

2019 대한금속·재료학회 춘계학술대회 초록집

Date

2019. 4. 24(수)~26(금)

Venue

창원컨벤션센터

주최 : (사)대한금속·재료학회

후원 : POSCO, 현대제철, LS-NIKKO 동제련

(재)현송교육문화재단, 진우테크

한국과학기술단체총연합회, R&B

 경남컨벤션뷰로

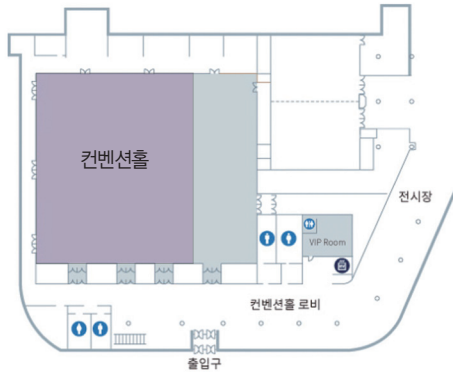
2019 Spring Conference of the Korean Institute of Metals and Materials

일정집 목차

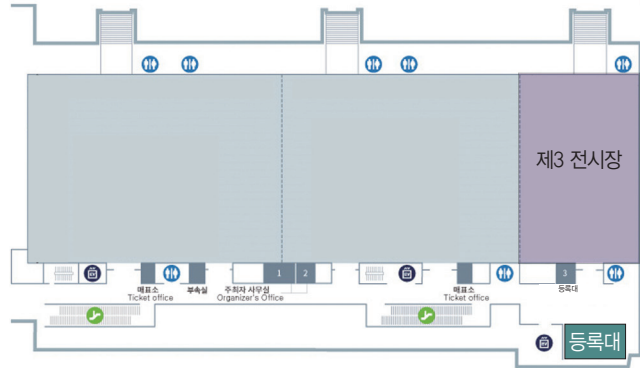
+ 초대의 글	1
+ 위원장 인사	2
+ 행사 및 발표 진행 안내	3
+ 춘계학술행사 행사 일정	4
+ 구두 발표일정	12
+ 포스터 발표일정	46
+ 발표자 색인	352
+ 2019년도 정기총회 학회상 수상자	356
+ 부스배치	358
+ 경품 추첨 안내	359

3F

컨벤션홀(총회장), 301/2호 발표장



제3 전시장(등록대, 포스터 발표, 경품추첨)

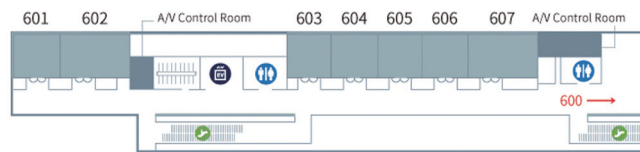


6F

600A/B 발표장

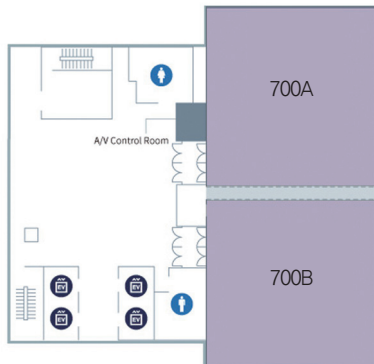


601호, 602호, 603호, 604호
605호, 606호, 607호 발표장



7F

700A/B호 발표장



※ 행사 등록은 3층 제3전시장 로비에서
진행 됩니다.



초대의 글

회원 여러분 안녕하십니까?

2019년도 임시총회 및 춘계학술대회는 찬란한 역사문화와 아름다운 자연환경, 역동적인 산업경제가 어우러진 메가시티 창원시의 창원컨벤션센터에서 개최하게 되었습니다. 금번 춘계학술 축제의 장에 학회 모든 회원님들을 초대 하오니 참석하여 주시면 감사하겠습니다.

이번 춘계학술대회에서는 그동안 금속·재료 각 분야 회원님들께서 열심히 연구한 약 940여편의 수준 높은 논문이 21개의 전문분야 심포지엄과 26개의 일반세션 발표장에서 진행 될 예정입니다.

미래세대 학생들을 위해 폭 넓은 배움의 장을 만들어 주고자 진행 하는 Tutorial Session에서는 최근 각광받고 있는 인공지능 분야를 다루어 “신소재공학과 인공지능” 주제로 하여 딥러닝 입문을 위한 기본 이론과 간단한 프로그래밍 등을 소개 합니다. 또한 “3D 프린팅 공정 및 재료의 현재 상황과 미래기회”를 주제로 개최되는 New Horizon 심포지엄은 각 계의 연구자 분들과 산업계 분들의 정보 교류 활성화에 도움을 줄 것으로 생각 합니다.

이번 학회에는 우리 학회의 근간이 되어왔던 철강재료, 비철재료 뿐만 아니라 최근에 인류의 안전과 건강 및 생명연장에 대한 사회적 욕구의 증가와 함께 관심이 증가되고 있는 생체재료 분야부터 감성소재, 마그네슘, 융합재료, 소재·부품의 신뢰성 향상 및 사용 안전 확보 기법에 대한 연구 교류를 위한 소재·부품 안전 및 신뢰성 심포지엄에 이르기까지 금속·재료 분야를 총망라하는 폭 넓고 다양한 발표 세션이 개설되어 운영될 예정입니다.

이번 학술대회에서도 회원들의 학문적 발전과 성과를 만끽할 수 있도록 적극적인 참여와 성원을 부탁드립니다. 이 뜻 깊은 자리에 참석하신 여러 회원 여러분 모두의 학문적 발전을 위해 서로의 관심을 공유하고 좋은 의견을 개진하는 뜻 깊은 자리가 되길 기원합니다.

2019년 3월

대한금속·재료학회 회장 김 성 준



위원장 인사

회원 여러분, 안녕하십니까?

이번, 2019년도 대한금속·재료학회 춘계학술대회는 대한민국 기계산업의 메카 창원에서 개최됩니다. 그동안 춘계학술대회 조직위원회에서는 심포지엄 세션과 일반 세션의 내실화에 많은 노력을 기울였습니다. 심포지엄 세션을 강화하기 위해 이번 춘계에도 전문적으로 특화된 15개의 심포지엄 세션을 기획하여 개설하였으며, 새로이 떠오르는 분야의 학술 분야를 발굴하고 선도하기 위해 뉴호라이즌 심포지엄을 지난 추계에 이어 개설하였습니다.

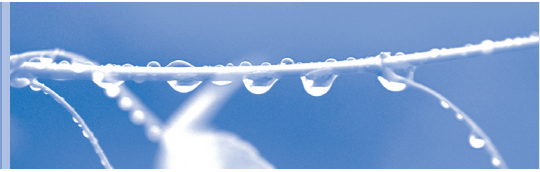
또한, 우리 춘계학술대회 조직위원회에서는 국제적 추세에 맞춰 조직위원회를 운영을 활성화 하여 행사 전반을 보다 체계적으로 기획 및 운영하고 있습니다. 이번 춘계학술대회도 춘계학술대회 조직위원회에서는 학회의 미래상에 부합되는 학술 프로그램의 내실화, 전문화의 기초를 이어나가도록 다양한 노력을 기울였습니다.

우리나라의 금속 및 재료분야 학술연구와 산업의 수준은 회원 여러분들께서 아시는 바와 같이 이미 세계 정상급에 올라 있습니다. 이러한 성과를 얻기까지 우리 학회 춘/추계 학술대회가 가 큰 기여를 해왔다고 자부하고 있습니다. 우리 학회는 그동안 매년 봄, 가을에 학술대회를 개최하여 금속 및 재료분야의 산·학·연 전문가들이 새로운 연구성과를 공유하고 학술정보를 실시간 교류하는 활동을 확대·발전시켜 왔습니다. 이러한 활발한 학술대회 활동이 밑바탕이 되어 우리 학회가 발간하는 3개의 SCI(E)학술논문지 Impact Factor가 높은 수준을 유지하고 있습니다.

그간 우리 학회가 이룩한 발전과 성과는 모두 회원님들의 열정적이고 헌신적인 연구와 참여의 노력들이 축적된 결과라고 생각합니다. 아무쪼록 이번 춘계학술대회에도 회원 여러분의 적극적 참여를 통해 성황리에 개최될 수 있도록 많은 협조를 부탁드립니다.

2019 춘계학술대회 조직위원장 변 지 영, 이 승 훈

행사 및 발표 진행 안내



- ❖ 대회 기간 : 2019년 4월24일 수요일 ~ 4월26일 금요일, 3일간
- ❖ 대회 장소 : 창원 CECO, TEL: 055-212-1000
- ❖ 학술대회 등록비
 - 24일(수)~26(금) 중식 및 25일(목) 간담회 석식 만찬이 포함 됩니다.
 - 2019 춘계학회 등록 시 읍저버로 한국부식방식학회 춘계학술대회 참관이 가능합니다.

구분	사전등록비			현장등록비		
	회원	회원+연회비 납부	비회원	회원	회원+연회비 납부	비회원
일반	140,000	200,000	210,000	160,000	220,000	230,000
학생	90,000	130,000	140,000	110,000	150,000	160,000

- ※ 사전등록 취소 및 환불은 4월 10일까지 가능합니다.
- ※ 만 65세 이상의 회원은 학술대회 등록비가 면제 되오니, 현장에서 등록하여 주시기 바랍니다.
- ※ 주차권은 제공되지 않습니다. 대중교통을 이용해 주시기 바랍니다.

구두세션 안내

❖ 구두 발표자료 준비

- 발표자료는 개인별로 이동용 저장 장치에 담아 오시기 바랍니다.(MS오피스 2010)
- 발표자료는 휴게시간을 이용하여 발표장 노트북에 미리 옮겨 두시기 바랍니다.
- 강연장에는 연사용 노트북이 준비되어 있으며, 개인노트북 연결 사용은 불가합니다.
- 발표자께서는 발표시간 20분 전까지 입장을 하셔야 합니다.

❖ 구두 발표 시간

- 일반발표 : 15분 발표, 10분 발표 후 5분간 질의응답으로 진행
- 초청강연 : 25분~30분(질의 및 응답 5분 포함)
- ※ 심포지엄의 발표시간은 심포지엄 별로 발표시간이 다르게 배정됨.

포스터세션 안내

- 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 우수포스터 시상안내

- 모든 포스터발표에 대해서 심사를 거친 후 우수포스터를 선정하여 시상을 하게 됩니다.
- 학생구두발표에 대해서 심사를 거친 후 우수발표에 대하여 시상을 하게 됩니다.

좌장위원, 포스터 심사위원 출석확인

- 좌장위원 : 좌장위원은 해당 발표장에 20분전에 입실 해 주시고 발표장 운영 요원에게 출석을 확인 해주시기 바랍니다.
- 포스터 심사위원 : 포스터 심사위원은 등록대 옆 포스터 운영 부스로 오셔서 출석 확인 후 심사용지를 수령 해주시기 바랍니다.

춘계학술행사 행사 일정

4월 24일 수요일

시간	행사 일정	비고
08:30-17:00	학술대회 행사등록	3층 등록대
09:00-12:00	구두세션 발표	각 발표장
12:00-13:00	점심시간	3층 컨벤션홀
13:00-18:00	구두세션 발표	각 발표장
16:00-18:00	튜토리얼 세션 [별도 등록]	700B호
18:30-20:30	학회상 수상자 및 역대회장 초청만찬	그랜드 머큐어 호텔 (구 풀만호텔)

4월 25일 목요일

시간	행사 일정	비고
08:30-17:00	학술대회 행사등록	3층 등록대
09:00-12:00	구두세션 발표	각 발표장
09:00-16:00	포스터세션 발표 I	3층 전시장
09:00-18:00	전시부스 홍보 진행	3층 전시장
11:00-12:00	포스터세션 질의 및 응답시간	3층 전시장
12:00-13:00	점심시간	3층 컨벤션홀
13:00-18:00	구두세션 발표	각 발표장
17:00-17:30	경품 추첨	3층 전시장
18:00-18:15	총회 강연	3층 컨벤션홀
18:15-20:00	총회 / 학회상 시상식 / 간담회	3층 컨벤션홀

4월 26일 금요일

시간	행사 일정	비고
08:30-15:00	학술대회 행사등록	3층 등록대
09:00-12:00	구두세션 발표	각 발표장
09:00-15:00	포스터세션 발표 II	3층 전시장
09:00-15:00	전시부스 홍보 진행	3층 전시장
11:00-12:00	포스터세션 질의 및 응답시간	3층 전시장
12:00-13:00	점심시간	3층 컨벤션홀
13:00-15:30	구두세션 발표	각 발표장
14:30-15:00	경품 추첨	3층 전시장

발표일정

4월 24일(수) 발표 일정

총 진행: 변지영, 이승훈 학술부회장/ 구두세션 진행: 박은수, 박노근, 최윤석 위원
 학생구두발표우수상 선정위원: 박은수, 박노근, 최윤석 위원
 튜토리얼 진행위원: 양철웅 학술이사

구분	구두 발표											
	601	602	603	604	605	606	607	600A	600B	700A	700B	302
08:30 ~17:00	행사 등록											
09:00 ~12:00	전산재료과학	비정질 재료의 Re-Search	나노소재	제7회 첨단 융복합 분석기술 심포지엄	Advanced Materials for Water Splitting	미래영구자석 심포지엄	적층제조 및 분말	타이타늄 심포지엄	고엔트로피 합금	철강	복합재료	CO ₂ 저감 제철기술 개발과제 2 차년도 연구발표회
12:00 ~13:00	점심 식사(3층 컨벤션홀)											
13:00 ~15:00	전산재료과학	비정질 재료의 Re-Search	제2회 고부가 금속재료 연구 및 교육 심포지엄 운영위원회 회의	제7회 첨단 융복합 분석기술 심포지엄	Advanced Materials for Water Splitting	미래영구자석 심포지엄	적층제조 및 분말	타이타늄 심포지엄	고엔트로피 합금	철강	생체재료	CO ₂ 저감 제철기술 개발과제 2 차년도 연구발표회
15:00 ~15:15	Break											
15:15 ~18:00	전산재료과학	비정질 재료의 Re-Search	제2회 고부가 금속재료 연구 및 교육 심포지엄	제7회 첨단 융복합 분석기술 심포지엄	Advanced Materials for Water Splitting	미래영구자석 심포지엄	적층제조 및 분말	타이타늄 심포지엄	고엔트로피 합금	철강	튜토리얼 강좌-신소재공학과 인공지능 (등록비 별도)	

※ 튜토리얼 강좌는 학술대회 등록비 외에 별도의 등록비를 납부 하셔야 참석 가능합니다.
 (석식은 별도로 제공하지 않습니다.)

발표일정

4월 25일(목) 발표 일정

총 진행: 변지영, 이승훈 학술부회장/ 구두세션 진행: 성백석 학술이사, 박주현, 최현주 위원
 학생구두발표우수상 선정위원: 성백석 학술이사, 박주현, 최현주 위원/ 포스터세션 진행위원: 박찬진 학술이사, 김정환, 신병하 위원
 우수포스터상 선정위원: 박찬진 학술이사, 김정환, 신병하 위원

구분	구두 발표											
	601	602	603	604	605	606	607	600A	600B	700A	700B	전시장 III
08:30 ~17:00	행사 등록											
09:00 ~12:00	비철금속	제5회 High-Entropy Alloy 심포지엄		제21회 피로 및 파괴 심포지엄		에너지재료	제12회 계장화 압입시험 및 미소강도 심포지엄	타이타늄	[뉴호라이즌] 금속 3D프린팅 공정 및 재료의 현재 상황과 미래 기회	철강계	문화재속 전통과학, 현대과학 기술과 만나다.	포스터세션 I
11:00 ~12:00	포스터 발표 질의 및 응답 시간 [우수포스터 심사발표자 정위치 요망]											
12:00 ~13:00	점심 식사(3층 컨벤션홀)											
13:00 ~15:00	비철금속	제5회 High-Entropy Alloy 심포지엄	나노소재의 특성측정 및 물성분석 기술	제21회 피로 및 파괴 심포지엄	에너지/기능소재 집합조직 심포지엄	상변태	제12회 계장화 압입시험 및 미소강도 심포지엄	타이타늄	[뉴호라이즌] 금속 3D프린팅 공정 및 재료의 현재 상황과 미래 기회	철강계		포스터세션 I
15:00 ~15:15	Break											
15:15 ~18:00	비철금속	제5회 High-Entropy Alloy 심포지엄	나노소재의 특성측정 및 물성분석 기술	제21회 피로 및 파괴 심포지엄	에너지/기능소재 집합조직 심포지엄	상변태	제12회 계장화 압입시험 및 미소강도 심포지엄	타이타늄	[뉴호라이즌] 금속 3D프린팅 공정 및 재료의 현재 상황과 미래 기회	철강계	여성세션	포스터세션 I
18:00 ~18:15	총회 강연 / 3층 컨벤션홀											
18:15 ~20:00	총회 및 학회상 시상식 / 3층 컨벤션홀											

발표일정

4월 26일(금) 발표 일정

총 진행: 변지영, 이승훈 학술부회장/ 구두세션 진행: 홍현욱 학술이사, 이영선, 김동익 위원
 학생구두발표우수상 선정위원: 홍현욱 학술이사, 이영선, 김동익 위원/ 포스터세션 진행위원: 안효준 학술이사, 김승언, 어광준 위원
 우수포스터상 선정위원: 안효준 학술이사, 김승언, 어광준 위원

구분	구두 발표												
	601	602	603	604	605	606	607	600A	600B	700A	700B	301/2	전시장 III
08:30 ~17:00	행사 등록												
09:00 ~12:00	마그네슘	열전재료	용접 및 접합	지르코늄 핵연료 피복관 개발 현황 심포지엄	재료강도	제13회 소재부품 안전 및 신뢰성 심포지엄	북한광물 자원의 원료소재화 기술개발 현황	감성소재 부품 심포지엄	알루미늄	나노 스케일 분석의 확산 및 무확산 상변태	제6회 수소재료 안전 심포지엄	제90회 철강기술 심포지엄	포스터세션 II
11:00 ~12:00	포스터 발표 질의 및 응답 시간 [우수포스터 심사·발표자 정위치 요망]												
12:00 ~13:00	점심 식사(3층 컨벤션홀)												
13:00 ~15:30	마그네슘	열전재료	소성가공	지르코늄 핵연료 피복관 개발 현황 심포지엄	재료강도	제13회 소재부품 안전 및 신뢰성 심포지엄		감성소재 부품 심포지엄	알루미늄	나노 스케일 분석의 확산 및 무확산 상변태	표면처리	제90회 철강기술 심포지엄	포스터세션 II

발표일정

포스터 발표 일정

4월 25일(목) 포스터 발표 (Poster - I)	4월 26일(금) 포스터 발표 (Poster - II)
<p>P1 제2회 고부가 금속재료 연구 및 교육심포지엄</p> <p>P2 철강</p> <p>P3 제21회 피로 및 파괴 심포지엄</p> <p>P4 생체재료</p> <p>P5 타이타늄</p> <p>P6 융합재료</p> <p>P7 에너지재료</p> <p>P8 마찰마모</p> <p>P9 가공-표면처리</p> <p>P10 나노소재</p> <p>P11 전산재료과학</p> <p>P12 복합재료</p> <p>P13 가공-주조 및 응고</p>	<p>P14 적층제조 및 분말</p> <p>P15 가공-열처리</p> <p>P16 재료강도</p> <p>P17 고엔트로피합금</p> <p>P18 비철금속</p> <p>P19 마그네슘</p> <p>P20 상변태</p> <p>P21 알루미늄</p> <p>P22 열전재료</p> <p>P23 전자재료</p> <p>P24 재료분석</p> <p>P25 집합조직</p> <p>P26 가공-소성가공</p> <p>P27 가공-용접 및 접합</p>

총회 강연

3층 컨벤션홀, 4월 25일(목) 18:00-18:15

좌장 : 변지영 학술부회장

AW-1 Utilization of Austenite for Steel Strengthening

박경태
한밭대학교

Austenite exhibits a variety of microstructural evolution during straining that is very limited in other steel phases. The representatives are strain induced martensitic transformation, mechanical twinning, and microbanding that are all associated with dislocation planar glide. These microstructural evolutions are the origins of the extended plasticity of austenite-based steels. On the same line with the extended plasticity, current development of the lean alloy design of the steel is based on such dynamic microstructural evolutions of austenite because they entirely depend on composition. Meanwhile, steel is currently facing the challenge of being replaced with lightweight materials in most structural engineering fields. Utilization of austenite is also extended to development of low-density steels that may offset a weight-saving drawback of steel against lightweight materials in some extent. For instance, the addition of Al to austenite appreciably reduces the steel density without hurting its extended plasticity. All these are the primary motivations that recent development of high strength steel focuses on utilizing the austenite phase.

In the presentation, the advantages of utilization of austenite for developing high strength steel mentioned above will be summarized. Additionally, some on-going studies regarding this subject in the presenter's laboratory are briefly introduced; two-stage strain hardening in the reversely transformed metastable austenite and aging behavior of TRIP-aided lean duplex stainless steel.

제90회 철강기술 심포지엄

"4차 산업혁명 시대, 인공지능을 활용한 철강 기술 개발"

301/2호, 4월 26일 09:00~16:00

Time	Title	Name/affiliattin
09:00~09:10	개회사	기술연구원장 최주 부사장 (포스코)
09:10~09:40	[Key Note] 4차 산업혁명과 제조혁신	김동섭 교수 (UNIST)
09:40~10:10	[Key Note] Smart Manufacturing Technology at CSC	Jih-Jau Jeng (CSC)
10:10~10:40	[Key Note] 4차 산업혁명과 철강업의 미래	정제호 (POSRI)
10:40~10:50	Coffee break	
10:50~11:20	[Key Note] 철강업에 적용 가능한 인공지능의 현재와 미래	이승철 교수 (POSTECH)
Session I . 인공지능을 활용한 철강 기술 개발 (1)		좌장 : 이덕만 그룹장 (포스코 제어계측연구그룹)
11:20~11:45	딥러닝을 활용한 철강소재 미세조직 상분석	박중철 (RIST)
11:45~12:10	3 세대 QP-TRIP 강 개발을 위한 기계학습의 활용	정혁재/구남훈 (현대제철)
12:10~13:30	중식	
Session II. 인공지능을 활용한 철강 기술 개발 (2)		좌장 : 안재환 실장 (현대제철 환경에너지기술실)
13:30~13:55	딥러닝을 이용한 표면 결함 검출 및 분류 기술	홍철진 (수아랩)/이수구 (이바코리아시스템)
13:55~14:20	제강공정 지능형 생산 체제 진행현황 및 계획	엄창호 (현대제철)
14:20~14:45	철강업의 특성과 인공지능 공정 최적화 모델 개발	이종석 교수 (성균관대)
14:45~15:00	Coffee break	
15:00~15:25	MAAL framework 기반의 smart factory 구현 방법론 및 적용사례	백훈 (마인즈랩)
15:25~15:50	궤도주행 화재감시 로봇 기술 개발	이성진 (포스코)

CO₂저감 제철기술(COOLSTAR*) 개발과제 2차년도 연구발표회

302호, 4월 24일(수)

진행 : 신봉주 책임연구원(한국에너지기술평가원)

COOLSTAR* : CO₂ Low Emission Technology of STEELmaking And hydrogen Reduction

□ 과제개요

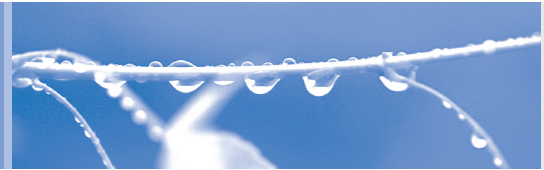
- 온실가스 감축의무에 대응하여, 세계 최고 설비 경쟁력을 유지하면서 CO₂ 감축이 가능한 차세대 제철 설비로의 전환을 위한 기술개발
- 탄소(C) 공정 대신 수소(H₂)를 환원제로 활용하는 수소환원제철기술 개발을 통해 혁신적인 CO₂ 배출 저감기술 확보 기대

정의 및 핵심 원천 기술	개발 목표
<p>정의 및 핵심 원천 기술</p> <p>고로 수소 증폭 전기로</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 탄소기반 공정을 수소 hybrid 공정으로 전환 ○ 제철소 발생 부생가스 기반 수소 증폭기술 개발 ○ 대체철원 기반 제강기술 개발 	<p>극한적 CO₂ 감축 잠재량 확보(15%)를 위한 하이브리드 제철 기술 개발</p>
	단계별 전략
	<ul style="list-style-type: none"> ○ P단계 기술개발(요소기술 공정화) : '17 ~ '24 ○ 상용기술 예비단계(실공정 적용 검토) : '24 ~ '30 ○ 상용화 단계(실용화 기술) : '30 ~
	기대 효과
	<ul style="list-style-type: none"> ○ CO₂ 저감 기술적 Option 확보 및 검증 ○ CO₂ 감축 기술의 경제성 확보 로드맵 ○ Environmental Solution Maker산업 기반 구축

□ 기술구성

- 철강산업 전반에 대한 온실가스 저감기술 개발을 위해 3가지 세부과제(고로, 수소증폭, 전기로) 기술개발 추진 중.(전담기관 : 한국에너지기술평가원)
- 기술개발을 위해 22개 산·학·연 기관이 참여, 현재 2차년도 과제수행 중.

구분	제 1세부 (세부주관 POSCO)	제 2세부 (세부주관 SAC)	제 3세부 (세부주관 현대제철)
	고로 기반 CO ₂ 저감형 Hybrid 제철기술 개발	부생가스 기반 CO ₂ 저감형 Hybrid 환원제철 증폭 및 개질 기술 개발	대체 철원 기반 제철공정 CO ₂ 저감기술 개발
	이상호 (POSCO)	유병돈 (SAC)	최주태 (Hyundai Steel)
담당 기술개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 합수소 자원의 고로 기반 제철공정 적용 기술 개발 ▪ 저탄소 대체 철원류의 고로 기반 제철공정 활용 기술 개발 ▪ 부생가스 활용 CO₂ 자원화 및 에너지 회수/효율 향상 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 효율적 수소 증폭 및 수소 고부가가치 활용기술개발 ▪ 제철 부생가스중 수소개질 및 증폭공정에서 발생하는 CO₂ 분리 및 활용 기술개발 ▪ Hybrid 제철용 수소정제/증폭/개질 설비 엔지니어링 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 부생가스에 의한 에너지 절감형 DRI 제조 및 사용기술 개발(원천기술) ▪ 전기로 공정 열효율 향상 및 고효율 조업 기술개발 ▪ CO₂ 저감을 위한 전로 공정 중 철원 다량 이용 기술 개발



전산재료과학

위원장: 차필령(국민대학교)
총무간사: 한상수(한국과학기술연구원)
Room 601, 4월 24일

좌장 : 한상수 (한국과학기술연구원)

전산1-1 | 09:00

AI 방열판의 거칠기에 따른 공기열전달 계수 변화를 통한 300W, 500W LED 냉각 효율 전산모사

이동희¹, 이종현¹
¹충남대학교 공대 신소재공학부

전산1-2 | 09:15

Phase-Field 기법을 이용한 TSV 결정립 성장 시뮬레이션

조민규¹, 차필령¹
¹국민대학교.

전산1-3 | 09:30

다공성 매체에서의 유체 흐름 시뮬레이션

김용유¹, 김희수¹
¹조선대학교 첨단소재공학과.

전산1-4 | 09:45

Computational Design of Alloys with Minimal Galvanic Corrosion
KRISHNAMOCHAN T¹, Seung-Cheol Lee², Pi-Ryung Cha³
¹Korean Institute of Science and Technology (KIST), ²Indo Korea Science and Technology Center, ³Kookmin University.

전산1-5 | 10:00

Comparison of the Thermoelastic Micromechanical Response of Polycrystalline Microstructures from the Finite Element and Fast Fourier Transforms Method

이명진¹, 손영균¹, 이석빈¹
¹울산과학기술원.

전산1-6 | 10:15

원자단위 전산모사를 통한 Mg-X-Zn (X=Al, Ca) 합금의 Solute Clustering 거동 해석

장효선¹, 이병주¹
¹포항공과대학교.

전산1-7 | 10:30

Inertial Effect on Fast-Moving Dislocation in Nanoscale System

Soon Kim¹, Sung Youb Kim¹
¹Ulsan National Institute of Science and Technology.

좌장: 권용우 (홍익대학교)

전산2-1 | 10:45

기계학습을 이용한 Al-Si 주조 합금의 미세조직 분류 및 분석

정상준¹, 황인규², 김희수¹
¹조선대학교 첨단소재공학과, ²조선대학교 재료공학과.

전산2-2 | 11:00

PCA 및 CGCNN 기반 나노입자의 DOS 함수 예측 머신러닝 모델 개발

방기훈¹, 여병철², 한상수², 이혁모¹
¹한국과학기술원(KAIST), ²한국과학기술연구원(KIST).

전산2-3 | 11:15

가우시안 프로세스 회귀모델을 이용한 미세조직 기반 기계적 특성 예측

박형근¹, 정재면¹, 윤재익¹, 김형섭¹
¹포항공과대학교.

전산2-4 | 11:30

First-Principle 계산을 활용한 SiVCrMn0.3Fe0.5CoNi 7원계의 조성
과 온도에 따른 Intrinsic Stacking Fault Energy Map 구축 및
Transformation Induced Plasticity 영역 예측

도경연¹, 이동화¹
¹포항공과대학교 신소재공학과.

전산2-5 | 11:45

직접 합성 촉매로서 우수한 활성을 가지는 Miscible PtAu 나노 입자
DFT 계산 및 실험

이홍우¹, 이관영², 한상수¹
¹한국과학기술연구원(KIST) 계산과학연구소, ²고려대학교 화공생명공학과.

전산2-6 | 12:00

Configuration Force Acting on Dynamic Dislocation in Nanoscale System

Soon Kim¹, Hokun Kim¹, Sung Youb Kim¹
¹Ulsan National Institute of Science and Technology.

좌장 : 이동화 (포항공과대학교 신소재공학과)

전산3-1 | 13:00

중수로 압력관 재료의 중성자 조사 유기 변형 예측을 위한 결정 소성 유
한요소 해석 연구

안동현¹, 이경근¹, 권준현¹
¹한국원자력연구원.

전산3-2 | 13:15

Prediction of Ms Temperature with a Phase-Field Method

Kyeong-Min Kim¹, JaeSang Lee², Byeong-Joo Lee¹
¹POSTECH, ²GIFT.

전산3-3 | 13:30

멀티스케일 모델링을 이용한 래스 마르텐사이트 강의 굽힘 변형 분석

성유진¹, 김동혁¹, 김정기¹, 서민홍², 김형섭¹
¹포항공과대학교 신소재공학과, ²포스코.

전산3-4 | 13:45

Analysis of Reset Stuck Failure in Phase-Change Memory Using Finite Element Analysis
Hwanwook Lee¹, Yongwoo Kwon¹
¹Hongik University.

전산3-5 | 14:00

Role of Physiochemical Properties and Ionic Migration in the Conducting Filament of Resistive Switching Memories: A Phase Field Study
Arijit Roy¹, Pil-Ryung Cha¹
¹Kookmin University.

Break Time | 14:15

좌장 : 김승철 (한국과학기술연구원)

전산4-1 | 14:25

초청강연

Learning Surface Interactions to Accelerate the Discovery of N2 Electroreduction Catalysts
김동훈¹, 김명준¹, 여병철¹, 한상수¹
¹한국과학기술연구원.

전산4-2 | 14:55

Multilayered Network for the Optimization of ReaxFF Parameters
고희연¹, 한상수¹
¹한국과학기술연구원(KIST).

전산4-3 | 15:10

Development of 2NNMEAM Interatomic Potential for Na Unary and Na-Sn Binary Systems
김용민¹, 고원석², 이병주³
¹포항공대 신소재공학과 대학원, ²울산대학교 첨단소재공학부, ³포항공대 신소재공학과.

전산4-4 | 15:25

Investigation of Densification Behavior of Contacting Particles Using a 2d Monte Carlo Potts Model
손영균¹, 이석빈¹
¹울산과학기술원.

전산4-5 | 15:40

Computational Approach to Investigate Structural and Electronic Properties of Carbon Allotropes
Babu Ram¹, Hiroshi Mizuseki¹
¹KIST.

전산4-6 | 15:55

Role of Dopant Ion on Ionic Transport Properties in Zirconia/Zirconia and Zirconia/Ceria Heterointerfaces for Solid Oxide Fuel Cell Applications
Mehmet Emin Kilic¹, Aloysius Soon², Kwang-Ryeol Lee¹
¹KIST, ²Yonsei University.

Break Time | 16:10

좌장 : 김동훈 (한국과학기술연구원)

전산5-1 | 16:20

Electronic Structure and Band Alignments Using the Self-Consistent Hybrid Density Functional Methods
김형준¹, 김원준², 김세준¹
¹한국과학기술원(KAIST), ²CNRS.

전산5-2 | 16:35

연료전지용 ORR 촉매 전산모사 웹플랫폼 개발
김승철¹, 이민호², 이병주³, 이찬우⁴, 김용훈⁵
¹한국과학기술연구원, ²(주) 버추얼랩, ³POSTECH, ⁴한국에너지기술연구원, ⁵한국과학기술원.

전산5-3 | 16:50

Anisotropic Growth of Pd on Pd Nanocubes Promotes Direct Synthesis of Hydrogen Peroxide
Min-Cheol Kim¹, Geun-Ho Han², Xiangyun Xiao³, Joseph Song¹, Hong-Kyu Kim¹, Jae-Pyoung Ahn¹, Sang Soo Han¹, Kwan-Young Lee², Taekyung Yu³
¹Korean Institute of Science and Technology (KIST), ²Korea University, ³Kyung Hee University.

전산5-4 | 17:05

First-Principles Study on the Elastic Constants of Epsilon-Carbide in Steels
장재훈¹, 박성준¹, 이태호¹
¹한국기계연구원부설 재료연구소.

전산5-5 | 17:20

Density Functional Studies for the Development of Highly Efficient and Stable Pb-Free Perovskites Solar Cells.
홍기하¹
¹국립한밭대학교.

전산5-6 | 17:35

Design of a Novel Artificial Solid Electrolyte Interface and Anode Material for Lithium Metal Batteries
Deepika¹, Kwang-Ryeol Lee¹
¹KIST

전산5-7 | 17:50

An optimized and efficient platform for managing large amount of materials data - KIST NoMAD
Samuel Boateng^{1,2}, Kim Chansoo¹, Deepika Goyal¹, Cho Haneol¹, Kyu Hwan Lee¹, Kwang Ryeol Lee¹
¹KIST, ²Korea University of Science and Technology

비정질 재료의 Re-Search
위원장: 이승훈(경북대학교)
실무위원: 이민하 (한국생산기술연구원), 이진규 (공주대학교), 김기범 (세종대학교), 박은수(서울대학교)
Room 602, 4월 24일

좌장: 이민하 (한국생산기술연구원)

비정질1-1 | 10:30

비정질 합금을 전구체로 활용한 구조용/기능용 소재 개발
김도향¹

¹연세대학교 신소재공학과.

비정질1-2 | 11:00

Resettable Liquid Metal Harmonic Drive 개발

유근희¹, 이동우², 박은수¹

¹서울대학교, ²성균관대학교.

비정질1-3 | 11:30

Role of Interfacial Free Energy on Classical and Non-Classical Nucleation

이근우¹

¹한국표준과학연구원.

좌장: 이진규 (공주대학교)

비정질2-1 | 13:00

Big Data Collection of Multi-Component Alloys Using Thermal, Mechanical, and Electrical High-Throughput Experiments

이동우¹

¹성균관대학교 자연과학캠퍼스.

비정질2-2 | 13:30

Atom Probe Tomography of Amorphous and Nanostructured Materials

최벽파¹

¹한국과학기술원.

비정질2-3 | 14:00

Nanocrystalline Shape Memory Alloys Fabricated by Using Metallic Glass Precursor with Polymorphous Crystallization Behavior

홍성환¹, 김기범¹

¹세종대학교 나노신소재공학과.

비정질2-4 | 14:30

Role of Atomic-Scale Chemical Heterogeneities in Improving the Plasticity of Cu-Zr-Ag Bulk Amorphous Alloys

이재철¹, 김홍규², 박경원²

¹고려대학교, ²한국과학기술연구원.

Break Time | 15:00

좌장: 김기범 (세종대학교)

비정질3-1 | 15:10

비정질금속의 수소와의 상호작용 및 수소에너지 응용

서진유¹, 줄리앙 파도누보¹

¹한국과학기술연구원.

비정질3-2 | 15:40

Thermal Spray 공정으로 제조된 Fe Base Metallic Glass 코팅층의 미세조직 및 마모 특성

이기안¹, 함기수¹, 김경욱¹, 조근상², 김필²

¹인하대학교 신소재공학과, ²코오롱인더스트리(주).

비정질3-3 | 16:10

비정질 분말의 고화성형 공정을 이용한 부품 Scale-Up 기술의 한계 및 발전 전망

김휘준¹, 이연주¹, 김형균², 권도훈¹, 차은지¹

¹한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소 주조공정그룹, ²한국생산기술연구원 강릉지역본부.

AW-6 | 16:40

기술상 수상기념강연

비정질합금 부품 제조를 위한 액상-고상 공정 기술 개발 및 응용 전망
나영상¹, 임가람¹, 김용학¹

¹한국기계연구원 부설 재료연구소.

비정질3-4 | 17:10

Bridging the Chasm of Industrial Adoption of Bulk Metallic Glass Materials and via Additive Manufacturing Technology

최한신¹

¹한국생산기술연구원.

나노소재

위원장: 류호준(한국전자통신연구원)

총무간사: 신병하(한국과학기술원)

Room 603, 4월 24일

좌장 : 서동우 (한국전자통신연구원)

나노1-1 | 09:00

Enhanced Breath Acetone Sensing Performance of Catalyst (Pd, Pt, Au)-Decorated SnO₂ Nanorod Arrays

Yeonji Jang¹, Ran Yoo¹, Hwaebong Jeong¹, Junho Lee¹, Yongsahm Choe¹, Wooyoung Lee¹

¹Yonsei University Department of Materials Science and Engineering.

나노1-2 | 09:15

Selective Detection Acetylene Sensors: Al- and In- Doped ZnO Quantum Dots for Detection of Acetylene Dissolved Transformer Oil

Minsun Park¹, Jun Ho Lee¹, Yunji Park¹, Ran Yoo¹, Hwaebong Jung¹, Hyun-Sook Lee¹, Wooyoung Lee¹

¹Yonsei University Department of Materials Science and Engineering.

나노1-3 | 09:30

Selective Detection of Acetylene by SnO₂ Nanorod Based Sensors Integrated with a Packed Column for Gas Chromatography

Jun Ho Lee¹, Min Sun Park¹, Hwaebong Jung¹, Yong-Sahm Choe², Wooyoung Lee¹

¹Yonsei University, ²SenLab.

나노1-4 | 09:45

Breath Analysis Using Metal Oxide Based Gas Sensors with Miniaturized Gas Chromatographic Column

Hwaebong Jung¹, Wonhee Cho², Junho Lee¹, Yeonji Jang¹, Hyun-Sook Lee¹, Yong-Sahm Choe³, Justin Y. Jeon², Wooyoung Lee¹

¹Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University.

²Department of Sport Industry Studies, Yonsei University. ³Isenlab Inc.

나노1-5 | 10:00

Reversible Humidity Responsive Behavior of PS:PEG-Based Porous Polymer Films and Understanding the Cross-Sensitivity of a Luminescent Oxygen Sensor

이소연¹, 박진우¹
¹연세대학교 공과대학 신소재공학부 재료계면연구실.

좌장: 최민재 (한국원자력연구원)

나노2-1 | 10:15

Synthesis of Boron Nitride and Its Application to Thermal and Optical Materials

정재용¹, 송병관², 김양도², 김영국¹
¹재료연구소, ²부산대학교.

나노2-2 | 10:30

HCl 농도에 따른 WO3 구조체의 광전기화학적 특성 연구

전승환¹, 홍예진¹, 정현진¹, 류혁현¹
¹인제대학교 나노융합공학부.

나노2-3 | 10:45

Nitrogen Oxide Detecting Property of CuO Nanoporous Films

이원지¹, 윤성호², 김현종¹, 박진성³, 이호년¹, 황세훈¹
¹한국생산기술연구원 인천지역본부, ²광림정공, ³한양대학교 신소재공학부.

좌장: 홍승범 (한국과학기술원)

나노3-1 | 11:15

Plasmonic Nano-Colour Formation of TiON-Au and TiON-Ag Thin Film on Stainless Steel Substrate

Md. Abdur Rahman¹, Kwang Deok Choi¹, Yun Jeong Choe¹, In Uk Baek¹, Yun Hee Kim¹, Sang Hoon Kim¹, Seung Yong Lee¹, So Hye Cho¹, Ji Young Byun¹
¹Korea Institute of Science and Technology (KIST).

나노3-2 | 11:30

AI 다성분계 합금분말의 기계적합금화 거동에 따른 소결특성 및 미세조직 분석

이정환^{1,3}, 장준호^{1,2}, 김주훈¹, 박현국¹, 홍성길³, 오익현¹
¹한국생산기술연구원, ²전북대학교 신소재공학과, ³전남대학교 신소재공학과.

나노3-3 | 11:45

Investigation on Mechanical Response of NiTi-Based Shape Memory Nanoparticles

김지영¹, 김소연², 고원석³, 박은수¹
¹서울대학교 재료공학부 신소재공동연구소, ²Massachusetts Institute of Technology Department of Materials Science and Engineering, ³울산대학교 첨단소재공학부.

제2회 고부가 금속재료 연구 및 교육 심포지엄

위원장: 이준호(고려대학교)
 실무위원: 이명규(서울대학교), 손일(연세대학교),
 박주현(한양대학교)
 Room 603, 4월 24일

좌장 : 이명규 (서울대학교)

고부가1-1 | 16:00

In-Situ Observation Technology for High Temperature Experiments

Joonho Lee^{1,2}
¹Department of Materials Science and Engineering, Korea University, ²CRÈME, Korea University.

고부가1-2 | 16:30

Fundamentals of TiO₂-Based Welding Fluxes for High Mn-Containing Advanced High Strength Steel Applications

손일¹, 김종배²
¹연세대학교 공과대학 신소재공학과, ²현대중공업.

고부가1-3 | 17:00

Smart Factory: Thermodynamic Databases and Process Simulation Models for Steelmaking Process

Marie-Aline Van Ende¹, 정인호¹
¹서울대학교 재료공학부.

고부가1-4 | 17:30

Fundamentals and Applications of Slag Properties for Producing Clean Steels

Joo Hyun Park¹
¹Hanyang University.

제7회 첨단융복합 분석기술 심포지엄

위원장: 성백석(한국원자력연구원)
 실무위원: 양철웅(성균관대학교), 우완측(원자력연구원),
 신은주(원자력연구원), 장혜정(KIST)
 Room 604, 4월 24일

좌장 : 김태주 (한국원자력연구원)

융복합1-1 | 10:00

하나로 중성자 분석법을 활용한 문화재 연구

김태주¹, 김종열¹, 전병일¹, 우완측¹, 성백석¹
¹한국원자력연구원.

융복합1-2 | 10:30

중성자 Bragg-Edge 영상을 이용한 철강 재료의 상분포 가시화

김종열¹, 김태주¹, 전병일¹, 우완측¹, 성백석¹
¹ 한국원자력연구원.

융복합1-3 | 11:00

The Application of Neutron Grating Interferometry for Material Research - Structural Characterization of Electric Steel, Industrial Ceramic, and Metal Additive Manufactured Component Using Dark-Field Imaging

Youngju Kim¹, Deaseung Kim², Jongyul Kim¹, Seung Wook Lee¹
¹School of Mechanical Engineering, Pusan National University, ²Neutron Science Center, Korea Atomic Energy Research Institute.

융복합1-4 | 11:30

퍼미에이션과 EBSD 분석을 통한 수소취성 메커니즘 연구

강남현¹, 박철호¹, 박한지¹, 이정훈¹
¹부산대학교.

좌장 : 우완측 (한국원자력연구원)

응복합2-1 | 13:00

적층결합에너지 결정을 위한 중성자 회절파형 분석: 스테인리스 강 및 CrCoNi 엔트로피강 분석 예
우원측¹, 김동규², 정재석³, 채호병⁴, 홍민기⁴, 이수열⁴, S. Harjo⁵,
¹원자력연구원, ²울산대학교, ³두산중공업, ⁴충남대학교, ⁵J-PARC, Japan

응복합2-2 | 13:30

Characterization of Hot Deformed Corrosion-Resistant Lightweight Steels by Using Diffraction Peak Profile Analysis
Jae-Suk Jeong¹, Jongho Shin¹, Jeon-Young Song¹, Seong-Jun Park², Jaeun Lee³, Heung Nam Han³,
¹Doosan Heavy Industries & Construction, ²Korea Institute of Materials Science, ³Seoul National University

응복합2-3 | 14:00

Development of Computationally Efficient Elasto-Viscoplastic Self-Consistent Model
Youngung Jeong¹, Carlos N. Tomé²
¹Changwon National University, ²MST Division, Los Alamos National Laboratory.

응복합2-4 | 14:30

사용후 핵연료 저장 및 운송용 Gd-B-스테인레스 강 제조에 유한 요소법 적용 및 소재의 특성 연구
백열¹, 강보경¹, 정무영¹, 최웅¹, 문병문²
¹단국대학교 신소재공학과, ²한국생산기술연구원.

Break Time | 15:00

좌장 : 성백석 (한국원자력연구원)

응복합3-1 | 15:15

Finding a New Magnetic Skyrmion Structure Using Lorentz TEM
Juyoung Jeong^{1,2}, Jeehoon Kim², Hye Jung Chang^{1,3}
¹Advanced Analysis Center, Korea Institute of Science and Technology
²Department of Physics, Pohang University of Science and Technology
³Division of Nano & Information Technology, KIST School, University of Science and Technology

응복합3-2 | 15:45

중성자 산란을 적용한 철계 영구자석 분석
이준혁¹, 백연경², 이정구², 이성수¹
¹한국원자력연구원, ²한국기계연구원 재료연구소.

응복합3-3 | 16:15

Introduction of KIST-USANS Instrument at HANARO Cold Neutron Facility and Its Possible Application to Magnetic Materials
Man-Ho Kim¹
¹Korea Institute of Science and Technology

응복합3-4 | 16:45

중성자 산란을 이용한 철강 재료 내의 나노 구조 분석 연구
성백석¹, 신은주¹
¹한국원자력연구원, ²중성자과학연구센터.

Advanced Materials for Water Splitting

위원장: 윤명환(광주과학기술원)
실무위원: 강기석(서울대학교), 이관형(연세대학교)
Room 605, 4월 24일

좌장 : 심욱 (전남대학교)

Water1-1 | 09:30 초청강연

Boosting Oxygen Evolution Reaction Activity via Morphology- and Defect-Engineered Catalysts
Sang Hoon Joo¹
¹UNIST.

Water1-2 | 10:00 초청강연

Design of Aluminum Alloys for Fast On-Board Hydrogen Production from the Hydrolysis in Alkaline Water
KwangSup Eom¹
¹Gwangju Institute of Science and Technology (GIST).

Water1-3 | 10:30 초청강연

Production and Storage of Hydrogen Energy Based on the Nitrogen Cycle
Chang Hyuck Choi¹
¹GIST.

Water1-4 | 11:00 초청강연

일체형 가역 연료전지 및 전기화학적 암모니아 합성을 통한 수소 생산, 활용 및 저장
박현서¹
¹한국과학기술연구원 청정신기술연구소 수소연료전지연구단.

Water1-5 | 11:30

Developing Efficient Water Splitting Catalyst Using Pyrophosphate-Based Materials
김현아¹, 박지민¹, 남기태¹, 강기석¹
¹서울대학교.

Break Time | 11:45

좌장 : 송승우 (한국표준과학연구원)

Water2-1 | 13:00 초청강연

Electrocatalytic Carbon Dioxide Conversion on Cu Catalyst
권영국¹
¹한국화학연구원.

Water2-2 | 13:30 초청강연

Computational Design of Electrochemical Catalysts for Small Molecule Activation
김형준¹
¹한국과학기술원(KAIST).

Water2-3 | 14:00 초청강연

Electrocatalytic CO2 Reduction with Nanomaterials
황윤정¹, 원다혜²
¹한국과학기술연구원(KIST), ²한국과학기술연구원.

Water2-4 | 14:30 초청강연

Current Challenge in Design for Water Oxidizing Electrocatalysts
남기태¹

¹서울대학교 공과대학 재료공학부.

Water2-5 | 15:00

Metal-Organic Frameworks Derived Cobalt Disulfide Nanoparticles
as Efficient Bifunctional Electrocatalysts for Overall Water Splitting
안인경¹, 주원호¹, 이지훈², 김지용¹, 이기백¹, 주영창¹

¹서울대학교 재료공학부, ²재료연구소 에너지융합소재연구센터.

Break Time | 15:15

좌장 : 이상한 (GIST)

Water3-1 | 15:25

Solution-Based Low Temperature Photochemical Synthesis of
BiVO₄ Photoanode for Practical Solar Water Splitting

Sang Yun Jeong¹, Won-June Lee¹, Myung-Han Yoon¹, Sanghan Lee¹

¹광주과학기술원 신소재공학과.

Water3-2 | 15:40

Visualizing and Characterizing the Enhanced Photoelectrochemical
Hydrgen Generation by an Atomically Thin Heterojunction Catalyst
via Reducing Overpotential

이재윤¹, 강성우², 이동훈¹, 최석훈², 양승훈¹, 김강원³, 김윤석¹, 권기창², 최수호⁴,
정현식³, 한승우², 장호원², 이철호¹

¹고려대학교 KU-KIST 융합대학원, ²서울대학교 재료공학과, ³서강대학교 물
리학과, ⁴동국대학교 물리학과.

Water3-3 | 15:55

Amorphous Multinary Phyllosilicate Catalysts for Electrochemical
Water Oxidation

Byunghoon Kim¹, Ju Seong Kim², Kisuk Kang²

¹서울대학교 재료공학부 대학원, ²서울대학교 재료공학부.

Water3-4 | 16:10 초청강연

Heterogenization of Molecular Catalysts for Solar Water Oxidation
류정기¹

¹울산과학기술원.

Water3-5 | 16:40 초청강연

Design Strategies of Nanostructured Compound Electrodes for
High-Performance Photoelectrochemical Water Splitting

Yung-Eun Sung¹, Jin Soo Kang¹

¹Seoul National University.

미래연구자석 심포지엄

위원장: 이우영(연세대학교)
실무위원: 유상임(서울대학교), 최판규(MTI),
임혜인(숙명여자대학교), 이정구(재료연구소)
Room 606, 4월 24일

좌장 : 유상임 (서울대학교)

미래1-1 | 10:00 초청강연

The Fourth Industrial Revolution and Future Permanent Magnets
이우영¹

¹연세대학교.

미래1-2 | 10:30 초청강연

Study on Fabrication of Anisotropic Nd-Fe-B Bulk Magnet using
HDDR powder

Jung Goo Lee¹, Jae-Gyeong Yoo^{1,2}, Hee-Ryoung Chan¹, Youn-Kyoung
Baek¹, Ji-Hun Yu¹, Yang-Do Kim², Hae-Woong Kwon³

¹Korea Institute of Materials Science, ²Pusan National University,
³Pukyong National University.

미래1-3 | 11:00 초청강연

Futuristic Nd-Fe-B-Type Magnet with Lower Operating
Temperature (Electrically Highly Resistive Magnet)

Hae-Woong Kwon¹, Min-Seok Kang¹, Kyung-Min Kim², Jung-Goo Lee²,
Ji-Hoon Yu², Kwang-Ho Shin³

¹Pukyong National University, ²Korea Institute of Materials Science,
³Kyungsung University.

미래1-4 | 11:30 초청강연

First-Principles Study on Permanent Magnets

M. B. Hong¹, J. S. Park¹, Tuvshin Dorjsuren², Ochirkhuyag Tumentsereg²,
Dorj Odkhuru², Soon Cheol Hong¹

¹University of Ulsan, ²Incheon National University.

좌장 : 이우영 (연세대학교)

미래2-1 | 13:30 초청강연

Microstructures and Corresponding Magnetic Properties of
Hexaferrite Nanopowders

Jin Bae Kim¹

¹LG Electronics.

미래2-2 | 14:00 초청강연

Improvement of Microwave Absorption Properties for Partially
Zn-Substituted BaY-Type Hexaferrites

Sang-Im Yoo¹, Jae-Hyoung You², Sungjoon Choi², Seung-young Park³

¹Department of Materials Science and Engineering, Seoul National
University, ²Seoul National University, ³Korea Basic Science Institue.

미래2-3 | 14:30 초청강연

희토산업현황 및 소성변형 자석

김택수¹, 조주영²

¹한국생산기술연구원 한라혁신센터, ²한국생산기술연구원 한국희소금속산업
기술센터.

좌장 : 이정구 (한국기계연구원 부설 재료연구소)

미래3-1 | 15:15 초청강연

Development of Next Generation Rare-Earth-Free L10-FeNi Hard
Magnet

임혜인¹

¹숙명여자대학교.

미래3-2 | 15:45 초청강연

Challenging Issues for Next Generation Permanent Magnets
Jong-Woo Kim¹, Yang Yang¹, J. Park¹, J.T. Lim¹, C.-W. Ahn¹, Y. Min¹,
G.-T. Hwang¹, C.-W. Ahn¹, J.-J. Choi¹, B.-D. Hahn¹, C.-J. Choi¹
¹KIMS.

미래3-3 | 16:15 초청강연

Visualizing the Magnetic Structures in a Scanning Transmission
Electron Microscopy
최시영¹
¹포항공과대학교 신소재공학과.

적층제조 및 분말

위원장: 김형섭(포항공과대학교)
총무간사: 홍순직(공주대학교),
강민철(한국마그네슘기술연구조합), 최윤석(부산대학교)
Room 607, 4월 24일

좌장 : 양상선 (재료연구소)

적층1-1 | 09:00

Inconel 718 합금 Selective Laser Melting 공정조건별 열간류응력, 미
세구조 및 기계적 특성 연구
박정현¹, 김원래¹, 방경배¹, 이기안², 김형균^{*1}
¹한국생산기술연구원 강원지역본부, ²인하대학교 신소재공학과.

적층1-2 | 09:15

Stainless Steel 316L의 고밀도 시편 제작을 위한 Selective Laser
Melting 공정의 에너지 밀도 및 에너지 밀도에 따른 기계적 및 화학적
특성 변화 연구
방경배¹, 김원래¹, 박정현¹, 현승균², 김형균¹
¹한국생산기술연구원, ²인하대학교.

적층1-3 | 09:30

전자빔 적층가공한 Inconel 718 초합금의 적층방향 의존성
(Dependence of Build Direction in Electron-Beam Additively
Manufactured Inconel 718 Superalloys)
박근태¹, 이해진¹, 정석준¹, 하태권², 민석홍², 이병수¹
¹한국생산기술연구원 적층성형가공그룹, ²강릉원주대학교 신소재공학과.

적층1-4 | 09:45

선택적 레이저 용융 기법으로 제조한 316L 스테인리스 강의 미세구조
및 기공이 기계적 이방성에 미치는 영향 분석
전진명¹, 박정민¹, 유지훈², 김정기¹, 성유진¹, 박선홍³, 김형섭¹
¹포항공과대학교 신소재공학과, ²한국재료연구소 분말/세라믹연구본부, ³포항
산업과학연구원 재료/공정연구소.

적층1-5 | 10:00

정전 분체 코팅 공정을 이용한 Austenitic Stainless Steel Foam의
제조 및 상온 압축 거동
강태훈¹, 김규식¹, 윤종열², 이민정², 김병기³, 이기안^{*1}
¹인하대학교 신소재공학과, ²재료연구소, ³울산대학교.

적층1-6 | 10:15

Investigation on Meltpool Oxidation and Its Effect on Mechanical
Property in Powder Feed Type Additive Manufacturing
어두림¹, 박순홍², 조중욱¹
¹포항공과대학교 철강대학원, ²포항산업과학연구원(RIST).

Break Time | 10:30

좌장 : 최윤석 (부산대학교)

적층2-1 | 10:40

원전 안전등급 밸브 적층제조와 표준 인증 활동
강석훈¹, 이창규¹, 이원희², 박남규³, 안희성⁴
¹한국원자력연구원, ²(주)삼신, ³한전원자력연료(주), ⁴(주)비즈.

적층2-2 | 10:55

발전용 가스터빈 부품 제조를 위한 금속적층제조공정 특화설계 및 공정
변수 개발
신영호¹, 조현철¹, 이재웅¹
¹두산중공업(주) 소재기술개발팀.

적층2-3 | 11:10

전자빔 적층가공으로 제조한 순수 티타늄 다공성 소재의 미세조직 및
기계적 특성에 미치는 예열공정의 영향
정석준¹, 박근태¹, 이해진¹, 김윤준², 이병수¹
¹한국생산기술연구원, ²인하대학교 신소재공학과.

적층2-4 | 11:25

전자빔 적층가공으로 제조한 Rene80 초합금의 미세조직 및 기계적
특성에 대한 연구
이해진¹, 정석준², 박근태², 이병수¹
¹한국생산기술연구원, ²인하대학교 신소재공학과.

적층2-5 | 11:40

Effect of Process Parameters on Crystallographic Texture
Formation of Pure Tantalum Fabricated by Selective Laser Melting
Jong-Yeong Oh¹, Takuya ISHIMOTO¹, Takayoshi NAKANO¹
¹Osaka University.

좌장 : 홍순직 (공주대학교)

적층3-1 | 13:00

적층된 용융풀(Melt Pool)의 형상 및 결합의 분석 및 예측을 위한 기초
연구
최윤석¹, 이슬비¹, 김재웅¹, 홍재근², 신동원³
¹부산대학교 재료공학부, ²재료연구소 타이타늄연구실, ³Oak Ridge National
Laboratory.

적층3-2 | 13:15

Powder Bed Fusion (PBF) 공정으로 형성된 용융풀(Melt Pool) 해석
을 위한 열원 모델의 투과 깊이 및 흡수도의 영향
김재웅¹, 이슬비¹, 홍재근², 최윤석¹
¹부산대학교 재료공학과, ²재료연구소 타이타늄 연구실.

적층3-3 | 13:30

Machine Learning 을 이용한 용융풀 (Melt-Pool) 예측에 관한 기초 연
구
이슬비¹, 김재웅¹, 홍재근², 신동원³, 최윤석¹
¹부산대학교 재료공학부, ²재료연구소 타이타늄연구실, ³Oak Ridge National
Laboratory.

적층3-4 | 13:45

PBF 공정에서 Zr계 비정질 소재의 선택적 상제어를 위한 입열량 변수 실험

오지원¹, 나현웅², 남산¹, 최한신³

¹고려대학교, ²연세대학교, ³한국생산기술연구원.

적층3-5 | 14:00

효과적인 금속 적층제조 공정 모니터링을 위한 딥러닝 기술의 적용

권오형¹, 김형균¹, 김원래¹, 함민지¹, 김건희¹

¹한국생산기술연구원.

적층3-6 | 14:15

Rapid Alloy Screening of Co- and Ti-Based Alloy Using Direct Laser Deposition Process

Gwanghyo Choi¹, Jae-Uk Han¹, Won Seok Choi¹, Pyuck-Pa Choi¹

¹Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST).

Break Time | 14:30

좌장 : 박경태 (한국생산기술연구원)

적층4-1 | 14:40

생체용 TiZrNbTaMo 고엔트로피합금 구형분말 제조기술

강현수¹, 박기범¹, 류호진², 김양후¹, 박형기¹

¹한국생산기술연구원 강원지역본부, ²한국과학기술원 원자력 및 양자공학과.

적층4-2 | 14:55

전자빔 적층가공으로 제조한 Ti6Al4V 합금의 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 적층 에너지 밀도의 영향

이병수¹

¹한국생산기술연구원.

적층4-3 | 15:10

Effect of Processing Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of 316L SS Fabricated by SLM

Kale Amol Baburao¹, Jaiveer singh¹, Shi-Hoon Choi¹

¹순천대학교.

적층4-4 | 15:25

급속응고법을 이용한 CoCrFeMnNi 고엔트로피합금의 분말제조 및 특성 평가

정광용¹, 신동원¹, 유현정¹, Cheenepalli Nagarjuna¹, 배재웅², 김형섭², 홍순직¹

¹공주대학교 신소재공학과, ²포항공과대학교.

적층4-5 | 15:40

Selective Laser Melting 공정으로 제조된 Equiatomic CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금의 압축 변형 거동

김영균¹, 최중호², 이기안¹

¹인하대학교 신소재공학과, ²재료연구소.

적층4-6 | 15:55

가스분무된 히토류 소결자석 소성변형능에 미치는 합금원소의 영향

조주영¹, 좌용호², 김택수¹

¹한국생산기술연구원 한국희소금속산업기술센터, ²한양대학교 재료화학공학과.

적층4-7 | 16:10

복합공정에 의한 Nd-Fe-B 소결자석의 미세조직 및 자기적 특성 연구

신동원¹, 김동수², 정광용¹, 홍순직¹

¹공주대학교, ²한국지질자원연구원.

적층4-8 | 16:25

열수소화 공정을 이용한 TiO₂-Co 복합 분말의 Spark Plasma Sintering (SPS) 거동 과 기계적 성질

고명선¹, 임승균¹, 박일승², 박제신²

¹전북대학교 일반대학원 금속공학과, ²전북대학교 공과대학 신소재공학부.

타이타늄 심포지엄

위원장: 김승언(재료연구소)

실무위원: 홍재근(재료연구소), 김정환(한밭대학교),

노윤경(동아특수금속)

Room 600A, 4월 24일

좌장 : 강정신 (한국지질자원연구원)

타이타늄S1-1 | 09:40 초청강연

Direct Reduction Process of Group IV Metal Oxides by Using LCE Process

Jong Hyeon Lee¹, Sukcheol Kwon¹, Vladislav Ri¹, Wan-Bae Kim¹, Hayk Nersisyan², Young Jun Lee³

¹Dep. of Materials Science and Engineering CNU, ²RASOM, ³ZIRON TECH.

타이타늄S1-2 | 10:05

TiO₂ 슬래그 고품위화 습식 제련 기술 연구

정경우¹, 전호석¹, 박현식¹, 이수정¹, 김철주¹, 윤호성¹, 이재천¹, 김민석¹

¹한국지질자원 연구원 광물자원 연구본부.

타이타늄S1-3 | 10:20

TiO₂ Mass Production and Applications

조소혜¹, 이승용¹, Sovann Khan¹, 최윤석²

¹한국과학기술연구원, ²부산대학교.

타이타늄S1-4 | 10:35

1400 °C이하 온도에서 황화 반응을 통한 FeTiO₃에서 TiO₂ 분말 제조

김선중¹

¹조선대학교 재료공학과.

Break Time | 10:50

좌장 : 홍재근 (재료연구소)

타이타늄S2-1 | 11:00

재료공학적 이해를 통한 최적 적층설계(DFAM) 방법

편반로이^{1,2}, 최지환¹, 박성범¹, 이정훈¹, 김동현¹

¹한국생산기술연구원울산지역본부, ²울산대학교 기계공학과.

타이타늄S2-2 | 11:15

건식전해연마를 이용한 타이타늄 합금 적층성형품 표면처리

김명세¹, 박찬희²

¹(주) 아우라테크, ²재료연구소 타이타늄 연구실.

타이타늄S2-3 | 11:30

타이타늄 분말의 제조방법 및 향후 개발과제

박요설¹

¹에이엠파우더.

타이타늄S2-4 | 11:45

EBAM방식에 의해 제조된 Ti-6Al-4V합금의 잔류응력에 대한 연구

이동근¹, 최영신^{2,3}, 김희준³, 이창우³

¹순천대학교, ²한양대학교, ³한국생산기술연구원.

좌장 : 김승언 (재료연구소)

타이타늄S3-1 | 13:00 초청강연

Deformation Twinning and Texture Evolution of High Purity Alpha Titanium

Chong Soo Lee¹, Jong Woo Won²

¹Pohang University of Science and Technology, ²Korea Institute of Materials Science.

타이타늄S3-2 | 13:25

변형경화 강화기구 (TRIP/TWIP)을 활용한 α+β 타이타늄 합금 개발

이상원¹, 박찬희¹, 홍재근¹, 염종택¹

¹한국 기계연구원 부설 재료연구소.

타이타늄S3-3 | 13:40

Effect of α' Martensite on Mechanical Compatibility of Ti-13Nb-13Zr Alloy

Taekyung Lee¹, Sangwon Lee², Chan Hee Park²

¹Pusan National University, ²Korea Institute of Materials Science (KIMS).

타이타늄S3-4 | 13:55

미량원소 함량에 따른 순수 타이타늄 가공성 평가

이현석¹, 최미선¹

¹포항산업과학연구원(RIST).

Break Time | 14:10

좌장 : 강남현 (부산대학교)

타이타늄S4-1 | 14:15

Cu 삽입금속을 이용한 TiAl 합금과 SCM440의 마찰용접 계면특성 분석

김기영^{1,2}, 박성현², Kazuhiro Ito³, 오명훈⁴

¹A.F.W(주), ²금오공대 대학원 신소재공학과, ³JWRI Osaka Univrsity, ⁴금오공대 신소재공학부.

타이타늄S4-2 | 14:30

초미세립 Ti-6Al-4V 합금과 CP-Ti 판재의 마찰교반 용접부 동적재결정 특성 고찰

박영도¹, 김재득¹, 홍재근², 김성욱³, Yutaka Sato⁴

¹동의대학교, ²재료연구소, ³포항산업과학연구원, ⁴Tohoku University.

타이타늄S4-3 | 14:45

Ti-6Al-4V 합금의 광복 박판 제조 연구

최미선¹, 이현석¹

¹포항산업과학연구원.

Break Time | 15:00

좌장 : 오명훈 (금오공과대학교) / 김성웅 (재료연구소)

타이타늄S5-1 | 15:15 초청강연

Roll of Microstructure on Creep Deformation of Near-Alpha Ti alloys

Yoko Yamabe-Mitarai¹, Kei Shimagami¹, Haruki Masuyama¹, Tetsuya Matsunaga¹, Yoshiaki Toda¹, Tsutomu Ito²

¹NIMS, ²Toyama Prefecture University.

타이타늄S5-2 | 15:40

비정질 형성능이 우수한 Ni-Ti-Zr-Cu 합금의 초탄성 특성

김도향¹, 김우철¹, 김영성¹, 김정수¹, 김용주¹, 김원태²

¹연세대학교 신소재공학과, ²청주대학교 레이저광정보공학과.

타이타늄S5-3 | 15:55

상온과 650 oC에서 우수한 인장특성을 가지는 새로운 고온 타이타늄합금 개발고온 타이타늄합금 개발 고온 타이타늄합금 개발

염종택¹, 김성웅¹, 나라야나², 박찬희¹, 이상원¹, N.Subba Reddy³, 홍재근¹

¹한국 기계연구원 부설 재료연구소, ²한국 기계연구원 부설 재료연구소/경상대학교, ³경상대학교.

타이타늄S5-4 | 16:10 초청강연

Development of TiCuNiSiSn Shape Memory Alloys with Tunable Martensitic Transformation Behavior

Wook Ha Ryu¹, Eun Soo Park²

¹Tohoku University, ²Seoul National University.

타이타늄S5-5 | 16:35

Fe-Mn-Si-Cr-Ni-VC 형상기억합금의 열적 기계적 특성 및 토목구조 응용

이옥진¹, 김용환², 옥정중², 이정훈³, 박찬희⁴

¹한국생산기술연구원, ²(주) 디아이씨, ³부경대학교, ⁴재료연구소.

Break Time | 16:50

좌장: 염종택 (재료연구소)

타이타늄S6-1 | 17:00

발전용 타이타늄 응용부품 제조

송영석¹

¹두산중공업(주) 소재기술개발팀.

타이타늄S6-2 | 17:15

진공아크용해법을 이용한 타이타늄 잉곳 및 중간재 제조

윤성호¹, 임광혁¹, 권혁주¹, 이용범¹, 구혜연¹

¹(주)한스코.

타이타늄S6-3 | 17:30

Cold Hearth 기반 저비용 고청정 Ti합금 제조 및 특성 평가

최재영¹, 문승호¹, 나혜성¹, 백승원¹, 현용택², 양재교³, 임재원⁴, 김재열⁵, 현용택⁶

¹(주)한국진공야금, ²재료연구소, ³고등기술연구원, ⁴전북대학교 신소재공학부,

⁵고려특수선재(주), ⁶KIMS.

타이타늄S6-4 | 17:45

타이타늄 스크랩 활용 동향

박종범¹, 강태웅¹, 전수현¹, 민태식¹, 노윤경¹

¹(주)동아특수금속.

고엔트로피합금

위원장: 김형섭(포항공과대학교)
총무간사: 박노근(영남대학교)
Room 600B, 4월 24일

좌장 : 나영상 (재료연구소)

고엔1-1 | 09:30

Ultrastrong VCoNi Single-Phase MEA Enabled by Severe Lattice Distortion

Seok Su Sohn¹, Alisson Kwiatkowski da Silva², Yuji Ikeda², Fritz Körmann², Wenjun Lu², Won Seok Choi³, Baptiste Gault², Dirk Ponge², Jörg Neugebauer², Dierk Raabe²

¹Korea University, ²Max-Planck-Institut für Eisenforschung, ³Korea Advanced Institute of Science and Technology.

고엔1-2 | 09:45

CoCrFeNiMo 중엔트로피합금의 Annealing 온도에 따른 미세조직 및 기계적 특성에 관한 연구

배재웅¹, 박정민¹, 문종언¹, 최원미¹, 이병주¹, 김형섭¹

¹포항공과대학교 고엔트로피합금 연구단.

고엔1-3 | 10:00

가압 열처리에 따른 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금의 특성 연구

민기득¹, 김지혜¹, 정윤철¹

¹(재)대구기계부품연구원.

고엔1-4 | 10:15

CoCrFeMnNi 고엔트로피합금 제조 시 용해 분위기가 개재물 특성에 미치는 영향

최누리¹, Eka Bobby², 박노근², 박주현¹

¹한양대학교, ²영남대학교.

Break Time | 10:30

좌장 : 주수현 (일본 동북대학교)

고엔2-1 | 10:40

면심입방구조 단결정 및 다결정 고엔트로피 합금의 기계적 특성과 고용 강화 모델링

문종언¹, 장민지¹, 배재웅¹, 박정민¹, 이재현², 김형섭¹

¹포스텍(포항공과대학교), ²창원대학교.

고엔2-2 | 10:55

High Strength-High Ductility Mo x NbTa x TiZr Medium and High Entropy Alloys for Load Bearing Biomedical Implants

아크말 무하마드¹, 류호진²

¹한국과학기술원(KAIST)신소재공학과, ²한국과학기술원 원자력및양자공학과.

고엔2-3 | 11:10

Irradiation Resistant High Entropy Alloy-Based Fusion Plasma Facing Material

Owais Ahmed Waseem¹, Ho Jin Ryu¹

¹한국과학기술원.

고엔2-4 | 11:25

FeCoNiAlSi 합금의 Al, Si 함량에 따른 자기적 특성 연구

나태욱¹, 조영찬¹, 박창수², 주영돈², 박형기¹

¹한국생산기술연구원, ²포스코.

Break Time | 11:40

좌장 : 손석수 (고려대학교)

고엔3-1 | 13:00

선택적 레이저 용융법으로 제조된 탄소 함유 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금의 미세조직 및 기계적물성 평가

박정민¹, 최중호², 김정기¹, 배재웅¹, 문종언¹, 양상선², 김형섭¹

¹포항공과대학교 신소재공학과, ²재료연구소 분말/세라믹연구본부.

고엔3-2 | 13:15

2상 고엔트로피 합금 와이어 CoCuFeMnNi의 인장 및 미세조직 특성 분석

심상훈¹, 송재숙², 홍순익¹

¹충남대학교 공과대학 신소재공학과, ²충남대학교 나노공학연구소.

고엔3-3 | 13:30

High Temperature Deformation in Non-Equiatomic FeMnNiCoCr High Entropy Alloys

Hee-Tae Jeong¹, Soo-Young Chae¹, Woo-Kin Kim¹

¹Hongik University.

고엔3-4 | 13:45

Effect of Initial Grain Size on Friction Stir Weldability for Rolled and Cast CoCrFeMnNi High Entropy Alloys

Sangwon Park¹, Hyunbin Nam¹, Youngsang Na², Hyoung-Seop Kim³, Namhyun Kang¹

¹Pusan National University, ²Korea Institute of Materials Science, ³Pohang University of Science and Technology.

고엔3-5 | 14:00

Cr-Mn-Fe-Co-Ni계 하이엔트로피 합금의 변형기구 변화에 따른 Forming Ability 거동 규명

예정원¹, 윤국노¹, 오현석², 박은수¹

¹서울대학교, ²Massachusetts Institute of Technology.

고엔3-6 | 14:15

온도에 따른 CoCrFeMnNi 고 엔트로피 합금의 Discontinuous Plastic Flow 변형 메커니즘

이병주¹, 고준영¹, 문종언², 김형섭², 홍순익¹

¹충남대학교 공대 금속공학과 에너지기능재료실험실, ²포항공과대학교 신소재 공학과.

고엔3-7 | 14:30

BCC 2상 복합구조를 가지는 내열 고엔트로피 초합금 개발

김상준¹, 오현석¹, 윤국노¹, 박은수¹

¹서울대학교 재료공학부.

Break Time | 14:45

좌장 : 조기섭 (국민대학교 신소재공학부)

고엔4-1 | 15:00

V10Cr10Fe45Co30Ni5 고엔트로피 합금에서 변태유기소성과 변형 쌍정이 충격특성과 동적 인장 특성에 미치는 영향

조용희¹, 김동근¹, 조민철¹, 도경연¹, 손석수², 이동화¹, 김형섭¹, 이병주¹, 이성학¹

¹포항공과대학교 신소재공학과, ²고려대학교 신소재공학과.

고엔4-2 | 15:15 Canceled

Microstructure Evolution and Mechanical Properties of CoCuFeNiMn High Entropy Alloy
Md Rakib Hasan¹, Sun Ig Hong¹
¹Materials Science and Engineering, Chungnam National University.

고엔4-3 | 15:30

제조공정조건에 따른 산화물 분산강화 CoCrFeMnNi 하이엔트로피 합금의 미세조직 특성
정승혁¹, 류호진¹
¹한국과학기술원 원자력 및 양자공학과.

고엔4-4 | 15:45

Microstructure and Mechanical Properties of Light Weight Quaternary High-Entropy Alloy
Elyorjon Jumaev¹, Je Hyung Park¹, Min Jung Kim¹, kyung sik choi², Byung Ho Min², Tae Gyu Lee², Ki Buem Kim^{*1}
¹세종대학교 공대 나노신소재공학부, ²현대자동차 연구개발본부 신소재개발팀.

고엔4-5 | 16:00

조성에 따른 AlCoCrFeNi 고엔트로피 합금의 미세조직 및 기계적 물성 거동 분석
남승진¹, 김정준¹, 황준연², 최현주¹
¹국민대학교, ²한국과학기술연구원.

고엔4-6 | 16:15

이중상 구조의 내화원소 고엔트로피합금의 설계
전호선¹, 최벽파¹
¹한국과학기술원.

고엔4-7 | 16:30

AlCoCrNi 하이엔트로피 합금의 미세조직에서 기인한 Ni-rich (AlNi₂)_{70-x}Co₃₀Cr_x 합금 개발 및 기계적 특성 분석
박제형¹, Elyorjon Jumaev¹, 홍성환¹, 김영석¹, 박혜진¹, 문상철¹, 임기성¹, 김민정¹, 김기범¹
¹세종대학교 나노신소재공학과.

철강

위원장: 최주(POSCO)
총무간사: 최종교(POSCO)

실무위원: 박주현(한양대학교), 황병철(서울과학기술대학교)
Room 700A, 4월 24일

좌장 : 강영조 (동아대학교)

철강1-1 | 09:00

Effects of Ilmenite Ore on Phase Development of Hematite Ore Sinter
Edson K. Chiwandika¹, 정성모¹
¹포항공대철강대학원.

철강1-2 | 09:15

Thermodynamic Database Containing SFCA for Iron Ore Sintering Process
김동근¹, Reiko Murao², 정인호³
¹현대제철 연구소, ²Nippon Steel and Sumitomo Metals Corporation, ³서울대학교 재료공학부.

철강1-3 | 09:30

Effect of BOF Slag on NOx Reduction
Leonardo T. da Rocha¹, 정성모¹
¹포항공대철강대학원.

철강1-4 | 09:45

Understanding Correlation Between Current and Desulfurization During Electric Desulfurization of Molten Steel with Molten Slag
Dong-Hyun Kim¹, Youn-Bae Kang¹
¹Graduate Institute of Ferrous Technology, POSTECH.

철강1-5 | 10:00

연주 Clogging 저감을 위한 LF Ar Bubbling 제어 기술 연구
유정민¹, 한정환², 정훈제³
¹동국제강주식회사 중앙기술연구소 / 인하대학교 신소재공학과, ²인하대학교 신소재공학과, ³동국제강주식회사 중앙기술연구소.

철강1-6 | 10:15

Influence of Tundish Flux Addition on the Reoxidation of Molten Steel in Continuous Casting Tundish
Tae Sung Kim¹, Joo Hyun Park¹
¹Hanyang University.

좌장 : 김선중 (조선대학교)

철강2-1 | 10:30

Reduction of Interfacial Reaction Product between Ti-ULC Steel and Nozzle Refractory by Al and Ti in the Steel
Joo-Hyeok Lee¹, Youn-Bae Kang¹
¹GIFT, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Rep. of Korea.

철강2-2 | 10:45

연속 주조 공정의 고온 연성 평가 거동 연구
정지연¹, 권상훈¹, 이재상¹, 허윤욱¹, 강명훈², 문상운², 김동규³, 임창희¹
¹포항공과대학교 철강대학원(GIFT), ²포스코 기술연구소, ³동아대학교.

철강2-3 | 11:00

페라이트계 스테인리스강의 연주주편 주조조직 제어기술
김종철¹, 김완이¹, 조현진¹
¹POSCO 기술연구원.

철강2-4 | 11:15

고 Cr 스테인리스 용강 중 질소 용해에 대한 속도론적 연구
손해술¹, 도경호¹, 김건우¹, 박정수¹, 박종진¹
¹한양대학교 재료화학공학과.

철강2-5 | 11:30

페로망간의 등온 및 냉각 시 흡질 거동 실험과 흡질 메커니즘 분석
천정민¹, 상형태², 조해창², 정인호¹
¹서울대학교 공과대학 재료공학부, ²DB 메탈.

철강2-6 | 11:45

전로 반응 모델을 활용한 Cr 함유 용강 내 탈탄 반응에 대한 산소 투입 영향의 속도론적 해석
김정인¹, 김선중²
¹조선대학교 첨단소재공학과, ²조선대학교 재료공학과.

좌장 : 태순재 (현대제철)

철강3-1 | 13:00

Incorrect Expansion Type의 노즐을 이용한 Soft Blowing 패턴 해석
이경욱¹, 권재홍¹, 한정환¹
¹인하대학교.

철강3-2 | 13:15

슬래그 포밍 거동에 기포 사이즈가 미치는 영향
손원영¹, 기성훈², 강영조¹
¹동아대학교금속공학과, ²동아대학교건축공학과.

철강3-3 | 13:30

MgO Single Crystal의 CaO-Al₂O₃-SiO₂ Slag에서의 용해 거동 연구
김예림¹, 윤철민², 민동준², 정용석¹
¹한국산업기술대학교 신소재공학과, ²연세대학교 신소재공학과.

철강3-4 | 13:45

Heat Transfer Control Through Dispersed Metallic Particles in Glassy Mold Flux Film with Continuous Steel Casting
현성희¹, 조종욱¹
¹포항공과대학 철강대학원.

철강3-5 | 14:00

The Effect of Phase Fraction of CaFe₂O₄, MgFe₂O₄ on the Reduction Rate of Fe₂O₃
라기호¹, 민동준¹
¹연세대학교 공과대학 신소재공학과.

철강3-6 | 14:15

DEM을 이용한 미분광 브리켓의 압력분포 해석
배종호¹, 김강민¹, 한정환¹
¹인하대학교 신소재공학부.

철강3-7 | 14:30

A Study on the Reduction Behavior of FeCl₂ Using Carbonate and Carbon Sources at High Temperature
신상균¹, 민동준¹
¹연세대학교 신소재공학과.

철강3-8 | 14:45

소결 베드 내 미분광 브리켓의 입도 편식 장입거동에 대한 연구
김강민¹, 배종호¹, 한정환¹
¹인하대학교 신소재공학과.

철강3-9 | 15:00

Structure-Property Relationship via Phase Stability Analysis of CaO-SiO₂-Al₂O₃-FeO Slags
최준성¹, 민동준¹
¹연세대학교.

철강3-10 | 15:15

Effect of Na₂O and K₂O Substitution on the Viscosity and Structure in a CaO-SiO₂-CaF₂-Based flux System at 1773 K
Minseok Seo¹, Il Sohn¹
¹연세대학교 공과대학 신소재공학과.

철강3-11 | 15:30

고상 α-Fe중 Si-Al 간 열역학적 상호작용과 AlN 석출거동
장준익¹, 강영조¹

복합재료

위원장: 이상관(재료연구소)
총무간사: 이상복(재료연구소)
Room 700B, 4월 24일

좌장 : 조영래 (부산대학교)

복합1-1 | 09:00

기계적합금화와 방전플라즈마 소결을 이용한 Fe-CNT 합금의 미세조직 및 기계적물성 연구
남중석¹, 김형철¹, 노상훈², 신찬선¹
¹명지대학교 신소재공학과, ²한국원자력연구원.

복합1-2 | 09:15

EIGA를 이용한 SKD11-TiC 복합재 Pre-Alloyed 분말 제조 및 소결체의 미세구조, 기계적 특성 분석
곽동선¹, 박형기¹, 박광석¹, 양승민¹, 김대하², 이원혁², 이택우¹
¹한국생산기술연구원, ²대화알로이테크.

복합1-3 | 09:30

B4C/Al복합재료의 Ti 첨가에 따른 미세조직 및 특성 평가
이동현¹, 박현재¹, 조일국¹, 조승찬¹, 이상관¹, 이상복¹, 김양도²
¹재료연구소(KIMS), ²부산대학교.

복합1-4 | 09:45

주철 탈흑연 열처리에 따른 주철-알루미늄 이종소재의 계면접합특성 연구
양지바름^{1,2}, 김태형¹, 신재식¹, 김동웅¹, 김윤준²
¹한국생산기술연구원, ²인하대학교 신소재공학부.

복합1-5 | 10:00

CP-Ti의 미세조직 제어에 따른 In-Situ MgB₂초전도 선재의 구성소재 분율 및 미세조직 변화 연구
박상용¹, 현승균¹, 황덕영², 박정민³, 이종범³, 정하국³
¹인하대학교, ²KAT, ³한국생산기술연구원.

Break Time | 10:15

좌장 : 조승찬 (한국 기계연구원 부설 재료연구소)

복합2-1 | 10:25

초청강연

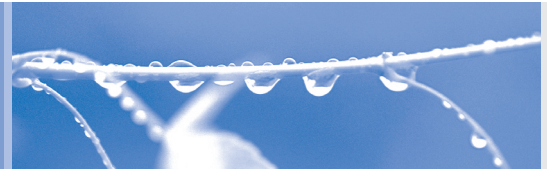
클래드 메탈의 제조 원리와 특성 평가 및 산업적 응용
조영래¹, 배동현², 임영준¹, 강영준¹
¹부산대학교, ²(주)한국클래드텍.

복합2-2 | 10:55

Cu/Al Clad 판재의 V-Bending 실험 및 전산 모사 해석
김용근¹, 김민중², 홍순익¹
¹충남대학교 신소재공학과, ²한국클래드텍.

복합2-3 | 11:10

Cu/Al Clad 판재의 열처리 온도에 따른 접합력 및 미세구조 관찰
김용근¹, 홍순익¹
¹충남대학교 신소재공학과.



비철금속

위원장: 이재천(한국지질자원연구원)
총무간사: 강정신(한국지질자원연구원),
박현식(한국지질자원연구원)
Room 601, 4월 25일

좌장 : 윤진호 (고등기술연구원)

비철1-1 | 09:00

일메나이트광석으로부터 제조된 합성루타일과 천연루타일광의 열화반응 비교 연구

정은진¹, 김진영¹, 이미선¹
¹(재)포항산업과학연구원.

비철1-2 | 09:15

고체 산화물 멤브레인 양극을 이용한 인듐주석 산화물 친환경적 전해 환원

권숙철¹, 이종현¹
¹충남대학교 신소재공학과.

비철1-3 | 09:30

CaCl₂-CaF₂-CaO 전해질 내에서 YSZ Disk의 CaZrO₃ 층 형성 거동 및 특성 평가

김완배¹, 네르시시안 하이크², 권숙철¹, 이종현¹
¹충남대학교 신소재공학과. ²충남대학교 급속응고신소재연구소.

비철1-4 | 09:45

LiF-KF 공용염에서 In-Sn 조금속으로부터 In 금속의 고순도화

이현규^{1,2}, 최상훈^{1,2}, 심재진¹, 임재홍^{1,3}, 유지원^{1,2}, 서경덕^{1,2}, 현승균², 박경태¹, 박종수¹
¹ 한국생산기술연구원. ²인하대학교. ³고려대학교

비철1-5 | 10:00

액상 Mg을 이용한 Dy 함량에 따른 RE-Fe-B 자석 내의 Dy 반응 거동에 관한 연구

박상민^{1,2}, 남선우¹, 현승균², 김택수^{1,3}
¹한국생산기술연구원 한국희소금속산업기술센터. ²인하대학교 신소재공학과. ³과학기술연합대학원 대학교.

비철1-6 | 10:15

Extraction behavior of dysprosium contained in Dy-Fe-B alloy with temperature and time

남선우^{1,2}, 박상민¹, 김도향², 김택수¹
¹한국생산기술연구원. ²연세대학교.

Break Time | 10:30

좌장 : 김영재 (한국지질자원연구원)

비철2-1 | 10:40

마그네슘 환원제를 이용하여 Ti 분말 제조 시 생성되는 연소합성 공정 부산물 제거기술

최상훈^{1,2}, 심재진¹, 임재홍^{1,3}, 이현규^{1,2}, 현승균², 박경태¹, 이승현¹
¹한국생산기술연구원. ²인하대학교. ³고려대학교.

비철2-2 | 10:55

탄탈럼 스크랩 재활용을 통한 탄탈럼 분말 제조 기술에 관한 연구

임재홍^{1,2}, 최상훈^{1,3}, 심재진¹, 유지원^{1,3}, 이현규^{1,3}, 서경덕^{1,3}, 오승주², 박경태¹
¹한국생산기술연구원. ²고려대학교. ³인하대학교.

비철2-3 | 11:10

전자빔 용해 및 인발 가공을 통한 탄탈럼 스크랩의 고순도화 및 가공기술 연구

유지원^{1,2}, 최상훈^{1,2}, 심재진¹, 임재홍^{1,3}, 이현규^{1,2}, 서경덕^{1,2}, 현승균², 박경태¹
¹한국생산기술연구원. ²인하대학교. ³고려대학교.

비철2-4 | 11:25

모의 방사화 원소로 오염된 LiCl-KCl 전해질에서 니켈의 전해 제염 가능성 연구

최우석¹, 이영준², 이종현¹
¹충남대학교. ²(주)지론텍.

비철2-5 | 11:40

제주도 현무암 석분슬러지를 이용한 무기단열재 제조기술 개발

정은진¹
¹(재)포항산업과학연구원.

Break Time | 11:55

좌장 : 김지웅 (한국지질자원연구원)

비철3-1 | 13:00

Cu-Ni-Si-X계 동합금의 열간압연 시 발생하는 측면 균열 현상에 대한 연구

강덕호¹, 최영철¹, 주장호¹, 홍혜민¹, 황지인¹
¹(주)풍산 소재기술연구원.

비철3-2 | 13:15

Cu-Fe-P-X계 고전도도·고강도 구리합금에 관한 연구

최준영¹, 곽원신¹, 정원석¹, 전보민¹, 이시담¹
¹(주)풍산.

비철3-3 | 13:30

알루미늄 6061합금의 열간비대칭 압연이 미세조직에 미치는 영향

정무섭¹, 한준현¹
¹충남대학교 신소재공학부.

비철3-4 | 13:45

The Effect of Cu and Si on the Casting and Mechanical Properties of Aluminum Alloys

Byungkeun Kang¹, Il Sohn¹
¹Yonsei University.

비철3-5 | 14:00

Effects of Cr and Al Additions on the γ/γ' Forming Co-Ti-W-Based Alloys

Boryung Yoo¹, Hyeji Im¹, Jae-Bok Seol², Pyuck-Pa Choi¹
¹KAIST, ²POSTECH.

비철3-6 | 14:15

Influence of Nano-Fiber Precipitates Fraction on Mechanical and Electrical Properties in Cu-Ni-Si Alloy

Jee Hyuk Ahn^{1,2}, Seung Zeon Han², Eun-Ae Choi², Hyunjong Lee³, Gi Nyeong Heo², Minah Jo², Kwangho Kim⁴, Heung Nam Han¹
¹Seoul National University, ²Korea Institute of Materials Science, ³Korea Institute of Industrial Technology, ⁴Pusan National University.

Break Time | 14:30

좌장 : 서석준 (한국생산기술연구원)

비철4-1 | 14:40

자체 색상을 지니는 금속간 화합물의 석출/정출 제어를 활용한 AI-계 컬러 합금 설계 기술 개발

문상철¹, 강결찬¹, 박혜진¹, 김영석¹, 홍성환¹, 김기범¹
¹세종대학교 공대 나노신소재공학부.

비철4-2 | 14:55

로터스형 다공성 구리의 접합 특성에 미치는 기공 구조의 영향

김상욱¹, 정택균¹, 현승균¹
¹인하대학교.

비철4-3 | 15:10

Rollable 전자소자 평가 장치 개발 및 금속배선 신뢰성 연구 설계¹, 김병준¹

¹안동대학교 공대 신소재공학부 재료공학전공.

비철4-4 | 15:25

유연전자소자용 배선의 비틀림 변형에 따른 기계적 신뢰성 연구

권용욱¹, 이종성², 주영창², 김병준¹
¹안동대학교 공대 신소재공학부 금속공학전공, ²서울대학교 공과대학 재료공학과.

비철4-5 | 15:40

Features of the Frequency Component of Pulse Magnetic Field Impact's by EMS on the Microstructure Formation at the Semi-Continuous 7-Inch Billet Casting for Zr-Free 7xxx Aluminum Wrought Alloys

Mykola Slazhniev¹, Kyung Hyun Kim¹, Se Won Kim¹, Won Jae Kim¹, Hyun Suk Sim¹
¹(주)동산테크.

비철4-6 | 15:55

주석도금 Reflow 처리에 따른 마찰계수 특성 변화 연구

남효문¹, 차정민¹, 박철민¹, 문선영¹, 김준형¹, 권태양¹
¹(주)풍산.

Break Time | 16:10

The 5th High-Entropy Alloy Symposium

위원장: 김형섭(포항공과대학교)
실무위원: 박노근(영남대학교)
Room 602, 4월 25일

좌장 : 박노근 (영남대학교)

고엔S1-1 | 10:00 초청강연

Manipulation of σ_y/k Ratio in Single Phase FCC Solid-Solutions

Je In Lee¹, Hyun Seok Oh², Kook Noh Yoon³, Eun Soo Park³
¹National Institute for Materials Science, ²Massachusetts Institute of Technology, ³Seoul National University.

고엔S1-2 | 10:20 초청강연

CoCrFeMnNi의 High Entropy Alloy에서 단범위규칙 형성과 그에 따른 상온인장거동

김영석¹, 김성수¹, 문종연², 김형섭², 홍순익³
¹한국원자력연구원, ²포항공과대학교, ³충남대학교.

고엔S1-3 | 10:40 초청강연

극저온 봉재압연을 활용한 초고강도 FCC 하이엔트로피 합금 제조

원종우¹, 임가람¹, 나영상¹
¹재료연구소(KIMS).

고엔S1-4 | 11:00 초청강연

In-Situ TEM Observation of Dislocation Slip in a Single Crystal FeCoCrMnNi HEA

Sang Ho Oh¹, Subin Lee², Maria Jazmin Duarte², Rafael Soler², Michael Feuerbacher³, Christoph Kirchlechner², Christian Liebscher², Gerhard Dehm²
¹Sungkyunkwan University, ²Max-Planck-Institut für Eisenforschung, ³Forschungszentrum Jülich.

좌장 : 원종우 (재료연구소)

고엔S2-1 | 13:00 초청강연

Accelerated Martensitic Transformation Rate in a Duplex FeNiCoCrV High-Entropy Alloy Breaks the Highest Value (2 GPa) in Cryogenic Strength

S. LEE¹, D. G. Kim¹, Y. H. Jo¹, W. M. Choi¹, S. S. Sohn², H. S. Kim¹, B. J. Lee¹
¹POSTECH, ²Korea University.

고엔S2-2 | 13:20 초청강연

보론첨가에 의한 SRO현상과 이를 활용한 극저온 strengthening

설재복¹, 배재웅², 김정기², 고원석³, 김형섭²
¹포항공대 나노융합기술원, ²포항공대 신소재공학과, ³울산대 신소재공학과.

고엔S2-3 | 13:40 초청강연

고엔트로피합금 및 중엔트로피합금의 합금원소에 따른 항복강도 예측

박노근¹, Maya Putri Agustianingrum¹, Jodi Dennis Edgard¹, Ondicho Ibrahim Onsomu¹
¹영남대학교.

고엔S2-4 | 14:00 초청강연

규화물 강화 고엔트로피 내열 합금 제조 및 열간 성형 연구
 김동훈¹, 김영무¹, 양성호¹, 박정호¹, 이성¹, 이성호¹, 이택우², 박은수³
¹국방과학연구소, ²한국생산기술연구원 강원지역본부, ³서울대학교.

고엔S2-5 | 14:20 초청강연

Overcoming Thermal Coarsening in Nanoporous Materials via High-Entropy Design
 Soo Hyun Joo¹, Jae Woong Bae², Takeshi Wada¹, Hyoung Seop Kim², Ilya Okulov³, Hidemi Kato¹
¹Tohoku University, ²Pohang University of Science and Technology, ³University of Bremen.

Break Time | 14:40

좌장: 주수현 (일본 동북대학교)

고엔S3-1 | 14:50 초청강연

의료용 임플란트 하이엔트로피 합금 개발
 Akmal Muhammad¹, 박형기², 류호진¹
¹한국과학기술원, ²한국생산기술연구원.

고엔S3-2 | 15:10 초청강연

Fabrication of WMoTaNbV Refractory High Entropy Alloys Prepared by Vacuum Hot Pressing
 김영무¹, 김상준², 김진연², 박은수², 이성¹, 이성호¹
¹국방과학연구소, ²서울대학교.

고엔S3-3 | 15:30 초청강연

BCC/B2 이상조직을 갖는 경량 고엔트로피합금의 고온 기계적특성 향상을 위한 미세조직 제어
 임가람¹, 권현준¹, 원종우¹, 나영상¹
¹재료연구소.

고엔S3-4 | 15:50 초청강연

Investigation of Brazing Characteristics of a New High Entropy Filler Metal Processed by Powder Metallurgy
 Ashutosh Sharma¹, Byungmin Ahn¹, Minseok Oh¹, Kwan Il Kim¹
¹Ajou University.

나노소재의 특성측정 및 물성분석 기술

위원장: 류호준(한국전자통신연구원)
 실무위원: 신병하(한국과학기술원)
 Room 603, 4월 25일

좌장 : 류호준 (한국전자통신연구원)

나노기술1-1 | 13:00

Materials Imaging and Integration (MII): New Paradigm of Nanoscale Materials Design and Discovery
 홍승범¹, 조성우¹, 박건¹, 김훈¹, Panpan Li¹, 류정재¹, 오충익¹, 김홍준¹, 김재규¹, 윤석중¹, 오지민¹, Melodie Glasser¹,
¹한국과학기술원 신소재공학과.

나노기술1-2 | 13:40

In-Situ and Ex-Situ Nanoscale Characterization Using Synchrotron Radiation for Reversible Phase Modulation in Correlated Oxides
 Junwoo Son¹
¹Pohang University of Science and Technology.

Break Time | 14:20

좌장 : 김정환 (한국기계연구원)

나노기술2-1 | 14:30

Application of Secondary Ion Mass Spectrometry in Advanced Materials
 Tae Eun Hong¹, Min Ji Kang¹, Mi-Rang Byeon¹,
¹Korea Basic Science Institute.

나노기술2-2 | 15:10

Visualization of Local Corrosion in Carbon Steels Using Atomic Force Microscopy
 Yunseok Kim¹
¹Sungkyunkwan University.

나노기술2-3 | 15:50

금속-산화물 계면의 국소 구조에 관한 엑스선 분광학 연구
 조덕용¹
¹전북대학교 물리학과.

Break Time | 16:30

좌장 : 위정섭 (한국표준과학연구원)

나노기술3-1 | 16:40

Ultrathin Black Phosphorus Layer Fabrication and Surface Passivation by Photochemical and Thermal Etching
 Hyuksang Kwon¹, Sung Won Seo¹, Sena Yang¹, Sunmin Ryu², Jeong Won Kim¹
¹Korea Research Institute of Standards and Science, ²Pohang University of Science and Technology.

나노기술3-2 | 17:20

Realizing Array Level Device. A Case Study of Graphene and Organics Light Emitting Diodes
 Jaehyun Moon¹, Jin-Wook Shin¹, Hyunsu Cho¹, Jong-Heon Yang¹, Jun-Han Han¹, Byoung-Hwa Kwon¹, Chun-Won Byun¹, Kang Me Lee¹, Nam Sung Cho¹, Jeong-Ik Lee¹
¹Electronics and Telecommunications Research Institute.

제21회 피로 및 파괴 심포지엄

위원장: 권용남(재료연구소)
 실무위원: 성효경(경상대학교), 이동준(재료연구소)
 Room 604, 4월 25일

좌장 : 이동준 (재료연구소)

피로1-1 | 10:00

선택적 레이저 용융 공정을 활용한 H13 공구강의 공정조건이 기계적 특성에 미치는 영향

성효경¹, 이정섭¹, 정임두², 최종호², 유지훈², 박준혁¹, 김상식¹
¹경상대학교, ²한국기계연구원 부설 재료연구소.

피로1-2 | 10:15

고주기 피로수명에 미치는 표면거칠기 영향의 정량적 평가
권용남¹, 최연석¹, 이동준¹, 석무영¹, 정유인², 조서연², 김대환², 장영환²

¹한국기계연구원 부설 재료연구소, ²한국항공우주산업(주).

피로1-3 | 10:30

AISI 1045 Steel의 인장 및 고주기 피로 특성에 미치는 HVOF Sprayed Cermet 표면 코팅층의 영향

합기수¹, 김형준², 윤상훈², 이기안^{1*}
¹인하대학교 신소재공학과, ²포항산업과학연구원.

Break Time | 10:45

좌장 : 성효경 (경상대학교)

피로2-1 | 10:55 초청강연

항공기 SHM (Structure Health Monitoring) 적용 방안 연구
백세일¹, 전일¹, 배중우¹

¹공군 항공기술연구소.

피로2-2 | 11:25

탈아연 현상이 Bismuth 황동의 응력부식균열에 미치는 영향
김상식¹

¹경상대학교.

피로2-3 | 11:40

공군 운영 20mm 기총탄 부식상태 평가
김민생¹, 주형대¹, 이두열¹, 배중우¹

¹공군 항공기술연구소.

좌장 : 석무영 (재료연구소)

피로3-1 | 13:00 초청강연

항공기 기체 구조 피로해석 절차
이철주¹

¹한국항공우주산업(주).

피로3-2 | 13:30

An Alternative Method to Beta Processing Oversized Ti-6Al-4V Alloy Used for Aircraft Critical Parts

Juwon Seo¹, Yoo In Jeong¹
¹Korea Aerospace Industries, Ltd.

피로3-3 | 13:45

극저온 분위기에서의 초음파피로시험 평가에 대한 연구
채운샘¹, 김세민¹, 이창순¹, 조인식²

¹선문대학교, ²(주)엠브로지아.

Break Time | 14:00

좌장 : 이철주 (한국항공우주산업(주))

피로4-1 | 14:10

Mo 첨가강에서 저온 CTOD 파괴인성에 영향을 미치는 열영향부 미세 조직의 영향

이석규¹, 김보희¹, 김우겸², 엄경근², 이성학¹
¹포항공과대학교 신소재공학과, ²포스코 기술연구원.

피로4-2 | 14:25

핵융합로용 RAFM강에서 Ti 및 Ta 첨가에 따른 MX석출물과 고온 피로 특성 고찰

임소영¹, 문준오², 이창훈², 홍현욱¹
¹창원대학교, ²재료연구소 철강재료연구실.

피로4-3 | 14:40

환경 조건이 고경도강의 피로 및 파괴 저항성에 미치는 영향
이관호¹, 박찬구¹, 손진일², 함진희³, 박태원³, 김상식¹, 성효경¹

¹경상대학교, ²엠티디아이(주), ³국방과학연구소.

피로4-4 | 14:55 초청강연

항공용 소재 부품의 X-ray회절법을 이용한 잔류응력 측정방법
이동준¹, 석무영¹, 이민지¹, 김민건¹, 권용남¹

¹재료연구소

Break Time | 15:25

에너지/기능소재 집합조직 심포지엄

위원장: 정호태(강릉원주대학교)
실무위원: 이효종(동아대학교), 최시훈(순천대학교),
김동익(한국과학기술연구원), 강주희(재료연구소)
Room 605, 4월 25일

좌장 : 이효종 (동아대학교)

집합조직1-1 | 13:00 초청강연

Microstructure Control and Thermoelectric Property of Bismuth Telluride Alloys

백승협¹
¹한국과학기술연구원(KIST).

집합조직1-2 | 13:30

CMOS 및 CCDE타입 EBSD 검출기에서의 Ti합금 분석
강주희¹, 김은영¹, 이건용²

¹재료연구소, ²Oxford Instruments NanoAnalysis.

집합조직1-3 | 13:45

Grain Boundary Character Distribution (GBCD) of Polycrystalline YIGs Obtained from Sol-Gel Method

김민지¹, 장민선¹, 이기석¹, 이석빈¹
¹울산과학기술원(UNIST).

집합조직1-4 | 14:00

Relation Between Drawing Process Condition and Secondary Recrystallization Behavior in High Purity Copper Wires

Hyun Park¹, Sang-Hyeok Kim², Woo-Jin Lee², Se-Jong Kim³, Hyo-Jong Kim²
¹Rhinoc Co. Ltd, ²Dong-A University, ³Korea Institute of Materials Science.

집합조직1-5 | 14:15

Effect of Sub-Boundary Angle Magnitude on Abnormal Grain Growth Behavior in Fe-3% Si Steel
김태영¹, 안용근¹, 정용권¹, 길계환², 황능문¹
¹서울대학교, ²포항 가속기 연구소.

집합조직1-6 | 14:30

Microstructural Evolution of Two-Phase Microstructure via a Spin-Exchange-Path-Dependent Rate-Controlled Monte Carlo Simulation Model
Gaeun Son¹, Hansol Jeon¹, Ju-Yeong Kim¹, Sukbin Lee¹
¹울산과학기술원(UNIST).

Break Time | 14:45

좌장 : 박현 (리눅스(주))

집합조직2-1 | 14:55

다축대각단조(MADF) 공정에서 발달하는 무산소동의 미세조직 및 집합 조직에 대한 연구
정호태¹, 권상철¹, 김순태¹, 김다빈¹, 김민성², 이성음², 이성³, 최시훈²
¹강릉원주대학교, ²순천대학교, ³국방과학연구소.

집합조직2-2 | 15:10

초기 미세조직에 따른 AA1100의 변형/재결정 집합조직 발달 메커니즘 규명
최시훈¹, 김민성¹, 이성음¹, 이지현², 김환욱², 권상철³, 김순태³, 정호태³, 이성⁴
¹순천대학교, ²한국기초과학지원연구원, ³강릉원주대학교, ⁴국방과학연구소.

집합조직2-3 | 15:25

Extension of Viscoplastic Self-Consistent Crystal Plasticity Model to Predict Material Failures by Strain-Localization and Ductile Fracture.
정영웅¹
¹창원대학교.

집합조직2-4 | 15:40

An Investigation of Detwinning Behavior of In-Plane Compressed E-Form Mg Alloy During the In-Situ Tensile Test
Jaiveer Singh¹, Min-Seong Kim¹, Seong-Eum Lee¹, Eun-Young Kim², Joo-Hee Kang², Shi-Hoon Choi¹
¹순천대학교, ²재료연구소.

집합조직2-5 | 15:55

EBSD를 활용한 철강 중 마르텐사이트 변태의 방위관계 분석
강전연¹, 김병환¹, 이종안², 강민우², 권순우², 박성준¹, 홍승현²
¹재료연구소(KIMS), ²현대자동차그룹 금속재료리서치팀.

집합조직2-6 | 16:10

AA1100의 재결정 거동에 미치는 초기 미세조직의 영향에 관한 연구
김민성¹, 이성음¹, Lalit Kaushik¹, 권상철², 김순태², 이지현³, 김환욱³, 이성⁴, 정호태⁴, 최시훈¹
¹순천대학교, ²강릉원주대학교, ³한국기초과학지원연구원, ⁴국방과학연구소.

에너지재료

위원장: 신병하(한국과학기술원)
부위원장: 박찬진(전남대학교)
총무간사: 오지훈(KAIST)
Room 606, 4월 25일

좌장 : 신병하 (한국과학기술원)

에너지1-1 | 09:00

Anisotropic Swelling Governed by Orientation-Dependent Interfacial Na Diffusion in Single-Crystalline Sb
최용석¹, 박준형¹, 안재평², 이재철¹
¹고려대학교, ²한국과학기술연구원.

에너지1-2 | 09:15

Diffusion kinetics of Na ions in Sn and Sb Single Crystals and Its Effects on the Diffusion Behaviors
Jun-Hyoung Park¹, Yong-Seok Choi¹, Young-Woon Byeon¹, Jae-Pyoung Ahn², Jae-Chul Lee¹
¹Korea university, ²Korea Institute of Science and Technology.

에너지1-3 | 09:30

Nd-rich Grain Boundary Structure Modification of Nd-Fe-B Sintered Magnets by GaF3/Ag Co-Doping
배경훈¹, 이성래², 김효준³, 이민우⁴, 장태석⁵
¹한국기계연구원 부설 재료연구소, ²고려대학교 공과대학 신소재공학과, ³차화 전자 R&D 센터, ⁴한국생산기술연구원, ⁵선문대학교 공과대학 신소재공학과.

에너지1-4 | 09:45

Enhancing the Coercivity and Thermal Stability of Nd-Fe-B Sintered Magnets by TbH Grain Boundary Diffusion Process
Sumin Kim¹, Donghwan Kim², Jong Wook Roh³, Wooyoung Lee¹
¹Yonsei University, ²Star Group, ³Kyungpook National University.

에너지1-5 | 10:00

희토류 첨가에 따른 압전재료 PZT의 압전특성 변화와 대칭성의 상관관계
전종철¹, 오승주², 김규현¹
¹한국생산기술연구원, ²고려대학교 신소재공학과.

Break Time | 10:15

좌장 : 박찬진 (전남대학교)

AW-7 | 10:20 기술상 수상기념강연

발전산업에서 소재부품기술 현황 및 전망
송영석¹,
¹두산중공업(주).

에너지2-1 | 10:45

Structural Disordering Stabilizes Anion Redox in Li-Rich Layered Oxides
홍지현¹
¹한국과학기술연구원.

에너지2-2 | 11:00

고내구 패키징 기술을 적용한 SiC 파워모듈의 고온 동작 내구성 평가
강수빈¹, 홍경국¹, 김영석¹
¹현대자동차 연구개발본부.

에너지2-3 | 11:15

분무건조기반 고성능 Sr-Ferrite 자성분말 제조

김경민¹, 백연경¹, 이정규¹, 이재광²

¹한국기계연구원부설재료연구소, ²부산대학교 물리학과.

에너지2-4 | 11:30

A Study on Tin Anode with Ultra-Long Cycle Life and High-Rate Performance for Sodium-Ion Batteries

Seunghwan Cha¹, Changhyeon Kim¹, Huihun Kim¹, Milan K. Sadan¹, Hyewon Yeo¹, Gyubong Cho¹, Jouhyeon Ahn¹, Hyojun Ahn¹

¹Gyengsang National University.

에너지2-5 | 11:45

Direct Synthesis of Tungsten carbide/Carbon black composite as an Electrocatalyst Support via Cathodic Arc Deposition

Na HyunWoong¹, Oh Ji-Won², Cho Yong Soo¹, Choi Hanshin²

¹Yonsei university, ²Korea Institute of Industrial Technology.

상변태

위원장: 최병학(강릉원주대학교)

총무간사: 정우상(KIST)

Room 606, 4월 25일

좌장 : 박준식 (한밭대학교)

상변태1-1 | 13:30

Type 304 스테인리스 강에서 보론 첨가가 단 범위 규칙 반응에 미치는 영향

김성수¹, 임상엽¹, 김영석¹, 정종엽¹

¹한국원자력연구원.

상변태1-2 | 13:45

Ni첨가 페라이트계 스테인리스강의 상변태 거동 및 충격인성 평가

공정현¹, 박수호¹

¹㈜포스코 기술연구소 스테인레스연구그룹.

상변태1-3 | 14:00

347H 오스테나이트계 내열강에서의 결정립 크기에 따른 입내 및 입계 석출거동 차이

홍창완¹, 허윤욱¹, 김성준¹

¹포항공과대학교철강대학원.

AW-3 | 14:15

LS학술상 수상기념강연

비휘발성 메모리용 상변화 재료

정병기¹

¹한국과학기술연구원.

Break Time | 14:40

좌장 : 허윤욱 (포항공과대학교)

상변태2-1 | 14:55

저온 템퍼링 공정 기반 Mn Segregation을 이용한 고인성 RAFM강의 개발

김민석¹, 김상준¹, 박은수¹

¹서울대학교 재료공학부.

상변태2-2 | 15:10

Phase Transformation Behavior of NbCoSn Metallic Glass

Chanwon Jung¹, Seunghoon Yi², Pyuck-Pa Choi¹

¹Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST).

²Kyungpook National University (KNU).

상변태2-3 | 15:25

Comparison of Oxidation Behaviors of Si/Al Pack Cementation Coating on Mo-3Si-1B Alloys Through Oxidation Test at 800 °C and 1300 °C

양원철¹, 백경호², 이성³, 김영무³, 박준식¹

¹한밭대학교 신소재공학과, ²충남대학교 신소재공학과, ³국방과학연구소.

상변태2-4 | 15:40

Canceled

Machine Learning 기반 Fe계 비정질 연자성 신합금 개발

김경준¹, 김원¹, 윤국노¹, 박은수¹

¹서울대학교 재료공학부.

상변태2-5 | 15:55

Tuning for the Local Structure and Related Properties in Bulk Metallic Glasses via Fabrication Methods and Thermomechanical Processes

유근희¹, 박태규¹, 김휘준², 최한신², 이동우³, 박은수¹

¹서울대학교, ²한국생산기술연구원, ³성균관대학교.

제12회 계장화 압입시험 및 미소강도 심포지엄

위원장: 권동일(서울대학교)

실무위원: 김영천(안동대학교)

Room 607, 4월 25일

좌장 : 김영천 (안동대학교)

계장화1-1 | 09:00

Degradation Assessment Technique for High-Temperature-Component Materials in Gas Turbines Using Instrumented Indentation Test (IIT)

조창현¹, 최성기¹, 권오민¹, 김승규¹, 김병철², 권동일¹

¹서울대학교, ²㈜프론트릭스.

계장화1-2 | 09:15

석출경화형 고엔트로피합금의 나노결정화 및 역학특성 연구

박정민¹, 이동현², 양광휘¹, 서진우³, 장재일¹

¹한양대학교, ²Max-Planck Institute, ³한국과학기술연구원.

계장화1-3 | 09:30

초청강연

Understanding the Mechanical Behavior of Metallic Thin Films for use in Extreme Environments

Gi-Dong Sim¹

¹Korea Advanced Institute of Science and Technology.

계장화1-4 | 09:55

스트레처를 봉지재료용 비정질 금속 박막 합성 및 기계적 물성 평가

박선영¹, 김주영¹

¹UNIST 신소재공학부.

Break Time | 10:10

좌장 : 최민재 (한국원자력연구원)

계장화2-1 | 10:30 초청강연

Indentation Study on Martensitic Hot Stamping Steels for a Higher Bendability

Byung-Gil Yoo¹, 양광휘², 도형협¹, 허성열¹, 장재일², 김성주¹
¹현대제철 기술연구소, ²한양대학교 신소재공학과.

계장화2-2 | 10:55

Evaluation of Thin film Interfacial Properties using Single Nanoindentation Test

이진우¹, 김종형¹, 김종현², 임종경³, 권동일¹
¹서울대학교 재료공학부 법안전공학연구원, ²LG전자 생산기술연구원, ³쥬프론틱스.

계장화2-3 | 11:10

나노인덴테이션을 이용한 복합조직강의 경도 분포와 출력장성의 상관관계 평가

송은지¹, 김주영¹
¹UNIST 신소재공학과.

계장화2-4 | 11:25 초청강연

Reliability of Metal Interconnect for Flexible Electronics

김병준¹
¹안동대학교.

좌장 : 김주영 (울산과학기술원)

계장화3-1 | 13:30 초청강연

고온나노압입시험법을 이용한 체심입방금속의 온도의존적 기계적 변형 거동 분석

최인철¹
¹금오공과대학교 신소재공학과.

계장화3-2 | 13:55

금속-세라믹 나노 다층 복합소재의 변형 메커니즘 연구

강동규¹, 한승민¹
¹한국과학기술원 신소재공학과.

계장화3-3 | 14:10

계장화 압입시험법을 활용한 잔류응력 측정법: 무응력 상태 유추 기법 제안 및 국제 협력을 통한 검증 데이터베이스 구축

최성기¹, 김종형¹, 이준상¹, 이경열¹, 최민재², 김순호³, 권동일¹
¹서울대학교, ²한국원자력연구원, ³쥬프론틱스.

계장화3-4 | 14:25 초청강연

계장화압입시험법의 표준화를 통한 산업응용

권동일¹
¹서울대학교.

Break Time | 14:50

좌장 : 석무영 (재료연구소)

계장화4-1 | 15:10 기업발표

계장화압입시험법을 활용한 기계적 물성 측정의 적용분야 확대

김병철¹
¹(주)프론틱스.

계장화4-2 | 15:20 기업발표

Introduction of Nanoindentation & KLA

Nannan Ehmke¹
¹KLA.

계장화4-3 | 15:30 기업발표

In Operando Nanomechanical Testing

오윤제¹
¹브루커.

계장화4-4 | 15:40 기업발표

파크시스템스: 첨단연구계측, 분석장비의 길을 개척한다

조상준¹
¹파크시스템스.

계장화4-5 | 15:50 기업발표

Helmut Fischer 의 Nano Indentation Tester에 관하여

김비오¹, 우문성²
¹헬무트피셔코리아, ²DH Trading.

Break Time | 16:00

좌장 : 최인철 (금오공과대학교)

계장화5-1 | 16:20

플렉서블 전자기기에 쓰이는 배선으로서 구리/그래핀 멀티레이어의 건고성과 그래핀의 역할

김원식¹, 황병일², 한승민¹
¹한국과학기술원, ²중앙대학교.

계장화5-2 | 16:35

인장 및 압축 변형에 따른 나노포러스 금의 기계적 물성과 리가먼트 크기에 대한 상관관계

전한술¹, 곽은지¹, 송은지¹, 김주영¹
¹UNIST 신소재공학과.

계장화5-3 | 16:50 초청강연

미소-전단실험을 통한 마그네슘의 소성변형특성 평가

석무영¹, Christoph Kirchlechner², Gerhard Dehm²
¹재료연구소(KIMS), ²Max-Planck-Institute for Iron research.

계장화5-4 | 17:15

나노포러스 금의 구형 압입크기효과

김영천¹, 곽은지², 안승민², 강나라², 한홍남³, 장재일⁴, 김주영²
¹안동대학교, ²UNIST, ³서울대학교, ⁴한양대학교.

타이타늄

위원장: 김승연(재료연구소)
 총무간사: 홍재근(재료연구소), 김정환(한밭대학교),
 노윤경(동아특수금속)
 Room 600A, 4월 25일

좌장 : 정은진 (포항산업과학연구원)

타이타늄1-1 | 09:30

수소화-탈수소화법 및 고상탈산법을 이용한 저산소 타이타늄 3원계 합금 분말의 제조
김태현¹, 오정민¹, 임재원¹
¹전북대학교 신소재공학부.

타이타늄1-2 | 09:45

Crude TiCl₄ 제조를 위한 합성루타일의 염화반응 속도에 미치는 입자 내 기공의 영향
이소영¹, 박성훈¹, 홍성민¹, 손호상¹
¹경북대학교.

타이타늄1-3 | 10:00

Electrorefining Process of Titanium from CuTi Alloy in K-Free Molten Fluoride Salt
리블라디슬라브¹, 이영준², 유병욱³, Hayk Nersisyan⁴, 이종현^{1,2,4}
¹충남대학교, ²(주)지론택, ³재료연구소, ⁴급속응고신소재연구소.

타이타늄1-4 | 10:15

적층가공(3D 프린팅)한 Ti-6Al-4V 합금의 내식성 평가를 위한 마이크로 및 매크로 전기화학적 측정
서동일¹, 이재봉¹
¹국민대학교 신소재공학부 부식및방식실험실

Break Time | 10:30

좌장: 김정환 (한밭대학교)

타이타늄2-1 | 10:45

열간압연 γ -TiAl의 집합조직 및 이방성에 관한 연구
박성현¹, 김재권^{1,2}, 김성웅², 김승연², 오명훈¹
¹금오공과대학교 신소재공학과, ²재료연구소 타이타늄 연구실.

타이타늄2-2 | 11:00

열간 가공과 열처리를 이용한 γ -TiAl 합금의 미세조직제어 및 기계적 특성 연구
김중훈^{1,2}, 김재권¹, 김지영¹, 김성웅¹, 박용호², 김승연¹
¹재료연구소, ²부산대학교.

타이타늄2-3 | 11:15

미세한 완전층상조직 (Fine Fully Lamellar)형성이 주조용 γ -TiAl합금의 기계적 물성에 미치는 영향
김재권^{1,2}, 김중훈¹, 김지영¹, 박성현², 오명훈², 김성웅¹, 김승연¹
¹재료연구소(KIMS), ²금오공과대학교.

타이타늄2-4 | 11:30

Electron Beam Melting 공정으로 제조된 Ti-48Al-2Cr-2Nb 금속간 화합물의 미세조직 및 고온 압축 특성
윤성준¹, 김영균¹, 홍재근², 이기안^{1*}
¹인하대학교 신소재공학과, ²재료연구소.

Break Time | 11:45

좌장: 김재일 (동아대학교)

타이타늄3-1 | 13:00

Ti-Ni 형상기억합금의 미세조직 변화가 양극산화에 의해 생성되는 산화막 성장거동에 미치는 영향
최수영¹, 김민수², Izaz Ur Rehman¹, 남태현¹
¹경상대학교, ²한국생산기술연구원.

타이타늄3-2 | 13:15

석출물이 제어된 Ti-51Ni 합금의 상변태거동
문정태¹, 남태현¹
¹경상대학교.

타이타늄3-3 | 13:30

Ti-xNi-12Cu (x = 38, 39, 40 at.%)합금의 시효처리에 따른 초탄성특성 조사
김지현¹, 남태현¹
¹경상대학교.

타이타늄3-4 | 13:45

(35.5-x)Ti-49.5Ni-15Hf-xNb 형상기억합금의 가공성 및 미세구조
김성철¹, 임진환¹, 남태현¹
¹경상대학교.

Break Time | 14:00

좌장: 이동근 (순천대학교)

타이타늄4-1 | 14:15

생체적합성 고지르코늄 함유 Ti-Zr-Nb-Sn 생체의료용 합금개발
김양후¹, 권용재¹, 이택우¹, 박형기¹, 박광석¹
¹한국생산기술연구원 강원지역본부.

타이타늄4-2 | 14:30

Highly Porous Ni-Free Ti-Zr-Nb-Sn Scaffolds with Large Recovery Strain for Biomedical Applications
Li shuanglei¹, Yeon-wook Kim², Tae-hyun Nam¹
¹Gyeongsang National University, ²Keimyung University.

타이타늄4-3 | 14:45

TMCP를 통한 초미세립 2상 타이타늄 합금 제조 공정에서 초기 층상 두께의 영향
오정목¹, 홍재근¹, 염종택¹, 이상원¹, 김은영², 강남현³, 박찬희¹
¹재료연구소 타이타늄연구실, ²재료연구소 재료분석평가실, ³부산대학교 재료공학과.

Break Time | 15:00

좌장 : 현용택 (재료연구소)

타이타늄5-1 | 15:15

Relationship Between Work Hardening and Stress Distribution in Dual Phase Ti-Cr-O Alloy
Duck Soo kang^{1,2}, Jung Ho Shin¹
¹SeAH Changwon Integrated Special Steel, ²Kyushu University.

타이타늄5-2 | 15:30

Anisotropic Deformation Behaviour of Commercially Pure Titanium at Cryogenic Temperature
이민수¹, 지민기¹, 현용택², 전태성¹
¹인천대학교공과대학, ²재료연구소.

타이타늄5-3 | 15:45

Grain Refinement of Ti-6Al-4V with the Addition of Fe and Cr During Direct Energy Deposition
Pasupuleti Lakshmi Narayana¹, Cheng-Lin Li¹, Seong-Woo Choi¹, Sangwon Lee¹, Jong-Taek Yeom¹, N. S. Reddy², Jae-Keun Hong¹
¹Korea Institute of Materials Science, ²Gyeongsang National University.

New-Horizon : 금속 3D프린팅 공정 및 재료의 현재 상황과 미래 기회 (적층제조 및 분말(AMPM) 분과위원회 창립 기념 심포지엄)
 위원장: 유석현(두산중공업), 김형섭(포항공과대학교)
 실무위원: 홍순직(공주대학교), 강민철(3D프린팅연구조합), 최윤석(부산대학교)
 Room 600B, 4월 25일

좌장: 최윤석 (부산대학교)

NEW1-1 | 09:30

제조혁신을 위한 적층제조 기술의 발전방향과 전망
 유석현¹
¹두산중공업(주).

NEW1-2 | 10:00

The Recent Uses of Metal 3D Printing for the Automotive Industry
 Shinhu Cho¹, Deok Woo Yun¹, Gyungbok Kim¹
¹Hyundai Motor Company.

NEW1-3 | 10:30

The Current Status of Metallic 3D Printing Materials and Processes for Aircraft Application
 Yoo-In Jeong¹, Dae-Hwan Kim¹, Seo Yeon Jo¹, Hyun Seo Son¹
¹Korea Aerospace Industries Ltd.

NEW1-4 | 11:00

금속적층제조기술을 적용한 발전 플랜트 부품 현황 및 전망
 조현철¹, 신영호¹, 이재웅¹,
¹두산중공업.

NEW1-5 | 11:30

금속적층가공품의 부품화를 위한 계단
 김명세¹
¹(주) 아우라테크.

좌장: 강민철 (3D프린팅연구조합)

NEW2-1 | 13:00

금속 3D 프린팅 상용화 방안
 이창우¹
¹Korea Institute of Machinery & Materials.

NEW2-2 | 13:30

하이브리드 금속 3D프린팅 장비 기술 개발 및 고경도 금형 보수 제작 적용
 이동목¹, 문창규¹, 최규철¹, 도진호¹, 예강현¹, 강명규¹
¹맥스로텍 R&D센터.

NEW2-3 | 14:00

하이브리드 3D 프린팅 공정을 이용한 맞춤형 의료부품 상용화 기술개발
 김대중¹
¹(주)인스텍.

NEW2-4 | 14:30

PBF 방식에 의한 마그네슘 분말의 적층 제조의 기술
 김우종¹
¹(주) 대건테크.

Break Time | 15:00

좌장: 홍순직 (공주대학교)

NEW3-1 | 15:30

금속3D프린팅용 분말소재의 설계와 새로운 응용
 유지훈¹, 양상선¹, 정임두¹, 최종호¹, 김경태¹, 김용진¹, 김형섭², 이기안³
¹한국기계연구원 부설 재료연구소, ²포항공과대학교, ³인하대학교.

NEW3-2 | 16:00

Gas atomizer를 활용한 3D프린팅용 Ti 분말 제조
 김택수^{1,2}
¹한국생산기술연구원 한려혁신센터, ²과학기술연합대학원 대학교.

NEW3-3 | 16:30

Al-Si합금 조성 및 분말 입도에 따른 반사율 특성
 이찬기¹, 최광목¹, 채홍준*¹
¹고등기술연구원 융합소재연구소.

NEW3-4 | 17:00

금속 소재 관점에서 본 3D 프린팅 및 제언
 이기안¹
¹인하대학교 신소재공학과.

NEW3-5 | 17:30

Comprehensive Study of Unique Microstructure Development and Mechanical Characterization of Additive Manufactured Ni-Based Superalloys
 H.U. Hong¹, J.W. Lee^{1,2}, S.Y. Im¹, S.Y. Jun¹, M. Turner¹, B.S. Lee³, E. Copin⁴, P. Lours⁴, S. Biaino⁵
¹Changwon National University, ²Institut Clément Ader IMT Mines Alb., ³Korea Institute of Industrial Technology, ⁴Politecnico di Torino.

철강II
 위원장: 최주(POSCO)
 총무간사: 최종교(POSCO)
 실무위원: 박주현(한양대학교), 황병철(서울과학기술대학교)
 Room 700A, 4월 25일

좌장 : 박성준 (재료연구소)

철강4-1 | 10:00

CHQ 중탄소강의 세멘타이트 구상화에 미치는 초기 미세조직학적 영향 고찰
 김규식¹, 위동열¹, 이재승², 이기안¹
¹인하대학교, ²포스코.

철강4-2 | 10:15

B,Ti 첨가가 0.55C-2.3Si 강 of 흑연화 거동에 미치는 영향
 배상우¹, 김예진¹, 임남석², 박성혁¹
¹경북대학교, ²포스코.

철강4-3 | 10:30

FeMnAlC계 경량철강 주조재의 Ni 첨가에 따른 κ-Carbide 석출 거동 및 변형 거동의 원자단위적 고찰
 김치원¹, Mathieu Ternier¹, 이재현¹, 문준오², 장재훈², 박성준², 이봉호³, 홍현욱*¹
¹창원대학교 신소재공학부, ²재료연구소 철강재료연구실, ³대구경북과학기술원.

철강4-4 | 10:45

저탄소 단조강의 기계적 성질에 미치는 압하율의 영향

원윤정¹, 권훈², 조기섭²

¹국민대학교 신소재공학부 재료설계연구실, ²국민대학교 신소재공학부.

철강4-5 | 11:00

Zn-Mg/Zn 이중층 박막에서 Zn Interlayer 미세구조 제어가 박막의 밀착력에 미치는 영향에 관한 연구

이승환¹, 송면규¹, 김희근¹, 이상울¹

¹한국항공대학교 항공재료공학과.

철강4-6 | 11:15

High-Resolution Digital Image Correlation Method를 이용한 TiN Particle이 Martensitic Steel 굽힘 거동에 미치는 영향

김동혁¹, 성유진¹, 김정기¹, 서민홍², 김형섭¹

¹포항공과대학교 신소재공학과, ²포스코.

철강4-7 | 11:30

인공신경망을 이용한 미세조직기반 고강도 API 라인파이프강의 변형능 예측

홍태운¹, 김재성¹, 이상인¹, P. L. Narayana², N. S. Reddy², 박찬희³, 황병철¹

¹서울과학기술대학교, ²경상대학교, ³재료연구소.

철강4-8 | 11:45

열역학 시뮬레이션 기반 합금설계를 통한 9Cr-1Mo 용착금속 고온(600 °C) 인장물성 향상

문병록¹, 윤상화², 김한열³, 최기용², 정우상³, 강남현¹, 조경목¹

¹부산대학교 재료공학부, ²고려융합중 앙기술연구소, ³한국과학기술연구원 고온에너지재료연구센터.

좌장: 신상용 (울산대학교)

철강5-1 | 13:00

Mn 함량에 따른 고망간강의 저온에서의 수소취성 거동 변화

조장웅¹, 서현주¹, 이종수¹

¹포스텍(포항공과대학교).

철강5-2 | 13:15

V/Mo 첨가 비율에 따른 템퍼드 마르텐사이트 조직강의 수소취성 거동 변화

서현주¹, 조장웅¹, 이준모², 최상우², 이종수¹

¹포항공과대학교 철강대학원, ²포스코 기술연구원.

철강5-3 | 13:30

용융 은 내에서의 FeCrAl 합금 고온 부식 거동 분석

임규석¹, 조수행², 권숙철¹, 이종현¹

¹충남대학교, ²충남대학교 급속응고신소재연구소.

철강5-4 | 13:45

Zr 첨가가 고 망간강의 내부 산화 거동에 미치는 영향 해석

이동원¹, 허윤욱¹, 이재상¹, 조원태², 강명훈², 임창희¹

¹포항공과대학교 철강대학원, ²포스코 기술연구소.

철강5-5 | 14:00

Thermal Schedule에 따른 저탄소 합금강의 고온연성 거동 연구

권상훈¹, 허윤욱¹, 이재상¹, 김동규², 임창희¹

¹포항공과대학교 철강대학원, ²동아대학교.

철강5-6 | 14:15

발전소재 1.25Cr-0.5Mo강에서 등온열화에 따른 M₂C 형성 거동 분석

김명연¹, 정우상², 이영국¹, 심재혁²

¹연세대학교, ²한국과학기술연구원.

철강5-7 | 14:30

Effect of Lanthanum Addition for the Oxidation Behaviors and Related Area Specific Resistance in Ferritic Stainless Steels for Solid Oxide Fuel Cell Interconnects

고윤석^{1,2}, 김병규¹, 김동익¹, 한홍남²

¹한국과학기술연구원, ²서울대학교.

철강5-8 | 14:45

Influence of Manganese on the Microstructure and Mechanical Properties of Oxide Dispersion Strengthened Steels

앤드류¹, 김정환¹, 나민영², 장해정², 박태성¹, 김형찬³, 노상훈⁴

¹한밭대 신소재공학과, ²한국과학기술연구원, ³한국생산기술연구원, ⁴한국원자력연구원.

Break Time | 15:00

좌장 : 박영도 (동의대학교)

철강6-1 | 15:10

Orientation Image Processing과 머신러닝(Machine Learning)을 활용한 다상복합조직 철강의 상분석

강전연¹, 이충안², 강민우², 권순우², 박성준¹, 홍승현²

¹재료연구소(KIMS), ²현대자동차그룹 금속재료리서치팀.

철강6-2 | 15:25

오스테나이트계 FeMnAlC 경량철강의 물성에 미치는 합금원소의 영향

박성준¹, 문준오¹, 박준영¹, 장재훈¹, 이창훈¹, 김성대¹, 강전연¹, 신종호², 정재석², 홍현욱³, 이재현³, 한홍남⁴, 이창희⁵

¹한국기계연구원 부설 재료연구소, ²두산중공업, ³창원대학교, ⁴서울대학교, ⁵한양대학교.

철강6-3 | 15:40

오스테나이트계 FeMnAlC 경량철강의 시효열처리에 따른 변태기구와 기계적 특성에 대한 연구

문준오¹, 박성준¹, 장재훈¹, 김성대¹, 이창훈¹, 이태호¹, 이봉호², 한홍남³, 홍현욱⁴

¹재료연구소, ²DGIST, ³서울대학교, ⁴창원대학교.

철강6-4 | 15:55

탄소강의 스케일 박리성에 미치는 열연 공정의 영향

김득중¹

¹POSCO기술연구원.

철강6-5 | 16:10

다변량 통계분석법을 이용한 고질소강에서의 Cr₂N 석출상 공핍영역 검출

배지환¹, 장재훈², 이태호², 하현영², 김홍규¹, 정영우¹, 김궁호¹, 김주영³, 이규형³, 천동원¹

¹한국과학기술연구원, ²재료연구소, ³연세대학교.

철강6-6 | 16:25

산업기계용 고경도 내마모강 개발

유승호¹, 정영진¹, 정환교¹

¹포스코 기술연구원.

Break Time | 16:40

좌장 : 이재상 (POSTECH)

철강7-1 | 16:45

In-Situ SP시험을 사용한 고압수소가스하 수소에너지용 강재의 재료적 합성 평가 방법

Hyung-Seop Shin¹, Un-Bong Baek²

¹Andong National University, ²KRISS.

철강7-2 | 17:00

고탄소 펄라이트 강재의 내응력부식특성에 미치는 합금원소의 영향

김현진¹, 양요셉¹, 이충열¹

¹포스코 기술연구원.

철강7-3 | 17:15

미세 석출물 활용 크롬강 고온 크리프 수명 증대 연구

성현제¹, 김대우¹, 정환교¹

¹POSCO기술연구원.

철강7-4 | 17:30

Si 함량에 따른 고강도강의 고온 스케일 상변태의 in-situ 방사광 XRD 연구

장창환¹, 주만길¹, 김성일²

¹RIST, ²POSCO.

철강7-5 | 17:45

Small-Scale Naindentation Plasticity of a High-Bendability Martensitic Steel

유병길¹, 송치웅¹, 양광휘², 도형협¹, 허성열¹, 장재일², 김성주¹

¹현대제철 기술연구소, ²한양대학교 신소재공학과.

문화재 속 전통과학, 현대과학 기술과 만나다

위원장: 조남철(공주대학교)
실무위원: 이재성(국립문화재연구소)
Room 700B, 4월 25일

좌장 : 조남철 (공주대학교)

전통1-1 | 09:00

청동제 종의 미세조직 관찰을 통해 본 제작 및 부식 특성

김소진¹, 한우림², 황진주¹

¹국립문화재연구소, ²국립가야문화재연구소.

전통1-2 | 09:15

부여 능산리 1호 출토 목관 금동관장식의 제작방법 분석

신용비¹, 이민희¹, 김규호²

¹국립부여박물관, ²공주대학교.

전통1-3 | 09:30

The Silla Unification and Its Impact on Social Transformations as Inferred from Diachronic Changes in Bronze Technology

Jang Sik Park¹

¹홍익대학교 세종캠퍼스.

전통1-4 | 09:45

EIA Bronze Technology and the Rise of Stratified Mobile Communities in the Steppe of Central Kazakhstan

Jang Sik Park¹

¹홍익대학교.

전통1-5 | 10:00

고대 사형주조품(砂型鑄造品)의 주형(鑄型) 재료 특성

허일권¹, 조남철², 한민수³, 최보배⁴, 김선아²

¹국립진주박물관, ²공주대학교, ³한국전통문화대학교, ⁴국립춘천박물관.

Break Time | 10:15

좌장 : 허일권 (국립중앙박물관)

전통2-1 | 10:25

창녕 송현동고분군 출토 입주부운주의 제작기법

한우림¹, 박지연¹, 김소진²

¹국립가야문화재연구소, ²국립문화재연구소.

전통2-2 | 10:40

충주 탐평리유적 출토 철기 및 철기유물의 분석에 의한 백제 제철기술 연구

이은우¹

¹국립중앙문화재연구소.

전통2-3 | 10:55

Canceled

칠보 유약과 금속 기판재의 열거동 및 봉착특성

박재영¹, 김호형¹, 이민수¹, 임태홍¹

¹한국생산기술연구원.

전통2-4 | 11:10

전통 정련·단점기술 응용 소재 및 문화상품 개발

조남철¹, 조성모¹

¹공주대학교.

여성세션

위원장: 임혜인(숙명여자대학교)
총무간사: 박진우(연세대학교), 이선영(한양대학교)
Room 700B, 4월 25일

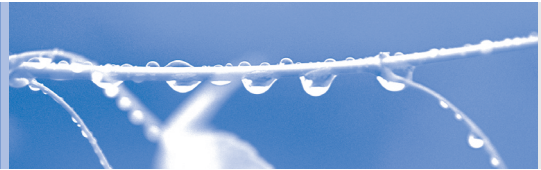
좌장: 이미정 (국민대학교)

여성1-1 | 15:15

영똥한 생각으로 즐거운 세상 만들기

신경호¹

¹한국과학기술연구원.



마그네슘

위원장: 유봉선(재료연구소)
총무간사: 박성혁(경북대학교)
Room 601, 4월 26일

좌장 : 김영민 (재료연구소)

마그네슘1-1 | 09:00

마그네슘 박판주조 공정에서의 옹해로 도가니 내 개재물 발생 거동
박재신¹, 추동균¹, 김재중², 정인호³
¹(재)포항산업과학연구원, ²포스코, ³서울대학교.

마그네슘1-2 | 09:15

AZ91 합금의 미세조직 및 인장 물성에 대한 압출 온도의 영향
서종식¹, 최재욱¹, 서병찬¹, 유봉선¹, 김영민¹
¹재료연구소.

마그네슘1-3 | 09:30

AI 첨가를 통한 Mg-Sn-Zn 합금 압출재의 기계적 물성 및 소성 등방성 향상
김상훈¹, 이종연¹, 김예진¹, 정재길², 박성혁¹
¹경북대학교, ²재료연구소.

마그네슘1-4 | 09:45

Bio-Degradable Mg-Zn-Ca Alloy with Excellent Corrosion Resistance and Moderate Tensile Strength by Heat Treatment
Nam Ryong Kim¹, Sang Kyu Woo¹, Chang Dong Yim¹, Byeong-Chan Suh²
¹UST, ²KIMS.

마그네슘1-5 | 10:00

AI 첨가에 따른 Mg-Bi 압출재의 조직 균일도와 기계적 특성 향상
고종빈¹, 이종연¹, 이상원¹, 이정훈², 박성혁¹
¹경북대학교, ²한국생산기술연구원.

Break Time | 10:15

좌장 : 배준호(재료연구소)

AW-4 | 10:25 현송공학상 수상기념강연

마그네슘 소재의 핵심이슈와 이를 극복하기 위한 연구성과
유봉선¹
¹재료연구소.

마그네슘2-1 | 10:50

Achievement of Excellent High-Strain-Rate Superplasticity and Low-Temperature Superplasticity Through Low-Angle Boundary Formation in a Mg-Y-Zn Alloy with the Icosahedral Phase
Taejin Lee¹, W.J. Kim¹, S.H. Han¹
¹Department of Materials Science and Engineering, Hongik University.

마그네슘2-2 | 11:05

Enhancing Mechanical Properties of ZK60 Mg Alloy Through a Multi-Pass Caliber-Rolling
Byung Je Kwak¹, Taein Kong¹, Jeong Hun Lee², Sang Won Lee³, Sung Hyuk Park³, Taekyung Lee¹
¹Pusan National University, ²Korea Institute of Industrial Technology, ³Kyungpook National University.

마그네슘2-3 | 11:20

초기 집합조직이 마그네슘합금 압연재의 정적 재결정 거동에 미치는 영향
이상원¹, 김상훈¹, 박성혁¹
¹경북대학교.

마그네슘2-4 | 11:35

Annealing Effect on Microstructure and Mechanical Properties for Caliber-Rolled AZ31
Taein Kong¹, Byung Je Kwak², Jeong Hun Lee², Taekyung Lee¹
¹Pusan National University, ²Korea Institute of Industrial Technology.

마그네슘2-5 | 11:50

비-기저면 집합조직을 가지는 AZ31 합금의 고속압연 시 미세조직 변화 및 재결정 거동
이수진^{1,2}, 김예진², 최지환¹, 이정훈¹, 박성혁²
¹한국생산기술연구원, ²경북대학교.

좌장 : 서병찬 (재료연구소)

마그네슘3-1 | 13:30

Formation of TD Split Texture During Annealing Process in Ca Containing Mg-Zn Alloy
Jae H. Kim¹, Byeong-Chan Suh², T.T.T. Trang¹, Jihyun Hwang¹, Nack J. Kim¹
¹POSTECH, ²KIMS.

마그네슘3-2 | 13:45

압축변형 및 어닐링에 따른 AZ31 마그네슘 압연재의 미세조직 변화
이종연¹, 김예진¹, 김상훈¹, 박성혁¹
¹경북대학교.

마그네슘3-3 | 14:00

Mechanism of Deformation-Induced Grain Boundary Serration in AZ31 Alloy
Hyeon-Woo Son¹, Ji-Woon Lee², Soong-Keun Hyun¹
¹Inha University, ²Korea Institute of Industrial Technology.

마그네슘3-4 | 14:15

어닐링 온도가 {10-12} 쌍정을 가지는 마그네슘 압연재의 인장물성에 미치는 영향
김예진¹, 이종연¹, 김상훈¹, 박성혁¹
¹경북대학교.

마그네슘3-5 | 14:30

Deformation Behavior of Mg-Nd Single Crystals

권호¹, 신광선¹

¹서울대학교.

열전재료

위원장: 박수동(한국전기연구원)

총무간사: 김일호(한국교통대학교), 이종수(경희대학교)

Room 602, 4월 26일

좌장 : 김일호 (한국교통대학교)

열전1-1 | 09:00

Possible Existence of Pb Interstitial in Binary Pb-Rich PbTe Based on Density Functional Theory Calculations

박성진¹, 류병기¹

¹한국전기연구원.

열전1-2 | 09:15

분무 공정으로 제조된 Cu-BiSbTe 소재에서 Cu 함량이 열전 특성에 미치는 영향

이철희¹, 윤석민¹, 김동환², 김종태², 윤덕기³, 김태훈³, 홍순직¹

¹공주대학교 신소재공학부, ²대구경북과학기술원, ³(주)정관.

열전1-3 | 09:30

Enhancement of Thermoelectric Properties of CuI doped Bi₂ (Te, Se)₃ / Mo Composites by Low Energy Carrier Filtering

Hyunyoung Cho¹, Song Yi Back¹, Jong-Soo Rhyee¹

¹Kyung Hee University.

열전1-4 | 09:45

Thermoelectric Transport Properties of Bi/Sn and Bi/Sb Core/Shell Metallic Heterostructure Nanowires

Hongjae Moon¹, Jeongmin Kim¹, Wooyoung Lee¹

¹Department of Materials Science and Engineering, Yonsei Univ.

열전1-5 | 10:00

Evaluation of Thermoelectric Module by Electrical Contact Resistance at High Temperature

Yeongseon Kim¹, Jinseop Song¹, Chung-Yul Yoo¹, Hana Yoon¹, Giwan Yoon², Sang Hyun Park¹

¹Korea Institute of Energy Research, ²Korea Advanced Institute of Science and Technology.

Break Time | 10:15

좌장 : 이순일 (한국세라믹기술원)

열전2-1 | 10:25

Aluminum Antimonide: Synthesis by Controlled Casting Followed by Vacuum Hot Pressing and Thermoelectric Property Elucidation

Ashiquzzaman Shawon¹, Soon-Chul Ur^{*1}

¹Korea National University of Transportation.

열전2-2 | 10:40

Simultaneous Enhancement of Electrical and Thermal Properties of Higher Manganese Silicide by the Introduction of Fe and Co Nanoparticles

Gwansik Kim¹, Hyun Jun Rim¹, Jeongmin Kim¹, Kyu Hyoung Lee¹, Wooyoung Lee¹

¹Yonsei University.

열전2-3 | 10:55

A study on Anisotropic Thermoelectric Properties of Tellurium

Abbey Stanley¹, Min-Wook Oh¹

¹Hanbat National University.

열전2-4 | 11:10

Enhancement of Thermoelectric Properties by Lattice Softening and Energy Band Gap Control in Te-Deficient InTe1-δ

SongYi Back¹, Hyunyoung Cho¹, Jong-Soo Rhyee¹

¹Kyung Hee University.

열전2-5 | 11:25

Thermoelectric Properties of Isovalent Substituted Hf-Free Half-Heusler Ti1-xZrxNiSn Compounds

Nguyen Van Du¹, Jamil Ur Rahman¹, Jung Young Cho¹, Myong-Ho Kim², Won-Seon Seo¹, Weon Ho Shin¹, Soonil Lee²

¹한국세라믹기술원, ²Changwon National University.

Break Time | 11:40

좌장 : 오민욱 (한밭대학교)

열전3-1 | 13:00

Synthesis and Thermoelectric Properties of Cu₂Te and p-type Bi-Sb-Te for Low Temperature Energy Harvesting

Jamil Ur Rahman¹, Jae Min Song¹, Jung Young Cho¹, Soonil Lee², Won Seon Seo¹, Seyun Kim³, Sang-il Kim⁴, Kyu Hyoung Lee⁵, Dongkyu Roh¹, Weon Ho Shin

¹Korea Institute of Ceramic Engineering & Technology, ²Changwon National University, ³Samsung Advanced Institute of Technology, ⁴University of Seoul, ⁵Yonsei University.

열전3-2 | 13:15

Semimetal to Semiconductor Transition and Very High Thermopower in 2D layered PtSe₂ nanosheets

Jeongmin Kim¹, Hongjae Moon¹, Wooyoung Lee¹

¹Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University.

열전3-3 | 13:30

Synergetic Enhancement of Thermoelectric Performance by Selective Charge Anderson Localization-Delocalization Transition in N-Type Bi-Doped PbTe/Ag₂Te Nanocomposite

이종수¹, 이민호¹, 윤재현¹, 김가령¹, 이지은³, 박수동³, Konelius Nielsch², Heiko Reith², Gabi Schierning²

¹경희대학교 응용물리학과, ²Leibniz Institute for Solid State and Materials Research, ³한국전기연구원.

열전3-4 | 13:45

열전발전시스템 성능 평가용 배기가스 모사장치 개발

허성준¹, 노윤현¹

¹(주)블루시스.

열전3-5 | 14:00

Repress 공정이 적용된 Bi2Te3 열전발전모듈의 제작 및 출력특성
주성재¹, 민복기¹, 김봉서¹, 이지은¹, 장정인¹, 임혜진¹, 박수지¹
¹한국전기연구원.

가공-용접 및 접합

위원장: 김상식(경상대학교)
총무간사: 이영선(재료연구소), 강남현(부산대학교),
이호년(한국생산기술연구원), 박영도(동의대학교)
Room 603, 4월 26일

좌장 : 박영도 (동의대학교)

용접1-1 | 09:00

Ti-STs 이중 브레이징 접합시 Ti-Zr계 비정질 삽입재의 조성 제어에
따른 금속간 화합물의 형성 거동 및 기계적 특성
박진수¹, 장보훈¹, 이진규¹
¹공주대학교 신소재공학부.

용접1-2 | 09:15

A Comprehensive Analysis in Friction Stir Butt Welded Joint of
5052-H32 Al and DP 1200 Steel Alloys: Microstructure and
Mechanical/Electrochemical Properties
Anaman Yaw Sam¹, Hoon-Hwe Cho¹, Hrishikesh Das², Sung-Tae Hong²
¹한밭대학교, ²울산대학교.

용접1-3 | 09:30

Microstructural Evolution and Mechanical Properties of Laser Beam
Welded Joints Between Pure V and 17-4PH Stainless Steel
나나¹, 김정환*¹, 김정오²
¹한밭대학교 신소재공학과, ²한국기계연구원 광응용기계연구실.

용접1-4 | 09:45

The Effect of Heat Input on the CGHAZ Toughness of a Novel Fire
and Seismic Resistant Steel
Dileep Chandran Ramachandran¹, Siva Prasad Murugan¹, Jun Oh Moon²,
Chang Hoon Lee², Seung Jin Jung³, Sang Hoon Jeong³, Chanyoung Jeong¹,
Yeong-Do Park^{1*}
¹Department of Advanced Materials Engineering, Dong-Eui University.
² Advanced Materials Division, Ferrous Alloy Department, KIMS, ³ R&D
Division, Chosun Welding Co. Ltd.

용접1-5 | 10:00

Fe-Mn-Al-C 경량 철강의 용접 및 용접 후열처리 공정에 대하여 Cr
첨가가 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향
정성훈¹, 김봉윤¹, 문준오², 박성준², 이창희¹
¹한양대학교 신소재공학과, ²재료연구소.

용접1-6 | 10:15

In-Situ 후열처리를 이용한 중망간강 점용접부 인성 향상 연구
박기태¹, 염상호², 정홍철², 이창희¹
¹한양대학교, ²POSCO.

Break Time | 10:30

좌장 : 강남현 (부산대학교)

용접2-1 | 10:40

DED AM 공정을 이용한 Fe-Ni계 이중소재의 경사적층공정 연구
임성록¹, 김성욱¹, 천창근¹
¹포항산업과학연구원 금속소재연구그룹.

용접2-2 | 10:55

스테인리스강 레이저 용접성에 관한 연구
이목영¹, 박헌준², 차성철²
¹포항산업과학연구원, ²현대케피코.

용접2-3 | 11:10

Ti 판재 부품화를 위한 용접공정 및 기계적 물성평가
김성욱¹, 임성록¹, 천창근¹
¹포항산업과학연구원(RIST).

용접2-4 | 11:25

기존 극저온용 용접재료를 적용한 Cast High-Entropy Alloys의 용접부
특성 평가
남헌빈¹, 박상원¹, 양우성², 박노근³, 나영상⁴, 김형섭⁵, 강남현¹
¹부산대학교 재료공학부, ²세아에셋 기술연구소, ³영남대학교 신소재공학부, ⁴
재료연구소 티타늄연구실, ⁵포항공과대학교 신소재공학과.

용접2-5 | 11:40

저항점용접 연속타점에 따른 전극의 마모가 LME 균열에 미치는 영향
Kaisar Mahmud¹, Siva Prasad Murugan¹, 박영도¹
¹동의대학교.

Break Time | 11:55

가공-소성가공

위원장: 김상식(경상대학교)
총무간사: 이영선(재료연구소), 강남현(부산대학교),
이호년(한국생산기술연구원), 박영도(동의대학교)
Room 603, 4월 26일

좌장 : 이영선 (재료연구소)

소성1-1 | 13:00

핫스탬핑 보론강의 냉각방식에 따른 미세조직 및 기계적특성
박현태¹, 권의표¹, 임익태², 박현경³
¹한국생산기술연구원 탄소경량소재응용그룹, ²전북대학교 기계설계공학과, ³
동해금속 기술연구소.

소성1-2 | 13:15

TMCP 압연 공정해석을 통한 HSLA 극후물 강재의 미세조직분포 예측
최창혁¹, 천세환¹, 임형철¹
¹(주)에프엠케이.

소성1-3 | 13:30

냉각속도에 따른 비조질강의 항복비 특성 및 온간 공정 적용
배성준¹, 이영선¹, 윤은우¹, 김기환¹
¹한국 기계연구원 부설 재료연구소.

소성1-4 | 13:45

Microstructural Characteristics of Ferrous Driven Part Fabricated by Warm Precision Forging

이영선¹, 윤은유¹, 배성준¹, 김기한¹, 이상용²

¹한국기계연구원 부설 재료연구소, ²안동대학교.

Break Time | 14:00

좌장 : 김대용 (재료연구소)

소성2-1 | 14:10

Study on Shape Design Variable for Twist-Type Sheet Forming in Flexibly-Reconfigurable Roll Forming

Junseok Yoon¹, Beomsoo Kang², Daeyong Kim¹

¹Korea Institute of Materials Science, ²Pusan National University.

소성2-2 | 14:25

알루미늄 판재 소재의 고무패드 성형 공정 유한 요소 해석 모델링에 관한 연구

이진우¹, 봉혁중¹, 권용남¹, 김대용¹

¹한국기계연구원 부설 재료연구소 (KIMS).

소성2-3 | 14:40

유한요소해석을 통한 알루미늄 판재와 판재 사이의 전자기 체결 거동 분석

박현일¹, 이진우¹, 이영선¹, 김지훈², 김대용¹

¹재료연구소, ²부산대학교.

소성2-4 | 14:55

칼슘 첨가 마그네슘 합금의 기계적 특성 및 이를 이용한 원도우레쿨레 이터 연속 성형

김세종¹, 김기한¹, 배성준¹, 강성훈¹, 이호원¹, 오영석¹, 한원돈², 정배훈², 이영선¹

¹재료연구소(KIMS), ²광진기계.

지르코늄 핵연료 피복관 개발현황 심포지엄

위원장: 김현길(한국원자력연구원)

실무위원: 정양일(한국원자력연구원)

Room 604, 4월 26일

좌장 : 정양일 (한국원자력연구원)

지르코늄1-1 | 09:00

사고저항성 핵연료(ATF) 피복관 기술의 현재와 미래

김현길¹, 정양일¹, 신호철², 이광호², 목용균³, 김윤호³

¹한국원자력연구원, ²한국수력원자력, ³한전원자력연료.

지르코늄1-2 | 09:15

LOCA 안전성기준 강화에 따른 핵연료피복관 평가기술 개발 현황

고대균¹, 장훈¹, 이성용¹, 김윤호¹, 김재익¹

¹한전원자력연료.

지르코늄1-3 | 09:30

PVD 법을 이용한 핵연료 피복관용 내산화방지막 코팅기술개발

박정환¹, 정양일¹, 박동준¹, 이영호¹, 최병권¹, 김일현¹, 김현길¹

¹한국원자력연구원.

지르코늄1-4 | 09:45

3D 레이저 프린팅을 이용한 핵연료피복관의 표면처리 기술

김일현¹, 김현길², 최병권², 이영호², 정양일², 박동준², 박정환², 양재호²

¹한양대학교 신소재공학과, ²한국원자력연구원 핵연료안전연구부.

지르코늄1-5 | 10:00

Cr-Al-Si계 내산화 코팅재료의 미세조직 특성

김정민¹, 박준식¹, 김일현², 김현길²

¹한밭대학교, ²한국원자력연구원.

지르코늄1-6 | 10:15

ATF 피복관 코팅용 후보소재별 고온산화 기구 규명 연구

박동준¹, 정양일¹, 박정환¹, 최병권¹, 이영호¹, 김일현¹, 김현길¹

¹한국원자력연구원.

Break Time | 10:30

좌장 : 이성용 (한전원자력연료)

지르코늄2-1 | 10:40

사고저항성 향상 피복관용 철계 합금 개발 현황

이성용¹, 장훈¹, 고대균¹, 김윤호¹, 이승재¹

¹한전원자력연료.

지르코늄2-2 | 10:55

Fe20Cr2Si 합금의 고온 수증기 환경 산화 거동 연구

문준호¹, 김선규¹, 김지현², Michael Short³, 반치범¹

¹부산대학교, ²울산과학기술원, ³Massachusetts Institute of Technology.

지르코늄2-3 | 11:10

Effects of Yttrium on 1200 °C Steam Oxidation Behavior of FeCrAl-Y Alloy

Sungyu Kim¹, Joonho Moon¹, Chi Bum Bahn¹

¹School of Mechanical Engineering, Pusan National University.

지르코늄2-4 | 11:25

스크래치 및 프레팅 마멸에 의한 표면손상 코팅층의 고온 수증기 산화 거동

이영호¹, 김일현¹, 박정환¹, 박동준¹, 정양일¹, 최병권¹, 김현길¹

¹한국원자력연구원.

지르코늄2-5 | 11:40

지르코늄 피복관의 기계적강도 향상을 위한 레이저 ODS 표면처리

정양일¹, 김일현^{1,2}, 박동준¹, 박정환¹, 최병권¹, 이영호¹, 김현길¹

¹한국원자력연구원, ²한양대학교.

재료강도

위원장: 장재일(한양대학교)

총무간사: 김주영(울산과학기술원)

Room 605, 4월 26일

좌장 : 김영천 (안동대학교)

재료강도1-1 | 09:00

나노포러스 금의 자가치유(Self-Healing) 거동 분석

곽은지¹, 김주영¹

¹UNIST 신소재공학부.

재료강도1-2 | 09:15

방향성 동결 건조법을 이용한 패턴 변화와 나노 물질 보강에 따른 다공성 구조체의 기계적 특성 변화
김종범¹, 김태건¹, 한승민¹, 현승민²
¹한국과학기술원, ²한국기계연구원.

재료강도1-3 | 09:30

신축성 봉지재료용 비정질 알루미늄 박막의 저온 합성 및 기계적 물성 분석
우정현¹, 김시훈¹, 안승민¹, 박선영¹, 김주영¹
¹UNIST 신소재공학부.

재료강도1-4 | 09:45

물결구조를 적용한 고 신축성 비정질 이산화규소 박막봉지기술
김한글¹, 김나향¹, 김주영¹
¹UNIST 신소재공학부.

재료강도1-5 | 10:00

스트레처블 봉지재료용 SiO₂ 박막의 신축률 향상
김나향¹, 김한글¹, 김시훈¹, 김주영¹
¹UNIST 신소재공학부.

재료강도1-6 | 10:15

결정립 구조에 따른 나노포러스 금의 파괴거동
송은지¹, 곽은지¹, 김주영¹
¹UNIST 신소재공학부.

Break Time | 10:30

좌장 : 김주영 (울산과학기술원)

재료강도2-1 | 10:40

Mo, Nb 첨가 내화 철강의 고온강도 향상 기구
이창훈¹, 김성대¹, 장재훈¹, 문준오¹, 박성준¹, 이태호¹, 조효행¹, 신찬선², Kip O. Findley³, John G. Speer³, 정준호⁴, 이봉호⁵
¹재료연구소(KIMS), ²명지대학교, ³Colorado School of Mines, ⁴현대제철, ⁵DGIST.

재료강도2-2 | 10:55

적층 제조된 Inconel 625 합금의 열처리법 제안과 그에 따른 고온 기계적 특성 변화
이지원^{1,2}, 김진혁¹, 전선영¹, Mathieu TENER¹, Etienne COPIN², Philippe LOURS², 홍현욱¹
¹창원대학교, ²IMT MINES ALBI-ICA.

재료강도2-3 | 11:10

후열처리된 IN740H/P92 이중용접부 P92강의 경도 불균일성에 미치는 미세조직학적 인자의 영향에 관한 연구
서위걸¹, 이한상², 유근봉², 서진유³, 심재혁³, 최시훈¹
¹국립 순천대학교, ²한국전력공사 청정발전연구소 발전시스템그룹, ³한국과학기술연구소 고온에너지 재료연구센터.

재료강도2-4 | 11:25

Haynes 282 초내열합금의 열처리 조건에 따른 미세조직, 기계적 특성 및 변형거동 상관관계 고찰
김진혁¹, 공병욱², 홍현욱¹
¹창원대학교 신소재공학부, ²두산중공업.

재료강도2-5 | 11:40

Dynamic Behavior of MIM OFHC Cu Manufactured by Nano-Powders
Woo sanghyun^{1,2}, Lee keunho², Lee yerim², Lee changsoo², Park leejun^{1,2}, Kwon youngsam³
¹Korea University of Science and Technology, ²Agency for Defense Development, ³Inc. CetaTech.

좌장 : 최인철 (금오공과대학교)

재료강도3-1 | 13:00

The Effect of Mo Addition on Macroscale Mechanical Properties and Small-Scale Intrinsic Mechanical Behavior of Mo-Added Austenitic FeMnAlC Lightweight Steels
이재은¹, 김황선¹, 박성준², 문준오², 한홍남¹
¹서울대학교, ²재료연구소.

재료강도3-2 | 13:15

단일롤-각압연 공정으로 제조된 역 구배구조 구리판재의 미세조직 및 기계적 물성
이학현¹, 윤재익¹, 박형근¹, 김형섭¹
¹포항공과대학교 신소재공학과.

재료강도3-3 | 13:30

국부적 고압 비틀림 강소성 가공을 통해 제작된 중공 원뿔 형상 시험편의 미세조직 및 기계적 물성
홍영곤¹, 이세암¹, 이학현¹, 김형섭¹
¹포항공과대학교 신소재공학과.

재료강도3-4 | 13:45

건축구조용 내화강의 고온 기계적 물성 및 가속크리프 특성 평가
최동준¹, 김동익², 심재혁², 한홍남¹, 이영수²
¹서울대학교, ²한국과학기술연구원(KIST).

재료강도3-5 | 14:00

단일롤-각압연에서 기계적 성질 및 미세조직의 특성 변화에 대한 공정 유형 및 횡수의 영향
황교준¹, 이학현¹, 김형섭¹
¹포항공과대학교 신소재공학과.

재료강도3-6 | 14:15

Precipitation and Dissolution Behavior of Coherent and Incoherent Vanadium Carbides in a Recrystallized TWIP Steel
Woojin Cho¹, Byeong-Seok Jeong¹, Jaeun Lee¹, Hwangsun Kim¹, Heung Nam Han¹
¹Seoul National University.

Break Time | 14:30

좌장 : 석무영 (재료연구소)

AW-2 | 14:40 POSCO 젊은철강상 수상기념강연

Anisotropic Plasticity for Predicting Strengths Under Complex Deformation Paths

Myoung-Gyu Lee¹, Hongjin Choi¹, Jinwoo Lee¹, Hyuk-Jong Bong²
¹Seoul National University, ²Korea Institute of Materials Science.

재료강도4-1 | 15:05

Influence of Vanadium Micro-Alloying on Grain Boundary Strengthening in High Manganese TWIP Steel

Byeong-Seok Jeong¹, Woojin Cho¹, Jaeun Lee¹, Hwangsun Kim¹, Wontae Cho², Heung Nam Han¹
¹Seoul National University, ²POSCO Technical Research Laboratories.

재료강도4-2 | 15:20

미세조직에 따른 API 라인파이프강의 인장 및 충격 특성 변화

이승환¹, 신승혁¹, 이상인¹, 황병철¹
¹서울과학기술대학교.

제13회 소재부품 안전 및 신뢰성 심포지엄

위원장: 양원존(재료연구소), 함종오(한국화학융합시험연구원)
실무위원: 변재원(서울과학기술대학교), 신상용(울산대학교)
Room 606, 4월 26일

좌장 : 변재원 (서울과학기술대학교)

소재1-1 | 09:30

FEM을 이용한 초대형 밸브의 안전성 평가

이건하¹, 양원존¹, 조재형¹, 권준범¹, 박은진¹
¹한국기계연구원 부설 재료연구소.

소재1-2 | 09:45

고속 충돌시험기를 이용한 항공기용 부품의 동적 신뢰성 평가

권준범¹, 양원존¹
¹재료연구소(KIMS).

소재1-3 | 10:00

소재신뢰성 평가를 위한 연속압입기술 적용 - ASME & ISO

김종형¹, 이준상¹, 권오민¹, 김광호², 권동일¹
¹서울대학교, ²프론틱스.

소재1-4 | 10:15

Small Punch Test를 활용한 국내 원자로용기강의 기계적 특성평가

홍석민¹, 이태경^{1,2}, 김종민¹, 김민철¹
¹한국원자력연구원, ²한양대학교.

Break Time | 10:30

좌장 : 양원존 (재료연구소)

소재2-1 | 10:40

AZ91D 합금에서 불연속 및 연속석출물과 내식성의 정량적 상관관계 연구

김재연¹, 변재원¹
¹서울과학기술대학교.

소재2-2 | 11:05

표면연마에 따른 적층성형된 CoCr 합금의 부식거동

서보성¹, 박형기¹, 김형균¹, 박광석¹
¹한국생산기술연구원.

소재2-3 | 11:20

7xxx계 알루미늄 압출재의 응력부식균열 특성

성효경¹, 정해송¹, 김세훈², 어광준³, 김상식¹
¹경상대학교, ²자동차부품연구원, ³재료연구소.

소재2-4 | 11:35

토양부식에 의한 배관용 탄소강관(SPW400)의 손상원인 분석

함종오¹, 박기덕¹, 조병일¹
¹한국화학융합시험연구원.

Break Time | 11:50

좌장 : 신상용 (울산대학교)

소재3-1 | 13:00 초청강연

고기능 체결 부품의 파손 사례와 근본원인 해석

이유환¹, 박태성²
¹태양금속공업(주) 기술연구소 소재연구실, ²국립한밭대학교 응용소재공학과.

소재3-2 | 13:30

Failure Analysis of AI Arm for Automotive Resistance Welder

박기덕¹, 조병일¹, 박문석¹
¹한국화학융합시험연구원.

소재3-3 | 13:45

정유화학공정의 재질 Creep 손상 사례

박이호¹, 김재웅²
¹SK이노베이션, ²SK에너지.

소재3-4 | 14:00

디젤엔진용 인젝션 펌프 균열 원인분석

양원존¹, 권준범¹, 이건하¹
¹한국기계연구원 부설 재료연구소.

소재3-5 | 14:15

타워 크레인 와이어 로프 파단 원인 분석

정성욱¹, 김대경¹, 박종민¹, 한기형¹
¹대우조선해양.

북한광물자원의 원료소재화 기술개발 현황

위원장: 이재천(한국지질자원연구원)
실무위원: 강정신(한국지질자원연구원 & UST),
고상모(한국지질자원연구원), 이진영(한국지질자원연구원),
김영민(재료연구소)
Room 607, 4월 26일

좌장 : 유경근 (한국해양대학교)

북한광물1-1 | 09:00

북한의 지질 및 주요 광물자원

고상모¹, 이길재¹, 유병운¹
¹한국지질자원연구원 DMR 융합연구단.

북한광물1-2 | 09:25

북한의 Mg 및 RE소재 기술 개발 현황
강영실¹
¹북한대학원대학교.

북한광물1-3 | 09:50

북한산 전략금속자원의 선광 공정 개발
김관호¹, 정수복¹, 김양수¹, 유광석¹
¹한국지질자원연구원 DMR융합연구단.

Break Time | 10:15

좌장 : 강정신 (한국지질자원연구원 & UST)

북한광물2-1 | 10:25

Status of Technologies for the Production and Materialization of Molybdenum Ores in North Korea
김행구¹, 유경근¹
¹국립한국해양대학교.

북한광물2-2 | 10:50

북한산 연·아연정광에 대한 신제련공정 검토
강진구¹, 이호석¹, 문남일¹
¹영풍 기술연구소.

북한광물2-3 | 11:15

북한 희토류광을 이용한 제련공정 및 자석 소재화 기술 개발
이진영¹, 김동수²
¹한국지질자원연구원, ²재료연구소.

북한광물2-4 | 11:40

북한 마그네사이트의 고부가가치화를 위한 통합형 소재화기술 개발
김영민¹, 유봉선¹, 강정신¹, 박형규¹, 이태혁¹, 김하식¹
¹DMR융합연구단.

Break Time | 12:05

감성소재부품 심포지엄

위원장: 이효수(한국생산기술연구원), 나종주(재료연구소)
실무위원: 이해중(한국생산기술연구원), 조재형(재료연구소)
Room 600A, 4월 26일

좌장 : 이효수 (한국생산기술연구원)

감성1-1 | 09:30

음파 간섭에 의한 매질내 미세입자의 응집시스템기술개발
이효수¹, 이해중¹, 엄누시아¹, 김범성¹, 이해진¹
¹한국생산기술연구원.

감성1-2 | 10:00

감성과 경험, 의미의 시대를 위한 디자인
김선아¹
¹금오공과대학교.

감성1-3 | 10:30

고감성 섬유소재 기술개발 동향
이인열¹
¹한국섬유소재연구원.

감성1-4 | 11:00

능동형 컬러제어 소재를 통한 응용기술
김영석¹
¹전자부품연구원.

감성2-1 | 13:00

다중감성이 발현되는 금속소재개발 개요
나종주¹, 변지영², 임태홍³
¹재료연구소 표면기술연구본부, ²한국과학기술연구원 물질구조제어센터, ³한국생산기술연구원 표면처리그룹.

감성2-2 | 13:30

Numerical Investigation of Structure-Property Relationship in Porous Materials
Dongmyoung Jung¹, Yujung Kim¹, Jiyeon Kim¹, Yongwoo Kwon¹
¹Hongik University.

감성2-3 | 14:00

금속표면에 선명하고 다양한 색상을 발현하기 위한 기술의 제안
변지영¹, 이명규², 이승용¹, 조소혜¹
¹한국과학기술연구원 물질구조제어연구센터, ²연세대학교 신소재공학부.

감성2-4 | 14:30

표면텍스처와 촉감조절 금속소재
임태홍¹, 박재영¹, 엄현진¹, 김호형¹, 이민수¹
¹한국생산기술연구원.

알루미늄

위원장: 김목순(인하대학교)
총무간사: 어광준(재료연구소),
김명균(포항산업과학연구원), 박현순(인하대학교)
Room 600B, 4월 26일

좌장 : 어광준 (재료연구소)

알루미늄1-1 | 09:00 초청강연

Al-Mg-Si계 합금에서 나노클러스터 생성과 시효 경화 거동
김재황¹
¹한국생산기술연구원.

알루미늄1-2 | 09:25

Al-Zn-Mg계 신합금의 고온 유통응력 전산모사
양승현¹, 연구호¹, 김목순¹, 김세훈²
¹인하대학교, ²자동차부품연구원.

알루미늄1-3 | 09:40

Al-Mg-Si 합금에서 저온 (50 °C) 예비시효 시간이 나노클러스터 형성과 시효경화 거동에 미치는 영향
송민영^{1,2}, 김인수^{1,2}, 이해철¹, 김재황¹, 홍성길²
¹한국생산기술연구원, ²전남대학교.

알루미늄1-4 | 09:55

The Formation of Dispersoids and Their Role in η Precipitation During Cooling of AA7068 Alloy

Saif Haider Kayani^{1,2}, Jae-Gil Jung², Min-Seok Kim², Kwangjun Euh^{1,2}
¹과학 기술 연합 대학원대학교, ²재료연구소.

Break Time | 10:10

좌장 : 신제식 (한국생산기술연구원)

알루미늄2-1 | 10:20

고강도 알루미늄 합금의 레이저 용접성에 관한 연구

이목영¹, 김숙환², 황종일³
¹포항산업과학연구원, ²경북TP, ³(주)엘엠에스.

알루미늄2-2 | 10:35

알루미늄 합금 판재 저장 용접 특성 비교 및 결함 분석

지창욱¹, 김재훈¹, 천주용¹
¹한국생산기술연구원 울산본부.

알루미늄2-3 | 10:50

Al-Mg계, Al-Mg-Si계, Al-Zn-Mg계 알루미늄 합금 판재의 방탄특성 및 관통거동

정제기¹, 조의제¹, 김수현², 이윤수², 김희주², 임차용², 박용호¹
¹부산대학교, ²재료연구소.

알루미늄2-4 | 11:05

High Mg 알루미늄 합금의 비틀림 집합조직 변화

조창희¹, 손현우¹, 김상욱¹, 이재철¹, 윤영옥², 김세광², 정택균¹, 현승균¹
¹인하대학교 공대 신소재공학부 재료구조제어연구실, ²한국생산기술연구원.

알루미늄2-5 | 11:20

Nucleation Thermodynamics and Kinetics of FCC-Al Nanocrystals in Al-Based Metallic Glasses

김완¹, 박은수¹, M.Gao², J.H.Perepezko²
¹서울대학교 신소재공동연구소, ²University of Wisconsin-Madison.

좌장 : 김재황 (한국생산기술연구원)

알루미늄3-1 | 13:00

주조용 A356 합금 내 미세원소 첨가 및 열처리에 따른 특성변화 고찰

김명균¹, 박연병¹
¹포항산업과학연구원.

알루미늄3-2 | 13:15

열분석 기법을 활용한 Al-7Si-0.35Mg 합금의 응고조직 및 기계적 성질 예측

김상원¹, 김상안², 이광석², 강종표³, 김대엽⁴, 김민수⁴
¹전북대학교 금속시스템공학과, ²(주)신화모텍 기술연구소, ³현대모비스 사시/의장 분석팀, ⁴한국생산기술연구원 전북지역본부.

알루미늄3-3 | 13:30

과공정 Al-15wt.% Si 합금의 고온 마모 특성에 미치는 신 Primary Si 제어 방안(TiO₂ 미세화 첨가)의 영향

백민석¹, 박태현¹, 김중호², 신재혁³, 이기안⁴
¹인하대학교 신소재공학과, ²포항산업과학연구원 (RIST), ³자동차부품연구원 (KATECH).

알루미늄3-4 | 13:45

TiB₂첨가를 통한 공정Mg₂Si상 개량이 Al-Si-Mg계 주조합금의 미세조직과 기계적 특성변화에 미치는 영향

김병주¹, 황지훈², 박용호³, 이영철¹
¹한국생산기술연구원, ²LG전자 소재/생산 기술원, ³부산대학교.

알루미늄3-5 | 14:00

EMS (Electromagnetic Stirring) 주조법으로 제조된 과공정 Al-Si계 합금의 고온 소성변형거동

연구호¹, 양승현¹, 김목순¹, 김종호²
¹인하대학교 신소재공학과, ²포항산업과학연구원.

Break Time | 14:15

좌장 : 김명균 (포항산업과학연구원)

알루미늄4-1 | 14:25

Precipitation Behavior of the Al-Fe-Mn Alloy Sheets Containing Ni Element at High Temperature

강현¹, 유성현¹, 허용강¹, 김성녕¹, 박호준¹, 구남훈¹
¹현대제철.

알루미늄4-2 | 14:40

박판주조법으로 제조한 Al-8wt%Zn-2.5wt%Mg-2wt%Cu 합금판재의 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 시효처리의 영향

허지구¹, 이윤수¹, 김민석¹, 김형욱¹, 김양도²
¹한국기계연구원 부설 재료연구소, ²부산대학교.

알루미늄4-3 | 14:55

냉간 압연 시 AA1100 합금의 초기미세조직이 집합조직 발달거동에 미치는 영향

이성음¹, 김정균¹, 김민성¹, 권상철², 김순태², 정효태², 이성³, 최시훈¹
¹순천대학교, ²강릉원주대학교, ³국방과학연구소.

알루미늄4-4 | 15:10

Al-Cu계 합금에서 Mg 첨가량 및 자연시효 시간이 이단시효에 미치는 영향

김인수^{1,2}, 송민영^{1,2}, 이해철¹, 김재황¹, 홍성길²
¹한국생산기술연구원, ²전남대학교.

나노스케일 분석의 확산 및 무확산 상변태

위원장: 최병학 (강릉원주대학교)
실무위원: 정우상 (한국과학기술연구원)
Room 700A, 4월 26일

좌장 : 김재현 (국민대학교)

나노스케일1-1 | 09:30

재료의 상변태 구동력

김영석¹, 김성수¹
¹한국원자력연구원.

나노스케일1-2 | 10:00

Coupling of Phase-Field Simulation with Thermodynamic and Kinetic Databases for Phase Transformation in Multicomponent Alloys

김성균¹, 이병주², 김원태³, 차필령⁴

¹군산대학교, ²포항공과대학교, ³청주대학교, ⁴국민대학교.

나노스케일1-3 | 10:30

무확산 상변태에서 모상의 미세조직 복원과 방위관계 분석

강전연¹, 김병환¹, 이충안², 강민우², 권순우², 박성준¹, 홍승현²

¹재료연구소(KIMS), ²현대자동차그룹 금속재료리서치팀.

나노스케일1-4 | 11:00

마르텐사이트계 스테인리스강 상변태와 재질취성

최병학¹, 장현수¹, 이상우¹, 이길재², 김경찬³

¹강릉원주대학교, ²한국동서발전, ³대화과학.

제6회 수소재료 안전 심포지엄

위원장: 백운봉(한국표준과학연구원)

실무위원: 서진유(한국과학기술연구원)

박재영(한국표준과학연구원)

Room 700B, 4월 26일

좌장 : 백운봉 (한국표준과학연구원)

수소1-1 | 09:00

Effects of Lamellar Structure on Tensile Properties and Resistance to Hydrogen Embrittlement of Pearlitic Steel

Sang-Hyun Yu¹, Sang-Min Lee¹, Sukjin Lee¹, Jae-Hoon Nam¹, Jae-Seung Lee², Chul-Min Bae², Young-Kook Lee¹

¹Yonsei university, ²POSCO.

수소1-2 | 09:30

페라이트계 강의 수소 확산 및 트레핑에 미치는 미세조직의 영향

박철호¹, 강남현¹

¹부산대학교.

수소1-3 | 10:00

철강재의 수소분위기 크리프 변형거동 평가

김한진¹, 서진유¹, 이준호²

¹한국과학기술연구원, ²고려대학교.

Break Time | 10:30

좌장 : 서진유 (한국과학기술연구원)

수소2-1 | 10:40

수소충전소용 압력용기용강 개발을 위한 수소취성평가

백운봉¹, 남승훈¹, 박재영¹

¹한국표준과학연구원.

수소2-2 | 11:10

Hydrogen Embrittlement Mechanism in Fatigue Properties of Hydrogen-Charged 316L Austenitic Stainless Steel

응웬 탄투안¹, 남승훈¹, 류권상¹, 백운봉¹

¹한국표준과학연구원 소재에너지융합촉정센터.

수소2-3 | 11:40

금속재료의 수소취성 기구

김영석¹, 김성수¹, 최병학²

¹한국원자력연구원, ²강릉원주대학교.

가공-표면처리

위원장: 김상식(경상대학교)

총무간사: 이영선(재료연구소), 강남현(부산대학교),

이호년(한국생산기술연구원), 박영도(동의대학교)

Room 700B, 4월 26일

좌장 : 이호년 (한국생산기술연구원)

표면1-1 | 13:00

초청강연

Synthesis of Large Area ta-C Protective Coatings for Satellite Solar Cell Using Floating Filtered Vacuum Arc Sources

이상울¹, 김희근¹, 이승환¹, 이인규¹

¹한국항공대학교.

표면1-2 | 13:25

미끄럼 접촉환경하 트라이볼로지 특성 향상을 위한 다층막 배열의 사면체 비정질 카본(ta-C) 코팅

장영준¹, 김재일¹, 강용진¹, 김도현¹, 김종국¹

¹한국기계연구원부설재료연구소.

표면1-3 | 13:40

자장여과아크법으로 증착된 실리콘 함유 사면체 비정질 카본막의 트라이볼로지적 특성

김종국¹, 김재일¹, 김도현¹, 강용진¹, 장영준¹, 남옥희¹

¹재료연구소(KIMS).

표면1-4 | 13:55

Effect of Si Addition on Coating Layer of Al Coated Steel Sheets After Hot Press Process

Seonjin Kim¹, Kyunhwan Park¹, Moonhi Hong¹

¹POSCO C&C.

Break Time | 14:10

좌장 : 이호년 (한국생산기술연구원)

AW-5 | 14:20

기술상 수상기념강연

자동차용 고강도강판의 용융아연도금 기술

김명수¹, 김영하¹

¹포스코 자동차소재표면연구그룹.

표면2-1 | 14:45

Surface Modification for the Promotion of Adhesion Between Electroless Copper and PCB Substrate

이재호¹, 이용수¹, 천홍욱¹, 이서향¹

¹홍익대학교.

표면2-2 | 15:00

Development of Amphiphobic Coating with NiAl-Layered Double Hydroxide on the Patterned Polymer Substrate

Yao Wenhui¹, Kang Young-Joon¹, Baeg Ju-Hwan¹, Cho Young-Rae¹

¹부산대학교 공대 재료공학부.

표면2-3 | 15:15

Vacuum Kinetic Spray를 통해 적층된 Y2O3 입자의 비행 및 적층 거동 연구

권한솔¹, 김연주¹, 이창희¹

¹한양대학교.

표면2-4 | 15:30

(Mo100-XSiX)N 코팅층의 조성 및 질화에 따른 기계적 특성 및 미세조직 평가

임기성¹, 김영석¹, 박혜진¹, 문상철¹, 홍성환¹, Elyorjon Jumaev¹, 박제형¹, 김기범¹

¹세종대학교 나노신소재공학과.

표면2-5 | 15:45

Mo-Silicide 열차폐 코팅층 형성에 따른 고온특성평가

강상운¹, 박희진¹, 백경호¹, 박준식², 김영무³, 이상³

¹충남대학교 신소재공학과, ²한밭대학교 신소재공학과, ³국방과학연구소.

POSTER SESSIONS I 4월 25일



P1 : 제2회 고부가 금속재료 연구 및 교육 심포지엄

Room 전시장 III, 4월 25일 09:00 - 16:00

P1-1

용액공정 기반의 연신 가능한 발광소자의 개발

김진훈¹, 박진우¹

¹연세대학교 신소재공학부.

P1-2

Crystallization Behavior of Calcium-Aluminate Based Continuous Casting Mold Fluxes for High Al and High Ti-Containing Steels

Gibeom Kim¹, Il Sohn¹

¹Yonsei University.

P1-3

분자 동역학 시뮬레이션을 이용한 응력 하에서 계면 이동에 의한 영구 변형에 관한 연구

성시문¹, 장재훈², 한홍남¹

¹서울대학교, ²재료연구소.

P1-4

경피성 산소분압 측정을 위한 웨어러블 광발광식 산소센서 연구

임창진¹, 이소연¹, 박진우¹

¹연세대학교 공과대학 신소재공학과.

P1-5

Fe-Mn-Al 강에서 고온 초소성 변형 중 나타나는 미세조직 변화

강석현¹, 이영국¹

¹연세대학교.

P1-6

Modified 740H 니켈계 초내열합금의 기계적 특성에 미치는 합금원소의 영향

추동주¹, 박찬희¹, 이준호¹, 정우상²

¹고려대학교 신소재공학과, ²한국과학기술연구원 에너지소재연구단.

P1-7

Recrystallization Texture Prediction Based on Multiscale Crystal Plasticity and Generalized Strain Energy Release Maximization Theory

Kyung Mun Min¹, Woojin Jeong¹, Pil-Ryung Cha², Heung Nam Han¹, Seung-Hyun Hong³, Myoung-Gyu Lee¹

¹Seoul National University, ²Kookmin University, ³Hyundai Motor Company.

P1-8

래들 슬래그의 탈황능에 미치는 산업부산물 첨가의 영향

정태수¹, 김태성¹, 강진규¹, 박주현¹

¹한양대학교.

P1-9

In-Situ Observation of $\epsilon \leftrightarrow \gamma$ Transformation During Thermal Cycle in Fe-17Mn Alloy

홍진성¹, 고윤석², 김동익², 이영국¹

¹연세대학교, ²한국과학기술연구원.

P1-10

9 Cr - 1 Mo 튜브재 및 용접재의 크리프 특성 및 미세조직 변화

김한열^{1,2}, 허주열¹, 정우상²

¹고려대학교 신소재공학과, ²한국과학기술연구원 에너지재료연구단.

P1-11

The Mechanism of Dynamic Strain Aging for Serrations in the Tensile Flow Curves of C-Bearing Twinning-Induced Plasticity Steels

오선근¹, 홍진성¹, Mehmet Emin Kilic¹, Aloysius Soon¹, 이영국¹

¹연세대학교 신소재공학과.

P1-12

CaO-Al₂O₃-FeO 슬래그 내 Fe³⁺/Fe²⁺ 산화-환원 평형에 관한 물리화학적 고찰

장동민¹, 김태성¹, 박주현¹

¹한양대학교.

P1-13

Ar-3%H₂ 분위기에서 제조된 (CoCrFeNi)_{95.2}Al_{3.2}Ti_{1.6} 고엔트로피 합금 내 비금속 개재물의 생성거동

강지연¹, 최누리¹, 박주현¹

¹한양대학교.

P1-14

진공유도가열로(VIM)에서 합금용해에 대한 변수 제어와 그 결과

최석원¹, 이영국¹

¹연세대학교 공과대학 신소재공학과.

P1-15

Hydrogen Effect of Creep Behavior in Ferritic Steel

Han-Jin Kim¹, Jin-Yoo Suh², Joonho Lee¹

¹Korea University, ²Korea Institute of Science and Technology.

P1-16

Deformation Microstructure of Austenite as a Second Phase in Steel

Rosa Kim¹, Cheol-jun Bae¹, Jong-ryoul Kim¹

¹Hanyang University.

P1-17

Phase Diagram Experiments of the Na₂O-B₂O₃-Fe₂O₃ System

김민경¹, 최호길¹, 최승우¹, 정인호¹, 이경우¹, 남기태¹

¹서울대학교 재료공학부.

P1-18

페라이트 스테인레스 내 산화 스케일의 열간 압연 중 파괴 분석

김승록¹, 이소연¹, 박진우¹
¹연세대학교 신소재공학과.

P1-19

고강도 볼트의 제조 공정별 수소량 분석 및 수소 취성 저항성 평가

유상현¹, 오선근¹, 박형석², 장민², 이기양², 이영국¹
¹연세대학교 공과대학 신소재공학과, ²현대모비스 기술연구소 재료연구팀.

P1-20

Recycling of Waste Lithium Ion Batteries Through High Temperature Pyrometallurgy

OhSung Kwon¹, Il Sohn¹
¹Yonsei University.

P1-21

Vacuum Kinetic Spray 공정을 통해 제작된 YF3 코팅층의 분말 열처리 온도에 따른 미세조직과 플라즈마 내식성

김연주¹, 권한술¹, 박형권², 이창희¹
¹한양대학교, ²현대제철.

P1-22

δ -Ferrite가 저온변태 용접재료의 변태 팽창과 기계적 특성에 미치는 영향

김두현¹, 이영채¹, 이재희¹, 이창희¹
¹한양대학교 신소재공학과.

P1-23

Thermodynamic of Nitrogen in Fe-Cr-Ti-Al Alloy Melt

Hae-Sol Son¹, Jung-Su Park¹, Jung-Mock Jang¹, Min-Kyu Paek², Jong-Jin Pak¹
¹Hanyang University, ²Aalto University.

P1-24

Al-Zn-Si-Mg계 도금강판의 계면합금상 형성 및 성장

고승희¹, 허주열¹, 박일정², 이석규²
¹고려대학교, ²포스코.

P1-25

ZnO를 함유한 소결광에서 Zn의 거동에 미치는 염기도 및 Al₂O₃ 농도 변화의 영향과 SFCA 광물상의 구조 변화

박준우¹, Ramaraghavulu Rajavaram¹, 서인국¹, 이준호¹
¹고려대학교.

P1-26

Drop Tube Furnace 내 NiO의 수소 환원 거동 평가

김지원¹
¹연세대학교 신소재공학과.

P1-27

Phase Transformation Model During Continuous Cooling According to Carbon Concentration

조준현¹, 이경우¹
¹서울대학교.

P1-28

Phase Transformation and Microstructure of Welded Joint Analyzed Using Numerical Model of Heat Transfer

Song Jihyo¹, Yi Kyeongwoo¹, Kang youngjun²
¹Seoul National University, ²Korea Institute of Materials Science.

P1-29

백금-바나듐 합금의 바나듐 활동도 측정

박동휘¹, 정지석¹, 심상철¹, 이준호¹
¹고려대학교, ²고려대학교 공학기술연구소.

P1-30

망간 산화물의 전해제련을 위한 용융 산화물 전해질 개발

Joongseok Kim¹, KyungWoo Lee¹
¹Seoul National University.

P2 : 철강

Room 전시장 III, 4월 25일 09:00 - 16:00

P2-1

Effects of Vanadium Micro-Alloying on Microstructures and Tensile Properties of Intercritically Annealed Medium-Mn Steels

Soyeong Kang¹, Tak Min Park¹, Kyeong-Ho Baik¹, Jeongho Han¹
¹충남대학교 신소재공학과.

P2-2

초경량 고내식 Fe-Mn-Al-C-Cr계 철강 소재 개발

김경원¹, 이창훈¹, 박성준¹, 하현영¹, 이태호¹, 이영주²
¹한국기계연구원 부설 재료연구소 철강재료연구실, ²포항산업과학연구원 재료 공정인프라섹션.

P2-3

고경도 Armor Steel의 TRIP 현상과 ASB형성 거동 연구

조민철¹, 김세림¹, 박형근¹, 서동우², 홍성석³, 김홍규³, 김형섭¹, 이성학¹
¹포항공과대학교 신소재공학과, ²포항공과대학교 철강대학원, ³국방과학연구소.

P2-4

980 Mpa급 DP강의 출확장성에 미치는 템퍼링의 영향

이건희¹, 송은지², 박봉준³, 권용재¹, 신상용¹, 김주영², 이정구¹
¹울산대학교 공대 첨단소재공학부, ²울산과학기술원 신소재공학부, ³현대제철 R&D Center.

P2-5

Effect of Cutting Method on Microstructure and Magnetic Properties in Non-Oriented Electrical Steel

Hunju Lee¹, Jong-Tae Park¹
¹POSCO.

P2-6

마르텐사이트 계 고질소 스테인리스강의 수소 용해도

김정훈¹, 강영조¹
¹동아대학교 금속공학과.

P2-7

터빈하우징용 오스테나이트계 내열주강의 열-기계적 피로 (TMF) 특성에 미치는 미세조직의 영향

유지성¹, 최원미¹, 이병주¹, 김기용², 김형준², 최원두³, 오용준³, 이성학¹
¹포항공과대학교 신소재공학과, ²계양정밀 R&D Center, ³한밭대학교 신소재공학과.

P2-8

Correlation of the Foaming Index and Sulfide Capacity with Slag Structure for EAF Slags

박영주¹, 민동준¹
¹연세대학교.

P2-9

Cu, Ni 함량 및 분위기에 따른 저 탄소강의 고온 산화거동

박주호¹, 김경아¹, 김혜주¹, 이형록¹, 김성연², 권상홍³, 허윤욱³, 임창희³, 김동규¹
¹동아대학교, ²포스코 기술연구소, ³포항공과대학교 철강대학원.

P2-10

Cu, Ni 합금강의 후판압연 시 표면 결함 형성 기구

김경아¹, 김혜주¹, 박주호¹, 이형록¹, 김성연², 권상홍³, 허윤욱³, 임창희³, 김동규¹
¹동아대학교, ²포스코 기술연구소, ³포항공과대학교 철강대학원.

P2-11

양극 전류 전도를 위한 FeCrAl 합금의 산화 거동

우화영¹, 권숙철¹, 이종현¹
¹충남대학교 신소재공학과.

P2-12

전기로 공정에서 화학 에너지의 활용 증대를 위한 대체 연료 내장 스크랩 장입 조건에 대한 기반 연구

김규완¹, 김선중²
¹조선대학교 첨단소재공학과, ²조선대학교 재료공학과.

P2-13

MgO-C 내화재 C% 함량과 유동에 따른 용강과의 내식 특성 연구

이주훈¹, 주재현¹, 정용석¹
¹한국산업기술대학교.

P2-14

Direct Quenching (DQ) 공정으로 제조된 HHA 강의 미세조직 및 인장 변형 거동에 미치는 Retained Austenite 제어 열처리의 영향

백민석¹, 김영균¹, 박태원², 함진화², 이기안¹
¹인하대학교 신소재공학과, ²국방과학연구소.

P2-15

고체 연료의 연소 속도를 반영한 소결 공정 모델 개발

권혁인¹, 류근용², 김선중²
¹조선대학교대학원첨단소재공학과, ²조선대학교 재료공학과.

P2-16

Influence of Ar Gas with Trace Oxygen on Surface Oxidation for Ti-ULC Steel Casting

Joo-Hyeok Lee¹, Sung-Kwang Kim², Myeong-Hun Kang³, Youn-Bae Kang¹
¹GIFT, Pohang University of Science and Technology, ²POSCO, ³Technical Research Laboratories, POSCO.

P2-17

B2/L21구조의 계층적 석출상으로 강화된 페라이트 합금 개발

박강현¹, 정윤종¹, 김경식¹, 홍순직¹, 송기안¹
¹공주대학교 신소재공학부.

P2-18

내화·내진 구조용강의 Mo, Nb, Ti 첨가에 따른 미세조직 및 저주기 피로 특성에 미치는 영향

심정호¹, 문준오², 이창훈², 홍현욱¹
¹창원대학교 신소재공학부, ²재료연구소 철강재료연구실.

P2-19

압력용기강의 미세조직 및 경도에 미치는 템퍼링 온도의 영향

이현욱¹, 이훈¹, 강의구², 권용재¹, 이정구¹, 신상용¹
¹울산대학교 공대 첨단소재공학부, ²현대제철 R&D Center.

P2-20

FCAW를 적용한 해양플랜트용 후판강의 두께 위치별 미세조직과 충격 인성의 상관관계

이훈¹, 이현욱¹, 김종철², 조성규², 최희기³, 권용재¹, 이정구¹, 신상용¹
¹울산대학교 공대 첨단소재공학부, ²현대제철 R&D Center, ³하이드로웨스트.

P2-21

DDT를 이용한 SiO2와 CaO-SiO2 슬래그의 Wetting 및 Spreading 특성 연구

유채연¹, 정용석¹
¹한국산업기술대학교 신소재공학과.

P2-22

Beam Blank 표면 연성 증대를 위한 연주 냉각 기술 연구

박태은¹, 정훈제¹, 표영석¹, 김영환¹, 김정민¹
¹동국제강 중앙기술연구소.

P2-23

Effect of Post-Weld Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of High-Mn Austenitic Steels Using SAW Process

Minha Park¹, Gwangyoon Kim¹, Moon Seok Kang¹, Geon-Woo Park¹, Hyoung-Chan Kim¹, Hyoung-Seok Moon¹, Jong Bae Jeon¹, Byung Jun Kim¹
¹Korea Institute of Industrial Technology.

P2-24

Effect of Heat Treatment on Strength and Impact Toughness of Cold Worked High-Mn Austenitic Steels

Minha Park¹, Gwangyoon Kim¹, Moon Seok Kang¹, Geon-Woo Park¹, Hyoung-Chan Kim¹, Hyoung-Soek Moon¹, Jong Bae Jeon¹, Byung Jun Kim¹
¹Korea Institute of Industrial Technology.

P2-25

저항복비 내화H형강의 고온항복강도에 미치는 합금성분의 영향

최우남¹, 김길수¹
¹동국제강 중앙기술연구소.

P2-26

FeMnAlC계 경량철강 주조합금의 시효 열처리 및 Si 첨가에 의한 κ-Carbide 석출 거동 및 원자단위적 슬립모드 해석

김치원¹, Mathieu Terner¹, 이재현¹, 문준오², 장재훈², 박성준², 이병호³, 홍현욱¹
¹창원대학교 신소재공학부, ²재료연구소 철강재료연구실, ³대구경북과학기술원.

P2-27

전기로 슬래그의 탈린 효율에 미치는 CaF₂ 첨가의 영향
오민교¹, 박주현¹
¹한양대학교.

P2-28

오스테나이트계 Hadfield 강/마르텐사이트계 HPF강 Multi-Layer Steel의 입계 파괴 현상
김세림¹, 조민철¹, 박재영², 정혁재³, 송태진⁴, 김형섭¹, 김낙준¹, 이성학¹
¹포항공과대학교, ²한국표준과학연구원, ³항공재료연구소, ⁴POSCO.

P2-29

소트피닝 공정 처리에 따른 기어 피로강도 및 내구성 향상에 관한 연구
황재찬¹, 최병호¹, 최진욱¹, 권혁빈¹, 김홍민¹
¹현대트랜시스.

P2-30

오스테나이트 스테인리스강의 수소취성에 대한 초기 집합조직 영향
조형준¹, 노한섭¹, 김성준¹
¹포항공과대학교철강대학원.

P2-31

Effect of Heat Treatments on Microstructure and Mechanical Properties of a Fe-6.5Mn-0.08C Medium-Mn Steel
Sang-In Lee¹, Seung-Wan Lee¹, Young-Chul Yoon¹, Byoungchul Hwang¹
¹Seoul National University of Science and Technology.

P2-32

Fe-Cr-Ni 합금의 고온 황화부식 특성 연구
김민정¹, 이경환², 황상연³
¹성균관대학교, ²신성대학교, ³고등기술연구원.

P3 : 제21회 피로 및 파괴 심포지엄

Room 전시장 III, 4월 25일 09:00 - 16:00

P3-1

열간성형이 밀소둔된 Ti-6Al-4V 합금의 인장 및 피로 거동에 미치는 영향
김수민¹, 박상후¹, 신현석¹, 김동민¹, 권용남², 김상식¹
¹경상대학교, ²재료연구소.

P3-2

인공 해수 환경에서 Fe-18Mn 강의 응력부식균열 거동에 미치는 Cr과 N 첨가의 영향
최희수¹, 안수진¹, 김광수¹, 김소영¹, 김성준², 김상식¹
¹경상대학교, ²포항공과대학교 철강대학원.

P3-3

고망간강의 FCAW 및 SAW 용접부 미세조직이 극저온 파괴인성에 미치는 영향
박찬구¹, 이관호¹, 김상식¹, 성효경¹
¹경상대학교.

P3-4

고경도강의 미세조직 이방성이 응력부식균열 특성에 미치는 영향
안우진¹, 이관호¹, 손진일², 함진희³, 박태원³, 김상식¹, 성효경¹
¹경상대학교, ²엠티디아이(주), ³국방과학연구소.

P4 : 생체재료

Room 전시장 III, 4월 25일 09:00 - 16:00

P4-1

나노초 레이저 공정을 통한 생체 모사액 내 마그네슘의 하이드록시 아파타이트 코팅 기술 개발
박재호¹, 엄승훈¹, 정가영¹, 김우찬¹, 옥명렬³, 석현광¹, 선정윤², 전호성¹
¹한국과학기술연구원(KIST), ²서울대학교, ³국방과학연구소.

P4-2

Effect of Graphene Oxide by Plasma on Biocompatibility of Biomaterials
Alam Khurshed¹, Sharif Hamza¹, Hoonsung Cho¹
¹전남대학교 공대 신소재공학부.

P4-3

Biocompatibility of DED-manufactured Ti porous coating (on CoCr substrate)
반훈영¹, 곽태양¹, 서한솔², 허연범¹, 박종철³, 임도형¹
¹세종대학교 기계공학과, ²삼성서울병원, ³연세대학교.

P4-4

Effect of a Cell-Penetrating Peptides Conjugated Fluorescent Dye for Photodynamic Therapy
서진희¹, Raveendran Athira¹, Hoonsung Cho¹
¹전남대학교 공대 신소재공학부.

P5 : 타이타늄

Room 전시장 III, 4월 25일 09:00 - 16:00

P5-1

수소분위기에서 Ca-CaCl₂을 이용한 TiO₂ 환원 및 Ti분말 제조
박성훈¹, 이소영¹, 김영준¹, 손호상¹
¹경북대학교 신소재공학부.

P5-2

합성 루타일의 Cl₂ + CO 혼합가스에 의한 TiCl₄ 제조
홍성민¹, 김영준¹, 이소영¹, 박성훈¹, 손호상¹
¹경북대학교 신소재공학부.

P5-3

수소 분위기에서 TiCl₄의 마그네슘-열환원법에 의한 TiH₂ 분말제조
김영준¹, 박성훈¹, 이소영¹, 홍성민¹, 손호상¹
¹경북대학교.

P5-4

TiCl₄ 제조를 위한 유동층 반응기 내 Gas Distributor 설계 및 CPFD Simulation을 통한 Hydrodynamic Characteristics 연구
이미선¹, 김진영¹, 정은진¹
¹포항산업과학연구원.

P5-5

선택 염화반응을 통해 제조된 합성 루타일의 비표면적 및 기공 특성에 관한 연구
김진영¹, 이미선¹, 정은진¹
¹포항산업과학연구원.

P5-6

Ti-Al-Fe계 타이타늄 잉곳 제조방법에 따른 조성 균질성과 미세조직 비교
박상협¹, 백승원¹, 하민철¹, 문승호¹, 최재영¹, 박찬희², 염종택²
¹(주)한국진공야금, ²재료연구소.

P5-7

Ti 스크랩 전처리 및 용해를 통한 Ti-30Fe 잉곳 제작
유수환¹, 채지광¹, 오정민¹, 임재원¹
¹전북대학교 신소재공학부.

P5-8

수소 첨가 열처리를 이용한 Ti-6Al-4V 합금의 결정립 미세화 및 기계적 특성 향상
조계훈¹, 오정민¹, 임재원¹
¹전북대학교 신소재공학부.

P5-9

스팀 세척을 이용한 Ti 스크랩의 전처리 및 페로-타이타늄 합금 제조
채지광¹, 유수환¹, 오정민¹, 임재원¹
¹전북대학교 신소재공학부.

P5-10

Influence of Strain Rates on the Deformation Behaviour in Ti-6Al-4V at Cryogenic Temperature
지민기¹, 이민수¹, 현용택², 전태성¹
¹인천대학교 기계공학과, ²재료연구소.

P5-11

Ti-6Al-4V 합금의 Mill Annealing 온도에 따른 미세조직 및 경도에 대한 연구
서성지¹, 권기훈¹, 최호준¹, 이기영², 정민수^{*1}
¹한국생산기술연구원, ²(주)케이피씨엠.

