축하였다. 고온 압축된 시편을 EBSD를 통해 동적 재결정 분율(f_{DRX})을 계산하고, X-ray 분석 후, modified Williamson-Hall plot/Warren-Averbach method(mWH/WA)를 통해 전위 밀도(ρ)를 정량적으로 도출하였다. 초기가열온도 1200 ºC의 경우, 압축 시험 온도 1100 ºC 또는 800 ºC에서 변형률 속도 1.0 s^{-1}로 압축된 시편의 f_{DRX}는 각각 5.3 %, 7.4 %로 50 % 미만이며, ρ는 각각 2.64×10^{14} m^{-2}, 2.49×10^{14} m^{-2}이다. 반면, 초기가열온도 1100 ºC의 경우, 압축 시험 온도 1100 ºC 또는 800 ºC에서 변형률 속도 1.0 s^{-1}로 압축된 시편의 f_{DRX}는 각각 83.9 %, 54.9 %로 50 % 이상이며, ρ는 각각 4.09×10^{13} m^{-2}, 6.60×10^{13} m^{-2}로 초기가열온도 1200 ºC 대비 높은 동적 재결정 분율 및 낮은 전위 밀도를 나타낸다. 1200 ºC로 초기가열 후, 각각의 온도 및 변형률 속도로 고온 압축된 시편 중 압축 시험 온도 1000 ºC, 변형률 속도 0.001 s^{-1}에서 압축된 시편의 f_{DRX}는 75.2 %이고, ρ는 5.04×10^{13} m^{-2}로 전위 밀도가 가장 낮다. 초기가열온도 1100 ºC의 경우, 압축 시험 온도 1100 ºC, 변형률 속도 0.001 s^{-1}에서 압축된 시편의 f_{DRX}는 98.2 %이고, ρ는 3.64×10^{13} m^{-2}로 전위 밀도가 가장 낮다. X-ray를 통해 정량적으로 계산된 전위 밀도는 EBSD로 분석한 고온 압축 시편의 동적 재결정 거동과 잘 일치한다. 결과적으로, 탄소 함량 1.6 wt. %인 고탄소강의 동적 재결정 거동은 초기가열온도 1200 ºC 대비 초기가열온도 1100 ºC에서 더 잘 발달된다.

[P35-2]
Metal-Polymer-Metal 판재의 Deep Drawing 공정 중 발생하는 Wrinkling 원인 분석 및 방지법: Experiments and Simulation : 김재훈, 최연택, 김래언, 구강희, 권지혜 (포항공과대학교), 서민홍 (POSCO), 김형섭* (포항공과대학교)
Keywords: Metal-Polymer-Metal laminates, formability, deep drawing, wrinkling, FEM

Metal-Polymer-Metal (MPM) 판재는 낮은 가격과 높은 기계적 물성이 요구되지 않는 구조의 경량화 방법으로 떠오르고있다. MPM 판재는 단단한 metal과 연한 polymer의 두께를 조절하여 적당한 강도 및 낮은 밀도를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 하지만 성형성에 관한 연구가 부족하여 상용화에 걸림돌이 되고있다. 특히, MPM 판재 중에서 섬유로 강화하지 않은 polymer를 사용한 경우 성형공정에서 wrinkling이 많이 발생하는 것으로 알려져있으며 최종 제품의 품질에 큰 결함으로 작용하므로 이에 대한 방지가 필요하다. 일반적인 wrinkling은 높은 blank holding force로 방지할 수 있지만, MPM 판재는 높은 blank holding force를 가해도 wrinkling이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 deep drawing 공정 중 MPM 판재에서 발생하는 wrinkling의 원인을 실험과 유한요소 해석을 이용하여 파악하고, 변수 제어를 통해 방지할 수 있는 방안을 제시한다.

[P35-3]
Analysis of heat transfer coefficient on the deformation behavior of aluminized 22MnB5 in hot stamping process using data-driven : Seung-Chae Yoon*, Jea Myoung Park, Kye Jeong Park, Je Youl Kong, Dong Yul Lee, and Joo Sik Hyun (Hyundai Steel R&D Center)
Keywords: Aluminized 22MnB5, Hot stamping process, Heat transfer coefficient, Finite element method

In the mobility industry, the research on vehicular weight reduction and improved crash safety has emerged prominently. To realize this, the usage of Advanced High-Strength Steels (AHSS) with increased strength and reduced thickness is on the rise. This study focuses on the hot stamping process for the fabrication of high-strength components, particularly demonstrating the effective forming of 22MnB5 steel with Al-Si coating. The diffusion and transformation of the coating layer can affect the surface emissivity during the forming process, potentially lowering prediction accuracy. Utilizing machine learning, this research aims to predict the heat transfer coefficient, including these variations, thereby contributing to the enhancement of final part quality through improved accuracy in predicting sheet formability.

[P35-4]
핫 피어싱 공정을 이용한 락드릴 로드용 SNCM625 심리스 소구경 후육강관 제조기술 : 권진구, 이준표, 홍성모* (세창스틸), 권기봉, 조의열 (한국산업기술시험원)
Keywords: 락드릴 로드, 열간 피어싱, 냉간 인발, 심리스 강관, 기계적 특성

산업의 발전으로 광물자원의 수요가 늘어남에 따라 채굴 및 터널링 산업등에 사용되는 락드릴용 공구 수요가 증가하면서 핵심부품인 락드릴 로드(rock-drill rod)의 성능 및 내구성을 향상시키려는 노력이 국내외에서 활발히 진행중에 있다. 굴착 장비의 핵심 부품

인 락드릴 로드는 높은 강도와 인성이 필수적으로서 Ni,Cr,Mn,Mo 등 강화원소를 함유한 SNCM강 심리스 소재가 고려되고 있다. 고강도 SNCM소재 특성상 강관 제조에 고난이도 성형기술이 필요하며, 특히 락드릴 로드용으로 요구되는 소구경 후육 심리스강관 생산기업이 국내에는 거의 없어 대부분을 해외 수입에 의존하는 상황으로서 국산화 제조기술이 확보된다면 국내공급은 물론 글로벌 시장 진출 가능성이 매우 높은 부분이라 할 수 있다. 심리스 소재는 이음매가 없어 내구성이 우수하며, 일반적으로는 압출(extrusion) 또는 피어싱(piercing) 공법으로 제조된다. 이 중 피어싱 공법의 경우 두께편육 및 수율 측면에서 경쟁력이 우수한 장점이 있으나, 소구경 후육관으로 제조 시 설비에 높은 부하 가중 및 툴 손상 가능성이 크고 이로 인해 심리스강관의 품질에 안 좋은 영향을 주기 때문에 공정 설계 및 최적화가 매우 중요하다. 본 연구에서는 열간 피어싱 기술을 적용하여 심리스 모관 제조공정을 설계하고, 피어싱 핵심 툴(tool) 적용 및 세팅 기술 마련을 통해 소구경 후육 심리스 모관을 제조하고자 하였다. 심리스 모관은 냉간 인발 공정을 통해 최종적으로 글로벌 수요처 요구스펙의 심리스 강관으로 제조한 후 기계적 특성, 미세조직, 치수 정밀도 등의 품질분석을 통해 락드릴 로드용 심리스 강관으로서의 적용 가능성을 고찰하였다. 본 연구는 중소벤처기업부 중소기업기술혁신개발(RS-2023-00269183)과제의 지원을 통해 수행되었음

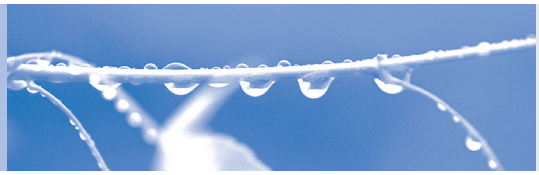
[P35-5]

Study on the optimization of automotive inner tie rod using a DNN-based FE-surrogate model : Dongwoon Han, Joseph Jo, Hyo-kyu Kim, and Seongtak Kim* (Korea Institute of Industrial Technology)

Keywords: Inner tie rod, Cold forging, Finite element analysis, Deep neural networks, Surrogate model

The inner tie rod(ITR) for vehicles is a critical component in the steering system, serving as a joint part that transmits steering loads to the wheels by connecting with elements such as the rack and knuckle. Additionally, the ITR module is known to be a crucial component involved in wheel alignment, including toe and camber adjustments. The ITR consists of a ball housing, ball seat, and rod, and is produced through a caulking process, which is a type of cold forging method. In the caulking process, the ball seat and rod are mounted onto the ball housing, and a press die descends to deform the ball housing, thereby securing the ball seat and rod to prevent them from falling out. A lower torque required for the ITR's tilt and rotation reduces the force needed for steering and assembly processes, leading to improved efficiency and production capability. However, reducing the torque by changing dimensions or altering the caulking distance to excessively decrease the frictional area may result in play, potentially causing noise and vibration issues. Additionally, there is a risk of not meeting pull-out performance requirements, which could lead to stability issues such as part detachment. Therefore, it is crucial to derive appropriate shapes and caulking processes that ensure both low torque and compliance with performance requirements for ITR quality. However, there is a lack of research on the optimal shape factors and process conditions for ITR that satisfy mechanical performance while maintaining low torque values. This paper aims to investigate the effects of the shape factors of the ball housing and caulking stroke on torque and pull-out performance through finite element analysis. Additionally, a FE-surrogate model based on deep neural networks(DNN) was developed to derive the optimal shape and caulking stroke that satisfy performance requirements while achieving low torque.

발표자 색인



ㄱ

강결찬 P5-18
강경무 가스터빈2-1
강경호 타이타늄3-2
강남현 KJ1-3,미래2-1
강덕호 P5-22
강동욱 P1-18,P1-19
강문석 P23-14
강문성 초미세1-2
강민우 복합1-2
강민혁 P15-12
강성 신뢰성2-4
강성규 역학1-6
강성우 전산2-4
강우진 P32-8,P32-13
강재동 P8-7
강주희 분석2-7,회절1-2
강철 P22-3
강청아 P28-2
강현우 알루미늄2-3
강현진 P30-5
강현학 P29-12
강형석 P30-9,P30-8
고민경 P18-3
고성철 P3-6
고원석 고엔2-3,기능성1-1
고은찬 P28-9
고의준 비철1-1
고재현 철강B1-1
고정현 배터리2-5
고혁진 P25-2
곽남영 나노2-4
곽다희 철강A2-5
곽윤서 P24-6
구남훈 철강A6-4,철강A6-7
구지호 내열1-5
구태균 P3-16
권기환 재료강도3-7
권동영 철강B4-4
권민지 P24-7,철강B3-6
권석환 가스터빈1-4
권영제 P27-11
권영진 철강B7-3
권용남 방산1-2
권용우 시물2-3
권은지 P2-20
권진구 P35-4
권태우 기술2-3
권태윤 P33-2
권혁민 P12-9
권혁준 피로1-2
권희홍 역사1-6
금보경 수소1-4
길희진 P7-5
김가영 고온1-6,P8-6
김건용 철강A3-1
김경수 항공1-2
김경은 표면계면1-3
김경택 P15-9
김경하 P33-5
김경환 용접1-5
김광민 수소경제1-3
김광수 전산4-4
김규식 고온1-4,P1-37
김규헌 P27-6
김근수 수소경제2-3
김기백 P32-15
김기성 P3-4
김기연 P2-27
김기원 P14-11
김남태 피로2-4
김대웅 P24-11
김대윤 P33-3
김대종 내열1-2
김대현 P11-7
김덕 알루미늄3-1
김덕령 차세대1-3
김도원 P1-23
김도현 철강A2-1,P20-2,P19-3
김동규 P2-28
김동배 가스터빈3-1
김동연 전산4-2
김동엽 P6-8
김동오 P11-10,신뢰성3-1
김동욱 시물2-1
김동익 상변태3-2,회절1-4
김동진 P29-19,P29-18,P29-17
김동현 분석1-4
김동환 P26-2,고온1-3
김동훈 데이터1-2
김두욱 철강A4-4
김두원 표면1-1
김두현 증기터빈2-4
김두호 배터리1-2
김득중 철강B5-8
김래언 표면2-2,NeXS5-2
김명균 알루미늄1-1
김명석 비철2-5
김무성 P13-6
김민경 철강A3-6
김민규 인공3-3
김민서 P33-4,P29-10
김민석 P26-1,상변태1-2
김민성 집합1-5
김민재 P3-2
김민종 고엔3-2
김민철 전산4-1,P24-9
김민태 P31-2
김병규 이차전지4-3
김병훈 내열3-2,전산2-3
김봉철 P16-5
김상규 P11-3
김상식 방산2-4
김상욱 철강A4-3
김상필 배터리2-1
김상현 소성1-6
김상호 철강B6-3
김상훈 P3-22
김선구 P30-2
김선규 전산6-3
김선기 P28-17
김성균 시물1-1
김성남 고도1-3
김성수 용접1-1
김성웅 국전2-2
김성은 알루미늄4-2,P30-6
김성준 P13-7
김성진 재도약2-2,철강A3-2,후공정1-3
김성찬 나노1-2,P13-10
김성호 적층4-4
김성환 수소경제1-2
김세호 KJ3-1
김세훈 데이터2-2,적층3-4
김소진 반도체1-8,P10-1,역사1-4
김송현 P31-5
김수민 P1-16,역학2-3,P6-3
김수빈 적층3-5
김수성 P5-4
김수영 타이타늄2-4
김승언 국전1-3
김승철 전산5-1
김시연 재료강도2-4,용접4-4
김시호 피로1-1
김신현 전산6-4
김신형 고청정2-1
김연지 P27-18
김영균 고엔3-6
김영무 내열2-2
김영민 기능성1-2
김영서 알루미늄1-3
김영주 NeXS5-3
김예리 P29-3,용접3-5
김예림 P2-24
김예진 항공1-3
김예찬 반도체1-9
김완배 P5-10
김완호 저감1-5
김용래 P23-9
김용우 생체1-3
김용진 재료강도2-2
김용하 저감2-3
김용호 P28-18
김우철 P1-14
김우혁 적층3-6
김욱주 적층3-7
김웅기 반도체1-4
김원태 시물1-2
김유리 이차전지1-4
김유섭 재료강도1-2
김유진 재료강도1-5
김윤석 데이터2-4
김윤하 P4-7
김응균 적층1-1
김인호 열전1-2
김임덕 역학2-2
김재권 P28-19,고엔1-5
김재성 마그네슘3-2
김재연 마그네슘1-2
김재원 P30-3,P25-11
김재철 피로2-3
김재혁 전산1-2
김재형 소성1-1
김재황 알루미늄2-1
김재훈 P35-2
김정균 NeXS3-1
김정기 가스터빈2-4
김정민 P27-20,P27-19,NeXS4-2
김정재 P1-9
김정한
김정현 재료강도3-2
김정환 복합1-1
김정훈 철강B3-4
김종민 에너지2-1
김종식 P19-8
김종태 P14-6
김종헌 후공정2-3
김종형 역학2-1
김종훈 철강B3-3
김주영 차세대1-4
김주호 P1-5