P5-12

마찰교반 용접한 타이타늄 용접부의 미세조직 및 기계적 성질 변화
lee yongjae¹, 최안드레¹, 신세은¹, 이동근¹
¹순천대학교신소재공학과.

P5-13

변형공정지도를 이용한 Beta21S 합금의 미세 조직 변화 해석 및 기계적 특성 평가
박찬웅¹, 김정환¹, 양승웅²
¹한밭대학교 신소재공학과, ²한국교육기술대학교 기계공학과.

P5-14

생체용 Ti-Zr-Nb-Sn-0.25O 합금의 형상기억특성
박정민¹, 차재호¹, 마봉건², 김재일¹
¹동아대학교 공과대학 금속공학과, ²(주)현테크.

P5-15

Superelasticity of Ti-7Zr-6Sn-3Mo Biomaterial Shape Memory Alloy Fiber
Bagus Dinda Erlangga¹, Yeon-wook Kim¹
¹Keimyung University.

P5-16

Shape Memory Characteristics of Ti-3Mo-5Zr-6.5Sn Biomaterial Alloy
Jinhyeok Son¹, Yeonji Kim¹, Yeon-wook Kim¹
¹Keimyung University.

P5-17

Correlation Between the Thermal and Superelastic Behavior of Ni50-xTi35Zr15Cux Shape Memory Alloys
김우철¹, 김영성¹, 김정수¹, 김용주¹, 김원태², 김도향¹
¹연세대학교, ²청주대학교.

P5-18

Surface Micropatterning by Thermoplastic Forming of Ti-Zr-Ni-Cu Metallic Glass
김용주¹, 최윤재¹, 김우철¹, 김영성¹, 김정수¹, 김원태², 김도향¹
¹연세대학교, ²청주대학교.

P5-19

실시간 전자현미경 관찰을 통한 γ -TiAl의 변형 메커니즘 분석
김지영^{1,3}, 김종훈¹, 김재권¹, 이태구², 박은수³, 유승화², 김성웅¹, 김승연¹
¹재료연구소 타이타늄연구실, ²카이스트 신소재공학과, ³서울대학교 재료공학부 신소재공통연구소.

P5-20

Gamma TiAl 합금의 순환열처리 조건에 따른 미세조직 변화
최진주¹, 박상환¹, 공만식¹
¹고등기술연구원.

P5-21

Ce 첨가에 따른 TiAl 합금의 산화 거동 분석
정윤오¹, 박지성¹, 이승훈¹
¹경북대학교 신소재공학부 금속신소재공학전공.

P6 : 융합재료
Room 전시장 III, 4월 25일 09:00 - 16:00

P6-1

Electrochemical Catalyst Employing Crystallized PEDOT:PSS-Pt Nanocomposites
이다영¹, 윤명환¹
¹광주과학기술원.

P6-2

전략적 원소 선택으로 설계된 T-계의 기능성 산화물 특성 평가
김태경¹, 박혜진¹, 김영석¹, 문상철¹, 홍성환¹, 임기성¹, 박제형¹, 김기범¹
¹세종대학교 공대 나노신소재공학부.

P6-3

Photoelectrochemical Nitrogen Reduction for Ammonia Synthesis on Ag Catalyst on Porous Silicon Under Ambient Conditions
HyunKyu Kim¹, Uk Sim¹
¹Chonnam National University.

P6-4

Excimer Lamp-Based Deep Ultraviolet Effects on the Rapid Crystallization of Indium Oxide Thin Films
Jun-Gyu Choi¹, Myung-Han Yoon¹
¹Gwangju Institute of Science and Technology.

P6-5

High-Efficiency Electrochemical Conversion Nitrogen to Ammonia Using Mo₂C@N and Mo₂N@C Under Ambient Condition
Tae-Yong An¹, Uk sim¹
¹Chonnam National University.

P6-6

Photo-Assisted Low-Temperature Metal-Oxide Crystallization of Amorphous TiO₂ Films for Energy Conversion Application
Won-June Lee¹, Yong Tae Kim², Hyung-ju Ahn³, Sang Yun Jeong¹, Sanghan Lee¹, Jaeyoung Heo², Myung-Han Yoon¹
¹Gwangju Institute of Science and Technology, ²Chonnam National University, ³Pohang Accelerator Laboratory.

P6-7

Fluorine-Doped Graphene Oxide and Graphene Oxide Which Enhanced Specific Capacitance as Hybrid Supercapacitor
Yelyn Sim¹, Hamchoron Cha², Hayeun Lee¹, Subramani Surendran¹, Cheolho Jeon², Joonhee Moon², Uk Sim¹
¹Department of Materials Science and Engineering, Chonnam University, ²Korea Basic Science Institute.

P7 : 에너지재료

Room 전시장 III, 4월 25일 09:00 - 16:00

P7-1

Effects of the Diffusion Mechanism on the Diffusion Kinetics of Cations in Single Crystals
Jun-Hyoung Park¹, Yong-Seok Choi¹, Young-Woon Byeon¹, Jae-Pyoung Ahn², Jae-Chul Lee¹
¹Korea University, ²Korea Institute of Science and Technology.

P7-2

Poly (Propylene Carbonate) Based Composite Solid Polymer Electrolyte Containing Li_{1.5}Al_{0.5}Ge_{1.5}(PO₄)₃ Filler for All-Solid-State Li-Ion Batteries
성봉준¹, Pravin N. Didwal¹, 박찬진*¹
¹전남대학교.

P7-3

파이로 전해회수공정의 BeO 재료 적용 가능성 평가
김가영¹, 장준혁¹, 백승우¹, 이성재¹
¹한국원자력연구원.

P7-4

CuFeO₂/Cu₂O Hierarchical Nanorods for Photoelectrochemical CO₂ Reduction
오상호¹, 주원호¹, 주영창¹
¹서울대학교 재료공학부 미세소소재료실험실.

P7-5

Layered GeTe-C Nanocomposite Anodes for High-Performance Li-Ion Batteries
남기훈¹, 박철민¹
¹금오공과대학교.

P7-6

Fabrication of the Mini-Plate Based on Metal Coated Atomized U7Mo Powders for HANARO Irradiation Tests
Sunghwan Kim¹, Yong Jin Jeong¹, Kyuhong Lee¹, Ki Nam Kim¹, Jong Man Park¹
¹Korea Atomic Energy Research Institute.

P7-7

Interpretation of the Hysteresis Energy Loss of the Anodes in Sodium-Ion Batteries
최용석¹, 이재철¹
¹고려대학교.

P7-8

Ca 첨가에 따른 Fe-B-P-Cu계 연자성재료의 결정립미세화 효과
오제혁¹, 정준영², 임현아², 남대근¹, 박원욱²
¹한국생산기술연구원 동남지역본부, ²인제대학교 나노융합공학과.

P7-9

고주파유도가열 텅스텐(W) 도가니의 우라늄(U), 희토류(RE) 금속 및 염화물 반응특성 평가
장준혁¹, 한승엽¹, 김택진¹, 김가영¹, 이성재¹
¹한국원자력연구원 파이로기술실증연구부.

P7-10

Phase Transition Behaviors of Sb Anode in Na-Ion Batteries: Voltammetric Experiments and Density Functional Theory Study
최용석¹, 이재철¹
¹고려대학교.

P7-11

CoSbS의 나트륨 반응 메커니즘 분석 및 전기화학적 특성 연구
장연호¹, 박철민¹
¹금오공과대학교.

P7-12

Layered MoS₂ Anodes for Li-Ion Batteries
김도현¹, 박철민¹
¹금오공과대학교.

P7-13

볼밀링 방법으로 합성한 실리콘산화물의 전기화학적 특성
황준선¹, 김재현¹
¹국민대학교.

P7-14

리튬이차전지 음극소재용 인/금속산화물 복합체의 전기화학적 특성 연구
김태현¹, 박철민¹
¹금오공과대학교.

P7-15

Nb5Sb4 Anodes for High-Performance Li-Ion Batteries
유동근¹, 박철민¹
¹금오공과대학교.

P7-16

C-Ring & Step Loading 방법을 이용한 고압 수소 사용 적합성 평가 방법 연구
오동현¹, 이창현¹, 임경민¹
¹(재)한국화학융합시험연구원.

P7-17

The Effect of Stoichiometric Ratio Between Refractory and Metalloid Elements on the Magnetocaloric Effect of MnFe-Based Alloys
A-Young Lee¹, Song-Yi Kim¹, Young-Do Kim², Min-Ha Lee¹
¹Korea Institute of Industrial Technology, ²Hanyang University.

P7-18

TiO2/LiSION/NMC 구조를 갖는 전고체박막전지의 특성에 관한 연구
이병준¹, 서인석¹, 나단¹, 윤백상¹, 김영범¹
¹전북대학교 신소재공학부.

P7-19

Direct-Contact Micro-Electrical Measurement of the Electrical Resistivity of a Solid Electrolyte Interface Formed on a Graphite Electrode
Jun-Hyoung Park¹, Yong-Seok Choi¹, Hyung-Cheoul Shim², Jae-Pyoung Ahn³, Jae-Chul Lee¹
¹Korea University, ²Korea Institute of Machinery and Materials, ³Korea Institute of Science and Technology.

P7-20

Feasible High Voc of Based (FAPbI3)0.875(CsPbBr3)0.12 Perovskite Solar Cells (PSCs) with Ferroelectricity
Maro Kim¹, Chung Wung Bark¹
¹Gachon University.

P7-21

TiFe 수소저장 합금에 Zr 첨가가 수소저장 초기 활성화에 미치는 영향
김하영¹, 하태준², Vu Khanh Nhien³, 홍지현⁴, 이영수⁴, 심재혁⁴, 김도향¹, 서진유¹
¹연세대학교, ²고려대학교, ³서울대학교, ⁴한국과학기술연구원.

P7-22

Sb Nanoparticles Encapsulated in Graphitic Carbon from Natural Resources as High Capacity Anode Material for K-Ion Batteries
기형서¹, Rakesh Verma¹, 박찬진*¹
¹전남대학교.

P7-23

Photocatalytic Performance of Highly Transparent and Mesoporous Molybdenum-Doped Titania Films Fabricated by Templating Cellulose Nanocrystals
Yonghee Yoon¹, Soyoung Kim¹, Chulhwan Jung¹, Wonhee Lee¹
¹Sejong University.

P7-24

Observation of Ce Agglomeration at the Fuel Cladding Chemical Interaction Interface Between U-Zr-Ce and HT9
한인수¹, 김주성¹, 천진식¹
¹한국원자력연구원.

P7-25

TiO2/LiPON/NMC 구조를 갖는 전고체전지의 특성에 관한 연구
윤백상¹, 서인석¹, 나단¹, 이병준¹, 김영범¹
¹전북대학교 신소재공학부.

P8 : 마찰마모
Room 전시장 III, 4월 25일 09:00 - 16:00

P8-1

표면처리별 마찰마모 특성에 관한 연구
박지현¹, 최병호¹, 이규석¹
¹현대트랜시스.

P8-2

전이막 특성에 미치는 디스크의 탄소 함량, 흑연 크기 및 제동 시험 온도의 영향
서위걸¹, 김정균¹, 최희범², 최시훈¹
¹국립 순천대학교, ²쥬프릭사 연구개발팀.

P9 : 가공-표면처리
Room 전시장 III, 4월 25일 09:00 - 16:00

P9-1

Impact on Ce Sealing Post Treatment on Pore Reduction of PEO Coated AZ31 Magnesium Alloy
Hyung Uk Lee¹, Minsoo kim¹, Bon Heun Koo¹
¹School of Materials Science and Engineering, Changwon National University.

P9-2

High Temperature Corrosion of Aluminized Diffusion-Coating for Fe-9Cr Alloy
김민정¹, XiaoXiao¹, 이동복¹
¹성균관대학교 자연과학캠퍼스.

P9-3

Diffusion Pollution Prevention with Optimized Coating Conditions for Al-Based Mold by CVD of Molybdenum

Wonchul Yang¹, Cheolhong Hwang¹, Eunkeoung Kim¹, Hyolyoung Lee², Jinsoo Park³, Joon Sik Park^{*1}

¹Hanbat National university, ²Shin Woo, ³Insstex.

P9-4

촉매용 금속 지지체의 전기화학적 세라믹 코팅기술 연구

양현석¹, 정우철¹, 장대환¹, 공만식¹

¹고등기술연구원.

P9-5

압전성능을 갖는 Cu계 방전가공용 전극선 개발 연구

양현석¹, 정우철¹

¹고등기술연구원.

P9-6

Laser Cladding of CoNiCrAlY Bond Coat on Co-Ti-W Alloy and Effects of Dilution

Jaewook Han¹, Pyuck-Pa Choi¹, Won Seok Choi¹

¹KAIST.

P9-7

강판의 표면 오염이 방청도료와 부착강도에 미치는 영향

백주환¹, 강영준¹, 조영래¹

¹부산대학교 공대 재료공학과.

P9-8

Cr-P 합금도금 실용화를 위한 전착도장 연구

박종규¹

¹에스비피셀텍.

P9-9

열처리 및 이온질화처리를 통한 RTM용 SKD11 금형 제작

최광목¹, 채홍준²

¹고등기술연구원 신소재공정센터. ²고등기술연구원 융합소재공정센터.

P9-10

Duplex Treatment of AISI 630 Martensitic Precipitation Hardening Stainless Steel via Plasma Nitriding and Plasma Nitrocarburizing

이인섭¹

¹동의대학교.

P9-11

무전해 Ni-P 공정에 따른 물리적 특성 연구

변영민¹, 황규석², 이성우², 허도³

¹한국건설생활환경시험연구원, ²세라컴, ³세미인프라.

P9-12

T2(Mo5SiB2)의 레이저 코팅 및 코팅된 철강의 내삭마특성

양원철¹, 황철홍¹, 김은경¹, 김정민¹, 박준식^{*1}

¹한밭대학교 신소재공학과.

P9-13

반응성 마그네트론 스퍼터링 공정변수 제어를 통한 MoSiN 코팅의 미세 조직 및 기계적 물성 최적화

임기성¹, 김영석¹, 박혜진¹, 문상철¹, 홍성환¹, Elyorjon Jumaev¹, 박제형¹, 김기범^{*1}

¹세종대학교 나노신소재공학과.

P9-14

Low Temperature Two-Step Plasma Nitriding of 2205 Duplex Stainless Steel by Carbon Addition

이인섭¹

¹동의대학교.

P10 : 나노소재
Room 전시장 III, 4월 25일 09:00 - 16:00

P10-1

Nanocomposite Based Sensors for Motion Detection

Byeong-Cheol Kang¹, Jeong Seok Kim², Tae Seung Chung², Tae-Jun Ha¹

¹Kwangwoon University, ²Chinwoo Tech.

P10-2

Controllable Wettability of Graphene Using Indirect Hydrogen Plasma and Its Bioapplication

Jong-Young Lee¹, Jangyup Son², Gwan-Hyoung Lee³

¹Yonsei University, ²University of Illinois, ³Seoul National University.

P10-3

Study on Electrical, Structural, Optical and Adhesive Characteristics of Al-Doped SnOx Thin Films for Transparent Flexible Thin-Film Transistor Applications

Seung-Hun Lee¹, Kihwan Kwon¹, Kwanoh Kim¹, Jae Sung Yoon¹, Doo-Sun Choi¹, Yeongeun Yoo¹, Chunjoong Kim², Shinill Kang³, Jeong Hwan Kim¹

¹Korea Institute of Machinery and Materials, ²Chungnam National University, ³Yonsei University.

P10-4

마이크로파 조사에 의한 탄소/금속 산화물 복합체의 형성과 가스 센싱 특성 향상

김현우¹, 최명식¹, 방재훈¹, 엄완식¹, 한승민¹, 나한길¹, 진창현²

¹한양대학교 신소재공학과, ²한양대학교 산업과학연구소.

P10-5

습식 산화를 이용한 친수성 및 소수성 표면을 갖는 양면성 그래핀 제조

최진석¹, 이태균¹, 최여진¹, 안성진¹

¹금오공과대학교.

P10-6

화학적 기상 증착법을 통해 고체 전구체를 이용한 그래핀 성장

류종성¹, 안성진¹

¹금오공과대학교신소재공학과.

P10-7

과냉각 액체영역의 크기가 다른 비정질 합금의 Thermo Plastic Forming

최윤재¹, 김용주¹, 김원태², 김도향¹

¹연세대학교, ²청주대학교.

P10-8

The Stability Study of Current ThermoChromic Smart Coating with Diverse Polymer Host Matrix
Youngkwang Kim¹, Junwoo Son¹
¹POSTECH,

P10-9

Synthesis of W-Doped VO₂ Nanoparticles for ThermoChromic Smart Window Using Bead-Milling Method
황다원¹, 김영광¹, 손준우¹
¹포항공과대학교,

P10-10

(Y, La, Ce, Nd, Gd)₂O₃ 고 엔트로피 산화물의 구조와 미세조직 분석 연구
박태성¹, 김정환¹, 김영국², 장혜정³
¹국립한밭대학교 신소재공학과, ²재료연구소 기능분말연구실, ³한국과학기술원 특성분석센터,

P10-11

ThermoChromic Characteristics of VO₂ Nanoparticle Films Annealed by Intense Pulsed Light Irradiation
Kwang-Seok Kim¹, Ji Won Youn¹, Eun-Won Son¹, Dae Up Kim¹
¹Korea Institute of Industrial Technology,

P10-12

용융염에서의 YSZ/MSZ의 고온 안정성
류한식¹, 이종현¹
¹충남대학교,

P10-13

Revealing Surfactant Distribution on Multiply Twinned Pd Nanoparticle Surface
Kyuseon Jang¹, Seho Kim², Hosun Jun¹, Chanwon Jung¹
¹Korea Advanced Institute of Science and Technology, ²Max-Planck-Institut für Eisenforschung,

P10-14

The Effects of NiOx Capping Layer and Annealing on Photoelectrochemical Properties of CuO Photoelectrode
정현진¹, 홍예진¹, 류혁현¹
¹인제대학교 나노융합공학부,

P10-15

합금원소 첨가에 따른 Ni계 ODS 합금의 미세조직 및 고온경도 특성
신민호¹, 박주성¹, 전영수¹, 김휘준², 박종관¹
¹대한소결금속(주) 기술연구소, ²한국생산기술연구원,

P11 : 전산재료과학

Room 전시장 III, 4월 25일 09:00 - 16:00

P11-1

Simulation of Discontinuous Dynamic Recrystallization in IF Steel During Thermo-Mechanical Processing Using Probabilistic Cellular Automata Model
Jinheung Park¹, Kyung Mun Min¹, Shuaifeng Chen¹, Myoung-gyu Lee¹
¹Seoul National University,

P11-2

SimPL - the Contents Management System for Simulation Web Software
이민호¹, 김승철², 이광렬²
¹(주)버추얼랩, ²한국과학기술연구원,

P11-3

S-Furnace Feeding System
임성미¹, 이경우¹
¹서울대학교 재료공학부,

P11-4

고광간 오스테나이트계 강에서의 고온 변형 시 전위밀도 변화 및 재결정 과정에 대한 전산모사 및 실험적 검증
김성호¹, 권호준¹, 이세일², 김성준¹
¹포항공과대학교, ²포스코 기술연구원,

P11-5

고효율 메탄 증기 개질 반응에 관한 모사 연구
채홍준¹
¹고등기술연구원,

P11-6

Thematic Simulation Web Platforms for Non-Experts
김승철¹, 이광렬¹, 한상수¹, 이민호²
¹한국과학기술연구원, ²(주) 버추얼랩,

P11-7

DFT Screening of Pt-Based Alloys with P-Block Element for Oxygen Reduction Reaction Catalyst of Proton-Exchange Membrane Fuel Cell
최정우¹, 권순호¹, 이혁모¹
¹한국과학기술원,

P11-8

Design of Graphene-Wrapped PtNi Nanosponge for Enhanced Oxygen Reduction Reaction Performance
Quoc Chinh Tran¹, Hyunwoo Ha², An Hyesung², Hyun You Kim^{*2}, Ho-Suk Choi^{*1}
¹충남대학교 응용화학공학과, ²충남대학교 신소재공학과,

P11-9

Development of H₂O potential with 2NN MEAM
설동혁¹, 이병주¹
¹포스텍(포항공과대학교),

P11-10

과잉부피와 가압 압력에 따른 나노입자의 상안정성 고찰
김한결¹, 이준호¹
¹고려대학교 신소재공학과.

P11-11

Selective SnOx Atomic Layer Deposition Controlled by Oxygen Reactants
Mi Yoo¹, Jung-Hoon Lee², Jin-Seong Park^{*2}, Hyun You Kim^{*1}
¹충남대학교 신소재공학과, ²한양대학교 신소재공학과.

P11-12

CsPbBr3의 격자구조 제어와 전자구조 변화에 대한 제일원리 연구
박종구¹, 송동준¹, 홍기하¹
¹한밭대학교 신소재공학부.

P12-1

이온 교환법을 사용한 유리 분말의 발색 기술 연구
최광덕¹, 변지영²
¹서울대학교, ²한국과학기술연구원.

P12-2

CFRP 및 GFRP 하이브리드 교통 신호등 프레임의 기계적 및 절연 파괴 특성 평가
문민석¹, 유명환¹, 노종일¹, 나경수²
¹(재)한국탄소융합기술원, ²한국씨티에스.

P12-3

Thermal and Electrical Properties of 3D Graphene-Cu Composite Fabricated by a Simple Two-Step Process
Xue Li¹, Byung-Sang Choi¹
¹Department of Materials Science and Engineering, Chosun University.

P12-4

열처리한 STS/Al/STS clad 소재의 3점 굽힘 실험 및 거동 해석
김용근¹, 홍순익¹
¹충남대학교 신소재공학과.

P12-5

자전연소합성법으로 제조된 TaC 분말의 입자제어 연구
심재진¹, 최상훈¹, 임재홍¹, 유지원¹, 이현규¹, 서경덕¹, 박경태¹
¹한국생산기술연구원 한국희소금속산업지원센터.

P12-6

전기방전소결(Electro-Discharge-Sintering)을 통한 정형외과 임플란트 소재용 Mg-Ti 분말 복합 소재 제조 연구
김소영¹, 윤용희¹, 정철환¹, 이원희¹
¹세종대학교 나노신소재공학과.

P12-7

Nitridation Induced Self-Forming Method of Aluminum Matrix Composites
김대영¹, 김정준¹, 최현주¹, 안재평², 이건배¹
¹국민대학교 신소재공학부, ²한국과학기술연구원.

P12-8

송전선 경량화 및 전기전도도 향상을 위한 알루미늄 복합 소재 분말 제조 공정 연구
한덕현¹, 김건홍¹, 김재성¹
¹고등기술연구원.

P12-9

나노구조 TiN-BN 복합재료 제조 및 기계적 성질
손인진¹, 김성은², 임성빈³
¹전북대학교, ²전북대학교 재료공학과, ³전북대학교 신소재공학부.

P12-10

W-ZrO₂ 복합재료 소결 및 기계적 성질
손인진¹, 김성은², 홍수환³
¹전북대학교, ²전북대학교 재료공학과, ³전북대학교 신소재공학부.

P12-11

나노구조의 CoZr-ZrO₂ 복합재료 합성 및 급속소결
손인진¹, 김성은², 정권호³
¹전북대학교, ²전북대학교 재료공학과, ³전북대학교 신소재공학부.

P12-12

열처리 조건에 따른 TiC-SKD11 복합소재의 인장파괴 특성 및 강화 기여 인자 고찰
김치원¹, 박성주¹, 조승찬², 이상관², 김대하³, 홍현욱^{*1}
¹창원대학교 신소재공학부, ²재료연구소 복합재료연구본부, ³대화알로이테크.

P12-13

Al matrix 금속복합소재의 동적 압축 성질 및 방탄 성능에 미치는 강화재 (SiC, B₄C) 동시 첨가 효과
조민철¹, 최진혁¹, 유지성¹, 이동현², 신상민², 조일국², 이상관², 이성학¹
¹포항공과대학교, ²재료연구소.

P12-14

Co/Pd 다층박막에서 양성자 조사 에너지에 따른 자성 특성 변화
한동현¹, 고정호¹, 홍종일¹
¹연세대학교 신소재공학과.

P12-15

장수명 전기접점 소재 구현을 위한 Ta-Cu 소결체 내 CeO₂ 및 WC 분말 첨가에 따른 물리적 성질 고찰
서경덕^{1,3}, 최상훈^{1,3}, 심재진¹, 임재홍^{1,2}, 이현규^{1,3}, 유지원^{1,3}, 현승균³, 박경태¹
¹한국생산기술연구원, ²고려대학교, ³인하대학교.

P13: 가공-주조 및 응고

Room 전시장 III, 4월 25일 09:00 - 16:00

P13-1

금속연료심 주조공정 도가니/주형 반응을 방지하기 위한 코팅 특성
국승우¹, 정경채¹, 오석진¹, 문승욱¹, 하성준¹, 박정용¹

¹한국원자력연구원.

P13-2

Al-Mg 합금 빌렛 특성 변화에 미치는 초음파 인가 효과의 영향
김선기¹, 조대연¹, 김민상¹, 최경환¹, 이강래¹, 김영작², 조훈¹

¹한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소, ²성균관대학교 신소재공학과.

P13-3

존 멜팅법을 이용한 게르마늄의 고순화 공정에 관한 연구

전영준^{1,2}, 김경호^{1,2}, 최경환¹, 김상섭², 조규섭¹

¹한국생산기술연구원, ²인하대학교.

P13-4

사형 주조한 40wt.% Cr계 초내열합금의 미세조직 및 기계적 특성 연구

김용래¹, 박성수¹, 김동배², 마승환³, 이락규², 김주엽²

¹(주)영신특수강, ²대구기계부품연구원, ³한국건설생활환경시험연구원.

P13-5

Rene 80 합금의 일방향 응고에서 응고속도에 따른 미세조직 분석 및
기계적 특성

성기태¹, 우한별², 주윤곤¹, 신종호³, 황호순¹, 이재현¹

¹창원대학교 신소재공학부, ²세아창원특수강 기술연구소, ³두산중공업(주) 소재
기술개발팀.

P13-6

사출주조 금속연료심 주조결함 특성평가

송훈¹, 박상규¹, 박정용¹

¹한국원자력연구원 SFR핵연료개발부.

P13-7

단결정 블레이드의 열처리 조건에 따른 공정 분율과 그에 따른 고온 기
계적 특성 변화

이현우¹, 성창훈¹, 주윤곤¹, 권석환², 정의석², 이재현¹

¹창원대학교 신소재 공학부, ²한국로스트왁스 (주)기술연구소.

P13-8

초내열합금 IN713C의 미세조직에 따른 고온 기계적 특성

김찬미¹, 권순철¹, 권석환², 윤병관², 홍현욱¹, 이재현¹

¹창원대학교 신소재공학부, ²한국로스트왁스(주) 기술연구소.

P13-9

초내열합금 IN792H의 일방향응고 및 열처리에 따른 Eta상이 기계적
특성에 미치는 영향

손명균¹, 이현우¹, 구지호², 강현기³, 정성일³, 이재현¹

¹창원대학교 신소재공학부, ²두산중공업, ³성일터빈.

P13-10

Cu-22%Sn 합금 주조재 특성에 미치는 P 및 Zr 첨가의 영향

김기태¹, 임영석¹

¹한국생산기술연구원.

P13-11

금속연료심 원격사출주조 공정평가

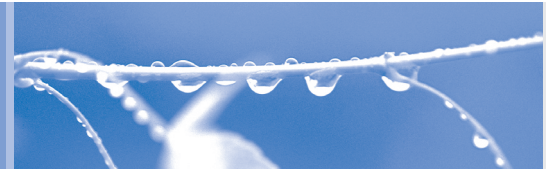
송훈¹, 박상규¹, 박정용¹

¹한국원자력연구원 SFR핵연료개발부.

P13-12

Ni-23%Al 합금의 일방향응고에서 대류의 영향에 따른 미세조직 변화
성장훈¹, 구지호², 이현정¹, 주윤곤¹, 이재현¹

¹창원대학교 신소재 공학부, ²두산중공업(주) 소재기술개발팀.



P14 : 적층제조 및 분말

Room 전시장 III, 4월 26일 09:00 - 15:00

P14-1

Removal of Lead (Pb2+) from Wastewater by Nanocrystal and Flower like Fe3O4

Tsedenbal Bulgan¹, Bonheun Koo¹

¹Changwon National University.

P14-2

소결 방법 및 조건에 따른 Ta-Nb-V-W-Ti 하이엔트로피 합금의 미세 조직 제어 및 강도 특성

송다혜¹, 김영겸¹, 김상준², 박은수^{*2}, 이진규^{*1}

¹공주대학교 신소재공학부, ²서울대학교 재료공학부.

P14-3

Microstructure Characterization of the High Density U3Si2 Fuel Plate Based on Atomized Powders

Dong Hyeon Kang¹, Cheol Hong Park¹, Hwa Young Song¹, Jong Hwan Kim¹, Sunghwan Kim¹, Yong Jin Jeong¹, Jong Man Park¹

¹Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI).

P14-4

산화물 분말의 수소분위기 열처리 및 방전 플라즈마 소결에 의한 W-0.4 wt% Ni 제조

강현지¹, 한주연¹, 정영근², 오승택¹

¹서울과학기술대학교, ²부산대학교.

P14-5

Heavy Metal Adsorption Characteristics of Heat-Treated Iron Oxide in Heavy Metal Solution

Jieun Lee¹, Bonheun Koo¹

¹Changwon National University.

P14-6

New Fabrication Method for Metallic Glass Droplets and Wires by Considering Flow Transition Criteria for Jet Dynamics of Molten Alloys

김완¹, 류채우², 박은수¹, K.S. Nakayama³, T. Ishikawa⁴, 이근우⁵

¹서울대학교 신소재공통연구소, ²Oak Ridge National Laboratory, ³Tohoku University, ⁴Japan Aerospace Exploration Agency, ⁵한국표준과학연구원.

P14-7

316L-저합금강을 이용하여 제조된 경사조성재료의 미세조직 연구

신기승¹, 김정환², 박용호¹, 윤지현³

¹부산대학교 재료공학과, ²한밭대학교 신소재공학과, ³한국원자력연구원 신소재개발실.

P14-8

적층제조된 Ti-6Al-4V 합금의 공정변수가 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향

이정섭¹, 정임두², 최종호², 유지훈², 김주식³, 김상식¹, 성효경¹

¹경상대학교, ²한국기계연구원 부설 재료연구소, ³ANH Structure.

P14-9

열수소화법을 이용한 Ni-based ODS 합금의 SPS 거동과 기계적 성질

곽정호¹, 김창재¹, 윤정모², 박제신²

¹전북대학교 일반대학원 금속공학전공, ²전북대학교 공과대학 신소재공학부.

P14-10

항공기 엔진 적용을 위한 니켈기 초내열합금-본드 코팅의 이종재료 적층제조 가능성에 대한 연구

이지원^{1,2}, Mathieu TENER¹, Etienne COPIN², Philippe LOURS², 홍현욱^{*1}

¹창원대학교, ²IMT MINES ALBI-ICA.

P14-11

Tribological Behavior of Additive Manufactured 304L Stainless Steels – A Comparison Between 3D Metal Printing Processes

김정민¹, 권준현², 진형하²

¹한국원자력연구원 과학기술연합대학원, ²한국원자력연구원.

P14-12

3차원 전자빔 적층제조 변수에 따른 Inconel 718 초내열합금의 미세조직과 크리프 특성

전선영¹, 임소영¹, Mathieu Terner¹, 이병수², 이해진², 홍현욱¹

¹국립창원대학교신소재공학부재료강도실험실, ²생산과학기술연구원.

P14-13

DED 방식의 3D printing을 통한 CoCr합금과 순수 Ti의 이종소재 접합

곽태양¹, 반훈영¹, 허연범¹, 김석주¹, 장진주¹, 임도형¹

¹세종대학교.

P14-14

유한요소 해석 및 실험을 통한 금속 레이저 직접적층공정 중 실시간 온도 변화 분석 및 입열량 산출

하경식¹, 김태환¹, 전종배¹, 백경윤¹, 심도식², 문영훈³, 이육진¹

¹한국생산기술연구원, ²해양대학교, ³부산대학교.

P14-15

기계적 합금화와 스파크 플라즈마 소결을 통해 생성된 미세결정립 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금의 구조 및 특성

김용주¹, 임다미¹, 주수현¹, 장민지¹, 문종연¹, 김은빈², 김형섭¹

¹포항공과대학교, ²공주대학교.

P14-16

SLM 공정 기법으로 제작한 Fe-6wt%Si 합금의 결합 및 미세조직에 관한 연구

장호성¹, 전종배¹, 이규훈¹, 남태훈¹, 하경식¹, 이육진¹, 박성혁², 신선미¹

¹한국생산기술연구원, ²경북대학교.

P14-17

Microwave Plasma 기술을 기반 한 Vapor-Phase Synthesis 과정 중 형성된 금속 나노 분말의 형상 고찰

김영광¹, 이병주²

¹포항공과대학교 항공재료연구소, ²포항공과대학교 신소재공학과.

P14-18

PBF 공정으로 제조된 SUS316L의 마모 특성 평가

배기창¹, 이육진², 박용호¹

¹부산대학교, ²한국생산기술연구원.

P14-19

Canceled

Selective Laser Melting 공정에서의 Support Porosity에 따른 Ti6Al4V 미세구조 및 잔류응력 변화에 대한 연구

이강표¹, 강석현¹, 김강민¹, 한준현², 정경환^{1*}

¹한국생산기술연구원 강원지역본부, ²충남대학교 신소재공학과.

P14-20

알루미늄 분말야금 공법으로 제조된 자동차용 부품 제조기술 연구 및 평가

도경록¹, 전영수¹, 박종관¹

¹대한소결금속(주) 기술연구소.

P14-21

SLM(선택적 레이저 용융)법을 이용한 동일한 에너지 밀도에서 AISi10Mg의 미세구조와 인장강도에 미치는 영향

임근영¹, 노윤², 김찬미¹, 이현정¹, 이재현¹

¹창원대학교 신소재공학부 응고실�헬실, ²안휘공업대학교 재료공학과.

P14-22

Investigation on Microstructures of Inconel 718 Fabricated by Selective Laser Melting Process with Pulse Width Modulated Laser

지승목¹, 윤영식¹, 여중석¹

¹연세대학교 글로벌융합공학부.

P14-23

PBF (Powder Bed Fusion) 공정으로 제조된 AISI 316L Stainless Steel 합금의 마모특성

김태환¹, 임준섭², 김찬진³, 하경식¹, 조영래², 이육진¹

¹한국생산기술연구원 첨단하이브리드생산기술센터, ²부산대학교, ³해양대학교.

P15 : 가공-열처리
Room 전시장 III, 4월 26일 09:00 - 15:00

P15-1

열에너지수치를 이용한 이종소재 동시 소결 공정 설계 및 예측 기술 개발

전동술¹, 안경준¹

¹한국생산기술연구원 열처리그룹.

P15-2

SCM440의 열처리 조건에 따른 기계적 물성변화

김학현¹, 김진원¹, 김원선¹, 조다희¹, 박중철¹

¹포항산업과학연구원 분석평가센터.

P15-3

Microalloyed steel 열간단조재의 후열처리 조건이 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 영향

조해주¹, 박건우¹, 김병준¹, 신선미², 최창용³, 박희상³, 안용식⁴, 전중배¹

¹한국생산기술연구원 동남지역본부, ²한국생산기술연구원 울산지역본부,

³펠릭스테크, ⁴부경대학교 재료공학과.

P15-4

SCM415, SKH51, S45C 강의 플라즈마 질화 공정 후 질화층 예측 및 제어에 관한 연구

박성중¹, 안경준¹, 전동술¹, 김상섭²

¹한국생산기술연구원, ²인하대학교.

P15-5

S45C 강의 가변 광학계를 이용한 레이저 열처리 특성 연구

정우영¹, 김태경¹, 이광재², 한상배², 송봉근²

¹자동차부품연구원, ²이브이레이저.

P15-6

가공열처리 기법을 통한 핵융합로용 저방사화 구조재 ARAA의 인장 특성 향상

천영범¹, 이동원¹, 박이현²

¹한국원자력연구원, ²국가핵융합연구소.

P16 : 재료강도
Room 전시장 III, 4월 26일 09:00 - 15:00

P16-1

지르코늄이 Inconel 740H의 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향

박찬희¹, 추동주¹, 이준호¹, 정우상²

¹고려대학교 신소재공학과, ²한국과학기술연구원 에너지소재연구단.

P16-2

연료주입펌프 운전 중 고착된 플러너의 손상면 고찰

이종훈¹, 김명훈¹, 부명환¹

¹한수원 중앙연구원.

P16-3

나노압입시험 및 유한요소해석을 이용한 열처리에 따른 전해 Cr/전해 Ni-P 이종 도금의 기계적 신뢰성 평가

김상년¹, 김영천¹

¹안동대학교.

P16-4

수상태양광 금속 구조체의 풍속조건에 따른 기계적 변화 분석

정재성¹, 이종문², 원창섭³

¹전자부품연구원, ²스코트라(주), ³LS산전(주).

P16-5

인코넬 718 내열합금의 제작사별 특성 평가

김지혜¹, 민기득¹, 정윤철¹

¹(재)대구기계부품연구원.

P16-6

Ni-free 경량 FeMnAlC계 스테인리스강 개발을 위한 Cr 첨가 효과 및 기계적 특성-변형 거동 해석
김치원¹, 박성준², 이창훈², 김경원², 이영주³, 홍현욱¹
¹창원대학교 신소재공학부, ²재료연구소 철강재료연구소, ³포항산업과학연구원.

P16-7

고강도 페라이트계 산화물 분산강화 강의 기계적 특성 평가와 튜브 제조를 위한 냉간가공성 검토
노상훈¹, 강석훈¹, 김태규¹
¹한국원자력연구원 원자력재료연구부 신소재개발실.

P16-8

베이징안 통계를 이용한 중수로 압력관 직경변화 예측모델 개발
이경근¹, 안동현¹, 권준현¹
¹한국원자력연구원.

P16-9

고강도 오스템퍼링 처리한 구상흑연주철(ADI)의 감속기어 개발을 위한 마모특성 연구
최창영¹, 조용재¹, 정우현¹, 임현규¹, 이재욱¹, 김다혜¹, 정명식¹, 황선광¹
¹한국생산기술연구원 대경권지역본부.

P16-10

핵융합로용 RAFM강에서 Ti 및 Ta 첨가에 따른 미세조직 및 크리프 거동 특성 고찰
임소영¹, 문준오², 이창훈², 홍현욱¹
¹창원대학교, ²재료연구소 철강재료연구소.

P16-11

인장물성을 통한 유연 페로브스카이트 태양전지의 유연성 특성화
김한글¹, 안승민¹, 정의대¹, 김시훈¹, 송명훈¹, 김주영¹
¹UNIST 신소재공학부.

P16-12

전기화학적 및 고압 열적 수소 주입에 따른 고온 강재의 수소 취화 민감도 비교
이지민¹, 고석우¹, 유일^{1,2}, 서진우³, 황병철¹
¹서울과학기술대학교, ²SK건설, ³한국과학기술연구원.

P16-13

구리-비결정성금속 적층 구조를 이용한 스트레처블 전극 재료의 제조 및 기계적 거동 분석
황경석¹, 박선영¹, 김주영¹
¹UNIST 신소재공학부.

P16-14

페로브스카이트 LED 구성재료 고유의 물성에 기반한 유연 특성 분석
김선경¹, 김시훈¹, 이상윤¹, 송명훈¹, 김주영¹
¹UNIST 신소재공학부.

P16-15

이산화규소 박막의 변형 특성 분석 및 유연성 소자 적용 가능성 평가
김나향¹, 김시훈¹, 김한글¹, 김주영¹
¹UNIST 신소재공학부.

P16-16

발전부품용 FeMnAlC계 경량철강에서 Nb 첨가에 따른 -40~400 °C 온도별 인장 변형기구 고찰
박병훈¹, 김치원¹, 박준영², 박성준², 홍현욱¹
¹창원대학교 신소재공학부, ²재료연구소 철강재료연구소.

P16-17

바우싱거 및 가공경화 분석을 통한 파이프 조관시 발생하는 Yield Strength 변화 예측
김대웅¹, 김완근², 배진호², 최원두³, 김형섭¹, 이성학¹
¹포항공과대학교, ²POSCO, ³한밭대학교.

P16-18

자동차 엔진부품 응용을 위한 스테인레스강의 저온 기계적 특성 평가
장세훈¹
¹한국기계전기전자시험연구원.

P16-19

적층제조기술로 제조된 스테인리스 강의 기계적 거동에 미치는 수소의 영향
박정민¹, 양광휘¹, 구영모¹, Y. Morris Wang², 서진우³, 장재일¹
¹한양대학교, ²Lawrence Livermore National Laboratory, ³한국과학기술연구원 고온에너지재료센터.

P16-20

타이타늄 중공빌렛 주조 방법에 따른 조직과 물성의 상관관계
윤창석¹, 조평석¹, 이형욱², 이동근¹
¹순천대학교 신소재공학과, ²(주)피디텍.

P16-21

ASTM WK61832기반 Small Punch 시험법을 활용한 SA508 Gr.3 국내 원자로용기강의 천이특성 평가
이태경^{1,2}, 홍석민², 김종민², 김민철², 장재일¹
¹한양대학교 신소재공학과, ²한국원자력연구원.

P16-22

구조용 접착제를 사용한 강-알루미늄 다중융합소재의 기계적 특성 및 파단거동(Mechanical Properties and Fracture Behavior of Steel-Al Hybrid Multi-Materials Using Structural Adhesive)
하동욱^{1,2}, 전건우¹, 송태웅¹, 임연수², 김동진², 정창열¹
¹동국대학교 원자력·에너지시스템공학과, ²한국원자력연구원 원자력재료연구부.

P16-23

니켈기 초내열 분말합금의 미세구조가 고온 피로균열성장률에 미치는 영향
홍상현¹, 김상덕¹, 김재훈¹
¹충남대학교 기계공학과.

P16-24

순 탄탈륨재료의 평균 결정립도에 따른 이축 신장 성형성
김동현¹, 이학현¹, 황교준¹, 정재면¹, 김광련², 송이화², 박성택², 오경원³, 김형섭¹
¹포항공과대학교 신소재공학과, ²(주) 풍산 방산기술연구원, ³방위산업기술지원센터.

P16-25

SA508 Gr.1A 저합금강의 강도 및 J-R fracture resistance에 미치는 미세조직 영향
김민철¹, 홍석민¹, 현세미¹, 김종민¹, 이요섭², 김만원²
¹한국원자력연구원, ²한국수력원자력(주).

P16-26

LBB 안전여유도 향상을 위한 SA508 Gr.1A 저합금강의 인장 및 인성
에 미치는 오스테나이트 결정립 크기의 영향
현세미^{1,2}, 홍석민², 김민철², 김홍덕³, 홍순익¹
¹충남대학교, ²한국원자력연구원, ³한국수력원자력.

P17-1

중온 어닐링에 의한 재결정 단일 FCC 상을 갖는 새로운 CoMnNiCu 고
엔트로피 합금 개발
김동근¹, 조용희¹, 손석수², 최원미¹, 김형섭¹, 이병주¹, 이성학¹
¹포항공과대학교 신소재공학과, ²고려대학교 신소재공학부.

P17-2

CrMnCoNiCu 조성을 갖는 하이엔트로피 합금의 열처리 온도에 따른
미세 조직 및 기계적 특성 분석
김용근¹, 홍순익²
¹충남대학교신소재공학과, ²충남대학교 신소재공학과.

P17-3

분말야금법으로 제조된 생체적합형 TiZrNbTaMo 고엔트로피합금의 기
계적 물성 평가
강현수¹, 이성용¹, 류효진², 김양후¹, 박광석¹, 박형기¹
¹한국생산기술연구원 강원지역본부, ²한국과학기술원 원자력 및 양자공학과.

P17-4

MoNbTaVW 하이엔트로피 합금의 Si/Al 확산코팅 시 계면반응 및 내화
염 특성
양원철¹, 김정민¹, 이종원¹, 박준식¹
¹한밭대학교 신소재공학과.

P17-5

면심입방구조 단결정 및 다결정 고엔트로피 합금의 기계적 특성과 고용
강화 모델링
권현석¹, 김동현¹, 문종언¹, 장민지¹, 배재웅¹, 박정민¹, 이재현², 김형섭¹
¹포항공과대학교, ²창원대학교.

P17-6

강도-연신 Trade-Off 극복 나노복합구조 고엔트로피 합금 개발
김민석¹, 윤국노¹, 오현석¹, 박은수¹
¹서울대학교 재료공학부.

P17-7

Effect of FCC Stability on FCC to BCC Transformation in Novel
VCoCrFeMnNi High Entropy Alloy
양준하¹, 조용희¹, 김동근¹, 최원미¹, 김형섭¹, 이병주¹, 이성학¹
¹포항공과대학교 신소재공학과.

P17-8

혼합열 계산을 통한 공정 하이엔트로피 합금 설계 및 합금의 기계적 특
성 분석
김민정¹, 김영석¹, 박혜진¹, 문상철¹, 홍성환¹, Jumaev Elyorjon¹, 박제형¹, 임기성¹,
김기범¹
¹세종대학교 나노신소재공학과.

P17-9

고엔트로피 합금 Ti-V-Al-X(=Zr,Nb)의 Al 첨가량에 따른 미세조직 및
기계적 물성변화
정윤중¹, 박강현¹, 김경식¹, 홍순직¹, 송기안¹
¹공주대학교 신소재공학부.

P17-10

Dual-Phase Al_{0.5}CoCrFeMnNi 고엔트로피합금의 상온 및 극저온 인
장 거동 분석
손수정¹, 박정민¹, 문종언¹, 배재웅¹, 김동혁¹, 조용희¹, 이성학¹, 김형섭¹
¹포항공과대학교 신소재공학과.

P17-11

선변형이 고 엔트로피 합금(CoCrFeMnNi)의 고주기 피로 거동에 미치
는 영향
이경태¹, 원종우¹, 임가람¹, 나영상¹
¹재료연구소(KIMS).

P17-12

Study of Cooling Rate and Mechanical Properties of Ni-Rich
AlCoCrNi High Entropy Alloys
Jehyung Park¹, Jumaev Elyorjon¹, Sung Hwan Hong¹, Young Seok Kim¹,
Hae Jin Park¹, Sang Chul Mun¹, Ki Seong Lim¹, Min Jeong Kim¹, Ki Buem
Kim¹
¹Sejong University.

P17-13

Non-Equiatomic 고엔트로피 초내열 합금의 기계적 물성 제어
김상준¹, 김일환¹, 오현석¹, 박은수¹
¹서울대학교 재료공학부.

P17-14

CrFeCoNiCu, CrFeCoNiCu_{1.72} 조성을 갖는 하이엔트로피 합금의 미
세조직 및 기계적 거동 분석
김용근¹, 홍순익²
¹충남대학교신소재공학과, ²충남대학교 신소재공학과.

P18 : 비철금속

Room 전시장 III, 4월 26일 09:00 - 15:00

P18-1

공정 부산물로부터 인듐금속 분리 및 고순도화 기술 개발
이호세¹, 정병조^{1,2}, 양재열³, 윤재식^{1,3}
¹하이퍼나인(주), ²디에스엠(주), ³한국기초과학지원연구원.

P18-2

Mo 및 WC 확산 방지막에 직접 전해도금을 통한 Cu 나노박막의 증착
거동 및 임피던스 분광법 연구
박현철¹, 윤홍민¹, 김선정¹
¹울산대학교 첨단소재공학부.

P18-3

인발 및 정수압 압출 공정에 의해 제조된 Mg-B/Nb/Cu clad의 기계적
미세적 특성 연구
이종범¹, 박상용¹, 황덕영², 정하국¹
¹한국생산기술연구원, ²K.A.T.

P18-4

절삭성이 향상된 무연 황동 신합금 개발

예정원¹, 윤국노¹, 박은수¹, 이시연²

¹서울대학교, ²원진금속.

P18-5

황화 반응을 통한 FeTiO3에서 Fe-S-C 금속 상의 형성에 대한 온도 영향

김용우¹, 신승환², 김선중¹

¹조선대학교 재료공학과, ²조선대학교 첨단소재공학과.

P18-6

습식제련 응용공정에 의한 합성 Rutile로부터 고순도 TiO2 제조를 위한 연구

주성호¹, 신동주¹, 이동석^{1,2}, 강정신¹, 김민석¹, 신선명^{1,2}

¹한국지질자원연구원, ²UST.

P18-7

Al-Mg-Si 블루 컬러 합금의 미소원소 첨가에 따른 기계적 물성 및 색도 변화 연구

강결찬¹, 문상철¹, 박해진¹, 김영석¹, 김태경¹, 홍성환¹, 김기범^{1*}

¹세종대학교 공대 나노신소재공학부.

P18-8

염산용액 중 텔루륨의 침출거동 연구

유경근¹

¹한국해양대학교.

P18-9

LiCl 용융염 전해질 내 Sr/Ba의 전착 특성 및 안정성 평가

김성욱¹, 전민구¹, 최은영¹

¹한국원자력연구원.

P18-10

응고속도 및 제2상석출이 Al-Si-Mg-Cu계 주조합금의 열 특성에 미치는 영향

최세원¹, 김유미¹, 김영찬¹, 강창석¹

¹한국생산기술연구원.

P18-11

고효율 고체 산화물 멤브레인(SOM) 전해제련반응기 개발 연구

김종걸¹, 조재익¹, 정은진¹, 추동균¹

¹포항산업과학연구원.

P18-12

Al-Si-Mg 합금에서 열처리를 통한 열확산도 향상 방안 연구

김유미¹, 최세원¹, 김영찬¹, 강창석¹

¹한국생산기술연구원.

P18-13

고강도 Al-Mg 용접 소재 개발

김선기¹, 조대연¹, 김민상¹, 이근호¹, 윤영옥¹, 김동철¹, 김영직², 조훈¹

¹한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소, ²성균관대학교 신소재공학과.

P18-14

건식열처리공정에 의한 페 리튬이온전지 안정적 전처리기술 개발

왕제필¹, 안세호¹, 이병우²

¹국립부경대학교 금속공학과, ²국립부경대학교 신소재시스템공학과.

P18-15

Fe, Mn 첨가에 따른 7xxx계 알루미늄 합금 특성 변화 분석

김민상¹, 김세훈¹, 주경석¹, 신재혁¹, 김진평¹, 성시영¹

¹자동차부품연구원.

P18-16

Al-Cu 주조접합 시편의 열처리에 따른 금속간화합물 층의 두께 변화가 열확산도에 미치는 영향

김용원¹, 김유미², 최세원¹, 김영찬¹, 강창석¹, 홍성길¹

¹한국생산기술연구원, ²전남대학교 신소재공학과.

P18-17

첨가원소 함량에 따른 고용질 Al-Mg-Zn계 합금의 특성 변화 분석

김민상¹, 김세훈¹, 주경석¹, 신재혁¹, 김진평¹, 성시영¹

¹자동차부품연구원.

P18-18

염산에칭용액의 재사용 및 유기금속 회수를 위한 전해투석에 관한 연구

박상미¹, 김권웅², 신기웅², 현승균¹

¹인하대학교, ²인천화학(주).

P18-19

Alloy 690합금의 입계 탄화물 석출 거동에 미치는 입계 특성 및 열처리 공정의 영향

이태혁¹, 서호영², 이종현³

¹한국지질자원연구원, ²한국과학기술연구원, ³충남대학교 신소재공학과.

P18-20

열처리 공정에 의한 Al6061/Cu 와 Al6063/Cu 클래드의 기계적 및 미세조직 변화 연구

이종범¹, 박정민¹, 정하국¹

¹한국생산기술연구원.

P18-21

Comparative Analysis of Microstructural Modifying Effects of Pulsed External EM-Force at 7xxx Al-Alloys Semi-Continuous Billet Casting for Zr-Intermetallic Containing and Free Modifiers

Wonjae Kim¹, Mykola Slazhniev¹, Kyung Hyun Kim¹, Se Won Kim¹, Hyun Suk Sim¹

¹(주)동산테크.

P18-22

수소 플라즈마 용해에 의한 Inconel 718 합금 스크랩 내 가스 및 금속 불순물 제거

이도성¹, 오정민¹, 임재원¹

¹전북대학교 신소재공학부.

P18-23

옥살산의 저품위 티탄철석 내 철 침출에 미치는 영향 연구

박상철¹, 윤희민¹, 김선정¹

¹울산대학교 첨단소재공학부.

P18-24

Cu-Ni 리드 프레임의 황산침출에서 산화제의 영향

김종현¹, 이재천², 김민석², 박현식², 최경섭¹

¹과학기술연합대학원대학교, ²한국지질자원연구원.

P18-25

불용성 양극을 이용한 아연 전해회수의 반응속도론적 연구

김동현¹, 김선정¹
¹울산대학교 첨단소재공학부.

P18-26

미량원소가 Al-Mg 합금의 항복강도에 미치는 영향

김세훈¹, 김민상¹, 주경석¹, 신재혁¹, 김진평¹, 성시영¹
¹자동차부품연구원.

P18-27

순환공정을 이용한 금속산화물 환원 기술

김성욱¹, 전민구¹, 강현우¹, 최은영¹
¹한국원자력연구원.

P19 : 마그네슘

Room 전시장 III, 4월 26일 09:00 - 15:00

P19-1

AZ91 합금의 고온 평면변형압축 변형에 따른 집합조직 형성거동

한동근¹, 고민성², 강창룡², 김권후²
¹부경대학교 마린융합디자인 협동과정, ²부경대학교 금속공학과.

P19-2

AZX611 마그네슘 합금의 단축압축 실험에 대한 미세조직 변화 거동

김기범¹, 이정훈², 남기우³, 김권후²
¹부경대학교, ²부경대학교 금속공학과, ³부경대학교 재료공학과.

P19-3

Hot Deformation Behavior of Mg-Zn-Y Alloys During Multipass Torsion Testing

Yong Jae Kim¹, Sang-Wook Kim¹, Hyeon-Woo Son¹, Chang-Hee Cho¹, Jae-Cheol Lee¹, Soong-Keun Hyun¹
¹Department of Materials Science and Engineering, Inha University.

P20 : 상변태

Room 전시장 III, 4월 26일 09:00 - 15:00

P20-1

Canceled

Zr-TM 이성분 비정질 합금의 특성 변화간 상관관계 고찰

김경준¹, 류옥하¹, 안혜상¹, 박은수¹
¹서울대학교 재료공학부.

P20-2

Al 계 비정질 합금의 급냉 온도에 따른 국부 원자배열 변화

나민영¹, 김원태², 김도향³, 장혜정¹
¹한국과학기술연구원 특성분석센터, ²청주대학교 레이저광정보공학과, ³연세대학교 신소재공학과.

P20-3

탄소강의 상변태 및 미세조직이 부식 기구에 미치는 영향

이상우¹, 이호연¹, 이충혁¹, 백혜원¹, 라찬식¹, 이민재¹, 이승백¹, 최병학¹
¹강릉원주대학교 신소재금속공학과.

P20-4

21Cr Lean Duplex Stainless Steel에서 미세조직에 미치는 Mo와 Ni의 영향

윤병준¹, 최종규¹, 이만재¹, 안용식²
¹포항산업과학연구원 분석평가그룹, ²부경대학교 재료공학과.

P20-5

SS304에서 상변태가 응력부식균열에 미치는 영향

이상우¹, 김유석¹, 김중문¹, 배재준¹, 이우석¹, 한성희¹, 김대현¹, 최병학¹
¹강릉원주대학교 신소재금속공학과.

P20-6

비정질상을 전구체로 이용한 L10-FeNi상의 형성과 분해

노태기¹, 이 승훈¹, 김진영¹
¹경북대학교 금속공학과 나노구조재료연구소.

P20-7

Ni-Rich Ti-Ni-Fe 형상기억합금의 R상변태 거동

김진웅¹, 차재호¹, 마봉건², 김재일¹
¹동아대학교 공과대학 금속공학과, ²(주) 현대테크.

P20-8

Suppressing Spinodal Decomposition by Adding rGO into (Sn_{0.5}Ti_{0.5})O₂ Solid Solutions

최윤혁¹
¹대구가톨릭대학교.

P20-9

Fabrication and Mechanical Responses of Quasicrystal Nanoparticle

유근희¹, 김지영¹, 박은수¹
¹서울대학교.

P21 : 알루미늄

Room 전시장 III, 4월 26일 09:00 - 15:00

P21-1

함침(Infiltration)법으로 제조된 Nano-Al₂O₃ 입자분산 Al 6061 합금기 복합재의 고온 유동응력 모델링

연규호¹, 김목순¹, 유승백²
¹인하대학교 신소재공학과, ²동양피스톤.

P21-2

Al-Zn-Cu 합금의 Mg 원소 함량 첨가에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화

김용호¹, 유효상¹, 손현택¹
¹한국생산기술연구원.

P21-3

히토류 첨가형 알루미늄 합금 개발 및 기계적 특성 향상을 위한 연구
원성재¹, 소형섭¹, 김규현¹
¹한국생산기술연구원.

P21-4

Al-Cu-Mg 합금의 용체화 처리 온도 및 시효 처리 조건에 따른 특성변
화 분석
유가영¹, 김동배¹, 전진현¹
¹(재)대구기계부품연구원.

P21-5

Enhancement of Electric Conductivity, Thermal Conductivity and
Formability in the Extruded Aluminum Alloys by Addition of RE and
Trace Element
Hyeon Taek Son¹, Yong-Ho Kim¹, Hyo-Sang Yoo¹
¹Korea Institute of Industrial Technology.

P21-6

Effect of Cr, Mn, and Ti Elements on Microstructure and
Mechanical Properties of Conventional 6016 Al Alloy
유성현¹, 강현¹, 박호준¹, 구남훈¹
¹현대제철연구소.

P21-7

첨가원소 함량에 따른 Al-Mg-Si계 6xxx계 합금 판재의 기계적 특성 평
가
주경석^{1,2}, 김민상¹, 김진평¹, 신재혁¹, 김세훈¹, 성시영¹, 최순목²
¹자동차부품연구원, ²한국기술교육대학교.

P21-8

세노스피어가 첨가된 Al-Mg 합금 기지 Syntactic Foam의 압축특성에
미치는 중공체 부피분율 및 미세조직의 영향과 강도 예측
정제기¹, 김수현², 이윤수², 김희주², 임차영², 박용호¹
¹부산대학교, ²재료연구소.

P21-9

Al-4Mg 합금에서 Fe, Si, Mn-Rich 금속간화합물이 압연 미세조직과
기계적 특성에 미치는 영향
이다빈^{1,2}, 김봉환², 하성호², 윤영옥², 김세광¹, 현승균²
¹한국생산기술연구원, ²인하대학교.

P21-10

Al-Si-Mg계 합금의 Zn첨가량에 따른 다이캐스팅 시험편 특성변화
황수빈¹, 김병주¹, 김동규², 이영철¹
¹한국생산기술연구원, ²동아대학교 금속공학과.

P21-11

AlMg8.5 알루미늄 판재의 냉간 가공율에 따른 굽힘 거동 및 파단 면 분
석
최권훈¹, 김봉환², 하성호², 윤영옥², 김세광²
¹과학기술연합대학원대학교, ²한국생산기술연구원.

P21-12

Effect of Mg Solute Content on the Hot Workability of Al-Mg Alloys
JaeCheol Lee¹, Sang-Wook Kim¹, Hyeon-Woo Son¹, Yong-Jae Kim¹,
Chang-Hee Cho¹, Shae-Kwang Kim², Young-Ok Yoon², Soong-Keun
Hyun¹
¹Inha University, ²Korea Institute of Industrial Technology.

P21-13

Al 7055합금의 미세조직과 기계적 특성에 미치는 승온 속도 영향
최승규¹, 이석재¹
¹전북대학교 금속공학과.

P21-14

탈가스 및 전자제어 용탕처리로 제조된 Al-Zn-Mg-Cu 합금의 미세조
직이 인장특성에 미치는 영향
정해송¹, 김도희¹, 어광준², 김세원³, Slazhniev Mykola³, 성효경¹
¹경상대학교, ²재료연구소, ³동산테크㈜.

P21-15

Effects of Silicon and Strontium Addition on Commercial
Hypoeutectic Aluminum-Silicon Alloy
Jinwon Kim¹, Je Heon Jeon¹, Dong Hyun Bae¹
¹Yonsei University.

P21-16

Hot Rolling 공정으로 제조된 Al 5086 합금의 인장 및 이상 피로 거동
해석
박태현¹, 백민석¹, 어광준², 임창중², 이기안^{1*}
¹인하대학교 신소재공학과, ²재료연구소.

P21-17

압출된 Al-5.6Zn-2.5Mg-1.6Cu합금에서 미량 합금원소 Cr,Ca 원소
첨가가 시효 거동에 미치는 영향
양승윤¹, 김봉환², 하성호², 윤영옥², 김세광², 김영직¹
¹성균관대학교, ²한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구본부.

P21-18

Modification of Horizontal Continuous Casting Al-12%Si Alloy
Using Fine-Grained Structural Material as the Master Alloy
Jing Zhang¹, Eun Soo Park²
¹Jiangsu University of Science and Technology, ²Seoul National
University.

P21-19

연속주조 된 Al-(6-8)Mg-Al2Ca 합금의 고온압축성형 시 미세조직변
화
김남석¹, 김봉환², 윤영옥², 현승균¹, 김세광²
¹인하대학교, ²한국생산기술연구원.

P21-20

Influence of Pre-Aging on Bake Hardening Response of Twin-Roll
Cast AA6016 Aluminum Sheets
Cui Min¹, Min-Seok Kim¹, Yun-Soo Lee¹, Ji-goo Heo¹, Hyoung-Wook
Kim¹, Je-hyun Lee²
¹재료연구소(KIMS), ²창원대학교.

P22 : 열전재료
Room 전시장 III, 4월 26일 09:00 - 15:00

P22-1

Cu2Se-RGO(Reduced Graphene Oxide)복합체의 열전수송특성
진승현¹, 탁장렬², 남우현², 전동영¹, 임수민¹, 임영수¹
¹부경대학교, ²한국세라믹기술원.

P22-2

저온열 열전발전소자의 성능 최적화 설계
윤태영¹, 김종태¹, 백주영¹, 김호영¹, 김동환¹
¹대구경북과학기술원.

P22-3

Oxidation Characteristics of Skutterudite-Based Thermoelectric Legs with Various Coating Materials
연창호¹, 박상현¹, 허주열², 유종열¹
¹한국에너지기술연구원. ²고려대학교 신소재공학과.

P22-4

전이금속(Tr)이 도핑된 Cu₁₁TrSb₄S₁₃의 열적 안정성과 전하 이동 및 기계적 특성
피지희¹, 이고은¹, 김일호¹
¹한국교통대학교.

P22-5

Cu₃Sb_{1-x}Sn_xS₄의 합성 및 열전 특성
피지희¹, 이고은¹, 김일호¹
¹한국교통대학교.

P22-6

테트라헤드라이트 Cu₁₂Sb_{4-x}Bi_xS₁₃의 고상합성 및 열전특성
곽성규¹, 이고은¹, 김일호¹
¹한국교통대학교.

P22-7

Cu-Incorporation by Melt-Spinning in N-Type Bi₂Te_{2.7}Se_{0.3} Polycrystalline Alloys for Low-Temperature Power Generation
Min Young Kim¹, Heelim Kim¹, Hyun-sik Kim², Hyun-joon Cho³, Sang-il Kim³, Hyuna Mun⁴, Sung Wng Kim⁴, Kyu Hyoung Lee¹
¹Yonsei University. ²Hongik University. ³University of Seoul. ⁴Sungkyunkwan University.

P22-8

Famatinite Cu₃SbS₄의 합성 및 열전특성
이고은¹, 김일호¹
¹한국교통대학교.

P22-9

Sb와 Cu 첨가에 따른 GeTe계 열전재료의 열전도도 감소에 대한 연구
김현호¹, 정혜린¹, 김현지¹, 류주희¹, 사무엘키마니¹, 이호성¹
¹경북대학교.

P22-10

Ni이 도핑된 테트라헤드라이트 Cu_{12-x}Ni_xSb₄S₁₃의 열전 특성
김성윤¹, 이고은¹, 김일호¹
¹한국교통대학교.

P22-11

Ge이 도핑된 고평간 실리사이드 MnSi_{1.72-1.75}:Ge_m의 고상합성 및 열전 특성
이인재¹, 박솔빈¹, 이고은¹, 김일호¹
¹한국교통대학교.

P22-12

Zn와 Bi가 이중 도핑된 테트라헤드라이트 Cu_{12-x}Zn_xSb_{4-y}Bi_yS₁₃의 열전 특성
이고은¹, 김일호¹
¹한국교통대학교.

P22-13

Fabrication and Assessment of Flexible Thermoelectric Device with Energy Storage
최유환¹, 김다혜¹, 김기태¹, 한승우¹
¹한국기계연구원.

P22-14

Co-Mo Alloy Diffusion Barrier with Low Contact Resistance for High Performance Skutterudite-Based Thermoelectric Generators
Jinseop Song¹, Yeongseon Kim¹, Byung Jin Cho¹, Chung-Yul Yoo², Hana Yoon², Sang Hyun Park²
¹KAIST. ²KIER.

P22-15

Thermoelectric Properties of Hybrid Porous Carbon Doped Bismuth Telluride Matrix Composites
김성태¹, 박기태¹, 손인식¹, 김진영¹, 전상은¹, 이승훈¹
¹경북대학교 금속공학과.

P22-16

[(La/Ce)_{1-x}(Pr/Nd)₂]_yFe_{4-x}Co_xSb₁₂계 스커테루다이트의 열전특성
차예은¹, 김일호¹
¹한국교통대학교.

P22-17

산화물원료와 방전플라즈마소결에 의해 제조된 Cu-Se계 합금의 열전 특성
신지은¹, 황해솔¹, 임영수¹, 이길근¹
¹부경대학교.

P22-18

열전발전소자 산화방지막용 폴리이미드 소재 제조기술 및 코팅공정에 관한 연구
황인지¹, 김동환¹, 김호영¹, 김현철¹, 김참¹
¹DGIST.

P22-19

부분 이중 충전형 스커테루다이트 (La_{1-x}Yb_x)_yFe_{4-x}Co_xSb₁₂의 합성 및 열전특성
차예은¹, 김일호¹
¹한국교통대학교.

P22-20

Optimization for Synthesis Method of Nano-Sized Bismuth Telluride Using Hydrothermal Method
Da-hye Kim¹, Seungwoo Han²
¹University of Science & Technology. ²Korea Institute of Machinery & Materials.

P22-21

전자구조제어와 결정방향제어 기술을 이용한 N-Type Bi-Te계 열전소재의 성능 최적화
백주영¹, 황인지¹, 김참¹, 김호영¹, 김동환¹
¹DGIST.

P22-22

Effect of Process Control Agents on Thermoelectric Properties of BiTe

장정인¹, 박수동¹, 김봉서¹, 민복기¹, 주성재¹, 이희웅¹, 류병기¹, 이지은¹
¹한국전기연구원.

P22-23

250 °C 이하 산업체 미활용열을 위한 Bi-Te계 열전발전소자 시작품 제조기술 및 출력평가

김종태¹, 김동환^{1*}, 백주영¹, 윤태영¹, 황인지¹, 윤덕기², 김태훈², 김호영¹
¹DGIST, ²(주)정관.

P22-24

Bi-Te계 열전모듈 제작을 위한 압출공정 및 수율 향상에 대한 연구

김소영¹, 이동선¹, 최병준¹, 박우철¹, 조병현¹, 황창원¹

¹(주)에스랩.

P22-25

Fabrication of Silver Pastes Recovered from Catalyst Wastes and Their Application to Thermoelectric Devices

Suhyeon Lee¹, Min-Wook Oh²

¹KAIST, ²Hanbat National University.

P22-26

Effect of C and N Addition on Thermoelectric Properties of TiNiSn Half-Heusler Compounds

Jinuk Hwang¹, Woo Sik Kim², Hwan Soo Dow²

¹Gyeongsang National University, ²Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology.

P22-27

Effect of Sb Doping on the Microstructure of Zn Doped SnTe

SAMUEL KIMANI KIHOI¹, Hyunho Kim², Hyerin Jeong¹, Hyunji Kim³, Juhee Ryu¹, Ho Seong Lee³

¹School of Materials Science and Engineering, ²Kyungpook National University, ³Kyungpook National.

P22-28

High-Performance Skutterudite-Based Tubular Thermoelectric Generator

Hanhwi Jang¹, Jong Bae Kim¹, Min-wook Oh²

¹KAIST, ²Hanbat National University.

P23 : 전자재료

Room 전시장 III, 4월 26일 09:00 - 15:00

P23-1

Structural Analysis of Ag/Sn/Ag Backside Metal for High-Temperature Semiconductor Devices

최여진¹, 남상열², 최진석¹, 안성진¹

¹금오공과대학교, ²구미전자정보기술원.

P23-2

Wafer-Scale Homogeneous Growth of Monolayer Tungsten Dichalcogenides Using MOCVD

Hee Seong Kang¹, Do Hyoung Koo¹, Chul-Ho Lee¹

¹Korea University.

P23-3

Electrical Stabilization and Room-Temperature Light Emission of Trions in Van Der Waals Heterostructure

Huije Ryu¹, Junyoung Kwon¹, Chul-Ho Lee², Gwan-Hyoung Lee³

¹Yonsei University, ²Korea University, ³Seoul National University.

P23-4

Atomically Thin Graphene Etch Masks for Integration of 2D Heterostructure Devices

Junyoung Kwon¹, Jangyup Son², Sun Phil Kim², Yinchuan Lv², Jaehyung Yu², Jong-Young Lee¹, Huije Ryu¹, Rita Garrido-Menacho², Nadya Mason², Elif Ertekin², Pinshane Y. Huang², Arend van der Zande², Gwan-Hyoung Lee³

¹Yonsei University, ²University of Illinois at Urbana-Champaign, ³Seoul National University.

P23-5

Engineering of Graphene by Epitaxial Growth of MoO3

Hangyel Kim¹, Jong-Hun Kim¹, Gwan-Hyoung Lee²

¹Yonsei University, ²Seoul National University.

P24 : 재료분석

Room 전시장 III, 4월 26일 09:00 - 15:00

P24-1

비파괴 정밀분석용 CT를 활용한 자동차 엔진 전장용 부품 분석

박한수¹, 박헌준¹, 차성철¹

¹현대케피코.

P24-2

TEM 전자회절패턴 해석을 위한 자동화 시스템 개발 (1/3)

강성¹, 허윤¹, 홍기정¹

¹포항산업과학연구원(RIST).

P24-3

등온열화에 따른 1.25Cr-0.5Mo강의 미세조직과 기계적 특성 분석

김명연¹, 정우상², 이영국¹, 심재혁²

¹연세대학교, ²한국과학기술연구원.

P24-4

Corrosion Behavior of the Fe-Based Amorphous Alloys

김송이¹, 이아영¹, 이민하¹

¹한국생산기술연구원.

P24-5

A356합금 내의 Mn이 Nanocluster에 미치는 영향에 대한 APT(Atom Probe Tomography) 분석

신원상¹, 김윤준¹

¹인하대학교신소재공학과.

P24-6

Effect of Additive Processing on the Microstructure of SS316L
Sijia Liu¹, Keesam Shin¹, Choi Chul², Mi-hee Jung²
¹Changwon National University, ²KEPCO Research Institute.

P24-7

전기폭발법으로 제조된 니켈 나노분말의 미세구조 및 자기적 특성
현윤호¹, 김유신¹, 김영우¹, 박현순¹
¹인하대학교 신소재공학부.

P24-8

Sn, Cr 원소 첨가와 표면 열처리에 따른 FCD600의 마찰마모특성 및 기계적 변화 분석
정동혁¹, 김윤준², 백승학³
¹인하대학교 신소재공학부, ²인하대학교, ³벽진(주).

P24-9

Study on the Microstructural Degradation of the Boiler Tubes After Long-Term Service
Liming Xu¹, Keesam Shin¹, Yinsheng He², Si-yeon Bae²
¹Changwon National University, ²KEPCO Research Institute.

P24-10

기계적박리와 화학기상증착으로 합성한 2차원 전이금속 칼코제나이드 물질의 트라이볼로지 특성 분석
황교진¹, 장호², 함명관¹, 김윤준¹
¹인하대학교 신소재공학과, ²고려대학교 신소재공학과.

P25 : 집합조직

Room 전시장 III, 4월 26일 09:00 - 15:00

P25-1

AA5000 계열 Al 합금판재의 Hot Asymmetry Rolling과 성형성 변화 예측
이철우¹, 보보무로드¹, 김인수¹
¹금오공과대학교.

P25-2

2상 타이타늄 합금의 결정소성 유한요소 해석
정혜인¹, 채준열¹, 김은영², 강주희², 오창석², 김지훈¹
¹부산대학교, ²재료연구소.

P25-3

AA6000 계열 Al 합금판재의 Hot Asymmetry Rolling과 성형성
이철우¹, 보보무로드¹, 김인수¹
¹금오공과대학교.

P25-4

멀티 리플로우에 따른 Cu 필라 솔더 범프의 미세조직 변화 및 방위관계 관찰
김상혁¹, 신한균¹, 이우진¹, 박현¹, 이효종¹
¹동아대학교 금속공학과.

P25-5

전단 변형을 이용해 순 탄탈륨 압연재의 성형성을 향상시키는 방법
김소연¹, 황교준¹, 이학현¹, 박형근¹, 정재면¹, 김광련², 오주영², 박성택², 오경원³, 김형섭¹
¹포항공과대학교 신소재공학과, ²(주) 풍산 방산기술연구원, ³방위산업기술지원센터.

P26 : 가공-소성가공

Room 전시장 III, 4월 26일 09:00 - 15:00

P26-1

항공기용 Firewall Chord 부품 제작을 위한 열간 성형 기술 개발
유원규¹, 김성욱¹, 김경환¹, 권용남¹, 김대용², 박현일², 김수환¹
¹대화항공산업(주), ²재료연구소.

P26-2

냉간 인발 Co10Cr15Fe25Mn10Ni30V10 고엔트로피합금 와이어의 미세조직과 변형률의 상관관계
조한술¹, 배성준¹, 이광석¹, 나영상¹, 김정환², 이동근³
¹Korea Institute of Materials Science, ²Hanbat National University, ³Sunchon National University.

P26-3

열간단조 및 열처리가 CrNiMo강의 미세조직과 기계적특성에 미치는 영향에 대한 연구
이민지¹, 권용남¹, 이동준¹, 이진모², 이동근³
¹재료연구소(KIMS), ²(주)태웅 기업부설연구소, ³순천대학교 신소재공학과.

P26-4

Gas Tungsten Arc Welding을 이용한 25%Mn강 인발강관의 용접부 미세조직 및 기계적 물성평가
박건우¹, 박민하¹, 조해주¹, 김병준¹, 신선미¹, 안용식², 전중배¹
¹한국생산기술연구원 동남지역본부, ²경희대학교 재료공학과.

P26-5

베벨기어의 온간단조 공정 후 제어냉각 공정 적용 효과
김기한¹, 배성준¹, 윤은유¹, 노태두², 이상용³, 이영선¹
¹한국기계연구원부설재료연구소, ²(주) 프로솔, ³국립 안동대학교.

P26-6

Effects of a Hot Rolling on the Homogeneity and Thickness Fluctuations of the Fuel Meat
박철홍¹, 강동현¹, 송화영¹, 김성환¹, 정용진¹, 박종만¹
¹한국원자력연구원.

P26-7

ECAP으로 제조된 OFHC Cu의 고변형률속도에서의 동적변형거동
이예림¹, 이근호¹, 우상현², 박이주¹
¹국방과학연구소, ²과학기술연합대학원대학교 무기체계공학과.

P27 : 가공-용접 및 접합

Room 전시장 III, 4월 26일 09:00 - 15:00

P27-1

선박용 극저온 알루미늄 소재의 용접 특성 연구

김재웅¹, 김지선¹, 김인주¹, 강성욱¹

¹한국생산기술연구원.

P27-2

FCAW를 이용한 이종금속재료 용접시 보호가스 혼합량에 따른 용접부 기계적 특성 평가

엄민혁², 조영우¹, 정택균², 현승균²

¹(주)하이드로웍스, ²안하대학교.

P27-3

Al 5J32 알루미늄 합금의 마찰교반점용접부의 기계적 특성 평가 연구

김홍주¹, 박종원¹, 박광수¹, 이목영¹

¹포항산업과학연구원(RIST).

P27-4

Fe계 Gr.92 내열강과 Inconel 740H 초내열합금의 이종용접부 크리프 특성과 파괴 메커니즘 상관성 고찰

김진혁¹, 이지원¹, 홍현욱¹, 한정민², 이경운², 공병욱²

¹창원대학교 신소재공학부, ²두산중공업.

P27-5

Angle 및 T-bar 용접부의 열 영향에 따른 미세조직학적 특성에 관한 연구

장지훈¹, 최영신¹, 윤창석¹, 이동근¹

¹순천대학교 신소재공학과.

P27-6

핫스탬핑강 볼트 프로젝션 용접의 용융현상에 따른 동저항 거동 비교

김재훈¹, 지창욱¹, 천주용¹

¹한국생산기술연구원울산지역본부.

P27-7

고인성 해양플랜트용 후판 강재 SAW 다층용접부 미세조직 및 기계적 특성

최동기¹, 조성규², 정준모³, 신성용⁴, 김형찬⁵, 정택균³, 현승균³

¹하이드로웍스, ²현대제철, ³안하대학교, ⁴울산대학교, ⁵한국생산기술연구원.

P27-8

Diffusion Welding of Austenitic Alloys for High Temperature Reactor Service

Injin Sah¹, Jong-Bae Hwang², Sang Ji Kim¹, Eung-Seon Kim¹

¹KAERI, ²Chungnam National University.

P27-9

Cu-Al 마찰용접 접합부 계면에서 열처리에 따른 금속간화합물 성장에 관한 연구

김기영¹, ITO Kazuhiro², 최인철³, 오명훈³

¹A.F.W(주), ²오사카 대학교 JWRI, ³금오공과대학교 신소재시스템공학부.

P27-10

듀얼빔 레이저 용접을 이용한 알루미늄 합금의 용접성 평가

심우정¹, 전형준², 안명복¹, 박성진¹, 김철³

¹(주)새한산업, ²(주)명진테크, ³한국트림프지엠비에이취(주).

P27-11

페라이트계 STS의 GTAW 용접부 현상 및 미세화 기구 고찰

김진혁¹, 홍현욱¹, 조영태², 오용희², 이원배³

¹창원대학교 신소재공학부, ²창원대학교 기계공학과, ³포스코 철강솔루션마케팅실.

총회강연

Room 3층 컨벤션홀, 4월 25일

[AW-1 | 18:00] POSCO학술상 수상기념강연

Utilization of Austenite for Steel Strengthening: 박경태; 한밭대학교

Austenite exhibits a variety of microstructural evolution during straining that is very limited in other steel phases. The representatives are strain induced martensitic transformation, mechanical twinning, and microbanding that are all associated with dislocation planar glide. These microstructural evolutions are the origins of the extended plasticity of austenite-based steels. On the same line with the extended plasticity, current development of the lean alloy design of the steel is based on such dynamic microstructural evolutions of austenite because they entirely depend on composition. Meanwhile, steel is currently facing the challenge of being replaced with lightweight materials in most structural engineering fields. Utilization of austenite is also extended to development of lowdensity steels that may offset a weight-saving drawback of steel against lightweight materials in some extent. For instance, the addition of Al to austenite appreciably reduces the steel density without hurting its extended plasticity. All these are the primary motivations that recent development of high strength steel focuses on utilizing the austenite phase. In the presentation, the advantages of utilization of austenite for developing high strength steel mentioned above will be summarized. Additionally, some on-going studies regarding this subject in the presenter's laboratory are briefly introduced: two-stage strain hardening in the reversely transformed metastable austenite and aging behavior of TRIP-aided lean duplex stainless steel.

전산재료과학

Room 601, 4월 24일

[전산1-1 | 09:00]AI 방열판의 거칠기에 따른 공기열전달 계수 변화를 통한 300W, 500W LED 냉각 효율 전산모사: 이동희¹, 이종현¹; ¹충남대학교 공대 신소재공학부

Keywords: LED, 방열판, 복합소재, 방열효율

최근 에너지 절감에 대한 관심이 높아짐에 따라 친환경 소재인 LED의 조명을 활용하는 연구가 활발하다. 그러나, 고출력 LED의 경우 방열에 의한 열화현상 때문에 LED 수명이 단축되는 현상이 발생한다. 이에 대한 해결 방향으로 본 논문은 거칠기 처리를 통한 방열 효율을 평가하여 계산된 공기 열전달 계수를 300W 방열판, 500W 방열판에 각각 적용하여 냉각 효율을 비교하였다. 또한, 단가가 비싼 Cu 단일소재 대신, Al/Cu복합소재를 PCB하부에 적용하여 냉각효율을 계산 하였고, 이를 복합소재 미적용시와 비교하였다. 실험은 LED 대신 40mm*40mm*2T Heater를 이용하였고, Al 방열판 대신 40mm*40mm*2T알루미늄 plate를 이용하였다. 조도에 따른 LED의 방열 효율이 얼마나 증대되는 가를 알기 위해 알루미늄 plate에 샌드블라스트를 이용하여 표면 처리를 하였다. 실험조건은 샌드 분사시간은 3초로 고정 한 채, 압력 2, 4, 6 bar로 거칠기를 Al plate에 주었고, 거칠기 적용 방법은 전도, 전도+대류, 대류의 영향을 관찰하기 위해 Heater 와 맞 닿는 부분을 제외한 전면 표면처리, 전면 방열처리등을 실시하여 비교하였다.

[전산1-2 | 09:15]

Phase-Field기법을 이용한 TSV 결정립 성장 시뮬레이션: 조민규, 차필령; 국민대학교

TSV(Through Silicon Via)는 반도체의 상단 칩과 하단 칩 사이에 미세한 구멍(Via)을 뚫어 전극으로 연결하는 패키징 기술로 기존의 와이어를 이용하여 연결하던 방법보다 신호전달 속도, 소비전력, 집적도 등에서 좋은 성능을 가진다. 대부분의 TSV 물질은 Cu를 사용하고 있으며 전기도급법을 이용하여 내부에 증착한 뒤 열처리 공정이 이루어진다. 이 과정에서 Cu가 Si에 비해 열팽창 계수가 6배 정도 큰 관계로 결정립 성장 뿐만 아니라 열응력에 의한 크랙, 박리, 공동 형성과 같은 소자 성능에 치명적인 영향을 주는 결함이 발생한다. 이러한 이유로 소자의 성능을 최적화 하기 위해 다양한 공정조건에 따른 결정립 성장과 열응력 발달 거동을 예측하는 것이 중요하다. 이 현상을 동시에 예측 가능한 시뮬레이션 모델은 Phase-field model(PFM)이 유일하며, 본 연구에서는 이를 이용하여 다양한 공정조건에 따른 결정립 성장과 열응력 발달을 모사하였다.

[전산1-3 | 09:30]

다공성 매체에서의 유체 흐름 시뮬레이션: 김용윤, 김희수; 조선대학교 첨단소재공학과

Keywords: Darcy's law, CFD, permeability, Kozeny-Carman model

1. 서론 최근까지도 주조제품을 생산할 때 발생하는 주조결함을 완벽하게 해결하지 못하고 있다. 편석 등을 포함하는 주조결함은 급속을 주조할 때 발생하는 현상이며, 제품의 성능에 악영향을 미치는 경우가 대부분이기 때문에 과거부터 주조결함을 개선하기 위해 노력해왔다. 현대에 들어서 전산유체역학(Computation Fluid Dynamic)의 발전에 따라 주조결함의 예측이 훨씬 용이해졌다. 본 연구의 목표는 전산유체역학을 통해서 주조결함의 경향을 예측하고 개선하기 위해, 주조결함에 영향을 주는 유체의 거동을 급속이 응고할 때에 적용하여 파악하는 것이다. 급속합금이 응고할 때, 고액공존영역(mushy zone)에서 수지상정이 발달한다. 수지상정 사이

에서의 유체 흐름으로 인해 편석이 발생하는 것으로 알려져 있다. 고액공존영역에서의 유체 흐름은 다공성 물질에서의 유체 흐름으로 간주하고 Darcy's law를 사용하여 계산한다. 본 연구에서는 Darcy's law를 이해하고 검증하기 위해 Darcy's law를 사용하지 않고, 다양한 형태로 가정된 수지상정으로 구성된 인공적인 다공성 매체 사이로 유체가 통과할 때의 현상을 수치해석으로 계산하였다. 2. 수치해석 방법 고액공존영역에서 흐르는 유체는 비압축성이고 층류 유동으로 가정하고 정상 상태로 계산한다. 유체를 정의하는 지배방정식은 질량 보존의 연속방정식, 운동량 보존의 Navier-Stokes 방정식이다. 다공성 지역에서 다양한 형태의 수지상정의 크기와 간격 변화로 고체분율의 변화를 표현하였고, 이에 따른 유체 내의 압력변화를 통하여 permeability를 계산하고 이론적인 방정식인 Kozeny-Carman model과 비교하였다. 3.결과 및 고찰 고액공존영역에서는 Darcy's law의 정의와 마찬가지로 길이방향에 따라서 압력분포가 선형으로 감소하는 것을 관찰하였다. 고체분율이 증가함에 따라 압력구배가 증가하고, Darcy's law에 의해 permeability는 낮아졌다. 고체분율이 일정하고 동일한 형태로 가정된 수지상정을 크기변화와 간격변화로 제어한 것을 비교하여 permeability에 미치는 영향을 판단하였다. 또한 수지상정의 형태에 따른 permeability의 차이를 비교하였다. permeability를 계산한 수치와 permeability를 표현하는 Kozeny-Carman model과 비교한 결과 유사한 경향을 보였다. Kozeny-Carman model의 상수부분을 정리하여 C로 표현했을 때, 통상적으로 상수 C는 150(Ergun) 또는 180(Kozeny-Carman)으로 정의되지만, 본 연구에서 각 고체분율에 따른 C의 값을 계산한 결과, 평균적인 C의 값은 150~180의 범위에 있었지만 표준편차가 높았다. 따라서 Kozeny-Carman model은 다양한 수지상정 형태와 배열에 적합하지만, 고체분율의 범위에서 상수 C는 균일하지 않았다.

[전산1-4 | 09:45]

Computational Design of Alloys with Minimal Galvanic Corrosion: Krishnamohan t¹, Seung-Cheol Lee², Pi-Ryung Cha³; ¹한국과학기술연구원(KIST), ²Indo Korea Science and Technology Center, ³Kookmin University.

Keywords: Mg alloys, Corrosion, Density functional theory, Cluster Expansion

Magnesium alloys are suitable structural materials for biomedical, automotive and aerospace industries owing to their high strength to weight ratio, excellent machinability and biocompatibility. However, its susceptibility to corrosion hinders widespread applications. Corrosion mainly occurs due to the formation of micro-galvanic cells between the α -phase and the intermetallic phase. In this work, we develop a computational model to predict and control the micro-galvanic coupling between both the phases and minimize corrosion. Electrochemical potentials of alloys are calculated using a simple Born-Haber cycle based model and shows good agreement with experimental studies. Thermodynamic properties of alloys are calculated using cluster expansion hamiltonians and ensemble averaging techniques. Cluster expansion hamiltonian model selection and training is based on total energy calculations with density functional theory. Finally, we demonstrate our model on the Mg-Sr-Zn alloy system. We correctly predict the amount of Zn required to be added to Mg-3 wt.% Sr system to minimize galvanic corrosion and, our prediction of Zn concentrations in the α -phase and the intermetallic Sr₂Mg₁₇ phase at equilibrium is in good agreement with experimental observations.

[전산1-5 | 10:00]

Comparison of the Thermoelastic Micromechanical Response of Polycrystalline Microstructures from the Finite Element and Fast Fourier Transforms Method: 이명진, 손영균, 이석빈; 울산과학기술원.

Keywords: Thermoelasticity: Finite element method: fast Fourier transform-based method: Polycrystal:

The predictions from two formulations, the finite element method (FEM) and the fast Fourier transform-based (FFT) method, were compared in terms of the elastic field distribution in crystalline solids under thermal loading. Firstly, the thermoelastic responses of heterogeneous materials system from both methods are verified against the theoretical solution of Eshelby and Thin film case. Then, the spatial distributions of elastic fields of three-dimensional polycrystalline material under thermal loading were simulated. Both similarity and discrepancy of the responses from two methods were examined. In particular, the distributions of the extreme values in hot spots of stress, strain and elastic energy density (EED) were examined.

[전산1-6 | 10:15]

원자단위 전산모사를 통한 Mg-X-Zn (X=Al, Ca) 합금의 solute clustering 거동 해석: 장효선, 이병주; 포항공과대학교.

Keywords: Mg-Al-Zn, Mg-Ca-Zn, Solute clustering, Texture, Atomistic simulation

Mg은 가장 가벼운 구조용 재료로 차세대 친환경 에너지 재료로 각광받고 있다. 그러나 고유 결정구조로 인하여 강한 basal texture를 가지며, 이로 인해 상온 성형성이 좋지 않다. 이를 개선하기 위하여 합금 원소를 첨가한 다양한 Mg 합금이 개발되었다. AZ31과 ZX31은 이렇게 개발된 대표적인 상용 Mg 합금으로, 서로 다른 annealing texture를 가지며, 이로 인하여 상온 성형성 또한 서로 다르다. Al과 Zn가 첨가된 AZ31의 경우 강한 basal texture를 가지며, 상온 성형성이 좋지 않다. Ca와 Zn가 첨가된 ZX31의 경우 약한 basal texture를 가지며, 상온 성형성이 좋은 합금이다. 본 연구팀에서는 유사한 성분의 두 합금이 서로 다른 texture를 가지는 원인을 밝혀 내기 위하여, annealing texture가 주로 재결정 과정에서 결정된다는 점에 착안하여, 원자단위 전산모사를 통한 Mg의 grain boundary 내 Al, Ca, Zn solute의 단독 및 복합 segregation 거동 해석 연구를 수행한 바 있다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 두 합금 모두 유사한 grain boundary segregation 거동을 보여 위 현상을 설명할 수 있는 근본 mechanism이 나오지 않은 상태이다. 본 연구에서는 위 연구에 대한 후속 연구로서, 합금원소가 재결정 거동에 영향을 줄 수 있는 또 다른 현상인 solute clustering에 대한 합금 별 차이를 분석하고자 한다. 특히, Ca-Zn cluster 및 Al-Zn cluster 형성 여부 및 형성량에 대하여 조사할 것이다. 연구 방법으로는 합금원소가 모체에 미치는 영향을 원자 scale로 관찰이 가능한 원자단위 전산모사

(Atomistic simulation) 을 사용할 것이다. 이를 바탕으로 Mg-Ca-Zn 합금과 Mg-Al-Zn 합금이 서로 다른 texture 및 상은 성형성을 보이는 원인을 유추하고자 한다.

[전산1-7 | 10:30]

Inertial Effect on Fast-Moving Dislocation in Nanoscale System: Soon Kim, Sung Youb Kim; *Ulsan National Institute of Science and Technology*.

Keywords: Dislocation, phonon scattering, atomistic simulation, discrete lattice dynamics

A motion of dislocation is governed by drag mechanisms in metallic system. Among them, phonon scattering around the dislocation core is a dominant mechanism that determines its speed under low temperature. In this presentation, we report that inertial (relativistic) effect causes an additional drag when the speed of dislocation is close to transverse shear wave speed. And we analytically derive a constitutive equation for this case to find the speed of dislocation as a function of applied stress based on discrete lattice dynamics theory. Furthermore, we compare our model with atomistic simulation results carried out for several cubic metals.

[전산2-1 | 10:45]

기계학습을 이용한 Al-Si 주조 합금의 미세조직 분류 및 분석: 정상준¹, 황인규², 김희수¹; ¹조선대학교 첨단소재공학과. ²조선대학교 재료공학과.

Keywords: inception, machine learning, artificial neural network, AISi

1. 서론 기계학습은 데이터를 컴퓨터에 입력하고 학습하며 분류하는 기술로서, 데이터를 어떻게 학습하고 분류할 것인지를 놓고 많은 알고리즘이 등장했다. 의사결정나무(Decision Tree), 베이저안 망(Bayesian network), 서포트 벡터머신(support vector machine, SVM), 인공신경망(Artificial neural network, ANN) 등이 대표적이다. 본 논문에서는 인공신경망의 알고리즘 중 CNN 기반의 inception 모델을 활용하는 기계학습을 이용하여 알루미늄 응고조직의 이미지를 분석하고, 군집화를 이용해 컴퓨터 스스로 분류할 수 있는가를 보고자 한다. 2. 실험방법 기본적인 데이터베이스로 AISi조직 1%~10% 조성의 미세조직 데이터를 확보한 후 inception v3 모델을 응용하여 학습 시키고 학습하지 않은 데이터를 어느 정도로 분석이 가능한지 살펴보고, 군집화를 이용하여 컴퓨터 스스로 조성별로 분류할 수 있는 환경을 만든다. 3. 결론 실험 결과 분석하고자 하는 시편의 이미지를 입력하였을 때, 우리가 이미 알고 있는 조성의 이미지에서 가장 높은 정확도를 나타내었고, 학습 횟수가 적을 때에는 인접 조성의 일치율도 상당히 높게 나타났다. 그러나 평균적으로 합금의 조성을 계산해 보면 모든 경우에 가장 유사한 조성을 나타내었다. 군집화를 이용한 분류 역시 인접한 조성 에 섞여 분류가 되었고 약간의 개선을 통한다면 DB를 컴퓨터 스스로 각각 분류해 낼 수 있을 것으로 보인다.

[전산2-2 | 11:00]

PCA 및 CGCNN 기반 나노입자의 DOS 함수 예측 머신러닝 모델 개발: 박기훈¹, 여병철², 한상수², 이혁모¹; ¹한국과학기술원(KAIST). ²한국과학기술연구원(KIST).

Keywords: 나노입자 촉매, DOS 함수, PCA, CGCNN, 머신러닝

전자상태밀도(electron density of state, DOS) 함수는 소재의 촉매 활성을 유추할 수 있는 매우 유용한 서술자(descriptor)이다. 대표적으로 Nosrkov 그룹에서는 소재의 d-band의 무게중심이 높아질수록 표면의 흡착 에너지가 강해진다는 d-band theory를 발표하였고 이는 다양한 촉매의 스크리닝에 활용되고 있다. 하지만 d-band의 무게중심만으로는 흡착 에너지를 예측하는데 오차가 있어 DOS 함수 전체를 고려하여 흡착 에너지와 촉매 활성을 정확하게 예측하고자 하는 연구가 많이 이루어지고 있다. 따라서 소재의 DOS함수를 정확하게 계산하는 것은 촉매 스크리닝을 진행할 때 매우 중요한 작업이다. 하지만 밀도범함수이론(Density Functional Theory, DFT)을 이용하여 DOS 함수를 계산할 때 나노입자와 같은 수 백 원자로 이루어진 구조는 매우 많은 컴퓨팅 파워와 시간을 필요로 한다. 이를 해결하기 위하여 본 연구에서는 주성분분석법과 Crystal Graph Convolutional Neural Network (CGCNN) 머신러닝 기법을 이용하여 나노입자의 DOS 함수를 매우 빠르게 예측하고자 하였다. 먼저 DOS 함수를 이미지화 시킨 후 주성분분석법을 이용하여 하나의 벡터로 압축시켰다. 그 후 입력값이 원자구조, 출력값이 압축된 DOS 벡터인 CGCNN 머신러닝 모델을 구성하여 학습 및 예측하였고, 주성분분석법을 통하여 예측된 DOS 벡터로부터 DOS 함수를 다시 재구성하였다. 그 결과 Pt 나노입자의 DOS 함수를 DFT 계산 대비 최대 93%의 정확도로 예측할 수 있었고 계산 시간은 DFT 계산 대비 최대 20만 분의 1로 줄일 수 있었다. 이렇게 예측된 DOS 함수는 수 나노미터 이상의 나노입자에서 촉매 활성을 예측하는데 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

[전산2-3 | 11:15]

가우시안 프로세스 회귀모델을 이용한 미세조직 기반 기계적 특성 예측: 박형근, 정재면, 윤재익, 김형섭; *포항공과대학교*.

Keywords: Microstructure-property linkage, Gaussian process regression, Finite element method, Dual-phase steel

구조재료의 기계적 특성은 재료의 미세조직과 이를 이루는 미세조직 인자들 사이의 상호작용을 통해 발현된다. 다양한 미세조직에 대해서 미세조직 - 기계적 특성 사이의 상관관계는 복잡할 뿐만 아니라 정립하는 데에 있어 높은 계산 비용을 요구한다. 효율적인 특성 예측을 위해선 미세조직 기반 전산모사 기법의 높은 계산 비용을 보완해줄 새로운 방법론이 필요하다. 위 연구에서는 미세조직 기반 유한요소해석과 가우시안 프로세스 회귀모델을 이용해 DP강의 기계적 특성을 예측하였다. 유한요소해석에 사용된 모델 변수들은 실험 데이터를 기반으로 계산되었으며, 실험 데이터를 기반으로 가상의 미세조직을 추가적으로 구현해 다양한 미세조직에 대한 특성 예측을 할 수 있었다. 가우시안 프로세스 회귀 결과는 적은 양의 데이터로도 상당히 높은 예측 정확도를 보였으며, 이를 통해 낮은 계산 비용으로도 미세조직 - 기계적 특성 사이의 상관관계를 예측할 수 있었다.

[전산2-4 | 11:30]

First-Principle 계산을 활용한 SiVCrMn_{0.3}Fe_{0.5}CoNi 7원계의 조성과 온도에 따른 Intrinsic Stacking Fault Energy Map 구축 및 Transformation Induced Plasticity 영역 예측: 도경연, 이동화; 포항공과대학교 신소재공학과.

Keywords: First-principle, EMTO-CPA, Axial Next Nearest Neighbor Ising model, Debye-Gruneisen Theory, High Entropy Alloy

고엔트로피 합금은 다양한 조성 가능성을 바탕으로 우수한 물성이 발휘될 가능성이 높은 물질군이다. 이 물질군은 조성에 따라 강도와 연신율을 동시에 높일 수도 있으며, 저온 인성이 증가하기도 하며, 고온에서 크리프 저항성이 높아지는 등 원하는 물성에 맞는 맞춤형 물질 디자인 가능성을 보인다. 하지만 연속적인 조성 변화에 따른 조성의 다양성은 실험으로 확인하기에 광범위하고 소모적인 행위이므로 효과적인 조성 탐색 방법이 필요하다. 본 연구에서는 제1원리(First-principle)계산 기법을 활용하여 7원계 고용체에 대한 물성 계산을 통해 고속 스크리닝을 진행했다. 제1원리 계산 기법은 고용체의 특성 예측에 적합한 EMTO-CPA 기법을 활용했으며, 조성은 SiVCrMn_{0.3}Fe_{0.5}CoNi 7원계의 조성 중 Si, V, Cr, Co, Ni 다섯개 원소의 비율을 균일하게 변화하여 126종을 다뤘다. 각 조성에 대하여 Axial Next Nearest Neighbor Ising model을 활용하여 intrinsic stacking fault energy(ISFE)를 계산했으며, Debye-gruneisen theory를 적용하여 온도에 따른 ISFE 변화 예측했다. Principal component analysis를 통해 조성 변화에 대한 원소 간 상호작용을 분석하고 TRansformation Induced Plasticity 물성이 나타날 수 있는 온도와 조성 범위를 예측했다.

[전산2-5 | 11:45]

직접 합성 촉매로서 우수한 활성을 가지는 Miscible PtAu 나노 입자: DFT 계산 및 실험: 이훈우¹, 이관영², 한상수¹; ¹한국과학기술연구원(KIST) 계산과학연구센터, ²고려대학교 화공생명공학과.

Keywords: DFT, Catalyst, H₂O₂, Alloy, Direct Synthesis

과산화수소 직접 합성 (Direct Synthesis Hydrogen Peroxide, DSHP) 촉매 소재로써, 좋은 수율을 가져온 Palladium (Pd)이 중점적으로 사용되어져 왔다. 그러나, Pd의 우수한 활성으로 인하여 O₂ 분자마저 해리가 쉽게 일어나, 주변의 해리된 수소 원자와 Hydrogenation 되면서 H₂O와 같은 부산물을 쉽게 형성하는 문제가 있었고, 낮은 선택도로 이어졌다. 이를 개선하기 위해, 몇몇 연구진들은 수십년간 주로 화학 반응성이 적다고 알려진 Au를 Pd 입자에 도입하는 연구 중심으로만 DSHP 촉매 개발이 지속되어 왔다. 다시 말해, Bimetallic 촉매 개발 후보군에서 Immiscible 원소들 간 조합은 쉽게 배제되어 왔다. 본 연구에서는, DSHP에서 요구되는 특성인 수소를 잘 해리시키는 것으로 알려진 금속과 Inactive 한 금속으로 알려진 Pt와 Au를 서로 Solid solution alloying 시키는 연구를 수행하였다. 본래 Ambient한 조건에서는 열역학적으로 잘 섞이지 않던 두 금속을 비교적 간단한 환원 방법을 통해, FCC 구조를 갖는 Miscible PtAu 나노 입자를 성공적으로 합성하였다. 그리고, 이를 과산화수소 직접합성 (DSHP) 촉매로써 활용한 사례에 대해 보고한다. X선 회절 법 (X-ray diffraction), 주사 전자 현미경 (Scanning transmission electron microscopy), 에너지-분산 X선 측정 (Energy-dispersive X-ray measurements), 그리고 밀도범함수이론 (Density Functional Theory, DFT) 기반의 전산 모사를 통해, Pt_xAu_{100-x} 입자는 77Au₉₃ 나노입자는 Ambient한 조건 (20°C, 1 기압)과 할로겐화 이온 첨가제가 사용되지 않고도 우수한 H₂O₂ 선택도 (99.2 %) 및 생산성 (2,327 mol/g_{cat} h)의 활성을 나타냈다. 또한, 뛰어난 촉매 특성은 DFT 계산에서 얻어진 반응 메커니즘으로도 충분히 입증되었다. 나아가, 본래 촉매로서 Inactive하다고 알려진 Au가 Pt에 도입되는 양이 증가할수록, O₂* 및 OOH* 해리가 억제되어 H₂O₂의 선택성이 더욱 향상되는 것으로 나타났다. 본 연구는 Nonequilibrium한 Solid solution 입자들을 안정화하여, DSHP의 촉매분야를 개발한 첫번째 사례이다. 더 나아가, 합금계에서 아무리 서로가 Immiscible한 관계에 있는 원소라 할지라도 우수한 촉매 특성을 가지게 할 수 있음을 보여주는 한 사례가 되었다.

[전산2-6 | 12:00]

Configuration Force Acting on Dynamic Dislocation in Nanoscale System: Soon Kim, Hokun Kim, Sung Youb Kim; Ulsan National Institute of Science and Technology.

Keywords: Dislocation, J-integral, Peach-Koehler force, atomistic simulation, discrete lattice dynamics

Configuration force is defined as a force applying on a singularity whose mass is not defined. According to the continuum theory, the force acting on a stationary dislocation corresponds to Peach-Koehler (PK) force. Furthermore, the PK force coincides with J-integral that is calculated along an arbitrary closed contour that encompass the dislocation core. Under linear elasticity assumption, the J-integral is independent to the contour path. Through atomistic simulations, however, we observed for the first time that the correspondence between the PK force and J-integral is broken when the dislocation starts to move. We explain this phenomenon in terms of discrete lattice dynamics theory and prove that this is the unique behavior of nanoscale system.

[전산3-1 | 13:00]

중수로 압력관 재료의 중성자 조사 유기 변형 예측을 위한 결정 소성 유한요소 해석 연구: 안동현, 이경근, 권준현; 한국원자력연구원.

Keywords: Zr 합금, 결정 소성, 유한요소해석, 압력관, 크리프

중수로 연료채널 내 주요 구조 부품 중 하나인 Zr-2.5Nb 압력관은 운전 중 고온에 의한 열 크리프, 조사에 의한 조사 크리프, 그리고 조사에 의한 조사 성장 변형을 겪게 된다. 초기 압력관 형태에서 벗어나게 하는 이러한 변형 열화는 원자로의 운전 효율 및 안전성에 주요한 영향을 주기 때문에 예측 및 관리가 매우 중요하다. 본 연구에서는 중성자 조사 환경에서 9발생하는 압력관 재료의 조사 유기 변형 열화 거동 예측을 위해 결정 소성 유한요소 해석 접근법을 사용하였다. 외부 응력에 대해 선형 그리고 비선형 변형 특성을 보이는 조사 크리프와 열 크리프 변형을 압력관 변형 예측을 위한 주요 변형 기구로 가정하였다. 또한, 전체 변형 거동에서 성장 변형에 비해 두 크리프 변형 기구가 복잡한 영향을 미친다고 가정하였다. 따라서, 본 연구에서는 성장 변형은 단순화하

고 조사 크리프와 열 크리프에 대해서만 결정 모델을 적용하여 해석을 진행하였다. 해석을 위해 압력관 재료의 집합조직을 기반으로 대표체적요소를 제작하였고, 이 요소 모델과 보고된 압력관 변형 결과를 사용하여 열 크리프와 조사 크리프에 대한 재료 모델 인자를 획득하였다. 모델을 기반으로 국내 중수로 월성 3호기에서 측정된 압력관에 대한 변형 예측을 진행하였고, 모델 예측 범위 내에서 실제 변형을 적절히 예측하는 것을 확인하였다.

[전산3-2 | 13:15]

Prediction of M_s Temperature with a Phase-Field Method: Kyeong-Min Kim¹, JaeSang Lee², Byeong-Joo Lee¹; ¹Postech. ²GIFT.

Keywords: M_s temperature, phase-field method

Martensitic transformation in steel is important phenomenon, because fraction and morphology of the martensite phase play a role in characterizing mechanical properties of steels. Many empirical equations for predicting martensitic transformation fraction has been reported, which only depended on martensitic transformation temperature. However, the empirical equations have limitations due to not considering alloying element and microstructure effects. In this study, a phase-field model coupled to elasticity model for martensitic transformation was investigated considering alloying elements and microstructure effects. An energy barrier function which kinetically hinders austenite to martensite transformation was introduced as a function of alloying elements. Finally, M_s temperature and transformed martensite fraction during quenching for various steels were compared to experimental data and empirical equations.

[전산3-3 | 13:30]

멀티스케일 모델링을 이용한 래스 마르텐사이트 강의 굽힘 변형 분석: 성유진¹, 김동혁¹, 김정기¹, 서민홍², 김형섭¹; ¹포항공과대학교 신소재공학과. ²포스코

Keywords: Multiscale modeling; lath martensitic steel; Crystal plasticity finite element method; bending process

In this study, bending deformation of lath martensitic steel were analyzed using multiscale modeling which combined the finite element method(FEM) and crystal plasticity finite element method(CPFEM). First, the FEM was used to analyze the bending process and digital image correlation(DIC) and load-displacement curve were used to verify the reliability of the FE analysis(FEA). Then, the CPFEM was performed by giving a microstructure to the representative volume element(RVE). The deformation gradient was extracted from the FEA to apply the appropriate boundary conditions to RVE. It was confirmed that the surface undulation occurred due to the large deformation of the lower surface of a bending specimen and the shear band was generated and developed due to the tensile and compressive force acting on the cross-section region. Furthermore, the influence of grain size and precipitation were also analyzed. Based on the multiscale modelling developed in this study, we confirmed the expandability of the microstructure analysis for complex deformation modes and expect quantitative analysis of defect sources.

[전산3-4 | 13:45]

Analysis of Reset Stuck Failure in Phase-change Memory Using Finite Element Analysis: Hwanwook Lee, Yongwoo Kwon; Hongik University.

Keywords: Phase-change Memory, Electro-thermal-mechanical Simulation, Endurance, Fatigue

Chalcogenide materials used in phase-change memory, mostly $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST), have about 10% difference in density between amorphous and crystal phases. During a reset operation, melting of a portion of the crystalline phase induces the increase in volume, and thus the melt region exerts a stress to its surroundings. The reset/set cycling test can result in an open circuit failure called the reset-stuck, one of main failure modes induced by fatigue effects. In this work, we combined electrothermal and mechanical models to estimate the phase-change stress effect for a given memory cell architecture. We will show that GST self-heating architectures are a way better than heater-based architectures.

[전산3-5 | 14:00]

Role of Physiochemical Properties and Ionic Migration in the Conducting Filament of Resistive Switching Memories: A Phase Field Study: Arijit Roy, Pil-Ryung Cha; Kookmin University.

Keywords: Phase field modeling; memristor; ReRAM; electrode-electrolyte interface; conducting filaments.

In recent years, a variety of organic and inorganic insulating materials have been investigated for their promising electrochemical properties suitable for application in resistive switching memories. The formation of conducting filaments (CF) is an important role in the deposition of charged materials. We are interested in understanding the role of different physiochemical parameters and affects the morphological evolution of CF. To study the growth of such CF, phase field modeling is implemented. We consider two cases - in first, the insulating layer consists of ionic species of intrinsic and electrode origin are considered - in second, spontaneous creation and annihilation of new Frenkel defects are considered. In the first case, the choice of diffusivity and the generated boundary flux of the ionic species are crucial for the observed IV curve of the system. In the second case, we employ bond-breaking model to describe the defect formation rate due to applied electric field. We studied the effect of physiochemical parameters - activation energy (E_a), defect formation energy (E_f), and bond-polarization factor (b) - on the growth of CF. From the obtained IV curve of the system, we observe

that the CF-forming voltage increases with the high defectivity of Ea and Ef. However, the rate of generation of new defects has been increased, In this paper, we present the results of the numerical simulations of the proposed IV curves. Resistive RAM (ReRAM) is a non-volatile random access memory (RAM), which is a new generation of non-volatile random access memory (RAM).

[전산4-1 | 14:25] 초청강연

Learning Surface Interactions to Accelerate the Discovery of N₂ Electroreduction Catalysts: 김동훈, 김명준, 여병철, 한상수; 한국과학기술연구원.

The development of catalysts for the electrochemical N₂ reduction reaction (NRR) with a low onset potential and high Faradaic efficiency is highly desirable but remains challenging. Here, to achieve acceleration, we develop and report a slab graph convolutional neural network (SGCNN), an accurate and flexible ML model that is suited for probing surface reactions in catalysis. With a self-accumulated database of 3,040 surface calculations at the density-functional-theory (DFT) level, SGCNN predicted the binding energies, ranging over 8 eV, of five key adsorbates (H, N₂, N₂H, NH, NH₂) related to NRR performance with a mean absolute error (MAE) of only 0.23 eV. In contrast to previously available models, SGCNN avoids using ab initio level inputs and instead is based solely on elemental properties that are all readily available in the periodic table of elements; thus, true acceleration can be realized. Via a combined process of SGCNN-driven predictions and DFT verifications, five novel catalysts in the L₁₂ crystal space are proposed as stable candidates that likely exhibit both a low onset potential and high Faradaic efficiency in the NRR. The ML work combined with a statistical data analysis reveals that catalytic surfaces with an average d-orbital occupation between 4 and 6 could lower the onset potential and potentially overcome the scaling relation in the NRR.

[전산4-2 | 14:55]

Multilayered Network for the Optimization of ReaxFF Parameters: 고희연, 한상수; 한국과학기술연구원(KIST).

Keywords: ReaxFF, Neural Net, parameter optimization, learning algorithm

Multilayered network is tuned to learn the parameters of nonlinear functions. It is applied to the parameter fitting process for the reactive force-field (ReaxFF) potential function so that the set of parameters can be optimized from density functional theory automatically with minimized manual effort and less time consuming manner. Optimization method for neural network learning has been adapted, such as back propagation and activation function scheme as defining the nodes with the functional definition directly derived from ReaxFF potential energy functions. This method is applicable to general parameter fitting for other nonlinear functions, including various potential function energy species.

[전산4-3 | 15:10]

Development of 2NNMEAM Interatomic Potential for Na Unary and Na-Sn Binary Systems: 김용민¹, 고원석², 이병주³;

¹포항공대 신소재공학과 대학원, ²울산대학교 첨단소재공학부, ³포항공대 신소재공학과.

Keywords: Sodium ion battery, Sn anode material, Interatomic potential, 2NNMEAM

Sodium ion battery(SIB)의 음극 소재중 Sn은 이론적 용량이 847 mAh/g으로 다른 원소들과 비교했을 때 더 높은 편이며 가격 또한 더 싼 편이다. 다만 Sn의 경우 sodiate하였을 때 부피 팽창율이 420%를 보임이 확인되었는데 이러한 높은 부피팽창은 Sn 음극의 cycle performance를 저해하는 요인으로, 현재 높은 부피팽창율을 보이는 고용량 음극에서는 부피 팽창이 일어나더라도 degradation을 방지하는 방향으로 연구가 진행되고 있다. 이러한 sodiation반응은 소듐 원자가 음극 재료 내부로 확산하면서 나타나는 현상이며 이는 모두 원자 단위에서 발현하는 특성으로 이를 면밀하게 분석하기 위해서는 원자 단위에서의 분석이 필요하다. 이에 수 백만 원자를 고려할 수 있는 원자 단위 시뮬레이션이 활용성이 높다. 이에 2NNMEAM 원자간 퍼텐셜을 이용하여 이미 개발되어 있는 Sn을 제외한, Na 1원계 및 Na-Sn 2원계 퍼텐셜을 개발하였다. 이들 퍼텐셜은 제일원리 및 실험값을 잘 재현하였으며 추후 SIB의 Sn 음극재료 설계에 이용될 것이다.

[전산4-4 | 15:25]

Investigation of Densification Behavior of Contacting Particles Using a 2d Monte Carlo Potts Model: 손영균, 이석빈; 울산과학기술원(UNIST).

Keywords: Monte Carlo Potts model, Densification, Contacting particles, Diffusion-path and -rate controlled

Densification behavior of solid-pore systems during final stage of solid-state sintering is explored by a spin-exchange-path-dependent rate-controlled Monte Carlo (MC) Potts model. Especially, two-dimensional circular particles, contacting with each other, are digitally prepared as inputs for the proposed MC algorithm. Diffusivities in the context of pore-solid exchange along the grain boundaries, on the hetero-interfaces and through the bulk are controlled in order to elucidate the relative contribution of the different diffusion mode to the densification. The effect of grain boundary energy anisotropy on the densification behavior will be also discussed. The results indicate the proposed model generically have a potential to predict the realistic evolution polycrystalline microstructures during the solid-state sintering.

[전산4-5 | 15:40]

Computational Approach to Investigate Structural and Electronic Properties of Carbon Allotropes: Babu Ram, Hiroshi

Mizuseki; *KIST*.

The crystal structure contains the fundamental information of a material, which can be utilized to calculate many physical properties of the material. In order to design a new crystalline material, crystal structure prediction for a given chemical composition is the most fundamental task. In this presentation, we will introduce new carbon structures proposed using combination of multi-start local search approach and atomistic simulations by Tersoff potential and first-principles calculation. Using this approach we were able to predict many 2D and 3D carbon based structures. Here I will present one of the 2D structure, which we named as C5681. This allotrope is semiconducting in nature and exhibit thermal and dynamical stabilities as well, which we further confirmed by performing phonon calculation and ab initio molecular dynamics simulation. We will discuss about the layered structures of C568 and its layer-dependent electronic properties. We believe that this carbon-based 2D allotrope could be useful in nanoelectronics. We are grateful for the financial support from the Korea Institute of Science and Technology (Grant No. 2E29280, 2Z05560). This research was supported by the Nano Materials Research Program through the Ministry of Science and ICT (grant number: NRF-2016M3A7B4025402). This study was also partly supported by the computational resources of the HPCI system (Project ID: hp180036, hp180125).

[전산4-6 | 15:55]

Role of Dopant Ion on Ionic Transport Properties in Zirconia/Zirconia and Zirconia/Ceria Heterointerfaces for Solid Oxide Fuel Cell Applications: Mehmet Emin Kilic¹, Aloysius Soon², Kwang-Ryeol Lee¹; ¹KIST. ²Yonsei University.

Zirconia and ceria based ceramics have been the most promising oxide electrolyte material with high ionic conductivity for solid oxide fuel cell (SOFC) applications. The electrolyte must be stable under reducing and oxidizing environments, in addition to having high ionic conductivity. To aid stabilization and improve ionic conductivity, they are often doped with other oxides for most practical applications. Moreover, to avoid deleterious chemical reactions between electrolyte and cathode, it is essential to seek more sustainable alternative systems such as heterolayered structures. In this work, using an atomistic simulations and diffusion dynamics, we have considered five main mechanisms to examine the influence of doped ions with respect to their size, concentration, and distribution (uniform and varied) for heterointerface models at different temperatures: (1) Pair bonding, (2) tendency of vacancies, (3) oxygen ion diffusion, (4) direction dependency, and (5) the presence of the interface. From the radial distribution function (RDF), coordination number (CN), and mean square displacement ($\langle R^2 \rangle$) analysis with diffusion coefficient (D), ion conductivity (σ), and activation energy barrier (E_a) results, we show that the effect of doped ions plays an important role on ion transport.

[전산5-1 | 15:50]

Electronic Structure and Band Alignments Using the Self-Consistent Hybrid Density Functional Methods: 김형준¹, 김원준², 김세준¹; ¹한국과학기술원(KAIST). ²CNRS.

Keywords: Density functional theory, band alignments, hybrid functional, self-consistent

To understand, and thereby rationally optimize photoactive interfaces, it is of great importance to elucidate the electronic structures and band alignments of these interfaces. For the first-principles investigation of these properties, conventional density functional theory (DFT) requires a solution to mitigate its well-known bandgap underestimation problem. Hybrid functional provides a computationally efficient manner to overcome this limitation, however, the results are largely dependent on the choice of HF mixing parameters. In this talk, I introduce our recent study to benchmark the recently developed self-consistent hybrid functional method to predict accurate electronic structures and band alignments of various materials.

[전산5-2 | 16:05]

연료전지용 ORR 촉매 전산모사 웹플랫폼 개발: 김승철¹, 이민호², 이병주³, 이찬우⁴, 김용훈⁵; ¹한국과학기술연구원. ²(주) 버추얼랩. ³POSTECH. ⁴한국에너지기술연구원. ⁵한국과학기술원.

Keywords: 전산모사 플랫폼, thematic platform, ORR

재료의 물성을 연구하고 현상을 설명하던 것이 주요 역할이던 전산모사 기법은 근래의 컴퓨터 기술 발전과 전산모사 사용자의 증가로 신소재 개발에도 적극적으로 활용되고 있다. 하지만, 여전히 사용법을 익히는데 오랜 훈련이 필요하고 거대한 전산장비를 구축해야 하는 등의 진입 장벽으로 인해 일부 전문가들만 사용할 수 있는 영역이기도 하다. 이런 문제점에 대한 해결책으로 KIST는 응용 분야 중심의 전산모사 웹플랫폼(thematic platform)을 제안하고 개발해오고 있다. 본 발표에서는 최근 개발 중인 연료전지 ORR 촉매 모사용 플랫폼을 중심으로 실험 연구자도 사용할 수 있는 전산모사 웹플랫폼에 대해 논의할 것이다. ORR 촉매 모사용 플랫폼은 밀도범함수 이론, 몬테카를로 시뮬레이션, 분자동력학을 기본 방법으로 차용하고 있으며 화학반응 각 단계에서 화합물의 흡착에너지와 반응 전 단계의 reaction diagram, 촉매의 열적 안정성 시험 기능을 구현하고 있다.

[전산5-3 | 16:20]

Anisotropic Growth of Pd on Pd Nanocubes Promotes Direct Synthesis of Hydrogen Peroxide: Min-Cheol Kim¹, Geun-Ho Han², Xiangyun Xiao³, Joseph Song¹, Hong-Kyu Kim¹, Jae-Pyoung Ahn¹, Sang Soo Han¹, Kwan-Young Lee², Taekyung Yu⁴; ¹Korean Institute of Science and Technology (KIST). ²Korea University. ³Kyung Hee University. ⁴Khung Hee University.

Keywords: High-index facet, Nanoparticle Growth Mechanism, Catalyst, DFT, H2O2 direct synthesis

In this presentation, we show high-index facets created by anisotropic growth of Pt on Pd nanocubes can promote direct synthesis of hydrogen peroxide from hydrogen and oxygen gases. We first investigate the growth mechanism of Pt on Pd nanocubes using density functional theory(DFT) simulations. By comparing the core-shell formation energy of Pd@Pt core@shell structures, we show Pt prefers to grow in high-index directions rather than low-index directions like (100), (110), and (111). We then show the high-index facets of the Pt layer induce hydrogen penetration into the Pd core, which is combined with the high hydrogen dissociation capability of Pt resulting in high H₂ conversion rate of the Anisotropic Pd@Pt nanocubes, derived from experimental (H₂ time-programmed-reduction) and theoretical (DFT) results.

[전산5-4 | 16:35]

First-Principles Study on the Elastic Constants of Epsilon-Carbide in Steels: 장재훈, 박성준, 이태호; 한국기계연구원부설 재료연구소
 Keywords: epsilon-carbide, first-principles calculation, elastic constants

탄소는 오스테나이트나 페라이트 내에서 고용강화 효과와 탄화물 형성을 통해 철강의 기계적 물성에 크게 영향을 끼치는 중요한 합금 원소 중의 하나이다. 시멘타이트가 가장 널리 알려진 철강 탄화물이지만, 마르텐사이트의 템퍼링 과정 중에 epsilon, eta, chi 탄화물 등의 transition 탄화물들이 관찰되고, 이러한 탄화물들은 시멘타이트에 비해 열역학적, 기계적 안정도가 잘 알려져 있지 않다. 본 연구에서는 제일원리를 통하여 서로 다른 탄소 비율을 갖는 세가지의 epsilon carbide 구조 (Fe₆C₂, Fe₁₂C₅, Fe₆C₃)의 탄성계수 변화를 계산하였다. 육방정계 구조의 독립된 다섯 개 (C11, C22, C44, C12, C13)의 탄성계수를 구하였으며, 탄화물 내의 탄소 비율에 따른 탄성계수 및 전자 구조 변화를 비교하였다. 탄화물 내 탄소의 비율이 높아짐에 따라, Fe₆C₂ 구조에 비해 Fe₆C₃ 구조에서 약 15~20% 각 탄성계수가 값이 커지는 것을 확인하였다. 이는 C의 함유량이 높아짐에 따라 Fe-C의 공유결합 강도가 강해지고, 이에 따라 탄성계수가 크게 영향을 받는 것으로 확인되었다.

[전산5-5 | 16:50]

Density Functional Studies for the Development of Highly Efficient and Stable Pb-free Perovskites Solar Cells: 홍기하
 ; 국립한밭대학교
 Keywords: Perovskite, Pb-free, Density functional theory

Metal-halide perovskites (MHPs) are unique light absorbing materials and attracting many researchers' interests. The certified power conversion efficiency (PCE) of MHPs have already exceeded 23 % even though they can be made via chief solution processes. The toxicity of Pb is one of the significant hurdles for the commercialization of the MHP solar cells. Among various efforts to develop Pb-free perovskite solar cells, Sn-based materials have shown the best PCE. However, the stability of Sn-based perovskites is worse than Pb-based solar cells, and the multivalent features of Sn are considered to be the origin of the unstable performance. This study presents the effects of compositional engineering and various additives on the stabilization of Pb-free MHP materials via ab initio thermodynamics calculations. Our calculation suggests the pathway to develop highly efficient and stable Pb-free perovskite light absorbing materials.

[전산5-6 | 16:50]

Design of a Novel Artificial Solid Electrolyte Interface and Anode Material for Lithium Metal Batteries: Deepika, Kwang-Ryeol Lee; KIST

In this work, we present phosphate-functionalized graphene as an artificial solid electrolyte interphase (ASEI) that boost the interaction of Li with pyro-/meta-phosphates and phosphorus species present in the ASEI as shown in Fig. 1, incorporated in the Li metal batteries. Together with the experimental findings, we qualitatively understand the interaction of Li atom with various species functionalized on graphene using binding energy, and local-charge density profiles analysis based on density functional theory calculations [1]. The free electron pair on oxygen forms a localized and uniform charge cloud around pyro-/meta-phosphate due to their symmetric nature. Thus, strongly attract the electron deficient Li ions in an electrolyte [2]. Along with this, we performed the adsorption and diffusion study of the lithium on the surface of intermetallic Li₉Al₄ compound along (1̄ 21), and compared the binding behavior with metallic Lithium along (110) surface. Our results show that Li ions are loosely bound to the metallic Li surface with very low activation energy. While replacing metallic Lithium with intermetallic Li₉Al₄ compound coated with MoS₂ as an active anode material, uniform binding energy and optimum diffusion barriers of Li on the anode surface is obtained, which is a potential candidate to enhance the performance of the state of the art Li metal batteries.

[전산5-7 | 16:50]

An optimized and efficient platform for managing large amount of materials data – KIST NoMAD: Samuel Boateng^{1,2}, Kim Chansoo¹, Deepika Goyal¹, Cho Haneol¹, Kyu Hwan Lee³, Kwang Ryeol Lee¹; ¹Center for Computational Science, Korea Institute of Science and Technology. ²Department of Nanomaterial Science and Engineering, Korea University of Science and Technology. ³Small & Medium Enterprises Support Center, Korea Institute of Science and Technology.

Keywords: open access data, data repository, platform, data storage, sharing

Research scientists including computational materials scientists generate large amounts of data (input and output files) during their

research. The challenge however is how to manage this increasing amount of data particularly of improved storage and seamless sharing. The Korea Institute of Science and Technology Novel Materials Discovery (KIST-NoMAD) is a materials data repository which provides a free platform for research scientists to store and share materials data. It has a highly efficient data storage architecture and an enhanced search engine running on a robust hardware. The repository currently stores over 19TB of open access data of computational materials code such as VASP, Gaussians, FHI-aims and Exciting. The open access data can be retrieved by using a public graphical user interface, an open API or a search URL. Users can download individual calculation files, selected files for a calculation or entire calculation folders. Calculation metadata can also be downloaded. KIST-NoMAD also provides a private user interface for data upload – currently supporting only VASP calculations, sharing and accessing of restricted data.

비정질 재료의 Re-Search

Room 602, 4월 24일

[비정질 1-1 | 10:30]**비정질 합금을 전구체로 활용한 구조용/기능용 소재 개발:** 김도환; 연세대학교 신소재공학과.*Keywords:* 비정질 합금, 과냉각 액체영역, 초탄성 특성, 나노 다공성 금속

벌크 비정질 합금은 기존 결정질 합금과 대비하여 여러 우수한 특성을 지님에도 불구하고 소성 변형능 등 소재 자체의 본질적인 특성 한계가 아직 극복되지 않았으며, 이로 인해 적용에 많은 제한이 있다. 소재 설계의 측면에서 비정질 합금의 가장 차별되는 두 가지 특이점은 가열시 점성도가 급격히 하락하는 과냉각 액체 영역을 가지고 있고, 구조적으로는 결정 입계나 편석 등이 없이 균일한 조성 분포를 갖고 있다는 점이다. 이에, 비정질 형성능 및 초소성 특성이 동시에 발현되는 소재가 설계 되면, 과냉각 액체 영역에서 정밀 성형 및 홀로그래프 나노 패터닝이 가능하고 결정화 후에는 높은 탄성 복원능을 나타내는 합금 소재 개발이 가능할 것이다. 또한 촉매, 전지 특성 등이 우수한 원소가 함유되면서 비정질 형성능이 우수한 소재가 설계 되면, 탈원자 부식법에 의해 전기화학축재, 이차전지, 커패시터 등에 활용될 수 있는 나노 다공성 소재 개발이 가능하게 될 것이다. 본 연구에서는 위 두가지 특이점을 활용하여 비정질 합금을 전구체로 한 초소성 합금 소재 및 나노 다공성 소재 개발에 대한 최근 연구 내용을 소개 하고자 한다.

[비정질 1-2 | 11:00]**Resettable Liquid Metal Harmonic Drive 개발:** 유근희¹, 이동우², 박은수¹; ¹서울대학교 ²성균관대학교*Keywords:* 비정질 합금, 후처리 공정, 리셋팅 처리, 가역 비정질 구조제어, 특성 복귀

1960년 Caltech의 Paul Duwez 교수가 비정질 합금을 Au-Si 시스템에서 처음으로 보고한 이후, 약 60 년간 비정질 합금은 첨단 금속 신소재의 대명사로 자리매김하며 전 세계적으로 활발하게 연구개발이 진행되고 있다. 특히, 1990년 대 초반 벌크 비정질 합금이 본격적으로 개발되면서 기능성 소재 뿐만 아니라 구조용 금속 소재로 활용하기 위한 다양한 노력이 진행되었다. 하지만, 여전히 관련 소재를 산업적으로 응용하는 데는 낮은 가격 경쟁력, 취성 파괴, 후처리 공정 미비 등 다양한 이슈들이 해결되지 못한 실정이다. 특히, 비정질 합금에서 마땅한 후처리 공정의 부재는 필수적으로 해결해야하는 문제이자, 문제 해결을 통해 관련 소재의 활발한 활용을 위한 새로운 기회를 모색할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 본 발표에서는 비정질 합금의 후처리 공정에 따라 relaxation ↔ rejuvenation으로 대변되는 가역 구조 변화에 대한 기존의 연구결과들을 리뷰하고, 이를 활용한 새로운 개념인 (손상 예측)-(치유 공정)을 통한 무한 수명 리셋어블 비정질 합금을 개발하는 최신 연구에 관해 소개하고자 한다. 특히, 4차 산업혁명 시대의 스마트 머신 구현을 위한 기반 기술로 가역 비정질 구조제어기반 특성복귀능을 가져 생애 전주기 활용이 가능한 "리셋어블 리퀴드메탈 하모닉 드라이브"를 개발하는 연구에 관한 내용을 자세히 소개하고자 한다. 본 발표를 통해 기존 특성 향상에만 치중하던 소재개발의 패러다임을 치유를 통해 장수명화 하는 것으로 전환하여 (경제성)-(소재신뢰성)-(친환경성)의 확보가 가능한 손상 관리형 신소재 시장을 개척하는데 비정질 합금이 기여할 수 있는 방향을 제시하고자 한다.

[비정질 1-3 | 11:30]**Role of Interfacial Free Energy on Classical and Non-Classical Nucleation:** 이근우; 한국표준과학연구원

핵생성은 결정화와 유리화의 메커니즘 규명에 있어 필수적으로 이해되어야 할 주제이다. 고전핵생성 이론에 따르면 핵생성을 결정하는 인자는 열역학적인 관점의 결정-액체 계면에너지와 운동학적 관점의 점도가 있으며, 이 두 인자는 액체의 구조와 밀접한 관계가 있다. 본 발표에서는 합금의 조성비 변화에 따른 액체의 단거리 및 중거리 질서 변화가 계면 및 점도에 미치는 영향을 논의한다. 한편, 지난 20여년간 Ostwald step rule 로 대변되는 비고전핵생성 현상들이 보고 되고 있으며, 이는 핵생성이 다양한 경로를 통해 일어남을 의미한다. 이러한 다양한 핵생성 경로의 선택은 물질의 상변화 과정에서 엔트로피 생산을 최소화 하기 위한 것으로써, 구조변화가 계면에너지에 영향을 미치는 것으로써 이해할 수 있다. 본 발표에서는 최근 이슈가 되는 고전 핵생성 이론의 한계와 비고전적 핵생성 현상을 고찰한다.

[비정질 2-1 | 13:00]**Big Data Collection of Multi-component Alloys using Thermal, Mechanical, and Electrical High-throughput Experiments:**

이동우; 성균관대학교 자연과학캠퍼스

Keywords: Multi-component alloys, Materials genome project, High-throughput experiments, Combinatorial synthesis

The Materials Genome Project (MGP) has uncovered unknown properties of various material systems, allowing efficient development of energy and structural materials with unprecedented properties. In line with MGP, high-throughput experiments have drawn significant attention, due to their capabilities of rapid synthesis and characterizations of a broad range of materials. In this talk, I will introduce high-throughput experiments that we have recently developed. We use magnetron sputtering to synthesize thousands of thin films with different compositions and structures. Mechanical, electrical, and thermal properties of the thin films can effectively be investigated by using MEMS processed devices and a high-throughput measurement robotic stage. The measurement system consists of 3-axis linear stages, a vision system, and a modular measurement probe, which can be switched to a load cell or 4-point probes. A vision-assisted controller is embedded in the measurement set-up, allowing autonomous & precise alignments for the micro specimens.

We demonstrate that the proposed technique can characterize stress-strain curves, electrical resistivities, and phase transition temperatures of a large number of thin films efficiently.

[비정질2-2 | 13:30]

Atom Probe Tomography of Amorphous and Nanostructured Materials: 최벽과; 한국과학기술원.

Atom Probe Tomography (APT) is a high-resolution characterization method that enables three-dimensional elemental mapping with near-atomic resolution. Therefore, APT is highly useful for characterizing amorphous and nanostructured materials and for understanding their structure-property relationships. This presentation gives a brief review of the APT-related research on amorphous and nanocrystalline alloys. Case studies will include clustering and nanocrystallization in softmagnetic Fe-based amorphous alloys as well as element-resolved local corrosion analyses of stainless-type glass-forming steels. Advantages and limitations of the APT technique will be discussed in detail. Moreover, a methodology for coupling chemical and crystallographic analyses at the atomic-scale, using joint APT/TEM characterization, will be presented.

[비정질2-3 | 14:00]

Nanocrystalline Shape Memory Alloys Fabricated by Using Metallic Glass Precursor with Polymorphous Crystallization Behavior: 홍성환, 김기범; 세종대학교 나노신소재공학과.

Keywords: Metallic glass precursor, Crystallization, Nanocrystalline, Shape memory alloys, Superelasticity

Metallic glasses (MGs) have considered as materials which are kinetically metastable and thermodynamically unstable. Therefore, most MGs can be transformed into the crystalline state at a higher temperature than the crystallization temperature. The crystallization behavior is one of the most important advantages of the MGs to create partial or complete nanocrystalline materials by annealing, which is the more simple methods to produce nanocrystalline materials. The crystallization mode of the MGs can be divided into primary, eutectic or polymorphous reactions, which mainly depends on alloy composition. The intermetallic type MGs such as CuZr, ZrCo, and CuTiNi alloys, polymorphously crystallize into nanocrystalline materials. Therefore, the intermetallic type MGs with polymorphous crystallization give a chance to produce the homogeneous single-phase nanocrystalline alloy. Among the intermetallic alloys, the binary NiTi intermetallic alloys are commercial shape memory alloys (SMAs) as know "Nitinol", which display functional properties such as superelastic behavior and shape memory effect, due to a reversible thermoelastic martensitic transformation. Furthermore, the nanostructured SMAs exhibits higher strength, high recovery stress and large maximum reverse strain than that of coarse-grained SMAs. In this presentation, the intermetallic type NiTi-based MG precursors have been designed to develop the nanocrystalline SMAs. In order to fabricate intermetallic type NiTi-based MG precursor, the additional alloying elements having that complete solubility with Ti, large negative mixing enthalpy with Ni and increasing mixing entropy of the alloy system, were selected. The MG precursors exhibited a single-step crystalline reaction during continues heating condition. The phase identification and reversible phase transformation of the nanocrystallized alloy were carried out using XRD and DSC. The microstructural features were characterized by TEM. These characterizations of nanocrystalline SMAs exhibited that the phase transformation temperatures (A_s , A_f , M_s , and M_f) were depended on alloy composition and also influenced by annealing condition determining grain size. Furthermore, the influence of annealing condition on superelasticity of the nanocrystalline SMAs fabricated from the intermetallic type MG precursors will be discussed.

[비정질2-4 | 14:30]

Role of Atomic-Scale Chemical Heterogeneities in Improving the Plasticity of Cu-Zr-Ag Bulk Amorphous Alloys: 의재철¹, 김홍규², 박경원²; ¹고려대학교 ²한국과학기술연구원.

Keywords: Amorphous alloy, Compositional separation, Mechanical properties, Molecular dynamics, Short-range orders

The addition of minor elements to binary amorphous alloys often results in simultaneous improvement in plasticity and strength. This is particularly the case for alloy systems that promote atomic-scale compositional separation during quenching. Considering that plasticity and strength are two contrasting properties originating from different atomic-scale structures characterized by short-range orders (SROs), this experimental observation at first seems contradictory when viewed from an SRO perspective. We performed comparative studies on $(\text{Cu}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})_{100-x}\text{Ag}_x$ amorphous alloys using experiments and molecular dynamics (MD) simulations to elucidate how these two mutually exclusive properties can be realized at the same time. MD simulations showed that while the addition of Ag promotes the formation of stable icosahedral orders responsible for improved strength, it also encourages the formation of weak/unstable Ag-bearing polyhedra that mitigate strain localization. In this study, the mechanistic origin of the enhanced plasticity is assessed by introducing a new descriptor that can quantitatively evaluate the characteristics of Ag-bearing polyhedra in terms of their size, softness, population, and spatial uniformity.

[비정질3-1 | 15:10]

비정질금속의 수소와의 상호작용 및 수소에너지 응용: 서진유, 줄리앙 파도누보; 한국과학기술연구원.

Keywords: 비정질 금속, 수소, 수소분리막, 상분리

본 발표에서는 비정질 금속을 수소에너지 분야에 활용하기 위해 그동안 수행되었던 다양한 연구에 대해 소개하고자 한다. 먼저 고체수소저장 분야에 비정질 금속을 활용하는 것이 가능한지에 대해 타연구자들의 연구결과들을 중심으로 토의를 하고, 이후에 선택적인 수소화산을 이용하는 비정질 금속 수소분리막에 대한 본 발표자의 연구결과를 소개하고자 한다. 마지막으로, 수소분위기로의 노출에 의해 비정질 금속 내부에서 발생하는 상분리 현상에 대한 본 발표자의 관찰결과를 소개하고, 어떻게 응용이 가능할지에 대해 토의하고자 한다.

[비정질3-2 | 15:40]

Thermal Spray 공정으로 제조된 Fe base metallic glass 코팅층의 미세조직 및 마모 특성: 이기안¹, 함기수¹, 김경욱¹, 조근상², 김폴²; ¹인하대학교 신소재공학과, ²코오롱인더스트리(주).

Keywords: Fe base metallic glass, Plasma spray, HVOF spray, microstructure, wear

본 연구에서는 thermal spray 공정 중 plasma spray와 HVOF (high velocity oxygen fuel) spray 공정을 이용하여 Fe based metallic glass 코팅층의 제조를 시도하였으며, 제조된 Fe 계 비정질 코팅층들의 미세조직과 마모 특성을 조사하였다. 분말은 구형의 비정질 분말을 사용하였고 제조된 코팅층의 두께는 각각 Plasma spray : 325.6 μm , HVOF spray : 192.7 μm 로 측정되었으며 성공적으로 비정질 코팅층이 제조되었음을 확인할 수 있었다. 코팅층의 기공도는 각각 plasma spray : 2.25%, HVOF spray : 0.1%로 측정되어 HVOF spray 공정으로 제조된 코팅층이 더 dense한 미세조직을 가지고 있었다. 두 코팅층의 합금원소 분포를 분석하였을 때, 공통적으로 합금원소들은 전반적으로 미세하고 고르게 분포하고 있는 것으로 관찰되었다. 마모 시험은 Si_3N_4 pin을 사용하여 pin on disk 시험을 수행하였으며, 이때 하중은 3, 5, 7 kgf로 설정하였고 속도는 0.05 m/s로 제어하였다. 마모 시험 결과, HVOF sprayed metallic glass 코팅층의 wear volume은 plasma sprayed metallic glass 코팅층보다 하중 조건에 따라 5~10배 낮게 나타나 매우 우수한 내마모 특성을 보이는 것으로 확인되었다. 상기의 결과들과 함께 마모면 관찰을 수행하고 plasma spray 공정과 HVOF spray 공정으로 제조된 Fe계 비정질 코팅층의 마모 기구를 미세조직과 연계하여 고찰해 보았다.

[비정질3-3 | 16:10]

비정질 분말의 고화성형 공정을 이용한 부품 Scale-Up 기술의 한계 및 발전 전망: 김희준¹, 이연주¹, 김형균², 권도훈¹, 차은지¹; ¹한국생산기술연구원뿌리산업기술연구소주조공정그룹, ²한국생산기술연구원 강릉지역본부

Keywords: amorphous powder, consolidation process, warm rolling, spark plasma sintering, additive manufacturing

비정질 소재는 우수한 기계적, 내식, 전자기 특성에도 불구하고 산업적으로 적용할 수 있는 3차원 형상의 부품 제조에는 크기와 형상에 한계를 갖고 있다. 이를 극복하기 위해서 과냉각액체온도구간에서의 초소성 특성을 이용하여 비정질 분말로부터 온간 압출, 온간 압연, 플라즈마아크성형 등과 같은 고화성형 공정을 통해 부품을 제조하려는 연구들이 꾸준히 수행되고 있다. 그러나, 비정질 소재를 이용하여 산업적 활용에 성공한 사례들은 마이크로 부품 또는 박막 코팅 부품 등과 같이 비정질 소재가 사용된 두께가 10 mm이하인 소형부품에 한정되어 있다. 본 연구에서는 현재까지 연구·개발된 비정질 분말의 고화성형 공정기술들을 비교하여 각 공정들의 가능성 및 한계를 확인하고, 적층제조 공정을 이용하여 비정질 부품의 Scale-Up 가능성을 확인하고자 했다. 특히 Zr-계 및 Ti-계 금속계 유리질(Metallic Glass) 분말을 적층제조 공정에 적용하여 비정질 부품을 Scale-Up할 수 있는 문제점 및 발전 가능성을 확인했다.

[AW-6 | 16:40] 기술상 수상기념강연

비정질합금 부품 제조를 위한 액상-고상 공정 기술 개발 및 응용 전망: 나영산, 임가람, 김용학; 한국기계연구원 부설 재료연구소

Keywords: 비정질합금, 비정질합금 판재, 감압주조, 열가소성 성형, thermoplastic forming

비정질합금은 결정질 금속의 3대 핵심 연구 요소라 할수 있는 격자구조, 전위, 결정립 등이 사실상 전혀 없는 극히 새로운 연구 주제이다. 결정질의 금속재료에 익숙한 대부분의 연구자들이 비정질합금의 거의 모든 거동에 익숙하지 못한건 당연하다 할수 있다. 하물며 비정질합금이 산업에 광범위하게 적용되기까지는 비정질합금 연구자들이 생각하는 것보다 더 어렵고 힘든 과정일 것으로 사료된다. 그럼에도 불구하고 비정질합금이 산업에 광범위하게 침투하기 위해서는 일반 결정질 금속재료가 산업에 적용되는 공급 체계 (supply chain)을 살펴볼 필요가 있으며, 최종 적용 단계의 부품 제조 이전에 supply chain의 하단에 판재, 봉재, 선재 등 다양한 형태의 중간재로 공급되는 단계가 있음을 알수 있다. 이러한 관점에서 비정질합금의 중간재 제조 공정 기술은 최종 응용 부품의 다양화 가능성을 확대한다는 측면에서 매우 중요하다 할수 있겠다. 지금까지 비정질합금 제조는 melt spinning 공정을 적용한 박판 (thin foil) 형태로의 제조가 가장 일반적이다. 통상적으로 melt spinning을 통해 제조되는 비정질 합금 foil은 두께 수십 μm ~ 100 μm , 폭 수 mm ~ 100 mm 수준의 매우 얇은 형태로 제조되고 있기 때문에 산업적인 응용 분야에 많은 제약이 따른다. 벌크 비정질합금의 산업적 응용 분야의 다양화를 위해서는 비정질합금 자중을 견딜수 있는 rigidity가 확보될수 있는 충분한 두께(두께 약 0.5mm 이상으로 판단됨)를 갖도록 제조되어야 하며, 이를 달성할 액상 공정의 후보로서 다이캐스팅, 인젝션 캐스팅, 감압 주조 (suction casting) 등이 시도되고 있다. 이와 더불어 비정질합금 특유의 열가소성 성형 공정을 적용한 고상 상태의 부품 제조 공정 기술 역시 고상 성형 공정을 활용한 비정질 합금 부품 제조 기술로서 시도되고 있다. 본 연구에서는 액상 공정으로서 감압 주조 공정에 집중하여 충분한 두께를 갖는 비정질합금 판재를 대면적으로 제조하기 위한 공정 기술에 대한 연구 결과를 발표하고자 한다. 특히 감압 주조 공정에서 필연적으로 나타나는 응고 결함 등을 극소화하기 위한 공정 기술과 더불어 대면적화가 가능할 것으로 기대되는 기술에 대한 연구 결과를 발표하고자 한다. 또한 열가소성 성형 공정을 활용한 비정질합금 고상 성형 공정 기술에 대한 연구 경험을 공유하고, 비정질합금의 향후 응용 전망에 대해 논하고자 한다.

[비정질3-4 | 17:10]

Bridging the Chasm of Industrial Adoption of Bulk Metallic Glass Materials and via Additive Manufacturing Technology:

최한신; 한국생산기술연구원

Keywords: Bulk metallic glass materials, Additive manufacturing technology, Glass forming ability, Dimensional freedom, Phase selectivity

Bulk metallic glass materials have unique material properties. However, thermodynamic instability of amorphous phase and limited heat transfer kinetics of manufacturing technology pose chasms in industrial adoption of BMG materials. Therefore, dimensional freedom of BMG parts is still a big issue. Additive manufacturing is emerging. A physical 3D part is manufactured by layer-wise fabrication from digital 3D model. It is contrasted from conventional manufacturing technologies such as casting, formative processing, and powder metallurgy. Enlarged design freedom is achieved without any tools. Abnormally high thermal cycles are available for melting-solidification based AM technologies and solid-state consolidation AM technologies. In this context, AM technology of BMG materials are of great attentions because it will solve dimensional freedom of amorphous BMG parts. As a matter of fact, feasibility of BMG-AM has been verified by lots of researches. In this study, current state of bulk metallic glass additive manufacturing technologies is briefly reviewed: powder bed fusion AM, material extrusion AM, and sheet lamination AM. Opportunities and challenges for structural and functional engineering parts fabrication are discussed with respects to applicability of BMG in part fabrication routes: direct part fabrication route which adopts melting and solidification consolidation mechanism and indirect route in which BMG can be utilized as infiltration agents. Nature-inspired design, 3-dimensional phase distribution manipulation, in-situ phase evolutions, CAD-to-PART manufacturing, and so forth will be Keywordss for future AM of BMG materials.

나노소재
Room 603, 4월 24일

[나노1-1 | 09:00]

Enhanced Breath Acetone Sensing Performance of Catalyst (Pd, Pt, Au)-Decorated SnO₂ Nanorod Arrays: Yeonji Jang¹, Ran Yoo¹, Hwaebong Jeong¹, Junho Lee¹, Yongsahm Choe¹, Wooyoung Lee¹; ¹*Yonsei University Department of Materials Science and Engineering.*

Keywords: breath acetone, fat loss, sno2 nanorod , catalyst

Breath acetone, by-product of fat metabolism in liver, has been shown a correlation with the rate of fat loss in healthy people. Acetone can be carried through the blood and lymphatic vessels to the lung tissues, where it can be exchanged with air. Acetone in exhaled breath is a useful and promising probe for monitoring of fat metabolism. Various breath analyzer such as gas chromatography (GC), ion mobility spectrometry (IMS), etc. has been developed to analyze the breath acetone concentration. However, the instruments have disadvantages such as high cost, lack of portability and complexity. Chemical sensor is the one of candidate to solve these problems. Here, we developed a highly sensitive SnO₂ nanorod (NR) arrays based acetone sensor for breath acetone analysis. The SnO₂ NR arrays were synthesized by using glancing angle deposition method. And various kinds of catalyst such as Au, Pd, Pt were deposit on the surface of SnO₂ NR arrays. The sensing properties was measured using breath analyzer which recently developed analyzer based on chemical sensor integrated with miniaturized gas sensor. The Au coated SnO₂ NR arrays has superior acetone sensing properties than other catalyst (Pd, Pt, bare) decorated SnO₂ NR arrays. It can detect acetone as low as 0.1 ppm at 434 °C.

[나노1-2 | 09:15]

Selective Detection Acetylene Sensors: Al- and In- Doped ZnO Quantum Dots for Detection of Acetylene Dissolved Transformer Oil: Minsun Park, Jun Ho Lee, Yunji Park, Ran Yoo, Hwaebong Jung, Hyun-Sook Lee, Wooyoung Lee; *Yonsei University Department of Materials Science and Engineering.*

Keywords: acetylene gas sensor, Al-doped ZnO, In-doped ZnO, quantum dots, transformer oil, gas chromatography

Acetylene (C₂H₂), dissolved in oil-filled power equipment, has undoubtedly the most detrimental risk in terms of safety owing to the arc discharge characteristics. It is necessary to systematically detect the dissolved acetylene gas for optimum operation condition which can directly affect the safety and stability of the power system. In this vein, we report the high-performance C₂H₂ gas sensor based on 1 at% Un-, Al- and In-doped ZnO quantum dots (QDs) which was synthesized by a wet chemical method. The phase and morphology of the as-synthesized QDs were characterized by X-ray diffraction (XRD) and transmission electron microscope (TEM) analyses. The XRD reveal that Un-, Al- and In-doped ZnO QDs were successfully fabricated. The sensing properties of the M (Al, In)-doped ZnO quantum dots were measured via real-time monitoring of electrical resistance change upon exposure of acetylene in air. The sensing performance of the C₂H₂ gas were carried out by exposing the sensor to the lowest concentration under the working temperature 400°C. The response of Un-, M (Al, In) -doped ZnO QDs to the 10 ppm acetylene was 2.7, 6.8 and 19.3 in air at the optimum operating temperature, which are superior to that of other previously reported C₂H₂ sensors based on semiconducting metal oxides.

[나노1-3 | 09:30]

Selective Detection of Acetylene by SnO₂ Nanorod Based Sensors Integrated with a Packed Column for Gas Chromatography: Jun Ho Lee¹, Min Sun Park¹, Hwaebong Jung¹, Yong-Sahm Choe², Wooyoung Lee¹; ¹*Yonsei University.* ²*SenLab.*

Keywords: gas sensor, metal oxide semiconductor, acetylene, SnO₂ nanorod

We report on the sensitive and selective sensing properties of SnO₂ nanorod (NR) based gas sensors coupled with a packed column. SnO₂ NR samples were fabricated by glancing angle deposition (GLAD) method and average height and diameter of nanorods were 200 nm and 30 nm, respectively. In order to overcome selectivity issue of metal oxide semiconductor gas sensors, we integrated our SnO₂ NR based sensors with a packed column and successfully detected a peak responsible for acetylene within 2 minutes (~ 100 s). We also found that loading thin layer (5 nm) of metals such as Au, Pt or Pd increased sensing abilities of SnO₂ NR sensors. Among sensors tested, Pd loaded SnO₂ NR sensors (Pd-SnO₂ NR) exhibited the best sensing performance for the detection of 10 ppm of acetylene. In addition, the lower detection limit of the sensor was 0.01 ppm. The ultrasensitive property contributes to the spillover effect of noble metal atoms deposited on nanorods. This excellent ability makes our device eligible for utilization as an acetylene detector in transformers.

[나노1-4 | 09:45]

Breath Analysis Using Metal Oxide Based Gas Sensors with Miniaturized Gas Chromatographic Column: Hwaebong Jung¹, Wonhee Cho², Junho Lee¹, Yeonji Jang¹, Hyun-Sook Lee¹, Yong-Sahm Choe³, Justin Y. Jeon², Wooyoung Lee¹; ¹*Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University.* ²*Department of Sport Industry Studies, Yonsei University.* ³*Isenlab Inc.*

Keywords: Breath analysis, nano materials, gas chromatography column, real-time detection, mini sampling volume

Here, we developed a breath analyzer integrated with a sensor based on metal oxides and a miniaturized GC column filled with a packing material. This sensor can be used for the analysis of small volumes of human breath (1 ml), and can detect breath without pre-concentration, in real-time, with high sensitivity and selectivity. The sensors based on metal oxide have various composition and structure. The miniaturized gas chromatographic column can be effectively separate the biomarkers such as acetone, isoprene. This analyzer can selectively detect acetone, hydrogen, and isoprene. The preliminary clinical trial was did using the breath analyzer. The acetone content in the breath of volunteers (who were on a ketogenic diet for 3 days and a normal diet) was monitored using the breath acetone analyzer.

[나노1-5 | 10:00]

Reversible Humidity Responsive Behavior of PS:PEG-Based Porous Polymer Films and Understanding the Cross-Sensitivity of a Luminescent Oxygen Sensor: 이소연, 박진우; 연세대학교 공과대학 신소재공학부 재료계면연구실.

Keywords: luminescent oxygen sensor, hygroscopic polymer, porous structure, light scattering, humidity

본 연구에서는 다공성 구조를 갖는 폴리머 기반의 광학적 발광 산소 센싱필름의 습도에 대한 가역적인 반응을 산소 투과도와 광 산란 관점에서 분석하였다. 특히, 섞이지 않는 두 폴리머 polystyrene (PS)과 polyethylene glycol(PEG)의 상분리를 통해 얻어진 다공성 구조의 기공내에 남아있는 PEG의 흡습 및 팽창 성질이 기공 내부의 공간을 채우면서 필름의 광 산란 정도에 영향을 미친다는 것을 확인 할 수 있었다. 산소 농도는 인체의 중요한 건강 지표로서, 산소를 측정할 수 있는 웨어러블 센서의 연구 개발이 최근에 지속되고 있다. 특히, 다른 범용 산소센서에 비해 높은 정확도와 민감도를 갖는 광 발광식 산소 센싱 필름은 형광염료와 폴리머 매트릭스로 구성이 되는데, 여기에 적용되는 광학적 세기 측정 방식에서는 산소 농도에 따라 다르게 발광하는 형광염료의 광 시그널 변화와 습도, 온도 등과 같은 환경 인자에 반응하는 폴리머 매트릭스의 구조적변화에 따른 광 시그널을 함께 수광하기 때문에 정확한 산소 농도 측정에 어려움이 따른다. 그 중에서 습도는 인체 위에서도 환경에 따라 크게 변화하는 인자 이기에, 여러 연구 그룹에서 습도에 따른 폴리머 기반의 산소 센싱 필름의 반응과 그 원인을 규명하고자 했다. 하지만, 대부분의 연구들은 습도에 의해서 폴리머 매트릭스내의 폴리머 길이나 분포의 변화로 인한 산소 투과도의 변화만을 위주로 연구하였고, 폴리머의 소수성이나 구성원소, 필름의 제작방식 등을 통합적으로 고려하지 못하여 일관성 있는 분석을 제시하지 못하였다. 따라서, 보다 다양한 관점에서 습도에 따른 센싱 필름의 광학적 변화에 대한 원인을 규명하여 폴리머 기반의 산소 센싱필름의 웨어러블 센서로서 효용성을 높여야 한다. 본 연구에서는 서로 다른 상대 습도 (RH) 노출 하에 센싱필름 내 형광염료의 광 방출 반응과 폴리머의 광 산란 반응을 분리하여 해석하기 위해서 4가지 종류의 폴리머 필름을 제작하여 사용했다. 각 필름들은 실시간으로 포토다이오드를 통해 측정되는 광 전류 신호와 적분구를 이용한 확산 반사율측정을 통해 RH에 따른 광 변화율로 분석할 수 있었다. 여기서, 산소에 민감한 염료가 없는 다공성 폴리머 필름과 염료가 들어있는 감지 필름을 비교와 다공성이 아닌, PS로만 구성된 폴리머 매트릭스를 가지는 필름의 비교를 통해, RH에 의한 광 전류값의 변화와 형광염료의 유무, 폴리머 매트릭스의 구성원소 및 구조와의 관계를 규명할 수 있었다. 이 연구는 필름을 만드는데 사용된 폴리머와 형광염료의 기본적인 특성 뿐만 아니라, 제조 공정 및 실험 시스템 측면에서 광 발광식 산소 센싱 필름의 습도에 의한 반응을 고려하고 분석함으로써 습도에 대한 광학 센서에서의 광 신호 간섭에 대한 기본적인 통찰을 제공할 수 있었다. 또한, 다공성 폴리머 필름에서 완전히 가역적인 습도 의존성 광 산란도 변화는 외부의 에너지없이 환경요인의 변화만으로 광학적 튜닝을 필요로 하는 착용 가능한 O₂ 및 RH의 이중 모니터링센서나 스마트 윈도우와 같은 다양한 애플리케이션을 가능케 할 수 있다.

[나노2-1 | 10:15]

Synthesis of Boron Nitride and Its Application to Thermal and Optical Materials: 정재윤¹, 송병관², 김양도², 김영국¹; ¹재료연구소, ²부산대학교

Keywords: Hexagonal Boron nitride, Nanocrystal, Synthesis, Photoluminescence, Thermal conductivity.

Boron nitride (BN) is a widely used ceramic material with attractive properties. Therefore, this study suggests the application of BN with various characteristics to thermal and optical properties. First, we have synthesized hexagonal boron nitride nanocrystals by pyrolysis of boric acid and melamine that addition of small amount of europium containing salts during preparation of precursors significantly enhanced the crystallinity of h-BN. Polymer composites containing both spherical Al₂O₃ and Eu-doped h-BN nanoparticles showed an enhanced thermal conductivity ($\lambda \sim 1.72$ W/mK) which is larger than the thermal conductivity of polymer composites containing spherical Al₂O₃ as sole fillers ($\lambda \sim 1.48$ W/mK). Second, highly luminescent BN was synthesized by pyrolysis of molecular adduct prepared by chemical mixing of precursors with a small amount of cerium nitrate. The intense photoluminescence (PL) spectrum of Ce-doped BN was detected at 410nm by excitation of UV light ($\lambda = 325$ nm) and Ce/Tb-codoped BN was blue-green emission was activated by concomitant incorporation of Ce³⁺ and Tb³⁺. Color emission from the nanophosphor was modified from blue to green by tuning atomic ratio of Ce³⁺ and Tb³⁺ without disturbance of crystal structure of hexagonal boron nitride.

[나노2-2 | 10:30]

HCl 농도에 따른 WO₃ 구조체의 광전기화학적 특성 연구: 전승환, 홍예진, 정현진, 류혁현; 인제대학교 나노융합공학부

Keywords: WO₃, Photoelectrochemical (PEC), HCl concentration, modified-chemical bath deposition (M-CBD)

본 연구에서는 fluorine-doped tin oxide (FTO) 기판 위에 스핀 코팅법으로 WO₃ 버퍼층을 증착하고 modified-chemical bath

deposition (M-CBD)을 이용하여 WO_3 구조체를 성장 시켰다. WO_3 구조체 성장을 위해 Na_2WO_4 용액에 HCl을 첨가하여 생성된 H_2WO_4 침전물을 이용하였으며, 이때 첨가된 HCl의 농도를 변화시켰다. HCl 농도에 따른 WO_3 구조체의 형태학적, 구조적, 광학적, 전기적 및 광전기화학적 특성을 분석하였다. 우선, HCl 농도가 증가함에 따라 전구체 용액의 pH는 감소하였고, H_2WO_4 의 침전물의 사이즈가 증가하는 것을 확인할 수 있었고, 이를 통해 H_2WO_4 의 형성은 HCl 농도에 많은 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 HCl 농도에 따라 성장된 WO_3 구조체의 optical band gap, donor density, flat-band potential 값 등이 변하는 것을 확인하였으며, 이러한 다양한 특성들이 광전기화학적 특성과 밀접한 관계를 가지는 것을 확인하였다. 본 연구를 통해, H_2WO_4 침전물과 이를 이용해 제조한 WO_3 구조체의 특성은 HCl 농도에 의존하는 것을 확인할 수 있었으며, 광학적 및 전기적 특성이 우수한 HCl 농도 0.5 M에서 가장 높은 광전류 밀도값을 나타내었다. 본 연구에서는 field emission scanning-electron microscopy (FE-SEM), X-ray diffraction (XRD), UV-visible spectroscopy (UV-vis), electrochemical impedance spectroscopy (EIS) 및 three-electrode potentiostat를 사용하여 형태학적, 구조적, 광학적, 전기적 그리고 광전기화학적 특성을 각각 분석하였다.

[나노2-3 | 10:45]

Nitrogen Oxide Detecting Property of CuO Nanoporous Films: 이원지¹, 윤성호², 김현중¹, 박진성³, 이호년¹, 황세훈¹; ¹ 한국생산기술연구원인천지역본부, ² 광림정공, ³ 한양대학교 신소재공학부

Keywords: gas sensor, metal oxide semiconductor, CuO nanoparticles

질소산화물은 광화학 스모그, 산성비, 호흡기 질환 등 인체 및 환경에 유해한 영향을 미친다. 이 중 이산화 질소는 적은 양으로도 인체에 치명적이기 때문에 낮은 농도에서도 질소산화물을 감지 할 필요가 있다. Metal oxide semiconductor 가스 센서는 반응 가스와의 반응 속도가 우수하고 긴 안정성을 갖고 있다. 이에 본 연구에서는 고표면적 마그네트론 스퍼터를 이용하여 반응 면적을 최대화하여 감도 및 반응 가스의 흡수-방출 속도를 극대화시킨 CuO 가스 센서를 제작하였다. Co-sputtering을 이용하여 CuO 박막의 밀도를 변화시켜 가스센서의 특성 변화를 비교하였다. XRD를 이용해 CuO 형성을 확인하였으며, SEM 분석을 이용하여 CuO의 다공성 나노 구조를 확인하였다. 또한, precision current source와 nanovoltmeter를 이용하여 CuO가 질소산화물 가스 측정 센서로의 응용 가능성을 보았다.

[나노3-1 | 11:15]

Plasmonic Nano-Colour Formation of TiON-Au and TiON-Ag Thin Film on Stainless Steel Substrate: Md. Abdur Rahman, Kwang Deok Choi, Yun Jeong Choe, In Uk Baek, Yun Hee Kim, Sang Hoon Kim, Seung Yong Lee, So Hye Cho, Ji Young Byun; Korea Institute of Science and Technology (KIST).

Keywords: Plasmonic Coloring, Metal Nano-particle, Metal-Dielectric Composite

In the past few years, the plasmonic colour generation has become an attractive subject of study as it has a range of exciting opportunities including an extremely high spatial resolution, simplicity in the material's design and high durability. In this present research, we have studied systematically the plasmonic colour generations via Au and Ag nano-particles in TiON dielectric thin films while the metal-dielectric composite thin films of Au: TiON and Ag: TiON were prepared by a reactive magnetron sputtering process. Effect of film thickness and composition of noble content on the structural colour was studied. The volume fraction of the noble metal contents was varied by various chip size while film thickness was varied with varying deposition time keeping the deposition condition unchanged. The noble metal contents and colours of the thin films were analyzed by an Auger spectroscopy and a colour spectrophotometer, respectively. It was observed that the colours of thin films were changed with the variation of the thickness of the film and also the volume fraction of noble metal content in the composites. It is expected that the obtained colours are attributed to a combined effect of absorption via metal nano-particles and thin film interference. Details of this research finding will be explained in our presentation.

[나노3-2 | 11:30]

Al 다성분계 합금분말의 기계적합금화 거동에 따른 소결특성 및 미세조직 분석: 이정환^{1,3}, 장준호^{1,2}, 김주훈¹, 박현국¹, 홍성길³, 오익현¹; ¹ 한국생산기술연구원, ² 전북대학교 신소재공학과, ³ 전남대학교 신소재공학과

Keywords: Al-Cr-Si, 펄스통전활성화소결, 고에너지볼밀링, 기계적합금화, 미세구조적 특성

우주항공/자동차/조선 등의 산업군에서 고강성 및 경량 등의 기계적 성질이 요구됨에 따라 이를 가공하는 전용 툴 소재의 개발 또는 기존 소재의 성능 향상의 필요성이 대두되고 있다. 기존 난삭소재로 많이 사용되는 초경합금 소재에 의한 절삭은 공구수명이 짧고 취약한 치핑성으로 인하여, 초경모재 표면에 Al계 합금 소재를 코팅한 공구의 사용 비중이 증가하고 있다. 특히 Al-Cr-Si계에서는 열역학적으로 안정한 AlxCr_y, AlxCr_ySz, CrxSi_y 금속간화합물들의 형성으로 기존의 Al계, Al-Cr계, Al-Si계에 비해 고경도, 고인성, 내산화성이 우수한 특성을 갖게되어 최근 각광받고 있다. 본 연구에서는 고에너지볼밀링 공정을 이용하여, ~70at.%Al, ~30at.%Cr, ~20at.%Si의 일정한 조성을 갖는 합금 분말의 기계적 합금화에 의한 상거동을 분석하였으며, 이를 펄스통전활성화소결법에 적용하여 고물성의 Al계 합금다갯을 제조하고 그 특성을 분석하였다. 이 때의 소결조건은 Al-Cr-Si 3원계의 온도에 따른 불변반응 및 시뮬레이션 프로그램을 참고하였으며, 각 조건에 따라 제조된 소결체의 상거동은 합금분말의 기계적 합금화 거동에 의해 결정됨을 미세구조적으로 규명하였다.

[나노3-3 | 11:45]

Investigation on mechanical response of NiTi-based shape memory nanoparticles: 김지영¹, 김소연², 고원석³, 박은수¹; ¹

서울대학교 재료공학부 신소재공동연구소, ²Massachusetts Institute of Technology Department of Materials Science and Engineering, ³울산대학교 첨단소재공학부.

Keywords: Shape memory alloy, Nanoparticle, Superelastic behavior, Size effect, MD simulation

형상기억합금(shape memory alloy, SMA)은 시편 크기 및 결정립의 크기가 임계 크기 이하에 다르면 상변화 거동이 급격히 변화하여 형상회복 변형률이 완전히 사라질 수 있어 형상기억 제 2상을 자가치유 agent로 효과적으로 활용하기 위해선 나노스케일에서의 변형 거동을 이해하고 제어하는 방안에 대한 연구가 꼭 필요한 실정이다. 하지만, 나노스케일 SMA에 대하여 현재까지 진행된 대부분의 연구는 단결정을 가공하여 제조하였기 때문에, 실제 복합재의 제 2상으로 석출된 나노구조 SMA의 거동에 대한 예측 및 해석을 진행하기 어려운 실정이었다. 이와 같은 문제점을 극복하고자 본 연구에서는 액상 상분리 현상과 선택적 용해 거동을 통해 SMA 나노 입자를 제조하여 크기 변화에 따른 상변화 거동 및 형상회복 거동의 변화에 관해 체계적으로 고찰하고자 하였다. 이를 위하여, 주요 구성 원소인 Ti와 Gd가 커다란 양의 혼합열 관계를 가지는 Ni-Ti-Gd 삼원 합금계에서 조성을 효과적으로 제어함에 따라 Ni-Ti-rich 와 Ni-Gd-rich 상간 다양한 상분리 미세구조를 얻을 수 있었다. 이 중 구형의 Ni-Ti-rich 제 2상이 포함된 이상분리 합금에서 기지 조성인 Ni-Gd-rich 상을 선택적으로 용해함으로써 완전한 구형의 Ni-Ti-rich 나노 입자를 제조하였다. 이후, 실시간 주사전자현미경 (in-situ scanning electron microscope, SEM) 내의 Pico-indentation 장치를 활용하여 제조한 Ni-Ti-rich 나노 입자의 기계적 거동을 체계적으로 분석하고자 하였다. 결과로써, 제조된 Ni-Ti-rich 구형 나노 입자 중 특정 조성에서 독특한 상온 초탄성 거동을 확인할 수 있었으며, 크기 변화에 따라 형상회복 거동의 변화를 직접적으로 관찰할 수 있었다. 특히, 분자동역학 시뮬레이션 (molecular dynamic simulation, MD)을 기반으로 입자 크기에 따른 기계적 거동 변화를 예측하여 크기 변화에 따른 SMA 나노 입자의 기계적 거동 변화 양상을 체계적으로 고찰하였다. 본 연구는 이방성이 감소된 SMA 나노 입자 제조의 이론적 기초를 제공하며, 관련 나노 입자를 자가치유 복합재의 제 2상으로 사용시 특성 최적화를 위한 가이드라인을 제시하는 시급적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

제2회 고부가 금속재료 연구 및 교육 심포지엄

Room 603, 4월 24일

[고부가]1-1 | 16:00

In-Situ Observation Technology for High Temperature Experiments: Joonho Lee^{1,2}; ¹Department of Materials Science and Engineering, Korea University. ²CRÈME, Korea University.

Recent progress of in-situ observation technology for high temperature experiments is introduced. Confocal scanning microscope has been utilized for (1)the observation of behavior of inclusions on molten steel surface or at the liquid-solid interface, (2)the kinetic study of dissolution of inclusions in molten slag, (3)the observation of re-melting behavior of peritectic alloys during solidification, (4)the measurement of melting temperature of oxide system, (5)CCT diagram study of flux, (6)the phase transition from delta to austenite and from austenite to ferrite, and (7)the oxidation behavior on the steel surface. New furnace system makes it possible to investigate the behavior under tensile or compression. This new technique can be applied to (1)the observation of crack formation and swelling behavior of raw materials in blast furnace, (2)the observation of surface of galvanized steels under hydroforming, and (3)CCT diagram study after deformation at high temperatures.

[고부가]1-2 | 16:30

Fundamentals of TiO₂-Based Welding Fluxes for High Mn-Containing Advanced High Strength Steel Applications: 손일¹, 김종배²; ¹연세대학교 공과대학 신소재공학과. ²현대중공업.

Keywords: Welding fluxes; Thermo-physical properties; Structure; Electronegativity; TiO₂

This study focuses on the effect of compositional variation in TiO₂-based welding fluxes on thermo-physical properties at high temperatures including viscosity, wettability, and electronegativity. The measured properties are correlated to the post-weld mechanical properties of the weld zone, which are the tensile strength and micro-Vickers hardness. Microstructural observations indicated significant grain coarsening at a modified optical basicity (Δ_{corr}) of 0.62 reducing the strength and hardness. TiO₂-based simple structural units is speculated to cause greater heat transfer compared to the aluminate and silicate fluxes using spectroscopic analyses of Fourier transform infrared, Raman, and X-ray photoelectron spectroscopy. Higher electronegativity results in greater absorption of electrons in the arc, resulting in increased arc condensation towards the center direction and deeper penetration can be obtained. The highest electronegativity was approximately at 0.62 of the modified optical basicity.

[고부가]1-3 | 17:00

Smart Factory: Thermodynamic Databases and Process Simulation Models for Steelmaking Process: Marie-Aline Van Ende, 정인호; 서울대학교 재료공학부.

Keywords: Smart Factory, Steelmaking, CALPHAD database, Process Simulation

Smart Factory is one of the hottest issues in manufacturing industry. Smart Factory is 4th industrial revolution based on combination of Big Data available in plant and Artificial Intelligent to improve the quality of product and production process efficiency. Steelmaking process is very complex high temperature industrial process involving liquid steel, liquid slag, solid refractories, non-metallic inclusion, and gas phases. Therefore, the precise process control of this high temperature process is difficult but important for the production of good quality of steel. As CALPHAD database is the pinnacle of critically evaluated and reliable thermodynamic experimental data for complex chemical reactions and phase diagrams, the CALPHAD database can be used as supplementary data for Big Data analysis in steelmaking plant. We have successfully linked the CALPHAD thermodynamic database with process kinetics to develop the process simulation model. This process simulation model is based on the so-called effective equilibrium reaction zone (EERZ) model. In this approach, the process kinetics is allowed to determine the volume of local equilibrium at the reaction interface and local equilibrium calculations are performed using the commercial thermodynamic database. We have applied this concept to develop many steelmaking operation units and the model is now used for process optimization and virtual twin factory in smart factory project. In this presentation, the concept to link thermodynamic database to process simulation will be outlined. Several success stories of the simulation models in steelmaking process and the adoption of such models for smart factory project in several steelmaking companies will be introduced.

[고부가]1-4 | 17:30

Fundamentals and Applications of Slag Properties for Producing Clean Steels: Joo Hyun Park¹; ¹Hanyang University.

Keywords: Physicochemical property, Molten slag, Steelmaking and Refining, Inclusion, Viscosity

The physicochemical properties of molten slag are highly important to understand and to control the complicated phenomena occurred in steel refining processes. For example, the MgAl₂O₄ spinel is one of the harmful inclusions in various kinds of steels, e.g. stainless steels, bearing steels, resulfurized specialty steels, etc. The probability of spinel inclusion has been known to be strongly affected by slag chemistry and deoxidation practices. Moreover, the thermophysical properties of slags such as viscosity and interfacial

tension should also be carefully controlled to suppress the formation of this harmful inclusion at the ladle refining stage. Alternatively, tundish metallurgy has been issued because it is the final reactor for controlling the steel cleanliness in view of the reoxidation phenomenon of molten steel. The reoxidation is experienced by the contamination of molten steel not only due to air entrapment but also due to slag-metal reaction. There is less investigations for the latter compared to the former. The rice husk is widely used because of its high thermal insulation characteristics. However, it causes the silica pick-up to the molten slag pool in tundish, resulting in the changes of physicochemical properties of tundish slag. Consequently, in this paper, the recent issues for the physicochemical properties of slag will be discussed in terms of clean steel production technologies.

제7회 첨단융복합 분석기술 심포지엄

Room 604, 4월 24일

[용복합1-1 | 10:00]

하나로 중성자 분석법을 활용한 문화재 연구: 김태주, 김종열, 우완측, 성백석; 한국원자력연구원

Keywords: 문화재, 중성자, 비파괴 검사, 단층촬영, 회절

중성자는 다양한 연구 분야에서 매우 활발하게 활용하고 있다. 그 중에서도 비파괴 분석이 필수적인 문화재 분석에도 매우 유용한 분석 도구다. 문화재는 제작 기법과 기능 뿐 아니라 당시 시대상 연구 등 많은 정보를 제공한다. 다양한 비파괴 검사법 중에서, X선 분석법은 대부분의 문화재 연구에 널리 사용되어 왔다. 일반적으로 X선은 투과 특성 때문에 두꺼운 금속 내부를 정밀하게 관찰할 수 없다. 한편, 중성자는 X선과 달리 두꺼운 금속 내부를 검사하는 데 유용한 도구이다. 그러나 중성자는 접근성 문제로 인해 이 분야에서 활용이 쉽지 않았다. 연구용 원자로 하나로(HANARO)는 열과 냉중성자를 가진 강력한 연구용 원자로로써, 최근 하나로에서 중성자 빔을 문화재에 적용한 예비 연구를 수행하였다. 본 연구에는 중성자 단층촬영, 회절, 잔류응력 등 다양한 중성자 분석법을 적용하였다. 본 연구를 통해 문화재, 특히 복장 유물에 중성자의 유용성을 확인할 수 있었으며, 앞으로 활용 범위가 점차 증대할 것으로 기대된다.

[용복합1-2 | 10:30]

중성자 Bragg-edge 영상을 이용한 철강 재료의 상분포 가시화: 김종열, 김태주, 전병일, 우완측, 성백석; 한국원자력연구원

Keywords: 중성자 Bragg-edge 영상, 철강재료, 결정구조, 상분포

중성자 Bragg-edge 영상을 이용하여 철강 재료 내부의 Austenite(FCC), Ferrite(BCC), 그리고 Martensite(BCT) 상들의 구분이 가능하며 재료 내부 어디에 분포하고 있는지 확인이 가능하다. 중성자 Bragg-edge 영상을 이용한 철강 재료의 상분포 가시화 연구를 위해 Low Transformation Temperature(LTT) 용접 시료와 다마스쿠스 강으로 제작한 주방용 칼을 준비하였다. LTT 용접 시료의 경우 HTT 영역에서는 Austenite(FCC) 상이 거의 존재하지 않다가 LTT 영역에서 최대 10.5%까지 나타나고 있다. LTT영역과 HTT영역에서 존재하는 Austenite(FCC) 상의 분포를 중성자 Bragg-edge 영상을 이용하여 보여줄 것이다. 그리고 다마스쿠스 강으로 제작한 주방용 칼의 경우 열처리 공정으로 인해 칼등과 칼날의 미세조직 결정구조가 달라진다. 칼등은 Ferrite(BCC) 상을 가지며 칼날은 Martensite(BCT) 상을 가지고 있는 것을 중성자 Bragg-edge 영상 실험 결과에서 확인할 수 있을 것이다.

[용복합1-3 | 11:00]

The Application of Neutron Grating Interferometry for Material Research – Structural Characterization of Electric Steel, Industrial Ceramic, and Metal Additive Manufactured Component Using Dark-Field Imaging: Youngju Kim¹, Deaseung Kim², Jongyul Kim¹, Seung Wook Lee¹; ¹School of Mechanical Engineering, Pusan National University. ²Neutron Science Center, Korea Atomic Energy Research Institute.

Keywords: Neutron Imaging, Grating Interferometry, Dark-field Imaging, Electric Steel, Ceramic, Metal Additive Manufacturing

The neutron grating interferometry is a prospective technique for material research in neutron imaging. It provides a variety of contrast regimes of not only absorption contrast imaging but also differential phase contrast imaging and dark-field contrast imaging. The latter has been interesting in this field due to unprecedented imaging contrast based on small angle scattering (SAS), and in particular the neutron dark-field contrast imaging has been recognized the utility for research of materials such as bulk metal, magneticum and even soft matter. Recently, the quantitative dark-field contrast imaging has been developed and its general solution determines the neutron dark-field contrast for the specific material parameters of total scattering cross-section and the autocorrelation function of structure in materials. The autocorrelation function is equivalent to that of spin-echo small angle neutron scattering (SESANS), and it represents the structural characterization of materials about the real space correlation of scattering structures. In this presentation, we introduce the application of neutron grating interferometry for structural characterization in material research. The neutron grating interferometry has been developed at cold neutron imaging beamline of National Institute of Standards and Technology (NIST, USA) and Paul Scherrer Institute (PSI, Switzerland). As the results, the magnetic domain of electric steel sheet is visualized by dark-field contrast based on magnetic neutron scattering at domain walls. Additionally, the industrial ceramic and metal additive manufactured component have been proved for heterogeneities of voids and defects using the quantitative dark-field contrast imaging. The detail on results will be presented at the conference.

[용복합1-4 | 11:30]

퍼미에이션과 EBSD 분석을 통한 수소취성 메커니즘 연구: 강남현, 박철호, 박한지, 이정훈; 부산대학교

Keywords: 수소취성, 퍼미에이션, EBSD, 결정립도, 전위밀도

수소의 확산계수와 트랩현상을 규명하기 위하여 전기화학적 수소 퍼미에이션 실험이 진행된다. 본 연구는 수소 주입과 방출 시 퍼미에이션 평형상태에 도달하기까지의 과도상태를 측정함에 따라 수소취성 메커니즘을 규명하는데 필요한 유의한 정보를 얻은 결과를 공유한다. 특히 해양플랜트에서 사용되는 내수소취성 금속재료에서 결정립도와 전위밀도 등 미세조직 인자에 따른 유효확산계수(D_{eff}),

총 수소농도(C_0), 확산성수소농도(C_T)를 측정하고, EBSD를 이용한 상변태와 수소에 대한 미세조직학적 변화를 수소취성 메커니즘과 연계하고자 한다.

[용복합2-1 | 13:00]

적층결합에너지 결정을 위한 중성자 회절과형 분석: 스테인리스 강 및 CrCoNi 엔트로피강 분석 예: 우완춘¹, 김동규², 정재석³, 채호병⁴, 홍민기⁴, 이수열⁴, S. Harjo⁵,¹원자력연구원, ²울산대학교, ³두산중공업, ⁴충남대학교, ⁵J-PARC, Japan.

Keywords: 적층결합에너지, 중성자, 회절과형분석, 스테인리스강, 엔트로피강

일반적으로 적층결합에너지는 금속내의 적층결합에 의해 발생된 격자간 평균제곱 변형량과 적층결합확률의 비율을 포함한 수식으로 표현 된다 (리드 샤먼법, 1974). 먼저 일반적으로 측정되는 회절과형 적분폭은 결합에 의한 크기인자와 격자변형인자가 복합되어 있어, 로렌지안 및 가우시안 과형 폭의 전체 적분폭에 대한 변형 증가 기여분을 각각 분리하여야 평균제곱 변형량을 구할 수 있다 (더블 보잇법, 1993). 그리고 적층결합확률은 결정학적 연속 (hkl)면 회절과의 중심 이동량 차이 (예, 222, 111면 이동분의 차이)를 분석함으로써 구할 수 있다 (위렌 결합확률 결정법, 1990). 이상의 두가지 주요한 인자를 정확히 정량화 하여야 비로소 적층결합에너지를 올바르게 계산 할 수 있다. 본 발표에서는 회절과형의 폭 증가 및 중심 이동차이에 의해 적층결합에너지를 구하는 알려진 방법을 다시 정리하고, 이 분석 방법을 적용하여 실시간 중성자 변형 인장 실험시 측정된 회절과형을 분석하여, 금속내부 적층결합에너지 계산한 결과를 보여주고자 한다. 그 예로 최근 3D 프린팅법으로 제조된 스테인리스 강과 CrCoNi 엔트로피강 인장시험편에서 분석된 초기 적층결합에너지값과 인장변형에 따른 전위-쌍정 미세구조 변화에 따른 적층결합에너지의 분석 결과를 상호 비교하면서 제시하고자 한다.

[용복합2-2 | 13:30]

Characterization of Hot Deformed Corrosion-Resistant Lightweight Steels by Using Diffraction Peak Profile Analysis: Jae-Suk Jeong¹, Jongho Shin¹, Jeon-Young Song¹, Seong-Jun Park², Jaeun Lee³, Heung Nam Han³; ¹Doosan Heavy Industries & Construction, ²Korea Institute of Materials Science, ³Seoul National University

Keywords: neutron diffraction, peak profile analysis

In recent years, studies have been made on the weight reduction of steels as the safety standards, the environmental regulations, and the demands for the improvement of fuel efficiency are increased. A method of alloying aluminum (Al), which is an element capable of achieving weight reduction of steel products have been introduced. The Al bearing lightweight austenitic steels have excellent properties of specific strength and elongation. However the lightweight steels have a limit in that corrosion resistance is extremely low and thus they are not applicable to various fields. The corrosion-resistance was endued in the conventional lightweight steels by alloy design based on the thermodynamic calculation and the design of experiments. It was confirmed that the laboratory scale corrosion-resistant lightweight steels show both the excellent mechanical properties and the corrosion characteristics. For the production of corrosion-resistant light-weight steel of practical size, optimum hot-working process should be taken into account by hot processing map obtained from high temperature compression tests. Thereafter, in order to verify the hot processing map, microstructural analyses were performed in each area of the map through diffraction peak profile analysis and electron back scattered diffraction technique.

[용복합2-3 | 14:00]

Development of computationally efficient elasto-viscoplastic self-consistent model: Youngung Jeong¹, Carlos N. Tomé²; ¹Changwon National University, ²MST Division, Los Alamos National Laboratory.

Keywords: Viscoplastic self-consistent (VPSC)

Viscoplastic self-consistent (VPSC) polycrystal modelling framework using the effective medium has been widely used to describe the constitutive behavior metals in polycrystalline. Various micro-mechanical features such as, but not limited to, grain-neighbor interaction, crystal structure, slip, and twinning are readily accounted for [1]. More recent development includes the extension of the model to study the dislocation density evolution under arbitrary loading paths, which provides the basis of flow stress fluctuation during forming [2,3]. Although preliminary studies led to successful results in describing the flow stress behavior under certain loading conditions, we have noticed that the description on elastic region is required for applications to multiphase alloys [4,5]. Existing elasto-plastic and elasto-viscoplastic self-consistent models [6,7] are not suitable for this purpose since the computational time is prohibitively long. In this presentation, we describe a new elasto-viscoplastic self-consistent model. It is demonstrated that the model leads to improved computational efficiency as well as good predictive capabilities on internal stress evolution resulting from neutron diffraction experiments.

[용복합2-4 | 14:30]

사용후 핵연료 저장 및 운송용 Gd-B-스테인레스 강 제조에 유한 요소법 적용 및 소재의 특성 연구: 백열¹, 강보경¹, 정무영¹, 최윤¹, 문병문²; ¹단국대학교 신소재공학과, ²한국생산기술연구원.

Keywords: Gd-B-스테인레스 강, 유한요소법, 중성자 차폐능

사용후 핵연료 저장 및 운송용 Gd-B-스테인레스 강의 용해 및 냉간 압연을 위한 적정 조건을 선정하기 위하여 유한 요소법을 이용한 해석을 수행하고 소재의 특성을 평가하였다. 유한 요소해석을 위한 물리적 모델은 진공유도 용해와 냉간 압연 조건을 고려하

여 설정하고 COMSOL과 ADEA code를 사용하여 유한 요소 해석을 수행하였다. 해석 결과를 근거로 적정 용해 및 압연 공정을 선정하고 진공 유도 용해 주조 후 냉간 압연재를 제조하였다. 냉간 압연된 판재의 집합조직을 X-선 분석으로 평가하고 냉간 가공 방향에 따른 내식성을 평가하였다. Gd-B-스테인레스강의 중성자 차폐능을 중성자 파장과 Gd 및 B 성분에 따라 평가하였다.

[용복합3-1 | 15:15]

Finding a New Magnetic Skyrmion Structure using Lorentz TEM: Juyoung Jeong^{1,2}, Jeehoon Kim², Hye Jung Chang^{1,3},
¹Advanced Analysis Center, Korea Institute of Science and Technology. ²Department of Physics, Pohang University of Science and Technology. ³Division of Nano & Information Technology, KIST School, University of Science and Technology

Keywords: Lorentz transmission electron microscopy, Skyrmion, Hard magnet

Lorentz Transmission electron microscopy (LTEM) is one of the powerful instruments to observe the nanoscale structural and the magnetic field features of materials simultaneously. Also it shows in-plane magnetization direction to the field. Thus it is good compensating imaging tool with other out-of-plane ones such as Kerr, STXM or MFM. Recently, topological-in-origin robust magnetic skyrmions have been reported in several material systems utilizing LTEM, mostly in the noncentrosymmetric B20 crystal system at low temperature, which limits the practical application. Here, we report novel hard skyrmions in one of the strongest ferromagnets, which can be operated at high temperature above room temperature. This is of importance stepping stone since it paves the way for an immense application potential by providing a new approach to make skyrmions in hard magnet materials through appropriate field cooling. The control and visualization was performed in the LTEM (FEI; Titan) equipped with heating holder. Various skyrmion like bubbles formed near the skyrmion window will be also discussed in the presentation.

[용복합3-2 | 15:45]

중성자 산란을 적용한 철계 영구자석 분석: 이준혁¹, 백연경², 이정구², 이성수¹; ¹한국원자력연구원. ²한국기계연구원 재료연구소

Keywords: 영구자석, 중성자, 분석, 합금, 메시조직

철계 영구자석은 높은 자기에너지적과 강한 보자력으로 전기차, 수소연료전지차, 풍력발전기 등에 다양한 수요가 증가하고 있다. 대표적인 Nd-Fe-B 영구자석은 희토류를 포함하는 고성능 영구자석으로 희토류수급에 따라 가격변동의 문제점을 가지고 있으며, 이를 해결하기 위해 차세대 희토류저감, 대체 및 무희토류 영구자석 연구가 일본, 중국에서 활발하다. 기존은 Dy, Tb의 고가 희토류의 사용을 줄이고 미세구조 최적화를 통해 고특성을 유지시키는 연구, Nd를 La, Ce와 같은 저가 희토류로 대체하는 연구 등이 지속적으로 발표되고 있다. 위와 같은 새로운 철계 영구자석 개발을 위해서는 자기 및 미세구조 측정이 가능한 분석이 유용하다. 중성자 산란은 나노단위의 결정구조에서 구동모터의 밀리미터 스케일까지 다중스케일로 분석하면서 고유의 중성자 자성 특성으로 자기질서를 분석할 수 있는 강점이 있다. 또한, 원소별 중성자의 산란 길이 밀도 차이를 이용하면 영구자석 철계상의 분석에도 유용하다. 본 연구에서는 중성자 산란법을 적용한 철계 영구자석연구의 가능성을 소개하고자 한다.

[용복합3-3 | 16:00]

Introduction of KIST-USANS Instrument at HANARO Cold Neutron Facility and Its Possible Application to Magnetic Materials: Man-Ho Kim; Korea Institute of Science and Technology

Keywords: Ultra-small angle neutron scattering (USANS), SANS, 1-dimensional detector, nuclear scattering, magnetic scattering, multiple scattering

Ultra-small angle neutron scattering instrument (USANS) measures large structures at a micron-submicron scale, while SANS measures at a nano scale in size. Using USANS ($Q_{\min} \sim 2.0 \times 10^{-5} \text{ \AA}^{-1}$) and SANS ($Q_{\max} \sim 0.7 \text{ \AA}^{-1}$) together allows us to investigate the structure of materials in a wide size scale, 4 ~ 5 orders from nano to micrometer. However, there is a fundamental difference in neutron optics between USANS and SANS instruments. The USANS uses 1-dimensional detectors and the SANS uses 2-dimensional detectors. The 1-d detector has a high resolution, but only along one direction and has no resolution along the long direction. Therefore, the scattering data from the USANS becomes significantly smeared. The other difference is that the 1-dimensional detector does not show the orientation of structure, while the SANS area detector can distinguish the orientation. A sample containing both magnetic and nuclear scatterings needs to be measured under a magnetic field to separate out each scattering by aligning the spins in a particular direction. In USANS this may need independent measurements by placing the oriented sample in the horizontal and vertical directions. This requires us to install a large electromagnetic apparatus to the USANS sample stage. However, installing the large electromagnetic apparatus in the limited USANS space is not easy. Therefore, a compact permanent 0.5 Tesla magnet device was designed to measure the scattering in both vertical and horizontal directions. Multiple scattering is an additional issue of USANS. USANS is capable of estimating the multiple scattering from measuring two transmissions simultaneously. In this talk, we will present how all these issues can be resolved and how the USANS can be used to investigate the structure of magnetic materials. * We acknowledge a partial financial support from the KIST. We thank Dr. Baek Seok Seong and Dr. Eunjoon Shin of the HANARO at KAERI for experiment support of 18m-SANS and John Barker for support USANS experiment at BT5 of the NIST-Center for Neutron Research (NCNR).

[용복합3-4 | 16:30]

중성자 산란을 이용한 철강 재료 내의 나노 구조 분석 연구: 성백석¹, 신은주²; ¹한국원자력연구원. ²중성자과학연구소

Keywords: 성자소각산란, 철강재료, 나노구조 정량분석

중성자 소각산란 기술은 재료 내부의 나노 구조를 측정, 분석 할 수 있는 중요한 측정 기술이다. 특히 중성자는 고유 특성으로 인해서 철강 시료 등에서도 높은 투과 성질로 인해서 벌크 재료에서도 비파괴적으로 1 ~ 200nm 크기의 나노구조 측정이 가능하고 고온, 자기장, 저온 등의 다양한 시료환경 분위기에서도 실시간으로 구조 변화를 측정 할 수 있는 기술이다. 본 발표에서는 중성자 소각산란 기술을 이용한 철강 재료내의 구조구조 분석 기술을 소개하고, 이 기술들이 타 분석 기술들과 접목하는 연구 예를 소개하고자 한다.

Advanced Materials for Water Splitting

Room 605, 4월 24일

[Water1-1 | 09:30] 초청강연

Boosting Oxygen Evolution Reaction Activity via Morphology- and Defect-Engineered Catalysts: Sang Hoon Joo; *UNIST*.

Keywords: Electrolyzer, OER, nanoframe, perovskite

Development of highly active, durable, and low-cost electrocatalysts for energy conversion devices, such as electrolyzers and fuel cells, is a key to realizing “hydrogen economy” vision. The electrolyzers comprise two complementary redox reactions, oxygen evolution reaction (OER) at the anode and hydrogen evolution reaction at the cathode. In particular, the OER electrocatalyst is of pivotal importance, as this reaction involves an energetically manding four-electron transfer as well as the activation of oxygen molecule. We have endeavored to design high-performing OER electrocatalysts by controlling morphology and defect chemistry of the catalysts. We present precious metal-based, multimetallic, nanoframe catalysts, which allow for saving the usage of expensive precious metals and enhancing collision frequency of reactants. The catalyst composed of PtNi/RuO₂ core/isosahedral nanoframe shell showed excellent activity and durability for the acidic OER. We show a series of perovskites with controlled defect site densities for the alkaline OER. A triple perovskite showed superior OER activity to single- and double- perovskites, which could be correlated with its oxygen defect-rich structure, lower charge transfer resistance, and smaller hybridization strength between O 2p and Co 3d orbitals.

[Water1-2 | 10:00] 초청강연

Design of Aluminum Alloys for Fast On-Board Hydrogen Production from the Hydrolysis in Alkaline Water: KwangSup Eom; *Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)*

Keywords: Aluminum alloy, hydrogen production, hydrolysis, alkaline water, alloy design

Hydrogen has immense potential as a clean energy source for electric devices and vehicles because its chemical energy can be easily converted to electric energy by PEMFCs. To ensure PEMFCs function successfully using hydrogen, it is important to develop a convenient and safe H₂ storage and production system with high H₂ storage density. In the past few decades, although many efforts have been made to develop hydrogen storage and production systems, these systems' hydrogen storage density, in terms of specific energy density, is either not sufficient or the market price is too high for commercial applications. Recently, on-board hydrogen generation from the hydrolysis by metallic fuels such as Mg, Al, Zn and their alloys has been studied because these can produce H₂ at a much cheaper price than can the hydrolysis of all hydrides. Specifically, the reaction of the Al hydrolysis in water has been reported and is: $\text{Al} + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + 3/2 \text{H}_2$ (Eq.1). In previous studies, most researchers have used Al or Al alloys in powder forms, which showed a high rate of hydrolysis due to the large surface area of the Al powders. This permitted the application of Al powders to on-board hydrolysis sources of H₂ for PEMFCs. However, because the powders of Al and Al alloys are explosive when in contact with moisture or small amounts of heat, it is difficult to store these compounds safely. Moreover, these materials are expensive due to complex manufacturing processes. Hence, the development of safe Al and Al alloys in bulk form with a high performance ability for generating hydrogen has proven to be a challenge. From Eq.1, it is notable that the hydrogen generation rate is equivalent to the dissolution rate of the Al metal to the Al ion (Al³⁺). Therefore, the corrosion rate of aluminum should be increased in order to achieve an increase in the hydrogen generation rate for hydrolysis. To achieve such an increase, in this presentation, we will introduce the method to design Al alloys containing electrochemically noble metal additives such as Fe, Cu, Ni etc, which can significantly increase hydrolysis rates by inducing galvanic corrosion and an intergranular corrosion simultaneously.

[Water1-3 | 10:30] 초청강연

Production and Storage of Hydrogen Energy Based on the Nitrogen Cycle: Chang Hyuck Choi; *GIST*.

Keywords: Hydrogen, Nitrogen, Ammonia, Hydroxylamine, Electrochemistry

In nature, conversion of nitrogen species is controlled by enzymatic reactions, called the nitrogen cycle, which consists of nitrification, denitrification and nitrogen fixation. However, excessive amounts of NO_x and other forms of nitrogen species from industry have induced severe environmental problems (i.e. fine dust, ground pollution, etc.). Therefore, it is well worth considering energy conversions from nitrogen-based pollutants to N₂ or hydrogen carrier (e.g. NH₃ and NH₂OH) by artificial nitrogen-cycle catalysis. In that sense, NH₃ is one of the promising candidates to store hydrogen and energy efficiently, which has high hydrogen content (i.e. 17.7 wt%) and capability of liquefaction (e.g. 10 bar at RT). The NH₃ has consequently received many attentions due to its potential utility as a carbon-free energy carrier, primarily for electrolytic H₂ production and electricity generation from fuel cells. Although the platinum has been known as the best electrocatalyst for the NH₃ oxidation reaction, its successful introduction into the industry suffers from the poor stability of the platinum induced by poisoning from unknown species. In the Gerischer-Mauerer mechanism, atomic N was suggested as the poisoning species, and very recently, oxygenated nitrogen species (i.e. NO_x) are also proposed as poisoning species by in situ spectroscopic studies. We study the deactivation mechanism with NO_x-modified platinum and

show the detrimental roles of the NO_x species towards the NH_3 oxidation reaction. In the opposite strategy, NO_x reduction to N_2 or NH_3 has also attracted attention for reducing pollutants and hydrogen carrier synthesis. Despite many efforts to design efficient electrocatalyst to convert N_2 or hydrogen carriers, there is insufficient understanding on the mechanism of electrocatalysis, which is a hurdle for rational catalyst design. Since NO is known as a key intermediate in NO_x reduction process, NO reduction is important to control reaction selectivity into N_2 or other valuable products (e.g. NH_3 and NH_2OH). We found that atomically dispersed iron doped nitrogen-carbon catalysts (Fe-N-C) have >90 % selectivity to NH_2OH , which has a low energy barrier to produce H_2 and an advantage on transport via a liquid phase. This study proposes that the selectivity control may be achieved by designing the ensemble structure.

[Water1-4 | 11:00] 초청강연

일체형 가역 연료전지 및 전기화학적 암모니아 합성을 통한 수소 생산, 활용 및 저장: 박현서; 한국과학기술연구원 청정신기술연구소 수소연료전지연구단

수소는 그 생산과 이용에서 탄소배출이 없는 에너지 저장체로서, 향후 화석연료를 대체할 화학물질로 주목받고 있다. 특히 신재생 전력을 이용하여 전기화학적 물분해를 통해 수소를 생산하고, 이를 필요시 연료전지를 통해 전력으로 전환하는 방법이 청정 에너지 사이클로 각광받고 있다. 수전해 수소 생산은 다전자 반응을 효과적으로 일어나게 하는 양성자 환원 및 물산환 촉매와 이온전달이 효율적인 전해질이 필요하다. 연료전지는 수전해와 반대로 수소를 산화시키고 산소를 환원하는 전극 촉매가 필요하다. 수전해에는 백금과 이리듐산화물 등이 각각 수소와 산소 발생의 촉매로 널리 사용되고, 연료전지에는 백금 촉매가 두 전극에 사용되고 있다. 최근에는 신재생에너지 연계 에너지 저장을 염두에 두고, 수전해와 연료전지 반응을 하나로 합친 일체형 가역 연료전지도 연구되고 있다. 한편 수소는 높은 밀도로 저장하기 위해 매우 낮은 온도(-253도씨 액화) 또는 고압(700기압)이 필요하여, 대규모-장거리 에너지 저장과 운송용으로 용이하지 않다는 단점도 있다. 이에 따른 저장과 운송의 문제를 해결하기 위해서, 높은 액화온도(-33도씨)와 에너지 밀도(4.3 kWh/kg)를 가지고 있는 암모니아를 에너지 저장체로 활용하려는 연구도 활발히 진행되고 있다. 특히, 저온-저압 조건에서 전기화학적으로 암모니아를 생산할 경우, 화석연료 사용과 CO_2 배출없이 효율적으로 수소를 저장하고 운송할 수 있다는 장점이 있다. 저온-저압 암모니아 전해 합성은 매우 안정한 질소분자를 전기에너지를 이용해 깨뜨리는 반응으로서, 그에 대해 아직 효율적인 촉매가 개발되지 못하고 있다. 이번 발표에서는 (1) 수소의 생산 및 활용 측면에서 수전해, 연료전지를 합친 일체형 가역 연료전지의 전극 촉매 및 운전에 대해서 소개하고, (2) 수소의 저장을 위한 저온-저압 전기화학 질소환원 및 암모니아 합성 촉매에 대해 간략히 논의하도록 한다.