김준영 철강A1-6
김준형 P5-19
김준호 P22-7
김중훈 NeXS4-3
김지민 철강B2-5
김지석 P5-27
김지수 P1-7
김지영 상변태1-1,P14-13
김지용 P25-10
김지우 전산1-3
김지훈 전산1-5,수소경제2-4
김진경 증기터빈2-3
김진만 기술3-1
김진섭 P27-8
김진솔 P12-7
김진수 배터리2-2
김진아 P13-11
김진하 P11-11
김창훈 P2-5
김채린 적층1-4
김채영 전산5-3,철강B1-5
김채원 P16-13
김태경 P1-6
김태윤 저감1-1,P3-15
김태형 P23-13,P26-5
김태훈 마그넷1-2,마그넷1-5, 증기터빈4-2
김하늘 P28-4
김한결 비철1-4
김한중 P17-11,P1-34
김현우 P18-12
김현정 표면1-2
김현주 비철2-3
김현중 적층2-6
김현진 철강A2-3
김현태 융합1-4
김형준 철강B1-2,P15-5
김혜준 P30-1
김호연 나노2-2
김호형 P31-15
김홍석 P29-7
김홍익 반도체1-3
김효규 P1-26
김휘호 에너지1-5
김희성 항공2-1

ㄴ

나인성 P25-16
나지나 P17-10
나태욱 KJ4-3
나현빈 에너지1-4
남성찬 저감3-4
남수민 P28-10
남연우 P3-1
남정욱 나노1-4
남정호 P23-11
남지민 수소2-3
남태원 융합1-1
남태현 국전3-3
남현빈 융접1-4
남형진 P13-9
남효문 P5-21
남효정 P32-2
노건우 적층5-6
노이준 P8-1
노재학 철강A1-1
노현빈 P1-2
노형섭 P29-13

ㄹ

라용호 초미세1-4
라오 원펑 P17-8
류병기 열전1-4
류승호 배터리2-3
류욱하 상변태2-3
류재종 P12-5
류채우 상변태2-2
류호진 상변태3-1

ㅁ

목동현 인공4-3
문광현 고엔3-4
문병기 마그네슘1-1
문병록 수소2-1
문성용 P17-7
문준혁 알루미늄2-2,P25-12
문진욱 전산4-5
민건기 타이타늄2-2
민동준 기술1-1
민병욱 표면2-4
민병현 P28-12
민종관 P17-5
민현기 P14-5,상변태3-4

ㅂ

바이바오성 표면2-1
박경은 방산3-1
박규민 P4-6
박기덕 신뢰성1-1
박노진 회절1-6
박동률 저감3-2
박동열 차세대2-1
박동준 철강B1-4
박문원 소성1-7
박민수 P4-8,고엔3-1
박민지 역학1-3
박민호 철강B6-4
박병천 배터리1-1
박보현 P15-3
박봉천 철강B2-4
박상규 P5-26
박상준 P12-1
박상진 이차전지3-2
박상현 P18-9
박선우 알루미늄3-4
박선재 P17-6
박선혜 P2-16
박성익 P22-4
박성준 증기터빈3-3
박성현 P25-9,국전2-4
박세영 표면1-4,P15-10
박세혁 P18-1
박소영 가스터빈1-3
박순균 재도약2-3
박승준 P28-7
박승훈 P5-20
박시욱 재료강도3-1
박연경 역학2-5
박연우 P32-12,P32-9
박영준 철강A4-1
박예준 적층4-5,상변태1-4
박원규 인공1-4
박원범 철강A3-3
박유빈 P28-21
박윤창 P8-4
박은진 P13-3
박이호 신뢰성2-1
박인철 배터리1-5
박재명 소성1-5
박재신 이차전지4-1
박재현 P16-12
박정빈 P29-2
박정인 전산3-1
박정재 고도2-4
박정현 P1-17
박정호 철강A5-4
박제범 데이터1-4
박종민 생체1-4
박종인 P4-14
박종찬 P32-7
박종훈 전산6-1
박주영 항공1-1
박주현 저감2-4,고청정1-3
박주호 P4-9
박준무 P27-15
박준상 표면1-3
박준수 철강B7-5
박준식 고엔3-5
박지니 상변태1-7
박지언 철강B7-4
박지영 적층2-4
박지원 철강B4-1
박지현 철강A2-6,P6-9
박진우 분석1-1
박진웅 P7-1,복합1-4
박진호 P25-22
박찬근 P4-13
박찬호 적층1-2
박찬훈 소성1-2
박찬희 재료강도1-3
박태연 P15-8
박태훈 P25-17
박하음 적층2-2
박하일 P12-11
박현 집합1-6
박현재 P7-3
박형준 P27-2
박혜진 P14-16
박효진 재료강도3-4
박훈영 재료강도3-3
반승현 항공3-2
방태양 P16-1
배규열 재료강도2-1
배동화 P11-16
배민아 P1-30
배새움 철강A1-7
배성욱 비철1-3
배성준 철강A2-2
배재영 생체2-4
배정빈 P19-4
배준호 마그네슘1-3
배철준 철강B5-2
백규인 P21-2
백민재 P19-2
백세일 피로1-3
백운봉 수소경제1-1
백종민 수소2-2
백하성 P3-7
변정은 P18-6
빈민욱 고도2-2

ㅅ

사공만재 적층2-3
새익 마하비드 알리 증기터빈4-4
서기완 P34-1,타이타늄1-3
서남혁 비철3-1,P1-3,P5-2
서동우 기술2-1
서민석 NeXS4-1,P32-10, 이차전지1-1
서병찬 마그네슘1-5
서보성 비철1-2
서은빈 재도약1-3
서은지 P32-14
서인국 저감2-2
서재완 P3-14
서정우 P31-3
서종덕 재도약1-2
서종식 마그네슘2-1
서진유 KJ2-3,미래1-3
서창우 철강A5-5
서형조 표면계면1-5
서훈철 P2-19
석경찬 P11-8
석준호 P2-15
석현광 특별2-1
설재훈 P25-6
성예찬 P19-1
성지원 P1-27
성지혜 복합1-3
성효경 피로2-1
소원재 P29-14
소형섭 수소1-1
손경식 고도2-1
손기선 배터리1-2
손무근 P2-3
손석수 KJ2-1
손승배 가스터빈3-2
손인수 내열2-1
손일헌 철강B7-2
손재희 반도체1-2

손지웅 반도체1-7
송기안 고엔4-1
송노건 적층3-8
송민정 P4-3
송상윤 수소2-7
송수민 P31-1
송영운 마그넷2-7
송은아 적층1-3
송은효 P26-8
송재인 에너지1-6
송전영 고온1-5
송종한 마그네슘2-4
송호섭 P24-12
송호정 P27-1
신가흔 인공1-2
신기승 P6-5
신대훈 저감2-1
신동현 P12-8
신상민 P7-9
신세은 여성1-2
신수홍 P3-11
신승혁 철강B4-3
신승환 P26-16
신우섭 전산3-2
신원찬 P13-12
신윤우 P19-5
신은주 NeXS3-3
신재원 P4-17
신정호 데이터1-1,가스터빈3-3
신종호 증기터빈2-2
신종훈 재료강도2-5
신지영 P31-9
신지용 알루미늄1-4
신현우 이차전지1-2
신현지 P2-23
신형섭 수소경제1-4
신혜주 철강B2-6
신홍철 타이타늄3-5
신희권 P5-16
신희창 수소3-4
심규민 분석2-1
심상훈 P26-17,소성1-4
심성주 P32-11
심영래 P16-9,P3-10
심재혁 증기터빈2-1
심현보 P19-7

ㅇ

안건웅 마그네슘3-3
안교진 항공2-3
안동혁 P16-8
안동현 P2-29
안드레이 NeXS1-2
안서영 P1-25
안성민 타이타늄1-1
안성빈 P1-24
안성열 적층5-5
안수빈 P13-4,상변태2-4
안유정 P35-1
안윤희 역학1-1
안정환 가스터빈1-2
안제형 P15-4
안종빈 마그넷2-2
안혜현 P15-1
안효주 P4-10
양대철 수소3-5
양루용 생체2-3
양선영 에너지3-2
양예원 P2-25
양원존 신뢰성2-2
양재열 P5-28
양진석 에너지1-3
양철혁 P22-2,P24-3,P16-2
양하규 P28-8
양현석 고청정2-3
연성범 P17-3
염종택 국전3-2
염지현 나노2-1
염채연 P25-8
예정원 P26-3,철강B1-7
오근재 에너지2-4
오대원 P32-3
오동규 철강B1-3
오동현 신뢰성1-4
오명훈 국전1-1
오상호 고엔1-6,수소1-5
오성탁 철강B6-2
오세권 P25-20,P25-21,P31-14
오세혁 인공1-1
오승철 고온2-2
오승현 열전1-3
오시형 기능성1-3
오오성 고도1-4
오윤석 수소경제2-2
오정무 철강B4-2
오정석 P14-1
오진우 전산5-2
오창석 시뮬1-4
오현식 P12-2
옥명렬 기능성2-3
옥일섭 P27-12
왕재민 인공3-1
우두현 P24-1
우한별 고온1-1
원경운 P16-4
원성빈 P27-17
원윤정 철강B1-6
유근영 저감3-1
유병길 철강B5-6
유수현 전산4-3
유수환 이차전지1-3
유승호 철강B5-3
유연정 P3-21
유용상 알루미늄3-3
유용연 비철2-2
유용재 철강B5-1
유원효 재료강도1-1
유윤재 분석1-6
유재문 방산2-1
유주현 고온2-1
유진무 인공1-3
유진영 마그네슘2-2,P13-1
유채은 P29-8
유평열 P8-8
유하영 용접3-4,P29-15
유한준 용접4-5,수소2-8
유현지 P6-1,역학2-6
유혜연 P3-17
유홍재 철강A3-5
윤교식 P26-11
윤누가 P4-18
윤대원 가스터빈2-2
윤덕재 P7-8
윤민석 수소3-6
윤병관 내열2-3
윤보현 P2-26
윤상민 P17-12
윤성민 용접3-2
윤승채 소성1-3,특별1-3,P35-3
윤연희 P28-15
윤영철 P11-15,수소2-5
윤준원 P27-5
윤지현 P31-12
윤태영 P12-13,P12-14
윤태웅 철강A2-7
윤현준 P15-2
윤호균 P23-1
윤희수 수소3-2
이강래 P23-10,P23-8,P23-7
이강식 기능성2-1
이강현 P14-10
이강호 P22-1
이건직 고온2-3
이건호 P30-13
이경훈 인공2-5
이광렬 데이터2-1
이광석 차세대1-1
이귀형 P14-7
이규영 기술2-2
이규제 후공정1-1
이기석 마그넷1-4
이기영 집합1-2
이기태 NeXS2-1
이기혁 비철2-1
이기호 신뢰성3-3
이나경 P4-11
이나윤 P1-21
이다솔 생체1-5
이대건 인공2-6
이대국 용접4-2
이도원 적층5-3
이돈희 고청정2-4
이동규 분석1-2
이동수 철강A5-1
이동원 철강B5-9
이동윤 고청정2-2
이동현 P7-10,고엔2-2,P13-2
이동화 배터리1-4,전산2-1,데이터1-3
이동훈 상변태1-3
이동희 P5-11
이두열 피로2-2
이만길 P23-3
이명규 고도2-3
이명준 P14-4,상변태2-5
이목영 용접3-1
이민규 비철3-5
이민근 재도약1-1
이민석 분석2-5
이민수 P31-16
이민식 증기터빈1-2
이민재 P28-16
이민주 철강A3-4
이병권 P15-7
이병수 증기터빈4-3
이병주 시뮬1-3,수소1-1
이병현 피로1-4,차세대2-3
이상관 미래1-1
이상길 나노2-3
이상림 P24-4
이상목 표면계면1-4
이상봉 회절1-5
이상엽 P5-12
이상욱 배터리2-4
이상원 내열3-4
이상화 알루미늄1-2
이상환 P23-5,P23-6
이서진 이차전지4-4
이선 P29-1
이성 마그네슘3-1
이성광 P11-1
이성형 P27-14
이성호 타이타늄3-1
이세일 집합1-4
이소명 철강A4-6
이소민 P28-11
이소영 비철2-4,상변태2-7,P14-14
이소윤 P2-21
이수민 P11-17
이수진 마그넷1-3
이숙빈 상변태2-1
이순기 특별1-2
이슬 국전2-3
이승엽 마그네슘2-5
이승우 P3-13,P20-5
이승욱 재료강도1-6
이승철 분석1-3
이승호 P25-7
이승희 P23-12
이시연 역학1-4
이아영 P4-1
이영민 P8-5

이영아 에너지1-1
이예림 P30-12
이예환 P29-9
이용재 재료강도2-3
이욱진 적층4-2
이운재 저감1-2
이운환 P2-12
이원찬 P16-11
이유진 P27-7,P31-6
이유환 신뢰성3-4
이윤정 분석2-4
이윤희 NeXS2-2
이은서 P25-3
이의종 가스터빈1-1
이인성 NeXS4-4,P24-8
이재관 타이타늄2-3
이재상 초미세1-5
이재성 역사1-3
이재욱 P20-1,반도체1-5
이재웅 P12-12
이재원 P5-13
이재정 P18-7
이재혁 용접1-3
이재호 알루미늄3-2
이재화 고도1-2
이재환 P17-1
이재훈 P11-4
이정아 인공3-4
이정찬 P11-13
이정환 전산3-3
이정훈 P15-11
이제웅 철강B5-5
이제인 증기터빈4-1,고엔2-1
이종언 타이타늄3-3
이종원 P5-3
이종익 P1-4
이종혁 타이타늄1-2
이종현 인공4-1
이종협 저감1-3
이주승 이차전지2-2
이주헌 이차전지4-2
이준석 저감1-4,P26-7
이준엽 P32-6
이준영 P30-4
이준호 P23-4,기술3-2,KJ1-1
이지원 P28-13
이지윤 마그네슘3-4
이지은 P14-3,나노1-3
이지혜 전산3-4
이지호 인공1-6
이진영 마그넷1-1,P25-13,철강B3-2
이진호 P27-16
이찬욱 P5-14
이찬혁 P23-15
이찬희 용접4-1,P1-8,적층1-5
이창선 인공2-2
이창원 NeXS3-4
이창희 고도1-1
이채훈 고청정1-1
이태규 재도약2-1
이태우 에너지3-1
이태주 인공2-3
이태호 P7-4
이태훈 P30-7,전산2-2
이택 P31-11
이하나 P4-4
이한성 고엔1-4
이한솔 적층2-5
이현구 초미세1-6
이현석 타이타늄2-5
이현욱 철강B2-2
이현준 P32-4
이형수 가스터빈2-3
이혜문 특별1-1
이혜미 P3-3
이혜인 P28-20
이호 전산1-4
이호세 P5-25
이홍철 방산1-4
인치훈 차세대1-2
임규석 P5-9
임상훈 수소1-6
임성호 적층5-1
임연민 P3-18
임용수 P27-4
임유진 P7-2,P29-4
임종원 P21-1
임지수 철강A4-5
임지원 P16-7
임진수랑 P26-9,상변태1-5
임태원 P18-13
임하윤 알루미늄1-5
임현태 P1-35,P1-32