[Water1-5 | 11:30]

Developing Efficient Water Splitting Catalyst Using Pyrophosphate-Based Materials: 김현안, 박지민¹, 남기태¹, 강기석; 서울대학교
Keywords: Water splitting, Catalyst, Rechargeable Battery Materials, Oxygen Evolution Reaction

Among various alternative energy sources, water splitting is a promising solar-to-fuel conversion method for hydrogen energy production. However, because the water splitting itself requires multi-electron and multi-step reactions, it shows inferior performance. In this regard, the development of efficient, durable, and inexpensive catalysts is desirable. Inspired by the MnCa cluster in nature, previous studies pointed out the importance of Mn(III) in oxygen evolution reaction. However, it is difficult to know the role of Mn valency itself because the structure of the catalyst always changes significantly as Mn valency changes. Therefore, we synthesized $\text{Li}_2\text{MnP}_2\text{O}_7$ and obtain LiMnP_2O_7 , $\text{Li}_{1.5}\text{MnP}_2\text{O}_7$, and $\text{Li}_{1.7}\text{MnP}_2\text{O}_7$ to tune the Mn valency without significant change in crystal structure. We observed that as the average oxidation state of Mn in $\text{Li}_{2-x}\text{MnP}_2\text{O}_7$ increases from 2 to 3, the catalytic performance enhanced in the series of $\text{Li}_2\text{MnP}_2\text{O}_7 < \text{Li}_{1.7}\text{MnP}_2\text{O}_7 < \text{Li}_{1.5}\text{MnP}_2\text{O}_7 < \text{LiMnP}_2\text{O}_7$. Moreover, we selected four cobalt-based phosphate catalysts with various cobalt- and phosphate-group coordination as a platform to better understand the catalytic activity of cobalt-based materials. Although they exhibit various catalytic activities and stabilities during water oxidation, $\text{Na}_2\text{CoP}_2\text{O}_7$ with distorted cobalt tetrahedral geometry shows high activity under neutral conditions, along with high structural stability. First-principles calculations suggest that the surface reorganization by the pyrophosphate ligand induces a highly distorted tetrahedral geometry, where water molecules can favorably bind, resulting in a low overpotential. In conclusion, we observed the role of Mn(III) state and the importance of local coordination in the catalysis and suggested the possible effects of polyanions on the water oxidation chemistry.

[Water2-1 | 13:00] 초청강연

Electrocatalytic Carbon Dioxide Conversion on Cu Catalyst: 권영국; 한국화학연구원

Keywords: Electrocatalysis, Carbon Dioxide, Copper

The efficient electrochemical conversion of CO_2 to fuels or stock chemicals with high-energy density would be a major step forward in the introduction of a carbon neutral energy cycle, as it would allow for the direct low-temperature conversion of photo-generated electrical current to stored chemical energy, in a manner very similar to the way nature stores solar energy. The high activity and selectivity towards electrocatalytic conversion of CO_2 can be achieved with careful selection of catalyst and electrolyte. Major progress in electrochemical CO_2 reduction has been made to two-electron involved products such as CO and formate. It has shown that Cu is the only metal that forms hydrocarbons with significant Faradaic efficiency and it is desirable to generate beyond C_1 products for applications in chemical industry. The activity and selectivity of Cu depend on many factors, including the nature of the intermediates formed on open low-index surfaces, oxygen vacancies, oxidation states, subsurface oxygens, grain boundaries, and electric fields.

However the effect of atomic-level catalyst morphology, which accelerates electrocatalytic activity and selectivity toward the formation of C_{2+} products, has not been explored. In addition, it is important to note that product selectivity of such conversion can be accelerated by the electrolyte composition. Alkali-cations have direct influence on electrochemical CO_2 conversion in which increasing the size of mono-valent cations can increase the selectivity and activity to C_{2+} products.

[Water2-2 | 13:30] 초청강연

Computational Design of Electrochemical Catalysts for Small Molecule Activation: 김형준; 한국과학기술원(KAIST).

Keywords: 전산재료과학, 촉매재료, 에너지재료

The importance of electrochemical catalysts rapidly growing due to their wide applications in renewable energy conversion and storage. Based on the fundamental mechanism of the electrochemical catalysts, to understand, predict, and thereby design the electrochemical catalyst materials, we develop first-principles based multi-scale computational methods. In this talk, I will discuss our recent works demonstrating how the computational materials simulations can aid understanding the electrochemical systems and designing efficient catalyst materials for the applications in water electrolysis and CO_2 conversion technology. On the basis of our series works, we suggest design principles to realize efficient electrochemical catalyst materials. We expect this work to provide useful insights to guide the development of a feasible strategy for small molecule activation and energy conversion, which will help developing a sustainable carbon-controlled economy for the present and the future.

[Water2-3 | 14:00] 초청강연

Electrocatalytic CO_2 Reduction with Nanomaterials: 황윤진, 원다혜; 한국과학기술연구원(KIST).

Keywords: 전기화학적 이산화탄소 전환, 나노 입자, 일산화탄소, 에틸렌, 수소 생성반응, 선택성, 나노 계면

전기화학적 이산화탄소 전환 반응은 고부가가치의 탄소화합물을 생성할 수 있는 차세대 carbon utilization 기술로 각광받고 있음에도, 아직까지 이산화탄소 전환 반응의 메커니즘이나 활성자리에 대한 이해가 많이 부족하다. 특히 기술의 상용화를 위해서는 고성능의 이산화탄소 전환 촉매의 개발이 필요하며, 특히 물을 수소의 공급원으로 쓸 때 물이 직접 환원되어 수소가 생성되는 HER 반응을 억제하고 이산화탄소를 선택적으로 환원 하는 반응의 선택성 조절이 필수적이다. 이에, 나노구조화를 통한 경쟁반응 억제 전략이 많이 시도되고 있다. 특히, 촉매 소재의 나노 구조는 촉매의 intrinsic activity 뿐만 아니라 mass transfer limitation을 유도하여 상대적인 반응 선택성을 조절할 수 있음이 제시되고 있어 반응 조건에 따른 촉매 활성의 이해가 중요하다. 본 발표에서는 Cu, Zn 등을 이용한 금속 나노입자의 형상 제어 및 나노 계면 조절을 통해서 촉매의 활성이 어떻게 변화 될 수 있는지에 대해서 논의하고자 한다. 특히, 산화 구리 입자의 경우 이산화탄소 환원 반응 중에 구리 금속으로 환원되면서 형상 변화를 유도할 수 있는데, 이 과정에서 촉매의 활성이 향상될 수 있음을 보이고, 촉매 활성과 촉매 형상, 구리 산화 상태 사이의 상관관계를 살펴보고자 한다. 이러한 촉매의 이해는 이산화탄소를 환원하여 일산화탄소 또는 에틸렌 생성의 선택성을 향상시키는데 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

[Water2-4 | 14:30] 초청강연

Current Challenge in Design for Water Oxidizing Electrocatalysts: 남기태; 서울대학교 공과대학 재료공학부.

Water splitting is regarded as a promising step towards environmentally sustainable energy schemes. The oxygen evolution reaction (OER) requires extremely high overpotential due to its slow reaction kinetics. The water oxidizing cluster in photosystem II, in the form of cubical Mn_4CaO_5 cluster, efficiently catalyzes water oxidation. Inspired by Mn_4CaO_5 cluster, we previously identified a new crystal structure, $Mn_3(PO_4)_2 \cdot 3H_2O$, and demonstrated its superior catalytic performance at neutral pH. We revealed that structural flexibility can stabilize Jahn-Teller distorted Mn(III), and thus facilitate Mn redox during catalysis. Additionally, we verified influence of Mn valency and asymmetric geometry on water oxidation catalysis using $Li_2MnP_2O_7$ and its derivatives. Specific questions that we intensively focus for further applications include how to translate the underlying principles in Mn_4CaO_5 cluster into synthetic heterogeneous catalysts. Toward this vision, we have been developing a new catalytic platform based on sub-10 nm-sized MnO nanoparticles (MnO NPs) to bridge the gap between atomically defined biological catalysts, their metalloenzyme counterparts and the heterogeneous materials. In this approach, the local atomic geometry is controlled by the nitrogen surface modification by the specific ligand and the heterogeneous atom doping, that enhance the catalytic activity and selectivity. Furthermore, we detected key intermediate species, $Mn(IV)=O$, based on comprehensive electrokinetic and in-situ spectroscopic analysis. We revealed unique water oxidizing mechanism mediated by MnO different from bulk counterparts. Here, we further conducted electrochemical impedance spectroscopy (EIS) analysis to decouple and investigate various rate-controlling factors in the MnO NPs film during OER. We proposed the transmission line model with Havriliak-Negami function to obtain physical parameters indicated complex electrochemical process such as surface catalysis and electron transport. we revealed that protons are involved in transport on the surface of p-MnO NPs, explained the rationale for the optimum thickness and correlated the reaction rate constant (22.1 s⁻¹ for a 300-nm-thick film at 1.35 V vs. NHE) with the kinetic parameters obtained from electrokinetic analysis. Additionally, we theoretically studied entropic contribution to electrochemical kinetics from temperature controlled-analysis. From the analysis, we revealed that entropic contribution should be controlled by changing local geometry to improve the intrinsic catalytic efficiency.

[Water2-5 | 15:00]

Metal-Organic Frameworks derived Cobalt Disulfide Nanoparticles as Efficient Bifunctional Electrocatalysts for Overall Water Splitting: 안인경¹, 주원효¹, 이지훈², 김지용¹, 이기백¹, 주영창¹; ¹서울대학교 재료공학부, ²재료연구소 에너지융합소재연구센터.
Keywords: Water splitting, Electrocatalyst, Metal-organic frameworks

지난 수십 년 동안 화석 연료를 대체하고자 지속 가능한 에너지에 대한 연구가 지속적으로 증가하고 있으며, 그 중 수소는 가장 유망한 대체 에너지원 중 하나이다. 물 분해는 수소 생산에 있어서 가장 유망한 기술이지만 현재 수소 발생 반응인 hydrogen evolution reaction (HER)과 비교하여 산소 발생 반응인 oxygen evolution reaction (OER)의 느린 반응으로 인해 실제 적용이 쉽지 않다. 현재 Pt, Ir와 같은 귀금속이 가장 많이 사용되고 있으나 이를 대체할 필요가 있다. 또한 HER과 OER 촉매가 같은 전해조 내에서 반응해야 하기 때문에 동일한 전해질에서 높은 activity를 가지며 HER, OER이 모두 가능한 bifunctional electrocatalyst의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 cobalt 기반 황화물에 CoS, Co₉S₈, CoS₂ 등 다양한 상이 존재하지만 그 중 가장 bifunctional electrocatalytic activity가 우수하다고 알려진 cobalt disulfide (CoS₂)를 열역학 계산 결과를 기반으로 합성하였다. 또한 metal-organic frameworks (MOFs)를 통해 합성하여 높은 다공성을 가진 CoS₂를 합성하였으며 우수한 물 분해 activity를 보였다. 본 연구의 CoS₂는 MOFs 중 하나인 고상의 cobalt 기반의 Prussian blue analogues (PBAs)와 기상의 sulfur와 반응시켜 합성하였으며, 이를 사용한 전기 촉매는 뚜렷한 장점을 보여준다. 첫째, 합성된 CoS₂는 XPS, XRD 등의 분석 결과 높은 purity와 높은 결정성을 나타낸다. 또한 BET 측정 결과 915.60 m² g⁻¹의 넓은 표면적과 약 3 nm 수준의 pore를 가진 것을 확인하였다. 이러한 장점으로 인해 CoS₂ 전기 촉매는 linear sweep voltammograms (LSVs)를 통한 HER, OER의 overpotential (η)이 각각 10 mA cm⁻²에서 -196 mV와 295 mV를 보였으며, stability 또한 우수하다. 본 연구는 MOFs에 열역학적 계산을 도입하여 원하는 물질을 합성하였으며, 이는 촉매 성능 측면에서 Pt, Ir 등과 같은 귀금속을 대체 할 가능성을 보여주었다.

[Water3-1 | 15:25]

Solution-Based Low Temperature Photochemical Synthesis of BiVO₄ Photoanode for Practical Solar Water Splitting: Sang Yun Jeong, Won-June Lee, Myung-Han Yoon, Sanghan Lee; 광주과학기술원 신소재공학과.

Keywords: bismuth vanadate, oxide photoanode, sol-gel chemistry, photochemical synthesis, solar water splitting

Energy harvesting technology based on utilization of solar light has attracted much attention since the sun gives unlimited energy sources. Solar water splitting including photoelectrochemical (PEC) method is one of the promising techniques for the utilization of the solar energy and has unique characteristics that the solar energy can be directly converted to chemical fuels. Among various photoelectrode materials for PEC solar water splitting, bismuth vanadate (BiVO₄) is intensively investigated as photoanode in recent studies because of its low bandgap of 2.4 eV. In this field of research, it is well known that monoclinic scheelite phase of BiVO₄ must be achieved in order to realize the visible light hydrogen generation. However, high temperature annealing processes had been necessarily conducted for the synthesis of monoclinic BiVO₄ phase. As a result, it causes volatilization of Bi and formation of secondary vanadate phase, which frequently lead to fast charge recombination and poor charge transfer. In this research, we firstly reported on synthesis of monoclinic BiVO₄ film at low temperature by using solution-based photochemical method under irradiation of monochromatic deep ultra-violet light from excimer lamp (ELUV). The synthesized BiVO₄ shows photocatalytically active phase of monoclinic scheelite structure, which was confirmed by x-ray diffraction (XRD) and UV-vis spectroscopy, respectively. The PEC device employing the BiVO₄ film grown on glass substrate covered with F-doped tin oxide (FTO) exceeds 3.0 mA/cm² at 1.23 V versus the potential of the reversible hydrogen electrode (V_{RHE}) under AM 1.5G illumination, which is excellent value in comparison with previously reported single layer of BiVO₄ film synthesized by solution-based methods. In this presentation, the positive influence of ELUV light irradiation on the low temperature formation of monoclinic BiVO₄ are analyzed and discussed in terms of impurity elimination, nucleation, and crystallization by various analysis techniques including XPS, electron backscatter diffraction, and TEM.

[Water3-2 | 15:40]

Visualizing and Characterizing the Enhanced Photoelectrochemical Hydrogen Generation by an Atomically Thin Heterojunction Catalyst via Reducing Overpotential: 이재윤¹, 강성우², 이동훈¹, 최석훈², 양승훈¹, 김강원³, 김윤석¹, 권기창², 최수호⁴, 정현식³, 한승우², 장호원², 이철호¹; ¹고려대학교 KU-KIST 융합대학원, ²서울대학교 재료공학과, ³서강대학교 물리학과, ⁴동국대학교 물리학과.

Keywords: PEC, HER, TMD, catalyst, SPECM

Catalysts that can reduce a kinetic overpotential, a potential barrier for charge transfer from a solid-state electrode to a liquid-phase electrolyte, are necessary for the realization of efficient photoelectrochemical (PEC) hydrogen generation. Recently, atomic layered transition metal dichalcogenides (TMDCs) such as MoS₂ have emerged as a promising candidate for non-precious and earth-abundant catalysts. Considerable research efforts have been devoted to identifying the active sites such as atomic edges and vacancies in those layered materials and activating (or maximizing) such catalytic sites for efficient hydrogen evolution reaction (HER). In addition to the optimization of catalytic active sites, the photo-excited charges must be efficiently separated and transported from the photocathode to the electrolyte for further enhancement on the PEC performances. To achieve such a goal, many previous studies have attempted to utilize the heterojunctions that form the cascade alignment between the band edge of a semiconductor and the hydrogen reduction potential. In this respect, the capability to build atomically thin heterojunctions with the designed energy alignment using various

TMDCs with different band edges and work functions offers unexplored opportunities in optimizing the interfacial kinetics of photoelectrolysis. Nevertheless, it is difficult to exactly correlate PEC performance with the specific properties of the heterostructures and to study the corresponding HER mechanism due to ensemble averaging effects of various active sites. Here, we propose a novel strategy to reduce an overpotential by employing the atomically thin TMDC heterojunction as a HER catalyst. To prove our hypothesis, we newly develop the spatially-resolved PEC characterization platform using scanning photocurrent microscopy combined with a standard electrochemical measurement, allowing not only to visualize the enhanced PEC activity of the heterojunction catalyst but also to solely reveal their effects on HER without ensemble averaging effects of other extrinsic factors. Through the spatially-defined characterization under global illumination, we further confirm that the overpotential and charge transfer resistance at the interface can be significantly reduced by the atomically thin heterojunction catalyst. Our demonstration offers unprecedented opportunities not only to investigate the fundamental HER mechanism correlating with the tailored properties of a catalyst, but also to design highly efficient PEC cells.

[Water3-3 | 15:55]

Amorphous Multinary Phyllosilicate Catalysts for Electrochemical Water Oxidation: Byunghoon Kim¹, Ju Seong Kim², Kisuk Kang²; ¹서울대학교 재료공학부 대학원, ²서울대학교 재료공학부.

Keywords: Phyllosilicate, Electrocatalyst, Water splitting, Oxygen evolution reaction, Layered (oxy)hydroxides

The practical realization of a water-splitting system necessitates the development of high-performance oxygen evolution reaction (OER) catalysts. Despite tremendous research efforts aimed at identifying earth-abundant 3d transition-metal-based catalysts, their insufficient catalytic efficiencies continue to jeopardize their real-world application. Herein, we introduce amorphous cobalt-iron phyllosilicates (ACFPs) as highly efficient OER catalysts. The ACFPs were designed by tailoring the metal chemistry of the phyllosilicate framework and prepared using a facile room-temperature precipitation method. Structural characterization using X-ray diffraction, Fourier-transform infrared spectroscopy, and X-ray absorption spectroscopy revealed that the ACFP structure consists of laminations of silicate (SiO₄) layers and layered Co-Fe (oxy)hydroxide motifs. The OER properties of the ACFP series were also sensitively affected by the Co/Fe ratio, with an exceptionally low overpotential ($\eta \sim 329$ mV for a current density of 10 mA cm⁻²) delivered at the optimized composition of 40 at.% Fe. This catalytic efficiency is greater than that of the structurally analogous Co-Fe (oxy)hydroxide as well as those of pure Co phyllosilicate and pure Fe phyllosilicate, suggesting the beneficial role of the phyllosilicate framework along with the synergistic interplay of Co and Fe ions in the framework. Density functional theory calculations revealed that the introduction of Fe at the surface of Co phyllosilicate perturbs the local structural environment of oxygen sites, providing additional active sites. This work enables more rapid optimization of novel phyllosilicate-based OER catalysts and suggests a valid strategy for the design of high-performance catalysts by chemically tuning both the redox-active and redox-inert elements concomitantly.

[Water3-4 | 16:10] 초청강연

Heterogenization of Molecular Catalysts for Solar Water Oxidation: 류정기; 울산과학기술원.

Keywords: molecular catalysts, photoanodes, water oxidation, photocatalysis, catalyst immobilization

Photoelectrochemical (PEC) water oxidation has drawn great attention for decades as a key technology that enables the solar production of chemicals (Chem. Rev. 2010, 110, 6446; Chem. Soc. Rev. 2017, 46, 4645). Thus, there have been numerous efforts to unveil its underlying mechanism to obtain insights for the rational design and fabrication of efficient water oxidation photoanodes (Nat. Mater. 2017, 16, 70). Most promising photoanodes such as BiVO₄ and Fe₂O₃ suffer from low efficiency due to the rapid recombination of photogenerated charge carriers and sluggish water oxidation kinetics. Various heterogeneous water oxidation catalysts (WOCs) have been suggested to address these issues. However, it was recently reported that promising WOCs such as cobalt phosphate (CoPi) and NiOOH may act as a passivation and charge storing layer rather than WOCs (J. Am. Chem. Soc. 2012, 134, 16693; Energy Environ. Sci. 2015, 8, 577), suggesting that photoanode performances can be further improved by employing efficient molecular WOCs. In this presentation, I will review recent efforts on the tailored assembly of molecular electrocatalysts, which exhibit superior catalytic activity and have higher flexibility in their synthesis/design and integration with other materials than inorganic heterogeneous counterparts. This talk will cover four representative strategies for heterogenization of molecular WOCs: (1) covalent modification, (2) bottom-up self-assembly, and (3) physical confinement using host material, and (4) electrostatic assembly (Eur. J. Inorg. Chem., DOI: 10.1002/ejic.201801328). Then, I will present our progress over the past few years in the development of efficient water oxidation photoanodes using polyelectrolyte/molecular-catalyst multilayers (ACS Appl. Mater. Interfaces 2017, 9, 40151; Green Chem. 2018, 20, 3732; ACS Nano 2019, 13, 467; ACS Appl. Mater. Interfaces, DOI: 10.1021/acsami.8b20785).

[Water3-5 | 16:40] 초청강연

Design Strategies of Nanostructured Compound Electrodes for High-Performance Photoelectrochemical Water Splitting: Yung-Eun Sung, Jin Soo Kang; Seoul National University.

Keywords: water splitting, photoelectrochemistry, electrocatalysis

Petroleum-based vehicles have caused various environmental problems in populated areas, and internal combustion engines are being

replaced by electrical power supplies in diverse means of transportations. In these days, most of electric vehicles in markets employ lithium-ion batteries; however, there are steady demands for utilization of hydrogen fuel cells, because of superior energy density of hydrogen and significantly shorter charging time. Meanwhile, in order to realize energy cycle based on hydrogen, its sustainable production must be preceded, and photoelectrochemical water splitting has been regarded as a promising and environmentally benign method to produce hydrogen. In this talk, our recent strategies to design nanostructured compound electrodes for photoelectrochemical water splitting will be presented. In first part, we will demonstrate the effectiveness of multidimensional structure in photoelectrodes for oxygen evolution, especially for light harvesting and charge collection. Then, we will present our approaches to prepare highly active and durable electrocatalysts for hydrogen evolution, which include incorporation of three dimensional networks and deposition of carbon shells on the surface.

미래연구자석 심포지엄

Room 606, 4월 24일

[미래1-1 | 10:00] 초청강연

The Fourth Industrial Revolution and Future Permanent Magnets: 이우영; 연세대학교

Keywords: Permanent Magnet, Rare Earth, Nd-Fe-B, Motor, Automobile

A compelling need for high magnetic properties led to active consideration of rare-earth permanent magnets, which have been used in various applications such as communication, memory, and audio equipment. Since their discovery in 1984, high-coercivity sintered Nd-Fe-B magnets have found numerous practical and industrial applications, e.g., as components of actuators, motors, generators, robots, and wind power plants due to the rise of the fourth industrial revolution and problematic issues of air pollution and fine dust generation. In particular, demand for high-performance permanent magnets is rapidly increasing to meet the ever growing interest in the industry of environment-friendly automobiles (hybrid / electric vehicles). However, since the rare-earth magnets are expensive and have limitation in high-temperature applications such as an automobile motor, it is essential to develop a permanent magnet with reduced rare-earth concentration that can bear high temperatures. Consequently, several major corporations have established a high-performance permanent magnet research team and are pursuing new businesses. At this point of view, the present article reviews a summary of the history and the R & D trends of rare-earth permanent magnets that have been developed in the past.

[미래1-2 | 10:30] 초청강연Study on Fabrication of Anisotropic Nd-Fe-B Bulk Magnet Using HDDR Powder: Jung Goo Lee¹, Jae-Gyeong Yoo^{1,2}, Hee-Ryoung Chan¹, Youn-Kyoung Baek¹, Ji-Hun Yu¹, Yang-Do Kim², Hae-Woong Kwon³; ¹Korea Institute of Materials Science. ²Pusan National University. ³Pukyong National University.

The traction motors of hybrid and electric vehicles require permanent magnets with high coercivity and high maximum energy product. Currently, (Nd,Dy)-Fe-B sintered magnets has been used for traction motor due to the its outstanding magnetic properties. However, due to the resource problems of heavy rare earth (HRE) as Dy or Tb, HRE-lean or HRE-free high coercive Nd-Fe-B permanent magnets are demanded. Microstructure control such as grain size and grain boundary is necessary in order to increasing coercivity of magnets without HRE element. With regard to grain size, melt-spinning and hydrogenation–disproportionation–desorption–recombination (HDDR) are known as quite suitable method to decrease grain size down to the single domain size (~250 nm). The HDDR powder has coarser-grain compared to melt-spun powder though much smaller grain size than that of convention sintered magnet. Because of this relatively coarser-grain, the HDDR powder has an advantage during post-annealing as grain boundary diffusion process (GBDP), it can be treated at a relatively higher temperature compared to melt-spun powder. However, HDDR powder was used only for bonded magnet, though the fabricated bonded magnet has low maximum energy density. Thus, studies on sintering of HDDR powder are attracted attention for high performance HDDR magnet. Hot-deformation process has been used for the nano-crystalline powders in order to produce anisotropic bulk magnet. However, there were only a few studies examining the hot-deformation behavior of HDDR powder, whereas many studies have been done on that of melt spun powder. In this study, hot-deformation process was employed to fabricate anisotropic bulk magnet. And the melt-spun powder and HDDR powder were used as initial powder in order to examine the effect of initial grain size on hot-deformation behavior. The deformation behavior of nano-grained magnetic powder was investigated systematically as a function of the stain, strain rate and temperature in order to optimize the deformation condition. After the hot-deformation, the grain morphology was changed from sphere to platelet. And the coercivity and remanence decreased and increased with increasing strain, respectively. The high deformation temperature and slow deformation rate reduce the coercivity further, inducing the grain growth and non-uniform Nd-rich grain boundary. With regard to the grain size, the large grain of HDDR powder was difficult for deformation and aspect ratio of grain produced with HDDR powder was lower than that of melt-spun powder after hot-deformation. Based upon these results, we will discuss the possibility to produce anisotropic bulk magnet by hot-deformation process using HDDR powder instead of melt-spun powder.

[미래1-3 | 11:00] 초청강연Futuristic Nd-Fe-B-Type Magnet with Lower Operating Temperature (Electrically Highly Resistive Magnet): Hae-Woong Kwon¹, Min-Seok Kang¹, Kyung-Min Kim², Jung-Goo Lee², Ji-Hoon Yu², Kwang-Ho Shin³; ¹Pukyong National University. ²Korea Institute of Materials Science. ³Kyungsoong University.

Keywords: Nd-Fe-B magnet, electrical resistivity, coercivity, rotor magnet, operating temperature

Environment-friendly car, such as hybrid electric vehicle (HEV) and electric vehicle (EV), is expected to become a mainstay in car market in the foreseeable future. Being beating heart of the EV and HEV, the traction motor is mostly permanent-magnet (PM)-type thanks to excellent efficiency. Exclusively used rotor magnet of the traction motor is Nd-Fe-B-type by virtue of its superior magnetic performance, and the only fly in the ointment of the magnet is its low Curie temperature (T_c , ~ 310 °C). As operating temperature of the

rotor magnet in motor reaches as high as 150 to 200 °C, the low T_c is one of the biggest stumbling blocks in designing high performance PM motor. The operating temperature is by all means formidable given the low T_c of the magnet, and at such high operating temperature, magnetic performance of the magnet, in particular coercivity is radically reduced. With reduced coercivity, the magnet could be demagnetized in the worst case by the magnetic field from stator, hence leading to the higher likelihood of motor malfunction. Current approach for solving this problem is sufficiently enhancing room temperature coercivity of the magnet so as to still have enough coercivity at the operating temperature, but it has inevitable drawback of using scarce and outrageously expensive heavy rare-earth. Overly high operating temperature of the rotor magnet in traction motor is due largely to eddy current in the magnet generated during operation. As the Nd-Fe-B-type magnet is essentially metallic and hence has high electrical conductivity, eddy current is readily generated in the magnet by alternating magnetic field from stator slot ripples and windings. Enhancing electrical resistivity in the magnet can, therefore, have immense benefit for suppressing over-rise of operating temperature of the rotor magnet. In this presentation, suppression of eddy current generation, hence temperature-rise, in the Nd-Fe-B-type magnet under alternating magnetic field by enhancing electrical resistivity is to be discussed.

[미래1-4 | 11:30] 초청강연

First-Principles Study on Permanent Magnets: M. B. Hong¹, J. S. Park¹, Tuvshin Dorjsuren², Ochirkhuyag Tumentsereg², Dorj Odkhuu², Soon Cheol Hong¹; ¹University of Ulsan. ²Incheon National University.

Keywords: Permanent magnet, first-principles calculation, rare-earth, ThMn₁₂, Th₂Mn₁₇

A good permanent magnet must have large magnetization, high coercivity, thermal stability, high Curie temperature, and reduced cost. Optimization of the properties is so difficult that a new high performance permanent magnet has not been realized yet since discovery of Nd-Fe-B magnets even though some materials such as R₂Fe₁₇, R(Fe, M)₁₂, L1₀ Mn-based alloys etc. have been suggested. Here R stands for rare-earth elements and M does for transition metals. In this talk, first we will present what physical properties we should calculate by reviewing magnetic properties of a permanent magnet. Next, we will discuss our recent calculational results of Sm(FeCo)₁₂, FeCo, FeNi, FePt, and FePd alloys, and some Mn-based alloys. Finally, we will suggest the way how to have a new optimal permanent magnet based on fundamental physics. Supported by Future Materials Discovery Program (2016M3D1A1027831) through NRF funded by the Korea government (MSIT).

[미래2-1 | 13:30] 초청강연

Microstructures and Corresponding Magnetic Properties of Hexaferrite Nanopowders: Jin Bae Kim; LG Electronics.

Keywords: Hexaferrite, permanent magnets, coercivity

The development of a cheap hard-phase magnetic material has been extensively studied for years because of not only improving permanent magnetic properties but reduction the usage of high cost and limited rare-earth elements resources. Recently, the magnetic properties of hexaferrite magnetic nanopowders that possess high uniaxial magnetic anisotropy, high Curie temperature, good chemical stability, and low cost have attracted considerable attention due to their potential application to permanent magnets. Considering the fact that the enhancement of the coercivity of magnetoplumbite hexaferrites depends strongly on the nanopowders with different shapes, a shapes-dependent study is essential for a better understanding of the magnetic structures of hexaferrite nanopowders. Our study suggests that the coercivity enhancement strongly depends on the topological difference of the magnetic nanopowders.

[미래2-2 | 14:00] 초청강연

Improvement of Microwave Absorption Properties for Partially Zn-Substituted BaY-Type Hexaferrites: Sang-Im Yoo¹, Jae-Hyoung You², Sungjoon Choi², Seung-young Park³; ¹Department of Materials Science and Engineering Seoul National University. ²Seoul National University. ³Korea Basic Science Institute.

Hexaferrites have been reported to exhibit excellent microwave absorption properties in the composite samples with epoxy resin. For this study, polycrystalline samples having the compositions of $x = 0.5, 1.0, 1.5,$ and 2.0 in Ba₂Fe_{2-x}Zn_xFe₁₂O₂₂ (Ba₂Fe_{2-x}Zn_xY) were first synthesized, then composite samples were fabricated by embedding their powder into epoxy resin with various hexaferrite volume fractions of 30, 50, 70, and 90%, and finally microwave absorption properties were characterized in the frequency region of 0.5–18 GHz. Compared with Ba₂Zn₂Y ($x = 2.0$) composite sample having a full substitution of Fe²⁺ by Zn²⁺, the Ba₂Zn_xFe_{2-x}Y ($x = 0.5, 1.0,$ and 1.5) composite samples having the partial substitution of Fe²⁺ by Zn²⁺ exhibited larger complex permittivity values most probably due to an electron hopping between Fe²⁺ and Fe³⁺ ions. The initial static permeability values of the composite samples were increased with increasing x up to 1.0 and then decreased with further increasing x , which is similar to the behavior of their saturation magnetization (M_s) values. The most enhanced microwave absorption property was obtainable from the composite samples of 30 vol% Ba₂Fe_{2-x}Zn_xY ($x = 0.5, 1.0,$ and 1.5) powder-epoxy resin, suggesting that partially Zn-substituted BaY-type hexaferrites are promising candidates as the microwave absorber materials.

[미래2-3 | 14:30] 초청강연

희토산업현황 및 소성변형 자석: 김택수¹, 조주영²; ¹한국생산기술연구원 한리혁신센터. ²한국생산기술연구원 한국희소금속산업기술센터.

Keywords: Rare earth elements, coercivity, rare earth magnet, gas atomization, plastic deformation

REE-Fe-B 계 영구자석은 현재까지 발견된 자석 중 가장 우수한 자성특성을 가지고 있어 부품의 소형화, 경량화가 가능할 뿐 아니라 모터의 효율 향상 등이 가능하여 현재 전기자동차, 의료기기, 풍력발전, 모터 등 다양한 산업에 널리 사용되고 있다. REE-Fe-B 계 영구자석의 핵심 원소인 Nd, Dy 및 Tb은 매장량이 극히 적고 특히 높은 이방화계수를 가지고 있어 희토자석의 보자력을 향상시키는 역할을 하는 중희토류 원소 Dy 및 Tb의 경우 중국 남부에서만 생산되고 있기 때문에 자원 편중성이 심각하여 자원 공급이 매우 불안정한 실정이다. 따라서 현재 REE-Fe-B 계 영구자석의 연구는 우수한 보자력 및 최대에너지적 값을 가지면서 중희토류를 저감시키는 연구가 활발히 수행중이며 나아가서 중희토류를 완전히 제외하고 Nd를 Ce 및 La등으로 일부 대체하는 연구가 진행 중이다. 따라서 희토류 원소의 산업 현황 조사를 통해 향후 영구자석에 사용될 것으로 예측되는 희토류 원소의 산업 동향을 미리 확인한다면 향후 영구자석 연구 발전에 큰 기여를 할 수 있을 것이라 판단된다. 한편 현재까지 희토류 소결자석 제조 방법은 스트럼캐스팅 및 벨트스피닝 법에 국한되어 있다. 희토류 소결자석을 제조하기 위한 새로운 시도로써 가스분무를 통해 희토 자석 분말을 만들고 이를 이용해 자석을 제조하는 연구들이 시도되었으나 제조된 분말이 상대적으로 크고 등방성이기 때문에 자성특성이 기존 공정에 비해 현저히 낮아서 현재 본드자석으로만 일부 사용되고 있는 실정이다. 그러나 만일 가스분무를 통해 제조된 분말을 이용하여 소결자석을 제조한다면 기존공정에 비해 간소화 된 공정으로 자석을 제조할 수 있을 뿐 아니라 희토자석 제조의 새로운 방법을 제시할 수 있으므로 산업적으로 큰 효과가 있을 것이라 판단된다. 따라서 본 연구에서는 희토류 산업 현황 조사를 통해 희토자석 연구 방향 및 기대효과를 살펴보고, 가스분무된 희토자석 분말을 소결한 새로운 자석 제조공정을 소개하고자 한다.

[미래3-1 | 15:15] 초정강연

Development of next generation rare-earth-free L1₀-FeNi hard magnet: 임혜인; 숙명여자대학교

The aim of this study is to realize L1₀ FeNi phase with hard magnetic properties by annealing the amorphous alloy ribbon for a long time. Rare earth materials, which are currently used in the permanent magnet industry, have major problems such as unbalance of supply and demand and decrease of coercive force at high temperature. Development of non-rare-earth permanent magnet materials can be a solution to this. Among them, L1₀ FeNi with hard magnetic properties found in meteorites has high theoretical performance to replace rare earth permanent magnets, but it takes several hundreds of millions of years to form naturally. In this study, the new composition development method is combined with the process technology constructed in this laboratory to shorten the time required for the artificial L1₀ FeNi phase to several tens of days to realize a high-order non-rare-earth permanent magnet. We substitute Ni with atomic percent (at.%) corresponding to half of Fe in various compositions of soft iron-based amorphous alloys and find optimal heat treatment conditions to obtain a hard magnetic L1₀ FeNi phase at the minimum annealing time. Ultimately, we plan to develop a customized amorphous composition for the L1₀ FeNi phase implementation by adding other elements to the 1: 1 atomic percent composition of Fe and Ni.

[미래3-2 | 15:45] 초정강연

Challenging Issues for Next Generation Permanent Magnets: Jong-Woo Kim, Yang Yang, J. Park, J.T. Lim, C.-W. Ahn, Y. Min, G.-T. Hwang, C.-W. Ahn, J.-J. Choi, B.-D. Hahn, C.-J. Choi; KIMS.

Keywords: rare-earth free permanent magnet, MnBi, ThMn12, powder synthesis

Developments of new permanent magnets, especially rare-earth free candidates for the growing market demands are current emerging issues of industry and academic research as well. Among the rare-earth free permanent magnets MnBi magnets have attracted tremendous attention for its strong magneticcrystalline anisotropy, high energy product and positive temperature coefficient of coercivity. MnBi magnets have been mostly fabricated via so-called top-down process, i.e. starting from ingot casting or arc-melting to micro-sized crushed powder with long-period preparation processes. In this study, a novel 'Bottom-up' fabrication method for MnBi and its advantages will be discussed. A detailed optimization process and mass production of MnBi powder via bottom-up process which has advantages for industrial applications will be emphasized. In addition, structural and magnetic property variations according to the transition metal elements addition for instance Fe, Ga and Sn to enhance MnBi's magnetic property and notably, fabrication and magnetic properties of ThMn12 phase permanent magnetis will also be discussed in detail in a perspective of next generation permanent magnet markets.

[미래3-3 | 16:15] 초정강연

Visualizing the magnetic structures in a Scanning Transmission Electron Microscopy: 최시영; 포항공과대학교 신소재공학과

Keywords: Differential Phase Contrast, STEM, Magnetic domain

Even though the differential phase contrast (DPC) in scanning transmission electron microscopy (STEM) was proposed in the 1970s, the DPC in STEM has not been widely spread so far due to its technical difficulties, huge cost, and limitation of materials system (electric and magnetic materials) applicable to DPC. DPC in STEM becomes attractive with several reasons: (1) increasing importance of nanoscale electric/magnetic devices, (2) less analysis complication in the combination of DPC and STEM in terms of the phase contrast, (3) technical feasibility due to the aberration corrector and sensitive STEM detectors, and so on. In order to extract DPC information from the sample, it is necessary to utilize the segmented quadrant STEM detector or the pixelated CCD detector so that we can identify the direction of the scattered electrons passed through the specimen. In the case of sample without the internal field, the

electron beam disk is not deflected. In contrast, the samples having an internal field via the electric or magnetic domains deflect the electron beam disk by means of the electric potential or Lorentz force; and accordingly, DPC start to appear. In this presentation, I briefly introduce what DPC is and what can be done by DPC.

적층제조 및 분말

Room 607, 4월 24일

[적층-1-1 | 09:00]

Inconel 718 합금 Selective Laser Melting 공정 조건별 열잔류응력, 미세구조 및 기계적 특성 연구: 박정현¹, 김원래¹, 방경배¹, 이기안², 김형균*¹; ¹한국생산기술연구원 강원지역본부, ²인하대학교 신소재공학과.

Keywords: Selective laser melting, Inconel 718 alloy, Thermal residual stress, Microstructure, Mechanical property

Inconel 718 합금은 Ni기 Super alloy로써 내열성, 내식성, 고온 강도 등 고온에서 특성이 우수하여 항공우주산업과 에너지 플랜트 산업에 많이 사용되고 있다. 최근에는 복잡한 형상 구현과 생산 공정 과정의 효율성을 위하여 금속 적층성형제조기술 (Additive manufacturing, AM)을 접목시켜 Ni기 Super alloy의 부품 생산에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 AM 공법 중 하나인 Powder bed fusion (PBF) 방식의 Selective laser melting (SLM)을 이용하여 Inconel 718의 SLM 공정을 연구하였다. SLM 공정은 내부 구조 설계가 가능하고, 높은 정밀도와 표면 조도 등의 장점이 있으나 열잔류응력에 의한 시편의 변형 및 파손이 발생하는 문제점이 있다. 본 연구에서는 Inconel 718의 완전용융 에너지 밀도를 도출하여 레이저 파워(80~480 W), 주사속도(483~2903 mm/s)의 공정 변수를 설계하여 base plate 온도(50, 100, 150°C)에 따른 고밀도 공정 조건을 확보하고, 최적 시편의 특성 평가를 수행하였다. 특히, 고밀도 공정 조건의 시편에 대해 온도 변화에 따른 미세구조와 상, 기계적 특성 및 열잔류응력 변화를 측정하여 비교 분석하였다.

[적층-1-2 | 09:15]

Stainless Steel 316L의 고밀도 시편 제작을 위한 Selective Laser Melting 공정의 에너지 밀도 및 에너지 밀도에 따른 기계적 및 화학적 특성 변화 연구: 방경배¹, 김원래¹, 박정현¹, 현승균², 김형균¹; ¹한국생산기술연구원, ²인하대학교.

Keywords: Stainless steel 316L, SLM, mechanical properties, chemical properties

Stainless steel 316L (SUS316L) 합금강은 강도가 우수할 뿐만 아니라, 내식성과 내열성이 뛰어나, 생활 용품, 악세서리, 의료 부품, 공업용 부품 등 많은 분야에 쓰이는 금속 중 하나로써 selective laser melting 분야에서 많이 연구되고 있다. SLM 공정에 대하여 다양한 공정 변수에 따른 상대 밀도, 기계적 특성, 미세구조 및 결정구조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 대부분의 연구 범위가 매우 한정적인 SLM 공정 조건에서 진행되어 보고되고 있다. 본 연구에서는 공정 변수로 파워의 범위를 80 ~ 480W로 넓은 영역을 조사하였으며, 고밀도 시편 제작을 위하여 소재의 완전 용융 에너지를 계산하여 고밀도 시편을 제작하기 위한 SLM 공정 조건을 설계하였다. 또한, 고밀도 시편의 레이저 에너지 밀도에 따른 SLM 공정 변수 변화가 물리/화학적 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 에너지 밀도 차이에 따른 SUS316L 시편의 미세구조와 상대밀도 및 기계적 특성을 평가하고, 산소 및 질소 등 경원소의 화학적 조성 변화와 원인을 함께 비교 분석하였다. 본 연구를 통해 과한 에너지밀도에 따른 결함의 형성부터 적정 에너지밀도 범위 내에서 미세조직과 화학적 조성의 변화에 따른 기계적 특성 변화까지 SLM을 활용한 SUS316L의 다양한 특성 제어 가능성을 확인하였다.

[적층-1-3 | 09:30]

전자빔 적층가공한 Inconel 718 초합금의 적층방향 의존성((Dependence of Build Direction in Electron-Beam Additively Manufactured Inconel 718 Superalloys): 박근태¹, 이해진¹, 정석준¹, 하태권², 민석홍², 이병수¹; ¹한국생산기술연구원 적층성형가공그룹, ²강릉원주대학교 신소재공학과.

Keywords: 적층가공, 전자빔적층가공, Inconel 718, 적층방향, 방향성 응고조직

EBAM (Electron-Beam Additive Manufacturing)은 수십 μm 단위의 Layer를 수회 반복 적층하여 3차원 구조의 부품을 제작하는 방법이기 때문에 미세조직을 포함한 기계적 특성에 미치는 적층방향의 의존성이 매우 크다. 따라서 본 연구에서는 EBAM을 이용하여 Inconel 718 초합금을 적층하였으며 적층방향(Built direction, BD)에 따른 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 영향을 연구하였다. 적층방향과 시편의 Z 축 사이의 각도는 0°, 15°, 45°, 90°이며 미세조직 분석을 위해 SEM, EBSD, TEM, APT를 이용하였다. 또한 고온 기계적 특성을 평가하기 위해 650 °C 에서 고온인장시험과 크립시험(하중 700 MPa)을 수행하였다. 모든 결정립의 방향은 적층방향과 평행하게 발달되어 있으며 강한 $[0\ 0\ 1]_Y$ 집합조직을 가지고 있다. 시편의 Z 축의 각도가 증가할수록 $[0\ 0\ 1]_Y$ 집합조직의 강도는 감소하였으며 용융되지 않은 금속분말들(unmelted powders)이 기지에 잔존하고 있다. 정렬된 수십 nm 크기의 석출물들이 결정립 내부 및 결정립계에 존재하고 있으며 모두 정방정계의 γ'' (Ni_3Nb) 상으로 확인되었다. 적층방향과 평행한 시편은 우수한 강도(1.0 GPa)와 크립 성능(420H)을 나타내었다. 시편의 Z 축의 각도가 증가할수록 강도와 크립 성능은 크게 감소하였다.

[적층-1-4 | 09:45]

선택적 레이저 용융 기법으로 제조한 316L 스테인리스 강의 미세구조 및 기공이 기계적 이방성에 미치는 영향 분석: 전진명¹, 박정민¹, 유지훈², 김정기¹, 성유진¹, 박선홍³, 김형섭¹; ¹포항공과대학교 신소재공학과, ²한국재료연구소 분말/세라믹연구본부, ³포항산업과학연구원 재료/공정연구소

Keywords: 선택적 레이저 용융 기법, 316L 스테인리스 강, 기공, 기계적 이방성

본 연구에서는 선택적 레이저 용융 기법으로 제조한 316L 스테인리스 강의 이방성 및 비대칭 기계적 거동을 다양한 방향의 인장

및 압축 시험을 통해 실험적, 이론적으로 분석하였다. 미세 조직 및 내부 결함의 영향으로 중요한 이방성 및 비대칭 거동이 관찰되었으며, 인장 거동에서는 응력 수준과 연신율에서 심각한 이방성이 발견되는 반면, 압축 거동은 하중 방향에 따라 다소 다른 항복 강도와 변형 경화성을 나타내었다. 실제 미세 구조를 기반으로 한 유한 요소 시뮬레이션을 통해 기공 모양이 기계적 이방성 및 비대칭의 주요 원인을 확인하였다.

[적층1-5 | 10:00]

정전 분체 코팅 공정을 이용한 Austenitic Stainless Steel Foam의 제조 및 상온 압축 거동: 강태훈¹, 김규식¹, 윤종열², 이민정², 김병기³, 이기안^{*1}; ¹인하대학교 신소재공학과, ²재료연구소, ³울산대학교

Keywords: Electrostatic Powder Coating Process, Metallic foam, Austenitic stainless steel, Compressive deformation, Energy-Absorption Properties

정전 분체 코팅 공정(electrostatic powder spray coating process)은 정전기력을 이용한 금속 다공성 소재 제조용 코팅 공정으로서 폴리우레탄에 합금 분말 적층이 가능하고 도포(spray)와 열처리만으로 금속 다공성 소재를 near-net shape로 제조할 수 있다는 큰 장점을 가진다. 본 연구에서는 정전 분체 코팅 공정을 이용하여 316L 스테인리스강 폼을 제조하고 구조, 미세조직적 특징과 상온 압축 특성에 대해 조사하였다. 상기 다공성 금속을 제조하기 위해 cell size 7000 μm 를 가지는 polyurethane pre-form에 316L 스테인리스강 합금 분말을 도포한 뒤 소결하였다. 소재의 상대 밀도(relative density)는 분말 도포량의 공정 조건에 따라 0.044, 0.057, 0.07로 균일하게 증가하였으며, 평균 cell size는 transverse direction 기준 4637 μm , 4576 μm , 4096 μm 로 감소하는 경향을 보였다. 즉 분말 도포량이 증가하면서 strut thickness가 두꺼워진 결과를 나타내었다. Strut 단면은 렌즈 형상을 가지고 있었으며, 상 분석 결과 austenite 단상으로 구성되어 있었다. 상온 압축 실험은 변형률 속도 $10^{-3}/\text{s}$ 로 설정하여 수행하였으며, 상온 압축 실험 결과 공정 조건에 따라 0.48 ~ 1.23 MPa의 압축 강도를 나타냈다. 상온 압축 곡선의 형태는 metallic foam의 압축 곡선에서 나타나는 전형적인 plateau, densification 거동을 나타내었다. 파단된 시편의 표면을 관찰한 결과 strut의 node 부분에서 균열이 생성되었으며 이와 함께 입계 파괴 거동도 확인할 수 있었다. 상기 결과들을 토대로 정전 분체 코팅 공정을 이용한 316L 스테인리스강 폼의 성공적 제조 가능성을 확인하였으며 그 변형, 파괴 거동도 함께 토의하고자 하였다. [본 연구는 산업통상자원부의 전략적 핵심소재 기술개발 사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.]

[적층1-6 | 10:15]

Investigation on Meltpool Oxidation and Its Effect on Mechanical Property in Powder Feed Type Additive Manufacturing:

어두림¹, 박순홍², 조중욱¹; ¹포항공과대학교 철강대학원, ²포항산업과학연구원(RIST).

Keywords: melt pool oxidation, shielding gas flow rate, oxide inclusion, laser metal deposition, additive manufacturing

In metal additive manufacturing, melt pool oxidation is inevitable due to its high temperature, which results in finely dispersed non-metallic inclusions in the steel matrix. To reveal the oxidation mechanism and the effect of inclusion characteristics on the mechanical property, two group of samples with different laser beam intensity were fabricated under different shielding gas flow rate using a gas atomized 316L stainless steel powder. As shielding gas flow rate varied from 5L/min to 25L/min, oxygen contents in the melt pool changed from 775ppm to 375ppm in low beam intensity group, from 1470ppm to 677ppm in high beam intensity group. There were optimum conditions of shielding gas flow rate for the tensile property. As inclusion number density varied from 8866/mm² to 45909/mm², yield stress increased from 242MPa to 304MPa. A rapid drop in ductility occurred in the case of 5L/min high beam intensity sample, in which separately nucleated spinel accelerated inclusion coalescence in the melt pool. It was found that the variation in oxygen contents affected melt pool shape and solidification texture as well as mechanical property of the material.

[적층2-1 | 10:40]

원전 안전등급 밸브 적층제조와 표준 인증 활동: 강석훈¹, 이창규¹, 이원희², 박남규³, 안희성⁴; ¹한국원자력연구원, ²(주)삼신, ³한전원자력연료(주), ⁴(주)비즈

Keywords: Nuclear materials, Metal additive manufacturing, 3 inch control valve, Reverse engineering design

금속 3D 적층제조는 아무리 복잡한 구조라도 제작이 가능하고 큰 비용이 들거나 품질 하락의 요인이 될 수 있는 세부 조립 과정을 생략할 수 있다는 장점이 있고, 특히 설계 수정에서 제작까지 시간을 단축할 수 있고 소재 사용량을 아낄 수 있는 점이 큰 매력이다. 원자력 분야에서도 금속 3D 적층제조 분야는 큰 수요를 창출할 분야로 여기고 있으며, 이는 원자력 발전소의 수명이 다하고 새로운 노형으로 변화해 갈수록 기존에 주조 및 기계가공으로 대량 생산하던 부품들의 공급에 한계가 생겨 점차 다품종 소량 생산에 대한 요구가 커질 것이기 있기 때문이다. 해외원자력 선도 기업인 Westinghouse Electric Company LLC. (WEC), Global Nuclear Fuels-Americas, LLC (GNF), Electric Power Research Institute 등에서도 적층제조법을 이용해 원자력 핵심 부품들을 생산하는 연구에 대해 활발한 연구가 진행되고 있다. 한국 원자력 연구원 (KAERI)에서는 원자력 안전 1등급 밸브부품 제작에 적층제조법을 적용하는 연구에 주력하고 있다. 역설계를 기반으로 하여 기존의 부품들의 도면이 부재한 상황에서도 효과적으로 부품을 제작하는 기술을 활용할 것이며 제품의 표준화 인증 작업을 통해 실제 활용될 수 있는 가능성을 높이려 한다. 크기가 3 인치 미만의 다품종 소량 밸브 부품들을 제작하고 그의 최적 공정에 대한 변수들을 도출하며 부품 제작 방안에 대한 효과적인 Data Base를 구축하여 표준화 및 인증을 수월하게 할 것이다. Korea International Working Group의 지원 협력에 근간하여 향후 수년간 원전 부품의 ASME Code 인증을 받기 위한 활동을 진행할 예정이며, 원전부품으로의 실제 적용을 앞당길 것이다.

[적층2-2 | 10:55]

발전용 가스터빈 부품 제조를 위한 금속적층제조공정 특화설계 및 공정변수 개발: 신영호, 조현철, 이재용; *두산중공업(주) 소재기술개발팀.*

Keywords: 금속적층제조기술, 3D프린팅, Metal AM, 가스터빈, Gas Turbine

금속적층제조기술은 항공우주 분야 고부가가치 부품을 중심으로 최근 급속하게 확산되고 있다. 두산중공업은 발전 플랜트 부품을 금속적층제조기술로 제작하기 위해서 해당 기술을 개발하고 있으며, 우선적으로 가스터빈 부품 제작을 목표로 한다. 금속적층제조기술의 장점은 성능 향상, 제조단가 절감, 제작기간 단축 등이다. 그런데, 기존 기계가공 설계부품을 금속적층제조기술로 제작할 경우, 상기 기술한 장점을 확보하기 어려울 뿐만 아니라 오히려 단가가 상승하거나 제작기간이 늘어날 수도 있다. 금속적층제조기술의 장점을 확보하기 위해서는 설계를 필수적으로 개선해야 하는데, 이러한 접근을 DfAM (Design for Additive Manufacturing)이라고 부른다. 두산중공업은 설계-공정 간 협업체계를 구축하여 DfAM을 수행해오고 있다. DfAM을 통해서 기존에 여러 개의 부품을 조립하던 부품을 일체형으로 설계하거나 가공을 최소화하여 제조단가를 절감하고 제작기간을 단축할 수 있다. 또한 기존 가공방식으로는 제작이 불가능한 DfAM을 도출함으로써 부품의 성능도 향상시킬 수 있다. 부품의 제작성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 DfAM과 동시에 AM (Additive Manufacturing) 공정변수를 반드시 개발해야 하는데, 두산중공업은 부품, 소재 별 AM 공정변수를 개발하여 가스터빈 부품 제조에 적용하고 있다.

[적층2-3 | 11:10]

전자빔 적층가공으로 제조한 순수 티타늄 다공성 소재의 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 예열공정의 영향: 정석준¹, 박근태¹, 이해진¹, 김윤준², 이병수¹; ¹한국생산기술연구원, ²인하대학교 신소재공학과.

Keywords: Additive Manufacturing, Electron-beam melting, commercially pure titanium implants, Fe-Ti precipitation, Preheating process

전자빔 적층 가공 (EBAM; electron beam additive manufacturing)은 전자빔을 열원으로 하는 PBF (powder bed fusion) 방식의 적층가공방법으로 Layer간의 예열공정으로 인해 6000 mm/s 이상의 고속적층에서도 열적 잔류응력을 최소화 가능하다. 더욱이 예열공정의 역할은 단순히 열적 잔류응력의 제어뿐만 아니라 조형체 내부의 미세조직 및 석출상의 유도가 가능하다. 본 연구에서는 EBAM을 이용하여 다공성 순수 Ti 조형체를 제조하였으며 예열공정에 대한 영향을 알아보기 위해 예열공정 횟수를 변화하였다. 내부 결함분석을 위해 SEM을 이용하여 미세조직을 관찰하였으며 정량적인 기공률 측정을 위해 micro-CT를 이용하였다. 석출상 분석을 위해 EPMA 와 TEM을 이용하였다. 또한 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 상온에서 압축 강도를 동일조건으로 제조한 시험편으로 5회 측정하여 평균 압축강도를 계산하였다. TEM 분석결과 입계에 침상의 Fe-Ti4 석출상들이 다수 관찰되었다. Fe-Ti상은 예열공정 횟수가 증가할수록 압축강도가 크게 상승하였으며 입계를 따라서 석출상의 크기가 평균 약 0.85 μm 에서 2.38 μm 로 증가하였다.

[적층2-4 | 11:25]

전자빔 적층가공으로 제조한 Rene80 초합금의 미세조직 및 기계적 특성에 대한 연구: 이해진¹, 정석준², 박근태², 이병수¹; ¹한국생산기술연구원, ²인하대학교 신소재공학과.

Keywords: 전자빔 적층성형가공, Rene80, 초합금, Balling, Beam Focus Offset

Ni가 초내열 합금의 용접성은 Al과 Ti의 함량이 증가할수록 저하하기 때문에 수십 μm 높이의 금속분말 layer를 용융, 응고하여 3차원 형상의 부품을 제조하는 적층공정에서는 적층속도를 감소시키는 원인으로 작용한다. 본 연구에서는 전자빔적층가공(EBAM, Electron Beam Additive Manufacturing)방법을 이용하여 25mm(x) × 25mm(y) × 25mm(z)의 크기의 Rene80 조형체를 제작하였으며 적층속도를 향상시키기 위해 Beam Focus Offset을 높게 하여 제조하였다. 미세조직 분석을 위해 광학현미경, SEM을 이용하였으며 상분석을 위해 EPMA, APT를 활용하였다. 또한 조직의 방향성을 확인하기 위해 EBSD를 이용하여 적층방향에 대한 의존성을 확인하였다. 기계적 특성평가를 위해 경도, nano-indentor를 이용하였다. 미세조직은 적층방향과 평행하게 Columnar grain들이 형성되어있으며 입계에 boride상과 MC 상들이 존재하고 있으며 입내에서는 미세한 MC상과 수nm 크기의 γ' 석출상들이 균일하게 존재하고 있다.

[적층2-5 | 11:40]

Effect of Process Parameters on Crystallographic Texture Formation of Pure Tantalum Fabricated by Selective Laser Melting: Jong-Yeong Oh, Takuya ISHIMOTO, Takayoshi NAKANO; *Osaka University.*

Keywords: Additive Manufacturing(AM), Selective Laser Melting(SLM), pure Tantalum, Process parameter, crystallographic texture

Selective laser melting (SLM) is additive manufacturing (AM) process that can produce functional parts with a complicated 3D structure in refractory metals. The fabrication of refractory metals has been recently investigated as their texture can be controlled by developing functionalized materials due to the energy density of laser beams that are high enough to melt refractory metals such as tantalum. Tantalum is a rare metal that belongs to the group 5A elements and exists in a body centered equilibrium phase (α -Ta) and the metastable tetragonal (β -Ta) phase. It exhibits, a high density (16.69 g/cm³), high melting point (2996 °C), good resistance to oxidation and biocompatibility. Because of these characteristics, tantalum is used in a variety of fields such as aerospace, biomedical and electron devices. In this study, in order to evaluate the tantalum used to high-temperature heat resistance parts, the influence of process parameter on the tantalum crystallographic texture is investigated. Tantalum powders with a purity of 99.9% or more and a particle size of less than 45 μm were used in the experiment. The specimens were produced in the shape of a 10 mm cube. The specimens corresponding to each condition were prepared using the SLM device by scanning laser in both directions along the x axis while adjusting the beam power and scan speed. The crystallographic texture and microstructures were analyzed by EBSD, SEM, and OM. We tried to find process

parameters for formation of various aligned texture in SLM. We achieved nearly fully dense pure tantalum parts more than 99.5 percent. Also, variously aligned texture parts successfully achieved under the condition of high energy density and low energy density. Furthermore, crystallographic texture formation of pure tantalum was thought to be related energy density.

[적층3-1 | 13:00]

적층된 용융풀(melt pool)의 형상 및 결함의 분석 및 예측을 위한 기초 연구: 최윤석¹, 이슬비¹, 김재웅¹, 홍재근², 신동원³; ¹부산대학교 재료공학부, ²재료연구소 타이타늄연구실, ³Oak Ridge National Laboratory.

Keywords: Powder bed fusion (PBF); Melt pool; Machine learning; Finite element modelling; Defects

Powder bed fusion (PBF) 방식으로 적층된 Ti 4822와 Alloy 718 단일 트랙 용융풀의 형상 및 결함의 분석 및 예측을 위한 다양한 기초 연구를 수행하였다. 우선, 용융풀 형상 예측을 위한 열 기반 유한요소해석을 통해 레이저 열원 모델의 투과 깊이와 에너지 흡수도의 변화에 따른 예측 결과의 민감도를 조사하였으며, 기계학습(machine learning)법을 이용하여 용융풀 형상에 미치는 주요 공정 및 소재 파라미터를 파악하였다. 또한, 단일 트랙에서 형성되는 결함의 형태를 공정 변수 별로 분석하고 이의 예측을 위한 모델링 접근법을 고찰하였다.

[적층3-2 | 13:15]

Powder Bed Fusion (PBF) 공정으로 형성된 용융풀(Melt Pool) 해석을 위한 열원 모델의 투과 깊이 및 흡수도의 영향: 김재웅¹, 이슬비¹, 홍재근², 최윤석¹; ¹부산대학교 재료공학과, ²재료연구소 타이타늄 연구실.

Keywords: Powder bed fusion (PBF) technique; Finite element method (FEM); Melt pool; Penetration depth; Absorptivity

3차원 적층 제조 공정으로 제조된 제품의 신뢰성 및 안정성을 예측하기 위해 실험뿐만 아니라 전산 해석에 관해서도 많은 연구가 이루어져 왔다. 특히 layer-by-layer 로 적층되는 PBF 공정 해석을 위해 기초 단계인 용융풀에 관한 선행 연구들이 존재해 왔지만, 기존 연구에서는 공정 조건에 따라 열원 모델의 투과 깊이와 흡수도를 일정하게 사용했기 때문에 고에너지 밀도에서 발생하는 키홀(keyhole) 현상으로 인한 깊은 용융풀을 해석하는 것에는 어려움이 있었다. 따라서 본 연구에서는 PBF 공정 조건별 형성된 Alloy 718 의 용융풀 크기를 예측하기 위해 열원의 투과 깊이와 흡수도를 공정 조건에 관한 함수로 두고 FEM 해석을 진행하였다. 먼저 해석의 정확성을 위해 요소 밀도와 잠열, 분말 열 전도도에 대하여 기초적인 연구를 진행하였다. 또한 공정 조건에 따른 열원 모델의 투과 깊이와 흡수도는 실험을 통해 얻은 용융풀의 폭과 깊이를 기준으로 경험적으로 도출하였다. 앞선 결과를 기반으로 (i) 기존 연구 방식과 (ii) 투과 깊이와 흡수도를 공정 조건에 따른 함수로 둔 경우에 대한 해석 결과를 실험 결과와 비교 및 고찰하였다.

[적층3-3 | 13:30]

Machine Learning 을 이용한 용융풀 (Melt-pool) 예측에 관한 기초 연구: 이슬비¹, 김재웅¹, 홍재근², 신동원³, 최윤석¹; ¹부산대학교 재료공학부, ²재료연구소 타이타늄연구실, ³Oak Ridge National Laboratory.

3차원 적층 제조 (Additive manufacturing, AM) 에 있어서 용융풀 (melt-pool) 형상 이해는 결함 생성과 응고 거동과 같은 현상을 이해하는데 있어 필수적이며, 1 차적인 적층성 판단 기준으로서 최종 제품의 특성과 밀접한 관련성을 가지기 때문에 그 중요성이 크다. 이러한 측면에서 Machine learning 과 correlation analysis 를 도입하여 powder bed fusion (PBF) process 의 용융풀 형상에 관한 기초 연구를 실시하였다. 실험적으로 Alloy 625 와 Alloy 718 합금 분말을 이용하여 공정 조건 별 단일 트랙을 적층하였다. 단일 트랙에서 관찰되는 용융풀 형상을 정의하였고, 이를 측정하여 데이터베이스를 확보하였다. Correlation analysis 를 통해 소재, 분말, 공정 조건을 입력 변수로 하여 용융풀 특징 및 형상과 가지는 상관관계를 분석하였다. 특히, Correlation analysis 를 통해 각 용융풀 형상에 영향을 미치는 주요 변수를 선정하였다. 이를 이용하여 Machine learning training 을 실시하여 용융풀 형상을 예측하였고, 그 결과를 고찰하였다.

[적층3-4 | 13:45]

PBF 공정에서 거계 비정질 소재의 선택적 상제어를 위한 입열량 변수 실험: 오지원¹, 나현웅², 남산¹, 최한진³; ¹고려대학교, ²연세대학교, ³한국생산기술연구원.

Keywords: 비정질 금속, 적층식 제조, 상제어, Powder Bed Fusion

비정질 금속(Bulk Metallic Glasses; BMG)은 높은 항복강도, 파괴강도, 탄성변형, 내식성 등의 고유한 특성을 가지고 있어 지금까지 활발한 연구가 진행 되어 왔다. 그러나 BMG는 용점 이상의 액상상태에서 임계냉각속도 이상으로 냉각 되는 경우 생성되므로, 상온에서 열역학적 불안정한 상태이기에 상업적으로 제품화 하기에는 제품화 제조 기술의 한계로 그 크기와 형상의 제약이 있다. 반면에 최근 제품화 제조기술에서 큰 주목을 받고 있는 적층식 제조(Additive manufacturing; AM) 공정기술은 디자인의 자유도가 높고 가공에 소비되는 공구와 공정 손실이 적다는 장점이 있으나, 사용 소재의 재사용 및 멀티 특성을 요구하는 위치 선택성 등의 문제로 다품종소재를 활용하여 복합특성을 갖는 제품을 제작 하기 어려운 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 BMG와 AM을 활용하여 실제 공정은 얇은 한층씩 적층하기 때문에 BMG의 제품화의 제한이 되는 냉각속도를 해결 할 수 있는 레이저를 열원으로 하는 AM 공법인 Powder Bed Fusion(PBF)으로 해결하면서, 동시에 복합소재사용이 제한적인 PBF 공정에서 입열량을 변수로 한가지 소재에서 두가지의 서로 다른 특성을 갖는 BMG의 결정상과 비정질상을 선택적으로 제어하여 복합화 하기 위한 실험을 진행 하였다. 공정중 입열 부위의 실제 온도 및 냉각 속도를 실시간으로 체크 하는 것은 매우 어렵기 때문에 본 실험은 비정질 빌드 플랫폼을 형성 시킨 후, 그 위에 레이저를 이용하여 출력과 스캔속도를 변수로 리모델링 입열량을 다르게 하여 냉각속도를 제어하여 선택적으로 비정질 혹은 결정상이 제어 되는지 확인하는 실험을 진행 하였다.

[적층3-5 | 14:00]

효과적인 금속 적층제조 공정 모니터링을 위한 딥러닝 기술의 적용: 권오현, 김형균, 김원래, 함민지, 김건희; 한국생산기술연구원

Keywords: 적층제조, 모니터링, 딥러닝

금속 적층제조 기술은 무게경량 설계, 부품 수 감소, 맞춤형 제품 등의 장점이 극대화되는 의료, 항공, 자동차, 발전 산업 분야를 중심으로 성장하고 있으나, 매 층마다 공정이 진행되므로 제품 성능 저하의 원인인 내부 기포나 결함이 발생할 확률이 높아서 공정 모니터링이 매우 중요하다. 따라서, 제품 및 공정 신뢰도를 보장할 수 있는 제품의 합격, 불합격 판단 기준으로 활용 가능한 모니터링 기술이 필요하다. 본 연구는 동축 용융풀 이미지 촬영장치가 설치된 PBF 방식의 WINFORSYS Metalsys장비를 활용하여 공정 모니터링 기술 개발을 진행하였다. 100 W 부터 350 W까지 총 6개의 레이저 파워로 SUS316L 소재의 적층제조하였고, 공정 중 발생하는 용융풀 이미지를 각 파워 당 22,000개씩 수집하였다. 레이저 파워 별 용융풀 이미지를 분류할 수 있는 모델을 다층퍼셉트론 네트워크를 활용하여 개발하였고, 전체 13,200개의 테스트 이미지에 대해 98% 이상의 분류 성공률을 보였다. 또한, 컨볼루션뉴럴네트워크를 활용하여 별도의 알고리즘 없이 학습된 모델에서 용융풀 이미지 내 중요정보를 포함한 영역만 추출할 수 있음을 확인하였다. 이러한 딥러닝 기술을 금속 적층제조 공정 모니터링에 활용하여 공정 중 발생한 오류를 조기에 탐색 가능하여 최종 제품의 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

[적층3-6 | 14:15]

Rapid Alloy Screening of Co- and Ti-based Alloy Using Direct Laser Deposition Process: Gwanghyo Choi, Jae-Uk Han, Won Seok Choi, Pyuck-Pa Choi; Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST).

Keywords: Metal 3D printing, Alloy screening, Ti-based alloy, Co-based alloy

Direct laser deposition (DLD) process is a metal-based additive manufacturing (AM) process, also referred to as laser-based direct energy deposition (DED). This manufacturing technique enables to provide in-depth graded compositions, microstructures, and properties. We investigated gradient Co- and Ti-based alloys using metal 3D printing. Both Co- and Ti-based alloys were deposited with various elemental fraction, which enables rapid alloy screening. The mixing ratio of alloying powders and laser power were precisely controlled to obtain the targeted chemical composition and microstructure. The deposited materials consisted of diverse phases including γ -Co, CoTi, and Co_3Ti , depending on process parameters. Epitaxial growth of grains was detected because of high thermal gradient during 3D printing process. This study provides a technical method to rapidly quantify the influence of chemical composition and laser synthesis parameters on the microstructures.

[적층4-1 | 14:40]

생체용 TiZrNbTaMo 고엔트로피합금 구형분말 제조기술: 강현수¹, 박기범¹, 류호진², 김양후¹, 박형기¹; ¹한국생산기술연구원 강원지역본부, ²한국과학기술원 원자력 및 양자공학과

현재 생체용 합금으로는 사용 목적에 따라 Ti합금과 Co합금이 대표적으로 사용되고 있다. 하지만, Ti합금은 비강도 및 생체적합성은 우수하지만 내마모성이 낮은 문제가 있으며, Co합금은 마모특성은 우수하지만 Co와 Cr 이온이 용출되면 세포에 독성으로 작용하는 문제점이 있다. 이에 따라 최근 차세대 생체용 합금 개발에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이러한 합금의 후보로 금속분말의 신합금인 고엔트로피합금이 주목받고 있다. 고엔트로피합금은 4-5개의 원소가 균일한 원자비율로 구성되어 단상을 이루는 합금으로 고용체 강화 효과에 의해 기존의 합금들 대비 우수한 기계적 물성을 나타낸다. 고엔트로피합금은 혼합된 원소에 따라 다양한 조성이 있으며, 그중 TiZrNbTaMo 고엔트로피합금은 높은 기계적 강도를 갖을뿐만 아니라 Ti합금 대비 우수한 생체적합성 및 내식성을 나타내기 때문에 차세대 생체용 합금의 후보로 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 생체용 TiZrNbTaMo 고엔트로피합금 구형분말 제조기술에 대한 연구를 진행하였다. 일반적으로 구형의 금속분말 제조를 위해서는 gas atomization 기술이 이용되지만 생체용 고엔트로피합금의 경우 높은 녹는점과 산화구동력에 의해 해당 방법으로는 분말 제조가 어렵다. 따라서, 수소 분위기 열처리를 통해 고엔트로피합금에 취성을 유발시키고 기계적 분쇄를 이용해 분말을 대량으로 제조하는 기술에 대해서 연구하였다. 또한, 향후 금속 3D 프린팅에 적용하기 위해 제조된 각형분말을 열플라즈마를 이용한 구상화 공정기술에 대해 연구하였다. 해당 공정을 통해 금속 3D 프린팅에 적합한 평균입도 40 μm 수준의 구형분말 제조가 가능하였다.

[적층4-2 | 14:55]

전자빔 적층가공으로 제조한 Ti6Al4V 합금의 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 적층 에너지 밀도의 영향: 이병수; 한국생산기술연구원

Keywords: Additive Manufacturing, Electron-beam melting, Ti6Al4V, Evaporation, Building energy density

전자빔 적층가공 (Electron-Beam Additive Manufacturing, EBAM)은 Powder bed fusion 방식을 기반에 전자빔(electron-beam)을 열원으로 하는 3D Printing 방법으로 적용소재에 따라 최적의 적층 에너지 밀도가 변화한다. 본 연구에서는 전자빔 적층가공방법으로 Ti6Al4V 합금을 제조하였으며 다양한 적층 에너지 밀도의 영향을 조사하였다. 미세조직 및 내부결함 분석을 위해 SEM, EPMA 및 Micro-CT를 이용하였으며 기계적 특성평가를 상온에서 인장시험을 수행하였다. 적층 에너지 밀도가 증가할수록 상대밀도는 증가하였으며 60 kJ/mm^3 이상의 적층 에너지 밀도에서는 100 μm 이상의 거대 void가 관찰되었다. 그리고 모든 범위에서 5 ~ 30 μm 크기의 미세 void가 관찰되었다. 적층 에너지 밀도가 증가할수록 beta 상간의 간격은 증가하였으며 beta 상의 크기도 증가하였다. EPMA 분석결과 Aluminum의 함량이 점차적으로 감소함을 확인하였으며 Void 내부에 Aluminum이 함량이 높게 검출되었다. 이를 통해 높은 적층 에너지 밀도에서는 Aluminum의 기화가 쉽게 발생함을 확인하였다.

[적층4-3 | 15:10]

Effect of Processing Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of 316L SS Fabricated by SLM: Kale Amol Baburao, Jaiveer singh, Shi-Hoon Choi; 순천대학교

Keywords: 316L stainless steel, SLM, EBSD, Microstructure, Fracture

The effect of processing parameters on the mechanical properties of 316L SS fabricated by selective laser melting (SLM) technique was investigated. Two SLM conditions were fabricated, with different energy density of 83.34 J/mm³ and 66.67 J/mm³, to determine the effect of processing parameters on microstructure and mechanical properties of 316L fabricated by SLM. Mechanical properties of SLM specimens at different strain levels were experimentally analyzed during the uniaxial tension test via OM, BSE-SEM and an electron back-scattered diffraction (EBSD) technique. The partial distribution of KAM indicated that the SLM specimens exhibited a relatively high distribution in the melt pool boundaries (MPBs). In order to reveal the fracture mechanisms of the SLM specimens at different strain levels, the surfaces of the fractured specimens during uniaxial tension were analyzed via field emission scanning electron microscope (FE-SEM).

[적층4-4 | 15:25]

금속증고법을 이용한 CoCrFeMnNi 고엔트로피합금의 분말제조 및 특성 평가: 정광윤¹, 신동원¹, 유현정¹, Cheeneppalli Nagarjuna¹, 배재웅², 김형섭², 홍순직¹; ¹공주대학교 신소재공학과, ²포항공과대학교

Keywords: Gas atomization, High entropy alloy, Powder characteristic, Rapid solidification process

고 엔트로피 합금 (HEA)은 독특한 합금 디자인 개념을 지닌 새로운 일련의 합금이다. 1 개 또는 2 개의 주요 원소에 기초한 종래의 합금의 설계와는 달리, HEA는 5 내지 35 원자 %의 범위 내의 각각의 구성 원소의 조성을 갖는 합금 원소로 설계된다. HEA는 느린 확산 및 격자 왜곡, 우수한 극저온 특성, 고온 저항 및 내 부식성 뿐만 아니라 고강도 및 연신율과 같은 특성으로 인해 다양한 용도의 차세대 구조 재료를 위한 재료로 여겨지고 있다. 가스 분무법으로 제조된 CoCrFeMnNi 분말은 성형 성이 우수하고 고순도 분말을 얻는 이점이 있다. 가스 분무법은 가스 원자화에 의해 생성된 금속 분말의 특성에 영향을 미치는 다수의 공정 파라미터를 갖는다. 가스노즐의 정점 각도, 초점 길이, 노즐 수, 노즐 지름, 금속 용탕 노즐의 직경 등과 같은 다양한 공정 파라미터가 있다. 그 중에서 금속 용탕 노즐 지름은 입자 형상 및 분말의 크기에 직접적인 영향을 끼친다. 이에 본 연구에서는 가스분무법의 공정변수중 상대적으로 변수제어가 용이한 금속용탕 노즐직경의 변화에 의해 CoCrFeMnNi 분말을 제조하였고, 노즐직경 변화에 따른 분말특성의 대해 연구하였다. 분말 조성 및 형태는 각각 X 선 회절 (XRD), 주사 전자 현미경 (SEM)을 사용하여 분석하였다. 분말 특성은 분말의 평균 입자 크기, 구형 및 L / D 비를 측정하여 비교하였다. 분말 성형성에 영향을 주는 분말 유동성은 안식각, 봉고 각, 압축성, 균일 성 및 평판 각 지수 값을 사용하여 평가하였고, 이를 유동성지수에 대입하여 각각의 분말에 따른 유동성지수를 평가하였다. 기계적 특성은 경도, 마찰계수, 압축평가를 진행하였으며 직경이 가장작은 금속용탕 노즐 로 제조된 분말 소결체에서 가장 높은 기계적 특성을 나타내었다.

[적층4-5 | 15:40]

Selective Laser Melting 공정으로 제조된 Equiatomic CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금의 압축 변형 거동: 김영균¹, 최중호², 이기안¹; ¹인하대학교 신소재공학과, ²재료연구소

Keywords: Selective laser melting, CoCrFeMnNi high-entropy alloy, Microstructure, Compression

본 연구에서는 metal additive manufacturing (AM) 기술 중 하나인 selective laser melting (SLM)을 이용하여 equiatomic CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금을 제조하고 이에 대한 압축 변형 거동을 조사하였다. 초기 미세조직 분석 결과 SLM으로 제조된 소재들의 특징인 계층적 미세조직이 나타났고 FCC 단상을 가지는 것으로 확인되었다. 이와 함께 미세한 석출물들이 소재 전반에 고르게 형성된 것으로 관찰되었다. 압축 시험 결과 특정 방향에서의 항복 강도가 낮은 것으로 측정되었으며 이 때의 항복 강도는 703.4 MPa로 상용 equi-atomic CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금과 비교하여 약 2배 이상의 높은 기계적 특성을 보였다. 압축 변형 중 가공 경화 곡선의 기울기가 증가하는 영역이 나타났으며 이는 변형 쌍정의 생성에 기인하는 것으로 확인되었다. 상기 결과들을 기반으로 SLM-built CoCrFeMnNi 고엔트로피합금의 미세조직과 압축 변형 거동의 상관 관계에 대하여 고찰하였다. [This study was supported by the Fundamental Research Program of the Korea Institute of Materials Science (Grant No. PNK5520)]

[적층4-6 | 15:55]

가스분무된 희토류 소결자석 소성변형능에 미치는 합금원소의 영향: 조주영¹, 좌용호², 김택수¹; ¹한국생산기술연구원 한국희소금속산업기술센터, ²한양대학교 재료화학공학과

Keywords: Nd-Fe-B magnet, gas atomization, plastic deformation, magnetic property, anisotropic

현재까지 발견된 영구자석 중 가장 우수한 자성특성으로 인해 전기자동차, 의료기기, 풍력발전 등 다양한 산업분야에 널리 사용되고 있는 Nd-Fe-B 계 희토류 영구자석은 현재 주로 스트립캐스팅 또는 멜트스피닝을 통해 제조된 스트립 및 리본을 분쇄한 분말을 소결하여 제조하고 있다. 한편 소결자석을 제조하기 위한 새로운 시도로 가스분무를 통해 Nd-Fe-B 계 구형 분말을 만들고 이를 이용하여 자석을 제조하는 방법이 연구되었으나 분말의 크기가 상대적으로 크고, 등방성이므로 산업적으로 본드자석에만 일부 사용되고 있는 실정이다. 이러한 한계를 극복하고자 소성변형을 통해 이방성을 부여하는 연구가 수행되고 있으나 강자성상인 Nd₂Fe₁₄B 상은 적은 슬립시스템으로 인해 상온에서 소성변형이 불가능하며, 고온에서는 Nd₂Fe₁₄B 상 사이에 존재하는 REE-rich 상의 낮은 용점으로 인해 REE-rich상이 액상으로 존재하여 Nd₂Fe₁₄B 상의 소성변형을 방해한다고 보고되었다. 따라서 본 연구에서는 Nd-Fe-B 계

영구자석의 소성변형능을 향상시키기 위한 연구를 수행하였다. 소성변형 시 REE-rich 상의 용접을 향상시키기 위해 열역학 프로그램을 통하여 합금원소를 결정하였으며 결정된 합금을 가스분무하여 분무된 분말을 열분석함으로써 REE-rich 상의 용접 변화를 확인해 보았다. 그 후 분말을 분급하여 최적화된 가성형 및 고온변형을 통해 소성변형 함으로써 소결 자석을 제조하였다. SEM 및 XRD를 통해 소성 변형 후 빌렛의 중형비 및 이방성 형성을 확인함으로써 소성변형능 변화를 확인하였고, 최종적으로 자성특성을 측정하여 소성 변형에 따른 자성특성 변화를 확인하였다.

[적층4-7 | 16:10]

복합공정에 의한 Nd-Fe-B 소결자석의 미세조직 및 자기적 특성 연구: 신동원¹, 김동수², 정광용¹, 홍순직¹; ¹공주대학교 ²한국지질자원연구원

Keywords: Nd-Fe-B 소결자석, 복합공정, 미세조직, 자성특성, 보자력

본 연구에서는 Nd-Fe-B 소결자석을 다양한 성형공정과 소결공정을 복합화하여 복합공정에 의해 소결자석의 미세조직과 보자력과 같은 자성특성의 변화를 연구하였다. Nd-Fe-B 분말은 가스분무공정으로 제조하여 구형의 분말을 제조하여 소결자석 제조에 이용하였다. 제조된 분말은 성형 단계에서 소결공정에 이용되는 성형체의 밀도를 70~90%까지 다양하게 변화시킨 성형체를 제조하여 소결공정에 적용하였다. Nd-Fe-B 소결은 방전플라즈마소결(Spark Plasma Sintering) 공정을 이용하여 소결체를 제조하였으며, 다양한 온도에서 소결을 진행하였다. 그리고, 제조된 소결체는 각각 다른 온도와 변형율에 따라 소결체의 deformation을 유도하여 최종 Nd-Fe-B 소결자석을 제조하였다. 제조된 소결체는 각각의 공정조건에 따라 XRD를 이용하여 상변화를 관찰하였고, SEM을 이용하여 소결자석의 미세조직을 관찰하였다. 또한, 각각의 공정에 따라 변화하는 소결체의 자성특성을 관찰하기 위해서 VSM을 이용하여 보자력, 잔류자화를 측정하였고, 이에 따라 최대에너지지를 계산하여 자성특성 변화를 비교 분석하였다.

[적층4-8 | 16:25]

열수소화 공정을 이용한 TiO₂-Co 복합 분말의 Spark Plasma Sintering (SPS) 거동 과 기계적 성질: 고명선¹, 임승균¹, 박일송², 박제신²; ¹전북대학교 일반대학원 금속공학과, ²전북대학교 공과대학 신소재공학부

Keywords: TiO₂ Sintering, Co binder, Ceramic-metal composite

세라믹 소결체의 기계적 결함을 극복하기 위해 금속바인더를 첨가한 복합분말을 통하여 이러한 문제점을 해결하려 노력 해 왔다. 이러한 노력의 일환으로서 본 연구 그룹은 기계적 AROS공정을 이용한 세라믹-금속간의 젖음성 향상을 통하여 고인성의 세라믹 소결체의 제조에 관한 연구 결과를 보고하였다. 기존의 AROS 공정은 기계화학적 반응을 이용하여 세라믹-금속 복합분말을 제조하였다. 이 경우 오염, 생산성 등의 실용화 측면에서 문제가 있다. 따라서 이러한 단점을 개선하고자 대량생산에 용이한 열수소화 반응을 통한 AROS 공정 연구를 진행하였다. 본 연구는 Ti와 Co를 Ar분위기 하에서 Arc 용해하여 Ti-33at%Co alloy를 제조하였으며, 제조된 alloy는 분쇄하여 분말을 제조하였다. 제조된 합금분말을 500°C에서 6bar의 수소 분위기로 가압하여 TiH₂-Co를 제조하고, 선택적으로 산화 처리를 통하여 TiO₂-Co 복합분말을 제조하였다. 제조된 분말은 10Φ몰드에서 장입하여 Ar 분위기에서 통전가압소결 (SPS)장치를 이용해 소결 하였다. 제조한 TiO₂-Co 소결체는 굽힘 시험과 비커스 경도시험을 통해 굽힘 강도와 비커스 경도, 파괴인성을 조사하였으며, 기존 기계화학적 방법으로 제조한 TiO₂-Co 소결체의 기계적 특성 및 미세구조를 비교하였다. 기계적 특성을 XRD, SEM을 이용하여 조성 및 미세조직과 기계적 성질의 관련성을 통해 규명하고자하였다.

타이타늄 심포지엄

Room 600A, 4월 24일

[타이타늄S1-1 | 09:40] 초청강연

Direct Reduction Process of Group IV Metal Oxides by Using LCE Process: Jong Hyeon Lee¹, Sukcheol Kwon¹, Vladislav Ri¹, Wan-Bae Kim¹, Hayk Nersisyan², Young Jun Lee³; ¹Dep. of Materials Science and Engineering CNU. ²RASOM. ³ZIRON TECH.

Keywords: Liquid Copper Electrolysis, group IV, direct reduction

Direct reduction could significantly simplify the isolation of group IV transition metals from their corresponding oxides (for example TiO₂, ZrO₂, and HfO₂). These metals are typically produced by the Kroll process, but the multiple stages, especially the chlorination step, reduces the effectiveness of the extraction, and increases the cost of the final product and the environmental impact. The main problem of conventional direct reduction of the group IV metal oxide is the higher impurity level than industrial standards, especially gas impurities due to their high oxygen and nitrogen affinities. Here, we report a metal production technology that lowers the oxygen content of group IV metals to meet the requirements for industrial standards.

[타이타늄S1-2 | 10:05]

TiO₂ 슬래그 고품위화 습식 제련 기술 연구: 정경우, 전호석, 박현식, 이수정, 김철주, 윤호성, 이재천, 김민석; 한국지질자원연구원 광물자원연구본부

Keywords: TiO₂, Ilmenite, 고품위화

피그먼트급 TiO₂의 제조 공정은 황산법과 염화법으로 나눌 수 있다. 이 중 염화법은 고순도 TiO₂의 제조가 가능하고 폐산 등의 부산물 발생이 없는 장점이 있는 반면 저품위 TiO₂ 원료의 적용이 불가하다는 단점이 있다. 이에 따라, TiO₂ 광물 생산의 90% 이상을 차지하는 ilmenite(FeTiO₃) 광을 염화 공정에 적용하기 위해서는 Fe 등의 불순물을 제거를 통한 TiO₂ 품위 향상이 요구된다. Ilmenite(FeTiO₃) 특히 rock-type의 ilmenite(FeTiO₃)의 품위 향상 공정으로 건식 용융 환원을 통하여 일차로 TiO₂가 농축된 슬래그를 제조하고 이를 다시 습식 처리를 통하여 불순물을 제거하는 건-습식 복합공정이 다양하게 개발 활용되어 왔다. 본 발표에서는 연천 지역에서 생산되는 함탄철광의 용융환원 공정에서 얻어진 TiO₂ 슬래그를 대상으로 산침출-알카리 침출 공정을 다양하게 적용한 TiO₂ 품위 향상 연구를 발표하고자 한다

[타이타늄S1-3 | 10:20]

TiO₂ Mass Production and Applications: 조소혜¹, 이승용¹, Sovann Khan¹, 최윤석²; ¹한국과학기술연구원. ²부산대학교

Keywords: TiCl₄, gas phase synthesis, TiO₂, pigment, photocatalyst

Since it was commercialized in 1916 by Titanium Pigment Company, titanium dioxide (TiO₂) has been widely used as not only a pigment but also in sunscreens, paints, ointments, toothpaste, etc. Although it has been 100 years since its commercialization, development of new applications and understanding of properties are still in progress. Between two pathways of industrial production of TiO₂: chloride process and sulfate process, the chloride process is considered more efficient and environmentally less toxic. In this presentation, we will deliver our recent effort to produce TiO₂ by the chloride process (oxidation of TiCl₄ in the gas phase) and compare it with previously synthesized TiO₂ by flame spray pyrolysis. In addition, recent applications of TiO₂ as photocatalysts will be discussed.

[타이타늄S1-4 | 10:35]

1400 °C 이하 온도에서 황화 반응을 통한 FeTiO₃에서 TiO₂ 분말 제조: 김선중; 조선대학교 재료공학과

Keywords: FeTiO₃, TiO₂, 황화 반응, 알카리 기화, 금속성 Fe

최근에 티타늄의 중요성이 강조됨과 함께 티타늄 원재료의 가격 상승은 국내 티타늄 산업의 지속적인 발전을 저해하는 큰 요소이다. 기존의 제련법에서 값싼 티탄철광을 이용하여 고품위 TiO₂를 제조하기 위해 Fe를 제거와 함께 습식 공정이 반드시 필요하기 때문에 불연속적이어서 공정비가 높은 것이 문제점이다. 본 연구에서 제안하는 프로세스는 2가지 고온 반응을 활용한다. 제 1 단계 공정은 FeTiO₃의 Fe제거를 위한 고온 황화 처리이고, 제 2단계 공정은 Na₂O계 산화물에서 알카리 기화를 이용한 고품위 TiO₂의 제조 공정이다. 본 연구에서는 1450°C 이하의 온도에서 FeTiO₃와 Na₂SO₄ 간의 고온 황화 반응을 진행하여 금속성 Fe를 형성 및 분리 후 알카리가 없는 황화물을 회수하여 산처리로 고순도 TiO₂ 분말을 회수한다.

[타이타늄S2-1 | 11:00]

재료공학적인 이해를 통한 최적 적층설계(DFAM) 방법: 전반로이^{1,2}, 최지환¹, 박성범¹, 이정훈¹, 김동현¹; ¹한국생산기술연구원울산지역본부.

²울산대학교 기계공학과

Keywords: 적층제조, 3D프린팅, 적층제조설계, DFAM, 재료공학

현시점에서 가장 주목받고 있는 제조기법인 적층제조법(Additive Manufacturing)은 기존의 소품종대량 신속생산기법으로는 대응이 불가능한 복잡형상 혹은 맞춤형 제품의 생산이 가능하다는 것이 가장 주요한 특징이라 할 수 있다. 특히 기존 다품종소량생산의 제조법인 절삭가공으로는 제작할 수 없는 서브밀리미터(Submillimeter) 단위에서의 획기적인 형상제어는 기존 제품의 부가가치와 기능

성을 크게 향상시키는 것이 가능하다. 이러한 형상제작의 독보적 메리트는 적층제조설계(DFAM, Design for Additive Manufacturing)라는 전문적인 영역을 형성시켰다. 현재 적층제조설계는 주로 경량화 및 맞춤형형상제작에 중점을 두고 이를 위한 전산 해석기반 위상최적화(Topology Optimization)가 일반적으로 널리 알려져 있다. 상기의 위상 최적화는 역학계산위주의 기계공학적인 시각으로 접근되어 왔으나 향후 적층제조법의 기술고도화에 따라 재료공학의 입장에서 적층제조설계는 향후 꼭 필요한 부분이라고 생각된다. 본 강연은 재료공학기반에서 적층설계의 고려인자 및 설계품질 향상에 대한 내용으로 진행된다.

[타이타늄S2-2 | 11:15]

건식전해연마를 이용한 타이타늄 합금 적층성형품 표면처리: 김명세¹, 박찬희²; ¹(주) 아우라테크 ²재료연구소 타이타늄 연구실

Keywords: 타이타늄; 적층성형; 표면처리; 전해연마; 건식

적층성형은 복잡한 형상의 타이타늄 및 타이타늄 합금 부품을 소재의 큰 손실없이 제조가능하게 하므로 항공, 국방, 의료산업을 중심으로 그 응용이 점차 확대되고 있다. 그러나 적층성형 후 형성되는 거친 표면은 여전히 해결해야할 문제로 남아 있다. 특히, 슛 블라스팅/피닝 등과 같은 기계적 표면연마법은 표면조도 및 광택 확보에 일부 효과가 있으나, 복잡한 형상을 갖는 적층성형품의 균일조도확보에는 다소 한계가 있다. 한편, 전기/화학적 반응을 이용하는 습식전해연마의 경우 적층성형품의 균일조도확보에 보다 유리하나, 육조 크기 및 관리 등의 문제로 다품종 소량인 적층성형품에 적용하기 난해한 측면이 있을 뿐만 아니라 산처리 후 표면 중성화 및 폐수 정제 등과 같은 복잡한 후처리가 필요하다. 본 연구에서는 이와 같은 난점을 극복하기 위하여 타이타늄 합금 적층성형품에 건식전해연마법(DLyte; Dry+Electrolyte)을 적용하여 균일한 표면조도 및 광택을 확보 하고자 했다. 특히, 적층성형된 타이타늄 합금 부품의 초기 표면거칠기가 건식전해연마후 표면조도에 미치는 영향을 분석했다. 대상물 형상에 따른 고정법 및 건식전해연마 공정 최적화 연구가 이루어 져야하나 향후 타이타늄 적층성형품의 표면조도 및 광택 확보에 기여할 수 있을 것으로 기대된다

[타이타늄S2-3 | 11:30]

타이타늄 분말의 제조방법 및 향후 개발과제: 박요설; 에이엠파우더

Keywords: Atomization, Additive Manufacturing, Atomization, Additive Manufacturing, EIGA, Skull Melt,

금속분말은 분사법(Atomization Method), 액상법, 기상법, 고상법등 다양한 방법으로 제작할 수 있으며, 제작공정 및 공정 변수에 따라서 다양한 입형 및 입도분포를 제어할 수 있다. 이를 통해서 종래의 분말야금, 자성재료, 전극재료등의 응용분야에 서 점차로 에너지, 의료, 환경 및 지식정보등 응용분야가 확대되고 있다. 최근에는 4차 산업 활성화에 동기화되어 Additive Manufacturing용 금속분말의 사업화가 가속화되고 있는 추세이다. 금속 AM 분야는 기계부품이나, 금형소재용 STS계열, 생체재료용 Co-Cr 및 Ti/Ti 합금 계열, 우주항공용 Ni계 초내열합금 및 Ti/Ti 합금 계열, 에너지 열교환기 분야의 Cu 합금계열 분야로 구분할 수 있으며, 생체 재료나, 우주항공용 Ti/Ti합금소재는 생체친화성이나, 고온, 장시간 신뢰성 특성을 요구하므로 High Purity 및 Low Oxygen을 필수 요소로 하고 있다. 이를 만족시키기 위하여 High Vacuum Atomization 공정 및 불순물과의 반응성을 억제하는 EIGA, Skull Melt 분사법이 개발되었으나, 현재까지는 분말 가격이 고가로 응용분야의 확대에 걸림돌이 되고있다. 산업적 활성화를 위해서는 현재의 분말 제작 시스템-즉 낮은 생산성, 낮은 수율, 분말 재용해 불가능등의 기술적 난제를 극복하여, 저가의 대량생산 시스템 개발이 필요하다.

[타이타늄S2-4 | 11:45]

EBAM방식에 의해 제조된 Ti-6Al-4V합금의 잔류응력에 대한 연구: 이동근¹, 최영신^{2,3}, 김희준³, 이창우³; ¹순천대학교 ²한양대학교 ³한국생산기술연구원

Keywords: Ti-6Al-4V, Additive manufacturing, residual stress, fatigue properties

Electron beam additive manufacturing (EBAM) 방식은 PBF 공정 중 한 가지 방법으로, SLM 방식과 함께 널리 활용되고 있는 금속분말을 활용한 3D 프린팅 적층방식중 하나이다. 금속 냉각에 의한 응고로 인해 Ti-6Al-4V 소재에 마르텐사이트 생성을 유발하며, 제조된 시편 내부에 다수의 기공을 생성하기도 한다. 분말을 활용한 EBAM 적층공정 제품은 필연적으로 기공에 의한 피로 강도 저하를 수반할 뿐 만 아니라, 공정 중 빠른 열의 출입에 따라 소재의 내부에 잔류응력이 존재하게 된다. 해당 연구에서는 EBAM Ti-6Al-4V 적층시편 내부의 잔류응력값을 측정하고, 그 값을 효과적으로 변화시켜 기계적 특성 특히 고주기 피로특성에 미치는 잔류응력의 영향 및 열처리 효과 등에 대한 연구결과를 제시하고자 한다.

[타이타늄S3-1 | 13:00] 초청강연

Deformation Twinning and Texture Evolution of High Purity Alpha Titanium: Chong Soo Lee¹, Jong Woo Won²; ¹Pohang University of Science and Technology. ²Korea Institute of Materials Science.

Keywords: alpha-Ti, twin, anisotropy, texture, Schmid factor

Twinning plays an important role in alpha phase titanium (α-Ti), due to the lack of slip systems, in particular those which can accommodate deformation along the c-axis of the hexagonal close-packed lattice. Until now, vast efforts have been devoted to enlighten the nature and characteristics of deformation anisotropy of rolling textured α-Ti and the main finding is that it is governed by texture hardening/softening caused by twinning-induced texture modification. In this sense, understanding of twinning characteristics and related texture evolution together with their loading direction dependence is an essential prerequisite for studying deformation anisotropy of rolling textured α-Ti. In this study, therefore, anisotropy in twinning characteristics and resultant texture evolution during uniaxial compression of rolling textured high purity α-Ti was investigated. Types of primary and secondary twins together with their

variant selection were significantly dependent on the loading direction. Such an anisotropy in twinning characteristics consequently led to anisotropic texture evolution. Our results showed that the combined effect of the sense of twinning shear and Schmid factor determines types of active primary and secondary twinning systems, and the Schmid law governs their variant selection, thereby controlling texture evolution.

[타이타늄S3-2 | 13:25]

변형경화 강화기구 (TRIP/TWIP)을 활용한 $\alpha+\beta$ 타이타늄 합금 개발: 이상원, 박찬희, 홍재근, 엄종택; 한국기계연구원 부설 재료연구소

In this study, the strain hardening enhancing mechanism (TRIP/TWIP) of a $\alpha+\beta$ Ti alloys were investigated via electron backscattering diffraction (EBSD) and field-emission transmission electron microscopy (FE-TEM). Dual phases ($\alpha+\beta$) Ti alloys exhibited the high yield strength. Both TRIP and TWIP effect reduced the effective grain size resulting in good hardening rate. The results propose a possibility to develop the new generation of TWIP/TRIP titanium alloy.

[타이타늄S3-3 | 13:40]

Effect of α'' Martensite on Mechanical Compatibility of Ti-13Nb-13Zr Alloy: Taekyung Lee¹, Sangwon Lee², Chan Hee Park²; ¹Pusan National University. ²Korea Institute of Materials Science (KIMS).

Keywords: strength, elastic modulus, martensite, titanium, caliber rolling

We have developed Titanium-13 wt.%Niobium-13 wt.%Zirconium (TNZ) alloy with enhanced mechanical properties and bulk dimension. The TNZ alloy exhibited a low elastic modulus (45-65 GPa) and high strength (850-1050 MPa) through a cold caliber rolling, resulting in the pronounced mechanical compatibility. Meanwhile, a warm caliber rolling gave rise to a higher elastic modulus (80 GPa) similar to that obtained by the capability aging. The latter case showed $\alpha+\beta$ structure with a small amount of α' and α'' martensites. On the other hand, the cold caliber-rolled TNZ consisted of a high fraction of α'' martensite contributing to its peculiar mechanical properties. The mechanical compatibility showed a positive correlation with the number of deformation pass, suggestive of stress-induced α'' martensite. Related mechanisms were investigated using TEM analysis.

[타이타늄S3-4 | 13:55]

미량원소 함량에 따른 순수 타이타늄 가공성 평가: 이현석, 최미선; 포항산업과학연구원(RIST).

Keywords: Titanium, Rolling, Workability, Crack

순수 타이타늄은 산소 및 철등의 미량원소 함량에 따라 강도 및 가공성이 현저하게 달라진다. 본 연구에서는 공업용 순수 (Commercially Pure) 타이타늄 판재 제품 중에서 산소 및 철 함량이 높은 CP Grade 4 와 낮은 CP Grade 1 을 이용하여, 냉간 압연 중 가공성 부족에 의하여 발생하는 엣지 크랙 현상을 관찰하였다. CP Grade 1 판재는 높은 가공성으로 인하여 냉간 압연 중에 엣지 크랙 현상이 발생하지 않았으나, CP Grade 4 판재는 높은 산소 및 철 함량에 으로 인하여 압연 중 변형 집중이 발생하고, 심한 엣지 크랙들이 발생하였다. 이러한 가공성의 변화는 미량원소 함량에 따른 변형 슬립모드가 prismatic slip에서 planar slip으로 변화하고, 결정립계 pinning 현상에 의한 조직 미세화가 원인인 것으로 알려져 있다.

[타이타늄S4-1 | 14:15]

Cu 삽입금속을 이용한 TiAl 합금과 SCM440의 마찰용접 계면특성 분석: 김기영^{1,2}, 박성현², Kazuhiro Ito³, 오명훈⁴; ¹A.F.W(주). ²금오공대 대학원 신소재공학과. ³JWRI Osaka University. ⁴금오공대 신소재공학과.

Keywords: 마찰용접, 접합계면, 금속간화합물, TiAl, Cu 삽입금속

본 연구에서는 마찰용접을 이용하여 TiAl 합금과 SCM440의 접합계면에서 원자 확산으로 인하여 발생하는 TiC, FeTi, Fe₂Ti와 같은 금속간화합물과 미세한 균열의 생성으로 인한 미접합부가 발생하는 문제점을 개선하기 위해 Cu를 삽입금속으로 선정하여 접합 계면에 미치는 영향을 분석하였다. 이종금속간의 마찰용접 조건은 마찰 거리에 따른 마찰시간을 변수로 하였으며, 변수에 따라서 발생하는 마찰열의 차이로 인한 접합계면에서의 1~2 μm 의 금속간화합물 층과 외각에서의 미세균열이 관찰되었다. SEM과 TEM을 이용하여 분석한 결과 TiAl과 Cu의 접합 계면에서 생성된 금속간화합물은 Cu₂TiAl, CuTiAl, TiCu₂로 관찰되었고, 금속간화합물 층의 두께가 증가함에 따라 생성되는 금속간화합물의 종류도 늘어나는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 금속간화합물 층의 두께와 기계적 특성변화의 상관관계를 알아보기 위해 마찰시간에 따른 인장시편 및 마찰면의 중심부와 주변부에서의 부위에 따른 인장시편을 제작하여 상온인장시험을 진행하였고, 결과로 생성된 금속간화합물 층의 두께에 따라 접합강도가 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과들을 바탕으로, 금속간화합물 층의 두께와 미세균열의 분포는 접합강도의 중요한 요인으로 작용하기 때문에 2가지 요인을 조절한다면 우수한 접합강도를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

[타이타늄S4-2 | 14:30]

초미세립 Ti-6Al-4V 합금과 CP-Ti 판재의 마찰교반 용접부 동적재결정 특성 고찰: 박영도¹, 김재득¹, 홍재근², 김성옥³, Yutaka Sato⁴; ¹동의대학교 ²재료연구소. ³포항산업과학연구원. ⁴Tohoku University.

Keywords: Ultra fine grain, Friction stir welding, Dynamic recrystallization, microstructure, mechanical properties

마찰교반용접은 접합을 목적으로 하는 원소재를 별도의 용가재 없이 비소모성 툴을 이용하여 용접하는 고상 접합 공정의 한 종류이다. 특히 초미세립 소재의 경우 비용융 접합을 통해 용접부 미세조직 조대화로 인한 기계적 물상 저하이 방지가 가능하다. 본 연구

에서는 초미세립 Ti-6Al-4V 합금과 CP-Ti 판재에 대한 다양한 용접 입력 변수와 그에 따른 용접부 특성을 정량적으로 분석하였고, 특히 초세립 Ti-6Al-4V 합금과 CP-Ti의 미세조직 거동 및 이와 관련된 다양한 미세조직학적 기구들을 고찰하였다. 마찰교반 용접부 Stirred Zone에서의 평균 결정립 크기가 초세립 Ti-6Al-4V 합금과 CP-Ti 모두에서 큰 폭으로 증가하였다. 그러나 초세립 Ti-6Al-4V 합금의 경우 마찰교반 용접과정에서 발생하는 동적재결정의 형성기구가 CP-Ti과는 차이가 존재하여 최종 미세조직과 기계적 특성의 변화가 관찰되었고 이를 본 연구에서 자세히 고찰하였다.

[타이타늄S4-3 | 14:45]

Ti-6Al-4V 합금의 광폭 박판 제조 연구: 최미선, 이현석; 포항산업과학연구원

Ti-6Al-4V합금은 $\alpha + \beta$ 형 티타늄합금으로서 잘 알려져 있으며, 냉간 가공성이나 초소성 특성을 확보하기 위해, $\alpha + \beta$ 역으로 열간 가공을 더할 필요가 있다. 그러나 그 변형 저항의 온도 의존성은 매우 크고 800°C이하가 되면 변형 저항이 크게 상승해, 압연기의 허용 하중을 초과해 그 이상의 압연을 할 수 없게 된다. 따라서 β 변태점 이하이고 또한 변형 저항이 높지 않은 800~950°C의 온도영역으로 압연하는 것이 이상적이다. 이런 이유로 Ti-6Al-4V합금 박판 제조에는 팩 압연 공정이 적용되고 있다. 팩 압연은 Ti-6Al-4V합금 core재를 cover재로 둘러싼 후, 용접하여 팩을 조립하고 열간 압연 하여 최종적으로 Ti-6Al-4V합금 박판을 제조하는 것이다. 본 연구에서는 Lab. 규모의 팩압연에서 도출된 cover재의 종류, 코어재와 커버재의 두께비율, 코어재의 개수 및 압하율에 따른 코어재의 압연성을 도출하였으며 그 결과를 바탕으로 폭 1M 이상의 Ti-6Al-4V합금 박판 제조 연구를 수행하였다. 열간 압연 공정은 국내 철강사의 생산 설비를 이용하였으며, 투입된 팩 슬라브의 core재는 5T × 1000W × 1000L(mm) 3매, cover재는 120T × 1250W × 2350L(mm)로 구성하였다. 압하율은 pass당 20% 미만으로 하였으며, 압연 중 재가열 하지 않고 목표 두께까지 열간 압연 하였다. 압연 개시 및 종료 온도 차이는 약 100°C였다. 팩 해체 시 core재와 cover재의 분리성은 양호 하였으며, 1.3T × 1006W × 3906L(mm)의 평탄도가 양호한 Ti-6Al-4V합금 박판을 얻었다.

[타이타늄S5-1 | 15:15] 초정강연

Roll of Microstructure on Creep Deformation of Near-Alpha Ti Alloys: Yoko Yamabe-Mitarai¹, Kei Shimagami¹, Haruki Masuyama¹, Tetsuya Matsunaga¹, Yoshiaki Toda¹, Tsutomu Ito²; ¹NIMS. ²Toyama Prefecture University.

Keywords: Ti alloy, Near-alpha, Microstructure, Creep

Near alpha Ti alloys are used as compressor blades or disks in jet engine. However, Ti alloys can not be used above 600 °C because oxidation and creep resistances become low above 600 °C. Operation temperature of jet engine is raising to reduce green gas and fuel consumption. Then, Ni-based superalloys with density twice as high as that of Ti alloys are used even in the high-temperature latter parts in compressors. However, using Ni-based superalloys increase the weight of jet engine. Then, it is very important to develop new high-temperature Ti alloys. Generally, microstructure related with mechanical properties is drastically changed by plastic deformation such as forging and rolling. Then, in this paper, the way to control microstructure of Ti alloys by changing forging and rolling condition was investigated. Then, using samples with different microstructure formed by different plastic deformation, the effect of microstructure factor on creep deformation was systematically investigated to understand creep deformation and decide the direction of alloy design. At first, the role of alloying elements was investigated to improve oxidation resistance. It is found that Sn degrades oxidation resistance and Nb improves oxidation resistance. Although Sn is a mandatory element for α -Ti alloys to stabilize a phase and strengthen a phase by solid solution hardening, we have attempted to design new Ti alloys without Sn. Nb is chosen as alloying element to improve oxidation resistance. To expect solid-solution hardening, Zr is also added to the alloys. The alloy ingots were melted using the cold-crucible levitation melting method, forged and groove-rolled to produce a bar with 14 mm in diameter at 900 and 1000 °C with different deformation ratio. Samples were cut from a bar and heat treated in different conditions. The model microstructures such as equiaxed single α phase, equiaxed α phase with Ti₃Al precipitates, equiaxed α phase with silicide precipitates, $\alpha + \alpha'$ -martensite phase and equiaxed α phase surrounded by β phase were prepared by changing heat treatment. The creep behavior of the model microstructure was investigated at temperature range between 550 and 650 °C under stress range between 69 and 242 MPa. The effect of each microstructure factor, such as Ti₃Al precipitates, silicide, α' and β phases on creep deformation was clarified.

[타이타늄S5-2 | 15:40]

비정질 형성능이 우수한 Ni-Ti-Zr-Cu 합금의 초탄성 특성: 김도현¹, 김우철¹, 김영성¹, 김정수¹, 김용주¹, 김원태²; ¹연세대학교 신소재공학과. ²청주대학교 레이저광정보공학과.

Keywords: 형상기억합금, 초탄성 특성, 비정질 합금, 비정질형성능

여러 형상기억 합금 중에 Ni-Ti 계 합금이 가장 널리 활용되고 있다. 최근 스마트폰 등의 전자기기 외장재로서 요구 되는 특성을 만족시키기 위해 과냉각 액체 영역에서 미세 성형이 가능한 비정질 합금 그리고 상온에서 변형에 대한 자기 회복 능력이 주어진 초탄성 합금의 특성을 동시에 갖춘 합금의 개발이 진행 되고 있다. 본 연구에서는 비정질 형성능이 비교적 우수하게 유지되는 Ni-Ti-Zr-Cu 4원계 합금의 조성 범위내에서 초탄성 변화 거동을 조사하였다. 4원계 합금의 조성에서 특히 Cu양의 변화가 B2 및 B19'의 격자상수 및 단위격자부피 등 구조적 특성 변화 그리고 온도에 따른 B2 열적 안정성, B2-B19' 전이 온도 등 열적 특성 변화에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 이유로 인해 Cu양 변화에 의해 마르텐사이트 전이를 유발하는 응력이 감소하여, 초탄성 회복 능력이 증가 되는 것으로 나타났다.

[타이타늄S5-3 | 15:55]

상온과 650°C에서 우수한 인장특성을 가지는 새로운 고온 타이타늄합금 개발 고온 타이타늄합금 개발 고온 타이타늄합금 개발: 연준택¹, 김성웅¹, 나라야나^{1,2}, 박찬희¹, 이상원¹, N.Subba Reddy^{1,2}, 홍재근¹; ¹한국 기계연구원 부설 재료연구소 ²경상대학교

Keywords: 고온 타이타늄합금, 하프늄, 상온 및 고온 인장특성, 시효처리, 실리사이드

현재까지 개발된 내열 타이타늄의 경우 영국 IMI사의 IMI834와 미국 Timet사의 Ti-1100합금 등이 대표적으로, 이중 Ti-1100합금은 최대 사용온도 650°C로 가장 우수한 고온 물성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 그러나, 이러한 고온 타이타늄합금은 비강도 측면에서 TiAl 금속간화합물에 비해 현저히 떨어져 사용이 제한되어 왔다. 본 연구에서는 이러한 고온 타이타늄합금이 가지는 특성저하의 원인을 분석하고, 이러한 원인을 극복하기 위한 새로운 고온 타이타늄합금을 개발하였다. 고온 타이타늄합금에서 강도와 연성을 저하시키는 주요원인으로 결정립계에 생성되는 (Ti, Zr)₆Si₃ 석출상인 것으로 판명되었고, 이러한 규화물 생성을 억제시키기 위해 Zr 대신에 Hf를 활용하여 합금설계를 수행하였다. 또한, 최적의 시효열처리 조건을 선정하여 상온과 고온(650°C)에서 인장시험을 수행하였다. 그 결과, 상온 및 고온에서의 인장특성이 Ti-1100합금에 비해 현저하게 향상된 것을 확인할 수 있었고, 비교 소재인 Ti-1100합금과 함께 개발 고온 타이타늄합금간의 산화시험결과를 비교 분석함으로써 개발 신 타이타늄합금의 우수성을 입증하고자 하였다.

[타이타늄S5-4 | 16:10] 초청강연

Development of TiCuNiSiSn shape memory alloys with tunable martensitic transformation behavior: Wook Ha Ryu¹, Eun Soo Park²; ¹Tohoku University. ²Seoul National University.

Keywords: Shape memory alloy, TiCuNiSiSn alloy, Martensitic transformation, Precise alloy design, Property manipulation

Shape memory alloys (SMAs) have opened up an area of new materials called multifunctional materials equipped with sensing and actuation capabilities. In recent years, there is a growing demand for SMA development for smart systems that can be used in complex operating environments. For example, SMAs have the potential to be used as self-moving parts in cryogenic temperature environments by controlling the martensitic transformation (MT) characteristics such as martensite start temperature (M_s). In this case, the relative stability of the austenitic phase, which can be controlled by the amount and the type of alloying elements, is very important in order to induce MT at a desired temperature or stress level. However, despite numerous studies on modification of the NiTi transformation temperatures by adding alloying elements, very little work has been done to understand the fundamental reason for these changes and how to manipulate them. In the present work, we developed novel TiCuNiSiSn SMAs with tunable MT behavior and related characteristics. We attempted to develop SMAs with supersaturated compositions in order to realize further improved performance. The developed alloys were divided into three alloy groups. The first group was (Ti₅₀Cu_xNi_{50-x})₉₉Si₁ (15 ≤ x ≤ 45 at.%). With the minor addition of Si, the maximum Cu solubility in B2 phase was found to be about 43 at.% and very narrow hysteresis was observed in the Cu-rich composition. The second group was (Ti_{50-x}Cu_{43-x}Ni₇)₉₉Si₁ (-4 ≤ x ≤ 6 at.%). It was found that transformation interval ($\Delta T = A_f - A_s$) of the alloys varied from 12K to 114K according to the local composition change due to the nano-precipitates. The third group was (Ti₅₁Cu₄₁Ni₇Si₁)_{100-x}Sn_x (0 ≤ x ≤ 6 at.%). The critical stress for MT in this system was gradually increased from 212 to 1803 MPa depending on the Sn content. Indeed, these results provide a guideline on how to manipulate MT characteristics via precise alloy design strategy.

[타이타늄S5-5 | 16:35]

Fe-Mn-Si-Cr-Ni-VC 형상기억합금의 열적 기계적 특성 및 토목구조 응용: 이욱진¹, 김용환², 옥정중², 이정훈³, 박찬희⁴; ¹한국생산기술연구원 ²(주) 디아이씨 ³부경대학교 ⁴재료연구소

Keywords: Fe-Mn-Si shape memory alloy, Recovery stress, Prestressing element, civil engineering

합금구성원소 원소재가 비교적 저가인 Fe-Mn-Si계 형상기억합금은 Ni-Ti 형상기억합금의 저가형 대체재로 주목받아 왔다. 여러 합금 중 특히 Fe-17Mn-5Si-10Cr-4Ni-1VC (mass%) 합금은 새로운 기능성 구조재료로서의 응용이 기대되는 후보소재 중 하나이며, Ni-Ti 합금에 비해 매우 높은 역변태 온도와 큰 열역력 (thermal hysteresis)을 가지는 특징이 있다. 이러한 독특한 열역학적 특성들은 합금에 일정 부분의 변형을 미리 인가하였다가 구조물 등에 구속시킨 후 가열하는 방식으로 회복력에 의한 복원응력을 발생시킬 때, Ni-Ti 합금에 비해 상온에서 안정적인 복원응력을 가질 수 있게 한다. 또한 합금의 독특한 미세구조때문에 'training'이라 불리는 추가적인 처리가 없이도 160도의 가열로 400 MPa 이상의 높은 회복응력을 얻을 수 있으며, 철계 합금 특성상 Ni-Ti 합금과 달리 상압조건에서 제조될 수 있다. 이런 특성들 때문에 Fe-17Mn-5Si-10Cr-4Ni-1VC 합금은 prestressing 용 강화재 등 토목구조물에서 콘크리트 구조의 강화 용도로 사용이 기대되고 있으며 최근 들어 일부 적용되는 사례들도 있다. 본 발표에서는 상기 철계 형상기억합금의 기초물성부터 회복응력 형성 거동 및 토목구조물 적용연구에 대해 다룰 예정이다.

[타이타늄S6-1 | 17:00]

발전용 타이타늄 응용부품 제조: 송영석; 두산중공업(주) 소재기술개발팀.

증기 및 가스를 이용하는 발전소는 환경오염 및 에너지 효율극대화를 위해 발전터빈 모델의 고효율화 및 시스템규모의 최소화와 발전용량의 확대를 추구하고 있다. 특히, 터빈의 핵심부품 가운데 출력의 약 10%이상을 담당하고 있는 저압터빈의 최종 회전날개 (LSB, Last Stage Bucket)에는 지금까지 적용되던 Steel을 대신하여 비강도가 우수한 Ti6Al4V와 Ti62222소재가 적용되고 있다. 하지만 Ti합금이나 금속간 화합물 소재들은 현재 국내에서 생산되지 못하고 있다. 이것은 생산설비의 부족이나 기술력의 부족도 있지만 국내 산업구조에서 Ti를 적용하는 고부가가 산업의 활성화가 부진한 것이 그 이유라고 할 수 있다. 하지만, 향후 발전소의 용량

확대와 고효율, 친환경시스템 등을 고려할 때 타이타늄 합금의 국내 생산역량 확보는 시급한 시점이다. 발전산업에서 Ti Alloy의 적용사례와 전망을 소개하고 국내 Ti Alloy의 개발사례를 논의하고자 한다.

[타이타늄S6-2 | 17:25]

진공아크용해법을 이용한 타이타늄 잉곳 및 중간재 제조: 윤성호, 임광혁, 권혁주, 이용범, 구혜연; (주)한스코

Keywords: 진공주조,VAR, 타이타늄 잉곳, 타이타늄 중간재, 타이타늄 제조공정

타이타늄은 경량, 내식성 등 고유한 특성으로 각 산업분야에 활용되고 있으며, 국내에서도 타이타늄 관련 제품의 수입과 소비가 증가하고 있다. 그에 반하여 타이타늄 제품의 원료 소재는 대부분 해외에 의존하고 있어 타이타늄 국산화가 필요하다. 이에 (주)한스코에서는 시장흐름에 따라 고부가가치 소재의 국산화를 위해 2014년부터 진공아크용해법을 활용하여 상용 순수 타이타늄 및 타이타늄 합금 등 타이타늄 잉곳 및 중간재를 제조하고 있다. 본 발표에서는 가장 보편적이고 경제적인 진공아크용해법을 통해 국내에 상업적으로 생산되는 타이타늄 잉곳 제조공정과 생산된 잉곳을 이용한 중간재 제조에 대해 소개하고자 한다.

[타이타늄S6-3 | 17:40]

Cold Hearth 기반 저비용 고청정 Ti합금 제조 및 특성 평가: 최재영¹, 문승호¹, 나혜성¹, 백승원¹, 현용택², 양재교³, 임재원⁴, 김재열⁵, 현용택⁶; ¹(주)한국진공야금, ²재료연구소, ³고등기술연구원, ⁴전북대학교 신소재공학부, ⁵고려특수소재(주), ⁶KIMS.

Keywords: Plasma Arc Melting, Ti64 alloy, Cold Hearth Remelting, Casting, Segregation

타이타늄은 항공, 우주, 전력·화학플랜트, 해양·토목, 의료·복지 재료 및 형상기억합금의 기능재료로서 현대 문명에는 없으면 안되는 필수 재료가 되었다. 타이타늄은 높은 강도, 강성, 인성, 낮은 밀도와 내식성도 우수하지만 철이나 알루미늄에 비해 가격이 고가이다. 타이타늄 잉곳 제조로 가장 널리 사용되고 있는 용해 공정으로는 VAR(Vacuum arc remelting)이 있으며 잉곳 제조를 위해서는 전극제조, 분괴 압연 등의 많은 공정을 거치게 되면서 제조원가가 높아지며 또한 가공시 가공칩 등의 스크랩 활용에 한계가 있다. 반면 플라즈마 cold hearth 방식에 의한 용해법은 전극제조, 분괴압연 등의 공정을 생략할 수 있으며 1차용해 후 cold hearth에서 개재물 등의 제거가 가능하여 경제적인 고청정 잉곳제조가 가능하다. 본 연구는 Cold Hearth 기반 저비용 고청정 Ti합금 제조 및 특성평가를 통하여 제조공정 인자를 파악하고 품질 특성과의 상관 관계를 연구하였다.

[타이타늄S6-4 | 17:55]

타이타늄 스크랩 활용 동향: 박중범, 강태웅, 전수혁, 민태식, 노윤경; (주)동아특수금속

Keywords: Titanium Scrap, 타이타늄 스크랩, Titanium Recycling, 타이타늄 스크랩 재활용, Ferro-Titanium

경량금속 타이타늄은 기계적 성질이 뛰어나고 전성과 연성이 높으며, 내식성에도 뛰어나고 생체 친화적으로 최근 이슈가 되고 있고 타이타늄을 활용 할 수 있는 방향으로 전부터 많은 연구가 진행되고 있다. 현재 타이타늄 소재 원천기술 개발 및 3D 프린팅에 활용할 수 있는 분말제조 기술 개발이 진행되며, 우주 항공용 타이타늄 부품화 기술도 진행되고 있는 실정이다. 하지만 국내에서는 타이타늄 원료 및 소재 생산공정이 아직 미흡하며, 이에 전량 수입에 의존하고 있기 때문에 국내외에서 사용하고 남은 타이타늄 스크랩을 정확히 이해하고 그 활용에 대하여 연구가 진행되어야 할 것이다. 현재 스크랩 사용량으로는 미국이 가장 많으며, 국내에서는 활용 되지 않아 미가공된 스크랩이 전부 국외로 수출되고 있다. 수입대비 수출가격은 매우 저가로 취급 받고 있기 때문에 국내에서도 스크랩을 활용 및 스크랩 가공기술이 경쟁력 강화를 위해 전적으로 필요하다. 그에 일환으로 당사에서는 타이타늄 스크랩으로 진행되고 있는 기술 개발 중 스크랩을 이용한 페로타이타늄 제조를 연구 진행 중이며, 가공 스크랩과 cobble 스크랩은 스펀지 대체 원료로 인기가 많으며, 현재 P사는 사용 중에 있고, 사용량은 200MT/월에 달한다. 타이타늄 스크랩의 사용은 원가절감 측면에서 필수적이며, 국내에서도 활발히 진행되고 있는 국외 경험을 모델로 삼아 국내에서도 빠르게 진행되어야 할 것으로 보인다.

고엔트로피합금

Room 600B, 4월 24일

[고엔1-1 | 09:30]

Ultrastrong VCoNi single-phase MEA enabled by severe lattice distortion: Seok Su Sohn¹, Alisson Kwiatkowski da Silva², Yuji Ikeda², Fritz Körmann², Wenjun Lu², Won Seok Choi³, Baptiste Gault², Dirk Ponge², Jörg Neugebauer², Dierk Raabe²; ¹Korea University. ²Max-Planck-Institut für Eisenforschung. ³Korea Advanced Institute of Science and Technology.

Severe lattice distortion is a core effect in the design of multiprincipal element alloys with the aim to enhance yield strength, a key indicator in structural engineering. Yet, the yield strength values of medium- and high-entropy alloys investigated so far do not substantially exceed those of conventional alloys owing to the insufficient utilization of lattice distortion. Here, based on a combined theoretical and experimental approach, we show that the degree of lattice distortion is indeed a key parameter in controlling strengthening mechanisms for the design of hitherto unexplored ultrastrong medium-entropy single-phase alloys. We exploit vanadium (V) as a very efficient element in a disordered VCoNi solid solution alloy. It is demonstrated that a wide fluctuation of the atomic bond distances in such alloys, i.e., severe lattice distortion, improves both yield stress and its sensitivity to grain size. In addition, the dislocation-mediated plasticity effectively enhances the strength–ductility relationship by generating nanosized dislocation substructures due to massive pinning.

[고엔1-2 | 09:45]

CoCrFeNiMo 중엔트로피합금의 annealing 온도에 따른 미세조직 및 기계적 특성에 관한 연구: 배재용, 박정민, 문종연, 최원미, 이병주, 김형섭; 포항공과대학교 고엔트로피합금 연구단.

Keywords: High-entropy alloy, Medium-entropy alloy, Precipitation, Zener pinning, Mechanical properties

본 연구에서는 비등원자 조성의 $\text{Co}_{17.5}\text{Cr}_{12.5}\text{Fe}_{55}\text{Ni}_{10}\text{Mo}_5$ (Mo5) 및 $\text{Co}_{18}\text{Cr}_{12.5}\text{Fe}_{55}\text{Ni}_7\text{Mo}_{7.5}$ (Mo7.5) 중엔트로피합금을 제조 및 다양한 온도에서 annealing 처리하여, 어닐링 온도와 Mo 함량에 따른 미세조직 및 기계적 특성을 분석하였다. 미세조직 분석 결과에 따르면 Mo이 첨가됨에 따라 Mo-rich상이 관찰되었으며, Mo함량의 증가 및 어닐링 온도가 감소함에 따라 석출물의 분율은 증가하였다. 또한 인장 물성 분석 결과, 1100MPa에 이르는 인장 강도와 더불어 우수한 ductility를 나타내었다. 이러한 강화의 주요한 원인은 Mo-rich상의 형성이 석출 강화와 더불어 Zener pinning 효과로 인한 재결정 및 결정립 성장을 억제함에 따른 것으로 분석하였다.

[고엔1-3 | 10:00]

가압 열처리에 따른 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금의 특성 연구: 민기득, 김지혜, 정운철; (재) 대구기계부품연구원.

Keywords: 고엔트로피 합금, 가압열처리, 미세조직, EBSD, 인장시험

고엔트로피 합금(High-entropy alloy)은 비슷한 몰분율의 다수 주요원소로 구성되어 높은 엔트로피로 인한 금속간 화합물이 형성되지 않고 단상을 형성하며, 높은 강도와 연성, 극적온에서의 탁월한 파괴인성으로 차세대 구조재료로 각광 받고 있다. 하지만, 고엔트로피 합금은 녹는점의 차이가 큰 원소들로 인하여 주조를 통하여 균질한 분포를 가진 제품을 얻기 힘들기 때문에 반복적인 용융공정과 적절한 열처리 공정이 필요로 하다. 특히 열처리 공정은 고엔트로피 합금의 특성향상과 향후 3D 프린팅 제품의 미세조직 균질화를 위하여 필요한 공정이지만 아직까지 많은 연구가 진행되지 않았다. 본 연구에서는 주조로 제작된 CoCrFeMnNi 합금을 가압 열처리 조건에 따른 미세조직의 변화와 기계적 특성을 평가하였다. CoCrFeMnNi 합금은 반복 진공 용융공정을 통하여 50kg의 잉곳으로 제작하였다. 대기 중 1200°C에서 합금의 균질화 처리를 진행 후 가압열처리를 진행하였다. 가압열처리는 5MPa, 10MPa의 압력에서 진행하였으며, 온도는 600°C에서 6시간 열처리를 진행하였다. 열처리 후 FE-SEM, EBSD, 인장시험 등을 통해 미세조직과 기계적 특성을 평가하였다.

[고엔1-4 | 10:15]

CoCrFeMnNi 고엔트로피합금 제조 시 용해 분위기가 개재물 특성에 미치는 영향: 최누리¹, Eka Bobby², 박노근², 박주현¹; ¹한양대학교, ²영남대학교

Keywords: CoCrFeMnNi high entropy alloy, Impurity, Non-metallic inclusion, Interfacial coherency, Melting atmosphere

CoCrFeMnNi 고엔트로피합금 내 형성되는 대표적인 산화물은 MnCr_2O_4 spinel로 알려져 있지만, 원료에 포함된 미량의 알루미늄 (Al)으로 인해 실제 용해-주조 공정에서는 Al_2O_3 -계 산화물이 함께 형성된다. Al_2O_3 는 대표적인 유해 개재물로서 고경도, 고용점 특징 외에도 HCP 결정구조를 갖기 때문에 FCC 구조를 갖는 CoCrFeMnNi 합금의 제조공정에서 Al_2O_3 의 형성은 억제되어야 함에도 불구하고, 일반적인 진공 용해 조건에서는 제거가 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 용해 분위기를 달리하여 CoCrFeMnNi 합금 용탕에서 Al과 같은 불순원소를 제거함으로써 비금속 개재물의 조성과 크기 분포의 제어 가능성을 확인하고자 하였다. 합금의 용해 분위기를 각각 진공 조건, 불활성 기체(3% H_2 -Ar) 분위기 조건, 불활성 분위기에서 용해 후 대기 노출에 의한 의도적인 산화 조건의 세 가지를 설정하였다. 실험 후 ICP 분석을 통해 대기에 노출한 시편에서 잉곳의 Al 함량이 가장 적은 것을 확인하였으며, 이로 인해 Al_2O_3 생성이 억제됨을 확인하였다. 뿐만 아니라, TEM을 이용한 SAED 패턴 분석을 통해, HCP 구조의 Al_2O_3 는 FCC matrix와 정합성을 보이지 않는 반면, cubic 구조를 갖는 MnCr_2O_4 spinel의 경우, matrix와 계면 정합성이 우수함을 확인하였다.

결과적으로 반드시 진공 용해를 하지 않더라도 CoCrFeMnNi 고엔트로피합금 고유의 조직학적 특성을 유지함과 동시에 불순원소와 유해 개재물 함량이 낮은 고청정 합금의 제조가 가능함을 확인하였으며, 이는 본 합금의 상용화에 있어 매우 중요한 요소가 될 것으로 판단된다.

[고엔2-1 | 10:40]

면심입방구조 단결정 및 다결정 고엔트로피 합금의 기계적 특성과 고용 강화 모델링: 문준연¹, 장민지¹, 배재웅¹, 박정민¹, 이재현², 김형섭¹; ¹포스텍, ²창원대학교

본 연구에서는 단결정 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금의 기계적 특성과 고용체 강화 효과를 연구하였고, 해당 모델을 개발하였다. CoCrFeMnNi 합금의 (100) 및 (110) 방위 단결정을 성장시키고 X-ray diffraction, energy dispersive spectroscopy, electron backscatter diffraction 분석을 통해 단일 결정성을 확인하였다. 또한, 단결정 CoCrFeMnNi 합금의 기계적 특성 및 critical resolved shear stress가 평가되었으며, 마찰 응력과 residual strain을 기반으로 모델링이 수행되었다. 고엔트로피 합금의 고용체 강화 효과는 제안된 모델을 사용하여 검증하였다.

[고엔2-2 | 10:55]

High Strength-High Ductility $\text{Mo}_x\text{NbTa}_x\text{TiZr}$ Medium and High Entropy Alloys for Load Bearing Biomedical Implants:

아크말 무하마드¹, 류호진²; ¹한국과학기술원 신소재공학과, ²한국과학기술원 원자력및양자공학과

Keywords: High Entropy Alloy; Biomedical Implants

In this research effort, a series of medium and high entropy alloys, $\text{Mo}_x\text{NbTa}_x\text{TiZr}$ ($x = 0-1$), have been examined in order to design the finest alloy for the load bearing biomedical implants. The arc melted and homogenized alloys are predominantly single-phase (bcc1) alloys; nevertheless, the higher content of Mo and Ta appears in the system as another minor phase (bcc2) appears. The phase decomposition behavior is attributed to the Ta-Zr miscibility gap. The values of yield strength and hardness increase as a function of Mo and Ta content. However, the higher content of Mo and Ta incorporated the brittleness in the alloy. Nano-indentation The results have shown a rise in the values of elastic modulus linearly with respect to the Mo and Ta addition. In addition, the highly passive behavior of all alloys in a phosphate buffer solution during the potentiodynamic polarization test has been confirmed. It can be concluded from the current study that the single-phase $\text{Mo}_{0.2}\text{NbTa}_{0.2}\text{TiZr}$ medium is the best candidate for loading bearing implants with high ductility, higher corrosion resistance, and lower elastic modulus.

[고엔2-3 | 11:10]

Irradiation resistant high entropy alloy-based fusion plasma facing material: OWAIS AHMED WASEEM, Ho Jin Ryu; 한국과학기술원

Keywords: Fusion Plasma Facing Material, Tungsten, Irradiation, High-entropy alloy

Tungsten (W) has been a potential material for fusion plasma facing applications due to its refractoriness, good mechanical strength, low sputtering and high thermal conductivity. However, future fusion applications require innovative W-based materials having a good combination of strength, ductility, and irradiation resistance etc. Therefore a novel reduced activation $\text{W}_x\text{TaTiVCr}$ is being exploited. The fabrication and analysis of $\text{W}_x\text{TaTiVCr}$ and its composites, prepared by embedding W-based reinforcements for (i) improving fracture toughness and (ii) decreasing concentration of H absorbing elements Ta and Ti are being presented in this paper. We fabricated the samples by mixing of elemental powders followed by spark plasma sintering, and analyzed the effects of various reinforcements on mechanical properties. Microstructure, strength and toughness properties have been analyzed via electron microscopy, compression and single-edge-notched-beam tests, respectively. Irradiation resistance has been studied by analyzing the surface morphology, sub-surface microstructure and nanoindentation hardness of proton irradiated and un-irradiated samples. In-situ analysis of resistance to electron irradiation has also been carried out at ambient and elevated temperatures via high voltage electron microscope (HVEM). The enhanced mechanical properties and irradiation resistance of reduced activation $\text{W}_x\text{TaTiVCr}$ and its composites have been revealed, which forecast its future fusion applications.

[고엔2-4 | 11:25]

FeCoNiAlSi 합금의 Al, Si 함량에 따른 자기적 특성 연구: 나태욱¹, 조영찬¹, 박창수², 주영돈², 박형기¹; ¹한국생산기술연구원, ²포스코

Keywords: 고엔트로피 합금; 자성재료; 격자뒤틀림; 철손; 와전류손

고엔트로피 합금은 5개 이상의 다원소 합금계로 단상으로 이루어져 있어 특이한 성질들을 나타내는데 그 중 하나가 극단적인 격자 뒤틀림으로 인해 나타나는 낮은 전기전도도이다. 자성 재료의 효율을 결정하는 중요한 물성 중 하나인 철손은 히스테리시스 손과 와전류 손으로 이루어진다. 여기서 전기전도도가 낮아지면 와전류 형성을 방해하기 때문에 와전류 손이 낮아져 철손이 떨어진다. 일반적인 철 기반의 자성 소재의 경우 Al과 Si를 첨가하여 저항을 높여서 와전류 손은 줄이는데 전기전도도가 낮은 고엔트로피 합금에 이를 도입하여 철손이 더 낮은 합금을 제조할 수 있다. 본 연구에서는 FeCoNi(AlSi)_x 합금의 Al, Si 함량에 따른 교류 자장 내 자기적 성질의 변화를 분석하였다. 해당 합금은 Al, Si 함량이 많아짐에 따라 저항이 높아져 와전류에 의한 손실이 계속 줄어들지만 일정 수준 이상 많아지면 FCC 단상에서 FCC + BCC 복합상으로 변하게 되고 자속밀도가 줄어들며 보자성이 강해져 히스테리시스 손이 커지게 된다. 이에 과도하게 Al, Si가 합금화된 경우 오히려 철손이 높아지는 현상이 일어난다.

[고엔3-1 | 13:00]

선택적 레이저 용융법으로 제조된 탄소 함유 CoCrFeMnNi 고엔트로피합금의 미세조직 및 기계적물성 평가: 박정민¹, 최중호², 김정기¹, 배재웅¹, 문준연¹, 양상선², 김형섭¹; ¹포항공과대학교 신소재공학과, ²재료연구소 분말세라믹연구본부

Keywords: High-entropy alloy, Selective laser melting, Microstructure, Mechanical properties, Multiple-strengthening

In this study, the CoCrFeMnNi high-entropy alloys (HEAs) with minor addition of carbon (~1 at%) were successfully fabricated by selective laser melting (SLM) process. The alloys exhibited significant improvement of tensile properties after SLM process as compared with as-cast conditions. This outstanding performance of the alloys could be attributed to their complex microstructure with combination of various strengthening mechanisms. Particularly, the carbon addition in this works could have a substantial effect on the strength enhancements of SLM processed CoCrFeMnNi HEAs via not only interstitial solid solution and precipitation hardening. In addition, the sample built at the conditions of disparate scanning speeds indicated different strength level each other, and it was explored by comparing each strengthening contributions.

[고엔3-2 | 13:15]

2상 고엔트로피 합금 와이어 CoCuFeMnNi의 인장 및 미세조직 특성 분석: 심삼훈¹, 송재숙², 홍순익¹; ¹충남대학교 공과대학 신소재공학과, ²충남대학교 나노공학연구소

Keywords: CoCuFeMnNi, 고엔트로피 와이어, Dual Phase, 미세구조 변화

전통적인 합금계는 철, 구리, 알루미늄, 마그네슘, 티타늄 등이 주 원소로서 높은 분율로 첨가되어 왔다. 이러한 전통적인 합금계의 경우, 합금 원소를 첨가할수록 금속간 화합물(intermetallic compound)을 형성하며, 이 금속간 화합물은 재료의 기계적 성질을 취약하게 할 수 있어 합금 원소의 첨가는 제한되어 왔다. 하지만, 최근 새로운 합금계인 고엔트로피 합금(high entropy alloy, HEA)이 학계에 보고된 후, 다양한 연구와 개발들이 활발히 이루어지고 있다. 고엔트로피 합금은 기존의 합금과는 달리 한 원소에 치중되지 않은 조성을 가지며, 다수의 원소가 주요 원소로 작용하여 높은 혼합 엔트로피(configurational entropy)를 가지기 때문에 고합금계임에도 금속간 화합물이 형성되지 않고 face-centered cubic (FCC) 또는 body-centered cubic (BCC)의 단상을 유지한다. 또한, 고엔트로피 합금, 특히, FCC 계 고엔트로피 합금의 경우, 우수한 극저온 물성, 높은 파괴인성과 내식성을 가지기 때문에 극한 환경에 적용할 수 있는 소재로 각광받고 있다. 본 연구에서는 많은 연구가 되고 있는 Cantor ally (CoCrFeMnNi)에서 Cr을 Cu로 치환된 주조 및 균질화 처리된 CoCuFeMnNi 합금을 직경 4mm, 1.5mm, 0.74mm의 와이어로 성공적으로 인발 하였다. Cr 대신에 Cu를 첨가하면 높은 엔트로피 합금의 단일 고용체 상이 2개의 분리된 고용체 상(Dual Phase)으로 분리된다. 고용체 상을 2개의 연성 상으로 분리하는 것은 강도에 유익한 영향을 미친다. 횡단면 (Longitudinal section)과 종단면(Transverse section)에서의 와이어의 미세 구조 변화를 면적 감소에 따라 연구하였다. 중간 열처리가 미세 조직 및 기계적 성질에 미치는 영향을 조사하여 전선의 기계적 특성을 향상시키는 방법을 찾았다. Cu 함량 (20at.%, 30at.%) 및 중간 열처리의 강도 및 파괴 거동에 미치는 영향에 대해 논의한다.

[고엔3-3 | 13:30]

High temperature deformation in non-equiatomic FeMnNiCoCr high entropy alloys: Hee-Tae Jeong, Soo-Young Chae, Woo-Kin Kim; *Hongik University.*

Keywords: High entropy alloys, Deformation mechanisms, Ultrafine grains, High temperatures,

High temperature deformation behavior in a non-equiatomic Fe₄₀Mn₂₇Ni₂₆Co₅Cr₂ high entropy alloy (HEA) which has face-centered cubic (fcc) single phase was studied. The HEA was processed by High-ratio differential speed rolling (HRDSR) and post-annealing at 973 K for 1 h. uni-axial tensile tests were conducted at high temperatures in range of 973-1173 K and at strain rate from 10⁻⁴ to 10⁻¹ s⁻¹. Interestingly, compared with excellent ductility and fracture toughness at room temperature, ductility and fracture toughness decreased by increasing deformation temperature albeit HEA processed HRDSR had ultrafine grains. In present study, this deformation behavior at high temperature was studied and the activation energies for plastic flow were estimated. For a better understanding for deformation behavior at high temperatures, deformation mechanisms were investigated and the correlation between high temperature deformation behavior and microstructure of HEA was also discussed.

[고엔3-4 | 13:45]

Effect of initial grain size on friction stir weldability for rolled and cast CoCrFeMnNi high entropy alloys: Sangwon Park¹, Hyunbin Nam¹, Youngsang Na², Hyoung-Seop Kim³, Namhyun Kang¹; ¹Pusan National University, ²Korea Institute of Materials Science, ³Pohang University of Science and Technology.

Keywords: High entropy alloy; Initial grain size; Plastic deformation; Strain hardening

This study investigated the influence of initial grain size on the plastic deformation and tunnel defects occurring for friction stirring for CoCrFeMnNi high entropy alloys (HEAs). The total unbonded ratios of rolled and cast HEAs were 0.2 and 7.2 % respectively, which indicated that the rolled HEA had better weldability than the cast HEA. BM grain size for cast HEA and rolled HEA was 308 and 2.8 μm, respectively. After friction stir welding (FSW), the cast HEA had a grain size of 1.8 μm coarser than the rolled HEA welds (1.4 μm). Therefore, dynamic recrystallization ratio were 60.7 and 99.6 % for rolled and cast HEAs, respectively. The density of high-angle boundaries (HABs), twins and tungsten was higher in the cast HEA weld than in the rolled HEA weld. The cast HEA had a higher

resistance to plastic deformation due to higher $\Sigma 3$ twin boundaries fraction than the rolled HEA. It was associated to the large strain hardening rate in the cast HEA during friction stirring. Thus, the cast HEA resulted in a higher tunnel defects ratio than the rolled HEA.

[고엔3-5 | 14:00]

Cr-Mn-Fe-Co-Ni계 하이엔트로피 합금의 변형기구 변화에 따른 forming ability 거동 규명: 예정원¹, 윤국노¹, 오현석², 박은수¹; ¹서울대학교, ²Massachusetts Institute of Technology

Keywords: High entropy alloy, Deformation mechanism, Mechanical property, Triaxiality, Formability

일반적으로 성형능은 높은 강도와 우수한 연성을 보이는 재료가 좋다고 알려져 있지만 Twinning induced plasticity(TWIP) steel의 경우 파단 직전 necking이 일어나기 때문에 다른 재료에 비해 높은 강도와 연성을 가지고 있음에도 불구하고 비교적 낮은 성형능을 나타낸다. 따라서, 구조 소재로써 효과적으로 사용되기 위해서는 강도와 연성 이외에도 성형능을 평가하는 것이 필수적이다. 최근 다수의 주 원소를 가지는 하이엔트로피 합금은 격자 비틀림 효과와 그에 따른 solid solution strengthening 효과로 인해 기존의 상용 합금 대비 높은 강도와 연성을 포함하여 우수한 기계적 물성을 갖기 때문에 차세대 합금으로 상당한 주목을 받고 있다. 하지만, 이렇듯 우수한 기계적 특성을 가짐에도 관련 합금시스템에서 성형능을 평가하는 연구는 아직까지 미비한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 서로 다른 변형 메커니즘을 갖는 하이엔트로피 합금을 개발하여 기계적 특성 평가 및 성형능 변화를 체계적으로 규명하고자 하였다. 이를 위해 열역학적 계산을 통해 적층결합 에너지를 제어하여 Slip, Twin induced plasticity(TWIP), 그리고 Transformation induced plasticity(TRIP)와 같이 서로 다른 변형 메커니즘을 갖는 하이엔트로피 조성을 개발하였고, 각 조성의 기계적 특성과 성형능을 평가하였다. 결과로써, 제조된 CrMnFeCoNi계 하이엔트로피 합금시스템에서 triaxiality 거동을 규명하고 성형한계도를 작도하여 기계적 특성과 성형능 간의 상관관계를 고찰하고자 하였다. 본 연구를 통하여, 하이엔트로피 합금을 실제 활용하기 위한 박판 성형의 가이드라인을 제시하여 관련 소재가 상용화에 한걸음 더 다가갈 수 있도록 하는데 기여하고자 한다.

[고엔3-6 | 14:15]

온도에 따른 CoCrFeMnNi 고 엔트로피 합금의 Discontinuous plastic flow 변형 메커니즘: 이병주¹, 고준영¹, 문종연², 김형석², 홍순익¹; ¹충남대학교 공대 금속공학과 에너지기능재료실험실, ²포항공과대학교 신소재공학과

Keywords: Discontinuous plastic flow, 온도, CoCrFeMnNi

전통적인 합금계는 철, 구리, 알루미늄, 마그네슘, 티타늄 등이 주 원소로서 높은 분율로 첨가되어 왔다. 이러한 전통적인 합금계의 경우, 합금 원소를 첨가할수록 금속간 화합물(intermetallic compound)을 형성하며, 이 금속간 화합물은 재료의 기계적 성질을 취약하게 할 수 있어 합금 원소의 첨가는 제한되어 왔다. 하지만, 최근 새로운 합금계인 고엔트로피 합금(high entropy alloy, HEA)이 학계에 보고된 후, 다양한 연구와 개발들이 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금의 온도에 따른(600도) Stress-Strain을 실험하였다. CoCrFeMnNi의 조성에서는 고용 합금 및 석출 강화 합금에서 관찰되는 Discontinuous plastic flow는 온도 및 변형률의 속도에 상호작용이 존재한다. 또한 CoCrFeMnNi 합금은 300 °C~550 °C의 정도에서 Discontinuous plastic flow 관찰되는 것을 확인할 수 있었습니다. 변형률의 속도가 증가함에 따라 Discontinuous plastic flow도 증가하는 것을 알 수 있다. CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금은 각 원소의 용질과 용매의 다른 특성으로 인해 solute-dislocation interaction 정량화 하는 것은 매우 어렵다. 본 연구에서는 discontinuous plastic flow 관계를 강도 및 연성 특성 관계에 대하여 연구하였다.

[고엔3-7 | 14:30]

BCC 2상 복합구조를 가지는 내열 고엔트로피 초합금 개발: 김상준, 오현석, 윤국노, 박은수; 서울대학교 재료공학부

Keywords: Refractory alloy, High entropy alloy, Spinodal decomposition, Order-disorder transition, Nano-cuboidal 2nd phase

최근 4~6종의 전이금속으로 구성된 BCC 구조의 고엔트로피 합금이 1000°C 이상의 고온에서 기존에 사용되고 있는 초합금보다 우수한 고온 기계적 물성을 가짐이 보고됨에 따라 고엔트로피 합금을 기반으로 한 새로운 초내열 신합금 연구가 진행되고 있다. 이러한 내화금속 원소로 구성된 고엔트로피 합금에 이중 원소인 Al을 첨가할 경우 규칙상인 B2 구조로의 전이가 일어나며 합금의 강도가 비약적으로 증가하나, 고엔트로피 합금이 B2 구조를 가질 경우에는 규칙격자의 특성상 취성이 나타난다는 단점이 있다. 본 연구에서는 Ni계 초합금의 $\gamma-\gamma'$ 구조에 착안하여 연성이 우수한 불규칙 A2 상을 기지로 하여 강도가 우수한 규칙 B2 상을 석출물로 가지는 BCC 2상 복합구조의 내열 고엔트로피 초합금을 개발하였다. 기존의 Ti-Al-Nb 3원계 내열 합금을 바탕으로, 합금의 구성 원소간의 결합력과 Al계 금속간 화합물의 상 안정성을 고려하여 다성분계 고엔트로피 합금계를 설계함으로써 A2 상과 B2 상이 공존하는 상태도 내 영역을 탐색할 수 있었다. 또한, 열처리 공정을 통해 상분리 현상과 규칙-불규칙 변태를 제어 함으로써 BCC 2상 복합구조를 고엔트로피 합금계에서 구현하였다. 본 연구는 기존 단일상 BCC 구조의 특성 연구에 국한된 내열 고엔트로피 합금과는 차별적으로, 미세구조 정밀 제어를 통해 내열 고엔트로피 초합금 복합구조를 구현함으로써 새로운 고엔트로피 합금의 물성 향상 기술을 제시할 뿐만 아니라, 나아가서는 1000 °C 이상의 온도 환경에서 사용되는 Ni계 초내열 합금을 대체할 수 있는 초고온 내열 신합금 개발에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

[고엔4-1 | 15:00]

V₁₀Cr₁₀Fe₄₅Co₃₀Ni₅ 고엔트로피 합금에서 변태유기소성과 변형 쌍정이 충격특성과 동적 인장 특성에 미치는 영향: 조용희¹, 김동근², 조민철¹, 도경연², 손석수¹, 이동화³, 김형섭¹, 이병주⁴, 이성학⁵; ¹포항공과대학교, ²고엔트로피 합금단, ³항공재료센터, ⁴신소재공학과, ⁵고려대학교

Keywords: 고엔트로피 합금, 변태유기소성, 변형 쌍정, 샤피 충격, 동적 인장

최근 준안정 고엔트로피 합금에 대한 기계적 물성 및 변형거동에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이들 연구들은 주로 준정

적 상황에서 일축 인장 및 압축에 대한 연구가 진행되었다. 하지만 극저온 환경에서의 사용을 위해서는 이들 연구 외에도 파괴인성 및 충격 특성에 대한 평가가 필수적으로 이루어져야 한다. 이번 연구에서는 FCC 단상의 준안정상을 지니는 V10Cr10Fe45Co30Ni5 고엔트로피 합금에서의 상온과 극저온에서 준정적 및 동적 인장 특성과 충격 특성에 대한 연구를 진행하였다. 준정적 인장하에서는 상온에서 변형 쌍정이 발생하며 극저온에서는 FCC상에서 BCC 마르텐사이트로의 변태유기소성이 발생한다. 동적 인장하에서는 상온에서 다량의 변형 쌍정이 발생하며 극저온에서 BCC-TRIP의 발생량이 감소한다. 동적 환경하에서는 flow stress의 증가 및 adiabatic heating의 발생이 변형 쌍정 및 변태유기소성에 영향을 준다. strain-rate 및 온도의 변화가 변형기구에 미치는 영향을 EBSD 및 Ab-initio 계산을 통해 분석하였으며 FCC, HCP 그리고 BCC 각 상간의 stability가 변형거동에 미치는 영향을 조사하였다. 추가로 사파 충격 실험을 진행하였으며 BCC 마르텐사이트의 발생에도 불구하고 극저온에서 연성파괴를 보이며 상온-극저온에서 사파 충격 값이 거의 일정한 결과를 보였다. 이는 BCC 마르텐사이트 변태시 FCC상에서 HCP상을 거쳐 BCC상이 발생하는데 이에 따른 조밀한 network 구조의 형성이 BCC상의 결정립 미세화에 기여하여 극저온에서의 취성파괴를 막은 것으로 분석된다.

[고엔4-2 | 15:15] Canceled

Microstructure Evolution and Mechanical Properties of CoCuFeNiMn High Entropy Alloy: Md Rakib Hasan, Sun Ig Hong; *Materials Science and Engineering, Chungnam National University.*

Keywords: Keywords: Microstructure, High Entropy Alloy, XRD analysis, EBSD, Annealing

Co₂₅Cu₁₅Fe₂₅Ni₂₀Mn₁₅ and Co₂₀Cu₁₅Fe₁₅Ni₁₅Mn₃₅ high entropy alloys were cast by vacuum melting. The cast samples were homogenized at 1050 °C for 24 hours and then rolled into plates into 98.5% at room temperature. Tensile specimens were prepared with plate specimens. The specimens were heat treated at 800 °C, 850 °C, and 900 °C for 1 hour to observe the microstructure and evaluate XRD and mechanical properties. The grain sizes of the alloys annealed at 800 °C and 900 °C were measured as 1.49 μm and 8.83 μm for Co₂₅Cu₁₅Fe₂₅Ni₂₀Mn₁₅ and 4.32 μm and 26.8 μm for Co₂₀Cu₁₅Fe₁₅Ni₁₅Mn₃₅ respectively. In the case of the as-cast specimen, the strength was measured 1268 MPa for Co₂₅Cu₁₅Fe₂₅Ni₂₀Mn₁₅ and 1108 MPa for Co₂₀Cu₁₅Fe₁₅Ni₁₅Mn₃₅ at room temperature.

[고엔4-3 | 15:30]

제조공정조건에 따른 산화물 분산강화 CoCrFeMnNi 하이엔트로피 합금의 미세조직 특성: 점승현, 류호진; *한국과학기술원 원자력및양자공학과.*

Keywords: 하이엔트로피 합금, 산화물 분산강화, 초저온 밀링, 통전소결, 미세조직

하이엔트로피 합금은 독특한 구성원소분율로 인해 우수한 기계적 특성을 가지고 있어, 여러 산업 분야에 이용될 수 있는 유망한 합금으로 알려져 있다. 원자력 발전과 같은 고온, 고압, 고방사능의 특수환경에서 하이엔트로피 합금을 활용하기 위하여 여러 강화 기구를 적용하려는 시도들이 보고된 바 있다. 산화물 분산강화 기구는 수 나노크기의 산화물들을 기지에 분산시켜 소성변형 시 전위의 이동과 결정립 성장을 방해하여 강도와 크립 저항성을 높이는 동시에 중성자 조사결함의 sink 역할을 증진하여 조사저항성을 높이는 것으로 알려져 있다. 산화물 분산강화 합금은 기계적합금화, 소결 및 열처리의 과정을 거쳐 생산하는 것이 일반적이다. 복잡한 공정을 통해 산화물분산강화 합금을 제조함에도 불구하고 지금까지의 산화물 분산강화합금의 연구는 합금의 기계적 특성 분석에 치중되어 있다. 본 연구에서는 각각의 산화물 분산강화 합금 제조 공정이 하이엔트로피합금 기지 내에서 산화물의 형성에 미치는 영향을 연구하기 위하여 Cantor alloy로 알려진 CoCrFeMnNi 하이엔트로피 합금에 산화물 분산강화 기구를 적용하였다. CoCrFeMnNi 하이엔트로피 합금은 면심입방구조의 단일 결정구조를 가지는 합금으로써, 초저온 환경에서 변형 메커니즘이 슬립 (Slip)에서 쌍정 (Twin)으로 바뀌에 따라 높은 강도와 연신율을 갖는다. 즉 높은 인성을 갖는 CoCrFeMnNi 하이엔트로피 합금의 특성으로 인하여 초저온 밀링을 통해 높은 결함밀도를 얻을 수 있었다. CoCrFeMnNi 하이엔트로피 합금 분말은 Ar 분위기에서 가스분무법을 이용하여 제작되었다. 초저온 밀링을 이용하여 0.5wt%의 Y₂O₃와 CoCrFeMnNi 하이엔트로피합금 분말의 기계적합금화를 진행한 후 통전 소결법을 이용하여 산화물분산강화 하이엔트로피 합금 소결체를 제작하였다. 초저온 밀링은 액화질소를 이용하여 93K의 온도에서 진행되었으며 밀링회전속도는 200 rpm 에서 600 rpm으로 증가시키며 기계적합금화 시 밀링회전속도의 영향을 관찰하였다. 소결체의 미세구조 분석을 통해 밀링회전속도가 기지 내 산화물의 형성과 개수밀도에 밀접한 관계가 있는 것을 확인하였다. 통전 소결은 진공 분위기의 973K -1173K의 범위에서 진행되었으며 부여된 압력은 50 MPa로 고정하여 소결을 진행하였다. 높은 소결온도조건에서는 결정립의 성장 및 재결정이 진행되어 결정립의 조대화가 이루어졌으며 산화물 생성을 효과적으로 이뤄지지 않았다. 소결온도가 낮아짐에 따라 결정립의 성장과 재결정은 억제되었으며 소결체의 상대밀도는 감소하는 반면 산화물의 개수밀도는 증가하였으며 크기는 감소한 것을 관찰 하였다.

[고엔4-4 | 15:45]

Microstructure and Mechanical Properties of Light Weight Quaternary High-Entropy Alloy: Elyorjon Jumaev¹, Je Hyung Park¹, Min Jung Kim¹, kyung sik choi², Byung Ho Min², Tae Gyu Lee², Ki Buem Kim*¹; ¹세종대학교 공대 나노신소재공학부, ²현대자동차 연구개발본부 신소재개발팀.

Binary and ternary alloys were studied to investigate their corrosion and mechanical properties. However, these types of alloys lack from high yield strength, ultimate tensile strength. To address these problems, Quaternary AlCrFeNi alloy was fabricated by eliminating the heavy element from the dual-phase AlCoCrFeNi high-entropy alloy to achieve low density with good mechanical properties and elongation has been increased significantly. These AlCrFeNi high entropy alloy parades exceptional room temperature mechanical properties. In addition to this, solidification model of the alloy was introduced by simplified dynamic model. The AlCrFeNi alloy exhibited a nano-grained dual-phase structure consisted of Cr-Fe-rich A2 and Ni-Al-rich B2 phases with high degree of coherence

in dendrite region. In particular, the Ni-Al-rich B2 phase revealed the non-stoichiometric composition between the Ni and the Al, which deviated with the Ni-Al-rich B2 phase with a stoichiometric composition in previous AlCoCrFeNi high-entropy alloy. The mechanical behaviors of the alloy were investigated at high temperature diapasons.

[고엔4-5 | 16:00]

조성에 따른 AlCoCrFeNi 고엔트로피 합금의 미세조직 및 기계적 물성 거동 분석: 남승진¹, 김정준¹, 황준연², 최현주¹; ¹국민대학교² 한국과학기술연구원

Keywords: High-entropy alloy, Thin film, Composition, Microstructure, Deformation behavior

고엔트로피 합금(high-entropy alloy, HEA)은 다양한 원자 크기를 갖는 합금 원소들이 고용됨에 따라 발생하는 격자 비틀림에 의해 재료의 기계적 물성이 크게 향상될 뿐만 아니라, 우수한 고온 및 화학적 안정성을 갖는 새로운 개념의 합금이다. 고엔트로피 합금은 조성에 따라 재료의 상(phase)이 다양해지며 적층 결함 에너지(stacking fault energy SFE)에도 영향을 주기 때문에 조성에 따른 미세조직 및 변형 거동에 대한 많은 연구가 진행되어왔다. 하지만, 기존의 고상 및 액상 공정으로는 다양한 조성을 갖는 고엔트로피 합금을 제조하는데 많은 한계를 가지고 있다. 본 연구에서는, 기상 공정 및 열처리를 이용하여 AlCoCrFeNi 고엔트로피 합금을 형성하여 조성에 따른 미세조직 및 기계적 물성 거동을 조사하고자 하였다. 먼저, 전자빔 기상 증착법(e-beam evaporation)으로 각각의 금속 층 두께를 조절하여 다양한 다층 AlCoCrFeNi 박막을 제조하고, 이를 열처리 하여 형성된 고엔트로피 합금 박막의 미세조직을 관찰하였고 기계적 물성을 평가하였다. 모든 조성에서 면심입방정계(face-centered cubic, FCC) 구조를 갖는 고용상을 형성하였으며, 높은 함량의 Cr을 포함하는 조성에서는 sigma 상이 관찰되었다. 또한, 높은 적층 결함 에너지를 갖는 Ni의 함량에 따라 다른 기계적 물성 거동을 보였다. Ni의 함량이 높은 합금에서는 Co의 함량이 높아짐에 따라 경도가 향상된 반면에, Ni의 함량이 낮은 경우에는 Fe의 함량이 높아짐에 따라 합금의 경도가 증가하는 경향을 보였다. 이를 통해, 고엔트로피 합금의 조성에 따른 미세조직 및 기계적 물성 거동에 대하여 고찰하고자 한다.

[고엔4-6 | 16:15]

이중상 구조의 내화원소 고엔트로피합금의 설계: 전호선, 최벽파; 한국과학기술원

Keywords: 내화원소 고엔트로피합금, 분배 경향, 조성 설계, 석출경화, 압축 강도

내화원소 고엔트로피합금 (Refractory High entropy alloy) 은 높은 용점과 더불어 고온에서 우수한 압축강도와 크립 저항성을 보여 차세대 고온 구조재료로서 각광받아왔다. 상온에서의 낮은 연성은 내화원소 고엔트로피합금의 주된 단점의 하나였으나, 최근의 연구에서 최적의 전자 밀도를 조정함으로써 개선이 가능함이 밝혀졌다. 내화원소 고엔트로피합금의 연성을 개선하는 데에는 고온에서의 압축강도와 크립 저항성의 감소가 따른다고 알려져 있다. 연성을 유지하면서 고온에서의 강도와 크립 저항성을 개선하는 데에는 모상과 결정격자를 공유하는 석출물에 의한 석출경화가 효과적일 것으로 예상된다. 내화원소 고엔트로피합금의 경우 알루미늄의 첨가를 통해 서로 결정격자를 공유하는 체심입방구조와 B2 구조의 이중상이 발생하는 것으로 알려져 있는데, 현재까지 보고된 이중상의 내화원소 고엔트로피합금은 연성이 낮은 B2상이 모상이 되며, 연성이 높은 체심입방구조 상이 석출상이 되는 구조를 지니고 있어 상온에서의 연성이 유지되지 않는 문제가 존재한다. 상온에서의 연성과 고온에서의 높은 강도와 크립 저항성을 동시에 달성하기 위해서는 체심입방구조 상을 모상으로 지니며 B2상이 석출상으로 존재하는 미세구조를 형성할 필요가 있다. 이러한 미세구조를 지니는 내화원소 고엔트로피합금을 설계하는 데에는 크게 두 가지 제약이 존재한다. 고엔트로피합금의 넓은 조성 범주로 인하여 종래의 합금 설계법을 이용해 조성을 설계하는 데에 많은 자원이 필요하다는 것, 그리고 현재의 내화원소 고엔트로피합금의 열처리 방식을 통한 미세구조 조절이 매우 한정적이라는 것이 그것이다. 따라서 본 연구에서는 내화원소 고엔트로피합금의 조성 및 미세구조를 효과적으로 설계하기 위하여 새로운 합금 설계법을 제안하였다. 이중상 구조의 내화원소 고엔트로피합금의 상분화 과정에서 원소들이 일정한 분배 경향을 보이는 점에 착안하여, 원소들의 혼합이 아닌 합금간의 혼합을 통해 내화원소 고엔트로피합금의 조성을 설계함으로써 조성 설계과정을 간략화하고자 하였다. 이어 고정된 온도에서의 열처리를 통해 상분화 성향을 통제하였다. 제안된 설계법의 유효성을 확인하기 위하여 Ti-25 at.% Nb와 HfAl이라는 두 조성을 혼합하는 방식으로 합금을 설계하였고, 그 결과로써 체심입방격자의 모상과 B2 석출상을 지니는 새로운 조성을 발견하였다. 열처리 조건의 통제를 통하여 0.5에서 0.8 나노미터의 직경을 지니는 불연속적인 B2상을 형성시킬 수 있었으며, 상온에서 크랙 형성 없이 60% 이상 압축이 가능한 연성에 더해 1070MPa의 압축강도를 지니게 할 수 있었다. 보다 낮은 온도에서는 육방밀집구조상의 형성이 관찰되어, 추가적인 강도 및 크립 저항성 향상이 가능할 것으로 기대되고 있다. 조성 및 열처리에 따른 상 변화 거동의 관찰과 계산화학적 접근을 통해, B2상과 육방밀집구조상의 안정성 및 상 분율이 합금 조성의 조절을 통해 통제 가능하다는 것을 확인하였다.

[고엔4-7 | 16:30]

AlCoCrNi 하이엔트로피 합금의 미세조직에서 기인한 Ni-rich (AlNi₂)_{70-x}Co₃₀Cr_x 합금 개발 및 기계적 특성 분석: 박재형, Jumaev Elyorjon, 홍성환, 김영석, 박혜진, 문상철, 임기성, 김민정, 김기범*; 세종대학교 나노신소재공학과

Keywords: Highentropy alloy, Mechanical property, Microstructure, AlCoCrNi

AlCoCrNi 하이엔트로피 합금은 기계적 물성이 뛰어난 합금 중의 하나이며, 합금의 밀도가 낮고 강도와 연성이 우수해 여러 상용 합금으로 적용을 검토중에 있다. AlCoCrNi 합금의 우수한 기계적 물성은 미세조직에 크게 기인하는데, AlCoCrNi 하이엔트로피 합금의 미세조직은 dendrite영역과 interdendrite 영역으로 나뉘며, dendrite영역과 interdendrite영역의 내부에서 나노 사이즈의 Cr-rich A2-BCC 상과 Ni-rich B2-BCC상이 존재한다. Cr-rich A2-BCC상과 Ni-rich B2-BCC상이 높은 정합성을 가지고 있어 단상 고용체와 유사한 변형거동을 일으켜 높은 강도와 우수한 연성이 나타난다. 본 연구는 AlCoCrNi 하이엔트로피 합금의 상들을 구성하는

조성들을 간단하게 표현하기 위해 식을 만들고 Ni-rich 위주의 조성으로 합금하였으며 미세조직을 관찰하고 기계적 물성을 평가하여 상용합금의 가능성을 확인하고자 했다. 합금은 선행연구의 결과로부터 나온 AlCoCrNi 하이엔트로피 합금의 상들을 구성하는 조성들을 간단하게 나타내기 위해 식 $(\text{AlNi}_2)_{70-x}\text{Co}_{30}\text{Cr}_x$ 으로 만들어 Ni-rich의 4가지 조성을 선택하여 제조하였으며, Arc 용해법 및 흡입 주조법으로 구리 몰드를 통해 직경 3 mm, 10 mm 및 길이 50 mm의 봉상의 시편으로 주조하였다. 시편의 상과 미세조직 분석은 각각 X-선 회절분석(XRD)과 주사전자 현미경(SEM)을 이용하였다. 제조된 시편의 기계적 물성 평가는 만능시험기(UTM)를 이용하여 상온 압축 시험을 시행하였으며, 마이크로 인텐터를 이용하여 상온 경도를 측정하였다.

[철강1-1 | 09:00]

Effects of ilmenite ore on phase development of hematite ore sinter: Edson K. Chiwandika, 정성모; 포항공대철강대학원.
Keywords: Phase development, Perovskite distribution, Tumbler Index, Reduction Degradation Index.

The effects of ilmenite ore addition on phase development of hematite ore sinter was investigated. Increase in ilmenite addition led to perovskite formation. The effect of ilmenite addition on the sinter quality indexes and perovskite ($\text{CaO}\cdot\text{TiO}_2$) distribution after sintering was clarified. Tumbler index (TI) as well as reduction degradation index (RDI) decreased with increase in ilmenite addition up to 20% addition and increased thereafter. Increase of TiO_2 and Fe_3O_4 in the sinter blends with increasing ilmenite addition affected the bonding phase development leading to RDI deterioration. The initial melt formation temperature increased with increasing ilmenite addition.

[철강1-2 | 09:15]

Thermodynamic Database Containing SFCA for Iron Ore Sintering Process: 김동근¹, Reiko Mura², 정인호³; ¹현대제철 연구소, ²Nippon Steel and Sumitomo Metals Corporation, ³서울대학교 재료공학부.
Keywords: Iron Sinter, Ironmaking, SFCA, Thermodynamic database

최근 철광석내 불순물이 많아지면서 제선공정에서 Iron ore sinter에 대한 관심이 다시 높아지고 있다. 특히 불순물로 인해서 Sinter의 물성이 나빠져서 용광로 조업에 문제가 발생할 가능성이 높아지고 있다. 이에 많은 연구자들이 Sinter의 물성을 높이기 위해서 다양한 연구를 진행중이다. 이 중 가장 주목받고 있는 연구중 하나가 SFCA라는 4원계 Solid solution을 이용하여 철광석내 불순물을 컨트롤 하여 Sinter의 강도를 조절하는 기술이다. 본 연구에서는 Sintering중 Microstructure의 변화를 정확히 이해하기 위해서 온도와 산소분압에 따른 $\text{FeO}\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-CaO}\text{-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 시스템에 대한 정확한 상태를 계산할수 있는 열역학 데이터베이스를 개발하였다. 본 열역학 데이터베이스를 이용해서 SFCA가 포함된 철광석의 Sintering과정 중 Sinter의 Microstructure를 대략적으로 설명할 수 있다.

[철강1-3 | 09:30]

Effect of BOF Slag on NO_x Reduction: Leonardo T. da Rocha, 정성모; 포항공대철강대학원.
Keywords: NO_x Reduction, BOF Slag, Catalytic Effect

The NO_x emission from fuel combustion during sintering process strongly contributes to air pollution, such as acid rain and photochemical smog. Sintering process represents 50% of the total emission from Iron and Steel Industry. Reducing this generated amount is extremely necessary to prevent further environmental problems. The present work is aimed at understanding NO_x reduction mechanism by evaluating the catalytic effect of BOF slag on NO_x reduction, measured by exposing the sample to NO and CO gases. Analyzing the effect of BOF Slag on coal combustion is important to simulate the sintering process. Different mixing procedures between coal and BOF Slag are proposed to determine the proper one. BOF Slag works as a good catalyst for NO reduction in the presence of CO gas, by decreasing the initial amount in near 40%. In addition, BOF Slag can also reduce NO directly by near 12%. BOF Slag coating coal provided effective NO_x reduction, around 10%, when 5% is added to Anthracite and 10% to Coke and Semi-Anthracite.

[철강1-4 | 09:45]

Understanding Correlation between Current and Desulfurization during Electric Desulfurization of Molten Steel with Molten Slag: Dong-Hyun Kim, Youn-Bae Kang; Graduate Institute of Ferrous Technology, POSTECH.
Keywords: Desulfurization, Electric current

Desulfurization of molten steel with molten slag is known to be an electrochemical reaction. Previous studies confirmed that applying electric current could improve desulfurization of molten steel, but the quantitative relation of electric desulfurization was not fully understood. Here, the correlation between current and desulfurization is evaluated via a series of experiments using a high temperature reaction furnace. A molten steel including C and S was allowed to react with $\text{CaO}\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ slags ($C/A=0.8$ to 1.1) under different constant currents (0.025 to 0.1 A). Experimental results were analyzed by employing including Nernst equation including and S distribution coefficient of S (L_S) and electric potential difference ($\Delta\Phi$). It was found that as applied current increased, L_S increased and $\Delta\Phi$ increased proportionally with a high R-square. When C/A ratio increased under the same current applied, L_S and $\Delta\Phi$ decreased. Correlation between the current applied and enhanced desulfurization will be discussed.

[철강1-5 | 10:00]

연주 Clogging 저감을 위한 LF Ar Bubbling 제어 기술 연구: 유정민^{1,2}, 한정환², 정훈제¹; ¹ 동국제강주식회사 중앙기술연구소, ² 인하대학교 신소재공학과.

Keywords: Nozzle Clogging, inclusions, CaSi, Ladle, Slag, Middle Plate

전기로 출강 공정에서 사용하는 탈산제 Al은 산소와 반응하여 Al_2O_3 산화 개재물을 생성한다. Al_2O_3 산화 개재물은 LF 공정에서 Ca-Si wire 처리를 통해 $CaO \cdot Al_2O_3$ 저융점 산화물로 하여 부상분리를 실시하고 있으나, 공정상 제거가 되지 않으면 연주 공정상 Middle Plate의 MgO와 반응하여 Spinel을 형성하여 Nozzle Clogging을 발생시킨다. 이러한 Nozzle clogging은 주조속도 저하와 Clogging 물질의 용강 침투로 인해 제품 불량을 발생시키기 때문에 LF 공정상 Al_2O_3 산화 개재물 제어 기술이 필요하다. Clogging 저감을 위해 Clogging이 발생한 Middle Plate에 부착된 성분을 XRF와 XRD 분석을 통해 산화물의 성분 분석을 실시하였고, 열역학 프로그램 Factsage를 통해 Clogging 발생 요인을 분석하였다. 분석된 산화물 성분을 통해 LF 공정상 Ca-Si wire 처리 시점과 지름 2~50 μm 의 개재물 100ea의 조건에서 Ar bubbling 유량 2~15 Nm^3/h 에 따른 개재물 부상분리를 열유동 해석프로그램 Fluent로 해석하여 개재물 부상분리에 유리한 조건을 도출하였다. 연주 Clogging 발생 요인은 Ca-Si wire 처리 후 생성되는 $CaO \cdot 6Al_2O_3$ 고상 개재물과 $CaO \cdot SiO_2 \cdot Al_2O_3$ 액상 개재물에 의해 발생이 되었고, Fluent 해석 결과 Ar bubbling 유량 8 Nm^3/h 에서 7분 유지 시 2~50 μm 의 개재물 100ea 중 50%가 부상 분리 되었다. 해석결과를 통해 LF 조업 중 기존 Ca-Si wire 투입량 조절과 함께 저융점 개재물을 부상분리 시키기 위한 Ar bubbling 유량과 유지시간 개선을 통해 Clogging 발생을 저감 하였다.

[철강1-6 | 10:15]

Influence of Tundish Flux Addition on the Reoxidation of Molten Steel in Continuous Casting Tundish: Tae Sung Kim, Joo Hyun Park; *Hanyang University.*

Keywords: Reoxidation, Continuous casting, Rice husk ash, Self-dissociation, Oxygen pick-up

It is necessary to control the reoxidation of molten steel in tundish during continuous casting process to maintain the cleanliness of the steel. Rice husk ash (RHA) has been widely used as an insulation powder in tundish. The reoxidation of the steel was progressed as the RHA consumption increased in tundish because the increase of the silica activity in the slag layer promoted the self-dissociation of SiO_2 from the slag layer into the molten steel, resulted in the silicon and oxygen pick-up. Total number of reoxidation inclusions dramatically increased and the relative population of Al_2O_3 -rich inclusions increased by increasing the RHA content. Therefore, it is very important to investigate the effect of calcium aluminate (CA) flux on the reoxidation behavior of the molten steel with different ratio of RHA to sum of RHA and CA flux (=R" ratio). The oxygen and silicon pick-up by the self-dissociation of silica from slag layer to the molten steel was suppressed with decreasing R" ratio and hence, the oxygen pick-up as well as the formation of Al_2O_3 -rich inclusions were reduced with decrease in R" ratio.

[철강2-1 | 10:30]

Reduction of Interfacial Reaction Product between Ti-ULC Steel and Nozzle Refractory by Al and Ti in the Steel: Joo-Hyeok Lee, Youn-Bae Kang; *GIFT, Pohang University of Science and Technology.*

Keywords: Continuous casting, Interfacial reaction, Refractory, Nozzle clogging

It is well known that Ti causes serious nozzle clogging problem during continuous casting of Ultra Low C (ULC) steel, even severe than continuous casting of Ti-free ULC steel. However, nozzle clogging mechanism of Ti-ULC steel is still uncertain compared with that of Ti-free grades. In order to figure out why nozzle clogging issues become severe in presence of Ti, interfacial reaction between Ti-ULC steels and CO gas emitted by carbothermic reaction of nozzle (SiO_2 and graphite) was investigated by the present authors. It was found that the CO gas oxidizes the Ti-ULC steel at the interface between the steel and the nozzle, and forms $Fe_3O_4 \cdot Al_2O_3 \cdot TiO_x$ liquid oxide temporarily. The $Fe_3O_4 \cdot Al_2O_3 \cdot TiO_x$ liquid oxide might act as a binder between frozen steel and refractory due to its wettable characteristics both steel and refractory. The $Fe_3O_4 \cdot Al_2O_3 \cdot TiO_x$ might be initial form of $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot TiO_x$ phase which was observed on the nozzle after field operation, and Ti oxidation of Ti-ULC on the nozzle can be trigger to initiate nozzle clogging involving frozen steel adhesion. However, correlation between formation of $Fe_3O_4 \cdot Al_2O_3 \cdot TiO_x$ liquid oxide and observation of frozen steel on the inner wall has not been experimentally validated yet. In order to prove above fact, nozzle refractory coated by the liquid oxide was submerged into Ti-ULC steel at continuous casting temperature using induction furnace. When analyzing the coated nozzle using SEM/EDS, reduced or physically attached Fe particle could be observed throughout nozzle surface. From the present study, it was elucidated that reduction of $Fe_3O_4 \cdot Al_2O_3 \cdot TiO_x$ liquid oxide by Al and Ti affect severe clogging by frozen steel attachment.

[철강2-2 | 10:45]

연속 주조 공정의 고온 연성 평가 거동 연구: 정지연¹, 권상훈¹, 이재상¹, 허윤욱¹, 강명훈², 문상운², 김동규³, 임창희¹; ¹ 포항공과대학교 철강대학원(GIFT), ² 포스코 기술연구소, ³ 동아대학교

Keywords: remelting, solidification, hot ductility, continuous casting

연속 주조 공정에서의 결함 예측 및 주조성을 검토하기 위한 방법으로 연속 주조 공정의 열이력을 모사한 고온 연성 평가가 필요하다. 일반적으로 고온 연성 평가 시, 재가열을 통한 용체화 처리 과정을 거치지만 이는 응고 과정을 수반한 실제 연속 주조 공정과 차이가 있다. 특히, grain size, 편석, 석출물 거동 등에서의 변화가 실제 주조 공정과 상이하여 강의 고온 연성이 차이가 날

가능성이 높다. 따라서, 정확하고 신뢰성 있는 평가를 위해 응고 과정을 반영하는 용융 인장 시험이 필요하다. 본 연구에서는 신뢰성이 있는 용융 인장 시험을 위해 최적 시험 조건을 검토하였으며, 이를 바탕으로 용융 인장 시험 및 재가열 인장 시험을 실시하였고, 시험 방법에 따라 상이한 고온 연성 결과를 나타내는 것을 확인하였다. 이러한 고온 연성 차이에 대한 메커니즘을 검증하기 위해 FE-SEM, EBSD, EPMA 등을 이용하여 미세 조직 및 편석, 석출물 거동 등을 조사하였다.

[철강2-3 | 11:00]

페라이트계 스테인리스강의 연주주편 구조조직 제어기술: 김중철, 김완이, 조현진; POSCO 기술연구원

Keywords: 페라이트계 스테인리스강, 연속주조, 구조조직, 등축정용

페라이트계 스테인리스강은 응고 후 고상에서 상변태과정이 없으므로, 초기 구조조직이 최종 제품의 물리적 특성 및 기계적 특성에 지대한 영향을 미치게 된다. 연속주조시 구조조직은 주상정과 등축정으로 구성되며, 주상정은 조대한 형태로 특정한 방위를 갖는 특징이 있어 주조이후 압연 및 소둔공정을 거친 이후에도 특정 방위의 조대한 집합조직으로 잔류함으로써 리징과 같은 표면결함을 유발하는 것으로 알려져 있다. 따라서 구조조직 중 주상정의 형성을 최소화하기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 본 발표에는 연속주조된 주편의 구조조직 제어를 위해 추진한 기술개발 내용, 즉 EMS(ElectroMagnetic Stirring)활용 기술과 산화물 제어기술 등을 소개하고, 각 기술에 대한 세부내용에 대해 논의하였다. 또한 산화물 제어 기술이 적용된 강판의 경우 용접부 용융조직이 비교재 대비 미세화되었으며, 그 결과 연성취성전이온도가 낮아짐을 확인하였다.

[철강2-4 | 11:15]

고 Cr 스테인리스 용강 중 질소 용해에 대한 속도론적 연구: 손해술, 도경효, 김건우, 박정수, 박종진; 한양대학교 재료화학공학과

Keywords: Ferritic Stainless Steel, Nitrogen, Surface Dissolution, Kinetics, Surface Active Elements

400계 STS강은 강종 별 질소 함량 요구가 다양하고, 강 중 질소 친화 성분이 다량 함유되어 강종에 따라 상이한 질소 제어 방법이 요구된다. 그러나 질소는 정련 공정 중 대기로부터 용강으로 쉽게 용해되는 원소로서 침입형 합금원소 중에서도 특히 제어하기 어렵다고 알려져 있다. 따라서 고 Cr 스테인리스 제강 공정 중 대기로부터 용강으로의 흡질 거동을 예측하기 위해 질소 용해반응 속도에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 질소가스로부터 Fe-Cr 용강으로의 흡질 반응속도를 [Cr]농도 및 계면활성원소인 [O]농도에 따라 평가하였다. 고주파 유도로를 통해 Ar분위기에서 1600°C로 용융된 Fe-Cr 용강을 0.5~1atm의 질소분위기로 전환한 직후부터 일정 시간 간격으로 채취하여 용강 내 질소 농도 변화를 시간에 따라 측정하였다. 용강 내 산소 및 탄소 농도는 흑연 및 Fe₂O₃ 분말을 상부 투입하여 조절하였다. 샘플 내 질소와 산소 농도는 N/O 분석기를 통해 [C]농도는 C/S 분석기를 통해, [Cr]농도는 ICP-AES를 통해 각각 측정되었다. 이를 통해 용강 조건에 따른 흡질 반응기구와 반응속도상수 및 산소의 계면 흡착계수를 도출하였다. 이러한 기초 데이터를 활용하여 고 Cr 스테인리스 제강공정 중 용강과 대기의 접촉 면적 및 시간에 따라 용강 내 흡질을 정량적으로 예측할 수 있다.

[철강2-5 | 11:30]

페로망간의 등은 및 냉각 시 흡질 거동 실험과 흡질 메커니즘 분석: 천정민¹, 상형태², 조해창², 정인호¹; ¹서울대학교 공과대학 재료공학부, ²DB 메탈

Keywords: 페로망간, 흡질, 확산, 흡착, DTA/TG

페로망간은 용광로 또는 전기로에서 만들어지는데 표준 성분 비율은 78~80% 망간, 그리고 7% 내외의 탄소를 함유하고 있다. 극저탄소 페로망간(ULPC)의 경우, 추가 탈린, 탈탄 등의 정련과정을 거쳐 만들게 되는데, 출강 후 냉각하는 과정에서 대기 중 질소가 페로망간 내로 흡수되어 품질이 떨어지는 문제점이 있다. 본 연구에서는 DTA/TG 분석을 통하여 질소 분위기 하에서 페로망간 내 흡질되는 속도를 측정하였다. 기존의 망간 내 흡질 거동을 분석한 연구에서는, 망간 내 질소의 확산을 속도 결정단계로 가정하여 Solid Diffusion-Controlled Shrinking Core Model을 통해서 결과를 해석하였지만, 본 실험을 통하여 특히 초기 흡질 거동이 확산만을 고려한 기존의 모델로 설명이 힘들다는 것을 확인하였다. 이에 초기 흡질 과정에서 망간 표면에 질소가 화학적으로 흡착되는 과정을 고려하여 Solid Diffusion-Controlled Shrinking Core Model을 수정하였으며, 이를 통해 전체 흡질 거동을 해석하였고 본 연구에서 얻어진 실험결과를 잘 설명할 수 있었다. 이러한 새로운 흡질 모델을 통해 실제 공정상의 흡질 속도를 정확히 예측할 수 있다.

[철강2-6 | 11:45]

전로 반응 모델을 활용한 Cr 함유 용강 내 탈탄 반응에 대한 산소 취입 영향의 속도론적 해석: 김정인¹, 김선중²; ¹조선대학교 첨단소재공학과, ²조선대학교 재료공학과

Keywords: Decarburization, Coupled Reaction model, Kinetic, Stainless steelmaking process, Oxygen blowing

용선을 활용하여 Cr 함유 스테인리스 강을 제조하기 위해서는 전로에서 탈탄 공정이 필요하다. 하지만 열역학적으로 탈탄에 필요한 산소 포텐셜과 Cr 산화에 필요한 산소 포텐셜이 비슷하여 탈탄과 동시에 Cr의 산화가 발생한다. 전로 내 탈탄과 Cr의 산화는 온도에 영향을 받기 때문에 정밀한 온도 제어가 필요하며, 전로내 온도 제어는 상/하부 산소 취입을 통해 실시된다. 실 조업에서는 금속-슬래그 반응, 상/하부 산소 취입에 따른 용강 및 슬래그 내의 반응, 탈탄 및 2차연소반응, 내화물의 용손 반응 등이 동시에 진행되기 때문에 그 예측이 단순하지 않다. 따라서 시간에 따른 용강과 슬래그의 조성 변화, 양적 변화 및 온도 변화를 예측하는 반응 모델이 필요하다. 본 연구에서는 전로의 스테인리스강 탈탄 공정에서 산소 취입 영향에 대해 평가하기 위해 Coupled Reaction 모델을 응용한 반응 모델을 도입하였다. 본 모델의 신뢰성을 확보하기 위하여 300 kg 공정에서의 측정 결과와 계산 결과를 비교하였다.

[철강3-1 | 13:00]

Incorrect Expansion Type의 노즐을 이용한 Soft Blowing 패턴 해석: 이경욱, 권재홍, 한정환; *인하대학교*

Keywords: Steel making, Soft blowing, BOF, Incorrect expansion, Supersonic jet

고품질의 철강 제품을 제조하는데 있어서 인(P)의 제어는 매우 중요하다. 기존의 전로 조업에서는 탈린능의 증대를 위해 랜스의 높이를 상향하거나, 산소 공급 유량을 감소시켜서 soft blowing 패턴을 적용했다. 하지만, 기존의 soft blowing 패턴 조업은 취련 시간이 길어지고 슬래그양이 지나치게 많아지는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 soft blowing 패턴을 유지하면서 산소 공급 속도를 증가시킬 수 있는 상취 랜스 노즐의 개발이 요구되고 있다. 기존에 사용되고 있는 correct expansion type의 노즐은 에너지 손실을 최소화하도록 설계되어 있으므로 soft blowing 패턴에 어려움이 있는데, incorrect expansion type의 노즐을 사용할 경우 노즐tip에서 에너지 손실이 발생하여 용탕표면에서 속도를 낮출 수 있다. 본 연구에서는 산소 공급 속도 증가에 따른 취련 시간의 단축과 탈린 효율 증대를 위한 incorrect expansion type의 노즐에 대한 기초 해석을 진행했다. Correct expansion type의 노즐을 기준으로 cold model test를 진행하여 해석 조건을 설정한 후, 노즐 형상에 의한 영향을 비교하기 위해 노즐 exit/throat 직경비에 따른 해석을 진행하였으며, 산소 공급량에 의한 영향을 비교하기 위해 inlet 유량 변화에 따른 해석을 진행했다. 노즐의 초음속 유동 해석을 위해 상용 해석 프로그램인 ANSYS FLUENT를 사용하여 해석을 진행했다.

[철강3-2 | 13:15]

슬래그 포밍 거동에 기포 사이즈가 미치는 영향: 손원영¹, 기성훈², 강영조¹; ¹동아대학교금속공학과, ²동아대학교건축공학과

Keywords: Electric arc furnace, slag foaming, bubble size, frequency, dimensional analysis

전기로 조업중 발생하는 슬래그 포밍은 전기로 효율향상 및 내화물 보호 등을 위하여 적절한 제어가 필요하다. 실제 전기로 공정 중 슬래그 포밍은 슬래그 조건과 조업 여건에 크게 의존하며 화학 반응에 의해 발생하는 미세한 CO 기포와 기포 크기에 의한 슬래그 폼 높이의 영향을 고려하여 슬래그의 물성 및 포밍 거동 변화를 예측하고 해석할 필요가 있다. 본 연구에서는 전기로 슬래그의 조성 제어 여부에 따른 슬래그 조성 변화와 물성을 예측하였고 슬래그 폼 높이를 직접 측정하였다. 슬래그 폼 기포 크기는 가스 취입용 노즐 직경과의 관계를 이용하여 주입된 가스의 유량과 기포가 발생하는 진동수를 측정하여 도출하였으며 기포 크기가 슬래그 폼 높이에 미치는 영향을 확인하였다. 각 조건에서의 포밍 인덱스와 슬래그 고온 물성, 기포 크기간의 관계를 이용해 차원 해석을 실시하여 보다 적절한 슬래그 폼 인덱스 예측식을 도출하고자 하였다.

[철강3-3 | 15:30]

MgO Single Crystal의 CaO-Al₂O₃-SiO₂ slag에서의 용해 거동 연구: 김예림¹, 윤철민², 민동준², 정용석¹; ¹한국산업기술대학교 신소재공학과, ²연세대학교 신소재공학과

Keywords: Dissolution, Hot Thermocouple Technique, Single crystal, Kinetic

다양한 CaO-Al₂O₃-SiO₂ slag 조성에서의 MgO Single crystal의 용해 거동을 Single Hot Thermocouple Technique(SHTT)을 이용하여 연구하였다. Slag는 각 CaO-Al₂O₃-SiO₂ 시료 파우더를 염기로(C/S) 1로 고정하여 Al₂O₃ 함량을 10%, 20%로 변화시켰고 1550°C에서 용융된 Slag에 MgO를 투입하여 시간에 따른 용해 거동을 광학현미경을 통해 관찰하였다. 결과적으로, slag의 Al₂O₃ 함량이 증가함에 따라 MgO의 용해 속도가 감소하였다. 또, 20% Al₂O₃에 용해된 MgO 계면 주위에 Spinel이 형성과 동시에 MgO 용해가 동시에 관찰되었다. 이러한 결과를 Kinetic, Slag의 조성 및 용해도 등 다양한 관점으로 해석하였다.

[철강3-4 | 15:45]

Heat Transfer Control through Dispersed Metallic Particles in Glassy Mold Flux Film with Continuous Steel Casting:

현성희, 조중욱; *포항공과대학 철강대학원*

Keywords: Mold flux, Mie scattering, thermal conductivity, heat transfer, absorption coefficient

철강의 연속공정에서 초기 응고 시 과도한 냉각으로 인하여 주변에 표면 결함이 자주 발생한다. 이를 방지하기 위해 용강과 주형 사이의 몰드플럭스 필름을 통한 열 전달 제어 연구가 활발히 이루어지고 있다. 일반적으로 고염기도 몰드플럭스의 결정화도를 증가시킴으로써 주형 내 전열량을 감소시키는 열 전달 제어법을 사용하지만, 이는 용강과 주형 사이의 유통능을 악화시켜 슬라브 표면 결함을 야기시키는 부작용을 안고 있다. 따라서 본 연구에서는, 유리질 몰드플럭스 내에 분산된 metallic particle의 Mie scattering을 통해 흡광계수를 높임으로써 유통능 확보와 전열량 감소의 효과를 동시에 입증시킨 선행 연구결과를 주목하였다. 선행연구에서는, metallic particle이 열전달 기구 중 하나인 복사에 미치는 영향은 입증된 바 있으나 전도에 어떤 영향을 미치는지는 알려져 있지 않다. 따라서 본 연구에서는, CaO-Al₂O₃-CaF₂계의 유리 질 몰드플럭스에 FeO 및 Fe metallic particle을 각0%, 2%, 5%첨가함으로써 자연적으로 환원되어 particle을 생성시키는 FeO의 흡수 및 Mie scattering에 의한 흡광계수의 변화와 Fe particle 자체의 Mie scattering에 의한 흡광계수의 변화를 FT-IR 및 UV/Vis 분광기를 통해 측정된 후 비교 및 고찰하였다. 또한, 몰드플럭스 필름 내 분산된 metallic particle이 미치는 열전도도의 영향을 평가하기 위해서, 열전도도 측정기 (LFA)를 이용하여 분석하고, 이를 종합하여 유리질 몰드플럭스 내 metallic particle이 용강과 주형 사이의 열 전달 제어에 어떤 영향을 미치는지 그 결과를 분석하였다. Raman분광법과 MAS NMR을 통하여 구조 분석을 실시하였으며, 이러한 전도와 복사에 의한 열 전달을 통틀어서 시뮬레이션 하기 위해 실제 연속 주조 공정과 유사한 전열 모사 장치 (IET)로 실제 주형 내 전열량 감소 검증 실험을 수행하였고 우수한 전열 제어 능력을 가지는 방법임을 확인하였다.

[철강3-5 | 14:00]

The Effect of Phase Fraction of CaFe₂O₄, MgFe₂O₄ on the Reduction Rate of Fe₂O₃: 라기호, 민동준; *연세대학교 공*

과대학 신소재공학과**Keywords:** Calcium ferrite, Magnesium ferrite, Reduction kinetics

고로 조업 시 사용되는 소결광에는 조업 안정성을 위해 CaO, MgO와 같은 조제재를 첨가하며, 그에 따라 calciumferrite, magnesiumferrite등의 상이 형성되는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 Fe_2O_3 중 $CaFe_2O_4$, $MgFe_2O_4$ 의 분율에 따른 환원 거동의 변화를 평가하였다. 본 실험에서 사용되는 $CaFe_2O_4$, $MgFe_2O_4$ 는 CaO, MgO와 Fe_2O_3 powder를 물리적으로 혼합한 후, air 분위기의 $1000^\circ C$ 에서 24시간 유지, 소성을 통해 합성하였으며, $CaFe_2O_4$, $MgFe_2O_4$ 의 형성을 XRD를 통해 확인하였다. Fe_2O_3 환원 거동에 미치는 $CaFe_2O_4$, $MgFe_2O_4$ 상 분율의 영향을 TGA 및 SEM을 이용하여 확인하였다. $CaFe_2O_4$, $MgFe_2O_4$ 상 분율의 영향성은 환원 후기에 크게 나타났으며, 이에 대한 원인을 열역학 및 속도론적 관점에서 평가하였다. 기공이 가스 환원에 미치는 영향을 유효 탄소 사용률과 초기 환원거동을 이용하여 평가하였다.

[철강3-6 | 14:15]**DEM을 이용한 미분광 브리켓의 압력분포 해석: 배중호, 김강민, 한정환; 인하대학교 신소재공학부****Keywords:** Fine ore, Briquetting process, DEM, Numerical analysis

최근 고품위 제철 자원의 고갈 대응과 이산화탄소 배출량 저감을 위한 파리기후협약 이행을 위해 저품위 미분광의 유효 활용 기술 개발이 필요하다. 이에 따라 저품위 미분광을 가압하여 만든 성형체(briquette)를 소결기 하부에 장입하여 소결기 내 과잉 열을 활용하여 에너지 효율을 증가시키는 방법이 연구되고 있다. 이 방법은 기존의 소결 공정을 이용하기 때문에 별도의 설비가 필요 없고, 과잉 열을 활용함에 따라 코크스 사용 효율을 증가시킬 수 있어 이산화탄소 저감 효과를 기대할 수 있다. 그러나 소결 공정에서 미분광 성형체를 유의미하게 사용하기 위해서는 성형체의 충분한 생산량이 확보되어야 한다. 따라서 이송 및 장입에 필요한 충분한 강도를 가지면서도 생산성을 증가시킬 수 있는 성형체의 적정 제조 조건을 도출할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 롤(roll) 형태의 브리케터(briquetter)를 이용하여 저품위 미분광을 활용한 고환원성 성형체 제조 과정을 DEM(Discrete Element Method)을 활용하여 해석하였다. 입자의 입도, 브리케터의 형태 등 제조 조건을 변화시키며 해석을 진행하였으며, 브리케팅 후 성형체 내부 압력 분포 및 크기, 성형체 단일 질량 등을 확인하여 브리케팅 제조 조건을 고찰하였다.

철강3-7 | 14:30**A Study on the Reduction Behavior of $FeCl_2$ Using Carbonate and Carbon Sources at High Temperature: 신상균, 민동준; 연세대학교 신소재공학과****Keywords:** $FeCl_2$, Reduction, Carbonates, Chloride, Carbon Souce

산화물계 니켈 또는 타이타늄 등의 비철 제련과정에서 부산물로 발생하는 $FeCl_2$ 를 Fe로 환원하는 방안의 하나로써 탄산 용융염 반응 및 탄재에 의한 환원 반응을 통한 금속 Fe를 제조 공정에 관한 기초 연구를 행하였다. 수직 관상로를 이용하여 고온에서 반응을 진행하였으며, 반응 후 생성물의 분석을 위하여 XRD, C/S, N/O등의 분석 기법을 이용하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. $FeCl_2$ 의 탄산염(M_2CO_3 , M: Na, Li, K, Ca)에 의한 다른 환원 반응 가능성을 열역학적으로 확인 하였다. $FeCl_2$ 는 탄산염 이온반응에 의해 산화철 및 Chloride(MCl, M: Na, Li, K, Ca)를 생성하였으며, 생성된 산화철은 Carbon에 의하여 금속 Fe로 환원되는 것으로 파악되었다. $CaCO_3$ 경우가 가장 높은 환원율을 보였으며, 이는 용융염 중 CO_3^{2-} 이온이 $FeCl_2$ 의 산화제로 작용함과 동시에 CO_3^{2-} 이온의 분해에 따라 생성된 CO_2 가스가 탄소와 Boudouard 반응을 통하여 CO 가스를 생성하여 환원율을 높이는 것으로 판단된다. 그리고 탄소종(Graphite, Anthracite, Coal)에 따라 환원율은 상이한 결과를 보였으며, Coal을 이용하여 환원 시 가장 높은 환원율을 보였다. 이는 탄재 내 존재하는 탄소의 반응성에 기인한 것으로 판단되며, Anthracite의 경우 탄재 내 존재하는 회분의 영향에 의하여 가장 낮은 환원율을 보였다.

[철강3-8 | 14:45]**소결 베드 내 미분광 브리켓의 입도 편석 장입거동에 대한 연구: 김강민, 배중호, 한정환; 인하대학교 신소재공학과**

제선공정에서 고로에 장입되는 철광석의 적정 입도는 일반적으로 10~30 mm가 바람직하며 10 mm 이하의 분광석은 소결법(sintering)으로, 44 μm 이하의 미분광은 펠레타이징법(pelletizing)으로 적정한 크기의 괴광으로 만들어 사용된다. 특히 최근 고품위 제철 자원이 고갈됨에 따라 저품위 미분광의 유효 활용 기술 개발에 대한 필요성이 대두되고 있으며 미분광으로 제조한 성형체를 소결 원료와 함께 장입하여 소결 공정에서 발생하는 연소열을 이용해 소성 또는 부분 환원시키는 방법이 제시되어 왔다. 그러나 소결 베드는 층후에 따라 열 분포가 다르기 때문에 장입위치별 소결온도에 적합한 적정 크기의 브리켓을 위치시켜야 할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 DEM을 이용한 수치해석법으로 소결공정을 전산모사하여 소결원료와 미분광 브리켓의 편석 장입 시뮬레이션을 수행하였으며 소결원료 및 브리켓의 장입거동 변화를 가시화하고 입도분포 및 편석 정도를 측정하였으며 이 결과를 토대로 소결-브리켓 복합소성 기술의 유효성에 대하여 고찰하였다.

[철강3-9 | 15:00]**Structure-Property Relationship via Phase Stability Analysis of $CaO-SiO_2-Al_2O_3-FeO$ Slag: 최준성, 민동준; 연세대학교****Keywords:** Slag structure, Amphoteric oxide, Viscosity, Raman spectroscopy, Stability function

슬래그 저감의 관점에서, 슬래그 이온 구조 정량 지표(NBO/T)를 활용한 슬래그 점성 및 정련능 물성 예측 모델 설계를 위하여, $CaO-SiO_2-Al_2O_3-FeO$ 용액의 구조-물성 관계에 미치는 염기도와 양쪽성 원소(Al_2O_3 , FeO)에 관한 연구를 수행하였다. 용액 구조에 미치는 조성 효과를 확인할 목적으로 Al_2O_3 , FeO 농도와 염기도(CaO/SiO_2)를 변화시켰다. 슬래그 구조 정량화를 위하여, $1600^\circ C$

에서 급냉된 비정질 시료는 Raman Spectroscopy 분석 이후 PeakFit™4.12을 이용하여 deconvolution 함으로써 각각 Qⁿ unit 분율의 정량 분석을 진행하였다. 또한, Rotating cylinder method에 의해 측정된 점성은 슬래그 구조 지표(NBO/T)와 함께 나타내었다. CaO-SiO₂ 용액의 슬래그 해리도(NBO/T)는 염기도(CaO/SiO₂) 1.0을 기준으로 변곡점을 나타내었으며, wollastonite (CaSiO₃) congruent point 를 중심으로 용액의 stability와 Qⁿ unit 변화에 의한 것으로 판단된다. Al₂O₃, FeO 증가에 따라 변곡점이 변하며 각각 초정상 변화(anorthite, olivine)에 따른 dominant polymeric unit 변화에 기인하는 것으로 판단된다. (Si⁴⁺-O-Si⁴⁺ → (Al, Fe)⁴⁺-O-Si⁴⁺) 또한 슬래그 구조적 관점에서, 고온 용체의 대표적인 물성치인 점성과의 비교 평가를 진행하였다. 초정상에 의한 polymeric unit 변화는 점성의 활성화 에너지(E_a)와 밀접한 연관을 가짐을 확인하였으며, 슬래그 구조-물성 예측 모델을 제시하였다.

[철강3-10 | 15:15]

Effect of Na₂O and K₂O Substitution on the Viscosity and Structure in a CaO-SiO₂-CaF₂-Based flux System at 1773

K: Minseok Seo, Il Sohn; 연세대학교 공과대학 신소재공학과.

Keywords: mold flux; alkali oxide; viscosity; structure

This study investigated the substitutional effect of Na₂O and K₂O on the viscosity and structure of CaO-SiO₂-CaF₂-based mold flux at high temperature. The CaO/SiO₂ mass ratio (C/S) was fixed at 0.8 with 10 mass pct. CaF₂ and a total alkali-oxide of Na₂O and K₂O is 20 mass pct. Na₂O was substituted with K₂O at 5, 10, 15, 20 mass pct. respectively. Viscosity was measured using the rotating spindle method during cooling from 1773 K. Viscosity of the samples increased with higher K₂O in the samples. The apparent activation energy indicated an increase from 95.9 to 153.8 kJ/mol with higher K₂O. Structure of the melts was studied using Raman spectroscopy and the mole fraction of Q⁰ and Q² decrease, while Q³ increase with higher K₂O. NBO/Si (non-bridged oxygen per silicon cation) decreased from 1.97 to 1.58 with increasing K₂O indicating greater complexity in the melt structure with K₂O, which induced a higher viscosity.

[철강3-11 | 15:30]

고상 α-Fe중 Si-Al 간 열역학적 상호작용과 AlN 석출거동: 장준익, 강영조; 동아대학교 금속공학과.