ㅈ

장리빈 인공3-2
장명조 P2-18
장세진 P14-8
장순만 P12-10
장승훈 인공2-1
장여진 용접2-2,용접2-4
장연하 적층4-3
장예령 마그넷2-1,P13-5
장우길 철강B6-5
장웅성 기술1-2
장익제 P19-6
장재철 알루미늄2-5
장재훈 NeXS3-2
장준웅 마그넷2-4
장준혁 P8-3
장준호 P5-6
장지은 마그네슘1-4
장진만 P1-31,P1-29
장진석 NeXS3-5
장진혁 P13-13
장태진 고엔1-2
장현주 데이터2-3
장형욱 P2-13
장혜정 여성1-1
전동술 P22-5
전상혁 고온1-2
전서연 P28-6
전은채 P6-10
전종배 내열1-3
전지헌 P6-4,역학1-2
전초록 수소3-3
정기영 이차전지3-1
정동율 철강A2-4
정민섭 P27-10
정민후 표면계면2-4
정세은 P9-1
정세지 고청정1-2
정소진 P11-5
정야호 P27-21
정영웅 집합1-7
정영준 P17-4
정영훈 재료강도3-6
정용주 P31-4
정우상 내열3-3
정우진 에너지2-5
정윤문 고엔2-4
정은진 이차전지2-3,철강A5-6
정인필 P31-10
정재석 증기터빈1-1
정재영 P11-12
정재우 P1-15
정재준 P27-9
정재헌 P28-22
정재훈 P17-9,P25-1
정주리 P14-12
정준모 P25-15
정준영 표면계면1-1
정지윤 P3-5,P11-9
정지현 P18-4
정지훈 철강A1-5
정창우 표면1-5
정하국 P25-19,P25-18
정현 수소3-1
정현도 P30-11,P30-10
정현빈 철강B3-5
정현우 비철3-4
정화철 기능성2-2
정회연 P6-6
정휘근 P7-6
정휘윤 상변태1-6
정희찬 적층3-3
정희태 P25-5,P25-4
조가은 P5-5
조규섭 P4-16
조남철 역사1-1
조덕현 P1-20
조병일 신뢰성1-2
조선호 P4-2
조성규 철강A1-3
조성민 P29-5
조영근 재료강도3-5
조영래 AW-3,복합1-5
조요섭 적층4-6
조용곤 특별3-1
조용훈 적층4-7
조윤지 항공3-1
조윤환 P1-12,P1-10
조은산 P25-14
조은선 기능성2-4,KJ4-1
조은준 항공2-4
조은진 용접3-3
조일현 P2-7
조장현 방산1-1
조재억 표면2-5
조재영 철강B6-1
조재형 회절1-1
조지웅 표면계면1-2
조지현 역학2-4,P6-2
조창훈 P24-2
조태현 P34-3
조해주 적층5-2
조현석 철강B2-1
조휘재 P2-17
좌비오 피로1-5
주경준 항공2-2
주수빈 P1-1
주수현 고엔4-3
주신형 P5-1
주하연 P29-6,P24-5
지상현 P2-22
지호일 수소경제2-1
진봉민 철강A1-2
진상철 비철3-2
진성환 나노1-1
진승우 방산3-3
진시원 수소3-8
진인경 여성1-5
진형하 P8-9
진혜승 P19-10

ㅊ

차우열 철강A5-3
차은빈 P11-14
차주영 분석2-2
차필령 시뮬2-2,미래2-3
채현수 신뢰성3-2
채호병 P8-2
천동원 KJ3-3,기능성1-4
천명국 방산1-3
천민준 P20-6
천세영 P11-2
천세호 마그네슘2-3
천현석 P28-5,P28-3
최광성 후공정1-2
최광수 P13-8
최동현 수소2-4
최문수 고엔1-3
최민재 생체2-1
최병진 고청정1-4
최보배 역사1-5
최보은 P31-7

최선락 방산2-2
최성재 분석2-3
최세린 P18-8
최세현 P12-3
최시훈 적층4-1,미래1-2
최여진 P18-11
최예원 상변태2-8
최우석 P5-8
최윤석 내열3-1,철강B5-7
최인철 고엔4-2,국전3-4
최재호 방산2-3
최재훈 P16-3
최정원 P7-7
최정현 P27-3
최종원 P5-23
최주현 저감3-3
최준영 P5-17,비철3-3
최준혁 인공3-5
최지우 인공2-4
최지웅 P27-22
최지환 P26-12
최충석 에너지2-2
최혁재 적층5-4
최혜성 P14-9
최호욱 NeXS5-1
최효남 철강B3-1
최효준 반도체1-6
최희은 타이타늄2-1
추동주 재료강도1-4

ㅍ

피지희 P12-4

ㅎ

하륜 P32-5
하성준 P31-13
하영수 신뢰성2-3
하윤철 P4-12
하재영 P17-2
하지원 P12-6
하태준 수소1-2
해외 투어드 해외 대표 P15-6
하헌영 AW-6(미래2-2)
하헌필 특별1-4
한규미 적층3-2
한길수 이차전지2-1
한도경 용접2-3
한동운 P35-5
한상윤 고엔1-1
한상은 P20-7
한성희 P20-4,P14-17
한우림 역사1-2
한재연 재료강도2-6,P29-16, P22-6
한정우 알루미늄3-5
한종민 표면2-3
한주연 P1-22
한지혜 P3-20
한효주 철강B2-3
한희준 수소1-3
함민지 P34-2
함종오 신뢰성1-3
함주빈 P6-7
함지웅 P18-10
함진희 P31-8
허도행 표면계면2-2
허용강 알루미늄4-1
허윤욱 증기터빈3-1
허재 P2-1
허정호 P5-15
허지훈 P33-7
허형민 P3-19
현세미 P24-10
현영민 상변태3-3
홍길상 P32-1
홍대근 철강A6-3
홍동성 P26-14
홍문희 표면계면2-3
홍민기 P1-36
홍범락 항공3-3
홍서준 알루미늄4-3
홍석현 용접2-1
홍석환 P27-13
홍성찬 P11-6
홍성환 P14-15
홍승의 P1-33
홍재완 집합1-3
홍지우 P18-2
홍진석 에너지1-2
홍진성 철강B5-4
홍현빈 P28-1
홍현욱 내열2-4,증기터빈3-2, 미래1-4
황규빈 수소3-7
황병철
황상무 철강B7-1
황수빈 P23-2
황승우 인공1-5
황원구 적층2-1
황원태 방산3-2
황인성 P18-5
황재호 P5-7
황정우 P3-8
황제영 전산6-2
황태우 철강A5-2

A

ABBAS MUHAMMAD AOUN P26-13
AGHAAHMADI MAHDI 분석1-5
AHMAD ZAMANIAN 철강A6-6, 철강A6-5
Akihiro Mitsuhara KJ2-4
Anne A. Campbell
Anoop Kumar Maurya 타이타늄1-4
APPIAH EMMANUEL 이차전지3-3

B

Bolim You P33-6

C

CHANG HEE Yim 철강A6-1
Chang-Gi Lee 분석2-6

D

Do Youn Kim WISET1-4
Dong-Hee Hong 생체1-2
Dongyi Seo 내열1-1, 국전2-1

G

Geonjin Shin 수소3-9
Geumseong Lee 반도체1-1
Gibum Kim P2-4
Guangchen Xu 미래2-4
Gyuchan Kim P2-10
Gyuyeol Bae 차세대2-2