Keywords: Si, Al, Solid Fe, Interaction parameter, AlN precipitation, Solubility product

강 중 비금속 개재물은 최종 제품에 큰 영향을 미치기 때문에 적절하게 제거 및 제어할 필요가 있어 용강 내 개재물의 생성에 영향을 미치는 용질의 열역학적 성질에 관한 연구는 많이 보고되어왔다. 하지만 최종 제품의 개재물은 모두 응고 및 열처리과정을 거치고 그 결과로 최종 성질이 결정됨을 고려할 때, 고상 중 용질의 거동이 개재물의 생성과 성장에 미치는 영향을 정확하게 파악할 필요가 있다. 그러나, 고상 Fe 중 용질 거동의 열역학적 성질에 관한 연구는 상대적으로 매우 부족하여 고상 중 용질의 성질과 개재물의 생성 거동을 정확히 예측하기 어려운 실정이다. 한편, 전기적인 용도로 활용되는 고Si강의 경우 2차 재결정 중 결정립의 성장을 억제하기 위하여 미세한 석출물들이 적극적으로 활용되고 있으며, 본 연구에서는 대표적인 inhibitor 중 하나인 AlN에 주목하여 고 Si강 내 Si와 Al간의 열역학적인 상호작용을 1373~1473K의 온도범위에서 직접 측정하였다. 즉, Al이 첨가된 고 Si강 호일과 용융 Ag-Si-Al 합금간 간 Si의 평형분배로부터 고상 α-Fe에서의 Si과 Al의 1차 상호작용계수(e_{Si}^{Al})를 도출하였고 도출된 열역학적 상호작용을 이용하여 고상의 α-Fe 중 AlN의 석출 거동을 평가하였다.

복합재료

Room 700B, 4월 24일

[복합1-1 | 09:00]

기계적합금화와 방전플라즈마 소결을 이용한 Fe-CNT 합금의 미세조직 및 기계적물성 연구: 남종석¹, 김형철¹, 노상훈², 신찬선¹; ¹명지대학교 신소재공학과, ²한국원자력연구원

Keywords: Carbon nanotube, Mechanical alloying, Spark plasma sintering, Metal-CNT composite

기계적 물성 향상을 위한 탄소나노튜브-금속 기지 복합체에 관한 연구는 알루미늄, 구리, 티타늄 등 비철금속에 대하여 주로 수행되어 왔다. 최근 철합금에 대한 탄소나노튜브 복합체 연구가 일부 수행되었으나 탄화물 형성이 강한 Fe 기지 내에서의 탄소나노튜브의 효과에 대한 체계적인 연구는 부족하다. 이에 이 연구에서는 Fe-CNT 복합체를 제조하고 같은 방법으로 제조한 Fe-C (Graphite)와 비교하여 Fe 기지 내에서의 탄소나노튜브의 구조 안정성에 미치는 복합체 제조 조건의 영향 및 복합체 물성에 미치는 탄소나노튜브의 효과를 평가하였다. 연구방법으로는 아르곤 분위기의 글로브 박스 내에서 Planetary milling 장비를 이용해 기계적 합금화를 통해 합금분말을 제작하였고, 라만분광법을 이용하여 밀링 속도에 따른 CNT와 Graphite의 손상정도를 평가하였다. 이후 기계적 합금화된 분말을 방전플라즈마 소결을 이용하여 복합체를 제조하였다. 제조한 복합체의 미세조직을 관찰하고 비커스경도를 측정하였으며 라만분광법을 이용하여 복합체 내의 CNT를 확인하였다. 연구결과 Fe-C에 비하여 Fe-CNT 복합체의 기계적 물성이 우수하였으며, 물성의 차이는 불밀링 속도가 증가할수록 감소하였다. 이는 불밀링 속도가 증가할수록 탄소나노튜브의 분산도는 증가하나 탄소나노튜브가 손상되어 이후 소결공정 과정에서 분해되어 탄화물을 형성하기 때문으로 확인되었다.

[복합1-2 | 09:15]

EIGA를 이용한 SKD11-TiC 복합재 pre-alloyed 분말 제조 및 소결체의 미세구조, 기계적 특성 분석: 광동선¹, 박형기¹, 박광석¹, 양승민¹, 김대하², 이원혁², 이택오¹; ¹한국생산기술연구원, ²대화알로이테크

Keywords: Gas atomization, Titanium carbide, MMCs, Pre-alloyed powders, HIP

최근 우주 항공 산업 및 운송 산업에서 고효율을 달성하기 위해 높은 비강도, 내마모성, 압축강도 등 우수한 특성을 가지는 금속 기지 복합재(MMC)에 대한 관심이 지속되고 있다. 특히 금속과 젖음성이 우수한 TiC를 강화제로 사용한 MMC의 경우, 용융가압합침법을 이용한 SKD11-TiC 복합재가 상용화되어 냉간금형 및 공구강용 소재로 사용되고 있다. 하지만, SKD11-TiC 소재는 높은 내마모성으로 가공이 어렵고, TiC 이차상의 불균일한 분포로 유발되는 계면 취성으로 인해 복잡하거나 미세한 크기의 제품 생산이 어렵다. 따라서, 분말야금법 중 near-net shape 제조 기술인 powder injection molding이나 additive manufacturing 등을 통해 적용 가능 범위를 확대할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 기술을 적용하기 위해서는 복합재의 pre-alloyed 분말이 필요하며, 특히 additive manufacturing 또는 고밀도의 분말야금은 원하는 입도의 구형 분말 제조기술이 필요하다. 본 연구에서는 Electrode Induction Gas Atomization(EIGA)를 이용하여 평균입도가 80 μm 인 구형의 pre-alloyed 분말을 제조하였다. Pre-alloyed 분말은 TiC가 균일하게 분포하고 있으며, atomizer의 급냉으로 인해 기지가 $\gamma\text{-Fe}$ 상으로 관찰되었다. Pre-alloyed 분말은 Hot Isostatic Press(HIP)를 이용하여 1320 $^{\circ}\text{C}$, 98 MPa 조건에서 4 hr 유지하여 소결체를 제조하였다. 소결체의 미세구조, 기계적 특성 분석을 통해 기존 SKD11-TiC 복합재의 특성과 비교 분석을 실시하였다.

[복합1-3 | 09:30]

B₄C/Al복합재료의 Ti 첨가에 따른 미세조직 및 특성 평가: 이동현¹, 박현재¹, 조일국¹, 조승찬¹, 이상관¹, 이상복¹, 김양도²; ¹재료연구소(KIMS), ²부산대학교

Keywords: Al matrix composite, boron carbide, hot-rolling, stir casting process, thermal neutron shielding

알루미늄 합금은 낮은 비중으로 주목을 받고 있으나, 연성이 높고 강도가 낮은 단점을 가지고 있다. 따라서 이러한 단점을 극복하기 위해 SiC, B₄C, TiB₂, Al₂O₃와 같은 세라믹 강화제를 첨가하여 강도가 높은 금속복합재료(Metal Matrix composite, MMCs)를 개발 하고 있다. 그 중 B₄C는 낮은 비중(2.51g/cm³)과 높은 내 충격성, 내마모성, 건전한 열 화학적 안정성 및 중성자 흡수능이 우수하여 B₄C/Al 금속복합재는 자동차, 군수 및 원자력 산업에 사용되고 있다. 특히, 사용후핵연료 저장용기 소재로 중성자 흡수능이 우수한 B10을 다량 함유한 B₄C가 강화된 알루미늄(Al) 복합재료에 관한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 기존의 분말야금 공정과는 달리, 교반 주조 및 열간압연 공정을 하여 B₄C가 균일 분산된 Al 복합재료를 제조하였다. 또한, Ti의 함량을 조절하여 B₄C 입자와 Al 기지의 계면에 연속적인 TiB₂층을 형성시킨 Al 복합재료의 제조에 성공하였고, B₄C 체적률 및 Ti첨가에 따른 복합재료의 기계적 특성 및 중성자 흡수능 등을 분석하였다.

[복합1-4 | 09:45]

주철 탈흑연 열처리에 따른 주철-알루미늄 이종소재의 계면접합특성 연구: 양지바륜^{1,2}, 김태형¹, 신제식¹, 김동웅¹, 김윤준²; ¹한국생산기술연구원, ²인하대학교 신소재공학부

Keywords: Cylinder block & liner, Gray iron-Aluminum, De-graphitization, Die casting, Interfacial bonding strength

최근 자동차산업 분야에서는 차체 중량감소, 엔진의 고성능화, 연비 감소 및 환경규제로 인한 배출가스 감소 등의 문제에 관심이 집중되고 있다. 특히, 자동차 엔진은 고성능화와 더불어 저연비 및 저원가의 필요성이 강력히 대두되고 있어 이를 위한 자동차 엔진

을 구성하는 알루미늄 실린더 블록 및 주철 라이너를 활용한 이중소재 부품에 대하여 다양한 기술이 적용되고 있다. 알루미늄 합금 실린더 블록의 경우 피스톤 운동에 따른 블록의 내마모성이 저하되는 우려가 있기 때문에 주철로 만들어진 라이너를 삽입하여 주조하는 방법이 적용되고 있다. 이중소재 부품 제조기술로서 다이캐스팅은 완성품에 가까운 부품을 정형주조 할 수 있고, 빠른 속도로 대량생산이 가능하며, 정확한 치수 및 광범위한 두께의 제품에 적합하다는 이점이 있다. 주철-알루미늄 이중접합소재 제조시 주철에 존재하는 흑연은 알루미늄과의 젖음성 및 계면결합력을 떨어뜨려 제품의 품질저하를 야기할 수 있다. 본 연구에서는 다이캐스팅 방법을 이용한 주철-알루미늄 이중소재의 계면접합력을 개선하기 위해 주철의 흑연을 제거하는 탈흑연 열처리를 진행하였고, 미세조직을 통한 탈흑연 깊이를 확인하여 열처리 시간과의 상관 관계에 대해 알아보았다. 또한 다이캐스팅 방법으로 이중접합시편을 제작한 후 계면접합강도를 측정하여 탈흑연 깊이가 계면접합강도에 미치는 영향을 조사하였고, 흑연이 제거된 자리에 알루미늄이 침투된 깊이를 확인하여 최적의 탈흑연 깊이를 조사하였다.

[복합1-5 | 10:00]

CP-Ti의 미세조직 제어에 따른 in-situ MgB₂초전도 선재의 구성소재 분율 및 미세조직 변화 연구: 박상윤¹, 현승균¹, 황덕영², 박정민³, 이종범³, 정하국³; ¹인하대학교 ²KAT, ³한국생산기술연구원.

Keywords: MgB₂, Commercial pure Titanium, Microstructure and deformation behavior

In-situ MgB₂초전도 선재는 주로 혼합된 마그네슘(Mg) + 붕소(B)분말을 금속튜브 안에 채운 후 인발, 압출, 압연 등의 가공 기술을 통하여 1mm이하의 장선재 형태로 제조한 뒤, 650 °C 이상의 온도에서 열처리하여 Mg와 B만을 반응시켜 MgB₂를 형성시키는 과정을 통하여 제조된다. 금속튜브의 선정기준은 Mg-B 혼합 분말이 충전된 금속 튜브가 수 km이상의 긴 선재로 가공되는 과정에서 혼합된 분말을 보호할 수 있는 기계적 강도와 연신 특성을 가져야 하며, 열처리 과정에서 Mg나 B와 반응이 발생하지 않아야 한다. 무산소동(Oxygen-Free Copper)은 우수한 기계적 강도 및 연신 특성을 나타내지만, 열처리 과정에서 Mg와 반응하여 Mg₂Cu를 형성시켜 초전도특성을 저하시키는 문제점이 있다. 이를 방지하기 위한 방법으로 혼합분말과 금속튜브 사이에 확산 방지층을 위치시켜 Mg₂Cu형성을 억제한다. 최근 확산 방지소재로 Mg와 반응이 없고, 우수한 기계적 특성을 지닌 순 티타늄(Commercial pure Ti)을 적용한 연구가 진행되고 있다. CP-Ti을 확산 방지 소재로 적용하면 기존에 사용되었던 나이오븀(Nb)이나 Fe(순철)보다 건전한 분말/barrier 계면이 얻어지며, 기존 열처리온도 보다 높은 온도에서도 barrier층으로 B분말이 확산되지 않아 초전도 특성을 향상시킨다는 연구 결과가 보고되었다. 하지만 가공 과정에서 확산 방지소재의 기계적 특성 및 미세조직 변화에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 본 연구는 CP-Ti의 결정립 크기 등 미세조직을 제어하기 위하여 600-1000°C의 온도 구간에서 다양한 조건으로 열처리를 진행한 후, 다양한 조건으로 열처리된 Ti 튜브를 적용하여 지름이 25mm인 Mg-2B/Ti/Cu의 튜브를 조립하여 최종 직경이 0.82mm인 와이어를 제조하였다. 모든 변형 구간에서 Ti의 미세조직 및 구성소재 비율 변화를 관찰하여 변형 특성과 이들과의 관계를 연구하였다.

[복합2-1 | 10:25] 초청강연

클래드 메탈의 제조 원리와 특성 평가 및 산업적 응용: 조영래¹, 배동현², 임영준¹, 강영준¹; ¹부산대학교 ²(주) 한국클래드텍.

Keywords: 다층 복합재료, 클래드 메탈, 롤본딩, 열교환기 재료, 열전도도

클래드 재료는 다층 복합재료의 한 종류로, 1가지 재료로는 얻을 수 없는 복합적인 특성을 얻기 위하여 서로 다른 2가지 이상의 재료를 접합 혹은 특성 결합시킨 재료이다. 또한, 클래드 메탈(clad metal)은 2가지 이상의 금속 재료를 적층시켜 1가지 재료로는 얻을 수 없는 물리적 혹은 화학적 특성을 얻기 위해 제조한 다층 복합 금속재료이다. 본 발표에서는 대표적인 클래드 메탈의 제조 방법인 롤본딩(roll bonding) 공정시 서로 다른 이중 금속재료가 강하게 본딩(bonding)되는 원리를 원자 범위(atomic scale)의 스케일에서 깊이 있게 살펴보고자 한다. 아울러, 클래드 메탈의 응용에서 산업적으로 중요하게 요구되는 특성인, 두께 방향으로의 열전도도와 사용 환경에서의 내식성 및 내마모성 등에 대해서도 특성평가 방법과 함께 관련된 금속공학적인 이론에 대해서 고찰해 본다. 특히, 두께 방향의 열전달 특성은 클래드 메탈이 열교환기(heat exchanger)용 소재 혹은 주방용기(cookware)용 소재로 사용될 때 중요한 특성이기 때문에 자세하게 살펴본다. 아울러, 클래드 메탈의 산업적 응용 사례는 아주 넓지만, 특히 주방용기, 열교환기, 전자부품, 경량화 복합재료, 저가격 고효율화 복합재료 등의 관점에서 각각의 사례별로 중요한 특성 측면에서 고찰하고자 한다.

[복합2-2 | 10:55]

Cu/Al clad 판재의 V-bending 실험 및 전산 모사 해석: 김용근¹, 김민중², 홍순익¹; ¹충남대학교 신소재공학과, ²한국클래드텍.

Keywords: Cu, Al, V-bending, FEM

Cu와 Al은 가장 널리 사용되는 비철금속 재료로서 우수한 전기전도도 및 내식성, 그리고 표면의 미려함 등의 중요한 특성을 지니고 있어, 다양한 분야에서 사용되고 있다. 특히, Cu와 Al 합금은 높은 전기 전도도 및 열전도도로 인해 전선, 통신선등의 전기 소재 및 부품 등에서 광범위하게 사용되고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 특성을 지닌 Cu와 Al을 압연 접합하여 두께 1.5mm의 클래드 판재를 제작하였으며, 압연한 판재와 열처리한 판재를 사용하여 인장 및 V-bending 실험을 진행하였다. 0.5, 1.0, 1.5, 2.0등의 r값을 갖는 금형을 이용하여 Cu와 Al의 접합 부위에 대한 건전성 및 클래드재의 두께 변화 등을 관찰하였으며, 열처리 효과가 굽힘성 및 굽힘거동에 미치는 영향을 분석하였다. 탄소성 조건의 전산 모사를 통해 V-bending 실험이 진행되는 동안 클래드의 굽힘 부위에 발생하는 응력 거동 분석 및 실제 실험과의 비교를 통해 최적의 굽힘가공 조건을 찾고자 하였다.

[복합2-3 | 11:10]

Cu/Al clad 판재의 열처리 온도에 따른 접합력 및 미세구조 관찰: 김용근, 홍순익; 충남대학교 신소재공학과.

Keywords: Cu, Al, peel-test, IMC

Cu와 Al은 가장 널리 사용되는 비철금속 재료로서 우수한 전기전도도 및 내식성, 그리고 표면의 미려함 등의 중요한 특성을 지니고 있어, 다양한 분야에서 사용되고 있다. 특히, Cu와 Al 합금은 높은 전기 전도도 및 열전도도로 인해 전선, 통신선등의 전기 소재 및 부품 등에서 광범위하게 사용되고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 특성을 지닌 Cu와 Al을 압연 접합하여 두께 1.5mm의 클래드 판재를 제작하였다. 200, 300, 400, 450, 500도에서 1시간 열처리 하여 peel-test를 진행 하였으며, 실험 후 분리된 각각의 시편을 XRD 및 EDS mapping 분석하여 금속간 화합물의 생성 및 성장을 확인할 수 있었다. 또한, peel-test가 진행되는 동안에 금속간 화합물이 미치는 영향에 대해 분석 하였다.

[복합2-4 | 11:25]

In-Situ AFM Reveals the Formation Mechanism of Micelle-Calcite Single Crystal Composite Resembling Biogenic Calcite: Kang Rae Cho; *Lawrence Livermore National Laboratory.*

Keywords: in-situ atomic force microscopy (AFM), calcite, micelle, micelle-calcite single crystal composite

Biopolymers such as proteins are often found to be incorporated into the monocrystalline biominerals, improving mechanical properties of the biominerals. To gain some insights into the process of biopolymer incorporation on the nano and micrometer scales, micelles of a carboxylated block copolymer (PSPMA₃₀-PDPA₄₇) were used as a model biopolymer and their incorporation into growing calcite single crystals was observed in real time by in-situ atomic force microscopy (AFM). As a first step of incorporation process, micelles directly adsorbed from solution to the calcite atomic steps with no or little adsorption to terraces. They adsorbed to acute over obtuse steps with slightly larger preference. Steps passed by the position of the adsorbed micelles with little or no inhibition and the continual passage of steps incorporated the micelles into the calcite single crystal, leaving cavities at the locations where the micelles were incorporated. In this way, a micelle-calcite single crystal composite was created.

[복합2-5 | 11:40] Canceled

WC-Co 합금과 셀룰로오스 유기소재 첨가를 통한 절삭공구용 소재로써의 강도 및 내마모성 향상에 관한 연구: 전철환, 윤용희, 김소영, 이원희; *세종대학교 나노신소재공학과.*

Keywords: WC-Co, 셀룰로오스, 초경합금, 방전 플라즈마 소결

절삭공구로 사용되는 소재의 경우 일반적으로 금속이나 세라믹과 같은 고강도·고경도 소재를 가공해야하기 때문에 매우 높은 강도와 경도를 필요로 한다. 대표적으로 고속도강, 초경합금, 세라믹, 다이아몬드 등이 이에 속한다. 본 연구에서는 금속-세라믹 복합체로써 초경합금 중 하나인 WC-Co 합금을 이용하여, 취성이 강한 세라믹의 단점을 보완하고 고온점에서도 높은 경도를 유지하는 소재를 설계하였다. 이를 위해 탄소의 여러 중합체 중 하나이면서 유기물 소재인 셀룰로오스 분말을 첨가하여 초경합금-탄소 복합체를 유도하였다. 셀룰로오스는 목재에서 쉽게 추출이 가능한 친환경 소재로써 분자 간 결합력이 탁월해 강도가 높고, 친수성이 뛰어나 여러 산업에 응용되고 있다. 셀룰로오스의 혼입으로 인해 복합체의 소결이 진행되는 동안 탄소가 빠져나가 WC가 W_xC가 되는 것을 방지할 수 있고, Co에 탄소가 침탄하여 원 소재에 비해 높은 강도와 내마모성을 구현할 수 있다. 복합체는 WC-Co 합금에 무게비율을 각각 달리한 셀룰로오스 분말을 첨가한 후 250rpm에서 6시간 동안 밀링을 진행하여 제조하였다. 제조된 분말의 소결은 기존의 연소법과 열간 가압기술(HIP, hot isostatic pressing)를 결합한 방식인 방전 플라즈마 소결법(SPS, spark plasma sintering)을 이용하여 고온에서 급속도로 진행하였다. 소결을 마친 복합체는 표면 및 조직의 분석을 위해 FE-SEM, XRD를 이용하였고 기계적 물성의 평가를 위해 비커스 경도기를 이용한 경도값과 UTM 분석을 통한 인장강도, 연신율 등을 비교 분석하였다.

생체재료

Room 700B, 4월 24일

[생체1-1 | 13:00]

3D 프린팅 적층 방식으로 제조된 Ti6Al4V 나사의 골유합능 평가: Lee Kang-sik¹, kim hyewon², Choi Eun-Jeong¹, Kim Yu-Chan², Lee Hae-Jin³, Lee Byoung-Soo³; ¹Asan Medical Center, ²Korea Institute of Science and Technology, ³Korea Institute of Industrial Technology.

Keywords: Ti6Al4V, 3D-printed, bone to implant contact, osseointegration, biocompatibility

Ti6Al4V ELI는 생체 적합성과 기계적 특성이 우수하여 근골격계의 이식용 의료기기로서 널리 이용되어 왔으며, 임플란트의 표면 구조는 뼈 조직과의 이상적인 결합에 중요한 역할을 하므로 물리·화학적인 표면 처리에 대한 수많은 연구들이 진행되어 왔다. 최근에는 3D 프린팅 적층 기술을 이용한 맞춤형 의료기기들이 활발히 개발되고 있으며 이에 따른 안전성 및 유효성 평가에 대한 다양한 연구가 보고되고 있다. 3D 프린터로 제조된 거친 표면의 Ti6Al4V 나사와 일반 기계 가공으로 제조된 매끄러운 표면의 Ti6Al4V 나사에 대한 골 유착능을 토끼의 이식 모델을 이용하여 평가하고자 하였다. 10마리의 토끼(New Zealand White rabbit, 2.5kg)의 양쪽 대퇴골 과간절흔(intercondylar notch)에 3D 프린터와 5축 가공기로 각각 제조된 Ti6Al4V 나사를 이식하였으며 이식 2주 후 이식된 나사의 주변부를 Goldner's trichrome 염색법으로 염색하였다. 염색된 조직에 대한 골 접합면(Bone to implant contact : BIC)을 정량화하여 이식된 나사의 조직형태학적 분석을 시행하였다. 3D 프린트된 Ti6Al4V 나사(35.9±10.2%)는 기계로 만든 Ti6Al4V 나사(5.9±3.8%) 보다 뼈와 임플란트 계면에서의 더 높은 BIC 값을 나타 내었다. 3D 프린터로 제조된 Ti6Al4V 나사의 거칠고 불규칙한 표면구조는 골유합 및 골 재형성을 촉진시켜 골 고정력을 향상 시킬 수 있을 것으로 사료된다.

[생체1-2 | 13:15]

Development of a Single Process for Apatite Coating of Titanium Surface Using Nanosecond Laser: Seung-Hoon Um, Yong-Woo Chung, Youngmin Seo, Hojeong Jeon; *Korea Institute of Science and Technology (KIST)*.

Keywords: Titanium, hydroxyapatite, nanosecond laser, coating.

Titanium is one of the most commonly used materials for body implants and external fixator when a bone fracture occurs, due to its mechanical properties and biocompatibility. However, titanium itself has weak bone conduction and new bone formation ability compared with autogenous bone. To overcome this disadvantage, titanium is coated with hydroxyapatite, which is an inorganic component of bone. There are lots of methods to coat apatite on titanium. But most of the conventional methods require multistep processing, energy and time. We have developed a method to coat apatite in a single process on titanium surface using calcium and phosphoric acid solution and nanosecond laser. Conventional apatite coating process which took more than 24 hours, we were able to shorten the processing time to several ten to hundreds of seconds. Also the thickness of the apatite layer can be controlled by adjusting laser parameters. In addition, by using the features of the laser that can be micromachined, apatite can be created and removed at the desired part. Using these techniques, we implemented micropatterning such as text and graphics. The result of this study is expected to be a new breakthrough to reduce manufacture processing time, precise control of coating area which was not capable with conventional methods.

[생체1-3 | 13:30]

High Sensitive Influenza Lateral Flow Assay by Integration of Sample Preconcentration Device: Cheonjung Kim, 유용경, 이준우, 김혜린, 김강현, 이정훈; *광운대학교*.

Keywords: Lateral flow assay, influenza, ICP

Paper analytical device is considered as one of the powerful devices for point-of-care (POCT). Generally, they are used for an emergency medical situation and an unequipped field due to their simple way of use. Also, paper-based diagnostic devices (e.g. lateral flow assays; LFA) have several advantages, such as portable diagnostic systems owing to their low costs and using. However, because of their low sensitivity and limitation of detection (LOD) for biomolecule sensing, these devices have limitations in applications for real-field diagnosis. To solve the problem, the paper-based biosensors are undergoing various studies. However, most of the cases, additional buffer, heat, or high power is needed, and there is limitation to apply to the point-of-care system. For portability and low-power consumption of POCT is an essential criterion. An electrokinetic based ion concentration polarization (ICP) is a useful method for sample pretreatment. This ICP preconcentrator are able to provide the solution for low sensitivity and LOD with simple structure and operation. We study a paper-based preconcentration enhanced LFA sensitivity in low-powered ICP. In this study, we investigated the feasibility by enhancing sensitivity and LOD using a commercial influenza LFA, which has a relationship flu biomarker. We conducted experiments that can be applied to real-field diagnosis, for example, influenza test kit. We could not observe color changes on the test line without the preconcentration (bottom strip); whereas, with the naked eye, we clearly observed pink to red colors on the test line with the preconcentration. Furthermore, we suggest the versatile applications such as various virus detections using preconcentrating devices.

[생체1-4 | 13:45]

Bioresorbable Electronics for Functional Regeneration of Peripheral Nerve: 최성근, 이주용, 김경섭, 강승균; 서울대학교 공대 재료공학부.

Keywords: Bioresorbable electronics, Wireless implantable therapeutic actuator, Minimally invasive medical device, Neuro-regeneration, Electrical stimulation

체내 삽입형 의료 기기는 환부 집중 치료를 통해 치료의 효율을 높여주며, 체외에서 지속 치료가 불가능한 체내 치료를 실시할 수 있게 해준다. 하지만, 삽입형 의료 기기는 완치 이후 체내 잔존 시에 바이오 필름을 형성하는 원인이 되거나 체내에서 이동하여 주변 장기 손상을 유발할 수 있다. 하지만 제거 수술은 의료 기기 주위의 재생된 조직으로 인해 복잡하고 수술로 인한 2차 손상이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이와 같은 문제를 근본적 해결을 위해 체내 이식된 이후 치료 기간 동안에는 안정적으로 작동하며 완치 이후 체내에 흡수되는 생흡수성 무선 치료 기기를 소개한다. 생흡수성 무선 치료 기기는 생분해성 나노박막 Si과 마그네슘, 생분해성 고분자 PLGA로 구성되어 있으며 인덕터, 다이오드, 커패시터 등의 기본소자를 이용한 회로를 갖추고 있다. 소자를 사용하여 말초 신경 절단된 쥐 모델에 이식하여 약 일주일간의 전기 자극을 통한 말초 신경 재생 가속 및 기능적 회복을 확인하였다. 제작된 소자는 약 한달 간의 기간 후 생체흡수됨을 검증하였다. 생흡수성 삽입형 의료 기기는 플랫폼 기술로서 약물 전달 시스템 등의 다양한 의료기기에 적용될 수 있으며, 완치 이후 잔존 의료 기기의 문제점 및 2차 수술에 의한 문제를 근본적으로 해결하여 삽입형 의료 기기의 범용성을 증진시킬 것으로 기대한다.

[생체1-5 | 14:00]

A New Solution for Inducing Antibacterial Properties by Mg-Ti Bi-Metal Platform: 정연욱¹, 박지민¹, 장근혁¹, 서현선¹, 한형섭¹, 이준호², 서영민¹, 전호정¹, 옥명렬¹, 차필령³, 석현광¹, 이관희¹, 김유찬¹; ¹Korea Institute of Science & Technology. ²Korea University. ³Kookmin University.

Keywords: Antibacterial, Magnesium, Bacteria, Zebrafish, Bi-metal platform

금속 표면에 형성되는 박테리아는 표면에 바이오 필름을 형성시키며 금속의 부식을 가속화 하거나 파이프의 막힘 현상을 초래하는 등 금속 기반의 산업 전반적으로 악영향을 미치고 있다. 또한 현재 바이오 필름을 제거하기 위하여 사용되는 항균제나 살생물의 경우 슈퍼 박테리아를 초래하며 주변 유기체에 악영향을 미칠 가능성을 보인다. 따라서 환경 및 의료 등 다양한 금속 기반 분야에서 친환경적인 항 박테리아 기술 개발이 요구되어 왔다. 따라서 본 연구에서는, 이러한 문제들을 해결하기 위해 적정 농도의 과산화수소를 자발적으로 방출하는 이중 금속을 결합하여 유기체에 해를 입히지 않으면서 선택적으로 박테리아를 사멸하는 플랫폼을 제작하였다. 이중 금속 플랫폼은 마그네슘 합금을 희생 금속으로, 티타늄을 카운터 금속으로 구성하였으며, 희생 금속으로 사용되는 마그네슘 합금의 종류를 변화시킴으로써 부식 속도를 조절하여 최종적으로는 실제 발생하는 과산화수소의 양을 조절하고자 하였다. 우선, 순수 과산화수소가 미생물과 유기체에 미치는 영향을 조사하고 각각 박테리아로 대표되는 E.coli와 해양 생물로 대표되는 Zebrafish 시험을 통하여 과산화수소의 임계 농도를 측정하였다. 다음으로, 각각의 합금에 따라 부식 속도를 측정하고 주사전자현미경(SEM), X-ray 회절분석법(XRD) 및 전기화학시험을 통하여 부식 속도의 원인을 찾고 최종적으로는 각각의 합금을 이중 금속 플랫폼화하였다. 향후, 위 연구 결과를 토대로 기존의 바이오 필름 억제 기술이 가지는 문제점을 해결할 뿐 아니라 다양한 어플리케이션에 적용이 가능하게 되어 산업 전반적으로 활용 될 것이라 기대한다. 사사 - 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE, Korea)가 지원하는 산업 전략 기술 개발 프로그램 (10042703)과 KIST 프로젝트(2E29340)으로 수행되었습니다.

[생체1-6 | 14:15]

Biodegradability and Surface Engineering of Fully Metallic Stent Enabling Spontaneous Generation of reactive Oxygen Species for Antirestenosis: Hyunseon Seo, Jimin Park, Yu-Chan Kim, Myoung-Ryul Ok; Korea Institute of Science and Technology (KIST).

Keywords: metallic stent, magnesium, biodegradability engineering, surface engineering, antirestenosis

Significant advances in design of biocompatible metals allowed development of bare metallic stents (BMSs) utilizing these metals for the treatment of vascular diseases. However, restenosis, caused by abnormal accumulation of smooth muscle cells (SMCs) near BMSs, has hindered BMSs to have confidence in their clinical efficacy and safety, and continuously demanded a new type of the stent. Drug eluting stents (DESs) suggested pharmacological methods to tackle with restenosis, however, anti-restenotic agents not only inhibit SMCs but also adversely affect vascular endothelial cells (VECs) which are essential for recovery of blood vessels by inducing re-endothelialization after stent implantation. Therefore, a different strategy to selectively inhibit the accumulation of SMCs is highly required for the stent application. Here, we suggest a new inert metal (NiTi)/biodegradable metal (Mg-Zn alloy) hybrid stent utilizing hydrogen peroxide (H₂O₂) spontaneously generated from the galvanic coupling of two metals as a SMCs-inhibitive agent. H₂O₂, one of reactive oxygen species (ROS) in vivo, can be easily formed near the surface of NiTi stent body through oxygen-reduction-reaction (ORR) as degradable Mg-Zn alloys work as sacrificial electron sources. The amount of H₂O₂ generation can be controlled via the engineering of biodegradation kinetics through Mg-Zn alloy design. We confirm that the optimized amount of H₂O₂ released from Mg-NiTi connected system selectively inhibited proliferation and function of smooth muscle cells (SMCs) without harming vascular endothelial cells (VECs). Furthermore, for proving high feasibility of our Mg-NiTi stent to be applied in vivo, we introduce surface engineering of Mg thin film coated on the NiTi stent. Because the stent requires to be significantly expanded after implanted to the vessel, interfacial stability of Mg-NiTi interfaces is highly important. Through investigation of delamination phenomenon of Mg thin

film coated on the NiTi stent by using both experimental and simulational (finite element analysis) stretching test, we optimize coating pattern of Mg that can stably maintain the adhesion with NiTi stent even after highly deformed condition. Our achievement offers a new insight on development of metallic stents by proposing a simple but novel approach to solve restenosis, which has been a major constraint on clinical application of the stent.

[비철 1-1 | 09:00]

일메나이트광석으로부터 제조된 합성루타일과 천연루타일광의 염화반응 비교 연구: 정은진, 김진영, 이미선; (재)포항산업과학연구원

Keywords: Ilmenite, synthetic rutile, natural rutile, pore, chlorination

TiCl₄(Titanium tetrachloride) 소재는 금속 티타늄 또는 안료, 촉매로써의 TiO₂를 제조 공정의 중간원료로써 널리 사용되어 왔으며 현재 92~95 %의 TiO₂를 함유하는 고순도 루타일 원료의 염화 반응을 이용한 상용화 공정에 의해 제조되고 있다. 일메나이트 광석을 활용하여 선택염화공정에서의 FeO의 효율적인 제거는 TiCl₄의 반응순도를 향상시킬 뿐 아니라 천연루타일로부터 제조된 TiCl₄에 비해 가격경쟁력이 높아 연속적인 염화공정을 통한 TiCl₄ 제조 연구가 활발히 진행되고 있다. FeO의 제거시에는 coke 및 Cl₂의 투입량에 따라 선택염화효율이 상이하므로 고순도의 합성루타일을 제조하기 위한 열역학적 거동을 고찰하여 FeO가 제거된 합성루타일과 천연 루타일을 염화반응을 비교하여 반응 효율을 평가하였다. 선택염화된 합성루타일과 천연루타일의 비교시 상대적으로 기공이 많은 합성루타일은 염소와의 반응이 더 용이하여 TiCl₄ 제조 효율이 증가하였으며 루타일의 염화반응시 광석내 기공의 정도와는 관계 없이 광석의 shrinkage 정도는 유사한 것을 확인하였다. 기공체적 또한 합성루타일이 천연루타일보다 상대적으로 더 많이 분포되고 있었으며 광석내 기공도 분포차이가 반응효율과 직결되어 TiCl₄생성을 위한 염화반응이 진행됨을 알 수 있었다.

[비철 1-2 | 09:15]

고체 산화물 멤브레인 양극을 이용한 인듐주석 산화물 친환경적 전해 환원: 권숙철, 이종현; 충남대학교 신소재공학과

Keywords: 고체 산화물 멤브레인, 인듐주석 산화물, 친환경 공정, 전해 환원

Indium Tin Oxide (ITO)는 발광 다이오드 (LED)의 투명 전극 또는 LCD (Liquid Crystal Display)의 소재에 널리 사용되고 있다. 그러나 공정 후 ITO 폐기물이 생성되고 이를 처리하기 위해 습식 재활용 기술이 사용된다. 습식 재활용 기술의 경우 많은 양의 산 필요량과 처리 시간이 길다. 하지만, ITO 폐기물이 건식 공정 중 전해 환원 공정에 의해 재활용 될 수 있다면 경제적 및 환경적 문제를 해결할 것으로 기대된다. 그러나 흑연을 양극으로 사용하면 CO 또는 CO₂ 가스와 같은 온실 가스를 생성하고 공정에 방해되는 C 먼지를 형성한다. 본 연구에서는 불활성 분위기 하에서 1150 °C에서 CaF₂-NaF-CaO의 용융 염에서 고체 산화물 멤브레인 양극을 이용, 인듐 주석 산화물의 전해 환원을 실시하여 흑연 양극을 대체하고자 하였다. SOM 공정은 고체 산화물 산소 이온 전도막, 즉 반응 매체로서 고온 용융 염을 갖는 이트리아 안정화 지르코니아 (YSZ)를 사용하는 직접 전해 환원 공정이다. 교체 가능성을 확인하기 위해 산업계에서 많이 사용되는 ITO 폐기물을 사용하였다. 전기 화학적 거동은 폐기물 ITO 및 불활성 작동 전극을 사용하여 용융 염에서 CV (Cyclic Voltammetry)에 의해 조사하였다. 그 결과, InSn 금속은 SOM 공정에 의해 환원되었으며 환원된 InSn 합금은 XRD와 EDS로 분석하여 InSn 합금으로 확인되었으며 이는 초기 ITO 조성과 거의 동일한 조성을 얻었다.

[비철 1-3 | 09:30]

CaCl₂-CaF₂-CaO 전해질 내에서 YSZ Disk의 CaZrO₃ 층 형성 거동 및 특성 평가: 김완배¹, 네르시시안 하이크², 권숙철¹, 이종현¹; ¹충남대학교 신소재공학과, ²충남대학교 금속융고신소재연구소

Keywords: CaZrO₃, SOM, YSZ

흑연 양극을 사용하는 기존 금속 생산 방식은 산소이온과의 반응을 통해 CO₂, CO와 같은 공해물질을 발생시킨다. 이는 흑연양극을 SOM양극으로 대체함으로써 해결할 수 있다. SOM 공정은 고체 산화물 산소 이온 전도막, 즉 반응 매체로서 고온 용융 염을 갖는 이트리아 안정화 지르코니아 (YSZ)를 사용하는 직접 전해 환원 공정으로 흑연양극을 사용하지 않기 때문에 공해물질 발생이 현저히 줄어든다. 본 연구에서는 CaCl₂-CaF₂-CaO 전해질 내에서 in-situ 반응을 통해 YSZ양극 표면에 형성된 CaZrO₃ 층의 형성 거동과 특성을 평가하였다. 실험은 슬립캐스팅, 소결 및 CaZrO₃ 형성 반응으로 총 3단계로 수행되었다. 먼저, 슬립 캐스팅을 통해 디스크 형상의 YSZ형체를 제조하였고, 성형체를 튜브에서 소결하였다. 마지막으로 CaZrO₃ 형성 반응은 글러브 박스 내에서 수행되었다. YSZ 디스크의 CaZrO₃ 층의 형태, 성분 및 상 분석을 위해 SEM/EDS 및 XRD 분석을 실시하였다. CaZrO₃ 형성 반응시 전해질로 용출 되는 이트륨의 농도는 ICP-OES로 분석을 실시하였다. CaZrO₃ 를 포함한 YSZ 디스크의 SOM 양극으로서의 성능을 평가하기 위하여 이온전도도를 측정하였다.

[비철 1-4 | 09:45]

LiF-KF 공용염에서 In-Sn 조금속으로부터 In 금속의 고순도화: 이현규^{1,2}, 최상훈^{1,2}, 심재진¹, 임재홍^{1,3}, 유지원^{1,2}, 서경덕^{1,2}, 현승균², 박경태¹, 박종수¹; ¹한국생산기술연구원, ²인하대학교, ³고려대학교

Keywords: Electrorefining, Indium, Indium Fluoride, Molten salt system, Indium-Tin crude metal

대표적인 희소금속 인듐은 높은 활용성과 가격으로 인해 폐ITO로부터 재활용하고 있다. 현재 Indium 재활용 상용 공정은 산 침출, 용매 추출 및 수계 전해질을 이용한 전해정련을 이용하고 있어 공정비용이 높고 복잡하며 산과 같은 오염물질을 대량으로 사용하기 때문에 환경적 문제를 야기 시키고 있다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 공정 중 하나로 용융염을 이용한 전해 공정이 있다. 용융염 전해 제련 및 정련 공정은 에너지 소모가 적고 CO₂ 및 독성가스의 배출을 줄일 수 있어 경제적이고 친환경적인 공정이다. 본 연구에서는 In을 제조함에 있어 폐ITO로부터 용융염 전해제련 공정을 이용하여 In-Sn 조금속 생성 후 용융염 전해정련을 통해

In을 회수하는 연구를 실시하였으며, 이 공정 중 In-Sn 조금속으로부터 In을 회수하는 전해정련 공정의 연구를 수행하였다. In의 전해정련을 위한 Cell 구성은 높은 화학적 안전성을 지니고 있는 불화물 기반 LiF-KF (49:51 mol%) 공용염을 전해질로 사용하였으며, 7wt.% InF₃를 initiator로 이용하였고 In-Sn 조금속은 액체금속 형태의 양극재로 사용하였다. 전기화학 및 열역학적 안정성을 고려하여 참조 전극으로 Ni wire, 양극 전류 인가체로 W rod, 음극으로 Mo plate를 선택하여 설치하였다. 전해질로 사용된 공용염의 공용점을 고려하여 공정 온도는 700°C로 설정하였으며, In³⁺ 이온의 환원전위 및 확산 계수를 Cyclic Voltammetry(CV) 분석을 통해 측정하였다. In-Sn 조금속으로부터 In의 정련을 위한 환원 전위는 ChronoPotentiometry(CP) 분석을 사용하여 다양한 전류 밀도를 인가함으로써 제어 하였으며, 전해 정련 시, Indium 금속은 음극으로 사용 된 Mo plate 표면에 석출 되었다가 액상의 형태로 포집되었다. 각각의 실험 조건에 따른 양극, 전해질, 음극의 불순물을 측정하였으며, 이를 이용하여 분리계수를 도출하고 분리 효율을 비교 후 최적의 전류 밀도를 선정하였다. 실험을 통해 선정 된 최적의 인가전류 밀도는 음극 기준 39mA/cm² 이었으며, 실험을 통해 선정 된 최적 조건을 이용하여 다단의 전해 정련 실험을 수행하였고 이를 통해 주요 불순물인 Cr, Fe, Mn, W, Sn 등의 함량을 감소시킴으로써 In 금속의 순도를 향상시켰다. 또한 본 연구를 통해 얻어진 Indium 금속의 특성평가를 위하여 성분, 조직, 순도 등 다양한 물성 평가를 실시하였다.

[비철1-5 | 10:00]

액상 Mg을 이용한 Dy 함량에 따른 RE-Fe-B 자석 내의 Dy 반응 거동에 관한 연구: 박상민^{1,2}, 남선우¹, 현승균², 김택수^{1,3}; ¹ 한국생산기술연구원 한국희소금속산업기술센터, ² 인하대학교 신소재공학과, ³ 과학기술연합대학원 대학교

Keywords: Dysprosium, Liquid Metal, Dry Extraction, Extraction Behavior, Diffusion Coefficient, RE-Fe-B Magnet

최근 전기자동차 모터와 같이 고온에서의 구동환경을 가지는 산업에서의 희토류계 영구자석의 수요가 증가함에 따라 보자력을 크게 향상시킬 수 있는 중희토류 원소인 Dy의 역할이 중요해지고 있다. 따라서 Dy의 수요를 원활하게 하기 위하여 폐 영구자석에서 Dy를 추출하여 재활용하는 연구가 필요하다. 폐 영구자석에서 중희토류 원소를 추출하는 방법은 크게 습식 추출법과 건식 추출법으로 나눌 수 있다. 이 중 건식추출법은 친환경적이고 추출된 희토류가 금속형태이므로 건식추출법을 통해 Dy를 추출한다면 기존에 주로 사용되는 습식추출법을 대체할 수 있을 것으로 기대된다. 건식 추출법 중 하나인 액상금속추출법은 용매금속을 용융시켜 액상 금속상태에서 자석 내의 희토류(Nd, Dy)를 선택적으로 반응시켜 추출한 후 액상금속을 기화시켜 최종적으로 금속형태의 희토류를 얻을 수 있는 공정으로써 최근에는 액상금속을 이용하여 폐 자석 내의 경희토류 Nd를 효과적으로 추출한 연구가 보고되었다. 그러나 현재까지의 연구는 효율성 문제로 인해 Dy의 경우 많이 수행되고 있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 액상금속추출법을 활용하여 (Nd,Dy)-Fe-B 합금에서 중희토류 원소인 Dy의 추출거동을 확인하는 연구를 수행하였다. 용매금속으로는 용점과 기화점이 낮고 상태도 상에서 Fe, B와 금속간 화합물을 형성하지 않는 Mg을 용매금속으로 선정하였다. Dy 추출을 위한 합금은 (Nd_{29.5-x}Dy_x)-Fe_{64.4}-B_{1.1}(wt.%)에서 Dy 함량 (x=0,1,4,8)을 조절한 합금 조성을 사용하였으며 고주파 유도로를 이용하여 공정온도(900°C, 950°C, 1000°C)를 변화시켜 액상 Mg과 (Nd,Dy)-Fe-B 합금 간의 반응 실험을 실시하였다. SEM-EDS Mapping 및 Image Analyzer를 이용하여 추출 후의 Dy 함량에 따른 상 분을 변화와 XRD 분석을 통해 추출 후에 일어난 Dy의 상 변화를 확인하여 Dy 함량에 따른 Mg으로의 Dy 추출거동을 규명하였다. SEM-EDS Line Scanning를 통해 측정된 반응 영역의 Dy의 함량, 반응 영역의 길이와 공정온도를 이용하여 Dy의 확산속도를 계산함으로써 Dy 함량과 온도에 따른 Dy의 확산 계수를 도출하여 최종적으로 Dy 추출거동에 미치는 공정온도와 Dy 함량의 영향을 규명하였다.

[비철1-6 | 10:15]

Extraction behavior of dysprosium contained in Dy-Fe-B alloy with temperature and time: 남선우^{1,2}, 박상민¹, 김도향², 김택수¹; ¹ 한국생산기술연구원, ² 연세대학교

Keywords: permanent magnet, liquid metal extraction process, Magnesium, Rare earth elements.

In recent years, Dysprosium (Dy) is most commonly used in permanent magnets(Nd-Dy-Fe-B alloy system) because of their sophisticated high temperature applications and their usage is increasing every year. However, the Dy supply is limited due to the limitation of REE resources. Researchers have been studying the extraction of REE from scrap and end of life magnets to ensure continuous supply of these vitamins of industry. Recently, liquid metal extraction, which is an environmental friendly pyro-metallurgical extraction process, has been in focus for neodymium(Nd) extraction from rare earth magnet. With this method the extraction rate of Dy still lags behind than Nd. The reason is the difficulty to understand the actual extraction behavior in quaternary rare earth magnet alloy system as oxide and Fe_xRE_y phases are involved. In this study, the authors tried to investigate the diffusion behavior of Dy from Dy₂Fe₁₇ and Dy₂Fe₁₄B phases which formed when Dy-Fe-B alloy was prepared by rapid solidification process of a kind that strip casting process. By doing so, the authors achieved the extraction rate of 95% for Dy from Dy-Fe-B alloy. Moreover, the diffusion behavior is described in detail with analysis based on microstructural, structural and compositional properties. The effect of process variables on extraction rate is also discussed in detail.

[비철2-1 | 10:40]

마그네슘 환원제를 이용하여 Ti 분말 제조 시 생성되는 연소합성 공정 부산물 제거기술: 최상훈^{1,2}, 심재진¹, 임재홍^{1,3}, 이현규^{1,2}, 현승균², 박경태¹, 이승현¹; ¹ 한국생산기술연구원, ² 인하대학교, ³ 고려대학교

Keywords: Ti powder, SHS process, Leaching process, Magnesium, Magnesium Oxide

상업적으로 이용되는 타이타늄(Ti) 분말 생산 공정은 염화공정을 이용하여 Ti 산화물로부터 Ti 염화물로 상 전환 뒤 Kroll 공정을

이용하여 Ti 염화물을 Ti 금속으로 환원하는 공정을 이용하고 있으며, 이를 원료로 하여 가스 분무법이나 수소화-탈수소화 공정을 거쳐 Ti 분말을 제조하고 있다. 이러한 공정은 대량 생산이 가능하고 고품질의 Ti 분말을 얻을 수 있는 장점이 있지만 다단의 공정이 요구 되고 시간이 오래 걸리며, 환경적으로 유해한 염소가스를 사용하고 있어 이를 대체할 수 있는 Ti 산화물 직접 제련 연구가 활발히 이루어지고 있다. Ti 산화물 직접 제련 공정 중 하나인 연소합성 공정은 연소과를 활용함으로써 환경적 피해를 줄이면서 고속으로 Ti 분말 제조가 가능하여 경제성을 극대화 할 수 있는 공정 중 하나이다. 이전 연구에서 이산화타이타늄(TiO₂)을 출발 물질로 하고 마그네슘(Mg)을 환원제로 사용하여 연소합성 공정을 통해 Ti 분말을 제조하였다. 그 결과 Ti 산화물로부터 Ti 분말을 직접 환원 하는 것에는 성공하였으나, 공정 부산물로 형성 된 마그네슘 및 마그네슘 산화물(MgO)을 제거하는 공정이 요구 되었다. 이에 본 연구에서는 산 침출 공정을 이용하여 연소합성 공정 부산물인 Mg 및 MgO를 제거하고 Ti 분말만을 얻기 위한 실험을 실시하였다. 각 침출 조건 동안 K-type 열전대를 장착하여 침출 용액의 온도를 모니터링 하였으며, 실험은 두 그룹으로 나누어 실시하였다. 첫 번째 그룹은 염산(HCl)을 이용한 단일 공정으로 실시하였으며, 두 번째 그룹은 아세트산과 염산을 이용하거나 염산의 농도를 달리하는 2step 공정으로 실험을 실시하였다. 0.4M HCl-7.5M HCl을 이용하여 2step 공정으로 실험을 실시하였을 때 최적의 조건을 나타내었으며, 첫 번째 공정인 0.4M HCl의 용액을 제조할 때 염산과 증류수의 비율에서 증류수의 비율을 높여 발열반응을 제어함으로써 약 40°C의 균일한 온도를 유지하는 것이 중요하다는 것도 주목 되었다. 침출 공정 후 얻어진 Ti 분말을 수세하고 진공 오븐에 70°C에서 건조하였으며, XRD, SEM, EDS 분석을 통하여 잔여 반응 부산물의 존재 여부를 확인하였으며, N/O 분석을 통하여 Ti 분말의 산소함량을 확인하였다.

[비철2-2 | 10:55]

탄탈럼 스크랩 재활용을 통한 탄탈럼 분말 제조 기술에 관한 연구: 임재훈^{1,2}, 최상훈^{1,3}, 심재진¹, 유지원^{1,3}, 이현규^{1,3}, 서경덕^{1,3}, 오승주², 박경태¹; ¹ 한국생산기술연구원, ² 고려대학교, ³ 인하대학교

Keywords: Tantalum Oxide, Calcination, Tantalum, Combustion Synthesis, Magnesium

탄탈럼(Ta)은 내화금속으로 분류되며, 고온에서 우수한 화학적, 물리적 안정성을 지니고 있다. 이러한 특성으로 인해 화학 및 산업 분야, 전기 전자 재료, 고강도 재료 및 생물 재료에서의 Ta 금속의 수요가 증가하고 있다. 하지만 Ta 광석이 분쟁광물로 분류되어 수입, 수출 규제가 엄격할뿐만 아니라 소수의 선진국 업체들이 관련 시장을 독점하고 있는 실정이다. 또한 국내 Ta 산업에서 금속 제련 및 제련 부산물 활용 산업이 전무하여 원자재 전량을 해외수입에 의존하고 있으며, 재활용 산업 기반 역시 미비하여 금속 스크랩 등이 해외로 반출되고 있어 국내 Ta 공급 수요 균형 유지를 위하여 이의 재자원화에 대한 연구가 요구된다. 이에 본 연구에서는 불산(HF)을 이용한 습식 공정을 통해 Ta 스크랩으로부터 Ta 염을 제조 한 후, 이를 원료로 중화-여과-하소의 공정을 거쳐 Ta 산화물을 제조하였다. Ta 산화물 제조 시 최적의 중화제를 선정하고 중화 공정 후 침전 된 Ta(OH)₅를 여과하여 하소 공정을 수행하였으며, 실험을 통해 최적의 중화제는 암모니아수(NH₄OH)로 선정되었고 750°C에서 하소 처리를 진행하였다. 이와 같이 제조 된 Ta 산화물을 원료로 하고 환원제로 마그네슘(Mg)을 사용한 연소합성 공정을 통해 Ta 분말 제조 실험을 실시하였다. 연소합성 실험 중 W/Re C-type 열전대를 샘플에 삽입하여 연소온도(Tc)를 측정하였으며, 연소속도를 계산하여 Mg 함량에 따른 연소온도 및 연소속도를 비교하였다. 또한 연소합성공정 중 반응 부산물로 생성된 MgO 및 Mg 등을 제거하기 위하여 산세 조건을 확립하였다. 각 공정에서의 Ta 분말 특성 비교를 위하여 분말의 산소 함량, 형상, 입도, 순도 및 상 분석 등 물성을 다각적으로 평가하였다.

[비철2-3 | 11:10]

전자빔 용해 및 인발 가공을 통한 탄탈럼 스크랩의 고순도화 및 가공기술 연구: 유지원^{1,2}, 최상훈^{1,2}, 심재진¹, 임재훈^{1,3}, 이현규^{1,2}, 서경덕^{1,2}, 현승균², 박경태¹*; ¹ 한국생산기술연구원, ² 인하대학교, ³ 고려대학교

전자빔 용해 및 인발 가공을 통한 탄탈럼 스크랩의 고순도화 및 가공기술 연구를 수행하였다. 고순도화된 탄탈럼 금속의 순도와 스크랩의 순도를 각각 비교하였으며, 고순도화 전 금속 스크랩의 순도는 3N이었고 EBM을 포함한 고순도화 공정에 의해 순도는 5N 이상으로 증가하였다. 이러한 고순도 탄탈럼 금속은 sputtering target 및 반도체 공정용 lithography lamp 내 스프링 형태의 전극소재 등 다양한 용도로 사용된다. 또한, 고순도화된 탄탈럼 금속의 경도 및 산소 농도는 각각 149 Hv, 300 ppm 미만으로 확인되었다. 상기 결과는 상용 제품 또는 순 금속과 유사하거나 더 우수한 품질을 의미한다. 전자빔 용해 공정은 고온에서 다양한 불순물의 증기압 차이를 이용하여 휘발성 원소를 제거할 수 있다. 이러한 사실은 EBM 공정 중 스크랩에 Fe, Ni, Si, Al과 같은 불순물을 쉽게 제거함으로써 뒷받침된다. 전자빔 용해 공정을 통해 고순도화된 탄탈럼 금속의 인발 가공은 인발 다이에 의해 수행되었다. 이를 통해 제작된 탄탈럼 선재의 직경은 초기 10 mm에서 최종적으로 0.5 mm까지 감소하였으며 이 때의 경도는 232.12 Hv로 확인되었다. 상기 직경 및 경도와 같은 특성을 지닌 탄탈럼 선재는 lithography lamp의 전극소재로써 사용하기에 충분하다. 뿐만 아니라 본 연구에서 다룬 공정은 내화 금속의 고순도화 방법으로서 적합한 기술이며 내화 금속과 관련된 다양한 산업 폐기물의 재활용에도 활용될 수 있다. 결론적으로 이 연구는 원료 정제에서부터 금속 스크랩 재활용에 이르는 전체 공정이 포함되어 있으며, 고순도화된 금속이 본래의 금속 및 상용 제품보다 우수한 특성을 지닐 수 있다. 즉, 전자빔 용해 및 인발 가공을 통해 수행된 up-cycling process로 설명할 수 있다.

[비철2-4 | 11:25]

모의 방사화 원소로 오염된 LiCl-KCl 전해질에서 니켈의 전해 제염 가능성 연구: 최우석¹, 이영준², 이종현¹, ¹충남대학교 ²(주)지론텍

Keywords: 제염, 전해 제염, decontamination, electrorefining

원자력 발전소의 가동 기간이 길어짐에 따라 원자력 시설의 해체 수요가 증가하고 있으며, 해체 시장은 꾸준히 확대 될 것으로 예상된다. 니켈 합금은 원전 내에서 증기 발생기의 재료로 사용되었으며, 증기 발생기가 부식되거나 균열이 발생하면 Co, Sr과 같은

방사화 원소로 오염 된 냉각수가 균열부로 침투할 수 있다. 따라서 방사성 금속 폐기물의 제염 기술 개발은 원전 해체 과정에서 폐기물을 최소화 하기 위해 필수적이다. 본 연구에서는 모의 방사화 원소로서 Co를 채택하였으며, Co로 오염된 Ni 합금을 양극재로 사용하여 전해 제염 시 Co는 전해질로 용해되어 전해질에 농축될 것으로 판단된다. 따라서 Co가 농축된 상황을 고려하여 LiCl-KCl 공정조성 전해질에 CoCl_2 를 첨가하여 방사성 금속 폐기물이 전해질에 농축 된 경우를 모방하였다. 양극과 음극은 Ni plate를 사용하였으며, Ag/AgCl 표준 전극을 사용하였다. 순환 전압 전류법(Cyclic voltammerty)을 통해 용융염 전해질에서 Ni 이온의 산화 환원 반응을 분석하였다. 전착물과 전해질의 순도 분석을 위해 ICP를 사용하였으며, 환원물의 보다 자세한 Co 오염 메커니즘을 파악하기 위해 구면수차보정 주사투과전자현미경(Cs-corrected STEM)을 사용하여 분석을 진행하였다.

[비철2-5 | 11:40]

제주도 현무암 석분슬러지를 이용한 무기단열재 제조기술 개발: 정은진; (재)포항산업과학연구원

Keywords: 현무암, 슬러지, 자원순환, 무기단열재, 미네랄용

국내 제주도 현무암 석분슬러지는 현재 산업폐기물로 분류되어 매립 등을 통해 처리되고 있으며, 이를 재활용하여 자원화하는 기술은 국내외에서 연구가 부족한 실정이다. 현무암을 활용한 무기단열재 제조중인 유럽, 러시아 등의 미네랄용은 단열능력이 뛰어나나, 국내의 경우는 현무암활용 미네랄용 제조기술은 구축되지 않은 수준이다. 현무암 활용의 무기단열재 제조 원천기술은 현무암 섬유 방사 및 가공 기술의 경우 비슷한 수준에 올라 있으나 제조분야에서는 기술이 부족하기 때문에 국내기업의 세계시장에서의 경쟁력을 확보하기 위하여 본 연구개발의 중요성이 커지고 있다. 본 연구에서는 제주도에서 발생하는 현무암 석분슬러지를 이용하여 무기단열재 제조를 위한 기술검토를 하였다. 각 지역별 현무암 시료를 분석, 조성 배합설계 및 섬유화 온도에 부합하는 공정조건을 구축하여 섬유화 가능조건을 파악하였다. 섬유화시 장섬유 제조가 가능한 공정설계안을 검토하였으며, 각 조성별 물성검토를 통해 섬유화 온도 및 공정조건을 예측하였다. 공정조건 예측을 통해 국내 현무암 부산물의 활용가능성을 평가할 수 있었다. * 본 연구는 국토교통부 국토교통기술지역특성화사업의 연구비지원(19RDRP-B148598-06)에 의해 수행 되었습니다.

[비철3-1 | 13:00]

Cu-Ni-Si계 동합금의 열간압연시 발생하는 측면 균열 현상에 대한 연구: 강덕호, 최영철, 주장호, 홍혜민, 황지인; (주)풍산 소재기술연구원

Keywords: Cu alloy, Corson alloy, Precipitate, Hot rolling, Crack, Simulation

Cu-Ni-Si계 합금은 통상 Corson 합금의 명칭을 갖고 있으며, 강화기구로서는 Ni_2Si 석출물을 분산시킨 석출경화형 합금으로 높은 전도성과 강도 특성을 겸비하고 있다. 이러한 균형 잡힌 특성 때문에 전기전자 부품, 자동차용 커넥터 단자에 적용이 되고 있으며, 전자기기의 경박단소화, 자동차 경량화로 인해 고기능성 동합금인 Corson계 동합금에 대한 시장의 수요는 급속히 증대되고 있는 실정이다. 그러나 Cu-Ni-Si계 합금은 열간압연 공정 중에 종종 측면 균열이 발생되어 제품을 아예 사용하지 못하거나 추가 공정도입을 통해 균열부를 완화시켜 사용해야 되는 문제점이 있다. 이는 제푸트르 생산성을 크게 낮추기 때문에 양산화에 큰 걸림돌로 작용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 열간압연 시 Crack이 발생 된 소재의 조직을 분석하여 Crack 발생 원인에 대하여 고찰하고, 열역학 분석 소프트웨어를 이용하여 Corson계 합금 내 Ni 및 Si 함량에 따른 정출물 형성 조건과 분율을 예측해 보고자 하였다. 그 결과 Crack 발생 된 소재가 양품보다 평균 결정립이 조대하고 많은 개재물이 형성 되어있는 것을 확인 하였고, 열간 Crack은 조대화 된 Ni_2Si 에서 시작되거나, 개재물을 따라 Crack이 전파 되어있는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 Ni, Si의 함량이 증가 할 수록 형성되는 정출물의 양이 증가되는 경향을 가졌으며, 동일 소재 내에서 산소에 함량에 따른 정출물 분율의 증가가 확인 되었다. 이를 통해 Corson 합금의 주조 시 정출물 및 결정립에 영향을 미치는 냉각속도 뿐 아니라, 용탕의 탈산 공정 또한 양산 제조 시 중요한 Key point로 작용 한다는 것을 알 수 있었다.

[비철3-2 | 13:15]

Cu-Fe-P-X계 고전도도-고강도 구리합금에 관한 연구: 최준영, 박원신, 정원석, 전보민, 이시담; (주) 풍산

Keywords: 구리합금, 고전도도, Cu-Fe-P

구리(Cu)는 지구상에 존재하는 물질 중 은(Ag) 다음으로 전기전도도가 높은 금속으로 은 대비 약 100배 가량 저렴하기 때문에 높은 전기전도도 특성이 요구되는 전기전자부품 분야에 필수적인 금속이다. 또한 우수한 내부식성, 항균성 등 다양한 특성을 가지고 있기 때문에 산업 전반에 사용되고 있다. 순수한 구리금속은 높은 전기전도도의 특성에도 불구하고 강도가 낮기 때문에 얇은 두께가 요구되는 전자부품에 적용되기는 어렵다. 이를 해결하기 위하여 구리에 이종원소를 첨가하여 강도를 향상시킬 수 있는 합금에 대한 연구가 지속되어 왔으며 그 중 C19210(Cu-Fe-P계) 합금은 범용소재로 개발 후 40여년이 지난 지금도 꾸준히 사용되고 있다. 하지만 최근 전기전자 부품이 경박단소화 되면서 강도가 높은 소재가 요구되고 있다. 일반적으로 금속은 강도를 증가시키면 전기전도도는 감소하는 상충관계(trade-off relation)를 갖는다. 따라서, 전도도 저하를 최소화 하면서 강도를 향상시키는 방안에 대한 연구가 지속되어 왔으며, 실험실 규모에서는 강소성 가공을 통해 초미세 결정립을 형성시키는 연구가 많이 진행 되었다. 하지만 현재 양산 설비로는 ARB(반복겸압연), 이주속 압연 등의 강소성 가공이 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 고전도도를 유지하면서 강도를 향상시키는 것을 목표로 Cu-Fe-P계 합금을 베이스로 다양한 원소의 첨가 효과에 대해 평가하였다. 합금설계 시 석출물 형성을 최적화 하면서 동시에 양산성을 확보할 수 있는 제조공정을 수립하였다. 제조된 시편을 FE-SEM 및 FE-TEM을 이용하여 미세조직을 관찰한 결과 구리 기지내에 수~수십nm 크기의 석출물이 고르게 분산된 것을 확인 하였으며, C19210 합금 대비 20% 이상 향상된 인장강도를 갖는 구리합금을 제조하였다.

[비철3-3 | 13:30]

알루미늄 6061합금의 열간비대칭 압연이 미세조직에 미치는 영향: 정무섭, 한준현; *충남대학교 신소재공학부*

Keywords: 알루미늄합금, 차량용판재, 비대칭 압연, 열간가공

대표적으로 차량용 판재로 사용되는 알루미늄 6xxx계 합금은 Al-Mg-Si 삼원계로 이루어진 석출경화형 합금으로 입자 미세화를 위해서 소량의 Ti과 Mn이 첨가될 수 있습니다. 차량용 판재에 요구되는 특성은 강도, 성형성, 내식성, 용접성 등이 있는데, 알루미늄 6XXX합금은 성형성은 기존 차량용 강판과 비교하여 60~70%로 낮습니다. 낮은 성형성으로 인하여 가공을 통하여 복잡한 형상의 제품 생산이 어렵습니다. 또한 성형성을 향상시키기 위하여 300°C정도에서 온간성형으로 제품이 만들어지기 때문에 제품의 강도가 감소합니다. 강도를 높이기 위하여 후처리로 시효경화를 실시하기 때문에 공정단가가 상승합니다. 알루미늄 합금은 주조 후 //ND 집합조직이 강하게 발달하여 성형성이 낮습니다. 또한 주조된 알루미늄 6xxx계 합금의 평균소성변형률비(r)이 0.7~0.8으로 낮습니다. 낮은 평균소성변형률비로 인하여 딥드로잉 시 이어링과 같은 결함이 발생합니다. 전단응력을 가하여 //ND 집합조직을 발달시킴으로서 평균소성변형률비를 향상시킬 수 있습니다. 하지만 압연시 가공경화로 인하여, 연신율이 감소하게 됩니다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위하여, 알루미늄 6061합금의 비대칭 압연 온도가 미세조직에 미치는 영향을 조사하였습니다. 알루미늄 6061시편을 상온, 100°C, 300°C, 500°C에서 비대칭압연 후 전단변형에 따른 집합조직을 XRD를 통해서 분석하였습니다. 집합조직에 따른 재료의 성형성은 인장시험을 통해 평가하였습니다.

[비철3-4 | 13:45]

The Effect of Cu and Si on the Casting and Mechanical Properties of Aluminum Alloys: *Byungkeun Kang, Il Sohn; Yonsei University.*

Keywords: aluminum, casting, fluidity, hot tearing, mechanical properties

The effects of the alloying elements, Cu and Si on the tensile properties, fluidity and hot tearing of Al-Cu-Si alloys were studied to obtain high strength casting alloys by increasing the castability of commercial forged alloys. Al-Cu-Si alloys with 3.5, 4.5, and 5.5 wt.% Cu and 0, 1.5, and 3.0 wt.% Si were cast at 700°C in three kind of molds including rectangular mold for mechanical properties and microstructure, spiral and hot tearing test mold for fluidity and hot tearing characteristics, respectively. As Cu content increased, the fluidity length decreased by 4.9% to 14%, but the hot tearing susceptibility increased from 0.44 to 0.56 and 0.67. As Si content increased at a fixed Cu content of 4.5 wt.%, the fluidity length increased by 11% and then decreased slightly without hot tearing. Solution treatment was performed at 515°C/2h and 525°C/8h and then water quenching. Aging treatment was carried out at 185°C for times of 4, 6, 8 and 10h. 0.10 wt.% Ti was also added as a grain refiner to improve the fluidity and mechanical properties. The fluidity length increased by 4.6%, and the tensile strength increased to 339 MPa.

[비철3-5 | 14:00]

Effects of Cr and Al Additions on the γ/γ' Forming Co-Ti-W-Based Alloys: *Boryung Yoo¹, Hyeji Im¹, Jae-Bok Seol², Pyuck-Pa Choi¹; ¹KAIST. ²POSTECH.*

Keywords: cobalt, superalloy, atom probe tomography (APT), XRD, DSC

Superalloys were designed for high temperature applications with excellent mechanical and oxidation properties at elevated temperatures. Especially, Ni-based superalloys have been massively produced for power plant gas turbines. The superior properties of superalloys are attributed to its microstructure consisting of γ (fcc) matrix with coherent γ' ($L1_2$) precipitates. Co-based superalloys have attracted much attention as a potential substitute for Ni-based superalloys because of its higher melting temperature than that of Ni and the γ/γ' microstructure obtained in Co-based systems. Among the reported cobalt-based binary alloys, Co-Ti is the only known alloy system with forming a thermodynamically stable γ/γ' dual phase. In this study, we investigated microstructure changes and elemental partitioning of Co-Ti-W alloys with Cr and Al alloying. The microstructures and γ/γ' lattice misfit were analyzed by scanning electron microscope (SEM) and X-ray diffraction (XRD) to optimize the alloy systems and annealing condition for the desired γ/γ' microstructure. Elemental partitioning behavior between γ and γ' was also characterized using three-dimensional atom probe tomography. The γ' solvus temperatures were determined by differential scanning calorimetry (DSC) to compare the γ' phase stability.

[비철3-6 | 14:15]

Influence of Nano-Fiber Precipitates Fraction on Mechanical and Electrical Properties in Cu-Ni-Si Alloy: *Jee Hyuk Ahn^{1,2}, Seung Zeon Han², Eun-Ae Choi², Hyunjong Lee³, Gi Nyeong Heo², Minah Jo², Kwangho Kim⁴, Heung Nam Han¹; ¹Seoul National University. ²Korea Institute of Materials Science. ³Korea Institute of Industrial Technology. ⁴Pusan National University.*

Keywords: Cu-Ni-Si alloy, Ni₂Si, Discontinuous precipitation, Mechanical property, Electrical property

The Cu-6Ni-1.5Si alloy specimen was fabricated by vacuum induction melting with high purity Ni, Si (purity: 99.99%) and Cu (purity: 99.9%). Fully and half DP (discontinuous precipitated) structures were intentionally fabricated via controlling thermo-mechanical process in Cu-Ni-Si alloy. The precipitated nano-fibers (Discontinuously precipitated Ni₂Si intermetallic compound) were successively aligned and plastically elongated by groove rolling at room temperature. The changes of mechanical and electrical properties were elucidated based on its microstructures. The normal precipitated (Continuous precipitates, CP), half DP and fully DP structures were observed after 1, 6 and 24 hours of aging after solution heat treatment, respectively. The tensile strength of CP shows

highest value among all specimens, and a value of the strength was higher in order of half DP and DP specimens. After 97.5% cold rolling, however, contrary to aged state, the half DP structure has the highest strength value. The electrical conductivity of the all specimens decreased after cold working. However, the degree of decreasing value of the conductivity in DP and half DP specimens during working was much smaller than that of CP specimens. Microstructure analysis by FESEM (Field Emission Scanning Electron Microscope) and TEM (Transmission Electron Microscope) of nano-fiber precipitates in the half DP specimen revealed that the stiff Ni₂Si intermetallic compound precipitates was aligned along the working direction and plastically deformed without any cracking, and it leads simultaneous increasing strength and conductivity of Cu-Ni-Si alloy. A notable combination value of tensile strength and conductivity of 1120 MPa and 37.5 %IACS was achieved in the Cu-Ni-Si alloy after drawing with a 97.5% area reduction.

[비철4-1 | 14:40]

자체 색상을 지니는 금속간 화합물의 석출/정출 제어를 활용한 AI-계 컬러 합금 설계 기술 개발: 문상철, 강결찬, 박혜진, 김영석, 홍성환, 김기범*; *세종대학교 공대 나노신소재공학부*

Keywords: L*a*b 색좌표, 금속간 화합물, 컬러합금

최근에는 다양한 외장 소재 및 디자인을 사용한 ICT전자제품에 대한 관심과 소비가 증가하고, 이와 동시에 제품의 성능과 디자인을 만족시키는 제품을 찾기 시작했다. 이를 해결하기 위한 방안 중 하나로 디자인적 가치를 가지는 금속 재료를 사용하여 외부 디자인을 적용하는 방법을 통하여 이러한 요구를 충족시키고 있다. 이에 따라, 금속 제품의 색상에 대한 산업적 요구가 증폭되고, 금속의 색상 구현에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만, 금속 재료 중에 특정 색을 갖는 금, 은 및 구리 이외의 금속 재료는 무채색이며, 다양한 색을 기대하기는 어려운 단점을 가진다. 이러한 한계를 극복하기 위한 방법으로 표면 처리 방법인 외부 색상 도장 방법과 아노다이징 공정법이 최근 금속 소재 외부에 색상을 구현하는 방법으로 널리 사용되고 있다. 그러나 이러한 우수한 색재현성에도 불구하고, 표면 마모 및 색 번짐 현상에 취약하며, 소재 자체의 한계로 인한 다양한 특성 구현의 한계로 인해 다양한 분야에 적용하기가 어렵다. 이러한 단점을 극복하기 위해 본 연구에서는 pseudo gap을 가져 자체의 색을 갖는 Mg₂Si 금속간 화합물을 석출 상으로 선정하여 연구를 수행하였다. 선택적인 상 제어 기술을 이용한 무색의 Al-matrix의 청색 색소 화합물의 선택적 석출 / 결정화와 합금 개발에 대한 연구를 통해 합금 자체의 고유 한 색상과 우수한 색상 내구성 및 경량 / 고강도 특성을 동시에 나타낼 수 있었다. 3원계 컬러 합금의 제작을 위해 자체적으로 제작한 판형 몰드로 유도 주조 용해법을 이용하여 50*50*5 mm³ 크기의 판형 샘플을 제작하였다. 기 제작된 샘플에 대해 상 분석과 미세조직 분석을 위하여 X선 회절분석기와 주사전자현미경, 에너지 분광분석법을 이용하였다. 합금의 기계적 특성을 분석하기 위해 상온에서 표준분석장치를 이용한 압축시험 및 비커스 경도 시험을 실시하였다. 또한 합금의 색도 변화를 확인하기 위하여, Spectrometer를 이용하여 CIE L*a*b* 색 좌표 분석을 수행하였다. 이러한 조성의 변화가 기계적 물성 및 색도에 어떠한 영향을 미치는지를 고찰하고, 색도 변화와 조성, 상 분율에 따른 색도 예측 및 기계적 물성 예측이 가능한 Al-Mg-Si 컬러 합금을 제작하고자 하였다.

[비철4-2 | 14:55]

로터스형 다공성 구리의 접합 특성에 미치는 기공 구조의 영향: 김상욱, 정택균, 현승균; *인하대학교*

Keywords: Lotus-type porous metal, Joining, microstructure, shear strength, Anisotropy

로터스형 다공성 금속은 원통형의 기공들이 일방향으로 배열되어 있는 구조를 갖기 때문에 기존 등방성 다공성 금속의 경량성, 유체투과성, 에너지흡수능 뿐만 아니라 기공 방향으로의 기계적 및 물리적 특성이 우수하다. 따라서 기계적 및 물리적 이방성이 필요한 분야에 충격흡수소재, 방열소재 및 경량소재 등으로 적용이 가능할 것으로 기대된다. 이러한 로터스형 다공성 금속의 산업으로의 적용을 위해서는 기존 소재와의 접합이 필수적이다. 따라서 로터스형 다공성 금속과 기존 소재와의 접합 특성에 관한 연구를 통해 로터스형 다공성 금속의 적용 범위를 확장시킬 수 있을 것으로 판단된다. 로터스형 다공성 금속은 이방성 기공구조를 갖기 때문에 기공의 이방성에 따른 접합 특성이 매우 중요할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 방열 소재로의 적용이 기대되는 로터스형 다공성 구리의 접합 특성에 대해 연구하였으며, 일반 구리 판재에 Sn-Ag-Cu 솔더를 이용하여 로터스형 다공성 구리를 기공 성장 방향에 따라 접합하였다. 이를 통해 기공 방향이 접합강도, 접합부 미세조직에 미치는 영향을 고찰하였다.

[비철4-3 | 15:10]

Rollable 전자소자 평가 장치 개발 및 금속배선 신뢰성 연구: 설재근, 김병준; *안동대학교 공대 신소재공학부*

Keywords: Rollable, Metal interconnect, Fatigue, Reliability

현재 평면 형태의 전자 소자들은 디스플레이가 약간 굽어진 형태 즉 curved 디스플레이를 적용한 TV, 스마트폰 등이 이미 제품화된 상태이며, 향후에는 반복적으로 기계적 변형이 가능한 즉, 자유소재로 휘어지는 flexible, bendable 형태로 진화할 것으로 예상된다. 나아가 휴대 시에는 제품을 작은 모양으로 말고, 사용시에는 펴서 사용하는 두루말이 형태의 rollable 전자기기로 발전해 갈 것이며, 실제 얇고 유연한 형태의 플렉서블 디스플레이를 종이처럼 말 수 있는 형태의 디스플레이가 활발히 연구되고 있다. 이와 같은 rollable 전자 소자의 상용화를 위해서는 유연성 소재 및 유연 소자 개발은 물론, 반복 롤링 변형 중에도 신뢰성을 확보하는 것이 매우 중요한 이슈이며 이를 위해 반복 롤링 변형 중 발생하는 신뢰성 문제에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 반복 롤링 변형이 가능한 장치를 개발하고 이를 이용해, 유연 전자 소자 용 기관으로 사용될 수 있는 PET, PI에 Cu 1 μm를 증착 하여 기관두께, 봉 지름, 바퀴 수에 따라 전기적 신뢰성 차이를 연구하였다. 또한 PET, PI 두께의 물성치를 고려하여 rolling 변형중 유연기관의 복원력을 갖추기 위한 연구를 진행하였으며, 이는 말고자 하는 기관이 적절한 굴곡에서 수행되어지는가를 평가하는 방법이다. 본 연구를 통해 롤링 조건에서 유연 전극의 신뢰성에 대해 이해하고, 이는 향후 유연 전자소자용 고신뢰성 전극 개발에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

[비철4-4 | 15:25]

유연전자소자용 배선의 비틀림 변형에 따른 기계적 신뢰성 연구: 권용욱¹, 이종성², 주영창², 김병준¹; ¹안동대학교 공대 신소재공학부, ²서울대학교 공과대학 재료공학과

Keywords: 플렉서블, 배선, 트위스팅, 시뮬레이션, 응력

현대사회의 플렉서블 분야는 스마트폰과 스마트시계 같은 가볍게 굽히는 정도의 기계적 변형을 받는 액세서리형이 주요 제품화되어 사용되고 있으며, 이에 따라 신뢰성 평가도 Bending 실험이 위주로 진행되고 있다. 하지만 이러한 전자 기기들의 휴대성, 편의성, 이동성을 더욱 높이기 위해 연구개발이 활발하게 진행되고 있으며 스마트 패치, 스마트 의류 등의 제품들이 출시 되거나 될 예정이다. 이러한 제품들은 기존의 간단한 굽힘 변형과 달리 복잡한 형태의 비틀림 변형도 받는다. 이에 따라 매우 복잡한 응력이 작용하게 되므로 복합응력상태에서의 신뢰성 평가에 대한 연구가 필요하다. 이 연구에서는 유연전자소자용 배선을 비틀림 실험을 통해 복합응력상태의 신뢰성 평가를 했다. 양 끝단을 고정된 실험과 한 끝단이 자유로운 두 가지 방법으로 진행하였다. Polyimide (PI) 125 μm 위에 Indium tin oxide (ITO) 100 nm를 증착한 시편을 통해 비틀림 각도 $0^\circ \sim 180^\circ$ 로 10 %/min의 속도로 비틀면서 실시간으로 전기저항을 측정했다. 또한 PI 125 μm 위에 Cu 1 μm 를 증착한 시편을 비틀림 각도 $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ 로 0.5Hz 실시간으로 전기저항을 측정하였다. 실험결과 고정비틀림 실험에서는 시편의 외각부근에 파괴가 일어나며 파단의 확인한 결과 인장응력으로 인한 파괴가 일어났다. 또한 시편의 중앙부근에서는 아무런 응력을 받지 않는 Stress free zone이 형성된다. 자유 비틀림 실험에서는 시편의 중앙에서 파단이 일어났으며 파단을 확인한 결과 압축응력으로 인한 파괴가 일어났다. 외각에서 Stress free zone이 형성된다. 이 실험을 FEM 시뮬레이션을 통해 분석하고 이를 논의한다.

[비철4-5 | 15:40]

Features of the Frequency Component of Pulse Magnetic Field Impact's by EMS on the Microstructure Formation at the Semi-Continuous 7-Inch Billet Casting for Zr-Free 7xxx Aluminum Wrought Alloys: Mykola Slazhniev, Kyung Hyun Kim, Se Won Kim, Won Jae Kim, Hyun Suk Sim; (주) 동산테크

Keywords: High-strength wrought aluminum alloys, continuous billet casting, electromagnetic stirring, pulse magnetic field, microstructure, grain size

The results of experimental evaluation for the frequency component of a pulsating magnetic field impacts on the process of microstructure formation of the 7-inch billet from Zr-free wrought 7xxx Al-alloy at its semi-continuous casting are presented. As known, applying EMS at 7xxx Al-alloy billet continuous casting processes are solving row tasks for macro and microstructure refining and its homogenization by the billet cross section. As well, for alloy Al-Zn-Mg-Cu system, which have a likely prone to the non-dendrite structure formation at the limited by cooling speed parameters, that are confirming by the wide range solidification and Zr (Al₃Zr) intermetallic inclusions – like a grain modifier components. However, by the modern trend developments in the car-building industry, there are likely to applying the Zr-free alloys with lowest contents by the Zn/Mg alloying elements (Hyundai motors, KIA etc.). Nevertheless, traditional facilities for radial EMS by rotational/traveling MF is not enough for the all cross section over 7-inch billet processing by fine macro/microstructure requirements. For that the MHD-physical impact there are required as means for in-time processing of the solidification and grain formation process into mushy zone of billet. As Know-How for improved MHD-impact for deeply zones of billet, there are most likely application the combined acoustical hydrodynamic influence on solidifying melt that generated by the low-frequency components of the amplitude-modulated electromagnetic force by pulse MF. As well, scientific goal it is to found the physical dependence intensity/frequency which are performing leading role at the macro/microstructure refinements in evident range 5~15 Hz. Studied the efficiency applying of unidirectional axial pulse magnetic field (AM-PMF) with pulse frequency in range 5~15Hz, carried frequency in range 22~25Hz, at intensity of MF 0.05~0.1T, for semi-continuous Zr-free 7xxx alloys (analogue 7075 alloy) 7"billet casting on micro- and macrostructure billet formation are performed. Evident confirmed there are reached the stable refinement effect for non-dendrite state microstructure formation in all billet cross-section with rising frequency of AM pulse component of PMF up to 15 Hz.. As well-achieved uniform and homogeneity microstructure state with average grain size not more 100 μm , and for middle and central billet part in range 60~80 μm , in 3~5 times lowest instead grain sizes 200~650 μm at DC casting (without EMS), or instead 150 μm grain sizes as for conventional rotating EMS.

[비철4-6 | 15:55]

주석도금 Reflow 처리에 따른 마찰계수 특성 변화 연구: 남효문, 차정민, 박철민, 문선영, 김준형, 권태양; (주) 풍산

Keywords: 주석도금 Reflow, Cu-Sn금속간 화합물, 마찰계수

주석 도금재는 내식성이 우수하여 동합금에 적용되어 전기·전자 및 자동차용 커넥터분야에 다양하게 활용되고 있다. 최근 커넥터 소재의 소형화 및 다핀화로 인하여 커넥터 조립시 발생하는 작업자의 근골격계질환 예방차원에서 저삽입력이 요구되고 있다. 커넥터 단자 설계로는 한계가 있으므로 소재의 저마찰 특성을 가지는 주석도금 개발이 필요하다. 본 연구에서는 동합금의 주석도금 Reflow 처리 조건의 변경을 통하여 주석도금과 표면에 주석도금과 Cu-Sn 금속간 화합물이 혼합되는 형태의 주석도금 시편을 제작하였다. 마찰계수 측정 결과 주석 성분으로만 구성된 주석도금재 대비 표면에 Cu-Sn 금속간 화합물을 부분적으로 노출한 주석도금에서 20% 마찰계수가 저감하였다. Reflow 처리 조건 변경에 따라 미세조직 단면 관찰 결과 Cu-Sn 금속간 화합물이 표면 까지 확산이 일어났으며, 이는 주석도금 표면에 상대적으로 강도가 높은 Cu-Sn 금속간 화합물이 형성하여 마찰계수 특성을 저감시켜주는 역할을 하는 것으로 확인되었다.

The 5th High-Entropy Alloy Symposium

Room 602, 4월 25일

[고엔S1-1 | 10:00]

Manipulation of σ_y/κ ratio in single phase FCC solid-solutions: Je In Lee¹, Hyun Seok Oh², Kook Noh Yoon³, Eun Soo Park³; ¹National Institute for Materials Science. ²Massachusetts Institute of Technology. ³Seoul National University.

Keywords: FCC solid solution, Configurational entropy, Yield strength, Thermal conductivity, σ_y/κ ratio

Over the last decade a brand-new alloy design concept of high-entropy alloys (HEAs) has attracted significant attention in the metal community. Contrary to traditional alloy design concepts, HEAs are equiatomic, multi-principal element systems in which the configurational entropy contribution to the total free energy can stabilize solid-solution state instead of forming intermetallic compounds. It is important to have concrete knowledge of thermal conductivity (κ) for structural applications of alloys, especially in the extreme environments. Although it is reported that several HEAs exhibit relatively low κ compared with other FCC solid-solutions, how the increase of configurational entropy of mixing (ΔS_{mix}) in FCC solid-solutions with different numbers of principal elements (NPEs) is connected with κ variation and which factors most contribute to the κ variation and its temperature dependence have not been investigated yet. In the present study, we investigate how to manipulate the ratio between thermal conductivity (κ) and yield strength (σ_y) in face-centered cubic solid-solutions by varying the NPEs and temperature. With increasing NPEs, NiCoFeCrMn HEA exhibits the lowest κ with positive $\Delta\kappa/\Delta T$ and the highest κ/σ_y ratio due to severe lattice distortion and compositional complexity. On the other hand, σ_y increases with increasing NPEs and decreasing temperature. Thus, NiCoFeCrMn HEA exhibits the highest σ_y/κ ratio, higher than those of representative cryogenic alloys, which can be distinctively enlarged with decreasing temperature. These results would give us a guideline on how to manipulate properties using HEA design concept in order to develop novel cryogenic materials.

[고엔S1-2 | 10:20]

CoCrFeMnNi의 High Entropy Alloy에서 단범위규칙 형성과 그에 따른 상온인장거동: 김영석¹, 김성수¹, 문종연², 김형섭², 홍순익³; ¹한국원자력연구원. ²포항공과대학교. ³충남대학교.

Keywords: High entropy alloy, CoCrFeMnNi, short-range order, activation volume, order-disorder transformation

CoCrFeMnNi의 high entropy alloy (HEA)는 5개의 합금성분이 공존하고 있어 높은 엔트로피 때문에 광범위한 온도 영역에서 안정할 것이라는 가정하에 만들어졌다. 하지만 고온에서 장시간 열처리시 석출물이 HEA 내에 생성된다는 것이 밝혀짐에 따라, 원자 규칙화 현상이 상기 HEA 합금에서도 일어날 수 있으며, 이에 따른 HEA의 기계적 특성도 변화될 수 있다는 것을 시사하고 있다. 이를 검증하고자, 충남대에서 공급받은 1.5 mm 두께의 냉연판재의 CoCrFeMnNi HEA를 900°C에서 1시간 용체화처리 후 수냉 및 노냉 처리하여, disorder 및 short-range order (SRO)를 각각 형성시켰다. DSC 분석 및 TEM의 전자회절패턴을 이용하여, 수냉 및 노냉 HEA 합금에 SRO상 형성 유무를 조사하였다. 예측대로, 노냉한 HEA에서만 노냉 중에 ordering이 일어나서 SRO가 형성되었다. DSC 열분석을 통하여, 450°C에서 열처리하면 상온인장 시험 시 입계균열이 나타났으나 600°C에서 열처리하면 연성 덩굴 패턴으로 열처리 온도에 따라 파괴거동이 변화하는 현상은, 각각 order 또는 disorder 형성과 유관하다는 것을 확인하였다. 동일한 HEA를 800°C 용체화처리 후 상온 및 저온에서 인장시험을 수행한 결과를 토대로, 인장 변형시 수반되는 order-disorder 상전이와 activation volume의 상관관계를 토의한다.

[고엔S1-3 | 10:40]

극저온 봉재압연을 활용한 초고강도 FCC 하이엔트로피 합금 제조: 원종우, 임가람, 나영상; 재료연구소(KIMS).

Keywords: 고엔트로피합금, 쌍정, 초미세립, 인장물성

The ultrafine-grained (UFG) structure (~100 nm) of CoCrFeMnNi high-entropy alloy was achieved using cryogenic multi-pass caliber rolling at 77 K to impose less deformation ($\epsilon = 1$) compared to severe plastic deformation (SPD, $\epsilon > 4$). Highly increased twinning activity at 77 K caused the grain interiors to fragment significantly, so UFG structure could be induced without imposing SPD. Intersected twin morphology and secondary twins played a key role in twinning-induced grain refinement to achieve UFG structure. The processed material showed an exceptional high yield strength of ~1.5 GPa with a reasonable fracture elongation of ~10% at room temperature.

[고엔S1-4 | 11:00]

In-Situ TEM Observation of Dislocation Slip in a Single Crystal FeCoCrMnNi HEA: Sang Ho Oh¹, Subin Lee², Maria Jazmin Duarte², Rafael Soler², Michael Feuerbacher³, Christoph Kirchlechner², Christian Liebscher², Gerhard Dehm²; ¹Sungkyunkwan University. ²Max-Planck-Institut für Eisenforschung. ³Forschungszentrum Jülich.

We present a study correlating the microstructure and dislocation plasticity of a single crystalline FeCrCoMnNi FCC single phase HEA by employing in-situ transmission electron microscope (TEM) compression and tensile deformation. Moreover, an atomic-scale chemical analysis is conducted by aberration-corrected scanning TEM energy dispersive X-ray spectroscopy (STEM-EDS) and atom

probe tomography to investigate chemical inhomogeneity, for example, precipitate formation or local inhomogeneity. The aims of the study are 1) understanding of dislocation plasticity in a FCC HEA, 2) investigation of nanometer-scale elemental distribution and 3) measurement of mechanical properties of FCC HEA submicron pillars. Compression tests with sub-micron pillars with 250 and 120 nm diameter show the size effects on yield stress with a size exponent of 0.42, which is small compared to typical FCC metals. It suggests that relatively strong inherent hardening processes are present which attenuate the FCC reported size scaling exponent, which is typically 0.6 for pure FCC metals. Dislocation dynamics investigated by in-situ TEM straining suggested the planar slip is the dominating deformation mechanism, probably due to restricted cross-slip by low stacking fault energy which was measured by high resolution TEM to ca. 20 mJ/m². The dislocation structure after deformation with high density of dislocation array and pile up supports the planar slip. Moreover, dissociated dislocations with stacking faults and extended partial dislocations also contribute to the dislocation plasticity, especially at small strain. However, atomic scale chemical analysis by both STEM-EDS and atom probe tomography show a homogeneous distribution of constituent elements. Therefore, the mechanical properties of HEA are expected to originate from solid solution hardening or short-range ordering which can hinder dislocation glide increasing internal lattice friction stress. The presence of planar glide indicates that short-range ordering may be the main reason.

[고엔S2-1 | 13:00]

Accelerated Martensitic Transformation Rate in a Duplex FeNiCoCrV High-Entropy Alloy Breaks the Highest Value (2 GPa) in Cryogenic Strength: S. LEE¹, D. G. Kim¹, Y. H. Jo¹, W. M. Choi¹, S. S. Sohn², H. S. Kim¹, B. J. Lee¹; ¹POSTECH. ²Korea University.

Representative face-centered-cubic (fcc) high- and medium-entropy alloys (HEAs and MEAs), e.g., CoCrFeMnNi and CrCoNi alloys, have engaged great attentions due to their excellent strength, ductility, and fracture toughness at cryogenic temperature (e.g., -196 °C) by operating a TWinning Induced Plasticity (TWIP) mechanism. Then, a TRansformation Induced Plasticity (TRIP) mechanism has been recently introduced to fcc-based HEAs and MEAs. This strategy has drawn many attentions concerning deformation mechanisms as well as mechanical properties. For the further applications to more extreme and risky environments, an extremely-high strength is often needed rather than the excellent balance of strength and ductility. However, it is not easily achieved without a novel idea or mechanism in an ultra-high-strength HEA or MEA design because the strength enhancement is not simply obtained by the sacrificed ductility. Here, we present a novel duplex HEA having the cryogenic-temperature tensile strength of 2 GPa. Based on a FeNiCoCrV HEA system, we control thermal and mechanical stabilities of fcc phase by adjusting Fe and Ni contents. The resulting Fe50Co30Cr10V10 HEA consists of an fcc matrix and an athermal bcc martensite as a starting microstructure, whose metastable fcc exhibits an additional deformation-induced bcc martensitic transformation. This transformation results in a tensile strength of 1 GPa at room temperature (25°C). Interestingly at -196 °C, an accelerated transformation rate leads to a tensile strength of 2 GPa, thereby overcoming the strength limitation of conventional cryogenic-application alloys. Our results demonstrate the critical role of martensitic transformation and its adjusting rate as an appropriate design strategy for developing new noble ultra-strong HEAs by extraordinarily enhancing a load carrying capacity at -196 °C.

[고엔S2-2 | 13:20]

보론첨가에 의한 SRO현상과 이를 활용한 극저온 Strengthening: 설재복¹, 배재웅², 김정기², 고원석³, 김형섭²; ¹포항공대 나노융합기술원. ²포항공대 신소재공학과. ³울산대 신소재공학과.

일반적인 철강이나 Ni 초내열합금에서는 보론 결정립계 편석은 non-equilibrium mechanism으로 설명된다. 하지만, 본 연구에서는 보론 편석의 equilibrium mechanism을 이용하여, FCC 고엔트로피 Fe₄₀Mn₄₀Cr₁₀Co₁₀ (at%)와 Cantor 합금들의 극저온 항복강도와 인장강도 모두를 향상시켰다. 특히, 향상된 항복강도값이 1.1 GPa를 넘었는데, 이 값은 현재 LNG에 상용화된 304 (혹은 316) STS나 high-Mn TWIP강들의 77 K 항복강도값보다 훨씬 뛰어났다. 그리고 인장강도와 연신율 값 또한 비교할만하였다. 특이하게도, 보론이 도핑된 고엔트로피합금들(Cantor 포함)의 slow strain rate 극저온 변형 test에서, 인장속도를 늦출수록 elongation degradation현상이 나타났다. ECCI, EBSD, (HR)TEM, APT를 통해 얻은 중요한 미세구조분석 결과는 다음과 같다. 첫째, TKD와 APT 동시분석법으로 결정립계 misorientation angle별 결정립계 편석량을 모두 결정하였다. 둘째, ECCI-EBSD-TEM분석결과, Fe₄₀Mn₄₀Cr₁₀Co₁₀ 합금에서는 극저온 인장변형에서는 주로 상변태가 발견되었다. 셋째, 상변태가 일어난 결정립계에서부터 decohesion이 시작된다. 넷째, 칼날전위들에 의한 planar slip하였는데 이것은 TEM으로 발견한 short range order에 의한 것으로 판단된다. 이와 더불어, fcc 결정의 DFT 계산을 통해 보론 편석에 대한 인장강도특성을 예측하였다.

[고엔S2-3 | 13:40]

고엔트로피합금 및 중엔트로피합금의 합금원소에 따른 항복강도 예측: 박노근, Maya Putri Agustianingrum, Jodi Dennis Edgard, Ondicho Ibrahim Onsomu; 영남대학교

본 발표에서는 고엔트로피합금과 중엔트로피합금에서 가장 많은 연구가 이루어지고 있는 면심입방구조의 대표 합금인 CoCrFeMnNi와 CoCrNi에 특정 성분의 변화에 따른 항복강도에 대하여 토의하고자 한다. CoCrFeMnNi에 Fe의 함량의 변화에 대한, 그리고 CoCrNi에 Al을 소량 첨가함에 따른 항복강도 변화를 실험적으로 얻을 수 있었다. 이에 대하여 기존에 제안된 Labusch 모델과 일부

수정한 Labusch 모델을 활용하여 항복강도 값 계산을 얻었으며, 실험적으로 측정된 값과 비교하였다. 탄성 계수, 푸와송 비, 버거스 벡터 등 다양한 물리 상수를 얻은 조건과 절대 영도를 바탕으로 한 이론과의 차이와 한계, 그리고 확장 가능성에 대하여 토의할 예정이다. 본 연구에서 제안한 수정된 Labusch 모델은 앞으로 다양한 고엔트로피합금 개발에 도움이 될 것으로 판단된다.

[고엔S2-4 | 14:00]

규화물 강화 고엔트로피 내열 합금 제조 및 열간 성형 연구: 김동훈¹, 김영무¹, 양성호¹, 박정효¹, 이성¹, 이성호¹, 이택우², 박은수³; ¹국방과학연구소 ²한국생산기술연구원 강원지역본부. ³서울대학교

Keywords: Refractory alloy, Metal-silicide in-situ composite, Hot deformation

항공 및 발전용 가스터빈 엔진의 열효율 향상을 위해서는 높은 온도의 가동환경이 요구되며, 이는 소재의 내구온도에 의해 결정된다. 기존 가스터빈 엔진 소재로 널리 사용되는 Ni기 초내열합금의 경우 일방향 응고, 열차폐 코팅 및 냉각률 가공 기술 등 다양한 제조공정 기술 개발을 통해 내구온도 향상을 이루어 왔으나, 모재의 낮은 용점으로 인해 내구온도 향상의 한계에 다다른 상황이다. 내화금속은 높은 용점 및 고온에서의 우수한 기계적 특성으로 인해 Ni기 초내열합금을 대체할 수 있는 후보재료 중 하나로 각광받고 있으며, 최근에는 내화금속 기반 고엔트로피 합금이 활발히 연구되고 있다. 하지만 내화금속 기반 합금의 경우 높은 밀도로 인해 경량화 및 비강도 측면에서 적합하지 않은 문제점이 있다. 이에 본 연구에서는 낮은 밀도 및 단일 고용체를 형성하는 고엔트로피 기지상 조성을 탐색하였으며, 고온 산화 저항성 및 강도 향상을 위해 규화물 강화상이 추가된 in-situ 복합재를 진공 아크 용해 방법으로 제조하였다. 또한, 열간 등압 성형 및 압출 공정 조건에 따른 in-situ 복합재의 미세조직 및 기계적 특성 평가를 통하여 최적의 열간 성형 조건을 도출하고자 하였다.

[고엔S2-5 | 14:20]

Overcoming Thermal Coarsening in Nanoporous Materials via High-Entropy Design: Soo Hyun Joo¹, Jae Woong Bae², Takeshi Wada¹, Hyung Seop Kim², Ilya Okulov³, Hidemi Kato¹; ¹Tohoku University. ²Pohang University of Science and Technology. ³University of Bremen.

Controlling the feature sizes of three-dimensional bicontinuous nanoporous (3DNP) material is essential for their use in catalysts, sensors, and capacitors, which need a high specific surface area. However, the intrinsic coarsening of nanomaterials naturally reduces their surface energy and deteriorates their physical properties over time, even at ambient temperatures. The coarsening of conventional 3DNP and microporous materials follows a universal empirical correlation with homologous temperature ($T_{\text{melting point}}/T_{\text{dealloying or annealing}}$) because the mature ligament size is inversely proportional to a melting point. Here we present a new 3DNP material that avoids this universal relationship on undesirable coarsening by using a high-entropy alloy (HEA) design. The 3DNP HEA demonstrates exceptional structural stability induced by multiple principal elements, slowing its diffusion kinetics. The entropy maximization of the 3DNP HEA leads to nanostructural features due to its suppressed surface diffusion, revealing tiny ligaments. The key benefit of this material is that it maintains its outstanding physical properties without coarsening induced degradation. Specifically, the yield strength of the ligament in the 3DNP HEA approaches its theoretical strength of $G/2\pi$ and maintains this after thermal exposure. In our presentation, we will explain the details of these recent finding.

[고엔S3-1 | 14:50]

의료용 임플란트 하이엔트로피 합금 개발: Akmal Muhammad¹, 박형기², 류호진¹; ¹한국과학기술원. ²한국생산기술연구원.

Keywords: 하이엔트로피 합금, 임플란트, 생체친화성

하이엔트로피 합금은 주 성분원소의 다양한 조합 가능성으로 인해 첨단 구조 소재로 널리 연구되고 있으며 열전소재, 자성소재, 수소분리, 촉매 등 기능성 소재로 그 응용 분야가 확장되고 있다. 최근에는 의료용 임플란트 소재로 사용되고 있는 Ti계 합금 및 CoCrMo 합금을 대체하기 위한 하이엔트로피 합금의 연구도 진행되고 있다. Ti계 합금인 BCC 구조의 Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr 은 탄성계수가 60 GPa 정도로 낮고, 내부식성이 높으며, V과 같이 생체 독성이 있는 원소를 함유하지 않아 대표적인 의료용 금속 소재로 고려되고 있다. 이에 TiNbTaZr, MoNbTaTiZr 등의 하이엔트로피 합금을 새로운 의료용 임플란트 재료로 개발하기 위한 연구가 일본을 중심으로 시작되었으며 세포 배양 실험결과 MoNbTaTiZr 는 CP-Ti 와 SUS316L보다 우수한 특성을 나타내었다. 의료용 임플란트 소재의 탄성계수를 낮추기 위해서는 기공도를 조절하는 방법이 있으며, 이를 위해서는 높은 강도와 인성이 요구된다. 그러나 현재까지 보고된 BCC계의 고엔트로피 합금의 기계적 특성은 강도와 인성이 서로 반비례하는 특성이 보고되고 있다. 본 연구에서는 관련된 하이엔트로피 합금의 조성, 제조공정, 미세조직, 물성, 생체친화성을 종합적으로 비교 분석하여, 우수한 의료용 임플란트 합금 개발 방향을 고찰하고자 한다.

[고엔S3-2 | 15:10]

Fabrication of WMoTaNbV Refractory High Entropy Alloys Prepared by Vacuum Hot Pressing: 김영무¹, 김상준², 김진연², 박은수², 이성¹, 이성호¹; ¹국방과학연구소. ²서울대학교

Keywords: high entropy alloy, WMoTaNbV, vacuum hot pressing

We fabricated WMoTaNbV refractory high entropy alloy by vacuum hot pressing of the alloyed powders. The microstructures of powders, manufactured by ball milling and subsequent heat treatment, were composed of single body-centered cubic (BCC) matrix with TaO₂ dispersoids. Especially, the oxide might be formed by the reaction between Ta, which is the element with strongest affinity for

oxygen among the alloying elements, and oxygen introduced by powder processing. We found the optimal processing conditions for in-situ oxide dispersed WMoTaNbV powders. Vacuum hot pressing was conducted to consolidate the powders. The effects of processing parameters on the sinterability and microstructures were also analyzed. Consequently, we established the pressing conditions for obtaining the WMoTaNbV alloys with full density and fine-grained structures.

[고엔S3-3 | 15:30]

BCC/B2 이상조직을 갖는 경량 고엔트로피합금의 고온 기계적특성 향상을 위한 미세조직 제어: 임가람, 권현준, 원종우, 나영상; 재료연구소
 Keywords: bcc, high entropy alloy, microstructure, high temperature, mechanical properties

최근, 에너지 및 환경문제의 중요성이 강조되면서 극한환경에서 기존 금속소재의 한계를 뛰어넘는 새로운 소재가 요구되고 있다. 고엔트로피 합금은 일반적으로 높은 강도를 지닐 뿐 아니라 극저온, 고온, 부식환경 등 극한환경에서 우수한 내구성을 지니는 것으로 알려져 있어 구조재료로서의 관심이 점차 증가되는 추세이다. 이러한 특성을 잘 이용하면 에너지플랜트, 항공우주 등 고부가가치 산업에 적용가능하다. 본 연구에서는 고엔트로피 합금 중 우수한 고온 비강도를 나타내는 bcc계 Al-Cr-Fe-Ni(Co) 합금을 개발하여 고온구조재료로서의 적용가능성을 살펴보았다. 본 합금은 스피노달 분해에 의해 disordered bcc(A2)와 ordered bcc(B2)로 이루어진 dual-phase bcc 구조를 지니고 있어 계면정합성 및 고온안정성을 적절히 제어할 경우 고온에서 우수한 기계적 특성을 가질 수 있다. 본 연구를 통해 개발 합금의 고온 기계적특성에 미치는 미세조직적 인자를 도출하고 고온에서의 강화메커니즘을 규명하고자 한다.

[고엔S3-4 | 15:50]

Investigation of Brazing Characteristics of a New High Entropy Filler Metal Processed by Powder Metallurgy: Ashutosh Sharma, Byungmin Ahn, Minseok Oh, Kwan Il Kim; *Ajou University*.

Keywords: spark plasma sintering, lightweight, high entropy alloy, brazing, microscopy.

In this study, we demonstrate the possibility of brazing and superior mechanical performance of furnace brazed Ti-alloy using a Al-Cu-Si-Fe-Zn high entropy alloy (HEA) filler metal in an equiatomic ratio. The HEA filler was synthesized by an advanced powder metallurgy technique consisting of high energy ball milling (HEBM) for 45 hours and consolidation by spark plasma sintering (SPS). The brazing filler obtained in SPSed disc form was polished and brazed with Ti-alloy. The microstructural evolution was assessed by using X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) combined with energy dispersive spectroscopy (EDS). To examine the various phase formation and separation behavior transmission electron microscopy (TEM) techniques were employed. The results showed that filler microstructure was a combination of body centered cubic (BCC) and face centered cubic (FCC) structure. There are three melting temperature phases (CuZn, AlFeSi, and FeSi) which agree with the EDS mapping. The samples SPSed at 650 °C had highest microhardness and filler strength ? 1100 Hv (=GPa) and 1981 MPa, respectively. The measured densities varied from 4.6-5.1 g/cm³, which are comparable to the highly dense of all the lightweight HEA reported so far. During brazing, most of the Zn evaporated from HEA filler but counting together with Ti substrate, the atomic fractions of elements except Ti in the matrix were similar with a little amount of Ti confirming a robust brazed joint which is in the high entropy state.

나노소재의 특성측정 및 물성분석 기술

Room 603, 4월 25일

[나노기술1-1 | 13:00]

Materials Imaging and Integration (MI): New Paradigm of Nanoscale Materials Design and Discovery: 홍승범, 조성우, 박건, 김훈, Panpan Li, 류정재, 오충익, 김홍준, 김재규, 윤석중, 오지민, Melodie Glasser; *한국과학기술원 신소재공학과*.
Keywords: material, imaging, integration, nanoscale, design

Renaissance established the scientific method, a system by which both observation and reason are employed in order to test the proposed mechanisms for planetary motion. Descartes promoted science by first questioning everything and then building up a theory based on sound observational evidence. Materials science is no exception in the sense that visualization of order parameters or materials properties provides the solid ground on which materials theory and design can flourish. Here I will present our current research thrusts to visualize polarization, electrical charges and ionic transport to understand the emerging phenomena on materials surfaces as well as interfaces and how they help design future memory and energy storage devices [1-4]. Last but not least, I will discuss the vision of materials imaging and integration, which will lead to a new paradigm of nanoscale materials design and discovery.

[나노기술1-2 | 13:40]

In-Situ and Ex-Situ Nanoscale Characterization Using Synchrotron Radiation for Reversible Phase Modulation in Correlated Oxides: Junwoo Son; *Pohang University of Science and Technology*.

Keywords: Characterization, Synchrotron radiation, phase modulation, correlated oxides, in-situ

The ability to control a variety of functionalities with external stimuli is one of the main issues in correlated oxides. Due to the extreme sensitivity of those material systems to point defects, this material systems can be applicable for reversible tuning of physical properties for the application of electronic devices, such as steep-slope transistors and neuromorphic devices. Among a variety of materials systems, vanadium dioxide (VO₂), a 3d1 correlated oxide that undergoes metal-insulator transition at ~68 °C, also has a response that is sensitive to atomic defect formation. In particular, we demonstrate that as many as two hydrogen atoms can be incorporated into each VO₂ unit cell, and that hydrogen is reversibly absorbed into, and released from, VO₂ without destroying its lattice framework, which leads to reversible electronic phase transition [1]. Here, we present our effort to elucidate the hydrogen-induced electronic phase modulation in VO₂ by characterizing the crystal structure and electronic structure. First, to determine the origin of reversible phase modulation during hydrogenation/dehydrogenation, electronic structures were ex-situ characterized using X-ray photoemission spectroscopy (XPS) and near-edge X-ray absorption fine structure (NEXAFS) in 4D PES beamline at PLS-II [1]. Furthermore, real-time analysis of chemical bonding at the surface and operando analysis in the 3-terminal devices were fully characterized in real time using atmosphere pressure X-ray photoemission spectroscopy (APXPS) in 9.3.2 beamline at ALS and XRD with focused x-ray beam [2, 3] to obtain more insight on the process of hydrogenation/dehydrogenation. This combination of ex-situ and in-situ characterization using synchrotron radiation provides the powerful tool to explain the mechanism of defect-induced phase transition in correlated oxides. This work was performed in collaboration with Hyojin Yoon, Jaeseoung Park, Minguk Jo, Prof. Ji Young Jo, Dr. Ethan Crumlin, Dr. Kyuwook Ihm. [1] H. Yoon et al., *Nature Mater.* 15, 1113 (2016)[2] M. Jo et al., *Adv. Funct. Mater.* 28, 1802003 (2018)[2] H. Yoon et al. (In preparation)

[나노기술2-1 | 14:30]

Application of Secondary Ion Mass Spectrometry In Advanced Materials: Tae Eun Hong, Min Ji Kang, Mi-Rang Byeon; *Korea Basic Science Institute*.

Keywords: SIMS, Advanced Materials, Analytical Technique

Recently, as interest in advanced nano-materials has increased, many researchers have been studying the surface properties of nano-materials in depth. Because nano-materials have a much larger surface area than bulk materials, it is important to understand the nature of the surface in nanomaterials. To understand the properties and reactivity of a surface exactly, many information such as the chemical composition, the chemical structure, and the atomic structure is required [1]. Various surface analytical techniques can provide the necessary information on the surface. In particular, Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS) is a robust method for identifying elemental distribution from hydrogen to uranium in the atomic range with the detection potential of parts per million (ppm) or parts per billion (ppb) [2]. In this presentation, we will share and explain the various results obtained using SIMS. [1] J. C. Vickerman, *Surface Analysis*, John Wiley & Sons, Chichester (1997)[2] A. W. Czanderna, *Methods of Surface Analysis*, Elsevier Science Publishing Company (1975)

[나노기술2-2 | 15:10]

Visualization of Local Corrosion in Carbon Steels using Atomic Force Microscopy: Yunseok Kim; *Sungkyunkwan University*.

Keywords: Corrosion, Carbon Steels, Atomic Force Microscopy

Corrosion is a natural process which converts metal to a chemically more stable state such as oxide. The understanding of the corrosion has been significant because it underpins lifetime of practical applications with metal components. However, most of previous studies have focused on the macroscopic origins of the corrosion although the nucleation and propagation of corrosion behavior is nanoscopic level. Meanwhile, atomic force microscopy (AFM) becomes a quasi essential tool for exploring nanoscale electrochemical, electrical, and mechanical properties. In this presentation, I will summarize our recent effects to study corrosion at the nanoscale in carbon steels using various AFM modes such as magnetic force microscopy, Kelvin probe force microscopy, conductive AFM, scanning capacitance microscopy, and contact AFM. The steel phases and corresponding changes in the materials properties according to the degree of the corrosion have been observed using the above mentioned AFM techniques. Further, I will briefly introduce additional AFM techniques which can be further used for exploring materials properties of carbon steels as well as other materials such as oxides and organics.

[나노기술2-3 | 15:50]

금속-산화물 계면의 국소 구조에 관한 엑스선 분광학 연구: 조덕용; 전북대학교 물리학과.

Keywords: 금속-산화물 계면, 국소 구조, 엑스선 흡수 분광학

금속막과 산화물로 이루어진 적층 박막의 계면에서는, 금속막이나 산화물 자체에서는 볼 수 없었던 다양한 화학적 구조적 변형이 일어난다. 그 계면 구조에 대한 규명이 필요함에도 불구하고, 계면의 작은 부피와 상부 금속막의 방해로 인해 일반적인 재료공학적인 측정법으로는 계면의 원자 배열을 효과적으로 파악하기 어렵다. 방사광 가속기의 엑스선 흡수 분광법(X-ray absorption spectroscopy)을 이용하면, 시료 내 원자 주변의 국소 구조를 파악함으로써 문헌 계면이나 극박막에서 원소별 거동을 연구할 수 있다. 본 발표에서는, 엑스선 흡수 분광법의 원리에 대해 실용적 측면에서 간략히 소개하고, 이 방법을 이용하여 금속-산화물 박막 또는 계면층에서의 원자 확산 및 새로운 계면상 형성에 대해 연구한 몇 가지 사례를 발표하고자 한다.

[나노기술3-1 | 16:40]

Ultrathin Black Phosphorus Layer Fabrication and Surface Passivation by Photochemical and Thermal Etching: Hyuksang Kwon¹, Sung Won Seo¹, Sena Yang¹, Sunmin Ryu², Jeong Won Kim¹; ¹Korea Research Institute of Standards and Science. ²Pohang University of Science and Technology.

Keywords: 2D Materials, Black Phosphorus, Layer Etching, Surface Passivation

Ultrathin black phosphorus (BP) is one of the promising two-dimensional (2D) materials for future optoelectronic devices and photocatalytic reagents. Despite its excellent properties of high carrier mobility and optical tunability, the lack of a bottom-up approach for its synthesis and chemical instability in ambient conditions necessitate efficient etching methods that generate BP films of designed thickness with stable and high quality surface. Previous etching approaches needed a very high power plasma or laser treatment and produced rather rough surfaces. Herein, reporting a novel photochemical etching method, we demonstrate a controlled layer-by-layer thinning of thick BP films down to a few layers or a single layer, and confirm their unique Raman and photoluminescence characteristics (ACS Nano, 10, (2016) 8723). Ozone molecules generated by mild O₂ photolysis oxidize BP, forming P₂O₅-like oxides, which is proved by X-ray photoelectron spectroscopy. When the resulting phosphorus oxides are removed by water rinse, the surface of BP with preset thickness is highly flat and self-protective by surface oxygen functional groups. This method will provide a new fabrication strategy of BP and possibly other 2D semiconductors with bandgaps tuned by their thickness. Additionally, we introduce a simple method of thermal annealing to fabricate a stable and thin BP. Upon thermal annealing above 200°C in air, the stable protection layer of BP oxide is produced at the top of BP surface. Simultaneously, the thermal oxidation of bare BP etches the intrinsic BP layer, resulting in the decrease of BP thickness. By the thermal annealing, the field-effect transistor (FET) shows enhanced device performance of hole mobility by 10 times and on/off ratio by 50 times, compared to bare BP-based FET. The stable performance under ambient condition even without additional passivation is due to BP material stability and removal of surface scattering centres upon thermal annealing process.

[나노기술3-2 | 17:20]

Realizing array level device. A case study of graphene and organics light emitting diodes: Jaehyun Moon, Jin-Wook Shin, Hyunsu Cho, Jong-Heon Yang, Jun-Han Han, Byoung-Hwa Kwon, Chun-Won Byun, Kang Me Lee, Nam Sung Cho, Jeong-Ik Lee; *Electronics and Telecommunications Research Institute.*

Keywords: Array, Patterning, Integration

Recently, the material research community has witnessed various emerging materials bearing unprecedented properties. Technical advancements in synthesis processes, precise control of structures and modification of surface/interface properties have all contributed to the emergence of novel materials. While understanding the fundamental properties of a material alone is essential, realizing a new material into a working active component on device array is quite challenging. In particular, electronics devices are in multilayer thin film format and auxiliary components are required to drive and operate the device array. This talk will present technical issues related to the use of graphene film as a transparent electrode for organic light emitting diodes (OLEDs) applications. Various hurdles will be

presented and analyzed. Also we will emphasize the importance of integration and processing compatibility. Finally, we will suggest graphene as a serviceable component in existing display technology.

제21회 피로 및 파괴 심포지엄

Room 604, 4월 25일

[피로1-1 | 10:00]

선택적 레이저 용융 공정을 활용한 H13 공구강의 공정조건이 기계적 특성에 미치는 영향: 성효경¹, 이정섭¹, 정임두², 최중호², 유지훈², 박준혁¹, 김상식¹; ¹경상대학교 ²한국기계연구원 부설 재료연구소

Keywords: Additive manufacturing, 3D printing, Selective laser melting, H13 tool steel, process parameter

다양한 적층 제조 공정 중 SLM (selective laser melting) 공정은 세밀하고 정교한 형상을 제조하기에 적합한 방법이다. 적층 제조 시 다양한 공정 변수들이 존재하며 각 공정 변수 설정에 따라 최종 소재의 기계적 특성이 크게 달라질 수 있다. 본 연구에서는 여러 공정 변수 중 laser scan speed를 조절하여 H13 공구강의 미세조직이 인장특성에 미치는 영향에 대해 분석하고자 하였다. Laser scan speed를 200, 400, 800 mm/s 로 제어하여 H13 공구강을 적층 제조하였고, 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 영향에 대해서 고찰하였다. 주상정 결정립들은 적층 방향(Z축)을 따라 방향성 응고를 통해 형성되었으며, 결정립 내부는 마르텐사이트, 결정립계는 잔류오스테나이트로 나타났다. 기공률은 laser scan speed가 증가할수록 증가하였으며, laser scan speed가 200 mm/s 로 가장 낮은 시편에서는 gas pore 와 keyhole type pore 가 관찰되었다. Laser scan speed가 400 mm/s 또는 800 mm/s 로 높은 시편에서는 조대한 lack of fusion pore 및 미용융 분말이 관찰되었다. 인장 특성은 기공률이 가장 낮은 laser scan speed 200 mm/s 시편에서 가장 우수하였으며, 항복 및 인장 강도는 각각 1300, 1700 MPa 로 측정되었다. 또한 인장파면 분석을 통하여 기공률, 기공의 크기 및 형상이 기계적 특성에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다.

[피로1-2 | 10:15]

고주기 피로수명에 미치는 표면거칠기 영향의 정량적 평가: 권용남¹, 최연석¹, 이동준¹, 석무영¹, 정유인², 조서연², 김대환², 장영환²; ¹한국기계연구원 부설 재료연구소 ²한국항공우주산업(주).

금속의 표면거칠기는 고주기 피로수명을 떨어뜨리는 요소로 잘 알려져 있다. 최근 산업적으로 많은 활용이 시도되고 있는 적층 성형 금속부품은 분말 혹은 선재를 레이저 또는 전자빔으로 용융시켜 3차원 형상으로 적층하여 제조한다. 적층성형기술은 기계가공으로는 제작할 수 없었던 복잡한 형상을 가진 부품을 제조할 수 있으며 소량 다품종 생산에 유리한 장점을 가지는 공정이다. 적층 성형 후 표면은 기계가공부품에 비해 상대적으로 거친 특징을 가지며 구조 특성상 표면연마가 불가능한 경우도 자주 발생할 수 있다. 본 연구에서는 적층 성형부품의 표면거칠기가 고주기 피로특성에 미치는 영향을 평가하였다. 표면거칠기 정도를 변화시킨 시편의 고주기 피로시험을 통해 표면거칠기가 피로수명을 낮추는 정도를 실험적으로 평가하였으며 피로해석을 통해 이를 정량화할 수 있는 방법의 가능성을 시도하였다

[피로1-3 | 10:30]

AISI 1045 Steel의 인장 및 고주기 피로 특성에 미치는 HVOF Sprayed Cermet 표면 코팅층의 영향: 함기수¹, 김형준², 윤상훈², 이기안¹; ¹인하대학교 신소재공학과 ²포항산업과학연구원

Keywords: HVOF thermal spray, WC-10Co-4Cr, Cr₃C₂-25NiCr, AISI 1045 steel, high cycle fatigue

본 연구에서는 AISI 1045 강 of 인장 및 고주기 피로 특성에 미치는 HVOF(high velocity oxygenfuel) 용사 코팅층(WC-10Co-4Cr과 Cr₃C₂-25NiCr, wt.%)의 영향에 대해 조사하였다. 용사 코팅 소재들의 기계적 특성 비교를 위해 현재 산업군에서 사용중인 Cr plated AISI 1045 강(Cr 도금층 두께 : 53 μm)을 비교재로 사용하였다. 제조된 코팅층의 두께는 WC-10Co-4Cr : 48.5 μm, Cr₃C₂-25NiCr : 47.4 μm로 관찰되었다. 두 코팅소재 모두 코팅층과 모재의 interface 영역에서 결합이 없는 것으로 확인되었으며, 코팅층 내부의 기공도는 각각 WC-10Co-4Cr : 0.01%, Cr₃C₂-25NiCr : 0.2%로 측정되어 매우 치밀한 미세조직을 가지고 있는 것으로 관찰되었다. 코팅층 직하영역(모재영역)의 잔류응력 측정결과, 비교재인 Cr 도금재는 376.0 MPa, WC-10Co-4Cr : 392.4 MPa, Cr₃C₂-25NiCr : 384.2 MPa의 인장 잔류응력이 존재하고 있는 것으로 확인되었다. 인장 시험 결과, 용사 코팅 소재들은 Cr 도금재보다 항복강도와 연신율은 우수한 것으로 나타났으나, 인장강도는 유사하거나 소폭 낮은 수준인 것으로 측정되었다. 고주기 피로 시험 결과, 각 소재의 피로한은 Cr 도금재 : 325MPa, WC-10Co-4Cr : 375MPa, Cr₃C₂-25NiCr : 475 MPa로 측정되어 용사 코팅 소재들은 Cr 도금재(비교재)보다 우수한 고주기 피로 특성을 지닌 것으로 나타났다. 상기의 결과를 바탕으로 인장 및 고주기 피로 파단면을 관찰하고 용사 코팅 소재와 Cr 도금재(비교재)의 인장 및 고주기 피로 변형 기구를 미세조직과 연계하여 고찰해 보았다. [본 연구는 산업통상자원부의 경질 Cr 대체 용사코팅 기술개발 과제의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.]

[피로2-1 | 10:55] 초청강연

항공기 SHM(Structure Health Monitoring) 적용 방안 연구: 백세일, 전일, 배중우; 공군 항공기술연구소

Keywords: SHM, Structure Health Monitoring, ASIP, NDI, Damage Monitoring

1970년 이후 개발된 군용 항공기들은 손상허용해석(Damage Tolerance Analysis)을 기반으로 한 구조 건전성관리 프로그램(ASIP : Aircraft Structural Integrity Program)을 통해 항공기 설계 단계부터 요구된 구조 피로수명을 만족함을 증명하고, 항공기가 도태될 때까지 전 운영기간 동안 구조 건전성을 유지하기 위한 예방정비 절차와 기법들이 제시되고 있다. 최근에는 이와 더불어 SHM(Structure Health Monitoring)을 적용하여 실시간으로 구조건전성을 예측하고 확인할 수 있는 기법들이 제시되고 있다. SHM

은 손상 또는 피로를 탐지할 수 있는 센서들을 구조물에 부착하여 실시간으로 항공기 기골의 상태를 진단할 수 있는 기법이다. 현재, 한국공군에 도입 예정인 F-35 전투기에는 PSHM 기법이 적용되고 있으며, 헬기나 엔진 등에는 HUMS 및 EHM 시스템들이 적용되고 있다. 본 논문에서는 타국가에서 운영되고 있는 항공기들에 적용된 SHM 사례를 살펴보고, ASIP을 보완할 수 있는 관점에서 적용 가능한 기법에 대해 소개하고자 한다.

[피로2-2 | 11:25]

탈아연 현상이 Bismuth 황동의 응력부식균열에 미치는 영향: 김삼식; 경상대학교

Keywords: 탈아연, 황동, 응력부식균열

선진국을 중심으로 응용수용으로 사용되는 벨브에 납이 첨가된 쾌삭황동의 사용이 규제됨으로써 납이 첨가되지 않으면서 쾌삭황동 수준의 기계가공성을 보이는 bismuth 황동이 개발되어 사용되고 있다. 일반적으로 아연이 15% 이상 함유된 이러한 황동 제품의 경우 수십 ppm 수준의 암모니아가 존재하는 수돗물에서 응력부식균열(stress corrosion cracking, SCC) 현상이 발생할 수 있다. 한편 탈아연 현상은 선택적으로 아연이 황동에서 빠져 나가는 전형적인 황동에서의 부식 현상이며, 이러한 탈아연 현상은 응력부식균열의 초기 균열 생성원으로 작용할 수 있다. 본 발표에서는 실제 사용 중에 발생한 bismuth 황동 벨브의 SCC 현상에 미치는 탈아연 현상의 영향에 대하여 논의하고자 한다.

[피로2-3 | 11:40]

공군 운영 20mm 기총탄 부식상태 평가: 김민생, 주형대, 이두열, 배중우; 공군 항공기술연구소

Keywords: 부식, ASRP, 20 mm,

최근 한국 공군에서는 전투기 기총 실탄으로 사용 중인 직경 20 mm 실탄에 대한 탄약신뢰성 평가(ASRP)를 수행하였다. 해당 실탄의 탄피는 구리(Cu) 70%, 아연(Zn) 30%로 제작된 황동이며, 제조 이후 30년 이상이 지난 노후 탄약으로 전투기 사용을 위해서는 상태평가, 특히 부식에 대한 공학적 평가가 요구되는 상황이었다. 공군 내 10개 기지에서 보관 중인 24개 로트(LOT)에 대해서 탄피 부식형태, 깊이 및 부식성분을 측정하였다. 이를 통해 탄피 내부부식은 실탄의 추진체에 포함된 황(S)에 의하여 아연이 산화되어 발생된 것을 확인하였다. 또한 측정된 결과값과 기지별 온도 및 상대습도 등 환경과의 연관성을 확인함으로써, 실탄이 보관되는 탄약고에 대한 온도, 습도에 지침을 제공하였다.

[피로3-1 | 13:00] 초청강연

항공기 기체 구조 피로해석 절차: 이철주; 한국항공우주산업(주).

Keywords: 피로해석, 수명해석, 균열성장해석, 응력방정식

항공기는 운용 중량이 성능 및 운용 비용과 밀접하게 관계되기 때문에 다른 기계 장비보다 경량화 및 양호한 피로 특성이 요구된다. 기체 구조 경량화를 위해서는 정적 강도와 더불어 피로 특성을 고려해야 하기 때문에 항공기 주요 구조물은 피로해석 및 균열성장해석을 통해 수명을 평가한다. 최근에는 자동차 선박을 비롯하여 다양한 분야에서 내구성 평가를 위해 피로해석이 기초한 수명해석을 수행하고 있으며 항공기 구조는 경제성 측면의 피로해석은 물론 균열성장해석을 추가하여 비행 안전성을 확보하고 있으며 연방항공규격과 미 군사규격에 필수항목으로 규정되어 있다. 항공기 구조물은 재료의 특성 및 역할에 따라 피로해석 부품, 균열성장해석 부품으로 분류하여 수명을 평가하고 있다. 본 발표에서는 항공기 기체 구조 수명해석 절차의 일반적인 사항과 피로해석에 필요한 하중스펙트럼을 응력스펙트럼으로 변환하는 방법, 응력방정식 생성, 응력집중계수 산출 방법등에 대해 상세하게 설명할 예정이다.

[피로3-2 | 13:30]

An Alternative Method to Beta Processing Oversized Ti-6Al-4V Alloy Used for Aircraft Critical Parts: Juwon Seo, Yoo In Jeong; Korea Aerospace Industries, Ltd.

Keywords: Ti-6Al-4V, Beta Processing, Microstructure, Crack Propagation

Beta processed Ti-6Al-4V alloy is a reliable choice for aircraft critical parts applications due to its excellent resistance to crack propagation. However, its stringent heat treat and cooling requirements limit the product thickness up to 7.5 inches. This study covers an alternative method to overcome the size limit of beta processing. Conventionally annealed, or mill annealed, Ti-6Al-4V alloy is rough machined into a near-net shape part which has maximum thickness under 7.5 inches at any location in order to allow beta processing. Subsequently, the near-net shape part is beta processed and final machined into the final part. This process is validated by conducting chemical, mechanical, ultrasonic tests, and microstructural analysis. This study also introduces the domestic status and plans of development of aerospace grade titanium alloys.

[피로3-3 | 13:45]

극저온 분위기에서의 초음파피로시험 평가에 대한 연구: 채운샘¹, 김세인¹, 이창순¹, 조인식²; ¹선문대학교 ²(주) 엠브로지아

Keywords: 초고주기피로, 초음파피로, 동탄성계수, 극저온, 압연판재

본 논문에서는 압연재 STS304L에 대한 -196°C 극저온하에서의 초음파피로시험 평가를 수행하고자 하였으며, 특히 1.1 mm, 1.3 mm, 1.5 mm 압연량에 따른 판재 시편에 대하여 탄성계수와 피로시험특성 평가 뿐 아니라 -196°C 극저온하에서의 탄성계수와 피로수명을 평가하고자 하였다. 가장 압연량이 많은 1.1 mm 두께인 STS304L계의 -196°C 극저온하의 피로 시험결과 약 345 MPa에서 피로한도가 형성되어 소성가공에 의하여 극저온에서의 피로한도가 약 65.9 % 증가는 경향을 확인하였다. 이러한 -196°C 극저

온하에서 소성가공율이 26.7 % 인 1.1 mm 두께인 STS304L재의 피로한도가 증가하는 것에 따른 거동 평가를 위하여 미세조직과 피로파단면에 대한 분석 및 물리적 특성인 탄성계수가 증가하는 경향과의 비교평가를 연구하고자 하였다.

[피로4-1 | 14:10]

Mo 첨가강에서 저온 CTOD 파괴인성에 영향을 미치는 열영향부 미세조직의 영향: 이석규¹, 김보희¹, 김우겸², 엄경근², 이성학¹; ¹포항공과대학교 신소재공학과, ²포스코 기술연구원

Keywords: 열영향부, 미세조직, CTOD 파괴인성, 균열 개시, 균열 전파

극저온의 개발이 증대됨에 따라 고강도강의 사용이 증가되고 있으며 저온에서 고강도강의 Crack Tip Opening Displacement (CTOD) 인성도 함께 요구되고 있다. 하지만 극저온강이 사용되는 구조물의 경우 용접 과정을 거치게 되며 이로 인해 형성되는 열영향부의 낮은 파괴인성이 문제로 나타나고 있다. 따라서 다양한 합금원소 조합을 통해 열영향부의 저온 파괴인성을 높이기 위한 연구가 계속 진행되고 있으며 Mn, Ni, Cr, Mo 등의 합금원소 첨가를 통해 고강도화를 일으키며 열영향부의 미세조직을 제어하기 위한 연구가 이루어지고 있다. 이번 연구에서는 Mo 첨가강에서 열영향부 중 Local Brittle Zone으로 알려진 ICRCGHAZ 미세조직 (AF, GB, BF, MA)의 변화를 정량적으로 살펴보고 그에 따른 CTOD 인성 변화를 관찰하였다. CTOD 균열 개시 및 전파 거동을 Interrupted Bending 시험을 통해 살펴보고 CTOD 시험의 파괴거동과 미세조직 간의 상관관계를 살펴보았다.

[피로4-2 | 14:25]

핵융합로용 RAFM강에서 Ti 및 Ta 첨가에 따른 MX석출물과 고온 피로 특성 고찰: 임소영¹, 문준오², 이창훈², 홍현욱¹; ¹창원대학교 ²재료연구소 철강재료연구실

Keywords: Fusion reactor, RAFM steel, Degradation, Creep, Low cycle fatigue

최근 핵융합로 블랭킷(Blanket) 후보 소재로 대표적인 저방사화(Reduced Activation Ferritic Martensitic, RAFM)강인 Eurofer97강이 가장 사용 가능성이 높은 후보재로 거론되고 있다. 본 연구에서는 Eurofer97강의 미세조직 안정성 및 고온 기계적 특성에 영향을 미치는 미세한 MX의 석출물의 양을 증가시키고자 Ta를 Ti로 치환한 Ti-RAFM강에 대하여 고온 특성을 비교 분석하여 고찰했다. 고온인장시험 결과, 초기에는 (Ti,W)C의 형성으로 석출강화 된 Ti-RAFM강은 336 MPa의 강도를 보였으나, 열 노출(600°C/1000h) 후에는 급격히 감소하여 273 MPa로 측정되었다. 반면 기존 Eurofer97강은 초기에 304 MPa의 강도를 보였으나 열 노출 후에는 284 MPa의 강도를 보였다. 또한 기존 Eurofer97강에서는 lath의 폭 증가량이 23 nm로 적었으나 Ti-RAFM강에서는 lath의 폭이 169 nm로 크게 증가되는 것으로 보아 Ti-RAFM강의 열화속도가 빠르다는 것을 알 수 있다. 이는 열간 노출 중 Ti의 빠른 확산 속도와 관련이 있다고 사료되어 크기가 크고 방사화가 낮은 Ta를 동시 첨가하기로 결정했고, 그 결과 Ta/Ti RAFM강은 고온 인장시험 및 크리프 시험에서 우수한 미세조직 안정성을 보였다. 열 노출 후의 고온인장시험에서 Ti-RAFM강은 약 11%의 항복 강도가 감소했지만, Ta/Ti RAFM강은 약 0.9%의 감소만 관찰되었다. 이에 Ta/Ti RAFM을 적정 강재로 선정하였고 Ti의 첨가 효과를 확인하기 위해 Ta/High Ti RAFM강과 Ta/Low Ti RAFM강에 대해 비교 분석하여 고찰했다. 마찬가지로 고온인장시험 결과, Ta/High Ti RAFM강은 기존 Eurofer97강과 유사한 결과를 나타내었으나 Ta/Low Ti RAFM강의 경우에는 기존 Eurofer97강 보다 우수한 것을 확인하였다. 이를 바탕으로 550°C/200MPa 조건에서 크리프 시험을 한 결과, Ta/Low Ti RAFM강이 1823시간으로 기존 Eurofer97강의 592시간 대비 약 3배 이상 크리프 수명이 향상된 것을 확인하였다. 따라서, Ta/Low Ti RAFM강을 적정 강재로 선정하게 되었고 550°C/2.4×10⁻³s⁻¹조건에서 Total strain amplitude를 각각 0.4%, 0.8%, 1.2%로 하여 저주기 피로 시험을 실시하여 기존 Eurofer97강과 비교 분석했다. 그 결과 각각의 Total strain amplitude에 대해서 Eurofer97강은 3504, 1375, 502 cycles의 피로수명을 보이며, Ta/Low Ti RAFM강은 2883, 720, 374 cycles의 피로수명을 보였다. 초기 항복 강도는 예상대로 Ta/Low Ti RAFM강이 Eurofer97강보다 높게 얻어졌으나 높은 softening rate로 열위한 피로 수명을 나타내었다. 이러한 높은 softening rate는 초기 전위 밀도가 큰 기여한 것으로 유추되어 이를 검증하기 위해 10Ta1Ti강의 템퍼링 온도를 700 °C → 760 °C로 상향 조정하여 초기 전위 밀도를 낮춘 후 Δε=0.8% 조건에서 저주기 피로 시험을 실시하였다. 그 결과 1523 cycles의 피로 수명을 나타내었고, 이는 Eurofer97강(1375 cycles)과 이전 10Ta1Ti강(720 cycles)보다 우수한 피로 특성으로 확인되었다.

[피로4-3 | 14:40]

환경 조건이 고경도강의 피로 및 파괴 저항성에 미치는 영향: 이관호¹, 박찬구¹, 손진일², 함진희³, 박태원³, 김상식¹, 성효경¹; ¹경상대학교 ²엠펙티아이(주), ³국방과학연구소

Keywords: high hardness amour, environmental assisted cracking, K_{ISCC}, slow strain rate test

고경도강은 고강도, 우수한 표면 특성, 내마모성 등의 특성으로 인해 군용 장갑 소재 및 극한 환경에서의 산업용 소재로 널리 사용된다. 극한 환경에서의 사용은 외부적 요인에 의하여 고경도강의 방식시스템이 손상되기 쉽고, 이는 국부적 공식 부식과 환경조장 균열(environmental assisted cracking, EAC)을 유발하므로 이에 대한 연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 직접 퀴칭한 고경도강의 미세조직과 3.5% 염수 환경에서의 인장 특성을 분석하였다. 미세조직은 마르텐사이트로 구성되었으며 압연 방향으로 연신된 형태의 구오스테나이트 결정립이 관찰되었다. 저속인장시험(Slow strain rate test, SSRT) 결과 대기 조건에서 항복 강도 및 인장 강도는 각각 1753 MPa, 2161 MPa 로 측정되었으며, 음극 조건에서 수소 취성에 의한 기계적 특성 열화는 관찰되지 않았다. 이에 반해 양극 조건에서는 항복 및 인장강도가 약 70% 정도 감소하여, 이러한 환경 조건에 따른 기계적 특성의 차이를 미세조직과 인장 파면 관찰을 이용하여 분석하였다. 또한 피로 균열 전파 시험과 K_{ISCC} 시험을 실시하고 파면을 관찰하여 미세조직과의 상관관계에 대해 분석하였으며, 환경 조건이 환경조장균열 저항성에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다.

[피로4-4 | 14:55] 초청강연

항공용 소재 부품의 X-ray회절법을 이용한 잔류응력 측정방법: 이동준, 석무영, 이민지, 김민건, 권용남; 재료연구소

잔류응력은 소재의 열처리, 절삭가공, 소성가공 등 부품의 제조과정에서 재료 내부에 생성되는 응력으로, 이러한 응력의 분포에 따라 소재, 부품의 변형이나 파괴를 수반하므로, 잔류응력의 제어가 부품제조에 있어서 중요한 부분이다. 잔류응력 측정은 hole-drill 방법이나, X-ray 회절법, 중성자 회절법 등이 활용되고 있다. 본 연구에서는 X-ray 회절법에 의한 잔류응력 측정방법과 장단점을 소개하고자 한다. 특히, X-ray는 금속표면의 수 um 정도의 투과깊이를 가지기 때문에, 표면의 상태에 따라 잔류응력의 차이가 발생하므로, 정확한 측정을 위한 시편 준비방법 및 결과 분석방법에 대하여 발표하고자 한다.

에너지/기능소재 집합조직 심포지엄

Room 605, 4월 25일

[집합조직 1-1 | 13:00] 초청강연

Microstructure Control and Thermoelectric Property of Bismuth Telluride Alloys: 백승현; 한국과학기술연구원(KIST).

Keywords: Texture, EBSD, Thermoelectric, Bi₂Te₃

Thermoelectric materials allow direct conversion of thermal energy into electric energy and vice versa. This makes them very promising for the application of waste heat energy harvester and solid-state cooler. The performance of thermoelectric materials can be evaluated by the dimensionless figure-of-merit, defined as $ZT=S^2\sigma T/\kappa$, where S , σ , κ , and T are Seebeck coefficient, electrical conductivity, thermal conductivity, and absolute temperature, respectively. Understanding electrical transport property such as carrier density and mobility is very important to design the thermoelectric performance of the material. Moreover, it is closely related to the microstructure of the material. Here, I will review our recent results on the relation between material fabrication process, change of microstructure, and thermoelectric properties of bismuth telluride alloys.

[집합조직 1-2 | 13:30]

CMOS 및 CCD타입 EBSD 검출기에서의 Ti합금 분석: 강주희¹, 김은영¹, 이건용²; ¹재료연구소 ²Oxford Instruments NanoAnalysis.

EBSD는 mapping을 통해 벌크재료의 결정 방위분석을 수행하고, 미시집합조직 및 미세조직을 정량적으로 분석할 수 있어 널리 사용되고 있다. 2000년 초반 FE-SEM에 EBSD 장착이 일반화되고 컴퓨터 처리 속도가 빨라지게 되면서, 1990년대 후반 초당 수 픽셀의 분석 속도가 2000년대 후반부터 초당 천 개에 가까운 indexing 속도를 가질 정도로 비약적인 발전이 있었으며 최근에는 초당 3천 픽셀을 분석할 수 있는 수준에 이르렀다. 한편 EBSD 검출기의 분해능 측면에서 기존에 TEM으로 분석했던 sub-micron 결정립 크기를 지닌 초미세립재와 전위밀도가 높은 강가공 소재까지 EBSD 분석 영역이 확대되면서, 분석 속도와 동시에 고분해능 분석에 대한 중요성이 커지고 있다. 기존에 사용되었던 CCD 타입 EBSD 검출기는 분해능은 우수하나 처리 속도를 높이는 데는 한계가 있었으나, 최근 CMOS 타입 검출기 개발로 분석 속도는 매우 빨라졌으나 기존 CCD 검출기에서 사용했던 binning법을 쓰지 않으므로 기존 분석 방법과 차이가 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 CMOS 및 CCD 타입 EBSD 검출기에서 이상 Ti합금 분석 조건과 결과를 비교 검토하였다. 분석을 위해 알파상(HCP)과 베타상(BCC)으로 구성된 이상 Ti합금을 사용하였고, 등축정 초정 알파상과 공냉하여 라멜라 구조 복합 미세조직 소재와 급랭 후 마르텐사이트 미세조직을 가진 소재 2종에 대해 분석을 수행하였다. EBSD 검출기로는 Oxford Instruments NordlyNano (CCD 타입)와 동일사 Symmetry (CMOS 타입)를 이용하였다. 각 타입 별 검출기 특징을 비교하기 위해 측정 배율과 Hough 조건은 고정하고, 90% 이상 indexing rate를 얻었을 때의 가속전압, beam current, frame averaging 수, 속도를 확인하였다. CMOS 타입은 frame 한 장당 분해능은 CCD 타입보다 떨어지지만 처리 속도가 매우 높기 때문에 여러 frame을 평균하여 indexing rate를 높일 수 있으며, CCD 타입보다 높은 beam current 조건에서 분석이 용이한 특징을 보였다. 90% 이상 indexing rate를 기준으로 하였을 때, 분석이 어려운 마르텐사이트 조직에서는 CMOS 타입이 CCD 타입 대비 4-5배 이상, 상대적으로 분석이 용이한 라멜라 조직에서는 10배 이상 속도가 빠른 것을 확인하였다.

[집합조직 1-3 | 13:45]

Grain Boundary Character Distribution (GBCD) of Polycrystalline YIGs Obtained from Sol-Gel Method: 김민지, 장민선, 이기석, 이석빈; 울산과학기술원(UNIST).

Keywords: YIG, 2d EBSD, microstructural characterization, GBCD

In this study, the grain boundary character distribution (GBCDs) of the annealed YIG samples, obtained from a Sol-Gel method, are presented. The YIG samples were annealed at 1400 °C for various annealing time in air and furnace-cooled. From the 2d EBSD measurements, we observed that a series of YIG samples attained the self-similarity during the annealing process in terms of the grain size distribution, the grain texture, and the grain boundary misorientation texture, and grain boundary plane/character distributions. Lastly, relationships between the ionic structures of typical planes in YIG and the resultant grain boundary population in poly crystals will be discussed.

[집합조직 1-4 | 14:00]

Relation Between Drawing Process Condition and Secondary Recrystallization Behavior in High Purity Copper Wires: Hyun Park¹, Sang-Hyeok Kim², Woo-Jin Lee², Se-Jong Kim³, Hyo-Jong Kim²; ¹Rhinox Co. Ltd. ²Dong-A University. ³Korea Institute of Materials Science.

Keywords: High Purity Copper, Wire Drawing, Annealing, Texture, Secondary Recrystallization

In order to explain the dependency of the wire drawing process condition on the secondary recrystallization phenomena observed in some high purity copper wires during annealing, three wire drawing processes were simulated using a finite element analysis (FEA) tool and the microstructures and textures during annealing were traced using an EBSD technique. The FEA simulation results showed that the area reduction per drawing pass and the die angle determined the amount of the shear strain at the edge and middle regions of wire

during drawing, while the distributions of the strains along the drawing and radial directions were insensitive to the considered drawing process conditions. The measured textures and grain structures of the wires during annealing indicated that the texture of the wire which underwent a large amount of shear deformation at the edge and middle regions originating from higher area reduction per drawing and die angle than those of the other two wires was weakly developed and relatively small grains by secondary recrystallization took place at the surface region of the wire. On the other hand, larger grains by secondary recrystallization were observed at the center or middle region of the wires which were drawn under the conditions of lower area reduction per drawing and die angle leading to a relatively small amount of shear deformation. The difference of the secondary recrystallization behaviors observed in three wires was explained by a texture-based theory where local recovery and dynamic recrystallization behaviors affected by the amount of shear deformation during drawing play an important role in the strength of texture after primary recrystallization, and then the onset of secondary recrystallization and the final grain size after annealing.

[집합조직 1-5 | 14:15]

Effect of Sub-Boundary Angle Magnitude on Abnormal Grain Growth Behavior in Fe-3% Si Steel: 김태영¹, 안용근¹, 정용권¹, 길계환², 황농문¹; ¹서울대학교 ²포항 가속기 연구소

Keywords: abnormal grain growth, sub-boundary, Goss grain, Fe-3%Si steel

Abnormal grain growth (AGG) in various metals is important both scientifically and technically but the mechanism has not been yet clearly understood. Our group suggests the mechanism of sub-boundary enhanced solid state wetting, where sub-boundaries increase the probability to grow by wetting along the triple junction and thereby induce AGG in metals¹. According to this mechanism, Goss grains in Fe-3% Si steel undergo selective AGG because only Goss grains have exclusive sub-boundaries. Since the probability of wetting increases with decreasing angle of sub-boundaries, small sub-boundary angles are expected to produce larger abnormal grains than large sub-boundary angles. In this study, the effect of sub-boundary angle magnitude on the AGG behavior was studied. The Fe-3% Si steel, after primary recrystallization, were annealed at high temperature to induce AGG. And several Goss grains were analyzed using synchrotron X-ray microdiffraction to measure sub-boundary angles. The analyses showed that all Goss grains examined had sub-boundaries with misorientations less than 1° and all matrix grains examined had no sub-boundaries. Also, small Goss grains tended to have large sub-boundary angles and vice versa. The results imply that the sub-boundary angle should be a determining parameter of the size of abnormally growing grains.

[집합조직 1-6 | 14:30]

Microstructural Evolution of Two-Phase Microstructure via a Spin-Exchange-Path-Dependent Rate-Controlled Monte Carlo Simulation Model: Gaeun Son, Hansol Jeon, Ju-Yeong Kim, Sukbin Lee; 울산과학기술원(UNIST).

Keywords: Monte Carlo simulation, Coarsening; Kinetics, Morphology evolution

We investigate the coarsening kinetics and morphological evolution of binary microstructures during phase separation using a spin-exchange-path-dependent rate-controlled Monte Carlo (MC) model. A conventional spin-flip Ising model and spin-exchange Kawasaki dynamics have been used to predict the evolution of the microstructures via the diffusion-controlled mechanism. Here, we suggest a new MC model where the control of the diffusion rate is achieved considering the configurational changes as a consequence of the spin-exchange. To verify the proposed model, the microstructural characterization using the simulation snapshot patterns, the pair correlation function and the structural factor, is performed to measure the characteristic length and its temporal evolution. From the resultant temporal evolution of the characteristic length, it is found that the dynamics of the system with zero bulk diffusivity achieves a higher value of kinetic exponent of 4 ~ 5 than the conventional Kawasaki dynamics model over the intermediate temperature range. Also, we found that the evolution of microstructure is strongly affected by the volume fraction of the system. Lastly, we compare the results from the proposed model to the coarsening of porous metal system.

[집합조직 2-1 | 14:55]

다축대각단조(MADF) 공정에서 발달하는 무산소동의 미세조직 및 집합조직에 대한 연구: 정효태¹, 권상철¹, 김순태¹, 김다빈¹, 김민성², 이성음², 이성³, 최시훈²; ¹강릉원주대학교 ²순천대학교 ³국방과학연구소

Keywords: Oxygen-Free Copper, MADF, XRD, EBSD, Texture, Microstructure

다축대각단조(multi-axial diagonal forging, 이하 MADF) 가공법은 기존의 강가공법들과 비교했을 때 공정 중 재료의 손실이 거의 없고 가공전후의 형상변화가 없으므로 반복적으로 가공이 가능한 강소성 가공법이다. MADF의 전체 공정은 두께감소율이 30%인 면단조(plane forging, PF)와 복귀 면단조(return-plane forging, R-FP), 대각단조 각이 135°인 대각단조(diagonal forging, DF)와 복귀 대각단조(return-diagonal forging, R-DF)로 구분을 할 수 있으며 총 12패스(1 cycle)로 구성되어 있다. 무산소동의 MADF 공정은 상하 복동식 프레스를 사용하여 상온에서 무윤활 상태로 가공하였다. 이 연구에서는 면심입방정(FCC) 결정구조인 무산소동을 25 mm길이의 정육면체로 제작한 후 MADF 공정을 적용하여 중간 열처리 없이 1, 2, 3, 4 사이클(cycles) 가공하였으며, MADF 공정으로 4 사이클을 가공한 무산소동 가공재도 외부 균열 없이 건전하게 소성가공 된 것을 확인하였다. MADF 가공한 무산소동에 대하여 EBSD와 XRD측정을 통하여 소재의 위치별로 집합조직 발달을 비교 분석하였으며, MADF공정에 의한 결정립 미세화 효과를 해석하였다.

[집합조직2-2 | 15:10]

초기 미세조직에 따른 AA1100의 변형/재결정 집합조직 발달 메커니즘 규명: 최시훈¹, 김민성¹, 이성음¹, 이지현², 김환욱², 권상철³, 김순태³, 정효태³, 이성⁴; ¹순천대학교 ²한국기초과학지원연구원 ³강릉원주대학교 ⁴국방과학연구소

Keywords: Multi-axial diagonal forging(MADF), AA1100, Recrystallization, Cold rolling, Texture

다축대각단조(multi-axial diagonal forging, MADF)는 기존 다축단조와 달리 대각단조(diagonal forging)를 수행하는 공정으로, 공정 전·후 시편의 형상 변화 없이 재료에 변형을 부여하고 약 10mm 이하의 미세한 결정립 분포를 형성할 수 있는 강가공법이다. 본 연구에서는 AA1100 판재 제조 시 초기 미세조직이 변형 및 재결정 집합조직의 발달 거동에 미치는 영향을 실험적·이론적으로 고찰하였다. 주조 후 MADF 1 cycle 및 열간압연으로 제조된 동일한 두께의 AA1100 합금 소재를 냉연 공정의 초기 소재로 이용하여, 압연 및 열처리 공정 시 초기 결정립 크기 분포에 따른 미세조직학적 발달 거동을 분석하였다. XRD(X-ray diffraction) 및 EBSD(electron backscatter diffraction)기법을 활용하여 공정 전·후 두께 방향별 거시/미시집합조직을 측정하였다. FIB(focused ion beam), TKD(transmission kikuchi diffraction)을 이용하여 미세한 결정립 분포의 AA1100 내 변형/재결정 집합조직 발달 거동의 메커니즘을 규명하고자 하였다. 이론적 측면으로는 유한요소해석(finite element analysis, FEA)과 다결정 소성모델(visco-plasticity self consistent, VPSC)을 활용한 2-level 해석을 수행하여 냉간 압연 시 AA1100 판재의 변형 집합조직을 예측하였다. 유한요소해석으로부터 추출한 속도구배텐서 (velocity gradient)와 초기 거시집합조직을 고려하여 영역별 변형 이력에 따른 AA1100의 변형 집합조직의 불균일성을 고찰하였다. 본 연구를 통하여 냉간 압연 시 초기 결정립 분포에 따른 AA1100에 발달하는 미세조직학적 인자의 변화를 실험적·이론적으로 조사하였으며, 이러한 결과를 이용하여 AA1100의 변형 및 재결정 집합조직 메커니즘을 규명하고자 하였다.

[집합조직2-3 | 15:25]

Extension of viscoplastic self-consistent crystal plasticity model to predict material failures by strain-localization and ductile fracture.: 정영웅; 창원대학교

Mechanical performance of commercial metal sheets is usually evaluated through a set of simple tension tests, which can provide various properties such as yield stress, tensile strength, r-value, elastic modulus and the elongation. Formability is often quantified based on r-values and the total elongation. However, the general evaluation on formability requires one to examine the materials under various loading conditions in addition to uniaxial tension. Therefore, formability experiments require a large volume of test specimens and are expensive as it demands special equipment. Moreover, the test result is dependent on the loading history, so that complete measurement of formability is almost impossible so that predictive models are highly demanded. Marciniak and Kuczynski (MK) has pioneered a method to calculate the forming limit strain, which assumes the pre-existing inhomogeneity in the sheet [1]. The MK model has been widely used for materials exhibiting strain localization but is not appropriate for materials that do not exhibit strain localization. For materials that fail without strain localization, ductile fracture criterion is required such as Gurson-Tvergaard-Needleman model [2] and Mohr-Coulomb (MC) criterion [3-5]. The former accounts for mechanisms of void growth and coalescence, while the latter is relatively simple and phenomenological as a critical value associated with stress state is used for failure criterion. In this talk, both MK method and MC criterion are studied in conjunction with a self-consistent crystal plasticity framework.

[집합조직2-4 | 15:40]

An Investigation of Detwinning Behavior of In-plane Compressed E-form Mg Alloy during the In-situ Tensile Test: JAIVEER SINGH¹, Min-Seong Kim¹, Seong-Eum Lee¹, Eun-Young Kim², Joo-Hee Kang², Shi-Hoon Choi¹; ¹순천대학교 ²재료연구소

In this study, we investigated the detwinning phenomenon of in-plane compressed E-form Magnesium (Mg) alloy sheet systematically using in-situ tensile test combined with electron back-scattered diffraction (EBSD) technique. Microstructure and microtexture evolution were analyzed at different tensile strains during the in-situ tensile test. The detwinning phenomenon in E-form Mg alloy was found to be linked to both twin boundary mobility and the interaction of their boundaries with dislocations. The pre-compressed sheet of E-form Mg alloy effectively accommodated the thickness direction strains generated during the in-situ tensile test. The effect of detwinning on formability and mechanical behavior of the E-form Mg alloy was also examined. EBSD results indicate that most of the deformation twins formed during in-plane compression were removed when the load is reversed during the in-situ tensile test.

[집합조직2-5 | 15:55]

EBSD를 활용한 철강 중 마르텐사이트 변태의 방위관계 분석: 강전연¹, 김병환¹, 이충안², 강민우², 권순우², 박성준¹, 홍승현²; ¹재료연구소(KIMS). ²현대자동차그룹 금속재료리서치랩.

Keywords: electron backscatter diffraction; steel; martensitic transformation; orientation relationship; prior austenite grain reconstruction

후방산란전자회절(electron backscatter diffraction, EBSD)을 활용해 철강 중 마르텐사이트 영역의 구 오스테나이트(prior austenite) 결정립을 복원하고, 방위관계를 예측하였다. 임의의 방위관계를 활용해 측정된 마르텐사이트 하부구조 방위들에 대해서 가능한 오스테나이트 방위들(variant)을 계산할 수 있으며, 이들 중 공통되는 영역들을 모아줌으로써 구 오스테나이트 미세조직을 예측할 수 있었다. Kurdjumov-Sachs(K-S)에 의한 전통적인 방위관계로부터 출발하여, 복원된 오스테나이트 방위가 주는 마르텐사이트 방위와 실제 측정된 마르텐사이트 방위 간의 차이를 최소화하는 방위관계를 탐색하였고, 반복된 계산 과정에서 구 오스테나이트 영역의 복원이 증가하는 것을 확인하였다. 최종적으로 얻은 방위관계는 초기에 가정한 K-S 및 Nishiyama-Wassermann(N-W) 등에

의한 이상적인 방위관계와 차이를 보였다. 또한 IF 강, 특수강 침탄부 등에 대한 분석 결과에서 방위관계의 탄소 고용량에 대한 의존도를 확인할 수 있었다.

[집합조직2-6 | 16:10]

AA1100의 재결정 거동에 미치는 초기 미세조직의 영향에 관한 연구: 김민성¹, 이성음¹, Lalit Kaushik¹, 권상철², 김순태², 이지현³, 김환욱³, 이성⁴, 정효태², 최시훈¹; ¹순천대학교 ²강릉원주대학교 ³한국기초과학지원연구원 ⁴국방과학연구소

Keywords: Multi-axial diagonal forging(MADF), AA1100, Recrystallization, Texture, Microstructure

다축대각단조(multi-axial diagonal forging, MADF)는 정육면체 소재의 면과 수직하는 방향의 면단조(plane forging), 대각선 방향의 대각 단조(diagonal forging) 그리고 각각의 복귀 단조(return plane/diagonal forging)로 구성되어 있다. 총 4가지 단조 공정을 단계적으로 1 cycle (12 pass) 수행하여 공정 전·후 시편의 형상 변화 없이 재료에 변형 및 결정립 미세화를 부여할 수 있는 강가공법이다. 본 연구에서는 열처리 시 AA1100 판재의 재결정 집합조직의 형성 및 발달 거동에 미치는 초기 미세조직의 영향을 실험적으로 고찰하였다. 주조 후 MADF 1 cycle 및 열간압연 공정으로 제조된 AA1100을 이용하여 냉간압연을 수행하였으며, 다양한 열처리 조건에 따른 재결정 거동의 변화를 이해하고자 하였다. EBSD(electron backscatter diffraction) 기법을 활용하여 열처리 조건에 따른 두께 방향별 미시집합조직을 측정하였으며, KAM(kernel average misorientation), GOS(grain orientation spread) 분석법을 통하여 AA1100의 재결정 발달 거동을 실험적으로 고찰하였다. 보다 정밀한 재결정 집합조직 측정을 위하여 FIB(focused ion beam) 및 TKD(transmission kikuchi diffraction) 기법을 활용하였다. 본 연구를 통하여 초기 결정립 크기에 따른 AA1100의 재결정 거동의 변화 및 재결정 집합조직의 발달 거동을 실험적으로 이해할 수 있었다.

[에너지1-1 | 09:00]

Anisotropic Swelling Governed by Orientation-Dependent Interfacial Na Diffusion in Single-Crystalline Sb: 최용석¹, 박준형¹, 안재평², 이재철¹; ¹고려대학교, ²한국과학기술연구원.

Keywords: Na-ion battery, Sb anode, anisotropic sodiation, in situ sodiation experiments, first-principles calculations

The anisotropic volume expansion of anode materials produces locally inhomogeneous residual stresses, which frequently induce fracture of the anode materials and reduce battery capacity and cycle life. Much of our understanding of the anisotropic swelling behavior of anode materials is based on electron microscopy and macroscopic structural analysis techniques, which are insufficient to elucidate the atomistic origin of the anisotropic swelling behavior. In this study, we perform in situ sodiation experiments with single-crystalline Sb anodes followed by atomic simulations to determine the diffusion kinetics governing the sodiation of Sb and its associated swelling behavior. In situ sodiation experiments demonstrate that the diffusion rate of Na into single-crystalline Sb anodes differs by more than a factor of two depending on the orientation of the Sb crystal, causing the crystal to swell anisotropically. This observed anisotropic diffusion is explained here by determining the orientation-dependent diffusion kinetics, while the associated structural origins are clarified by studying the interfacial Na diffusion in the atomically thin layer preceding the advancing interface.

[에너지1-2 | 09:15]

Diffusion kinetics of Na ions in Sn and Sb Single Crystals and Its Effects on the Diffusion Behaviors: Jun-Hyoung Park¹, Yong-Seok Choi¹, Young-Woon Byeon¹, Jae-Pyoung Ahn², Jae-Chul Lee¹; ¹Korea university, ²Korea Institute of Science and Technology.

Keywords: Sodium-ion battery, Interface-controlled reaction, Diffusion-controlled reaction, In-situ experiment, First-principle calculation

The charging and discharging characteristics of batteries (e.g., charging rate, capacity, and cycle life) are determined by the diffusion behaviors of carrier ions diffusing into electrodes. In order to understand the fundamental physics underlying the battery performance, it is necessary to analyze the diffusion behaviors of carrier ions in the alloying anodes. Despite our understanding on solid-state diffusion behaviors on structural/metallic materials, those of material systems used in rechargeable batteries are relatively scarce and differ largely from conventional solid-state diffusion. When charge carriers diffuse to anode materials, the diffusion kinetics of charge carriers governing the diffusion in alloying anodes is determined by the relative magnitudes of the migration rate of the propagating interface (v_i) and transport rate of charge carriers at the trailing bulk region (v_b). Differing diffusion kinetics operating in anode materials in turn determine the diffusion rate and penetration depth of carrier ions and thus the swelling behaviors and subsequent crack formation of anode materials. In this study, we compare the diffusion behaviors of two battery systems governed by different diffusion mechanisms to establish the relationship between diffusion mechanism and the charge-discharge characteristics of batteries. This was achieved by comparing three different diffusion behaviors displayed by Na-Sb and Na-Sn systems: (1) diffusion kinetics of cations, (2) crack and pulverization of alloying anodes, and (3) penetration depth of cations.

[에너지1-3 | 09:30]

Nd-rich Grain Boundary Structure Modification of Nd-Fe-B Sintered Magnets by GaF₃/Ag Co-Doping: 배경훈¹, 이성래², 김효준³, 이민우⁴, 장태석⁵; ¹한국기계연구원 부설 재료연구소, ²고려대학교 공과대학 신소재공학과, ³지화전자 R&D 센터, ⁴한국생산기술연구원, ⁵선문대학교 공과대학 신소재공학과.

Keywords: Nd-Fe-B sintered magnet, Coercivity, Remanence, Microstructure

The addition of melting-point lowering element for Nd-rich phase such as a Cu and the post-sintering annealing (PSA) promote formation of a continuous and uniform non-magnetic Nd-rich GBP (c-Nd₂O₃, Ia), which are important contributor to the coercivity (H_c) enhancement. However, there is a limit of the H_c enhancement through the Cu addition because the thin Fe-rich ferromagnetic (FM) GBP (Nd₆(Fe,Cu)₁₄) and hexagonal (h-Nd₂O₃, P32/m) Cu-low Nd-rich GBP with high Fe content are also exist. Ag addition can improve the microstructure of the Nd-rich phase and increase the non-magnetic metals contents of the Nd-rich phase. Ga is found to be the effective element for improving the GBP microstructure and it might suppress the FM GBP formation. When the Ga is added as the GaF₃ powder, it can be easily distributed in the Nd-rich GBP. Therefore, we investigated the effects of GaF₃/Ag co-doping on the magnetic and microstructural properties of Nd-Fe-B sintered magnets. The Nd_{13.5}-Dy_{0.8}-Fe_{bal.}-B_{6.0}-M_{2.4} (at.%) powders were mixed with Ag (0.1 at.%) and GaF₃ (0.3 at.%) powders and sintered at 1070°C for 4hrs. The as-sintered magnets were optimally annealed. In the case of Ag-doped magnet, although the continuity and homogeneity of the Nd-rich GBP was improved, the FM-Nd₆Fe₁₃Ag and the Ag-dissolved h-Nd₂O₃ GBPs were formed by Ag addition. In contrast, when the GaF₃ powder was added, the anti-FM Nd₆Fe₁₃Ga GBP and the Ga-dissolved h-Nd₂O₃ GBPs were formed. As result, the H_c of GaF₃-doped magnet was higher than that of the Ag-doped magnet. However, the h-Nd₂O₃ GBPs was still formed in the GaF₃-doped magnet, which may be the reason why the H_c is lower than that of the co-doped magnet. In the co-doped magnet, the H_c was increase and the B_r was recovered because Ga suppressed the FM GBP and

increased the Fe content of the main phase due to the dissolution of Ga in the Ag-rich GBP. In addition, the formation of the anti-FM $\text{Nd}_6\text{Fe}_{13}\text{Ga}$ GBP were observed, resulting in the H_c enhancement of the magnet. In summary, a H_c enhancement of 16.7 % was obtained without reducing the B_r in the co-doped magnet because the Fe content of the main phase was restored, the FM GBP was suppressed.

[에너지1-4 | 09:45]

Enhancing the Coercivity and Thermal Stability of Nd-Fe-B Sintered Magnets by TbH Grain Boundary Diffusion Process: Sumin Kim¹, Donghwan Kim², Jong Wook Roh³, Wooyoung Lee¹; ¹Yonsei University. ²Star Group. ³Kyungpook National University.
Keywords: permanent magnet, Nd-Fe-B, grain boundary diffusion, coercivity, thermal stability

The realization of efficient electric vehicle motors or power generation systems for wind turbines necessitates the development of high-performance permanent magnets, which is associated with a number of challenges. Since their discovery in 1984, high-coercivity sintered Nd-Fe-B magnets have found numerous practical and industrial applications, e.g., as components of actuators, motors, and generators. However, the above applications require long-term magnet operation in high-temperature environments without any coercivity decrease, which is a non-trivial criterion. Generally, the coercivity of Nd-Fe-B magnets at room temperature can be enhanced by the partial replacement of Nd by Dy, Tb, or both; however, the high cost and scarcity of these rare earths preclude the widespread application of this method and necessitate the development of more economically viable alternatives. One of such alternatives is the reduction of heavy rare earth elements (e.g., Dy and Tb) usage and minimization of remanence and energy product loss via the utilization of the grain boundary diffusion process (GBDP, developed in 2005). However, such increase of coercivity at room temperature doesn't guarantee a thermal stability of magnet at high temperature. Therefore, for application in a high-temperature environment, we should consider both coercivity and thermal stability of Nd-Fe-B magnets. Herein, we enhance the not only coercivity, but also thermal stability by grain boundary diffusion process and consecutive heat treatments for application in a high-temperature environment such as electric motors.

[에너지1-5 | 10:00]

희토류 첨가에 따른 압전재료 PZT의 압전특성 변화와 대칭성의 상관관계: 진종철¹, 오승주², 김규현*¹; ¹한국생산기술연구원. ²고려대학교 신소재공학과.

Keywords: piezoelectric materials, PZT thin film, domain structure

기존 재료에 희토류 원소를 미량 첨가 시, 기계적 물성, 고온 특성 등 기존 재료의 기초 물성이 크게 향상되는 효과가 있어 희토류 원소 첨가를 이용한 재료의 물성 향상에 대한 연구가 많이 보고되고 있다. Lead 기반의 압전재료의 경우에도 고온에서 압전특성이 저하되는 문제가 있어 희토류 원소를 첨가하는 방법으로 고온특성을 향상시키는 연구가 보고되고 있다. $\text{PbZr}_x\text{Ti}_{(1-x)}\text{O}_3$ (PZT)의 경우 희토류 원소의 첨가에 따른 압전특성의 변화에 관련된 연구결과들은 많이 보고 되었으나 고온에서의 압전특성과 PZT의 결정 대칭성의 상관관계에 대한 연구는 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 Dysprosium(Dy) 첨가에 따른 PZT 박막의 상온 및 고온에서의 압전특성 변화와 PZT 결정의 대칭성간의 상관관계를 조사하였다. PZT 박막은 morphotropic phase boundary(MPB)영역인 $\text{PbZr}_{0.48}\text{Ti}_{0.52}\text{O}_3$ 조성의 PZT solution에 Dy를 0~4at.% 를 첨가하여 스피코팅 기법을 사용하여 제조하였으며, Dy 첨가량에 따른 Dy:PZT 박막의 상온 및 고온에서의 압전특성의 변화를 25~200°C까지의 온도에 따른 P-E hysteresis loop 측정을 통하여 분석하였다. 또한 Dy 첨가량에 따른 PZT 구조 변화를 XRD, TEM을 이용하여 각각 macroscopic scale, microscopic scale 에서 관찰하였다. TEM을 이용한 박막의 미세구조 분석을 위하여 Bright field image, HR image를 기록하였으며, Dy 첨가에 따른 PZT 결정의 대칭성 분석을 위하여 convergent beam electron diffraction(CBED) 기술을 이용하였다. 실험적으로 얻어진 CBED pattern은 대칭성 정량 평가 기술(symmetry quantification method)을 이용하여 분석하고, 이 결과를 XRD, P-E hysteresis loop 측정 결과와 비교하여 상관관계를 도출하였다.

[AW-7 | 10:20] 기술상 수상기념강연

발전산업에서 소재부품기술 현황 및 전망: 송영석; 두산중공업(주)

발전산업은 전기생산 수단으로 수력, 석탄화력, 원자력, 가스터빈이 주로 이용되어 왔으나 기후변화 및 미세먼지 등에 따른 환경적 요인에 대한 사회적 이슈로 LNG, 풍력, 태양광, 연료전지 등 신재생에너지가 새로운 발전원으로 확대되고 있다. 국내외적으로 에너지비용 및 공급안정성 측면에서 당분간 기존 전기 생산방법인 화력과 원자력 등에 의존할 수밖에 없기에 기존발전방식을 곧바로 대체할 수 있는 효과적 방안이 미흡한 상황이기 때문에 증기 및 가스를 이용하는 발전소의 환경오염 저감 및 에너지 효율극대화가 시급하게 요구되고 있다. 이는 발전터빈모델의 효율제고, 시스템규모의 최소화, 발전용량확대 및 친환경시스템 등에 대한 개발이 필요하다고 할 수 있다. 즉, 미세먼지 및 원전사고발생시 막대한 생태환경관점에서 새로운 친환경 대체에너지원발굴과 더불어 기존발전소의 터빈성능향상 및 효율극대화를 병행하여 개발하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 한편, 소재부품기술측면에서 발전용 터빈운전온도 상승에 따른 핵심부품의 재질이 초내열합금 등으로 확대 적용되고 있다. 또한, 터빈의 핵심부품 가운데 출력의 약 10%이상을 담당하고 있는 저압터빈의 최종 회전날개(LSB, Last Stage Bucket)는 지금까지 적용되던 Steel을 대신하여 비강도가 우수한 Ti64와 Ti6222소재가 적용하여 효율을 극대화하는데 크게 기여하고 있다. 지금까지 전력수급의 첨두부하용으로 운영되던 가스터빈이 신재생 에너지의 취약점으로 파악되는 전력안정성과 가격경쟁력이 확보되는 시점까지는 주요 발전원으로 역할이 커질 것으로 예상되기에 Casting 및 Wrought초내열합금 등의 적용이 확대될 것으로 예상된다. 그러나, 국내의 경우 지금까지 언급한 니켈기 합금, 타이타늄 합금, 금속간 화합물, 적층제조용 분말합금 등은 생산규모가 소규모로 중소기업에 분산되어 있고 높은 품질규정을 만족시키는데 어려움

을 겪고 있는 실정이다. 즉, 특수합금전용 생산설비가 소규모로 분산되어 있고 생산경험과 생산기술력 부족도 원인이지만 국내에서 니켈합금이나 타이타늄을 적용하는 고부가가치산업인 항공, 우주, 국방, 발전, 해양산업 활성화가 선진국대비 미진하여 생산설비 투자에 따른 경제성이 부족한 것이 투자가 안 된 주요 이유라고 할 수 있다. 향후 항공 및 해양산업 등의 규모가 확대되고 발전소의 용량확대와 고효율, 친환경시스템 등이 요구되게 되면 국내의 특수합금생산역량 확보는 시급하다고 할 수 있다. 지금까지의 발전산업에서 소재개발경험과 적용사례와 향후 발전소재의 전망을 소개하고자 한다.

[에너지2-1 | 10:45]

Structural disordering stabilizes anion redox in Li-rich layered oxides: 홍지현; 한국과학기술연구원.

Keywords: Li-rich layered oxides, Anion redox, Cation migration, Voltage hysteresis, Synchrotron X-ray analysis

Anion redox in Li-rich layered oxides, $\text{Li}_{1+x}\text{M}_{1-x}\text{O}_2$ (M is a transition metal (TM) or non-TM such as Al, Sn or Mg) has recently attracted intense scientific interest, because of its promise to increase the energy density of Li-ion batteries by enabling access to additional capacity beyond the redox capability of the TM ions, approaching 300 mAh g^{-1} .^[1-3] Unlocking the full potential of anion redox in technologically relevant electrode materials requires an understanding of the nature of the oxidized species that are formed on charge and how these determine the materials' electrochemical properties. In most Li-rich layered oxides, accessing the extra capacity beyond the cation redox capability results in a substantial structural evolution, electronic structural rearrangement, and voltage hysteresis.^[4] These simultaneous and complex structural and electronic changes have made understanding the nature of the oxidized anion species challenging.^[1, 5] To better understand the oxygen anion redox reaction in the Li-rich oxides, we turn to layered Li_2IrO_3 (equivalently, $\text{Li}[\text{Li}_{0.33}\text{Ir}_{0.67}]\text{O}_2$ or LIO), which is reported to exhibit anion redox, yet unlike other Li-rich layered oxides exhibits highly reversible structural and electrochemical behavior during cycling.^[6] Upon substituting redox-inactive Sn for Ir, the solid-solution material $\text{Li}_2\text{Ir}_{1-y}\text{Sn}_y\text{O}_3$ (LISO) forms $\text{M}_{\text{Li}}\text{-V}_{\text{M}}$ defects during charge, accompanied by voltage hysteresis during subsequent cycling that is typical of other anion-redox-active oxides. This tenability makes LIO/LISO an ideal model system for studying the link between anion redox, local structure and irreversible electrochemistry. Here, we show that the difference in electrochemical and structural behaviour between LIO and LISO holds the key to understanding anion redox. Using comprehensive bulk-sensitive X-ray spectroscopy techniques, structural probes in conjunction with first-principles calculations, we demonstrate that anion redox only occurs simultaneously with structural disordering (that is, antisite-vacancy formation) in LISO, and is completely absent from LIO up to 4.6 V, establishing the strong coupling between these two phenomena, which runs counter to recent observations made for the same system.^[3] Ab initio calculation confirmed that the low valence-electron count in delithiated LISO promotes charge transfer from O to Ir (essentially, oxygen oxidation via ligand-to-metal charge transfer or LMCT) through drastic changes in the local bonding configuration, which requires the decoordination of oxygen to a single covalent bonding partner, which is realized in the layered structure through cation migration, which reshuffles the electronic structure and the redox potential in the end, explaining the voltage hysteresis. These findings lead us to propose that the O redox chemistry in Li-rich oxides is strongly coupled with the cation migration. The dynamic anion redox observed in this system^[7] is similar to that in Li/Mn-rich 3d oxides^[5] which suggests that the strong structure-redox coupling is a universal feature of the anion redox in Li-rich layered oxides. We expect these findings reveal clear and essential criteria to design high-capacity cathode materials exploiting extra capacity beyond the TM redox capability via anion redox.

[에너지2-2 | 11:00]

고내구 패키징 기술을 적용한 SiC 파워모듈의 고온 동작 내구성 평가: 강수빈, 홍경국, 김영석; 현대자동차 연구개발본부.

Keywords: SiC, Power Module, Double-Sided Cooling, Ag paste, AMB substrate

최근 전세계적으로 환경규제가 강화됨에 따라 많은 자동차 메이커들은 친환경차 기술 개발을 위해 노력하고 있다. 그 중에는 xEV의 전력변환용 시스템(PCU, Power Control Unit)에 적용되는 Si 소자를 SiC 소자로 대체하여 시스템 효율을 높이고 연비를 향상시키는 연구가 있다. SiC는 Si보다 밴드갭이 넓고(Si 대비 약 3배), 200°C 이상 고온에서 동작 가능한 장점이 있지만 해당 장점의 구현을 위해서는 기존 모듈 패키징 소재와 적용 기술의 변경이 필수적이다. 일반적인 Si 소자 모듈에 적용되는 Sn계 솔더는 고온 장시간 동작 시 내구 한계를 보이며, 알루미늄계 절연회로 기판의 경우 열전도도 부분에서 부족함이 있다. 따라서 본 논문에서는 모듈 소자 접합부의 고온 내구성을 확보하기 위해 Ag 소결 접합기술을 적용하였으며, 모듈 방열성능 및 고내구 성능을 확보하기 위해 Si_3N_4 세라믹이 포함된 AMB(Active Metal Brazed copper)기판을 적용하였다. 이를 활용해 상/하부 기판이 열 및 전기적으로 연결된 양면 냉각 형태의 모듈을 구현하였으며, 200°C에서 1000시간동안 가속시험 후 전기적 특성을 확인하였다. 그 결과 기존 Si 모듈의 솔더 접합층과 달리 Ag 소결접합이 적용된 모듈의 경우 장시간 고온 방치 후에도 열화가 발생하지 않아 제안된 모듈 패키징의 높은 내구성을 확인할 수 있었다.

[에너지2-3 | 11:15]

분무건조기반 고성능 Sr-Ferrite 자성분말 제조: 김경민¹, 백연경¹, 이정구¹, 이재광²; ¹한국기계연구원부설재료연구소. ²부산대학교 물리학과.

Keywords: 분무건조, 자성분말, Sr-Ferrite, 전산모사, 란탄족

오늘날 자성재료는 다양한 산업분야에서 요구되고 있으며, 그 중 대표적인 자성재료는 Sr-Ferrite ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$)이다. Sr-Ferrite는 높은 자기적 특성 및 화학 안정성 때문에 다양한 산업분야에서 기술적인 응용이 가능한 재료이다. 산업에서는 더 높은 자기적 특성을 위하여 Ca, Co, La 등의 원소를 첨가하여 기존의 Sr-Ferrite의 자기적 특성을 향상시켜 고성능 Sr-Ferrite를 제조하고 있다. 기

존의 Sr-Ferrite의 제조 공정은 Fe_2O_3 분말 및 SrCo_3 분말을 물에서 혼합시키며, 고성능 Sr-Ferrite를 제조하기 위하여 소량의 Ca, Co, La계 등의 분말을 첨가하기 때문에 Sr-Ferrite 분말 제조에 있어 균질한 혼합이 어려울 것으로 예상된다. 반면에, 분무건조공정은 물에 용해가 쉬운 전구체 분말을 이용하기 때문에 소량의 첨가원소도 균질하게 혼합 가능한 공정법이며, 특히 Sr-Ferrite 제조시 시료의 농도뿐만 아니라 분무 및 온도조건을 쉽게 제어 할 수 있어 균질한 조성의 Sr-Ferrite 분말을 제조하는데 적합할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 분무건조공정을 기반으로 전산모사를 통해 기존의 Sr-Ferrite를 제조하기 위해 첨가하는 원소 외 다른 원소를 첨가하여 고성능 Sr-Ferrite 자성분말 제조를 시도하였다. 분무건조공정기반으로 Sr-Ferrite 자성분말을 제조하여 기존의 Sr-Ferrite 제조공정으로 제조한 자성분말과의 자기적 특성을 비교 하였으며, 소량의 Ca, Co, La 계 등의 분말을 첨가하여 제조한 Sr-Ferrite 분말과도 비교분석 하였다. 이 후 전산모사를 통해 도출된 란탄족 원소를 첨가하여 제조된 Sr-Ferrite 분말의 자기적 특성변화를 조사 하였다.

[에너지]2-4 | 11:30]

A Study on Tin Anode with Ultra-Long Cycle Life and High-Rate Performance for Sodium-Ion Batteries: [Seunghwan Cha](#), Changhyeon Kim, Huihun Kim, Milan K. Sadan, Hyewon Yeo, Gyubong Cho, Jouhyeon Ahn, Hyojun Ahn; Gyengsang National University.

Keywords: Tin anode, sodium ion batteries, long cycle life, high performance

Recently, there is a high interest in sodium ion batteries(SIBs) as a candidate for next generation battery to replace lithium ion batteries(LIBs). Although cathode has been developed in many studies, research on anode materials is limited. Tin is based on a high theoretical capacity of 847 mAh g⁻¹, it is attracting attention as a anode material for a SIBs. However, a major problem with tin electrode is crack and pulverization of the electrode due to the volume change of 420% during sodiation/de-sodiation. Based on the results of previous studies, we have optimized cell configuration consists of ether based electrolyte, a double separator including a nanoporous membrane, and MWCNT as a conductive additive. As a results, we obtained a tin anode that exhibits ultra-long-term cycle stability with a high capacity of 554 mA h g⁻¹ at High-rate for 5000 cycles. Its capacity retention reaches up to 99.8% and its coulombic efficiency is near 100% for 5000 cycles. Surprisingly, we have discovered that the tin particles does not lose its electronic connection by forming three-dimensional porous coral-like structure during cycling. Despite tin particles occurred the pulverization, it is guessed that high-performance results are obtained because of the electronic connection is not lost.

[에너지]2-5 | 11:45]

Direct Synthesis of Tungsten Carbide/Carbon Black Composite as an Electrocatalyst Support via Cathodic Arc Deposition: [Na HyunWoong](#)¹, [Oh Ji-Won](#)², [Cho Yong Soo](#)¹, [Choi Hanshin](#)²; ¹Yonsei university. ²Korea Institute of Industrial Technology.

Keywords: Fuel cell, Catalyst, Support, Tungsten Carbide, Arc deposition

We propose a nonconventional one-step synthetic route for the synthesis of tungsten carbide nanoparticles uniformly dispersed on carbon black via cathodic arc deposition process (CAD). This route is in-situ carburization of metallic W based on energetic arc plasma ion without further process. Partially graphitization of carbon black (CB) which attributed to the carburization of W and impact effect of energetic plasma ion is an additional merit of this method. Surface of tungsten carbide nanoparticle was oxidized during the preparation process of the Pt/W_xC/CB electrocatalyst by typical polyol method, consequently Pt surface state was changed by hydrogen spillover. Enhanced electrochemical property of hydrogen oxidation reaction (HOR), methanol oxidation reaction (MOR) and carbon monoxide (CO) tolerance show that Pt nanoparticles coupled with tungsten carbide nanoparticles on CB become an attractive electrocatalyst as anode catalyst. Thus proposed method demonstrating the promising potential of effective and facile way to produce catalyst or support.

[상변태1-1 | 13:30]

Type 304 스테인리스 강에서 보론 첨가가 단 범위 규칙 반응에 미치는 영향: 김성수, 임상엽, 김영석, 정종엽; 한국원자력연구원.
Keywords: type 304, short range ordering (SRO), exothermic reaction, activation energy, differential scanning calorimeter (DSC)

오스테나이트 계 스테인리스 강은 다양한 산업 분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 스테인리스 강은 재료의 예민화를 방지하기 위해 탄화물이 용해되는 온도에서 열처리 후 급랭 처리된다. 이 과정은 주로 탄화물이 석출되는 것을 억제하기 위한 것으로 알려져 있지만, 500-600°C에서 일어나는 단 범위 규칙 반응이 억제되고 엔트로피가 잔류한다. 이 상태의 재료는 열적 활성화 반응이 일어날 수 있는 가동 환경에 노출되면 단 범위 규칙화(short range ordering, SRO) 반응을 일으킨다. 본 연구는 type 304 스테인리스 강에 다른 농도의 보론을 첨가한 재료를 만들고 용체화 처리 온도에서 급랭한 후 시차 열분석 (differential scanning calorimeter, DSC) 분석하였다. 분석 결과 520-560°C에서 발열 반응을 확인함으로써 SRO 반응의 존재를 확인하였다. 이들 재료에서 SRO 반응의 임계 온도는 보론 농도에 따라 520-560°C에서 나타나고, SRO 반응에 대한 활성화 에너지(activation energy)는 170-201kJ/mole로 나타났다. 이 결과는 보론이 첨가되지 않은 type 304 스테인리스 강의 결과와 비교하여 보론의 첨가 효과가 SRO 반응에 미치는 영향을 논의하였다.

[상변태1-2 | 13:45]

Ni첨가 페라이트계 스테인리스강의 상변태 거동 및 충격인성 평가: 공정현, 박수호; ㈜포스코 기술연구소 스테인레스연구그룹.
Keywords: Ferritic stainless steel, Hot rolled thick plate, Impact energy

일반적으로, 상변태가 없는 페라이트계 스테인리스강은 오스테나이트계 스테인리스강에 비해 그 두께가 두꺼워질수록 충격인성이 열위해져 후물제품 가공시 취성크랙이 발생하는 등 그 제조 및 가공이 매우 어려운 강종이다. 본 연구에서는, Cr 함량이 약 12% 이하인 페라이트계 스테인리스강에 오스테나이트 안정화 원소를 소량 첨가하여, 열간압연 공정에서 페라이트 단상이 아닌 오스테나이트 상변태를 유도하고, 이를 통해 최종 미세한 페라이트 결정립을 확보하여 충격인성을 향상시키고자 하였다. Cr 함량이 12% 이하인 페라이트계 스테인리스강의 Cr_{eq}/Ni_{eq} 비를 13 이하로 저감시켜 열간압연 시험한 결과, 열연후물체의 TD면 결정립 크기는 약 50 μm 이하 수준으로 미세하게 나타났으며, 이때 샤르피 충격흡수 에너지는 0°C에서 약 100 J/cm² 이상으로 우수하게 나타났다.

[상변태1-3 | 14:00]

347H 오스테나이트계 내열강에서의 결정립 크기에 따른 입내 및 입계 석출거동 차이: 홍창완, 허윤욱, 김성준; 포항공과대학교철강대학원.
Keywords: 347H, Grain size, MC, M₂P, M₂₃C₆, Sigma, Precipitation.

초초임계압 화력발전용 보일러의 핵심 부품인 보일러 튜브에는 고온강도와 내산화성이 상대적으로 뛰어난 347H와 Super304H 오스테나이트계 내열강이 사용된다. 고온, 고압 수증기의 통로가 되는 보일러 튜브는 용접을 통해 연결되어 사용되는데, 내열강 사용 중 초기 균열은 항상 모재보다 용접부에서 발생된다. 오스테나이트계 내열강 347H의 용접 시 주요한 미세조직 변화는 입계 조대화(약 200 μm)와 기존 석출물들(MC, M₂P, M₂₃C₆, Sigma)의 재고용이다. 용접 시 미세조직 변화에 따른 고온강도 차이는 오스테나이트계 내열강의 주된 경화 메커니즘인 석출 경화에 기인한다고 판단되는 바, 용접 시 발생하는 입계 조대화 정도에 따른 입내 및 입계 석출거동을 연관지어 살펴 볼 필요가 있다. 기존 오스테나이트계 내열강의, 모재 입내 강도와 연관된 입내 및 입계 석출거동은 보고 되었지만 입내 및 입계 석출거동이 결정립 크기에 따라 어떻게 달라지는지에 대한 실험적 연구는 부족하다. 본 연구에서는 347H 강에 대하여 1300도 열처리(0, 30분, 1.5시간, 3시간)를 통해 결정립 크기(50, 120, 250, 350 μm)를 조절하였으며 750도에서 stress rupture 시험을 진행하면서, 시간(200, 500, 700 시간)에 따라 입내 석출물(MC, M₂P)과 입계 석출물(M₂₃C₆, Sigma)의 석출거동(size, number density, phase fraction)을 동시에 관찰하였다. Nb를 소비하여 석출하는 입내 석출물(M(=Nb)C, M(=NbNi)₂P)의 연관 거동과 Cr을 소비하여 석출하는 입계 석출물(M(Cr,Fe)₂₃C₆, Sigma(Fe,Cr))의 연관 거동이 각 결정립 크기에 따라 달라짐을 확인하였고 최종적으로 347H 강에서 모재와 용접부의 주된 미세조직 차이인 석출거동을 이해하고자 하였다.

[AW-3 | 14:15] LS학술상 수상기념강연

비휘발성 메모리용 상변화 재료: 정병기; 한국과학기술연구원.

성능이 우수한 메모리란 간단히 표현하면 적은 전력으로 빠르게 데이터를 쓰거나 지운 상태를 만들 수 있고 두 상태간의 전기적 특성 차이를 쉽게 식별할 수 있는 메모리를 말한다. 메모리 재료로서 칼코지나이드계 상변화재료를 사용하는 비휘발성 메모리의 경우 이러한 성능특성은 핵심적으로 상변화재료의 용융 및 급속냉각에 따른 비정질화 특성 그리고 비정질상태의 결정화 특성에 의해 결정되므로 메모리의 저전력화 및 고속화를 위한 상변화재료의 연구개발이 끊임없이 이루어져 왔다. 본 강연에서는 저자가 수행했던 재료개발 연구 중에서 대표적 상변화메모리 재료로 알려진 Ge₂Sb₂Te₅와 비교하여 매우 대조적인 상변화 특성을 보이는 두 가지 사례에 대해 소개하고자 한다.

[상변태2-1 | 14:55]

저온 템퍼링 공정 기반 Mn segregation을 이용한 고인성 RAFM강의 개발: 김민석, 김상준, 박은수; 서울대학교 재료공학부.

Keywords: RAFM steel, Grain boundary segregation, Austenite reversion, TRIP behavior, High toughness

일반적으로, 구조 소재로서 효과적으로 사용되기 위해서는 높은 강도와 우수한 연성을 필요로 한다. 하지만, 극한 환경 구조 소재는 실제 사용 환경에 따라 강도와 연성 이외의 추가적 물성이 필수적으로 요구되기도 한다. 일 예로써, 원자력 구조소재는 중성자 조사하에서의 취성 거동과 고온 환경에서의 강도 급강하 등의 문제를 극복하는 것을 필요로 한다. 현재 원자로에서 사용되는 대표적 구조 재료인 RAFM 강은 원자로의 사용 환경에 맞춤형으로 설계된 구조 소재이다. 부연하면, RAFM 강은 기존에 철강 소재의 강화를 위해 사용되던 Mo, Nb 등의 고방사화 원소를 W, V 등의 저방사화 원소로 대체함으로써 내조사 특성과 고온 물성을 개선한 소재이다. 현재, 이러한 RAFM 강의 특성 개선을 위한 가장 중요한 연구 개발 화두는 가용 온도 범위 확장과 강도 특성 개선이다. 이러한 사실에 기초하여, 본 연구에서는 선택적 Mn segregation을 통해 미세 구조를 정밀 제어함으로써 기존의 RAFM 강의 강도 특성을 획기적으로 개선하고자 하였다. 부연하면, 본 연구에서는 기존 RFAM 강과 합금화 하였을 때 강한 grain boundary segregation (GB) 경향을 가지며 동시에 Austenite 상을 안정화 시키는 원소인 Mn을 열역학 데이터베이스 기반 시뮬레이션 (CALPHAD) 방법을 통하여 선정하였다. 이후 설계된 합금의 상안정성을 고려하여 기존의 시편 제조 공정 후에 상대적으로 저온인 650°C 에서 2시간 템퍼링 공정을 추가적으로 진행하였다. 결과로서, 템퍼링 공정 시 GB 영역에 segregation 된 Mn원소에 의하여 국부적으로 안정화 된 Austenite상이 석출됨을 EBSD 분석을 통하여 확인하였다. 또한, 전체 BCC/BCT 기지내에 나노두께의 FCC(Austenite) 상이 필름 형태로 존재하는 미세구조를 얻었으며, 공냉 과정에서 자발적으로 GB 영역에 자발적으로 segregation 된 Mn 원소가 grain growth를 억제하여 최종 결정립 크기 또한 더 작은 것을 확인할 수 있었다. 특히, 인장 시험을 통하여 기존의 RAFM 강과 개발한 고인성 RAFM 강의 기계적 물성을 비교하였을 때 항복 강도 최대 1.8배 이상, UTS 최대 2.5배 이상으로 강도 특성 개선을 확인할 수 있었으며, 동시에 연신율은 15 % 이상을 유지하는 것을 확인하였다. 본 연구를 통하여, 상안정성을 고려한 저온 템퍼링 공정을 통해 선택적 segregation을 활용함으로써 구조용 소재의 기계적 특성을 향상하는 새로운 가이드라인을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

[상변태2-2 | 15:10]

Phase transformation behavior of NbCoSn metallic glass: Chanwon Jung¹, Seunghoon Yi², Pyuck-Pa Choi¹; ¹Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST). ²Kyungpook National University (KNU).

Keywords: Metallic glass, Half heusler, Thermoelectric materials, Phase transformation, Atom probe tomography

Half-heusler thermoelectric materials have a great potential in medium to high temperature applications due to their thermal stability, hardness, and low cost despite moderate ZT value. To increase figure of merit (ZT), drawback of their high thermal conductivity must be solved. In this study, we fabricated NbCoSn ribbons using rapid solidification process, which enable to avoid crystallization. Through additional heat treatment we obtained complex nanostructures which could reduce the thermal conductivity. Finally, advanced characterizations, such as HRSTEM and APT were used to understand the phase transformation behavior of NbCoSn metallic glass.

[상변태2-3 | 15:25]

Comparison of Oxidation Behaviors of Si/Al Pack Cementation Coating on Mo-3Si-1B Alloys through Oxidation Test at 800 °C and 1300 °C: 양원철¹, 백경호², 이성³, 김영무³, 박준식*¹; ¹한밭대학교 신소재공학과. ²충남대학교 신소재공학과. ³국방과학연구소

Keywords: Mo-3Si-1B, Surface coating, Pack cementation, Oxidation behaviors

가스터빈의 Hot section 또는 우주항공분야에 사용되는 초내열재료의 사용가능 온도를 향상시키면 그 시스템의 효율이 높아진다. 이로 인해 용점이 높은 refractory 원소를 주성분으로 하는 합금에 대한 연구되어지고 있다. 특히, Mo를 주성분으로 하는 Mo-Si-B 합금은 일부 조성에서 1500 °C의 온도에서 약 800 MPa의 우수한 기계적특성을 나타냈다. 이 합금은 기존의 고온 재료를 대체할 수 있는 차세대 소재로서 주목을 모으고 있다. 그러나 Mo의 산화 특성으로 인해 휘발성을 띠는 MoO₃ 산화물이 형성되어 합금의 내산화성에 치명적이다. 따라서 표면코팅을 통한 합금의 내산화성을 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 Mo-3Si-1B 합금에 Si과 Al을 동시에 코팅하여 Mo(Si, Al)₂ + Mo₃Al₈ 2중 코팅층을 형성하였고, 800 °C 및 1300 °C 에서의 코팅층 변화와 각 층의 두께 차이 및 산화 거동을 분석하였다. 각 온도에서의 미세구조 차이와 산화거동은 SEM BSE, EDS 및 XRD 분석을 통해 논의되었다.

[상변태2-4 | 15:40] Canceled

Machine Learning 기반 Fe계 비정질 연자성 신합금 개발: 김경준, 김완, 윤국노, 박은수; 서울대학교 재료공학부.

Keywords: Fe-rich metallic glass, high saturation magnetization, low coercivity, machine learning

최근 에너지 위기와 관련하여, 전력 생산 시 발생하는 에너지 손실을 최소화하기 위해 자성 철손 (Core loss, W)의 중요성이 더욱 증시되고 있다. 그렇기 때문에 보자력 (Coercivity, H_c)이 낮은 Fe계 비정질-나노결정질 복합 합금이 주로 개발되었는데, 이러한 합금은 대부분 완전 비정질 합금 제조 후 열처리를 통해 BCC α-Fe 나노결정상을 석출시킴으로써 최적화 되었다. 하지만 초기 비정질 상 형성을 위해 제한적인 자성 원소의 함량 때문에 포화 자화 (Saturation Magnetization, B_s)의 한계가 발생하고, 결국 합금 개발과정에서 발생하는 포화 자화와 보자력 간의 경쟁 관계를 극복하기 위한 해결책이 필요하다. 본 연구에서는 높은 포화 자화와 낮은 철손을 얻기 위해 Machine Learning을 활용하여 특성 향상을 위한 다성분계 합금의 첨가비를 최적화한 Fe-rich 비정질 연자성 합금을 개발하고자 하였다. 이를 위하여 먼저 기존 경험적 방법들을 고려해 설계한 Fe 기반 비정질 형성가능 신합금들의 리본 시편을 유도 용해 (Induction melting), 아크 용융 (Arc melting) 및 용융 방사 멜트 스피닝 (Melt spinning) 공정을 포함하는 일련의 과정을 통해 제조하였다. 또한 제조된 리본 시편에 대해 X-선 회절법 (XRD)에 의해 초기 상태의 미세구조를 파악하고, 동시

에 시차 주사 열량계 (DSC)로 유리 천이 온도 (T_g), 결정화 온도 (T_x) 등의 열적 특성을 평가했다. 그리고 진동 시료 자력측정을 통해 시편의 히스테리시스 루프, 포화 자화 및 보자력과 같은 자기 특성을 측정했다. 이렇게 확인된 비정질 형성 시편의 조성 및 특성간 상관관계에 대해 Tensor Flow module을 이용한 고영향 인자 역추론을 통해 특성 극대화가 가능한 고 함량의 Fe 비정질 형성 조성 예측설계를 통해 1.5 T 이상의 고포화자화와 15 A/m의 낮은 보자력을 가지는 Fe계 신합금을 개발했다. 본 연구는 최근 이슈가 되고 있는 Machine Learning을 적용해 연자성 소재의 변압기 철손을 최소화 시킴과 동시에 자성특성을 향상시키는 고 Fe 분율 연자성 재료를 개발하는 새로운 가이드라인을 제시한다는 의의를 가진다.

[상변태2-5 | | 15:55]

Tuning for the Local Structure and Related Properties in Bulk Metallic Glasses via Fabrication Methods and Thermomechanical Processes: 유근희¹, 박태규¹, 김휘준², 최한신², 이동우³, 박은수¹; ¹서울대학교 ²한국생산기술연구원. ³성균관대학교
Keywords: Bulk metallic glass, Relaxation, Rejuvenation, Local structure, Mechanical property

Metallic glasses can form various glassy states depending on the cooling conditions. Slower cooling gives glassy state of lower enthalpy change and smaller volume deviation with crystalline counterpart, which can be also reached by annealing (relaxation). However, fast cooling give glassy state with opposite characteristics of slower cooled one, which can be obtained by rejuvenation. Because the different glassy state sensitively affect their property change of bulk metallic glasses (BMGs), a clear understanding of the 'structure-property' relationship is essential. However, it is not clearly understand how to tune the local structure and related properties by controlling fabrication methods and post-processing of BMGs such as relaxation treatment and thermomechanical processing. In the present study, we fabricate BMG specimens with 4 different glassy states of the same composition by using different fabrication methods (Injection casting, Spark plasma sintering, Additive manufacturing, High pressure torsion). Furthermore, via annealing treatment and cryogenic thermocycling, we successfully tune the glassy states of each specimen. After then, we carefully compare the structure and mechanical responses of BMG specimens with various glassy states. As a results, we can systematically understand the change of mechanical responses depending on the degree of relaxation and rejuvenation of BMGs. These results will be enlarged our understanding how to tune the atomic scale structure and related properties of BMGs through additional thermomechanical processes as well as fabrication methods.

제12회 계장화 압입시험 및 미소강도 심포지엄

Room 607, 4월 25일

[계장화1-1 | 09:00]

Degradation Assessment Technique for High-Temperature-Component Materials in Gas Turbines Using Instrumented Indentation Test (IIT): 조창현¹, 최성기¹, 권오민¹, 김승규¹, 김병철², 권동일¹; ¹서울대학교 ²쥬프론틱스

Keywords: Instrumented indentation test, Degradation, high-temperature-component materials

가스터빈의 여러 부품들은 장기간 고온에 노출되는 동안, 복잡 다양한 형상으로 인하여 위치별로 서로 다른 열이력 및 응력상태를 갖게 된다. 이에 따라 겪게 되는 열화의 정도 또한 위치마다 달라지기 때문에, 이러한 가동중인 부품의 건전성 평가를 위해서는 국부적이고 비파괴적인 물성 측정방법이 필요한 실정이다. 계장화 압입시험은 간단한 절차와 비파괴적으로 시험할 수 있다는 특성 때문에 시·공간의 제약을 적게 받으며 시험 대상물을 보존할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 실제 산업에서 현장의 사용중인 산업 구조물 및 기계 부품류에 대하여 적용되기에 매우 적합한 시험 방법이다. 본 연구에서는 가스 터빈의 고온 부품으로 주로 사용되는 Ni-based 합금(GTD 111 DS, GTD 111 EQXD, Hasteloy X), Co-based 합금(FSX 414)의 고온 열화로 인한 기계적 성질의 변화를 계장화 압입시험을 이용하여 평가하였으며, 인장시험 결과와의 비교를 통해 검증하였다.

[계장화1-2 | 09:15]

석출경화형 고엔트로피합금의 나노결정화 및 역학특성 연구: 박정민¹, 이동현², 양광휘¹, 서진우³, 장재일¹; ¹한양대학교 ²Max-Planck Institute. ³한국과학기술연구원

Keywords: high-entropy alloy, high-pressure torsion, precipitation, nanoindentation

최근 고엔트로피 합금(high-entropy alloy, HEA)에 고용강화, 석출경화, 결정립 미세화 등의 강화기구를 도입하여 기계적 특성을 향상시킨 연구사례들이 보고되고 있다. 따라서 두 종류 이상의 강화기구를 적절히 조합할 경우 HEA의 기계적 특성을 극대화시킬 수 있을 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 석출경화와 결정립 미세화 효과를 동시에 달성하고자 Ni₃(Ti,Al) 석출상이 형성된 (FeCoNiCr)₉₄Ti₂Al₄ HEA에 대하여 고압력 비틀림(high-pressure torsion, HPT) 공정을 가하여 나노결정립화를 유도하였고, HPT 공정 시 가장 큰 변형율이 가해지는 디스크의 가장자리 부위에 대해 나노압입시험을 수행하였다. 이로부터 HEA의 변형율속도민감도와 활성화부피등을 평가하였고, 이를 석출물이 존재하지 않는 HEA의 실험 결과와 비교, 분석하였다. *본 연구는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구과제 (No.2015R1A5A1037627 and No.2017R1A2B4012255)입니다.