H

HADISEHESMAEILPOORSH 용접1-2
Handriani Lia Saptin P20-3
Hanwool Yeon 후공정2-2
Hee Young Kim 국전3-1
Hiroki Miyaoka KJ1-2
Hiroyuki Saitoh KJ3-2
Hung Yen 고온2-4
Hwanhui Lee P2-9
Hyun-Ki Kang 내열1-4

I

Ill Ryu 후공정2-1

J

Jeong Yeon Heo WISET1-3
Jeong-A Kim WISET1-2
JeongYeol Park P33-1
Ji Seon Kim P2-11
Jieun Oh WISET1-7
Jiho Kim P2-2
Jimin Park 생체2-2
John Lee NeXS1-1

K

KAIYING ZHAO 에너지3-3
Kazuhiro Ito 국전1-4
Khushahal Thool 전산1-1
Kim Yongju 여성1-3
Kohta Asano KJ3-4
Kouji Sakaki KJ4-2
Kyosuke Kishida 국전1-2

n

nayoung Kang 여성1-4

N

NELLIKODE SAVYASACHI 용접4-3
Nguyen Hoang Hai Nam 인공4-4
Nguyen Thanh Dat 알루미늄2-4
NominErdene Battulga P16-10

P

PASCUA RICHARD 수소2-6
PHAN HOANG CUONG 인공4-2
PINGZHAN SI 마그넷2-3

Q

Qingye Jin 적층3-1

R

ROHIT RAJ P1-11

S

Sang Soo HAN AW-5
Saurabh pawar P1-13
Saurabh Thoravat 열전1-1
Saurabh Tiwari 고온1-7
Sena Baek WISET1-5
Seong Gyoon KIM 철강A6-2
Seongbeen Lee P2-8
Seoyeon Bak P2-14
Seung-Pill Jung P11-18
Shengyou Li 에너지3-4
Shigehito Isobe KJ2-2
Shi-Hoon Choi 회절1-3
SILVA JAYASINGHE P3-12
Soong Ju Oh 초미세1-3
Sooyeong Kim 생체1-1
Soshi Iimura KJ1-4
Su Shuang P14-2, 상변태2-6
Sujin Kwon WISET1-8
SUMAIRA SADIQ P26-10
Sung Hoon Kang 융합1-2
SYED HAMZA P26-4

T

Tae-Gon Kim 초미세1-1
Takayuki Iwama 철강A4-2
Tea-Gyu Wi 철강A1-4
Tianhong Zhou 마그넷2-6
Toyoto Sato KJ4-4
TRAN THI YEN P1-28

U

Umar Daraz P5-24
URUPALLI BHARAGAV 에너지2-3

V

VIKAS SHIVAM 고엔3-3, P26-6

W

Woojien Lee P2-6

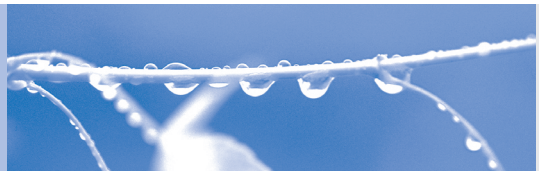
Y

Yejung Choi WISET1-6
Yeon Jeong Nam WISET1-1
Yeonhoo Kim 융합1-3
Yusupov Dilshodbek P26-15

Z

Zhang Baochao 마그넷2-8
Zhe Gao 역학1-5
ZHENG XING 마그넷2-5

2024년도 정기총회 학회상 수상자



1. 금속 · 재료상
◆ 이후철(서울대학교)

2. 특별공로상
◆ 이상관(한국재료연구원)
◆ 장웅성(산업통상자원R&D전략기획단)

3. 현대제철 학술상
◆ 이경우(서울대학교)

4. 세아해암학술상
◆ 황병철(서울과학기술대학교)

5. 동국송원학술상
◆ 조영래(부산대학교)

6. 송천학술상
◆ 김정한(국립한밭대학교)

7. 첨단소재학술상
◆ 한상수(한국과학기술연구원)

8. 현대제철 신진학술상
◆ 하헌영(한국재료연구원)

9. 김용진상
◆ 이정구(울산대학교)

10. 최호영상
◆ 이기영(홍익대학교)

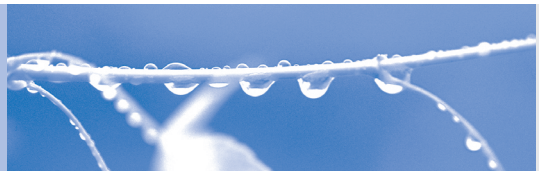
11. 윤동석상
◆ 강영조(동아대학교)

12. 서정상
◆ 이상윤(포스코 기술연구원)

13. 철재상
◆ 박성준(한국재료연구원)

14. 청웅상
◆ 박노근(영남대학교)

2024년도 정기총회 학회상 수상자



15. MMI-SPRINGER 논문상

◆ 이태경(부산대학교)
◆ 황병철(서울과학기술대학교)
◆ Farahnaz Haftlang(Nowthwestern University)

16. EML-SPRINGER 논문상

◆ 김종웅(성균관대학교)
◆ 김진현(광운대학교)
◆ 남성욱(경북대학교)

17. KOFWST · KIM 젊은연구자상

◆ 진인경(순천대학교)
◆ 김용주(포항공과대학교)
◆ 강나영(홍익대학교)

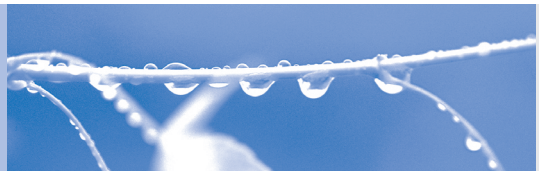
18. MTDI 장학금

◆ 홍현빈(국립한밭대학교)

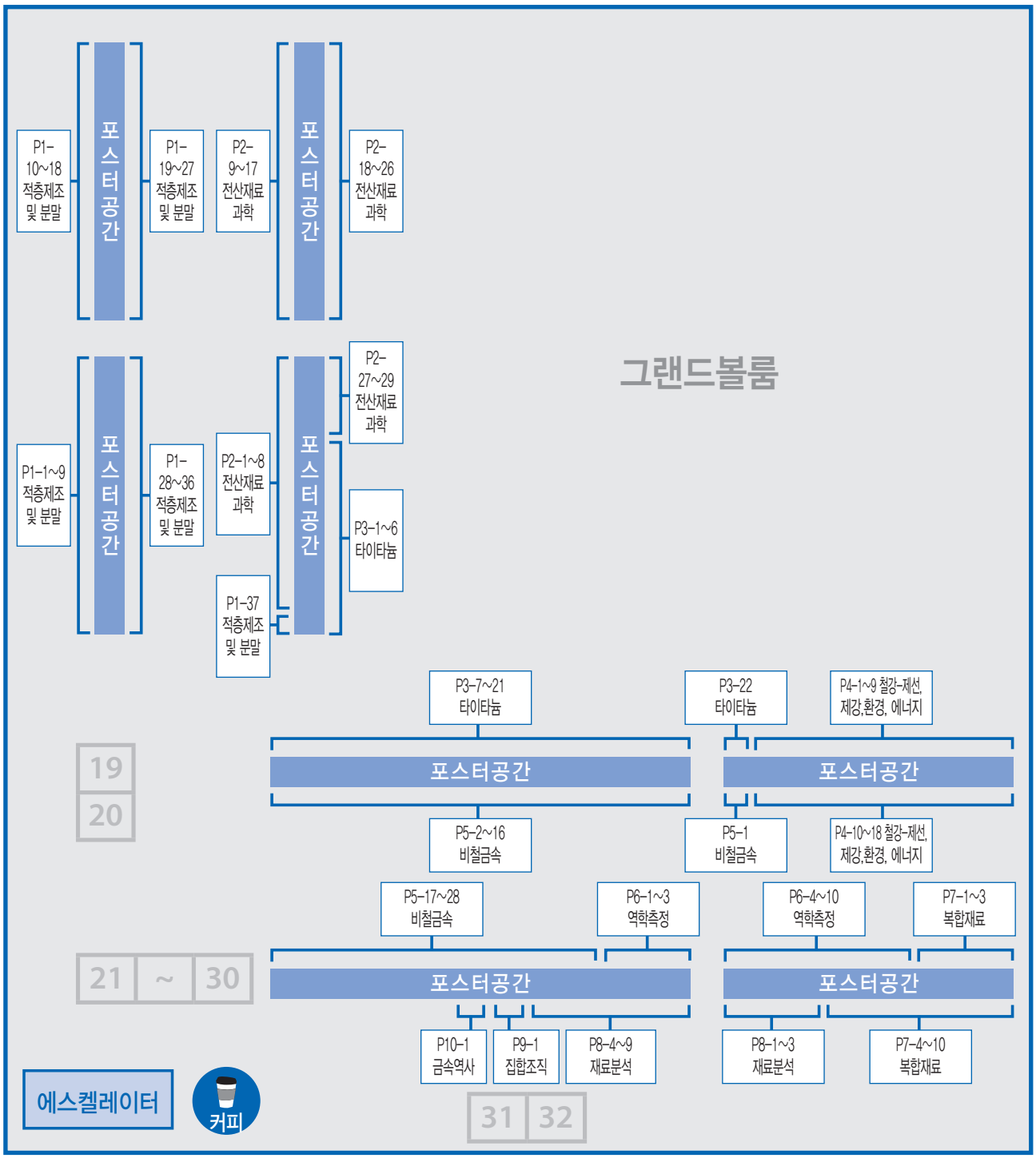
19. International Scholar Award

◆ Anne A. Campbell(Oak Ridge National Laboratory)