[계장화1-3 | 09:30] 초청강연

Understanding the Mechanical Behavior of Metallic Thin Films for use in Extreme Environments: Gi-Dong Sim; Korea Advanced Institute of Science and Technology.

Thin films are widely used as functional and structural elements in micro-electronic devices, large-scale integrated circuits, thin-film solar cells, electrical sensors, and electronic textiles. Therefore, understanding the mechanical behavior of thin films at different length scales and environmental conditions is essential for the design of reliable devices. However, it is difficult to precisely measure the properties of small-scale materials with the methods that are employed for bulk materials; probing micro/nano scale samples is challenged by the inherent difficulties associated with fabricating and handling of extremely small specimens. Advanced instrumentation and manufacturing techniques with enhanced characterization capabilities are required to better understand the properties and deformation mechanisms of technologically relevant materials. In this presentation, I will introduce experimental studies utilizing micro/nano scale manufacturing to understand the mechanical behavior of thin films and to develop metallic alloys for metal MEMS applications. Measurements at elevated temperatures are performed through use of a custom-built in-situ SEM mechanical tester and two silicon-based micro heaters that support the sample and allow us to study the mechanical behavior of metallic thin films at temperatures up to 740°C. Using this technique, I will present ongoing efforts in our laboratory utilizing the apparatus to understand the effect of an ultra-thin (< 10 nm) passivation layer on the mechanical behavior of these metallic thin films. Metallic thin films with an ultra-thin passivation layer exhibit significant strain hardening at room temperature, but expected to show lower strain hardening rate at elevated temperatures due to thermally activated recovery mechanisms. In addition, I will discuss the mechanical behavior of sputter deposited NiMoW alloy thin films annealed at various temperatures. NiMoW alloy thin films will be shown to be linear elastic to 3.1 GPa as-deposited, and can be heat-treated to result in 9% plasticity while maintaining a yield strength of 1.25 GPa. This brittle to ductile evolution suggests that sputtering and subsequent heat treatment offers an attractive route for developing metallic MEMS materials with tailorable mechanical properties, e.g. linear-elastic with ultra-high strength or ductile with high strength and superior toughness.

[계장화1-4 | 09:55]

스트레처를 봉지재료용 비정질 금속 박막 합성 및 기계적 물성 평가: 박선영, 김주영; UNIST 신소재공학부

Keywords: 비정질금속박막, 나노인장시험, 봉지재료, 스퍼터링

최근 디바이스 시장은 벤더블/롤러블을 거쳐 스트레처블 특성에 대한 연구가 이루어지고 있다. 스트레처블 디바이스는 두 방향 이상으로 변형할 수 있으며, 변형 후 본 형태로 돌아갈 수 있어 웨어러블 디바이스와 접목해 사용되는 등 응용범위가 무한하다고 할 수 있다. 글래스 리드의 경우 수분 및 산소 투습 방지 효과는 뛰어나지만 깨지기 쉽고, 원자층 증착법을 이용한 무기물 재료와 유기층을 반복 적층하는 다층봉지박막의 경우 공정 비용 또는 공정 시간으로 인한 수율 측면에서 상용화에 한계점이 있다. 특히 유기물 재료를 기반으로 하고 있는 소자의 경우 수분과 산소에 의해 나타나는 산화를 방지하기 위해 봉지막 구조가 필수적인데, 스트레처블로 적용되기 위해서는 봉지막 재료에서도 스트레처블 특성이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 수분과 산소를 차단함으로써 소자의 산화를 보호할 뿐만 아니라 기계적 충격으로부터 보호가 가능한 스트레처블 봉지막을 개발하였다. 상온 공정 및 대면적화가 가능한 스퍼터링을 이용하여 비정질금속박막을 제조하고 봉지막 특성 평가를 위해 칼슘 부식테스트를 이용하여 수분투과율을 측정하였다. 또한 실시간 나노인장 시험을 통해 기계적 거동을 분석하였다.

[개장화2-1 | 10:30] 초청강연

Indentation Study on Martensitic Hot Stamping Steels for a Higher Bendability: Byung-Gil Yoo¹, 양광휘², 도형협¹, 허성열¹, 장재일², 김성주¹; ¹현대제철 기술연구소 ²한양대학교 신소재공학부

Body in white for automotive lightweight steel obtained from hot stamping process has been rapidly increasing demand for higher crashworthiness. Typical characteristic parameters to measure crashworthiness of a structure (energy absorption), can be systematically analyzed by bendability with VDA238-100 standard. During hot stamping process, the conventional material: the boron steel 22MnB5 is initially austenized, then deformed and quenched for 1500MPa grade with full martensitic microstructure. Conventional martensite has a microstructure concept in steels that provide ultimate high strength with low toughness and high tetragonality due to the high dislocation density. To obtain a better performance, a martensitic concept with low carbon concept has been developed for application in "Best-in-Class". Here, nanoindentation testing was used to investigate the deformation behaviour of conventional and low-carbon lath martensitic microstructures obtained from press hardened process showing clear different bendabilities. The results are discussed in terms of plasticity with sharp indentation strain which might be a useful parameter in analyzing localized plasticity of lath martensite.

[개장화2-2 | 10:55]

Evaluation of Thin film Interfacial Properties using Single Nanoindentation Test: 이진우¹, 김종형¹, 김종현², 임종경³, 권동일¹; ¹서울대학교 재료공학부 범안전공학연구소 ²LG 전자 생산기술연구원 ³썬프론틱스

Keywords: nanoindentation, thin film, adhesion, constraint effect

박막과 기판 사이의 계면 접착력은 대부분의 박막시스템에서 성능과 신뢰성을 결정하는 최우선의 요소이다. 오랜 기간 동안 접착력을 평가하려는 시도는 시험법의 개발 및 결과값의 해석을 통해 지속적으로 연구되어지고 있다. 대표적으로 tensile test 기반의 pull-off test, topple test 등이 있고, shear test 기반의 peel test, tape test 등이 있다. 이 외에도 scratch test, blister test 등 다양한 시험법이 존재하고 있다. 하지만 기 개발된 접착력 평가 시험법은 중요한 한계점을 가지고 있으며, 이는 다음과 같이 요약할 수 있다. 우선적으로 박막 및 기판의 탄/소성변형에 발생하는 에너지가 결과값에 주도적으로 작용함으로써 정확도가 우수하지 못하며, 박막 및 기판의 파괴가 계면의 파괴보다 우선적으로 발생하여 시험평가가 불가능한 경우가 다수 발생하고 있다. 또한 나노스케일에서 계면의 변형/파괴 영역 및 시점을 관찰해야 한다는 점에서 시험의 절차가 복잡하며 편의성이 떨어진다. 본 연구에서는 기존의 한계점을 개선하고자 압입시험을 이용하여 접착력을 평가하는 새로운 모델을 제시하고자 한다. 박막시스템에서 박막 두께 대비 10% 이상의 압입깊이로 압입시험을 수행할 경우 박막과 기판의 탄소성 변형에 대한 저항성 뿐만 아니라 계면에 의한 추가적인 일의 양이 포함되어져 있는 결과값을 얻게 된다. 얻어진 데이터에서 계면에 의한 일의 양을 해석하기 위해서 경도의 개념을 확장시킨 formulated hardness를 인용하였고, 계면에 의해 압입자 하부의 소성역이 구속된다는 가정하에 interface constraint parameter를 정의하고 수식적으로 유도하였다. 최종적으로 계면에 의해 발생하는 일을 정량적으로 도출하였으며 다양한 종류 및 공정을 통해 측정된 박막의 계면 접착력을 평가하여 모델의 유효성을 검증하였다.

[개장화2-3 | 11:10]

나노인덴테이션을 이용한 복합조직강의 경도 분포와 활확장성의 상관관계 평가: 송은지, 김주영; UNIST 신소재공학부

복합조직강은 연성이 높은 페라이트상과 강도가 높은 마르텐사이트 및 베이나이트 등의 상으로 이루어진 철강재료로, 강도와 연성이 모두 높을 뿐만 아니라 강도 대 중량비가 높은 재료이다. 또한 공정 조건에 따른 미세구조 및 상의 제어가 가능하여 이를 통한 기계적 특성 제어도 용이하다. 이러한 장점으로 인해 자동차나 선박 등의 구조용 재료로 많이 사용되고 있다. 하지만 높은 연성을 가졌음에도 불구하고 낮은 성형성을 갖고 있어 사용되는 분야에 제한이 있다. 이를 향상시키기 위하여 미세구조에 따른 성형성 평가 및 상관 관계에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 기존 연구에 따르면 페라이트와 마르텐사이트 상은 연성과 경도, 가공경화율과 같은 기계적 특성 차이가 크다. 또한 상변태 과정에서 부피팽창으로 인해 상간의 계면에서 기하적 필수전위가 형성되어 상간의 계면에 국한된 가공경화가 일어난다. 이로 인해 재료 전체에서 불균일한 변형률분포를 가지게 되고 그 중 상간의 계면이 가장 큰 응력집중부로 작용하여 균열을 발생시킨다. 본 연구에서는 나노인덴테이션을 이용하여 복합조직강의 상과 위치에 따른 경도를 측정하였고 이후 활확장성을 평가하여 각 상의 경도와 활확장성의 상관관계를 분석하였다. 또한 활확장성 평가 이후의 경도 증가율로부터 가공경화율을 평가하여 복합조직강의 활확장성을 결정하는 주된 메커니즘을 분석하고 활확장성을 향상시키기 위한 미세구조를 조사하고자 한다.

[계장화2-4 | 11:25] 초청강연Reliability of Metal Interconnect for Flexible Electronics: 김병준; 안동대학교

Keywords: Reliability, flexible devices, bending, fatigue

The reliability of new devices is a very important issue as demonstrated in recent accident caused by unstable smart devices. Recently, flexible electronics such as flexible display, solar cell, sensor, and battery are attracting lots of attention due to its high portability and low weight and so on. These flexible devices will be operated under repeated mechanical deformations such as bending, rolling, and twisting. Therefore, the reliability of flexible devices will be critical issues for real production. The repeated deformations during usage caused the external stress on the electronic devices, and eventually, the reliability problems such as fracture, fatigue, and delamination directly related to device lifetime occurred. To investigate the reliability of metal interconnect on flexible substrate, a system to apply mechanical deformation to our sample is required and a measurement system for monitoring the electrical property change is also necessary. We have developed bending or sliding test system to apply mechanical deformation to flexible sample and the in-situ measurement system to monitoring the electrical property is also prepared. In this study, the effect of applied stress on the electrical reliability of metal layer on flexible substrate will be investigated. Furthermore, the international standardization related to flexible electronics will be discussed.

[계장화3-1 | 13:30] 초청강연고온나노압입시험법을 이용한 체심입방금속의 온도의존적 기계적 변형 거동 분석: 최인철; 금오공과대학교 신소재공학부

Keywords: High-temperature nanoindentation, Body-centered cubic metal, Screw dislocation, Deformation mechanisms

최근에는 산업의 고도화뿐만 아니라 이산화탄소 배출 규제와 같은 환경 정책에 따라 다양한 산업분야에서 에너지 소비 효율을 높 이려는 많은 노력이 이루어 지고 있으며, 이는 구조 재료의 발전에도 큰 영향을 미치고 있다. 특히, 첨단 구조 재료의 경량화뿐만 아니라 구조물의 운용온도 상승을 위한 고온용 첨단 구조 재료의 연구개발에 대한 관심이 어느 때 보다 높아지고 있다. 이와 같이 최근에 개발된 구조 재료들을 고온용 구조물에 적용하기 위해서는 각각의 재료에 대한 기계적 물성의 온도의존성을 평가하고 이를 재료과학적 관점에서 깊이 있는 분석이 이루어져야 한다. 따라서, 본 연구에서는 고온용 체심입방금속인 크롬(Cr)과 내화 하이엔트로 피합금(Refractory high-entropy alloys)에 대한 기계적 물성을 분석하기 위해 고온나노압입시험을 수행하였으며, 관측된 결과들을 각 각의 재료에 적합한 결함(defect) 메커니즘으로 설명하고자 하였다.

[계장화3-2 | 13:55]금속-세라믹 나노 다층 복합소재의 변형 메커니즘 연구: 강동규, 한승민; 한국과학기술원 신소재공학부

Keywords: Nanoindentation, microcompression, nanolayered composite, brittle to ductile transition, size effect

나노 다층 복합소재에서 높은 경계면 밀도로 인해 효과적으로 전위가 제어되어 강도 강화 효과를 보인다는 연구가 있었다. 나노 다층 복합소재에는 금속-금속, 금속-세라믹, 세라믹-세라믹, 금속-그래핀 다층 복합소재가 있다. 그 중 금속-세라믹 소재는 높은 강도 와 내마모성, 높은 피로 저항성을 가지고 있고, 반도체 패키징이나 코팅에 사용될 수 있다. 그리고 상온에서 취성을 나타내는 세라 믹이 일정 두께 이하를 갖게 되면 취성-연성 전이가 일어나는 것으로 알려져 있다. 취성-연성 전이가 일어난 세라믹과 금속을 이용 해 제작된 나노 다층 복합소재는 세라믹이 포함되어 있으면서도 연성의 감소를 보이지 않을 것으로 기대된다. 이를 토대로 다양한 층간 간격의 금속-세라믹 나노 다층 복합소재의 미세 압축실험을 통해 변형 메커니즘을 연구하고, 연성의 감소 없이 강도 강화 효과 를 보기 위한 금속-세라믹 나노 다층 복합소재의 최적화된 층간 간격을 제시한다. 금속-세라믹 나노 다층 복합소재의 재료로 금속은 Ag, 세라믹은 Al doped ZnO를 사용해서 전도성을 확보해 전극으로도 활용될 수 있도록 한다. 이론적으로 세라믹의 취성-연성 변이 가 일어나는 임계 두께를 계산해, 다양한 금속 층간 간격에서 임계 두께 이하의 세라믹 층을 갖는 금속-세라믹 나노 다층 복합소재 와 임계 두께 이상의 세라믹 층을 갖는 금속-세라믹 나노 다층 복합소재를 진공 증착법을 이용해 제작하였다. 제작된 나노 다층 복 합소재를 FIB를 이용해 나노 필러로 제작한 뒤, 인덴터를 이용해 나노 필러의 미세 압축 실험을 진행해 제작된 금속-세라믹 나노 다층 복합소재의 기계적 특성이 물질의 이론 강도에 어느 정도 미치는지 분석하고 세라믹이 취성-연성 변이가 일어났는지를 금속과 세라믹의 co-deformation 여부를 통해 확인하였다. 그리고 미세 압축 실험 후 변형된 나노 필러의 금속-세라믹 경계면에서의 변형 메커니즘과 세라믹의 취성-연성 전이를 TEM을 이용해 분석하였다. 연성의 감소 없이 높은 강도 강화 효과를 보이는 다층 복합소재 를 제시하였다.

[계장화3-3 | 14:10]계장화 압입시험법을 활용한 잔류응력 측정법: 무응력 상태 유추 기법 제안 및 국제 협력을 통한 검증 데이터베이스 구축: 최성기¹, 김종형¹, 이준상¹, 이경열¹, 최민재², 김순호³, 권동일¹; ¹서울대학교 ²한국원자력연구원 ³쥘프론트스

Keywords: 계장화 압입시험법, 잔류응력, 무응력 상태 유추

잔류응력은 대형 구조물의 벌크 스케일부터 박막 및 미세소자의 나노 스케일에 이르기까지 심각한 손상을 유발시켜 구조물 건전성 및 제품의 신뢰성을 저하시키는 주요 원인이다. 일반적으로 잔류응력 측정하는 방법은 Saw cutting, Hole drilling 등의 Mechanics 기반의 측정법 및 X-ray diffraction, Neutron diffraction 등의 Physics 기반의 측정법으로 구분된다. 그러나, 기존에 알려진 이러한 시험법들은 파괴적이거나 소재의 제약 및 국부영역에 대한 평가가 어려운 한계점을 가지고 있다. 이러한 시험법과는 다르게 계장화 압입시험법은 비파괴적인 시험법이며, 국부영역에 대한 시험이 가능하다는 장점을 가지고 있어 기계적인 물성 및 잔류응력 측정을 위한 많은 연구가 진행되어오고 있다. 계장화 압입시험을 활용한 잔류응력 측정법은 응력 상태와 무응력 상태에서 나타나는 각 하중

변위 곡선의 비교를 통해서 잔류응력을 평가한다. 무응력 상태의 시편이 없을 경우 무응력 상태의 유추를 통해 잔류응력 평가하기 위한 많은 연구가 계속해서 진행되어 왔다. 본 연구에서는 압입을 통해서 유발되는 압흔의 형상 분석 및 응력변화에 무관한 압입 변수들을 확인하고, 이를 통해서 무응력 상태의 시편 없이 잔류응력을 평가하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법의 검증에 위해 응력이 인가된 시편에 대한 압입시험을 통해 무응력 상태를 유추하고 잔류응력을 평가하였다. 그리고, 최근에는 계장화 압입시험을 활용한 잔류응력 평가기술이 미국 ASME code, ISO 표준 및 중국에서 표준 활동이 활발히 진행됨과 동시에 국제적으로 많은 협력 연구도 수행되고 있다. 이에 따라 최근 수행된 잔류응력 평가 협력 연구 결과에 대해서도 소개하고자 한다.

[계장화3-4 | 14:25] 초청강연

계장화압입시험법의 표준화를 통한 산업응용: 권동일; 서울대학교

Keywords: 계장화압입시험, 경도, 표준

계장화압입시험법은 탐침과 같은 압입자를 통해 소재에 힘과 변형을 가하여 기계적 특성을 평가하는 방법으로 시험방법이 비교적 간단하고 비파괴적이며, 미세조직의 입계와 같은 극미세 수준의 평가에서부터 배관과 같은 거시적인 구조물에 대한 평가가 가능한 멀티스케일 시험방법이다. 기본적으로 소재의 경도와 탄성계수를 측정하기 위해 도입이 되었으나, 다양한 역학적 해석을 통한 기술의 발전으로, 압입시험이 진행되는 동안 연속적으로 얻어지는 하중-변위 곡선의 탄-소성 해석을 통해 최근에는 인장물성, 잔류응력, 파괴 특성 등의 고급물성을 평가하는데 까지 연구가 진행되었다. 위와 같은 기술들은 2008년 국제표준화기구(International Organization for Standardization)의 기술문서인 ISO/TR29381로 정식 정식 출간되었고, 2011년에는 미국기계학회(ASME) 보일러압력용기 규격에 연속압입시험법을 제안하여 Code case 2703으로 제정되었다. 특히, 최근에는 잔류응력 평가기술을 통한 후열처리 면제요건에 관한 code case가 Sec.III (Construction of nuclear facility component) 에서 최종 승인되어 계장화압입시험의 우수성은 물론 국제적으로 다양한 산업에 대한 활용이 극대화 되고 있다. 본 발표에서는 국내 기술로 개발된 계장화압입시험기술과 그간의 표준화 활동을 소개 하고, 다양한 산업에 대한 응용성과 향후 계획에 대해 소개하고자 한다.

[계장화4-1 | 15:10] 기입발표

계장화압입시험법을 활용한 기계적 물성 측정의 적용분야 확대: 김병철; (주)프론틱스

Keywords: 계장화압입시험법, IIT, 물성평가

구조물의 기계적 물성 측정은 소재의 안전성을 평가하기 위한 중요한 척도가 된다. 소성가공이나 이종 소재의 접합 등 제품의 생산과정 혹은 사용 중에 발생하는 잔류응력은 구조물의 파괴를 유발할 수 있는 위험요소를 가진다. 이와 같은 상황을 미연에 방지하기 위해서는 구조물에 대한 주기적인 물성 측정이 필수적이다. 그러나, 사용 중인 구조물에서 시험편을 채취하거나 구조물 자체를 파괴시험하는 것은 불가능하기 때문에 최근 계장화압입시험법을 활용한 물성 평가 방법이 주목받고 있다. 소재에 미소의 힘과 변형을 가하여 기계적 물성을 평가하는 계장화압입시험법은 기존의 시험법이 적용될 수 없는 소재의 국부 및 미세 소자를 대상으로 물성 평가가 가능하다. 계장화압입시험의 국제 규격 채택과 함께 국내외 다양한 산업군에서 다수의 시험을 진행하고 있다. 최근까지 교량, 대형 크레인과 같은 구조물 뿐만 아니라 발전소의 turbine, boiler tube 및 정유 설비의 pipe line등과 같은 금속 소재 설비에 국한하여 적용되었으며, 구조물의 안정성 및 수명 평가에 이용되었다. 그러나, 국내외 소재 시장의 폴리머 사용의 확대로 인해 기존의 금속 소재를 사용하던 분야에서 폴리머 소재로의 대체가 급증함에 따라 폴리머의 물성 및 안전성 측정에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 기존에 엔지니어링 플라스틱에만 적용하였던 계장화압입시험을 PE, PP 등의 폴리머 및 반도체 디스크 까지 확대할 계획이다.

[계장화4-2 | 15:20] 기입발표

Introduction of Nanoindentation & KLA: Nannan Ehmke; KLA.

Keywords: KLA,G200,NANOINDENTATION

Nanoindentation의 소개와 KLA제품 소개

[계장화4-3 | 15:30] 기입발표

In Operando Nanomechanical Testing: 오윤제; 브루커.

In order to broaden nanomechanical testing applications, we developed series of instruments for in operando nanomechanical testing. Researchers from a variety of research areas including mechanics of materials under extreme temperature conditions, battery development, biological researchers will be able to explore their materials under a wide variety of operating conditions. As an example, determining the nanomechanical properties of battery materials, including elastic modulus, hardness, and understanding nanomechanical behaviors, such as plastic flow of the emerging battery materials, are important for theoretical predictions and failure analysis. Bruker's In Operando environmental testing suite enables nanomechanical and nanotribological characterization of materials in their working environment across a wide range of temperatures, working gases, humidity, and strain rates. This provides researchers the fundamental material performance parameters that are directly applicable to engineering solutions. Typical nanomechanical materials testing is often done in highly controlled laboratory conditions that often do not correspond to the desired working conditions. Oftentimes, extrapolation of a material's properties, kinetics, and chemical behavior from near ambient temperatures is not valid. The ability to accurately measure and map nanoscale mechanical properties at temperatures from -120°C to more than 800°C, and across multiple working conditions aids the development of new materials with properties specifically tailored to withstand environmental-

mechanical extremes. Nanomechanical testing results in scanning electron microscopy, in extreme high/low temperatures, in glovebox, and under humidity control will be presented to show the capabilities of the developed instruments.

[개장화4-4 | 15:40] 기업발표

파크시스템스: 첨단연구계측, 분석장비의 길을 개척한다: 조상준; 파크시스템스

Keywords: 파크시스템스, 원자현미경, 나노계측

(주)파크시스템스는 원자현미경 (AFM)을 개발, 생산, 판매하는 첨단 나노계측기기 전문기업입니다. 과학기술대국을 지향하는 대한민국에서 첨단계측기기의 90%이상을 수입에 의존하고 있습니다. 이런 가운데 파크시스템스는 원자현미경이라는 분야에서 원천기술을 가지고 세계 1위를 목표로 뛰고 있습니다. 원자현미경은 시료의 형상과 다양한 물성을 나노미터 수준에서 측정하고 분석할 수 있는 장비로 나노기술 시대를 열어나가는 중요한 도구입니다. 최근에는 인라인 자동화 원자현미경을 개발하여 하드디스크 업계에 뒤이어 반도체 업계에서 마켓리더가 되었습니다. 금속소재를 포함하여 다양한 나노소재 및 microsystems에서 다양한 원자현미경 기능의 도입이 시도되고 있습니다. 그 예로 금속의 부식 정도를 Scanning Electrochemical Microscopy기능으로 측정을 하고 Nano, Micro indentation 기능을 통하여 물성을 측정하고 금속표면의 코팅과 관련해서 거칠기, 균일성 등의 다양한 특성을 측정하는데 원자현미경이 사용되고 있습니다. 본 학회에서 세계최고의 원자현미경 기술을 개발하는 파크시스템스를 소개드리고자 합니다.

[개장화4-5 | 15:50] 기업발표

Helmut Fischer 의 Nano Indentation Tester에 관하여: 김비오¹, 우문성²; ¹헬무트피셔코리아. ²DH Trading.

Keywords: 나노인덴테이션, 압입경도, 미세경도, 소재물성, 코팅경도

Helmut Fischer 의 Nano Indentation Tester에 관하여

[개장화5-1 | 16:20]

플렉서블 전자기기에 쓰이는 배선으로서 구리/그래핀 멀티레이어의 견고성과 그래핀의 역할: 김원식¹, 황병일², 한승민¹; ¹한국과학기술원. ²중앙대학교

Keywords: 구리, 그래핀, 유연 소자, 멀티레이어, 굽힘 피로

본 연구에서는 플렉서블 전자기기에 적용될 수 있는 새로운 구조체로서 구리-그래핀 멀티레이어를 제안한다. 금속 그래핀 구조체는 그래핀이 전위 전파를 효과적으로 막아 줌으로써 매우 높은 강도를 가진다고 알려져 있다. 그러한 그래핀 계면은 sp² 결합을 통해 반복 피로 굽힘 실험으로 생기는 전위들이 그 계면을 통과하는 것을 방지한다. 본 논문에서는, 층간 간격 100 nm, 총 400 nm의 두께를 가진 구리-그래핀 멀티레이어 구조 층을 구리의 스퍼터 증착법과, CVD로 제작된 그래핀의 wet 트랜스퍼 기법을 이용하여 PI 필름 위에 제작하였다. 비교를 위하여 그래핀이 포함되지 않은 구리 층만의 시편 또한 제작하였다. 이러한 시편을 각각 1.6%와 3.1% 스트레인에서 백만 사이클의 반복 피로 굽힘 실험을 진행하였고, 그 결과 기존의 단일 구리 층에 비해 5-6배의 피로로 인한 파괴 억제 효과를 확인하였다. 반복적 굽힘으로 인해 시작된 크랙들이 그래핀 계면에서 막혀 멈춰져 있는 것을 SEM과 TEM 단면 사진으로 확인하였다. 또한 MD시뮬레이션을 통해 구리/그래핀 구조체에서 그래핀의 전위 전파 억제 효과를 확인하였고, 이로 인해 굽힘 피로 환경에서 구조체 전체의 견고성이 올라감을 보였다.

[개장화5-2 | 16:35]

인장 및 압축 변형에 따른 나노포러스 금의 기계적 물성과 리가먼트 크기 효과에 관한 상관관계: 전한솔, 곽은지, 송은지, 김주영; UNIST 신소재공학부

나노포러스 금(Nanoporous gold)은 나노크기의 리가먼트(고체 부분)와 기공으로 구성된 복연속성(bicontinuous)의 open-cell 구조를 가지는 소재로서, 낮은 상대밀도와 높은 비표면적 특성으로 인해 촉매, 센서, 액추에이터 등의 다양한 분야에서 각광받고 있는 재료이다. 나노포러스 금의 상용화를 위한 기계적 물성 평가와 신뢰성 향상에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 나노포러스 금의 뼈대를 이루고 있는 리가먼트(ligament)의 크기가 나노스케일(nano-scale)인 점에서, 나노역학에서의 크기 효과(size effect)와 마찬가지로, 나노포러스 금의 리가먼트(ligament) 크기가 작아질수록 강도가 증가하는 리가먼트 크기 효과(ligament size effect)를 나타낸다는 점에서 연구의 가치를 보이고 있다. 나노포러스 금의 기계적 물성은 nanoindentation 시험법을 통해 많은 분석이 이루어 졌지만, nanoindentation을 통해 계산된 경도 값을 항복강도 값으로 정확히 변환하는 것에는 한계가 있으며, 순수한 항복강도 측정을 위한 기존 인장 또는 압축 실험의 경우, 재현성과 통계성을 띄기에는 아직 어려움이 있으며, 리가먼트 크기 효과에 관한 객관적이며 심도 있는 분석은 미미한 상황이다. 이러한 사안에 착안하여, 본 연구에서는 열처리를 통한 다양한 리가먼트 크기를 가지는 나노포러스 금 시편을 제작한 뒤, 인장 및 압축실험을 통한 기계적 물성을 측정하고 이와 더불어 리가먼트 크기가 나노포러스 금의 강도에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 디알로잉(dealloying) 공정을 통해 제작된 나노포러스 금을 다양한 열처리 조건을 통해 리가먼트 크기를 제어하였으며, 기계적 물성에 외부인자로 작용할 수 있는 결정립계, 결합을 최소화하기 위해 어닐링을 통해 결정 크기를 최대화 하였고, 미소크기를 가지는 시험편을 제작하여 모사-단결정을 가지는 인장 및 압축 시험편을 제작하였다. 전자주사현미경(SEM)에서의 PtoP(Push to Pull) 디바이스를 이용한 실시간(in-situ) 인장실험 및 플랫폼치 팁(Plat-punch tip)을 이용한 나노인덴터에서의 압축실험을 통해 나노포러스 금의 기계적 물성을 측정하였고, 본 실험에서의 인장 및 압축 특성에 관한 분석과 더불어 리가먼트 크기 효과에 대한 분석 및 논의를 진행하였다.

[계장화5-3 | 16:50] 초청강연

미소-전단실험을 통한 마그네슘의 소성변형특성 평가: 석무영¹, Christoph Kirchlechner², Gerhard Dehm²; ¹재료연구소(KIMS), ²Max-Planck-Institute for Iron research.

Keywords: 마그네슘, 임계분해전단응력, 미소-전단시험

최근 에너지효율이 높은 첨단구조재료의 필요성이 점차 증가함에 따라, 가장 가벼운 구조금속재료로 알려져 있는 마그네슘 및 마그네슘 합금의 중요성이 대두되고 있다. 하지만, 마그네슘은 육방조밀구조를 가지며 열처리 동안 쉽게 형성되는 집합조직에 의해서 pyramidal slip의 부재와 소성이방성이 발생하여 연신율이 매우 낮은 문제가 있다. 지금까지 많은 연구가 진행되고 있음에도 불구하고, 여전히 변형기구를 이해하고 실험적으로 증명하는데 한계가 있다. 이에 따라, 본 발표에서는 마그네슘의 변형기구를 미소-전단시험을 통하여 분석하고자 하였으며, 순 마그네슘의 각 슬립계에 대한 임계분해전단응력(critical resolved shear stress, CRSS) 평가하려고 하였다. 마그네슘에서 나타날 수 있는 슬립계에 대하여 단상 또는 단결정 순 마그네슘을 준비하였으며, 미소-전단실험을 통해서 임계분해전단응력을 구하고 변형거동을 in-situ로 직접적으로 관찰하였다.

[계장화5-4 | 17:15]

나노포러스 금의 구형 압입크기효과: 김연천¹, 박은지², 안승민², 강나리², 한홍남³, 장재일⁴, 김주영²; ¹안동대학교 ²UNIST, ³서울대학교 ⁴한양대학교

Keywords: 나노포러스 금, 나노압입실험, 구형압입자, 압입크기효과

나노포러스 금은 생체친화적인 특성과 더불어 높은 비표면적으로 인하여 센서, 액추에이터, 촉매 등으로 활용하기 위한 연구가 널리 진행되고 있다. 그러나 기존의 벌크 금과는 다르게 나노포러스 금은 연성과 인성이 매우 낮아 쉽게 부서지기 때문에 산업상 적용이 힘든 단점이 있다. 이러한 나노포러스 금의 기계적 특성을 정확히 측정하기 위하여 나노압입시험이 사용되고 있지만 압입크기 효과에 대한 연구가 부족하다. 본 연구에서는 나노포러스 금의 구형 압입크기효과에 대하여 실제 발생하는지 여부를 확인하고 원인을 고찰하였다. 금-은 합금의 디얼로잉 공정을 거쳐 시편을 제작하였고, 서로 다른 반지름을 갖는 구형압입자를 통하여 압입실험을 수행하였다. 구형 나노압입실험에서도 크기효과가 발생하는 것을 확인하였으며, 각 압입자의 반지름으로 표준화하여 서로 비교하였다. Berkovich 압입자의 압입크기효과 연구의 실험결과와 경향이 유사한 것을 확인하였고, 크기효과가 발생하는 원인을 제안하였다.

타이타늄 Room 600A, 4월 25일

[타이타늄 1-1 | 09:30]

수소화-탈수소화법 및 고상탈산법을 이용한 저산소 타이타늄 3원계 합금 분말의 제조: 김태현, 오정민, 임재원; 전북대학교 신소재공학부

Keywords: Titanium, Ternary alloy, Scraps, HDH, Deoxidation

타이타늄 합금은 경량·고강도·고내식성의 우수한 성질로, 최근 우수한 분말야금의 재료로써 각광받고 있지만, 강한 산소 친화력 때문에 분말화에 따른 산소 농도 증가는 불가피하며 재료의 고부가가치화를 위한 산소 저감은 필수적이다. 따라서 본 연구는 수소화-탈수소화법(HDH, Hydrogenation-Dehydrogenation) 및 고상탈산법(DOSS, DeOxidation in Solid State)을 이용하여 저산소 타이타늄 3원계 합금을 제조하였다. 사용된 Ti-25Fe-5Al 합금과 Ti-6Al-4V 합금은 진공 아르 용해를 통해 합금 잉곳을 제조하였다. 이어서 수소화-탈수소화법을 통하여 합금 분말을 제조하였으며, 제조된 합금 분말의 산소 함량은 각각 1725 ppm 및 2610 ppm이었다. 이어서 저산소 Ti-25Fe-5Al 및 Ti-6Al-4V 합금 분말은 고상탈산법에 의해 제조되었다. 제조된 합금 분말의 산소 함량은 각각 540 ppm 및 530 ppm을 나타냄으로써, 수소화-탈수소화법 및 고상탈산법을 통하여 저산소 타이타늄 3원계 합금 분말의 성공적인 제조가 가능하였다.

[타이타늄 1-2 | 09:45]

Crude TiCl₄ 제조를 위한 합성루타일의 염화반응 속도에 미치는 입자 내 기공의 영향: 이소연, 박성훈, 홍성민, 손호상; 경북대학교

Keywords: Synthetic rutile, chlorination, pore, porosity

타이타늄 광석의 염화반응에 의해 crude TiCl₄를 제조하는 공정에 대한 많은 연구들이 수행되었으며, 실제 산업에서도 염화법에 의해 루타일이나 일메나이트로부터 TiCl₄를 제조하는 공정이 적용되고 있다. 염화법의 원료로는 TiO₂의 품위가 높은 천연 루타일 광석과 일메나이트 광석의 선택염화 등을 통해 품위가 향상된 합성루타일이 사용되는데, 특히 일메나이트의 경우 상대적으로 가격이 저렴하고 매장량이 풍부하여 활용 가치가 높다. 또한 일메나이트의 선택염화 반응을 통해 철 산화물이 염화 제거되면서 입자에 무수한 기공이 생성된다. 합성루타일에 생성된 기공을 통해 입자 내부로 반응 가스의 침입이 용이해지며 반응 계면이 증가하기 때문에 기공이 거의 없는 루타일 광석에 비해 염화반응 속도가 향상될 것으로 기대하였다. 따라서 본 연구에서는 일메나이트의 선택염화 공정을 통해 합성루타일을 제조하여 합성루타일의 염화반응 속도에 미치는 기공의 영향을 검토하였고, 기공이 거의 없는 루타일 광석과 합성루타일의 염화반응 속도를 비교하여 고찰하였다. 실험은 유동층 반응기에서 조건별로 진행하였으며, 실험 후 반응기 내부의 잔사를 회수하여 BET측정과 SEM 분석을 수행하여 시간별, 온도별 기공 특성과 표면 형상을 조사하였다.

[타이타늄 1-3 | 10:00]

Electrorefining Process of Titanium from CuTi alloy in K-free molten fluoride salt: 리블라디슬라브¹, 이영준², 유병욱³, Hayk Nersisyan⁴, 이종현^{1,2,4}; ¹충남대학교, ²(주)지론텍, ³재료연구서, ⁴급속응고신소재연구소

Keywords: Titanium, Electrorefining, Titanium redox mechanism, CuTi alloy, BaTiF₆

This research work studied electrorefining process of titanium from CuTi alloy ingot in fluoride molten salt with BaTiF₆, as titanium ions supplier, at 750 °C. This electrorefining process is one of technological step involved in novel process of titanium ingot preparation which is described in Fig. 1. Electrochemical behavior of Ti ions was investigated by cyclic voltammetry and anodic polarization measurement methods. Then Ti electrorefining process was investigated by chronopotentiometry method using CuTi rod as an anode (counter electrode). Electrolysis of Ti was performed at various conditions (current density, temperature) to study morphology of deposited Ti. SEM and EDS analyzes were used to investigate deposition properties and composition. ICP analysis and FTIR spectroscopy were applied to detect titanium concentration and determine titanium valence state in quenched salt samples at various conditions. The crystal size of Ti was up to 200 μm in most cases, what allowed successful separation of the deposit from salt, and then obtaining of Ti ingot by arc melting process

[타이타늄 1-4 | 10:15]

적층가공(3D 프린팅)한 Ti-6Al-4V 합금의 내식성 평가를 위한 마이크로 및 마크로 전기화학적 측정: 서동일, 이재봉; 국민대학교 신소재공학부 부식및방식실험실

Keywords: Titanium alloys, Additive manufacturing, EIS, XRD, Corrosion resistance

타이타늄 합금은 높은 비강도로 인하여 우주항공, 해양산업 그리고 생체재료와 같은 여러 분야에 사용되고 있다. 기존의 타이타늄 합금은 주로 절삭가공으로 제조 하는데, 이러한 가공 방법은 다른 강종에 비하여 상대적으로 가격이 비싼 타이타늄 합금 재료의 소모가 많이 발생하여 최근에 3D 프린팅이라는 이름으로 알려진 적층가공 공정이 타이타늄 합금의 제조에 대하여 새롭게 주목 받고 있다. 적층가공은 원하는 형상의 제품을 만들고자 하는 제품의 재료 분말을 레이저 또는 전자빔으로 용해하여 적층하는 방법인데, 절삭가공 공정에 비해 버려지는 재료의 양이 약 1/20로 줄어드는 장점이 있다. 적층가공으로 제조된 타이타늄 합금에 대한 연구는 주로 기계적 성질에 대한 연구로 집중되어 지고 있으나 내식성에 대한 연구는 그리 많지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 타이타늄 합금 중 주로 사용되는 절삭가공 Ti-6Al-4V 합금과 적층가공 Ti-6Al-4V 합금의 균일부식 및 국부부식 저항성을 조사하고자 한다. 이를 위하여 기존의 절삭가공된 Ti-6Al-4V 합금과 적층가공한 Ti-6Al-4V 합금을 미세적인 Micro-droplet Cell기법과 거시적

인 방법의 전기화학적 실험으로 조사하였다. 전기화학적 실험에 앞서 미세조직을 조사하기 위하여 광학현미경(Nikon, eclipse LV100)과 FE-SEM(JSM-7610F) 관찰을 하였고 상 분석을 하기 위하여 XRD(X-ray Diffraction, D/MAX-2500/PC) 측정을 실시하였다. 또한 기계적 성질을 조사하기 위하여 미세 비커스 경도 측정(Mitutoyo HM-211)을 실시하였다. 미시적인 전기화학적 실험은 Micro-droplet Cell기법을 이용하여 3.5wt% NaCl 수용액에서 적층가공 Ti-6Al-4V 합금의 결정립 각각의 균일부식과 국부부식에 대한 저항성을 측정하는 실험이다. Microdroplet Cell은 μm^2 단위 면적의 재료의 전기화학적 특성을 측정할 수 있는 장비이며 사용된 Capillary의 직경은 $330\mu\text{m}$ 로 제작하였다. 어두운 결정립과 밝은 결정립의 각기 다른 결정립에 각각 위치시켜 미시적으로 동전위 분극과 교류 임피던스 시험을 실시하였다. 거시적인 전기화학적 실험은 Flat Cell을 이용하여 동전위분극 시험 그리고 교류 임피던스 시험을 통하여 질삭가공 Ti-6Al-4V 합금과 적층가공 Ti-6Al-4V 합금의 국부부식, 균일부식 저항성을 각각 측정하였다. 또한 공식과 같은 국부부식 저항성은 공식전위 측정과 Critical pitting Temperature (CPT) 실험인 임계공식온도 측정을 통하여 측정하였다. 본 실험의 CPT 실험이란 3.5wt% NaCl 수용액에서 인가전위를 $4.5V_{\text{SCE}}$ 로 유지하며 낮은 온도부터 분당 0.7°C 로 서서히 온도를 증가시켜 공식이 발생하는 온도를 측정하는 방법이다. 이 연구는 2015년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(10053656)

[타이타늄2-1 | 10:45]

열간압연 γ -TiAl의 집합조직 및 이방성에 관한 연구: 박성현¹, 김재권^{1,2}, 김성용², 김승언², 오명훈¹; ¹금오공과대학교 신소재공학과, ²재료연구소 타이타늄 연구실

Keywords: TiAl, 열간압연, 동적 재결정, 집합조직

TiAl기 금속간화합물은 낮은 밀도, 높은 내산화성, 크리프 저항성 등의 뛰어난 기계적 물성들을 바탕으로 자동차 및 항공기 부품으로 사용되고 있는 Ni기 슈퍼 알로이의 대체 재료로서 잠재가능성을 인정받고 있는 소재이다. 하지만 TiAl기 금속간화합물의 미세구조적 이방성으로 인한 상온에서의 낮은 연성은 실용화 문제에 지속적으로 해결해야할 문제로 남아있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 γ -TiAl의 고온 변형 시 발생하는 동적재결정 및 집합조직형성은 상온연성을 향상시킬 수 있는 가능성을 제시하였고, 열간가공 공정 후 열처리 조직제어를 통하여 높은 고온물성 또한 그대로 유지하는 것이 가능할 것이라고 기대된다. 따라서 본 연구에서는 가공성 향상을 위한 bcc구조의 β 상이 많이 포함되어 있는 조성을 대상으로 열간가공 중 열간압연을 실시하여, 열간압연으로 인하여 형성되는 집합조직 및 미세조직과 추가적인 조직제어 열처리에 따른 집합조직 및 미세조직의 변화를 비교 조사하였다. 또한 이러한 열간압연 및 조직제어 열처리에 따라 형성되는 집합조직 및 미세조직이 기계적 성질 변화에 어떠한 영향을 미치는지 알기 위해 상온인장시험을 수행하여 기계적 물성 변화를 비교하였고, 그 결과로 소재의 가공 방향과 조직제어 열처리에 따라 서로 다르게 형성되는 집합조직 및 미세조직의 변화는 기계적 물성이 나타내는 이방성과 밀접한 연관이 있는 것을 확인하였다.

[타이타늄2-2 | 11:00]

열간 가공과 열처리를 이용한 γ -TiAl 합금의 미세조직제어 및 기계적 특성 연구: 김중훈^{1,2}, 김재권¹, 김지영¹, 김성용¹, 박용호², 김승언¹; ¹재료연구소, ²부산대학교

Keywords: 타이타늄, 타이타늄 알루미늄아이드, 열처리, 열간 가공

γ -TiAl 합금은 높은 내열성 및 내산화성을 가지고 있어서 자동차 및 우주항공 응용분야에서 많은 연구가 진행되고 있다. γ -TiAl은 금속간화합물로서 밀도가 낮아 가볍지만, 취성으로 인해 상온에서의 가공성이 저하되고 기계적 특성에 좋지 않은 영향을 미친다. 이러한 취성을 개선하기 위해 결정립을 미세화하여 미세조직의 이방성이 줄어들어 취성 개선이 가능하다. 이에 본 연구는 고온에서 형성되는 β 상을 이용하여 열간 가공을 진행하였고, 상온에서의 연성을 향상시키기 위해 결정립을 미세화하였다. 열간 가공으로는 압연과 단조를 통해서 진행하였으며, 초기 압하량을 많이 주어 재결정이 일어나게 하여 미세한 결정립을 만들 수 있다. 열간 가공 이후 남아있는 β 상은 상온에서 B2상으로 상변태가 일어나 취성이 강해지므로 이를 해결하기 위해서 α 단상 영역 바로 위 또는 $\alpha+\gamma$ 영역에서 열처리를 하여 조직을 미세한 완전층상조직(fine fully lamellar) 및 준층상조직(nearly lamellar)으로 만들어 미세조직을 관찰하고 기계적 특성을 평가하여 미세조직 크기의 변화에 따른 기계적 특성 변화를 확인하였다.

[타이타늄2-3 | 11:15]

미세한 완전층상조직 (Fine Fully lamellar)형성이 주조용 γ -TiAl합금의 기계적 물성에 미치는 영향: 김재권^{1,2}, 김중훈¹, 김지영¹, 박성현², 오명훈², 김성용¹, 김승언¹; ¹재료연구소(KIMS), ²금오공과대학교

Keywords: γ -TiAl, 주조공정, FL(Fully lamellar), DC(Discontinuous Coarsening), 기계적 물성

γ -TiAl합금은 비용을 낮추고 생산성을 높이기 위해 주조공정을 통한 생산이 일반적이다. 그러나 주조공정 중 응고 시 형성되는 조대한 주조조직은 기계적물성과 미세조직 제어에 큰 문제가 된다. 이와 같은 문제는 열간가공과 추가열처리를 통해 해결될 수 있으나, 주조용 합금의 경우 형상변형이 없어야 하므로 열간가공이 불가능하다. 이에 본 연구는 열간가공 없이 단계별 열처리 공정만으로 주조조직 제거 및 FFL(Fine Fully lamellar)조직을 형성하고자 하였으며, 이에 따른 기계적 물성을 평가하였다. 이를 위해 α 단상 영역에서 충분한 열처리를 통해 조대한 FL(Fully lamellar)를 형성한 후, 최종 결정립 크기와 유사한 $100\mu\text{m}$ 이하의 미세한 DC(Discontinuous Coarsening)조직을 얻기 위해 $\alpha+\gamma$ 영역에서 분할열처리를 진행하였다. 얻어진 미세한 DC조직을 α 단상영역에서 짧게 열처리하여 일반적으로 기계적 물성이 우수한 것으로 알려진 $50\sim 100\mu\text{m}$ 의 FFL조직을 얻었다. 인장시험을 통해 주조 후의 조직과 추가 열처리로 얻은 FFL의 상온, 고온 기계적 물성을 비교하였다.

[타이타늄2-4 | 11:30]

Electron Beam Melting 공정으로 제조된 Ti-48Al-2Cr-2Nb 금속간 화합물의 미세조직 및 고온 압축 특성: 윤성준¹, 김영균¹, 홍재근², 이기안*¹; ¹인하대학교 신소재공학과, ²재료연구소

Keywords: Electron Beam Melting, γ -TiAl, Microstructure, High temperature, Compression

Gamma-titanium aluminide (γ -TiAl)는 뛰어난 비강도와 내열 특성을 가지고 있어 현재 고온에서 사용되고 있는 Ni계 초합금의 대체 가능 소재로써 많은 관심을 받고 있다. 그러나 γ -TiAl은 우수한 기계적 특성에도 불구하고 금속간 화합물로서 형상 제어가 어렵다는 단점을 지닌다. 이에 따라 최근 금속 3D 프린팅 공정을 이용하여 γ -TiAl을 제조하려는 시도가 있으며 그 중 electron beam melting (EBM) 공정은 느린 냉각 속도를 가져 γ -TiAl 제조에 적합한 공정으로 고려되고 있다. 본 연구에서는 EBM 공정으로 제조된 Ti-48Al-2Cr-2Nb (at.%) 소재에 대한 미세조직 및 고온 압축 특성에 대하여 조사하였다. 초기 미세조직 관찰 결과, equiaxed 형태의 γ ($L1_0$ structure) 상과 γ 상 계면에 α_2 ($D0_{19}$ structure) 상이 존재하는 것으로 확인되었다. 압축 시험 결과 항복강도는 25, 600, 750, 900, 1050 °C에서 각각 478 MPa, 406 MPa, 417 MPa, 376 MPa, 192 MPa로 측정되었으며 특정 온도에서 yield strength anomaly (YSA)가 나타나는 것을 알 수 있었다. 상기 결과들을 통하여 EBM 공정으로 제조된 Ti-48Al-2Cr-2Nb 소재의 고온 압축 거동에 대해서도 고찰해보았다. [This study was supported by the Fundamental Research Program of the Korean Institute of Materials Science (Grant No. PNK5520).]

[타이타늄3-1 | 13:00]

Ti-Ni 형상기억합금의 미세조직 변화가 양극산화에 의해 생성되는 산화막 성장거동에 미치는 영향: 최수영¹, 김민수², Izaz Ur Rehman¹, 남태현¹; ¹경상대학교, ²한국생산기술연구원

Keywords: Electrochemical anodization, Ti-Ni shape memory alloy, TiO₂ nanotube, Oxide layer

Ti-Ni계 형상기억합금은 우수한 형상기억특성 및 초탄성 특성으로 인해 다양한 산업분야뿐만 아니라 최근 들어 생체재료용 금속소재로 많이 사용되고 있다. 하지만 체내 삽입 후 부식으로 인해 용출되는 Ni-ion은 체내에서 염증, 알레르기 등 인체에 악영향을 미칠 뿐만 아니라 삽입된 금속소재의 기계적 특성 저하라는 큰 문제점을 야기 시키고 있다. 따라서 이러한 문제점을 개선하기 위해 다양한 표면처리 방법이 연구되고 있으며, 이중 전기화학적 양극산화 방법은 저렴하고 간단한 방법으로 합금 표면에 비표면적이 넓은 나노포러스/튜브 형태의 산화막을 형성시킬 수 있어 많은 연구 및 보고가 발표되었고 현재도 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히, 전기화학적 양극산화에 의해 생성되는 나노포러스/튜브 형태의 산화막 성장 거동은 전기화학적 조건(인가 전압, 시간, 전해질 등)에 큰 영향을 받는다고 알려져 있다. 하지만 양극산화에 사용되는 금속, 합금의 결정구조나 합금의 조성변화 등 미세조직 변화가 양극산화에 의해 생성되는 산화막 성장거동에 미치는 영향에 대해서는 많은 연구가 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 다양한 Ti-xNi(x=48.0, 49.0, 50.6, 51.0 at.%) 형상기억합금을 아크용해법으로 제조 하여 합금의 결정구조, Ni 조성, 인가전압 및 양극산화 유지시간 변화가 합금표면에 생성되는 산화막 성장거동에 미치는 영향에 대하여 조사 하였다.

[타이타늄3-2 | 13:15]

석출물이 제어된 Ti-51Ni 합금의 상변태거동: 문정태, 남태현; 경상대학교

Keywords: 석출물, 베리엔트, 마르텐사이트변태, 열팽창계수조절, 내부응력장

본 연구에서는 Ti-51Ni (at. %) 합금을 Arc-melting 법으로 주조하고, 편석방지를 위해 균질화처리를 거쳤으며, 용체화 처리 후 설정온도에서 시효 시 합금 내에서 석출되는 Ti₃Ni₄ 석출물을 제어하기위해 인장응력을 가한 상태에서 진공봉입 후 시효하여 시편을 제작하였다. 제조된 시편의 상변태 거동을 파악하기 위하여 시차주사열분석 실험을 진행하였으며, 형상기억효과를 조사하기 위하여 대조군으로 시효 시 응력을 가하지 않은 시편 또한 제작하여 정하중 열싸이클 실험을 각각 진행하였다. 시효 시 가한 응력은 각각 0 (무응력시편), 350(350 MPa시편), 450 (450 MPa시편) MPa로 설정되었으며, 실험 시 가한 응력값은 최소 10 MPa에서 최대 160 MPa까지 가하였으며 온도범위는 -95 °C에서 85 °C까지 설정하여 실험을 진행하였다. 무응력시편의 경우 팽창만을 하는 거동을 보였으나, 350 MPa, 450 MPa 시편의 경우 팽창과 수축을 하여 실험 응력에 따라 수축과 팽창을 하는 거동을 모두 보였다. 실험 응력값 20 MPa-160 MPa에서의 Ms는 각각 무응력시편 : 33.2°C, 350MPa시편 : 25.5°C, 450 MPa시편 : 23.2°C로 측정되었다. 총변형률의 경우, 위와 같은 온도의 실험에서 각각 무응력시편 : 0.72 %, 3.82 %, 350 MPa시편 : -0.49 %, 2.63 %, 450 MPa시편 : -0.19 %, 3.06 %로 측정되었다.

[타이타늄3-3 | 13:30]

Ti-xNi-12Cu (x = 38, 39, 40 at.%)합금의 시효처리에 따른 초탄성특성 조사: 김지현, 남태현; 경상대학교

Keywords: superelastic, Ti-Ni, aging, martensite

Ti-40.5Ni-10Cu합금을 시효 시 matrix에서 Ti(Ni,Cu)₂가 생성이 되고, 석출물 주위의 tensile stress field는 B19 martensite에 유리한 variant의 형성을 돕는다는 선행연구가 있지만 Ti(Ni,Cu)₂ 석출물이 초탄성 특성을 향상시킨다는 선행연구는 아직 없다. Ti-Ni 합금계는 슬립임계응력을 높이면 초탄성 특성도 향상된다고 보고되고 있으므로 이를 바탕으로 본연구에서는 생성되는 석출물의 양을 증가시키기 위해 Ti-xNi-12Cu (x = 38, 39, 40 at.%) 합금을 설계하고, 슬립임계응력을 향상시키기 위해 시효를 진행 한 후 경도가 가장 높은 구간에서 초탄성 특성을 조사하고, 초탄성 특성이 나타난 원인에 대해 분석하였다.

[타이타늄3-4 | 13:45]

(35.5-x)Ti-49.5Ni-15Hf-xNb 형상기억합금의 가공성 및 미세구조: 김성철, 임진환, 남태현; 경상대학교

Keywords: Ti-Ni-Hf-Nb, High Temperature Shape memory alloy, Workability, Martensite transformation, Nb-rich phase

본 연구에서는 (35.5-x)Ti-49.5Ni-15Hf-xNb (x=0, 1.5, 3, 4.5, 6) 합금의 미세구조와 가공성을 조사하기 위해 주사전자현미경, X 선회절시험, 시차주사열분석, 인장시험을 실시하였다. 미세구조 관찰 결과 Nb이 첨가되지 않은 합금에서는 B19' 마르텐사이트 기지와 (Ti,Hf)₂Ni 상이 관찰되었다. Nb이 첨가 되었을 때 Nb함량이 4.5 at.% 보다 적은 경우 B19' 마르텐사이트 기지, (Ti,Hf,Nb)₂Ni 상 그리고 Nb-rich 상을 관찰 할 수 있었다. 또 Nb함량이 4.5 at.% 보다 많은 경우 B19' 마르텐사이트 기지, (Ti,Hf,Nb)₂Ni, Nb-rich 상 그리고 Hf-rich 상이 관찰되었다. Nb함량이 증가할수록 brittle한 (Ti,Hf,Nb)₂Ni 상의 상분율은 감소하고 ductile한 Nb-rich 상의 상분율은 증가하였다. 상온에서 실시한 파단인장시험의 경우 합금의 파단변형률은 Nb함량이 증가함에 따라 4.0%에서 18.2%로 증가하였고 이는 Nb-rich 상으로 인한 것으로 생각된다. 용체화처리 한 (35.5-x)Ti-49.5Ni-15Hf-xNb 합금은 B2→B19' 1단계 상변태 하였고 마르텐사이트 변태개시온도의 경우 Nb함량이 0 at.% 에서 6 at.%로 증가함에 따라 204.4 °C에서 -61.2 °C로 감소하였다. 또 용체화처리를 한 (35.5-x)Ti-49.5Ni-15Hf-xNb 합금은 A_f 이상의 온도에서 부분적인 초탄성회복이 나타났으며, 가공열처리를 한 Ti-Ni-Hf-Nb 합금의 경우 용체화처리를 한 Ti-Ni-Hf-Nb 합금보다 더욱 높은 초탄성회복률이 나타났다.

[타이타늄4-1 | 14:15]

생체적합성 고지르코늄 함유 Ti-Zr-Nb-Sn 생체의료용 합금개발: 김양후, 권용재, 이택우, 박형기, 박광석; 한국생산기술연구원 강원지역본부

Keywords: 티타늄합금, 생체적합성, 기계적 특성

고비강도, 내부식성 등의 장점을 갖는 티타늄 또는 티타늄 합금은 생체의료용으로 적용된다. 그 예로 정형외과용 조인트, 치과용 임플란트 부품을 들 수 있다. 티타늄 합금의 생체의료분야 적용 시 다양한 특성이 요구되는데 기계적 물성의 관점에서는 고강도, 뼈와 비슷한 탄성계수, 내마모성 등이 필요하다. 본 연구에서는 추후 의료 분야에 적용 가능성이 있는 생체적합성 고 지르코늄 함유 4원계 Ti-Zr₃₅-Nb(9-15)-Sn(0-7.5) 합금을 제작하였다. 각 성분계에 따른 다양한 기계적 물성, 즉 탄성계수, 강도, 경도 등을 미세조직 관찰과 함께 조사하였다. 적절한 냉간 성형 후 탄성계수 ~50GPa, 강도 ~1GPa 수준의 준수한 특성을 확인하였다. 고지르코늄 티타늄 합금의 추후 의료산업 적용의 가능성을 판단할 수 있었다.

[타이타늄4-2 | 14:30]

Highly Porous Ni-Free Ti-Zr-Nb-Sn Scaffolds with Large Recovery Strain for Biomedical Applications: LI SHUANGLEI¹, Yeon-wook Kim², Tae-hyun Nam¹; ¹Gyeongsang National University. ²Keimyung University.

Keywords: Ti-based scaffold, rapid solidification, sintering, porous material, superelasticity.

Highly porous Ti-Zr-Nb-Sn scaffolds with porosity of 70%, 75% and 80% were prepared by sintering of rapidly solidified alloy fibers. Superelastic property of alloy fiber was improved after aged at 673 K for 3.6 ks. The compressive yield stress and elastic modulus of scaffolds aged at 673 K for 3.6 ks are in range of 5.0-16.7 MPa and 0.33-1.05 GPa, respectively, similar to that of cancellous bone. The recovery strain increases with increase in porosity in aged Ti-Zr-Nb-Sn scaffolds. Larger than 3.2% of recoverable strain was achieved in aged scaffolds at human body temperature (310 K) due to α precipitates.

[타이타늄4-3 | 14:45]

TMCP를 통한 초미세립 2상 타이타늄 합금 제조 공정에서 초기 층상 두께의 영향: 오정목¹, 홍재근¹, 염종택¹, 이상원¹, 김은영², 강남현³, 박찬희¹; ¹재료연구소 타이타늄연구실. ²재료연구소 재료분석평가실. ³부산대학교 재료공학과.

Keywords: Titanium alloy, Ultrafine-grained structure, SPD, TMCP

초미세립 2상 타이타늄 합금은 초소성 특성, 고강도화 및 초기 골아세포 생성률을 향상시킬 수 있다는 점에서 지난 10여 년간 꾸준히 연구되어져 왔다. 초미세립 2상 타이타늄 합금은 Equal Channel Angular Pressing(ECAP), 고압 비틀림 및 다축 단조 등의 Severe Plastic Deformation(SPD) 공정을 통해 제조가 가능하지만 느린 공정 속도(10⁻³/s)와 적용 가능한 시편의 크기가 작다는 한계로 인해 산업적인 사용이 제한된다. 이러한 이유로 최근에는 가공 온도를 변화시키며 변형을 가하는 TMCP 신공정이 설계되었으며, 앞서 언급한 SPD 공정 대비 매우 적은 변형으로 더욱 미세한 2상 타이타늄 합금 제조가 가능하게 되었다. 하지만 신공정에 있어 변형 전 초기 미세조직에 따른 결정립 미세화 거동에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 Ti-6Al-4V 2상 타이타늄 합금을 대상으로 수냉과 공냉을 실시하여 층상 두께가 서로 다른 초기 미세조직을 형성하였다. 이후 온도를 800도에서 600도로 감소시키며 특정 변형률까지 압축실험을 실시하여 TMCP 신공정을 모사하였고, 특정 변형률에서의 미세조직을 분석하여 초기 층상 두께에 따른 고온 변형 거동을 분석하였다. 최종적으로는 압축 강도/변형률 그래프를 해석할 수 있는 수식을 적용하여 초기 층상 두께에 따라 달라지는 Flow stress를 해석하여 결정립 미세화 기구를 설명하였다.

[타이타늄5-1 | 15:15]

Relationship Between Work Hardening and Stress Distribution in Dual Phase Ti-Cr-O Alloy: Duck Soo kang^{1,2}, Jung Ho Shin¹; ¹SeAH Changwon Integrated Special Steel. ²Kyushu University.

Keywords: Ti-Cr alloy, Oxygen, Working hardening rate, Digital image correlation

In the case of titanium sheet for press forming, reduction of the oxygen content is generally required in order to ensure sufficient deformability. However, in some high strength titanium alloys, oxygen is added to increase tensile strength by solid solution strengthening. Although the mechanism behind the improved mechanical properties was not sufficiently discussed, it is important to clarify the effect of oxygen on the behavior of each phase in order to understand the property of the alloy. In this study, oxygen (0.2

mass%) was intentionally added to a Ti-Cr dual-phase alloy, which has recently received focus as an economical Ti alloy, to clarify the effect of oxygen on the microstructure and tensile properties. In particular, the difference in the work hardening behavior between oxygen-added and -free alloys were discussed in terms of inhomogeneous deformation, which is related to the strength ratio of the α and β phases.

[타이타늄5-2 | 15:30]

Anisotropic Deformation Behaviour of Commercially Pure Titanium at Cryogenic Temperature: 이민수¹, 지민기¹, 현용택², 전태성¹; ¹인천대학교 공과대학, ²재료연구소

Keywords: commercially pure (CP) titanium, cryogenic, deformation, electron backscattered diffraction (EBSD)

Recently, significant industrial attention is being paid in aerospace industry with issues concerning efficient fuel consumption and entry of humankind into the space. Titanium and its alloys are extensively used in aerospace industry, where a part of aero(space)-craft is suffered from harsh cold environment that is usually about -50°C in cruising altitude of aircraft [1] and minimally about -270°C in the universe. Deformation behaviour of titanium at cryogenic temperature has been somewhat unveiled [2-4]. One of the notable findings is the strengthening effect with superior ductility at lower temperature, which provides potential possibility to improve the formability of Ti alloys without relatively expensive thermal processing. In the present study, we investigated the deformation behaviour of Grade 1 commercially pure (CP) titanium through macroscopic tensile test at cryogenic and room temperature. The tensile specimens for cryogenic test were immersed in liquid nitrogen during 15 minutes and subsequently fitted on the tensile machine. Deformation temperature was measured by thermal couple and controlled as function of time during the test. The combination of digital image correlation (DIC) technique and electron backscattered diffraction (EBSD) were used to observe the deformation distributed on bulk specimen by temperature and characterise the evolved microstructure in the severe deformed region. The comparative analysis on the deformation temperature and texture were conducted to examine the anisotropic deformation of titanium at cryogenic temperature.

[타이타늄5-3 | 15:45]

Grain Refinement of Ti-6Al-4V with the Addition of Fe and Cr During Direct Energy Deposition: Pasupuleti Lakshmi Narayana¹, Cheng-Lin Li¹, Seong-Woo Choi¹, Sangwon Lee¹, Jong-Taek Yeom¹, N. S. Reddy², Jae-Keun Hong¹; ¹Korea Institute of Materials Science, ²Gyeongsang National University.

Keywords: Direct energy deposition, Ti-6Al-4V alloy, grain refinement, anisotropy, mechanical properties.

Recently, the metal additive manufacturing (AM) processes got great attention towards manufacturing of highly complex structural geometries without need for dedicated tooling. However, the as-fabricated microstructure consists of coarse columnar grains along the building direction which significantly affects the mechanical properties and reveals the anisotropy and texture. Post processing methods such as HIPing and heat treatments helps to minimize the anisotropy by changing the grain structure. Nevertheless, due to the cost effectiveness of such post processing techniques, it is more favorable to get the equilibrium microstructure at as-fabricated condition. The present study demonstrates the coarse and long columnar prior- β grains of Ti-6Al-4V manufactured by direct energy deposition, are significantly refined with the addition of Fe and Cr (1-4 wt.%). The Ti-6Al-4V alloy with 4 wt.% of Fe and Cr reveals the near equiaxed microstructure. The degree of anisotropy of as-fabricated Ti-6Al-4V was decreased with increasing addition of Fe and Cr. The room temperature strength of Ti-6Al-4V was gradually increase with increasing addition of Fe and Cr and the alloy with 4 wt.% Fe/Cr, shows a maximum strength of >1.4 GPa. Results show that addition of Fe is more favorable to attain significant grain refinement as well as high room temperature strength of direct energy deposited Ti-6Al-4V alloys.

New-Horizon : 금속 3D프린팅 공정 및 재료의 현재 상황과 미래기회 (적층제조 및 분말(AMPM) 분과위원회 창립 기념 심포지엄)

Room 600B, 4월 25일

[NEW1-1 | 09:30]

제조혁신을 위한 적층제조 기술의 발전방향과 전망: 유석현; 두산중공업

Keywords: Additive Manufacturing, 3D Printing, Manufacturing Innovation, Machining, Platform

4차산업혁명 시대를 맞이하여, 적층제조(AM, 3D 프린팅) 기술의 파괴적인 혁신은 산업용기계를 넘어 첨단기술의 집합체인 우주항공, 자동차, 에너지, 의료산업 분야 등으로 영역을 넓혀가고 있다. AM 기술은 방대한 설비 인프라를 보유한 대기업이나 전문기업에서만 가능했던 첨단제조업에 스타트업이나 중소기업도 진입할 수 있게 만들었지만, 한국의 경영자들은 아직 AM 기술의 경쟁우위, 잠재력 및 와해성 혁신에 대한 이해가 낮은 편이다. 산업용 3D 프린팅 시대를 앞당겨 한국 제조업이 다시 경쟁력을 회복하기 위하여 기업의 도전정신 및 투자와 함께, 3D 프린팅의 제조업 초기 정착을 위한 정부의 인센티브와 지원정책이 필요하다. 본 연구에서는 AM 기술이 제조혁신의 플랫폼으로 정착하기 위해 필요한 원가경쟁력, 성능향상, 사이클타임단축, 사용친화성 등의 4대 핵심기술의 발전방향과 전망을 리뷰하였다. 또한 수요기업을 정점으로 하는 정책, R&D, 소재부품, 완성품, 수요, 서비스 조직 간의 AM 생태계 활성화 방안과 산·학·연·관의 정보공유 플랫폼 구축을 제안한다. 원가경쟁력은 CAPEX, OPEX 측면을 함께 고려해야 하며, 장비·소재·부품 및 생산 가격을 획기적으로 낮출 수 있는 규모의 경제실현, 산업분야별 적정공정 개발, 장비·소재 원천기술 확보, 공급망 구축 등이 필요하다. 성능향상(경량화, 효율, 공수 등)은 절삭가공 대비 보다 우수한 성능을 확보할 수 있는 AM 전용의 창의적인 설계와 공정최적화 역량 등이 요구된다. 사이클타임단축은 로봇, 인공지능, 자동화 시스템이 결합한 연속·무인운전 기술실현, Time to Market 단축을 위한 프로세스 혁신, AM 팩토리 레이아웃 혁신 등이 필요하다. 사용친화성은 대단한 전문가가 아니더라도 3D 프린팅을 이용하여 원하는 금속소재 부품을 생산할 수 있어야 한다. 지금처럼 사용하기 어렵고, 조작 공정이 복잡하면 제조혁신의 플랫폼으로 작동되기 어렵고, 수십~수백개의 부품을 동일한 품질로 만들어 내는 것도 쉽지 않다.

[NEW1-2 | 10:00]

The Recent Uses of Metal 3D Printing for the Automotive Industry: Shinhu Cho, Deok Woo Yun, Gyungbok Kim; *Hyundai Motor Company*.

Keywords: Metal 3D printing, Metal Additive manufacturing, Automotive, Mass production

3D printing, also known as additive manufacturing is the revolution of the field of manufacturing, since the 3D printing process can reduce the process time, materials, and costs. Highly customized products with complex geometry can be fabricated by using various types of 3D printers. 3D printers can build structures with up to tens of micrometers and high resolution in height. This technique has been already applied to several industries such as aerospace, bioengineering, dental service, electronics, automotive, architecture, and many others. In this presentation, various applications using 3D printing in automotive industry are described. Then, we probe the impact of 3D printing in automobiles resulting in recent innovations. We also describe how 3D printing in automobile industry has been developed in comparison to other traditional manufacturing methods. On the other hand, the limited factors of 3D printers and their materials at the industrial level are discussed and then propose one of the solutions to overcome those problems we have faced before in this talk.

[NEW1-3 | 10:30]

The Current Status of Metallic 3D Printing Materials and Processes for Aircraft Application: Yoo-In Jeong, Dae-Hwan Kim, Seo Yeon Jo, Hyun Seo Son; *Korea Aerospace Industries Ltd.*

Keywords: printing, qualification, key characteristic, key process variable, statistical process control

Metallic 3D printing materials and processes have been developed for aircraft application, categorized into 4 groups for the requirement of powder producer qualification, powder qualification, 3D printing process qualification, and 3D printed part qualification. In this presentation the current practice for key characteristic selection, key process variable management, and statistical process control is explained based on the results that have been performed under the partnership with KAI and its partners.

[NEW1-4 | 11:00]

금속적층제조기술을 적용한 발전 플랜트 부품 현황 및 전망: 조현철, 신영호, 이재웅; 두산중공업

Keywords: 금속적층제조기술, 발전 플랜트, 가스터빈

금속적층제조기술은 디지털 3D 설계 데이터를 기반으로 분말 또는 와이어 금속 재료를 연속적으로 적층하여 부품을 제조하는 방법으로, 전통적인 가공기법과는 상반되는 개념의 제조방법이다. 해외 선진사들은 항공/우주분야를 필두로 발전 플랜트 분야에서도 금속적층제조기술을 성공적으로 활용하고 있다. 그러나 국내에서는 적용부품 발달단계에서부터 어려움을 겪고 있고, 결과적으로 금속적층제조기술의 적용 범위가 크게 확대되지 않는 실정이다. 이는 금속적층제조기술을 적용했을 때 발생하는 효과를 정량적으로 분석할 수 있는 절차가 구체적이지 않기 때문이다. 두산중공업은 분야 별로 금속적층제조기술의 적용 효과를 정량적으로 분석하는 절차를 수립하였고, 이를 바탕으로 금속적층제조기술 적용 가능 부품을 도출하고 있다. 첫째, 부품 직접 제조와 보수 등의 분야에서 기존

공정의 취약점을 도출하고 그 취약점을 금속적층제조기술을 적용하여 해결할 수 있는지 확인한다. 둘째, 다양한 금속적층제조기술과 사용 가능한 소재 등을 고려하여 최적의 금속적층제조기술을 선정한다. 셋째, 금속적층공정 Parameter, 설계용 소재 물성 등 핵심기술을 확보하여 상용화를 추진한다. 부품 직접 제조분야의 경우, 성능을 향상시킬 수 있는 혁신적인 부품을 설계하고 금속적층제조기술로 이를 구현하는데 집중하고 있다. 예를 들어, 가스터빈 연소기 부품을 금속적층제조기술로 제조할 경우 배기가스를 대폭 감소시킬 수 있고 추가로 제조단가를 절감하고 납기도 단축할 수 있다. 보수분야의 경우, 기존 공정의 제조단가가 매우 높기 때문에 제조단가를 절감시키는데 금속적층제조기술을 활용할 수 있다. 특히 정밀주조부품을 금속적층제조기술로 제조하게 되면 제조단가를 대폭 절감할 수 있다. 기대효과가 목표에 미달할 경우, 설계와 공정부서 간 긴밀한 협업을 통해서 금속적층제조기술 적용 효과를 개선해야 한다. 금속적층제조기술을 활용한 부품 양산단계로 돌입하기 위해서는, 핵심기술개발과 함께 금속적층제조기술 적용 효과에 대한 정량적 분석 기반을 구축해야 한다고 판단된다.

[NEW1-5 | 11:30]

금속적층가공품의 부품화를 위한 계단: 김명세; (주) 아우라테크

Keywords: 금속적층제조기술, 후처리, 표면연마

금속적층제조기술은 복잡한 형상을 제조할 수 있고 소재 사용량을 절감할 수 있는 혁신 제조공정이다. 또한 제작기간도 단축시킬 수 있기 때문에 많은 산업분야로부터 각광을 받고 있다. 그러나 빠르게 개발되고 있는 금속적층제조기술 대비 후처리 공정기술이 정확하게 정립되지 않아 상용화까지 어려움이 있는 실정이다. 적층을 완료한 후에 수행되는 후처리 공정은 열처리, 열간등방가압, Support 제거, 일부 기계가공, 그리고 표면연마 등으로 구성된다. 열처리 공정은 소재에 따라서 Stress Relief, Annealing, Aging 등으로 구성되는데, 잔류응력을 제거하고 소재물성을 향상시키는데 매우 중요하다. 그리고 열간등방가압은 적층 중에 생성된 부품 내부 기공을 제거할 수 있는 효과적인 공정이다. 금속적층제조기술 중 PBF (Powder Bed Fusion) 방식의 경우, 적층공정 중 발생하는 열배출 및 하방 표면을 지지하기 위해 Support가 필연적으로 부품과 함께 적층되게 된다. 현재까지는 이러한 Support를 주로 수작업으로 제거해야 하기 때문에, 작업자의 경험과 손끝 기술이 매우 중요하다고 할 수 있다. 금속적층제조부품의 표면은 기계가공부품 대비 매우 거칠기 때문에, 기계가공부품 수준의 표면조도를 확보하기 위해서는 표면연마공정을 추가로 수행해야 한다. 연마, 바렐링, 화학연마, 전해연마 등을 통해서 Ra 기준으로 1 μm 이하의 표면조도를 확보할 수 있다. 최근에는 전해질을 사용하지 않는 건식전해연마공정도 개발되었는데, 폐수 처리에 대한 우려가 없는 등 장점을 가지고 있다. 현재까지 국내에서는 금속적층설비 및 소재 분야에 기술개발역량이 집중되어 왔다. 그러나 금속적층제조부품의 상용화를 위해서는, 후처리 공정기술의 개발과 표준화 등도 중요한 분야이기 때문에 전문업체 양성 또는 신기술 개발 등이 필요하다.

[NEW2-1 | 13:00]

금속 3D 프린팅 상용화 방안: 이창우; Korea Institute of Machinery & Materials.

Keywords: DED(Directed Energy Deposition), PBF(Powder Bed Fusion), DfAM(Design for Additive Manufacturing)

3D 프린팅만큼 일반인들이 잘 알지만 오해하고 있는 분야는 없다. 예를 들면 일반인들이 선반가공이나 소결제작에 대해서 얼마나 알고 있을까? 그러나 불행하게도 3D 프린팅은 잘 아는 것 같지만 오해하고 있어서 상용화가 더딘 것은 아닐까 생각한다. 가장 큰 오해는 3D 프린팅은 일부 적용분야에서만 싸고 빠른 공정이다. 적어도 금속 3D 프린팅은 느리고 비싼 공정이기에 상용화가 더디다. 느리고 비싼 공정을 상용화하기 위해서는 기존 가공으로는 구현이 불가능한 성능을 극대화할 수 있는 능력이 있어야 한다. 3D 프린팅의 장점이 빠르고 경제적인 공정이 아니고 복잡한 형상을 구현할 수 있고 이형의 재료를 프린팅 할 수 있다는 장점을 아는 것이 우선이다. 본 논문은 국가과학기술연구회의 융합연구단 사업으로 수행한 내용에서 이러한 장점을 살려 성능을 획기적으로 개선한 사례를 소개합니다. 우선은 복잡형상을 구현하여 성능을 향상시킨 사례로 내부에 입체냉각 채널을 가지는 금형과 이형 재료를 프린팅하여 프레스의 수명을 획기적으로 향상시킨 사례를 소개합니다.

[NEW2-2 | 13:30]

하이브리드 금속 3D프린팅 장비 기술 개발 및 고경도 금형 보수 제작 적용: 이동목, 문창규, 최규철, 도진호, 예강현, 강명구; 맥스로텍 R&D센터.

Keywords: Directed Energy Deposition(DED), Hybrid Additive and Subtractive Manufacturing Machine, High Hardness Mold, Part Repair Process

적층 제조(AM)와 절삭 제조(SM) 기능을 결합한 단일 플랫폼 타입의 하이브리드 금속 3D프린팅 장비의 수가 증가하고 있다. 이들 중 대다수는 직접 에너지 증착(DED) 방식의 3D프린팅 기능과 5축 이상 높은 구동 자유도를 가진 기존의 CNC장비를 통합한 다축 공작기계 형태로, 기존의 수치제어(NC) 기술을 포함해 CAD, CAM 및 CAI(검사) 프로세스를 활용할 수 있는 장점을 가진다. 단일 장비 내에서 적층 기능과 절삭 기능을 함께 통합해 사용함으로써 각 프로세스가 가지는 상대적 장점을 효과적으로 활용할 수 있다. 내부밀도, 표면정밀도, 잔류 응력 등 적층 제조의 품질 이슈는 엄격한 공차 관리가 요구되는 산업 제조 현장에서 큰 제약으로 작용하기 때문에 단일 절삭 가공에 비해 후처리 공정을 추가로 수행해야 하는 부담이 따른다. 이러한 한계를 극복하기 위한 한 가지 방법은 기존의 CNC 가공과 결합하여 하이브리드 3D프린팅 장비를 구현하는 것이다. 절삭과 적층의 복합 기능은 내부, 오버행(Overhang)과 같은 기존 적층만으로 힘들었던 기하학적 문제를 해결하는데 도움이 되며 이러한 장점으로 완성품의 설계 및 제조, 그리고 고부가가치 부품의 재생과 재생산에 중요한 기회를 창출할 수 있다. 본 연구에서는 5축 기반의 절삭 CNC와 고출력 DED 적층을 결합한 하이브리드 금속 3D프린팅 장비 기술을 소개하며 가공과 적층 공정 기술을 활용해 고경도 금형의 보수 제작 사례를 소개하며 보수 공정에 필요한 설계, 경로 및 가공 기술을 검토한다. 후기: 이 논문은 2018년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가관리원(10053878)의 지원을 받아 수행된 연구임.

[NEW2-3 | 14:00]**하이브리드 3D 프린팅 공정을 이용한 맞춤형 의료부품 상용화 기술개발: 김대준****Keywords:** 하이브리드 금속3D프린팅, 인공고관절

본 연구개발은 5축 수직형의 고정밀 절삭 가공기와 DED(Direct Energy Depositin), PBF(Powder Bed Fusion)방식의 3D 프린팅 기술을 선별적으로 사용 가능하도록 각각의 3D 프린터 환경을 결합하여, 소재 적층부터 높은 형상의 정밀도가 요구되는 공정까지 하나의 플랫폼에서 제품생산이 가능한 복합 가공기를 소개하고자 한다. 하나의 시스템에서 두 가지 일을 진행하는 공정융합 방식이어서, 맞춤형 고관절 임플란트를 제작할 때 기존 제작방식에 비해 작업시간이 크게 단축될 것으로 기대된다. 실제 이전까지 두 작업이 모두 필요한 경우 3D 프린터에서 1차적으로 제품을 만든 뒤 이것을 꺼내 공작기계에 넣고 2차 가공을 하는 방식으로 만들어야 했다. 본 연구개발에서 개발된 금속 적층 복합가공기를 이용하여, 의료시장에서 형상 정밀도와 물리적 강도등이 높게 요구되는 인공 비구컵과 인공 대퇴스텐을 제작하고 평가하여 글로벌 의료시장에 진출하고 미래 성장 동력을 창출해 나갈 계획이다. 이러한 금속적층 복합 가공기는 의료산업뿐만 아니라, 자동차, 항공등 다양한 분야에 생산 방식의 유연성과 고도화의 가능성을 제시할 수 있다.

[NEW2-4 | 14:30]**PBF 방식에 의한 마그네슘 분말의 적층 제조의 기술: 김우중; ㈜ 대진테크**

최근 3D 프린터에 대한 관심이 높아지면서 다양한 소재를 이용한 적층 제조에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 그러나 마그네슘에 관한 연구는 분말의 특성상 아직 쉽게 접근할 수 없었다. 마그네슘 분말의 PBF(Powder Bed Fusion) 방식의 적층은 아직 도전이 쉽지 않은 미지의 영역으로 남아있다. 3D프린팅을 활용하는 다양한 분야의 산업에서 마그네슘 소재의 3D 프린팅에 관한 관심이 증대하고 있으며 항공 분야에는 경량화를 중점으로 생분해(Biodegradable)성에 많은 관심을 가지고 있는 의료 분야를 중심으로 꾸준히 마그네슘 적층제조에 대한 수요가 요구되고 있다. 따라서 아직 초기 단계이기는 하나 마그네슘 합금 종류에 따른 제조 적층의 조건을 연구하고 기존의 주조나 가공에 의한 제품과의 물성 차이를 비교 및 생분해성을 이용한 인체 분해 여부 및 속도, 인체 사용 적합 여부 및 인체 맞춤형에 대한 연구를 수행 중 이다. 적층 제조용 마그네슘 합금의 분석 및 레이저 도는 전자빔의 조건에 따른 적층 연구등을 기술하고 소개 하고자 한다.

[NEW3-1 | 15:30]**금속3D프린팅용 분말소재의 설계와 새로운 응용: 유지훈¹, 양상선¹, 정임두¹, 최중호¹, 김경태¹, 김용진¹, 김형섭², 이기안³; ¹한국기계연구원 부설 재료연구소 ²포항공과대학교 ³인하대학교****Keywords:** 금속3D프린팅, 적층제조, 합금분말소재, 비정질, 고엔트로피합금

현재 금속3D프린팅용으로 사용되고 있는 상용분말은 재료의 종류가 제한적이고 느린 조형속도 등으로 인해 산업적 적용에 많은 한계를 가지고 있다. 금속 3D 프린팅 공정에 사용되고 있는 재료는 대부분 분말 형태로 적용되고 있으며, 가스아토타마이징법으로 제조된 구형의 극미세 분말이 사용되고 있다. 그러나 이러한 금속분말은 3D 프린팅 공정에 적합하도록 제조된 전용소재가 아니고 일반적인 분말야금 (Powder Metallurgy) 공정에 사용되고 있는 분말을 입도별로 분류하여 프린터 장비업체에서 고가로 독점 공급하고 있는 실정이다. 특히 독점 공급하는 분말 외에는 사용하지 못하도록 장비에 잠금 시스템을 적용하고 있어 다양한 부품의 적용이 이루어지지 못하고 있다. 더욱이 분말야금에 사용되는 금속분말은 산업적으로 널리 쓰이고 있는 기존의 합금소재와 달리, 2~3개의 기본적 합금성분만을 포함하고 있기 때문에 산업적으로 의미있는 다원계 합금성분의 분말의 개발이 강력히 요구되고 있다. 한편 3D 프린팅으로 적층된 조형체는 소재에 따라 물성이 다르기 때문에 이에 따른 후처리 공정의 개발이 필수적이다. HIP (Hot Isostatic Press)을 통한 2차 고밀도화 처리, 소재의 연성을 향상시키기 위한 열처리, 표면조도 및 부식방지를 위한 표면처리 기술 등이 3D 프린팅 공정에 맞도록 개발되어야 다양한 산업분야에서 부품의 적용이 가능하다. 특히 발전 플랜트나 우주항공 산업과 같은 부품의 신뢰성이 강조되는 산업분야에서는 소재, 조형공정, 후처리 등의 일련의 연계된 기술이 통합적으로 개발되는 것이 중요하다.본 연구에서는 3D프린팅용 전용합금소재의 설계와 개발방향에 대해서 소재적 관점에서 살펴보고, 이를 활용한 새로운 응용분야에 대해 논의하고자 한다.

[NEW3-2 | 16:00]**Gas atomizer를 활용한 3D프린팅용 Ti 분말 제조: 김택수^{1,2}; ¹한국생산기술연구원 한러혁신센터. ²과학기술연합대학원 대학교****Keywords:** Additive Manufacturing, Titanium, Gas atomizer, Cold crucible

최근 금속 분말을 활용한 3D 프리팅 기술은 기존 전통적 제조방식으로는 불가능한 복잡한 구조를 만들 수 있는 이점과 시간적 경제적 이점을 제공함으로써 항공 우주, 방위, 자동차 및 의료 산업 등 다양한 제조 산업에서의 수요가 증가하고 있다. 특히 Ti 분말을 이용한 3D 프리팅 기술은 높은 비강도, 내식성과 생체 적합성으로 산업적 이용과 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. Ti 분말 제조의 대표적인 방법으로는 가스 아토타마이징(Gas atomizing), 수소화 탈수소화 기법(HDH), 및 플라즈마 회전 전극 분무(PREP) 기법 등이 있다. 이중 가스 아토타마이징을 활용한 공정이 50~350 μm 수준의 구형 Ti 분말을 제조하는 이점으로 현재 3D 프린팅용 분말 제조에 가장 많이 사용되고 있다. 하지만 Ti의 높은 반응성 때문에 분말 제조에 어려움이 있으며, 분말 제조 기술은 일부 국가에 한정되어 있다. 이로 인해 국내 3D 프린팅용 Ti 분말 및 제조 공정 장비는 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 국내 3D 프린팅 산업 현황 조사를 통해 3D 프린팅용 분말 연구 방향 및 기대효과를 살펴보고, Cold Crucible을 활용하여 불순물 없이 용해한 Ti 용탕을 가스 아토타마이징 방식을 통하여 제조한 Ti 분말을 소개하고자 한다.

[NEW3-3 | 16:30]

Al-Si합금 조성 및 분말 입도에 따른 반사율 특성: 이찬기, 최광목, 채홍준*; 고등기술연구원 융합소재연구센터.

Keywords: Al-Si alloys, Metal Additive Manufacturing, Particle Size, reflectivity, Powder

최근 에너지 자원의 고갈과 환경오염 등에 의한 지구 온난화 문제가 심각해짐에 따라 수송기기 및 자동차의 경량화에 대한 요구가 급속히 증대되고 있고, 이러한 시대적 요구에 대응하기 위해 Al, Mg, Ti과 같은 경량 합금 분말을 이용한 금속 기반 적층성형 (Additive Manufacturing)이 주요 제조공정으로 각광받고 있다. Al 합금은 가벼우면서도 동시에 높은 기계적 강도와 전기전도도를 보이는 소재로, 현재 자동차 부품에서는 브라켓, 휠, 커넥터, 엔진 블록 등 소량 제조공정에 적층성형 기술을 적용하여 개발기간 단축 및 제조비용 절감을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. Al 부품 제조를 위한 적층성형은 합금 분말을 레이저나 전자 빔을 통해 부분 용접하여 적층제조하는 공정으로, 정교하고 복잡한 형상의 부품 제작이 가능하기 때문에, 복잡하고 세밀한 형상을 요구하는 분야에서 장점을 가질 수 있지만, Al 합금은 열전도도와 광반사율이 다른 소재에 비해 높아 열이 금속의 용융에 전부 이용되지 못하고, 높은 레이저 출력을 필요로 하기 때문에 제조비용이 타 소재에 비해 높은 단점이 있다. 이러한 특성은 레이저 적층시 조형체의 밀도를 저하시키며, 모듈을 손상시키는 요인으로 작용하기 때문에, 기존의 Al 소재보다 열전도도와 반사율이 낮은 합금 소재가 개발되어야만 다양한 응용분야로 활용 할 수 있다. 적층성형시 분말의 흡광율은 적층성형의 효율을 결정짓는 중요한 요소로, 흡광율이 높을수록 조사된 빛 에너지가 부분 용접에 사용되어 제조 효율을 높일 수 있으므로, 다원화된 Al 합금 설계를 통한 기계적, 광학적 특성에 대한 다양한 연구가 반드시 수반되어야 한다. 본 연구에서는 Al-Si계 합금을 기지로, 조성 및 분말의 입도변화에 따른 미세조직을 관찰하였고, UV-VIS-NIR Spectrophotometer (Model : Cary-5000 UV-Vis-NIR)를 활용하여 반사율을 측정하였다. 그 결과 분말의 반사율이 주괴의 반사율보다 낮은 것을 확인하였으며, 동시에 분말의 경우 입자 크기가 작아질수록 반사율이 낮아지는 경향을 확인하였다.

[NEW3-4 | 17:00]

금속 소재 관점에서 본 3D 프린팅 및 제언: 이기안; 인하대학교 신소재공학과.

Keywords: Additive manufacturing, 3D printing, Metal, Alloys, Composite, Microstructure, Property, Process

최근 3D 프린팅 산업에서 금속 3D 프린팅 공정 개발과 관련하여 괄목할만한 결과들이 이루어져 왔다. 이를 바탕으로 항공, 의료 등 부품 산업에서의 새로운 비즈니스 모델들이 제시되고 있다. 그러나 상대적으로 3D 프린팅 공정으로 제조된 금속 부품에서 미세 조직과 연계한 특성 향상과 관련하여서는 그 중요성에도 불구하고 충분한 결과가 제시되지 못하고 있으며 이에 최근 이 분야에 대한 연구가 증가하고 있다. 본 발표에서는 금속 소재 관점에서 3D 프린팅 분야에 대하여 현재까지 발표자에 의해 진행된 결과들 (Steel 계, Ti계, Ni계 합금들, 금속간 화합물 등)을 제시하고 향후 금속 3D 프린팅 산업의 성공을 위한 해결해야할 문제를 이야기하고자 한다. 이와 함께 국내 금속 3D 프린팅 산업을 발전시킬 수 있는 방안을 토의하고자 한다.

[NEW3-5 | 17:30]

Comprehensive Study of Unique Microstructure Development and Mechanical Characterization of Additive Manufactured Ni-Based Superalloys: H.U. Hong¹, J.W. Lee^{1,2}, S.Y. Im¹, S.Y. Jun¹, M. Terner¹, B.S. Lee³, E. Copin², P. Lours², S. Biamino⁴;

¹Changwon National University. ²Institut Clément Ader IMT Mines Alb. ³Korea Institute of Industrial Technology. ⁴Politecnico di Torino.

Keywords: Selective laser melting (SLM), Electron beam melting (EBM), Superalloys, Microstructure, Creep

Over the past several years, new superalloy processing and fabrication routes have been explored by AM (Additive Manufacturing) utilizing laser and electron beam melting technologies. In the present study, the comprehensive study of microstructures of AMed Ni-based superalloys and their corresponding mechanical properties were characterized through a series of collaboration with Institut Clément Ader at IMT Mines Albi (France), Politecnico di Torino (Italy), KITECH (Korea). Microstructures and tensile properties were characterized for as-fabricated and heat-treated SLMed Inconel 625 samples. The as-fabricated microstructure of the alloy consisted in columnar grains with a very fine dendritic structure exhibiting high density of tangled dislocations. This highlights the high degree of residual stress developed during SLM processing, characterized by a repetition of rapid heating and cooling. A solution treatment led to recrystallization by which equiaxed grains with bimodal size distribution in their size (average size of 90 and 10 μm) were observed. After aging treatment, very fine (10-30 nm) discoidal γ' phases as well as the discontinuous formation of elongated Cr-rich M23C6 carbides at grain boundaries formed. The tensile properties of SLMed Inconel 625 will be discussed with respect to their unique microstructures. Moreover, cylindrical Inconel 718 samples (diameter 15 mm and length 100 mm) were successfully fabricated by EBM. A relative density higher than 99.9% was obtained under the optimized energy density of 2.0~3.5 kJ/mm². Hatch scanning resulted in -oriented columnar grains strongly aligned along the building direction. The focus offset significantly affected the cooling rate and accordingly the development of the microstructure. Even in the as-fabricated condition, considerable amount of γ'' yielded excellent tensile properties, higher than those of fully heat-treated wrought Inconel 718. The as-EBMed Inconel 718, which contained the columnar grains characterized by their grain boundaries parallel with loading axis, showed 2 times better creep rupture property than the conventional hot-forged Inconel 718 with equiaxed grains. The -oriented columnar grains and appreciable amounts of γ'' in the as-EBMed Inconel 718 with a minimal porosity fraction, were found to make grain boundaries less strain-damaged during creep. Furthermore, we will address our on-going project to fabricate René80 with a higher amounts of γ' (>60%) by EBM.

철강

Room 700A, 4월 25일

[철강4-1 | 10:00]

CHQ 중탄소강의 세멘타이트 구상화에 미치는 초기 미세조직학적 영향 고찰: 김규식¹, 위동열¹, 이재승², 이기안¹; ¹인하대학교 ²포스코

Keywords: Cold heading quality steel, Microstructure, Spheroidization annealing, Cementite spheroidization, Mechanical property

CHQ(cold heading quality)강은 열처리를 통한 경화 전, 충분한 성형성 및 소성 가공량을 확보하기 위하여 24시간 이상의 연질화 처리(softening annealing) 또는 구상화 열처리가 필요하다. 구상화 열처리는 판상의 세멘타이트를 구형으로 변화시키는 열처리 공정으로 inter-critical 온도 (A_1 ~ A_3), sub-critical 온도 (A_1 이하) 또는 두 온도 조건을 모두 사용하는 복합적인 형태로 수행된다. 이에 따라 CHQ 강은 초기 미세조직학적 특징과 열처리 조건에 따라서 회복, 상변태 등의 거동을 통하여 미세조직이 안정한 형태로 변화, 연질화 된다. 본 연구에서는 제조 공정에 따른 CHQ 중탄소강의 초기 미세조직학적 인자를 정량화하고 세멘타이트 구상화 기구 및 속도에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 이를 확인하기 위하여 열가공제어법으로 가공량, 냉각 속도 등을 변화시켜 제조된 3종의 Fe-Mn-C-Si 계 강들을 사용하였다. 상대적으로 미세한 결정립, 펄라이트 조직을 가지는 탄소강의 경우, 구상화 속도가 약 2 배 빠르게 관찰되었으며 열처리 초기에서는 더욱 빠른 미세조직학적, 경도 변화가 관찰되었다. 구상화 열처리 초기 단계 및 후기 단계에서 구상화 속도 및 기구에 미치는 미세조직학적 주요 인자를 고찰해 보았다. [본 연구는 포스코의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.]

[철강4-2 | 10:15]

B,Ti 첨가가 0.55C-2.3Si 강 of 흑연화 거동에 미치는 영향: 배상우¹, 김예진¹, 임남석², 박성혁¹; ¹경북대학교 ²포스코

Keywords: Fe-Si steel; Graphite; Heat treatment; Boron; Titanium

탄소강의 가공성 및 연성 향상을 위해 다양한 열처리가 수행되고 있으며, 그 중 탄소강의 연화를 위한 구상화 열처리는 많은 연구가 이루어져 왔다. 하지만, 구상화 열처리 보다 짧은 공정 시간을 가지며 윤활 및 연화 효과가 탁월한 흑연을 형성시키는 흑연화 열처리에 대한 연구는 탄소강에서 매우 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 흑연화 촉진 원소인 Si이 다량 첨가된 0.55C-2.3Si 중탄소 고실리콘 강의 열처리 온도와 시간에 따른 흑연화 및 연화 거동을 분석하고, 소량의 B, Ti 첨가가 흑연화 속도에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 위해 10 ppm의 B과 140 ppm의 Ti이 각각 첨가된 압연재를 700 °C와 750 °C에서 열처리 하여 형성되는 흑연의 크기, 분율, 밀도 등을 분석하고, 이를 B, Ti 이 첨가되지 않은 강과 비교하였다. 또한, 열처리 시간에 따른 경도 변화를 관찰하여 B, Ti 첨가가 흑연화 속도 및 소재 연화에 미치는 영향에 대하여 상세히 조사하였다.

[철강4-3 | 10:30]

FeMnAlC계 경량철강 주조재의 Ni 첨가에 따른 κ -carbide 석출 거동 및 변형 거동의 원자단위적 고찰: 김치원¹, Mathieu Terner¹, 이재현¹, 문준우², 장재훈², 박성준², 이봉호³, 홍현욱*¹; ¹창원대학교 신소재공학부. ²재료연구소 철강재료연구실. ³대구경북과학기술원.

Keywords: Lightweight steel, Ni addition, κ -carbide, 3D atom probe tomography, shearing

최근 산업용 수송기 및 육군 기동 무기체계의 효율성 개선을 목표로 경량화를 통한 기동력 및 기계적 특성 향상에 대한 연구가 요구되고 있다. 특히, 기동력 개선에 따라 작전 수행능력이 향상되고, 유지비용이 절감되며 수송이 원활해지기 때문에 핵심기술 요소이다. 그러므로 이에 적합한 소재로, 경량 고강도강으로 알려진 FeMnAlC 합금계에 대한 연구가 진행 중이다. 대부분의 연구가 단조 처리된 합금에 대해 진행 되었으며, 주조합금에 대한 연구는 부족한 실정이므로 다양한 분야에 대한 적용성을 고려하여 주조합금에 대한 연구를 진행하였다. 본 연구에서의 합금은 고강도화를 위해 무게분율 약 30% Mn 과 1% C의 첨가로 상온에서 austenite기지를 안정화 하고, 경량원소 Al을 9% 가량 첨가하여 기존 철강 대비 약 15% 이상 경량화 하는 것이 핵심이다. 또한 주조 시 용탕의 유동성을 향상시키고 재료의 용점을 감소하는 효과가 있다고 알려진 Si를 첨가하여 주조성을 개선하고자 하였다. Si 과다 첨가 시 결정립계에서의 유해상 β -Mn 석출이 촉진되므로 0.5 wt.%로 제어하였다. FeMnAlC 합금은 석출경화형으로, Si 이 첨가됨에 따라 시효열처리 시 규칙격자를 갖는 κ -carbide의 석출 거동이 초기단계에서 가속화 되어 석출경화를 촉진시키는 것으로 알려져 있다. 한편, 최근 FeMnAlC 합금계에서 Ni이 첨가될 경우, 기계적 특성이 미첨가 합금 대비 향상되며 열처리 시 Ni-Al type의 BCC 규칙격자 구조인 B2 상의 석출로부터 고강도 및 고연신율이 얻어진다는 연구결과도 알려진 바 있다. 본 연구에서는 Ni 첨가 시 FeMnAlC 합금계의 특징인 석출경화에 나타나는 영향에 대해 면밀히 고찰하기 위해 Ni 첨가량에 따라 열처리 시 나타나는 미세조직 및 기계적 특성 변화에 대해 알아보려 하였다. 본 연구에서의 기본 합금은 Fe-30Mn-9.7Al-0.9C-0.5Si-1.5Mo로 구성되어 있으며, Ni 첨가량을 1.5wt.%와 3.0wt.%로 나누어 비교하였다. Ni 첨가량과 관계없이 미세조직은 austenite 기지와 ferrite로 구성되어 있으며, 용체화 처리된 상태의 경우 3.0Ni를 포함한 합금의 인장강도는 1.5Ni에 비해 약 70 MPa 높은 수준으로 유지되나, 20 % 수준까지 연신 되지 못 하고 파단 되어 최대인장강도는 낮게 나타났다. 이를 기반으로 본 합금계의 특징인 시효 경화 효과를 확인하기 위해 κ -carbide 석출 영역인 550°C에서 100시간 동안 열처리 하여 경도를 비교하였다. 용체화 처리된 경우 1.5Ni 과 3.0Ni 합금의 경도는 262, 274 Hv이며 시효 열처리 초기단계에서 3.0Ni 합금의 경도가 약 20 Hv 높게 유지되며 증가하고, 20시간 이후 1.5Ni 합금의 경도는 약 370 Hv 수준으로 유지되는 반면 3.0Ni 합금의 경도는 지속적으로 높아지며 100시간 열처리 시 450 Hv 수준까지 도달하였다. 본 결과를 통해 Ni 함량 증가 시 시효 경화 효과가 두드러지는 것을 확인하였으며, Ni 첨가가 주 강화상 κ -carbide의 석출 거동에 영향을 미치는 것으로 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 시효 열처리 시 Ni 첨가량에 따른 κ -

carbide 석출거동과 기계적 특성 및 변형거동에 미치는 영향에 대해 고찰하고자 하였다.

[철강4-4 | 10:45]

저탄소 단조강의 기계적 성질에 미치는 압하율의 영향: 원윤정¹, 권훈², 조기섭²; ¹국민대학교 신소재공학부 재료설계연구실, ²국민대학교 신소재공학부

Keywords: low carbon steel, microalloying, thermo-mechanical processing, microstructural refinement

본 연구에서는 상용 저탄소 단조강인 SA266의 화학조성을 기본으로 바나듐을 0.05 wt.% 첨가하여 2종류 합금(Ref. & RV)을 진공유도용해(VIM)하였다. 제조된 합금은 균질화 후 사이징 압연(12mm)하였으며, 이후 Gleeble를 활용하여 열간단조압연 모사 시험을 진행하였다. 관련 시험편의 기계적성질 평가결과에 따르면, 오스테나이트 단상영역에서의 압하율 증가(15→75%)는 입내보다는 입계 페라이트 핵생성을 촉진할 수 있는 것으로 최종 상변화된 합금의 경도를 저하시키는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 결과는 바나듐 첨가를 통해 효과적으로 억제될 수 있는 것으로 본 연구에서는 OM 및 TOF-SIMS 등을 활용하여 압하율에 따른 기계적성질 변화를 페라이트 핵생성 거동에 미치는 바나듐 첨가 효과의 관점에서 고찰하였다.

[철강4-5 | 11:00]

Zn-Mg/Zn 이중층 박막에서 Zn interlayer 미세구조 제어가 박막의 밀착력에 미치는 영향에 관한 연구: 이순환, 송면규, 김희근, 이상윤; 한국항공대학교 항공재료공학과

Keywords: Zn-Mg 박막, 주상정 성장, 밀착력, EMH 공정

철강재료는 풍부한 매장량, 재료의 성형성, 강성 등의 강점으로 꾸준히 자동차 차체, 건물의 내외장재 등에 활용되었으나 약한 내부식성이라는 가장 큰 단점이 있었다. 때문에 연구자들은 Zn 박막과 더 우수한 Zn-Mg 박막을 개발하여 내부식성을 크게 향상시켰다. 하지만 쓰이는 재료의 형상이 복잡해지면서 내부식성 뿐만 아니라 밀착성 역시 중요한 특성으로 대두되고 있다. 모재와 코팅층 사이에 중간층(interlayer) 증착 시 밀착력은 향상된다고 보고되어 있으며, 그에 따라 본 연구에 앞서 Zn interlayer를 Zn-Mg 박막과 모재 사이에 증착하여 단층에 비해 향상된 밀착력의 Zn-Mg/Zn 이중층 박막을 합성하였다. 본 연구에서는 추가적인 밀착력 향상을 위해서, Zn interlayer 미세구조 제어를 통하여 Zn-Mg/Zn 이중층 박막의 밀착력 향상에 관한 연구를 진행하였다. 박막 합성 공정 방법으로는 대량생산과 고속 증착이 가능하여 실제 산업에서 활용할 수 있는 박막을 증착하고자 Electro-Magnetic Heating(EMH) 공정을 활용하였으며, 박막의 밀착성을 정량적으로 비교 분석하기 위해서 lap shear test를 활용하였다. 코일의 인가 전력의 세기가 증가 할수록 챔버 내부의 Zn의 증발량은 상승하여 공정 분압 또한 상승하였고 결과적으로 기판에 도달하는 Zn 입자의 Mean Free Path는 감소하여 박막의 미세조직에 큰 변화를 초래하였으며, 인가 전력이 최종적으로 Zn-Mg 박막의 성장 거동에 커다란 영향을 주는 것을 XRD 분석을 통하여 확인 할 수 있었다. Lap shear test 결과, Zn interlayer의 미세조직 제어를 통하여 Zn-Mg/Zn 이중층 박막의 밀착성이 크게 향상되는 것을 확인하였다. 사사의 글 본 연구는 산업통상자원부의 WPM(World premier Materials)사업을 수행하는 스마트 강판소재 사업단의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

[철강4-6 | 11:15]

High-Resolution Digital Image Correlation Method를 이용한 TiN Particle이 Martensitic Steel 굽힘 거동에 미치는 영향: 김동혁¹, 성유진¹, 김정기¹, 서민홍², 김형섭¹; ¹포항공과대학교신소재공학과, ²포스코

Keywords: 마르텐사이트 강, 3점 굽힘 시험, TiN particle, DIC 방법, 미세조직

자동차 산업에서 탑승객의 안전은 중요한 인자 중 하나이며, 이를 위한 다양한 안전 장치 및 차체 강성이 중요시되고 있다. 특히, 탑승객의 안전 공간을 확보하기 위하여 자동차의 구조 소재로 Advanced High Strength Steel (AHSS)를 사용하며, 일부 부품에서 높은 강성을 가진 martensitic steel이 사용된다. Martensitic steel은 낮은 연신률 때문에 roll-forming 가공에 의한 굽힘 가공을 통하여 단순 형상의 부품으로 만들어진다. 제강 시에 inclusion 제거를 위하여 Ti를 첨가하는데, 이에 의하여 TiN particle이 형성 및 조대화 되는 현상이 존재하며, 이에 의하여 기계적 성질이 저하됨을 보인다. 본 연구에서는 TiN particle이 martensitic steel에서 굽힘 거동시에 어떠한 영향을 주는 지에 대하여 고찰하였다. 인장 시험 및 3점 굽힘 시험을 통하여 기계적 물성 및 굽힘 성도 확인하였으며, high-resolution digital image correlation method (DIC)를 이용하여 굽힘 거동시, TiN particle 및 lath martensite에서의 strain distribution과 strain localization을 확인하였다. 광학현미경, 주사전자현미경을 통하여 martensitic steel의 미세조직 및 TiN particle의 분포 및 형상을 확인하고, 굽힘 거동시에 TiN particle의 파괴에 의한 micro-void 발생 현상을 확인하였다.

[철강4-7 | 11:30]

인공신경망을 이용한 미세조직기반 고강도 API 라인파이프강의 변형능 예측: 홍태윤¹, 김재성¹, 이상인¹, P. L. Narayana², N. S. Reddy², 박찬희³, 황병철¹; ¹서울과학기술대학교, ²경상대학교, ³재료연구소

API(American Petroleum Institute) 라인파이프강은 원유나 천연가스를 수송하는데 사용되는 강재로 장거리 및 고압 환경에서의 효과적인 자원 수송을 위해 고강도 및 고인성이 요구되어왔다. 그러나 최근 동토지대, 심해저 및 지진대와 같은 극한 환경에서의 유전개발이 진행됨에 따라 이러한 극한 환경에서 발생하는 점진적인 또는 급격한 변형에 대한 파괴 저항성을 증가시키기 위해 고변형이 추가적으로 요구되고 있다. 이에 따라 우수한 변형능을 갖는 API 라인파이프강을 위해 변형기초설계(strain-based design)가 도입되고 있으며, 이를 평가하는 방법으로 항복비, 균일 연신율 및 가공경화지수 등이 널리 사용되고 있다. 하지만 이 강재들은 다양한 화학 조성과 복잡한 제조 공정 조건에 의해 polygonal ferrite, acicular ferrite, granular ferrite 및 bainitic ferrite 등의 복잡한 저온 변태 조직으로 구성되어 있어 미세조직이 변형능에 미치는 영향에 대한 정확한 이해가 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는

API 라인파이프강의 미세조직 및 인장 특성 데이터를 수집한 후 선형회귀분석 및 역전파 학습 알고리즘(back propagation algorithm)의 인공신경망(artificial neural network)을 통해 고강도 API 라인파이프강의 미세조직과 변형능의 상관관계를 고찰 및 예측하고자 하였다.

[철강4-8 | 11:45]

열역학 시뮬레이션 기반 합금설계를 통한 9Cr-1Mo 용착금속 고온(600 °C) 인장물성 향상: 문병록¹, 윤상희², 김한열³, 최기용², 정우상³, 강남현¹, 조경목¹; ¹부산대학교 재료공학부, ²고려융접봉 중앙기술연구소, ³한국과학기술연구원 고온에너지재료연구센터.
Keywords: 9Cr-1Mo steel, Weldments, Thermodynamic simulation, High temperature tensile test

인구 증가 및 IT 기술 발달로 전력 생산 요구 증가와 자연보호 및 에너지 효율적 사용을 충족하기 위해 발전소 효율을 증대시키는 방향으로 연구가 이루어지고 있다. 고온 고압의 증기 분위기에서 전력생산이 이루어져야 발전 효율을 높일 수 있다. 또한 발전 플랜트 철강 구조재료의 연결은 용접이 필수적이다. 따라서, 용착금속 역시 고온 고압의 증기 분위기에 노출되므로 고온 기계적 물성의 향상이 관건이다. 이에 본 연구에서는 9Cr-1Mo강의 상용품 규격 범위 내에서, 열역학 시뮬레이션(ThermoCalc)을 이용하여 합금 원소에 따른 600 °C 상분을 영향을 확인하여 합금설계를 진행하고 시편을 제작하였다. 고온(600 °C) 인장시험 결과, 합금설계 반영 시험편의 항복강도(YS), 최대인장강도(UTS), 연신율(EL) 모두 증가하였다. 파면 관찰 결과 미세 void가 입계에서 주로 생성되었으며, 기계적 물성이 높은 합금설계 반영 시험편에서 미세 void가 보다 적은 것을 확인 할 수 있었다. TEM-EDS로 Cr-rich M₂₃C₆ 및 V, Nb-rich MX 형태 석출물의 존재를 확인하였으며, 합금설계 시험편에서 Cr-rich M₂₃C₆ 석출물 분율이 더 높은 것을 확인하였다.

[철강5-1 | 13:00]

Mn 함량에 따른 고망간강의 저온에서의 수소취성 거동 변화: 조장윤, 서현주, 이종수; 포스텍(포항공과대학교).
Keywords: 고망간강, 수소취성, 저온

고망간강은 면심입방구조(Face centered cubic)를 가지고 있어 일반적인 강재와는 다르게 저온에서 취성전이기가 나타나지 않으며, 그로 인하여 저온재료로서의 가치가 높다. 고망간강의 수소취성은 적층결함에너지(Stacking fault energy)와 연관이 있다고 알려져 있으며, 일반적으로 높은 적층결함에너지를 가질 때 수소취성 저항성이 높다고 알려져 있다. 이런 적층결함에너지는 합금원소의 영향을 많이 받지만, 온도에 의한 영향 역시 받는다. 합금원소에 따른 적층결함에너지 변화에 의한 수소취성 거동 변화 연구는 많이 이루어졌으나, 저온재료로서의 가능성에도 불구하고 온도에 의해 변화한 적층결함에너지에 따른 수소취성 현상 변화 및 안정성에 대한 연구는 깊이 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 고망간강의 저온에서의 수소 취성 거동을 평가하기 위해 다른 망간 함량을 가진 강재를 전기화학적 방법으로 수소를 주입한 뒤 상온(25°C)부터 저온 (-75°C)의 온도 범위에서 저 변형률 인장시험 (Slow strain rate test) 를 진행하였다. 망간 함량에 따라 다른 형태의 수소취성 저항성 변화 거동이 나타났으며, 이를 해석하기 위하여 변형 전후 미세구조 및 변형 거동을 전자후방 산란회절(Electron backscatter diffraction, EBSD) 및 X-ray 회절분석을 이용하여 분석하였다.

[철강5-2 | 13:15]

V/Mo 첨가 비율에 따른 템퍼드 마르텐사이트 조직강의 수소취성 거동 변화: 서현주¹, 조장윤¹, 이준모², 최상우², 이종수¹; ¹포항공과대학교 철강대학원, ²포스코 기술연구원.
Keywords: 템퍼드 마르텐사이트, 수소취성, 탄화물

템퍼드 마르텐사이트 조직강은 비교적 간단한 열처리를 통하여 높은 강도와 충분한 연성을 확보할 수 있기 때문에 선제 산업에서 많이 사용된다. 하지만 템퍼드 마르텐사이트 조직강에 수소가 유입되면 오스테나이트 입계에 수소가 편석되어 입계 파단을 발생시키기 때문에 수소취성 저항성을 향상시키기 위해서는 입계에 수소 편석을 방지하는 것이 중요하다. 템퍼드 마르텐사이트 조직강의 수소취성 저항성을 향상시키기 위하여 다양한 연구가 진행되어 왔는데 대표적으로 기지 내 탄화물을 석출시켜 재료 내 수소 확산을 억제시키는 방법이 있다. 하지만 기존의 연구는 탄화물 형성 원소를 단독으로 첨가하였을 때 탄화물이 수소취성 저항성에 미치는 영향에 대해 집중되어 왔으며 탄화물 형성 원소가 복합적으로 첨가되었을 때 탄화물이 수소취성에 미치는 영향에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 탄화물 형성 원소인 V와 Mo를 복합적으로 첨가하고 V/Mo 첨가 비율에 따라 탄화물이 수소취성 저항성에 미치는 영향을 연구하였다. V와 Mo를 첨가하였을 때 첨가하지 않은 경우에 비하여 우수한 강도를 나타냈으며, V/Mo 첨가 비율이 높은 경우에 우수한 수소취성 저항성이 나타났다. 이를 해석하기 위하여 탄화물의 특성 및 수소 트랩 거동을 투과 전자현미경 및 열 방출 분석을 이용하여 분석하였다.

[철강5-3 | 13:30]

용융 은 내에서의 FeCrAl 합금 고온 부식 거동 분석: 임규석¹, 조수행², 권숙철¹, 이종현¹; ¹충남대학교, ²충남대학교 급속응고신소재연구소.
Keywords: Solid Oxide Membranes, FeCrAl alloy, Molten Silver, high temperature corrosion, oxidation

Solid Oxide Membranes (SOM) 공정은 전기 환원을 통하여 다양한 금속산화물을 각각의 금속으로 환원시키는 기술이다. SOM 공정은 온실가스를 배출하지 않아 환경친화적이며 차세대 혁신 금속 환원 공정으로 각광받고 있다. SOM 전기환원 공정 중에 원하는 금속이 음극에서 생성되며 양극에서는 순수한 산소가 발생한다. SOM 내부에는 용융은이 채워져 있으며 그안에 FeCrAl 전극이 배치되어 있다. 그로 인하여 운반된 산소 이온이 금속이 부식 될 수 있는 환경을 제공한다. 따라서 본 연구에서는 1423K의 용융은 내에서의 FeCrAl 합금의 부식 거동에 대하여 연구하였다. 부식 시간에 따라 부식된 층의 표면과 단면은 SEM, EDS를 이용하여 형상 및 원소 분포 분석과 표면의 XRD 패턴을 분석한 결과를 분석하여 재료의 부식특성 및 거동을 규명하고자 하였다.

[철강5-4 | 13:45]

Zr 첨가가 고 망간강의 내부 산화 거동에 미치는 영향 해석: 이동원¹, 허윤옥¹, 이재상¹, 조원태², 강명훈², 임창희¹; ¹포항공과대학교 철강대학원, ²포스코 기술연구소

Keywords: Oxidation, high Mn steel, Zirconium

통상적으로 고Mn강은 높은 강도와 성형성을 가지고 있어 많은 활용범위를 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 하지만 고Mn 강은 고온 가열시 일반 탄소강에 비해 표면에 두꺼운 산화층이 형성이 되고 이로 인해 최종 제품에 결함을 일으키기도 한다. 따라서 본 연구에서는 고Mn강의 합금 성분에서 산화 거동에 대해 조사하였다. 이를 위해, 일반 고Mn강과 Zirconium이 첨가된 고Mn강의 모시편을 진공 용해 방법으로 제조하였다. 이를 통해 고온에서 산화 시험을 진행하였고, 시편의 내부 산화 거동을 광학 현미경, EPMA, EBSD 등으로 분석하였다. 강 내부 산화층은 일정한 두께를 가지는 균일 산화층과 입계를 따라 진행되는 입계 산화층으로 구별된다. 특히 Zirconium이 첨가된 고Mn강은 일반적인 고Mn강에 비해 균일 산화층은 크게 차이가 없으나, 입계를 따라 진행되는 내부 산화층 형성 속도가 지연되는 것을 확인하였고, 이러한 내부 산화 지연 메커니즘을 정립하였다.

[철강5-5 | 14:00]

Thermal Schedule에 따른 저탄소 합금강의 고온연성 거동 연구: 권상훈¹, 허윤옥¹, 이재상¹, 김동규², 임창희¹; ¹포항공과대학교 철강대학원, ²동아대학교

Keywords: 연속주조, 고온연성

고강도강을 생산하기 위해 다양한 합금 원소가 첨가되고, 이러한 합금 원소의 첨가로써 연속주조 공정 중 주편의 표면결함은 지속적으로 발생하고 있다. 주편의 표면결함은 압연후 제품표면의 품질문제를 야기시키므로, 이를 방지하기 위해 스카핑, 그라인딩 등의 추가적인 공정들이 필요하게 된다. 주편의 표면결함을 최소화 하기 위해, 일반적으로 강의 열간 연성을 측정한다. 그리고 그 결과를 바탕으로 연속 주조시 연성이 낮은 주편의 온도 영역이 연주시의 bending/unbending 영역과 일치하지 않도록 냉각조건을 설정한다. 그러나, 다양한 합금 원소가 첨가된 강의 경우 넓은 온도 범위에서 연성이 낮기 때문에, 냉각을 통해 그 온도를 제어하는 것은 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 시편을 냉각 후 승온하는 조건에 따른 열간 연성의 변화를 관찰하고 메커니즘을 조사 하였다. 이러한 열 이력을 시뮬레이션하기 위해 강은 1400°C에서 5 분 동안 용체화 처리를 한 다음 다양한 온도로 냉각시켰다. 이 때의 냉각 속도는 1°C / 초였다. 그 후, 시편을 재가열하여 목표 온도로 설정하고 인장 시험을 수행 하였다. 그 결과, 강의 연성을 회복 할 수 있는 조건을 확인하였고, 메커니즘을 정립하기 위해 조직 및 전자현미경 분석등을 실시하였다.

[철강5-6 | 14:15]

발전소재 1.25Cr-0.5Mo강에서 등온열화에 따른 M₂C 형성 거동 분석: 김명연¹, 정우상², 이영국¹, 심재혁²; ¹연세대학교, ²한국과학기술연구원

Keywords: 1.25Cr-0.5Mo steel, aging, M₂C, TEM

표준화력발전 시스템에서 재열기(CRH : Cold-reheater)의 소재로 1.25Cr-0.5Mo 내열강이 사용되고 있다. 1.25Cr-0.5Mo 강은 고온에서 장시간 노출 시 M₂C 석출에 의해 강도가 증가한다고 보고 되고 있다. 본 연구에서는 1.25Cr-0.5Mo 강에서 등온열화에 따른 M₂C 석출상의 형성 거동에 대해 XRD(X-Ray Diffraction) 및 투과전자현미경(TEM)을 이용하여 분석하였다. 등온열화 후 HCP의 구조를 보이는 M₂C 석출상이 FCC 구조의 Cr과 일정한 결정방위관계(crystalline orientation relationships)를 지니며 생성됨을 확인할 수 있었다.

[철강5-7 | 14:30]

Effect of Lanthanum Addition for the Oxidation Behaviors and Related Area Specific Resistance in Ferritic Stainless Steels for Solid Oxide Fuel Cell Interconnects: 고윤석^{1,2}, 김병규¹, 김동익¹, 한홍남²; ¹한국과학기술연구원, ²서울대학교

Keywords: Solid oxide fuel cell interconnects, Area specific resistance, Lanthanum, Oxidation

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) 관련 기술이 발달함에 따라 SOFC는 기존의 고온 환경 (~1000도)보다 낮은 온도인 800도 이하에서 사용 가능하게 되었다. 낮아진 온도로 인해 SOFC 제작 시 재료 선택의 폭이 넓어졌으며 특히 SOFC를 적층할 때 사용되는 분리판 소재의 경우 금속 재료가 높은 전도성과 우수한 성형성으로 인해 기존의 세라믹 분리판을 대체하는 추세이다. 하지만 금속 분리판이 고온에 장시간 노출될 경우 산화가 일어날 수 밖에 없으며 형성된 산화층이 추가적인 저항으로 작용하기 때문에 에너지 손실을 피할 수 없다. 따라서 금속의 산화 거동을 조절한다면 금속 분리판 사용 시 발생하는 에너지 손실을 최소화할 수 있다. 현재 분리판 소재로는 주로 고 Cr계 페라이트계 스테인리스강이 사용되고 있는데, 페라이트계 스테인리스강에서는 란타늄과 같은 희토류 원소를 소량만 첨가해도 고온산화 거동을 크게 변화시킬 수 있다고 알려져있다. 본 연구에서는 란타늄 첨가량을 0.1~0.6wt%로 변화시킨 강종들을 800도에 노출시킬 경우 강재들의 산화거동 차이를 SEM/TEM/TKD 등으로 관찰하여, 란타늄 함량 차이가 합금들의 산화 특성 변화에 어떤 영향을 끼치는 지를 분석하였다. 또한 이러한 산화물 형성 거동의 차이가 연료전지 분리판의 핵심 인자인 면저항 (area specific resistance) 특성에 미치는 영향을 확인하고, 산화 과정 중 어떤 요인이 소재의 전기적 물성에 주도적으로 영향을 미치는지에 대해 고찰하였다.

[철강5-8 | 14:45]

Influence of Manganese on the Microstructure and Mechanical Properties of Oxide Dispersion Strengthened Steels: 앤드류¹, 김정환¹, 나민영², 장혜정², 박태성¹, 김형찬³, 노상훈⁴; ¹한밭대 신소재공학과, ²한국과학기술연구원, ³한국생산기술연구원, ⁴한국원자력연구원

Keywords: Oxide Dispersion Strengthened Steels, Manganese, Microstructure, Mechanical Properties

Keywords: oxide dispersion strengthened steel; instrumented charpy test; manganese; nanoparticles; deformation twins

The effect of Mn content on the microstructure and the mechanical properties of oxide dispersion strengthened (ODS) steel were examined. It was observed that the addition of 25 weight % Mn to ODS25 resulted in the transformation of a full ferrite phase to an austenite and an ϵ_{hcp} -martensite phases. ODS0 steel without Mn addition contained fine Y-Ti-O oxide particle with high number density. In contrast, ODS25 contained TiMn_2O_4 and relatively coarser $\text{Y}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ oxide particles with lower number density. The TiMn_2O_4 oxide particle showed a crystallographic orientation relationship with the matrix phase. In addition, high density of deformation twins was observed in tensile deformed ODS25 but absent in tensile deformed ODS0. ODS25 exhibited higher room temperature tensile ductility and Charpy impact energy compared with ODS0 steels.

[철강6-1 | 15:10]

Orientation Image Processing과 머신러닝(Machine Learning)을 활용한 다상복합조직 철강의 상분석: 강전연¹, 이충안², 강민우², 권순우², 박성준¹, 홍승현²; ¹재료연구소(KIMS), ²현대자동차그룹 금속재료리서치랩.

Keywords: steel, phase analysis, orientation image processing, electron backscatter diffraction, machine learning

최근 구조용 철강 재료는 강도뿐 아니라 우수한 성형성 등 다양한 특성의 구현을 위해 미세조직을 다상복합화하는 추세이다. 특히 페라이트, 베이나이트 및 마르텐사이트 등 오스테나이트의 상변태에서 유래한 다양한 구성상들의 구성비는 이러한 제품의 물성과 성능에 매우 큰 영향을 미친다. 따라서 제품 개발 과정에서 이러한 구성상들을 일관되게 구분하고 그 구성비를 측정하는 분석 기술을 필요로 하나, 상호 중복되는 형상 및 결정학적 특징에 기인한 어려움이 따라왔다. 본 연구에서는 페라이트-베이나이트 복합 기지를 가지는 시험편을 활용하여 구성상의 구분에 후방산란전자회절(electron backscatter diffraction, EBSD)이 주는 미세조직의 다양하고 깊이 있는 정보를 활용하는 방법을 논의하였다. 또한 최근 폭발적인 발전 양상을 보이는 머신러닝의 방법론들을 EBSD로부터 얻은 미세조직의 이미지(orientation image micrograph)에 적용하고, 구성상들을 효과적으로 구분해낸 결과들을 제시한다.

[철강6-2 | 15:25]

오스테나이트계 FeMnAlC 경량철강의 물성에 미치는 합금원소의 영향: 박성준¹, 문준오¹, 박준영¹, 장재훈¹, 이창훈¹, 김성대¹, 강전연¹, 신종호², 정재석², 홍현욱³, 이재현³, 한홍남⁴, 이창희⁵; ¹한국기계연구원 부설 재료연구소, ²두산중공업, ³창원대학교, ⁴서울대학교, ⁵한양대학교

Keywords: Light-weight steel, Density, Mechanical properties, Alloying elements

경량철강은 Al과 같은 치환형 경량원소를 함유하여 일반 철강소재 대비 밀도가 낮은 강으로, 수송기기, 무기체계, 발전설비 등에 적용시 경량화에 따른 다양한 이점을 기대할 수 있다. 경량철강 중에서 오스테나이트계 FeMnAlC 합금은 오스테나이트 안정화 원소인 Mn과 C를 다량 함유하며, 경량화 효과와 기계적 특성이 우수하여 많은 관심을 받고 있다. 경량철강이 상용 철강 소재를 대체하기 위하여 중요한 물성인 밀도와 경도, 강도 등의 기계적 특성은 합금원소에 의해 영향을 받는다. 본 연구에서는 FeMnAlC 합금의 주요 구성 원소인 Mn, Al, C를 포함하여 다양한 합금원소 첨가에 따른 밀도 변화와 고용강화, 석출강화, 결정립 미세화 등에 의한 기계적 특성 변화를 정리하고, 미세조직 분석과 연계하여 고찰하였다. Si, Mo, Mn 등의 합금원소에 대해서는 제일원리 해석을 이용하여 기계적 특성에 영향이 큰 κ -탄화물 형성에 미치는 영향을 고찰하였다.

[철강6-3 | 15:40]

오스테나이트계 FeMnAlC 경량철강의 시효열처리에 따른 변태기구와 기계적 특성에 대한 연구: 문준오¹, 박성준¹, 장재훈¹, 김성대¹, 이창훈¹, 이태호¹, 이봉호², 한홍남³, 홍현욱⁴; ¹재료연구소, ²DGIST, ³서울대학교, ⁴창원대학교

Keywords: 경량철강, 시효경화, 규칙상, κ -carbide, β -Mn

본 연구에서는 경량철강의 시효열처리 특성을 확인하기 위하여 Fe-30Mn-10.5Al-1.1C-3Mo (wt%)의 화학성분을 갖는 오스테나이트계 경량철강을 제조하였다. 합금은 진공용해 및 열간압연을 통해 제조되었으며, 이후 1050°C에서 용체화 열처리를 통해 오스테나이트 기지를 갖는 모재 시험편을 제조하였다. 시효열처리는 675°C에서 100~50000sec에 걸쳐서 실시하였으며, 시효 시간 증가에 따른 미세조직 및 물성변화에 대해 연구하였다. XRD와 TEM을 이용하여 분석한 결과, 시효열처리 전 모재는 오스테나이트와 κ -carbide로 구성되어 있었으며, 시효시간이 증가함에 따라 DO_3 상, β -Mn상, B2상, Mo-enriched M_6C 석출물 등이 차례로 생성되는 것을 확인하였다. 본 연구에서는 추가적으로 3D-APT 분석 및 Thermo-calc.를 활용한 열역학 계산을 통해 이러한 상변태 거동을 해석하였다. 한편, 시효열처리 시간이 증가함에 따라 경도는 지속적으로 증가하였으며, 특히 β -Mn상이 생성되면서 급격히 증가하는 것을 확인하였다.

[철강6-4 | 15:55]

탄소강의 스케일 박리성에 미치는 열연 공정의 영향: 김득중; POSCO기술연구원

Keywords: 스케일, 박리, 냉각, 계면 조도, 스케일 두께

스케일 박리는 열연 표면의 스케일 두께, 스케일/모재 계면 조도, 열간압연시 냉각 조건에 영향을 받는다. 스케일/모재 계면 조도는 스케일 두께가 증가하거나 열간압연 온도가 감소할 경우 더 거칠어지는 것을 lab scale의 열간압연 모사를 통해 확인할 수 있었다. 스케일 박리에 영향을 미치는 주요 인자는 스케일 두께, 냉각 시작온도 및 냉각 속도로 확인 되었으며, 스케일/모재 계면 조도는 그 영향정도가 작은 것으로 나타났다.

[철강6-5 | 16:10]

다변량 통계분석법을 이용한 고질소강에서의 Cr₂N 석출상 공핍영역 검출: 배지환¹, 장재훈², 이태호², 하현영², 김홍규¹, 정영우¹, 김금호¹, 김주영³, 이규형³, 천동원¹; ¹한국과학기술연구원, ²재료연구소, ³연세대학교

Keywords: Austenite stainless steel, Cr₂N precipitate, depletion region, TEM-EDS, MSA

대표적인 오스테나이트계 스테인리스강인 FeCrNi계 강재에서 Ni는 오스테나이트 조직을 안정하기 위한 필수 원소이다. 하지만 Ni의 높은 원가와 인체 유해성 및 제조시 환경 부담 등의 단점으로 인해 Ni 사용을 배제한 FeCrMnN 기반의 고질소강 (High nitrogen stainless steel, HNS)이 대체재로 연구되었다. Ni 대신에 첨가되는 고용 상태의 N으로 인해 HNS는 스테인리스 강 of 국부 부식에 대한 내성뿐만 아니라 피로 거동, 저온 및 고온에서의 강도, 냉간 가공 경화, 내마모성 등이 우수한 장점을 가질 수 있기 때문이다. 그러나 FeCrMnN 계 HNS 강재는 다량(>0.4wt.%)으로 고용되는 N으로 인해 고온 (750°C 이상) 에서 Cr₂N 석출상이 형성되는데, 이 Cr₂N 석출상은 강재의 강도, 인성 및 피로 수명을 포함한 기계적 성질과 부식성까지도 저하시키는 것으로 알려져 있다. 제반 물성 저하의 원인으로 Cr₂N 석출상이 생성될 때 주변부에 형성되는 Cr과 N의 공핍영역이 지목되어왔고 이를 직/간접적으로 증명하기 위한 다수의 연구가 진행되었다. 3D-APT(Atom-probe Tomography) 분석법을 이용하여 Sub-micro 크기의 Cr₂N에 인접한 영역의 합금원소 농도의 수 nm 이하 영역의 국부적인 결핍영역 직접 관찰이 가능하다. 하지만 3D-APT은 난해한 샘플링 과정 및 좁은 분석가능영역 (10 × 10 × 100 nm³)등의 어려움이 있는 실정이다. 본 연구에서는 분석과정이 용이하여 널리 사용되고 있는 투과전자현미경 STEM-EDS (Scanning Transmission Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) 분석 및 분석결과의 다변량 통계분석법(Multi-variate statistical analysis; MSA) 적용을 통해 Cr₂N 석출상 주변 공핍영역을 검출하는데 성공하였다. 다변량 통계 분석법 중 비지도 학습 기계학습 (Unsupervised machine learning) 알고리즘인 주성분 분석 (Principal component analysis; PCA) 및 독립성분 분석(Independent component analysis; ICA) 알고리즘을 통한 spectrum의 차원감소 및 개별 독립원소 추출을 통해 denoising을 통한 EDS 검출한계 (Detection limit)가 향상됨을 확인하였고 이를 통해 STEM-EDS 분석에서 검출되지 않은 Cr₂N 석출상 주변 질소 공핍영역을 검출하였다.

[철강6-6 | 16:25]

산업기계용 고경도 내마모강 개발: 유승호, 정영진, 정환교; 포스코 기술연구원

Keywords: Brinell hardness, Abrasion resistant, Pos AR, Martensite

내마모강은 중장비, 하역설비, 토목-지질장비 등 산업 현장 전반에 걸쳐 매우 광범위하게 사용되는 구조용강이다. 내마모강의 경우 표면경도에 따라 사실 상 제품의 사용 수명이 결정되기 때문에 고 경도 제품의 시장수요는 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 이 발표에서는 포스코 내마모강 브랜드인 'Pos AR'의 기계적 특성, 미세조직과 함께 용접/절단 이용기술에 대해 간략히 소개한다. 통상 내마모강은 제품 표면부의 브리넬 경도(HBW) 값을 기준으로 Grade가 나뉘며, 원하는 Grade의 제품을 만들기 위해 0.1% 이상의 C에 Mn, Mo과 같은 경화능 합금원소를 주로 첨가한다. 제조공정은 제조사마다 다소 차이는 있으나 가열-압연-열처리-냉간교정을 실시함으로써 제품의 물성과 형상을 확보하게 된다. 연구개발 결과, Pos AR의 제조가능 범위는 HB400/450/500급으로 두께는 최소 5mm부터 최대 80mm까지이다. 열간압연 및 열처리를 거쳐 제조된 Pos AR의 최종 미세조직은 래스 마르텐사이트(lath martensite)이며, 적정 합금설계와 열처리를 통해 표면 뿐만 아니라 중심부(t/2: 는 제품 두께)까지 일정 수준 이상 경도 보증이 가능하다. 현재 Pos AR은 글로벌 중장비사인 볼보, 두산인프라코어의 굴삭기 버킷에 쓰이고 있으며, 타타대우상용차 트럭제재함과 파쇄기 날 (Blade) 등 내수시장 뿐만 아니라 수출을 통해 그 적용 범위를 확대할 예정이다.

[철강7-1 | 16:45]

In-Situ SP시험을 사용한 고압수소가스하 수소에너지용 강재의 재료적합성 평가 방법: Hyung-Seop Shin¹, Un-Bong Baek²; ¹Andong National University, ²KRISS

Keywords: embrittlement (HE), in-situ small punch (SP) test, relative reduction of thickness (RRT), punch velocity, high pressure hydrogen, low-temperature, austenitic steels

In this study, a simple screening technique based on the pressurized gas hydrogen embrittlement (HE) behaviors of the austenitic structured steels for hydrogen energy facilities was developed using an in-situ small-punch (SP) test. To investigate the HE behaviors of metallic materials, the in-situ SP tests were carried out under a high-pressure hydrogen gas environment. The reduction of thickness (RT) at the fractured parts of the specimen occurred by the SP tests was measured. The relative reduction of thickness (RRT) of the specimen thickness under both H₂ and inert gas environments was determined. As an influencing factor of the HE behaviors suitable for the in-situ SP test, the RRT has a similar meaning in quantitatively as the relative reduction of area (RRA) obtained by the slow strain-rate tensile test (SSRT). At this time, the influence of the punch velocity on the HE sensitivity during in-situ SP testing was also examined. Especially, the HE behavior of the high-Mn steels which is considered as candidate materials for storage and transportation of the hydrogen gas was evaluated. The HE behaviors of austenitic steels were evaluated qualitatively and quantitatively. Consequently, a screening technique for determining the practical environmental conditions where the materials to be used could be established by confirming the effectiveness of the influencing factor, RRT, obtained by the in-situ SP test method. This research was supported by Development of Reliability Technology of Standard Measurement for Hydrogen Convergence Station funded by Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS - 2017 - GP2017-0014)

[철강7-2 | 17:00]

고탄소 펄라이트 강재의 내응력부식특성에 미치는 합금원소의 영향: 김현진, 양요셉, 이충열; *POSCO 기술연구원.*

본 연구에서는 현수교 케이블 및 콘크리트 보강용 강선으로 사용되는 고탄소 펄라이트 강선의 20% NH_4SCN 용액에서의 내응력 부식특성의 향상을 위하여 합금성분을 제어하는 방법을 제시하고자 한다. 신선가공된 과공석강의 내응력부식특성을 향상시키기 위하여 Ni, Cu, Cr을 첨가하는 경우 부식저항성 향상 및 강재내부로의 수소 취입량의 변화를 확인할 수 있었으며, 또한 표면의 부식 pitting 생성을 억제하여 응력집중에 의한 균열발생 및 성장을 억제할 수 있었다. 강재의 부식속도의 저하, 수소 취입량의 감소, 표면 pitting 억제를 통해 종합적으로 내응력부식특성을 향상시킬 수 있었으며, 이러한 목표를 달성하기 위하여 합금성분을 단독으로 사용하는 것보다는 첨가량을 제어하여 복합적으로 활용하는 것이 가장 우수한 내응력부식 저항성을 확보할 수 있었다.

[철강7-3 | 17:15]

미세 석출물 활용 크롬강 고온 크리프 수명 증대 연구: 성현제, 김대우, 정환교; *POSCO 기술연구원.*

Keywords: 크롬강, 내열강, 크리프, 석출물, 철강

발전 및 정유/정제 산업에 있어서 고려해야 할 사항은 환경 친화적 설비의 건설과 에너지 이용의 고효율화이다. 발전 효율의 증가를 위해 터빈에 공급되는 증기의 온도 및 압력의 증가가 요구되고, 또한 정유/정제 산업에서도 최근 환경 규제 강화로 고효율화를 위해 증가된 온도 및 압력을 견딜 수 있는 강재 개발이 우선시 되고 있다. 내열 크롬강의 고온 크리프 강도를 장시간 유지시키기 위해 고용 강화 및 석출 강화 방법이 적용된다. 더불어 탄소 함량을 0.002 wt.%로 극도로 줄임으로써 불안정하고 쉽게 조대화 되어 크리프 특성을 저하시키는 M_{23}C_6 탄화물 형성을 억제하고, 미세한 탄질화물을 석출시켜 크리프 특성을 크게 향상 시킨 내열강도 제안되었지만, 위와 같이 탄소 함량을 낮춘 내열강을 상업적으로 대량 생산하는 것은 거의 불가능하다. 본 연구에서는 탄소 함량을 극도로 낮추지 않고도 M_{23}C_6 탄화물과 같은 조대 석출물 형성을 억제하고 미세한 탄질화물만을 형성시켜 고온 크리프 특성을 향상시키는 방안을 제안한다. 본 연구 재료인 ASTM A542D강 (2.25Cr1MoVNbTi) 내 바나듐 함량 증가에 따라 M_{23}C_6 탄화물 형성 구동력이 작아지게 되고, 결과적으로 M_{23}C_6 탄화물 형성을 완전히 억제할 수 있다. 크롬 함량이 2.0~2.5 wt.%의 크롬강에서 M_{23}C_6 탄화물 형성을 억제하기 위해 강재의 열처리 온도 및 크리프 온도를 고려하여 바나듐을 합금하였고, 이 강재들은 아결정립계를 따라 석출된 미세한 석출물만을 보인다. 이와 같은 미세 석출물들이 고온에서의 전위 이동을 효과적으로 방해할 뿐만 아니라 아결정립의 이동 또한 효과적으로 막아 그 안정성을 확보함으로써 기존의 크롬강에 비해 크리프 특성이 크게 개선된다.

[철강7-4 | 17:30]

Si 함량에 따른 고강도강의 고온 스케일 상변태의 in-situ 방사광 XRD 연구: 장창환¹, 주만길¹, 김성일²; ¹RIST, ²POSCO.

Keywords: In-situ synchrotron X-ray diffraction, phase transformation, oxide scale, hot-rolled high-strength steel

Si 함량이 다른 고강도강에 형성되는 고온 산화 스케일의 상변태 전개를 규명하기 위해 in-situ 방사광 XRD 관찰을 수행하였다. 시료를 산화분위기에서 설정 온도(2 조건: 950 °C, 1020 °C)에서 산화 스케일을 형성하고 냉각하여 균열 온도(2 조건: 650 °C와 450 °C)에서 20 분 동안 유지시킨 후 최종 실온으로 냉각시켰고, 이 과정에서 매 2초마다 시료 표면의 XRD 패턴을 얻었다. 1020 °C의 온도에서 형성된 스케일은 이어지는 냉각 과정에서 950 °C에서 형성되는 것보다 높은 FeO의 변태 온도를 보였다. 1 wt % Si를 첨가한 강은 스케일 형성 후 냉각 과정에서 FeO의 변태 온도가 0 wt % Si 첨가 강보다 높았고, 더 짧은 incubation 시간을 보였다. 최종 냉각 후 스케일의 상 분율은 1 wt % Si 첨가 강은 $\text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_3\text{O}_4 > \text{FeO}$ 의 순서였고, 0 wt % Si 첨가 강은 $\text{Fe}_3\text{O}_4 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{FeO}$ 의 순서를 보였다.

[철강7-5 | 17:45]

Small-Scale Nanoindentation Plasticity of a High-Bendability Martensitic Steel: 유병길¹, 송치용¹, 양광휘², 도형협¹, 허성열¹, 장재일², 김성주¹; ¹현대제철 기술연구소, ²한양대학교 신소재공학과.

There is an increasing demand for higher crashworthiness on hot press hardened steel products under the current automotive structure. During hot stamping process, the conventional material: the boron steel 22MnB5 is initially austenized, then deformed and quenched for 1500MPa grade with full martensitic microstructure. To obtain a better performance, a martensitic concept with low carbon concept has been developed for application in "Best-in-Class" for crash ductility(i.e., bendability). Here, nanoindentation testing was used to investigate the deformation behaviour of a conventional 22MnB5 and low-carbon lath martensitic microstructures obtained from press hardened process showing two clear different bendability. The results are discussed in terms of plasticity with sharp indentation strain which might be a useful parameter in analyzing localized plasticity of lath martensite.

문화재 속 전통과학, 현대과학 기술과 만나다

Room 700B, 4월 25일

[전통-1-1 | 09:00]

청동제 종의 미세조직 관찰을 통해 본 제작 및 부식 특성: 김소진¹, 한우림², 황진주¹; ¹국립문화재연구소, ²국립가야문화재연구소

Keywords: 청동기, 범종, Cu-Sn-Pb, 미세조직, 부식

두정사 범종을 포함한 출토지 불명의 범종의 미세조직 관찰을 통해 Cu-Sn-Pb 합금의 부식 특성을 확인하고자 하였다. 두정사 동종은 고려 말인 13세기에 만들어진 것으로, 6.25때 불에 그을려 전체적으로 흑적색을 띠고 있다. 광학현미경을 통해 표면에는 쌍정이 발달한 등축조직이, 내부에는 주조조직이 존재하여 열처리로 인한 재결정화를 확인할 수 있다. 기타 청동제 종은 출토지와 출토 경위가 불명한 범종으로 성분분석을 통해 Cu-Sn-Pb 3원계 합금으로 확인되었다. 이들 범종은 부식으로 인해 내부의 주석이 용출되어 표면에 고주석의 부식생성물이 존재하였으며, 편석된 납 입자가 부식되어 2차 생성구리로 대체되었음을 알 수 있다. 특히 두정사 범종은 표면에 피열로 인한 입계부식이 존재하며 침상의 고주석 부식생성물을 관찰할 수 있었다. 본 연구를 통해 3원계 청동기의 부식 과정 및 피열 청동기의 미세조직 특성을 확인하였다. 청동기의 장기부식 연구 및 분석 방법의 개발 등을 통해 출토 청동기와 의사 청동기의 구별이 가능해지길 기대해 본다.

[전통-1-2 | 09:15]

부여 능산리 1호 출토 목관 금동관장식의 제작방법 분석: 신용비¹, 이민희¹, 김규호²; ¹국립부여박물관, ²공주대학교

Keywords: Neungsan-ri Ancient Tombs, Wooden Coffin, Ornamant, Gilt-bronze, mercury amalgam

부여 능산리 고분군은 유네스코 세계문화유산으로 등재되어 있고 그 중에서 1호인 동하층은 왕릉급 무덤으로 출토된 목관은 금동마구리장식판과 금동관정 등 관장식이 잘 남아 있는 백제 사비시기의 목관이다. 목관은 일제강점기인 1917년에 발굴되어 조선총독부 박물관 전시를 위해 나무틀에 고정하여 보존된 상태였다. 그러나 목관 뚜껑 마구리장식판이 휘어져 있고 목관재 및 금동관정은 일부만 잔존해 있었다. 본 연구에서는 능산리 1호분 출토 목관의 관장식을 연구대상으로 하여 단면 관찰 및 화학 조성 분석을 통해 목관 제작에 사용된 재료의 특성 및 제작방법 등을 조사하였다. 그 결과 금동마구리장식판과 금동관정, 금동제 사복은 소지로 순동을 이용하고 수은아말감 기법으로 도금한 것을 확인하였다. 금동관정의 경우는 관정 두부뿐 아니라 신부에서도 금이 검출되었다. 목관 뚜껑 족부쪽에 사용된 관정에서는 신부 전면에 도금이 되었을 가능성이 높다. 대형 금동관정은 확인이 가능한 7점 가운데 6점이 철지금은장으로 철에 은판을 입힌 후 그 위에 금도금하였다. 도금층 두께는 뚜껑 족부쪽에 사용된 금동마구리장식판과 금동관정이 목관 두부쪽에 비해 2배 이상 두껍게 확인된다. 따라서 목관 양단측에 사용된 관장식은 동일한 성분의 재료를 사용하였으나 도금횟수가 달랐을 것으로 판단된다.

[전통-1-3 | 09:30]

The Silla Unification and Its Impact on Social Transformations as Inferred from Diachronic Changes in Bronze Technology: Jang Sik Park; *홍익대학교 세종캠퍼스*

Korean Bronze Age, famed for the production of bronze daggers and mirrors, began with a technological tradition based on the use of casting as the major fabrication technique and the use of high tin alloys with frequent lead additions. Korean bronze technology, however, experienced a notable transition at a certain period, which was reflected in alloy composition and fabrication technique as well as in artifact makeup. The earlier alloy tradition characterized by their high and variable tin and lead contents continued in practice while a new tradition based on the specific alloys of near 22 % tin content without lead started dominating historical bronze industry of Korea from around the Silla Unification. This change accompanied the introduction of new thermo-mechanical treatments involving forging and quenching in fabrication. The rise of iron technology may have replaced bronze in most items especially in tools and weapons, enforcing bronze to find its major application in areas where iron was undesirable. In fact, bronze served as a key material in the later period for making domestic items including bowls, spoons, chopsticks and smoothing irons as well as items for ornamental purposes such as mirrors and hairpins. The examination of bronze objects recovered from the Great Hwangnam Tomb in Gyongju, securely dated to the mid 5th century AD, produced critical clues about the evolution of Korean bronze technology. Their tin level was determined at around 10% or below with no evidence of lead addition. Forging played an important role in bronze fabrication while casting was still in use, but only for making relatively higher tin objects. Forging, generally followed by the thermal treatment for annealing, was applied to objects made from unalloyed copper or low tin bronze alloys. It was also noted that small decorative objects made of unalloyed copper were coated either with gold or silver, intending evidently to promote the visual effects. Mechanical working applied to bronze together was likely necessary to meet the demand for domestic and ornamental items, most of which were difficult to be shaped exclusively by casting. The selection of unleaded copper or low tin alloys for forging was then an educated decision made depending on practical experiences. In this case, however, no noble color characteristics such as those available with high tin bronzes can be obtained, which apparently necessitated the coating of the surfaces with gold or silver. The visual effects, determined by shape and color, were therefore achieved in a complicated process of forging followed by coating. Evidently, the implementation in the later period of the unique high tin bronze technology was greatly motivated by this technological ineffectiveness that could not handle the large-scale demand for such

products, likely in keeping with shifting sociopolitical environments of the Silla society. This work was financially supported by the National Research Foundation of Korea (NRF- 2017R1A2B4002082). *Keywords:* s: Bronze technology; Diachronic change; Silla Unification; Social transformations

[전통1-4 | 09:45]

EIA bronze technology and the rise of stratified mobile communities in the steppe of Central Kazakhstan: Jang Sik Park; 홍익대학교

The coming of the Early Iron Age (EIA) in the steppes of Eurasia around the early 1st millennium BC is notable for the beginning and establishment of a nomadic pastoral lifeway, which had a long-lasting impact on cultural and sociopolitical environments of the region for the ensuing millennia. This era is of particular significance to the history of central Kazakhstan, which served as a focal point from which signs of increasing mobility began to spread away into the neighboring steppe areas. The new lifestyle emerged in keeping with the exploitation of horses as a means for movement and transportation. Despite its notable effect on the shaping of the steppe and the world history, the EIA transition in central Kazakhstan is poorly understood and should be better characterized by evidence coming from varying scholastic fields. Bronze technology was one of the most influential material cultures bearing witness to the technological, social and cultural transitions that accompanied the rise of the EIA. The appearance of iron, replacing bronze in many areas, inevitably caused significant changes in the way bronze was employed, whether for utilitarian or ornamental purposes. With this fact in mind, bronze assemblages recovered from the EIA sites located in Central Kazakhstan were subjected to visual and microscopic investigation for a comparative study aiming at characterizing the EIA bronze tradition in terms of artifact makeup, alloy recipe and the method of fabrication. One of the key results was found in the discriminated use of tin and arsenic in the preparation of copper alloys for making various metal objects, enforced evidently by limited access to tin. This result, when reviewed together with the pertinent artifact makeup, revealed the special emphasis put on making arrowheads, the need for status items and the implementation of an arsenic-based alloy recipe to meet specifically the demand for mass production of horse-related items. These findings may be integrated to provide a coherent illustration of the sociopolitical settings confronting EIA societies in central Kazakhstan. Warfare as inferred from the recovery of quality arrowheads is indicative of frequent conflicts between steppe tribes. The sign of enhanced mobility as reflected in the large-scale demand for horse trappings may then be understood as indicating the intensification of such conflicts in terms of the number of people mobilized and the territorial extent they covered. Moreover, mobilization of large-scale armed forces likely involved significant politics and social structures with distinction between leaders and followers, promoting the establishment of socially stratified communities as implied in the importance of status items. It is intriguing to note that the visual and microscopic investigation of bronze assemblages provided key evidence defining the nature of significant sociopolitical changes accompanying the coming of the EIA in Central Kazakhstan. This work was financially supported by the National Research Foundation of Korea (NRF-2017R1A2B4002082). *Keywords:* s: Central Kazakhstan; EIA period; Bronze; Horse-based mobility; Social stratification.

[전통1-5 | 10:00]

고대 사형주조품(砂型鑄造品)의 주형(鑄型) 재료 특성: 허일권¹, 조남철², 한민수³, 최보배⁴, 김선이²; ¹국립진주박물관, ²공주대학교, ³한국전통문화대학교, ⁴국립춘천박물관

Keywords: ancient sand mold casting, casting, mold

고대 사형주조품(砂型鑄造)의 주형(鑄型) 재료 특성: 허일권, 조남철, 한민수, 최보배, 김선이 고대 주조는 약 5000년 전 석제주조법(石型鑄造法)으로 시작하여 생활용품, 예술품 등으로 사용되어 왔다. 국내의 경우 불교문화 전래와 더불어 범종, 불상 등 만들기 위해 중대형 주조기술로 발전되었다. 본 발표는 국내 주조 관련 유구에서 출토된 사형주조 주형을 대상으로 재료적 특징과 구성을 확인하고 제작기법을 유추하였다. 시료는 장수군 대적골 출토 철술 주형, 동해시 지가동 출토 철불(추정) 주형, 서천 종천지구 주종 유구의 동종 주형 등 총 3개의 유적 출토품이다(羅末麗初 또는 高麗). 분석 방법은 실체 현미경, SEM-EDS, XRD, WD-XRF, ICP와 주형에 포함된 유기물의 수종식별을 진행하였다. 국내 유적에서 출토된 사형주조 주형의 재료적 특징과 구성 양상을 파악함으로써 현재까지 명확히 밝혀지지 않았던 주형 재료의 경향성을 확인하였고 이를 바탕으로 향후 고대 주조기법 연구에 적용 가능할 것으로 기대한다.

[전통2-1 | 10:25]

창녕 송현동고분군 출토 입주부운주의 제작기법: 한우림¹, 박지연¹, 김소진²; ¹국립가야문화재연구소, ²국립문화재연구소

Keywords: :송현동고분군, 입주부운주, 제작, 도금, 아말감

경상남도 창녕 송현동고분군은 5~6세기 전반이 중심연대가 되는 고분군으로 교동고분군, 계성고분군, 영산고분군과 함께 창녕지역을 대표하는 고분군이다. 현재까지 지표조사 및 발굴조사를 통해 총 55기의 고분이 확인되었으며, 그 중 15·16호분 및 석축시설에서 토기류, 금속류, 옥·석제류 등 다수의 유물이 출토되었다. 본 연구는 창녕 송현동 15호분 석실 내부 퇴적토에서 출토된 마구류인 입주부운주의 미세조직 관찰과 성분 분석을 통해 제작기법을 확인하고자 하였다. 입주부운주는 좌판-입주-보요를 기본구성으로 하며, 여기에 원통 또는 원통+가지가 추가되는 구조이다. 그 중 좌판 편 2점, 입주부 편 4점, 보요 편 2점, 원통 편 3점, 가지 편 4점에 대해 분석을 실시하였다. 입주부운주는 표면에 금으로 도금되어 있으며 합금하지 않은 구리(Cu)로 제작하였음을 알 수 있다. 좌판, 입주부, 원통, 가지의 경우 도금층이 한 면만 존재하나 보요에서는 양 면에 도금층이 확인된다. 미세조직 관찰 결과, 일부 편에서는

편석물이 도금층과 수평 방향으로 배열되어 있어 단조과정을 확인할 수 있다. 도금층에서는 금(Au), 은(Ag), 수은(Hg)이 함께 검출되어 도금 시 수은-아말감법을 이용한 것으로 판단된다. 향후 주변지역의 금제유물에 대한 연구가 추가적으로 진행된다면 가야문화권의 금동유물 제작기법, 산지추정 등을 보다 정확히 할 수 있으며, 나아가 신라-백제-고구려와의 관계성에 대해 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

[전통2-2 | 10:40]

충주 탐평리유적 출토 철괴 및 철기유물의 분석에 의한 백제 제철기술 연구: 이은우; 국립중앙문화재연구소

Keywords: 탐평리유적, 철괴, 철기, 제작기술

충주 탐평리유적은 발굴조사결과 4-6세기에 해당하는 백제-고구려-신라 순의 문화층이 확인되었으며 특히 백제주거지 내외부에서 다량의 철괴가 출토된 것이 특징이다. 본 연구에서는 백제 주거지를 중심으로 유적 내에서 출토된 철괴와 최종 제작품인 다양한 종류의 철기유물의 분석을 실시하여 철기 생산 기술의 체계를 확인하고자 하였다. 분석대상은 철괴와 철촉 및 철정 등으로 하였으며 금속현미경을 이용하여 조직의 특성을 비교하였다. 대부분 심하게 부식되고 토양에 덮여 육안확인이 어려웠으므로 금속탐지기와 x-ray를 사용하여 잔존 금속의 여부와 위치를 확인하고 시료를 채취하였다. 철괴의 경우 형태에 관계없이 크기에 따라 철 차이가 나타났는데 상대적으로 큰 철괴는 wustite+fayalite를 중심으로 한 슬래그와 내부에 조업당시 사용된 목탄이 잔존한 경우가 많으며 ferrite 또는 일부 pearlite가 나타나는 저탄소 철괴의 상태를 보였다. 이러한 철괴는 제련에서 생성된 후 가공되지 않은 상태로 매장된 1차 소재가 분명하며 당시의 제련기술을 밝혀줄 수 있는 중요한 자료가 된다. 예외도 있으나 소형 철괴의 경우 cementite조직이 많이 형성된 탄소함량이 높은 철의 미세조직을 보였는데 내부에 불순물이 적어 제련에서 생성된 철괴가 정련을 위해 재가공되었을 가능성이 있다. 한편 cementite조직과 함께 다량의 graphite가 나타나는 철괴도 있는데 CO기체는 환원 환경에서 침탄 된 후 고온의 노 내부에서 서냉된 결과로 볼 수 있다. 백제 제련로는 대형의 원형로가 주를 이루는데 학계의 복원실험에서도 확인되듯 괴련철의 탄소함량이 다양하게 분포하는 것이 특징이다. 탐평리유적 철괴도 탄소함량이 다양하게 조성된 결과를 보여 유사한 양상을 확인할 수 있었다. 대체로 탄소함량이 낮은 단야 가능한 소재로서 동유적에서 출토된 주조팽이 등의 주조철기 제작을 위한 소재는 graphite 조직이 나타난 고탄소철괴가 적절한 소재로 판단된다. 철기유물의 경우 다양한 제작기법이 확인되었는데 철촉이나 철정 등의 단조품은 ferrite나 pearlite가 함께 나타나는 조직을 보이며 주조팽이 등의 주조품은 ledeburite 조직을 보였다. 대부분 실용기로서 복잡한 열처리는 나타나지 않으나 철촉 내부의 단점층이나 주조팽이 표면부에서 나타난 탈탄된 조직 등 간단한 열처리의 흔적을 찾을 수 있었다. 탐평리유적 철괴 및 철기유물의 분석을 통해 이 일대를 중심으로 한 백제 제철기술을 재해석 해보았다. 유적 내 집게 등 단야구와 일부 슬래그의 존재로 현장 내 공방의 존재를 추정할 것으로 보고되어 있으나 단야관련 부산물이나 다량의 철괴를 생산했던 제련시설이 확인된 바 없어 향후 추가 조사가 필요한 부분이 있다. 인근에 생산시설의 부재가 확인될 경우 직선거리 5km에 위치한 백제 주요제련시설인 칠금동유적의 관계도 검토될 수 있다고 여겨진다.

[전통2-3 | 10:55] Canceled

철보 유약과 금속 기판재의 열거동 및 봉착특성: 박재연, 김호형, 이민수, 임태홍; 한국생산기술연구원

Keywords: 철보, 유약, 열거동, 봉착특성

꾸준히 이어져 내리고 있는 다양한 전통금속공예 중 발색기술 하나인 철보기술은 우리나라의 전통 기술 및 기법으로 다양한 유물에 내재되어 전통 장인들에 의해 전승되어온 한 분야로서 실용적 가치와 감성적 디자인의 결합으로 현대 공예로서의 가치가 높아질 가능성을 가지고 있다. 이러한 가능성을 가지고 있지만 소수 장인들의 노력과 경험으로 제작되기 때문에 현대 산업 시장에 진출이 매우 어려운 문제점을 가지고 있다. 소수 예술품으로서의 가치를 탈피하고 시장 개척을 위한 노력들이 필요하다. 본 연구에서는 철보기술의 문제점으로 여겨지고 있는 고가의 철보용 기판재 사용과 수작업으로 인한 인건비 및 재현성 문제를 해결하기 위한 방법들을 고민하였으며 이와 관련하여 기초적인 색상별 주요 유약과 금속기판재의 열거동 및 봉착특성에 관하여 살펴보았다.

[전통2-4 | 11:10]

전통 정련-단점기술 응용 소재 및 문화상품 개발: 조남철, 조성모; 공주대학교

Keywords: 정련-단점, 전통 제철, 응용소재, 다층구조 소재, 문화상품

고대 한반도 국가들은 철광석이나 사철을 제련하여 괴련철을 만든 후, 다시 정련과 단점을 통하여 강괴를 만드는 전통 제철법을 가지고 있었다. 이를 직접제련법(直接製鍊法)이라 한다. 전통 제철법을 통해 생산된 전통소재는 다층구조의 형태를 지니고 있으며, 이와 같은 특징 때문에 전통소재는 고강도와 고인성을 지니게 된다. 또한 탄소함량에 따른 표면무늬를 가지게 된다. 하지만 이렇게 생산된 전통소재는 탄소함량의 차이가 크지 않아 표면무늬가 선명하지 않다. 본 연구에서는 표면무늬의 선명도를 향상시키기 위해 전통소재에 현대강의 2종류인 탄소강과 니켈-탄소강을 접합하였다. 이는 탄소의 함량 차이를 극대화하여 표면무늬의 선명도를 향상시키기 위함이다. 기존의 전통소재에 현대강을 접합한 후 전통 제철방식인 정련과 단점을 통해 다층구조 소재인 응용소재를 생산하였다. 이렇게 생산된 응용소재는 전통소재와 마찬가지로 고강도와 고인성을 지닌다. 더불어 탄소함량의 차이가 커서 표면무늬의 선명도가 뛰어났다. 전통소재와 응용소재를 이용하여 최종적으로 문화상품을 제작하였다. 대표적으로 제작한 문화상품으로 골프퍼터헤드가 있다. 각각의 소재로 제작한 골프퍼터헤드와 타사의 골프퍼터헤드의 퍼팅 방향 비거리 및 목표 방향 기준으로 한 좌우 이탈 거리를 측정한 결과 전통소재와 응용소재를 이용하여 제작한 골프퍼터헤드가 퍼팅시 목표 방향 기준 좌우 이탈 거리가 현저히 감소하는 것으로 확인되었다. 또한 공이 skid zone(퍼팅을 한 후 공이 잔디에서 미끄러지는 부분)에서 미끄러지는 거리가 타사의 골프퍼터헤드보다 25%가 감소하는 것으로 확인되었다. 위의 연구결과를 통해 응용소재를 전통 제철법을 통해 생산하게 되면 표면무늬가 선명한 강괴를 생산할 수 있게 되며, 이렇게 생산된 강괴를 이용해 생산한 문화상품은 제품의 심미적인

부분을 부각할 수 있음과 동시에 우수한 제품을 생산할 수 있다는 것을 확인하였다. 사사 : 이 전통 제철기술을 이용 다층구조 소재 개발 및 슈퍼프리미엄 주방용 칼 제작 표준화는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2016M3C1B5906955).

여성세션
Room 700B, 4월 25일

[여성1-1 | 15:15]

엉뚱한 생각으로 즐거운 세상 만들기: 신경호; 한국과학기술연구원.

창의성은 '남들이 잘 하지 않는 생각을 바탕으로 본인이나 타인의 재능을 활용하여 사회적으로 인정받는 가치를 만들어 내는 능력'이다. 여기서 사회적 가치의 크기는 재능과 창의성의 곱으로 표현할 수 있다. 재능은 고전읽기, 제대로 알기, 질문하기, 훑치기 등의 방법으로 쌓을 수 있으며, 창의성은 남다르게 생각하기, 지혜롭게 쉬기, 다양한 문화를 경험하기, 사소한 것에도 감탄하기 등의 방법으로 키울 수 있다. 창의성이 무엇인가, 창의성이 주는 선물은 얼마나 큰가, 창의성을 키울 수 있는 방법은 있는가, 있다면 어찌해야 하는가 등에 대한 질문에 대하여 답하는 방식으로 본 강연을 꾸려가고자 한다.

[마그네슘 1-1 | 09:00]

마그네슘 박판주조 공정에서의 용해로 도가니 내 개재물 발생 거동: 박재신¹, 추동균¹, 김재중², 정인호³; ¹(재)포항산업과학연구원. ²포스코 ³서울대학교

Keywords: 마그네슘, 용해로, 개재물, 슬러지, 드로스

마그네슘 합금은 구조용 금속소재 중 가장 가벼운 합금으로 비강도, 전자파 차폐능, 진동 흡수능 등이 우수하여 수송기기 뿐만 아니라 IT 및 전자제품 등으로의 적용이 확대되고 있는 소재이다. 그러나 마그네슘 합금은 저온 성형성 및 내식성, 난연성 등이 열위하여 소재 적용범위 확대에 어려움을 겪고 있으며 이를 극복하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 박판주조 기술을 이용한 판재제조 공정에서 개재물성 결함에 기인한 판재 품질 불량 문제를 해결하고자 용해로 도가니 내 슬러지성 개재물 발생 기구 및 거동을 규명하고자 하였다. 이를 위해 AZX계 마그네슘 합금 용해로 상부 드로스 및 하부의 슬러지를 채취하여 OM 및 SEM-EDS를 통해 구성상을 분석하였으며, 마그네슘 전용 용탕 샘플러를 제작하여 용해로 유지온도 및 시간에 따른 Fe 함량변화를 용해로 깊이별로 평가하였다. 또한, 열역학 계산을 통해 용탕 온도에 따른 Fe 고용도 및 안정상을 계산하여 용해로 도가니 내 슬러지 발생기구 및 거동을 고찰하였다.

[마그네슘 1-2 | 09:15]

AZ91 합금의 미세조직 및 인장 물성에 대한 압출 온도의 영향: 서중식, 최재욱, 서병찬, 유봉선, 김영민; 재료연구소

Keywords: Magnesium alloys, Extrusion, Microstructure, Texture, Mechanical properties

본 연구는 300, 350, 400°C의 3 가지 압출 온도에 따른 AZ91 합금의 미세구조 변화와 상온 인장 물성을 분석하였다. 평균 입자 크기가 11.9에서 41.2 μm 로 확연히 증가함에도 불구하고 압출 온도가 상승하면 항복 강도가 212에서 224 MPa로 오히려 증가하였다. 이러한 경화 현상이 발생하게 된 메커니즘을 이해하기 위해 4가지 미세구조적 인자를 분석하였다. 먼저, 결정립 미세화, 연속 석출상 및 변형 에너지는 항복 강도 증가에 큰 영향을 미치지 않았다. 반면에, 강성의 basal texture가 항복 강도의 증가를 야기한 것으로 판단된다. 강화된 집합조직이 압출 방향으로 일축 인장 시 basal slip의 활성화를 더 어렵게 만들었다. 이를 기반으로 강하게 형성된 basal texture가 다른 미세조직 인자보다 항복 강도의 증가에 더 결정적인 역할을 하였다.

[마그네슘 1-3 | 09:30]

Al 첨가를 통한 Mg-Sn-Zn 합금 압출재의 기계적 물성 및 소성 등방성 향상: 김상훈¹, 이종언¹, 김예진¹, 정재길², 박성혁¹; ¹경북대학교 ²재료연구소

Keywords: Magnesium alloys; Extrusion; Dynamic recrystallization; Precipitation; Mechanical properties.

This study demonstrates that the addition of 4 wt% Al to Mg-7Sn-1Zn alloy effectively promotes the dynamic recrystallization and dynamic precipitation behaviors during extrusion, which consequently results in the significant improvement in the tensile and compressive properties and the drastic reduction in yield asymmetry of the extruded alloy. The Al addition substantially increases the area fraction of the dynamically recrystallized (DRXed) grains of the extruded alloy. This is mainly attributed to the particle-stimulated nucleation effect induced by undissolved Mg_2Sn particles, the increased amount of grain boundaries owing to grain refinement of the billet, and the increase in stress applied during extrusion. The amount of fine Mg_2Sn precipitates of the extruded alloy also increases with the Al addition, owing to an increased number of nucleation sites for precipitation; this, in turn, leads to a reduction in the grain size of the extruded alloy through the enhanced grain-boundary pinning effect caused by the precipitates. As a result, the tensile and compressive strengths of the extruded alloy considerably improved with Al addition, which is due to the combined effects of Al solute atoms, undissolved Mg_2Sn particles, more Mg_2Sn precipitates, and reduced grain size. Furthermore, the grain size reduction caused by the Al addition suppresses the formation of twins—which can act as cracking sites—during tensile deformation; this results in a considerable increase in the tensile elongation of the extruded alloy. In addition, the relationship between the microstructural characteristics of unDRXed grains and the yield strengths of the extruded alloy is systematically discussed.

[마그네슘 1-4 | 09:45]

Bio-Degradable Mg-Zn-Ca Alloy with Excellent Corrosion Resistance and Moderate Tensile Strength by Heat Treatment: Nam Ryong Kim¹, Sang Kyu Woo¹, Chang Dong Yim¹, Byeong-Chan Suh²; ¹UST. ²KIMS.

Keywords: Bio-degradable materials, medical implants, Mg alloys, strengthening mechanism, micro-galvanic corrosion

Bio-degradable materials are the promising candidate for the medical implant since the secondary removal surgery after healing fractured bones is required for non-degradable commercial implants. Even though bio-degradable polymers have excellent corrosion resistance and compressive strength, there are critical problems; the stress shielding because of a big difference in elastic modulus between them and nature bones, and poor fracture toughness. Therefore, bio-degradable Mg alloys are drawing keen attention as medical implants, due to the similar elastic modulus to natural bone and moderate fracture toughness. However, Mg alloys have

relatively poor corrosion resistance and low mechanical properties, compared to other medical implants. It is generally known that the strength of Mg alloys can be enhanced by grain refinement by the formation of 2nd phase particles, but it causes severe micro-galvanic corrosion, resulting in poor corrosion properties of Mg alloys. In this work, an attempt was made to utilize the fine-scale metallurgical phenomenon in Mg-Zn-Ca alloys for the enhancement of strength without any deterioration of corrosion resistance.

[마그네슘1-5 | 10:00]

Al 첨가에 따른 Mg-Bi 압출재의 조직 균일도와 기계적 특성 향상: 고중빈¹, 이종인¹, 이상원¹, 이정훈², 박성혁¹; ¹경북대학교, ²한국생산기술연구원

Keywords: Mg-Bi alloy; Extrusion; Dynamic recrystallization; Precipitation; Tensile properties

수송기기 시장에서 경량 금속의 요구가 증대됨에 따라, 구조용 금속 중 가장 가벼운 소재인 마그네슘의 관심도가 높아지고 있다. 마그네슘 합금의 적용 확대를 위해서 주조재보다 우수한 기계적 물성을 가지는 압출재 연구가 활발히 진행되고 있으나, 여전히 강도와 압출성 향상이 요구되고 있다. AZ80, ZK60과 같은 Mg-Al, Mg-Zn계 상용 고강도 마그네슘 합금은 Mg₁₇Al₁₂, MgZn와 같이 450°C 이하의 낮은 용점을 가지는 이차상이 압출 중에 형성되어 열간 균열(hot cracking)이 쉽게 발생하여 낮은 최대 압출 속도를 가진다. 따라서, 높은 강도와 더불어 생산성 및 최종 부품 가격과 직결되는 압출성이 우수한 마그네슘 합금계 개발이 절실히 요구된다. Mg-Bi 합금계에서는 기존 상용 합금과 달리 821 °C의 용점을 가지는 열적으로 안정한 Mg₃Bi₂ 상이 형성되어 우수한 압출성을 기대할 수 있다. 그러나 이러한 Mg-Bi 합금에서의 강도 향상을 위한 연구는 매우 부족한 실정이다. 본 연구에서는 Mg-5Bi 압출재에 Al 첨가를 통해 압출재의 미세조직을 보다 균일하게 개선하고 기계적 특성을 향상시키고자 하였다. 이를 위해, Mg-5Bi-xAl (0, 3, 6, and 9, wt%) 삼원계 합금을 동일한 조건에서 열간 압출한 후 압출재의 결정립 크기, 재결정 분율, 집합조직, 인장물성 등을 비교 분석하였다.

[AW-4 | 10:25] 현송공학상 수상기념강연

마그네슘 소재의 핵심이슈와 이를 극복하기 위한 연구성과: 윤봉선; 재료연구소

마그네슘합금은 1940년대 자동차 및 항공기에 많은 양이 사용되었으나 10여년의 활황기를 채우지 못하고 구조재료로서 완전히 폐기되면서 약 40~50년의 암흑기를 맞이하였다. 그 후 1990년에 들어서야 자동차 및 IT분야에서서 경량화에 대한 시대적 요구가 증폭되면서 마그네슘 소재는 다시 조명을 받게 되었으며, 연구개발 및 신소재산업에 대한 집중적인 투자를 통해 그간 문제점으로 지적되어 온 핵심 이슈들이 해소되고 있고 산업규모 또한 급격하게 성장해 왔다. 본 발표에서는 그간 마그네슘 소재의 치명적인 문제점으로 지적되어 온 문제들을 리뷰해 보고 이를 해결하기 위한 연구들이 어떤 성과들을 거두었는지에 대해 살펴봄으로써 향후 마그네슘 소재의 미래에 대해 전망해 보고자 한다

[마그네슘2-1 | 10:50]

Achievement of Excellent High-Strain-Rate Superplasticity and Low-Temperature Superplasticity Through Low-Angle Boundary Formation in a Mg-Y-Zn Alloy with the Icosahedral Phase: Taejin Lee, W.J. Kim, S.H. Han; Department of Materials Science and Engineering, Hongik University.

Keywords: superplasticity, icosahedral-phase, magnesium, high-strain-rate, low-temperature

Severe plastic deformation by high-ratio differential speed rolling (HRDSR) with different roll speed ratios (2 and 3) was applied to cast Mg-Y-Zn alloys with the icosahedral phase (I-phase) at low temperatures. During the HRDSR process, the I-phase network structure was fragmented. The roll speed ratio of 3 provided a higher degree of refinement and dispersion of the I-phase than the roll speed ratio of 2, but a high portion of the refined I-phase particles were agglomerated along the rolling direction. Two types of microstructures with ultrafine grains (~ 1 μm) were obtained, depending on the roll speed ratio. The material with the first type of microstructure (produced at the roll speed ratio of 2), which consists of ultrafine grains with low-angle boundaries, showed both low-temperature superplasticity (LTSP) at temperatures below 0.5T_m (T_m: melting temperature) and high-strain-rate superplasticity (HSRS) above 0.5 T_m. The material with the second type of microstructure (produced at the roll speed ratio of 3), which consists of ultrafine grains (~ 1 μm) with a high portion of high-angle boundaries (i.e., a mixture of low- and high-angle boundaries), showed a better LTSP than the material with the first type of microstructure but did not show HSRS at temperatures above 0.5T_m. At high temperatures, suppressing grain growth during the sample heating and holding stages for tensile testing or during tensile deformation was important in achieving HSRS. Rapid grain coarsening occurred in the material with the first type of microstructure during the sample heating and holding stages at temperatures above 0.5T_m, leading to the loss of HSRS. In the material with the second type of microstructure, however, the fine-grained microstructure could be maintained during the sample heating and holding stages. This was because low angle boundaries have lower energies compared to high angle boundaries, such that the formers have a reduced driving force for grain growth. The progressive dispersion of agglomerated I-phase particles into the matrix during deformation, which was promoted by grain boundary sliding, was also critically important in achieving HSRS from the material with the second type of microstructure. This was because as the fine I-phase particles were dispersed during deformation, the pinning effect of I-phase particles increased, resulting in a more effective suppression of dynamic grain growth of the fine grains.

[마그네슘2-2 | 11:05]

Enhancing Mechanical Properties of ZK60 Mg Alloy Through a Multi-Pass Caliber-Rolling: Byung Je Kwak¹, Taemin Kong¹,

Jeong Hun Lee², Sang Won Lee³, Sung Hyuk Park³, Taekyung Lee¹; ¹Pusan National University. ²Korea Institute of Industrial Technology. ³Kyungpook National University.

Mg-6Zn-0.5Zr (ZK60) magnesium alloy was subjected to multi-pass caliber-rolling to obtain ultrafine (~0.6 μm) grains and high fraction (~0.9) of dynamic recrystallized region. The mechanical properties and yield symmetry were enhanced in comparison to commercially extruded ZK60 alloys. In contrast to severe plastic deformation processes, the caliber rolling was able to manufacture a large-sized (2-m long) product applicable to the industry. These results were discussed with a special texture formed by the caliber rolling and active occurrence of dynamic recrystallization. The realization of yield symmetry was interpreted in terms of {10-12} extension twinning. **Keywords:** s: caliber rolling; dynamic recrystallization; yield symmetry; ultrafine grain; mechanical properties

[마그네슘2-3 | 11:20]

초기 집합조직이 마그네슘합금 압연재의 정적 재결정 거동에 미치는 영향: 이상원, 김상훈, 박성혁; 경북대학교
Keywords: Magnesium alloys, Initial texture, Cold rolling, Twinning, Static recrystallization

마그네슘합금은 금속 구조재료 중 가장 가벼운 재료로서 낮은 밀도와 높은 비강도로 인해 수송기기와 전자기기의 경량화를 위한 소재로 주목받고 있다. 그러나, 마그네슘 압연재는 일반적으로 결정립의 c축이 normal direction(ND)과 평행하게 배열된 강한 집합조직을 가지고 있어 낮은 성형성과 물성의 이방성을 나타낸다. 이에 회투류 원소의 첨가 또는 강소성 가공법을 통하여 압연재의 집합조직을 변화시키는 연구가 진행되고 있다. 하지만 이러한 집합조직의 변화가 이어지는 냉간 압연 및 열처리에 미치는 영향에 대한 연구는 부족하다. 본 연구에서는 초기 집합조직이 냉간압연하에서의 변형거동과 정적 재결정거동에 미치는 영향에 대하여 알아보기 위해, c 축이 ND와 transverse direction(TD)으로 각각 배열된 AZ31 합금 시편을 상온에서 압연하고 어닐링 처리를 수행한 후 미세조직을 분석하였다. ND 집합조직을 가지는 시편은 냉간 압연에 의해 {10-11} contraction twin과 {10-11}-{10-12} double twin으로 이루어진 강한 shear band가 형성되며, 이어지는 열처리에서 shear band를 기점으로 작은 재결정립들이 형성되어 재결정 분율이 낮고 불균일한 조직을 나타낸다. 반면, TD 집합조직을 가지는 시편은 냉간 압연 중에 비교적 미세한 shear band가 소재 전반에 걸쳐 형성된 후 열처리에서 재결정이 활발히 발생하여 최종적으로 높은 재결정분율과 균일한 미세조직을 가지게 된다.

[마그네슘2-4 | 11:35]

Annealing Effect on Microstructure and Mechanical Properties for Caliber-Rolled AZ31: Taein Kong¹, Byung Je Kwak², Jeong Hun Lee², Taekyung Lee¹; ¹Pusan National University. ²Korea Institute of Industrial Technology.

This study investigated microstructural evolution and mechanical properties of caliber-rolled and subsequently annealed AZ31 Mg alloy. The caliber-rolled AZ31 rods showed the formation of ultrafine-grained (UFG) structure with an average grain size of 1 μm. It was further annealed under various conditions (i.e., temperature of 373-673 K and time of 10-3600 min) to reveal the annealing effects on microstructures and mechanical properties. The grain size was dependent on the annealing temperature, rather than the annealing time. A strong grain growth occurred after annealing over 573 K, whereas the alloy nearly preserved its UFG structure when annealed at 373-473 K. The latter cases gave rise to the additional improvement in mechanical properties through the annealing, though of decrease in yield strength. The mechanisms under such improvements were discussed in terms of static recrystallization.

[마그네슘2-5 | 11:50]

비-기저면 집합조직을 가지는 AZ31 합금의 고속압연 시 미세조직 변화 및 재결정 거동: 이수진^{1,2}, 김예진², 최지환¹, 이정훈¹, 박성혁²; ¹한국생산기술연구원. ²경북대학교

Keywords: Magnesium alloy; High-Speed Rolling; Rolling reduction; Twinning; Dynamic recrystallization

최근 환경문제로 인해 탄소 배출량 감소와 연비 효율 증대를 위한 수송기기의 경량화가 중요해짐에 따라 자동차 산업에서 낮은 밀도와 높은 비강도를 가지고 있는 경량 구조 재료인 마그네슘 합금에 대한 관심이 높아지고 있다. 마그네슘 압연재는 합금 개발과 압연 공정 개발로 기계적 특성이 더욱 개선되고, 저비용으로 압연된 마그네슘 합금 제조가 가능하다. 하지만, 기존 압연의 경우 한 번의 패스로 가능한 압하량이 10-30% 정도로 적기 때문에 반복적인 열간 압연으로 많은 에너지와 시간이 소모되어 효율성이 떨어짐과 동시에, 강한 저면 집합조직이 생성되어 성형성을 저하시키는 문제점이 있다. 이를 극복하기 위해 기존 압연방법의 대안으로 제시된 고속압연(High-Speed Rolling) 공정의 경우, 마그네슘 합금의 가공성을 향상시켜 한 패스당 50-80%의 압하량을 부과하더라도 파단 없이 생산이 가능하며 저면 집합조직의 분산을 발생시킨다고 알려져 있다. 현재 마그네슘 합금의 고속압연에 관한 기존 연구는 압연 속도와 압연 온도에 따른 압연 가공성 및 미세조직 변화에 초점을 두고 있으나, 강한 저면 집합조직을 가진 압연판재를 초기 소재로 사용하는 것으로 제한되어 있다. 따라서 본 연구에서는 초기 집합조직 변화에 따른 고속압연 시 미세조직적 변화를 분석하고 재결정 매커니즘 규명하고자 하였다. 이를 위해, 상용 AZ31 (Mg-3.6Al-1.0Zn-0.3Mn, wt%) 압연판재를 균질화 처리를 한 뒤, 저면 집합조직이 TD 방향으로 45° 기울어진 형태로 초기 빌렛을 가공하였다. 재결정 거동을 단계적으로 관찰하기 위해 400도에서 열처리된 빌렛을 20%-80%로 압하량을 달리하여 470 m/min의 속도로 고속 압연하였다. 압하량에 따른 미세조직 및 집합조직 거동 분석을 통해 초기 집합조직의 변화가 고속압연 시 발생하는 변형쌍정 및 재결정에 미치는 영향을 분석하였다.

[마그네슘3-1 | 13:30]

Formation of TD Split Texture During Annealing Process in Ca Containing Mg-Zn Alloy: Jae H. Kim¹, Byeong-Chan Suh², T.T.T. Trang¹, Jihyun Hwang¹, Nack J. Kim¹; ¹POSTECH. ²KIMS.

Keywords: Mg alloys; Texture; Recrystallization; Rolling; Quasi-in-situ EBSD

Mg alloys have the lowest density among commercially available structural alloys, which can provide significant weight savings in automobiles. For the widespread application of Mg alloys, however, Mg alloys should overcome a critical shortcoming; poor formability at room temperature mainly originated from strong basal texture developed during thermomechanical processing. Although several Mg alloys show random/weak texture and accordingly good room temperature formability, most of such alloys rely on the usage of expensive rare earth elements. It has been recently reported that the addition of Ca to Mg-Zn alloys weakens and randomizes the texture, similar to the effect of RE addition on modifying the texture. The texture of these Ca containing Mg-Zn alloys can be described as the broadened angular distribution of basal poles along the transverse direction (TD) and split of basal poles along the rolling direction (RD) in as-rolled condition. However, a significant change in texture occurs after annealing process; splitting of basal poles toward the TD from the original RD in particular. Despite the weak texture intensity, their texture is less than ideal since one directional orthotropic texture developed during annealing would result in non-uniform deformation during stretch forming. However, the detailed mechanism of such texture evolution has not been clearly revealed yet. In the present work, an attempt has been made for having a better understanding of the texture evolution during annealing process of Ca containing Mg-Zn alloys. The details of their texture evolution have been analyzed by quasi-in-situ EBSD after various stages of annealing with particular emphasis on recrystallization and growth behavior.

[마그네슘3-2 | 13:45]

압축변형 및 어닐링에 따른 AZ31 마그네슘 압연재의 미세조직 변화: 이종언, 김예진, 김상훈, 박성혁; 경북대학교

Keywords: Magnesium alloys, Precompression, Annealing, Twinning, Microstructure

This study demonstrates that microstructural characteristics such as grain size, texture, and internal strain energy of Mg alloys can be effectively controlled through precompression and subsequent annealing treatment. In the present study, as-rolled (AR) material is compressed to plastic strains of 3.0%, 6.0%, 9.0% along the rolling direction in order to introduce {10-12} twins in the material. The precompressed (PC) materials are further annealed at different temperatures of 200, 250, and 300 °C for 3h to obtain a stress-relieved stable grain structure through removal of dislocations and mobile grain/twin boundaries; the annealed materials denote as 200A, 250A, and 300A, respectively. As the annealing temperature increases, the grain boundary and {10-12} twin boundary lengths per unit area decrease owing to the promotion of strain-induced boundary migration and thermally activated twin boundary migration, which results in an increase in the average grain size. In addition, with an increase in the annealing temperature, the value of average deviation angle of basal poles from the ND decreases, whereas that from the RD increases. The internal strain energy of the 200A is slightly lower than that of the material before annealing, and that of the 250A and 300A is greatly lower than the PC materials owing to the annihilation of the dislocations generated by precompression. Microstructural evolution and corresponding mechanisms caused by the differences in the amount of precompression and annealing temperature are systematically analyzed.

[마그네슘3-3 | 14:00]

Mechanism of Deformation-Induced Grain Boundary Serration in AZ31 Alloy: Hyeon-Woo Son¹, Ji-Woon Lee², Soong-Keun Hyun¹; ¹Inha University. ²Korea Institute of Industrial Technology.

Keywords: grain boundary serration; grain boundary sliding; strain induced boundary migration; grain boundary dislocation; geometric dynamic recrystallization

Grain boundary serration is an important mechanism since it enhances creep resistance by suppressing grain boundary sliding (GBS) geometrically. It depends on local grain boundary migration, thus both strain induced boundary migration (SIBM) and movement of grain boundary dislocations (GBDs) are related with this behavior. When the nucleus of serrated grain boundary has been formed by these two mechanisms, accommodation should be occurred by GBS at the high temperature deformation. Although stored energy difference between adjacent crystals caused by dislocation arrays is an obvious reason for the SIBM, this study suggests nucleation of serrated grain boundaries in initial stage of grain boundary serration by piled-up dislocation array mainly related with GBDs. Also, their growth at the later stage is determined to crucially depend on elastic accommodation by GBS.

[마그네슘3-4 | 14:15]

어닐링 온도가 {10-12} 쌍정을 가지는 마그네슘 압연재의 인장물성에 미치는 영향: 김예진, 이종언, 김상훈, 박성혁; 경북대학교

Keywords: Magnesium alloys; Annealing; Twinning; Detwinning; Mechanical properties

{10-12} twinning is an important deformation mechanism at room temperature of Mg alloys owing to their insufficient slip systems. {10-12} twins can be easily formed during the manufacturing processes of Mg alloy sheets and the sheets containing {10-12} twins can be subjected to heat treatments to fabricate the final products. This study investigates the effects of annealing temperature on the microstructure and mechanical properties of a rolled AZ31 Mg alloy with initial {10-12} twins. For this, the samples are precompressed to 6.0% along the rolling direction (RD) along to introduce {10-12} twins, and then the precompressed samples are annealed at 200, 250, and 300 °C for 1h. The microstructure nearly remained unchanged after annealing at 200 °C, whereas that is partially changed after annealing at 250 °C; the annealing treatment at 300 °C causes the significant microstructure evolution through strain-induced boundary

migration mechanism. In the sample annealed at 200°C, detwinning of the existed {10-12} twins occurs during tension along the RD. However, in the sample annealed at 300°C, new {10-12} twins with several twin variants are formed during tension. In the sample annealed at 250°C, the formation of new {10-12} twins and detwinning of existed {10-12} twins occur simultaneously. As a result, the yield strength, strain hardening rate, and elongation of the samples significantly vary with the annealing temperature.

[마그네슘3-5 | 14:30]

Deformation Behavior of Mg-Nd Single Crystals: 권호, 신광선; 서울대학교

Keywords: Magnesium, Neodymium, Deformation behavior, Single crystal, Non-basal slip

The deformation behavior of magnesium-neodymium single crystal was examined in this study. Tensile and compression tests were conducted at an initial strain rate of 1×10^{-4} /sec along the [1 0 -1 0] direction of the single crystal specimen. In addition, compression tests along the [0 0 0 1] direction were performed for the activation of such deformation modes as slip and compression twin. VPSC (visco-plastic self-consistent) simulations were carried out with the results obtained from both tensile and compression tests in order to obtain CRSS (critical resolved shear stress) values of various deformation modes. In addition, the activities of various deformation modes of magnesium-neodymium single crystals were compared with those of pure magnesium single crystals.

열전재료
Room 602, 4월 26일

[열전 1-1 | 09:00]

Possible Existence of Pb Interstitial in Binary Pb-Rich PbTe Based on Density Functional Theory calculations: 박성진, 류병기; 한국전기연구원.

Keywords: Pb-rich PbTe, off-stoichiometry, Pb-interstitial, formation energy, density functional theory calculation

PbTe is very noteworthy thermoelectric material working at intermediate temperatures. Most investigations of PbTe were focused on PbTe-based alloys to control band convergence, formation of resonant level, and nanostructuring. However, the intrinsic-defect nature of PbTe is still not well understood yet. The type of charge carriers in PbTe-related alloys is known to be determined by Pb concentration with respect to Te concentration. In binary, Pb-rich or Te-rich PbTe typically exhibits n-type or p-type behavior, respectively. We theoretically investigated the formation of intrinsic defects in PbTe by performing the first-principle density functional theory calculations. We used PAW method and GGA-PBE exchange correlation functional, which are implemented in the Vienna Ab initio simulation Package. The defect formation energies of various charged states were computed on the 128-atom FCC supercell with a gamma-centered $3 \times 3 \times 3$ k-point mesh. From our formation energy of intrinsic defects in PbTe, we suggest that Pb interstitial can exist in Pb-rich PbTe though Te vacancy is the major defect and that Pb vacancy or Te antisite is the major in Te-rich PbTe.

[열전 1-2 | 09:15]

분무 공정으로 제조된 Cu-BiSbTe 소재에서 Cu 함량이 열전 특성에 미치는 영향: 이철희¹, 윤석민¹, 김동환², 김종태², 윤덕기³, 김태훈³, 홍순직¹; ¹공주대학교 신소재공학부, ²대구경북과학기술원, ³(주)정관.

Keywords: water atomization, BiSbTe, Cu-doping, thermoelectric module, Large size bulk

열전 재료는 열과 전기에너지의 상호 변환이 가능한 재료로, 열전 발전 및 냉각 모듈로 응용되고 있다. 열전 모듈은 일반적으로 P-type과 N-type의 소자의 반복적인 접합으로 설계되는데, 우수한 모듈 출력을 얻기 위해서는 N형 및 P형 소재 간 열적/전기적 특성 균형이 요구되어진다. 즉 우수한 성능의 열전 모듈을 제작하기 위해서는 높은 열전 성능지수 ZT 값을 확보함과 동시에 전기적 특성을 제어할 수 있는 기술이 필요하다. 본 연구에서는 BiSbTe계 P-type 열전 소재에 다양한 함량의 Cu 도펀트를 첨가하여 전기 전도도를 제어하고자 하였으며, 이에 수반되는 열전성능 거동을 분석하였다. 또한 본 소재를 이용하여 실제 열전 모듈로 제작하였고, 열전 특성이 모듈 성능에 미치는 영향을 분석하였다. BiSbTe계 분말은 대량생산에 용이한 분무 공정을 이용하여 제조하였고, 분말 제조 시 Cu 함량을 각기 다르게 하여 4종의 분말을 제조하였다. 제조된 분말은 SPS 공정을 이용하여 500 g 이상의 대용량 성형체로 소결하였으며, 소결된 성형체의 열전 특성을 각각 분석하였다.

[열전 1-3 | 09:30]

Enhancement of Thermoelectric Properties of CuI doped $\text{Bi}_2(\text{Te}, \text{Se})_3 / \text{Mo}$ Composites by Low Energy Carrier Filtering: Hyunyoung Cho, Song Yi Back, Jong-Soo Rhyee; Kyung Hee University.

Keywords: energy filtering, dispersion, power factor, thermoelectric

The effect of low energy carrier filtering has been studied as one of the strategies to improve the thermoelectric properties. The phenomenon is especially related to the value of high power factor. Here, we investigated the thermoelectric properties of CuI-doped $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3} / \text{Mo}$ vol. % (Mo: 0.0, 0.9, 1.3, 1.8, 3.1 and 4.3 vol. %) composites which were synthesized by pulverization, mixing powder and hot press sintering. From x-ray diffraction and energy-dispersive x-ray spectroscopy measurements, we confirmed that Mo was mainly dispersed at the grain boundaries of the $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ matrix. Interestingly, the electrical resistivity of Mo-dispersed CuI/ $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ composites was almost unchanged, while the Seebeck coefficient was significantly increased due to the low energy carrier filtering effect, which means that it is related to carrier scattering at the interface of matrix owing to different work functions. The corresponding power factor at room temperature was significantly improved from $\sim 3.2 \text{ mW/mK}^2$ to $\sim 4.0 \text{ mW/mK}^2$ in Mo 0.9 vol% samples, and consequently a high value of ZT of ~ 1 was achieved at 373K.

[열전 1-4 | 09:45]

Thermoelectric Transport Properties of Bi/Sn and Bi/Sb Core/Shell Metallic Heterostructure Nanowires: Hongjae Moon, Jeongmin Kim, Wooyoung Lee; Department of Materials Science and Engineering, Yonsei Univ.

Keywords: Core/shell nanowires, On-film formation of nanowires, Heterostructure, Thermoelectric, Seebeck coefficient

The thermoelectric transport properties of Bi/Sn and Bi/Sb core/shell (C/S) nanowires grown by the on-film formation of nanowires method were systematically investigated. The electrical conductivity and Seebeck coefficient were measured as a function of the temperature with different diameters. The contribution of Sn and Sb shells to the total transport in the C/S nanowires was determined using analytical fitting based on the parallel combination of conductive system model. The carrier-interface boundary scattering at the C/S interface was quantitatively evaluated as a sheet resistance. In addition, a hole doping effect was also observed in the Bi/Sn C/S nanowires

[열전1-5 | 10:00]

Evaluation of Thermoelectric Module by Electrical Contact Resistance at High Temperature: Yeongseon Kim¹, Jinseop Song¹, Chung-Yul Yoo¹, Hana Yoon¹, Giwan Yoon², Sang Hyun Park¹; ¹*Korea Institute of Energy Research*. ²*Korea Advanced Institute of Science and Technology*.

Keywords: Thermoelectric module, Electrical contact resistance, Measurement, Interface

Electrical contact resistance is one of the important factors in developing thermoelectric (TE) module. In order to maximize power output of TE modules, electrical contact resistance which induces parasitic losses at the interface between electrodes and TE materials should be minimized. In case of bulk TE legs, extrapolation method is usually used to measure electrical contact resistance only at the room temperature. However, the electrical contact resistance of TE materials could be differentiate depending on the temperature, especially in case of TE module operating at high temperature. Therefore, the electrical contact resistance of TE materials which figure of merit maximize at high temperature such as skutterudite, half-Heusler needs to be measured at operating temperature to analyze TE module behaviour precisely. In this work, an electrical contact resistance measurement system for thermoelectric legs at high operating (~400°C) temperature of thermoelectric device is proposed that could help performance prediction more accurately. The measurement condition is determined according to the amplitude of current and frequency of current to minimize measurement errors caused by the Peliter effect. Skutterudite thermoelectric legs with Ti metallization layer is used to understand specific contact resistance at high temperature. Through this result, the thermoelectric module is analyzed by simulation to investigate power output between specific contact resistances at room temperature and at high operating temperature.

[열전2-1 | 10:25]

Aluminum Antimonide: Synthesis by controlled casting followed by vacuum hot pressing and Thermoelectric property elucidation: Ashiquzzaman Shawon, Soon-Chul Ur*; *Korea National University of Transportation*.

Keywords: Controlled casting, Vacuum Hot Pressing, Thermoelectric Property, Group III-V, Semiconductor

Due to high reactivity and high vapor pressure of aluminum and antimony respectively, synthesis and subsequent characterization of bulk AlSb has not been extensively studied. AlSb is a very stoichiometry-sensitive Group III-V semiconductor with a relatively moderate indirect band gap. Though both the constituents are relatively very abundant in the earth's crust, not much is reported in terms of properties for this material system. Some thin-film and single crystal synthesis have been reported till date, but no reports of the possible thermoelectric properties can be found. For applications in energy conversion devices, consolidated bulk semiconductor materials are required. In this work, the electrical and thermoelectric properties shown by bulk AlSb were thoroughly investigated. Exclusively, a proper method for the synthesis of bulk AlSb suitable for thermoelectric applications is outlined. In addition, a measure of the thermoelectric efficiency of AlSb is reported for the first time in the world.

[열전2-2 | 10:40]

Simultaneous Enhancement of Electrical and Thermal Properties of Higher Manganese Silicide by the Introduction of Fe and Co Nanoparticles: Gwansik Kim, Hyun Jun Rim, Jeongmin Kim, Kyu Hyoung Lee, Wooyoung Lee; *Yonsei University*.

Keywords: Thermoelectric, Higher manganese silicide, Carrier filtering effect, Magnetic nanoparticles

We report the effects of magnetic nanoparticles (Fe, Co, and Ni) embedded at grain boundaries on the electronic and thermal transport properties of higher manganese silicide (HMS). Hybrid powders of microscale Al doped HMS ($\text{MnSi}_{1.787}\text{Al}_{0.01}$) and nanoscale magnetic particles were synthesized by nanometal decoration technique, and their nanocomposites were fabricated by spark plasma sintering process. In compacted polycrystalline bulks, homogeneously dispersion of Fe nanoparticles (~150 nm) at grain boundaries was readily achieved. By the introduction of Fe and Co nanoparticles, the power factor could be enhanced due to an increase in the Seebeck coefficient and electrical conductivity benefiting from carrier transfer and carrier filtering effect. The lattice thermal conductivity was reduced due to intensified phonon scattering at the interfaces. Moreover, we confirmed that the magnetic properties of the nanoparticles can affect the thermal transport properties of Al doped HMS. By these synergetic effects, the dimensionless figure of merit (ZT) of 0.53 was obtained at 773 K, an increase of 25% compared to that of pristine samples.

[열전2-3 | 10:55]

A study on Anisotropic Thermoelectric Properties of Tellurium: Abbey Stanley, Min-Wook Oh; *Hanbat National University*.

Keywords: Anisotropy, Texture, directional solidification, Spark plasma sintering, Lotgering factor

Directional solidification has proven to be an effective method of optimizing the thermoelectric properties of tellurium by tuning the electrical conductivity through texturing. This study determined the texture related, inherent anisotropic temperature dependent thermoelectric properties by a combination of directional solidification and spark plasma sintering of tellurium. To measure anisotropy and influence of doping on the thermoelectric properties, the samples were cut in the inplane (\perp) and crossplane directions (\parallel). X-ray diffraction (XRD) was used for the phase composition and qualitative measure of texture by Lotgering factor method. An investigation of the as-formed microstructural character was analyzed using a scanning electron microscope (SEM). SPS ingots indicated the majority of random grains in (101) and a negative Lotgering factor. Directional solidification of tellurium induced texture formation (Lf (003) =

0.57) by doping with Bi ($x = 0.005$) consequently leading to a higher ratio of anisotropy of 3.3 for Seebeck coefficient and 0.7 for electrical conductivity. In all texturing increased electrical conductivity by 85% for tellurium synthesized by directional solidification.

[열전2-4 | 11:10]

Enhancement of Thermoelectric Properties by Lattice Softening and Energy Band Gap Control in Te-Deficient $\text{InTe}_{1-\delta}$: SongYi Back, Hyunyoung Cho, Jong-Soo Rhyee; *Kyung Hee University*.

The InTe has intrinsically low lattice thermal conductivity originating from the anharmonic bonding of In^{1+} ion in the lattice, which scatters the phonons. Here we report the enhancement of thermoelectric properties in Te-deficient $\text{InTe}_{1-\delta}$ ($\delta = 0, 0.01, 0.1, \text{ and } 0.2$) polycrystalline compounds by lattice softening and energy band gap. Te-deficiency gives rise to more weak chemical bonding between In^{1+} atoms and $\text{In}^{3+}\text{Te}^{2-}$ clusters than those of pristine InTe, resulting in the reduction of κ_L near the room temperature. The weak ionic bonding is confirmed by the increase of lattice volume from the X-ray diffraction and lattice softening by the decrease of Debye temperature with increasing Te-deficiency. We observed the low lattice thermal conductivity κ_L of $0.53 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ at 300 K for $\text{InTe}_{0.99}$, which is about 25 % decreased value than those of InTe. The Te-deficiency also induces energy band gap so that the electrical resistivity and Seebeck coefficient are increased due to the decrease of carrier concentration. Temperature-dependent thermoelectric properties shows the high Seebeck coefficient at high temperature and high electrical conductivity near room temperature, resulting in the temperature-insensitive high power factor $S^2\sigma$ over a wide temperature range. Owing to the temperature-insensitive high power factor and intrinsic low lattice thermal conductivity by Te-deficiency, the thermoelectric performances of figure-of-merit ZT and engineering ZT_{eng} are enhanced at mild temperature range ($\leq 550 \text{ K}$).

[열전2-5 | 11:25]

Thermoelectric Properties of Isovalent Substituted Hf-Free Half-Heusler $\text{Ti}_{1-x}\text{Zr}_x\text{NiSn}$ Compounds: Nguyen Van Du¹, Jamil Ur Rahman¹, Jung Young Cho¹, Myong-Ho Kim², Won-Seon Seo¹, Weon Ho Shin¹, Soonil Lee²; ¹한국세라믹기술원. ²Changwon National University.