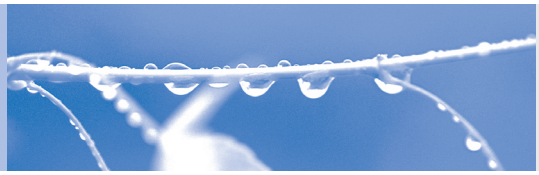
포스터배치



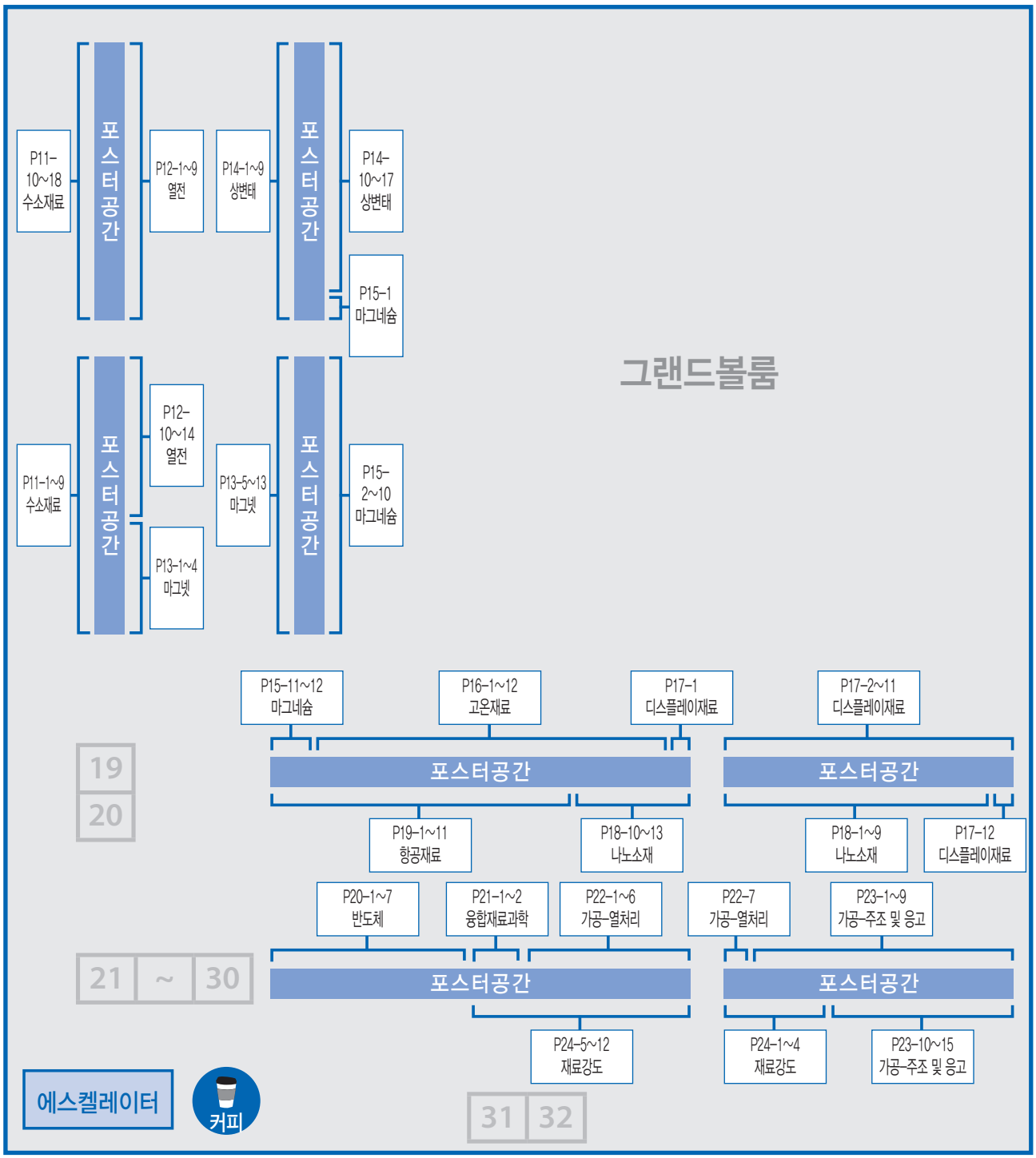
10월 28일(월) 포스터발표 (Poster-I) 2F



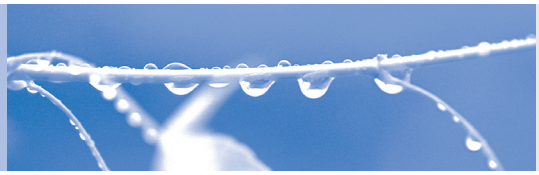
포스터배치



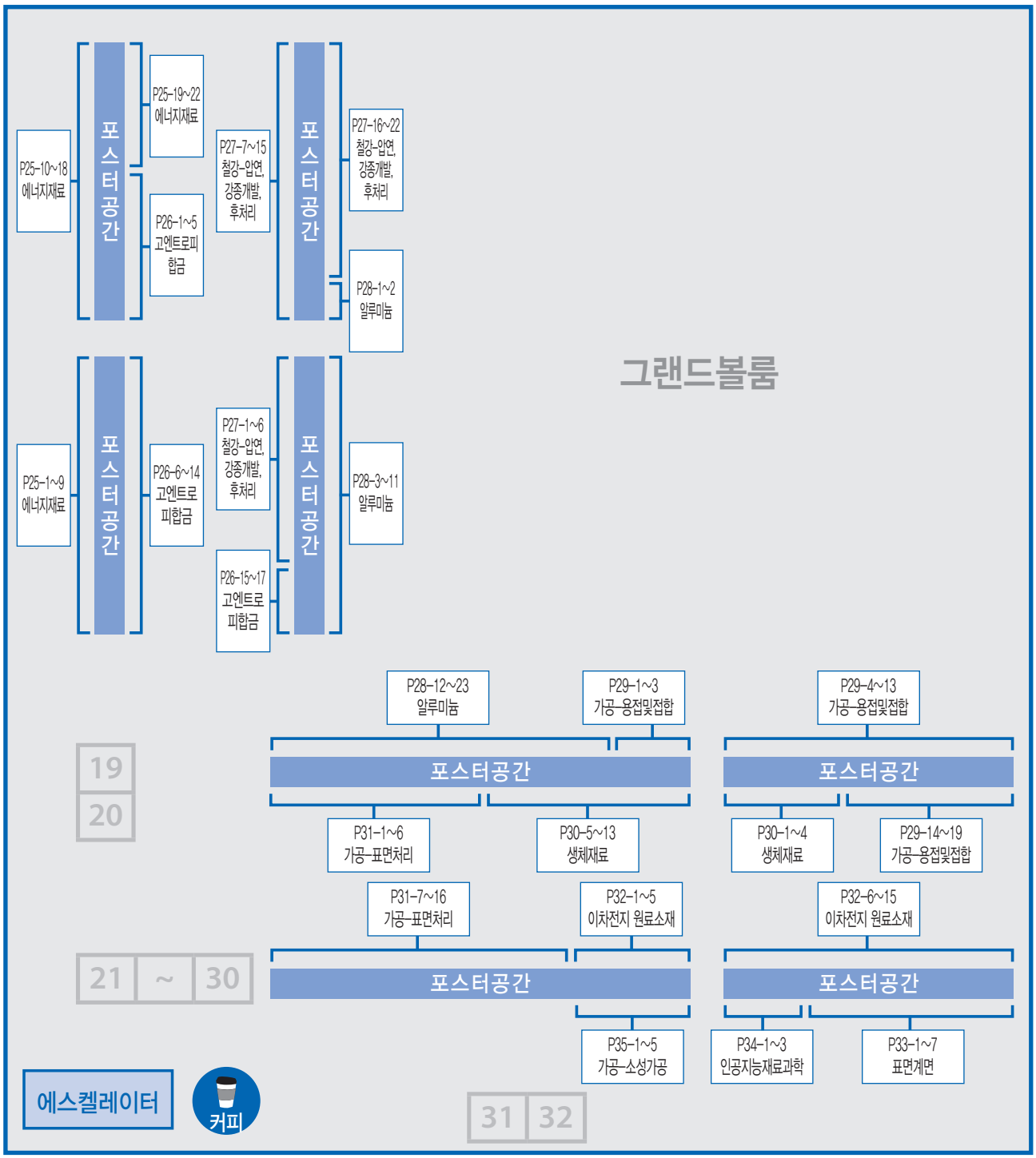
10월 29일(화) 포스터발표 (Poster-II) 2F



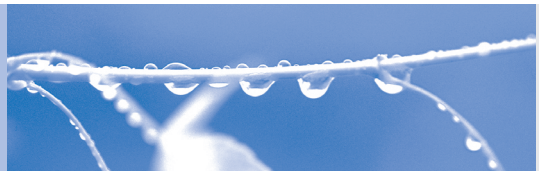
포스터배치



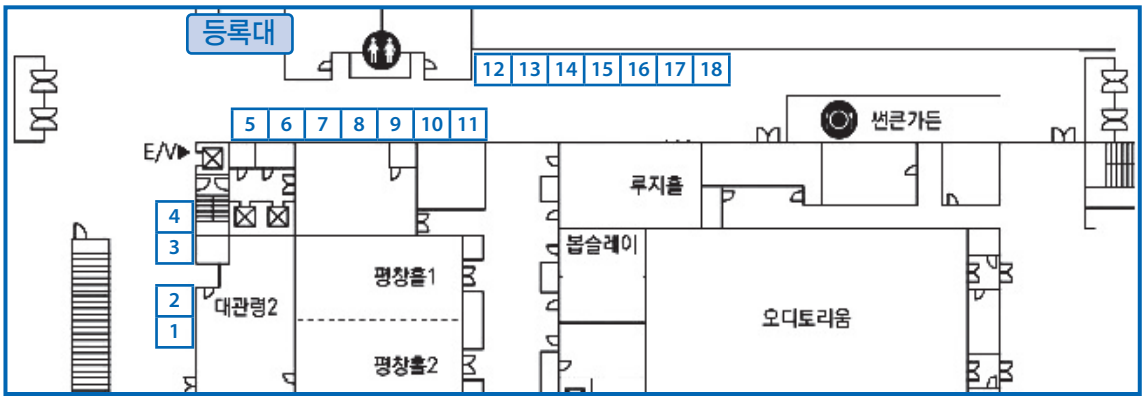
10월 30일(수) 포스터발표 (Poster-III) 2F



부스배치



1F 전시장



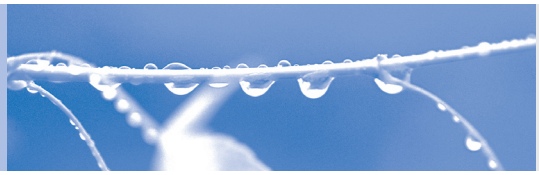
2F 전시장



학회 부스 참가회사

01	주식회사 큐넥스
02	㈜한국아이티에스
03	말번 파날리티칼
04	Thermo-Calc Software Korea LLC
05	시편전처리센터
06	(주)진우테크
07, 08	(주)만진교역
09	아이에스지(주)
10	(유)코린스테크
11	㈜하이록스코리아
12, 13	(주)알앤비
14	AMETEK KOREA / CAMECA
15	(주)유아이티
16	(주)에이스이앤지
17	(주)솔루션랩
18	(주)웨이브센스
19	(주)신영사이언스
20	ZEISS 코리아
21	파이로테크
22	주식회사 루안
23	비전플러스 주식회사
24	㈜아이티브AI
25	(주)팜테크
26	(주)프론틱스
27	(주)KAMI
28	(주)테스트원
29	(주)테스칸코리아
30	엠티디아이(주)
31	한국재료연구원 소재혁신선도본부
32	RIST 분석평가센터

경품 추첨 안내



◆ 학술대회 전시부스 21곳 이상을 순회하여, 도장(21개)을 받으셔서 응모함에 응모하시면 추첨을 통하여 아래 경품을 드립니다.

◆ **경품 추첨 일시 : 10.29(화) 오후 12:30 / 10.30(수) 오후 12:30**　　◆ **경품 추첨 장소 : 1층 로비**

	10월 29일 (화)	10월 30일 (수)
1등 (1명)	 [Apple] 아이폰 16Pro (블랙 티타늄)	 [Galaxy] Z 플립6 (실버 쉐도우)
2등 (2명)	 [Apple] 아이패드 Air 11 (스페이스그레이)  [Apple] 아이패드 Air 11 (스타라이트)	 [Galaxy] 탭 S10+ (문스톤 그레이)  [Galaxy] 탭 S10+ (플래티넘 실버)
3등 (3명)	 [Apple] 워치 10 (42mm, 실버)	 [Galaxy] 워치 7 (40mm, 크림) [Galaxy] 워치 7 (44mm, 실버) [Galaxy] 워치 7 (44mm, 그린)
4등 (4명)	 [Apple] 에어팟 4세대 액티브 노이즈 (화이트)	 [Galaxy] 버즈3 프로 (실버/화이트)
5등 (5명)	 [Starbucks] 기프트카드 (10만 원)	 [Starbucks] 기프트카드 (10만 원)