Keywords: Thermoelectric, Half-Heusler, Arc melting, Melt spinning, Charge transport

In this study, we used a combined two-step melting method followed by spark plasma sintering to synthesize the n-type half-Heusler materials based on isovalent substitution of $\text{Ti}_{1-x}\text{Zr}_x\text{NiSn}$ ($x = 0.2, 0.3, 0.5, \text{ and } 0.7$) compounds without using Hf element and conventional annealing process, thereby reducing the material cost. The two-step melting method we used here is arc melting combined to melt spinning, which is not required long-term annealing as conventional process. As a result, the microstructure with uniform grain size distribution was achieved and the single phase was confirmed via X-ray diffraction. With those the thermal conductivity dropped substantially to low value and the power factor was also enhanced. A peak ZT of ~ 1 was achieved, which is comparable to other compositions which contain Hf and/or made by other complex processes. The high ZT value with Hf-free materials at high temperature can be applied for thermoelectric generation applications with cost reduction of the modules.

[열전3-1 | 13:00]

Synthesis and Thermoelectric Properties of Cu_2Te and p-type Bi-Sb-Te for Low Temperature Energy Harvesting: Jamil Ur Rahman¹, Jae Min Song¹, Jung Young Cho¹, Soonil Lee², Won Seon Seo¹, Seyun Kim³, Sang-il Kim⁴, Kyu Hyoung Lee⁵, Dongkyu Roh¹, Weon Ho Shin; ¹Korea Institute of Ceramic Engineering & Technology. ²Changwon National University. ³Samsung Advanced Institute of Technology. ⁴University of Seoul. ⁵Yonsei University.

Keywords: thermoelectric, Cu_2Te nanoparticle, bipolar conduction, lattice thermal conductivity reduction, carrier tuning

In this work, we report an efficient way to enhance and modulate the temperature dependence of thermoelectric properties of p-type Bi-Sb-Te by incorporating chemically synthesized Cu_2Te -nanoparticles. We have incorporated the p-type Bi-Sb-Te matrix, and found that the amount of Cu_2Te -nanoparticles (0, 0.05, 0.1, 0.2, and 0.4 wt% shifted from 300 K to 425 K. The higher ZT value was obtained by incorporating Cu_2Te -nanoparticle in Bi-Sb-Te matrix, which is due to enhancement in power factor and reduction in the lattice thermal conductivity. This composite material could lead to Bi-Sb-Te based thermoelectric materials for use at low-temperature applications below 200°C. This composite materials could lead the Bi-Sb-Te based thermoelectric materials to use power generation for low temperature applications below 200°C.

[열전3-2 | 13:15]

Semimetal to Semiconductor Transition and Very High Thermopower in 2D layered PtSe_2 nanosheets: Jeongmin Kim, Hongjae Moon, Wooyoung Lee; *Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University*.

Keywords: PtSe_2 , Nanosheet, thermopower

A Semimetal to semiconductor transition in 2D layered PtSe_2 nanosheets was theoretically predicted based on the quantum confinement effect, which results in the enhancement of the thermopower. However, this transition and change of transport properties have been observed only on the electrical transport. In this work, we report on our observations of the semimetal to semiconductor transition and enhancement of thermopower in ultrathin single-crystalline PtSe_2 nanosheets. The 2D layered PtSe_2 were obtained by

mechanical exfoliation on doped Si substrates with 300 nm of thermally oxidized layer (SiO₂) for device fabrication. The temperature dependence of electrical conductivity and Seebeck coefficient were measured with back-gate modulation. We observed the on-off state of conductivity and rapid increase of thermopower over 1 mV/K at room temperature.

[열전3-3 | 13:30]

Synergetic Enhancement of Thermoelectric Performance by Selective Charge Anderson Localization-Delocalization Transition in N-Type Bi-Doped PbTe/Ag₂Te Nanocomposite: 이종수¹, 이민호², 윤재현¹, 김가령¹, 이지은³, 박수동³, Konelius Nielsch², Heiko Reith², Gabi Schierming²; ¹경희대학교 응용물리학과, ²Leibniz Institute for Solid State and Materials Research, ³한국전기연구원.

Considerable efforts have been devoted to enhancing thermoelectric (TE) performance, by employing phonon scattering from nanostructural architecture, and material design using phonon-glass and electron-crystal concepts. The nanostructural approach helps to lower thermal conductivity but has limited effect on the power factor. Here, we demonstrate selective charge Anderson localization as a route to maximize the Seebeck coefficient while simultaneously preserving high electrical conductivity and lowering the lattice thermal conductivity. We confirm the viability of interface potential modification in an n-type Bi-doped PbTe/Ag₂Te nanocomposite, and the resulting enhancement in thermoelectric figure-of-merit ZT. The introduction of random potentials via Ag₂Te nanoparticle distribution using extrinsic phase mixing was determined using scanning tunneling spectroscopy measurements. When the Ag₂Te undergoes a structural phase transition (T > 420 K) from monoclinic β-Ag₂Te to cubic α-Ag₂Te, the band gap in the α-Ag₂Te increases due to the p-d hybridization. This results in a decrease in the potential barrier height, which gives rise to partial delocalization of the electrons, while wave packets of the holes are still in a localized state. Using this strategic approach, we achieved an exceptionally high thermoelectric figure-of-merit in n-type PbTe materials, a ZT greater than 2.0, suitable for waste heat power generation.

[열전3-4 | 13:45]

열전발전시스템 성능 평가용 배기가스 모사장치 개발: 허성준, 노운현; (주)블루시스

Keywords: 열전발전, 발전량, 배기가스, 모사장치, 시뮬레이터

산업 현장에서 소비되는 폐열은 주로 자동차 배기관, 공장 굴뚝, 열처리 소각로의 연도 등 배관을 통해 외부로 배출되는 것이 일반적이다. 폐열로부터 전기에너지를 회수할 수 있는 열전발전 시스템은 주로 이러한 가스 형태로 버려지는 폐열로부터 열에너지를 얻는 형태로 구성되는데 제품 개발 시 실제 적용처에 바로 설치하여 성능 평가를 하기에는 적용처의 공정이나 생산 프로세스를 중단하고 설치해야 하는 어려움이 있어 현장 적용에 어려움이 있고 개발품의 성능을 확인할 수 있는 방법이 없는 실정이다. 본 연구에서는 이러한 어려움을 해결하기 위하여 실제 폐열 배출 환경과 비슷한 유량, 온도 조건을 모사할 수 있는 배기가스 모사장치를 제안하고 모사장치에 열전발전시스템을 설치하여 시험 평가를 통해 유량, 온도 등의 설치 환경의 변화에 대한 열전발전시스템의 성능 변화를 살펴보고 시험 결과를 기반으로 한 시스템 설계 시 고려해야 할 설계 팩터들을 제시하고자 한다.

[열전3-5 | 14:00]

Repress 공정이 적용된 Bi₂Te₃ 열전발전모듈의 제작 및 출력특성: 주성재, 민복기, 김봉서, 이지은, 장정인, 임혜진, 박수지; 한국전기연구원

Bi₂Te₃ 소재는 일반적으로 상온~100°C 범위에서 최고의 열전성능을 보이며, 펠티어 효과를 이용한 Bi₂Te₃ 열전냉각모듈은 이미 상용화되어 프리미엄 가전제품 등에 적용되고 있다. 그러나 Bi₂Te₃ 모듈을 폐열회수와 열전발전에 활용하기 위해서는 100 - 200°C에서 최고의 성능을 갖도록 소재특성을 적절히 조절할 필요가 있다. 본 연구에서는 (Bi,Sb)₂Te₃ (p형) 및 Bi₂(Te,Se)₃ (n형) pseudo-binary alloy의 조성 최적화와 repress 공정 적용을 통해서 무차원 성능지수의 최대값(ZTmax)이 발현되는 온도를 상향함과 동시에 열전특성을 향상시켰다. 그 결과로 측정온도 200°C에서 ZTmax = 1.31 (p형) / 1.07 (n형)의 양호한 소재특성을 얻었으며, 이 소재를 사용하여 128 pair 열전발전모듈을 제작하였다. 두께 1 mm의 알루미늄 기판에 direct-bonded Cu (DBC) 전극이 패터닝된 상·하부 기판 위에 n, p형의 열전엘리먼트를 솔더링하여 열전발전모듈을 구성하였으며 (모듈크기 : 5 cm x 5 cm), 온도차 260°C가 인가되었을 때 출력 13.3 W를 얻을 수 있었다.

가공-용접 및 접합

Room 603, 4월 26일

[용접1-1 | 09:00]

Ti-STIS 이중 브레이징 접합시 Ti-Zr계 비정질 삽입재의 조성 제어에 따른 금속간 화합물의 형성 거동 및 기계적 특성: 박진수, 장보훈, 이진규*; 공주대학교 신소재공학부.

Keywords: Zr-Ti based, Ti, Stainless steel, Intermetallic, Brazing

Ti 및 Ti 합금은 높은 고온 특성 및 비강도, 우수한 내식성 등의 기계적인 특성으로 인해 해양 산업, 운송 장비 산업 및 화학 플랜트 산업 등에서 널리 사용되고 있으며, 다양한 부품 분야의 적용을 위해 STS와의 이중 접합에 관한 연구가 진행되고 있다. 일반적인 Ti와 STS 이중 접합의 경우, 두 모재의 금속 성분 또는 삽입재의 성분과의 반응으로 인해 취약한 금속간 화합물이 계면 접합부에 형성되어 기계적 강도에 영향을 미치는 것을 보고되고 있다. 최근의 사전 연구에서 Zr-Ti계 비정질 삽입재 및 중간층을 이용하여, Ti/STS 브레이징 접합부의 미세조직 관찰 결과, Zr계 금속간 화합물을 생성하는 것을 확인하였으며, 이러한 금속간 화합물은 계면 접합부의 기계적인 특성을 감소시키는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 Ti/STS 이중 접합시 삽입재의 Zr 함량을 감소시키고, Ti 함량을 증가시켜 Zr계 금속간 화합물의 생성을 억제하고자 하였으며, 이에 따른 금속간 화합물의 형성 거동 및 기계적 특성을 고찰하고자 하였다. 먼저 Zr-Ti계 저융점 삽입재를 리본 형태로 제조한 후 열분석(DTA)을 이용하여 삽입재의 열적 특성을 분석하였다. 제조된 Zr-Ti계 삽입재 및 V, Cu 등의 중간층을 이용하여 Ti/STS의 브레이징 접합을 수행하였다. 주사전자현미경(SEM) 및 전자빔 미세분석(EPMA)을 이용하여 접합부의 형성상 및 미세조직을 관찰하였으며, 인장시험 및 경도 시험을 이용하여 접합부의 기계적 특성을 측정하였다.

[용접1-2 | 09:15]

A Comprehensive Analysis in Friction Stir Butt Welded Joint of 5052-H32 Al and DP 1200 Steel Alloys: Microstructure and Mechanical/Electrochemical Properties: Anaman Yaw Sam¹, Hoon-Hwe Cho¹, Hrishikesh Das², Sung-Tae Hong²; ¹한밭대학교, ²울산대학교

Keywords: Friction stir welding, dissimilar alloys, intermetallic compound, microstructure characterization, corrosion resistance.

Microstructural analysis of friction stir welded (FSWed) joints of two dissimilar alloys, 5052-H32 aluminum alloy and dual phase 1200 steel, is studied. In the stir zone (SZ), three distinct regions are observed: i) top layer consisting of aluminium matrix with scattered steel fragments, ii) middle layer having a mixed lamellar layer of Fe-Al solid solutions and intermetallic compounds (IMCs), and iii) bottom layer with steel. A couple of IMCs are measured in the middle layer, and also at the interface between the aluminium and steel alloys. The overall hardness of the SZ is higher than the base materials in each row. Electrochemical corrosion investigations reveal that the weld joint exhibited a higher corrosion rate compared to the base materials due to the scattered steel fragments and, the increase in martensite content and low angle boundaries (LABs).

[용접1-3 | 09:30]

Microstructural Evolution and Mechanical Properties of Laser Beam Welded Joints Between Pure V and 17-4PH Stainless Steel: 나나¹, 김정한*¹, 김정오²; ¹한밭대학교 신소재공학과, ²한국기계연구원 광응용기계연구실.

Keywords: Welding; Bonding strength; 17-4PH; Vanadium; Sigma phase

In this work, the microstructures and mechanical properties of the joints were formed between 17-4PH stainless steel and pure V using a laser-welding process, in which the beam was shifted towards the 17-4PH side, were investigated. The laser beam was first placed at the middle of the joint interface (LW-0) and then shifted by 0.1 mm (LW-0.1) and 0.2 mm (LW-0.2) towards the 17-4 PH side. In addition, the effects of post-weld heat treatment on the mechanical properties of the welded joints were examined. FZ side and ((Fe)s), which was mainly composed of (FeV) ss due to the uniform mixing of Fe and V elements, (FeV) ss at the FZ // V side on shifting the laser beam towards the 17-4PH side. A small fraction of σ -phase formation, which induced crack initiation and propagation, was observed when the laser beam was not shifted. The grain morphologies are highly dependent on the Fe-V composition. Above 28 at.% V, which readily forms (FeV) ss, a coarser grain structure was observed, while a V concentration below 28 at.% (Fe-rich phases) showed a columnar grain structure upon solidification. The hardness and tensile properties of the joints were dependent on the V concentration in the melt zone. The hardness increased in the order of LW-0.2, LW-0.1, and LW-0. The hardness test results for the weld metals after annealing were significantly higher than those before annealing due to the precipitation of σ -phase. The precipitated σ -phase was dispersed throughout the fusion zones of LW-0 and LW-0.1, while for LW-0.2, The σ -phase was dispersed in the FZ // V interface. The precipitated σ -phase caused a higher strength reduction in the samples.

[용접1-4 | 09:45]

The Effect of Heat Input on the CGHAZ Toughness of a Novel Fire and Seismic Resistant Steel: Dileep Chandran Ramachandran¹, Siva Prasad Murugan¹, Jun Oh Moon², Chang Hoon Lee², Seung Jin Jung³, Sang Hoon Jeong³, Chanyoung Jeong¹,

Yeong-Do Park^{1*}; ¹Department of Advanced Materials Engineering, Dong-Eui University. ²Advanced Materials Division, Ferrous Alloy Department, KIMS. ³R&D Division, Chosun Welding Co. Ltd.

Keywords: Welding, Fire and Seismic resistant steel, Microstructure, M-A constituent

The toughness of coarse-grained heat affected zone (CGHAZ) of the fire and seismic resistant steel (0.13 Mo, 0.018 Ti, 0.029 Nb, 0.0021 B) was systematically investigated. The thermal simulation technique such as gleeble simulation was used to study the CGHAZ toughness of three different heat input conditions. It has been seen that the toughness gradually decreases with increase in heat input of the welding. The electron microscopic characterization shows that the presence of localized brittle zones such as martensitic austenite (M-A) constituents in the microstructure. The microstructural characterization was done by optical microscopy, electron microscopy, and crystallographic techniques. The fractographic analysis reveals that the fracture surface was transformed from ductile dimple fracture to completely brittle cleavage fracture, as the heat input increases and the cleavage (brittle) fracture was initiating on the M-A constituents. Moreover, the size and distribution of M-A constituents increases with increase in heat input. Hence, it can be concluded that the presence of M-A constituents in the microstructure is acting as the cleavage initiation sites and indeed deteriorating the toughness of the materials in high heat input conditions.

[용접1-5 | 10:00]

Fe-Mn-Al-C 경량 철강의 용접 및 용접 후열처리 공정에 대하여 Cr 첨가가 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향: 정성훈¹, 김봉윤¹, 문준오², 박성준², 이창희¹; ¹한양대학교 신소재공학과, ²재료연구소

Keywords: Fe-Mn-Al-C; Precipitation; Welding; Post-weld heat treatment

Fe-Mn-Al-C 경량 철강은 높은 강도, 경도 및 연신율을 가지면서도 동시에 비중이 낮은 특성이 있어 자동차용 차세대 강재로서 큰 주목을 받고 있다. 또한 경량 철강은 합금 원소의 첨가, 열처리 공정 적용에 따른 κ -carbide 석출 등을 이용해 추가적인 특성 강화가 가능하다는 장점이 있어 전세계적으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 한편, 경량 철강의 중요성이 증가함에 따라 경량 철강 용접에 관한 연구의 필요성도 지속적으로 증대되고 있는데, 최신 연구 동향에 따르면 경량 철강의 용접부 및 용접 열영향부에서는 제어되지 않은 κ -carbide 석출이 기계적 특성의 악화를 유발하는 것으로 보고되고 있다. 이에 따라, 본 연구에서는 용접부 및 용접 열영향부에서 κ -carbide 등의 석출을 제어하기 위한 연구를 수행하였다. 실험은 Fe-30Mn-10.5Al-0.9C의 오스테나이트 계열 경량 철강을 기본으로 하였으며, κ -carbide 석출을 억제하는 효과를 지닌 것으로 알려진 Cr을 첨가한 뒤 두 강재의 미세조직 및 기계적 특성을 직접적으로 비교 분석하였다. GTAW 공정을 이용해 제삼 용접한 시편에 대해 후열처리 유무를 나누어 시편을 준비한 뒤, 경도 분포 측정을 통해 각 시편의 기계적 특성 변화를 확인하였다. κ -carbide를 비롯한 조직 내에서 발생하는 미세조직 거동 분석을 위해서는 SEM, XRD 및 TEM이 활용되었다. 실험 결과에 따르면, 경량 철강에서의 Cr의 첨가는 문헌에 알려진 바와 같이 κ -carbide를 억제하는 효과가 있었으나, 용접부와 용접 열영향부에서 후열처리 중 미세조직과 기계적 특성에 공통적으로 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

[용접1-6 | 10:15]

In-situ 후열처리를 이용한 중방간강 점용접부 인성 향상 연구: 박기태¹, 엄상호², 정홍철², 이창희¹; ¹한양대학교 ²POSCO

Keywords: Medium-Mn steel, Resistance spot welding, Low-temperature tempering, Cross-tension test

최근 연구되고 있는 중방간강은 페라이트와 오스테나이트의 이상조직을 가지는 강재로서 우수한 강도 및 연신율을 나타내 차체로의 활용이 기대되고 있다. 하지만 강재의 용접부, 특히 용접열영향부 중 조립역(Coarse grained heat-affected zone, CGHAZ)에서는 취성의 마르텐사이트로 인한 인성 저하 현상이 보고되고 있다. 본 연구에서는 차체 조립을 위한 저항 점용접성 확보를 위해 중방간강 점용접부에 in-situ 후열처리(post-weld heat treatment)를 적용하여 미세조직 변화를 관찰하고 기계적 특성을 평가하였다. 시편은 DP980 강판과의 이중 용접부를 사용하였으며, 십자인장시험을 통해 cross-tension property를 측정하고 파단면을 SEM으로 관찰하였다. 이 때 후열처리에 의한 파단모드 변화와 cross-tension strength의 증가가 확인되었다. 원인 분석을 위해 중방간강의 용접열영향부 thermo-mechanical simulation을 적용하였고, 인장시험과 경도시험 등의 기계적 특성 평가와 SEM, TEM 등의 미세조직 분석을 수행하였다. 그 결과 냉각 중 형성되는 초기마르텐사이트 분율과 후속열싸이클의 peak 온도가 tempering의 정도에 영향을 주는 가장 주요한 요인으로 작용함을 알 수 있었다.

[용접2-1 | 10:40]

DED AM 공정을 이용한 Fe-Ni계 이종소재의 경사적층공정 연구: 임성록, 김성욱, 천창근; 포항산업과학연구원 금속소재연구그룹

Keywords: DED AM process, Dissimilar materials, Functionally Gradient Deposition, STS316L, Inconel 625

최근 산업계에서는 적층제조공정(AM, Additive Manufacturing Process)을 이용한 부품개발과 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그 중 금속분말을 이용한 직접분사적층(Directed Energy Deposition)공정은 금속분말을 모재 표면에 직접 분사하여 적층함으로써 대형 부품 혹은 고가의 사용부품을 보수/재생하는 것이 가능하므로 제철 및 발전 분야에 응용 가능성이 높다. 하지만 복합성분을 가지는 소재의 적층은 기존소재와 적층소재의 물성 차이로 인해 계면에서의 탈락과 기계적 물성의 하락을 야기하여 품질확보에 어려움이 따른다. 본 연구에서는 이러한 문제의 원인파악과 해결책에 접근하기 위한 기초 연구로써, DED AM 공정을 이용하여 적층 시 구간 별 성분 변화를 주는 경사적층공정의 적용 가능성에 대해 검토하였다. 적층 소재는 50~150 μ m급 구형 분말 형태의 STS316L 및 Inconel 625를 사용하였으며, 이종소재의 동시 송급이 가능한 RIST보유 DED장비(RAM-1000)를 이용하여 적층하였다. 적층조건은 레이저 출력 700 W, 분말 송급량 5 g/min, 이송 속도 900 mm/min, 가스 송급량 2 L/min로 적용하였으며, 물성치이

로 인한 충격을 완화하기 위해 분말 혼합비에 따라 6Layer(STS/8:2/6:4/4:6/2:8/Inconel) 구간으로 세분화하여 적층하였다. 적층 후 SEM과 TEM을 이용하여 미세 석출상을 관찰하였으며, 온도에 따른 구간별 조직 변화를 파악하고자 열처리 전/후 미세조직과 기계적 물성을 비교하였다.

[용접2-2v10:55]

스테인리스강 레이저 용접성에 관한 연구: 이목영¹, 박헌준², 차성철²; ¹포항산업과학연구원, ²현대캐피탈

Keywords: Stainless steel, laser welding, solidification, phase

자동차의 배출가스 및 연비 규제를 충족시키기 위하여 연진효율 향상에 대한 요구가 크다. 엔진의 연소 효율을 높이기 위하여 연료의 분사압력을 증가시키는 방법이 추진되고 있는데, 이를 위해서는 강도가 높은 소재를 적용해야 한다. 그러나 소재의 강도가 높을수록 용접부에서 균열의 발생가능성이 증가된다. 본 연구에서는 자동차 엔진 부품으로 사용되는 스테인리스강의 레이저 용접성에 관한 것이다. 사용한 레이저는 SM 모드 및 멀티 모드 이었으며, 레이저 출력 및 속도에 따른 용접성을 알아 보았다. 공정변수에 따른 용접부 품질을 평가하기 위하여 용접부 단면에 대한 조직검사를 수행하고, 용접부의 미세조직을 관찰하였다.

[용접2-3 | 11:10]

Ti 판재 부품화를 위한 용접공정 및 기계적 물성평가: 김성욱, 임성록, 천창근; 포항산업과학연구원(RIST).

Keywords: Titanium plate, Resistance seam welding, Laser beam welding, Friction stir welding

타이타늄은 고비강도 및 내식 특성을 가지고 있어 우주항공 및 산업 전반에 활발히 사용되고 있다. 부품화를 위한 용접공정은 아크, 레이저 등을 비롯한 용융용접 및 FSW의 고상접합 등이 적용될 수 있으며, 대기와의 산화를 방지할 수 있는 기존의 용접공정은 대부분 적용이 가능하다. 본 연구에서는 타이타늄 판재 용접공정으로 RSW, LBW, FSW 등을 적용하고, 각 공정에 따른 미세조직 및 기계적 물성을 비교하고자 하였다. RSW(Resistance Seam Welding)은 전극의 통전에 의한 저항발열로 국부적인 용융이 발생하고, 소재의 직접적인 가압에 의한 용접품질이 우수하나, Ti 판재의 접촉저항에 의한 발열특성이 소재별로 상이하게 발생하여 기계적 물성에 영향을 미치는 것으로 파악되었다. LBW(Laser Beam Welding)은 고에너지빔의 고속용접이 가능하므로 생산성 확보가 용이하나, 흠발생에 의한 광학계의 오염이 용접성에 영향을 미칠 수 있으며, 공정변수에 따른 용접품질 특성이 민감하여 용접적용 부위의 정밀제어가 필요한 것으로 검토되었다. FSW(Friction Stir Welding)은 상기 공정들보다 활발하게 적용되고 있지는 않으나 용접이하에서의 고상용접이므로, 모재의 특성을 상실하지 않고 부품화를 구현할 수 있어 향후 적용이 확대될 것으로 전망된다. 특히, Ti 합금의 경우 용융, 응고과정에서 기계적 물성에 악영향을 미치는 침상조직 등이 형성될 수 있으므로, FSW 적용시 이를 회피하여 물성향상 구현이 가능할 것으로 판단된다.

[용접2-4 | 11:25]

기존 극저온용 용접재료를 적용한 cast high-entropy alloys의 용접부 특성 평가: 남현빈¹, 박상원¹, 양우성², 박노근³, 나영상⁴, 김형섭⁵, 강남현¹; ¹부산대학교 재료공학부, ²세아에스비 기술연구소, ³영남대학교 신소재공학부, ⁴재료연구소 티타늄연구실, ⁵포항공과대학교 신소재공학과

최근 원유 및 천연자원의 고갈로 인하여 극저 에너지 자원의 필요성이 확대되고 있으며, 해양 플랜트 및 선박이 극저온 심해의 극한 환경에서 운행됨에 따라 강재의 고강도 및 저온인성 특성이 요구된다. 기존에 사용되던 9% Ni강이나 오스테나이트계 스테인레스강의 용접부는 극저온에서 용접결함 및 용접특성 저하 등의 용접부 특성이 한계에 도달하여 우수한 상온 및 저온특성을 가지는 고엔트로피합금의 개발되었다. 신 재료가 개발됨에 따라, 구조용 재료로서의 적합성을 판단하기 위하여 현재까지 저입열 용접인 레이저, 마찰교반, 전자빔 용접, 고입열 용접인 GTAW 등의 용접성 평가와 관련된 많은 연구가 보고되고 있다. 하지만 기존의 극저온용 용접재료 적용 시 용접부의 특성을 평가한 연구는 없으며, 이에 따른 용접성 향상에 대한 방안 제시도 전무한 상황이다. 따라서 본 연구는 기존의 극저온용 용접재료로 사용되던 STS 308L을 적용한 cast HEA의 GTAW 용접부에 대한 특성 분석을 목적으로 한다. 본 연구를 위하여 용접재료를 적용하지 않은 GTAW 용접부와 STS 308L을 적용한 용접부 특성을 비교분석 하였으며, 이때 용접속도는 12.5 cm/min로 동일하게 적용하였다. 용접재료를 적용하지 않은 용접부는 상/저온 특성이 모재와 유사하였으나, STS 308L 적용 시 극저온 특성이 모재보다 열화된 경향을 보였다. 하지만 모재 대비 80% 이상의 극저온 인장특성을 보이므로, HEA 용접재료로 기존에 사용되던 STS 308L 용접재료의 적용이 가능 할 것으로 판단된다.

[용접2-5 | 11:40]

저항점용접 연속타점에 따른 전극의 마모가 LME 균열에 미치는 영향: Kaiser Mahmud, Siva Prasad Murugan, 박영도; 동의대학교

Keywords: Resistance spot welding, Liquid Metal Embrittlement, Crack, Electrode, Nugget

In this work, the effect of electrode degradation on liquid metal embrittlement (LME) cracking in galvanized (GA) coated transformation induced plasticity (TRIP) steel during resistance spot welding was investigated. Continuous spot welds were made with a Cu-Cr dome type electrode and these welds were observed for the surface cracks. The presence of LME crack was observed by non-destructive Liquid Penetration Test (LPT) qualitatively. The quantitative analysis of LME crack sensitivity was evaluated from the surface and cross-sectional analysis based on the total number of cracks, maximum crack length, total crack length and the location of the cracks in the weldment. Initially the welds were produced with large cracks, however, cracks sensitivity gradually decreased as the number of welds increased. Several in-situ studies have been made in a specific interval during the degradation process including carbon imprinting, electrode tip imaging & Infrared Radiography for analyzing the electrode tip dimension & morphology and electrode and

weld surface temperature. The welds and the electrodes were also subjected to several characterization techniques such as optical and scanning electron microscopy for microstructural analysis, and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) and Electron probe micro-analyzing (EPMA) for elemental and phase analysis. The dynamic resistance was studied to analyze the resistance, heat input and nugget formation throughout the degradation process. All the analysis of weld & electrode has revealed that the electrode degradation caused the change in the LME sensitivity. At the end of the degradation, the electrode tip shape changed to a mushroom shape including several Fe-Zn alloy layers on its tip. Resistance spot welding was simulated with SORPAS® software to analyze the effect of temperature and stress during the degradation process which has significantly affected the LME behavior.

가공-소성가공

Room 603, 4월 26일

[소성-1-1 | 13:00]

핫스탬핑 보론강의 냉각방식에 따른 미세조직 및 기계적특성: 박헌태¹, 권의표¹, 임익태², 박현경³; ¹한국생산기술연구원 탄소경량소재응용 그룹, ²전북대학교 기계설계공학과, ³동해금속 기술연구소

Keywords: 핫스탬핑, 열간성형, 고강도강, 보론강, 경량화

최근 자동차산업의 기술발달로 경량화와 고강도성능이 동시에 요구되고 있다. 이에 따라 열간성형(Hot stamping, Hot press forming) 부품의 적용이 증가하고 있다. 기존 냉간성형에서 스프링백과 1.5 GPa 이상의 초고강도 부품 제조가 힘들다는 문제가 있었다. 핫스탬핑을 통해 형상동결성과 고강도화를 동시에 달성하여 이러한 문제점들을 극복하고자 한다. 또한 직수냉각기술을 통해 열간성형의 단점인 생산성을 향상시키는데 목적이 있다. 본 연구에서는 고강도화를 위해 직수냉각 핫스탬핑 기술을 적용하여 두꺼운 보론강 판재(3.2t)를 냉각조건 별로 성형하였고, 미세조직 및 기계적 특성을 분석하였다.

[소성-1-2 | 13:15]

TMCP 압연 공정해석을 통한 HSLA 극후물 강재의 미세조직분포 예측: 최창혁, 천세환, 임형철; (주)에프엠케이

Keywords: Plate rolling process, Heavy section steel plate, High-strength low-alloy steel, Recrystallization, Grain size

선박 및 에너지 산업에 적용되며 두께 150 mm를 초과하는 극후물 강재는 높은 강도와 함께 용접성이 요구된다. 이러한 극후물 강재의 일반적인 제조방법은 연속 주조를 통한 슬라브 재료를 사용하여 열간 압연공정으로 이루어진다. 그리고 용접성과 강도를 동시에 확보할 수 있는 HSLA강은 용접성을 확보하기 위해 합금성분을 줄이고, 결정립 미세화와 석출 경화를 통하여 강도를 증가 시켜 적용하고 있다. 따라서 HSLA강에 합금원소 Nb, Ti, V 등을 극 미소량을 첨가하여 열간 압연공정에서 TMCP를 적용하면 결정립이 미세화되고 요구되는 강도를 확보할 수 있다. 유한요소 해석을 통한 소성가공변형뿐 아니라 이제는 미세조직에 관한 상변태, 결정립의 성장, 동적, 준동적, 정적 재결정, 및 석출 거동 등 많은 모델들이 개발되고 있다. HSLA 강 경우 최종 물성에 영향을 미치는 주 인자로는 결정립 크기와 석출 등이 있으며 이것을 예측 함으로써 최종 제품의 물성을 예측 할 수 있을 것으로 보여진다. 따라서 그 과정의 하나로 제조과정에서의 강의 결정립 크기를 예측하여 앞으로 소성가공 해석과 함께 미세조직 예측을 통하여 제품의 강도 분포를 예측하고자 한다. 본 연구에서는 고강도 저합금 강재의 열간 압연공정을 유한요소 해석하여 결정립 크기를 예측하고 이것을 제품의 요구 강도를 평가하는데 적용하고자 한다.

[소성-1-3 | 13:30]

냉각속도에 따른 비조질강의 항복비 특성 및 온간 공정 적용: 배성준, 이영선, 윤은유, 김기한; 한국기계연구원 부설 재료연구소

Keywords: Yield ratio, Non-normalized steel, Non-ferrite phase, Warm forming, Control cooling

기존의 단조 공정은 전/후열처리에 수반되는 공정수가 많고 부품의 열처리에 따른 치수변화의 단점 등이 있다. 이는 현재 철강 단조 부품 제조 공정의 제조원가 감축을 위해 개선되어야 하는 문제점이며 이에 제조 공정 에너지를 최소화 방법으로 단조 후 열처리를 생략할 수 있는 비조질강의 연구가 활발히 수행되고 있다. 비조질강은 제어냉각을 통해 동일한 인장 강도에 낮은 항복 강도를 갖는, 냉간 및 온간 성형공정에서 낮은 에너지 및 금형수명에 유리한 저항복비강을 얻을 수 있으며, 반대로 동일 인장 강도에 높은 항복강도를 갖도록 하여 절삭가공성 및 제품 치수제어에 이점이 있는 고허복비강으로 제조할 수 있다. 본 연구는 냉각 조건에 따른 고허복비강의 항복비 특성 및 미세조직을 분석하여 페라이트 기반 펄라이트, 베이나이트 및 마르텐사이트의 복합조직을 형성할 수 있음을 확인하였으며, 이를 통해 현재 열간 단조 공정을 통해 제조되는 OTR socket을 온간 공정에 적용하여 공정수를 단축하면서 요구 특성을 만족하는 제품을 제조하였다.

[소성-1-4 | 13:45]

Microstructural Characteristics of Ferrous Driven Part Fabricated by Warm Precision Forging: 이영선¹, 윤은유¹, 배성준¹, 김기한¹, 이상용²; ¹한국기계연구원부설재료연구소, ²안동대학교

Keywords: ferrous driven part, warm forging, grain refinement

Warm forging is the one of the good processes for near net shaping since the warm forged parts have good microstructure, surface quality and others. Moreover the process gives some advantages to reduce and eliminate following steps compared to the conventional hot forging. However, it is essential to have appropriate process parameters and then control the related metallurgical phenomena. Additionally, the control of dimensional accuracy of warm forged part is very important to reduce the following process, such as cold sizing or machining. In this study, pulley and bevel gear for automobile differential unit are used to investigate the microstructures and dimensional change of warm forged part. AISI1045 and SAE4130 are used as the forging material for pulley and bevel gear, respectively. The hot compression tests are performed to select an appropriate warm forging temperature. They are fabricated practically by warm forging using crank press. According to the microstructure evaluation, the properties of warm forged parts can be enhanced more than conventional forged processes.

[소성2-1 | 14:10]

Study on Shape Design Variable for Twist-type Sheet Forming in Flexibly-reconfigurable Roll Forming: Junseok Yoon¹, Beomsoo Kang², Daeyong Kim¹; ¹Korea Institute of Materials Science, ²Pusan National University.

Keywords: Flexibly-reconfigurable Roll Forming (FRRF), Curved sheet forming, Twist-type surface, Flexible forming technology, FE simulation

In the past years, most multi-curvature sheet metal parts were manufactured based on the large quantity production systems using conventional forming processes like a press die forming. However, the small-quantity batch and high added-value production system are being recently magnified as demands from both consumers and manufacturers continued to diversify in various industrial fields. In response to this specific need, flexible forming technology using only one forming die set represented the major driver of development in three-dimensional curved sheet forming. A cost-effective flexibly-reconfigurable roll forming (FRRF) process among the flexible forming technologies is currently being developed to be applied for practical product manufacturing. Several investigations were also carried out to demonstrate the applicability of the FRRF process. FRRF process can produce different types of three-dimensional curved surface such as convex, concave, and twist-type surface. Among these curved shapes, twist-type surface is mostly manufactured using press forming or overbending process considering elastic compensation of the sheet metal according to its material properties. In this study, the shape design variables for the twist-type surface were studied. In order to verify the shape design variables, numerical approaches were also presented.

[소성2-2 | 14:25]

알루미늄 판재 소재의 고무패드 성형 공정 유한 요소 해석 모델링에 관한 연구: 이진우, 봉혁중, 권용남, 김대용; 한국기계연구원 부설 재료연구소 (KIMS).

Keywords: 유한 요소, 알루미늄 판재, 판재 성형, 고무 패드 성형, 구성방정식

Rubber-pad forming process is a multi-purpose sheet metal forming process used in commercial aircraft components. This process is well suited for the production of small quantities of sheet metal parts. In this study, a rubber-pad forming process of aircraft component to reduce wrinkles on AA2024-O sheets is investigated using finite element analysis. In order to perform a finite element modeling, various mechanical tests are conducted on elastomer and AA2024-O materials. The nonlinear mechanical properties of elastomer materials are described using a hyper-elastic material model. The plastic deformation and fracture behaviors of AA2024-O sheets are also considered. From a comparison of experimental results, the finite element prediction of rubber-pad forming provides reliable and robust simulated results.

[소성2-3 | 14:40]

유한요소해석을 통한 알루미늄 관재와 판재 사이의 전자기 체결 거동 분석: 박현일¹, 이진우¹, 이영선¹, 김지훈², 김대용¹; ¹재료연구소, ²부산대학교.

Keywords: 전자기 관재 체결, 로렌츠 힘, 다물리 유한요소 해석, 체결 강도

전자기 관재 체결(electromagnetic tube joining)은 높은 밀도의 전기에너지를 순간적으로 관재 내부에 배치된 와선 형 코일(Helix coil)로 방전시켜 로렌츠 힘(Lorentz force)을 생성하고, 이를 통해 초고속 확관(tube expansion)을 야기하여 관재와 판재 간 기계적 체결을 이루는 공정이다. 본 연구에서는 부채꼴 형 구리 디스크를 120도 간격으로 적층하여 와선 형 코일을 제작하였고, 이를 이용하여 각각 3 mm의 두께를 갖고 있는 6063-O 알루미늄 합금 관재와 7075-T6 알루미늄 합금 판재를 전자기 체결 하였다. 충전 전압 5.7, 7.5, 9.2 및 11.1kV에서 전자기 관재 체결 실험이 수행되었고, 9.2 및 11.1kV 충전 전압에서 유격 없는 완벽한 체결을 달성하였다. 전자기 변형을 상호 연계하는 다물리 유한요소 해석을 통해 전자기 관재 체결 실험을 모사하였고, 탄성 복원에 의한 체결력 생성을 유도하여 그 거동을 분석하였다. 그 결과 관재의 확관과 플랜징(flanging)에 의한 기하학적 구속, 관재와 판재 간 탄성 회복 량 차이에 의한 간섭 응력 생성, 그리고 고속 충돌 시 비교적 강도가 높은 판재가 강도가 낮은 관재를 파고드는 소성 절림(indenting) 현상, 세가지 기구로 체결이 이루어짐을 확인하였다. 체결 후 분리 실험을 통해 체결 강도를 측정하였고, 9.2 및 11.1kV 충전 전압 조건일 때 관재의 항복강도보다 높은 체결 강도를 달성하였다.

[소성2-4 | 14:55]

칼슘 첨가 마그네슘 합금의 기계적 특성 및 이를 이용한 원도우레귤레이터 연속 성형: 김세준¹, 김기한¹, 배성준¹, 강성훈¹, 이호원¹, 오영석¹, 한원돈², 정배훈², 이영선¹; ¹재료연구소(KIMS), ²광진기계.

Keywords: 마그네슘, 성형성, 집합조직, 원도우레귤레이터

칼슘 첨가 마그네슘 합금의 초기 집합 조직을 분석하고 이들이 기계적 성질에 미치는 영향을 분석하였다. 저면 방위가 TD 방향으로 분리되고 TD방향 흠어져 있는 초기 집합 조직으로 인해 명확한 평면 이방성을 보였다. 이는 TD방향 인장 시 RD방향으로 인장 시 보다 저면 슬립계와 인장 쌍정 발생이 용이하기 때문이다. 또한 TD방향 인장 시 인장 쌍정계로 인해 가공 경화가 지수가 더 높았으며, 인장 쌍정계에 응력 집중으로 인해 결함이 발생하여 연신율이 더 낮았다. 그러나 저면 집합조직의 강도가 낮기 때문에 등 이축 변형 모드에서는 AZ31보다 상온에서 더 높은 성형성을 보였다. 칼슘 첨가 마그네슘 합금에 대해 금형 가열없이 원도우레귤레이터 온간 연속 성형을 수행하였다. 향상된 성형성으로 인해 AZ31대비 낮은 온도와 10 spm 성형 속도로 성형할 수 있었다.

지르코늄 핵연료 피복관 개발현황 심포지엄

Room 604, 4월 26일

[지르코늄 1-1 | 09:00]

사고저항성 핵연료(ATF) 피복관 기술의 현재와 미래: 김현길¹, 정양일¹, 신호철², 이광호², 목용균³, 김윤호³; ¹한국원자력연구원, ²한국수력원자력, ³한전원자력연료

Keywords: Accident tolerant fuel, Nuclear, Fuel cladding, Performance

사고저항성 핵연료는 2011년에 일본에서 발생한 후쿠시마 원전사고를 계기로 원자력발전발전소의 수소폭발과 같은 사고를 방지하고자 핵연료 관점에서 제안된 개념이다. 사고저항성 핵연료의 개발은 국, 내외 원전가동국에서 핵심원천기술로 개발하고 있는데 경제성, 성능 그리고 개발주기가 주요관심사가 되고 있다. 특히 가동원전을 운영하는 나라에서는 사고저항성 핵연료가 Game Changer라 불릴 만큼 파급효과가 큰 것으로 인식되고 있다. 또한 사고저항성 핵연료의 성능은 발전소의 사고환경에 국한되지 않고 정상운전에서의 성능도 향상시키는 것을 목적으로 하고 있다. 현재까지 개발된 사고저항성 핵연료 피복관 개념을 보면 원자력 발전소의 가동환경은 재료가 극복하기에 매우 가혹한 조건으로 원자력 소재로 개발되지 않은 타 분야에서 우수한 성능을 갖은 소재를 적용하려는 연구는 점차 경쟁력을 잃고 있다. 현재 상용화 대상으로 인식되고 있는 사고저항성 피복관을 요약하면 미국 웨스팅하우스, 프랑스 아레바 그리고 한국 원자력연구원에서는 기존 지르코늄 피복관의 외면에 신소재로 코팅하여 제조성, 경제성, 그리고 상용화의 수월성을 얻고자 하고 있다. 코팅 피복관 개념은 노의 시험이 많이 진행된 상태이고, 연구로 연소시험에 대부분 착수되었으며, 국가별로 2018 ~ 2025 사이에서 상용로 연소시험을 계획하고 있다. 사고저항성 핵연료 피복관의 상용화는 국내 원자력발전소의 안전성을 증진하고 국외 핵연료 수출기반을 마련하여 대국민 수용성을 높일 수 있는 원자력소재 분야의 핵심이다.

[지르코늄 1-2 | 09:15]

LOCA 안전성기준 강화에 따른 핵연료피복관 평가기술 개발 현황: 고대균, 장훈, 이성용, 김윤호, 김재익; 한전원자력연료

Keywords: LOCA, Post Quench Ductility Test, PQD, Breakaway oxidation, Periodic Confirmatory Test

미국 원자력규제위원회 및 한국원자력안전기술원은 핵연료 안전성기준을 강화하기 위하여 비상노심냉각계통 신규기준을 공표하려고 한다. 이에 따라, 본 기관에서는 피복재의 연성/취성 천이산화도(Ductile-to-brittle transition) 및 천이산화(Breakaway oxidation)를 평가해야 한다. 피복재의 연성/취성 천이산화도는 냉각재상실사고 후 피복재의 수소함량 및 산화도에 따라 피복재의 취화거동을 판단하는 기준으로서 Post Quench Ductility Test를 수행하여 평가한다. 천이산화란 고온의 수증기 분위기에서 산화막이 단사정계로 변화하며 금속과 박리되는 현상을 말하며, Periodic Confirmatory Test를 통해 박리가 발생하는 시간을 측정하여 천이산화에 대한 건전성을 평가한다. 상기의 시험방법은 미국 원자력규제위원회에서 발행한 Regulatory Guide(RG) 1.222 및 1.223의 평가방법 및 기준에 따른다. 본 기관에서는 상기의 시험을 수행하기 위한 필수장비 중 하나인 피복관 고온산화장비를 자체 개발하여 사용해 왔다. 본 장비는 '적외선 히터를 사용한 반사로'를 적용하여 시험조건인 급격한 승온 및 냉각에는 매우 용이하나, 장비 유지보수가 어렵고 시험속도가 느리다는 단점이 있다. 신규기준이 공표되면 생산공정에서 주기적으로 수행해야 할 시험이므로 기 개발된 장비의 단점 개선이 필수적이다. 그렇기에 본 연구에서는 유지보수가 용이한 저항로를 사용하여 신규 피복관 고온산화장비의 개발 및 제작을 수행하였다. 또한 RG 1.222 및 1.223에 기술된 Thermal / Weight-Gain Benchmarks를 수행하고 제작한 시편의 사전시험을 통하여 장비의 적합성을 입증하였다.

[지르코늄 1-3 | 09:30]

PVD 법을 이용한 핵연료 피복관용 내산화방지막 코팅기술개발: 박정환, 정양일, 박동준, 이영호, 최병권, 김일현, 김현길; 한국원자력연구원

원자력 발전분야에서 핵연료를 외부로부터 보호 및 차단하는 핵연료 피복관 주재료로 사용되는 지르코늄 합금은 고온에서 수증기와 격렬히 반응하여 다량의 수소와 열을 발생시키며 고온에서 낮은 기계적 강도를 갖는 문제를 가지고 있어 원자력으로 안전에 대한 문제를 가지고 있었다. 특히 2011년 후쿠시마 원전에서 고온 수증기 반응에 의한 수소 발생이 원자로로 폭발의 원인이 된 이후 사고시 원자로의 안전성을 확보하기 위한 사고 저항성 핵연료 피복관에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 사고 저항성 핵연료 피복관 개발은 핵연료 피복관의 고온 내산화성을 향상시켜 사고환경에서 수증기와의 반응을 억제함으로써 수소 폭발을 지연 또는 방지하는데 목적이 있다. 그러므로, 개발초기에는 지르코늄보다 우수한 고온 고온내산화성을 가진 SiC, FeCrAl등 소재를 이용하여 지르코늄 합금을 대체하고자하는 연구가 활발히 진행되었다. 그러나 정상운전조건에서 냉각수에 녹는 현상이 관찰되었으며, 일부 소재는 중성자 흡수단면적이 지르코늄보다 크기 때문에 경제성이 떨어지는 단점이 있었다. 이러한 단점을 극복하고자 지르코늄 피복관의 표면을 코팅함으로써 안정성과 경제성을 동시에 취하기 위한 연구가 진행되고 있다. 고온, 부식 환경 적용되는 코팅 재료는 열적 안정성, 접합력 및 내산화성이 요구되고 있다. 특히, 원자력발전과 같은 극한 환경에서는 더욱더 우수한 내산화성 및 접합력을 필요로 하고 있다. 한국원자력연구원에서는 사고 저항성 핵연료 피복관 개발을 위해 극한 환경에서도 내산화성이 뛰어난 Cr합금을 개발하였으며, Cr 합금을 코팅재료로 적용하여 사고 저항성 핵연료 피복관을 개발하고자 연구를 활발히 진행하고 있다. 코팅재료의 경우 동일 물질을 사용하더라도 코팅방법에 따라 구조, 밀도 및 접합력등이 달라지게 되며 이에 따라 고온 내산화성에서도 차이를 보이게 된다. 그러므로, 본 연구에서는 PVD 방법에 따른 Cr합금 코팅막의 접합력 및 고온 내산화성을 비교 분석하여 Cr 합금을 코팅하기 위한 최적의 코팅기술과 조건을 찾고자 하였다.

[지르코늄 1-4 | 09:45]

3D 레이저 프린팅을 이용한 핵연료피복관의 표면처리 기술: 김일현¹, 김현길², 최병권², 이영호², 정양일², 박동준², 박정환², 양재호²; ¹ 한양대학교 신소재공학과, ² 한국원자력연구원 핵연료안전연구부

Keywords: Fuel cladding, FeCrAl, ATF, Oxidation, 3D Laser coating

핵연료 피복관 재료로 사용되고 있는 지르코늄 합금 피복관은 원자로의 정상적인 운전환경에서 내식성과 기계적 특성이 우수하고 중성자 흡수 단면적이 적어 핵연료 피복관 소재로 사용되고 있다. 하지만 일본의 후쿠시마 사고이후에는 정상상태뿐만 아니라 사고 상황에서도 핵연료 피복관 및 핵연료의 안전성이 확보되어야 한다. 이처럼 핵연료 피복관이 사고환경에 노출되게 되면 급격한 산화 반응과 함께 발열반응으로 내산화 저항성이 급격히 감소 되고 고온강도가 낮아지게 된다. 원전선진국과 국내에서 고온산화 및 고온 변형에 우수한 성능을 가지는 핵연료(accident tolerant fuel; ATF)라고 정의하고 사고저항성 강화 피복관 개발을 수행 중에 있다. 사고저항성이 우수한 피복관을 적용하게 되면 중대사고 발생시 고온산화 와 고온변형 및 파열에 의한 핵연료 누출을 지연 시킬수 있어 사고안전여유도 즉 대처할수 있는 시간을 확보할 수 있다. 본 연구에서는 고온산화 저항성 향상 시키기 위해 위해 3D레이저 프린터를 이용한 코팅 기술은 연구하였다. 3D레이저 프린터를 이용하여 핵연료 피복관에 이중 소재를 코팅할 경우 지르코늄 모재와 코팅 소재간 계면에 혼란된 층을 형성할수 있기 때문에 접착 성질이 크게 향상 시킬수 있다. 코팅 소재는 FeCrAl(ATMT) 파우더를 이용해 3D 레이저 프린팅을 이용하여 코팅을 수행하였으며 FeCrAl소재를 지르코늄 모재에 직접 코팅할 경우 고온에서 950°C 이상으로 온도가 상승하게 되면 Zr과 Fe의 상호확산에 의해 코팅 물질 조성이 바뀌고 핵연료 피복관 모재에 Zr-Fe계 금속간 화합물이 형성되어 취화되는 문제점이 있어 FeCrAl코팅소재 와 Zr모재 간에 상호확산의 문제를 해결하고자 지르코늄 피복관에 아크 이온플레이팅 방법을 이용하여 Cr을 확산방지층으로 코팅한 후에 레이저를 이용하여 FeCrAl 소재를 코팅하였다.

[지르코늄 1-5 | 10:00]

Cr-Al-Si계 내산화 코팅재료의 미세조직 특성: 김정민¹, 박준식¹, 김일현², 김현길²; ¹한밭대학교 ²한국원자력연구원

Key Words: Zircaloy-4, Cr-Al-Si alloy, microstructure, oxidation원자로의 핵연료 피복관용 소재로서 사용되고 있는 지르코늄합금은 많은 장점에도 불구하고 고온에서의 내산화성이 높지 않으므로 중대한 사고에 대응하기에 어렵다는 우려가 있다. 지르코늄합금이 가지는 기존의 장점을 유지하면서도 고온에서의 내산화성을 높일 수 있는 방법 중의 하나는 지르코늄합금의 표면에 내산화성 금속재료를 코팅하는 것이며, 따라서 다양한 코팅용 금속재료를 플라즈마 용사 및 레이저 표면코팅 공정에 활용하는 연구가 진행되고 있다. 플라즈마 용사는 오랫동안 산업적으로 활용되어 왔으며, 경제성과 생산성 측면에서 많은 장점을 가지고 있다. 하지만 용사공정은 계면 접합성이 낮으므로 코팅의 전처리 공정으로 사용하고 레이저 공정을 추가로 적용하는, 이른바 복합코팅방식이 효율적일 수 있다. 한편, 내산화성이 우수한 Cr-Al합금에 Si를 첨가하면 Cr₃Si상이 형성되어 내마모성이 개선되는 연구결과가 있으므로 본 연구에서는 Cr-Al합금분말과 Si분말을 사용하여 Zircaloy-4 합금표면에 코팅층을 형성하였다. 레이저 코팅공정의 차이, 즉 전처리 공정인 플라즈마 용사 Si코팅공정의 유무에 따라 코팅시편을 제조하여 미세조직의 차이를 조사하였으며, 전처리 없이 Cr-Al-Si코팅층을 형성한 경우에는 공정 과정에서 Zr합금 기지의 용융 및 혼입이 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 Zr의 코팅층으로의 혼입은 내산화성을 현저하게 낮추게 되었으며, 1200°C의 수증기 분위기에서 1시간 유지하면서 상대적인 무게변화를 비교하는 시험에서 확인할 수 있었다. 고온 가열 후의 Cr-Al-Si 코팅층의 미세조직에서도 변화가 관찰되었으며, 공정차이에 따른 비교도 이루어졌다.

[지르코늄 1-6 | 10:15]

ATF 피복관 코팅용 후보소재별 고온산화 기구 규명 연구: 박동준, 정양일, 박정환, 최병권, 이영호, 김일현, 김현길; 한국원자력연구원

Keywords: High temperature oxidation, Accident tolerant fuel, Microstructure

원자로 냉각재 상실사고 도중 발생할 수 있는 고온 수증기 환경에서도 노심 재료의 산화 저항성 및 기계적 건전성을 장시간 담보할 수 있도록 개발된 Cr, FeCrAl, SiC 후보소재에 대한 고온산화 시험 평가가 수행 되었다. 각 소재의 저온 산화 기구는 많은 연구를 통하여 어느 정도 규명되어 있다. 하지만 원자력 분야 적용을 위한 원자로 사고환경 고온 산화 거동에 관련하여 아직 명확한 산화 기구에 대한 이해가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 각 소재를 원자로 사고환경인 1200도씨 수증기 분위기에서 장시간 노출한 후 생성된 산화물 및 물질 변화를 X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), Transmission electron microscopy (TEM) 등 다양한 분석 장비를 이용하여 관찰하여 각 소재의 산화 기구를 규명하고자 하였다. 후보 소재 모두 기존의 주요 노심재료인 Zr계 합금에 비하여 획기적인 고온내산화성을 나타내었으며 XPS 분석을 통하여 표면에 생성된 산화물의 물성과 분포를 확인할 수 있었다. TEM 및 Energy dispersive spectroscopy를 이용한 분석 결과 표면 산화 거동과 소재 내부의 합금 원소의 확산 및 산화 기구를 밝혀낼 수 있었다.

[지르코늄 2-1 | 10:40]

사고저항성 향상 피복관용 철계 합금 개발 현황: 이성용, 장훈, 고대균, 김윤호, 이승재; 한전원자력연료

Keywords: 사고저항성, 피복관, Accident tolerant fuel, Fuel cladding, Ferritic steel

원자력발전소에 사용되는 핵연료는 가동조건의 수화학 환경 및 중성자 조사환경에서 장기간 건전성 및 안전성 유지가 필요하였다. 하지만 2011년 발생한 후쿠시마 원전사고 후 원자력발전소에 대한 안전성 문제가 대두된 이래 세계 각국에서는 사고조건에서 안전성을 증진시키는 방안에 대해 모색하였다. 그 일환으로 원자력발전소 설계기준사고 및 중대사고 환경의 가혹한 환경에서 산화반응에 의한 수소발생량 저감 및 핵분열 생성물 외부 누출 방지 등의 개념을 토대로 사고저항성 핵연료의 개발이 활발히 진행되고 있다. 본 기관에서는 사고저항성 핵연료 피복관의 후보로 기존의 지르코늄 피복관을 대체하는 철계 합금 소재를 개발하였다. 개발된 철계 합금 소재는 상변태에 의한 기계적 특성의 저하가 없도록 용해온도까지 기저가 페라이트를 갖도록 합금원소를 제어하였으며, 정상운전

환경에서는 Cr 산화막을 형성하여 우수한 내부식성을 확보하고 사고 환경에서는 Al 산화막에 의한 고온산화 저항성을 향상시켜 안전성을 확보하도록 설계하였다. 다만, 철계 합금의 경우 중성자흡수단면적이 기존 지르코늄 합금 대비 높아 중성자 경제성을 확보하기 위하여 약 40%의 피복관 두께 감소가 필요하므로, Ni를 첨가하여 강도를 증가시켜 피복관의 구조적 건전성을 확보하였다. 설계된 합금 소재에 대하여 정상운전 조건에서의 부식시험과 사고 조건에서의 고온산화 시험을 통하여 성능평가를 수행하였고, 판매 가공을 통한 가공성 평가를 바탕으로 후보합금을 선정하였다. 또한 후보합금의 상용 제조에 기반을 둔 피복관 시험제조를 통해 제조성을 평가하였다.

[지르코늄2-2 | 10:55]

Fe20Cr2Si 합금의 고온 수증기 환경 산화 거동 연구: 문준호¹, 김선규¹, 김지현², Michael Short³, 반치범¹; ¹부산대학교 ²울산과학기술원. ³Massachusetts Institute of Technology.

Keywords: Accident-tolerant fuel cladding, Fe-Cr-Si alloy, High-temperature Oxidation Test, amorphous SiO₂ layer

현재 원자력발전소의 핵연료 피복관 재료는 지르코늄 기반 합금이 널리 사용되고 있다. 지르코늄 합금은 원자력 발전소 가동환경에서는 좋은 특성을 보여주지만, 냉각재 상실 사고와 같은 심각한 사고 환경에서는 급격한 산화와 수소 발생으로 인해 수소 폭발이 발생할 가능성이 있어 이를 보완하기 위한 사고저항성 핵연료 피복관이 전세계적으로 연구 중에 있다. 해외 기관인 Massachusetts Institute of Technology(MIT)에서는 이러한 사고저항성 핵연료 피복관 중 하나로 다중 금속층 복합 구조 핵연료 피복관을 제시하였다. 이 피복관은 내부에는 낮은 중성자 흡수 단면적과 높은 중성자 조사 저항성을 가지는 기존 지르코늄 합금을 사용하고, 1차 냉각수와 접촉되는 외부에는 납-비스무스 환경에서 좋은 산화저항성을 보여준 FeCrSi 합금을 사용하며, 두 합금 사이에 개재물 생성을 방지하기 위한 바나듐 합금과 타이타늄을 사용하는 것으로 설계되어 있다. 이 중 외부를 구성하는 재료인 FeCrSi 합금은 선행 연구에서 Fe20Cr2Si의 조성을 가질 때 1200°C 수증기-Ar gas 환경의 약 100초 정도의 짧은 시간에서 매우 좋은 산화저항성을 보인 바 있다. 다만 통상적으로 Fe20Cr2Si 합금에서 부동태 피막을 형성하여 산화저항성을 향상시키는 Cr 산화물과 Si 산화물은 고온 수증기 환경에서 장시간 방치 시 휘발되거나 용해되는 것으로 알려져 있다. Fe20Cr2Si 합금이 실제 핵연료 피복관에 적용되기 위해서는 3시간 이상의 장시간 고온 수증기 산화 조건에서 높은 산화저항성을 가져야 하기 때문에 이를 확인하고자 24시간까지의 산화 실험을 진행하여 산화 거동을 확인하였다. 실험은 1200°C에서 수증기와 Ar gas가 500 cc/hr이 투입되는 환경에서 30 × 10 × 2 mm 쿠폰 형태의 시편을 사용하여 진행되었다. 실험 후 시편의 산화저항성 수준과 산화막 두께, 성분 등을 확인하기 위해 무게 변화 측정과 전자현미경 분석 등이 진행되었다. 24시간까지의 실험 결과 Cr 산화물과 Si 산화물이 여전히 존재하는 것이 확인되었으며, 그 이유는 Ar gas에 의한 영향으로 생각된다. Ag gas에 대한 영향을 확인하기 위해 대기 분위기와 100% 수증기 분위기, 100% Ar gas 분위기에서 추가 실험을 진행할 예정이다.

[지르코늄2-3 | 11:10]

Effects of Yttrium on 1200°C Steam Oxidation Behavior of FeCrAl-Y Alloy: Sungyu Kim, Joonho Moon, Chi Bum Bahn; School of Mechanical Engineering, Pusan National University.

Keywords: Accident Tolerant Fuel Cladding, FeCrAl, Yttrium, High Temperature Steam Oxidation, Y₃Al₅O₁₂ peg, Reticular structure

FeCrAl alloys is considered as potential candidate for Accident Tolerant Fuel (ATF) cladding with excellent oxidation resistance in both a high temperature steam and primary water environment and have resistance to hydrogen embrittlement. In order to further improve the oxidation resistance of FeCrAl alloys in high temperature, it is considered to dope the reactive elements such as Y, La, Ce and Hf, which are known to affect scale adhesion, growth and microstructure of alumina-forming alloys. In this study, 4 kinds of Fe-13Cr-6Al with varying contents of yttrium (0 ~ 0.27 wt. %) were fabricated to evaluate the optimized chemical composition by the oxidation resistance under high temperature steam environment and microstructure analysis was conducted to investigate the yttrium behavior. FeCrAlY samples were isothermally oxidized for 10 minutes, 3 hours, and 8 hours under the 1200 °C steam/Ar environment. The sample with the lowest weight gain was Fe-13Cr-6Al-0.143Y with the thinnest aluminum oxide. In the case of oxidized yttrium-free alloy, most of the aluminum oxide were spalled out during air quenching, therefore oxide did not fully cover the surface. However, oxidized yttrium containing alloys show that aluminum oxide was fully covered with the yttrium enriched reticular structure on the surface. As the yttrium content increased, the size of the reticular structure decreased. Uniform aluminum oxide was formed in the non-reticular structure region, the Fe or Al particles and voids were linearly aligned in the lateral direction within the uniform aluminum oxide. The yttrium rich intermetallic particles near the surface are decomposed under the high temperature steam environment then, yttrium segregated at the grain boundaries as Y₂O₃ or Y₃Al₅O₁₂. The Y₃Al₅O₁₂ peg extending along the grain boundary toward the uniform aluminum oxide and aluminum oxide was observed around the Y₃Al₅O₁₂ peg. For this reason, denuded zone of yttrium rich intermetallic particles was formed below the oxidized surface. These Y₃Al₅O₁₂ pegs acts as the hook to enhance the adherence between oxide and metal but can cause the rapid diffusion of oxygen. Therefore, addition of proper yttrium content is very important for high temperature oxidation resistance of FeCrAl alloys.

[지르코늄2-4 | 11:25]

스크래치 및 프레팅 마멸에 의한 표면손상 코팅층의 고온 수증기 산화 거동: 이영호, 김일현, 박정환, 박동준, 정양일, 최병권, 김현길; 한국원자력연구원.

후쿠시마 사고 이후 다양한 종류의 사고저항성 핵연료 피복관이 개발되고 있으며, 실제 가동 중인 원전에 적용하기 위하여 노내의

환경에서 피복관 특성 평가가 활발히 진행 중에 있다. 특히 CrAl 이원계 합금이 적용된 코팅 피복관의 경우 사고조건을 모사한 환경에서도 우수한 내산화성과 기계적 특성을 가지고 있어 기존 Zr 피복관을 대체할 유력한 후보로 선정되었다. 그러나 코팅 피복관의 목적은 사고 시 과도한 산화반응을 억제하여 사고 대처를 위한 시간을 확보하는 것이므로 정상상태에서도 피복관의 코팅층은 반드시 유지되어야 한다. 그러나 제조, 운반 및 정상운전 상태에서 발생할 수 있는 기계적 손상, 즉 스크래치, 코팅 결함, 프레팅 마멸, 이물질 마멸 등으로 인해 결함이 생길 수 있으나, 이러한 조건에서도 충분한 사고저항성을 가져야 한다. 본 시험에서는 코팅 피복관을 이용하여 스크래치 및 프레팅 마멸 실험을 수행, 일정한 깊이의 결함을 생성시켰고, 이를 1200°C 수증기 조건에서 고온산화 시험을 수행하여 결함영역에서의 고온산화거동을 평가하였다. 결함영역의 SEM 관찰을 수행하여 고온산화 전후의 차이점을 비교하였고 고온 수증기 산화조건에서 나타나는 손상 코팅층의 거동을 평가하였다.

[지르코늄-2-5 | 11:40]

지르코늄 피복관의 기계적강도 향상을 위한 레이저 ODS 표면처리: 정양일¹, 김일현^{1,2}, 박동준¹, 박정환¹, 최병권¹, 이영호¹, 김현길¹; ¹한국원자력연구원, ²한양대학교

한국원자력연구원에서는 사고저항성 핵연료 피복관 개발의 일환으로 산화물분산강화(ODS) 표면처리 피복관을 개발하고 있다. 산화물분산강화 기술은 금속 소재의 기계적 강도를 증가시키기 위하여 금속 기지상에 산화물 미세입자를 분산시키는 기술이며, 본 연구에서는 지르코늄 피복관의 표면부에 ODS 처리층을 형성하여 기계적 강도를 높이고자 하였다. ODS 표면처리는 레이저 열원을 이용하여, 지르코늄 피복관 표면에 코팅된 산화물 입자를 지르코늄 모재 내부로 침투시키는 방법으로 수행하였다. Y2O3 분말을 에탄올 용매에 분산시켜 제조한 용액으로 스프레이 코팅을 통하여 Y2O3 산화물 코팅막을 형성하였다. 레이저 빔 조사는 지르코늄 모재의 순간적인 용융과 응고를 유발하고, 표면에 코팅된 산화물 입자의 내부 침투를 유발하였다. ODS 처리층의 두께는 레이저 빔 출력이 180 W에서는 10 μm 미만이었으며, 200 W 빔 출력에서는 45~75 μm 이었다. ODS 표면처리의 효과는 상온 및 고온에서 링 인장시험을 통하여 평가되었다. 상온에서 상용 Zircaloy-4 피복관의 링 인장강도는 약 840 MPa이었으며, 레이저 ODS 처리된 시편은 강도가 약 900 MPa이었다. ODS 처리에 의해 Zircaloy-4 피복관의 강도는 약 10% 증가하였다. 고온 인장시험은 400°C에서 수행하였다. 상용 Zircaloy-4 피복관의 고온 링 인장강도는 약 460 MPa이었으며, 레이저 ODS 처리된 시편은 강도가 약 570 MPa이었다. 고온에서는 ODS 처리한 시편의 인장강도가 약 20% 증가하였다. 또한 급격한 하중 감소에 의한 연신율의 저하가 나타나지 않았다. ODS 표면처리는 고온에서 더욱 효과적이었음을 확인하였다.

재료강도

Room 605, 4월 26일

[재료강도 1-1 | 09:00]

나노포러스 금의 자가치유(Self-healing) 거동 분석: 곽은지, 김주영; UNIST 신소재공학부.

Keywords: 나노포러스 금, 취성 파괴, 표면확산작용, 자가치유

나노스케일의 기공 구조를 가진 나노포러스 금(Nanoporous gold) 재료는 기체나 액체가 투과 가능한 복연속성(bicontinuous) 구조로 인하여 높은 비표면적과 화학적 안정성을 가져 다양한 분야에서 각광받고 있다. 금-은 합금에서 은을 선택적으로 에칭하여 다공성 구조를 형성하는 자유부식(free corrosion)을 통하여 제작한 나노포러스 금의 경우, 뼈대의 크기와 연결성이 불규칙적으로 형성되어 인장 응력 상황에서 파단면 근처의 리가먼트에 응력 집중으로 인하여 취성 파괴 거동을 보인다. 최근의 연구에서 10 나노미터 이하의 지름을 가진 금 나노와이어의 경우 기계적 접촉에 의하여 상온에서 쉽게 접합이 되는 것을 확인하였다. 이는 나노스케일의 크기, 동일한 결정방향, 상온에서의 빠른 표면확산 작용에 의한 것으로 수초에서 수분 이내의 짧은 시간 안에 이루어진다. 이러한 상온 접착 거동을 이용하여 전기적, 기계적 나노소자를 제조하는데 활용할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 본 연구에서는 나노스케일의 리가먼트 크기를 가지는 나노포러스 금을 제작하고, 취성 파괴 이후 파단 리가먼트의 기계적 접촉을 통하여 발생하는 접착 거동에 의한 파단된 나노포러스 금의 자가 치유 거동을 분석한다.

[재료강도 1-2 | 09:15]

방향성 동결 건조법을 이용한 패턴 변화와 나노 물질 보강에 따른 다공성 구조체의 기계적 특성 변화: 김종범¹, 김태진¹, 한승민¹, 한승민²; ¹한국과학기술원, ²한국기계연구원.

Keywords: 동결건조, 3차원구조체, 은나노선, 셀룰로오스

3차원 초경량 구조체는 간단한 구조의 변화로 성질을 조절할 수 있기 때문에 수 많은 방법을 이용해 제작이 시도되고 있다. 또한 기계적 특성이 매우 좋은 나노스케일의 물질을 기본 물질로 사용했을 때, 나노스케일 물질의 우수한 성질을 벌크 물질에서 나타내게 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 물질 선택을 바탕으로 3차원 계층 구조를 제작할 경우 같은 방법으로 제작된 벌크 물질보다 초경량, 매우 높은 무게 대비 강도 비를 가지면서 높은 복원력과 높은 충격흡수 능력을 가지는 구조체를 제작할 수 있다. 본 연구에서는 3차원 초경량 구조체를 제작하기 위해 방향성 동결 건조법을 적용하였다. 동결건조법은 수용액 내에서 얼음결정을 성장시켰을 때 성장된 얼음결정 사이에 용질이 축적되고 압력을 낮춰 얼음결정을 승화시켜 얼음이 제거되면 얼음결정의 역구조로 용질의 3차원 다공성 구조체를 얻을 수 있는 기술이다. 얼음결정의 모양으로 기공이 형성되기 때문에 얼음결정의 성장 방향을 제어함으로써 3차원 구조체의 기공의 방향을 제어할 수 있는 방향성 동결 건조법을 사용하였다. 이렇게 제작된 구조체는 기공 방향이 압력에 동일한 방향일 때 stress를 더 많이 견디는 anisotropic한 기계적 특성을 확보할 수 있음을 확인하였다. 방향성 동결 건조법으로 3차원 구조체를 제작함에 있어 나노스케일 물질로 인한 물질 강화 효과를 얻고자 보강재로 은 나노선을 사용하였다. 은 나노선은 나노스케일에서의 size effect로 인해 지름이 작아질수록 부피 대비 twin boundary가 차지하는 비율이 높아진다. Twin boundary는 은 나노선에서 전위 전파를 억제하는 역할을 하기 때문에 은 나노선의 지름이 작아질수록 강도가 높아지는 것이 기존 논문에서 보고된 바 있다. 따라서 본 연구에서는 우수한 은 나노선의 강도를 셀룰로오스 파이버 3차원 구조체에 적용하여 더 높은 강도를 가지는 구조체를 제작하고자 셀룰로오스 파이버 용액에 은 나노선을 섞어서 동결 건조법 단일 공정으로 은 나노선-셀룰로오스 파이버 3차원 초경량 구조체를 제작하는데 성공하였다. 은 나노선을 셀룰로오스 3차원 구조체에 삽입했을 때 0.96%의 relative density에서 100 kPa의 압축강도를 가지는 3차원 구조체가 제작되었고 이는 물질의 밀도 대비 금속 microlattice (1.7 MPacm³/g)보다 1.5배 높은 강도 (2.3 MPacm³/g)를 가지는 것으로 확인되어 나노스케일 물질로 강화된 3차원 초경량 구조체를 얻을 수 있었다.

[재료강도 1-3 | 09:30]

신축성 봉지재료용 비정질 알루미늄 박막의 저온 합성 및 기계적 물성 분석: 오정현, 김시훈, 안승민, 박선영, 김주영; UNIST 신소재공학부.

Keywords: ALD, amorphous alumina, encapsulation, tensile properties

원자층 증착법을 이용해 증착한 비정질 알루미늄은 높은 밀도와 투과도를 갖는 재료로, 소자의 절연층 및 봉지재료로 각광을 받고 있다. 하지만 원자층 증착법의 높은 증착 온도와 비정질 재료 특성상 인장 취성 거동으로 인해 유연 및 신축성 디바이스 적용에 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제점 개선을 위해 비정질 알루미늄의 저온 증착 및 나노 스케일에서의 정확한 기계적 물성 평가에 대한 연구가 진행되고 있다. 최근 연구에 따르면 알루미늄과 같이 취성 파괴 거동을 갖는 세라믹 재료의 두께가 감소할수록 이론 강도에 가깝게 강도가 증가한다는 연구결과가 보고된 바 있으며, 연신을 또한 증가할 것이라는 가능성을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 저온에서 원자층 증착법으로 고밀도의 비정질 알루미늄을 증착하기 위해 증착 방법을 개선하고, 비정질 알루미늄 박막의 기계적 물성을 분석하였다. 증착 온도가 기계적 물성에 미치는 영향을 확인하기 위해 홀나노인덴테이션을 이용하여 고/저온에서 증착한 알루미늄 박막의 물성을 비교하였다. 또한 두께에 따른 강도 값과 정확한 탄성한계를 분석하기 위해 50, 100, 200 nm 두께를 갖는 알루미늄 박막의 인장실험을 통해 물성을 분석하였다. 인장 시험편은 접촉이온빔장비를 이용해 제작하였으며, push-to-pull 디바이스를 사용하여 SEM 안에서 진행하였다.

[재료강도1-4 | 09:45]

물결구조를 적용한 고 신축성 비정질 이산화규소 박막봉지기술: 김한글, 김나향, 김주영; *UNIST 신소재공학부*

Keywords: 물결구조, 비정질 이산화규소 박막, 박막봉지기술, 신축성, 재료강도

봉지재료는 소자를 외부환경으로 보호하며, 전기적으로 절연시켜주는 역할을 한다. 특히, 유기발광다이오드와 같이 유연성은 좋으나 수분에 매우 취약한 소자를 위해서 얇지만 투명하고 수분투습도가 매우 낮은 비정질 금속 산화막을 봉지재료에 적용하는 연구가 진행되고 있다. 그 중 실리콘 단결정 웨이퍼에 열적 산화를 시켜서 성장시킨 이산화규소는 다른 비정질 박막보다 밀도가 매우 높고, 공동과 결함이 거의 없어서 얇은 두께에서 매우 낮은 수분투습도를 가지기 때문에 차세대 봉지재료로 많이 연구되고 있다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고 열적 산화된 이산화규소는 매우 낮은 탄성변형한계를 가지는 특성 때문에 유연소자에 적용하기에 어려움이 있다. 최근 연구에서 탄성변형한계가 낮은 박막의 신축성을 향상시키기 위해서, 물결모양의 고분자기판 위에 박막을 증착시켜 신축성을 향상시킨 연구가 보고되었다. 따라서 본 연구에서는 실리콘 기판을 다양한 물결모양으로 식각하고 열적 산화시켜 물결모양의 고 신축성 이산화규소 박막을 제작하였다. 그리고 인장시험을 통해서 물결모양의 박막의 신축성을 파악하였다. 또한 평평한 비정질 이산화규소 단일막의 일축인장시험을 통해 단일막의 탄성계수와 항복강도를 얻고 유한요소법 분석을 통해 물결구조와 신축성과의 상관관계를 분석하였다.

[재료강도1-5 | 10:00]

스트레처블 봉지재료용 SiO₂ 박막의 신축률 향상: 김나향, 김한글, 김시훈, 김주영; *UNIST 신소재공학부*

Keywords: Silicon dioxide film, thermal oxidation, stretchable encapsulation film, wrinkled structure, mechanical properties

열산화법을 이용하여 성장시킨 실리콘 다이옥사이드 박막은 다른 기법을 이용하여 성장시킨 실리콘 다이옥사이드 박막에 비해 전기적 저항이 매우 크고 도펀트가 확산되는 것을 막아주는 등 박막의 밀도가 높고 결함이 적어서, 게이트 옥사이드, 도핑 배리어, 표면 패시베이션 층 등으로 직접 회로에 다양하게 사용 할 수 있는 매우 중요한 재료이다. 하지만 실리콘 기판 외에는 다른 기판을 사용 할 수 없다는 단점으로 인해 열산화된 실리콘 다이옥사이드는 적용에 한계가 있다. 본 연구에서는 결함이 거의 없고 밀도가 높으며 균일성이 좋아 매우 낮은 수분투과도를 보이는 열산화된 실리콘 다이옥사이드 박막을 연구하여 봉지재료로써 적용하고자 하였다. 열산화된 실리콘 다이옥사이드는 두께 효과와 주름구조, 두 가지 방법을 이용하여 신축률을 향상시킬 수 있다. 먼저 두께 효과를 이용하여 신축률을 향상시키기 위하여 먼저 박막의 두께를 200 nm 이하로 감소시켰다. 두께 효과를 관찰하기 위하여 가장 정량적인 기계적 물성을 측정 할 수 있는 인장시험을 진행하였다. 인장시험 시 박막의 두께가 매우 얇아 이온조사법을 이용하여 도그 본 모양으로 패터닝을 한 후 Push to Pull 장치에 부착하는 방법으로 인장시험을 제작하였다. 그리고 피코인텐터를 이용하는 in-SEM 인장시험을 진행하여 SiO₂ 박막의 인장거동을 정확히 관찰하였다. 인장시험으로 더 얇은 두께의 필름이 더 높은 탄성변형한계를 나타내는 것을 확인하였다. 두 번째는 열산화된 실리콘 다이옥사이드 박막에 주름구조를 적용하는 방법으로 이는 실리콘 다이옥사이드에 프리스트레인이 가해진 탄성체를 부착한 후 프리스트레인을 제거하는 방식으로 진행하였다. 주름구조의 진폭과 파장을 분석한 결과 약 4% 정도의 신축률을 보일 것으로 예상된다. 신축률이 향상된 결과를 토대로 열산화된 실리콘 다이옥사이드 박막의 기계적 물성에 미치는 두께의 영향과 주름구조가 제작 시와 인장 시 실리콘 다이옥사이드 박막의 변형에 대한 논의를 진행하였다.

[재료강도1-6 | 10:15]

결정립 구조에 따른 나노포러스 금의 파괴거동: 송은지, 광은지, 김주영; *UNIST 신소재공학부*

나노포러스(Nanoporous) 구조는 나노스케일의 리가먼트와 기공이 연속적으로 연결된 스펀지와 같은 구조로, 높은 비표면적과 낮은 밀도를 가진다. 이러한 이점으로 촉매나 센서, 액추에이터 등에 나노포러스 구조를 적용하는 연구가 많이 진행되고 있다. 그 중 나노포러스 금은 간단한 화학반응과 열처리만으로 구조 제어가 용이하여 많이 사용되는 재료이다. 하지만 일반적으로 연성이 높은 벌크스케일의 금과 달리 나노포러스 금은 구조적인 특성으로 인하여 낮은 강도와 연성을 가진다. 기존 연구에 따르면 나노크기의 기공이 결함과 같은 응력집중부로 작용하여 낮은 강도에서 초기 균열이 발생한다. 이후 균열은 결함이 약한 입계를 통해 급진적으로 성장하면서 나노포러스 금의 취성 파괴를 일으킨다. 이러한 구조적인 요인으로 나노포러스 금의 기계적 특성을 향상시키기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 본 연구에서는 열간압연을 이용하여 계층 결정립 구조를 가지는 금-은 모합금을 만든 후, 은을 제거하는 선택적 에칭으로 계층결정립 구조의 나노포러스 금을 제조하였다. 이후 결정립구조에 따른 인장 물성 평가와 파괴거동 분석을 진행하였다. 이를 통해 나노포러스 금의 결정립구조와 인장 물성의 상관 관계 및 나노포러스금의 취성 파괴 메커니즘을 분석하였다. 또한 이에 기반하여 나노포러스 금의 결정립계 제어를 통한 강도 및 연성을 향상시키는 방향을 조사하고자 한다.

[재료강도2-1 | 10:40]

Mo, Nb 첨가 내화 철강의 고온강도 향상 기구: 이창훈¹, 김성대¹, 장재훈¹, 문준오¹, 박성준¹, 이태호¹, 조효행¹, 신찬선², Kip O. Findley³, John G. Speer³, 정준호⁴, 이봉호⁵; ¹재료연구소(KIMS), ²명지대학교, ³Colorado School of Mines, ⁴현대제철, ⁵DGIST

Keywords: Mo, Nb, 내화강, 고온강도

내화 철강은 일반 구조용 철강재에 비해 화재시 건축구조물의 지탱 능력이 우수하다. 철강재의 내화 성능은 통상적으로 상온에서의 항복강도 대비 600도에서의 항복강도의 비로 나타내고, 내화 철강은 그 값이 2/3 이상으로 우수한 고온 강도를 나타낸다. 철강의 내화 특성 향상을 위해서 Mo, Nb 등의 합금원소를 첨가하는데, 본 연구에서는 이러한 Mo, Nb 첨가로 인한 내화 성능, 즉 고온 강도의 향상 기구를 밝히고자 하였다. Mo와 Nb가 첨가되지 않은 일반강은 상온 대비 600도 항복강도의 비가 0.47로 매우 낮은 반면, Mo와 Nb를 첨가한 내화강은 그 값이 0.7 이상으로 대폭 향상되었다. Mo+Nb 첨가강은 Mo+Nb 첨가로 인한 경화능 향상으로 베이나이트 조직을 나타내었다. 입내에는 미세한 NbC가 관찰되었으나, 600도의 고온 강도 확보에 결정적인 영향을 미치지

는 NbC의 분율이 높지 않은 것으로 파악되었다. 그리고, 대부분의 Mo는 입내 고용되어 있고, 일부는 결정립계에 편석된 것으로 관찰되었다. in-situ TEM을 통해 Mo+Nb 첨가강에서 고온에서의 전위 이동 속도는 일반강에 비해 현저히 낮은 것을 확인하였고, 그로 인해 600도에서의 전위 소멸 또한 일반강에 비해 매우 낮은 것을 확인하였다. Mo+Nb 첨가강의 향상된 내화 성능은 고용된 Mo와 Nb에 의한 고온 전위밀도 감소의 최소화에도 주로 기인하는 것으로 판단되었다.

[자료강도2-2 | 10:55]

적층 제조된 Inconel 625 합금의 열처리법 제안과 그에 따른 고온 기계적 특성 변화: 이지원^{1,2}, 김진혁¹, 전선영¹, Mathieu TENER¹, Etienne COPIN², Philippe LOURS², 홍현욱^{*1}; ¹창원대학교 ²IMT MINES ALBI-ICA.

Keywords: 적층제조, Inconel 625, 열처리, 미세구조, 고온 기계적 특성

제 4차 산업혁명을 이끌어갈 혁신적인 기술 중 하나인 적층 제조법(Additive Manufacturing, AM)은 빠른 제작과정과 재료 손실 부분 감소 등의 장점으로부터 항공우주 분야에 접목을 위한 활발한 연구가 이루어지고 있다. 특히 As-built 된 샘플은 그 자체로서의 기계적 특성 요구 조건에 만족하지만 더 나은 기계적 특성 발현을 위한 다양한 방법에 대하여 전세계적으로 연구되고 있는 추세이다. 그 한 예로서 문헌 조사에 따르면 선택적 레이저 용융법으로 제작된 Inconel 625 합금은 내부에 잔류 응력이 크게 존재하고 있으므로 합금의 온도-시간 변형 곡선이 다르게 나타나며 따라서 이에 맞는 열처리법을 통한 미세구조 제어 및 기계적 특성 제어가 요구된다고 제안된 바 있다. 따라서 본 연구에서는 선택적 레이저 용융법으로 제작된 Inconel 625 합금의 더 나은 기계적 특성 발현을 위한 적절한 열처리법을 제시하고, 이에 따라 변화된 미세조직으로부터의 고온 기계적 특성에 대한 고찰도 함께 하고자 하였다. 이를 위해 먼저, 적층 제조된 Inconel 625 합금의 As-built 상태에 대한 미세조직 분석을 시행하였고 그로부터 급열 급냉에 의해 이루어진 수지상정과 고속 주상정들과 함께 Nb와 C로 이루어진 계면 편석이 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 내부에는 높은 밀도의 전위들이 서로 뒤엉켜 있는 것을 TEM 분석으로부터 확인할 수 있었다. 이러한 미세구조로부터 제안된 표준 열처리법은 재결정과 균질화를 통한 균등한 크기의 결정립과 낮은 분율의 NbC상이 존재하도록 유도하고자 하였다. 이와 더불어 제안된 입계 강화 도모를 위한 과형입계 열처리법으로부터 구불구불하게 형성된 과형 입계를 성공적으로 유도할 수 있었으며, 그 입계에 얇은 필름 형태의 NbC와 $M_{23}C_6$ 석출물 또한 관찰할 수 있었다. 이와 같은 미세구조 형상을 기반으로하여, 기계적 특성 비교를 위한 인장시험을 상온, 500~700°C에서 상용재(wrought) 샘플과 함께 인장 실험을 시행하였다. 그 결과 SLM As-built, 표준열처리 샘플, 과형입계 샘플, 상용재 샘플 순서로 낮아지는 항복 강도를 전체 온도 영역에서 확인할 수 있었으며 연성은 그 반대로 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 한가지 주목할 점은 표준열처리 샘플이 항상 과형입계 샘플보다 다소 긴 연성을 나타내었지만 700°C 실험에서는 역전하여 나타내었으며, 이로부터 고온에서의 과형입계 효과 발현을 기대할 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로하여 후후 시행될 크리프 실험에서는 결과 비교 및 고찰을 통하여 현재까지 시행된 연구를 통한 합금의 적층 제조 후 고온 기계적 특성 개선을 위하여 제안되는 열처리법을 미세구조와 연관하여 설명 하고자 하였다.

[자료강도2-3 | 11:10]

후열처리된 IN740H/P92 이중용접부 P92강의 경도 불균일성에 미치는 미세조직학적 인자의 영향에 관한 연구: 서위걸¹, 이한상², 유근봉², 서진유³, 심재혁³, 최시훈¹; ¹국립순천대학교 ²한국전력공사 청정발전연구소 발전시스템그룹 ³한국과학기술연구소 고온에너지 재료연구센터

Keywords: PWHT, weld joints, precipitate, dislocation, hardness

화력 발전 시스템은 700도에서 35 MPa의 압력하에서 작동된다. 따라서 발전 시스템에 사용되는 재료는 높은 크리프 특성과 내산화성을 갖는 Ni 초내열합금 및 고 Cr 페라이트 강이 사용된다. 본 연구에서는 화력 발전 시스템에 사용되는 IN740H/P92 이중용접부 P92강에서 경도의 불균일성을 미세조직 인자를 통해서 이해하고자 하였다. TIG(tungsten inert gas) 용접된 IN740H/P92 이중용접부를 후열처리 하였으며, 경도의 불균일성을 이해하고자 P92강을 CGHAZ(coarse grain heat affected zone), FGHAZ I(fine grain heat affected zone), FGHAZ II와 BM(base metal)과 같이 4개의 영역으로 구분하였다. 석출물 경화가 경도에 미치는 영향을 이해하기 위해서 각각 영역을 FE-SEM(field emission scanning electron microscope)과 TEM(transmission electron microscopy)에서의 EDS(energy dispersive spectrometer) 기법을 활용하여 석출물의 크기 및 분율을 정량적으로 분석하였다. 그리고 결정립 크기 및 전위 밀도가 경도에 미치는 영향을 이해하기 위해서 EBSD(electron back scattered diffraction) 기법을 활용하였다. 미세조직학적 인자(석출물 크기, 석출물 분율, 결정립 크기 및 전위 밀도)가 경도에 미치는 각각의 기여도를 강화기구 식을 이용하여 설명하였다.

[자료강도2-4 | 11:25]

Haynes 282 초내열합금의 열처리 조건에 따른 미세조직, 기계적 특성 및 변형거동 상관관계 고찰: 김진혁¹, 공병욱², 홍현욱¹; ¹창원대학교 신소재공학부 ²두산중공업

Keywords: Haynes282; aging heat-treatment; deformation characteristics; dislocation

본 연구는 열처리 조건에 Haynes282 초내열합금의 미세조직, 기계적 특성 및 변형거동 상관관계에 대한 결과이다. Haynes282는 뛰어난 크리프 강도, 열적 안정성, 낮은 열팽창률, 높은 산화저항성의 특징을 지니고 있다. 또한 이 합금은 $L1_2$ 규칙격자를 가지는 γ' 상이 주 강화상으로 작용한다. 이때 용체화처리 후 냉각속도와 시효처리 차이에 따라 γ' 상과 입내, 입계 석출물의 형성에 영향을 미친다. 따라서 Haynes 282의 상용 열처리인 2단시효 열처리 (1010 °C/2hr + 788 °C/8hr)와 단순화한 1단시효 열처리 (800 °C/4 hr) 를 적용하여 비교하였다. 또한, 대형제품의 용체화 후 나타날 수 있는 질량효과를 고려하여 냉각속도 (WQ, AC, FC) 를 다르게 적용하였다. 각 열처리에선 모두 약 20% 분율의 구형 γ' 석출물이 관찰되었으며, 평균 크기는 12 ~ 39 nm로 나타났다. 평균 γ' 석출물 크기는 냉각속도가 증가함에 따라 감소하였다. 가장 큰 평균 γ' 석출물 크기를 가진 용체화 후 로냉을 하고 1단시효를 진

행한 시편의 경우, γ' 석출물이 상당히 성장했음에도 불구하고 γ/γ' 계면에서 정합을 이루는 것을 확인하였다. 각 열처리 시편들은 750 °C에서 고온인장을 실시하였으며, 모두 620 MPa 이상의 우수한 항복강도를 보였다. 이때 인장특성은 항복강도가 증가할수록 연성은 감소하였다. TEM을 통해 변형거동을 살펴본 결과, 각각의 시편들은 석출물을 자르고 지나가는 Shearing 거동과 우회하여 지나가는 Bypassing 거동이 동시에 관찰되었다. 하지만 각 열처리 조건마다 두드러지게 나타나는 거동은 확연히 구분되었으며, 이는 γ' 석출물 크기에 좌우됨을 확인하였다. 대부분의 열처리 조건에서는 Bypassing에 의한 전위거동이 두드러지게 나타난 반면, 오직 용체화 후 로냉을 하고, 1단시효를 거친 시편에서만 Shearing 거동이 두드러지게 관찰되었다. 이론적 고찰을 더하고자, 이론강도 증가식을 이용하여 각각의 열처리의 변형거동을 계산해본 결과, TEM 미세조직을 통해 관찰한 각 시편의 변형거동과 일치함을 확인하였다. 이후, 각 열처리 조건의 시편을 5000시간까지 열노출을 하여 기계적 특성의 열화 저항성을 비교하고 열처리 적합성을 확인하였다.

[재료강도2-5 | 11:40]

Dynamic Behavior of MIM OFHC Cu Manufactured by Nano-Powders: Woo sanghyun^{1,2}, Lee keunho², Lee yerim², Lee changsoo², Park leeu^{1,2}, Kwon youngsam³; ¹Korea University of Science and Technology, ²Agency for Defense Development, ³Inc. CetaTech.

Keywords: OFHC Cu; MIM; SHPB; Nano-powder

The mechanical properties of oxygen free high conductivity (OFHC) copper are closely related to its manufacturing process and have been extensively studied in kinds of literature as a function of strain rate, grain size, and temperature. Metal powder injection molding (MIM), the one of its process, has advantages in saving of materials labor and capital and producing parts with complicated geometry and close tolerances. For characterizing mechanical properties of MIM goods fabricated by nano-scale OFHC-Cu powder, sintering at different temperature (790-850°C), uniaxial tensile and split Hopkinson pressure bar (SHPB) tests were carried out. Electron backscattered diffraction (EBSD) analysis also was conducted for its microstructure characterization. Effects of the sintering temperature of nano-scale copper powder on its density, microstructure and strain-stress relationship at various strain rates were discussed.

[재료강도3-1 | 13:00]

The Effect of Mo Addition on Macroscale Mechanical Properties and Small-scale Intrinsic Mechanical Behavior of Mo-added Austenitic FeMnAlC Lightweight Steels: 이재은¹, 김황선¹, 박성준², 문준오², 한홍남¹; ¹서울대학교, ²재료연구소

Keywords: lightweight steel, precipitation, nanoindentation, Hall-Petch relationship, ordered phase

Recently, there have been research activities for development of high manganese austenite-based lightweight steels containing aluminum. It has been reported that these steels show the superior mechanical properties with high strength and good ductility. In this study, Fe-30wt%Mn-10.5wt%Al-1.1wt%C steels with various Mo additions were prepared to investigate the effect of Mo on microstructure evolution and mechanical properties of austenite-based lightweight steel. According to the tensile tests, the yield strength gradually decreased as the Mo content increases up to 3 wt%, whereas when the Mo content exceeds 4 wt%, the yield strength significantly increased. The similar trend was also observed in Vickers hardness results. As the Mo content increases up to 3 wt%, the yield strength decreases gradually as κ -carbide precipitation is suppressed. On the other hand, when the Mo content is 4 wt%, yield strength increased sharply because of grain refinement due to M6C precipitates formed in austenite grain boundaries and the formation of BCC (D03 + ferrite) phases with high strength. The nanohardness, which is intrinsic properties except for the grain size effect of the steels, also showed a similar tendency to the tensile properties. The effect of grain refinement was quantified by calculating the Hall-Petch strengthening on the austenite using the maximum shear stress at elastic-plastic transition at grain boundary corresponding to the onset of yielding obtained from the nanoindentation test.

[재료강도3-2 | 13:15]

단일롤 각압연 공정으로 제조된 역 구배구조 구리판재의 미세조직 및 기계적 물성: 이학현, 윤재익, 박형근, 김형섭; 포항공과대학교 신소재공학과

Keywords: Single-roll angular-rolling; Microstructure design; Copper, Severe plastic deformation; gradient structure

강소성가공법은 금속소재에 강한 정수압 및 전단변형을 유발하여 1 μm 이하의 초미세립을 형성시킴으로써 금속소재의 강도를 비약적으로 향상시킬 수 있는 기술이다. 그러나 차세대 구조재료로서의 활용을 위해, 금속소재의 경우 단순 고강도화를 넘어선 우수한 강도와 연성의 조합, 즉 고인성이 필수적인 요소로 부각되고 있다. 이에 따라, 기존의 평균 결정립도만을 미세조직적 변수로 삼았던 통상의 접근법에서 벗어나, 단일재료 내의 국부적인 미세조직 이질화를 통한 헤테로구조 설계가 새로운 미세조직 설계 방안으로 주목을 받고 있다. 본 연구는 단일롤-각압연(Single-roll angular-rolling, SRAR)이라 불리는 새로운 연속 강소성가공법과 이를 통해 제작된 새로운 종류의 헤테로구조에 대해 고찰하였다. 결과적으로, SRAR 공정을 통해 제작된 역 구배구조 구리판재의 경우 초기 구리판재 대비 강도와 연성이 모두 향상되었음을 확인하였다. 또한 균질한 미세조직을 지닌 균질대응물과의 비교를 통해 역 구배구조 구리판재가 기존 균질대응물의 강도와 연성의 trade-off 경향을 뛰어넘는 우수한 기계적 물성을 가짐이 확인되었다. 이러한 역 구배구조 구리판재의 우수한 기계적 물성은 micro-scale digital image correlation, electron backscatter diffraction, loading-unloading-loading tensile test를 통해 Back-stress hardening이라는 헤테로구조 특유의 강화기구에 기인함이 실험적으로 검증되었다.

[재료강도3-3 | 13:30]

국부적 고압 비틀림 강소성 가공을 통해 제작된 중공 원뿔 형상 시험편의 미세조직 및 기계적 물성: 홍영곤, 이세암, 이학현, 김형섭; 포항공과대학교 신소재공학과.

Keywords: 강소성 가공, 고압 비틀림 공정, 중공 원뿔, 미세조직, 무산소 구리

금속소재에 강한 정수압 및 전단변형을 유발하는 고압 비틀림 공정은 강소성 가공법 중 소재 내부에 결정립을 나노단위로 미세화시킬 수 있는 가장 효과적인 공정법으로 알려져 있다. 그러나 고압 비틀림 공정의 경우 제작 가능한 시험편의 크기 및 형상이 제한적이기 때문에 실제 산업에 대한 적용이 어렵다. 따라서, 최근 최종 제품 형상을 유지한 채 소재 내부의 나노미세립화를 유발하기 위해, 중공 원뿔 형상에 대한 고압 비틀림 공정이 개발된 바 있다. 본 연구에서는 중공 원뿔 형상의 고압 비틀림 공정에 대해 한 단계 발전된 공정을 제안한다. 고압 비틀림 가공에 사용되는 금형의 표면 거칠기를 인위적으로 배치하여, 공정 과정에서 거칠기가 있는 부분(밴드부)에 변형집중을 유발하고자 하였다. 무산소 구리소재에 대해, 중공 원뿔 형상의 국부적 고압 비틀림 가공을 1회전과 3회전 수행하였으며, 유한요소해석을 통해 중공 원뿔 시험편에 가해진 변형률 분포를 분석하였다. 또한, 인장물성 및 경도분석과 후방산란전자회절을 통한 미세조직 분석을 통해, 금형의 거칠기가 있는 밴드부에 높은 변형집중에 따른 결정립미세화 및 기계적 물성 향상이 실험적으로 검증되었다. 결론적으로 본 연구는 밴드부 설계를 통해 고압 비틀림 공정 하에서 중공 원뿔 소재의 미세조직 및 기계적 물성을 인위적으로 조작할 수 있는 새로운 방법론을 제공한다.

[재료강도3-4 | 13:45]

건축구조용 내화강의 고온 기계적 물성 및 가속크리프 특성 평가: 최동준¹, 김동익², 심재혁², 한홍남¹, 이영수²; ¹서울대학교 ²한국과학기술연구원(KIST).

Keywords: 내화강, 가속크리프 시험, 항복강도 비

최근 국내외적으로 지진, 폭설, 화재 등의 자연적, 인위적 재난이 빈번하게 일어나고 있어 이를 대비한 건축 구조물의 안전성 확보가 요구되고 있다. 본 연구에서는 내화 및 내진특성을 동시에 만족하도록 합금설계 된 건축구조용 내화-내진강의 내화 특성에 초점을 맞추어 상온 및 고온에서의 기계적 특성을 평가 및 분석하였다. 내화 특성을 평가하는 일반적인 지표로 600°C 고온항복강도, 항복강도 비 (상온 항복강도 대비 600°C 고온 항복강도) 등을 사용한다. 본 연구에서는 추가로 구조물의 화재 시 거동을 보다 현실적으로 모사하기 위해 일정 하중조건에서 승온 시 변형율을 측정하는 가속크리프 시험을 수행하였다. 그리고 그 결과를 일반적인 내화 특성 평가 기준과 연관 지어 상관 관계를 해석하고자 하였다. 이를 바탕으로 600°C 에서 재료의 고온 항복강도와 하중이 주어졌을 때 일정 속도로 승온 시 온도 및 시간에 따른 변형율을 예측하는 모델을 개발하였다.

[재료강도3-5 | 14:00]

단일롤-각압연에서 기계적 성질 및 미세조직의 특성 변화에 대한 공정 유형 및 횡수의 영향: 황교준, 이학현, 김형섭; 포항공과대학교 신소재공학과.

Keywords: Single-roll angular-rolling; Sheet metal; Severe plastic deformation (SPD); Finite element analysis; Copper

단일롤-각압연 (Single-roll angular rolling: SRAR)은 새로운 강소성 공정으로서, 일반적인 강소성공정인 동통로각압축 (Equal channel angular pressing: ECAP), 고압 비틀림 (High pressure torsion: HPT)공정과 다르게 판형 금속 소재를 사용할 수 있다. 또한, 별도의 인발 장치 없이 단일 롤을 사용하여 연속 공정이 가능하며, 공정 후 판형 금속 소재의 두께가 초기 두께로 회복되어 원하는 대로 다중 공정을 진행할 수 있다. 다중 공정 중 공정 유형, 가공 횡수에 따라 금속 소재의 변형 거동이 달라지게 되고, 이에 따른 미세조직 변화 및 기계적 성질의 차이를 확인할 수 있다. 본 연구에서는 공정 유형과 공정 횡수에 따른 순수 구리의 기계적 성질과 미세조직을 조사하였다. 또한, 유한요소법 (Finite element method: FEM)을 통해 등가소성변형률 및 전단변형률 이력을 조사하여 공정 유형에 따른 변형 모드를 분석하였다.

[재료강도3-6 | 14:15]

Precipitation and Dissolution Behavior of Coherent and Incoherent Vanadium Carbides in a Recrystallized TWIP Steel: Woojin Cho, Byeong-Seok Jeong, Jaeun Lee, Hwangsun Kim, Heung Nam Han; Seoul National University.

Keywords: TWIP steel, Vanadium, Coherent, Incoherent, Interface

High manganese TWIP steel has received tremendous attention for its exceptional work hardening behavior with the balance between high tensile strength and large elongation. However, the low yield strength of TWIP steels is the critical limitation for their commercialization. In order to increase the yield strength, various strengthening mechanisms such as grain refinement, pre-straining, and precipitation hardening have been applied. Especially, precipitation hardening is advantageous in that it can be easily strengthened just by adding micro-alloying elements. But, to accurately predict the effect of precipitates on mechanical properties, the precipitation behavior needs to be understood considering the interface relationship between matrix and precipitates. In this study, Fe-17Mn-0.7C steel containing 0.3 wt% vanadium was used to investigate the precipitation behavior of vanadium carbide and the effect of precipitates on the mechanical properties after various annealing treatment. The size and distribution of precipitates was measured by transmission electron microscopy (TEM). The experimental results were compared with the thermodynamic and kinetic simulations for the vanadium carbide using FactSage. In addition, the changes of microstructure with aging treatment were analyzed by electron backscattered diffraction (EBSD). Based on these results, the precipitation hardening was analyzed with the dual scale mechanical properties obtained by both macro-scale tensile test and small-scale nanoindentation.

[AW-2 | 14:40] POSCO젊은철강상 수상기념강연

Anisotropic Plasticity for Predicting Strengths Under Complex Deformation Paths: Myoung-Gyu Lee¹, Hongjin Choi¹, Jinwoo Lee¹, Hyuk-Jong Bong²; ¹Seoul National University. ²Korea Institute of Materials Science.

Keywords: Plasticity, anisotropy, strength, modeling

Structural metals represent complex anisotropic, non-linear, and (often) asymmetric mechanical responses due to their complications in microstructure characteristics. For example, lightweight alloys and ferritic steels show considerable differences in strengths under loadings along different material orientations (anisotropy). Advanced high strength steels and aluminum alloys have strong Bauschinger effect under load reversal (asymmetry in yield strength), while magnesium alloys typically show strength differential between tension and compression (asymmetry in hardening). In the design stage of process and product with these structure metals, finite element simulations have been commonly used for better predicting deformation and strength after forming and shaping, which needs precise description of material behaviors under such complicate loading conditions. In this presentation, recent development of advanced plasticity theory, which reproduces the aforementioned complex mechanical behaviors of metals, will be discussed. In particular, the anisotropic hardening model and its application to the automotive part forming simulations will be highlighted. Moreover, in parallel with modeling and simulation, experimental aspect for investigating multi-axial and non-proportional characteristics of metallic materials will be presented.

[재료강도4-1 | 15:05]

Influence of Vanadium Micro-Alloying on Grain Boundary Strengthening in High Manganese TWIP Steel: Byeong-Seok Jeong¹, Woojin Cho¹, Jaeun Lee¹, Hwangsun Kim¹, Wontae Cho², Heung Nam Han¹; ¹Seoul National University. ²POSCO Technical Research Laboratories.

Keywords: High manganese TWIP steel, Hall-Petch relationship, Nano-indentation test, Pop-in

The Hall-Petch coefficient of a high manganese TWIP steel without vanadium micro-alloying was evaluated using pop-in phenomenon (elasto-plastic transition) observed by nano-indentation tests in the vicinity of grain boundaries. Then, the Hall-Petch coefficient was compared with the value obtained from the initial yield stresses measured by uniaxial tensile tests with the variation of grain size. We confirmed that the two values of Hall-Petch coefficients are very similar each other and demonstrated the validity of method evaluating the Hall-Petch coefficient using nano-indentation tests. Next, the nano-indentation tests in the vicinity of grain boundaries were performed on a high manganese TWIP steel with vanadium micro-alloying to investigate the influence of the vanadium micro-alloying on the Hall-Petch coefficient. The results of nano-indentation tests showed that larger pop-in stress was required for dislocation generation in grain boundaries of the high manganese TWIP steel with vanadium micro-alloying than without vanadium micro-alloying. Based on these results, the Hall-Petch coefficient of a high manganese TWIP steel with vanadium micro-alloying was evaluated using the pop-in stress estimated by nano-indentation tests and was compare with that of a high manganese TWIP steel without vanadium micro-alloying. It was confirmed that the Hall-Petch coefficient increased when vanadium was added to high manganese TWIP steel.

[재료강도4-2 | 15:20]

미세조직에 따른 API 라인파이프강의 인장 및 충격 특성 변화: 이승완, 신승혁, 이상인, 황병철; 서울과학기술대학교

최근 심해 2,000 m 이상, 알래스카, 동토 등의 극한 환경에서 가스나 원유를 수송하기 위해 우수한 변형능과 동시에 높은 인성을 가지는 API(American Petroleum Institute) 라인파이프강의 연구가 활발하게 진행되고 있다. API 라인파이프강의 기계적 특성은 합금원소와 TMCP(thermo-mechanical control process) 공정 조건에 의한 미세조직 구성과 결정립 크기, 전위 밀도 등의 영향을 크게 받는다. 합금원소 첨가에 따라 오스테나이트 결정립 크기를 미세화하고, MA(martensite-austenite)와 석출물과 같은 2차상을 형성하여 우수한 강도를 가질 수 있으며, 다양한 TMCP 공정에 따라 형성된 등축정의 페라이트와 복잡한 형상의 베이나이트 조직을 통해 우수한 강도와 연신을 조합을 얻을 수 있다. 하지만 복잡한 베이나이트 조직 내부와 입계에 생성되는 MA 상의 경우 전위의 이동을 억제하여 강도를 향상시키지만, 상온 및 저온에서의 충격 시험 시 균열의 생성 지점으로 작용하여 충격 인성을 저하시킬 수 있다. 이와 같이 TMCP 공정에 의해 제조된 API 라인파이프강은 매우 복잡한 형태의 저온변태조직들로 이루어져 있으며, 이러한 미세조직에 따라 상온과 저온에서의 기계적 물성이 변하기 때문에 기계적 특성과 미세조직적 인자에 대한 정량적인 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 합금원소가 다른 라인파이프강들을 서로 다른 TMCP 공정으로 제조하여 미세조직을 광학 현미경 및 전자후방산란회절 분석을 통해 구분하고, 인장 시험과 온도별 충격 시험을 통해 미세조직에 따른 인장과 충격 특성에 대해 고찰하였다.

제13회 소재부품 안전 및 신뢰성 심포지엄

Room 606, 4월 26일

[소재1-1 | 09:30]

FEM을 이용한 초대형 밸브의 안전성 평가: 이근하, 양원준, 조재형, 권준범, 박은진; 한국기계연구원 부설 재료연구소
Keywords: Surge Relief Valve, von-Mises stress, Shrinkage porosity

본 연구는 초대형 밸브(COMBINATION AIR VENT VALVE 및 SURGE RELIEF VALVE)의 안전성을 평가하기 위하여 구조 해석 및 주조해석을 수행하였다. 10.5 bar, 28.5 bar의 사용압력을 갖는 두 밸브에 대해 구조해석을 수행하였으며, 가혹한 환경에서의 결과를 보기 위해 150% 압력조건에서의 해석 또한 진행하였다. 해석 결과 사용압력이 부하될 경우 von-Mises stress를 기준으로 재료의 항복강도 값인 240 MPa보다 낮은 값의 결과를 보였다. 주조결함 여부를 확인하기 위하여 ProCast를 이용하여 응고수축공(Shrinkage porosity) 여부를 확인하였다. 밸브 제조 공정을 고려한 주조해석 결과 실제 시제품에서 발견된 주조결함과 시뮬레이션에서 발견된 결함 발생부위가 유사한 것을 확인할 수 있었다. 또한 필렛 부위에서 국부적으로 Shrinkage porosity를 확인하였고 이를 줄이기 위해 Chiller를 덧대는 주조 방안을 제시하였다. 그 결과 주조 결함의 원인인 Shrinkage porosity의 볼륨이 크게 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

[소재1-2 | 09:45]

고속 충돌시험기를 이용한 항공기용 부품의 동적 신뢰성 평가: 권준범, 양원준; 재료연구소(KIMS).

Keywords: High speed crash testing machine, Crash resistance, Dynamic reliability assessment, Self-sealing breakaway valves

항공기의 충돌 및 추락으로 인한 사고는 매우 큰 피해를 야기할 뿐 아니라 치명적인 인명 사고를 동반하기 때문에 다른 운송 수단에 비해 더욱 엄격하고 보수적인 안전 평가 기준이 적용되어야 한다. 이를 위해 미국과 같은 항공 기술 선진국에서는 Military standard로 경량 고정익 및 회전익 항공기의 충돌 저항성을 평가하는 시험 평가 항목들을 제시하고 있다. 본 연구에서는 항공기 충돌이나 추락 시 밸브가 자동으로 차단되어 연료의 유출을 막아 화재나 폭발로 인한 2차 피해를 막기 위한 부품인 self-sealing 밸브를 MIL-STD-1290A기준에 따라 시험하여 동적 신뢰성을 평가하고자 한다. 고속인장시험을 통해 Self-sealing 밸브의 소재에 대한 동적 물성을 평가하여 기존의 소재와 새롭게 적용하고자 하는 소재의 동적 인장 물성을 확보하고 비교 분석하였다. 그리고 재료연구소가 보유한 고속 충돌시험기를 이용하여 MIL-STD-1290A기준에서 제시한 동적 시험 조건을 재현하기 위해 동적 하중 조건을 0.005초 이내로 36 ft/s로 부과할 수 있는 loading jig를 제작하고 로드셀과 고속카메라를 이용하여 하중과 밸브 변형 거동을 관찰하고 밸브의 동적 신뢰성을 평가하였다.

[소재1-3 | 10:00]

소재신뢰성 평가를 위한 연속압입기술 적용 - ASME & ISO: 김중형¹, 이준상¹, 권오민¹, 김광호², 권동일¹; ¹서울대학교 ²프론틱스

Keywords: 신뢰성평가, 연속압입시험, ASME, ISO, 국제표준화

해외 선진국의 소재경쟁력의 근간은, 소재단계에서부터 신뢰성을 고려하여 소재의 고장 원인을 분석하고 메커니즘을 규명하는 고장 물리의 개념을 도입한 것에서 찾을 수 있다. 전체적인 단계에서 신뢰성을 검토한다는 측면에서 장기적인 관점에서 최적의 비용절감 효과를 발생시킬 수 있는 것이다. 연속압입시험법은 소재에 미소의 힌과 변형을 가하여 기계적 물성을 평가하는 시험법으로, 국부 물성을 비파괴적으로 다양한 스케일에서 평가할 수 있다는 장점이 있다. 특히 경도, 탄성계수 뿐만 아니라 최근에는 인장물성과 잔류응력, 더 나아가 파괴특성과 접착력을 평가하는 알고리즘이 제안되고 있기에 소재부품의 신뢰성을 검토하고 확보하는 단계에서 광범위하게 사용되고 있다. 연속압입시험법이 소재신뢰성 분야에서 더 널리 쓰이기 위해서는 정형화된 절차를 세우고, 산업화 및 실용화를 위한 규격화된 형태의 국제 표준이 필요하다. 여러 연구기술의 성과는 기술의 국제표준화를 뒷받침하여 2008년에 국제표준규격인 ISO/TR29381의 출간으로 이루어졌으며, 2011년에는 미국기계학회 (ASME)의 보일러 압력용기 규격에 연속압입시험이 Code Case 2703으로 포함되었다. 최근에는 연속압입시험법을 활용한 잔류응력 측정법이 미국기계학회 (ASME)의 보일러 압력용기 규격 중 원자력 건설 분과에 Code Case N-881로 승인되어 출판되었으며, 또한 ISO TC164 SC3 분과에도 제안되어 국제표준화를 위한 논의가 진행 중에 있다. 본 발표에서는 국내에서 개발된 연속압입시험법에 대해 소개하고, 해당 기술이 소재부품 신뢰성 분야에 적용된 사례와 기술의 국제표준화/규격화에 대하여 소개한다.

[소재1-4 | 10:15]

Small Punch Test를 활용한 국내 원자로용기강의 기계적 특성평가: 홍석민¹, 이태경^{1,2}, 김종민¹, 김민철¹; ¹한국원자력연구원. ²한양대학교

Keywords: SP test, tensile property, Charpy impact property, RPV steel

원자로 압력용기는 원자력 발전소의 건전성과 사용 수명을 결정짓는 핵심 부품으로 가동 후 조사취화 현상으로 인성이 감소해 건전성이 감소하므로 원전 가동 중 감시시험을 통해서 건전성을 입증해야만 한다. 감시시험은 조사된 표준시험편의 기계적 성질을 평가하는 방법으로 진행되는데 이때 감시시험편 제작을 위한 archive material 확보, 조사시험편 생성 및 폐기물 처리비용, 조사된 시험편의 높은 선량으로 인한 취급 문제, 사용 후 남은 시험편의 재활용 등의 어려움이 존재한다. 이러한 어려움을 줄이기 위해서 소형시험편을 이용해 기계적 특성을 평가하는 방법이 연구되어 왔고 Small punch(SP) test도 소형시험편 시험법 중 하나로 2000년도 초반에 많은 연구가 되었지만 표준화된 방식의 부재로 연구자들 마다 시험 방법 및 data 해석의 차이가 있어 아직 활용되지 못하고

있다. 최근 유럽 CWA (CEN Workshop Agreement)에서 SP 시험법을 표준시험법으로 만들기 위해 ASTM WK61832 (전 47432)를 만들고 국제공동연구(Interlaboratory study, ILS1408)를 통해서 신뢰성을 확보하는 등 표준화 작업을 진행하고 있다. 이 과정을 통해 SP 시험의 시편준비, test rig, 시험 조건 등과 같이 실험방법에 대한 내용은 정해두었지만, SP 실험으로부터 얻어내는 load-displacement/deflection 그래프부터 기계적 특성 평가하는 방법에 대해서는 연구자의 재량에 맡기고 있다. 따라서 이번 연구에서는 SP 실험을 통해 국내 원자로용기재료의 특성 예측법을 개발하고 신뢰도를 확보해 이를 응용해 보고자 했다. 2000년도 초반에 수행한 SP 시험방법과 ASTM WK61832 SP 시험법을 Finite Element Method (FEM) simulation을 통해 모사하고 시험방법에 의한 영향을 비교했다. 또한 실제 실험으로 부터 얻은 SP parameter 값들과 실제 표준 시험방법으로 얻은 기계적 특성(인장, 충격)과의 비교를 통해 SP 기계적특성과 표준시험법과의 상관관계를 구하였다.

[소재2-1 | 10:40]

AZ91D 합금에서 불연속 및 연속석출물과 내식성의 정량적 상관관계 연구: 김재연, 변재원; *서울과학기술대학교*

Keywords: AZ91, 내식성, 시효열처리, Mg17Al12, 정량화

AZ91 합금의 내식성 향상을 위해 Mg17Al12상은 연속적인 망목형태로 분포되어야 한다. 이에 따라 다이캐스팅을 포함한 다양한 주조방법을 적용하거나 주조시 냉각속도 조절을 통해 이 합금에 Mg17Al12상을 입계에 연속적으로 분포시키려는 연구들이 진행되어 왔다. 이때 Mg17Al12상은 부식의 전파를 방해하는 부식장벽이 되는 것으로 알려져 있다. Mg17Al12상을 다양한 형태로 분포시킬 수 있는 또 다른 일반적인 방법은 시효열처리이다. Mg17Al12상은 시효 조건에 따라 입계에 불연속 석출물 (Discontinuous Precipitation, DP)과 입내에 미세한 연속 석출물 (Continuous Precipitation, CP)로써 제어될 수 있다. 하지만 지금까지 보고된 시효 AZ91 합금의 내식성 연구에서는 DP와 CP가 명확하게 분석되지 않았을 뿐만 아니라, AZ91 합금의 내식성에 미치는 영향 또한 불분명 하게 고찰되었다. 본 연구에서는 시효 열처리에 의해 형성되는 DP 및 CP를 정량적으로 분석하여 내식성과의 상관관계를 명확하게 규명하고자 하였다. 다양한 형태로 Mg17Al12상을 제어하기 위해 시효온도는 100-250°C, 시효시간은 1-150시간의 조건에서 주조재 AZ91D를 시효 열처리하였다. 불연속 석출물은 면적분율이, 연속 석출물은 단위면적당 개수 및 크기가 각각 정량화 되었다. 미세구조 분석결과 DP만 석출된 시편과 DP와 CP가 모두 석출된 시편으로 나뉘었다. DP만 석출된 시편들에서는 DP 분율이 증가함에 따라 용체화처리 시편 대비 부식율이 최대 45% 감소하였다. DP와 CP가 존재하는 시편에서는 DP만 존재하는 시편 대비 부식율이 추가적으로 40% 더 감소 할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 또한 CP의 석출은 부식형태를 국부적 피팅 부식에서 균일 부식형태로 변화시켰다. CP의 단위 면적당 개수와 길이에 근거하여 작성된 corrosion rate map과 부식형태 관찰을 통해 가장 우수한 내식성을 보이는 미세구조 분포가 고찰되었다.

[소재2-2 | 11:05]

표면연마에 따른 적층성형된 CoCr 합금의 부식거동: 서보성, 박형기, 김형균, 박광석; *한국생산기술연구원*

Keywords: CoCr alloys, surface polishing, plasma electrolytic polishing, corrosion

금속기반의 적층성형 공정에 사용되는 금속 소재 중, 순수 Ti, Ti 합금과 CoCr 합금은 생체적합성으로 인해 의료용 부품 소재로 많이 사용되고 있다. 특히, CoCr 합금은 Ti합금 대비 우수한 마모특성으로 인해 의료용 부품 중 치아 및 인공 고관절 부품에 주로 사용되고 있다. 적층성형공정은부품을 제조하는데 있어 곡면 및 내부 구조 구현 등 자유도가 높아 최근 의료용 부품 제조에 적용되고 있다. 적층성형공정은 또한 제조시간&비용 절감 및 치수 정확도와 같이 기존 공정 대비 여러 장점들이 있지만 해결해야 할 문제점들도 또한 있다. 그 중 하나가 적층성형공정은 금속분말을 녹여 층층이 적층함으로써 제품을 제작하기 때문에 적층성형된 제품의 최종 표면은 사용된 금속 분말의 반지를 정도의 표면조도를 가지게 되어 의료용 부품으로 사용하기 위해서는 표면조도를 줄이기 위한 추가적인 연마 공정이 필요하다. 이에 본 연구에서는 적층성형된 CoCr 합금에 대해 표면조도를 줄이기 위해 적용된 연마공정이 CoCr 합금의 부식거동에 미치는 영향에 조사하였다. 특히, 현재 주로 적용되고 있는 기계적 연마 방법과 함께 차세대 연마기술로 관심을 받고 있는 플라즈마 전해연마 방법을 적용, 연마 방법에 따른 CoCr 합금의 부식 거동 차이를 확인하였다.

[소재2-3 | 11:20]

7xxx계 알루미늄 압출재의 응력부식균열 특성: 성효경¹, 정해송¹, 김세훈², 어광준³, 김상식¹; ¹경상대학교 ²자동차부품연구원 ³재료연구소

Keywords: Al-Zn-Mg-Cu alloys, stress corrosion cracking, peak aging, slow strain rate test

7xxx 계 Al-Zn-Mg-Cu 합금의 응력부식균열 (stress corrosion cracking, SCC) 특성은 화학 조성 및 열처리에 많은 영향을 받는다. 주로 aging 조건이 SCC 특성에 많은 영향을 미치는데 T7 열처리와 같이 retrogression and re-aging (RRA)을 활용하여 over aging 한 경우 SCC 저항성이 가장 우수하지만 항복 또는 인장 강도가 낮아지는 단점이 있다. 반면, T6 열처리와 같이 under aged 나 peak aged 의 경우 강도는 가장 우수하지만 SCC 에 민감해진다. 본 연구에서는 7xxx 계 합금의 강도는 최대로 유지하면서 SCC 저항성은 향상시키고자 하였다. 따라서 SCC 저항성에 큰 영향을 주는 합금 성분을 조절하여 7xxx계 알루미늄 합금을 제조하고 T6 열처리를 수행한 후 응력부식균열 저항성을 평가하였다. 광학 및 주사전자현미경을 이용하여 열처리 전후의 미세조직 및 인장 특성을 분석하였으며, 3.5% NaCl 수용액 분위기에서 다양하게 인장 전위를 제어하여 저속 인장 시험(Slow Strain Rate Test, SSRT)을 실시하였다. 이 때 측정된 강도와 연신율을 대기 중에서의 시험 결과와 비교하였고, 인장 파면 분석을 통하여 환경 변화에 따른 강도 및 연신율 차이를 금속학적으로 분석하였다. 이를 통해 7xxx계 알루미늄 합금의 열처리 조건 및 환경 조건이 SCC 저항성에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다.

[소재2-4 | 11:35]

토양부식에 의한 배관용 탄소강관(SPW400)의 손상원인 분석: 환중오, 박기덕, 조병일; 한국화학융합시험연구원.

Keywords: SPW400, Pearlite, Pitting, SRB : Sulfate-reducing bacteria, H₂S

상수도 배관에 사용되는 탄소강관(Ø 800)을 토양 매설 후, 12개월이 지나지 않은 상태에서 국부적인 지역에 20~30 mm의 크기의 핀홀이 발생하여 그 원인을 분석하였다. 핀홀이 발생한 손상품과 핀홀이 발생하지 않은 정상품은 배관을 정상품으로 구분하였다. 기계적성질 측정 결과, 인장강도 및 경도는 차이가 없으나 항복강도의 경우 손상품이 100 MPa 높게 나타났다. 미세조직 분석 결과 정상품과 손상품 모두 페라이트 조직 결정입계 내에 필라이트(검은색) 조직이 나타났으며, 손상품의 경우 표면에 금속의 침전물 밑에서 생기는 전형적인 공식(Pitting) 형태가 나타나고 있었다. 공식부위를 SEM/EDS 분석결과 Fe산화물이 나타났으며, 공식부위의 돌기부와 시료 매설되어 있는 토양을 분석한 결과 황산염이 다량으로 검출되었다. 따라서 강관의 손상원인은 토양에 존재하는 황산염이 황산염-환원 박테리아(SRB : Sulfate-reducing bacteria)에 의해 환원하여 물과 황화수소(H₂S)를 형성하여 강관을 공식(Pitting)에 의해 손상시킨 것으로 판단된다.

[소재3-1 | 13:00] 조청강연

고기능 체결 부품의 파손 사례와 근본원인 해석: 이유환¹, 박태성²; ¹태양금속공업(주) 기술연구소 소재연구실. ²국립한밭대학교 응용소재공학과.

자동차 및 수송 기계의 눈부신 발전과 함께 체결 부품으로써 볼트는 매우 다양한 분야에 적용되고 있다. 이것은 볼트에 의한 체결 방식의 장점 즉, 빠른 시간에 접합(joining)이 가능하고 체결 부품에 문제가 발생한 경우 즉시 신속한 해체 및 재 체결이 가능하다는 것에 의하여 설명될 수 있을 것이다. 그러나 사용 환경의 변화 및 성능 향상에 대한 요구로 보다 향상된 체결력이 요구됨에 따라 고강도 체결 부품의 적용이 활발한 만큼 사용 중 파손이 자주 관찰되는데, 특히 고강도 체결부품에서 관찰되는 다양한 파괴 및 손상에 대한 이해가 절실한 상황이다. 외국의 경우 오랜 기간의 산업 발전의 역사에 따라 원인 파악 및 재발 방지 방안에 대한 활발한 연구가 있어 왔으나, 국내의 경우에는 아직 많은 실증적인 연구와 현상에 대한 이해가 필요하다고 할 수 있을 것이다. 이에 본 발표에서는 고강도 체결부품에서 관찰되었던 다양한 파괴에 대한 실 사례를 근간으로 근본 원인과 이해에 관하여 발표될 것이며, 미약하나마 향후 방지 대책 및 사용 범위를 논하는데 밑거름이 되고자 한다.

[소재3-2 | 13:30]

Failure Analysis of Al Arm for Automotive Resistance Welder: 박기덕, 조병일, 박문석; 한국화학융합시험연구원.

Keywords: Failure analysis, Al(AA7075), Resistance welder, grainboundary cracking

The purpose of this study is to identify the failure cause of Al(AA7075) arm applied to resistance welder for automotive. The failure of Al arm occurred about 1 year after installation. Stress analysis, metallographic analysis, SEM with EDS conducted to find out the reasons of the failure. As a result of visual observation, the location of the crack was the opposite part of the bolt joint, and it exist intensively in the center of the product, and the it was generated from surface and propagated in the longitudinal direction. As a result of the structural analysis, compressive stress was generated at the periphery of the bolt fastening part and tensile stress was predominant on the opposite side of the fastening part. Microstructure observation revealed that the grains were stretched in the rolling direction, and precipitates were located on the grain boundary and inside grain. As a result of cross section observation, it was confirmed that the cracks propagated to the core at the beginning of the cracks on both surface, and the cracks propagate microscopically along grain boundary. It is considered that this product is damaged due to residual tensile stress and microstructure characteristics where It is presumed that cracks were generated due to stress concentration at the weak grain boundary.

[소재3-3 | 13:45]

정유화학공정의 재질 Creep 손상 사례: 박이호¹, 김재웅²; ¹SK이노베이션. ²SK에너지.

Keywords: Creep, Relaxation Crack, 304H, 321H

본 연구에서는 정유화학공정 내 고온에서 장기간 사용된 Heater Tube의 Creep에 의한 파손 사례에 대해 소개하고자 한다. 약 600도 이상에서 20년 이상 사용된 SUS 304H, 321H 튜브의 용접부 근처에서 균열이 발생하였다. 균열의 위치 및 거시적 형태로 볼 때, 입계 산화 및 균열로 이어지는 Relaxation Cracking (Reheat Cracking)과 유사하나 미세조직 관찰 결과, Creep에 의한 파손임이 확인되었다. SUS 304H의 경우는 고온시효에 의해 입계에 생성된 M23C6, Sigma phase와 기지조직 계면에 micro-voids가 생성되었으며, SUS 321H의 경우는 입계 Sigma, G-phase와 기지조직 계면에 micro-voids가 생성되었음이 관찰되었다. Relaxation Cracking과의 차이, 자세한 분석 내용 등은 발표를 통해 논의하고자 한다.

[소재3-4 | 14:00]

디젤엔진용 인젝션 펌프 균열 원인분석: 양원준, 권준범, 이진하; 한국기계연구원 부설 재료연구소.

Keywords: Failure Analysis, Injection Pump, Stress Analysis

본 연구는 가동 중 파손된 디젤엔진용 인젝션 펌프의 파손특징 조사와 사용 소재에 대한 평가 등을 토대로 손상 원인을 정확히 분석하고 향후 재발 방지를 위한 대책을 마련하기 위하여 수행되었다. 해당부품에 대한 소재정보에 기초하여 해당소재에 대한 화학성분을 분석하였으며 미세조직분석 및 기계적 특성을 평가하였다. 또한 3D 스캐너를 이용하여 해당 부품에 대한 역설계 도면을 확보하였고 이를 이용한 유한요소해석도 수행하였다. 구조해석 결과 균열은 최대주응력 부위에서 발생하였고 균열형상과의 상관관계를 도출하고자 CT 분석을 함께 수행하였다.

[소재3-5 | 14:15]

타워 크레인 와이어 로프 파단 원인 분석: 정성욱, 김대경, 박종민, 한기형; *대우조선해양*

크레인(기중기)은 무거운 물건을 들어 올리거나 옮기는 건설 기계의 일종으로써, 특히 중공업 현장에서 중량물 인상 및 운반을 위하여 여러 종류의 대형 크레인을 사용하고 있다. 그 중 타워 크레인은 구조물 형태에 따라 T-type 크레인 또는 L-type 크레인이 있는데, 전자는 360도 회전체에 호이스트 모터를 이용하여 작업 반경 내에서 회전 및 수평 (전-후) 이동 가능하다. 후자도 360도 회전 및 호이스트 모터를 이용하는 것은 동일하나, 호이스트가 지지대 (Jib, 일명 '뿔')의 끝에 고정되어 있고 수평 이동이 불가능하다. 본 보고에서는 T-type 타워크레인의 인상 작업 도중 와이어 로프 파단으로 인하여 중량물 낙하 대물 사고에 관한 발생 원인 분석을 수행하였다. 파단 와이어 로프에 대한 기본 물성 검사 및 파단부에 대한 파면 분석 및 작업 빈도에 관한 분석을 통해 반복 작업에 의한 내부 소선 파손이 와이어 파단에 중요한 역할을 담당하였다고 판단하였고, 저중량이라 하더라도 특정 구역에 사용 빈도 수가 집중될 경우 파단 발생이 가능함을 확인하였다.

북한광물 자원의 원료소재화 기술개발 현황

Room 607, 4월 26일

[북한광물 1-1 | 09:00]

북한의 지질 및 주요 광물자원: 고상모, 이길재, 유병운; 한국지질자원연구원 DMR 융합연구단.

Keywords: 북한, 지질, 광물자원

한반도 북부는 북중국 지괴 동편 블럭의 일부에 속하기 때문에 북중국 지괴의 형성과 지질학적으로 밀접하게 관련된다. 북중국 지괴를 이루는 대륙 핵들은 시생대에 형성되고 원생대로 가면서 진화·성장하여 현재의 대륙 지괴를 이루고 있다. 평안북도-자강도-양강도-함경도 지역의 람립지괴, 관모지괴 및 마천령 열곡대는 중국 길림성-요령성 지역의 용강지괴 및 요령 열곡대와 지질학적으로 동일한 환경을 가지기 때문에 유사한 유형의 철광상, 동광상, 연·아연광상 및 마그네사이트광상들이 형성되었다. 북한의 시생대 변성퇴적암류들은 낭림층군과 무산층군의 지층들을 구성한다. 낭림층군은 원암인 퇴적암류가 광역변성작용을 받은 변성퇴적암류로 구성되고, 이에 수반된 변성형 광상인 인상흑연, 인회석, 알루미늄 광상들이 형성되었다. 무산층군은 해저퇴적분지에서 화산활동에 의해 화산성 퇴적물과 함께 철들이 침전되어 호상철광상(BIF)을 형성시켰으며 광역 변성작용을 받아 현재 변성퇴적암류(철질규암) 및 변성화산암류(철질 각섬암) 내에 철 광체가 배태된다. 무산 철광상은 중국 요령성 안산-벤시 철광화대의 철광상들과 지질환경 및 형성과정이 유사하다. 북한의 하부 원생대 퇴적암류는 증산층군, 마천령층군, 후창층군, 의주층군 지층들로 구성한다. 마천령층군 북대천주층 내에는 석회석, 백운석, 마그네사이트 및 연·아연 광상이 분포하는데 연·아연 광상은 해저화산활동과 관련된 퇴적분기형(SEDEX) 광상에 속한다. 마천령층군 성진주층에는 호상철광상이 분포한다. 또한 북대천주층 내에는 큰 규모의 마그네사이트 광상들이 백운암으로부터 형성되어 분포한다. 하부 원생대 관입암인 삭주암군은 알카리-섬강암류로 주로 구성되는데, 이 삭주암군 관입암체 내에 대규모 희토류 광상으로 알려진 정주 희토류 광상이 배태된다. 이는 삭주암군 관입암체가 희토류 광상의 근원암과 배태암(모암)이기 때문이다. 연·아연 및 마그네사이트 광상들은 중국 요령성 쟈지고우 연·아연 광화대와 다스차오 마그네사이트 광화대와 지질환경과 형성과정이 거의 유사하다. 북한의 중부 원생대 변성퇴적암류는 황해층군, 상원초군층 지층들로 구성되고, 상부 원생대 변성퇴적암류는 구원초군층 지층들로 구성된다. 이 중 상원초군층 사당우군층 내에는 석회석 및 백운석 광상들이 배태된다. 중부 및 상부 원생대 관입암은 벽성암군, 웅진암군, 연산암군, 삼해암군으로 이루어져 있다. 이 중 벽성암군의 염기성 및 초염기성암은 Ni, Cu-Ni, Ti-Fe 광상을 형성 시킨 근원암이며, 염기성암류로 구성되는 삼해암군은 Cu-Ni 광상의 근원암이다. 고생대에는 천해성 및 육성 퇴적분지들이 형성되었으며, 퇴적암류들이 평남분지와 함북습곡대에 주로 분포한다. 하부 고생대는 황주군층, 중부 고생대는 임진군층, 상부 고생대는 평안초군층과 두만군층으로 이루어져 있다. 이 중 천해성 퇴적환경에서 형성된 황주군층에는 석탄, 우라늄, 석회석, 백운석, 반토혈암, 보크사이트 광상들이 배태된다. 중생대에는 여러 개의 소규모 육성 퇴적분지들이 형성되었으며, 퇴적암류들은 자성계와 대보계로 이루어져 있고, 관입암은 평강암군, 혜산암군, 단천암군, 압록강암군으로 구성된다. 중생대에는 콜라판과 태평양판이 한반도와 중국 대륙쪽으로 섭입이 일어나면서 화성활동이 매우 격렬하게 일어나는 시기이다. 특히 단천암군과 압록강암군이 관입하는 쥐라기와 백악기에는 열수광상인 Fe, Cu, Pb, Zn, Au, Mo, W, Sn, Hg, Sb 광상들이 형성되었다. 신생대에도 여러 지역(함흥, 길주-명천, 회령-온성 등)에서 육성 및 해성 소분지들이 형성되고 화산활동이 초래 된다. 이 시기에는 주로 갈탄, 고령토 및 벤토나이트광상들이 형성되었다.

[북한광물 1-2 | 09:25]

북한의 Mg 및 RE소재 기술 개발 현황: 강영실; 북한대학원대학교.

Keywords: 북한, 마그네슘, 희토류

북한은 국방공업에 집중 육성하기 위해 1967년 6월 처음 마그네슘 생산을 논의하였고, 1년 뒤부터 무연탄 사용의 고열환원 마그네슘 제련 시험 연구를 시작해 80년대에 년 100t 마그네슘생산능력을 조성하게 되었다. 90년대 들어 조총련의 기술 지원으로 희토류의 채광 및 개발 연구를 시작해 2000년대는 희토류를 공업 및 농업 부문에 다양한 첨가제로 활용하고 있다. 마그네슘 생산 원료는 품위가 47% 이상의 마그네사이트를 사용하며, 제련은 용융염전해와 고열환원방식 모두를 채택하여 정련과정을 거쳐 순도 99.99%의 금속마그네슘을 얻어낸다. 희토류는 기본적으로 철산광산에서 채취한 모나즈석 광물을 원료로 사용하여 유산 및 알칼리분해 방식으로 희토류와 토륨화합물을 얻어낸다. 마그네슘은 각종 경량소재와 폭약, 항공우주 등 주로 국방공업에 이용된다. 희토류는 공업용과 농업용으로 생산되는데, 공업부문은 주물소재의 개량제로, 합금강의 첨가제로 각이하게 이용되며, 농업은 축산과 가금, 살충, 먹이첨가 등에 제한적으로 사용된다.

[북한광물 1-3 | 09:50]

북한산 전략금속자원의 선광 공정 개발: 김관호, 정수복, 김양수, 유광석; 한국지질자원연구원 DMR 융합연구단.

Keywords: Mineral Processing, Iron ore, Rare earth deposit, Pb-Zn ore, magnetic separation, flotation

선광 공정(Mineral Processing)은 채광 과정을 통해 확보된 원광으로부터 목적 광물(target mineral)을 물리적 선별 방법을 통해 회수하는 공정을 의미한다. 이러한 선광 공정을 위해서는 우선 원광에 포함되어 있는 목적 광물과 맥석 광물(gangue mineral)을 파악하여 물리적 특징의 차이점을 확인한 후, 목적 광물과 맥석 광물의 선별이 용이하게 원광의 입도를 감소시켜 적정 수준 이상으로 단체분리(libération)를 시키는 과정이 필요하다. 이렇게 단체분리가 이루어진 광물들은 적절한 선별 방법을 적용하여 목적 광물의 정광(concentrate)을 회수하게 된다. 본 연구에서는 이러한 과정을 적용하여 총 3가지의 북한산 전략금속광물(철광석, 희토류, 연·아연광)을 대상으로 선광 공정을 개발하였다. 철광석의 경우 목적 광물이 자철석(magnetite)인 북한 무산/오룡 철광을 사용하였으며, 총 3단

계의 분쇄(Grinding)-자력선별(magnetic separation) 공정을 적용하여 정광을 회수하였다. 단계별 분쇄/선별 공정이 진행됨에 따라 회수되는 정광의 품위는 T-Fe 기준 43.8%, 60.4%, 그리고 69.7%로 증가하였으며, 회수되는 정광의 양은 투입되는 원광 대비 89.9 wt%, 64.2 wt%, 그리고 55.0 wt%로 감소하였다. 북한산 희토류는 황해남도 삼천군의 사광상으로부터 확보된 시료로 희토류를 함유하고 있는 주요 광물은 모나자이트(Monazite)와 소량의 제노타임(Xenotime)이었으며, 그 이외에 티탄철석(Ilmenite)이 주요 목적 광물로 확인되었다. 자성을 갖고 있는 티탄철석과 모나자이트/제노타임의 특성을 이용하여 자력의 세기를 변화시키면서 각각의 목적 광물을 선택적으로 회수하였다. 0.9 T 이하의 자력 세기에서는 주로 티탄철석이 회수되었으며, 그때의 티탄철석 광물의 품위는 90.9%, 회수율은 98.5%였다. 또한 0.9 T - 1.4 T의 자력 세기 구간에서는 함희토류 광물인 모나자이트와 제노타임이 회수되었으며, 이 때의 Total Rare earth Oxide (TREO, %)는 45.4%로 실험에 투입된 시료 20.5%에 비해 크게 향상되었다. 마지막으로 연-아연광은 북한 단천지역의 검덕광산과 지질학적 성인이 유사한 중국 쯤지고우(Zhenzigou) 광산의 시료를 확보하여 실험을 진행하였다. 연-아연광의 목적 광물은 연(Pb)의 경우 방연석(galena), 아연(Zn)의 경우 섬아연석(sphalerite)이며, 두 가지 광물을 순차적으로 회수하는 복합 부유선별(flotation) 공정을 적용하였다. 잔세이트(Xanthate) 계열의 포수제를 사용하여 1차적으로 연 정광을 회수한 후, 다음으로 아연 정광을 회수하는 공정을 구성하였으며, 회수된 연 정광의 품위는 Pb 70%, 회수율 85%이었으며, 아연 정광은 각각 51.5%, 85%였다.

[북한광물2-1 | 10:25]

Status of Technologies for the Production and Materialization of Molybdenum Ores in North Korea: **김행근, 유경근;**
국립한국해양대학교

Keywords: Molybdenum, North Korea, Desulfurization, Ammonium Molybdate, Molybdenum Extraction

Molybdenum is known to be one of major mineral resources that North Korea has been enlarging its mining, processing and exporting. It is reported that the reserved amount of molybdenum in North Korea is approximately 54,000 metric tons, which is around 2.5 times larger than that in South Korea. Molybdenum readily forms hard, stable carbides in alloys, and by virtue of this property it is used in steel alloys, including high-strength alloys and superalloys. It also enhances the strength of steel at a high temperature. Therefore, molybdenum is a very important and valuable metal for North Korea, not only because it can be used for the production of weapons of mass destruction, missiles, armor and artillery, but also because it can be a new solution for earning foreign capital through export. Although the construction of molybdenum factory in North Korea has been reported recently, however, there is no reliable information concerning the types, quantities and qualities of products from the factory up to now. In the production of molybdenum metal, several hydro- and/or pyro-metallurgical unit processes are usually combined to obtain a high extraction efficiency and a high purity. For many steel products, molybdenum oxide of a technical grade is usually used, and for the production of the oxide, just a pyro-metallurgical roasting process is necessary. In this presentation, several processes for the production of molybdenum metal and its intermediate compounds are introduced and compared in addition.

[북한광물2-2 | 10:50]

북한산 연-아연정광에 대한 신제련공정 검토: **강진구, 이호석, 문남일; 영풍 기술연구소**

Keywords: Zhenzigou 원광, 아연제련, TSL, 검덕 연-아연광

북한 단천시 검덕 연-아연광산에서 생산되는 연-아연정광은 연 10만톤 수준이며, 평균 품위가 Zn 4.5%, Pb 0.8%인 원광이 약 18억톤 매장된 것으로 보고되고 있다. 원광에 포함된 연-아연금속의 가치는 약 97조원 정도로 예측되며 남북경협을 통한 자원 개발이 활성화된다면 세계에서 상당한 규모의 광산 개발 사업이 추진될 것으로 예상된다. 현재 북한 검덕광산의 연-아연 원광 입수가 어렵기 때문에 북한 검덕광산의 SEDEX 광상형과 유사한 중국 Zhenzigou 광산의 정광을 대상으로 제련가능성을 평가하였다. Zhenzigou 원광의 경우 연-아연 품위는 각각 5.1%, 4.6%로 Global 평균 품위보다 높은 함량을 갖고 있으며 선광공정을 거쳐 얻어지는 아연정광의 아연품위는 51.5%로 현재 제련소로 투입되는 정광의 아연 함량 spec.을 만족하고 있다. 그러나 Pb의 경우 6.1%로 배소공정에 직접투입하기에 너무 높은 함량을 갖고 있어 이 정광을 처리하기 위해 TSL 공정을 활용한 신제련공정 개발을 검토하였다.

[북한광물2-3 | 11:15]

북한 희토류광을 이용한 제련공정 및 자석 소재화 기술 개발: **이진영¹, 김동수²; ¹한국지질자원연구원, ²재료연구소**

Keywords: North Korean Rare Earth, Hydrometallurgical process, Nd-Magnet preparation

본 연구에서는 황해남도 삼천군 지역의 사광상을 대상으로 선광-제련-소재화에 이르는 일관공정 개발에 대한 내용을 포함하고 있다. 선광 공정은 비중선별, 자력선별, 부유선별을 조합하여 선광공정을 확립하여, 회수율 98% 이상으로 모나자이트를 회수 할 수 있었다. 제련공정은 황산화 반응에 의한 침출, 부산물 회수(토륨 및 인산), 비희토성분 제거 및 희토류 원소별 분리정제 등의 단위공정을 개발하여, 회수율 94%, 순도 99.9%의 희토류 정제용액을 제조하였으며, 분리정제 공정의 on-line 모니터링 시스템 개발을 통해 생산성을 증대하였다. 소재화 부분은 제련 중간물(분리용액)을 전구체로 활용한 자성분말 및 자성체를 제조하였으며, 기존 상용제품 대비 공정비용을 20%이상 감소시키며 동일 이상의 특성을 나타내었다.

[북한광물2-4 | 11:40]

북한 마그네사이트의 고부가가치화를 위한 통합형 소재화기술 개발: **김영민^{1,2}, 유봉선^{1,2}, 강정신¹, 박형규¹, 이태혁¹, 김하식^{1,2}**

; ¹ 한국지질자원연구원 DMR융합연구단 마그네슘활용기술연구팀. ² 재료연구소 마그네슘연구실

Keywords: 북한, 마그네사이트, 제련, 소재화, 고부가가치화

북한의 광물자원 가운데 마그네사이트의 경우 세계 3위의 매장량을 보유하고 있을 뿐만 아니라 품위가 상당히 높아 경제적 가치가 매우 높다. DMR융합연구단 마그네슘활용기술연구팀은 북한의 마그네사이트를 고부가가치화하고 국내 주력산업에 활용하기 위한 소재실용화 기술을 연구한다. 이를 위하여 고품위 내화물 제조기술과 고효율·친환경 신제련기술, 고특성 마그네슘 신합금 및 부품화 기술을 개발하는 것을 목표로 연구를 수행하고 있다. 북한 마그네사이트를 활용한 내화물 제조 및 응용연구는 참여기업 주도로 연구를 수행하고 있다. 고효율·친환경 신제련기술의 경우, 산화마그네슘의 전해환원으로 생성된 마그네슘과 액체금속 음극과의 반응에 의해 금속간화합물을 생성 후 이를 진공 증류하여 고순도 마그네슘 금속을 제조하는 MSE-LMC (Molten Salt Electrolysis using Liquid Metal Cathode)법의 실증화 기술을 개발한다. 북한산 마그네사이트를 제련한 마그네슘 순금속을 이용하여 불순물을 분석, 평가하고 북한 마그네사이트 맞춤형 Fe-free 마그네슘 신합금 개발을 연구한다. 특히 친환경 다이캐스팅용 마그네슘 신합금 및 양산규모 압출공정에 적합한 석출경화형 고강도 마그네슘 신합금 개발 연구를 수행하고 있다. 개발된 신합금을 활용하여 자동차, 철도, 항공기 등의 수송기기에 적용 가능한 양산설비 대응형 마그네슘 합금 압출재 제조기술 개발 연구를 수행하고 있으며, 국내외 연구기관 및 제조업체와의 긴밀한 협력을 통해 실제 수요자의 니즈를 반영한 양산설비 맞춤형 소재 및 공정의 실용화 연구에 중점을 두고 있다. 마그네슘 판재 분야의 경우, 최대 난제인 상온성형성과 내식성을 동시에 향상시키기 위한 연구를 수행한다. 1단계 연구를 통해 상온성형성과 내식성을 동시에 확보하기 위한 신합금 조성 및 압연-열처리 신공정 제어기술을 개발하였고, 2단계에서는 세계최고 수준의 복합특성을 가지는 마그네슘 판재 개발 및 Pilot Plant급 스케일업 기술 개발 연구를 수행한다. 향후 본격적인 남북경협과 통일시대를 대비한 북한산 마그네사이트를 활용한 전주기 통합형 소재실용화 기술을 개발을 통해 국내 마그네슘 소재부품 및 연계 산업을 활성화 하고, 우수한 기술력과 가격 경쟁력을 바탕으로 세계 마그네슘 시장을 선점, 확보할 수 있을 것으로 기대한다.

감성소재부품 심포지엄 Room 600A, 4월 26일

[감성1-1 | 09:30]

음파 간섭에 의한 매질내 미세입자의 응집시스템기술개발: 이효수, 이해중, 엄누시아, 김범성, 이혜진; 한국생산기술연구원

Keywords: 음파, 음압, 미세입자, 저감, 제거

최근 전 세계적으로 미세먼지 및 미세 플라스틱 등 미세입자에 의한 환경오염이 심각한 문제로 대두되고 있는 가운데, 이를 제거하기 위한 기술개발이 추진되고 있다. 본 연구에서는 매질 내 미세입자를 제거하기 위한 연구의 일환으로 대기 중 PM 2.5급 초미세먼지를 제거하기 위한 음파 간섭 응집 시스템을 개발하고자 하였다. 기존 미세먼지를 제거하는 기술은 블로우 필터링, 정전기적 합착 등이 개발되고 있으나 초미세먼지를 효과적으로 제거시키기에는 효율적이지 못하였다. 음파 간섭에 의한 매질 내 초미세입자의 응집거동은 Orthokinetic collision mechanism을 기반으로 매질 내 입자간 이동속도 차이로 응집되는 현상이다. 본 연구에서는 가청 주파수(Acoustic Wave, Hz) 및 임의의 SPL(Sound Pressure Level, dB) 조건으로 초미세입자의 응집 거동을 연구하였다. 1 μm 이하의 초미세입자가 수 Hz 및 수 dB 조건에서 짧은 시간 내에 10 μm 이상으로 조대화 되는 응집 거동을 확인하였으며, 이 연구 결과를 바탕으로 기존의 저가형 포집 시스템을 이용하여 공동주택, 지하철, 터널, 산업현장 등에 바로 실증 적용 가능할 것으로 기대된다.

[감성1-2 | 10:00]

감성과 경험, 의미의 시대를 위한 디자인: 김선아; 금오공과대학교

Keywords: Emotion, Experience, Meaning, Design

기능성과 심미성을 기본적으로 갖춘 제품 디자인은 감성의 시대를 맞이하면서 사용자와 소비자의 감성적 경험을 충족시키기 위해 다양한 시도와 발전이 이루어져 왔다. 감성자극을 위한 디자인의 구체적 활동은 형태와 컬러, 소재, 후가공을 다루는 영역이며 소재와 부품에 감성을 고려한 개발 결과물은 결과적으로 완제품에 감성품질을 높이는 데 현격한 영향을 준다. 라이프스타일 기반의 감성가전기기 분야에서는 이러한 중요성이 더욱 발휘되어 고급감을 만족시키는 다양한 소재와 후가공을 응용하여 성공적인 결과를 이루고 있다. LG전자의 시그니처 브랜드는 감성 소재를 효과적으로 활용한 대표적인 사례이다. 감성을 고려한 제품은 사용자의 경험에 선순환적인 영향을 미치며 결국 브랜드력을 강화하는 데 기여한다. 고급감을 필두로 유형적인 측면에서의 연구는 진행되어 왔지만, 다음 단계의 트렌드를 고려한 감성적 이슈는 급격히 변화하는 기술과 시스템의 변화로 기존의 방식으로 동작되지 않는다. 감성 데이터베이스 구축을 통한 자유로운 변화에 대응이 가능한 소재 기술이 큰 축을 이루고 있지만, 사회·인문학적 측면에서의 친환경 이슈 또한 의미 시대를 준비하는 또 다른 중요한 축임을 발견할 수 있다. 본 연구에서는 의미의 시대를 맞이하는 측면에서 감성 제품의 개발 방향에 대해 고찰한다.

[감성1-3 | 10:30]

고감성 섬유소재 기술개발 동향: 이인열; 한국섬유소재연구원

Keywords: High-sensitive, Five Senses, Textiles, Soft Touch, Visual Color

고감성 섬유소재란 인간의 오감(五感), 즉 촉각, 시각, 청각, 후각, 미각에 호소하는 섬유소재이다. 최근 휴머니즘에 대한 인식이 새롭게 각광받고 있는 트렌드에 맞추어 인체와 가장 가까이 접촉하고 있는 소재, 즉 섬유소재에 있어서도 감성에 집중하여 빠르게 발전하고 있다. 섬유소재에 있어 오감은 소재성능인 재질감, 온도감, 유연 및 딱딱한감, 매끈한감, 끈끈한감 등으로부터 오는 촉각으로서 손에 닿는 감촉, 피부에 닿는 감촉 등이 있다. 또한 배색, 색상, 색조, 광택, 형태, 문양, 재질감으로부터 느끼는 시각이 있다. 그리고 건명(綱鳴) 등 청각이나 후각을 자극하는 은은한 향기가 있다. 섬유소재는 직접 입안에 넣는 미각은 없다. 그러나 파인애플 잎사귀의 셀룰로오스 섬유나 밀크의 카제인의 단백질 섬유 등 식재료로부터 개발되는 섬유소재가 있다. 본 연구에서는 이러한 인간의 오감에 호소하는 고감성 섬유소재의 기술개발동향과 이를 정량적으로 평가하는 기술에 대해서 논하고자 한다.

[감성1-4 | 11:00]

능동형 컬러제어 소재를 통한 응용기술: 김영석; 전자부품연구원

Keywords: 감성소재, 광결정, 인터랙티브, 시각, 구조색

시각은 청각과 함께 정보를 가장 많이 받아들이는 감각으로 정보전달에 가장 효율적이라는 것이 보편적으로 인식되고 있다. 또한, 시각에 기반한 인터랙션 기술 및 감성디자인은 제품을 고급화하는데 가장 적합하다고 할 수 있다. IT분야의 시각적 감성요소에 대한 고객선호는 Multi-color, Natural image, 고급화 등으로 다양해지고 있으며, 이러한 개성을 추구하는 소비자의 만족도 향상을 위해서는 다양한 패턴과 색상, 질감 등의 감성요소를 능동적으로 구현 가능한 인터랙티브 기술이 요구된다. 본 발표에서는 구조색을 이용한 가변색이 가능한 디바이스 기술에 대하여 소개한다. 구조색에 기반한 능동형 컬러제어 소재는 나노구조체를 이용하여 전기장 또는 자기장에 의해 반사율을 변화시키거나 반사파장을 변화시키는 것으로 다양한 색상과 질감의 구현이 가능하다. 또한 파장의 제어를 통해서 보안소재나 에너지용 소재로의 확장이 가능하다.

[감성2-1 | 13:00]

다중감성이 발현되는 금속소재개발 개요: 나중주¹, 변지영², 임태홍³; ¹재료연구소 표면기술연구본부, ²한국과학기술연구원 물질구조제어센터, ³한국생산기술연구원 표면처리그룹.

Keywords: Color, Metallic Brightness, Viewing Angle, Optical Density, Imprinting, Tactility, Thermal Conductivity, Elastic Strain

본 연구는 시야각 의존도가 적은 금속광택의 표면 플라즈몬 색과 부드럽고 따뜻한 촉감을 가지는 금속시트(Sheet) 개발을 목표로 하고 있다. 본 연구 과제의 핵심 주제로는 색상과 촉감의 두 가지 감성을 융합하는 기술이다. 색상조절은 금속표면 나노컬러링 기술을 중심으로 플라즈몬 색 구현, 위치별 색상 편차 최소화, 고선명도 색상 구현, 균일색상면적 증대 등을 포함한다. 촉감조절의 경우 금속시트 열전도성 및 표면특성 제어를 위한 도금기술개발과 텍스처된 박판의 적층을 구현하는 연속제조기술을 포함한다. 도금 기술개발에서는 다공성 도금기술에 의한 금속표면의 열전도/촉감제어와 마이크로 자연무늬패턴복제, 패턴내구성 증대를 연구하며, 후자는 마이크로 표면텍스처 구현을 위한 전주금형개발, 금속포일 아키텍처링 기술 개발, 금속포일 연속제조기술 등을 포함한다. 한편, 수요자의 요구에 맞춤형으로 대응할 수 있도록 전산과 학기반의 소재 설계 개발을 병행하고 있다.

[감성2-2 | 13:30]

Numerical Investigation of Structure-Property Relationship in Porous Materials: Dongmyoung Jung, Yujung Kim, Jiyeon Kim, Yongwoo Kwon; *Hongik University.*

Keywords: Porous Material, Structure-Property Relations, Finite Element Analysis

Porous materials can have much lower thermal conductivity and elastic modulus than their bulk form. The effective properties of a porous material mostly depend upon its porosity, but its solid/pore structure also plays an important role. More specifically, thermal conductivity and elastic modulus can vary more than 200% for different structures at the same porosity. In this study, effective thermal conductivity and elastic modulus are calculated for various structures with open or closed pores using finite element simulation. From the calculated results the structure-property relations and further the design rules of the porous structure to obtain improved properties will be discussed.

[감성2-3 | 14:00]

금속표면에 선명하고 다양한 색상을 발현하기 위한 기술의 제안: 변지영¹, 이명규², 이승용¹, 조소혜¹; ¹한국과학기술연구원 물질구조제어 연구센터, ²연세대학교 신소재공학부.

금속은 반짝이고 빛나는 광택 때문에 예전부터 장신구나 식기로 널리 사용되어 왔다. 금, 은, 동, 유기, 스테인레스 강 등이 대표적으로 사용되는 금속 소재이다. 금, 구리, 유기를 제외하고는 은, 스테인레스 강, 알루미늄 등과 같이 일상에서 사용되는 대부분의 금속소재는 백색 또는 회백색의 무채색을 나타낸다. 다양한 색상을 가지는 금속, 특히 반짝이고 빛나는 금속광택을 유지하면서 선명한 색상을 발현시키는 금속 표면을 만들 수 있다면 금속을 활용한 장식 산업 분야에서 그 활용도 및 파급효과는 지대할 것으로 기대된다. 최근 KIST에서는 MIM (Metal-Insulator-Metal) 구조를 금속표면에 구현하면 금속광택을 유지하면서 다양하고 선명한 색상을 발현하는 것이 가능하다는 것을 알게 되었다. 본 발표에서는 MIM 구조, 유전체층의 두께, 금속층의 종류 등에 따라 색상이 변화하는 것을 설명한다.

[감성2-4 | 14:30]

표면텍스처와 촉감조절 금속소재: 임태홍, 박재영, 엄현진, 김호형, 이민수; 한국생산기술연구원.

Keywords: 온감, 탄성감, 텍스처, 금속시트, 전주

인간의 촉감은 피부에 직접 닿아서 느끼는 감각으로 정의된다. 최근 산업은 기기와 인간을 이어주는 감성 매개체로 시각과 청각을 주로 사용하지만 촉감을 이용한 연구들도 진행되고 있다. 사람의 감각 기관은 냉점은 25°C 내외, 온점은 40~45°C에서 반응한다. 이에 따라 소재의 냉온감은 25~45°C에서의 열전도도로 결정될 수 있다. 구조체의 열전도도는 일반적으로 기공률이 높을수록 감소한다. 금속시트의 촉감 구현을 위해서는 표면의 텍스처 형상을 이용하여 기공률을 높이고 이를 활용하여 열전도도 및 탄성 조절이 가능해야 한다. 본 연구에서는 금속 소재의 촉감조절을 위하여 온감과 탄성감을 구현하기 위한 방법을 고찰하였다. 이를 위해 수백 마이크로 크기를 갖는 텍스처 형상을 설계하고 전주법을 이용하여 텍스처가 형성된 단일층의 금속시트를 제작하였다. 또한 이를 활용하여 폴리머와 주석 접합층을 사용한 아키텍처링 방법으로 규칙적인 계층구조를 갖는 금속 시트를 제작하였다. 제작된 계층구조 금속 시트의 탄성감 및 열전도도 분석을 통해 촉감조절이 가능한 금속소재를 확인하였다.

[알루미늄 1-1 | 09:00] 초청강연

Al-Mg-Si계 합금에서 나노클러스터 생성과 시효 경화 거동: 김재환; 한국생산기술연구원.

Keywords: 경량화, Al-Mg-Si 합금, 시효경화, 석출물, 나노클러스터

수송기기 경량화 방안의 일환으로 알루미늄 합금의 고강도화가 중요하다. 이에 따라, 자동차 부품으로 알루미늄 합금 적용은 확대되고 있는 추세이다. 특히, 자동차용 외판재로 Al-Mg-Si(6xxx)계 합금이 주로 사용되고 있으며, 석출물 생성을 통한 합금의 고강도화가 가능하다. 석출물은 핵으로 여겨지는 나노클러스터 생성과 밀접한 관련이 있어, 알루미늄 합금의 고강도화를 통한 수송기기 경량화를 구현하기 위해서는 나노클러스터 생성 제어가 필수 불가결하다. 나노클러스터는 Mg, Al, Si 및 공공 (Vacancy)으로 구성되어 있다. Mg, Al 및 Si은 연속된 원자번호로 원자 반경이 유사하여, 투과전자현미경을 활용한 나노클러스터의 분석에는 어려움이 있다. 최근, 분석 장비 발달로 3차원 아톰프로브를 활용한 나노클러스터의 직접 관찰이 가능하게 되었으며, 열분석, 기계적 및 전기적 특성 평가 등의 간접적 분석 또한 활발히 이루어지고 있다. 본 강연에서는 나노클러스터 분석 기법을 소개하며, 나노클러스터 생성과 시효 경화 거동의 관계에 대하여 소개한다.

[알루미늄 1-2 | 09:25]

Al-Zn-Mg계 신합금의 고온 유동응력 전산모사: 양승현¹, 연구호¹, 김목순¹, 김세훈²; ¹인하대학교 ²자동차부품연구원.

Keywords: Al-Zn-Mg alloy, Compressive test, Constitutive equation, Simulation

자동차 경량화에 대한 요구가 증대되면서 경량이고 우수한 강도 특성을 갖는 Al-Zn-Mg계 합금을 자동차의 구조용 재료로 적용하고자 하는 시도가 증가하고 있다. 그러나 Al-Zn-Mg계 고강도 상용합금의 경우 강도 특성은 우수하나 높은 변형저항으로 인하여 소성가공성에 문제가 있어, 우수한 강도와 소성가공성을 동시에 확보할 수 있는 Al-Zn-Mg계 신합금 개발이 요구되고 있다. 본 연구에서는 이러한 목적으로 개발된 Al-Zn-Mg계 신합금을 대상으로, 고온에서의 소성가공에 대한 기초 데이터를 구축하기 위해, 유한요소해석법(FEM)을 이용하여 다양한 온도 및 변형속도 영역에서 유동응력을 전산모사하였다. 구성방정식으로부터 얻어진 응력값을 FEM에 활용하였으며, 열팽창계수, 열전도도 및 Poisson's ratio와 같은 물성데이터는 JMatPro simulation으로부터 구하였다. 또한 실제 압축 시험 결과와 전산모사 결과를 비교하여 최적의 모델을 도출하고자 하였다.

[알루미늄 1-3 | 09:40]

Al-Mg-Si 합금에서 저온 (50 °C) 예비시효 시간이 나노클러스터 형성과 시효경화 거동에 미치는 영향: 송민영^{1,2}, 김인수^{1,2}, 이해철¹, 김재환¹, 홍성길²; ¹한국생산기술연구원. ²전남대학교.

Keywords: Al-Mg-Si alloys, Aging, Nanocluster, Pre-aging time, Low-temperature pre-aging

엄격해진 충돌시험 대응 및 차량의 경량화를 위하여 알루미늄 합금의 고강도화가 요구되고 있다. Al-Mg-Si계 합금은 우수한 시효경화 특성으로 인하여 자동차 외판재에 널리 쓰이고 있다. 판재 운송 과정 중에 상온에 노출되면서 Cluster (1)이 생성된다. Cluster (1)은 판재의 강도를 저하시키는 'negative effect of two-step aging' 현상의 원인이 된다. 이 현상은 상온에 노출되기 전, 100°C에서의 예비시효를 통해 Cluster (2)를 생성시켜 억제할 수 있는 것으로 알려져 있다. 열분석을 통하여 두 개의 나노클러스터 피크를 확인하였다. Gaussian 함수를 이용하여 분석한 결과, Cluster (1)과 Cluster (2) 피크로 구분됨을 확인하였다. 25 및 100 °C 부근에서 각각 Cluster (1) 및 Cluster (2)가 지배적으로 생성될 것으로 사료된다. 50 °C 부근을 기점으로 Cluster (1) 및 Cluster (2) 피크가 교차 되는 것을 확인하였다. 본 연구에서는 예비시효 50 °C에서 시효 시간에 따른 나노클러스터 생성 거동 및 이후 인공 시효 동안의 시효 거동에 대하여 연구하였다.

[알루미늄 1-4 | 09:55]

The Formation of Dispersoids and Their Role in η Precipitation During Cooling of AA7068 Alloy: Saif Haider Kayani^{1,2}, Jae-Gil Jung², Min-Seok Kim², Kwangjun Euh^{1,2}; ¹과학 기술 연합 대학원대학교 ²재료연구소.

Keywords: Solution treatment; Precipitation; Dispersoids; water-quenching; Furnace-cooling

In the present study, an extruded 7068 Al alloy is subjected to solution treatment at 450°C for 24 hours followed by either water quenching or furnace cooling. During the solution treatment, the dissolution and disintegration of secondary phases takes place in the alloy to some extent. The recrystallization of deformed grains also occurs during the solution treatment. The formation of fine cuboidal and fine spherical dispersoids occurs during prolonged solution treatment. It is found that the fine dispersoids are Ti-rich and / or Ti-lean $L1_2 Al_3Zr$ dispersoids. The Ti content in $L1_2 Al_3Zr$ dispersoids changes their chemical composition and increases their lattice misfit with Al-matrix. Is the Slow Cooling Process During, η phase precipitates on Is the Coarse whereas dispersoids Is the Presence of η phase is not on Is the Fine and Observed dispersoids. The formation of η particles on dispersoids, grain boundaries, and Al-matrix during slow cooling lead to low hardness values for the furnace-cooled alloy compared to the water-quenched alloy.

[알루미늄2-1 | 10:20]

고강도 알루미늄 합금의 레이저 용접성에 관한 연구: 이목열¹, 김숙환², 황종일³; ¹포항산업과학연구원, ²경북TP, ³(주)엘엠에스
 Keywords: Aluminum alloy, High strength, Laser welding, Weldability, Microstructure

최근 자동차산업에서 배출가스 및 연비규제가 강화되고 있으며, 그에 대한 대응으로 차체에 경량소재를 적용하여 중량을 감소시키고 있다. 알루미늄합금은 무게 대비 강도가 높을 뿐만 아니라, 이 소재로 부품을 제조하기 위한 이용기술이 확보되어 경량소재로 각광받고 있다. 그러나 고강도 알루미늄 합금의 레이저 용접성에 관한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 7000계열 상당의 고강도 알루미늄 합금의 레이저 용접성에 관하여 알아 보았다. 용접은 멀티모드 레이저 및 싱글 모드 레이저를 사용하였는데, 싱글 모드에서는 빔 오실레이션을 적용하였다. 알루미늄 용접부의 단면 미세조직을 관찰하고, 인장시험 및 경도를 측정하여 용접부의 성능을 평가하였다.

[알루미늄2-2 | 10:35]

알루미늄 합금 판재 저항 용접 특성 비교 및 결함 분석: 지창욱¹, 김재훈², 천주용¹; ¹한국생산기술연구원 울산본부, ²한국생산기술연구원 울산본부
 Keywords: Aluminum, Resistance spot welding, Electrode, Defect, Weldability

최근 자동차 차체의 알루미늄 소재의 사용량 증가에 따른 경량화로 인한 연비 개선(에너지) 및 환경 문제에 긍정적 효과가 있음에도 불구하고, 용접 및 집합 공법의 대량 생산화에는 공정상 여러 가지 문제 존재한다. 특히 자동차 차체용접에 가장 많이 사용되고 있는 저항 용접에서는 대면적, 고전류의 용접 조건으로 인하여 전극 표면과 알루미늄 판재의 용착 현상이 발생하여 용접 품질 문제가 빈번하게 발생하고 전극의 드레싱 주기가 감소하는 등 공정상에서 관리해야 할 요인들이 증가하고 있는 실정이다. 알루미늄 소재의 낮은 고유 저항 및 최외각층의 알루미늄 산화층으로 인하여 용접부에서는 다양한 형태의 결함들이 발생된다. 공정적인 측면에서의 알루미늄 용접품질을 해결하기 위해서 미국 GM(General Motors)사의 경우 Ring-type 형태의 전극을 사용하여 용접품질문제를 해소하고, 일부 용접기 업체에서는 전극 표면에 스크래치를 발생시켜 드레싱 공정없이 알루미늄 용접성을 개선하고 있다. 하지만 소재적인 측면에서의 결함 유형 및 결함 발생 원인에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 알루미늄 합금 판재(5000계, 6000계)의 저항 용접 특성에 대해 비교해 보고, 알루미늄 소재적인 관점에서 용접부 표면과 용접부내에서 발생하는 결함의 종류 및 형태에 대해서 분석해보았다.

[알루미늄2-3 | 10:50]

Al-Mg계, Al-Mg-Si계, Al-Zn-Mg계 알루미늄 합금 판재의 방탄특성 및 관통거동: 정제기¹, 조의제¹, 김수현², 이운수², 김희주², 임차용², 박용호¹; ¹부산대학교, ²재료연구소

Keywords: aluminum alloys, rolling, microstructure, ballistic test

고강도 알루미늄으로 제조된 방탄판은 비강도가 우수하며, 강판과 세라믹판을 대체하여 사용시 개인 및 차량의 기동성을 향상시킬 수 있어, 탄환에 대한 적정수준의 관통 저항성과 경량성이 요구되는 장갑차량의 외판에 사용되고 있다. 지난 수십 년간 알루미늄 합금의 방탄특성과 관통 소성거동에 대한 연구는 거시적 관찰과 전산모사를 통해 수행되고 있으며, 경도와 에너지 흡수능은 방탄특성을 향상시키는 주요 인자로 알려져 있다. 그리고, 각 방탄소재에 대한 미시적 관찰을 기반으로 한 방탄특성의 정확한 이해와 변형거동의 해석은 관통거동에 대한 전산모사 해석의 정확도를 높일 수 있다. 본 연구에서는 고강도 Al-Mg계, Al-Mg-Si계, Al-Zn-Mg계 알루미늄 합금 판재의 방탄특성을 비교평가하고 관통에 의한 판재의 소성거동을 관찰하였다. 방탄특성 평가는 25 mm 두께의 알루미늄 합금 판재에 연발 타격을 수행하고 얻은 결과들을 기반으로 방호한계속도(V50)를 도출하여 평가하였다. 각 합금 판재의 관통에 의한 소성거동에 미치는 기계적 특성과 미세조직의 영향에 대하여 분석하였으며, Johnson-Cook 모델을 이용하여 국부적으로 발생하는 고변형속도의 관통거동을 모사하였다.

[알루미늄2-4 | 11:05]

High Mg 알루미늄 합금의 비틀림 집합조직 변화: 조창희¹, 손현우¹, 김상욱¹, 이재철¹, 윤영옥², 김세광², 정택균¹, 현승균¹; ¹인하대학교 공대 신소재공학부 재료구조제어연구실, ²한국생산기술연구원

Keywords: Al-Mg alloys, torsion textures, pole figure, stacking fault energy, strain rate

Al-Mg 합금은 대표적인 고용강화 합금으로 비열처리 알루미늄 합금 계열 중 강도가 높은 합금 종류이다. 이로 인해 자동차 판재 등 구조용 재료로 연구가 진행되고 있다. 알루미늄 판재와 관련한 연구에서 소성 이방성과 관련한 연구는 필수적이다. 금속 판재의 소성 이방성은 결정립의 방위 분포에 의해 이루어진다. 소성 변형 및 열처리에 의해 판재 내 결정학적 우선 방위가 형성되어 집합조직이 발달하게 된다. 비틀림 집합조직은 순수 전단 변형을 통해 얻어지는 정보로써 비교적 넓은 변형률 영역에서의 특성을 평가하기에 적합하다. 또한 압연 집합조직에 대한 모사 등 적용 및 응용 범위도 넓다. 본 연구에서는 Al-6, 8, 9 wt%Mg 합금에 대한 비틀림 집합조직에 대해 상론한다. 각 알루미늄 합금에 대하여 상온 및 200°C에서 0.1, 1, 10s⁻¹의 변형 속도로 변형하였다. 변형률 상온에서는 0.35, 0.5, 200°C에서는 0.35로 변형된 각 시편을 EBSD를 이용하여 관찰하고 Pole figure로 구성하여 집합조직의 형성 및 변화의 차이를 고찰한다. Mg 함량이 증가함에 따라 stacking fault energy는 감소하고 이로 인하여 우선 방위에 변화가 생기면서 Pole figure 상에 나타나는 방위 및 강도가 변화하였다. 특히 변형률 0.35에서 Al-9wt%Mg 합금이 (111)[112] 방위로 집합조직이 강하게 형성됨을 확인하였다. Mg함량 변화에 따라 변형 시 발생된 집합조직의 형태도 변화함을 실험 결과를 통해 확인하였다. 같은 Mg 함량의 알루미늄 합금에서 변형 속도에 따라 집합조직에 변화가 발생함을 확인하였다.

[알루미늄2-5 | 11:20]

Nucleation thermodynamics and kinetics of FCC-Al nanocrystals in Al-based metallic glasses: 김완¹, 박은수¹, M.Gao², J.H.Perepezko²; ¹서울대학교 신소재공공연구소 ²University of Wisconsin-Madison.

Keywords: Al-based metallic glass, Incubation time, TTT-diagram, Flash-DSC, nucleation thermodynamic and kinetics

금속유리의 결정화 메커니즘은 polymorphic, primary, eutectic crystallization 3가지로 나눌 수 있으며, 대표적인 경량금속시스템으로 알려진 알루미늄계 비정질 합금은 FCC-Al이 단독으로 부분석출 되는 primary crystallization를 가진다고 알려져 있다. 부연하면 확산을 통해 critical size까지 성장하기 위한 transient stage 이후로 FCC-Al의 핵생성이 시작되며 FCC-Al 나노결정상의 개수밀도가 포화될때까지 일정한 성장속도로 FCC-Al이 최대 직경 50nm으로 성장하여 결정화가 이루어진다. 여기서 새로운 FCC-Al이 석출되기까지의 시간으로 정의 되는 incubation time은 핵생성시 요구되는 attachment frequency coefficient, diffusion rate의 계산을 위한 parameter로 활용될 뿐 아니라, 온도에 따른 값의 변화를 통해 상변화가 시작되는 시간을 나타내는 등온변태곡선을 나타낼 수 있기 때문에 결정화 거동을 이해하기 위한 중요한 요소중 하나이다. 따라서 본 연구에서는 알루미늄계 비정질 합금에서 발생하는 primary crystallization 거동을 이해하기 위해 Flash 시차 주사 열량계를 이용하여 Al90-xNi10MmX (x=2,4) 합금계의 pre-annealing 시간에 따른 유리전이온도, 결정화개시온도 변화를 통해 FCC-Al의 핵생성을 위해 요구되는 incubation time을 측정하였고 이를 통해 최종적으로 등온변태곡선을 구하였다. 더 나아가 열역학 계산(nucleation thermodynamics)와 관련한 volume free energy 와 critical nucleation size 계산을 수행하고 분석하므로써, 실험적(nucleation kinetics)와 함께 FCC-Al의 결정화 거동 model에 대해 더욱 자세히 논하였다. 결과를 통해 궁극적으로 합금의 비정질화 및 결정화를 이루기 위한 kinetics competition에 대한 새로운 시각을 제시 할 수 있을뿐 아니라, 비정질 형성능 증가를 위한 근본적인 해결방안이 될 수 있을것으로 기대된다.

[알루미늄3-1 | 13:00]

주조용 A356 합금 내 미세원소 첨가 및 열처리에 따른 특성변화 고찰: 김명균, 박언병; 포항산업과학연구원.

Keywords: A356 합금, 미세원소, 미세조직, 열처리

대표적인 주조용 알루미늄 합금인 A356(Al-7Si-0.35Mg)은 우수한 유동성과 물성과 더불어 가공이 용이하여 수송기기 및 기계부품에 널리 이용되고 있다. A356 합금은 T6 처리로 Mg₂Si상 석출로 기계적 특성을 향상시키나, 주조시 공정 Si상이 조대한 침상 제어에 곤란할 경우 선단에 응력이 집중되어 크랙이 생성되는 단점이 있다. 이를 해결하고자 합금원소를 첨가하여 조대한 침상 형태의 공정 Si를 미세한 섬유상 형태로 개량처리하는 연구가 진행되고 있으며, 특히, Sr의 경우 공정 Si 개량화에 최적화된 원소로 알려져 있다. 특히, 응고속도 제어가 용이하지 않은 사형주조 경우 Sr 첨가량에 따른 형상 제어와 동시에 열처리과정 중 물성개선 연구가 그리 많이 수행되지 않았다. 이에 본 연구에서는 A356 합금 사형주조 중 생성되는 공정 Si상 제어를 목적으로 Sr량을 변화시켜 주조재의 미세조직이 열처리 후 물성개선에 미치는 영향을 조직학적 변화를 근거로 물성과의 상관관계를 조사하고자 한다. 동시에 A356 합금 물성개선을 목적으로 JMatPro 합금설계 상제어를 기반으로 미세원소의 영향에 대한 주조성, 미세조직 및 기계적 특성과의 관계도 평가하고자 한다.

[알루미늄3-2 | 13:15]

열분석 기법을 활용한 Al-7Si-0.35Mg 합금의 응고조직 및 기계적 성질 예측: 김상원¹, 김상인², 이광석², 강동포³, 김대업⁴, 김민수⁴; ¹전북대학교 금속시스템공학과. ²(주)신화모텍 기술연구소. ³현대모비스 사시/의장 분석팀. ⁴한국생산기술연구원 전북지역본부.

Keywords: Aluminium alloy, Modification, Grain refinement, Microstructure, Mechanical property, Thermal analysis

주조용 알루미늄 합금 중 Al-7Si-0.35Mg (A356) 합금은 자동차 사시 부품, 엔진 부품, 휠 등에 다양하게 활용되고 있다. 합금의 기계적 성질은 미세조직에 기인하는 바, 상기 합금 내 존재하는 초정 α -Al상 및 Eutectic Si상의 조직제어를 위해 주조 현장에서는 Ti-B계 조직미세화제 및 Sr 함유 개량화제 첨가를 통해 응고조직을 제어하고 있다. 조직미세화/개량화 정도는 일반적으로 Ti 및 Sr 함량 등 합금성분 측정을 통해 평가하고 있으나, 용탕 응고시 시간에 따른 온도변화를 측정하는 열분석 기법을 통해서도 평가할 수 있으며, 얻어지는 냉각곡선으로부터 초정 α -Al상과 Eutectic Si상의 석출거동에 대한 예측이 가능하다는 장점이 있다. 열분석 기법을 활용한 정량적인 응고조직 및 기계적 성질 예측 가능성을 확인하기 위하여 본 연구에서는 Al-7Si-0.35Mg 합금의 조직미세화 및 개량화 조건에 따른 냉각곡선을 측정하고, 조건별 미세조직 및 기계적 성질을 실험적으로 확인하였다. 조직미세화제는 Al-5Ti-1B, 개량화제는 Al-10Sr을 사용하여 0.07~0.21 wt%의 Ti 성분범위 및 0.01~0.05 wt%의 Sr 성분범위 내에서 용탕조성을 제어하였다. 용탕 성분조절 및 탈가스처리 후 Bar 형태로 금형주조된 시편을 가공하여 강도 및 연신율을 확인하였으며, 광학현미경 및 전계방출형 주사전자현미경 (FE-SEM) 을 활용하여 시편 내 Si상의 morphology 및 초정 α -Al상의 조직미세화 정도를 정량적으로 평가하였다. 이를 바탕으로 열분석 데이터와 미세조직 및 기계적 성질간 상관관계를 확인하였으며 미세조직 및 기계적 성질 예측을 위한 열분석 기법의 활용 가능성에 대해 고찰하였다.

[알루미늄3-3 | 13:30]

과공정 Al-15 wt.% Si 합금의 고온 마모 특성에 미치는 신 primary Si 제어 방안(TiO₂ 미세화 첨가)의 영향: 백민석¹, 박태현¹, 김종호², 신재혁³, 이기안⁴; ¹인하대학교 신소재공학과. ²포항산업과학연구원 (RIST). ³자동차부품연구원 (KATECH).

Keywords: Hyper-eutectic Al-Si, Primary Si, High Temperature Wear, Hot extrusion, TiO₂ Refiner

최근 자동차 산업 전반에 걸쳐 연비향상을 위해 부품 경량화에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 자동차 부품에 주로 사용되는 과공정 Al-Si 합금의 상온 마모 특성 연구들이 활발히 진행되고 있는 추세이다. 이전 연구결과들을 통해 primary Si 제어가 상온 마모 특성을 향상시키는 미세조직적 요소임을 제시한 바 있다. 한편 엔진 블록 및 캠샤프트 등과 같은 분야에 적용되기 위해서는

고온 마모 특성 해석이 중요함에도 불구하고 현재까지 보고된 바 없는 실정이다. 본 연구에서는 신 primary Si 제어 공정(TiO₂ 첨가)을 수행한 과공정 Al-15wt.%Si 합금의 고온(100 °C, 125 °C, 150 °C) 마모 특성을 알아보았으며, 그 거동을 해석하기 위해 TiO₂를 첨가하지 않은 소재와 비교 분석 하였다. TiO₂를 첨가한 소재와 첨가하지 않은 소재의 primary Si 크기는 각각 45~55 μm, 30 μm로 TiO₂를 첨가할 시 그 크기가 상당히 미세해진 것을 볼 수 있었다. 고온 마모 시험 이후 TiO₂ 미세화제를 첨가한 소재의 마모 특성이 월등히 우수한 결과를 나타내었으며, 마모 면 관찰 결과 primary Si 이 마모 특성 향상에 지대한 영향을 미치고 있음을 확인하였다. 상기 소재들의 고온 마모 특성에 미치는 primary Si 역할을 알아보고자 마모면 직하 영역의 cross section을 EBSD로 관찰/분석하였다. 이상의 결과들을 바탕으로 Al-15wt.%Si 합금의 고온 마모 기구에 대하여 미세조직과 관련하여 규명하고자 하였다. [본 연구는 민간기술협력사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.]

[알루미늄3-4 | 13:45]

TiB₂첨가를 통한 공정Mg₂Si상 개량이 Al-Si-Mg계 주조합금의 미세조직과 기계적 특성변화에 미치는 영향: 김병주¹, 황지훈², 박용호³, 이영철¹; ¹한국생산기술연구원, ²LG전자 소재/생산 기술원, ³부산대학교

Keywords: Phase modification, Heterogeneous nucleation, Al alloys, Mechanical properties

Al-Si-Mg계 알루미늄 주조합금에서 생성되는 Mg₂Si 금속간화합물은 높은 강도, 낮은 밀도, 높은 용점을 보유하고 있어, 고강도/고내열 알루미늄 합금의 핵심 강화상으로 알려져 있다. Al-Si-Mg계 알루미늄 합금의 기계적 특성은 Mg₂Si 금속간화합물의 형상과 크기 및 분포에 큰 영향을 받는다. 일반적으로 Mg₂Si 금속간화합물은 외부응력이 집중되기 쉬운 조대한 수지상정 형태로 성장되어 기계적 특성을 저하시키는 것으로 알려져 있으며, 최근까지 Mg₂Si의 형상적인 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되었다. 초정 Mg₂Si상의 경우 Sr, AlP, Na과 같은 원소 및 입자의 첨가를 통해 수백 μm의 조대한 Dendrite 형상에서 수십 μm의 Polygonal 형태로 상의 형태를 변형시켜 기계적 특성을 향상시킨 연구가 보고되었다. 응고과정 중 가장 먼저 생성되어 용탕에 존재하는 입자 및 원소의 영향을 받기 쉬운 초정 Mg₂Si상과는 달리, 공정Mg₂Si상은 초정 알루미늄이 성장한 후 응고되어 첨가제의 영향을 기대하기 어렵다. 본 연구에서는 TiB₂입자의 첨가에 따른 공정 Mg₂Si상의 형상변화 메커니즘을 규명하고, 그에 따른 알루미늄 합금의 미세조직 변화와 기계적 특성을 분석하였다.

[알루미늄3-5 | 14:00]

EMS(Electromagnetic Stirring) 주조법으로 제조된 과공정 Al-Si계 합금의 고온 소성변형거동: 연규호¹, 양승현¹, 김목순¹, 김종호²; ¹인하대학교 신소재공학과, ²포항산업과학연구원

Keywords: Al-Si alloy, Electromagnetic Stirring, Compressive test, High temperature deformation

과공정 Al-Si계 주조합금은 응고 시 초정 Si이 정출된 합금으로 내마모성이 우수하고 열팽창 계수가 낮아 수송기기용 소재로 사용되고 있다. 그러나 과공정 Al-Si계 합금은 통상의 중력 주조법으로 제조할 시 조대한 초정 Si, 용질 편석 및 기공 등이 나타나기 쉬우며, 이로 인해 기계적 성질이 저하된다. EMS(Electromagnetic Stirring) 주조법은 몰드 내부에 전자기장을 인가하여 주조하는 기술로, 초정 Si의 크기 및 분산도를 개선시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 EMS 주조법에 의해 제조된 과공정 Al-Si계 합금을 포항산업과학연구원으로부터 제공받아 미세조직 및 고온 소성변형 거동에 대해 조사하였다. OM, SEM 및 TEM을 이용하여 미세조직을 관찰하였으며, EDS 및 SAED에 의해 상 분석을 실시하였다. 300~500°C, 0.001~1/s의 변형조건에서 압축시험을 실시하여 유동응력곡선을 작성하였으며, 이를 바탕으로 고온 구성방정식을 도출하였다. 이와 함께 압축 시험 전 후의 미세조직을 고려하여 고온 소성변형기구를 규명하고자 하였다.

[알루미늄4-1 | 14:25]

Precipitation behavior of the Al-Fe-Mn Alloy Sheets Containing Ni Element at High Temperature: 강현, 유성현, 허용강, 김성녕, 박호준, 구남훈; 현대제철

Keywords: 알루미늄 판재, 석출상, 고온 열처리

Al-Fe-Mn계 합금의 판재는 수십년 걸쳐 자동차 공조기 부품으로 많이 사용되고 있다. 공조기 부품은 성형, 접합 그리고 조립의 공정으로 이루어지며, 접합공정은 냉간성형 후 고온에서 Al-Fe-Mn계 판재를 클래드 판재와 접합시키는 공정이다. 이러한 접합공정은 약 600도의 매우 높은 온도에서 접합이 이루어지기 때문에 냉간성형한 판재의 형상을 유지하기 매우 어려운 문제점을 갖고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하고자 Al-Fe-Mn계 합금에 Ni원소를 0.5, 1.0 그리고 1.5 wt.%를 첨가한 판재를 제조하고, 고온 열처리 공정에서 Ni원소가 함유된 석출상을 생성하여 고온강도를 향상시켜 성형 형상을 유지하는 연구를 진행하였다. 석출물의 발달거동을 분석하기 위해 주조재 및 압연재의 정출상 및 석출상을 분석하였으며, 각 단계에서 기계적 특성을 평가하였다. 또한, 고온에서 판재의 형상의 변화량을 측정하기 위해 segging test를 진행하였고, 냉간성형된 Ni원소가 첨가된 판재와 클래드 판재와의 접합성 및 형상에 대한 미세구조를 관찰하였다.

[알루미늄4-2 | 14:40]

박판주조법으로 제조한 Al-8wt%Zn-2.5wt%Mg-2wt%Cu 합금판재의 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 시효처리의 영향: 최지근¹, 이윤수¹, 김민석¹, 김형욱¹, 김양도²; ¹한국기계연구원부설재료연구소, ²부산대학교

Keywords: Al-Zn-Mg-Cu, Twin roll casting, Aging, Precipitation, Mechanical properties

자동차의 연비규제 및 이산화탄소 배출량의 규제가 심화되어 지속적으로 그 기준이 상향됨에 따라 자동차 차체의 경량화는 필수적이다. 현재 자동차 차체의 경량화를 위하여 기존 철강소재를 알루미늄으로 대체하는 연구가 수행되어 왔으며 그 사용량 또한 증가

하고 있다. 차체에 사용하는 알루미늄 합금 판재로는 가공경화성이 우수한 Al-Mg합금판재와 소부경화성이 뛰어난 Al-Mg-Si합금판재가 주로 사용되고 있으나 경량화 효율이 높고 보다 고강도인 차체를 제조하기 위하여 비강도가 우수한 Al-Zn-Mg-Cu계(7xxx계) 알루미늄 합금을 차체에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있으나 복잡한 제조공정으로 인하여 소재 및 부품제조 시 비용이 증가한다. 최근에는 박편연속주조법(Twin-Roll Casting, TRC)을 이용하여 고비강도 판재를 저비용으로 제조하는 연구가 진행중이나, 기계적 특성 및 시효거동에 대한 연구는 많지 않다. 본 연구에서는 비강도가 우수한 Al-8wt%Zn-2.5wt%Mg-2wt%Cu 합금을 박편주조 및 압연하여 두께 0.8 mm판재를 제조하였고, 판재에 대하여 자연시효 및 예비시효처리가 기계적 특성에 미치는 영향을 평가하였다. Al-8wt%Zn-2.5wt%Mg-2wt%Cu 합금판재는 용체화처리 후 자연시효에 의해 급격한 연신율의 저하가 관찰 되었다. 이러한 연신율의 저하는 판재의 상온성형성 저하에 직접적인 영향을 미치므로 이를 방지할 목적으로 안정화 열처리를 실시하였고, 적절한 안정화 열처리를 통하여 Al-8wt%Zn-2.5wt%Mg-2wt%Cu 합금판재의 자연시효에 의한 연신율 저하를 억제하였고, 소부경화처리 후 추가적인 항복강도 향상을 확인하였다.

[알루미늄4-3 | 14:55]

냉간압연 시 AA1100 합금의 초기미세조직이 집합조직 발달거동에 미치는 영향: 이성윤¹, 김정균¹, 김민성¹, 권상철², 김순태², 정호태², 이성³, 최시훈¹; ¹순천대학교 ²강릉원주대학교 ³국방과학연구소

Keywords: AA1100, Texture, MADF, VPSC, XRD

냉간압연이란 상온에서 회전하는 롤 사이로 재료를 통과시켜 재결정 온도 이하에서 두께를 조절하여 제품을 생산하는 공정이다. 본 연구에서는 냉간압연 시 AA1100의 초기 미세조직이 변형집합조직 발달 거동에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 냉간압연 전 초기 미세조직이 다른 두 시편을 확보하기 위해 주조 후 열간압연 한 시편과 주조 후 다축대각단조(multi-axial diagonal forging, MADF) 한 시편을 준비하였다. XRD(X-ray diffraction)를 이용하여 패스단계별 압연 시편에 발달하는 거시집합조직을 두께방향으로 측정하였다. 두께 방향별 변형 거동을 분석하기 위해 유한요소해석(finite element analysis, FEA)을 활용하여 냉간 압연공정을 모사하였으며 이론적 집합조직 해석을 위해 FEA 결과로부터 두께방향으로 다른 위치에서 속도구배텐서(Velocity gradient)를 추출하였다. 다결정 소성모델인 VPSC(visco-plastic self-consistent polycrystal model)를 활용하여 이론적 변형집합조직을 해석하였으며 거시집합조직과 비교하고자 하였다. 본 연구는 냉간압연 시 초기 미세조직이 변형집합조직 발달 거동에 미치는 영향을 실험 및 이론적으로 이해하고자 노력하였다.

[알루미늄4-4 | 15:10]

Al-Cu계 합금에서 Mg 첨가량 및 자연시효 시간이 이단시효에 미치는 영향: 김인수^{1,2}, 송민영¹, 송민영^{1,2}, 이해철¹, 김재황¹, 홍성길²; ¹한국생산기술연구원 ²전남대학교

Keywords: Al-Cu-Mg alloys, Rapid hardening, Natural aging, Two-step aging

Al-Cu계 합금은 비강도, 성형성, 피로특성 그리고 시효경화 특성이 우수하여 구조용 재료에 널리 활용되고 있다. 미량 합금 원소 첨가에 의해 Al-Cu계 합금의 기계적 특성 향상이 가능하다. Mg 첨가에 의한 GP/GPB Zone의 형성 및 시효 경화 촉진 등이 보고되었다. 본 연구에서는 자연시효 동안 Mg 첨가 함량에 따른 GP Zone 생성 및 이단시효 거동에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. DSC를 통한 GP Zone 생성 속도론 분석 및 마이크로비커스 경도기를 활용한 기계적 특성 평가를 실시하였다.

나노스케일 분석의 확산 및 무확산 상변태

Room 700A, 4월 26일

[나노스케일 1-1 | 09:30]

재료의 상변태 구동력: 김영석, 김성수; 한국원자력연구원.

Keywords: phase transformation, order-disorder transformation, entropy change, internal stresses, heat evolution and absorption

재료의 상변태는 모든 재료에서 일어나며 물성을 지배하므로, 상변태 현상을 명확하게 이해하는 것이 필요하다. 하지만, 일차재결정/이차재결정 현상, 탄화물/수산화물 등과 같은 이차상 입자의 생성/석출 (nucleation or precipitation) 현상, 순수금속의 동소변태, 용융 및 응고, 유리화 및 결정화, 그리고 martensite 변태와 같은 저온상-고온상의 상변태 현상은 잠열이라고 불리는 열의 방출과 흡수를 수반하지만, 이러한 잠열의 물리적 의미가 무엇인지, 왜 열의 방출과 흡수가 일어나는지 명확하게 이해하지 못하고 있다. 특히 냉간가공된 재료를 가열하면 열을 방출하는데, 이러한 열의 방출은 냉간가공시 형성된 변형에너지가 재료내에 축적되어 있다가 가열시 방출한다고 주장하고 있으며, 방출된 변형에너지가 재결정 및 결정성장을 야기하는 구동력으로 알려져 있다. 하지만, 재료 내에 에너지 저장 및 방출은 실제 불가능하며, 상변태시 수반되는 잠열의 흡수 및 방출 현상을 이용할 수 있는 상변태재료 (phase change materials)가 에너지 저장/방출 재료로 공학적으로 이용되고 있는 것을 감안하면, 현재 재료과학에서 상기와 같이 제시하고 있는 주장은 잘못된 것이다. 본 연구에서는 재료의 상변태시 수반되는 잠열의 방출 및 흡수는 엔트로피 변화 때문에 일어나며, 엔트로피의 증가 및 감소는 disordering 및 ordering을 의미한다는 것을 감안하면, 재료에서 일어나는 모든 상변태는 일종의 order-disorder 변태이다. 아울러, ordering-disorder 상변태 시 수반되는 열의 방출/흡수가 갖는 물리적인 의미에 대하여 토의한다.

[나노스케일 1-2 | 10:00]

Coupling of Phase-Field Simulation with Thermodynamic and Kinetic Databases for Phase Transformation in Multicomponent Alloys: 김성균¹, 이병주², 김원태³, 차필령⁴; ¹군산대학교 ²포항공과대학교 ³청주대학교 ⁴국민대학교

We developed a computational scheme to efficiently combine the phase-field simulation with the full thermodynamic and kinetic databases and present its application to the solidification and homogenization of high manganese steel alloys. Two different methods to approximately solve the equal diffusion potential condition were employed: i) a Newton-Raphson method with a single iteration where the solutions in previous time step are taken as the trial solutions in current time step and ii) a relaxation method (proposed by Steinbach et al: Acta Mater., 2012) where the equal diffusion potential condition is approximately solved by using the time relaxation of the difference or the ratio between solid and liquid compositions. The relaxation parameter in the latter method were set to satisfy the condition where the difference of the diffusion potentials of solid and liquid is far smaller than the shift in the diffusion potentials due to the interface curvature effect. Two different methods yielded not only the same computational cost and but also identical results in all the details of the solidification microstructure and segregation pattern. We simulated and predicted the evolutions of microstructure and segregation during continuous casting of high manganese (18 wt%) and high carbon (0.7 wt%) quinary alloys (Fe-Mn-(V,Ti,Nb,Mo)-N-C), under the real process parameters and conditions of continuous casting and homogenization. The basic characteristics of solidification such as mush zone length and primary and secondary dendrite arm spacing appeared to be almost governed by major components (manganese and carbon). However, manganese played the critical role in segregation evolutions during solidification and homogenization, in particular, for carbon and nitrogen. This is due to i) strong attractive interaction between manganese and interstitial elements and ii) very high concentration of manganese in contrast with low concentration of interstitial elements.

[나노스케일 1-3 | 10:30]

무확산 상변태에서 모상의 미세조직 복원과 방위관계 분석: 강진연¹, 김병환¹, 이충안², 강민우², 권순우², 박성준¹, 홍승현²; ¹재료연구소 (KIMS). ²현대자동차그룹 금속재료리서치랩.

Keywords: displacive transformation; orientation relationship; electron backscatter diffraction; parent grain reconstruction; steel

무확산 상변태는 생성되는 상의 성장이 모상(parent phase)의 결정립 내부로 국한되고, 따라서 모상의 결정립계가 변태 후에도 유지되는 특징을 가진다. 그러나 일반적으로 이를 생성상(product phase)의 하부 구조 간 계면들과 구분하기에는 적지 않은 어려움이 따른다. 모상과 생성상 사이의 정확한 방위관계가 확립되어 있을 경우, 후방산란전자회절(electron backscatter diffraction, EBSD)을 활용하여 얻은 생성상의 방위 분포로부터 모상의 가능한 방위(variant)들을 산출할 수 있고, 인접한 하부구조 간의 비교와 병합을 통해 변태 전 모상의 미세조직을 복원하는 것이 가능하다. 한편 방위관계에 대한 적절한 초기 가정으로부터 모상의 결정 방위를 예상하고, 이로부터 계산한 생성상의 방위와 실제 측정된 방위 간의 차이를 반복 계산에 의해 최소화 함으로써 방위관계를 통계적으로 산출할 수 있다. 본 연구에서는 일부 마르텐사이트계 철강 소재에 대해 모상인 오스테나이트의 미세조직을 복원하였고, 그로부터 산출된 방위관계를 살펴 보았다. Kurdjumov-Sachs(K-S)에 의한 이론적인 방위관계를 초기값으로 가정하였고, 구(prior) 오스테나이트 결정립의 복원 과정에서 방위관계가 최적화됨에 따라서 복원률이 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 최종적으로 산출된 통계적인 방위관계는 초기에 가정한 K-S 관계로부터 차이를 보였으며, 그 정도는 소재의 조성에 의존하는 것으로 판단되었다.

[나노스케일 1-4 | 11:00]

마르텐사이트계 스테인레스강 상변태와 재질취성: 최병환¹, 장현수¹, 이상우¹, 이길재², 김경찬³. ¹강릉원주대학교, ²한국동서발전, ³대화과학.

Keywords: 스테인레스강, 템퍼링 취성, 마르텐사이트, 오메가상, 슬립기구

마르텐사이트계 스테인레스강의 템퍼링 취성은 담금질 이후 시멘타이트 석출 현상과 관련하는 것으로 추정된다. 이외에도 이 현상은 탄소강의 적열취성 유사한 상황인 것을 고려하면 S에 의한 영향성도 고려할 수 있다. 그러나 스테인레스강종에서 템퍼링 취성은 석출 관련으로 예상되며, 본 연구에서 고분해능 TEM 미세조직 분석을 통하여 이에 대한 고찰을 하였다. 마르텐사이트계 스테인레스강이지만 취성은 베타 티타늄 합금계의 오메가상 형성기구와 유사하게 분석된다. 오메가상의 생성을 석출 이전 단계의 현상으로 고찰하였으며 티타늄 합금에 유발되는 극심한 취성현상과 연계하여 해석하였다.

제6회 수소재료 안전 심포지엄

Room 700B, 4월 26일

[수소 1-1 | 09:00]

Effects of Lamellar Structure on Tensile Properties and Resistance to Hydrogen Embrittlement of Pearlitic Steel: Sang-Hyun Yu¹, Sang-Min Lee¹, Sukjin Lee¹, Jae-Hoon Nam¹, Jae-Seung Lee², Chul-Min Bae², Young-Kook Lee¹; ¹Yonsei university. ²POSCO.

Keywords: Pearlitic steels, Lamellar, Hydrogen embrittlement, Hydrogen desorption, Silver decoration

The hydrogen embrittlement and H trapping sites of pearlitic steel specimens with various lamellar spacings were evaluated through slow strain rate tensile testing (SSRT) and thermal desorption analysis (TDA). When lamellar spacing decreases, both tensile strength and resistance to hydrogen embrittlement were unusually improved. This is because tearing, which is initiation of H cracking, was delayed in the specimen with fine lamellar spacings and short cementite platelets. Undeformed H-charged specimens showed a peak (peak 1), which is separable into two sub-peaks (peak 1-1 and peak 1-2) in their H desorption rate curves, regardless of lamellar spacings. Peak 1-1 and peak 1-2 were generated by H atoms detrapped from ferrite/cementite interfaces and from dislocations inside ferrite, respectively. The activation energy (E_a) values of H desorption for peak 1-1 and peak 1-2 were 23.2 kJ/mol, and 26.1 kJ/mol, respectively. Meanwhile, deformed H-charged specimens exhibited the second peak (peak 2) with peak temperature of ~600 K, as well as peak 1 with peak temperature of ~375 K. When tensile strain increased, peak 2 increased at the expense of peak 1. Primary H trapping sites for peak 2 are strained ferrite/cementite interfaces with interfacial dislocations.

[수소 1-2 | 09:30]

페라이트계 강의 수소 확산 및 트레핑에 미치는 미세조직의 영향: 박철호, 강남현; 부산대학교

Keywords: thermal desorption spectroscopy, hydrogen permeation test, hydrogen embrittlement

본 연구는 열탈착 분광법(thermal desorption spectroscopy), 수소 투과 시험(hydrogen permeation test) 및 환경 저속 변형률 시험(in situ slow-strain-rate testing)을 사용하여 수소취성 민감도(hydrogen embrittlement)에 대한 입자 크기(grain size) 및 전위 밀도(dislocation density)의 영향을 연구하였다. 미세한 입자 크기를 가진 강(fine-grained steel)은 큰 입자를 가진 강(coarse-grained steel)보다 전체 수소 함량이 높았음에도 불구하고 우수한 수소취성 저항성을 보였다. 입자 크기를 줄이면 더 큰 입자 경계 면적(grain boundary area)이 생기므로, 결과적으로 입자 경계의 단위 길이 당 존재하는 확산성 수소의 양은 더 적어 짐으로, 수소 취성 저항성이 우수해진다. 강재내 전위 밀도의 증가는 수소 확산 속도를 지연시키고, 확산성 수소를 더 많이 포함한다. 예비 변형이 증가함에 따라 특정 경계점을 기점으로 수소민감도가 크게 변화하였다. 비가역적으로 포획된 수소(irreversibly trapped hydrogen)의 양은 결정립 크기 및 전위 밀도의 양에 관계없이 동일하게 유지되었다.

[수소 1-3 | 10:00]

철강재의 수소분위기 크리프 변형거동 평가: 김한진¹, 서진유¹, 이준호²; ¹한국과학기술연구원. ²고려대학교

Keywords: 수소, 수소침식, 크리프

구조용 금속소재가 정유공장의 고도화설비를 비롯한 다양한 에너지설비에 활용될 때 고온의 수소분위기에 노출되는 경우가 많다. 세멘타이트를 탄화물로 포함하는 탄소강이 300도 이상의 온도에서 수소분위기에 노출될 때 세멘타이트가 수소에 의해 분해되어 메탄 버블을 철강재 내부에 형성하는 수소침식 현상은 잘 알려져 있다. 따라서 본 연구팀은 300-600도의 온도범위에서 수소분위기를 형성하면서 금속시편의 크리프 변형거동을 측정하는 장비를 설계 및 제작하였고, 본 발표를 통해 철강재 시편에 대해 성공적으로 수행한 실험결과를 소개하고자 한다.

[수소 2-1 | 10:40]

수소충전소용 압력용기용강 개발을 위한 수소취성평가: 백윤봉, 남승훈, 박재영; 한국표준과학연구원

Keywords: hydrogen embrittlement, gaseous hydrogen environment, mechanical properties, hydrogen filling station

전 세계적으로 대기환경 개선을 위해 더욱 강화된 자동차 배기가스 기준을 적용하기에 이르고 있다. 배출가스 저감, 기술 고도화 및 기술 파급 효과 등을 고려, 각국이 수송용 연료전지(연료전지자동차) 개발에 집중하고 있으며 수소연료전지자동차(이하 '수소차')는 긴 주행거리, 편리한 충전 및 기존 전력 부하에 부담이 없다는 점에서 현재 내연기관차를 대체할 친환경차로 평가받고 있다. 수소를 연료로 하는 수소차는 기존 내연기관 자동차에 비해 온실가스 배출이 거의 없다. 또한 현재 많은 개발이 진행되어 있는 전기자동차와 비교하면 충전시간이 매우 짧고, 1회 충전 시 500 km 이상의 장거리 주행이 가능한 장점이 있다. 국내 수소 자동차 상용화의 최대 장애요인은 수소 충전소 인프라 부족으로 압축기 등 필수 부품을 수입에 의존하여 건설비용이 약 30~50억원 소요(CNG의 1.5 배)되어 이는 LPG 등 타 충전소보다 과도하여 사업자의 투자유도 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 현재 수소 충전소용 재료로 사용하기 위한 금속재료의 선정 기준 등을 검토하고 향후 대응책을 고려해 보았다.

[수소2-2 | 11:10]

Hydrogen Embrittlement Mechanism in Fatigue Properties of Hydrogen-charged 316L Austenitic Stainless Steel: 윤원
탄투안, 남승훈, 류권상, 백운봉; 한국표준과학연구원 소재에너지융합추진센터.

Keywords: 316L, Hydrogen embrittlement, Low-cycle fatigue, Fatigue life.

Hydrogen energy has dramatically attracted attention as clean energy in a recent year. In order to secure the reliability of hydrogen facilities, the response of materials to embrittlement environment conditions should be clearly understood. In this study, the susceptibility of the 316L type stainless steel to hydrogen was quantified by mean of low strain rate tensile test results and low-cycle fatigue life measurement. Both tests were conducted in the air condition after being charging with a high-pressure hydrogen gas of 10 MPa at 300°C for 120 hrs. A considerable influence of internal hydrogen in fatigue life properties was only observed in the high strain amplitude whereas there is an insignificant difference in fatigue life in the low strain deformation region. Hydrogen content was also measured by TDS analyses after conducting for fatigue life test. Differences in fracture morphology and fracture surface appearances among the hydrogen pre-charging and in air tested specimens were also investigated.

[수소2-3 | 11:40]

금속재료의 수소취성 기구: 김영석¹, 김성수¹, 최병학²; ¹한국원자력연구원, ²강릉원주대학교

Keywords: hydrogen embrittlement, ordering, planar dislocation, localized tensile stress, lattice contraction

수소자동차, 연료전지를 구성하는 주요 구조재료는 수소취성으로 손상된다. 따라서 금속재료의 수소취성 기구를 이해하고 이들 구조재료의 수소 안전성을 확보하는 것이 수소에너지를 상용화함에 있어 필수적인 요소이다. 하지만, 100년 이상 수많은 연구자가 재료의 수소취성 연구를 했음에도 불구하고, 아직까지 명확하게 수소취성 기구를 이해하지 못하고 있다. 이것은 과거부터 수소취성 기구와 관련되어 구축된 기존 지식의 틀이 잘못되었다는 것을 시사한다. 따라서 이런 지식의 틀을 벗어난 새로운 방식의 연구가 필요하다. 제시된 수많은 수소취성 기구에서는 변형을 하던 가열을 하던 ordering 같은 원자의 배열의 변화는 고려하지 않고, 다만 전위 및 vacancy, 입계와 같은 결함 농도와 수소와의 상호작용을 고려하여, 수소취성 현상을 설명하고 있다. 본 연구의 목적은 수소취성을 야기하는 수소의 역할을 규명하는 것이다. 이를 위하여 공기 및 고압의 수소분위기에서 316 스테인리스강 (SS)을 인장변형 후, 인장변형 전과 후에 316 SS의 미세조직을 TEM으로 조사하였다. 수소는 316 SS 재료의 ordering을 조장한다는 것을 실험적으로 확인하였다 (hydrogen enhanced ordering or HEO). 이러한 HEO는 결정립 기지상을 압축시키고 이로 인하여 결정립 경계에는 인장응력이 유발되어 재료를 취화시킨다. 따라서 수소가 원자의 결합본드를 약하게 하는 것이 아니라 ordering으로 인한 격자수축이 원자의 결합력의 약하게 하면서 동시에 격자에 존재하는 전위를 이동시키게 하는 것이다. 우리의 연구결과를 토대로 금속재료의 수소취성 억제 방안에 대하여 토의한다.

가공-표면처리

Room 700B, 4월 26일

[표면1-1 | 13:00] 초청강연

Synthesis of Large Area ta-C Protective Coatings for Satellite Solar Cell Using Floating Filtered Vacuum Arc Sources: 이상윤, 김희근, 이승환, 이인규; 한국항공대학교

Keywords: ta-C, metal doping, solar cell, electrical properties, sp³ fraction

For space satellite solar cell application of long duration the solar cells must be protected by coverglass, and this coverglass must meet two requirements: (i) radiation protection and (ii) improvement of the cell optical and thermal properties and be radiation stable themselves. However, it is very important to reduce SC weight, especially for interplanetary application. To achieve this aim relatively thin protective coating can be applied. For the decade, it has been shown that diamond-like carbon (DLC) coatings are very promising anti-reflection and protective coatings for solar cell. The advantages of DLC are high chemical stability, radiation stability and high hardness with the possibility of changing their optical properties by varying the deposition conditions. Especially, tetrahedral amorphous carbon (ta-C) coatings with extremely high hardness, smooth surface, excellent wear resistance, and better thermal stability than DLC have been paid much attention to an alternative protective coating materials. In this study, large area ta-C coating on a 300x300 steel plate was synthesized using Floating Filtered cathodic vacuum arc (FFCVA) and sputter hybrid system. Thickness uniformity as well as microstructure and mechanical properties of the coatings were evaluated using field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM), raman spectroscopy, nano-indentation, and scratch tester. The optical properties were studied by spectroellipsometry and laser ellipsometry. Raman spectroscopy analysis showed that all the coatings had high sp³/sp² fraction over 67%, and the hardness showed high values of 45 GPa.

[표면1-2 | 13:25]

미끄럼 접촉환경하 트라이볼로지 특성 향상을 위한 다층막 배열의 사면체 비정질 카본(ta-C) 코팅: 장영준, 김재일, 강용진, 김도현, 김종국; 한국기계연구원 부설 재료연구소

Keywords: ta-C;FCVA;Multi-layer;Toughness;Wear

In recent years, the driving environment of the engine has become very harsh due to the issue of miniaturization and lightweight of automobile component parts. Especially, the piston ring, which is the one of the greatest reduction factor of the engine efficiency as shown in Fig. 1. It is necessary to increase the wear resistance in a severe environment. Unfortunately, the geometrical and kinematic element of the materials has already been determined. Therefore, Diamond-like carbon (DLC) coating may have potential for tribological applications due to its excellent mechanical and tribological properties. Among the DLC coatings, tetrahedral amorphous carbon (ta-C) films attract more attention recently as a good thermal resistance, wear protection due to the hydrogen-free carbon coating with 70 ~ 80 % of sp³ phase. Moreover, ta-C coating can be synthesized through are latively convenient method, and the surface is much smoother, the tribological performances of ta-C coating are superior to that of DLC. However, ta-C has limited tribological applications. It is related to high compressive stress of ta-C coatings, which can lead to bucking induced poor adhesion. In past our research, we were able to grow thick ta-C coating up to 20 μm thickness of single layer coating using FCVA (Filtered Cathodic Vacuum Arc). The key technologies to reach that thickness level were control of substrate temperature and residual stress through multiple coating cycles. However, it is still necessary for further and to enhanced the study on wear resistance for ta-C coating. In this study, to enhance the wear resistance of ta-C coating, multi-layer (soft-layer and hard-layer mixed) have been prepared by the FCVA. The concepts of the multi-layer deposition, the specific thickness ratio of the hard layer to the soft-layer were deposition achieve the hardness and elastic modulus.

[표면1-3 | 13:40]

자장여과아크법으로 증착된 실리콘 함유 사면체 비정질 카본막의 트라이볼로지적 특성: 김종국, 김재일, 김도현, 강용진, 장영준, 남욱희; 재료연구소(KIMS)

Keywords: 자장여과아크소스, HF-DLC, ta-C, 사면체 비정질카본막, 트라이볼로지, 실리콘

Diamond like carbon 막은 우수한 트라이볼로지적 특성에 따라 다양한 산업 분야에 많이 활용되어 지고 있다. 특히 DLC중 수소를 포함하지 않은 DLC(Hydrogen Free DLC or tetrahedral amorphous Carbon : ta-C)의 경우, 고품의 카본으로 부터 발생된 아크 플라즈마에서 생성되어 높은 에너지 영역에서 막이 생성되기 때문에 탄화수소로 제작된 DLC에 비하여 높은 경도와 내열성을 가지고 있다. 하지만 높은 경도로 인하여 5 GPa 이상의 내부응력으로 인하여 후막시 쉽게 막의 파손이 발생하기 쉽다. 또한 수소 함유 DLC에 비하여 상대적으로 높은 마찰계수를 가진다.본 연구에서는 자장 여과 아크법으로 제작되는 ta-C에 Si를 첨가함으로써 하여 ta-C의 기초 특성은 유지하면서, 상대적으로 낮은 마찰계수와 내구성을 가지는 ta-C:Si 막을 증착하고 이의 물리적 특성 및 트라이볼로지 특성을 평가하였다. 실리콘을 최대 4% 함유 하였을 때, 표면 접촉각은 62 도에서 42 도까지 감소하는 친수성으로 표면이 변화함을 확인하였으며, 마찰계수는 10 N 하중 상온, 상습 환경에서 SUJ 볼을 사용하였을 때, 0.14에서 0.05로 감소한 결과를 얻을 수 있었다.

[표면1-4 | 13:55]

Effect of Si Addition on Coating Layer of Al Coated Steel Sheets After Hot Press Process: Seonjin Kim, Kyunhkwon Park, Moonhi Hong; *POSCO C&C*.

HPF Steels (Hot Press Forming steel) are being applied for automotive components to meet the demand for lightweight automotive structures, mainly for body. Aluminum-Silicon coatings are used to enhance corrosion resistance and control of both the oxidization and the decarburization of the HPF steel surface in the heating process. In the heating section, during austenitization, the Al-Si coating transforms by inter-diffusion. As is well known, intermetallic layer is changed by hot press heating temperature, time and addition of silicon. In this paper, the coating layer and corrosion resistance with various heating temperatures and times in terms of added silicon(from 6 to 9wt.%) on coating layer was investigated.

[AW-5 | 14:20] 기술상 수상기념강연

자동차용 고강도강판의 용융아연도금 기술: 김명수, 김영하; 포스코 자동차소재표면연구그룹.

Keywords: advanced high strength steel(AHSS), hot-dip galvanizing, selective oxidation

자동차용 고강도강판의 개발은 자동차 연비 및 차체 충돌 안전성 규제강화로 인해 차체 경량화라는 시대적 요구를 반영한 것입니다. 국내외 선진 철강사들은 이러한 고강도강판 개발에 박차를 가해 왔으며, 1세대에서부터 3세대에 이르기까지 DP강, TRIP강, CP강, TWIP강 등 다양한 고강도강판이 개발되어 왔습니다. 이러한 고강도강판의 주요 특징은 우수한 강도와 연성 등의 기계적 물성을 확보하기 위해 강중에 Si, Mn, Al 등의 합금원소들을 다량 함유하고 있다는 것입니다. Ellingham Diagram에서도 알 수 있듯이 이들 원소들은 산소 친화력이 높은 원소들로서, 강판에 연성을 부여하기 위해 거치는 철강 제조과정 중의 하나인 소둔 열처리과정에서 산소와 반응하여 강판 표면에 산화물을 형성하기 쉽습니다. 강판 표면에 형성된 산화물은 산세성, 용융아연도금성, 인산염 처리성, 도장 밀착성, 내식성 등 다양한 표면 특성의 열위를 초래할 수 있다는 문제점을 안고 있습니다. 우수한 도금품질의 자동차용 고강도 용융아연도금강판을 제조하기 위해서는 강판 표면에 형성되는 산화물을 제어하는 것이 핵심기술이라고 할 수 있습니다. 이를 위해 자동차사, 부품사, 철강사 공동으로 각고의 노력을 경주하고 있으며 내부산화(Internal Oxidation), 금속 나노코팅(Flash coating), 산화-환원(Pre-oxidation), 미량 성분제어(Trace Element Addition) 등 다양한 기술들이 개발되어 왔습니다. 본 강연에서는 각 기술들의 주요 특징 및 개발현황에 대해 소개하고자 합니다. 향후에도 우수한 강도와 연성을 지닌 초고강도강판이 지속적으로 개발될 것이며, 강중에 첨가된 합금원소의 종류 및 함량에 관계없이 우수한 도금품질을 확보할 수 있는 차세대 용융아연도금 기술이 개발될 때까지 우리의 노력은 계속될 것입니다.

[표면2-1 | 14:45]

Surface Modification for the Promotion of Adhesion Between Electroless Copper and PCB Substrate: 이재호, 이용수, 천홍욱, 이서향; *홍익대학교*

Keywords: electroless copper, adhesion, ultrasonic, activation

Electroless Cu plating has been used in PCB industry when circuit was made upon non-conductive substrate. Adhesion is getting important since the size of L/P is reduced. The adhesion of copper on substrate is mainly dependent on Pd activation and copper seeding. In this study the methods of Pd activation were varied and the effects of ultrasonic process were investigated. The thickness of copper layer with activation process was analyzed. The adhesion of copper layer was increased as much as 80% after ultrasonic process applied.

[표면2-2 | 15:00]

Development of amphiphobic coating with NiAl-layered double hydroxide on the patterned polymer substrate: Yao Wenhui, Kang Young-Joon, Baeg Ju-Hwan, Cho Young-Rae; *부산대학교 공대 재료공학부*.

Keywords: Amphiphobicity; Flower-like nanostructure; Patterned polymer; Hierarchical structure; Self-cleaning

Amphiphobic polymer surfaces have attracted great attention in recent years, because of the wide applications in anti-fouling, self-cleaning, anti-smudge, and low-drag. The wettability of a liquid droplet on a solid surface depends upon two major factors: surface morphology and surface energy. In this work, to achieve the micro/nano dual-size structure, NiAl-layered double hydroxide (LDH) was synthesized on the micro-patterned polymethyl methacrylate (PMMA) substrate by hydrothermal method. Solution immersion method was used in the chemical modification of the surface; the micro-patterned PMMA with NiAl-LDH coating was immersed in a low-surface-energy material of perfluorooctanoic acid to decrease the surface energy of the coating. NiAl-LDH with flower-like nanostructure was evenly distributed on the surface of the micro-pillars on the PMMA substrate, with an average thickness of ~20 nm. The hierarchical structure that was composed of micro-pillars, submicro flower-like structures, and the nano-flakes achieved the similar surface morphology of a lotus leaf. The XPS and FTIR spectra indicated the existence of the groups of $-CF_2$ and $-CF_3$, meaning the successful fluorination of the lotus leaf-like structure. The combined action of surface morphology and surface energy endowed the PMMA substrate the excellent amphiphobicity. In addition, water droplets abruptly rolled off the PMMA substrate at less than 5° of tilting. No major or minor water droplet pinning was observed during the rolling off, presenting the good self-cleaning property. Further, the in-situ synthesis of NiAl-LDH on the micro-patterned PMMA substrate significantly improved the mechanical durability of amphiphobic surface. The durable, amphiphobic, and self-cleaning polymer surface gave a promise in the practical applications.

[표면2-3 | 15:15]

Vacuum kinetic spray를 통해 적층된 Y2O3 입자의 비행 및 적층 거동 연구: 권한술, 김연주, 이창희; *한양대학교*

Keywords: Vacuum kinetic spray (VKS), Ceramic coating, Room temperature impact consolidation (RTIC), Ceramic nano-particle, Inflight/Deposition behavior

Vacuum kinetic spray (VKS)는 상온에서 수 nm 부터 수백 um 이상의 두께까지 세라믹 코팅을 적층할 수 있는 새로운 코팅 공정이다. 기존의 세라믹 코팅 공정과는 달리, VKS 공정에서는 높은 온도에서의 열처리 없이 세라믹과 세라믹 입자 사이의 강한 접합이 발생할 수 있다. 이로 인해 적층 도중에 발생하는 분말 소재의 상변화 및 산화 문제로부터 비교적 자유롭게 다양한 코팅으로의 적용이 가능하다. 뿐만 아니라, room temperature impact consolidation (RTIC) 현상을 통해 유도된 nano 사이즈 결정들 사이의 친밀한 결합으로 인해 theoretical density의 95% 이상에 도달하는 고밀도 세라믹 코팅의 적층이 가능하다. 이렇듯 우수한 세라믹 코팅은 치명적인 환경으로부터 금속 혹은 세라믹 등의 다양한 모재를 보호하기에 특화된 것으로 알려져있다. 특히 최근에는 반도체 공정에서 반드시 요구되는 dry etching으로 인해 발생하는 plasma erosion 현상으로부터 주변 부품의 보호를 위한 코팅으로서 VKS 공정이 각광 받고있다. Plasma erosion protective 소재들 중, Y2O3는 우수한 plasma resistance 및 phase stability로 인해 VKS를 통해 적층하는 연구가 이루어진 바 있다. 본 논문에서는 이러한 Y2O3 코팅이 VKS 공정을 이용하여 우수한 코팅을 적층하기 위해 발생하는 비행 및 적층 거동에 대하여 연구하였다. 이를 위해 실제 VKS 장비를 이용한 코팅 실험 및 시뮬레이션 접근 방식을 동시에 사용하였다.

[표면2-4 | 15:30]

(Mo_{100-x}Si_x)N 코팅층의 조성 및 질화에 따른 기계적 특성 및 미세조직 평가: 임기선, 김영석, 박혜진, 문상철, 홍성환, Elyorjon Jumaev, 박제형, 김기범*; *세종대학교 나노신소재공학과*

Keywords: TEM, Microstructure, Mechanical property, hard coating, sputtering

최근 우주/항공 및 자동차 등 첨단 주력산업을 중심으로 티타늄 및 복합재료 같은 초경량 고경도의 난삭재의 비중이 급격히 증가함에 따라 난삭재의 고효율, 친환경적 가공기술이 주목 받고 있다. 이러한 난삭재의 가공은 절삭공구의 성능 및 수명에 크게 의존하며, 절삭공구의 성능 및 수명은 공구소재, 공구형상 및 코팅에 의존한다. 하지만 공구소재의 개량과 공구형상의 변경만으로는 공구의 수명을 향상시키는데 한계가 있다. 따라서 높은 경도, 인성, 마모 및 내식성을 갖는 TaN, WN 및 CrN 등과 같은 금속질화물 코팅을 공구의 적용함으로써 공구의 성능 및 수명을 향상시키고자 한다. 기존 선행연구 결과에 따르면 질화물 코팅의 우수한 물성은 질화물(Nitride) 생성 및 질화 공정에 의한 코팅층의 고밀도화에 의해 나타난다고 알려져 있다. 이러한 금속 질화물 코팅 중 MoN코팅은 우수한 열적, 마찰특성과 낮은 마모율을 갖는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 MoSi타겟을 사용해 반응성 마크네트론 스퍼터링으로 Ar가스와 N₂가스 분위기에서 Si wafer 위에 coating층을 제작하였다. 코팅층의 결정구조 및 상 분석을 위해 X선 회절분석(XRD)을 실시하였으며, 미세 구조를 분석하기 위해 전계방출형 주사전자현미경(FE-SEM), 투과 전자현미경(TEM) 분석을 실시하였다. 또한 코팅층의 화학적 성분 분석을 위해 EDX분석을 실시하였으며 기계적 특성 평가를 위해 나노압입시험(Nano-indentation test)을 진행하였다.

[표면2-5 | 15:45]

Mo-Silicide 열차폐 코팅층 형성에 따른 고온특성평가: 김상윤¹, 박희진¹, 백경호¹, 박준식², 김영무³, 이성³; ¹충남대학교 신소재공학과, ²한밭대학교 신소재공학과, ³국방과학연구소

Keywords: Thermal barrier coating, Pack cementation, Plasma spray, MoSiB alloy

Mo계 내열 합금은 2400°C 이상의 높은 용융점과 고온에서의 우수한 기계적 성질로 인하여, 로켓 부스터, 항공 엔진 블레이드 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 하지만 Mo계 합금은 고온의 온도영역에서 MoO₃의 같은 휘발성 산화물의 형성으로 인하여 낮은 내산화성을 나타내어 이에 대한 방안이 필요하다. Mo계 Silicide의 금속간 화합물인 MoSi₂는 높은 Si의 함량으로 인하여 Mo₃Si, Mo₅SiB₂ 비하여 우수한 내산화성과 고온의 산화분위기에서 금속표면에 치밀한 SiO₂ 산화보호층을 형성시켜 효과적으로 Mo계 합금의 산화를 방지할 수 있다. 본 연구에서는 Mo계 합금의 고온 내산화성 및 단일특성을 향상시키기 위하여 Mo계 내열 합금의 표면에 내산화성이 우수한 silicide계 내산화 본드 코팅층과 열전도도가 낮은 지르코니아 계열의 단일 세라믹 코팅층을 제조하여 열차폐 코팅의 다층구조화에 대한 연구를 진행하였다. 또한 Mo계 본드코팅층과 단일 세라믹 코팅층을 형성하기 위한 플라즈마 스프레이 코팅공정에 따른 코팅층의 미세조직학적 특성과 1400°C의 고온 온도영역에서의 산화층의 성장속도, 생성된 산화물의 화학적 조성 등 온 노출에 따른 본드 코팅층과 세라믹 코팅층의 열차폐 성능 및 손상 평가를 진행하였다.

P1 : 제2회 고부가 금속재료 연구 및 교육 심포지엄
Room 전시장 III, 4월 25일

[P1-1]

용액공정 기반의 연신 가능한 발광소자의 개발: 김진훈, 박진우; 연세대학교 신소재공학부.
Keywords: Organic light emitting diodes, Stretchable, Solution-processed

기존의 실리콘 혹은 유리 기판상에 제작되던 발광 소자가 플렉서블, 폴더블 소자로 나아가기 위한 연구들은 이미 오랜 기간동안 진행되어 왔으며, 이미 삼성 및 LG 에서는 폴더블 스마트폰의 출시를 앞두고 있다. 따라서, 발광소자의 다음 단계는 폴더블에서 나아가 신축성을 갖는 스트레처블 발광소자가 될 것이며, 이에 대한 연구 역시 진행중이다. 스트레처블 발광소자는 기존의 플렉서블, 폴더블 디스플레이에 비해 더 높은 기계적 스트레스를 견딜 수 있기 때문에, 인체의 피부 및 장기조직과 같은 신축성이 있으며 굴곡이 있는 표면 상에서도 안정적으로 동작할 수 있을것으로 기대되어 웨어러블 디스플레이 및 광유전학 (optogenetics), 광 기반 약물 전달 체계 (light induced drug delivery system), 및 light therapy 등 디스플레이 뿐만 아닌 광범위한 분야에 응용될 수 있을 것으로 기대된다. 하지만, 플렉서블 혹은 폴더블 발광소자에 비해 스트레처블 발광소자는 각각의 재료에 가해지는 기계적인 스트레스가 극심하기 때문에, 재료의 스트레스를 낮출 수 있는 소자의 구조적 디자인 혹은 높은 연신율에서도 쉽게 파괴되지 않는 신소재의 개발이 필요하다. 현재까지는 island interconnect, mechanical buckling 등의 구조제어를 통해 스트레처블 디스플레이 소자를 개발하는 방법에 대하여 주로 연구되어 왔으나, 신축성이 있는 전자소자를 개발하여 스트레처블 발광소자를 개발하는 방법에 대한 연구는 거의 진행되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는, 유 무기 복합 나노소자를 이용한, 모든 재료가 스트레처블한 스트레처블 유기 발광 다이오드 (OLED) 의 제작 방법에 대하여 제안하려고 한다.

[P1-2]

Crystallization Behavior of Calcium-Aluminate Based Continuous Casting Mold Fluxes for High Al and High Ti-Containing Steels: Gibeom Kim, Il Sohn; Yonsei University.

Keywords: High Al steels, High Ti steels, Mold flux, Crystallization, Confocal Laser Scanning Microscope

Continuous casting is the critical metallurgical process of transforming liquid steel into a usable shape by solidification through a water-cooled mold. In particular, mold fluxes control the heat transfer between the partially solidified steel shell and mold providing the desired heat flux. An inappropriate heat flux can result in loss of lubrication, high friction and irregular shell growth, which lead to internal or surface cracks. In the continuous casting process, the current available fluxes for producing high Al and Ti-containing steels react violently resulting in significant compositional changes, which makes it difficult to use in actual process conditions. Considering the thermodynamic driving forces involved, a comparatively non-reacting stable CaO-Al₂O₃ based mold flux is needed. However, the thermo-physical properties of these mold fluxes require a fundamental understanding of the crystallization, viscosity, and thermal conductivity. In this study, the crystallization characteristics with different alkali oxide contents and CaO/Al₂O₃ ratio conducive for production of high quality steel surfaces by adding fluidizers was investigated. The in-situ crystallization behavior of CaO-Al₂O₃ based homogenized fluxes for high Al and Ti-containing steels was performed using the Confocal Laser Scanning Microscope (CLSM). The morphology of as-quenched samples was analyzed by SEM-EDS and phase identification of the various quenched slags was conducted through XRD analysis.

[P1-3]

분자 동역학 시뮬레이션을 이용한 응력 하에서 계면 이동에 의한 영구변형에 관한 연구: 성시문¹, 장재훈², 한홍남¹; ¹서울대학교 ²재료연구소 (KIMS).

Keywords: 분자동역학, 계면 이동, 영구 변형

항복 응력보다 더 낮은 응력 조건에서도 금속 소재의 고체 간 상변태 동안 영구변형이 발생하는 것으로 알려져 있다. 이러한 영구변형 현상은 상변태와 밀접하게 관련 돼있기 때문에 변태소성이라 한다. 변태소성 현상을 설명하기 위해 Greenwood와 Johnson은 외부적으로 가해지는 응력과 상변태 중에 발생하는 부피 변화로 인한 내부 응력의 합이 소성 변형을 일으킨다고 주장하였다. Han 등은 마르텐사이트 변태와 같은 무확산 변태가 일어날 때 에너지적으로 유리한 변형 선택이 이러한 영구변형을 일으킨다고 제안하였다. 그러나 부피 변화를 수반하지 않는 재결정 및 입자 성장 과정에서도 이러한 영구변형이 관찰되므로, 위의 이론들로는 이 영구변형 현상을 설명할 수 없다. 따라서, Han 등은 계면 이동에 의해 유도된 소성의 개념을 제안하고 구성 방정식을 유도하였다. 본 연구에서는 Han 등이 제시한 계면 이동에 의한 변태소성모델을 검증하기 위해 다결정 순철에 대한 분자 동역학 시뮬레이션을 LAMMPS (Large-scale Atomic / Molecular Massively Parallel Simulator)을 활용하여 수행하였다. 시뮬레이션은 다양한 외부 응력 조건과 온도 조건에서 수행하였으며, 결정립 성장에 따른 영구변형양을 정량화 하였다. 분자동역학의 매 시간증분에서의 결정립의 크기를 구하기 위하여, 분자 동역학의 원자 배열을 Orientation Imaging Microscopy(OIM software)에서 활용할 수 있는 결정학적 정보로 변환하는 코드를 작성하였다. 이를 통해 얻어진 결정립 크기, 응력 및 변형률 데이터를 활용하여 Han 등에 의해 제안된 계면 이동에 의한 변태소성모델을 검증하였다.

[P1-4]

경피성 산소분압 측정을 위한 웨어러블 광발광식 산소센서 연구: 임창진, 이소연, 박진우; *연세대학교 공과대학 신소재공학과*
 산소는 신체의 에너지 생성과 조직 재생에 필수적인 요소로서, 혈관이 좁아지거나 막혀서 조직 및 사지말단으로 제대로 전달되지 않으면 말초혈관계 질환 등이 발생한다. 따라서 산소농도를 정밀하게 실시간, 대면적으로 측정하는 방법이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 발광식 감지원리를 기반으로 패치 타입의 웨어러블 경피성 산소센서를 개발하였다. 이는 저비용이고, 작동이 쉬우며, 실시간 모니터링이 가능하고, 정확하며 용액공정이 가능하다. 먼저 TiO₂ 입자가 도핑 되어 발광특성이 향상된 산소센싱필름을 제작하였고, 유연 PI기판 위에 광원으로 OLED, 디텍터로 OPD를 제작하여 일체형 구조의 소형화된 센서형태로 제작하였다. OLED는 센싱필름의 흡수 파장대가 녹색인 것을 고려해 polymer green으로 제작하였으며, 발광 된 빛을 흡수하는 OPD는 광기전력 특성이 우수한 P3HT:PCBM기반으로 제작하였다. 각각의 유기 장치는 공정 최적화 과정을 거쳤으며 측정된 산소농도에 따른 민감도는 2.18로 측정되었다. 또한, 피부표면의 산소농도를 측정하기 위하여 의료용 커프를 이용한 정맥 압박을 유도 후 경피성 산소분압을 측정하였고, 그 결과 시중에서 판매되는 Periflux5000과 유사한 결과를 나타내었다.

[P1-5]

Fe-Mn-Al 강에서 고온 초소성 변형 중 나타나는 미세조직 변화: 강석현, 이영국; *연세대학교*

Keywords: 중망간강, 초소성, 고온 변형, 미세조직

초소성 현상이란, 미세한 결정립(10 μ m 이하)을 갖는 재료를 고온(녹는점의 0.5 이상, 절대온도)에서 인장 변형시 300% 이상의 폭발적인 연신율을 보이는 현상을 말한다. 초소성 현상을 이용하면 복잡한 형상을 갖는 부품의 성형을 한번에 할 수 있고, 기존에 성형 후 시행되는 공정(용접, 볼트 체결 등)이 줄어드는 장점을 갖는다. 따라서 이전부터 초소성 현상을 이용하기 위한 연구가 많이 진행되었으며, 주로 비철계(Ti, Al, Ni, Mg 등) 합금에서 연구가 활발하게 이루어졌다. 철계 합금에서는 이상스테인리스강, 저탄소강, 고탄소강 등에서 초소성 현상이 연구되어 왔다. 최근에 3세대 고장력강인 중망간강을 기반으로 하여 Fe-Mn-Al 조성의 새로운 초소성 강이 개발되었다. 하지만 고온에서 초소성 변형 도중에 나타나는 미세조직 변화에 대해서는 아직 연구가 진행되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 다양한 분석장비(주사전자현미경, 후방산란전자회절, 투과전자현미경 등)를 이용하여, 초소성을 보이는 Fe-Mn-Al 강에서 고온 초소성 변형 중 나타나는 미세조직 변화(결정립 크기, 결정립 종횡비, 상분율 등)를 면밀하게 관찰하고 분석했다. 고온 초소성 변형 중 미세조직 변화를 관찰하기 위하여, 고온 변형 도중 특정 변형률에서 인장시험을 중지하고 냉각 후 인장 시편의 게이지 부분에서 시편을 채취하여 미세조직 관찰을 실시했다.

[P1-6]

Modified 740H 니켈계 초내열합금의 기계적 특성에 미치는 합금원소의 영향: 추동주¹, 박찬희¹, 이준호¹, 정우상²; ¹고려대학교 신소재공학과, ²한국과학기술연구원 에너지소재연구단

Keywords: Ni, Superalloy, 740H, Gamma prime

최근 온실가스 관련 환경규제가 강화되어 화력발전소의 효율을 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 이러한 규제를 충족시키고 발전 효율을 향상시키기 위해 온도 및 증기압 증가를 위해 A-USC 급 보일러 개발이 필수적이라 할 수 있다. 기존 화력 발전소용 부품은 대부분 페라이트/오스테나이트 강이지만 고온 작동 부품에는 철계 대신 니켈계 초합금이 사용되어야만 한다. 본 연구에서는 니켈계 초내열 합금인 우수한 기계적 특성을 나타내는 INCONEL 740H를 modify 하여 경도 변화를 비교하였다. 이 중 Ti+Al 첨가량과 Ti/Al ratio에 따른 기계적 특성 변화를 관찰하고자 4개 조성을 선택하여 30kg 판재로 제작하여 gamma prime 석출상에 따른 기계적 특성 변화를 비교하고자 하였다.

[P1-7]

Recrystallization Texture Prediction Based on Multiscale Crystal Plasticity and Generalized Strain Energy Release Maximization Theory: Kyung Mun Min¹, Woojin Jeong¹, Pil-Ryung Cha², Heung Nam Han¹, Seung-Hyun Hong³, Myoung-Gyu Lee¹; ¹Seoul National University, ²Kookmin University, ³Hyundai Motor Company.

Keywords: Recrystallization texture, Strain energy release maximization (SERM) theory, Crystal plasticity finite element (CP-FE) model

Orientations of recrystallized nucleus from deformed metallic material could be predicted by the strain energy release maximization (SERM) theory [1]. The SERM theory explains that recrystallization texture can be determined such that an absolute maximum stress direction (AMSD) caused by dislocation slip is parallel to the minimum Young's modulus direction (MYMD), which leads to the maximized accumulated strain energy release. In this study, the original SERM theory is generalized and extended for coupling it with crystal plasticity finite element (CP-FE) analysis. The CP-FE simulates the mechanical process in which the single crystal plasticity induced by the dislocation movement can be mathematically modeled under the large deformation continuum kinematics. A plane strain simulation model with the representative volume element (RVE) is considered to calculate the cold rolling process followed by the static recrystallization. The CP-FE is formulated with dislocation density based single crystal constitutive law, while the recrystallization texture based on the generalized SERM is calculated from dislocation density of active slip systems and deformed cold rolled orientations. As for model validations, the recrystallization textures of OFHC copper and IF steel were compared between calculation and measurement.

[1] D.N. Lee, Texture and related phenomena, The Korean Institute of Metals and Materials, second ed., Han Rimwon, 2014.

[P1-8]

래들 슬래그의 탈황능에 미치는 산업부산물 첨가의 영향: 정태수, 김태성, 강진규, 박주현; *한양대학교*

Keywords: Secondary refining, Desulfurization, Sulfide capacity, Industrial waste, Fluospar

2차 정련에서 형석은 슬래그의 중요한 구성 요소 중 하나이다. 하지만 많은 양의 형석을 사용할 경우, 불소 유출로 인한 각종 환경적 문제를 야기할 수 있기에 2차 정련에서 소모되는 형석의 양을 저감하는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 슬래그 중 형석량을 저감하여도 그와 동등 혹은 그 이상의 정련효과를 확보할 수 있는 방안을 도출하기 위해 CaO-Al₂O₃-SiO₂-MgO-CaF₂ 래들 슬래그(CaO/Al₂O₃=3)의 CaF₂ 함량을 10%에서 3%까지 감소시키고 동시에 FeMn slag (FMS), Red mud (RM), White mud (WM)와 같은 산업 부산물을 5%에서 30%까지 첨가하여 용강 탈황실험을 진행하였다. 래들 내 용강 탈황은 슬래그-용강 반응에 의해 진행된다 ($[S]+(O^2)=[O]+(S^2-)$), 이는 탈황능 측면에서 a₀²(염기도)가 매우 중요한 열역학적 인자임을 시사한다. MnO가 약 40% 가량 함유된 FMS를 형석 저감 래들 슬래그에 첨가할 경우, 슬래그의 염기도 감소에 따라 기존 슬래그 대비 감소한 탈황능을 나타내었으나, 소량 (10% 이하) 첨가 조건에서는 슬래그 염기도 변화폭이 크지 않아 기존 슬래그와 유사한 탈황능을 보였다. Fe₂O₃가 40% 가량 함유된 RM을 형석 저감 래들 슬래그에 첨가할 경우에도 FMS와 유사하게 flux 첨가에 따라 슬래그 염기도가 감소하여 탈황능이 감소하였다. 하지만 10% 이하 첨가할 경우, 슬래그 염기도 변화가 크지 않아 기존 래들 슬래그와 동등한 정도의 탈황능을 나타내었다. 한편, CaO-Al₂O₃ 기반에 약 9%의 Na₂O가 첨가된 WM를 형석 저감 래들 슬래그에 첨가할 경우, 슬래그 염기도 변화가 크지 않았으며, 기존 래들 슬래그 대비 동등한 정도의 탈황능을 나타내었다. 따라서 본 연구를 통해 다양한 산업 부산물을 형석 대체 flux로서 다량 첨가할 경우에는 탈황능 저하를 야기하였으나, 약 10% 이하의 비교적 소량 첨가할 경우에는 슬래그 염기도에 미치는 영향이 크지 않아 형석을 10% 가량 포함하는 기존의 래들 슬래그와 동등한 수준의 탈황능 확보가 가능함을 확인하였다. 따라서, 추가실험을 통해 향후 CaF₂-free 정련 슬래그 시스템 설계에 본 실험 결과를 적극 활용하고자 한다.

[P1-9]

In-Situ Observation of $\epsilon \leftrightarrow \gamma$ Transformation During Thermal Cycle in Fe-17Mn Alloy: 홍진성¹, 고유석², 김동익², 이영국¹; ¹연세대학교 ²한국과학기술연구원

Keywords: Fe-17Mn, Epsilon martensite, Phase transformation, In-situ EBSD, Thermal cycle

γ , ϵ 의 2상으로 이루어진 Fe-17Mn 강은 높은 진동감쇠능을 갖는 방진합금으로, 일반적으로 ϵ 상의 분율이 높을수록 높은 진동감쇠능을 갖는 것으로 알려져 있다. 그러므로 높은 방진 성능을 얻기 위하여 Fe-17Mn 강 내의 ϵ 상 분율을 증가시키기 위한 다양한 연구가 수행되었다. 그 중 γ , ϵ 2상을 갖는 Fe-17Mn 강을 A_F 이상으로 가열하여 γ 단상 상태로 만든 후 다시 냉각시키는, 반복 열처리 공정은 Fe-17Mn 강의 ϵ 상 분율을 효과적으로 증가시킨다고 알려져 있다. 이에, Fe-17Mn강의 반복 열처리 중 상변태 거동에 대한 연구가 다수 수행되었으며, 특히 반복 열처리에 따른 ϵ 상 분율 증가의 원인에 대한 다양한 분석이 진행되었다. 본 연구에서는 in-situ EBSD 장비를 사용하여 반복 열처리 도중 다양한 온도에서 $\gamma \leftrightarrow \epsilon$ 상변태를 관찰하였으며, 이를 토대로 반복 열처리 중 상변태 거동 및 ϵ 상 분율 증가의 원인에 대해 분석하고자 하였다. 이를 위하여 Fe-16.9Mn-0.02C (wt%) 합금을 1100°C에서 열연 후 상온에서 60% 냉연 하였으며, 이후 1000°C에서 30분 소둔 후 공냉하여 γ , ϵ 의 2상 조직을 얻었다. Fe-17Mn 강의 상변태 온도 (A_S, A_F, M_S) 측정 및 상분율 변화 관찰을 위하여 Quenching dilatometer를 사용하였으며 dilatometer 실험 시 반복 열처리 조건은 R.T. \leftrightarrow 300°C, 승온 속도와 냉각 속도는 3°C/s, 300°C에서 유지한 시간은 10분이었다. 또한, 반복 열처리 도중 $\gamma \leftrightarrow \epsilon$ 상변태 거동을 관찰하기 위하여 다양한 온도에서 in-situ EBSD 실험을 진행하였다. Dilatometer 실험 결과 반복 열처리 횟수에 따라 ϵ 상의 분율이 점차 증가하는 것을 알 수 있었으며, 상변태 온도가 점차 변하는 것을 확인할 수 있었다. In-situ EBSD 실험 결과에서도 반복 횟수가 증가함에 따라 딜라토미터 결과와 마찬가지로 ϵ 상의 분율이 증가하였다. 또한 상변태 중인 온도에서도 EBSD 실험을 진행하여 $\gamma \leftrightarrow \epsilon$ 상변태 거동을 분석하였다. 300°C로 가열하여 γ 단상 상태가 되면, 반복 열처리 횟수에 관계없이 γ 상의 방위는 모두 일치하였다. 이후 냉각하면 $\gamma \rightarrow \epsilon$ 변태가 발생하는데, 이전 열처리 단계에서 ϵ 상이 존재했던 위치에 똑같은 방위를 갖는 ϵ 상이 형성되고, 추가적으로 이전에 ϵ 상이 존재하지 않던 위치에 새로운 ϵ 상이 형성되는 것을 관찰할 수 있었다.

[P1-10]

9Cr-1Mo 튜브재 및 용접재의 크리프 특성 및 미세조직 변화: 김한열^{1,2}, 허주열¹, 정우상²; ¹고려대학교 신소재공학과 ²한국과학기술연구원 에너지재료연구단

Keywords: Heat resistance steel, High Cr steel, creep, creep strength

9%-12%Cr 마르텐사이트 내열강은 크리프 강도가 우수하여 내열재료로 사용되고 있다. 하지만 사용 온도가 600°C 이상 온도에서 장시간 노출 될 경우 마르텐사이트가 불안정해지고 금속간 화합물인 Laves phase가 생성된다. 또한 입계에 존재하는 M₂₃C₆ 나 입내에 존재하는 MX 석출물이 조대화되어 크리프 강도가 감소하게 된다. 따라서 크리프 강도를 향상시키기 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 이 소재를 내열재료로 사용하기 위해서는 사용온도에서 10만시간 기준 100MPa 이상의 크리프 강도가 요구된다. 본 연구에서는 9Cr-1Mo 튜브재 및 용접재의 차이를 확인하기 위해 튜브재와 용접재의 크리프 특성 평가와 미세조직 변화에 대한 연구를 수행하였다. 550-650°C의 온도와 80-260 MPa 응력 조건에서 크리프 시험을 수행하였고, 크리프 진행 시간에 따른 조직 변화를 보기 위해 SEM, XRD, TEM을 이용하여 크리프 파단재의 미세조직을 분석하였다. 그리고 LMP (Larson-miller parameter) 법을 이용하여 크리프 수명을 예측하였으며, 그 결과 튜브재와 용접재의 600°C에서의 10만 시간 환산 크리프 강도는 각각 79.0, 88.4 MPa로 용접재가 튜브재에 비하여 12% 높은 크리프 강도를 나타냈다.

[P1-11]

The Mechanism of Dynamic Strain Aging for Serrations in the Tensile Flow Curves of C-Bearing Twinning-Induced Plasticity Steels: *오선근, 홍진성, Mehmet Emin Kilic, Aloysius Soon, 이영국; 연세대학교 신소재공학과.*

Keywords: High Mn steel, Dynamic strain aging, Ab-initio, Serration

In the room temperature tensile test of an Fe-18Mn-0.6C (wt%) twinning-induced plasticity steel, serrated behavior was observed on the stress-strain curves. Of five types of serrations classified by Rodriguez [1], serration shape in the tensile curve performed at room-temperature shows A type serrations. The type A serrations has been considered to associated with the Portevin-Le Châtelier (PLC) band which propagates from end of specimen to another end of one. Recently, the PLC band occurs by dynamic strain aging (DSA) known to interact between partial dislocations and C clusters or C-bearing complexes [2]. However, in this paper, both short range DSA mechanism and conventional long range one claimed by Cottrell [3] and Van den beukel [4] are considered equally because carbon activation energy decreases by pipe diffusion through dislocation core [5]. In order to calculate the carbon activation energy from serrations, used is Van den beukel's arrested model equation of interstitial alloys required critical strain of serration start from various temperatures and strain rates. The serrations were observed from the tensile test performed at various temperatures from -70 to 80 °C with different strain rates of 1×10^{-2} , 1×10^{-3} , and 1×10^{-4} s⁻¹. The critical strain for serration start decreased with increased in temperature below approximately 100 °C. The increase critical strain for serration start is known as normal PLC effect range.

[P1-12]

CaO-Al₂O₃-FeO 슬래그 내 Fe³⁺/Fe²⁺ 산화-환원 평형에 관한 물리화학적 고찰: *장동민, 김대성, 박주현; 한양대학교.*

Keywords: CaO-Al₂O₃-FeO slag, Iron Redox Equilibria, Basicity, Slag structure, Raman spectroscopy

극저탄소강의 RH 공정 슬래그는 CaO-Al₂O₃-FeO를 주 성분계로 하며, 소량의 SiO₂, MgO 등을 포함한다. 대표적인 전이금속 산화물인 Fe₂O₃를 포함하는 슬래그의 물리화학적 특성은 Fe³⁺/Fe²⁺ (Ferric-to-Ferrous ratio 또는 Iron Redox Equilibria) 비에 따라 크게 달라지는 것으로 알려져 있는데, 이전의 연구들은 주로 CaO-SiO₂-Fe₂O계를 대상으로 진행되었으며 CaO-Al₂O₃-FeO 계에 대한 연구결과는 극히 미미한 수준이다. 따라서, 본 연구에서는 CaO-Al₂O₃-FeO 슬래그의 산화-환원 평형에 미치는 슬래그 조성의 영향에 대해 고찰하였다. 일반적으로 슬래그의 염기도는 슬래그의 구조 해리 및 산화-환원 평형에 영향을 미치므로, 이를 정량적으로 평가하기 위해 Fe₂O 함량이 일정할 때 CaO의 활동도를 a_{CaO}=0.2-0.6 범위에서 변화시켰으며, 염기도가 일정할 때 Fe³⁺/Fe²⁺ 비에 미치는 Fe₂O의 영향을 평가하기 위해 동일한 a_{CaO}(=iso-a_{CaO}) 조건에서 (Fe₂O)=6-24 wt% 범위에서 변경하여 실험하였다. CO/CO₂ 가스 혼합비를 제어함으로써 반응기 내 산소분압을 p(O₂)=10⁻⁴ atm으로 고정하였고 1550°C 온도에서 실험을 진행하였다. 예비실험을 통해 결정된 평형시간 후, 급랭한 시료를 파쇄하여 KMnO₄ 적정분석을 통해 (%Fe²⁺) 함량을 분석하고, XRF를 이용하여 (TFe)를 분석하였다. 이로부터 (%Fe³⁺) 함량을 구하고, Fe³⁺/Fe²⁺ 비와 염기도의 관계를 열역학적으로 해석하고자 하였다. 동시에 라만 분광분석을 통해 슬래그의 구조 해석을 시도하였고, 이를 바탕으로 CaO-Al₂O₃-FeO 슬래그에서 Fe²⁺/Fe³⁺ 비에 미치는 슬래그의 물리화학적 인자의 영향을 정량적으로 해석하고자 하였다.

[P1-13]

Ar-3%H₂ 분위기에서 제조된 (CoCrFeNi)_{95.2}Al_{3.2}Ti_{1.6} 고엔트로피 합금 내 비금속 개재물의 생성거동: *값지연, 최누리, 박주현; 한양대학교.*

Keywords: (CoCrFeNi)_{95.2}Al_{3.2}Ti_{1.6} high entropy alloy, Inclusions, Computational thermodynamics, Ti(C,N), Al₂O₃

최근 CoCrFeNi 기반의 고엔트로피 합금에 소량의 Al과 Ti를 첨가하여 나노 크기의 석출물, L₁₂-Ni₃(Ti,Al) 형성을 통한 기계적 특성 향상에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 Al과 Ti는 C, S, N 등의 침입형 불순 원소와 높은 친화성을 보이기 때문에 용해 및 주조 과정에서 TiO₂(혹은 TiN), Al₂O₃(혹은 AlN)와 같은 비금속 개재물 형성을 피할 수 없다. 이러한 비금속 개재물은 합금의 기계적, 화학적 특성을 저하시키므로, 합금 내의 비금속 개재물에 대한 체계적인 조사가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 3%H₂-Ar 분위기에서 제작한 (CoCrFeNi)_{95.2}Al_{3.2}Ti_{1.6} 합금 내의 불순 원소 함량을 분석하고, 이를 바탕으로 상용 열역학 소프트웨어인 FactSage를 활용하여 합금 내 존재하는 개재물의 종류를 예측함과 동시에 각 개재물이 형성되는 열역학적 조건을 계산하였다. 또한, 제조된 시편을 적절히 가공 후 SEM-EDS 분석을 통해 개재물의 조성 및 크기 분포 등을 조사하였다. 실험 결과, (CoCrFeNi)_{95.2}Al_{3.2}Ti_{1.6} 합금에서는 주로 TiN과 Al₂O₃ 개재물이 발견되었으며, 압연 및 열처리 후에는 용해-주조 과정에서 이미 형성된 TiN이 Ti(C,N)로 변화되는 것이 관찰되었다.

[P1-14]

진공유도가열로(VIM)에서 합금용해에 대한 변수 제어와 그 결과: *최석원, 이영국; 연세대학교 공과대학 신소재공학과.*

Keywords: 진공유도가열로, Blow hole, Bridge, 진공도, 온도 제어

진공유도가열로에서 합금을 용해 할 때 생기는 blow hole, bridge 문제를 해결하기 위하여 진공도 개선 및 온도 제어 등 여러 변수들에 대하여 제어하였고 그 결과를 공유하고 토론 함으로써 더 나은 결과를 도출 하기 위하여 발표 하고자 한다. 먼저 합금용해 하기전에 순수 Fe 전해철에 대해서 용해를 실시하였고 그 결과 bridge는 생성이 되었으나 blow hole은 형성 되지 않아 좋은 질의 잉곳을 얻어냈다. 하지만, 추후 합금원소들을 넣고 용해를 진행하였고 잉곳을 확인한 결과 blow hole, bridge 문제가 발생되어 여러 변수들을 제어해보았다. 먼저 blow hole 생성원인이 가열로 내의 진공도가 낮아 생긴것으로 예상하여 진공도를 10⁻² torr까지 낮춰서 용해를 진행해보았으나 그 결과는 마찬가지였다. 추후 bridge 문제를 해결하고자 도가니 윗부분에 덮개를 제작하여 용해를 실시해보았으나 덮개를 사용 전보다는 bridge 생성 양이 줄었지만 그래도 현저히 해결되지 않고 있다. 이에 결과들을 공유하고 토론하

여 문제를 개선하고자 한다.

[P1-15]

Hydrogen Effect of Creep Behavior in Ferritic Steel: Han-Jin Kim¹, Jin-Yoo Suh², Joonho Lee²; ¹Korea University, ²Korea Institute of Science and Technology.

Keywords: Hydrogen Attack, Creep properties, High-temperature materials

Ferritic steels used mainly in chemical plants and petroleum industry are exposed to high temperature and high pressure of hydrogen. Hydrogen attack is a serious structure-degrading process taking place in ferritic steels containing cementite by the hydrogen-induced decomposition of cementite into iron and methane gas at elevated temperatures. Although the outcome of the high temperature hydrogen attack could be obvious such as significant dissolution of pearlite and formation of fissures or large voids, detecting the initiation of the process is challenging. In that context, we built an experimental set-up that could evaluate the creep deformation of a metallic specimen at high temperature under hydrogen atmosphere. We recorded the displacement induced by creep deformation with and without hydrogen gas to discuss the initiation of the hydrogen attack. We also performed microstructural verification using interrupted creep specimens. The high temperature hydrogen attack behavior observed using the creep testing under hydrogen environment was also compared with the experimental observation made by simple annealing experiment.

[P1-16]

Deformation Microstructure of Austenite as a Second Phase in Steel: Rosa Kim, Cheol-jun Bae, Jong-ryoul Kim; Hanyang University.

Keywords: Steel, Microstructure, Transmission electron microscopy

Austenite exists as a secondary phase in many commercial steel grades. In the presence of austenite in steels having two or more phases, one of the advantages from austenite phase is related to the strain hardening behavior because the austenite has more various deformation modes than ferrite or martensite phase. Thus, it is expected that austenite as a secondary phase would play an important role not only in duplex steel but also in various steel types having austenite phase. The deformation mode of austenite phase would change the deformation behaviors of steels. In this study, the deformed microstructures of steels with different elemental contents such as chromium and nickel were analyzed. Specimens were uniaxial tensile tested with varying degrees of strain, and transmission electron microscopy were used to observe the deformed microstructures. Based on the invisibility criteria using two-beam dynamical theory, the characteristics of stacking faults and twinning partials were confirmed. Experimental results showed that the chrome and nickel contents in the steels changed the stacking fault energy of the austenite and consequently the deformed microstructure. As a result, the contribution of austenite on work hardening behavior in tensile deformation was shown to be dependent on the contents. The strength-ductility characteristics of each specimen were explained in relation to the deformed microstructure.

[P1-17]

Phase Diagram Experiments of the Na₂O-B₂O₃-Fe₂O₃ System: 김민경, 최호길, 최승우, 정인호, 이경우, 남기태; 서울대학교 재료공학부.

As part of the complete thermodynamic modeling of the Na₂O-B₂O₃-Fe₂O₃ system, the Na₂O-B₂O₃-Fe₂O₃ phase diagram in air (1273K) were investigated using the quenching method followed by Electron Probe Micro-Analyzer (EPMA) and X-ray Diffraction (XRD) phase analysis. Preliminary Phase boundaries of this system were observed.

[P1-18]

페라이트 스테인레스 내 산화 스케일의 열간 압연 중 파괴 분석: 김승록, 이소연, 박진우; 연세대학교 신소재공학부.

Keywords: Ferritic stainless steel, Hot rolling process, Sticking failure, Oxide scale, Gleeble test

400계 STS 소재들은 열간 압연 중 모재가 roller에 탈이착되는 sticking 결함이 발생한다. 이는 Cr 함량이 높을 수록 더 잘 일어난다고 알려져 있는데 Ni이 첨가된 300계의 경우 sticking 결함이 잘 일어나지 않는다고 한다. 이에 본 연구에서는 sticking 결함의 발생은 강의 산화 스케일과 관련된 것으로 추정하고 강종 별 스케일 특성과 열간 압연을 모사한 열간 인장에서 산화 스케일의 거동을 분석하였다. 결과적으로 400계의 경우 Cr이 많아질 수록 치밀한 Cr₂O₃ 층이 passivation layer로 형성되는 반면 저Cr 400계나 300계에서는 matrix 내에 composite 형태로 존재하는 것을 확인하였다. Cr₂O₃의 경우 layer 형태일 때 brittle하기 때문에 열간 압연을 통해 strain을 가했을 때 쉽게 파괴되는 것으로 예상할 수 있었는데 추가적으로 nanoindentation을 통해 기계적 경도를 측정 하여 이와 비교할 수 있었다.

[P1-19]

고강도 볼트의 제조 공정별 수소량 분석 및 수소 취성 저항성 평가: 유상현¹, 오선근¹, 박형석², 장민², 이기양², 이영국¹; ¹연세대학교 공과대학 신소재공학과, ²현대모비스 기술연구소 재료연구팀.

Keywords: 마르텐사이트, 전기도금, 수소 취성, TDA, CLT

소재의 고강도화는 수소 취성 저항성을 떨어뜨리는 대표적인 요인으로 알려져 있다. 최근 소재 경량화의 일환으로 볼트의 고강도화 연구가 이루어지면서 수소취성 문제에 대한 관심도 커지고 있다. 볼트의 수소 취성은 다양한 원인에 의해 발생될 수 있다. 도금

제의 경우, 도금과정에서 수소가 다량 유입될 수 있으며 이로 인한 수소 취성이 발생할 수 있다. 또한 소재 측면에서도 1 GPa 급 이상의 고강도 소재의 경우 미량의 수소만으로 수소 취성에 취약해질 수 있다. 이 밖에도 사용환경 중 수소가 강재 내로 침투하는 문제도 수소 취성을 유발시킬 수 있다. 도금된 볼트에서는 이러한 다양한 원인으로 인하여 수소 취성이 발생 가능할 것으로 예상되기 때문에 수소 취성을 완화시킬 방법을 찾기 위해서는 정확히 어떤 요인이 수소 취성에 가장 큰 영향을 주는지 확인할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 TDS 를 이용하여 볼트의 제조공정 별 수소량을 분석해 보았으며, SSRT 및 CLT 를 통해 소재의 수소 취성 저항성을 평가하였다.

[P1-20]

Recycling of Waste Lithium Ion Batteries Through High Temperature Pyrometallurgy: OhSung Kwon, Il Sohn; *Yonsei University*.

Keywords: Recycling, LIBs, Pyrometallurgy, Reduction, Urban mining

Lithium cobalt oxide (LiCoO_2) is a widely used cathode material commercialized in mobile electronics using LIBs (lithium ion batteries) such as smart phones, electric vehicles, and computers. The short life span of portable equipments have culminated in an urban mining industry utilizing waste LIBs to solve the problem of global resource exhaustion and environmental pollution. To meet the potential demand of LIBs, valuable metals like Co and Li from waste LIBs require recycling. Several methods of LIB recycling have been developed in hydrometallurgy and pyrometallurgy. However, recycling through hydrometallurgy ultimately results in additional hazardous wastes that require supplemental facilities that drastically lowers the economics. In this study, fundamental studies on a novel approach using a high temperature pyrometallurgy process for cathode materials is introduced by incorporating the reduction reaction with carbon anode (C) and Al comprising the LIBs. From the TGA (thermo-gravimetric analysis) and subsequent SEM-EDS (scanning electron microscope-energy dispersive spectroscopy) and XRD (x-ray diffraction), the main reaction mechanism of the recycling process is detailed.

[P1-21]

Vacuum Kinetic Spray 공정을 통해 제작된 YF3 코팅층의 분말 열처리 온도에 따른 미세조직과 플라즈마 내식성: 김연주¹, 권한술¹, 박형권², 이창희¹; ¹한양대학교 ²현대제철.

Keywords: Vacuum Kinetic Spray (VKS), YF₃, Heat-treatment temperature, Microstructure, Plasma erosion resistance

반도체 디스플레이의 대면적화가 이루어짐에 따라 정교한 식각 과정의 필요성이 증가하고 있다. 그에 따라 제조 과정 중에 플라즈마 식각 장비의 부품이나 챔버가 고농도 플라즈마에 노출되어 표면의 손상과 오염 입자가 발생한다. 내플라즈마 재료로 사용되는 Y_2O_3 의 경우 우수한 식각 속도를 가져 부품의 교체주기를 감소할 수 있다는 장점이 있지만 오염입자의 발생으로 인해 문제가 된다. 진공 상온 분사 공정 (Vacuum Kinetic Spray, VKS)은 상온에서 고밀도의 세라믹 후막을 빠른 속도로 형성할 수 있는 획기적인 방법으로서, 사용하는 분말의 크기가 1-3 μm 정도로 작고 상온에서 적층이 일어나기 때문에 기공과 균열이 없는 우수한 미세조직을 가진다. 본 연구에서는 식각 장비 챔버의 주 재료로 사용되는 알루미늄 (Al 6061)의 표면에 특정 온도별로 열처리된 YF₃를 진공 상온 분사 공정을 통해 적층 하고 플라즈마 내식성을 평가하였다. 전기를 이용하여 공기중에서 YF₃ 분말을 600, 700, 800°C에서 각각 1시간 열처리하였다. 코팅층의 적층 두께, 거칠기를 측정하기 위해 surface profiler를 사용하였다. 분말의 열처리 온도에 따른 primary particle의 변화와 코팅층의 표면과 단면 미세구조 분석을 위해 field emission scanning electron microscopy (FE-SEM)을 사용하였다. 코팅층의 플라즈마 내식성을 알아보기 위해 ICP (Inductively Coupled Plasma) type의 식각 장비가 사용되었다. 결과적으로 열처리 온도에 따른 코팅층의 미세구조와 플라즈마 내식성을 분석함으로써 알루미늄 표면 보호를 위한 YF₃ 분말의 최적의 열처리 온도를 도출하였다.

[P1-22]

δ -Ferrite가 저온변태 용접재료의 변태 팽창과 기계적 특성에 미치는 영향: 김두현, 이영채, 이재희, 이창희; *한양대학교 신소재공학과*.

Keywords: 저온변태 용접재료, 잔류응력, 변태 팽창, δ -ferrite

용접은 조선, 건축, 자동차 등 산업전반에 걸쳐 널리 쓰이고 있지만 빠른 가열과 냉각, 그리고 모재의 구속으로 인해 잔류응력이 필연적으로 발생한다. 잔류응력은 제품의 변형과 피로강도의 감소를 일으키기 때문에 이를 제어하기 위해서는 부가적인 설비와 공정이 필요하다. 저온변태 용접재료(LTT)는 설비나 공정의 추가 없이 용접재료의 교체만으로 잔류응력을 감소시킬 수 있는 용접재료이며 현재 해외 각국에서 많은 연구가 활발히 진행 중이다. LTT는 M_s 온도를 낮추고 austenite에서 martensite로 변태 시 수반되는 부피팽창을 상온에서 극대화시켜 수축으로 인한 용접부의 인장 잔류응력을 감소시킨다. 일반적으로 M_s 온도를 낮추기 위해서는 Cr과 Ni이 첨가된다. 이 연구에서는 용접재료의 가격경쟁력을 높이기 위해 상대적으로 Cr의 비율을 높이는 방향으로 설정되었다. 첨가 원소를 모두 포함하는 각각의 Cr_{eq} 와 Ni_{eq} 의 비율을 바꿔가며 다양한 M_s 온도를 가지는 LTT를 만들어 dilatometer를 통한 변태 팽창의 측정과 미세조직 관찰을 실시하였다. 설계성분을 가지는 용접재료는 진공 용해 유도도로 제작되었으며 용접부의 재현은 6 mm 두께의 가공면에 GTAW 제살용접으로 이루어졌다. 미세조직은 OM과 SEM장비를 통해 관찰되었다. LTT의 $\text{Cr}_{\text{eq}}/\text{Ni}_{\text{eq}}$ 가 변화함에 따라 시편마다 변태 팽창의 차이가 두드러지게 나타났다. 미세조직에서는 $\text{Cr}_{\text{eq}}/\text{Ni}_{\text{eq}}$ 의 증가와 함께 δ -ferrite가 관찰되었으며 평형상태도 시뮬레이션을 통해 이를 조사 하였다. 또한 δ -ferrite가 M_s 온도와 함께 LTT의 인장강도, 저온충격특성에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 결과를 통해 잔류응력의 감소와 더불어 가격경쟁력을 가질 수 있는 LTT의 적정성분계 범위를 도출하였다.

[P1-23]

Thermodynamic of Nitrogen in Fe-Cr-Ti-Al Alloy Melt: Hae-Sol Son¹, Jung-Su Park¹, Jung-Mock Jang¹, Min-Kyu Paek², Jong-Jin Pak¹; ¹Hanyang University, ²Aalto University.

Keywords: Ferritic stainless steel, Fe-Cr-Ti-Al-Si-N alloy melt, Nitrogen, Titanium nitride, Aluminum nitride

Titanium nitride in ferritic stainless steel is well known to play an important role in enhancing the mechanical properties by the grain refinement. In addition, not only the Ti and Al contents in the liquid steel but also the chemistry of the oxide inclusion significantly affect the formation of the equiaxed grain structure during the solidification of the ferritic stainless steels. Therefore, in order to control the solidification structure of the ferritic stainless steels, it is essential to have accurate thermodynamic information of the N solubility and nitride formation in multicomponent Fe-Cr-Al-Ti-N alloy melt over the wide temperature range from steelmaking to the solidus temperature. Therefore, in the present study, Thermodynamic behavior of N in Fe-Cr-Al-Ti-N alloy melts was investigated by measuring the N solubility and the solubility product of TiN and AlN by the metal/gas and metal/nitride/gas equilibration techniques at 1823-1873 K. The N solubility data measured in Fe-Cr-Ti, Fe-Al-Ti and Fe-Cr-Al alloy melts was thermodynamically analyzed to determine the second-order cross-product parameters of Cr-Ti, Al-Ti and Cr-Al on N in liquid iron using Wagner's formalism. By considering the cross-product effect on N determined in the present study, the effects of the alloying elements on the solubility product of TiN and AlN in the multicomponent Fe-Cr-Ti, Fe-Al-Ti, Fe-Cr-Al and Fe-Cr-Al-Ti alloy melts were successfully reproduced over the wide temperature range.

[P1-24]

Al-Zn-Si-Mg계 도금강판의 계면합금상 형성 및 성장: 고승희¹, 허주열¹, 박일정², 이석규²; ¹고려대학교 ²포스코

Keywords: Al-Zn-Si-Mg alloy, Hot-dip aluminizing, Intermetallic compound, Interfacial reaction

용융알루미늄도금 (hot-dip aluminizing, HDA)은 Al 도금층 표면에 치밀한 산화막(Al_2O_3)을 형성하여 강판의 우수한 내부식성을 위한 표면처리 방법으로 알려져 있다. 또한, 아연에 비해 용점이 높아 용접 시 crack이 발생하는 liquid metal embrittlement (LME) 현상을 방지하는 장점이 있다. 하지만, 용융알루미늄도금강판은 용융아연도금 (hot-dip galvanizing, HDG) 강판에 비해 절단부의 부식을 억제하는 희생방식성이 결여되는 문제점이 존재한다. 따라서, 희생방식성이 우수하면서 용접 시 LME 현상이 발생하지 않는 Al-Zn-Si-Mg계 도금 조성에 대한 연구가 진행되고 있다. Al-Zn-Si계 도금욕에 Zn 함량이 증가함에 따라 도금 밀착성이 열화되며 도금강판의 내부식성을 향상시키기 위해 Mg를 첨가하는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 Al-Zn-Si-Mg 합금도금의 계면합금상 형성과 계면 밀착성에 미치는 Zn와 Mg 영향에 대한 이해가 필요하다. 본 연구에서는 HDA simulator를 이용하여 1180TRIP (transformation-induced plasticity), EDDQ (extra deep drawing quality) 강판에 0-3 wt% Mg이 첨가된 Al-Zn-Si 도금욕으로 도금을 진행하였다. 또한, 두 가지 온도(580°C, 600°C)에서 장입시간을 5-80초로 다르게 도금하여 Mg 함량에 따른 계면합금상 구조와 성장에 미치는 영향을 알아보았다. 도금강판의 계면합금상의 형상 및 조성은 SEM (scanning electron microscopy)을 이용하여 확인하였으며, 계면합금층의 상분석은 EPMA (electron probe micro analyzer)와 XRD (X-ray diffraction)를 이용하여 분석하였다.

[P1-25]

ZnO를 함유한 소결광에서 Zn의 거동에 미치는 염기도 및 Al_2O_3 농도 변화의 영향과 SFCA 광물상의 구조 변화: 박준우, Ramaraghavulu Rajavaram, 서인국, 이준호; 고려대학교

Keywords: Rietveld analysis, Sintered ore, Zinc oxide, SFCA, Recycling

본 연구에서는 ZnO를 함유한 소결광에서 Zn의 거동에 미치는 염기도 및 Al_2O_3 농도 변화의 영향을 조사하였다. 소결광은 Fe_2O_3 , CaO, SiO_2 , Al_2O_3 , ZnO 시약을 사용하여 조립되었으며 1,300°C에서 가열되었다. 실험 후 시편은 X-ray diffraction (Rietveld 분석), 습식 화학분석 그리고 SEM-EDX 분석을 실시하였다. 주요 광물상으로는 SFCA, Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , Franklinit, Dicalcium silicate 그리고 Al_2O_3 가 관찰되었다. 특히 SEM-EDX 분석 결과 ZnO는 소결 중 SFCA 상 내에 고용되는 것으로 나타났다. 추가적으로 Rietveld 분석을 통해 ZnO가 고용된 SFCA 광물상에 대한 구조 분석을 실시하였다.

[P1-26]

Drop Tube Furnace 내 NiO의 수소 환원 거동 평가: 김지원; 연세대학교 신소재공학과

Keywords: Nickel powder, Hydrogen reduction, Drop tube furnace, Morphology

기존 유동로를 사용한 니켈 분말 제조 공정은 환원 가스와 분말이 역류하는 방식으로써, 니켈 금속 간의 응집 문제가 발생한다. 따라서 응집을 최소화하기 위하여 분말과 가스의 진행 방향이 동일한 DTF (Drop Tube Furnace)를 이용한 니켈 산화물 분말 환원 실험을 진행하였다. 본 연구에서 분말의 체류시간은 Stoke's equation에 기반하여 도출되었고, 입도에 따라 약 3초~12초의 체류시간이 확보됨을 확인하였다. 수소 환원 거동 평가를 위해 환원 구동력 (수소 분압 및 온도)을 제어하였다. 환원 후 니켈 분말 샘플들은 N/O 분석을 통해 환원율을 도출하였으며, SEM을 통해 형상을 관찰하였다. 수소 분압에 따른 환원 거동 실험 결과, 고온 (1273 K)에서는 높은 환원 구동력으로 인해 수소 분압의 영향성이 크지 않았으나, 저온 (973 K)에서는 수소 분압에 따라 환원율이 크게 증가하였다. 니켈 분말들은 환원 조건에 따라 형상의 변화가 관찰되었고, 이는 해당 조건에서의 수소 흡착 및 증기 탈착에 의한 현상으로 사료된다. 본 연구에서는 DTF를 이용하여 제한 시간 내에서 충분한 환원을 확보 가능성을 확인하였고, 기존 유동로 공정에서의 응집 문제를 해결할 수 있었다. 하지만 환원 후의 분말 형상 제어에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

[P1-27]

Phase Transformation Model During Continuous Cooling According to Carbon Concentration: 조준현, 이경우; 서울대학교
Keywords: Steel, Modeling, Continuous casting, Solidification, Phase fraction

In continuous casting process, the quality of slab is affected by carbon concentration in steel. Especially, hypo peritectic steel(0.08 wt%C to 0.16 wt%C) has high crack susceptibility because contraction by cooling and phase transformation occurs simultaneously during cooling. In equilibrium condition, peritectic steel has two stages, peritectic reaction ($L+\delta\rightarrow\gamma$) at peritectic temperature and peritectic transformation ($L\rightarrow\gamma$ and $\delta\rightarrow\gamma$). Many researchers tried to understand the phase change behavior through experiments and modeling development. In their studies, phase transformation is different from that in the equilibrium condition because of continuous cooling such as undercooling for γ formation and delay of peritectic reaction. In this study, we develop new phase change model of various carbon contents considering carbon diffusion in dendrite arm spacing, thermodynamics, and experimental equations. Using this model, the velocity of δ/γ interface and the change of phase fraction are calculated as the temperature decreased according to cooling rate, undercooling of γ formation and carbon composition. As a result, it is confirmed that the phase transformation behavior of low and peritectic steel has 3 course depending on the degree of undercooling of γ formation as well as carbon contents.

[P1-28]

Phase Transformation and Microstructure of Welded Joint Analyzed Using Numerical Model of Heat Transfer: Song Jihyo¹, Yi Kyungwoo¹, Kang youngjun²; ¹Seoul National University. ²Korea Institute of Materials Science.

Keywords: Welded joint, Heat affected zone, Numerical analysis, Thermal cycle, Phase transformation

The HAZ (Heat Affected Zone) microstructure is transformed into different microstructure from the BM (Base metal) by thermal cycles, and these microstructure transformations cause changes in mechanical properties and formation of welding cracks, which cause welding safety to deteriorate. A phase transformations that take place during welding processes are complex, so it is difficult to analyze the microstructure in the welded joint. The HAZ can be further divided into three different region. A three-dimensional numerical model is employed to simulate the heat transfer in the welded joint. The phase transformation and the microstructure was investigated from the thermal cycles using phase diagram and continuous cooling transformation (CCT) diagrams. The HAZ adjacent to the melting region which is heated to above about 1300°C, resulting in complete austenitization and the growth of austenite grains. The cooling rate $t_{8/5}$, which is the time taken for cooling from 800°C to 500°C, is 125°C/s. As a result, the microstructure comprised martensite, bainite and grain size is the largest in the welded joint. Next region of the HAZ is heated to about 1000°C and $t_{8/5}$ is 111°C/s. The finest grains were formed and the microstructure consisted of martensite, bainite and ferrite. The HAZ adjacent to the BM is heated to about 783°C, which is between austenitization start temperature(Ac_1) and final temperature(Ac_3). Therefore, material in this region partially transform to austenite during the welding process. The microstructure comprised martensite, bainite, ferrite, pearlite. The microstructure predicted by the numerical model were compared with the experimental results. Consequently, the microstructure predicted by the numerical model are in good agreement with experimental results.

[P1-29]

백금-바나듐 합금의 바나듐 활동도 측정: 박동휘¹, 정지석¹, 심상철², 이준호¹; ¹고려대학교 ²고려대학교 공학기술연구소
Keywords: 열역학, V, Pt, 활동도

백금-바나듐 합금은 고분자 전해질 연료전지의 촉매, 귀금속의 코팅 재료를 비롯한 다양한 용도로 활용되고 있다. 그러나 백금-바나듐 합금의 열역학적 성질에 대해 보고된 연구는 한정되어 있어 백금-바나듐 합금 연구에 대한 기초자료로서 부족하다. 본 연구는 백금-바나듐 합금 내 바나듐의 열역학적 성질에 대한 온도 경향성을 측정했다. 백금-바나듐 합금 내 바나듐의 활동도 계수는 온도가 증가할수록 증가했으며, 상호 작용 상수는 온도가 증가할 때 감소하는 경향을 나타냈다. 백금-바나듐 합금 내 바나듐의 과잉 깎스 에너지는 온도에 따라 증가했다.

[P1-30]

망간 산화물의 전해제련을 위한 용융 산화물 전해질 개발: Joongseok Kim, KyungWoo Lee; Seoul National University.
Keywords: Manganese oxide, Electrowinning, Molten oxide, Thermodynamic computation, Kinetics

Manganese is mainly used in aluminum and steel making industry, especially in steel making in form of ferromanganese, and its demand has been rising in recent years as steel and aluminum consumption rises. Manganese production from manganese ore is mainly processed by pyrometallurgy and hydrometallurgy. Both of them compose environmental problem. In the case of pyrometallurgy, carbon which is used as reductant comes out as carbon dioxide or carbon monoxide after reaction. In hydrometallurgy sulfite solutions used in leaching process of manganese ore causes environmental problems. Alternative way of making manganese without environmental problem is electrowinning. In electrowinning cathode and anode goes into electrolyte. Reduction process occurs in cathode part and target metal ion reduce into target metal. In electrowinning, electrolyte should have low melting temperature, good ion transportation property, high solubility of target metal oxide, and oxides used in electrolyte should have higher decomposition potential than target metal. Oxides used as electrolyte can be classified as acidic, neutral, and basic oxide. Acidic oxides generally have low melting temperature because of their covalent property, but they form network structure in slag. Basic oxides have higher melting

temperature, but they act as network modifier when added to acidic oxide slag. So we used the mixture of acidic and basic oxide in our experiment. We used B_2O_3 as acidic oxide because it has low melting temperature of about 800K. CaO , MgO , Al_2O_3 , and Na_2O was chosen as basic oxide because they have high decomposition potential. After choosing the electrolyte, phase diagram was drawn using FactSage program in order to see the stable phase and we chose composition where all oxides stay in stable slag-liquid phase. Using this composition, we conducted electrochemical experiments. By using potentiostat, we draw CV curve to find the reduction potential. After holding with reduction potential for few hours we polished cathode and analyzed SEM EDS results.

P2 : 철강

Room 전시장 III, 4월 25일

[P2-1]

Effects of Vanadium Micro-Alloying on Microstructures and Tensile Properties of Intercritically Annealed Medium-Mn Steels: Soyeong Kang, Tak Min Park, Kyeong-Ho Baik, Jeongho Han; *충남대학교 신소재공학과.*

Keywords: Cold rolling reduction, TRIP-TWIP steel, Medium Mn steel, Precipitation behavior

Among the possible advanced high-strength steels (AHSS) types, medium Mn steels have received significant attention due to their reasonable materials cost and excellent mechanical properties. The steel is mainly consisted of Mn ranged from 3 to 12 wt.% and low concentration of C (<0.3 wt.%), and sometimes it has the additional alloying element like Al. The medium Mn steels generally exhibit an α' martensite microstructure after hot and cold rolling and a dual phase microstructure of α ferrite and retained austenite (γ R) with ultrafine grain size after intercritical annealing. During the plastic deformation, the active both transformation-induced plasticity (TRIP) and twinning-induced plasticity effects from the large fraction of γ R (<~0.4) lead to the excellent mechanical properties, resulting in a remarkable combination of strength (over 800 MPa) and ductility (up to 40%) Here, we explored the effect of V addition on the microstructural evolution and tensile properties of medium Mn steels. We compared the microstructures and tensile properties of both V-free (Fe-8Mn-0.2C-3Al) and V-added (Fe-8Mn-0.2C-3Al-0.2V) steels. The steels were intercritical annealed (IA) at 670 °C, 700 °C and 730 °C for 30 min. The V-added steel shows the improved both yield and tensile strengths due to the grain refinement and precipitation hardening without sacrificing the total elongation.

[P2-2]

초경량 고내식 Fe-Mn-Al-C-Cr계 철강 소재 개발: 김경원¹, 이창훈¹, 박성준¹, 하현영¹, 이태호¹, 이영주²; ¹한국기계연구원 부설 재료연구소 철강재료연구실, ²포항산업과학연구원 재료공정인프라섹션.

Keywords: Light-weight steel, κ -carbide, Al, Tensile properties, Microstructure

최근 수송 기기에 사용되는 소재의 경량화가 요구되면서 Al을 첨가한 고강도 고연성의 FeMnAlC계 경량철강 개발이 활발히 진행되고 있다. 그러나 12 wt% 이상 Al을 함유한 경량철강에 대해서는 고합금화에 따른 제조 및 κ -carbide 등의 경한 석출상 제어의 어려움으로 인해 연구가 미비한 실정이다. 본 연구에서는 Al을 13wt% 이상 함유하여 기존 철강 소재 대비 밀도를 20% 이상 감소시키면서도 기계적 특성 및 내식성이 우수한 경량철강을 개발하고자 하였다. 본 연구에서는 Fe-30Mn-13.2Al-1.6C-5Cr(wt%)의 조성을 갖는 경량철강에 대하여 열간압연, 균질화 열처리 조건에 따른 기계적 특성 및 미세조직을 분석하였다. 열간압연은 1200°C에서 가열한 경우보다 1100°C에서 가열시 결정립 크기의 감소로 인하여 열간압연성이 우수하였다. 균질화 열처리 온도의 경우, 1000°C를 기점으로 그 이하의 온도에서는 Cr_7C_3 등 석출상의 생성으로 인해 취성이 증가하였다. 1000°C 이상에서는 austenite의 분율이 증가하여 연성이 증가하지만, 1100°C에서는 결정립 크기의 증가로 인해 기계적 특성이 감소되었다. 따라서 Fe-30Mn-13.2Al-1.6C-5Cr(wt%)의 합금으로 기존 철강 대비 밀도가 약 20% 감소된 6.31 g/cm³이면서 인장강도 1056%, 연신율 42%, 부식 전위 -231 mV_{SCE}의 우수한 특성을 갖는 초경량 고내식 철강 소재를 개발하였다.

[P2-3]

고경도 Armor Steel의 TRIP 현상과 ASB형성 거동 연구: 조민철¹, 김세림¹, 박형근¹, 서동우², 홍성석³, 김홍규³, 김형섭¹, 이성학¹; ¹포항공과대학교 신소재공학과, ²포항공과대학교 철강대학원, ³국방과학연구소

Keywords: Adiabatic shear band (ASB), Split Hopkinson pressure bar, TRansformation Induced Plasticity (TRIP), Ballistic impact test

장갑차 및 탱크에 사용되는 방탄소재의 경우 방탄성능 확보를 위해 고경도, 고인성과 더불어 우수한 고속변형 특성을 갖는 재료가 요구된다. 탄도충격에 의한 변형은 10⁴-10⁵ strain rate의 고속변형이며, 주로 Adiabatic Shear Band (ASB)가 형성되고 이를 따라 파괴가 발생하기 때문에, 우수한 방탄성능을 갖는 재료개발을 위해서는 준정적변형이 아닌 고속변형에서 재료를 평가하고 분석하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB)를 이용하여 잔류 austenite를 갖는 bainitic steel과 tempered-martensitic steel의 ASB 형성거동을 분석하고 이를 실제 탄도충격 시험한 시편과 비교분석 하였다. 동적압축 실험결과 tempered-martensitic steel과 비교하여 잔류 austenite의 TRIP이 발생하는 bainitic steel에서 ASB가 억제되어 ASB가 형성되는 critical strain이 크게 나타났다. 또한 탄도충격 시편에서도 ASB형성 뿐만아니라 ASB를 따라 형성되는 crack또한 억제됨을 관찰하였다.

[P2-4]

980 MPa급 DP강의 활확장성에 미치는 템퍼링의 영향: 이진희¹, 송은지², 박봉준³, 권용재¹, 신상용¹, 김주영², 이정구¹; ¹울산대학교 공대 첨단소재공학과, ²울산과학기술원 신소재공학과, ³현대제철 R&D Center.

Keywords: Dual phase steel, Stretch flangeability, Hole expansion ratio, Tempering

최근 들어 자동차 산업에서는 차량 경량화를 위하여 980MPa 이상의 인장강도를 가지는 초고강도 강판에 대한 요구가 증가되고 있다. 이 중에서도 Dual phase (DP) 강은 높은 강도와 우수한 성형성을 나타내어 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 DP 강판의 경우 Press forming을 위해 필요한 Stretch flangeability가 기존의 강재들과 비교하여 낮은 결과를 보여주고 있으므로 보다 폭넓은

적용을 위해서는 이에 대한 개선이 필요한 상황이다. 본 연구에서는 비교적 낮은 Stretch flangeability을 가지는 980MPa급 DP강판을 서로 다른 조건에서 템퍼링 열처리하여 미세조직과 기계적 물성의 변화를 관찰하였으며 이를 바탕으로 템퍼링에 따른 DP강의 Hole expansion ratio (HER) 변화 거동을 고찰하고자 하였다. 또한 템퍼링 열처리에 따른 DP강의 ferrite와 martensite 상들의 경도 변화를 나노인덴테이션을 통하여 분석하였으며 이를 DP강의 인장 물성 및 HER의 변화와 연관지어 해석하였다.

[P2-5]

Effect of Cutting Method on Microstructure and Magnetic Properties in Non-Oriented Electrical Steel: Hunju Lee, Jong-Tae Park; POSCO.

Keywords: Electrical Steel, Residual Stress, Magnetic Property, Electron Backscatter Diffraction (EBSD)

The non-oriented electrical steels are widely used as motor core materials after punching process. During the punching process residual stress is inevitably generated at cut-edge, therefore magnetic properties are deteriorated. In this study, the effect of cut-edge residual stress on magnetic properties was investigated. The samples were cut by various methods to induce different amounts of residual stresses at cut-edges. The residual stress was analyzed by optical microscopy, micro Vickers hardness tester and Electron Backscatter Diffraction (EBSD). The magnetic properties in low field strength were closely related to residual stress because the magnetic domain wall motion is inhibited by crystal lattice defects.

[P2-6]

마르텐사이트 계 고질소 스테인리스강의 수소 용해도: 김정훈, 강영조; 동아대학교 금속공학과.

Keywords: Martensitic stainless, Hydrogen, Activity coefficient, Solubility, Hydroxyl Capacity

고질소 스테인리스강에서 계절적으로 발생하는 핀홀 결함의 원인으로 강 중 수소가 주목받고 있다. 하지만 강 중 수소는 그 측정 방법에 따라서는 편차가 크고 일반강에 비하여 스테인리스강 내 수소의 열역학적 성질에 대해서는 상대적으로 알려진 바가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 고질소 스테인리스 용강의 수소 용해도를 1823 K에서 sampling 법으로 결정하고자 하였다. 제어된 수소 분위기에서 평형 상태에 도달한 스테인리스 용강을 급냉하여 강 중 전수소 농도를 정량하였고 약 600 K에서 방출되는 확산성 수소를 별도 측정하여 분석의 정확도를 검증하였다. 또, 슬래그의 수산화기 OH-capacity로부터 슬래그-용강 간 수소 분배비 LH를 도출하고 이를 이용하여 슬래그 중 (%OH) 농도로부터 용강 중 [%H] 농도를 간편하게 추산할 수 있는 관계식을 도출하고자 하였다.

[P2-7]

터빈하우징용 오스테나이트계 내열주강의 열-기계적 피로 (TMF) 특성에 미치는 미세조직의 영향: 유지선¹, 최원미¹, 이병주¹, 김기웅², 김형준², 최원두³, 오용준³, 이성학¹; ¹포항공과대학교 신소재공학과. ²계양정밀 R&D Center. ³한밭대학교 신소재공학과.

Keywords: 터빈하우징, 내열주강, 열-기계적 피로(TMF), 탄화물

강화된 환경 규제에 대응하여 자동차 배기가스를 추가 동력으로 활용하는 터보차저가 도입되었다. 이러한 터보차저를 감싸는 터빈하우징 소재는 고온의 배기가스에 의해 지속적인 열팽창과 수축, 구조적 구속에 의한 기계적 피로 환경에 노출된다. 이때 엔진의 고성능화에 따라 배기가스 온도가 지속적으로 상승하여, 1050도에 달하는 높은 고온에서도 소재의 안정적인 물성 확보가 필요하다. 이에 터빈하우징 소재에 대하여 열-기계적 피로(TMF) 시험을 진행하였다. 다양한 구속률 조건과 100-900도 온도 범위에서 오스테나이트계 내열주강 소재의 피로 특성을 평가하였다. 강도 향상에 효과적인 Mo를 첨가함에 따라 900도 고온강도는 비례적으로 증가하나, 높아진 탄화물 분율의 영향으로 오히려 TMF 특성은 감소하였다. 따라서 이러한 TMF 특성과 고온물성, 미세조직 등의 상관관계를 규명하였다. 이를 통해 더욱 고온의 환경에서도 열-기계적 피로를 견딜 수 있는 합금 설계 방향을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

[P2-8]

Correlation of the Foaming Index and Sulfide Capacity with Slag Structure for EAF: 박영준, 민동준; 연세대학교

Keywords: Sulfide capacity, Foaming index, EAF slag, Slag structure, Slag property

최근 대두되고 있는 환경문제는 미래 철강 기술에 대한 CO2 배출량 감축과 연원료 다변화에 대한 대응을 요구하고 있으며, 그에 따라 전기로 공정이 주목받고 있다. 그러나 전기로 공정은 높은 전력원단위를 갖는 문제점이 있으므로 이를 개선하기 위한 연구가 활발히 이루어져 왔으며, 최근에 이르러 단순한 공정 부산물로 취급되던 슬래그에 대한 물성 개선과 최적화가 요구되는 실정이다. 슬래그 최적화를 구현하기 위해서는 이온 구조와 물성의 상관성에 대한 이해가 전제되어야 하므로, 본 연구에서는 전기로 슬래그의 여러 물리화학적 특성 중, 포밍 인덱스와 탈황능에 대하여 그 이온구조와의 연관성을 고찰하였다. 이러한 전기로 슬래그의 물리적 특성(포밍 인덱스, 점성) 및 화학적 특성(탈황능)과 이온 구조의 상관 관계에 대한 연구는 각 물성 발현의 근원에 대한 이해를 제공함으로써 향후 조업에 요구되는 변화에 따라 슬래그 최적화 및 조업안정성 유지를 위한 기술 개발에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

[P2-9]

Cu, Ni 함량 및 분위기에 따른 저 탄소강의 고온 산화거동: 박주호¹, 김경아¹, 김혜주¹, 이형록¹, 김성연², 권상훈³, 허윤옥³, 임창희³, 김동규¹; ¹동아대학교 ²포스코 기술연구소 ³포항공과대학교 철강대학원(GIFT).

Keywords: Cu alloyed steel, Cu-enriched phase, High temperature oxidation, Hot shortness, Wet air atmosphere

Cu가 함유되어있는 고합금 강재는 연속주조 및 열간압연과 같은 고온 공정 시 Fe의 선택적인 우선 산화에 의해 계면에 Cu-

enriched 상이 형성되어 hot shortness 현상에 의한 결함 발생 경향이 크다. scale/steel 계면에 존재하는 Cu-rich 액상은 결정입계로 침투하며, fayalite(Fe_2SiO_4)로 이루어진 내부산화층 및 penetration도 발생한다. 고온연성에 대한 선행 연구는 대부분 Ar과 dry air 분위기에서 진행되고 있으며 실 공정 분위기인 wet air 분위기와 많은 차이가 있다. 따라서 실제 조업조건을 모사하기 위하여 wet air 분위기에서의 고온연성 평가가 필요하다. 본 실험에서는 Cu와 Ni 함량이 다른 저 탄소강을 다양한 분위기에서 산화시킴으로써, 외부산화층 및 내부산화층의 형성 과정을 조사하였다. Cu 단독 첨가강의 경우에는 Cu, Ni 첨가강에 비하여 Cu enriched상의 scale로의 흡장 현상은 감소하였다.

[P2-10]

Cu, Ni 합금강의 후판압연 시 표면 결함 형성 기구: 김경안¹, 김혜주¹, 박주호¹, 이형록¹, 김성연², 권상훈³, 허윤옥³, 임창희³, 김동규¹; ¹동아대학교 ²포스코 기술연구소 ³포항공과대학교 철강대학원(GIFT).

Keywords: Selective Oxidation, Hot shortness, Hot Rolling, Cu-enriched Phase, Heating Furnace

Cu, Ni 첨가강 등에서 후판 압연 후 판재 상면에서 압연방향으로 산화물로 이루어진 일자 혹은 망상 형상의 결함(grain boundary burst)의 발생 빈도가 증가하고 있다. 이러한 결함은 후판 표면에 소량 발생하더라도 최대 수백톤씩의 모재 손실을 유발하여 생산성을 저하시킨다. 표면 결함 형성 기구를 관찰하기 위해 산화물로 구성된 grain boundary burst의 ND면을 SEM, BSE, EDS 등을 이용하여 scale/steel 계면을 관찰하였으며, 또한 TD-RD면을 200~300 μ m간격으로 연마 후 산화 깊이에 따른 단층별 제2상 및 산화촉진 site를 조사하였다. Fe의 우선 산화로 인해 scale/steel 계면에 Cu, Ni가 잔류하게 되어 형성된 Cu-enriched 상이 관찰되며 hot shortness를 유발한다. 또한 외부산화층에 존재하는 분리된 기지금속은 Fe의 선택적 산화로 인해 Cu-enriched 상이 다수 관찰된다. 내부산화층에는 결정립계를 따라 fayalite penetration 및 Cu-Ni penetration이 관찰된다. 따라서 열간 공정 중 특정 부위에 선택적 산화가 급격히 진행되어 압연 후 결함이 발생하는 것으로 예상된다. 본 연구에서는 열간 공정 중 형성되는 Cu-enriched 상에 의한 결함과 내부산화층의 형성 거동에 대해 조사하였다.

[P2-11]

양극 전류 전도를 위한 FeCrAl 합금의 산화 거동: 우화영, 권숙철, 이종현; *충남대학교 신소재공학과*.

Keywords: 고온 부식

저비용 1차 생산을 위해 Solid Oxide Membranes(SOMs)이 산화 환원을 통한 금속 생산에 적용되었고 간단한 전처리, 적은 자본, 작은 제조공장, 낮은 에너지비용, 특히 친환경적이기 때문에 더욱 장점이 크다. SOM 공정은 고온의 용융염 전해질에서 고체 산화물을 산소이온 전도성 멤브레인으로 사용하는 직접 전해 환원 공정이다. 직접 환원 공정중 음극에서 전달되는 산소이온은 합금이 부식될 수 있는 가혹한 환경을 조성한다. 따라서, 고온 산소 분위기에서 합금의 부식 거동이 필요하다. 본 연구에서는 1150°C에서 FeCrAl 합금의 고온 산화 거동을 알루미늄나 차폐 유무에 따라 조사하였고 표면과 단면 형상 및 합금의 특성을 SEM, EDS로 분석하였다. 결과적으로, 알루미늄나 차폐가 있는 FeCrAl 합금이 알루미늄나 차폐가 없는 FeCrAl 합금보다 더 적게 산화되었다.

[P2-12]

전기로 공정에서 화학 에너지의 활용 증대를 위한 대체 연료 내장 스크랩 장입 조건에 대한 기반 연구: 김규환¹, 김선중²; ¹조선대학교 첨단소재공학과 ²조선대학교 재료공학과.

Keywords: Carbon Solubility, Al-mix Recycling, Charging method, Alternative ratio

전기로 공정의 화학 에너지는 용강 중 탄소 용해도가 높을 시 취입하는 산소와 용강 중 탄소의 연소반응으로 인해 향상되며 전력 에너지를 저감할 수 있다. 하지만 용강 중 탄소를 단독으로 투입할 경우, 탄소가 용강에 용해되기 전 낮은 밀도로 인해 슬래그 층으로 부유하며 미반응 탄소가 발생하기 쉽다. 따라서 탄소 연소열의 효율을 높이기 위해서는 용강 중 새로운 탄재 장입 조건이 필요하다. 한편, Al 제련 후의 부산물로 알려져 있는 Al-mix는 저렴하고 재활용 비율이 매우 낮은 반면, 20 mass% 이상의 금속 Al을 함유하고 있으므로 비교적 높은 산화열을 가지고 있다. 본 연구에서는 화학 에너지 사용량을 높이기 위한 기반연구로서, 코크스 등의 탄재와 대체열원으로 Al-mix 등을 배합한 대체연료를 활용하여 다양한 배합비에서 용강 중 탄소 및 Al 용해도를 비교하였다.

[P2-13]

MgO-C 내화재 C% 함량과 유동에 따른 용강과의 내식 특성 연구: 이주훈, 주재현, 정용석; *한국산업기술대학교*

Keywords: MgO-C refractory, Corrosion, Erosion, Dissolution, Penetration

전기로 내화재에 주로 사용되고 있는 MgO-C 은 용강과 슬래그의 접촉부위에서 부식 및 침식이 발생한다. 본 발표에서는 FRT(Finger Rotating Test) 실험장치를 통해 실험을 진행하였으며, 온도는 1600°C 로 고정하고 유지시간(0~120분) 및 용강 유동 속도(RPM)를 변화시켜 MgO-C 내화재 중 C의 함량에 따른 부식 특성을 제시하고자 한다. 본 연구 결과 내화재 중 C의 함량이 높을수록 내화재 안으로 용강의 침투 깊이가 증가하였으며, 침지시간이 길어짐에 따라 침투 깊이가 증가하였다. 그리고, 유동(150 rpm)을 구현한 결과 용강이 용강의 침투는 감소하였다. 이러한 결과는 다양한 물리/화학반응이 관여한 침투 현상이므로, 반응 내화재 시편의 단면을 광학현미경, SEM, EDX를 활용하여 관찰하였고, 이에 대한 특성을 열역학 및 유체역학적 해석으로 설명하고자 한다.

[P2-14]

Direct Quenching (DQ) 공정으로 제조된 HHA 강의 미세조직 및 인장 변형 거동에 미치는 Retained Austenite 제어 열처리의 영향: 백민석¹, 김영균¹, 박태원², 함진희², 이기안^{*1}; ¹인하대학교 신소재공학과 ²국방과학연구소.

Keywords: High strength steel, Tensile test, Retained austenite, Reverted austenite, EBSD

본 연구에서는 direct quenching (DQ) 공정으로 제조된 high hardness armor (HHA) steel의 기계적 특성에 미치는 retained austenite 열처리 효과를 알아보고자 하였다. 최근 많은 연구에서 기계적 특성 저하를 야기시키는 retained austenite를 제어하려는 추세이며, 열처리를 통한 reverted austenite를 형성시키려는 연구가 활발히 진행 중이다. 상기 연구들은 대부분 medium carbon steel 또는 maraging steel에 대한 연구가 중점적으로 보고되고 있으며, low alloy steel에 관한 연구는 부족한 실정이다. 특히 DQ 공정으로 제조된 steel의 retained austenite 제어 연구는 진부한 실정이다. 실험 결과 열처리를 수행하지 않은 as-quenched (DQ) 소재의 경우 약 80-120 nm 수준의 retained austenite 두께가 관찰되었으며, 열처리 이후 그 두께는 60-100 nm 수준으로 줄어든 결과를 보였다. 또한 열처리 이후 retained austenite 계면에 Ni이 enriched 된 것을 FE-TEM으로 분석하였으며, reverted austenite가 형성된 것을 볼 수 있었다. 열처리 이후 경도는 약 14 HV 이상 증가한 결과를 나타내었다. 인장 시험 결과, 항복 강도는 유사한 결과를 나타내었고 인장강도는 약 40 MPa이 향상된 결과를 보였고 연신율은 0.42% 증가하였다. 상기 결과는 열처리 이후 강도가 증가하였음에도 불구하고 연신율이 미미하게나마 증가하는 독특한 거동을 나타내었다. 이와 함께 기계적 특성에 미치는 reverted austenite 영향을 알아보고자 인장 파면을 관찰하였으며 EBSD분석도 병행하여 그 변형 기구를 미세조직과 연계하여 규명하고자 하였다.

Acknowledgements: 본 연구는 국방과학연구소의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

[P2-15]

고체 연료의 연소 속도를 반영한 소결 공정 모델 개발: 권혁인¹, 류근용², 김선중²; ¹조선대학교대학원첨단소재공학과, ²조선대학교 재료공학과.

Keywords: Sintering, Runge-Kutta, Combustion rate, Coke

소결 공정 내의 온도 분포는 소결광을 결정하는 중요한 인자이며, 온도 분포에 따라 소결광의 품질이 결정된다. 철광석의 품질은 계속적으로 악화되고 있으며, 소결광의 품질을 향상시키기 위해서는 소결 공정 내 온도를 예측 가능한 모델이 필요하다. 소결 대차의 온도 분포를 파악하기 위하여 많은 연구가 이루어졌으며, 코크스 등 고체 연료의 연소 속도는 소결 공정 온도를 결정하는 인자 중 하나이다. 본 실험은 산화 분위기에서 코크스의 시간에 따른 무게 감량을 측정하는 방식으로 연소 속도를 측정하였다. N₂ 분위기 내에서 목표 온도에 도달 후 Air 가스를 투입함으로써 실험을 진행하였다. Pt wire 및 Pt mesh를 사용하여 수분을 제거한 코크스 이외의 산소와의 반응에 따른 무게 변화를 최소화하였다. 연소 실험에서 얻어진 연소 속도를 활용하여 소결 공정 모델을 4차 Runge-Kutta법으로 개발하였고, 소결 공정 모델을 통하여 높이 및 거리에 따른 온도 분포를 계산하였다.

[P2-16]

Influence of Ar Gas with Trace Oxygen on Surface Oxidation for Ti-ULC Steel Casting: Joo-Hyeok Lee¹, Sung-Kwang Kim², Myeong-Hun Kang³, Youn-Bae Kang¹

¹GIFT, Pohang University of Science and Technology, ²POSCO, ³Technical Research Laboratories, POSCO.

Keywords: Continuous casting, Oxidation, Ti-ULC steel, Nozzle clogging

Ultra Low Carbon (ULC) steel is one of major products for automotive steel sheets. In order to secure formability and physical properties of the sheets, Ti is added in during RH secondary refining process. It is well known that the Ti causes serious clogging phenomena in Submerged Entry Nozzle (SEN), more than that compared to Ti-free ULC steel. The origin of the clogging is not clear yet. Several investigators insisted that interfacial reaction between the SEN and Ti-bearing ULC steel can be trigger of the clogging phenomenon. In the authors' previous study, the reaction was thought to occur between CO gas generated from the nozzle refractory and the liquid steel. The study showed that products of Ti-bearing ULC steels consist of Ti-containing liquid oxides and solid alumina layers which are different from that of Ti-free ULC steels. Formation of these liquid oxides might be one of major causes of nozzle clogging by positioning interface between the SEN and the molten steel. Besides CO gas, a trace of oxygen in argon gas for bubbling process would be a cause to oxidize Ti-ULC steel. Since argon is scarcely purified due to limitation for applying field operation, the oxygen as impurity in argon may contribute to generate the liquid oxides by oxidizing Ti-ULC steel. In the present study, both thermodynamic consideration and experimental validation were carried out focusing on chemical reaction between liquid steel and argon gas which has different oxygen potential. The result showed that unpurified argon gas oxidize Ti-ULC steels and form the liquid oxide. On the other hand, purified argon gas hardly oxidized Ti-ULC steel. From this study, argon bubble contacting inner wall of nozzle may be a path to aggravate nozzle clogging by forming liquid oxide which can be act as binder for frozen steel adhesion.

[P2-17]

B2/L2₁구조의 계층적 석출상으로 강화된 페라이트 합금 개발: 박강현, 정윤종, 김경식, 홍순직, 송기안*; 공주대학교 신소재공학부.

Keywords: Ferritic alloys, Creep, Precipitation

전형적인 내열 페라이트계 합금의 경우 고용강화, 혹은 나노 크기의 탄화물이나 질화물 석출상으로 강화되어 있어, 열적 불안정성으로 인해 약 900K 정도의 제한적 온도에서만 사용되는 단점을 나타내어, 증기터빈과 같은 높은 효율을 내기 위한 온도, 압력 환경을 견디는 재료의 기준을 충족시키지 못하고 있다. 최근, 이러한 단일 석출상으로 강화된 페라이트 합금에 비해 뛰어난 크리프 물성을 나타내는 계층적 석출상으로 강화된 합금이 개발되어 많은 주목을 받고 있다. 현재 개발된 계층적 석출상으로 강화된 페라이트계 합금은 B2-NiAl과 L2₁-Ni₂TiAl 상으로 이루어진 석출상을 포함하는 페라이트 기지 구조로, Ni, Al, Ti의 양을 조절하는 방식으로 생성상의 분율 및 형상을 조절하여 개발되었다. 본 연구에서는, 다양한 B2/L2₁ 구조를 가지는 상을 형성 가능한 원소들을 첨가

하여, 계층적 석출상의 형성을 확인하고자 한다. 구체적으로, 소량의 Hf, Ta, Zr, 등의 원소를 첨가하고, 광학현미경, 주사전자현미경, X-선 회절 등을 활용하여 미세조직의 변화를 관찰하고자 한다.

*교신저자: gasong@kongju.ac.kr

[P2-18]

내화-내진 구조용강의 Mo, Nb, Ti 첨가에 따른 미세조직 및 저주기 피로특성에 미치는 영향: 싯점호¹, 문준오², 이창훈², 홍현욱*¹; ¹창원대학교 신소재공학부, ²재료연구소 철강재료연구실

Keywords: Seismic resistance, Fire resistance, Bainite, Precipitates, Low Cycle Fatigue

최근 국내에서 강진을 포함한 지진 발생률이 증가하면서, 신축 건물의 구조용강 내진 특성이 요구되고 있다. 특히, 지진에 의한 건축물 붕괴가 화재로 이어지면서 내화 특성 또한 요구된다. 국내의 경우 내진강에 대한 연구를 통한 우수한 특성의 내진강을 보유하고 있지만 내화형강에 대한 연구개발이 매우 부족한 실정이다. 본 연구에서는 내화-내진 특성을 동시에 보유하는 고성능 H 형강을 개발하기 위해 Mo, Nb, Ti 첨가에 따른 미세조직의 변화 및 내화-내진 성능을 반영하는 기계적 특성들에 미치는 영향을 분석·비교하였다. 본 연구에서의 소재는 0.065C-0.1Si-1.28Mn-0.32Mn을 기본 성분계로 하고 있으며 진공용해 및 열간압연을 통해 제조된 세강재(A: 0.3Mo-0.03Ti-0.021Nb, B: 0.1Mo-0.07Ti-0.001Nb, C: 0.2Mo-0.1Ti-0.001Nb)의 인장시험, 열노출, 상온 저주기 피로 및 미세조직을 분석했다. 상온인장시험은 24°C에서, 고온인장시험은 600°C에서 시행했다. 상온인장시험 결과 페라이트 분율이 95.5%인 C강재의 항복강도(642 MPa)와 인장강도(839 MPa)가 베이나이트 분율이 약 90%인 A강재의 항복강도(507 MPa)와 인장강도(644 MPa)보다 높게 나타났다. 항복비 또한 C강재가 0.77로 더 낮게 나타났다. 그러나 고온인장시험 결과, C강재의 YS at 600°C/YS at RT가 매우 크게 감소(40%)했고, 연신율 또한 매우 크게 감소(30.7→22.5%)하였다. 이와는 달리, A강재의 경우 YS at 600°C/YS at RT는 가장 적게 감소(26%)하였고, 연신율은 오히려 증가(26.7→30.3%)했다. 이는 상온에서 Ti, Nb 함량이 높은 C강재의 페라이트 결정립 내 미세 석출물에 의한 석출강화효과 및 저항복비 효과가 우수하나, 600°C의 고온에서는 석출물에 의한 강화효과는 급격히 떨어지며, 베이나이트 조직에 의한 고온강도 유지가 더 유리하다는 것을 의미한다. 상온 대비 고온항복강도가 낮을수록 내화특성이 취약하므로, 베이나이트 분율이 지배적인 A강재가 상온대비 고온항복강도의 감소가 가장 적은 것을 보아 베이나이트 조직이 내화특성을 보유하는데 탁월한 미세조직으로 판단된다. 또, 베이나이트 분율이 가장 높은 A강재를 600°C/1000시간 노출하고, OM관찰 결과 베이나이트 조직은 무너지지 않고 잘 유지되고 있는 것을 확인했다. A강재와 C강재에 대해 저주기 피로 시험 결과 A강재는 베이나이트 조직으로 구성되어 있어 초기 전위 밀도가 매우 높은 상태여서 Cycle이 진행됨에 따라 전위들의 상호작용으로 인한 회복 등이 발생하여 Cyclic Softening이 나타났고, C강재는 주로 페라이트 상이므로 Cycle이 진행될수록 강화가 일어나 Cycle Hardening이 일어나는 것으로 판단된다. 일반적으로 연신율이 높은 재료일수록 피로수명이 길게 나타나는 것으로 알려져 있지만, 상온에서 A강재의 저주기 피로 수명이 C강재보다 우수하게 나타났다. 이는 베이나이트 분율이 많을수록 저주기 피로 수명이 증가한다고 판단할 수 있다.

[P2-19]

압력용기강의 미세조직 및 경도에 미치는 템퍼링 온도의 영향: 이현욱¹, 이훈¹, 강의구², 권용재¹, 이정구¹, 신상용¹; ¹울산대학교 공대 첨단소재공학부, ²현대제철 R&D Center

Keywords: Pressure vessel steels, Cooling condition, Heat treatment, Microstructure

최근 에너지 산업에서 사용되는 대형 구조물이 증가함에 따라 압력용기강도 기준에 비해 더욱 높은 기계적 특성이 요구된다. 이러한 우수한 강도와 인성을 갖는 압력용기강의 개발을 위해서 합금원소와 제조공정을 제어하여 미세조직을 최적화하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 하지만, 강도의 향상을 위해서 합금원소를 변화하는 방법은 용접성과 인성을 저하시키는 문제점이 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 중탄소강은 QT(Quenching and Tempering) 열처리를 실시하여 우수한 강도와 인성을 갖는 템퍼드 마르텐사이트를 형성하는 연구가 주로 이루어지고 있다. 연속 QT 열처리 방법은 생산성이 높으나, 짧은 시간에 소재를 중심 부까지 충분히 가열 및 유지 시켜야 하기 때문에 높은 오스테나이트화 온도를 필요로 한다. 오스테나이트화 이후 템퍼드 마르텐사이트를 확보하기 위해 급랭 시 빠른 냉각속도가 요구되며, 템퍼링 온도 및 시간에 따라서 세멘타이트의 조대화 및 탄소와 철 원소의 확산이 결정되어, 결국 우수한 연성과 인성을 확보하게 된다. 본 연구에서는 0.25 wt% 탄소를 갖는 중탄소강을 밀라토미터를 통해 다양한 냉각속도(10, 20, 25, 30, 35°C/s)에서 열처리를 진행하였다. 그 중 우수한 미세조직 및 경도를 가지는 조건을 60mmt 시생 산재에 적용하고, 625-675°C의 템퍼링 온도별 미세조직과 경도를 측정하여 현장에 적용 가능한 냉각속도 및 템퍼링 온도를 조사하였다. 시편은 광학 및 주사전자현미경을 통해 미세조직을 분석하고 비커스 경도를 측정하여 상관관계를 분석하였다. 본 연구는 현대제철의 연구과제로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

[P2-20]

FCAW를 적용한 해양플랜트용 후판강의 두께 위치별 미세조직과 충격인성의 상관관계: 이훈¹, 이현욱¹, 김종철², 조성규², 최동기³, 권용재¹, 이정구¹, 신상용¹; ¹울산대학교 공대 첨단소재공학부, ²현대제철 R&D Center, ³하이드로웨이스트

Keywords: Steels, Microstructure, Impact test, Heat affected zone

최근 심해저 및 극지에서의 자원개발이 늘어남에 따라 해양플랜트의 수요도 늘고 있다. 해양플랜트는 극한 환경에서 사용되기 때문에, 높은 강도와 인성이 요구된다. 후판강은 용접의 과정을 거치면서 다양한 열영향을 받게 되고, 이로 인해 미세조직이 변하여 기계적 특성이 저하될 수 있다. 특히, 후판강은 두께가 두꺼워서 HAZ 미세조직이 두께 위치에 따라서 다양하게 형성된다. 더욱 우수한 기계적 특성을 갖는 후판강의 개발을 위해서는 최근 개발된 두꺼운 후판강에 대한 실용점이 적용된 연구자료가 많이 요구된다. 하지

만, 기존의 연구는 100 mm 이상의 두꺼운 후판강에 실용접을 적용하여 미세조직과 기계적 특성을 연구한 자료가 아직은 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 100 mm 두께의 후판강을 FCAW(Flux Cored Arc Welding) 방법으로 용접하여 두께 위치별 미세조직과 충격 인성을 조사하였다. 용접한 후판강의 1/4t와 1/2t 위치에서 HAZ 미세조직을 광학현미경, 주사전자현미경, EBSD(Electron Backscatter Diffraction)를 이용하여 분석했다. 충격 인성을 평가하기 위해 -60°C에서 샤르피 충격 시험을 하여, 파면을 주사전자현미경으로 관찰하고, 파단면을 광학현미경으로 분석했다. 이 결과를 통해 HAZ 미세조직과 충격 인성의 상관관계를 규명하였다. Acknowledgements: 본 연구는 한국산업기술평가관리원의 ‘극한환경용 ICE 내충돌, 고인성 해양플랜트 강재 및 적용 기술 개발’의 과제 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

[P2-21]

DDT를 이용한 SiO₂와 CaO-SiO₂ 슬래그의 Wetting 및 Spreading 특성 연구: 유채연, 정용석; 한국산업기술대학교 신소재공학과
 Keywords: Wetting, Spreading rate, Contact angle, Kinetics

이 연구에서는 SiO₂(s)와 CaO-SiO₂ Slag(l) 사이의 용해도 차이에 의한 접촉 및 퍼짐특성을 연구하고자 한다. 슬래그는 접촉특성을 알아보기 위해 포화/비포화 조성으로 제조하였다. 기판은 β-Quartz Single crystal을 사용하였고 실험은 DDT(Dispensed Drop Technique)와 초고속카메라(1000frames/s)를 이용하여 1580°C에서 진행하였다. 용융된 포화/비포화 슬래그를 SiO₂ (Cristobalite) 기판에 떨어뜨려 초기 접촉특성을 관찰하였고, droplet이 기판에 닿아 접촉각이 생기는 순간을 t=0으로 두었다. 결론적으로 SiO₂ 포화 슬래그의 최종 접촉각이 비포화 슬래그보다 컸다. 또한, 포화/비포화 슬래그의 Spreading rate를 측정하고 driving force에 대한 해석을 실시하였다.

[P2-22]

Beam Blank 표면 연성 증대를 위한 연주 냉각 기술 연구: 박태은, 정훈제, 표영석, 김영환, 김정민; 동국대학교 중앙기술연구소
 Keywords: Beam blank, 연속주조, 결정립미세화, 표면품질, 고온연성

빔블랭크(Beam Blank)의 경우, 형강제품 제조시 중간 단계에 있는 반제품으로서, 압연 전단계인 연속주조 단계에서부터 반제품의 단면이 형강재 압연에 유리하도록 Near Net-shape 방식으로 제조된 형상이다. 이러한, 형상으로 인해 빔블랭크는 슬라브(Slab) 및 블룸(Bloom)과 같은 폭방향으로 균일한 두께를 가지는 반제품에 비해 복잡한 표면 균열민감도를 가지게 되며, 이로 인한 연주공정에서의 균일 냉각 제어등의 적정 조업조건의 도출이 소재 표면에 작용하는 열응력 및 기계적 응력을 저감하기 위해 필요 한 현실이다. 강의 냉각과정 중에 발생하는 균열 발생 기구는 크게 두 가지로 분류가 가능하다. 먼저 만곡형 연주기에서 생산된 소재가 수평으로 퍼지는 교정(Unbending)부에서의 소재에 작용하는 기계적 응력에 의한 표면 결함은 대표적으로 주조방향에 수직으로 발생하는 폭방향 표면 크랙이 있으며, 냉각과정 중 소재 부위별 냉각편차로 인해 발생한 소재 온도 편차에 의한 표면 결함이 있다. 이렇듯, 소재 표면 온도가 균일하지 못하게 되면, 응고 수축에 의한 압축응력과 복열에 의한 소재 팽창에 기인한 인장응력이 불안정하게 발생하게 되고 이로 인해 소재 표면의 균열을 유발하게 되어 소재 표면에 다양한 균열을 형성하게 된다. 따라서, 기존에 많은 연구 결과에서 보이듯, 강의 연속주조 공정에서 1, 2차 냉각 특성을 개선하여 주편의 표면 및 내부 품질을 향상할 경우 조업성을 개선 가능할 것으로 판단된다. 현재는 다양한 빔 블랭크의 품질개선 연구를 통해, 종크랙 및 횡크랙에 기인한 형강재 표면의 대형결함 발생률은 많은 개선이 있었으나, 이러한 품질개선 연구에도 불구하고 형강재 웹(Web)부에 발생하는 작은 사이즈의 미세 결함은 여전히 품질문제로 제기되고 있다. 이에 소재 품질 주요인자 중, 위치별 열응력 최소화 기술을 특정 사이즈에서 발생하는 결함을 해소하는 방식에 집중하여 연구를 진행하고자 하였다. 본 연구에서는 빔 블랭크 표면결함과 형강재 표면결함의 상관성 연구와 더불어 형강재 Web부 결함 개선의 방안을 모색하고, 적절한 냉각방안 도출 및 효과를 검증하는 연구를 수행하기 위하여, 제품과 반제품 결함위치의 상관성 분석을 진행하였고, 반제품의 2차 냉각수량 변화에 따른 내/외부 품질의 변화를 분석하여 냉각능의 개선방향을 수립하고자 Beam blank 연주 2차 냉각부 비수량을 변화하여 그 영향을 분석하였다.

[P2-23]

Effect of Post-Weld Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of High-Mn Austenitic Steels Using SAW Process: Minha Park, Gwangyoon Kim, Moon Seok Kang, Geon-Woo Park, Hyoung-Chan Kim, Hyoung-Seok Moon, Jong Bae Jeon, Byung Jun Kim; Korea Institute of Industrial Technology.

Keywords: High-Mn austenitic steels, SAW (Submerged Arc Welding), PWHT (Post Weld Heat Treatment), Microstructure, HAZ (Heat affected Zone)

Generally, materials with FCC structure such as the austenitic stainless steels, 9% Ni-steels, Aland Ti alloy are widely used for cryogenic fields because of its good mechanical properties at low temperature. However, these materials have disadvantages, such as costly plate or welding consumables, low design strength, welding difficulties, and others. Recently, high-Mn Austenitic steels containing over 24 wt% of Mn made by POSCO in Korea have newly developed for cryogenic applications. In order to apply to the cryogenic industry of high-Mn steel, a welding process such as SAW (Submerged arc welding) and other things are required to produce pipes and containers. After a SAW process, there are some problems of degradation mechanical properties such as heterogeneous microstructure and decreasing of toughness in Heat Affected Zone (HAZ) and Weld Zone (WZ). Although studies on the microstructure and mechanical properties of high-Mn steels have been recently conducted, there is little research on evaluation of mechanical properties by a SAW process. In this study, we tried to improve the mechanical properties of welded high-Mn steels using the Post Weld Heat Treatment (PWHT). The PWHT of high-Mn austenitic steel was carried out at temperatures of 800°C, 900°C and 1000°C, and

followed by water quenching. The mechanical properties after the PWHT are investigated strength and impact toughness by tensile test and Charpy impact test. It was found that the HAZ exhibited very coarse grains around the fusion line. The absorbed energy of base metal is higher than that of weld metal after the PWHT. Also, the correlation between microstructure and mechanical properties was investigated through the optical microscopy (OM) and scanning electron microscope (SEM).

[P2-24]

Effect of Heat Treatment on Strength and Impact Toughness of Cold Worked High-Mn Austenitic Steels: Minha Park, Gwangyoon Kim, Moon Seok Kang, Geon-Woo Park, Hyoung-Chan Kim, Hyoung-Soek Moon, Jong Bae Jeon, Byung Jun Kim; *Korea Institute of Industrial Technology*.

Keywords: High-Mn austenitic steels, Cold working, Annealing, Grain refinement, Toughness, Heat treatment

High-Mn austenitic steels have been recently developed for storage or transportation application of liquefied natural gas(LNG) in cryogenic fields. Especially, it should have good mechanical properties such as high strength and toughness for applying to cryogenic fields because material characteristics are usually degraded and became brittle at low temperatures. These steels have attracted attention as a structural material in the cryogenic industry. In case of high-Mn steels, it is well known that strength is increased by twinning deformation during the cold-working process. However, negative effects may occur due to the embrittlement of heavy deformed twin and anisotropic properties after a cold-working process. To solve these problems, impact toughness for high-Mn austenitic steels can be effectively improved by recrystallization through appropriate annealing. The mechanical properties such as strength and impact toughness were investigated by tensile and Charpy impact test. The relationship between strength and impact toughness was determined by microstructure analysis such as recrystallization and grain refinement. The elongation and impact toughness of annealed specimens above 900°C were improved compared with the as-received specimen. The cold worked high-Mn steel was completely recrystallized at 1000°C and had a homogeneous micro-structure with fine grains.

[P2-25]

저항복비 내화H형강의 고온항복강도에 미치는 합금성분의 영향: 최우남, 김길수; *동국제강 중앙기술연구소*

Keywords: Fire Resistant Steel, Mechanical property at high temperature, H-BEAM, Heating load Test

강구조는 재료적 특성이 다른 구조재료와 달리 강도와 인성이 우수하고, 공장 제작 및 현장 조립에 따른 현장 작업의 간편, 공사 기간의 단축 등에 의한 경제성으로 인하여 건축물의 고층화, 대형화에 가장 적당한 재료로 현대 건축물에 가장 많이 이용되고 있다. 하지만 화재 발생 시 열에 의해 강도가 낮아져 건축물 내력이 저하하는 단점을 가지고 있어, 이로 인해 화재로 인한 붕괴를 막기 위하여 강구조의 온도가 일정한 시간 내에 특정한 온도 이상으로 상승하지 못하도록 내화피복으로 철골을 보호하는 것이 건축기준법에 규정되어 있다. 그러나 내화피복을 두껍게 하면 건축물의 시공비와 시공 공기가 늘어나게 되므로 공사비 저감, 공기단축, 실 면적 유효 이용의 관점에서 내화피복 경감이 강구조 사용에 있어서 중요한 사안이다. 일반적인 건축용 강재는 350°C에서 항복강도가 상온 규격의 2/3 이하로 감소하여 구조 부재에 요구되는 내력이 미달되어 법정 내화 시간 내 350°C에 도달하지 못하도록 두꺼운 내화피복을 해야 하지만, 내화강재는 600°C까지 항복강도가 상온규격치의 2/3 이상이 되어 강재 온도가 600°C까지 증가하여도 붕괴하지 않는 것이 특징이다. 이에 본 연구는 내진 특성인 저항복비와 우수한 고온항복강도를 가지는 조성을 탐색하였으며, 이러한 합금조성이 미세조직, 석출물, 강도에 미치는 영향에 대해 상관관계를 파악하였다. 설정된 조성은 진공 용해를 통해 잉곳을 제작하여 열간압연을 모사한 Pilot 압연기를 통해 실제 공정 조건과 동일하게 열간압연을 실시하여 미세조직 및 상온, 고온 강도를 분석하였다. 또한 이 중 최적의 합금성분계로 H형강을 제작하여 실제 재하 실험을 통해 실구조물에서 기존의 구조용 H형강과 비교를 통해 고온 능력 향상에 대해 파악하였다.

[P2-26]

FeMnAlC계 경량철강 주조합금의 시효 열처리 및 Si 첨가에 의한 κ -Carbide 석출 거동 및 원자단위적 슬립모드 해석: 김치원¹, Mathieu Turner¹, 이재현¹, 문준오², 장재훈², 박성준², 이봉호³, 홍현욱*¹; ¹창원대학교 신소재공학부, ²재료연구소 철강재료연구실, ³대구경북과학기술원.

Keywords: Lightweight steel, 3D atom probe tomography, Shearing, Orowan bypassing, APB Energy

본 연구에서는 산업용 수송기 및 육군 기동 무기체계 경량화를 위해 설계한 FeMnAlC 계 주조합금의 기계적 특성 및 변형기구에 대해 고찰하고자 하였다. 대부분의 연구가 단조 처리된 합금에 대해 집중되어 있으며, 주조합금에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 다양하고 복잡한 분야에 대한 적용성을 고려하여 주조합금에 대해 연구하였다. 합금원소 30 wt% Mn과 1 wt% C로 상온에서 austenite 기지를 안정화하여 우수한 기계적 특성을 확보하고, 경량 합금원소 Al을 약 9 wt% 첨가하여 기존 철강 대비 약 15% 이상 경량화 하는 것이 핵심이다. 또한, 용탕의 유동성을 개선하고 재료의 용점을 낮춘다고 알려진 Si을 약 1 wt% 첨가하여 주조성을 개선하고자 하였다. FeMnAlC계 합금은 석출경화형으로, 시효처리 시 규칙격자 fcc인 L₁'₂ 구조를 갖는 κ -carbide의 석출로부터 경화되는 것이 핵심이다. Si 첨가 시 열처리 초기단계에서 경화가 가속화 되어 기계적 특성에 영향을 미치므로, 기계적 특성의 변화와 이로부터 기인되는 변형거동에 대해 연구하였다. 용체화 처리된 경우 인장 변형 시 전위들의 planar glide에 의한 전위밀도 증가로 microband가 형성되었으며, Si 첨가에 따른 변형거동 변화는 나타나지 않았다. 한편, 시효 열처리한 경우 인장 변형 시, 기지와 정합관계를 갖는 κ -carbide에 의해 전위의 활주가 제한되어 국부적으로 나타나며, 이는 shearing 변형기구에 기인한다고 판단된다. Si이 첨가된 경우 초기의 κ -carbide 석출 가속화 되었으며 이후 Si이 첨가되지 않은 경우와 유사한 경향을 보이며 경화 효과가 나타난다. 3D-Atom Probe Tomography를 통한 원자적 관점에서의 관찰 결과, 시효 열처리 시 Si은 austenite 기지와 κ -carbide 사

이의 계면 부근에 집중되고, C는 κ -carbide 내부에 partitioning 되었다. Si첨가로부터 시효 열처리 시 κ -carbide에 C의 partitioning 계수가 2.3에서 5.3으로 증가되어 κ -carbide의 격자상수가 증가하고, 이로부터 coherency strain field가 증가하게 되는 것으로 판단 된다. 또한, κ -carbide 내부의 C농도 증가는 shearing 발생 시 unfavorable Al-C bonding과 Anti-Phase-Boundary(APB) Energy의 증가를 초래하여 전위가 κ -carbide를 shearing하는 slip activity가 현격하게 저하하는 것으로 예측하였다. 제일원리 계산결과, κ -carbide내에 C 원자가 존재할 경우, shearing에 요구되는 에너지가 약 515 mJ/m^2 더 증가함을 확인하였다. 한편, 본 연구와 달리 전위가 κ -carbide의 분포 및 형상에 따라 shearing이 아닌 Orowan bypassing 변형기구가 우선적으로 나타난다는 연구가 보고된 바 있다. 따라서 이러한 차이에 대해 이론적 배경에 기반하여 κ -carbide와 전위의 상관성에 대해 고찰하고자 하였다.

[P2-27]

전기로 슬래그의 탈린 효율에 미치는 CaF_2 첨가의 영향: 오민교, 박주현; *한양대학교*

Keywords: Electric arc furnace (EAF) slag, CaF_2 , Dephosphorization, Basicity, Direct reduced iron (DRI)

최근 대기 환경오염 문제를 극복하거나 고급 스크랩을 대체할 균일한 조성을 갖는 대체 철원 개발이 이뤄지고 있다. 직접환원철(DRI)과 같은 대체 철원은 CO_2 배출에 기인한 대기 환경오염을 줄일 수 있는 장점에도 불구하고, 대체 철원 내 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O 등의 맥석 성분이 포함되어 있어 슬래그의 염기도 감소를 야기한다. 슬래그의 염기도는 탈린능을 결정하는 중요한 열역학 인자이므로, 대체 철원 투입에 따른 탈린 효율 저하를 해결할 필요가 있다. 물론, 염기도 보상을 위해 생석회 투입량을 증가시킬 수도 있으나, 이 경우 슬래그 볼륨 증가로 인한 전력 원단위 상승이 예상된다. 따라서 슬래그의 볼륨 증가를 최소화하고 맥석으로 인해 감소한 탈린 효율을 증가시키기 위한 슬래그 설계가 필수적이다. 본 연구에서는 고주파 유도로를 활용하여 $\text{CaO-SiO}_2\text{-FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-MnO-xCaF}_2$ ($\text{C/S}=1.0\text{-}1.4$, $x=0\text{-}10\text{wt}\%$) 슬래그(60g)와 Fe-0.1C-0.1P-0.05S (wt%) 용강(600g) 평형반응을 관찰하였다. 실험 중 일정한 시간에 맞춰 (3, 5, 10, 15, 30, 60min) 용강과 슬래그 시료를 채취하여 염수에 급랭한 후, XRF, C/S, N/O, ICP 분석기 등을 활용하여 성분을 분석하였다. 실험 결과, 맥석으로 인해 감소한 탈린 효율은 소량의 CaF_2 의 첨가로 적절하게 보상됨을 확인하였으며, CaF_2 의 첨가로 인한 슬래그의 열역학적 특성 변화를 고찰함으로써 슬래그/용강의 탈린 거동을 규명하였다.

[P2-28]

오스테나이트계 Hadfield 강/마르텐사이트계 HPF강 Multi-Layer Steel의 입계 파괴 형상: 김세원¹, 조민철¹, 박재영², 정혁재³, 송태진⁴, 김형섭¹, 김낙준¹, 이성학¹; ¹포항공과대학교 ²한국표준과학연구원 ³항공재료연구센터 ⁴POSCO.

Keywords: Hadfield steel, HPF steel, Multi layer steel, 입계 파괴

오스테나이트계 Hadfield 강(고망간강)은 우수한 인장 강도와 연성을 가지며 가공 경화가 잘 일어나지만, 항복 강도가 상대적으로 낮다는 단점이 있다(400-500MPa). 이를 향상시키기 위해 Hadfield 강과 Hot-press-forming(HPF) 강을 열간 압연으로 접합하여 Multi-layer steel(MLS)으로 제작하였다. Hadfield 강(탄소 함량 1.2%)은 HPF 강(탄소 함량 0.23-0.35%)에 비해 상대적으로 탄소의 양이 많기 때문에 탄소 확산에 의하여 접합 부분에 가탄층과 탈탄층이 형성된다. Hadfield 층과 HPF 층 모두에서 높은 잔류 응력이 발생할 뿐만 아니라 Prior-austenite 입계에서 Cr_7C_3 탄화물이 석출되고 탄소 편석이 생기며, 이로 인하여 입계 파괴가 발생하기 때문에 MLS 인장 시험 시 소성 변형 없이 항복 직후에 파괴가 발생한다. 잔류 응력을 없애면서 입계의 탄화물은 유지하기 위해 473K(200°C)에서 템퍼링을 진행한 결과 인장 성질이 향상되고 rule of mixtures도 만족한다.

[P2-29]

쇼트피닝 공정 처리에 따른 기어 피로강도 및 내구성 향상에 관한 연구: 황재찬, 최병호, 최진욱, 권혁빈, 김홍민; *현대트랜시스*

Keywords: Shot Peening, Shot Blast, Fatigue Test, Hardness, S-N Curve

쇼트피닝 처리 조건에 따른 기어 피로강도 평가를 통해 쇼트피닝 공정 최적화 조건을 도출하고, 피로강도 및 내구성을 요구하는 변속기용 기어 적용 방안을 연구하고자 한다.

[P2-30]

오스테나이트 스테인리스강의 수소취성에 대한 초기 집합조직 영향: 조형준, 노한섭, 김성준; *포항공과대학교철강대학원*

최근 친환경적인 에너지 대체재로 수소 에너지가 주목받음에 따라 수소 환경 내에서의 연신을 감소에 따른 인성 저하를 방지하고자 수소 확산속도가 느린 오스테나이트 스테인리스강(STS)이 주로 사용되고 있다. 본 연구에서는 안정한 오스테나이트 STS강의 집합조직에 따른 수소취성 차이를 알아보려고 한다. 이를 위해 18Cr-10Ni-2Cu 오스테나이트 STS강에 30% 냉간압연과 30% 인장실험을 각기 실시하였고 서로 다른 초기 집합조직을 만들었다. 30% 냉연재와 30% 인장재는 각각 Goss, Brass와 Cube, Brass & Copper 집합조직이 발달하였다. 위 시편들을 전기화학적 방법을 이용해 내부에 수소를 장입하고, 저속 인장시험을 통해 수소취성을 평가하였다. 그 결과, 변형 전과 후 장입된 수소량이 동일함에도 불구하고 30% 냉연재가 30% 인장재에 비해 높은 수소취성을 나타냈다. 파단면의 크랙 발달 양상을 관찰한 결과, 30% 냉연재와 30% 인장재에서 각각 Brass와 Copper에서 주로 크랙이 발생함을 확인하였다. Nano-indentation 시험을 통해 집합조직별 경도값을 측정하였고, 서로 다른 경향성이 나타남을 확인할 수 있었다. 이를 통해 초기 집합조직 발달이 수소 장입 후 크랙의 발생과 전파에 차이를 만들고 수소취성 차이를 만든 주요 원인으로 생각된다.

[P2-31]

Effect of Heat Treatments on Microstructure and Mechanical Properties of a Fe-6.5Mn-0.08C Medium-Mn Steel: Sang-In Lee, Seung-Wan Lee, Young-Chul Yoon, Byoungchul Hwang; *Seoul National University of Science and Technology*.

Recently, research on medium-Mn steels has been actively conducted in order to use in various applications such as automobiles and energy storage at cryogenic temperature. The medium-Mn steels having a manganese content between 3-12 wt% can obtain various phase-like microstructure constituents and phases, and their microstructural factors of phase fraction, morphology, size and stability are changed by varying alloy elements and heat treatment conditions. In particular, a wide variety of microstructure configurations can be formed depending on the heat treatment conditions such as quenching (Q), quenching-tempering (Q-T) and intercritically annealing (IA), which leading to the change in tensile and impact properties. On the other hand, the medium-Mn steels have newly received a lot of attention as a promising material for cryogenic applications due to their excellent mechanical properties combining high strength and ductile as well as good low-temperature toughness. However, studies on medium-Mn steels to replace materials for low-temperature applications have been reported by a few researchers on limited microstructures. In this study, therefore, Fe-6.5Mn-0.08C medium-Mn steel specimens with different microstructures were fabricated by varying heat treatment conditions, and then tensile and impact tests were carried out to investigate the correlation between microstructure and mechanical properties of the medium-Mn steels for cryogenic applications.

[P2-32]

Fe-Cr-Ni 합금의 고온 황화부식 특성 연구: 김민정¹, 이경환², 황상연³; ¹성균관대학교 ²신성대학교 ³고등기술연구원

기후변화에 의한 폭염, 폭우, 한파, 미세먼지 등의 자연재난 발생 가능성이 지속적으로 증가되고 있어 국민의 생명, 삶의 질이 위협받음에 따라 이를 해결할 수 있는 친환경 신재생에너지 발전기술의 중요성이 강조되고 있다. 석탄가스화복합화력발전은 석탄을 친환경적으로 발전시킬 수 있는 기술로 석탄을 고온/고압의 분위기에서 산소, 수증기와 함께 반응시켜 합성가스를 생산하고, 이를 연료로 가스터빈과 증기터빈을 구동하는 복합발전 시스템으로 기존 석탄화력발전에 비해 공해 배출이 적지만 효율이 높은 장점을 가지고 있다. 하지만 기존 화력발전 보다 더 열악한 분위기에서 발전됨에 따라 CO, H₂, CH₄, CO₂, H₂O, H₂S 등의 복잡한 합성가스가 발생된다. 특히 H₂S는 Fe와 반응하여 비양론적인 화합물을 만들고 일반적으로 산화분위기보다 10-100배 정도 빠른 부식이 발생되도록 부식거동을 촉진시킨다. 그로인해 기존 화력발전 설비에 사용하던 부품 소재를 석탄가스화복합화력발전에 적용하기에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 발전설비 적용 후보 소재인 Fe-Cr-Ni 합금을 고온 N₂/H₂S/H₂O 분위기에서 20-100시간동안 가속시험하여 부식거동을 살펴보고자 한다.

Acknowledgements: 본 연구는 2016년도 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2016R1A2B1013169)입니다.

P3 : 제21회 피로 및 파괴 심포지엄

Room 전시장 III, 4월 25일

[P3-1] Canceled

열간성형이 밀소둔된 Ti-6Al-4V 합금의 인장 및 피로 거동에 미치는 영향: 김수민¹, 박상후¹, 신현석¹, 김동민¹, 권용남², 김상식¹; ¹경상대학교 ²재료연구소

Keywords: Ti-6Al-4V alloy, Hot forming, Tensile properties, S-N fatigue, Fatigue crack propagation

Ti-6Al-4V(Ti64) 합금은 우수한 비강도와 내부식성으로 항공용 소재로 널리 사용되고 있다. 최근 항공기 부품이 복잡하고 다양한 형상을 요구함에 따라 Ti64 합금의 판금 성형에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Ti64 합금은 상온에서 hcp 구조로 제한된 슬립계를 가져 상온 성형성이 매우 낮기 때문에 주로 고온에서 성형되는데, 이러한 열간성형은 소재의 인장 및 피로 거동에 영향을 미칠 수 있다. 일반적으로 금속은 성형공정을 거치게 되면 강도 및 고주기피로 특성이 향상되는 반면 슬립가역성(slip reversibility) 감소로 인해 낮은 피로균열전파 특성을 나타낸다. 따라서 본 연구에서는 Ti64 판재와 열간성형시 동일한 온도에서 노출 시간을 달리 한 열간성형품에서 시편을 제작하여 인장, 고주기피로 및 피로균열전파 특성을 평가하고, 시험된 시편의 표면, 파면 및 균열 경로(crack path)를 관찰하여 열간성형이 Ti64 합금의 인장 및 피로거동에 미치는 영향을 고찰하였다.

[P3-2]

인공 해수 환경에서 Fe-18Mn강의 응력부식균열 거동에 미치는 Cr과 N 첨가의 영향: 최희수¹, 안수진¹, 김광수¹, 김소영¹, 김성준², 김상식¹; ¹경상대학교 ²포항공과대학교 철강대학원

Keywords: 인공해수, 응력부식균열, 고망간강, Cr, N

우수한 인장강도와 연신율의 조합을 가지는 고망간강은 조선 및 해양구조용 소재로서 활발히 연구개발되어 상용화에 이르고 있다. 이러한 고망간강의 해수 환경에서 더욱 안전한 사용을 위해서는 높은 응력부식균열에 대한 저항성이 요구된다. 본 연구에서는 부식 저항성을 증가시키는 대표적인 합금 원소인 Cr과 N의 함량을 달리한 두 고망간 강재(Fe-18Mn-3Cr-0.1N, Fe-19Mn-19Cr-0.6N)에 대하여 인공 해수 환경에서의 응력부식균열 거동을 저속인장시험법을 이용하여 관찰하였다. Cr과 N이 응력부식균열 저항성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 인가 전위와 변형률 속도를 달리하여 시험한 후 파면과 표면을 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다. 두 강재 모두 해수 환경에서 입계를 따라 응력부식균열 현상이 관찰되었으며, Cr과 N 첨가 효과는 인가 전위 등에 따라 다른 양상을 나타내었다. 저속인장 시험한 시편의 표면 및 파면 관찰, 각 강재의 전기화학적 특성 및 면밀한 미세조직 관찰을 통해 인공 해수 환경에서 Fe-18Mn강의 응력부식균열 거동에 미치는 Cr과 N의 영향을 고찰하였다.

[P3-3]

고망간강의 FCAW 및 SAW 용접부 미세조직이 극저온 파괴인성에 미치는 영향: 박찬구, 이관호, 김상식, 성효경; 경상대학교

Keywords: High-Mn steels, J-integral fracture toughness, Cryogenic temperature, Welding

최근 기존의 스테인레스강을 대체하여 경제성이 우수한 고망간강을 극저온 LNG 저장 탱크용 소재로 사용하고자 하는 연구가 많이 진행되고 있다. 이 때 용접 공정이 필수적이며 용접 방법 및 극저온에서의 용접열영향부(heat affected zone, HAZ)의 파괴 인성에 대한 데이터가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 고망간강을 FCAW 및 SAW로 용접하여 25 °C 와 -196 °C에서 파괴인성 값을 측정하고, 미세조직 및 파면 분석을 통하여 극저온에서 용접부의 특성에 대해 고찰하고자 하였다. 시편을 용접부(weld metal, WM) 및 HAZ 시편으로 나누어 CT(compact tension)시편을 제작하였으며, 모재금속(base metal, BM), WM 및 HAZ의 미세조직을 관찰하고 파괴인성과의 상관관계를 분석하였다. 미세조직 관찰 결과 BM과 HAZ에서 결정립 내 어닐링 쌍정이 발달된 오스테나이트 단상이 관찰되었고, WM에서는 주상정 결정립이 관찰되었다. 인장 및 파괴 인성 시험은 25 °C 와 -196 °C에서 진행하였으며 각 기계적 특성에 대한 금속학적 고찰을 실시하였다. 또한 파면 관찰을 통하여 온도에 따른 SZW(stretch zone width)와 파괴 인성간의 상관관계를 확인하였다.

[P3-4]

고경도강의 미세조직 이방성이 응력부식균열 특성에 미치는 영향: 안우진¹, 이관호¹, 손진일², 함진희³, 박태원³, 김상식¹, 성효경¹; ¹경상대학교 ²앤티디아(주). ³국방과학연구소

Keywords: High hardness steel, Stress corrosion cracking, Tempered martensite, Slow strain test

고경도강은 외부적 요인에 의하여 고경도강의 방식시스템의 손상이 발생할 수 있고, 이로 인해 국부적인 공식 부식이 발생할 수 있다. 또한 소재에 잔류응력이나 사용환경 중 발생하는 인장 하중으로 인하여 응력부식균열(SCC, stress corrosion cracking)은 이방성의 영향을 받기 때문에 고경도강의 내식성을 향상시키고자 하는 연구가 필수적이다. 본 연구에서는 고경도강을 95%의 압하율로 압연하고 L 및 T 방향의 미세조직을 분석하고 분극전위(E_{corr}) 대비 ± 0.1 V 조건에서 10^{-6} s 변형률 속도로 저속 인장 시험을 실시하여 응력부식균열 저항성을 평가하였다. EBSD 분석을 통하여 tempered martensite 조직을 lath, block, packet 으로 분류하고 방향에 따른 부식 특성에 대한 미세조직적 인자를 고찰하였다. 저속인장 시험 중 방식조건($E_{\text{corr}} - 0.1$ V)에서의 강도는 대기 환경과 비슷하였으나, 연신율이 감소하였다. 또한 부식조건($E_{\text{corr}} + 0.1$ V)에서의 저속 인장 시험은 대기 시험과 비교하여 강도와 연신율이 큰 폭으로 감소하였다. 주사전자현미경을 이용하여 파면을 정량적으로 분석하고 고경도강의 SCC 저항성에 미치는 환경적 영향을 분석하였으며, 미세조직과의 상관관계를 고찰하였다.

P4 : 생체재료

Room 전시장 III, 4월 25일

[P4-1]

나노초 레이저 공정을 통한 생체 모사액 내 마그네슘의 하이드록시 아파타이트 코팅 기술 개발: 박재호¹, 엄승훈¹, 정가영¹, 김유찬¹, 옥명렬¹, 석현광¹, 선정운², 전호정¹; ¹한국과학기술연구원(KIST), ²서울대학교

Keywords: 마그네슘, 레이저 표면 코팅, 하이드록시 아파타이트, 부식속도 개선

마그네슘 합금은 골과 유사한 기계적 물성을 갖고 있으며 이식 후 골 형성 촉진과 동시에 인체 내에서 분해되기 때문에, 2차 수술이 필요한 비활성 금속에 비해 정형외과용 재료로서 각광받고 있다. 그러나 마그네슘 합금의 부식속도는 염화 화합물이 풍부한 체액에서 가속화되고, 특히 부식 초기에 발생하는 급격한 수소기체 및 pH 변화는 과도한 염증 반응 및 주변 조직의 섬유화를 유발한다는 문제가 있었다. 따라서 마그네슘 합금의 초기 부식속도를 제어하기 위하여 다양한 코팅 연구들이 진행되고 있지만, 공정이 복잡하고 효과적인 부식 저해 방법이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 골의 무기질 성분으로 생체 적합성과 골유착 형성이 우수하며 부식 저항성이 높은 것으로 알려져 있는 하이드록시 아파타이트 (Hydroxyapatite, HAp)를 이용한 코팅 연구를 진행하였다. 이를 위해, 생체 모사액으로 Ca와 PO₄를 함유한 Hanks' balanced salt solution (HBSS) 안에서의 나노초 레이저를 이용한 공정으로, HAp 형성과 동시에 코팅이 이루어지도록 하는 코팅 기술을 개발하였다. 이는 기존의 보통 수 일이 소요되는 HAp 코팅시간을, 레이저를 이용한 surface heating을 통하여 수 분으로 단축 시킬 수 있었다. 또한 생체 모사액의 Ca과 PO₄의 이온 농도를 조절하고 레이저 조건에 따라 마그네슘 표면에 HAp가 표면에 석출되어 코팅되는 양의 차이를 SEM을 통한 성분분석으로 확인할 수 있었다. 이후 전기부식 평가를 통해 HAp 코팅층이 마그네슘 표면에 균일하고 강한 결합력을 갖고 코팅됨에 따라 부식 저항성도 향상됨을 보였다. 향후, 이러한 용액 내 레이저 코팅 공정은 마그네슘 임플란트의 목적에 맞는 부식 제어에 적용될 뿐만 아니라 다양한 합금에도 활용될 것이라 예상된다.

[P4-2]

Effect of Graphene Oxide by Plasma on Biocompatibility of Biomaterials: Alam Khurshed, Sharif Hamza, Hoonsung Cho; 전남대학교 공대 신소재공학부

Keywords: Titanium, Graphene Oxide, Raman spectroscopy, X-ray photoelectron spectroscopy, Alizarin Red S staining and osteoblast cell.

Titanium based biomaterials have intrinsic biocompatibility, but still need surface treatment is to enhance cell-material interaction. Surface modifications were performed through atmospheric plasma treatment and deposition of graphene oxide. Graphene oxide is deposited on the surface of both titanium and zirconia using mass flow rate controller attached with atmospheric plasma. It is a cost optimized procedure because graphene oxide is deposited without generation of vacuum and temperature rise. Quality of graphene oxide film is demonstrated by Raman spectroscopy and X-ray photoelectron spectroscopy depth profiling. Biocompatibility of graphene oxide-deposited on titanium is evaluated by MTT assay to demonstrate cytotoxicity and Alizarin Red S staining to compare cell differentiation. Before the deposition of graphene oxide, we did some atmospheric plasma treatment without carbon source, to remove any contaminants. In Raman spectroscopy result positions of D and G peaks show that graphene oxide is formed and can compare with the graphene peaks. It is confirmed by Raman spectroscopy that graphene oxide was not affected by distill water while taking Raman result of the same sample before and after treatment with distilled water. In vitro test, using MTT assay and Alizarin Red S staining graphene oxide layer didn't show cytotoxicity but enhancing osteoblast cell differentiation

[P4-3]

Biocompatibility of DED-manufactured Ti porous coating (on CoCr substrate): 반훈열¹, 곽태양¹, 서한솔², 허연범¹, 박종철³, 임도형¹; ¹세종대학교 기계공학과, ²삼성서울병원, ³연세대학교

Keywords: Additive manufacturing (AM), Direct energy deposition (DED), Porous coating, Biocompatibility.

For manufacture of Ti porous coating on CoCr implant body, additive manufacturing(AM) is recently in the spotlight as a method to overcome the limitations of the conventional technologies such as plasma titanium coating (TPS). To be specific, direct metal deposition (DED) has been shown to provide improved porosity and resistance to delamination. However, the biocompatibility needs to be more sufficiently studied. In this study, we manufactured Ti porous coating on CoCr substrate using DED and examined the toxicity and osteogenic effect. For in-vitro experiment, proliferation and ALP activity of human osteoblasts were evaluated after seeding and cultivation on the specimen surface. For in-vivo experiment, inflammation and osteointegration were evaluated after implantation of specimen in mouse or rabbit. As a comparative group, non-coated specimens were also prepared and underwent the same experiments.

[P4-4]

Effect of a Cell-Penetrating Peptides Conjugated Fluorescent Dye for Photodynamic Therapy: 서진희, Raveendran Athira, Hoonsung Cho; 전남대학교 공대 신소재공학부

Keywords: Photodynamic therapy, Bioconjugation. Protamine, Fluorescent dye, Cancer therapy

The Photodynamic therapy (PDT) is a promising alternative therapy that could be used adjunct to chemotherapy and surgery for curing cancer causing tissue destruction by visible light in the presence of a photosensitizer (PS) and oxygen. The high arginine peptides like the cell-penetrating peptide have membrane translocating and nuclear localizing activities that have led to their use in a wide range of drug delivery applications. Protamine is a high arginine peptide with membrane translocating and nuclear localizing properties. The aim of this paper is to achieve a new approach to the next generation of the photosensitizer by conjugation of CPPs (Cell-penetrating peptides) to a typical fluorescent dye. Conjugation of CPPs to the dye makes it localized to a localized spot of the cell by endocytosis and the localized conjugates generates ROS enough to induce cell damages. We experienced cancer therapy with photodynamic effect using conjugated CPPs. Photodynamic therapy led to total forms of cell death for instance apoptosis, necrosis and autophagy. The cells were dead by different mechanism to approach cell death. The coupling reaction of Methylene Blue (MB), ZW-800, Rhodamine and clinical protamine (Pro) was performed to synthesis the PS. The reaction between clinical protamine (Pro) an NHS ester of dyes is a solution phase reaction with the complete modification of the protamine peptides which feature a single reactive amine at the N-terminal and single carboxyl group at the C-terminal. Photodynamic cell death studies show that the new types of PS has more efficient photodynamic activities than each material alone, causing rapid light induced cell death.

P5 : 타이타늄

Room 전시장 III, 4월 25일

[P5-1]

수소분위기에서 Ca-CaCl₂을 이용한 TiO₂ 환원 및 Ti분말 제조: 박성훈, 이소영, 김영준, 손호상; 경북대학교 신소재공학부
 Keywords: Titanium dioxide, Hydrogen, Calciothermic reduction, Calcium Chloride, Titanium powder

Ca은 β-Ti에 대하여 매우 낮은 용해도를 갖고 있으며, Ti에 비해 열역학적으로 매우 안정한 산화물을 형성하기 때문에 타이타늄 제련의 환원제로서 활용하기 위한 많은 연구가 진행되어왔다. 그러나, Ti의 칼슘열환원법에서는 부산물로 생성되는 CaO가 Ti 내에 불순물로 작용하여 수천ppm의 산소함량을 갖게 하는 문제점이 있으며, 이는 CaO를 용해할 수 있는 플럭스를 첨가함으로써 해결할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 CaO가 약 20 mol% 용해가능한 CaCl₂ 플럭스 및 Ca를 사용하여 수소분위기에서의 TiO₂ 환원 및 Ti분말 제조에 대하여 연구하였다. 실험에는 시약급 TiO₂ 및 Ca granular, CaCl₂ anhydrous를 사용하였고, 칭량한 후 혼합하여 steel제 도가니에 장입하였으며, 이를 고주파유도로 내에 위치한 후 설정온도까지 Ar분위기에서 승온하였다. 설정온도에 도달한 후 반응기 내에 수소 가스를 공급하였으며 반응이 종료된 후 상온까지 냉각시키고 시료를 회수하였다. 회수된 시료 중 부산물들은 산세 및 수세를 통해 제거하였으며, 이후 NO분석 및 XRD, SEM-EDS 분석을 수행하였다.

[P5-2]

합성 루타일의 Cl₂ + CO 혼합가스에 의한 TiCl₄ 제조: 홍성민, 김영준, 이소영, 박성훈, 손호상; 경북대학교 신소재공학부
 Keywords: Synthetic rutile, Titanium tetrachloride, Conversion rate, Chlorination, Gas-solid reaction

TiCl₄는 안료로 사용되는 고순도 TiO₂ 또는 금속 타이타늄을 생산하기 위한 주원료이며, 타이타늄 광석인 천연 루타일 및 일메나이트의 염화공정에 의해 제조된다. 일메나이트의 경우 TiCl₄의 원료로 사용된다면, 불순물(주로 Fe) 제거를 통해 합성루타일로 제조되어야 한다. 선택염화에 의해 제조된 합성루타일은 많은 기공을 형성하고 있으며, 이러한 기공이 반응성 향상에 기여할 것이라고 많은 선행 연구자에 의해 보고되었다. 본 연구에서는 일메나이트의 선택염화를 통해 제조한 다공성 합성 루타일을 사용하여 TiCl₄를 만들고, 합성 루타일의 염화반응 속도에 미치는 반응 온도와 시간, 가스 유량의 영향에 대해 검토하였다. Ar 가스 분위기에서 승온이 완료된 유동층 반응기 내에 합성루타일 10 g을 장입하였다. 이후 Cl₂ + CO 혼합가스를 취입하여 실험조건에 따라 반응 시킨 후 Ar 가스 분위기에서 냉각시켰다. 반응 후 잔사의 무게를 측정하고, XRF분석을 통해 TiCl₄ 전환율을 계산하였다. 또한 X-선 회절 분석 및 SEM 관찰을 수행하였다. 반응온도가 증가할수록 TiO₂ 염화반응속도는 증가하는 경향을 보였으며, 이를 Arrhenius 식에 대입하여 활성화 에너지를 구하였으며, 90.148 kJ/mol로 계산되었다. 염화반응의 속도론적 해석을 위해 율속단계를 검토한 결과 화학반응 율속으로 판단된다. 또한 시간의 경과에 따른 표면 형상 분석 결과, 반응이 진행됨에 따라 더욱 큰 기공이 형성되는 것을 관찰하였으며, 이러한 기공들이 반응계면을 크게 만들어 염화반응속도에 영향을 미친 것으로 사료된다.

[P5-3]

수소 분위기에서 TiCl₄의 마그네슘-열환원법에 의한 TiH₂ 분말제조: 김영준, 박성훈, 이소영, 홍성민, 손호상; 경북대학교
 Keywords: Hydrogen, Magnesium, Reduction, Titanium tetrachloride, Titanium hydride

금속 Ti 분말을 생산하는 상용화 공정에는 Kroll Process에 의해 제조된 스펀지 Ti를 HDH(Hydrogenation-dehydrogenation)에 의해 생산하는 방법이 있다. 이러한 두 단계의 공정을 개량한 분말 제조법으로 TiCl₄로부터 직접 TiH₂ 스펀지를 생성시킨 후, 파쇄하는 공정을 고려하였다. 이에 본 연구에서는 TiH₂ 스펀지를 생성하기 위해 수소 분위기에서 TiCl₄의 마그네슘-열환원법에 대해 연구하였으며, 파쇄를 통한 TiH₂ 분말 제조 공정에 대해 검토하였다. 먼저 스틸 도가니를 넣은 스테인리스스틸 챔버를 전기로 내에 위치한 후, 내부를 진공배기 하고 650-750°C로 승온하였다. 승온이 완료된 후에 TiCl₄ 공급과 동시에 H₂를 200-500 cm³/min 유량으로 2-4시간 동안 송입하였다. 반응 종료 후 상온까지 냉각된 스틸 도가니 내부의 생성물을 DI water와 0.5 M HCl을 이용해 수세 및 산세를 진행하여 부산물을 제거하고, 유발에서 파쇄하였다. 이 후 결과물을 X-선 회절 분석과, N/O 분석, SEM 이미지 관찰, PSA 입도 분석을 수행하였다. 실험 후 생성된 물질은 스틸 도가니 내벽으로부터 중앙으로 성장 한 것을 확인할 수 있었다. 또한 X-선 회절 분석 결과 TiH_{1.924}(JCPDS #25-0982)상이 확인되었으며 N/O 분석 결과 산소 함량은 0.58%로 나타났다.

[P5-4]

TiCl₄ 제조를 위한 유동층 반응기 내 Gas Distributor 설계 및 CPF D Simulation을 통한 Hydrodynamic Characteristics 연구: 이미선, 김진영, 정은진; 포항산업과학연구원

Keywords: Fluidized bed reactor, Ilmenite, Chlorination, Gas distributor, Computational Particle-Fluid Dynamics

본 연구에서는 Titanium tetrachloride(TiCl₄)를 제조하기 위하여 환원제로 사용되는 cokes 및 염화분위기 하에 일메나이트 내 iron oxide의 선택적 염화반응을 위한 공정설계를 진행하고자 하였다. fluidized bed reactor 내 gas distributor type을 파악하여 각 설계조건에 따른 유동층 내 흐름 특성을 파악하였다. 유동층 내 particle과 fluid의 특성 파악을 위해서 CPF D(Computational Particle-Fluid Dynamics)인 Barracuda를 이용하였으며, CPF D model은 Multiphase Particle-In-Cell (MP-PIC) method를 사용하였다. Simulation의 조건은 염화반응 공정 조건(reaction temperature 1173 K, pressure 1 atm, superficial velocity 0.03 m/s)을 고려하였다. 재료 (ilmenite ore, cokes)는 Geldart B group에 속하여 유동이 쉽게 일어나며 simulation 시 입자 크기 분포를 반영하

였다. Gas distributor는 nozzle의 직경과 수, 그리고 배열을 다르게 한 4가지 case에 대하여 해석하였으며, simulation을 통해 particle과 fluid hydrodynamics를 해석함으로써 분산관 종류에 따른 particle과 bubble 각각의 내부 흐름 특성을 파악할 수 있었다. 그 결과 nozzle의 configuration에 따라 particle과 bubble의 이동경로가 다양하게 바뀔 수 있으며, 조건별 pitch와 배열을 선택하여 장입물의 반응모사 거동을 파악할 수 있었다.

[P5-5]

선택 염화반응을 통해 제조된 합성 루타일의 비표면적 및 기공 특성에 관한 연구: 김진영, 이미선, 정은진; 포항산업과학연구원
 Keywords: Ilmenite, Selective chlorination, Porosity, BET, Transmission electron microscopy

티타늄 원광석 중 하나인 일메나이트의 경우 광석 내에 다량의 철 산화물을 불순물로 함유하고 있어 티타늄 생산 공정 시 선택적으로 철 산화물을 제거하는 과정이 필수적이다. 이 때, 선택염화반응 과정 중에 광석 내부의 철 산화물이 선택적으로 제거되면서 생성된 공간으로 인하여 다공성 구조를 형성한다는 사실이 다양한 선행 연구를 통해 알려져 있다. 본 연구에서는 일메나이트 광석의 선택 염화반응 중에 형성되는 다공성 구조에 대한 분석을 진행하기 위해 유동층 반응기를 사용하여 일메나이트의 선택 염화반응을 실시하였다. 반응시간에 따른 철 산화물의 염화물화를 검토하였으며 40분간 선택염화 시 초기 대비 약 96.5%의 철 산화물이 제거되었다. 형성된 기공의 미세구조 분석을 위해 SEM을 사용한 표면관찰 결과 치밀한 표면을 갖는 원광석 일메나이트와 달리, 염화반응된 일메나이트 광석의 표면은 다공성 구조를 이루는 것으로 확인되었다. 염화반응 전, 후의 내부 기공 및 비표면적 특성 분석을 위해 BET 방법을 사용하였다. 반응 전 광석의 경우 100 nm 이하의 미세 기공의 비율이 높았으며 이로 인해 높은 비표면적 수치를 나타낸 반면, 반응 후의 경우 100 nm - 200 nm 범위의 기공이 대다수였으며, 상대적으로 낮은 비표면적을 갖는 것을 확인할 수 있었다. BET 분석 결과를 토대로 실제 미세구조 분석을 위해 TEM을 활용하여 고배율로 단면관찰을 실시하였으며 기공 분포 분석 결과와 유사한 경향을 나타내는 것을 확인하였다.

[P5-6]

Ti-Al-Fe계 타이타늄 잉고트 제조방법에 따른 조성 균질성과 미세조직 비교: 박상현¹, 백승원¹, 하민철¹, 문승호¹, 최재영¹, 박찬희², 염중택²; ¹(주)한국진공야금, ²재료연구소

Keywords: 타이타늄 용해, 진공아크용해, 플라즈마용해, 용해기술

타이타늄합금은 낮은 내식성과 낮은 밀도, 불활성 및 생체 적합성때문에 우주 항공, 자동차 및 해양산업과 정형 외과 및 치과에서의 바이오 의료용 재료까지 광범위하게 쓰이고 있으며 수요도 폭발적으로 증가하는 추세이다. 타이타늄 잉고트를 제조 시 가장 전통적이면서도 경제성이 있는 용해방법으로는 진공아크용해(VAR) 기술이며 전세계 타이타늄 잉고트 생산량 중 약 75%가 VAR 잉고트가 차지하고 있다. 그리고 타이타늄 잉고트를 제조의 다른 방법 중 하나로 플라즈마 아크 용해(PAM) 기술이 있으며 타이타늄 스크랩 등을 이용하여 용이하게 잉고트로 제조할 수 있다는 점이 VAR에 비해서 유리하지만 플라즈마 가스(Ar, He) 가 소모되어 제작 비용이 높아 지는 문제점이 있다. 항공기나 우주선 및 생체재료 같은 안전성이 중요시되는 시스템에 주로 사용되는 타이타늄의 경우 소재 시험평가와 품질인증이 매우 중요한 요소 중의 하나이다. 특히 용해 및 주조시 잉고트의 기계적 성질을 좌우하는 주요인자인 고비중 합금의 편석, 경량합금 원소의 증발에 의한 성분편석 등 합금원소의 불균질 분포가 제품의 품질에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 대표적인 타이타늄 용해방법인 VAR과 플라즈마용해법으로 Ti-Al-Fe계 타이타늄합금을 용해하여 위치에 따른 조성편차와 미세조직차이를 분석 및 평가하여 제품의 품질 신뢰성을 확보하고자 한다.

[P5-7]

Ti 스크랩 전처리 및 용해를 통한 Ti-30Fe 잉곳 제작: 유수환, 채지광, 오정민, 임재원; 전북대학교 신소재공학부

Keywords: TiFe, Ti scraps, Degreasing, Deoxidizer, Arc melting

타이타늄 및 타이타늄 합금은 강도가 뛰어나고 비중이 낮은데다가 내식성이 뛰어나다. 이러한 특성때문에 타이타늄 합금은 우주항공 소재부터 자동차, 자전거, 안경, 임플란트 등 폭넓은 분야에 사용되고있다. 하지만 타이타늄이 가진 난가공성 때문에 가공시 다량의 스크랩이 발생되고 있다. 이러한 스크랩을 재활용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 그 일환으로 제강공정 중 탈산제로 사용되는 타이타늄 탈산제가 있다. 규격은 ASTM B grade 이상이 요구된다. 본 논문에서는 철삭유가 다량 함유된 Ti 스크랩을 사용하였다. 철삭유의 영향을 보기 위해 전처리로 세척을 실시하였다. NaOH 용매 내에서 피로인산나트륨(Tetra Sodium PyroPhosphate)을 변수로 하여 용액을 제조한 후에 초음파세척을 10분 진행한 후 수세하였다. 세척된 스크랩은 진공오븐에서 70°C, 2시간동안 건조하였다. 준비된 Ti 스크랩 14g과 6g의 전해철을 Ar 분위기에서 아크용해하여 20g의 Ti-30Fe 잉곳을 제조하였다. 철삭유의 유무에 따른 제조된 잉곳의 영향을 보기 위해 XRD, OM, SEM, 가스분석, 탄소분석을 실시하였다.

[P5-8]

수소 첨가 열처리를 이용한 Ti-6Al-4V 합금의 결정립 미세화 및 기계적 특성 향상: 조계훈, 오정민, 임재원; 전북대학교 신소재공학부

Keywords: Ti-6Al-4V, Hydrogen, Heat treatment, Transformation, Grain refinement

일반적으로 수소는 타이타늄 내에 고용될 시 수소 취성을 발생시킨다. 그러나 고용된 수소는 진공열처리를 이용해 쉽게 제거할 수 있다. 이를 이용해 수소를 일시적인 첨가원소로 이용한 연구들이 진행되어 왔다. 본 연구에서는 수소를 일시적인 첨가원소로 사용하여 Ti-6Al-4V 합금의 상변화에 따른 결정립 미세화를 통한 기계적 특성 향상을 조사하였다. 열처리 실험은 Ti-6Al-4V 합금을 이용하였고 먼저 1050°C, 진공에서 30분 동안 어닐링을 하였다. 이후 800°C, 1000°C Ar 분위기에서 2시간 동안 열처리를 하였다. 이 때, 2시간의 열처리 시간을 40분씩 3단계로 구분하였다. 1단계에서는 Ar 분위기에서 열평형을 이루었고, 2단계에서는 Ar분위기에 각

각 0%, 25%, 50% 수소를 추가로 주입하였다. 마지막으로 3단계에서는 다시 Ar 분위기로 탈수소를 진행하였다. 잔존되어있는 수소를 제거하기 위해 700°C 진공 분위기에서 2시간 동안 추가로 탈수소를 진행하였다. 열처리 후 잔류 수소를 가스분석을 통해 확인하였다. XRD 분석 결과 새로운 상은 발견되지 않았으며, OM을 이용하여 미세조직을 관찰하여 결정립 미세화를 확인하였다. 기계적 특성의 향상을 확인하기 위해 인장 및 경도시험을 진행하였고, SEM을 이용하여 파단면을 분석하였다. 수소 첨가 열처리에 의한 Ti-6Al-4V 합금의 항복강도, 인장강도, 경도가 증가하였고 연신율 또한 다소 증가함을 확인하였다.

[P5-9]

스팀 세척을 이용한 Ti 스크랩의 전처리 및 페로-타이타늄 합금 제조: 채지광, 유수환, 오정민, 임재원; 전북대학교 신소재공학부
 Keywords: Titanium, Steam cleaning, Ferro-Titnaium

타이타늄은 높은 비강도와 뛰어난 내식성으로 점점 사용처가 많아지고 있으며 이로 인해 가공 중 혹은 사용 후 타이타늄 스크랩의 발생도 늘어나고 있다. 이러한 타이타늄 스크랩은 외국에 값싼 값에 수출되어 다시 잉곳으로 비싸게 수입되고 있는 실정이다. 이것은 국내에 타이타늄 스크랩 전처리 공정 등 재활용 기술이 미흡하기 때문이다. 이를 재활용하기 위해서는 질삭유 등 잔존 불순물을 제거해야 하고, 또한 이러한 스크랩을 용해하여 잉곳으로 활용하는 공정 기술 역시 확보해야한다. 본 실험에서는 스팀 세척 시스템을 활용하여 타이타늄 터닝 스크랩에 잔존하는 기름과 불순물들을 제거하였다. 그리고 스팀 세척 전후 영향을 알아보기 위해 산소/질소 분석기, ICP 등을 활용하여 불순물 함량을 조사하였다. 그리고 세척된 타이타늄 스크랩을 활용하여 고온 용해법으로 페로-타이타늄 합금을 제조하고 용해 전후 잔여 불순물에 따른 페로-타이타늄 합금의 불순물 함량 변화를 알아보았다. 이를 통해서 최종적으로 ASTM 규격 Grade B에 해당하는 페로-타이타늄 합금을 제조하고자 하였다.

[P5-10]

Influence of Strain Rates on the Deformation Behaviour in Ti-6Al-4V at Cryogenic Temperature: 지민기¹, 이민수¹, 현용택², 전태성¹; ¹인천대학교 기계공학과, ²재료연구소

Keywords: Ti-6Al-4V, Cryogenic, Microstructure, Deformation twinning, EBSD

In machining, it is rather difficult to apply Ti-6Al-4V due to its short tool life. The main concerns in machining are high temperature and rapid tool wear even though processing conditions are moderate. To improve the tool life cryogenic condition using liquid nitrogen as coolant has been proposed, which has resulted in extending the tool life up to ~five times [1]. In Ti-6Al-4V critical resolved shear stress of basal and prismatic slip is lower than that of twinning, so twinning is rarely found at room temperature [2]. Interestingly, under tensile loading at cryogenic temperature, twinning was found and yield/tensile strength was significantly increased [3-4]. However, deformation behaviour associated with unique microstructural features that favour the activation of twinning is still unclear. In the present study, we investigated the deformation behaviour in Ti-6Al-4V with respect to strain rates at cryogenic temperature. X-ray diffraction (XRD) was used to identify the initial crystallographic orientation of rolled Ti-6Al-4V. Tensile test were performed at cryogenic temperature using liquid nitrogen with variable strain rates (i.e., on the order 10^{-2} to 10^{-4} s⁻¹) and loading directions (i.e., parallel and perpendicular to the rolling direction). Deformation behaviour was observed through the specimens using optical microscope (OM) with polarised light and scanning electron microscope (SEM). Electron backscatter diffraction (EBSD) was used to identify the localised deformation and microstructural features. We will present deformation behaviour with various conditions and discuss the results in terms of microstructural evolution.

References

- [1] HONG, Shane Y. et al, International Journal of Machine Tools & Manufacture 41 (2001) 2245-2260
- [2] Williams, J. C. et al, Metallurgical and Materials Transactions A (2002) 837-850
- [3] Di lorio, S. et al, Acta Materialia 55 (2007) 105-118 [4] Singh, G et al, Materials Science and Engineering A 611 (2014) 45-57

[P5-11]

Ti-6Al-4V 합금의 Mill Annealing 온도에 따른 미세조직 및 경도에 대한 연구: 서성진¹, 권기훈¹, 최호준¹, 이기영², 정민수*¹; ¹한국생산기술연구원, ²(주)케이피씨엠

Keywords: Ti-6Al-4V, Mill annealing, Hardness, Microstructure, Grain size

Ti-6Al-4V 합금은 높은 비강도와 우수한 내식성을 가지고 있어 항공산업 등에 사용되고 있다. 최근 항공산업에서 항공기의 연비향상 및 친환경화 추세에 따라 복합재료 사용 비율이 크게 증가하고 있다. 이에 따른 갈바닉 부식억제 및 복합재료와의 열팽창계수 차이로 인해 나타나는 변형을 최소화 하기 위해 Ti 합금의 사용이 더욱 증대되고 있는 추세이다. 하지만 Ti 합금의 항공 부품 제작에 필요한 소재와 기술의 경우 수입에 의존하고 있어 국산화가 필요하다. 한편, Ti 합금을 이용한 부품 제작 시 원소재 상태 그대로 가공하기보다 Mill annealing 공정을 통해 시편 제작 시 형성된 잔류응력을 풀어주고, 연성, 기계가공성, 치수 및 구조적 안정성을 높인 후 가공한다. 이에 본 연구에서는 국내에서 제조된 Ti-6Al-4V 합금을 이용해 부품 가공 전 실시하는 Mill annealing 열처리의 최적 조건을 찾기 위해 675°C, 705°C, 735°C, 765°C, 795°C 에서 2시간동안 유지하고 공냉하였다. 이후 로크웰 경도계를 이용해 경도를 측정하였으며, OM을 이용해 경도값과 미세조직의 상관관계를 분석했다. 그 결과 온도가 증가함에 따라 결정립 크기는 감소하다 증가하였으며, 경도는 지속적으로 감소하였다.

[P5-12]

마찰교반 용접한 타이타늄 용접부의 미세조직 및 기계적 성질 변화: lee yongjae, 최안드레, 신세은, 이동근; *순천대학교신소재공학과*
Keywords: Titanium, Friction Stir Welding, Microstructure, Mechanical property, Digital Image Correlation

타이타늄 및 타이타늄 합금은 비강도가 높고 내식성이 우수하며 넓은 온도 범위에서 우수한 기계적 특성을 나타내어 다양한 산업 분야에 확대 적용되면서 용접 공정의 최적화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 적용되는 가스 텅스텐 아크 용접은 고온에서 진행되므로 타이타늄과 산소의 높은 친밀도로 급격하게 산화되어 용접부의 기계적 특성을 저하시킨다 또한 낮은 열전도성으로 인해 용접 후 제품의 수축 및 뒤틀림 등의 문제점을 야기한다. 이러한 단점을 극복하고자 고상접합 방법인 FSW (Friction Stir Welding) 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 순수 타이타늄을 판재 접합하였으며, 미세조직학적 특성변화를 평가 분석하였다. 또한 상온 인장 시험 및 DIC(Digital Image Correlation) 분석을 통해 변형분포, 균열 성장에 대한 인장특성을 평가했으며, 공정변수에 따른 미세조직 및 기계적 특성의 상관관계를 규명하고자 하였다.

[P5-13]

변형공정지도를 이용한 Beta21S 합금의 미세 조직 변화 해석 및 기계적 특성 평가: 박찬윤¹, 김정환¹, 양승용²; ¹한밭대학교 신소재 공학과, ²한국교육기술대학교 기계공학과

Keywords: Beta21S alloy, Analysis of Microstructural change, Mechanical Properties, Processing Map

Beta21S는 내식성과 고온에서의 강도 및 크립 저항성 등의 측면에서 현재 항공기 엔진의 노즐 부품에 적용되는 Inconel625 보다 뛰어난 특성을 갖기 때문에 항공기 엔진의 노즐 부품에 적용되고 있다. 본 연구는 항공기 산업의 발전에 따라 기존에 사용되는 제품에 비해 더 좋은 성능의 제품 공정 기술을 개발하여 국내에서의 사용 기반을 다지기 위한 연구이다. 본 실험에 사용된 합금은 Beta21S로 다른 합금들에 비해 품질이 우수하다고 판단되어 선택하였다. 잉고트를 제조한 후 각기 다른 온도와 변형률 속도에 의해 압축시험된 시편들의 미세조직 관찰을 통해 결정립 미세화 구간을 찾아내었다. 또한 인장시험과 압연시험 등 여러가지 실험들을 통해 합금의 기계적 특성을 파악하였고, 변형공정지도를 통해 에너지 효율(η)을 파악하였다.

[P5-14]

생체용 Ti-Zr-Nb-Sn-0.25O 합금의 형상기억특성: 박정빈¹, 차재호¹, 마봉진², 김재일¹; ¹동아대학교 공과대학 금속공학과, ²(주)현테크

Keywords: Shape memory alloy, 형상기억합금, 베타형 Ti-based 합금, 생체재료, Thermal treatment

최근 Ti에 β 안정화 원소인 Nb과 중성 원소이며 세포 독성이 낮은 Zr을 첨가한 Ti-Zr-Nb계 합금에서 우수한 형상기억특성이 나타나는 것으로 보고되어졌다. 또한 Sn을 제 4원소로 첨가한 4원계 합금에서 양호한 인장강도 및 변태변형률이 얻어졌다고 보고되었다. 하지만 낮은 항복강도가 단점으로 지적되었다. 이를 보완하기 위해 5원계 원소 첨가의 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 산소 첨가로 인한 슬립입계응력 증가는 초탄성 특성을 향상시키는 방법으로 보고되었다. 앞의 내용을 바탕으로 Ti-Zr-Nb-Sn-O 합금 조성을 설계하였다. 선행 연구에 의하면 0.50에서 1.00로 산소조성 증가에 따라 슬립입계응력은 증가함을 보였다. 그러나 산소 원소의 첨가는 형상기억특성인 변태변형률 감소 및 초탄성 특성의 감소를 보였다. 이는 α 안정화 원소인 산소조성의 증가로 불안정한 상분율을 가지고 있어 최대변태변형률 및 초탄성 특성이 저하되었다고 사료된다. 그러므로 본 연구에서는 0.25%(at.)의 산소를 첨가하여 항복강도 증가 및 우수한 초탄성 특성을 목적으로 하였다. Ti-Zr-Nb-Sn-O 합금을 Vacuum Arc Melting을 이용해 합금을 용해하여 Ingot을 제작 후 98% 냉간압연을 하였다. 각 시편을 1173K에서 1.8Ks 동안 용체화 처리 후 ?칭하였고 합금의 기계적 특성, 변태온도 및 형상기억특성을 평가하기 위해 인장시험을 수행하였다. 또한 열처리시 다양한 온도 범위에서 Annealing과 Aging Treatment에 대한 형상기억거동을 조사하였다.

[P5-15]

Superelasticity of Ti-7Zr-6Sn-3Mo Biomaterial Shape Memory Alloy Fiber: Bagus Dinda Erlangga, Yeon-wook Kim; *Keimyung University.*

Keywords: Superelasticity, Ti-based alloy fiber, melt-overflow, biomaterial

Ti-based alloys have been a great concern on biomaterial implant research due to their outstanding mechanical properties and good biocompatibility. Several new ternary and quaternary Ti-based alloys are much developing recently especially with Ni-free. In this study, a Ti-7Zr-6Sn-3Mo (at%) alloy as a porous material for bone implant application was experimented. This alloy fiber was made by arc melt-overflow method in highly pure argon atmosphere. The fibers afterwards were solution-treated at 1173o K for 30 minutes followed by ice water quenching. The austenite start transformation of fiber was about 293o K. Tensile tests were conducted by a dynamic mechanical analyser in the range temperature of 253-293o K. A tensile test result for the fiber showed 72.8% superelasticity at 253o K and 4% strain limit. The critical stress were found between 276-421 MPa. In addition, porous bulk with 75% porosity was prepared from this fiber by a vacuum sintering process. Interconnected fibers in the bulk material will have been exhibited by scanning electron microscopy.

[P5-16]

Shape Memory Characteristics of Ti-3Mo-5Zr-6.5Sn Biomaterial Alloy: Jinhyeok Son, Yeonji Kim, Yeon-wook Kim; *Keimyung University.*

Keywords: Superelasticity, Ti-Mo based alloy fiber, Rapid solidification, Biomaterial.

Shape memory alloys are known to exhibit shape memory effect and superelastic effect through reversible martensitic transformation. Recently, porous shape memory alloy have attracted great interest as low-weight materials with high energy dissipation properties. Biocompatible porous shape memory alloy exhibits high strength and low elastic modulus as a bone substitute and reduces stress shielding significantly. Furthermore, this porous materials can effectively induce bone growth in a porous body. In this study, we focus on the addition of neutral elements of Sn and Zr in Ti-alloy because it has been suggested that adding Sn and Zr to Ti-Mo alloys, which is a β -Ti alloy decreases the martensitic transformation temperature without decreasing the lattice deformation strain. The addition of Sn and Zr also decreases the martensitic transformation temperature. Adding 1 mol % Sn or Zr decreases the martensitic transformation start temperature (M_s) by 150 and 38 K, respectively. For the fabrication of bulk near-net-shape shape memory alloys and porous metallic biomaterial, Ti-3Mo-5Zr-6.5Sn shape memory alloy fibers were prepared by a melt overflow and square pillar-shaped sintered body with 75% porosity were produced by a vacuum sintering technology. DMA analysis was carried out to confirm the mechanical properties of the Ti-3Mo-5Zr-6.5Sn shape memory alloy fiber and DSC analysis was performed to determine the phase transformation temperature.

[P5-17]

Correlation Between the Thermal and Superelastic Behavior of $Ni_{50-x}Ti_{35}Zr_{15}Cu_x$ Shape Memory Alloys: 김우철¹, 김영성¹, 김정수¹, 김용주¹, 김원태², 김도향¹; ¹연세대학교 ²청주대학교

Keywords: Shape-memory alloys, Thermal properties, Martensitic transformation, Mechanical properties, Superelasticity

The alloying effect of Cu on thermal and mechanical behavior in $Ni_{50-x}Ti_{35}Zr_{15}Cu_x$ ($x=0, 3, 5, 10, 15$ at%) shape memory alloys has been systematically investigated in the present study. The addition of Cu changes the lattice parameters and expands the unit cell volume of B2 austenite and B19' martensite. With alloying Cu, the temperature for austenite \leftrightarrow martensite transformation tends to decrease, and the transformation from B2 austenite to B19' martensite occurs in a single step mode. The decrease of transformation temperature with alloying Cu is attributed to the chemical stabilization of B2 (destabilization B19') which is reflected by the decrease of the transformation enthalpy. The stabilization of B2 comes along with the increase of valence electron concentration and non-basal shear modulus resisting to transformation into B19'. While, the destabilization of B19' structure is represented by the increase of monoclinic angle. When compared to the ternary $Ni_{49.5}Ti_{50.5-x}Zr_x$ ($x=0, 3, 5, 10, 15, 18, 20$ at. %) and $Ni_{50-x}Ti_{50}Cu_x$ ($x=0, 2.5, 5, 7.5, 10$ at. %) alloys, the stabilization of B2 (destabilization B19') is more pronounced in the Ni-Ti-Zr-Cu alloys investigated in the present study. Due to the change of thermal and structural properties with alloying Cu, the temperature dependence of stress for inducing martensitic transformation gradually decreases and the superelastic window is enlarged. As a result, the superelastic recovery is enhanced with alloying Cu.

[P5-18]

Surface Micropatterning by Thermoplastic Forming of Ti-Zr-Ni-Cu Metallic Glass. 김용주¹, 최윤재¹, 김우철¹, 김영성¹, 김정수¹, 김원태², 김도향¹; ¹연세대학교 ²청주대학교

Keywords: Metallic glass, Surface micropatterning, Thermoplastic forming, Super cooled liquid region

In general, μ m to nm scale surface patterning can be performed by lithography and chemical or ion etching. But this process is complicated, and metallic materials cannot be applied for these processes. However bulk metallic glasses (BMG) can be easily adopted for μ m to nm scale patterning by thermo-plastic forming in the super-cooled liquid (SCL) state. Contrary to common metallic materials, metallic glasses have no grains and grain boundaries. Besides, the viscosity becomes remarkably lower in the SCL region. Therefore, metallic glasses can be thermo-plastically formed into μ m to nm scale products or complex geometries. Holographic patterns with enhanced aesthetic value can be obtained through well-ordered μ m to nm line patterning providing good diffraction properties. Up to now, most studies have been focused on compositions with wide SCL region ($\Delta T > 50$) and high glass forming ability (e.g., Zr-, Pd-, Pt-, Au- based metallic glasses). In this study, we demonstrate that optical gratings with $\sim 2\mu$ m line-width in $Ti_{35}Zr_{15}Ni_{35}Cu_{15}$ metallic glass can be fabricated by thermoplastic forming (TPF) in the SCL state. The Ti-Zr-Ni-Cu alloy has been selected, because it is recently considered as a precursor for superelastic alloy after crystallization. TPF was conducted in the SCL region under an argon atmosphere with antioxidant oil on the surface. The microstructural changes after surface micropatterning under various pressure/temperature conditions were investigated. The characteristics of the hologram were quantitatively analyzed by evaluating the shape and depth of the line pattern.

[P5-19]

실시간 전자현미경 관찰을 통한 γ -TiAl의 변형 메커니즘 분석: 김지연^{1,3}, 김종훈¹, 김재권¹, 이태구², 박은수³, 유승화², 김성웅¹, 김승연¹; ¹재료연구소 타이타늄연구실 ²카이스트 신소재공학과 ³서울대학교 재료공학부 신소재공동연구소

Keywords: γ -TiAl, Plastic deformation, Deformation mechanism, In-situ TEM, MD simulation

Ti-Al계 금속화합물 중 높은 비강도와 고온에서의 우수한 강성률, 내산화성과 크리프 저항성을 보유한 γ -TiAl은 고온구조용 재료로서 자동차, 우주, 항공 분야에서 각광을 받으며 다양한 연구가 진행되고 있다. 하지만, γ -TiAl은 복잡한 결정구조로 인해 소성변형이 제한됨으로써 취성 재료의 특성을 나타내기 때문에 부품 제조 과정과 실용화 단계에서 어려움을 겪고 있다. 이러한 기계적 특성을

개선하기 위한 합금 설계에는 γ -TiAl의 조성 변화에 따른 소성 변형 메커니즘에 대한 규명이 필수적이지만, 복잡한 결정구조로 인해 이에 대한 구체적인 연구가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 Al, Nb, Cr 함량을 제어하여 조성이 변화된 γ -TiAl의 변형 메커니즘을 실시간 투과 전자 현미경 (in-situ transmission electron microscope, TEM) 분석을 통하여 규명하고자 한다. 이에 앞서, γ -TiAl의 결정학적 인자를 기반으로 분자동역학 시뮬레이션(Molecular simulation, MD)을 진행하였다. 이를 통해, 적층결함 에너지(stacking fault energy)와 슈미트 인자 (schmid factor)의 조합을 바탕으로 각각의 하중 방향 (loading direction)에 대한 변형 메커니즘을 예측하였다. 예측 결과를 바탕으로 실시간 투과 전자 현미경 관찰을 진행하였고, 변형 메커니즘을 관찰함으로써 각 조성에서 우세한 γ -TiAl의 변형 메커니즘에 대해 분석하였다. 본 연구는 γ -TiAl의 변형 메커니즘을 예측하고 실험적으로 검증함으로써 구체적인 이론적 기초를 제공하여, 우수한 기계적 성질을 갖는 합금 설계의 가이드 라인으로서의 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

[P5-20]

Gamma TiAl 합금의 순환열처리 조건에 따른 미세조직 변화: 최진주, 박상환, 공만식; 고등기술연구원

Keywords: Titanium-Aluminide, Cyclic heat treatment, Grain refinement

Gamma TiAl 합금은 비강도가 높고 우수한 내산화 특성으로 인해 극한의 강도와 내식성이 요구되는 외장재나 구조용체 부품에 각광받고 있는 소재이다. 특히 완전층상조직(fully lamellar) 상태에서 파괴인성과 강도가 매우 우수하나 1% 미만의 연신 특성으로 인해 소성변형 및 후처리 공정이 어려운 실정이다. 이러한 gamma TiAl 합금의 상온 취성을 개선하기 위한 방안으로 본 연구에서는 순환열처리 공정을 적용하여 층상조직의 결정립 미세화에 대한 연구를 진행하였으며, 열처리 공정 변수에 따른 미세조직 변화를 관찰하였다. 이를 위해 PAM(Plasma Arc Melting)으로 제작된 Ti-46Al-Nb-Cr-Si 계 합금 2종에 대하여 α transus 온도를 기준으로 $\alpha \rightarrow \alpha + \gamma \rightarrow \alpha$ 영역 총 3단계로 순환열처리를 진행하였다. 각 단계에서 열처리 온도 및 유지시간을 변화시켜 공정 변수의 영향을 확인하였으며, 최종적으로 층상조직의 결정립 미세화 메커니즘에 대해 고찰하였다.

[P5-21]

Ce 첨가에 따른 TiAl 합금의 산화 거동 분석: 정윤오, 박지성, 이승훈; 경북대학교 신소재공학부 금속신소재공학전공

Keywords: Intermetallic compound, TiAl alloy, Ce addition, Microstructure, Oxidation behavior

최근 EU와 같은 국제사회에서 CO₂ 배출량에 대해 엄격하게 규제되고 있어 CO₂ 저감을 위한 경량재료에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 금속간화합물인 TiAl은 높은 강도와 경도 등의 우수한 기계적 성질과 고온강도, 고용점 등 고온재료로서 요구되는 특징들 외에도 Al 다량함유로 인한 경량화, 내산화성 등 내열재료로서 갖추어야 할 요건들을 가지고 있어 현재 상용화되고 있는 Ni 계 초내열합금의 대체재료로서 연구되고 있다. 비록 우수한 특성을 가지고 있으나 상온 취성이나 고온 특성 등의 문제로 합금원소 첨가나 공정제어를 통한 미세조직 제어 등의 추가적인 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 Cerium을 첨가하여 TiAl 합금의 내산화성 및 기계적 특성을 향상시키고 이에 따른 산화 메커니즘을 연구하고자 하였다. 먼저 아크 용해 주조법으로 Ce이 미량 첨가된 TiAl 모합금을 제작하였고 모합금을 가지고 시편을 제작하여 합금원소가 내산화성에 끼치는 영향을 확인하고자 하였다. 또한 비커스 경도를 측정하여 Ce의 첨가에 따라 변화한 합금의 미세구조와 기계적 특성의 상관관계를 연구하고자 하였다.

P6 : 융합재료
Room 전시장 III, 4월 25일

[P6-1]

Electrochemical Catalyst Employing Crystallized PEDOT:PSS-Pt Nanocomposites: 이다연, 윤명환; 광주과학기술원
Keywords: Electrochemical catalyst, Conducting polymer, Metal, PEDOT:PSS, Pt

Although poly(3,4-ethylenedioxythiophene): polystyrenesulfonate (PEDOT:PSS) electrodes has been intensively investigated as a component for water-related electrochemical catalysis, several critical issues such as their poor stability in aqueous environments and limited catalytic activities should be considered to realize electrochemical catalysts. In this study, we report PEDOT:PSS-Pt nanocomposite electrodes successfully impregnated with Pt nanoparticles into partially crystallized PEDOT: PSS film with high water stability, high electrochemically active surface area and high reactant permeability. PEDOT:PSS-Pt nanocomposite electrodes were prepared by in situ electroplating Pt nanoparticles within PEDOT:PSS nanofibrillar matrix. Furthermore, we also investigated the catalytic activities of PEDOT:PSS-Pt nanocomposites depending on Pt electroplating parameters and PEDOT:PSS ratio/crystallinity.

[P6-2]

전략적 원소 선택으로 설계된 Ti계의 기능성 산화물 특성 평가: 김태경, 박해진, 김영석, 문상철, 홍성환, 임기성, 박제형, 김기범; 세종대학교 공대 나노신소재공학부

Keywords: Hydrothermal Synthesis, Functional Oxide, Photo-electrolysis, Photo-electrode

최근 환경오염과 자원 고갈 등으로 인해 대체에너지가 주목받고 있으며, 그중에서도 물, 태양광과 소량의 전기만을 이용하여 수소를 생산할 수 있는 광전극 물 분해에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 그러나 기존의 광전극은 전도성 유리에 산화물을 증착시키는 형태로 개발되기 때문에 산화물/기판 간 접합성의 문제와, 다양한 산화물의 증착을 위해 여러 공정이 요구되는 문제가 야기된다. 이러한 단점을 극복하기 위해 전략적 원소 선택을 통해 광효율 향상을 목적으로 설계된 합금을 전극으로 사용하고자 하였다. 수열합성의 단일 공정으로 형성된 기능성 산화물들을 이용하여, 금속과 기능성 산화물들의 특성을 동시에 구현하는 방법을 제안하고자 한다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 산화력이 크며, 높은 화학적 안정성과 광효율 등의 장점을 갖고 있어, 광물분해 분야에서 여러 연구가 진행되고 있는 TiO₂를 기반으로, TiO₂와 접합 시 광에너지 흡수에 유리한 밴드 구조를 형성할 것으로 예상되는 산화물을 고려하여 첨가원소를 선택하였다. 또한, 균일한 조성 분포를 위해 Ti계 고용체 단상의 시편을 주조 후, 수열합성의 단일 공정을 통해 다중 기능성 산화물을 형성하였다. 최종적으로 시편의 결정구조와 첨가원소에 따라 형성되는 기능성 산화물들의 형상, 깊이방향 층별 조성의 변화와 이에 따른 광전기화학적 특성의 연관성을 확인하고자 연구를 수행하였다. 결정구조를 분석하기 위해 X선 회절 분석기를, 산화물의 형상 및 층별 깊이 분석을 위해 전계 방사형 주사전자현미경과 X선 광전자 분광기를 이용하였다. 또한, 광전기화학적 특성 평가를 위해 3전극 셀에 1Sun (100mA/cm²) 세기의 태양광 발생기를 이용하였다.

[P6-3]

Photoelectrochemical Nitrogen Reduction for Ammonia Synthesis on Ag Catalyst on Porous Silicon Under Ambient Conditions: HyunKyu Kim, Uk Sim; Chonnam National University.

Keywords: Photoelectrochemistry, Nitrogen Reduction, Ammonia Synthesis, Ag Catalyst, Porous Silicon

Ammonia is an essential resource for the growth of plants, and it plays a significant role in fertilizer production. The current industrial ammonia synthesis is using the Harber-Bosch process under high temperature and pressure. This process is energy intensive and produces lots of carbon footprint. Achieving a nitrogen reduction reaction under ambient conditions is a fairly important scientific challenge, and the development of a sustainable process would be highly desirable. In this study, Boron-doped crystalline p-type Silicon wafer is used. To modify the surface structure, we used a metal-catalyzed electrolysis method. In this method, Silicon is etched in the solution of 0.2M AgNO₃, 5M HF to induce galvanic displacement reaction on the surface. In the galvanic displacement reaction, reduction of Ag⁺ and oxidation of Si atom occur simultaneously. As a result, nanoporous-structured Si thrust with Ag particles on the surface is obtained. This sample is used as a cathode in nitrogen reduction reaction (NRR) experiment under PEC conditions. It is demonstrated that more cathodic current occurred in the condition of N₂ gas purging than that of Ar gas purging. This difference in current is ascribable to ammonia synthesis from N₂ gas. This finding will proceed to additional research about NRR in the synthetically modified surface structure.

References

- [1] Singh, A. R.; Rohr, B. A.; Schwalbe, J. A.; Cargnello, M.; Chan, K.; Jaramillo, T. F.; Chorkendorff, I.; Nørskov, J. K., Electrochemical Ammonia Synthesis—The Selectivity Challenge. ACS Catalysis 2017, 7 (1), 706-709.
- [2] Bao, D.; Zhang, Q.; Meng, F.-L.; Zhong, H.-X.; Shi, M.-M.; Zhang, Y.; Yan, J.-M.; Jiang, Q.; Zhang, X.-B., Electrochemical Reduction of N₂ under Ambient Conditions for Artificial N₂ Fixation and Renewable Energy Storage Using N₂/NH₃ Cycle. Advanced Materials 2017, 29 (3), 1604799.

[P6-4]

Excimer Lamp-Based Deep Ultraviolet Effects on the Rapid Crystallization of Indium Oxide Thin Films: Jun-Gyu Choi, Myung-Han Yoon; *Gwangju Institute of Science and Technology*.

Keywords: DUV photoactivation, Excimer lamp, Metal oxide crystallization

In this study, we have developed a rapid crystallization method at low-temperature for highly reliable crystalline metal oxide semiconductors by deep ultraviolet (DUV) photoactivation using excimer lamp (EL). Sol-gel derived indium oxide films were fabricated by spin-coating on n⁺⁺-Si/SiO₂ substrates and successfully exposed to excimer lamp (172 nm, 40 mW/cm²) under nitrogen for 5min. The resulting thin-film transistor (TFT) devices based on DUV treated indium oxide semiconductor at 200°C showed excellent electrical performance ($\mu\text{sat} \sim 10 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$) with low statistical distributions. It was confirmed through various physicochemical film analyses and characterizations that EL could give an efficient route to produce well-defined polycrystalline indium oxide films in terms of less defect generation, rapid film crystallization, and less batch-to-batch variations of electrical performance compared to conventional DUV photoactivation based on low-pressure mercury lamp (LPML).

[P6-5]

High-Efficiency Electrochemical Conversion Nitrogen to Ammonia Using Mo₂C@N and Mo₂N@C Under Ambient Condition: Tae-Yong An, Uk sim; *Chonnam National University*.

Keywords: Nitrogen reduction reaction, Ammonia evolution reaction, Nitrogen conversion, Nitrogen fixation

Ammonia is attractive as an alternative energy source because of its high energy density and environmental friendliness. Conventionally, ammonia is produced using the Haber-Bosch method but requires high heat and pressure. Electrochemical reduction of nitrogen to ammonia provides an alternative strategy to replace the Haber-Bosch process for easy and continuous production of NH₃. For successful nitrogen production, it is necessary to develop an efficient electrode catalyst for the nitrogen reduction reaction. However, ammonia production in laboratory units is a challenging area. Herein, we report on the design and preparation of Molybdenum based carbide and nitride on Ni foam. Excellent NRR performance is achieved through the interconnection of abundant surface defects, high charge transport properties, and the ability to replace triple bonds of nitrogen and hydrogen. Designed Mo₂C@N show NH₃ yield rate of 4.82 $\mu\text{mol cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and superior Faradaic efficiency of 10.15% at -0.1 V versus reversible hydrogen electrode under the basic electrolyte (0.1 M KOH). The proposed Mo-based material strategy provides a key idea for the design of active NRR catalysts for ammonia industrialization.

[P6-6]

Photo-Assisted Low-Temperature Metal-Oxide Crystallization of Amorphous TiO₂ Films for Energy Conversion Application: Won-June Lee¹, Yong Tae Kim², Hyung-ju Ahn³, Sang Yun Jeong¹, Sanghan Lee¹, Jaeyeong Heo², Myung-Han Yoon¹; ¹*Gwangju Institute of Science and Technology*. ²*Chonnam National University*. ³*Pohang Accelerator Laboratory*.

Keywords: TiO₂, Metal-Oxide, Thin-film, Crystallization, Functionalization

Controlling the microscale (up to nanoscale) structures of metal-oxide films for various electronic, energy conversion applications, the most precedent studies have focused on the thermodynamic approach highly depending on high temperature annealing process adjusting with delicate gas processing condition with a certain specific pressure. In this research, we report the UV photo-assisted crystallization of amorphous TiO₂ films and their applications to energy conversion devices. Amorphous titanium dioxide (TiO₂) films deposited by atomic-layer-deposition (ALD) were irradiated with UV light under dry nitrogen atmosphere. In the meantime, the substrate temperature was heated and kept constantly at the temperature between 150 and 400°C. Many different metal-oxide film characterizations were conducted to prove that UV photo-activation considerably promotes the nucleation rate and reduces the minimum temperature for crystallization of amorphous TiO₂ films by 100 degrees compared with thermal annealing without any help of photo-irradiation. Moreover, it was demonstrated that the UV photo-activation with thermal annealing leads the formation of uncommon brookite phase and preferential crystal facet orientation, which was never been issued in the previous literature. Finally, the UV photo-assisted low-temperature crystallization was successfully introduced to develop high-quality anatase TiO₂ metal oxide films without regard to the types of substrates, for high-performance photo-conversion applications. Our results suggest that UV photo-activation with a valid low-temperature treatment can induce metal oxide films with well-defined crystallinity and preferred phase orientation without the help of any special substrates.

[P6-7]

Fluorine-Doped Graphene Oxide and Graphene Oxide Which Enhanced Specific Capacitance as Hybrid Supercapacitor: Yelyn Sim¹, Hamchoron Cha², Hayeun Lee¹, Subramani Surendran¹, Cheolho Jeon², Joonhee Moon², Uk Sim¹; ¹*Department of Materials Science and Engineering, Chonnam University*. ²*Korea Basic Science Institute*.

Keywords: Carbon-based electrode, Supercapacitor, Fluorine-doped graphene oxide, Graphene oxide

The electrochemical capacitors, also known as supercapacitors was considered the most promising contenders among the green energy storage systems. The acclaimed sustainable supercapacitors are luring much curiosity due to their superior power density (10 kW

kg⁻¹), express charging and discharging mechanism, excellent cycling stability, and environmentally benign.^[1] Even though Electric double-layer capacitances of carbon based electrodes for supercapacitors exhibit high power densities, the limiting practical energy density remains a big challenge to overcome. In our study, we aim to develop a hybrid supercapacitor device combining the non-faradaic reactions of graphene oxide (GO) and the redox reactions of fluorine-doped graphene oxide (FGO). In this system GO work as cathode and FGO work as anode for supercapacitor device. This asymmetric system (GO||FGO) is proposed to deliver the routine high-power density of supercapacitors along with improved energy density. Therefore, these results anticipate an open strategy for enhancing the energy density of carbon-based supercapacitors.

[P7-1]

Effects of the Diffusion Mechanism on the Diffusion Kinetics of Cations in Single Crystals: Jun-Hyoung Park¹, Yong-Seok Choi¹, Young-Woon Byeon¹, Jae-Pyoung Ahn², Jae-Chul Lee¹; ¹Korea University. ²Korea Institute of Science and Technology.

Keywords: Sodium-ion battery, Interface-controlled reaction, Diffusion-controlled reaction, In-situ experiment, First-principle calculation

The charging and discharging characteristics of batteries (e.g., charging rate, capacity, and cycle life) are determined by the diffusion behaviors of carrier ions diffusing into electrodes. In order to understand the fundamental physics underlying the battery performance, it is necessary to analyze the diffusion behaviors of carrier ions in the alloying anodes. Despite our understanding on solid-state diffusion behaviors on structural/metallic materials, those of material systems used in rechargeable batteries are relatively scarce and differ largely from conventional solid-state diffusion. When charge carriers diffuse to anode materials, the diffusion kinetics of charge carriers governing the diffusion in alloying anodes is determined by the relative magnitudes of the migration rate of the propagating interface (v_i) and transport rate of charge carriers at the trailing bulk region (v_b). Differing diffusion kinetics operating in anode materials in turn determine the diffusion rate and penetration depth of carrier ions and thus the swelling behaviors and subsequent crack formation of anode materials. In this study, we compare the diffusion behaviors of two battery systems governed by different diffusion mechanisms to establish the relationship between diffusion mechanism and the charge-discharge characteristics of batteries. This was achieved by comparing three different diffusion behaviors displayed by Na-Sb and Na-Sn systems: (1) diffusion kinetics of cations, (2) crack and pulverization of alloying anodes, and (3) penetration depth of cations.

[P7-2]

Poly (Propylene Carbonate) Based Composite Solid Polymer Electrolyte Containing $\text{Li}_{1.5}\text{Al}_{0.5}\text{Ge}_{1.5}(\text{PO}_4)_3$ Filler for All-Solid-State Li-Ion Batteries: 설봉준, Pravin N. Didwal, 박찬진*; 전남대학교

Keywords: Composite Solid polymer electrolyte, PPC, LAGP ceramic filler, All-Solid-State Battery

Nowadays, Lithium-ion batteries (LIBs) have been widely used in electric vehicles (EVs) and large scale energy storage systems (ESSs) due to their high energy density and long cyclability. Despite many advantages of LIBs, the conventional organic liquid electrolyte based LIBs have suffered from the issues related to electrolytes, such as flammability and volatility of electrolytes, and dendrite growth through porous separator. The issues may be addressed when replacing the organic liquid electrolyte with appropriate composite solid polymer electrolyte (CSPE). Among the numerous polymer electrolytes, poly(ethylene oxide) (PEO) based electrolytes have been extensively studied. However, PEO based electrolyte has some disadvantages such as, narrow potential window, poor mechanical strength, lithium-ion transference number, and ionic conductivity due to its semi-crystalline nature. In contrast, poly(propylene Carbonate) (PPC) has attracted attention as an alternative due to its higher ionic conductivity, transference number, and wider potential window. However, this polymer electrolyte needs support membranes such as poly(propylene) separator, poly(acrylonitrile) fiber membrane due to weak mechanical strength of the PPC. It is a great option to incorporate a ceramic filler into polymer to improve not only ionic conductivity but also mechanical strength of the polymer electrolyte. Among the ceramic fillers, NASICON type $\text{Li}_{1.5}\text{Al}_{0.5}\text{Ge}_{1.5}(\text{PO}_4)_3$ (LAGP) possesses good stability to moisture, thermal stability, and electrochemical stability. In this work, we studied the effects of LAGP incorporation in PPC matrix on the physical and electrochemical properties of CSPE for all-solid-state LIBs. The formation of LAGP phase was analyzed by XRD, SEM, and TEM. Furthermore, the thermal stability of prepared CSPE was evaluated using DSC and TGA. The CSPE exhibited the higher ionic conductivity and mechanical strength compared with pure PPC, leading to improvement in electrochemical properties of all-solid-state LIB composed of Li/CSPE/NCM622.

[P7-3]

파이로 전해회수공정의 BeO 재료 적용 가능성 평가: 김가영, 장준혁, 백승우, 이성재; 한국원자력연구원

원자력발전소에서 발생된 사용후핵연료 내 유용한 물질을 재활용하기 위한 목적으로 파이로공정 연구가 진행되고 있다. 파이로공정은 산화물 형태인 사용후핵연료를 전기화학적 방법을 사용하여 금속형태로 변환한 뒤 유용 핵물질을 선택적으로 회수하는 등 일련의 여러 가지 단위 공정으로 이루어져 있다. 그러므로 U/TRU 회수를 목적으로 하는 전해회수공정이 파이로 공정 내 중요한 역할을 차지한다고 볼 수 있다. 전해회수공정은 LiCl-KCl 공융염 내 녹아나온 U/TRU를 액체 카드뮴 전극에 전착시켜 회수하며 이를 증류 과정을 거쳐 U/TRU를 카드뮴으로부터 분리한다. 이때 카드뮴이 담겨진 도가니는 전기적으로 절연되어야 하므로 알루미늄과 같은 세라믹 소재를 주로 사용한다. 그런데 알루미늄의 경우 전착과 증류과정을 거치면서 급격한 가열과 냉각이 반복되어 재료에 균열이 생겼으며, 이로 인해 카드뮴 도가니로서 알루미늄 재료를 사용할 경우 반복이 아닌 1회성 사용에 그쳤고 폐기물 발생이라는 부가적인 문제점이 나타났다. 이에 본 연구에서는 기존의 알루미늄이 아닌 BeO를 카드뮴 도가니의 재료로서 적용가능한 지 그 특성을 살펴보고자 하였다. 먼저 BeO 재료를 이용하여 카드뮴 도가니로 제작하고 여기에 카드뮴을 넣어 U/RE를 포함한 용융염에서 전착과정에 사용하였다. 뒤이어 이를 카드뮴 증류장치에 넣어 증류 후 BeO 도가니 표면 변화 및 반복사용 안전성을 평가하였다. 그 결과 BeO

도가니 내 카드뮴과 염은 증류되어 도가니 밖으로 배출되었고 전착된 U는 BeO 도가니 내부에 잔류하는 것을 확인하였다. 또한 현재까지 전착-증류의 12회 반복사용까지 BeO 도가니에 균열이 없어 반복적으로 사용가능함을 확인하였다.

[P7-4]

CuFeO₂/Cu₂O Hierarchical Nanorods for Photoelectrochemical CO₂ Reduction: 오상호, 주원호, 주영창; 서울대학교 재료공학부 미세소자재료실험실

Keywords: CuFeO₂, Photoelectrochemical reaction, CO₂ reduction, Photocathode

광전기 화학반응을 통한 이산화탄소 환원은 태양광에너지를 이용하여 이산화탄소를 환원시켜 탄화수소나 알코올과 같은 연료를 생산해내는 기술로, 중요 글로벌 이슈인 지구온난화와 자원 고갈 문제에 대한 이상적인 해결책으로 주목 받고 있다. 여기에 사용되는 광전기 촉매 물질로는 전위 금속 산화물이 유망하며, 그 중 Cu₂O는 2.2 eV의 밴드갭을 가지는 p-type 반도체로 가시광선 영역의 빛을 이용하기 용이하며 독성이 없고 친환경적이며 풍부한 물질이기 때문에 이상적인 광전기 촉매 물질로 알려져 왔지만 Cu₂O는 광부식 현상 등의 문제로 인해 심각한 안정성 문제를 가지고 있어서 실용화에 큰 제약이 있었다. 이 연구에서는 Cu₂O의 안정성 문제를 해결하기 위하여 또 다른 p-type 산화물인 CuFeO₂를 Cu₂O 표면에 코팅한 계층구조를 이용하여 이산화탄소 환원반응 광전극을 설계하였다. CuFeO₂는 수계 전해질에서 안정한 물질이며 1.7 eV의 밴드갭을 가져 태양광을 흡수하기 용이하고, 높은 conduction band edge를 가져 낮은 이산화탄소 환원반응 overpotential을 가질 것으로 기대된다. 그러나 3성분계인 CuFeO₂는 일반적인 2성분계 산화물에 비해 상과 나노 구조를 동시에 제어하기 어려운 것으로 알려져 있었다. 이를 해결하기 위해 anodizing으로 제조된 Cu(OH)₂ nanorod에 spray pyrolysis로 Fe₂O₃를 코팅하는 간편한 방법으로 Fe₂O₃/CuO 계층구조 nanorod를 1차로 형성한 후, 열역학적 공정 설계를 통한 엄격한 분위기 제어를 통해 이를 상전이 시키는 방식을 이용하여 CuFeO₂/Cu₂O 계층구조 nanorod를 제조하였다. 이에 대해 광전류밀도를 측정된 결과 0.35V (RHE) 에서 1.8mA/cm²의 광전류 밀도를 가져 이전의 연구들에서 보고된 값보다 높은 광전류 밀도를 가짐을 확인하였다.

[P7-5]

Layered GeTe-C Nanocomposite Anodes for High-Performance Li-Ion Batteries: 남기훈, 박철민; 금오공과대학교

Keywords: Lithium-ion batteries, Germanium telluride, Anode materials, Reaction mechanism

휴대용 전자기기, 전기자동차(EV) 및 하이브리드 전기자동차(HEV)에 사용되는 대표적인 에너지 저장 장치인 리튬 이차전지는 기존의 화석연료를 대체하기 위해 활발히 연구가 진행 중이다. 리튬 이차전지는 높은 에너지 밀도와 출력 특성을 가지지만, 현재 상용화된 음극재료인 흑연의 낮은 이론용량으로 고용량의 이차전지를 설계하기에는 한계가 있다. 따라서, 새로운 고용량의 음극재료에 대한 연구가 반드시 필요하며, 특히 음극재료 중에서 리튬과의 합금화가 가능한 합금계 재료에 대해 활발한 연구가 진행되고 있다. 대표적인 리튬 이차전지 합금계 재료 중에서, 게르마늄(Ge)을 리튬 이차전지 음극에 적용하였을 경우, 1624 mAh/g (Li₂₂Ge₃)의 고용량이 구현 가능하며 이는 흑연의 이론용량(372 mAh/g)과 비교하여 4배 이상의 용량을 나타낸다. 하지만 이러한 높은 용량에도 불구하고, 리튬 이차전지 충방전시 큰 부피팽창으로 인한 전기화학적 성능 저하로 인하여 이를 해결하기 위한 많은 연구가 필요하다. 본 연구에서는 게르마늄(Ge)과 텔루륨(Te)의 이원계 층상구조 화합물인 GeTe를 제조하여 리튬 이차전지의 전극소재로 적용하였고, 다양한 분석기기를 활용하여 전기화학적 반응메커니즘을 확보하였다. 또한, 탄소가 포함된 나노복합체를 제조해 우수한 전기화학적 특성을 확보하여 고용량 리튬 이온 이차전지의 음극재료로써의 새로운 연구 방향을 제시하였다.

Acknowledgements: This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant, funded by the Korea Government (MSIP) (NRF-2018R1A2B6007112, NRF-2018R1A6A1A03025761).

[P7-6]

Fabrication of the Mini-Plate Based on Metal Coated Atomized U7Mo Powders for HANARO Irradiation Tests: Sunghwan Kim, Yong Jin Jeong, Kyuhong Lee, Ki Nam Kim, Jong Man Park; Korea Atomic Energy Research Institute.

The core conversion from Highly-Enriched Uranium (HEU) to Low-Enriched Uranium (LEU) for High-Performance Research Reactors (HPRRs) in Europe is not as easy as that of other research reactors due to the requirement of very high fuel loadings (6.5-8.5 g-U/cm³ or even higher) to maintain HPRRs' performance. Among various candidates, the high-density U7Mo dispersion fuel has become a promising alternative to HEU fuels thanks to good irradiation behavior and about 16 g/cm³ of high intrinsic density. However, a number of validation and qualification irradiations on U7Mo dispersion fuels showed that the local swelling by the formation of interaction layers (ILs) between U7Mo particles and the Al matrix. As one of the remedies, barrier materials which could be coated by PVD, ALD, or other techniques were deposited to the surface of U7Mo particles to prohibit the interaction. In this study, U7Mo powders were coated with Mo or Zr by PVD, and subsequently density of 8 g-U/cm³ coated U7Mo powders based mini-plates were successfully fabricated. Microstructures of coated U7Mo powders were investigated by SEM, EDS, and the homogeneity of mini-plates was demonstrated by X-ray.

[P7-7]

Interpretation of the Hysteresis Energy Loss of the Anodes in Sodium-Ion Batteries: 최용석, 이재철; 고려대학교

Keywords: Na-ion battery, Group VA anode materials, Energy loss at the anodes, Phase transition behaviors, First-principles calculations

One of the most important requirements for future energy storage systems is to design the anode materials with high energy

efficiency. In the current study, utilizing a combined technique of voltammetric experiments and density functional theory, comparative studies of the phase transition behaviors are performed on the P and Sb anodes during the charge-discharge process of Na-ion batteries (NIBs). To quantitatively establish the phase transition versus energy efficiency relationship of the anode materials of NIBs, we have built a thermodynamic model that replicates the potential versus specific capacity plots observed in voltammetric measurements. We have obtained the theoretical polarization curves (voltage values) by analyzing the in depth phase transformation sequence and the corresponding changes in the resistivity values of the Na-P and Na-Sb systems under various applied potentials. The formation of various intermediate phases and their electric resistivity are identified to be responsible for the increased loss in energy at the anodes. The outcomes of this study provide a crude yet basic guideline for the appropriate choice of potential anode materials with superior energy efficiencies suitable for NIBs.

[P7-8]

Ca 첨가에 따른 Fe-B-P-Cu계 연자성재료의 결정립미세화 효과: 오재현¹, 정준영², 임현아², 남대근¹, 박원욱², ¹한국생산기술연구원 동남지역본부, ²인제대학교 나노융합공학과

Keywords: Soft magnetic materials, Exchange length, Abnormal grain growth, Nanocrystalline, Electron energy loss spectroscopy (EELS)

연자성재료는 인가자장 하에서만 자석이 되는 재료로서, 경자성재료에 비해 작은 자기장에 의해 빠르게 포화자화되고 자화반전이 용이하다는 점 때문에 모터, 변압기, 전자파차폐, 자기기록장치 등 다방면에서 사용되고 있다. 우수한 연자성특성은 낮은 보자력 (Coercivity) 및 높은 투자율(Permeability)을 충족시켜 얻을 수 있는데, 이는 결정의 크기가 통칭 자벽의 두께로 나타낼 수 있는 교환거리(L_{ex} , Exchange length)보다 작아 결정자기이방성과 자왜현상이 거의 없는 나노결정재료를 사용함으로써 실현할 수 있다. 그러나, 나노결정재료는 급속냉각법으로 제조된 비정질재료의 결정화열처리를 시행하는 도중 무작위로 선택된 결정들이 급격히 성장하는 비정상입성장(Abnormal grain growth)현상이 기존의 다결정재료에 비해 여러 군데에서 발생할 우려가 있으며, 이들 중 교환거리 이상으로 성장하는 결정의 수가 증가할수록 나노결정의 이점을 상실하고 연자성특성의 악화로 이어질 수 있는 문제점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 최근 국내에서 고평화자속밀도용 재료로 개발된 Fe-B-P-Cu계 연자성재료에 Fe와 고용도가 거의 없고, 결정화열처리 시 Fe 결정립계에 위치하여 결정립성장억제효과가 있다고 알려진 Ca를 소량 첨가하였다. 이를 통해 상기 합금에서도 결정립성장억제에 의한 결정립미세화효과의 확보와 아울러, 합금의 열안정성의 향상에 기여하고자 하였다. 실험방법에 있어서는 급속응고법(Rapid Solidification Process, RSP)인 멜트 스피닝법을 통해 합금리본을 제조하였고, ICP(Ion Coupled Plasma)로 합금 내 Ca의 함량을 측정하였다. FIB(Focused Ion Beam)을 이용해 투과전자현미경용 시편을 제작하였으며, 투과전자현미경을 활용하여 합금리본의 미세 조직과 회절패턴을 확보하고 EELS(Electron Energy Loss Spectroscopy)mapping 을 통해 합금 기지 내 Ca의 위치를 관찰하였다. 투과전자현미경 촬영결과, 동일한 열처리조건에서 Ca가 함유된 합금이 Ca가 함유되지 않은 합금에 비해 결정립성장이 억제되어 상대적으로 결정립이 미세해진 것을 관찰하였고, 회절패턴 분석에서는 합금 내 형성된 결정들이 Ferrite(BCC-Fe)인 것을 확인하였다. EELS mapping 결과 Ca는 Ferrite-Ferrite 사이에 위치하여 Fe-B-P-Cu계 연자성합금에서 결정립성장억제효과 및 이에 수반한 결정립미세화효과를 나타낸 것으로 판단된다.

[P7-9]

고주파유도가열 텅스텐(W) 도가니의 우라늄(U), 희토류(RE) 금속 및 염화물 반응특성 평가: 장준현, 한승엽, 김택진, 김가영, 이성재; 한국원자력연구원 파이로기술실증연구부

Keywords: 파이로프로세스, U/TRU, W도가니, 불순물제거공정, 염화물

원자력발전에서 발생하는 사용후핵연료로부터 U/TRU를 재사용하기 위한 파이로공정에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 파이로공정은 산화물 형태의 사용후핵연료를 전기화학 방법을 사용하여 금속의 형태로 변환하고, 그 금속연료 중에서 U/TRU를 선택적으로 회수하는 공정이다. 이렇게 회수한 U/TRU는 소량의 RE를 포함한 형태로 회수되며, 불순물(LiCl-KCl-RE 염)을 제거하기 위하여 고온(>900°C)의 진공분위기에서 가열한다. 하지만 이러한 고온공정에 사용되는 세라믹 도가니들이 열충격에 의하여 쉽게 파손되어, 다량의 방사성폐기물을 발생시키는 문제점이 발생한다. 따라서, 이러한 문제를 극복하기 위하여 불순물제거공정에 금속도가니를 적용하고자 하는 연구가 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 불활성 분위기에서 매우 안정적인 텅스텐(W) 도가니를 사용하여 공정 적용 가능성을 평가해 보았다. 국내에서는 TRU를 사용할 수 없기 때문에, U를 사용하여 실험을 수행하였다. W과 U 금속 및 LiCl-KCl-RE염화물과의 반응성을 관찰하기 위하여, W도가니(24mm내경, 27mm높이)에 약 10g의 U/LiCl-KCl-RECl 시료를 장입하여 900°C 이상의 고온(< 1Torr)에서 반응시험을 수행하였다. 도가니 잔류물의 ICP 분석결과, W은 관찰되지 않았을 뿐만 아니라 거의 모든 염화물 불순물은 완벽하게 제거된 것을 확인 할 수 있었다. 또한 W과 RE 금속의 반응성을 살펴보기 위하여 W도가니에 총 10g의 La, Ce, Nd을 장입하여 고주파유도가열 용해시험을 수행하였다. 그 결과, 성공적으로 용해물을 생산할 수 있었고, 용해물의 ICP 분석결과 W은 확인되지 않았다. 이러한 결과는 W 금속도가니를 고주파유도가열 방식의 U/TRU 잔류 불순물(LiCl-KCl-RECl) 제거 공정에 사용할 수 있음을 잘 보여주고 있다.

[P7-10]

Phase Transition Behaviors of Sb Anode in Na-Ion Batteries: Voltammetric Experiments and Density Functional Theory

Study: 최용석, 이재철; 고려대학교

Keywords: Na-ion batteries, Sb anode, Phase transition behaviors, Polarization curves, First-principles calculations

During the charge/discharge process of batteries, alloying anodes accommodate a large amount of carrier ions, causing the batteries to display large capacities and high energy density. Because the storage of carrier ions is always accompanied by the phase transition of anode materials, the identification of phase transition behaviors has attracted much attention to relate the results with various electrochemical properties of batteries. Most previous studies on phase transition behaviors were based on electron/X-ray diffractometry combined with energy dispersive spectroscopy. However, even for the same battery systems, the numbers and types of the phases deduced from previous studies differ depending on the authors. This difference stems primarily from the coexistence of various amorphous structures and weakly scattering metastable phases, which makes it difficult to identify existing phases via conventional diffractometry. In this study, using a combination of voltammetric experiments and first-principles calculations, we demonstrate a novel method of identifying the phase transition behaviors of the alloying anode material during the battery cycle of Na-ion batteries. Using the Na-Sb battery systems as a test material, we first predict the plausible intermediate stable/metastable phases that can be formed during the battery cycle and calculate their formation energies. The predicted phases were then verified by constructing the theoretical polarization curves and comparing them with the experimentally measured ones.

[P7-11]

CoSbS의 나트륨 반응 메커니즘 분석 및 전기화학적 특성 연구: 장연호, 박철민; 금오공과대학교

Keywords: Sodium-ion batteries, Ternary compound, Anode materials, Reaction mechanism

현대는 모바일 기기의 수명을 늘리고 ESS와 친환경적인 EV의 개발 및 상용화를 위한 리튬이온 이차전지의 수요가 급증하고 있으며 이에 따른 원료인 리튬 금속의 수요역시 폭발적으로 증가하고 있다. 하지만 리튬 금속은 남미 등 일부 국가에 편재화 되어있으며 그로 인하여 리튬 금속의 가격이 비싸지고 변동이 심하여 안정적인 공급이 어렵다. 따라서 리튬 금속을 대체하기 위한 새로운 이차전지 시스템의 필요성이 증가하였다. 리튬 금속의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 이차전지 시스템으로 나트륨 이온 이차전지 시스템이 제시되었다. 나트륨은 전 세계적으로 골고루 분포하며 매장량 또한 리튬 금속에 비하여 훨씬 풍부하기 때문에 그 가격이 매우 저렴하며, 기존의 이차전지 시스템과 유사하기 때문에 그 적용이 간단하다. 나트륨 이온 이차전지의 음극으로는 하드카본을 사용하고 있지만 낮은 이론용량과 고속 충전이 불가능하여 새로운 음극의 개발 필요성이 대두되었고 이에 따라 다양한 합금계 음극에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 높은 이론용량을 가지는 Sb(660 mAh/g)와 S(1672 mAh/g)를 inactive 상인 Co와 함께 3원계 화합물인 CoSbS를 합성하여 나트륨 이온 이차전지용 음극을 제조하였다. 다양한 분석기기를 활용하여 CoSbS의 전기화학적 특성과 반응 메커니즘을 분석하고, 탄소와의 복합체를 형성하여 높은 용량과 우수한 고율 특성을 확보하였다.

Acknowledgements: This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant, funded by the Korea Government (MSIP) (NRF-2018R1A2B6007112, NRF-2018R1A6A1A03025761).

[P7-12]

Layered MoS₂ Anodes for Li-Ion Batteries: 김도현, 박철민; 금오공과대학교

Keywords: Lithium-ion batteries, Anode materials, Molybdenum sulfide, Intercalation reaction

현대 사회에서 필수 요소가 되어버린 모바일 기기와 친환경 중심으로 개발된 전기자동차 산업이 발전함에 따라 에너지 저장 시스템(ESS)도 함께 발전하고 있다. 대표적인 ESS는 리튬 이온 배터리가 이용되고 있으나, 음극 물질인 흑연은 낮은 용량(372 mAh/g)을 가지고 있어서 더욱 발전이 필요한 상황이다. 다른 상용화 음극 물질인 Li₄Ti₅O₁₂는 고속 충전이 가능하다는 장점이 있으나, 175 mAh/g의 흑연보다 낮은 용량이 단점이다. 따라서 고속 충전이 가능한 고에너지 밀도를 가진 음극재료에 대해 연구가 진행되고 있다. 리튬 이온 배터리 음극 물질중에서 황(S)은 리튬과 합금화가 일어나며, 음극에 적용하였을 때 약 1671 mAh/g의 매우 높은 용량이 발현된다. 하지만 충전동안 황(S)이 전해질에 용해되어 음극 물질의 손실이 발생하여 전기화학적 성능 저하가 발생한다는 단점이 있다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위해서는 많은 연구가 필요하다. 본 연구에서는 황(S)과 몰리브덴(Mo)의 층상구조 화합물인 MoS₂를 이용하여 리튬 이온 배터리의 전극 소재에 적용하였고, 여러 분석기기를 이용하여 반응 메커니즘을 분석하였다. 또한, 탄소가 포함된 나노 복합체를 제조하여, 우수한 전기화학적 특성을 이끌어 내었고 고용량 리튬 이온 배터리의 음극재료로서의 연구 방향을 제시하였다.

Acknowledgements: This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant, funded by the Korea Government (MSIP)(NRF-2018R1A2B6007112, NRF-2018R1A6A1A03025761).

[P7-13]

볼밀링 방법으로 합성한 실리콘산화물의 전기화학적 특성: 황준선, 김재현; 국민대학교

Keywords: Li secondary battery, Silicon monoxide, High energy mechanical milling, Carbon-incorporation

현재 전기 자동차, 모바일 전자 제품 등과 같은 사용처에서 핵심적인 에너지저장장치로 사용되고 있는 리튬이차전지에 대한 수요는 세계적으로 크게 증가하고 있다. 그 수요를 충족하기 위하여 고에너지 밀도, 낮은 가격이 이차전지의 개발에 필수적으로 요구되고 있다. 그 중 에너지 밀도를 높이기 위해서 높은 용량의 전극 재료 개발에 중점을 두고 있다. 현재 널리 사용되고 있는 흑연(Graphite) 소재는 안정적인 수명 특성을 가지고 있지만 용량이 제한적이다 (이론 용량: 372 mAh g⁻¹). 따라서 제한적인 용량을 증가시키기 위해 대체 음극 재료로 Li 합금계 재료의 연구가 활발히 이루어 지고 있다. 그 중 실리콘 소재는 Li₁₅Si₄ 상에 대해 3580 mAh g⁻¹의 높은 이론 용량을 가지고 있어 각광받는 재료 중 하나로 연구가 이뤄지고 있다. 그러나, Li 삽입 및 탈삽입 반응 중에 큰 부피 변화로 인해 기계적 열화가 발생한다. 최근, 실리콘 일산화물 (Silicon monoxide, SiO) 소재는 높은 용량뿐만 아

나라 산소의 역할에 기인하는 양호한 수명 특성으로 인해 많은 연구가 이뤄지고 있다. 이 물질은 통상적으로 기상 공정에 의해 합성될 수 있으나 공정 비용이 비교적 높고 복잡하여 조금 더 간편하고 저렴한 합성 방법이 요구된다. 본 연구에서는 SiO 소재를 간단한 불밀링 공정으로 합성하고 상업용 SiO와의 특성을 비교하였다. 합성된 SiO는 상업용 SiO보다 우수한 전기화학적 특성을 보였으며, 더 좋은 수명 특성을 얻기 위해 탄소와 복합체를 만들어 그 전기화학적 특성을 평가하였다.

[P7-14]

리튬이차전지 음극소재용 인/금속산화물 복합체의 전기화학적 특성 연구: 김태현, 박철민; *금오공과대학교*

Keywords: Lithium-ion batteries, Anode materials, Reaction mechanism, Composite

세계적으로 화석연료 고갈 및 온실가스 배출과 같은 문제점이 야기되고 있으며, 이에 발맞추어 지속가능한 에너지원이 필요로 되고 있다. 그중에서도 리튬이온 이차전지는 화석연료의 의존도와 이산화탄소 배출량을 크게 감소시킬 수 있는 친환경 녹색 기술로 꼽히고 있다. 리튬이온 이차전지는 4V대의 높은 전압, -20도에서 50이상의 넓은 작동 온도, 높은 출력밀도, 높은 에너지 밀도와 같은 다양한 정점으로 인해 스마트폰, 넷북 등의 휴대용 모바일 전원 뿐 아니라 하이브리드 자동차 등의 주요 에너지원으로 사용되고 있으며, 활동범위가 더더욱 넓어질 것으로 예상된다. 상용화된 리튬이온 이차전지는 약 160 Wh/kg의 에너지밀도를 가지며 천연 흑연 음극 및 니켈계 양극 소재가 그 에너지 밀도를 결정하고 있다. 하지만 현대 사회의 요구에 따라 더 높은 에너지 밀도를 가지는 전지시스템이 필요로 하는 상황이다. 이를 해결하기 위한 합금계 음극소재의 경우 현재 에너지밀도 대비 약 2배 이상의 상승을 가져올 수 있는 중요한 연구과제라 할 수 있다. 본 연구에서는 나노 사이즈의 결정립을 가지는 인계복합체(P/MxOy)를 이용하여 우수한 전기화학적 특성을 확보하였다. 이를 통해 리튬이온 이차전지용 합금계 음극소재로서의 새로운 연구 방향을 제시하였다. **Acknowledgements:** This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant, funded by the Korea Government (MSIP) (NRF-2018R1A2B6007112, NRF-2018R1A6A1A03025761).

[P7-15]

Nb₅Sb₄ Anodes for High-Performance Li-Ion Batteries: 유동근, 박철민; *금오공과대학교*

Keywords: Li-ion batteries, Anode materials, Niobium antimonide, Intermetallic compound, Reaction mechanism

휴대용 전자기기 및 전기자동차 시장의 급속한 성장에 맞추어 고용량 이차전지 시스템에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 가장 큰 에너지밀도를 가지는 리튬 금속은 발현 용량이 3860 mAh/g로서 다른 어떠한 재료보다도 에너지 밀도가 높다는 장점이 있다. 그러나 리튬 금속을 음극재료로 사용했을 때 충전 시 수지상 성장에 의한 안전성 문제가 발생한다. 이 문제의 대안으로 현재 이차전지의 음극 활물질로 탄소의 동소체인 흑연 소재를 사용하고 있지만, 이는 리튬 금속에 비해 낮은 용량은 372 mAh/g를 가지고 낮은 고용용 특성의 문제를 가지고 있다. 리튬 이차전지의 적용범위가 확대되면서 현재 상용화 되고 있는 흑연계 음극을 사용하는 이차전지보다 높은 용량 및 고성능 음극 활물질에 대한 연구로 리튬과 전기화학적으로 합금화가 가능한 리튬 합금계 금속을 이용한 방법이 있으며, 그중에서도 v족계 원소를 이용한 음극물질 즉, 인(P, 이론용량: 2596 mAh/g), 안티몬(Sb, 이론용량: 660 mAh/g)을 고용량 음극 활물질로 적용하려는 연구들이 활발히 진행 중이다. 그러나 리튬 합금계 음극 물질은 충전 및 방전 시에 발생하는 상변화로 인하여 높은 부피변화가 발생하게 되고, 이에 따라 발생한 응력이 활물질의 파괴를 일으켜서 사이클 특성이 저하되는 큰 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 안티몬(Sb)음극 소재의 단점을 극복하기 위하여, Nb₅Sb₄ 제조하여 전기화학적 성능을 확인 하였으며, 리튬이온과의 충전 및 방전시 반응메커니즘을 여러 분석기기를 이용하여 분석하였다.

Acknowledgements: This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant, funded by the Korea Government (MSIP)(NRF-2018R1A2B6007112, NRF-2018R1A6A1A03025761).

[P7-16]

C-Ring & Step Loading 방법을 이용한 고압 수소 사용 적합성 평가 방법 연구: 오동현, 이창현, 임경민; (재) *한국화학융합시험연구원*

Keywords: 고압수소, C-ring, Step loading, 수소취성

수소는 연소 시 온실효과 가스를 배출하지 않는 청정연료로 환경문제 대응과 에너지 매체로서의 기술개발이 활발하게 이루어지고 있다. 특히 수소에너지 기술은 생산, 저장, 운반, 이용으로 구분되며 현재까지 개발된 수소 저장 방법으로는 고압기체수소저장법, 액체수소저장법, 수소저장재료 이용하는 방법이 있으나 수소를 액화시키는데 많은 비용이 소요되고 보관 및 온도 유지에 어려움이 있고, 수소저장재료의 경우 지속적인 사용에 어려움이 있어 현재는 기체 수소를 고압으로 저장하는 것이 일반적으로 사용되고 있다. 하지만 이러한 압축 저장은 안전과 관련 위험성이 내포되어 있어 고압 수소 분위기 하에서 소재의 안전성을 확보하기 위한 방안들이 선진국들을 중심으로 이루어지고 있다. CSA CHMC 1의 고압가스 분위기에서의 Notch 인장시험방법을 통한 소재 적합성평가 연구 및 DB화가 이루어지고 있으나, 기존 방법의 경우 가스누출 위험성 및 장비비교사항들이 있어 본 연구에서는 C-ring 및 Step loading 방법을 적용하여 AL6061 소재에 대한 고압 수소 분위기하에서 수소 사용 적합성 평가 방법을 제시하고자 하였다.

[P7-17]

The Effect of Stoichiometric Ratio Between Refractory and Metalloid Elements on the Magnetocaloric Effect of MnFe-Based Alloys: A-Young Lee¹, Song-Yi Kim¹, Young-Do Kim², Min-Ha Lee¹; ¹*Korea Institute of Industrial Technology*, ²*Hanyang University*.

Keywords: Magnetocaloric effect, Magnetic transition, Refractory metals, Metalloids, Curie temperature

For the sustainable energy or securing materials system, the eco-friendly magnetic refrigerator as replacing conventional vapor

compression refrigerator is based on magnetocaloric effect. The study of the magnetocaloric materials is focusing on the development of new rare-earth elements (Gd or La) based alloys to reduce concentration of Gd- or La- without sacrificing magnetocaloric effect of based Gd- or La- alloys. In other ways, Ni-, Mn-, and Fe-based Heusler alloys without rare-earth elements have been studied because these Heusler alloys show the large magnetocaloric effect by magnetic transition at room temperature. Particularly, Mn-based alloys, such as MnFePAs, MnFePGe, or MnFePSi alloys, are exhibited the large magnetocaloric effect comparable to $Gd_5Si_2Ge_2$ alloys. In this study, we evaluated the variation of magnetocaloric effect depending on the concentration ratio between refractory and metalloidal elements in the MnFeXPM ($X_{0.01-0.1}=\text{Hf, Zr, M}_{0.1-0.6}=\text{Ge, Si}$) alloys. The magnetocaloric properties related with phases and microstructural changes of MnFe(Hf,Zr)P(Ge,Si) alloys were characterized by VSM, X-ray diffractometer, and SEM-EDS, respectively.

[P7-18]

TiO₂/LiSiON/NMC 구조를 갖는 전고체박막전지의 특성에 관한 연구: 이병준, 서인석, 나단, 윤백상, 김영범; 전북대학교 신소재공학부.
 Keywords: All solid state battery, NMC, LiSiON, TiO₂, Sputter

리튬이온배터리는 스마트폰, 카메라, 스마트 워치 등과 같은 다양한 기기에 널리 사용된다. 그러나 기존의 수계 전해질 리튬이온 배터리는 폭발과 같은 안전성의 문제를 가지고 있으며 이를 극복할 수 있는 대안은 전고체 전지이다. 또한 현대 기기들의 유연화와 소형화가 진행됨에 따라 배터리도 이와 같은 성질을 가져야 하고 이를 가능하게 하는 것이 박막전지 (Thin-film battery)이다. 고체 전해질은 크게 산화물계, 황화물계로 나뉘는데 산화물계는 안정하지만 낮은 이온전도도를 가지고 있으며, 황화물계는 높은 이온전도도를 나타내지만 화학적으로 불안정하다. 이 중 전고체박막전지에서 가장 많이 쓰이는 것은 화학적 안정성이 높은 lithium phosphorous oxynitride (LiPON)이다. 그러나 낮은 LiPON의 이온전도도는 더 높은 성능을 위해 개선될 필요가 있다. 이를 위해 새로운 물질인 lithium silicon oxynitride (LiSiON) 을 사용하여 실험을 진행하였다. 양극인 Lithium nickel manganese cobalt oxide (LiNiCoMnO, NMC)는 LiNiO₂의 고용량성, LiMnO₂에서 Mn의 열적 안정성 및 낮은 가격, LiCoO₂의 안정한 전기화학적 특성과 같은 장점들을 결합시킨 것으로 우수한 전기화학적 성질을 가지고 있다. 또한 음극은 일반적으로 전고체 박막전지에서 Li metal을 사용하지만 이것은 대기 중에서의 큰 반응성과 비싼 가격을 가지는 단점을 가지고 있어 이를 대체하기 위해 상대적으로 반응이 작고 저렴한 titanium dioxide (TiO₂)를 사용하였다. 박막전지를 증착하는 방법으로는 스퍼터, molecular beam epitaxy (MBE), plasma laser deposition (PLD), E-beam evaporator 등의 방법이 있다. 이 중 스퍼터는 상대적으로 높은 품질의 박막을 증착시킬 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 전고체박막전지 제조에 적합하다. 본 실험에서는 고체 전해질을 만들기 위해 Li₄SiO₄ 타겟을 제작하였고, direct current (DC), radio frequency (RF) sputtering을 이용해 전고체 박막전지 full-cell을 제조했다. DC sputtering을 이용하여, 양극 집전체인 Ti을 70W, 공정압력은 2 mTorr, Ar 15 Sccm 분위기하에서 100 nm의 두께로 증착하였고. 음극 집전체인 Cu/Ti에서 Ti은 양극 집전체의 조건과 같이 100 nm, Cu는 30W, 공정압력 7 mTorr, Ar 20 Sccm 분위기하에서 100 nm의 두께로 증착하였다. RF sputtering을 이용하여 양극인 NMC는 100W, 공정압력 10 mTorr, Ar 40 Sccm, O₂ 10 Sccm (Ar:O₂ = 4:1) 분위기하에서 300 nm의 두께로 증착하였다. 전해질인 LiSiON은 150 W, 3 mTorr, Ar 10 Sccm, N₂ 40 Sccm (Ar : N₂ = 1:4) 분위기하에서 1.5 μm의 두께로 증착하였다. 전해질은 단락현상이 일어날 수 있기 때문에 전극과 달리 두껍게 증착하였다. 음극인 TiO₂는 150W, 공정압력 10mTorr, Ar 35 Sccm, O₂는 들어가지 않은 분위기로 200 nm의 두께로 증착하였다. 표면의 형상과 두께 및 sputtering rate를 확인하기 위해 field emission scanning electron microscopy (FE-SEM) 측정을 하였다. 고체 전해질의 결정 상태를 알아보기 위해 x-ray diffraction(XRD)를 40kV에서 Cu/Kα(λ = 1.5405 Å)을 사용하고 20° < 2θ < 80° 범위에서 100mA를 사용하고, scan speed= 1 degree/min로 하여 측정을 하였다. 박막의 구성 및 결합에너지를 알아보기 위해 x-ray photoelectron spectroscopy(XPS) 측정을 하였다. 또한 임피던스 분광법 (Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS)을 사용하여 실온에서 0.1 Hz ~ 1 MHz의 주파수 범위로 고체 전해질의 임피던스를 측정하여 이를 통해 이온전도도를 계산하였다. 전고체박막전지의 용량은 충방전 기기를 통하여 측정하였다. 본 실험을 통해 우리는 스퍼터를 이용하여 전고체 박막전지를 성공적으로 증착시켰고, LiPON을 대체할 새로운 전해질인 LiSiON 대해 조사를 하였으며 향후 박막전지에 적용할 수 있는 가능성이 높은 후보라고 할 수 있을 것이다.

[P7-19]

Direct-Contact Micro-Electrical Measurement of the Electrical Resistivity of a Solid Electrolyte Interface Formed on a Graphite Electrode: Jun-Hyoung Park¹, Yong-Seok Choi¹, Hyung-Cheoul Shim², Jae-Pyoung Ahn³, Jae-Chul Lee¹; ¹Korea University. ²Korea Institute of Machinery and Materials. ³Korea Institute of Science and Technology.

Keywords: Li-ion battery, Solid electrolyte interface, Resistivity, Four-point-probe technique, Ab-initio calculations

Because of its effectiveness in blocking electrons, solid electrolyte interface (SEI) suppresses decomposition reactions of electrolyte and contributes to the stability and reversibility of batteries. Despite the critical role of solid electrolyte interface (SEI) in determining the properties of batteries, the electrical properties of SEI layer have never been directly measured. Here, we report the first experimental results of the electrical resistivity of an SEI layer measured using a direct-contact micro-electrical device mounted in an electron microscope. Measurements show that the SEI layer exhibits a high electrical resistivity ($2.3 \times 10^5 \Omega \cdot \text{m}$), which is comparable with those of typical insulating materials. A combined technique of advanced analyses and first-principles calculations show that the SEI layer is mainly composed of amorphous LiF with a minor amount of Li₂CO₃. The electronic origin responsible for the high resistivity of the SEI layer is elucidated by calculating the band structures of various Li_xF compounds and interpreting their effects on the resistivity. The present measurement can be viewed as a stepping stone for developing highly reversible and stable batteries by

correlating these properties with the electrical properties of various types of SEIs.

[P7-20]

Feasible High V_{oc} of Based $(FAPbI_3)_{0.875}(CsPbBr_3)_{0.12}$ Perovskite Solar Cells (PSCs) with Ferroelectricity: Maro Kim, Chung Wung Bark; *Gachon University*.

Keywords: Perovskite solar cells, Electron transport materials, Hybrid perovskite materials, Power conversion efficiency, Open-circuit voltage

The n-i-p mesoscopic structure is typical device structure of Perovskite solar cell (PSCs). There are four layers which Fluorine-doped tin oxide (FTO)/ electron transport layer (ETL), ETL/perovskite layer, perovskite layer/hole transport layer (HTL) and HTL/metal electrode. The properties of the electron transport materials (ETMs) and organic-inorganic hybrid perovskite materials layer has studied intensively by many researchers, to enhance the power conversion efficiency (PCE) in this typical structure. In this work, we investigated the effect of the electron transport material with ferroelectricity on the perovskite material with $(FAPbI_3)_{0.875}(CsPbBr_3)_{0.12}$. It was found that the modified electron transport layer in a recombination with $(FAPbI_3)_{0.875}(CsPbBr_3)_{0.12}$ Perovskite is well-matched energy level alignment. As a result, we found that reduction of the energy loss for a high open-circuit voltage (V_{oc}) output and we were able to achieve the high performance PSCs with ferroelectricity.

[P7-21]

TiFe 수소저장 합금에 Zr 첨가가 수소저장 초기 활성화에 미치는 영향: 김하영¹, 하태준², Vu Khanh Nhien³, 홍지현⁴, 이영수⁴, 심재혁⁴, 김도향¹, 서진유⁴; ¹연세대학교 ²고려대학교 ³서울대학교 ⁴한국과학기술연구원.

Keywords: TiFe, TEM, Hydrogen storage alloys

TiFe는 상온에서 수소를 가역적으로 저장 할 수 있는 상온용 수소저장합금으로 잘 알려져 있다. 그러나 초기 수소 저장을 하는 초기 활성화에 어려움이 있는데, Zr을 소량 첨가 함으로써 초기 수소 저장을 쉽게 만들 수 있다고 보고되어있다. 본 연구에서는 TiFe에 Zr을 첨가하여 각 상들을 관찰하였다. SEM(bse mode)로 미세조직을 보았을 때, 다양한 상이 존재하는 것으로 예상되었다. 각 상들을 TEM으로 조성과 결정학적 정보를 얻어, 각 상들을 확인하였다. 결론적으로, 네 가지 상의 결정학적 구조는 각각 BCC(FeTi 결정학적 database와 일치), BCC(β -Ti), HCP(Fe₂Ti), FCC(Ti₂ Fe)로 확인하였다. 또한 그 각 상들의 조성과 최근 보고된 논문과의 비교를 통해 정확한 상을 확인하였다. Zr 첨가율을 다르게 하여 만든 샘플에서도 같은 상들이 나타나는 것을 볼 수 있었다. Zr 첨가율을 다르게 하여 만든 샘플들의 수소저장 초기화 특성 평가와 함께 미세조직 분석(TEM, SEM, XRD 등)도 같이 시행하였다. Zr 첨가량에 따른 초기 수소 활성화 특성을 측정하였고, 각 상의 정량값을 비교 분석하여 각 상들이 초기 활성화에 주는 영향을 예측할 수 있었다.

[P7-22]

Sb Nanoparticles Encapsulated in Graphitic Carbon from Natural Resources as High Capacity Anode Material for K-Ion Batteries: 기형서, Rakesh Verma, 박찬진*; *전남대학교*.

Keywords: Potassium-ion batteries, Anode, Antimony, Graphitic carbon, Shellac

Nowadays, limited conventional energy resources and environmental pollution are critical issues over the world. Therefore, the development of clean and sustainable energy sources and the convenient storage of the energies become considerably crucial. In this perspective, lithium-ion batteries (LIBs) have been intensively used as the most successful energy storage media in the past decades. However, rapid growth of LIBs has been restricted due to unevenly distributed and limited lithium natural resources. Numerous efforts have been devoted to search the alternative to LIBs such as sodium-ion batteries (SIBs) and potassium-ion batteries (PIBs), due to their benefits of abundance and economic merits. When comparing PIB with SIB, re-dox potential of K^+/K (-2.93 V vs. SHE) is lower than Na^+/Na (-2.71 V vs. SHE), which enables higher cell potential and energy density of PIB. Recently, alloy type Sb anode has attracted considerable attention for PIBs owing to its low and suitable potentials for alloying/dealloying and high specific capacity corresponding to K_3Sb phase. However, the large volumetric change during repetitive cycling may lead to pulverization of the active material and resultant rapid capacity fading. To address the issues thereby improving the cyclability of Sb-based anodes, many strategies, such as making nano-sized particles and porous structures, and embedding active materials into carbon layer have been suggested. In this study, the Sb nanoparticles encapsulated in graphitic carbon have been synthesized through thermal reduction route using shellac as a cheap and sustainable carbon source. The solution of $SbCl_3$ -shellac was heated at various temperatures in N_2 atmosphere by varying content of shellac. Shellac was decomposed into graphitic carbon at 600°C. The crystal structure, morphology, and carbon content of the Sb-C composite were investigated by XRD, SEM, Raman spectroscopy, and TGA. Furthermore, Sb-C composite based electrode were electrochemically tested. Effects of the shellac content and carbonization temperature on the electrochemical performance of the Sb-C composite was investigated within a potential range from 0.01 to 2.0 V vs. K/K^+ . The Sb-C composite exhibited high capacity, long cyclability, and rate capability, which were suitable as an anode for PIBs.

[P7-23]

Photocatalytic Performance of Highly Transparent and Mesoporous Molybdenum-Doped Titania Films Fabricated by

Templating Cellulose Nanocrystals: Yonghee Yoon, Soyoung Kim, Chulhwan Jung, Wonhee Lee; *Sejong University*.

Keywords: Titania, Photocatalyst, Thin film, Cellulose, Photodegradation

In this study, the synthesis of mesoporous Mo-doped titania films templated by cellulose nanocrystals (CNCs) and their photocatalytic performance are reported for the first time. The prepared titania composite precursors containing the CNCs and molybdenum chloride were spin-coated on indium tin oxide (ITO) glass substrate, followed by calcining at 400 °C for 1 h. X-ray diffraction (XRD), Brunauer–Emmett–Teller (BET), scanning electron microscope (SEM), and UV-vis spectrophotometer were employed to characterize the phase composition, pore structure, morphology, and optical property of the titania films in relation to CNCs templating and Mo doping. Photocatalytic performances of the titania films were also evaluated on the photodegradation of trichloroethylene under a fluorescent light source. The Mo-doped titania films with CNCs templating were highly transparent and mesoporous, exhibiting only anatase phase, high specific surface areas ranging in 135.4 – 149.0 m²/g, and small crystallite sizes of 9.5 – 11.1 nm. The results indicate that Mo ions were successfully doped by substituting for Ti ions in the titania lattice. The Mo doping stabilized the anatase phase and also increased the surface area of the CNCs-templated titania film while decreasing the mean pore width. Notably, the visible light absorption capacity and photocatalytic activity of the CNCs-templated titania films doped with Mo were dramatically greater than those of the pure and the CNCs-templated titania films, which is ascribed to the decreased recombination rate of photoexcited charges and the increased surface area with aids of the CNCs templating and the Mo doping.

[P7-24]

Observation of Ce Agglomeration at the Fuel Cladding Chemical Interaction Interface Between U-Zr-Ce and HT9: 한인수, 김주성, 천진식; *한국원자력연구원*.

Keywords: Metallic fuel, Fuel cladding chemical interaction, Lanthanide migration, Sodium cooled faster reactor

The fuel cladding chemical interaction (FCCI) between U-Zr based metallic fuel and ferritic-martensitic stainless steel cladding is one of the critical factors controlling the lifetime of metallic fuel rods. Among the fission products, lanthanides have been frequently observed in the FCCI layers, and is believed to catalyze the FCCI. To observe the lanthanide effects on FCCI under the transient operation, diffusion couple of U-Zr-Ce with HT9 material was conducted at high temperature above 725°C. The microstructure of the reaction layers was observed through a scanning electron microscope (SEM), and element distribution was analyzed using an electron probe micro analyzer (EPMA). Ce-rich spheres were locally observed in the FCCI layers close to the original fuel side. It was concluded that the Ce agglomeration occurs in the liquid phase of U-Fe and that a liquid-like diffusion of Ce in the U-Zr matrix is possible.

[P7-25]

TiO₂/LiPON/NMC 구조를 갖는 전고체전지의 특성에 관한 연구: 윤백산, 서인석, 나단, 이병준, 김영범; *전북대학교 신소재공학부*.

Keywords: All-solid-state battery, NMC cathode, LiPON, TiO₂ anode, Sputter

Thin-film 전고체전지는 기존의 리튬이온전지에 비해 전기화학적 안정성이 좋고 작동전압이 높다는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점을 가지는 이유는 액체 전해질을 사용하지 않고 고체전해질을 사용하기 때문이다. 고체전해질은 크게 산화물계와 황화물계로 나눌 수 있다. 산화물계는 안정하지만 낮은 이온전도도를 가지고 있고 황화물계는 높은 이온전도도를 나타내지만 화학적으로 불안정하다. 고체전해질 중 Thin-film 전고체전지에서 많이 쓰이고 있는 전해질인 lithium phosphorus oxynitride(LiPON)은 전자 전도성이 거의 없고 안정하기 때문에 고전압(5.5V vs. Li/Li+)으로 충전이 가능하고 고온에서도 안정하다는 장점을 가지고 있다. 본 실험에서 사용한 양극재인 Li(NiMnCo)O₂는 LiNiO₂의 고용량성, LiMnO₂에서 망간의 열적 안정성과 저렴한 가격, LiCoO₂의 전기화학적으로 안정하다는 장점이 모여 훌륭한 전기화학적 성질을 갖는다. Thin-film 전고체전지에서 음극으로 주로 사용되는 Li metal은 이론적 용량은 높지만 공기 중에서 반응성이 높고 가격이 비싸다는 단점을 갖는다. 이러한 단점을 보완하기 위해 가격이 상대적으로 저렴하고 대기 중에서 반응성이 적은 TiO₂를 음극재로 사용하였다. Thin-film 전고체전지의 각 요소를 증착하기 위해서 Direct current(DC), Radio frequency(RF) 스퍼터링을 사용하였다. 스퍼터링은 균일한 증착이 가능하고 박막의 응착력이 좋다는 장점을 가지고 있다. 또한 금속, 합금, 산화물 등의 물질도 박막 성장이 가능하기 때문에 스퍼터링을 통하여 Thin-film 전고체전지를 제작했다. 양극 집전체로 Ti를 DC 스퍼터링을 이용하여 아르곤 분위기하에서 100 nm의 두께로 증착하였다. 공정압력은 2 mTorr, 스퍼터링 파워는 70 W에서 진행하였다. 음극 집전체로 앞서 증착시킨 Ti 위에 Cu를 DC 스퍼터링을 이용하여 아르곤 분위기하에서 100 nm의 두께로 증착하였다. 공정압력은 7 mTorr, 스퍼터링 파워는 30W에서 진행하였다. 양극은 Li(Ni_{0.5}Mn_{0.3}Co_{0.2})O₂ 타겟으로 RF 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 아르곤과 산소 분위기하에서 300 nm의 두께로 증착하였다. 공정압력은 10 mTorr, 스퍼터링 파워는 100W에서 진행하였다. 고체전해질 LiPON은 Li₃PO₄ 타겟으로 RF 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 아르곤과 질소 분위기하에서 공정압력은 3mTorr, 스퍼터링 파워는 200 W에서 진행하였다. 고체전해질의 두께는 1.5 μm로 증착하였다. 고체전해질의 두께를 전극과는 달리 두껍게 증착시킨 이유는 얇게 증착하게 될 경우 편홀에 의한 단락 현상이 발생할 수 있기 때문에 이를 방지하기 위해서이다. 음극은 TiO₂ 타겟으로 RF 마그네트론 스퍼터링을 사용하여 아르곤 분위기 하에서 200 nm의 두께로 증착하였다. 공정압력은 10mTorr, 스퍼터링 파워는 150W에서 진행하였다. 표면과 단면의 형상을 확인하기 위해서 Field emission scanning electron microscopy (FESEM)으로 측정을 하였다. X-ray diffraction(XRD) 패턴 분석을 통해서 결정 상태를 측정하였다. XRD 측정은 40 kV, 100 mA로 Cu/Kα(λ = 1.5405 Å)을 사용하여 20° < 2θ < 80° 범위에서 스캔 속도를 1 degree/min.로 하여 진행하였다. NCM 타겟과 thin-film의 XRD 패턴을 비교해보았을 때, 결정질인 NCM 타겟과 다르게 thin-film은 NCM (0004)면을 제외한 다른 피크는 나타나지 않았다. 따라서 thin-film으로 증착될 때, 전체적으로는 비정질이지만 부분적으로는 결정질임을 확인할 수 있었다.

Electrochemical impedance spectroscopy(EIS)를 통하여 LiPON의 이온전도도를 측정하였다. 측정 조건은 실온에서 0.1Hz ~ 1MHz의 주파수 범위에서 고체 전해질의 임피던스를 측정하여 이를 통해 이온전도도를 계산하였다. LiPON의 이온전도도는 1.05×10^{-6} S/cm의 값을 얻었다. X-ray photoelectron spectroscopy(XPS)를 통하여 박막의 조성 및 결합에너지를 측정하였다. Thin-film 전고체전지의 용량은 충방전 측정기기를 통하여 측정하였다. 본 실험을 통해 스퍼터링을 이용하여 thin-film 전고체전지를 성공적으로 증착하였고 전고체전지의 각 구성요소들의 특성 평가를 진행하였다. 이를 통해 NMC과 TiO_2 를 thin-film 전고체전지의 활물질로 사용할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

P8 : 마찰마모

Room 전시장 III, 4월 25일

[P8-1]

표면처리별 마찰마모 특성에 관한 연구: 박지현, 최병호, 이규석; *현대트랜시스*

Keywords: 마찰마모, 침탄, 산질화, 무전해Ni도금, 인산염피막

최근 지구 온난화 등 환경 문제를 개선하기 위해 자동차 업계에서는 환경규제 대응 및 연비 향상을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이를 위해서 부품의 고강도화를 통한 차체의 경량화 필요성이 대두되고 있는데 그 중에서도 기어는 변속기의 핵심 부품으로서 동력 전달에 있어 중요한 역할을 하고 있다. 이는 부품간의 상대적 운동에 의해 표면 피로, 열피로, 진동피로 등 무수히 많은 피로하중을 받게 되므로 우수한 기계적 특성 및 높은 피로 강도가 요구된다. 기어의 내구성 향상을 위해 종래에 침탄 열처리를 적용하고 있었으나 근래에는 다양한 표면경화 열처리 방법 적용에 대한 연구가 진행되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 침탄, 산질화, 무전해Ni도금, 인산염피막 등 현재 자동차 부품 표면처리 별 마찰마모특성을 비교 분석하고자 한다.

[P8-2]

전이막 특성에 미치는 디스크의 탄소 함량, 흑연 크기 및 제동 시험 온도의 영향: 서위걸¹, 김정균¹, 최희범², 최시훈¹; ¹국립 순천대학교, ²㈜프릭사 연구개발팀.

Keywords: Brake system, Cu-free, Transfer film, FEA

자동차에 사용되는 제동 시스템은 디스크와 마찰재 등으로 구성되었다. 제동 시에 디스크와 패드의 마모로 인해 발생하는 잔해는 환경 문제를 야기시키기도 하지만 디스크에 고착되어 전이막을 형성하기도 한다. 이러한 전이막의 성분이나 두께는 마찰계수에 영향과 상관관계가 있다고 알려져 있다. 본 연구에서는 (주)프릭사에서 개발중인 Edge code level N을 만족하는 마찰재와 디스크의 탄소 함량, 흑연의 크기 및 제동 조건에 따라 전이막의 특성을 이해하고자 하였다. 제동 시험을 모사하기 위해서 1/5 scale dynamometer 시험을 수행하였다. 이후 전이막을 관찰하기 위해 디스크를 절단 후 전계방사형주사전자형미경(Field emission scanning electron microscope, FE-SEM)을 이용하여 전이막의 두께를 측정하였다. 그리고 디스크의 탄소 함량, 흑연의 크기 및 제동 온도 조건과 전이막의 상관관계를 분석하였다. 또한 제동 시 개발 마찰재의 온도와 응력 분포를 예측하기 위해서 유한요소해석(finite element analysis, FEA)을 수행하였다. 유한요소해석에 필요한 개발 마찰재의 물리적 성질 및 열 특성(thermal property)은 LFA(laser flash analysis) 및 TMA(thermomechanical analysis) 시험법을 이용하여 측정하였다. 제동 시 디스크와 개발 마찰재 패드 사이에 발생하는 마찰열(frictional heat) 및 마찰 응력(frictional stress)을 모사하기 위해 FEA에 온도-변위 복합 모델을 적용하여 해석하였다.

P9 : 가공-표면처리
Room 전시장 III, 4월 25일

[P9-1]

Impact on Ce Sealing Post Treatment on Pore Reduction of PEO Coated AZ31 Magnesium Alloy: Hyung Uk Lee¹, Minsoo kim², Bon Heun Koo¹; ¹*School of Materials Science and Engineering, Changwon National University.*

Keywords: AZ31, PEO, sem, xrd

In this study, in order to reduce the stoma formed in electrolytic plasma process, the sealing postprocessing was carried out after electrolytic plasma process by electrolytic to AZ31 alloy. All the coupons were used after mechanical polishing. An alkaline solution [Na₂SiO₃ (15g / l), Na₂SiF₆ (0.3g / l), and NaOH (3g / l)] was carried out by electrolytic plasma process in step 1. Then, the solution was made with Ce nitrate hexahydrate, and salting was carried out. The oxides formed were analyzed by SEM and XRD for microstructure and lattice structure analysis. Hardness and corrosion tests were conducted using microbeaker hardness test and potencyst/gavanostat. When visually checked, the yellow tip was checked over the duration of the settlement. Since thickness and hardness are the thickness and hardness of the base, little change was made through sealing postprocessing, and it was confirmed that the highest polarizing resistance value was obtained upon one hour settlement.

[P9-2]

High Temperature Corrosion of Aluminized Diffusion-Coating for Fe-9Cr Alloy: 김민정, XiaoXiao, 이동복; *성균관대학교 자연과학캠퍼스*

Development of many new industrial / commercial steels and alloys in high-temperature oxidation and corrosion applications to enhance degradation resistance and to provide excellent mechanical, physical and elevated temperature performance. Meanwhile, surfaces of existing steels and alloys are being modified that can provide excellent elevated temperature performances through highly protective oxide layer formation. The aluminizing is one of pack-cementation diffusion coating processes for Fe-base alloys. It can provide excellent elevated temperature performances through highly protective oxide layer formation. In addition to increase the metallic materials lifetime, fracture toughness and soft or ductile intermetallic phases on metallic materials. In this study, the aluminized diffusion-coating was applied on Fe-9Cr alloy substrate by pack-cementation, and its corrosion behavior was studied at 800°C in N₂/H₂O/H₂S-mixed gas.

Acknowledgements: This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2016R1A2B1013169).

[P9-3]

Diffusion Pollution Prevention with Optimized Coating Conditions for Al-Based Mold by CVD of Molybdenum: Wonchul Yang¹, Cheolhong Hwang¹, Eunkeoung Kim¹, Hyolyoung Lee², Jinsoo Park³, Joon Sik Park*¹; ¹*Hanbat National university.* ²*Shin Woo.* ³*Insstex.*

Keywords: CVD, Surface Coating, Diffusion barrier, Oxidation behavior

During the tire manufacturing process, the Al-based mold is contaminated by presence of ZnS of the premix rubber, resulting in a faulty tire due to mold discoloration and rubber bonding. Therefore, researches have been progressed to prevent contamination of tire by surface coatings and to improve pollution delay and productivity. In this study, we tried to prevent diffusion of ZnS in mold by chemical vapor deposition (CVD) of Molybdenum on mold. The CVD process formed a Molybdenum coating layer from the precursor of Mo(CO)₆ (molybdenum hexacarbonyl). The coating layer was manufactured through chemical reaction of Mo(CO)₆ + 3O₂? Mo + 6CO₂. Various coating condition such as change of heat treatment condition were selected. The coating was performed under optimized conditions and diffusion prevention experiment by ZnS was carried out. The diffusion prevention were discussed in term of microstructures by SEM BSE, EDS and XRD.

[P9-4]

촉매용 금속 지지체의 전기화학적 세라믹 코팅기술 연구: 양현석, 정우철, 장대환, 공만식; *고등기술연구원.*

Keywords: Steam methane reforming, Hydrogen, Metal support, Ceramic coating, Adhesion, Electro-chemical coating

수소 생산을 위한 SMR 공정에서 반응기 내에는 수소 생산효율을 높이기 위한 촉매가 적용되고 있다. 특히 고온의 수소 생산 환경에서 촉매 지지체는 높은 열전달과 내산화성, 내충격, 낮은 압력강하의 요구로 인해 금속소재의 지지체 적용이 요구되고 있다. 하지만 고온에서는 세라믹 촉매와 금속 지지체간의 열팽창계수 차이로 인한 촉매수명이나 생산효율 등 성능 저하문제가 발생하여 지지체와 촉매의 결합력 향상을 위한 코팅층이 요구된다. 본 연구에서는 촉매용 금속지지체 소재 표면에 전기화학 공정을 이용하여 공정 변수에 따른 세라믹 코팅을 시도하였으며, 생성여부를 관찰하였다.

[P9-5]

압전성을 갖는 Cu계 방전가공용 전극선 개발 연구: 양현석, 정우철; *고등기술연구원.*

Keywords: Copper electrode, Zinc oxide, Piezoelectricity, EDM, Roughness

산화이연은 대표적인 압전재료이며, 각종 압전소자 및 센서, 반도체 재료에 많이 활용되고 있다. 이러한 압전소자는 전극선의 고주파 펄스 전압 인가 시 전압 주기만큼의 기계적 변형이나 뒤튐림이 반복되면서 고주파 진동이 발생하게 된다. 이러한 역압전효과로 인해 가공물과 전극선 사이에 발생하는 전도성 입자의 배출성 증가를 기대할 수 있다. 본 연구는 방전가공 중 발생하는 가공칩의 배출효율을 극대화하여 가공면 조도를 향상시키는 목적으로 Cu계 전극선에 압전 세라믹 물질을 생성시키기 위한 연구를 수행하였다. 산화이연층을 형성하기 위해 Cu계 전극선 표면에 이연을 도금하여 열처리를 실시하였으며, 열처리조건에 따른 나노구조의 산화이연층 형성여부를 관찰하였다. 380°C에서 나노크기의 산화이연이 균일하게 생성되었으며, 실제 가공시험 결과 기존 황동 전극선 대비 가공면의 조도가 향상되었음을 확인하였다.

[P9-6]

Laser Cladding of CoNiCrAlY Bond Coat on Co-Ti-W Alloy and Effects of Dilution: Jaewook Han, Pyuck-Pa Choi, Won Seok Choi; KAIST.

We conduct laser cladding of CoNiCrAlY bond coat on Co-Ti-W alloy which has γ/γ' equilibrium phases and investigate the effects of dilution on microstructure and oxidation property. Laser cladding is a method of coating through powder deposition and melting by laser, by which fully dense and non-porous layer can be deposited. However, during laser cladding process, some part of substrate can be melted and dilutes clad material which can significantly change its property. By changing process parameters, we obtained specimens of which dilution rates are 16% and 50%. Microstructure and phase analysis were studied using SEM, XRD and TEM. Both of specimens showed Ti and Al segregation in interdendritic region, but it was found that only specimen with 16% dilution rate showed γ/β microstructure. In addition, oxidation test was conducted and continuous Al_2O_3 layer appeared at specimen of which dilution rate is 16%.

[P9-7]

강판의 표면 오염이 방청도료와 부착강도에 미치는 영향: 백주환, 강영준, 조영래; 부산대학교 공대 재료공학과.

Keywords: Anti-corrosive paint, Pull-off test, Adhesion-strength, Shipbuilding

에폭시페인트는 강철판에 주로 사용되는 방청도료로써 조선 산업에 널리 사용된다. 선박용 강판을 부식으로부터 최소화하기 위해 오래전부터 방청도료를 사용했다. 적합한 설계결과를 얻으려면 내식성 페인트를 금속 기판에 강하게 부착해야 한다. 방청 도료와 강판의 부착 강도는 기판 표면의 오염도에 의존한다. 부착 강도가 충분하지 않으면, 강판의 내식성은 크게 떨어지게 된다. 본 연구의 목적은 오염도를 면적프로그램으로 계산하고, 오염도에 따른 방청 도료와 강판의 부착력을 측정하여 표면 오염의 영향을 조사하는 것이다. 특히 부착 강도에 미치는 오염 부위의 영향을 상세하게 조사했다. 오염도가 미치는 영향을 조사하기 위해 조선소에서 주로 사용되는 저탄소강과 선박용 방청 도료를 사용했다. 강판과 내식성 도료의 부착 강도는 Pull-off tester (Elcometer사의 Elcometer 510)을 사용하여 측정했다. 측정에 사용된 돌리는 직경 20 mm의 알루미늄 재질을 사용했다. 본 연구에서는 금속에 대한 도료의 접착 강도와 표면 오염이 접착 강도에 미치는 영향에 대해서도 논의 할 것이다.

[P9-8]

Cr-P 합금도금 실용화를 위한 전착도장 연구: 박종규; 에스비피셀텍.

Keywords: Trivalent chromium, Alloy plating, Ceramic coating, Electro-deposition, Corrosion resistance

자동차 산업에서의 표면처리 기술은 자동차 외장 및 내장 부품의 내식성을 향상시키는 것으로 특히, 자동차 부품 중 베어링, 금형, 공구 및 기타 구조부품 등은 외부 부품보다 사용환경이 가혹하기 때문에 응력, 마모 및 마찰로 인하여 자동차 내식성 저하 및 경제성 저하뿐만 아니라 주행 안전성의 저하로 이어지기 때문에 표면처리 기술은 자동차 부품의 수명연장과 경제적 측면에서 매우 중요한 요소기술 중에 하나이며, 반드시 필요한 기술이다. 자동차의 구조는 크게 두 가지로 나누어진다. 사시부품과 차체 부품이며, 차체 부품의 경우 허부에 위치하는 반면, 사시부품은 차량 허부 외곽에 위치하고 있으므로 외부로부터 오염물질 및 물리적 충격에 의한 영향으로 인해 부식 발생이 쉬운 단점이 있다. 따라서 일반적으로 자동차 부품의 내구성 및 내식성을 향상시키기 위한 일반적인 표면처리 방법으로는 도금 이후 전착도장을 하는 것이며, 그 원리로는 전위를 걸어 전도성 소재에 전착 조성물이 전착되는 것이다. 현재 주로 적용되는 전착도장은 양이온 전착도료가 사용되고 있으며, 균일성, 방청성 등이 우수하여 자동차 외장재 및 부품에 대부분 적용되고 있는 실정이다. 1990년대부터 환경문제가 거론되기 시작하면서 전착도료에 대한 기술개발이 활발히 이루어지고 있으며, 특히 최근 나노사이즈의 충전재(SiO_2 , Al_2O_3)를 이용하여 내마모성 및 내식성을 향상시키는 기술이 개발되고 있다. 따라서 본 연구에서는 Cr-P 합금도금에 실용화를 위하여 현재 많이 적용되는 아크릴 레진 도장(Acrylic resin coating)과 나노세라믹 도장(Nanoceramic coating)으로 전착도장을 하여 그에 따른 특성을 SEM과 EDAX로 확인 하였으며, XRD를 통해 상(Phase)을 분석하였다. 더불어 경도 및 내마모시험을 통해 Cr-P 합금도금이 전착도장에 따른 기계적인 특성에 대해 고찰하였다.

[P9-9]

열처리 및 이온질화처리를 통한 RTM용 SKD11 금형 제작: 최광목¹, 채흥준²; ¹고등기술연구원 신소재공정센터. ²고등기술연구원 융합소재공정센터.

Keywords: RTM 금형강, SKD11, 열처리 설계, 이온질화처리

일반적으로 CFRP 기반 제품은 오토클레이브(autoclave) 공정을 이용하여 제조된다. 오토클레이브 공정은 다양한 부자재를 이용하

여 압력과 진공으로 성형하는 제조공법으로, 기계적 특성이 우수한 고신뢰성 제품을 제조할 수 있으나, 생산시간이 너무 길고 공정이 복잡하다는 단점을 가지고 있다. 이에 최근에는 탈오토클레이브 공정에 대한 연구가 진행되고 있다. 초기에는 짧은 탄소침투와 수지를 섞어 금형 내 사출하는 방식의 사출성형(injection molding)이 대체공정으로 제안되었다. 그러나 본 공정은 생산성이 우수하다는 장점이 있지만, 단점유로 인해 강도가 많이 약해진다는 단점을 가지고 있다. 이를 보완하기 위해 제안된 공법이 바로 수지충진 공정(resin transfer molding, RTM)이다. RTM 공정은 금형 내부에 제품을 동봉하고 내부에 수지를 충전하여 CFRP 제품을 제조하는 공정으로, 생산 설비가 비싸다는 단점이 있으나, 생산성이 우수하며 동시에 제품의 기계적 강도도 기존 오토클레이브 공정을 통한 제품에 비해 우수하여 최근 각광받고 있는 공정기술이다. 그러나 반복된 RTM 공정으로 인한 금형 형상 왜곡 및 레진 제거에 따른 표면 결함은 CFRP 제품의 신뢰성을 저하시키는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 반복된 공정에도 변형되지 않을 수 있고 표면 경도가 우수한 금형 제작이 매우 중요하다. 이를 위해서는 높은 인장강도와 경도가 필요하며 동시에 신속한 잔열 제거를 위한 높은 열전도도가 필요하다. SKD11은 냉각 금형용 합금공구강의 주류를 차지하는 범용강으로, 상온에서 내마모성이 우수하고 변형이 적어 RTM 금형재질로 적합한 강재이다. 그러나 일반적인 SKD11으로는 금형 소재로 요구되는 기계적 특성을 만족시키기 어렵다. 이에 열역학적 계산을 통해 소입 및 템퍼링 조건을 설계하고 동시에 표면 경도를 강화시킬 수 있는 이온질화처리를 시행하여 우수한 기계적 특성을 구현하였다. 이를 통해 인장강도 1801 MPa, 경도 60 HRC, 열전도도 29 W/mK의 SKD11 소재를 제작하였으며, 동시에 본 소재를 이용하여 RTM 금형을 설계 및 제작하여 고신뢰성 제품 생산이 가능함을 확인하였다.

[P9-10]

Duplex Treatment of AISI 630 Martensitic Precipitation Hardening Stainless Steel via Plasma Nitriding and Plasma Nitrocarburizing: 이인섭; 동의대학교

Keywords: Plasma nitriding, Plasma nitrocarburizing, Multiple plasma nitriding-nitrocarburizing, Corrosion resistance, S-phase

Low temperature plasma nitriding and nitrocarburizing were experimented to study the effect of these treatments on the surface hardness and the expanded martensite layer (α'_N layer) thickness of the AISI 630 martensitic precipitation hardening stainless steel. Plasma nitrided samples show thicker α'_N layer thickness (about 16 μm) but their corrosion resistances are worse than the untreated sample. On the other hand, plasma nitrocarburized samples shows better corrosion resistance, whereas their α'_N layer thickness values (around 10 μm) are very low. But the surface hardness values of both the nitrided and nitrocarburized samples are quite similar (approximately 1250 HV_{0.05}). The purpose of the present study is to combine the beneficial effects of both plasma nitriding and plasma nitrocarburizing. Therefore, in order to get a higher surface hardness and thicker α'_N layer thickness with good corrosion behavior, a series of combination of simultaneous nitriding and nitrocarburizing were investigated. After treatment the samples were characterized by optical microscopy, X-ray diffraction, GDOES analysis and micro-hardness testing. The highest surface hardness (around 1350 HV_{0.05}), highest α'_N layer thickness (around 16 μm) and best corrosion resistance are achieved when treated with this noble process, compared to single plasma nitriding or single plasma nitrocarburizing process.

[P9-11]

무전해 Ni-P 공정에 따른 물리적 특성 연구: 변영민¹, 황규석², 이성우², 허도³, ¹한국건설생활환경시험연구원, ²세라컴, ³세미인프라

Keywords: 무전해도금, Ni-P, 환원제, 윤활성

무전해 도금은 전원과 전극을 사용하지 않기 때문에 피도금 물질의 형상에 관계없이 밀착성이 좋고 균일한 피막을 얻을 수 있다. 이러한 특성 때문에 무전해 도금은 부도체의 표면에 금속성을 부여하여 전도성, 광택, 내부식성, 강도 등을 높이는데 많이 이용되어 왔으며 특히 플라스틱이나 무기분말에 무전해 도금을 하여 각종 도전재료, 대전 방지재료, 전자파 차폐재료 및 착색재료와 내열재료로 쓰이고 있다. 무전해 Ni 도금액은 환원제 용액 중 첨가되는 착화제, 조정제, pH 완충제 등에 따라 도금속의 종류가 나뉘며 차아인산을 환원제로 한다. 니켈공급원으로 Nickel(II) sulfate, 환원제로서 Sodium hypophosphite를 사용하는데 부산물로 Na₂SO₄, NaH₂PO₃ 등의 부산물과 금속염의 축적으로 인하여 반응 속도가 시간에 따라 금속니켈 소모기간이 늦어지게 된다. 따라서 본 연구에서는 무전해 Ni-P 공정에서 주요 parameter인 pH, 온도 및 교반에 따른 도금층의 물리적 특성에 대한 연구를 하였다.

[P9-12]

T₂(Mo₅SiB₂)의 레이저 코팅 및 코팅된 철강의 내삭마특성: 양원철, 황철홍, 김은경, 김정민, 박준식*; 한밭대학교 신소재공학과

Keywords: 표면 코팅, 레이저, T₂(Mo₅SiB₂), 내삭마특성

페라이트와 시멘타이트가 혼합된 탄소강은 값싼 제조비용, 다양한 기계적 성질로 석유화학, 자동차 산업, 구조물 등에 다양한 분야에 활용되고 있다. 탄소강뿐만 아니라 철강, Al-based 합금, superalloy 등 여러 합금들의 고온 산화 저항성을 향상시키기 위한 코팅법에 대한 많은 연구가 이뤄지고 있다. 3D 프린팅을 이용한 코팅법은 간단한 공정, 대량생산 가능, 우수한 밀착력, 복잡한 형상에 대한 균일한 코팅층 형성이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 레이저를 이용하여 철강소재인 SM45C 합금에 Ni+T₂(Mo₅SiB₂)와 T₂(Mo₅SiB₂) 분말 코팅을 진행하였고, T₂가 코팅된 철강시험편은 고온에서 화염 내삭마 테스트를 진행하였다. 이러한 코팅층을 통한 SM45C의 내삭마특성은 정적 산화 저항성뿐만 아니라 고온의 산업 분야에서의 활용 가능성을 높였다. 각 코팅층의 미세구조와 내삭마거동은 SEM BSE, EDS 및 XRD 분석을 통해 논의하였다.

[P9-13]

반응성 마그네트론 스퍼터링 공정변수 제어를 통한 MoSiN 코팅의 미세조직 및 기계적 물성 최적화: 임기섭, 김영석, 박해진, 문상

철, 홍성환, Elyorjon Jumaev, 박제형, 김기범*; 세종대학교 나노신소재공학과.

Keywords: Hard coating, TEM, Microstructure, Mechanical property, Reactive magnetron sputtering

난삭재는 초고열, 초경도, 초경량 등 다양한 특성을 지니며 우수한 기계적 특성을 갖는 것으로 알려져 있다. 이러한 특징으로 인해 우주항공, 선박, 자동차, 에너지, IT 등 다양한 첨단산업분야에서 난삭재의 수요가 증가하고 있다. 하지만, 가공의 어려움이 있어 산업에 적용하는데 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 개발된 가공기술 중 하드코팅기술은 공구의 표면경도 및 수명을 현저하게 향상시킬 수 있다. 그 중에서 금속질화물 코팅은 높은 경도, 인성, 마모 및 내식성을 갖고 있으며, 기존 선행연구 결과에 따르면 질화물 코팅의 우수한 물성은 질화물(Nitride) 생성 및 질화 공정에 의한 코팅층의 고밀도화에 의해 나타난다고 알려져 있다. 이러한 금속 질화물 코팅 중 MoN코팅은 우수한 열적, 마찰특성과 낮은 마모율을 갖는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 MoSiN 코팅층의 기계적 특성 및 미세조직을 최적화 하기 위해 반응성 마그네트론 스퍼터링 공정변수를 제어하여 코팅층을 제작하였다. 공정 변수로는 인가전력, 공정압력, 질소유량 등이 있으며, MoSi타겟을 사용하여 Si wafer 위에 증착 시킨 coating층을 분석하였다. 결정구조 및 상 분석을 위해 X선 회절분석(XRD)을 실시하였으며, 미세 구조를 분석하기 위해 전계방출형 주사전자현미경(FE-SEM), 투과 전자현미경(TEM) 분석을 실시하였다. 또한 코팅층의 화학적 성분 분석을 위해 EDX분석을 실시하였으며 기계적 특성 평가를 위해 나노압입시험(Nano-indentation test)을 진행하였다.

[P9-14]

Low Temperature Two-Step Plasma Nitriding of 2205 Duplex Stainless Steel by Carbon Addition: 이인섭; 동의대학교
Keywords: Low temperature plasma nitriding, 2205 Duplex stainless steel, S-phase, Corrosion Resistance

Plasma nitriding was carried out at 400 V with a gas mixture of H₂ and N₂ for 15 hrs with changing N₂ percent, temperature and adding various amounts of CH₄ on the 2205 duplex stainless steel samples. With increasing both N₂ percentage from 10% to 25% and nitriding temperature from 370°C to 430°C, the thickness of nitrogen expanded austenite (S-phase) layer and surface hardness increase and reach up to 16 μm and 1200 HV_{0.1} at the treatment temperature of 430°C with 25% N₂. However, the corrosion resistance decreases due to the formation of Cr₂N and (Fe,Cr)₄N. Thus, the influence of adding various amount of CH₄ (1% to 5%) at fixed 400°C and 10% N₂ in the nitriding atmosphere was investigated in order to get higher S-phase layer thickness and better corrosion resistance. The S-phase layer thickness increases by adding CH₄ in the nitriding atmosphere compared with that of nitrided sample. The highest thickness can be obtained at 1% CH₄, but addition of CH₄ beyond 1% slightly decreases the layer thickness. Moreover, when nitrided at 400°C with 10% N₂ and 5% CH₄ content, best corrosion behaviour is obtained with having around 10 μm layer thickness and about 870 HV_{0.1} surface hardness. Thus in order to get higher S-phase layer thickness with best corrosion resistance, Two-Step nitriding treatment was introduced. The process consists of two-step treatments, including nitriding at 430°C with 10% N₂ and 1% CH₄ content for 3 hr (1st Step) and subsequently followed by nitriding at 400°C with 10% N₂ and 1% CH₄ content for 12 hr (2nd Step). This process results in the thickness of S-phase layer and surface hardness reaches up to around 14 μm and 1100 HV_{0.1} respectively and corrosion resistance is comparable to the best corrosion resistance obtained by single step nitriding at 400°C with 10% N₂ and 5% CH₄ content.

P10 : 나노소재
Room 전시장 III, 4월 25일

[P10-1]

Nanocomposite Based Sensors for Motion Detection: Byeong-Cheol Kang¹, Jeong Seok Kim², Tae Seung Chung², Tae-Jun Ha¹; ¹*Kwangwoon University*. ²*Chinwoo Tech*.

Keywords: Careless touch or contact, Motion sensors, Nanocomposites, High sensitivity, Rapid response

Recently, the demand of various sensor applications capable of detecting the careless touch or contact in real time has been increased in order to prevent a worker from having an accident in a field of manufacturing [1]. This is because growing concern about safety and health during the process for cutting/grinding which may include the possibility for accident has been raised in industry. One approach to enhance the safety of the cutting/grinding equipment with a saw blade rotating is to design the emergency-stop function which makes it stop the operation immediately according to the detection by motion sensors. For this reason, it is essential to obtain high sensitivity and rapid response of motion sensors capable of detecting the careless touch or contact in real-time [2]. In this presentation, we will demonstrate nanocomposite based motion sensors with such advances for the cutting/grinding equipment. With an optimized composition of carbon nanotubes and metal nanoparticles and the fabrication process, the proposed motion sensors exhibited the outstanding sensing performance. We will also discuss the origin of improved sensing performance in nanocomposite based motion sensors by characterizing the material properties. We believe that the feasibility of motion sensor systems integrated into the equipment can stimulate the potential of nanocomposite based sensors.

[P10-2]

Controllable Wettability of Graphene Using Indirect Hydrogen Plasma and Its Bioapplication: Jong-Young Lee¹, Jangyup Son², Gwan-Hyoung Lee³; ¹*Yonsei University*. ²*University of Illinois*. ³*Seoul National University*.

Keywords: Graphene, Hydrogenated graphene, Surface engineering, Cell positioning

Selective attachment and culturing of cells on desired positions is of great importance for investigation on interactive behaviors of cells in bio-engineering. A functionalized graphene is one of the most promising bio-platform due to biocompatibility, bioattachability, and controllable wettability. Here we report a hydrogenated graphene (H-Gr) template for selective positioning of cells. The graphene surface was patterned from hydrophobic to hydrophilic surface by a non-destructive way, indirect hydrogen plasma. Hydrophilicity of H-Gr surface was precisely controlled by plasma treatment time. Superior adhesion of a cancer cell was obtained on hydrophilic H-Gr surface with a size of a few tens of micrometers, which enables us to selectively attach cells on desired position of patterned H-Gr template for large array of cells. H-Gr surface enhanced adhesion of cells without integration of elaborate and sophisticated structures, leading to selective positioning of cells and natural culturing. H-Gr template can pave a new way toward positioning and sorting of cells, which are essential for bio-engineering.

[P10-3]

Study on Electrical, Structural, Optical and Adhesive Characteristics of Al-Doped SnO_x Thin Films for Transparent Flexible Thin-Film Transistor Applications: Seung-Hun Lee¹, Kihwan Kwon¹, Kwanoh Kim¹, Jae Sung Yoon¹, Doo-Sun Choi¹, Yeongeun Yoo¹, Chunjoong Kim², Shinill Kang³, Jeong Hwan Kim¹; ¹*Korea Institute of Machinery and Materials*. ²*Chungnam National University*. ³*Yonsei University*.

Keywords: Thin-film transistor, Tin oxide, Aluminum doping, Oxide semiconductor, Adhesive property

In recent years, many researchers have focused oxide semiconductors, such as ZnO, SnO_x, and InGaZnO_x, for their applications in electronics and next-generation display, due to their good transparency and high mobility, which can replace the amorphous silicon as an active material. Metal oxide semiconductors are commonly fabricated by sputtering technique, and the characteristics of oxide semiconductors are determined by the reaction of the injected gases (Ar and O₂) and the metal source (target materials). Metal oxide semiconductors using In, Sn, Zn, and Ga, which have been much studied, are typically amorphous and have conductive transparent characteristics. Moreover, compared to amorphous silicon, they are possible to be fabricated at a relatively low temperature (≤ 300 °C), even at room temperature, and they have a charge carrier mobility of 10 times or more, which is a strength in manufacturing OLED panels in the display industry. However, the multi-component oxide semiconductors generally have difficulties in fabrication and stability of the device due to the defects from oxygen deficiency and reaction with the external environment. Moreover, a high carrier concentration from oxygen vacancy worsens device controllability. Therefore, it is very important to decrease the defects inside oxide semiconductor materials. If oxide semiconductor maintains the oxygen content by doped component inside films, properties of oxide semiconductor can be more stable. Several attempts have been conducted to improve the electrical properties of oxide semiconductor by doping In, Ga, Al or Hf into ZnO based oxide semiconductor. However, to authors' knowledge, studies on doped SnO_x as an active material are rarely found. Hence, in this study, we fabricate Al-doped SnO_x films by using sputtering process to investigate the change in

electrical, structural, mechanical characteristics of SnO_x thin films by Al doping.

[P10-4]

마이크로파 조사에 의한 탄소/금속 산화물 복합체의 형성과 가스 센싱 특성 향상: 김현우¹, 최명식¹, 방재훈¹, 엄완식¹, 한승민¹, 나한길¹, 진창현²; ¹한양대학교 신소재공학과, ²한양대학교 산업과학연구소

Keywords: Carbon, Metal oxide semiconductor, Gas sensing, Microwave

탄소를 이용한 합성법과 기능화가 다양해짐에 따라 탄소는 연구자들 사이에서 주목 받고 있는 물질 중 하나이다. 재료 과학 분야에서 과학자들은 탄소 재료와 (그래핀, 다이아몬드, 탄소나노튜브) 그 응용 분야에 중점을 두고 있다. 본 연구에서는 탄소로 기능화된 산화물 반도체 복합체를 만들어 이를 가스센서에 응용했다. 기존의 탄소열 반응과 달리 마이크로파 조사를 통해 탄소를 금속 산화물 반도체에 기능화했고 구조 분석을 통하여 산화물 반도체와 탄소 표면에 MO_x 형태의 입자 형성을 확인했다. 가스 센싱 테스트에서는 기존의 산화물 반도체, 마이크로파가 조사되지 않은 탄소/금속 산화물 복합체, 마이크로파가 조사된 복합체의 NO₂ 가스 센싱 분석을 진행하였고 마이크로파 조사에 의해 탄소가 기능화 되어 눈에 띄는 가스 감응도 향상을 확인할 수 있었다.

[P10-5]

습식 산화를 이용한 친수성 및 소수성 표면을 갖는 양면성 그래핀 제조: 최진석, 이태균, 최여진, 안성진; *금오공과대학교*

Keywords: 그래핀, 산화그래핀, 화학기상증착, 친수성 및 소수성 표면

그래핀은 높은 기계적, 전기적, 열적 특성을 가진다. 그래핀의 우수한 성질을 이용하여 트랜지스터, 에너지 저장 물질, 센서, 투명 전극 등 여러 분야에서 그래핀을 기반으로 한 소재들이 연구되었다. 하지만 다양한 제조 방법에 의해 제조된 그래핀은 대 면적에서의 낮은 균일성과 0에 가까운 밴드갭을 가져 반도체 소자로의 응용이 어려워 상용화를 위한 해결 과제가 남아있다. 산화그래핀은 구조가 명확하게 규명되어 있지는 않지만 독특한 화학적 성질을 가져 기존의 성질과 다른 유용한 특성들이 나타나 여러 분야에서 응용되고 있다. 본 연구에서는 CVD방법으로 제조된 대 면적 그래핀을 기판에 전사(Transfer)하는 과정에서 습식 산화하여 아래쪽 면이 산화된 양면성 그래핀을 제조 하였다. 또한 기판에 전사된 그래핀을 습식 산화시켜 윗면이 산화된 그래핀을 제조 하고, 서로 반대의 구조를 가지는 양면성 그래핀을 분석하였다.

[P10-6]

화학적 기상 증착법을 통해 고체 전구체를 이용한 그래핀 성장: 류종선, 안성진; *금오공과대학교신소재공학과*

Keywords: Graphene, 2D material, Thin film, Chemical vapor deposition, Nano material.

화학기상증착법을 통해 고품질의 그래핀을 제조할 경우 일반적으로 메탄(methane)과 같은 탄화수소 계열의 가스가 전구체로서 사용되고 있다. 그 외 에탄올(ethanol), 헥산(hexane), 캄퍼(camphor)와 같은 액체 및 고체 재료를 이용하여 그래핀을 합성하기 위한 연구가 드물게 진행되고 있다. 본 연구에서는 주변에서 쉽게 구할 수 있는 폴리글러브(poly glove)를 전구체로 이용하여 그래핀을 성장시켰다. 성장 시간과 온도를 달리하여 연구를 진행하였고, 광학현미경과 Raman 분광법을 이용해 분석하였다. Raman 분광법을 통해 성장시간을 늘려줌에 따라 2D peak는 감소하며, D peak는 증가함을 보였고, 광학현미경을 통해 대면적의 그래핀이 성장하였음을 확인하였다. 이는 메탄으로 성장시킨 것과 비교하여 유사한 결과임을 보여주었다.

[P10-7]

과냉각 액체영역의 크기가 다른 비정질 합금의 Thermo Plastic Forming: 최윤재¹, 김용주¹, 김원태², 김도향¹; ¹연세대학교 ²청주대학교

Keywords: Metallic Glass, Super Cooled Liquid Region, Thermo Plastic Forming

결정질 합금(Crystalline Alloys)에 비교하여 비정질 합금(Metallic Glass)은 강도가 뛰어나지만 연성이 좋지 않아 구조재료에 적용하기에는 한계가 있지만 여러 분야의 기능성재료로 활용할 수 있음이 최근 보고되고 있다. 특히 비정질 합금은 과냉각 액체 영역(Super Cooled Liquid Region, $\Delta T_x = T_x - T_g$)에서 급격한 점도변화가 일어나 복잡한 형상의 소성가공이 용이하다. 현재까지 다수의 Zr계 연구가 보고되었기에, 본 연구에서는 Ti-Ni계 비정질합금의 TPF결과와 열역학적 특성의 관계를 비교 분석하였다. 특히 본 연구에 사용된 합금은 결정화 시 초탄성 특성(Super Elasticity)을 보이는 특성을 지니고 있다. Arc Melting을 이용하여 Zr-Ni-Al, Ti-Zr-Ni-Cu조성의 모합금을 제조하였다. Melt-Spinning기법을 통하여 비정질 합금을 제작하였다. Si patterning mold를 사용하여 Ar분위기하에서 Thermo Plastic Forming 장비를 이용하여 성형을 하였고, SEM 등을 이용하여 분석하였다.

[P10-8]

The Stability Study of Current Thermochromic Smart Coating with Diverse Polymer Host Matrix: Youngkwang Kim, Junwoo Son; *POSTECH.*

Keywords: Thermochromic, Smart window, VO₂ Nanoparticles, Stability

We compared thermal/chemical stability of VO₂ nanoparticles in several polymeric host matrixes that are widely used in current thermochromic smart coating. The mixture of VO₂ nanoparticles and several polymers in solvent were used to make slurry for thermochromic coating. And the coating was fabricated by directly casting the slurry on the slide glass by bar coating. The coating was put in high temperature air or acid solvent to check thermal/chemical stability. Among the polymers, PDMS shows the highest thermal/chemical stability but show the lowest thermochromic performance due to poor dispersion of VO₂ nanoparticles. This results will present necessary properties of polymeric host matrixes for thermochromic smart coating.

[P10-9]

Synthesis of W-Doped VO₂ Nanoparticles for Thermochromic Smart Window Using Bead-Milling Method: [환다원](#), [김영광](#), [손준우](#); [포항공과대학교](#)

Keywords: Thermochromism, Smart window, W-doped VO₂ nanoparticles, Bead milling, MIT alternation

We present a unique method of 'Tungsten doped VO₂ nanoparticles' synthesis which can be applied in thermochromic smart window. Using 'Bead milling' technique, we succeeded in making amorphous commercial V₂O₅ nanoparticles and were able to synthesize W-doped V₂O₅ by adding Ammonium para tungstate before thermal treatment. The MIT (Metal-Insulator Transition) temperature of W-doped VO₂ nanoparticles could be altered by changing the amount of doped W. Using W-doped VO₂ nanoparticles, we were able to make thermochromic smart coating and confirmed it worked near room temperature. Compared with existing methods, this synthesis method takes much easier steps, takes lesser time and is capable of massive production. We expect our method can advance the commercialization of thermochromic smart windows.

[P10-10]

(Y,La,Ce,Nd,Gd)₂O₃ 고 엔트로피 산화물의 구조와 미세조직 분석 연구: [박태성¹](#), [김정환¹](#), [김영국²](#), [장해정³](#); ¹[국립한밭대학교 신소재공학](#), ²[재료연구소 기능분말연구실](#), ³[한국과학기술원 특성분석센터](#)

Keywords: High entropy oxide, Refractory, Powder, XRD

최근 발견된 고 엔트로피 산화물(High entropy oxide, HEO)은 기존의 고 엔트로피 합금의 기본 원리를 가져와 개발된 것으로 5가지 이상의 원소로 구성되고 이 원소들이 불규칙적으로 분포된 단일상의 산화물이 특징이다. HEO는 높은 유전율, 내산화성, 내마모성 등의 특성이 우수한 것으로 알려져 있어 현재 많은 연구가 진행 중이다. 본 연구에서는 강도 및 내산화성이 우수한 Y, La 등의 원소를 포함하는 HEO를 설계하여 구조와 미세조직을 분석하였다. 금속염과 지방산을 이용하여 (Y,La,Ce,Nd,Gd)₂O₃ 조성의 산화물을 제조하였다. 이를 500°C의 1차 열처리 후 1100°C의 2차 열처리를 통해, 단일상의 HEO를 이끌어냈다. 열처리 후 Energy dispersive x-ray spectroscopy (EDS)를 진행해 원소들의 분포를 확인하고 X-ray diffraction (XRD) 데이터를 얻어 이를 Rietveld 분석하여 단상 여부를 확인하였다.

[P10-11]

Thermochromic Characteristics of VO₂ Nanoparticle Films Annealed by Intense Pulsed Light Irradiation: [Kwang-Seok Kim](#), [Ji Won Youn](#), [Eun-Won Son](#), [Dae Up Kim](#); [Korea Institute of Industrial Technology](#)

Keywords: Intense pulsed light annealing, Vanadium dioxide, Nanoink, Thermochromism, Smart window

As cost-efficient and large-scalable fabrication, solution processing has been developed to prepare vanadium dioxide (VO₂) films for thermochromic smart windows that can modulate near-infrared radiation in response to changes in ambient temperature while maintaining visible transmittance. Herein, we report for fabrication of VO₂ thin films from ball-milled VO₂ nanoparticle ink using intense pulsed light (IPL) sintering. The VO₂ films on quartz wafers were coated by spin coating. The prepared films were sintered by IPL in air with various voltages from 1400 to 2000 V with a fixed time of 4 ms and number of pulses of 400 times. The microstructural evolution and phase confirmation of IPL-sintered VO₂ films were investigated with field emission scanning electron microscopy and X-ray diffraction, respectively. Thermochromic switching properties were analyzed with ultraviolet/visible/near-infrared spectrophotometer equipped with a heating unit in the wavelength range of 250-2500 nm. IPL sintering of VO₂ nanoparticle ink led to granular films which were nearly fully sintered at higher voltages. The VO₂ films sintered at 2000 V exhibited pure monoclinic phase VO₂, resulting in the largest near-infrared modulation of 47% at 2000 nm.

[P10-12]

용융염에서의 YSZ/MSZ의 고온 안정성: [류한식](#), [이종현](#); [충남대학교](#)

SOM 공정은 이온 전도성 고체 산화물 막을 이용한 직접 전해 환원 공정이다. 온실 가스 배출을 줄이고 고순도 금속을 제조하여 희유 금속 채련 및 재활용의 생산 비용을 절감할 수 있는 차세대 혁신적인 금속 직접 전해 환원 공정 기술이다. SOM 공정은 고온 용융염 속에서 작동하므로 양극에 적용되는 단위 공정 장비의 구조 재료의 안전성을 평가해야 한다. 본 연구에서는 구조 재료로 이트리아 안정화 지르코니아 (YSZ) 및 마그네시아 안정화 지르코니아 (MSZ)의 안정성 평가를 위해 고온 CaF₂-MgF₂-MgO 시스템에 대해 고온 안정성 시험을 24시간, 72시간, 120시간, 168시간 동안 CaF₂-MgF₂ 시스템에서 1, 2.5, 5, 10 wt%의 MgO 농도로 168시간 동안 처리하였다. 결과로서, YSZ 경우: 반응 시작 시 (24시간), 시편의 표면은 약간의 YF₃ 피크를 포함하는 m-ZrO₂ 피크를 보였다. m-ZrO₂의 부피비는 72% (72 시간)이었고, m-ZrO₂의 부피비는 MgO 2.5 wt%에서 60%이었고 168시간에 10 wt%에서 49%였다. MSZ는 YSZ보다 높은 온도에서 더 우수한 안정성을 나타내었고, MgO 농도가 10 wt% 일 때 다른 농도보다 우수한 안정성을 나타냈다.

[P10-13]

Revealing Surfactant Distribution on Multiply Twinned Pd Nanoparticle Surface: [Kyuseon Jang¹](#), [Seho Kim²](#), [Hosun Jun¹](#), [Chanwon Jung¹](#); ¹[Korea Advanced Institute of Science and Technology](#), ²[Max-Planck-Institut für Eisenforschung](#)

Keywords: Palladium nanoparticle, Multiply twinned particle, Surfactant, Atom Probe Tomography

Palladium multiply twinned particles (Pd MTPs) get a lot of attention because of their superior catalytic properties as a result of twin

boundary defects. However, it is difficult to maintain stable MTPs for a long period since their twin boundaries are highly vulnerable to oxidative etching. Herein we synthesized a high-yield of Pd MTPs with a facile method and their twinned structures are preserved even after surface cleaning process. After removing surfactant, we demonstrate that surfactant formed a micelle structure and bonded with Pd nanoparticle surface by using Atom Probe Tomography. We firstly reveal the structural and chemical interface between surfactant and nanoparticle in 3D atomic resolution. It provides evidence that the surfactant forms a micelle structure and completely covers nanoparticles and this surfactant coverage prevents as-synthesized Pd MTPs from the oxidative etching.

[P10-14]

The Effects of NiO_x Capping Layer and Annealing on Photoelectrochemical Properties of CuO Photoelectrode: 정현진, 홍예진, 류혁현; *인제대학교 나노융합공학부*.

Keywords: CuO, NiO_x, capping layer, Annealing process, Photocurrent density, Photostability

본 연구에서는 CuO 광전극의 문제점인 낮은 광안정성을 포함한 광전기 화학적 특성을 향상시키기 위해 NiO_x 캡핑층과 열처리 공정의 영향에 대해 연구하였다. CuO 광전극은 개선된 화학적증착법(modified-chemical bath deposition)을 이용하여 증착 하였으며 NiO_x 캡핑층은 마이크로웨이브 화학적증착법 (microwave-chemical bath deposition)을 이용하여 CuO 광전극위에 증착 하였다. 그리고 다양한 열처리 온도와 시간으로 열처리 공정을 진행하였다. 우리는 다양한 열처리 조건에 따른 NiO_x/CuO 광전극의 형태학적, 구조적, 광전기 화학적 특성 분석을 위해 field emission scanning electron microscopy (FE-SEM), X-ray diffraction (XRD) 와 three-electrode potentiostat/galvanostat을 각각 사용하였다. CuO 광전극을 증착한 후 열처리 공정을 하고 NiO_x 캡핑층을 증착한 후 열처리 공정을 진행하였을 때, 광안정성은 개선되었지만 광전류밀도는 개선되지 않았다. 그러나, CuO 광전극을 증착한 후 열처리 공정을 하지 않고 NiO_x 캡핑층을 증착한 후 열처리 공정을 진행하였을 때, 광전류밀도와 광안정성이 모두 개선되었다. 이때, 열처리 시간이 짧고 열처리 온도가 낮을수록 광전류밀도가 더욱 향상되었다. 결과적으로, NiO_x/CuO 광전극의 향상된 광전류밀도와 광안정성은 적절한 열처리 시간과 온도로 열처리 공정을 진행함으로써 얻을 수 있었다.

[P10-15]

합금원소 첨가에 따른 Ni계 ODS 합금의 미세조직 및 고온경도 특성: 신민호¹, 박주성¹, 전영수¹, 김휘준², 박종관¹; ¹대한소결금속(주) 기술연구소, ²한국생산기술연구원.

Keywords: MA, Oxide dispersion strengthened, ODS, Y₂O₃

산화물 분산강화(ODS, Oxide Dispersion Strengthened) 합금은 시스템의 효율 향상과 CO₂발생 및 환경오염 방지를 위해 필수적으로 요구되는 고온재료의 수요 증가로 인해 현재 미국, 일본, 유럽 등 선진국을 중심으로 연구가 활발히 진행 중에 있다. 금속기지에 열적 안정성이 우수한 미세 산화물 입자를 첨가함으로써 향상된 고온 기계적 특성을 지니며, 국방산업, 에너지 산업, 항공우주 산업 등으로 응용분야가 확대되고 있다. 이러한 응용분야의 확대와 고온재료의 수요 증가로 인해 현재 국내에서도 Fe계 및 Ni계 ODS 합금에 대한 연구가 진행 중에 있으며, 특히 Ni계 ODS 합금의 경우 열처리 조건이 기계적 특성에 미치는 영향이 상당히 큰 것으로 알려져 있다. 이에 본 연구에서는 Ni계 ODS 합금의 고온 기계적 특성 향상을 위하여 합금원소 첨가에 따른 미세조직 및 고온경도 특성에 관한 연구를 진행하였다. 고온 기계적 특성이 우수한 것으로 알려진 Ni계 ODS 합금인 MA6000 상당의 합금과 기계적 특성 향상을 위하여 Zr, B, Nb, Y, B 등을 첨가하여 고압가스분무를 통해 합금분말을 제조하였고, 고에너지 볼밀링으로 기계적 합금화(MA) 및 수율 증대를 위하여 해쇄공정을 진행하였다. 이렇게 제조된 MA분말을 CAN에 장입 후, Degassing 및 열간 압출을 통해 봉재 성형을 하였고, 미세조직 관찰 및 고온경도를 평가하였다.

P11 : 전산재료과학

Room 전시장 III, 4월 25일

[P11-1]

Simulation of Discontinuous Dynamic Recrystallization in IF Steel During Thermo-Mechanical Processing Using Probabilistic Cellular Automata Model: Jinheung Park, Kyung Mun Min, Shuaifeng Chen, Myoung-gyu Lee; *Seoul National University*.

Keywords: DDRX, Cellular automata method, Probabilistic switching rule, IF steel

Dynamic recrystallization (DRX) is a metallurgical phenomenon commonly observed when metallic materials are plastically deformed at elevated temperature. The DRX process is associated with a reduced processing time and refined recrystallized grain structure compared to the static recrystallization (SRX) which is often caused by annealing after deformation. As one of DRX processes, the discontinuous dynamic recrystallization (DDRX) occurs in metallic materials with relatively low-to-medium stacking fault energy, in which new strain-free grains nucleate followed by their growth at the expense of regions with dense dislocation density. In this study, the DDRX process is computationally simulated in hot compression test of interstitial free (IF) steel used in automobile parts for its enhanced deep drawability. As for the computational approach, a physically driven DDRX model is coupled with the cellular automata (CA) model. Particularly, a probabilistic switching rule is implemented to reproduce microstructure and flow stress behavior of the IF steel under DDRX process.

[P11-2]

SimPL – the Contents Management System for Simulation Web Software: 이민호¹, 김승철², 이광렬²; ¹(주)버추얼랩. ²한국과학기술연구원.

Keywords: 웹플랫폼, Contents management system, SimPL

웹 환경은 언제 어디서든지 접근할 수 있고, 컴퓨터 OS의 종류에 상관없이 사용할 수 있다. 지금까지 터미널 접속 환경에 갇혀 있던 전산모사를 웹사이트로 끌어오고, 다양한 전산모사 엔진과 유틸리티 프로그램들을 필요에 따라 구성하여 보다 발전된 전산모사 환경을 만들기 위한 방법으로 전산모사 플랫폼과 소프트웨어에 대한 contents management system인 SimPL (Simulation Platform creator)를 개발했다. SimPL은 모든 전산모사 소프트웨어나 기능들이 모듈화되어 있고 그 모듈을 페이지에 조립해서 전산모사 SW로서의 완성된 기능을 구현할 수 있도록 제작되어 있다. 또한 웹페이지를 만드는데 php와 html을 최소한으로만 사용해도 가능하고, 원자구조 편집기 등 원자/전자 전산모사에 필요한 여러 기본 기능들도 제공하고 있다. SimPL은 VASP이나 Quantum ESPRESSO와 같은 특정 소프트웨어를 구동시키는 웹 페이지에서부터 여러 전산모사 프로그램들이 유기적으로 연결된 thematic platform까지 구현할 수 있으며, 데스크탑이나 HPC, 더 나아가 클라우드 컴퓨터에도 전산모사 웹플랫폼을 제작할 수 있도록 범용적으로 개발했다.

[P11-3]

S-Furnace Feeding System: 임성미, 이경우; *서울대학교 재료공학부*.

Keywords: Mitsubishi process, Smelting furnace, Modeling ,Fluid dynamics ,ANSYS fluent

We are developing a numerical model for smelting furnace in Mitsubishi process which is one of copper smelting process. In the s-furnace, the experimental approach is very difficult due to the intense reaction inside and the high temperature operating conditions. Therefore, the purpose of the numerical analysis model is to analyze the internal phenomena, reaction, and movement of fine particles, and to use them as basic data for optimization of process conditions and improvement of facilities. In this study, to reproduce the interior of the furnace furnace, models were created using ANSYS Fluent 18.2 using VOF (Volume Of Fluid) and DPM (Discrete Phase Model). Currently, Mitsubishi's s-furnace uses an operation method in which ore and gas are injected alternately through a lance. However, it is expected that there will be a possibility of localized problems due to irregular input. To confirm this numerically, we made a 'cyclic feeding system model' that actually reflects the current input conditions. In order to analyze the repeated phenomena as a standard value, the feeding amount and the feeding time are analyzed by each actual lance, and the data is collected by one cycle which is repeated. As a result, a large amount of ore is injected into the furnace during a certain period of time at the time of cross-injection. At this time, the flow in the melt becomes stronger than usual, which is interpreted as the effect of the momentum generated by the input material. The average melt velocity for the entire cycle is 92 mm / s. In order to compare the effects of feeding system, we made a continuous feeding model in which material is continuously injected instead of crossing. The amount of ore entering a lance is 4.8 kg / s, and the total amount of ore in 1 hour is the same as cyclic feeding. On average, the velocity in the entire melt region is calculated to be 84 mm / s, which is lower than that in cyclic feeding. The results of this model are meaningful in predicting the results according to the conditions inside the extreme environment which cannot be directly experimented, and the development is under way to reflect the actual environment as much as possible. It is expected that the completed model will be a means to suggest optimal conditions for the furnace furnace process.

[P11-4]

고망간 오스테나이트계 강에서의 고온 변형 시 전위밀도 변화 및 재결정 과정에 대한 전산모사 및 실험적 검증: 김성호¹, 권호준¹, 이세일², 김성준¹; ¹포항공과대학교 ²포스코 기술연구원.

Keywords: MatCalc, 고온 압축, Single-Class model, SLK model

최근 철강 생산 공정에서의 컴퓨터 시뮬레이션 적용은 실제 실험 대비 높은 시간 및 비용 효율성으로 인하여 각광받고 있으며, 중요한 연구 주제가 되고 있다. 이와 함께 전산모사 기술이 발달하여 현재는 냉간압연 및 재결정 시의 집합조직과 같은 미세조직을 예측하는 수준까지 발달했다. 그러나, 현재의 전산모사 기술은 철강 생산 공정에서의 변수를 선택적으로 포함하기 때문에 필연적으로 실험으로 산출된 값과 전산모사상의 값의 편차가 발생하는 한계가 존재한다. 본 연구에서는 100% 오스테나이트 조직을 가지는 17%Mn - 0.6%C 고망간강의 고온압축 실험을 통해 열간압연 공정을 모사하고, 고온압축 후의 미세조직, 전위밀도 등의 변화를 관찰하였다. 또한 열역학, 석출물 전산모사 프로그램인 MatCalc를 이용하여 같은 변형 조건을 입력하여 계산한 후 실험값과 계산값을 비교하였다. 결정립의 성장과 재결정 과정은 Single-Class model 및 Buken-Kozeschnik critical pressure model을 도입하여 계산하였다. 전위밀도의 증가는 SLK (Sherstnev-Lang-Kozeschnik) 모델을 이용하여 계산하였다. 기존의 연구에서 Avrami 방정식 등의 경험식에 의존하여 고온 변형시 재결정 거동을 해석하거나 예측하였던 데에서 나아가, 전위밀도 증감, 결정립 성장 등을 고려한 시뮬레이션의 활용으로 공정 조건을 최적화하는 방향을 제시하고자 하였다.

[P11-5]

고효율 메탄 증기 개질 반응에 관한 모사 연구: 채홍준; 고등기술연구원.

Keyword : Methane Steam Reforming, Reactor, Induction heating, Simulation, Heat Transfer

차세대 청정 에너지원으로 각광받고 있는 수소는 물의 전기분해 및 탄화수소의 개질로 생산될 수 있으며, 현재는 기술 및 경제성 문제로 탄화수소의 개질을 통해 수소를 생산하는 것이 일반적이다. 개질반응을 위해서는 반응에 필요한 열 공급이 반드시 필요하므로, 설계의 핵심은 촉매층에 효과적으로 열전달이 이루어지도록 하는 것이라 할 수 있는데, 기존 버너타입 가열의 경우 반응관 내 온도 편차가 크고, 예열에 필요한 안정화 시간이 길어 에너지가 다량 소비되는 문제점이 제기되고 있다. 본 연구에서는 기존의 버너 타입의 가열방식을 고주파 유도가열기술로 대체함으로써 예열 시간을 단축시키고, 담지체의 국부적인 가열을 방지하여 탄소침적에 의한 반응기 막힘과 활성저하의 문제점을 해결 할 수 있는 새로운 개념의 고효율 steam-methane 개질 시스템을 개발하고자 하였다. 이를 위해, 유도 가열 개질기의 열-유동 및 반응 해석은 물론 유도 가열의 배열 및 촉매의 충전량 변화가 개질성능에 미치는 영향을 살펴보았다. 개질기내 유동해석을 위해 mass 및 momentum 보존 방정식을 이용하였고, 유체의 높은 Reynolds 수에 의한 난류 현상을 고려하기 위해 standard - ϵ model 방정식을 추가적으로 해석하였다. 개질기 내 촉매 충전영역을 수치적으로 모델링하기 위해 porous medium으로 가정하여 유동해석을 진행하였으며, 평가 요소로써 개질관 내부의 유동흐름(속도 및 압력분포), 온도분포 및 화학반응에 참여하는 화학종의 농도변화를 체크하였고, 향후 최적의 반응 분위기 형성을 위한 고주파 유도 설계 방향을 제시하였다.

[P11-6]

Thematic Simulation Web Platforms for Non-Experts: 김승철¹, 이광렬¹, 한상수¹, 이민호²; ¹한국과학기술연구원, ²(주) 버추얼랩.

Keywords: 테마형 전산모사 플랫폼, 비전문가용 전산모사

밀도범함수 이론이나 분자동력학은 물질 연구와 신소재 개발 연구에 점점 더 넓게 사용되고 있지만, 일부 고도로 훈련된 전문가들만의 전유물이기도 하다. 이는 전산모사 기법들을 활용하기 위해선 방대한 양의 해당 분야 이론을 익혀야 하는 것 만이 아니라, 일반적이지만 적은 컴퓨터 환경에 익숙해져야 하고, 거대한 전산장비를 구축해야 하는 등의 여러 가지 어려움이 있기 때문이다. KIST는 이러한 진입장벽을 낮추고 보다 많은 연구자들이 전산모사를 활용하기 위한 방법으로 응용분야 중심의 테마형 플랫폼(thematic platform)을 제안하고 개발해 왔다. 본 발표에서는 테마형 플랫폼의 개념과 그 동안 개발한 플랫폼을 소개한다.

[P11-7]

DFT Screening of Pt-Based Alloys with P-Block Element for Oxygen Reduction Reaction Catalyst of Proton-Exchange Membrane Fuel Cell: 최정우, 권순호, 이혁모; 한국과학기술원.

Keywords: 연료 전지, 산소 환원 반응 촉매, 밀도범함수 이론, 스크리닝

기존의 화석연료 기반의 내연기관을 대체할 친환경적 에너지 생산 기관으로써 PEMFC가 각광받고 있다. 하지만 아직 상용화를 위해서는 양극의 느린 산소 환원 반응의 촉매로써 사용되는 백금의 비싼 가격과 내구성이 문제가 되고 있다. 백금 양을 줄인 합금을 만듦으로써 이를 해결하고자 하는 많은 연구가 진행돼 왔으며 우수한 백금 합금 산소 환원 반응 촉매를 찾기 위해서는 합금화가 산소 환원 반응 촉매 특성에 미치는 효과를 알아야 할 필요가 있다. 앞서 진행된 많은 연구에 의해 전이금속과의 합금화가 산소 환원 반응 촉매 특성에 미치는 효과는 잘 알려져 왔지만 아직 p 블록 원소와의 합금화에 따른 효과는 산소 환원 반응에서는 자세히 연구된 적이 없으며 따라서 본 연구에서는 밀도범함수 이론을 통하여 백금의 p 블록 원소와의 합금화가 산소 환원 반응 촉매 특성에 미치는 효과를 분석하여 궁극적으로 촉매 활성과 내구성이 좋은 우수한 산소 환원 반응 촉매를 찾고자 하였다. 그 결과 Pt3Al이 산소 환원 반응 촉매로써 매우 우수한 특성을 갖는다는 것을 알 수 있었으며 분석을 통해 p 블록 원소를 이용한 촉매 디자인에 대한 통찰력 또한 얻을 수 있었다.

[P11-8]

Design of Graphene-Wrapped PtNi Nanosponge for Enhanced Oxygen Reduction Reaction Performance: Quoc Chinh Tran¹, Hyunwoo Ha², An Hyesung², Hyun You Kim*², Ho-Suk Choi*¹; ¹충남대학교 응용화학공학과, ²충남대학교 신소재공학과.

Keywords: PtNi, Graphene, Oxygen reduction reaction

We design a graphene-wrapped 3D-PtNi nanosponge (G-PtNi NS) after using formic acid as a reducing agent and carbon dots as a

structure-directing agent at room temperature. Reduced Ni and Pt atoms initiates the exfoliation of carbon dots into graphene dots, which eventually encapsulate the PtNi nanocrystals. The strong Pt-carbon interaction propels the formation of G-PtNi NS with large specific surface area and good long-term stability. The G-PtNi NS shows high reactivity for an oxygen reduction reaction (ORR). The ORR activity is maintained even after 3,000 cycles. We confirm that the graphene layers physically stabilize the PtNi NS and chemically modify the oxygen affinity of the PtNi NS, which are both positively attributed to the ORR performance.

[P11-9]

Development of H₂O potential with 2NN MEAM: 설동현, 이병주; 포스텍(포항공과대학교).

Keywords: Interatomic potential, MEAM, H₂O

물질과 현상에 대한 해석과 예측을 위해서 다양한 형태의 시뮬레이션이 많이 활용되고 있으며, 전자 구조가 필요하지 않은 원자 단위의 분석의 경우 Interatomic potential을 활용한 atomistic simulation이 유용하게 활용되고 있다. Interatomic potential 중 하나인 MEAM은 금속 결정 구조를 잘 재현하기 때문에 금속계를 시뮬레이션 하기 위해 활용되어 왔지만 금속계 외의 물질계를 기술하는 데에 어려움이 있었다. 최근에는 유기물을 다루기 위해 bond order를 기술할 수 있도록 formalism을 수정하거나 이온 결합을 포함하기 위해 charge equilibration을 MEAM과 조합하는 등 다양한 물질계를 다루기 위한 연구가 계속 진행되고 있다. 본 연구는 공유결합과 강한 수소결합을 통해 매우 독특한 특성을 보이는 물 분자의 2NN MEAM potential을 개발하고 기존의 DFT, interatomic potential과 성능을 비교함으로써 현재 MEAM이 분자 형태의 물질을 재현하는 성능과 한계, 가능성을 알아보고자 한다.

[P11-10]

과잉부피와 가압 압력에 따른 나노입자의 상안정성 고찰: 김한결, 이준호; 고려대학교 신소재공학과.

Keywords: CALPHAD, Nano Phase Diagram, Phase Diagram under pressure, Excess volume

Lee 등은 임의의 A-B 2원계 합금에 대해 액체와 고체의 상호작용계수에 따른 벌크 상태도와 나노 상태도를 비교하였다. 본 연구에서는 상압을 포함한 가압조건에서 나노 입자의 상태도에 미치는 상호작용계수의 영향을 조사하였다. 열역학적으로 자유에너지에 미치는 압력의 영향은 부피로부터 얻을 수 있다. 따라서, 액체와 고체의 상호작용계수가 일정한 조건에서 압력과 과잉부피에 따른 나노 상태도를 조사하였다. 각 조건에서 압력이 증가함에 따라 순수한 물질 A, B 나노입자의 용점이 증가하는 경향을 보였고, 과잉부피가 양의 값을 가질수록 압력이 증가함에 따라 Invariant reaction 온도가 증가하는 경향을 보였다.

[P11-11]

Selective SnO_x Atomic Layer Deposition Controlled by Oxygen Reactants: Mi Yoo¹, Jung-Hoon Lee², Jin-Seong Park^{*2}, Hyun You Kim^{*1}; ¹충남대학교 신소재공학과, ²한양대학교 신소재공학과.

Keywords: Tin monoxide, P-type oxide materials, Atomic layer deposition (ALD), Density functional theory (DFT)

SnO_x 박막은 N,N'-tert-butyl-1,1-dimethylethylenediamine stannylene(II)을 전구체로 사용하고 오존과 물을 반응물로 사용하는 열원자층 증착법(ALD, Atomic Layer Deposition)을 이용하여 성공적으로 제조할 수 있으며, SnO와 SnO₂ 박막의 성장은 서로 다른 반응물의 사용과 오존 및 물의 농도를 다르게 함으로써 용이하게 제어할 수 있다. SnO와 SnO₂ 박막의 형성은 성장 거동이 서로 다름에도 불구하고 전형적인 표면 제한 반응 특성을 나타냈다. 전자밀도함수이론(DFT, Density Functional Theory) 계산과 실험 분석의 조합 연구는 SnO와 SnO₂ 박막의 성장 거동의 차이가 SnO와 SnO₂ 박막에서의 물과 오존의 안정성에 기인할 수 있음을 보여 주었다. SnO 및 SnO₂ 박막은 상이한 결정구조를 가지며, 증착 온도가 증가함에 따라 비정질 상태에서 다결정 상태로 결정화되었다. 박막의 흡광도와 굴절률은 각각 자외선-가시 분광법(UV-vis, ultraviolet-visible spectroscopy)과 분광적 타원계측법(SE, spectroscopic ellipsometry)을 이용하여 분석하였다. 오존과 물을 반응물로 사용하여 형성된 SnO_x 박막은 3.60-3.17 eV 및 2.24-2.30 eV의 광학 밴드갭과 ~2.0 및 ~2.6의 굴절률을 보였으며, 이는 SnO₂와 SnO의 전형적인 값과 상응하였다. SnO/SnO₂의 이중층 구조는 100°C에서 니켈을 상부 전극으로 하는 인듐 주석 산화물(ITO) 유리 위에 성공적으로 제조되었으며, SnO/SnO₂ 이중층은 전류 정류 비가 15인 다이오드 특성을 나타냈다. 본 연구에서는 이러한 결과를 통해 미세하게 제어할 수 있는 전자 특성을 갖는 다층 산화물 박막을 생산하기 위한 간단하지만 매우 다양한 성장 방법을 제시하고자 한다.

[P11-12]

CsPbBr₃의 격자구조 제어와 전자구조 변화에 대한 제일원리 연구: 박종구, 송동준, 홍기하; 한밭대학교 신소재공학부.

Keywords: 페로브스카이트, CsPbBr₃, Density Functional Theory, 격자구조

금속 할라이드 페로브스카이트(Metal halide perovskite)는 밴드갭(Bandgap) 조절이 용이하며 높은 흡수계수와 넓은 흡수 스펙트럼을 갖는 독특한 특성으로 인해 태양전지 및 광전자 응용 분야에 광범위하게 연구되고 있다. CsPbBr₃는 광전소재를 만드는 데 있어 가장 기초가 되는 조성으로서, 페로브스카이트 발광 다이오드(LED)를 개발하는 데 많이 활용되고 있다. 본 연구에서는 CsPbBr₃의 격자구조의 변화가 전자구조에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 또한 이러한 격자구조의 변화를 확보를 위한 방법을 제일원리 계산을 통해 제안하고자 한다. CsPbBr₃의 상온 안정 격자구조는 orthorhombic 구조이나 온도가 상승함에 따라 tetragonal, cubic의 순으로 격자구조의 변화가 발생한다. 이러한 격자 구조의 변화로 인해 발생하는 광전물성 계산결과 cubic 상은 광흡수용 소재로 적합하고 orthorhombic 상은 광방출용 소재에 적합하다는 사실을 도출하였다. 따라서 CsPbBr₃ 소재 활용의 극대화를 위해서는 각 격자구조를 선택적으로 성장시킬 수 있는 방안이 필요하다. 나노화와 표면흡착 물질이 상의 형성에너지에 미치는 영향을 분석함으로써 격자구조의 선택적제어에 미치는 조절인자들의 영향을 분석하였다.

P12 : 복합재료

Room 전시장 III, 4월 25일

[P12-1]이온 교환법을 사용한 유리 분말의 발색 기술 연구: 최광덕¹, 변지영²; ¹서울대학교 ²한국과학기술연구원

Keywords: 이온교환, 실리카, Glass, Coloring

저용점 알칼리 유리 분말을 활용, 유리분말의 크기는 변화시키지 않은 상태로 이온교환을 통해 발색이온을 유리분말에 주입하여 색상이 있는 유리분말을 제조하는 기술에 대한 연구이다. 산업적으로 널리 사용하는 색상을 갖는 유리의 제조 방법은 유리를 용융한 상태에서 발색 원소들을 녹은 유리에 혼합하고 굳혀 제조한다. 이러한 방법은 여러종류의 색을 한번에 발색하는 유리제조가 불가능하다. 유리 분말 또는 판형 유리에 이온교환 방법을 통해 발색 이온을 직접 치환하여 유리를 재용융 하지 않더라도 원하는 색상을 원하는 위치에 색 발현이 가능하다. 유리분말 내 Na, Ca, Mg 원소들은 유리에서 Na⁺, Ca²⁺, Mg⁺로 존재한다. 유리 내의 양이온으로 존재하는 알칼리 이온들은 고온에서 용융염 내의 양이온들과 상호 이온교환을 한다. 이를 이용하여 발색 이온을 함유하는 용융염을 제조하여 유리분말과 함께 고온 열처리 시 색상을 갖는 유리분말을 제조 할 수 있다. 이러한 방법은 용융염내의 발색 이온에 따라 유리분말로 교환되어 들어가는 이온을 제어 할 수 있다. Co²⁺, Fe³⁺, Cu²⁺ 세 종류 원소의 이온 교환을 위하여 원소를 포함하는 염들을 각각 유리 분말과 혼합한 후, 400에서 600도의 온도 내에서 열처리하여 유리 분말의 색변화를 보았다. 본 연구에서는 유리분말에 이온교환을 하여 유리분말의 발색이 가능함을 보이고, 원소 이온 별로 색상의 변화를 확인하여, 다양한 분석을 통해 유리 분말내의 발색이온의 상태를 알아보려 한다.

[P12-2]CFRP 및 GFRP 하이브리드 교통 신호등 프레임의 기계적 및 절연 파괴 특성 평가: 문민석¹, 유명환¹, 노종일¹, 나경수²; ¹(재) 한국탄소융합기술원 ²한국씨티에스

Keywords: GFRP and CFRP Hybrid Frame, Mechanical Property, Airflow simulation, Insulation Fracture Characteristics, Traffic Signal Light Frame

최근 교통 신호등 프레임의 길이는 새로운 도로 건설에 의한 확장으로 인해 연장되고있다. 교통 신호등에 사용되는 대부분의 재료는 강철 소재 또는 알루미늄 소재를 사용하고 있으며, 대부분이 소성 가공을 통하여 제작되고 있다. 또한 스틸 소재 및 알루미늄 소재의 단점은 장기가 외부에 노출될 경우, 부식이 발생됨으로 이를 방지하기 위해 다양한 표면 처리가 실시되고 있다. 금속 소재로 제작된 신호등 프레임은 그 길이가 길어질수록 강풍에 따른 뒤틀림이나 변형이 발생 가능성이 높아진다. 따라서, 금속 재료에 대한 휘어짐과 굴곡을 최소화하기 위해 여러 가닥의 와이어를 사용하여 금속재 신호등 프레임을 고정시킨다. 그리고, 낙뢰에 대한 보호를 위해 금속재 신호등 프레임은 설치 후 반드시 지면에 접지를 실시한다. 본 연구는 GFRP와 CFRP의 하이브리드 복합재에 의한 고강도 경량 신호등 프레임을 제작하는 것으로 복합재 소재의 강도를 확보하기 위하여 GFRP와 CFRP를 혼합하여 사용하였으며, 설계 과정에서 풍량에 의한 휨이나 파괴 방지를 위한 풍동 안전율을 반영하여 설계하였다. 제작된 복합 소재 시제품에 대한 기계적 특성 및 절연 파괴 특성을 평가하였다.

[P12-3]Thermal and Electrical Properties of 3D Graphene-Cu Composite Fabricated by a Simple Two-Step Process: Xue Li¹, Byung-Sang Choi¹; ¹Department of Materials Science and Engineering, Chosun University.

Keywords: 3D graphene, Graphene-Cu composite, CVD, Heat treatment

To fabricate 3D Graphene-Cu composite, a Cu disc was prepared by an axial compaction of micron-sized Cu particles in a mold with a double-action oil hydraulic press. Chemical vapor deposition (CVD) in the temperature range from 900 to 1000 °C was conducted on that prepared Cu disc using methane as a carbon source and Cu powder as a template for 3D network of graphene. In addition, heat treatment was performed on the 3D Graphene-Cu composite with different atmosphere and temperature to show any changes in microstructure and thermal and electrical properties. The 3D Graphene-Cu composite exhibits outstanding thermal and electrical conductivities, tensile strength and corrosion resistance indicating various industrial applications.

[P12-4]

열처리한 STS/Al/STS clad 소재의 3점 굽힘 실험 및 거동 해석: 김용근, 홍순익; 충남대학교신소재공학과

Keywords: STS, Al, Clad, FEM

본 연구에서는 STS439와 STS304를 압연 접합하기 위한 방법으로 Al1050을 삽입하여 경량성 및 접합용이성을 확보하고자 하였다. 압연 접합 후, 열처리 온도에 따른 기계적 거동 및 금속간 화합물에 대한 분석을 수행하였으며, 접합된 소재는 550°C에서 12시간, 24시간으로 나누어 열처리를 진행하였고, 열처리한 소재의 3점 굽힘 실험을 통해 기계적 거동을 분석하였다. XRD와 EDS, TEM 분석 등을 통해 STS와 Al 사이에 다양한 금속간 화합물이 형성된 것을 알 수 있었고, 전산 모사 해석을 통해 굽힘 거동시 STS439와 Al1050 사이에서 발생하는 분리 거동 및 균열 형성 거동을 분석하였다.

[P12-5]

자전연소합성법으로 제조된 TaC 분말의 입자제어 연구: 심재진, 최상훈, 임재홍, 유지원, 이현규, 서경덕, 박경태; 한국생산기술연구원 한국희소금속산업지원센터.

Keywords: Particle control, Ball mill, Tantalum carbide, Self-propagating high-temperature synthesis, Cemented carbide

초경합금은 실온경도 및 고온경도가 우수하며 강도가 높고, 물리적 성능 또한 안정한 특징을 가지고 있어 산업 전반에 널리 사용되고 있다. 초경합금은 WC-Co계가 주류를 이루고 있으며, 고온안정 및 미세조직 상 입자성장 억제제로 입자사이즈 2 μm 이하의 Tantalum Carbide (이후 TaC)가 첨가제로 사용되고 있다. 본 연구에서는 Tantalum (이후 Ta) 분말을 이용하여 자전연소고온합성법을 통해 TaC 분말을 제조하였고, 첨가제 적용이 가능하도록 입자제어 연구를 수행하였다. 한편, 자전연소합성법은 단시간 내 합성을 완료할 수 있고, 점화 후에는 추가 열원을 필요로 하지 않아 높은 공정 효율을 제공한다. Ta 원료분말은 98%의 순도, 평균 31 μm 의 입자사이즈, 불규칙하고 응집된 형상을 가진 분말을 사용하였고, Carbon Black 원료분말은 평균 6 μm 의 입자사이즈 및 판형상을 가진 분말을 사용하였다. 자전연소합성 후 TaC 분말은 원료분말인 Ta의 불규칙한 모양을 유지하였고, 상 분석결과 TaC 단일 상, 입자사이즈는 23 μm 로 분석되었다. 이후 Ta 원료분말 분급 후 실험한 결과데이터 고찰을 통해 원료분말 사이즈에 따른 최종품위 입자 사이즈 예측이 가능한 경험식을 도출하였다. 또한 자전연소합성으로 제조된 TaC 분말을 가지고 시간에 따른 습식 불밀링을 통해 약 1 μm 대의 첨가제로 적용가능한 분말을 제조할 수 있었다.

[P12-6]

전기방전소결(Electro-Discharge-Sintering)을 통한 정형외과 임플란트 소재용 Mg-Ti 분말 복합 소재 제조 연구: 김소영, 윤용희, 정철환, 이원희; 세종대학교 나노신소재공학과.

Keywords: EDS (electro-discharge-sintering), Orthopedic implant, Mg-Ti, Sintering

임플란트는 Mg, Ti, Co 합금 등 생체적합성이 우수한 재료들로 제작할 수 있는데, 그 중 정형외과용으로는 체내에서 자연 분해되는 Mg 소재가 주로 사용되고 있다. 하지만 Mg 만으로 이루어진 임플란트는 강도가 약해 높은 하중을 견딜 수 없다는 단점이 있다. 반면에 강도를 높이기 위해 Ti 을 이용하게 되면, Ti 과 뼈 간의 탄성계수 차이로 인해 응력 차폐 현상이 발생해 골 소실이 발생할 위험이 있다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 보완하기 위해 Mg 과 Ti 을 혼합한 분말을 이용해 다공성 소결체를 제조하였다. 시편은 전기방전소결(electro-discharge-sintering)을 이용하여 Mg 과 Ti 의 부피비와 소결 에너지를 세분화하여 제조되었다. 각각의 부피비와 소결 에너지에 따라 소결체의 solid core, core의 주변부 necking area의 형상을 살펴보기 위하여, 300 μF 의 전기 용량을 기준으로 Mg : Ti 의 부피비가 1:1 일 때 input energy는 0.49-1.01 kJ, 1:4 일 때 0.73-1.35 kJ, 그리고 4:1 일 때 0.34-0.80 kJ로 에너지 변화를 주어 소결하였다. 완성된 다공성 임플란트의 부식 속도 제어를 위해 sodium silicate, potassium pyrophosphate, potassium fluoride, potassium hydroxide로 구성된 전해액을 이용해 양극 산화를 진행하였다. 그리고 구조와 성분 분석을 위해 SEM, FE-SEM, XRD를 이용하였고, 표면 경도는 비커스 경도시험기를 통해 측정되었다. Mg 과 Ti 의 전 부피비에서 공통적으로 input energy가 커질수록 solid core의 면적이 증가하며 분말간의 necking이 더 활발하게 발생하여 최외곽의 비표면적이 감소하였다. 또한 산화막의 생성에 따라 부식 속도가 느려지는 것이 관찰되었다. 안정적인 골유착을 위해서는 비표면적이 높아야 하고 부식 속도의 제어가 필요하므로, 최적의 소결 조건과 산화막의 두께를 도출하는 것이 본 실험의 핵심이라고 할 수 있다.

[P12-7]

Nitridation Induced Self-Forming Method of Aluminum Matrix Composites: 김대영¹, 김정준¹, 최현주¹, 안재평², 이진배¹; ¹ 국민대학교 신소재공학부, ² 한국과학기술연구원.

Keywords: Al 복합재료, 질화반응, AlN

기존 공정을 이용하여 Aluminum Matrix Composites (AMCs)를 제조하기 위해서는 여러 단계의 복잡한 제조 공정을 필수적으로 거쳐야 하기 때문에 각각의 단계마다 특수한 설비나 노하우 등이 필요하다. 이것이 제품의 가격 경쟁력을 떨어뜨리는 원인이 되어 응용 범위를 제한하게 된다. 우리는 Al과 세라믹 강화상 사이의 젖음성 극복 (또는 개선)이 필수적이라는 기존의 고정관념을 뛰어넘은 새로운 개념의 AMCs 제조공정을 개발하였다. 본 공정은 기존 상용 공정에서는 피할 수 없는 복잡한 여러 단계의 제조 공정을 획기적으로 감소시킨 공정으로 NIAC (Nitridation-Induced Al Composites) 공정으로 명명하였다. NIAC 공정은 Al과 임의의 강화상 분말 (또는 fiber)을 혼합한 후 질소 분위기에서 가열하는 것만으로도 복합재가 제조되는 매우 단순한 공정이다. 질소 분위기에서 가열하는 동안 발생하는 질화반응은 Al과 강화상의 표면개질을 유도하여 젖음성 문제를 고려할 필요가 없어 강화상의 종류, 크기, 형상 및 부피분율에 상관없이 AMCs를 제조할 수 있다.

[P12-8]

송전선 경량화 및 전기전도도 향상을 위한 알루미늄 복합 소재 분말 제조 공정 연구: 환덕현, 김건홍, 김재성; 고등기술연구원.

Keywords: Al composite material, Electrical conductivity, CNT, Boron carbide, Nano diamond

송전선은 높은 전기전도도를 필요로 하는 소재이며, 대부분의 송전선은 비교적 저렴하고 높은 전기전도도를 보유한 구리를 사용한다. 그러나 송전탑과 탑을 연결하기 위한 송전선의 경우 밀도가 높은 구리 송전선의 사용이 불가능하여 알루미늄 소재를 이용한 송전선이 사용되고 있다. 다양한 소재가 개발되고 있는 현재 높은 기계적 특성과 전기전도도를 향상 시키려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 순수 Al 분말과 CNT, B₄C, Nano Diamond를 포함하여 복합 분말을 제조하였으며, 열간 압출 공정을 통해 제조된 압출재의 전기전도도 및 기계적 특성을 평가하였다. 실험에 사용한 알루미늄 분말은 32 μm 이하의 분말을 사용하였으며, 분

산된 CNT는 MWCNT(Multi Wall Carbon Nano Tube)이며, B4C는 10 μm 이하의 분말을 사용하였다. 알루미늄 복합소재 분말의 제조는 Tumbler milling 장치를 이용하여 시간에 따른 분말 거동을 확인하였다. 제조된 분말은 열간 압출기를 이용하여 350°C에서 압출하였으며, 캔 재질의 변화를 통하여 전기전도도 향상을 도모하였다.

[P12-9]

나노구조 TiN-BN 복합재료 제조 및 기계적 성질: 손인진¹, 김성은², 임성빈³; ¹전북대학교 ²전북대학교 재료공학과. ³전북대학교 신소재공학부

Keywords: Nanostructured Material, Sintering; TiN, Hardness, Fracture Toughness

Titanium nitride (TiN) has been used extensively in coating materials and cutting tools due to its attractive properties including low density, high melting point, high hardness and thermodynamic stability. However, similar to many ceramic materials, its low fracture toughness limits wide industrial application. To improve its hardness and fracture toughness, the method generally utilized involves the fabrication of nanostructured materials and the addition of a second phase to form composites. In this paper, BN was evaluated as the reinforcing material in TiN ceramics by pulsed current activated sintering method. Highly dense nanostructured TiN and TiN-BN composites were achieved within 1 min at 1400°C. The effect of BN on the grain size, hardness and fracture toughness of TiN-BN composites was evaluated. The Vickers hardness and the fracture toughness values of the TiN sample were 870 kg/mm² and 3.5 MPa·m^{1/2}, those of the TiN-1vol% BN sample were 1588 kg/mm² and 4.6 MPa·m^{1/2}, those of the TiN-3vol% BN sample were 1746 kg/mm² and 4.7 MPa·m^{1/2}, and those of the TiN-5vol% BN sample were 1654 kg/mm² and 4.5 MPa·m^{1/2}, respectively. The addition of BN to TiN simultaneously improved the hardness and fracture toughness of the TiN-BN composite due to the refinement of TiN and the deterrence of the crack propagation by BN. This study demonstrates that BN can be an effective reinforcing material for the improved fracture toughness and hardness of TiN composites.

[P12-10]

W-ZrO₂ 복합재료 소결 및 기계적 성질: 손인진¹, 김성은², 홍수환³; ¹전북대학교 ²전북대학교 재료공학과. ³전북대학교 신소재공학부

Keywords: Sintering, Composite materials, Nanomaterials, Mechanical properties, Synthesis

ZrO₂ has been found to be the candidate materials for hip and knee joint replacements because of the excellent combination of biocompatibility, corrosion resistance and low density. However, the drawback of pure ZrO₂ is a low fracture toughness at room temperature. One of the most obvious tactics to cope with this problem has been to add a reinforcing agent to formulate a nanostructured composite materials. Nanomaterials have received a good deal of attention recently as they can be produced with improved mechanical properties (hardness and fracture toughness). The high-frequency induction heated sintering method takes advantage of simultaneously applying induced current and mechanical pressure during sintering. As a result, nanostructured materials can be achieved within very short time. W and ZrO₂ nanopowders were mechanochemically synthesized from WO₃ and Zr powders according to the reaction (WO₃ + 3/2 Zr → W + 3/2 ZrO₂). The milled powders were then sintered using high-frequency induction heating within two minutes under the uniaxial pressure of 80MPa. The average hardness and fracture toughness of the nanostructured W-3/2 ZrO₂ composite sintered at 1300°C were 540 kg/mm² and 5 MPa·m^{1/2}, respectively. The fracture toughness of composite was higher than that of monolithic ZrO₂. The phase and microstructure of the composite were also investigated by XRD and FE-SEM.

[P12-11]

나노구조의 CoZr-ZrO₂ 복합재료 합성 및 급속소결: 손인진¹, 김성은², 정권호³; ¹전북대학교 ²전북대학교 재료공학과. ³전북대학교 신소재공학부

Keywords: Rapid sintering, Composite, Nanostructure, Synthesis, Mechanical properties

Nanopowders of CoZr and ZrO₂ synthesized mechanochemically according to the reaction (2 CoO + 3 Zr → 2CoZr + ZrO₂) from CoO and Zr powders by high-energy ball milling. The synthesized powders were consolidated by pulsed current activated sintering method within two min under the 80Mpa pressure. CoZr and ZrO₂ in composite sintered by rapid heating consist of nanophase. The hardness and fracture toughness of a 2 CoZr-ZrO₂ composite of this study are better than hardness of monolithic CoZr and fracture toughness of a monolithic ZrO₂. Finally, the 2 CoZr-ZrO₂ composite exhibits good wear resistance and biocompatibility.

[P12-12]

열처리 조건에 따른 TiC-SKD11 복합소재의 인장파괴 특성 및 강화기어 인자 고찰: 김치원¹, 박성주¹, 조승찬², 이상관², 김대하³, 홍현욱*¹; ¹창원대학교 신소재공학부. ²재료연구소 복합재료연구본부. ³대화알로이테크

Keywords: HIP(Hot-Isostatic-Pressing), Fracture, tensile test, Residual stress, Heat treatment

본 연구에서는 새로운 용융가압함침 공정을 통해 제조된 금속복합소재에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구에서의 소재는 Fe계 기지의 SKD11 공구강에 젖음성이 우수한 TiC 강화재를 다량 분산시켜 기존 소재 대비 저밀도, 우수한 고온 강도, 열적 안정성 및 내마모성을 지닌 것이 특징이다. 본 소재의 미세조직에서 입내 및 TiC 입자 사이의 M₇C₃ bridging이 존재함을 확인하였으며, TiC 입자와 기지 사이의 계면이 [-111]_{SKD11}//[001]_{TiC}, (1-12)_{SKD11}//(220)_{TiC} 및 [012]_{SKD11}//[110]_{TiC}, (200)_{SKD11}//(-224)_{TiC}의 방향 관계를 갖는 semi-coherent nature를 이루어 우수한 계면 강도 가질 것이라고 예측하였다. TiC-SKD11 금속복합소재의 열처리 조건에 따른 인장 특성 및 파괴거동을 고찰하기 위해 다양한 열처리(Softening, Hardening, Hardening + Tempering at 300°C, Hardening + Tempering at 500°C)를 적용하여 상온 및 700°C 온도에서 인장시험을 시행하였다. 파괴기구 분석을 위한 주사전자현미경(SEM,

Scanning Electron Microscope) 관찰 결과 열처리 조건과 시험온도에 관계없이 TiC 입자 내의 {100} 벽개면을 따라 우선적인 파단이 발생하여 진행된 후 서로 합체되어 최종 파괴로 이어짐을 확인하였다. 인장강도 비교 결과 상온에서는 Hardening, 700°C에서는 Softening 처리된 소재가 가장 높은 인장 강도를 나타내었다. 이러한 결과에 대해서는 추후 기지 미세조직과 복합소재 인장강도의 상관관계에 대한 정량적 고찰이 요구된다. 한편, HIP(Hot-Isostatic-Pressing) 처리한 복합소재와 HIP공정과 동일한 온도조건에서 추가 열처리한 복합소재의 미세조직을 비교 분석하였고, 그 결과 HIP처리 전에 비해 M_7C_3 분율이 감소(9.12% → 4.36% → 0.54%)하였다. 이는 고온-고압에 노출되는 동안 TiC 계면과 기지의 반응에 의해 일부 용해가 발생기 때문으로 판단된다. 또한 HIP 처리 전에 비해 인장강도가 상온에서는 791 MPa에서 965 MPa로, 700°C에서는 490 MPa에서 559 MPa로 향상함을 확인하였다. 이러한 원인에 대해서는 M_7C_3 분율 감소, TiC 분율 감소, 기지조직 변화, 그리고 TiC 계면에서의 잔류응력 변화 등을 예상할 수 있다. HIP처리 후 TiC 계면에서의 잔류응력 변화 여부를 확인하기 위해 HR-X-ray 측정된 결과 그 영향은 미미함을 확인했다. 인장 하중에 대한 표면분석 결과, HIP처리된 소재에서 TiC 입내파단 균열(TiC 입자 내부에서 벽개파괴되고, 기지에서 arrest된 균열)이 표면으로부터 보다 깊게 분포함을 확인하였고 이를 통해 HIP 처리에 의한 기지조직의 변화는 본 소재의 기계적 특성 변화에 핵심 요소라 판단된다.

[P12-13]

Al matrix 금속복합소재의 동적 압축 성질 및 방탄 성능에 미치는 강화재 (SiC, B_4C) 동시 첨가 효과: 조민철¹, 최진혁¹, 유지성¹, 이동현², 신상민², 조일국², 이상관², 이성학¹; ¹포항공과대학교 ²재료연구소

Keywords: Al7075, SiC, B_4C , Ballistic impact test, Dynamic compression

본 연구에서는 Al7075 기지에 강화재 SiC와 B_4C 를 동시 첨가하여 액상가압 공법을 활용해 시편을 제조하였다. 제조된 시편은 T6 열처리를 거쳐 기계적 성질 분석 및 미세조직 분석이 진행되었다. 액상가압 공법을 통해 제조된 시편은 강화재간의 뭉침 현상 없이 균일하게 분포하는 것을 보였으며 약 55%의 높은 체적률을 보인다. Ceramic/Al 계면에 약간의 금속간화합물이 관찰된다. 이 시편을 split Hopkinson pressure bar 장비를 통해 압축 시험을 하였을 때 1.5GPa 이상의 높은 동적 압축 강도와 11.7%의 압축률을 보인다. 이 결과는 SiC 혹은 B_4C 단일 첨가된 시편에 비해 매우 높은 수치이다. 동시 첨가의 영향을 관찰하기 위해 압축 구간에 따른 미세조직 관찰이 진행 되었으며 파괴 기구가 정량적으로 분석되었다. 또한 높은 동적 압축 강도 및 압축률을 가지는 이 복합재는 우수한 방탄 성능을 보인다. 본 연구에서는 강화재 동시 첨가된 금속복합재의 미세조직적 변화 및 파괴기구가 동적 압축특성 및 방탄 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

[P12-14]

Co/Pd 다층박막에서 양성자 조사 에너지에 따른 자성 특성 변화: 한동현, 고정호, 홍종일; 연세대학교 신소재공학과

Keywords: Cobalt Palladium Multilayer, Proton Irradiation, Perpendicular Magnetic Anisotropy

차세대 메모리 중 하나인 자기메모리(magnetic random access memory, MRAM)는 구동 속도(switching speed), 정보 보존(data retention) 및 내구성(endurance)과 같은특성이 뛰어나며 비휘발성이기 때문에 낮은 소비전력(power consumption)으로 구동이 가능하다. 자기메모리의 핵심 단위 소자인 자기터널접합(magnetic tunnel junction, MTJ)은 두 층의 강자성체 사이에 터널배리어인 산화물이 있는 구조이며, 두 강자성체의 자화방향이 평행일 때 낮은 저항을, 반평행일 때 높은 저항을 나타내기 때문에, 강자성체의 자화 방향에 따라 정보가 저장되고 읽어낼 수 있다. 수직자기이방성을 갖는 강자성체를 사용할 경우 고집적을 위하여 소자의 크기를 줄임에 따라 열적 불안정성때문에 자화를 조절하는데 문제가 있다. 반면에, 수직자기이방성을 갖는 강자성체의 경우 이러한 열적불안정을 극복할 수 있다. 수직자기이방성을 갖는 Co/Pd 다층박막 구조는 자기이방성 에너지가 크고 각각의 Co와 Pd 각각의 두께와 적층 횟수만 조절하여도 자기이방성 에너지를 변화시킬 수 있기때문에 자기터널접합에 적합한후보가 될 수 있다. 선행연구를 통하여 CoO_x/Pd 다층박막 구조에 양성자를 조사하여 나노패터닝에 이용할 수 있음을 보고한 바 있으며 이 ?, 수직자기이방성 또한 증가됨을 발견하였다. 본 연구에서는 적층 횟수 및 양성자 조사 에너지의 변화에 따른 Co/Pd 다층박막의 수직자기 특성을 분석하였다. $[CoO_x/Pd]_1$, $[CoO_x/Pd]_2$ 구조에 양성자를 조사하여 환원을 시키고 수직자기 특성을 진동시료형 자력계(vibrating sample magnetometer)로 평가하였다. 환원에 필요한 양성자 조사 에너지는 Co/Pd 층의 반복 수가 줄어들수록 작으며 보호층의 두께, Co층의 두께에도 영향을 받는 것을 확인하였다. 연구 결과, $[Co/Pd]_1$ 구조에서 양성자를 200 V로 가속하여 조사하였을 때 수직자기이방성이 가장 잘 나타났으며 이를 소자에 적용하면 열적안정성도보장되면서 자화반전에 필요한 에너지도 낮출 수 있을 것으로 기대한다.

[P12-15]

장수명 전기접점 소재 구현을 위한 Ta-Cu 소결체 내 CeO_2 및 WC 분말 첨가에 따른 물리적 성질 고찰: 서경덕^{1,3}, 최상훈^{1,3}, 심재진¹, 임재홍^{1,2}, 이현규^{1,3}, 유지원^{1,3}, 현승균³, 박경태¹; ¹한국생산기술연구원 ²고려대학교 ³인하대학교

Keywords: 전기접점소재, 액상소결, 첨가제 WC, CeO_2

전기 접점재료는 통전 개폐용 소재부품으로 사용되며, 주요 특성은 전기전도성, 내아크성, 고용점, 내산화성등이 있다. 접점 소재는 고온에서의 내구성 특성으로부터 용도가 달라지며, 이 중 중/고전류 접점재료로 Ag 또는 Cu 복합재가 활용되고 있다. 대표적인 중/고전류 접점재료인 Ag-CdO계 복합재는 극한 환경에서의 사용으로 인해 전기전도도가 우수하고 내열성을 지녔으며, 가공성이 우수하여 foil, wire, clad 의 형태로 변형이 가능하다. 이에 가장 보편적으로 사용되지만, 장시간 사용하는 경우 고전압 및 고전류에 의해 발생하는 아크 열로 인하여 Ag 접점부에서 용착 문제가 발생되고 있다. 또한 토양 오염을 유발하고 중금속 및 특정 유해물질 사용규제로 인해 더 이상 사용이 어려워지고 있는 추세이다. 본 연구에서는 이러한 문제점들을 개선하고자 환경 친화적인 Ta-Cu 혼합분말과 추가로 열적 안정성을 지닌 첨가제인 CeO_2 와 WC 분말을 선택하였다. 먼저 Cu 분말내 CeO_2 와 WC를 각각 불 밀링 혼합

한 이후 Ta 분말을 추가하여 단순 기계적 방법으로 혼합하였다. 프레스를 이용하여 88%의 밀도를 지닌 혼합 분말 압분체를 제작한 뒤, LS(Liquid sintering) 방식을 사용하여 소결체를 제작하였다. 각 첨가제 함량에 따른 소결체의 물리적 특성을 분석한 결과 첨가제(WC, CeO₂) 함량이 증가함에 따라 전기 전도도는 최대 11(%IACS) 감소되었으며, 경도는 최대 20(Hv) 증가되었다. 종합적인 물성 평가 및 조직 분석 결과 0.5-1.0 wt% CeO₂ 첨가된 Ta-Cu 복합재와 0.5-0.8 wt% WC 첨가된 Ta-Cu 합금이 전기접점 소재로 적합하다는 것을 확인할 수 있다.

P13 : 가공-주조 및 용고
Room 전시장 III, 4월 25일

[P13-1]

금속연료심 주조공정 도가니/주형 반응을 방지하기 위한 코팅 특성: 국승우, 정경채, 오석진, 문승욱, 하성준, 박정용; 한국원자력연구원
Keywords: Interaction prevention, Casting, Coating, Metallic fuel, Nuclear materials

우라늄이 함유된 금속연료심의 제조법으로 1500°C 이상의 고온에서 원재료를 용융시킨 후 가압사출 주조법이 활용되고 있다. 이때 사용되는 주조용 그래파이트 도가니는 고온의 용융물과 반응하여 손상되며, 이로 인해 재활용이 불가능한 방사성폐기물로 취급된다. 이러한 용융물/도가니 반응을 방지하기 위한 도가니 내부 반응방지 코팅제를 개발하고 평가하였다. Y2O3, LaYO3, SiC, TaC가 각각 코팅된 그래파이트 시편을 제작하여 U-10Zr, U-10Zr-5RE (RE=53 Nd, 25Ce, 16Pr, 6La(wt%)) 연료심과의 반응성을 평가하였다. Tube furnace를 활용한 sessile drop 반응성 평가는 주조공정과 유사한 조건을 위하여 약 20°C/min의 승온 속도로 1450°C에서 10분간 유지하였다. 반응성 평가 후 코팅 시편은 주사전자현미경, 에너지 분광분석법을 통한 미세조직 분석으로 반응방지 시편들의 미세조직을 분석하고 반응성을 평가하였다. 본 연구를 통하여 각각의 코팅층에 대한 반응방지 효과를 확인하고 U-Zr base 금속연료의 반응성을 평가하고 코팅시편이 용탕 내부에 미치는 영향을 평가하였다. 분석 결과를 바탕으로 각각의 코팅이 도가니 반응 방지층으로의 활용 가능 여부를 판단할 수 있었고, 이로 인한 방사성 폐기물 저감대책을 마련할 수 있었다.

[P13-2]

Al-Mg 합금 빌렛 특성 변화에 미치는 초음파 인가 효과의 영향: 김선기¹, 조대연¹, 김민상¹, 최경환¹, 이강래¹, 김영직², 조훈¹; ¹한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소, ²성균관대학교 신소재공학과

Keywords: Al-Mg 합금, Ultrasonic Melt Treatment, Grain Refinement

비열처리형 전신재 합금인 Al-Mg계 합금에서 결정립 미세화는 열간균열의 감소, 기계적 특성의 증가 및 성형성의 향상에 기여하는 것으로 보고되고 있으며[1,2] 이러한 장점을 극대화하기 위해 화학적 방법 또는 물리적 방법을 사용하는 결정립 미세화공정이 개발 및 적용되고 있다. 화학적 결정립 미세화공정의 경우, 대부분의 Al 합금에서 Al-Ti계 master alloy가 사용되고 있으나 일부 합금원소가 다량 첨가된 합금에서는 Al-Ti계 master alloy에 의한 효과가 거의 나타나지 않는 것으로 보고되고 있으며[2], 화학적 미세화처리를 통해 생성된 핵 입자들이 일부 응집 및 축적되어 결정립 미세화 효과를 제한하는 연구결과도 보고되고 있다[3]. 이러한 Al 합금에서의 일부 제한적인 화학적 결정립 미세화방안을 개선하기 위해 물리적 결정립 미세화방안이 연구 및 제안되고 있으며, 이러한 공정 중 한가지로 용탕 내에 초음파를 인가하는 공정이 제안, 연구되고 있다. 용탕 내의 초음파 인가 공정은 초음파 에너지 전달을 통해 결정립 미세화와 탈가스 효과를 함께 나타내는 공정으로 보고되고 있으며, 특히 초음파 에너지 전달 소재로 Ti sonotrode를 사용할 경우 이러한 효과들이 증가하는 것으로 알려져 있지만[4], 현재까지의 연구는 초음파 인가 공정(주파수, 인가시간 등)의 제약으로 인해 초음파 인가 효과를 기대할 수 있는 용탕량의 제약이 매우 크며(0.5-4kg 이내의 용탕량), 대부분 주조용 알루미늄 합금인 A3xx계 합금 및 일부 Mg 합금에 제한적으로 연구가 진행되어 전신재 합금에 대한 용탕 내 초음파 인가에 대한 연구는 거의 보고되지 않고 있는 상황이다. 이에 본 연구에서는 Al-Mg 합금 용탕에 초음파를 인가하여 결정립 미세화에 미치는 초음파 인가의 효과를 검토하고자 하였으며, 초음파 인가의 주요 공정 변수인 인가 온도를 변화함과 동시에 기존 화학적 미세화방안으로 적용되는 Al-Ti계 master alloy를 선택적으로 첨가하여 결정립 미세화 효과에 미치는 영향들을 확인하고자 하였다. 이를 위해 초음파 인가 및 Al-Ti master alloy가 첨가된 합금 빌렛을 주조하였고 이후 미세조직 평가, 기계적 특성 평가등을 진행하여 전신재 비열처리형 Al-Mg 합금에서의 초음파 인가를 통한 결정립 미세화 방안을 검토하였다.

[P13-3]

존 멜팅법을 이용한 게르마늄의 고순화 공정에 관한 연구: 전영준^{1,2}, 김경호^{1,2}, 최경환¹, 김상섭², 조규섭¹; ¹한국생산기술연구원, ²인하대학교

Keywords: Zone melting, Germanium, Graphite boat, High purity, Impurity

단결정 게르마늄은 높은 투과 범위, 수분에 대한 반응성, 우수한 굴절률 등의 특성을 가지고 있다. 이처럼 우수한 특성을 가진 게르마늄은 반도체로 전자 산업에 이용되고 있고 적외선 투과재료로 광학계 핵심 부품인 투과창(window), 렌즈(lens) 등 여러 분야에 사용 된다. 단결정 게르마늄은 결정립 입계의 불순물 편석에 의한 내부 산란으로 투과율 감소 및 적외선 영상의 노이즈 증가로 인하여 대형 고성능 광학계에 적용하기 어려움이 있어 고순도의 단결정 게르마늄 소재가 요구되고 있다. 또한 게르마늄의 가격이 비싸기 때문에 스크랩의 재사용이 필수적인데 이러한 게르마늄 스크랩을 고순화하기 위해 존 멜팅법(zone melting method)을 적용하였다. 본 연구에서는 기존 고순도 흑연보트의 형상과 두께에 변화를 주어 비저항 45 Ωcm 이상으로 고순화 된 게르마늄의 수율 향상과 Cu불순물을 첨가하였을 때 잉곳에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하였다. 고순도 흑연보트의 형상은 물질이동 현상을 방지하기 위하여 기울기를 2.75°와 용융대 폭의 조절을 위해 기존두께 5 mm에서 3 mm로 감소시킨 흑연보트를 사용하였다. 또한 비저항 45 Ωcm 이상인 고순도의 잉곳에 Cu불순물을 1 ppm과 10 ppm을 첨가하여 비저항의 감소변화를 알아보는 실험을 진행하였다. 실험 방법은 240 mm의 흑연보트에 게르마늄 스크랩을 채워 넣고 질소95% 수소5%의 gas 분위기에서 유도코일을 이용하여 시작부분을 용해한 후 시편 끝 부분으로 불순물을 정제하였다.

[P13-4]

사형 주조한 40wt% Cr계 초내열합금의 미세조직 및 기계적 특성 연구: 김용래¹, 박성수¹, 김동배², 마승환³, 이락규², 김주업²; ¹(주)영신특수강, ²대구기계부품연구원, ³한국건설생활환경시험연구원.

Keywords: Sand Casting, Cr-base Alloy, Reheating Furnace, Skid, High Temperature Property

철강 제조 산업의 열간압연 및 후판 공정에서의 열처리 소재를 원하는 물성으로 가공하기 위한 요소 공정으로 목표온도까지 가열하기 위해 많은 에너지를 소모하며 최종적인 제품의 품질에 큰 영향을 미치는 중요한 공정이다. 열처리는 가열로에서 이루어지며 강편이나 강판 등의 피가열재를 지지하고 반송하기 위하여 주로 Skid 제품이 사용된다. 사용온도는 대략 1,000-1,350°C 정도로 매우 가혹한 환경에서 사용되므로 초내열합금을 사용되며 기존 제품으로 Ni계 초내열합금, Co계 초내열합금 등이 사용되어 왔다. 하지만 Ni 및 Co 원소재는 고비용으로 인하여 최종 제품의 단가 경쟁력을 하락시키고, 1,200°C 이상의 온도 구간에서 상변화 및 조대한 개재물 석출의 단점으로 인해 Skid 제품의 변형이 발생하여 피가열재에 Skid Mark 등의 제품 결함을 초래하고, 이로 인해 수명이 짧아지는 등 문제점을 가진다. 본 연구에서는 상기 문제점을 해결하기 위해 고가 원소재인 Ni와 Co 대신에 내열성이 우수하고 상대적으로 저가의 원소재인 Cr으로 대체하는 연구를 수행하였다. 개발 과정에서 기존 상용품인 Ni계 초내열합금 NA22H 사용 제품과 Cr 함량을 40 wt% 함유한 Cr계 초내열합금 개발품을 비교 평가하였다. 두 합금의 조형 공정에서는 CO₂ 공정을 사용하였고, 고주파 전기 용해로를 이용하여 원소재를 용해하였다. 용해 후, 탈사는 충분한 냉각을 위해 24시간 이후에 실시하였다. 기계적 물성의 비교를 위해 경도 및 인장시험을 수행하였으며, 미세조직 및 석출물 관찰을 위해 광학현미경, 주사전자현미경(SEM), 에너지분산형 X-선분석기(EDS)를 이용하여 분석을 수행하였다. 또한, 고온 특성 관찰을 위하여 고온 산화 시험과 고온 인장 시험을 수행하였다.

[P13-5]

Rene 80 합금의 일방향 응고에서 응고속도에 따른 미세조직 분석 및 기계적 특성: 섬기태¹, 우한별², 주윤근¹, 신중호³, 황호순¹, 이재현¹; ¹창원대학교 신소재공학부, ²세아창원특수강 기술연구소, ³두산중공업(주) 소재기술개발팀.

Keywords: Rene 80 Superalloy, Directional solidification, Carbide, Heat-treatment

초내열합금 Rene80은 우수한 열피로 특성, 고온 부식 저항성과 고온에서의 조직적 안정성이 뛰어나다. 본 연구에서는 Rene80 합금을 일방향 응고하여 일정한 조건 하에서 응고 속도 (V) 변화에 따른 미세조직적 특징과 열처리 후의 변화를 연구하였다. 시차 주사 열량계 (DSC) 분석 결과 γ 상 (1322°C), MC 탄화물 (1278°C), γ/γ' 공정상 (1202°C) 그리고 γ' 석출상 (1136°C)이 순차적으로 형성되었다. MC탄화물과 공정상의 분율은 응고 속도에 관계없이 0.95%, 1.7%로 측정되었고 크기는 응고 속도가 증가할수록 감소하였다. 열처리 후의 γ' 석출상의 분율은 33%로 측정되었고 크기는 열처리 전과 변함이 없었다. γ/γ' 공정상의 분율은 응고속도에 상관없이 1.7%에서 0.955%로 감소하였다. MC 탄화물의 크기는 응고속도가 증가 할수록 감소하였다. 이러한 미세조직학적 인자들이 상온 인장 특성에 미치는 영향을 미치는 것으로 나타났다.

[P13-6]

사출주조 금속연료심 주조결함 특성평가: 송훈, 박상규, 박정용; 한국원자력연구원 SFR 핵연료개발부.

Keywords: SFR(Sodium-cooled Fast Reactor), metallic fuel, injection casting, defect

소듐냉각고속로(SFR) 핵연료 피어로 재순환 주기를 완성하기 위해 필요한 재순환 금속연료 제조기술은 사용후 핵연료를 피어로 처리한 후 SFR 핵연료로 제조하는 기술로서, 재순환 핵연료가 가지는 높은 방사선 물질 때문에 제조 전 과정이 핫셀 시설에서 수행되므로 원격으로 제조하기 위한 공정을 개발하는 것이 중요하다. 현재까지 실험실 규모의 사출주조 기술 및 공학규모 사출주조 기술을 확보하였다. 본 연구에서는 금속연료심 제조기술의 주조진전성을 향상시키기 위해 금속연료심 제조공정변수에 따른 주조결함을 평가하였다. 재순환 금속연료심을 핫셀에서 제조할 목적으로 공학규모 금속연료심 원격제조장치를 사용하여 용해주조 시험을 수행하였다. 제조시험에 사용한 주조공정변수는 본 시험 이전에 수행된 일련의 예비공정실험을 통하여 선정되었다. 주조시험결과 가압압력과 주조온도가 증가함에 따라 수축공 및 기공이 증가하였다. 이는 주조온도가 용탕의 유동도와 응고온도에 영향을 준 것으로 보인다. 연료심 표면에 형성된 형상과 결함들은 용해과정에서 주입된 가압아르곤 기체와 가압시 주형내부에서 잔류한 기체 가스에서 발생하였으며 사출가압전 진공과정을 추가함으로써 관련한 주조결함을 최소화하였다.

[P13-7]

단결정 블레이드의 열처리 조건에 따른 공정 분율과 그에 따른 고온 기계적 특성 변화: 이현우¹, 성창훈¹, 주윤근¹, 권석환², 정의석², 이재현¹; ¹창원대학교 신소재 공학부, ²한국로스트왁스 (주)기술연구소.

Keywords: 초내열합금, 미세조직, 열처리, 기계적 특성

Ni 단결정 초내열합금은 극한의 내열환경을 만족시키기 위해 개발되어 항공기의 가스터빈이나 산업용 가스터빈엔진의 단결정 터빈 블레이드 등에 널리 사용되어 왔다. 단결정 합금은 다결정 초내열합금에 비해 용융점이 높기 때문에, 주조시 발생하는 조대한 석출물을 기지에 용해시키는 균질화 열처리가 가능하다. 균질화 처리로 인해 석출물이 일단 기지에 완전히 용해되면, 차후의 시효 열처리에 의해 석출물들을 이상적인 형상으로 석출시킬 수 있다. 이로 인해 단결정 초내열합금은 고온에서 우수한 기계적 특성을 갖게 된다. 본 연구에서 사용된 단결정 초내열합금의 경우 결정립계가 존재하지 않아 강화상인 γ' 의 분율이 높아 고온에서 높은 수준의 균형잡힌 기계적 특성을 나타낸다. Ni계 초내열합금의 기계적 특성은 주로 합금 조성에 영향을 받지만, 고온에서의 우수한 특성을 가지기 위해서는 적절한 열처리 공정이 무엇보다 중요하다. 일반적으로 미세구조를 균질화하고 원소의 편석을 줄이기 위한 용체화 처리와 γ/γ' 미세구조를 제어하기 위한 시효 처리가 열처리 공정으로 사용되고 있다. 본 연구에서는 용체화 열처리 온도 변화에 따른 공정상의 분율 변화와 이에 따른 creep 및 고온 인장 특성에 미치는 영향을 분석 하였다. 인장 시험 평가 결과 공정상의 분율 차이

가 미세한 경우 유사한 인장 강도를 나타내었다. 하지만 연신율에서 뚜렷한 차이를 보였으며 creep 결과에서는 용체화 온도가 낮은 조건에서 파단 수명이 감소하였다.

[P13-8]

초내열합금 IN713C의 미세조직에 따른 고온 기계적 특성: 김찬민¹, 권순철¹, 권석환², 윤병관², 홍현욱¹, 이재현¹; ¹창원대학교 신소재공학부, ²한국로스트웍스㈜ 기술연구소

Keywords: 초내열합금, 미세조직, 기계적특성, 결정립

본 연구에서 IN713C를 접중재와 단열재를 이용하여 응고 조건을 변화시켜 다양한 결정립 크기의 시편을 제작하여 기계적 특성에 대해 고찰하였다. 각 시편을 표준 열처리 후 규격에 따라 인장 및 크리프 파단 실험을 한 후 미세조직을 관찰하였다. 공정 조직 주위에 M6C형 탄화물과 기지 내에 MC형 탄화물 및 조대한 γ' 상의 공정 조직이 결정립계에 형성된 것도 관찰하였다. 상온 인장 시험에서 결정립 크기가 증가할수록 인장강도와 연신율은 감소하였고, 항복강도는 결정립 크기와 상관없이 동일 한 것이 관찰되었고, 고온 인장 시험에서는 결정립 크기의 변화와 관계없이 인장강도, 연신율, 항복강도는 일정한 것이 관찰되었다. 고온 인장 시편의 파 단면에서 주상정 형성의 파면과 국부적으로 덩풀이 관찰되었다. Creep-rupture 시험 [927°C, 200MPa] 에서 결정립 크기가 증가할수록 수명이 증가하는 경향과 변형에 대한 저항성이 관찰되었다. 본 연구에서 응고 조건에 따른 결정립 크기를 제어하고 최종적으로 우수한 기계적 특성을 가지는 미세조직학적 인자를 제시하고자 한다.

[P13-9]

초내열합금 IN792Hf의 일방향응고 및 열처리에 따른 Eta상이 기계적 특성에 미치는 영향: 손명균¹, 이현우¹, 구지호², 강현기³, 정성일³, 이재현¹; ¹창원대학교 신소재공학부, ²두산중공업, ³성일터빈

Keywords: Superalloy, Directional solidification, Eta phase, Solidification rate, Heat treatment

발전용 항공기 가스터빈 블레이드 및 베인의 소재로 사용되는 Ni기 초내열합금은 고온에서 우수한 기계적 성질을 가져야한다. IN792Hf 합금은 IN792 합금에 Hf를 첨가해 연성 및 강도를 개선시킨 합금이지만, 고온에서 기계적 성질을 저하시킬 수 있다고 알려진 Eta상이 형성된다. 본 연구에서는 일방향 응고속도에 따라 열처리 된 Eta상이 기계적 특성에 미치는 영향을 분석하기 위해 IN792Hf 합금을 일정한 온도구배에서 다양한 응고속도(V=10, 25, 50, 100 $\mu\text{m/s}$)로 일방향 응고하였다. 응고속도가 증가할 수록 1차, 2차 수지상 간격, $\gamma-\gamma'$ 공정상 크기 및 Eta상 크기가 감소하였고, 수지상 사이에서 Eta상이 미세하게 형성되는 것을 관찰하였다. 열처리 후 미세하게 형성된 Eta상은 열처리 과정에서 재 용해되었지만, 느린 응고 속도에서 비교적 조대하게 형성된 Eta상은 열처리 중 용해되지 않은 것을 관찰하였다. 상온(25°C) 및 고온(800°C)에서 인장시험결과 상온/고온 모두 응고속도가 증가할수록 항복강도 및 인장강도가 증가하는 것을 관찰하였다. 인장시험 파면 분석결과, 느린 응고 속도의 용해되지 않은 Eta상에서 인장특성에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

[P13-10]

Cu-22%Sn 합금 주조재 특성에 미치는 P 및 Zr 첨가의 영향: 김기태, 임영석; 한국생산기술연구원

Keywords: Cu alloy, Cu-Sn alloy, P, Zr

유기는 식기, 제기는 물론 악기, 일반 생활용품 등으로 사용되고 있는 구리-주석 합금으로서, 중량비로 구리 78%-84%와 주석 16%-22%를 함유하는 청동합금을 의미한다. 유기제품은 용해-주조 혹은 용해-주조-소성가공에 따라서 생산되고 있는데, 유기제품 제조 업체에서는 용해 및 주조공정에서 가스 함유 최소화, 산화물 혼입 최소화 등의 용탕 청정화를 위한 탈산, 탈수소처리, 산화물 제거 처리 등의 용탕제어기술 및 주조결함제어 기술을 대부분 적용하지 않고 있다. 이로 인하여 생산되고 있는 유기 제품은 산화물, 미세 수축공, 기공 등의 주조결함이 다량 발생되고 있기 때문에 표면 변색 및 인장강도가 낮은 문제점을 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 방짜 유기제품의 합금으로 널리 사용되고 있는 Cu-22%Sn 합금에 P 및 Zr를 첨가하여 유기 주조재의 주조결함을 제어하는 것과 동시에 인장특성 향상을 목표로 하였다. 이를 위하여 Cu-22%Sn 합금에 P 및 Zr를 첨가하여 주조재의 산소농도, 인장 특성 및 미세조직의 변화를 조사하였다.

[P13-11]

금속연료심 원격사출주조 공정평가: 송훈, 박상규, 박정용; 한국원자력연구원 SFR 핵연료개발부

Keywords: SFR (Sodium-cooled Fast Reactor), Metallic fuel, Remote injection, Casting

SFR 원형로 운전에는 필요한 재순환 노심 핵연료를 생산, 공급하기 위한 금속연료심 제조기술 및 원격제조기술을 확보하기 위해 사용후 핵연료를 파이로 처리한 후 SFR 핵연료로 제조하는 재순환 금속연료 제조기술을 개발하였다. SFR 원형로 금속연료 제조기술 확보를 통해 사용후핵연료 사용에 따른 고준위 폐기물의 처분공간 활용을 극대화 할 수 있다. 재순환 핵연료가 가지는 높은 방사선 물질 때문에 제조 전 과정이 핫셀 시설에서 수행되므로 원격으로 제조하기 위한 공정을 개발하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 재순환 금속연료심을 핫셀에서 제조할 목적으로 공학규모 금속연료심 원격제조장치를 사용하여 원격으로 연료심 제조가능성을 확인하기 위해 사용된 사출주조 공정을 평가하였다. 사출주조의 공정을 원격 및 비원격으로 구분하여 금속연료심 주조장치 및 사출주조에 수반되는 연료 loading, 도가니 몰드 이송, 몰드집합체 해체 등 관련된 제반 부속장치를 평가하였다. 평가 결과 사출주조 공정시 발생할 수 있는 위험성을 최대한 배제한 사출주조 공정 과정을 수립하여 원격으로 건전하게 수행되었음을 원격주조 시험으로 확인하였다.

[P13-12]

Ni-23%Al 합금의 일방향응고에서 대류의 영향에 따른 미세조직 변화: 석창훈¹, 구지호², 이현정¹, 주윤곤¹, 이재현¹; ¹창원대학교 신소재 공학부, ²두산중공업(주) 소재기술개발팀.

Keywords: 초내열합금, Ni-Al, 미세조직, 응고, hypoperitectic

Ni기 초내열합금에서 석출강화 기구에 의해 생성되는 Ni₃Al 금속간 화합물의 연구가 진행 되고 있다. 그러나 Ni₃Al 부근의 상태도가 명확하지 않다. 특히 Ni₃Al 조성 부근에는 포정 반응 상인 Ni₃Al (γ')을 중심으로 Ni 고용상(γ), NiAl(β)이 형성되는데 이 영역의 상태도가 불분명하여 이들 상의 생산과정 및 미세조직의 해석에 있어서 어려움이 따르고 있다. 본 연구에서는 hypoperitectic Ni-Al 합금의 미세조직 거동을 분석 하기 위하여, 개량된 Bridgman 방식의 로에서 성장 속도를 변화하여 일방향 응고 실험을 수행 하였다. 특히 대류의 영향에 따른 미세조직 변화를 관찰하기 위하여 내경 5 mm 알루미늄 튜브에 얇은 튜브(thin-tube)를 장입, 대류가 없는 조건 (1.0 mm에서 0.4 mm로 가공) 하에서 낮은 속도로 일방향 응고를 수행하였다. 성장속도가 낮은 조건에서는 밴드구조의 초정 γ' 상과 포정 γ' 상이 관찰 되었다. 이는 낮은 응고속도에서 응고과정 동안 평면형 초정 γ' 상이 초기에 형성되며 응고가 진행됨에 따라서 γ' 상의 핵 생성과 성장이 진행되는 동시에 γ' 에 덮이지 않은 초정 γ' 상이 지속적으로 성장하였기 때문이라 사료된다. Coupled bend 구조에서 $\gamma+\gamma'$ 성장 길이는 응고속도가 낮을수록 감소하는 경향을 보였다.

P14 : 적층제조 및 분말전시장
Room 전시장 III, 4월 26일

[P14-1]

Removal of Lead (Pb²⁺) from Wastewater by Nanocrystal and Flower like Fe₃O₄: Tsedenbal Bulgan¹, Bonheun Koo²; ¹Changwon National University.

Keywords: Magnetic iron oxides, X-ray diffraction, FESEM, Lead, Adsorption

Magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles have attracted increasing research interest in the many fields. In recent years magnetite nanoparticles used environmental remediation. The good adsorption activities of magnetite nanoparticles for many heavy metal ions have been reported in literatures. The major industrial sources of lead released into the environment are battery manufacturing, acid metal plating, ceramic and glass printing industries. The magnetic iron oxides Fe₃O₄ nanoparticles were prepared by wet chemical and polyol method followed by altering the calcination conditions. All the samples were characterized by X-ray diffraction (XRD) analysis and the morphology was examined by field emission scanning electron microscopy (FE-SEM). The FE-SEM images showed that preparing wet chemical method of Fe₃O₄ nanocrystals were approximately spherical shape and below 40 nm in size. However, synthesized by polyol method of Fe₃O₄ was 3D flower like shape and approximately 4μm in diameter. Magnetic properties of the as prepared samples were investigated by using a vibrating sample magnetometer (VSM). The saturation magnetization for nanocrystals and flower like Fe₃O₄ were found to be about 66.0 and 84.7 emu/g at 1.5 kOe, respectively. Adsorption experiments were tested for pH of the solutions, contact time and initial concentration of metal ions. The adsorption equilibrium study revealed that the Pb²⁺ adsorption of nanocrystal and flower like Fe₃O₄ followed a Langmuir and Freundlich isotherm model. The Pb²⁺ adsorption equilibrium data were good fitted to Langmuir model. The results indicate that the nanocrystal and flower like Fe₃O₄ are readily prepared, promising applications for the removal of Pb²⁺ from wastewater.

[P14-2]

소결 방법 및 조건에 따른 Ta-Nb-V-W-Ti 하이엔트로피 합금의 미세조직 제어 및 강도 특성: 송다혜¹, 김영겸¹, 김상준², 박은수², 이진규²; ¹공주대학교 신소재공학부, ²서울대학교 재료공학부.

Keywords: High entropy alloy, Ball milling, Sintering, Hot isostatic press

하이엔트로피 합금은 주 원소에 첨가원소를 넣는 일반적인 합금화 방법과 달리 주 원소 없이 첨가 원소들이 비슷한 원소 비율로 합금화를 이룬다. 이러한 하이엔트로피 합금은 높은 배열 엔트로피로 인하여 단일상을 형성하는 경향이 있으며, 높은 비강도 및 내산화성 등 우수한 특성으로 최근에 많은 연구가 진행되어지고 있다. 본 연구에서는 기계적 합금화법을 이용하여 Ta-Nb-V-W-Ti 조성의 하이엔트로피 합금 분말을 제조하였고, 기계적 합금화 공정조건이 합금화 및 상변태에 미치는 영향을 고찰하였다. 제조된 하이엔트로피 합금 분말을 방전 플라즈마 소결법(SPS) 및 고온 가압 소결법(VHP)과 고온 정수압 소결법(HIP)을 이용하여 벌크 형태로 제조하였다. 위와 같은 방법으로 제조된 분말 및 소결체를 X선 회절분석(XRD)과 주사전자현미경(SEM), 투과전자현미경(TEM)을 이용하여 미세조직 및 상분석을 시행하였고, 상온과 800°C에서 압축강도를 측정하여 기계적 특성을 평가하였다.

[P14-3]

Microstructure Characterization of the High Density U₃Si₂ Fuel Plate Based on Atomized Powders: Dong Hyeon Kang, Cheol Hong Park, Hwa Young Song, Jong Hwan Kim, Sunghwan Kim, Yong Jin Jeong, Jong Man Park; *Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)*.

Keywords: Uranium silicide, Atomized powder, High density, Plate-type fuel

The development of high density U₃Si₂ dispersion fuels as an alternative for the Low Enriched Uranium (LEU) conversion of high performance research reactor fuels has gained interest because of its predictable and stable evolution under irradiation. However, the fabrication of high density U₃Si₂ fuel plates using U₃Si₂ comminuted powders is not as readily viable as for the U₃Si₂ atomized powders due to its jagged morphology. In this study, conventional (4.8gU/cc) and high density (5.3gU/cc) U₃Si₂ fuel plates based on atomized U₃Si₂ powders were successfully developed for the first time in the world. The SEM, EDS and XRD were subsequently performed on the microstructure of atomized U₃Si₂ powders and the fabricated U₃Si₂ fuel plates.

[P14-4]

산화물 분말의 수소분위기 열처리 및 방전 플라즈마 소결에 의한 W-0.4 wt% Ni 제조: 강현지¹, 한주연¹, 정영근², 오승탁¹; ¹서울과학기술대학교, ²부산대학교.

텅스텐(W)과 같이 고용점을 가지는 금속은 분말 성형체의 소결로 완전한 치밀체를 제조하기에는 한계가 있어, 압력을 가하면서 가열하는 가압소결 및 나노입자의 큰 비표면적에 기인한 높은 소결 구동력을 이용하는 나노소결 방법을 이용하여 고밀도 소결체로 제조한다. 또한 미량의 천이금속 첨가로 물질이동을 촉진하는 활성소결 방법도 적용되고 있으며, Ni이 첨가된 W은 순수한 W보다 약 1000 °C의 낮은 소결온도에서도 완전 치밀화가 가능한 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 활성소결 공정을 이용한 W-Ni 소

결체의 제조와 미세조직 특성의 해석을 위해 WO_3 , NiO 및 Ni-nitrate 원료분말의 불 밀링과 수소 환원으로 Ni이 균일하게 분포된 W 분말을 제조하고 방전 플라즈마 소결로 치밀화 하였다. 산화물 혼합분말의 환원거동은 TPR(temperature programmed reduction)을 이용하여 Ar-10% H_2 가스분위기에서 분석하였으며, 소결체 특성은 공정조건에 따른 밀도와 미세조직 변화를 분석하여 해석하였다. TPR 분석결과 WO_3 -NiO 혼합분말에서 WO_3 의 환원반응에 관련된 활성화에너지는 87.4 kJ/mol로 순수한 WO_3 보다 낮은 값을 나타내었다. 1500 °C에서 방전 플라즈마 소결한 W-Ni은 약 99.0%의 상대밀도로 순수한 W의 93.6%보다 향상된 소결밀도를 나타내었다.

[P14-5]

Heavy Metal Adsorption Characteristics of Heat-Treated Iron Oxide in Heavy Metal Solution: Jieun Lee, Bonheun Koo; Changwon National University.

Keywords: Iron oxide, Fume, Heat treatment, Heavy metal, Adsorption

Particles generated during cutting of carbon steel are combined with each other after coagulation to form particles, which are called fission fumes, which oxidize with oxygen in the atmosphere and become iron oxide. In this study, the effect of heat - treated iron oxide on the removal of heavy metals was investigated. The existing cutting fume has a composition of Fe_3O_4 . We controlled iron oxide by phase and composition through heat treatment process. The heat treatment process was maintained in the atmosphere for 12 hours or less, and the temperature was increased from 300 °C to 1100 °C in units of 100 °C. From about 700 °C, the composition of the fume was changed to α - Fe_2O_3 and the color of the sample changed to black. As the annealing temperature increased, coercivity increased and saturation magnetization decreased. Since iron oxide has a rough surface and fine pores that are useful for physical adsorption, it is used to remove heavy metals. Heavy metal standard solutions were prepared by using lead (Pb), cadmium (Cd) and hexavalent chromium (Cr^{6+}) in heavy metal elements to investigate the adsorption characteristics of heavy metals. The fume was added to the heavy metal solution, and the solution was stirred and separated. The fume adsorbed by the heavy metal was removed and the concentration of the residual heavy metal solution was measured. Measurement of change in heavy metal solution concentration and calculation of removal rate were performed using ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Spectrometer). As the amount of iron oxide in heavy metal solution added increases, the heavy metal removal rate increases.

[P14-6]

New Fabrication Method for Metallic Glass Droplets and Wires by Considering Flow Transition Criteria for Jet Dynamics of Molten Alloys: 김원¹, 류채우², 박은수¹, K.S. Nakayama³, T. Ishikawa⁴, 이근우⁵; ¹서울대학교 신소재공동연구소. ²Oak Ridge National Laboratory. ³Tohoku University. ⁴Japan Aerospace Exploration Agency. ⁵한국표준과학연구원

Keywords: Metallic glass, Gas atomization, Liquid jet breakup mechanism, Nanoparticle, nanowire

최근 나노소자 제조 기술의 발전에 따라 나노금속분말을 이용한 3D 프린팅, 나노선을 이용한 전극 및 소자개발 등에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 나노 스케일의 구형(particle) 또는 선형(wire) 구조체 제조와 관련된 원천기술 개발 및 특허화 또한 적극적으로 이루어지고 있다. 따라서 나노소자 제조에 있어 기술적 우위를 점유하기 위해서는 기존에 시도하지 않았던 새로운 소재를 이용한 나노구조체 개발이 필수적이다. 이러한 요구에 대한 결과중 하나로 최근 비정질 합금을 이용한 다양한 나노구조체 제조법이 제시되었다. 비정질 합금은 구성원소들이 불규칙한 원자배열을 가져 상대적으로 우수한 기계적 특성을 나타낼 뿐 아니라, 결정립계와 같은 표면 결함이 없는 나노구조체의 제조가 가능하므로, 결정질 금속 또는 고분자 소재를 대체하여 활용하기 적합하다. 이러한 사실에 기초하여 본 연구에서는 고압 아르곤을 이용한 gas atomization 장치를 이용하여 비정질 합금 제조시 온도 및 압력에 따른 나노분말 및 와이어의 크기 및 분포를 체계적으로 조절하는 방법을 제시하고자 한다. 효과적인 비정질 합금 제조를 위해 비정질 형성능이 우수한 ZrCu계 벌크비정질 합금 형성을 이용하여 실험을 진행하였으며, 고온에서 용융상태의 합금이 가지는 점도 및 밀도 변화를 Electro-static levitation 을 통하여 직접 측정함으로써 atomization 공정시 온도에 따른 용융합금의 특성변화가 실제 나노구조체의 형상 및 크기분포에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 체계적으로 고찰하였다. 특히, 결정상에 비해 액상의 점성이 높은 비정질 합금의 방적화 또는 구형화 메커니즘을 설명하기 위해 레이놀드 수(reynolds number) 대 오네소지 수(ohnesorge number)의 비율로 정의 할 수 있는 jet breakup criterion을 제시함으로써 나노분말제조가 가능한 이유에 대한 근본적인 논의를 하였다. 본 연구를 통해 비정질 형성 고온액상의 점성거동 및 그에 따른 나노구조체 제조공정 조건변화를 체계적으로 고찰함으로써, 향후 다양한 조성의 비정질 합금 나노구조체 제조법에 대한 새로운 가이드라인을 제시 할 수 있을 것으로 기대된다.

[P14-7]

316L-저합금강을 이용하여 제조된 경사조성재료의 미세조직 연구: 신기승¹, 김정환², 박용호¹, 윤지현³; ¹부산대학교 재료공학과. ²한밭대학교 신소재공학과. ³한국원자력연구원 신소재개발실.

Keywords: Additive Manufacturing, Direct Energy Deposition, Functionally Gradient Material.

적층가공(additive manufacturing, AM) 또는 3D 프린팅 공정은 제조업계에 획기적인 기술로 여겨지고 있다. 금속분말 3D 프린팅 적층방법으로는 고에너지 직접 적층법(direct energy deposition, DED)과 분말적층 용융법(powder bed fusion, PBF)의 적층공정이 있다. DED는 타 적층공정에 비하여 빠른 입열과 적층속도로 인해 산업현장에서 활발히 활용되고 있다. 한편, 원자로의 배관 접합은 페라이트계와 오스테나이트계 합금을 접합하는 연구가 진행 중이다. 그러나 이종금속간의 열적 또는 물리적 성질 차이로 인해, 적층간의 계면 결합이 약한 영역에서 균열 및 박리가 발생 된다고 보고되었다. 본 연구에서는 균열과 박리가 발생하는 기존 원자로

배관접합 방법을 대체하기 위해서, 금속분말 함량이 변화되는 경사조정재료(functionally gradient material, FGM)를 사용하여 3D 프린팅공정을 통해 금속접합을 하였으며, 접합된 계면의 미세조직을 확인하고자 하였다. 페라이트계 저합금강 0.2C를 모재로 사용하고, 그 위에 저합금강 0.2C와 오스테나이트계 316L 분말을 FGM으로 적층간의 함량을 변화시켜 DED로 3D 프린팅 하였다. 적층된 시편의 계면은 EBSD, 압입시험(Nano indenter), Micro-XRD등으로 분석되었다.

[P14-8]

적층제조된 Ti-6Al-4V 합금의 공정변수가 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향: 이정섭¹, 정임두², 최종호², 유지훈², 김주식³, 김상식¹, 성효경¹; ¹경상대학교 ²한국기계연구원 부설 재료연구소 ³ANH Structure.

Keywords: Additive manufacturing, 3D printing, Selective laser melting, Ti-6Al-4V alloy, Process parameter

SLM(selective laser melting)공정에 따른 미세조직, 결함 및 기공들이 발생하는 메커니즘은 다양하게 존재하며, 이러한 공정 조건이 인장 특성에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 적층 각도, 적층 높이 등을 제어하여 Ti-6Al-4V 조형체를 제조하고, 미세조직과 기계적 특성간의 상관관계를 고찰하였다. 모든 시편의 미세조직에서 basket weave 조직이 관찰되었으며, HIP(Hot isostatic pressing)처리로 인한 기공률은 1% 미만으로 측정되었다. 인장 시험 결과, 적층 각도가 90° 일 때 인장 특성이 가장 우수하였으며, 적층 높이가 낮은 경우 연신율이 더 높게 나타났다. 이러한 원인을 분석하기 위해 표면 조도를 측정하고 인장파면을 관찰하였으며, 미세조직의 집합조직 및 방위관계를 분석하여 적층 높이에 따른 기계적 특성 변화를 고찰하였다.

[P14-9]

열수소화법을 이용한 Ni-based ODS 합금의 SPS 거동과 기계적 성질: 관정호¹, 김창재¹, 윤정모², 박제신²; ¹전북대학교 일반대학원 금속공학전공. ²전북대학교 공과대학 신소재공학부.

Keywords: Ni-based ODS alloy, Mechanical alloying, Mechanical properties

Ni기 ODS(Oxide dispersion Strengthened)합금은 고온에서의 기계적 특성이 우수하여 고온에서 사용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 기존의 ODS합금은 금속과 산화물을 물리적으로 혼합하는 MA(mechanical alloying)법을 통해 얻은 분말을 소결하여 제조한다. 하지만 이러한 방법으로 제조된 금속에서는 산화물의 분산성, 조성 균일성 등의 문제가 나타난다. 본 연구 그룹에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 기계적 수소화법을 이용한 합금분말 제조를 연구, 이를 통해 일반 MA법으로 제조한 분말을 이용한 합금보다 우수한 기계적 성질을 갖는 합금을 제조할 수 있었다. 하지만 기계적 수소화법은 분말합성과정의 오염, 분말 회수율이 떨어지는 등 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 이런 기계적 수소화법의 문제점을 개선하고자 열수소화법을 도입하여 기계적 수소화법과의 차이를 조사 하였다. 먼저 Ni₄Y 합금분말제조하고 이분말을 600°C, 6bar 조건에서 수소 분위기로 가압하여 Ni-YH₂로 만들고, 선택적 산화하여 Ni-Y₂O₃를 제조하였다. 그 후 첨가원소를 추가하여 Ni-20Cr-0.5Ti-0.3Al-0.6Y₂O₃의 조성을 갖는 MA754 분말을 제조하였다. 제조된 분말을 Ar 분위기에서 통진가압소결(SPS)을 사용하여 소결하였다. 기계적 특성은 압축강도, 고온압축강도, 비커스 경도를 조사하여 기존의 방법에 의해 제조한 소결체와 비교분석 하였다.

[P14-10]

항공기 엔진 적용을 위한 니켈기 초내열합금-본드 코팅의 이종재료 적층제조 가능성에 대한 연구: 이지원^{1,2}, Mathieu TENER¹, Etienne COPIN², Philippe LOURS², 홍현욱*¹; ¹창원대학교 ²IMT MINES ALBI-ICA.

Keywords: 적층제조, 선택적 레이저 용융법, Inconel 625, MCrAlY

최근, 정보화를 기반으로 한 제조업에서의 획기적인 자동화 시스템 도입의 움직임은 제 4차 산업혁명을 불러 일으켰으며 이러한 움직임에 발맞추어 적층제조에 대한 관심도 전세계적으로 매년 크게 증폭되고 있다. 이러한 적층제조법은 이전에는 이루어 낼 수 없는 복잡한 형태의 구조물을 재료 손실 없이 제작 가능하다는 점에서 산업에서 큰 메리트를 가져왔으며 이를 적용하기 위한 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있는 추세이다. 그리고 그 중 동체의 무게 감소가 중요한 항공 우주 분야에서 특히 이를 도입하기 위한 연구가 빠르게 진행되고 있다. 이 분야에서는 주로 고온 기계적 특성이 요구되는 엔진 부품을 우수한 기계적 특성은 유지하되, 필요치 않은 부분은 제거함으로써 더 가볍고 우수한 기능의 항공기 엔진 부품을 제작하는 것을 목표로 하고 있다. 그러나 이와 같이 고온 환경에 적용되는 합금은 아무리 그 특성이 우수하여도 고온에서 장시간 특성 발현을 위해서는 코팅 처리가 불가피한 실정이다. 한편 이러한 코팅 과정은 주로 플라즈마 용사법 (Plasma Spray, PS), 전자빔 물리적 증착법(Electron Beam Physical Vapor Deposition, EB-PVD) 등과 같은 구조재료 제작 공정과는 전혀 새로운 방법으로 시행되며 이로 인해 발생하는 시간적, 재원적 손실은 제 4차 산업 혁명의 발전을 위해 풀어나가야 할 문제점으로 화두되고있다. 이에 따라 본 연구에서는 산업현장에서의 원활한 공정 과정 진행을 위하여, 항공기 엔진용 재료로 이용되는 니켈기 초내열합금 뿐만 아니라 코팅부 또한 적층 제조를 통하여 접합함으로써 한가지 공정과정으로 고온용 소재 구현을 위한 가능성을 알아보고자 하였다. 이를 위하여, 먼저 항공 엔진용 구조재료로서 널리 이용되는 Inconel 625 합금을 선택적 레이저 용융법 (Selective Laser Melting, SLM)으로 제작하였고 이와 함께 고온에서 산화에 대한 저항성을 높여줌과 동시에 세라믹 코팅 부분과의 열팽창 계수 차이를 감소시켜 주는 본드 코팅 부를 동등한 방법으로 다양한 조건 아래 적층 및 접합을 시도하였다. 이때 본드 코팅 부 적층 접합을 위한 최적의 조건에 대한 안정성과 기능적인 신뢰도 측면에서의 타당성을 살펴 보고자 하였다.

[P14-11]

Tribological Behavior of Additive Manufactured 304L Stainless Steels - A Comparison Between 3D Metal Printing Processes: 김정민¹, 권준현², 진형하²; ¹한국원자력연구원 과학기술연합대학원. ²한국원자력연구원.

Keywords: 3D printing, Additive Manufacturing, PBF, DED, Wear

오스테나이트계 스테인리스강(Stainless Steel, SS)은 우수한 강도와 높은 내식성, 가공성이 우수하여 원자력, 식품, 화학산업 등에서 널리 사용된다. 304L은 매우 낮은 탄소 함량을 지닌 SS로 고온 인성이 우수하여 내열재료로 원자력 발전소의 구조재료로 사용되고 있다. 레이저와 금속분말을 사용하여 복잡한 형태의 제품을 만들 수 있는 대표적인 금속 적층 가공방법으로 Powder Bed Fusion (PBF) 와 Direct Energy Deposition (DED) 공정이 있다. 본 연구에서는 이 두 가지 공정으로 제작한 SS 304L 벌크 시편과 주조로 제작한 SS 304L 시편의 미세조직과 기계적 물성 가운데 마모특성을 비교하였다. 광학현미경과 주사전자현미경으로 미세조직을 관찰하였고, Pin-on-disc 마모시험으로 마모량을 평가하였다. 상온/고온 마모시험에서 발생된 마모 debris를 분석하는데 Energy Dispersive Spectrometry (EDS) 및 X-Ray Diffraction (XRD) 을 이용하였다. 마모시험 결과로서 적층가공한 재료의 마모량이 주조재료의 마모량보다 작았고, DED 304L의 내마모성이 PBF 304L보다 우수하였다. 이는 경도와 마모량이 반비례하는 관계로 Archard 마모 예측식에 부합한 결과를 보여준다.

[P14-12]

3차원 전자빔 적층제조 변수에 따른 Inconel 718 초내열합금의 미세조직과 크리프 특성: 전선영¹, 임소영¹, Mathieu Terner¹, 이병수², 이해진², 홍현욱¹; ¹국립창원대학교신소재공학부재료강도실험실, ²생산과학기술연구원

Keywords: EBM, Inconel718, Focus offset, Creep, γ'

다양한 산업분야에서 주목받고 있는 금속 적층 제조 기술은 기존의 많은 공정 과정들의 생략이 가능하고, 복잡한 형상을 효율적으로 생산할 수 있는 장점이 있다. 하지만, 적층제조 공정의 변수들이 다양하고, 변수의 작은 변화에 따라 미세조직이 복잡한 상변태 과정에 의해 제각각 상이하게 발달되고, 급열, 급냉, 반복적인 열영향에 의해 sharp gradient가 존재하기 때문에 재현성 있는 안정적인 특성의 확보가 절실하다. 본 연구에서는 전자 빔 용해(Electron Beam Melting, EBM) 방식을 사용해 열원과 Powder Bed 간의 거리를 조절해 Focus offset 적층 변수에 따른 Inconel 718 합금의 미세조직 및 크리프 특성을 비교 분석하였다. EBM을 통해 제조한 Inconel 718 합금은 적층 방향을 따라 강한 방향성을 가지는 주상조직을 나타냈다. Focus offset의 영향을 알기 위해 1-50 mA까지 값으로 각 시편들을 제조하였으며, 30 mA 이상의 값에서는 큰 용해 영역과 불충분한 용융 열에너지에 의해 낮은 밀도값을 보였다. 경도값은 Focus offset이 12 mA가 되기까지는 증가하였지만 (452 Hv) 그 후로는 Focus offset의 증가에 따라 경도가 감소하였다. 강화상인 γ' 석출물은 Focus offset 값과 관계없이 as-built 조건에서도 형성되었으며, Focus offset이 1-12 mA까지는 그 크기가 증가하였다. 인장 시험 결과로는 Focus offset이 12 mA인 시편이 상온과 650 °C에서 각각 1.3 GPa, 1.0 GPa로 가장 큰 인장강도를 보였다. 650 °C/700MPa 에서의 크리프 파단시간은 상용 단조재 Inconel 718 보다 Focus offset 12 mA의 EBM으로 제조된 Inconel 718이 두 배 정도 우수한 크리프 수명을 나타냈다. 크리프 파단시편의 EBSD 분석 결과 고각입계와 기공에서 변형 축적이 상당함을 확인하였다. 또한 하중 축에 평행하지 않고 기울어진(inclined) 결정립계가 크리프 시험이 진행되는 동안 더 큰 damage를 받았음을 알 수 있었다. 크리프 시험 시편의 TEM 분석결과에서는 전위밀도가 매우 높았으며, 전위가 γ' 석출물과 상당한 interaction에 의해 주변에 축적되었음을 관찰하였다. 12mA Focus offset의 EBM으로 제조된 Inconel 718 합금이 상용 단조재 대비 우수한 크리프 특성을 나타내는 요인으로 강한 texture의 columnar 미세조직과 γ' 석출물-전위 간의 강한 상호작용에 의해 높은 전위밀도로 연관 지어 해석할 수 있다.

[P14-13]

DED 방식의 3D printing을 통한 CoCr합금과 순수 Ti의 이종소재 접합: 관태양, 반훈영, 허연범, 김석주, 장진주, 임도형; *세종대학교*

Keywords: 정형외과 인공관절, 3D 프린팅, Direct Energy Deposition, 이종소재 접합

최근 정형외과 인공관절 시장에서 인공관절과 골을 접합하는데 사용되는 생체용 시멘트에 의한 부작용들이 많이 보고되고 있다. 따라서 전세계적으로 인공관절의 표면에 다공성 구조를 형성시킴으로서 생체용 시멘트의 사용 없이 빠르고 강력한 생물학적 고정이 가능하게 하여 인공관절과 골을 접합 할 수 있는 무시멘트형 인공관절 기술 개발에 역량을 집중하고 있다. 따라서 본 연구는 무시멘트형 인공관절의 개발을 위한 기초 연구로 DED 방식의 3D 프린팅을 이용하여 정형외과 인공관절에 사용되는 CoCr합금의 표면에 순수 Ti를 이종소재 접합하였으며, 제조된 시편을 이용하여 OM, XRD, EBSD와 피로시험을 수행하였다. 또한, 얻어진 결과들을 통하여 CoCr-Ti 계면, 다공성 구조의 두께와 공극률, 기계적 특성의 상관관계를 고찰하였다.

[P14-14]

유한요소 해석 및 실험을 통한 금속 레이저 직접적층공정 중 실시간 온도 변화 분석 및 입열량 산출: 하경식¹, 김태환¹, 전종배¹, 백경윤¹, 심도식², 문영훈³, 이옥진¹; ¹한국생산기술연구원, ²해양대학교, ³부산대학교

Keywords: DED, 직접적층, 3D프린터, 유한요소, FEM

금속 직접적층(Direct Energy Deposition, DED)공정은 적층제조공정 중 하나로, 분말형태의 금속 원소재를 이송가스와 함께 레이저 등 고에너지원에 직접 분사하여 층층이 쌓아 입체구조물을 제조하는 방식으로, powder bed fusion등 다른 적층공정에 비해 적층 속도가 빠르고, 기관의 형태에 제약이 적어 금형보수, 국부적인 표면강화를 비롯한 다양한 분야에 적용이 기대되는 신공정이다. DED로 적층되는 소재는 국부적인 입열과 열전달, 급속냉각 그리고 층 단위로 쌓는 과정에서 반복적인 온도이력이 발생하는 공정특성으로 인해 독특한 미세구조 및 잔류응력을 가지게 된다. 이와 같은 미세구조와 잔류응력은 최종적으로 생산되는 적층물의 기계적 특성 등에 막대한 영향을 미치기 때문에 정확한 분석과 이를 통한 소재거동에 대한 이해가 필수적이지만, 공정 중 용융풀이 빠르게 이동하고 급속하게 열전달이 일어나기 때문에 실험만으로 공정 중 실시간 온도 변화와 입열량을 정확하게 분석하는 데에는 많은 제약이 따른다. 따라서 본 연구에서는 유한요소해석과 실험을 병행하여 공정 중 실시간 온도 변화 및 입열량을 알아보고자 하였다. 정

확한 온도변화를 측정하기 위해 박판형태의 기판에 열전대를 용접하여 온도를 측정하면서 AISI 316L 및 M4 소재를 DED 방식으로 적층하였다. 한편 유한요소해석법을 통해 실험과 동일한 경계조건 및 적층조건을 가지는 모델을 설계했다. 실험결과와 유한요소해석결과를 비교 분석하여 공정 중 온도변화와 입열량을 알아보았으며, 이를 실험을 통해 얻어진 미세구조와 함께 고찰하였다.

[P14-15]

기계적 합금화와 스파크 플라즈마 소결을 통해 생성된 미세결정립 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금의 구조 및 특성: 김용준¹, 임다미¹, 주수현¹, 장민지¹, 문중언¹, 김은빈², 김형섭¹; ¹포항공과대학교 ²공주대학교

Keywords: High entropy alloys, Mechanical alloying, Spark plasma sintering, Microstructure, Mechanical properties

본 연구는 극저온에서 우수한 물성을 보이는 Co, Cr, Fe, Mn, 그리고 Ni 조합(순도 99.9wt% 이상의 원소)의 고엔트로피 합금 재료를 생산하기 위하여, 기계적 합금화 (밀링 시간 : 20분/60분)와 스파크 플라즈마 소결 (900도/1100도)을 이용하였다. 특히, 해당 공정의 파라미터 중 밀링 시간, 소결 온도 그리고 오염도가 최종 미세구조 및 기계적 특성에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 먼저, 만들어진 분말은 SEM/EDS로 분말 형상 및 조성 측정하였고, HRTEM을 통해 면심입방구조임을 확인하였고, 소결 온도를 변화시켜 미세결정립의 크기의 변화를 관측하였다.

[P14-16]

SLM 공정 기법으로 제작한 Fe-6wt%Si 합금의 결함 및 미세조직에 관한 연구: 장호성¹, 진종배¹, 이규훈¹, 남태훈¹, 하경식¹, 이육진¹, 박성혁², 신선미¹; ¹한국생산기술연구원 ²경북대학교

Keywords: Selective laser melting, Process design, Defect, Microstructure, Fe-Si steel

적층제조(Additive Manufacturing)은 3차원 모델링 데이터를 이용하여 소재를 한 층씩(Layer by layer) 쌓아 제품을 제조하는 방식으로, 복잡한 형상 구현 및 공정 간소화, 원재료 절감의 장점이 있다. 특히, SLM (Selective Laser Melting)은 높은 밀도와 치수 정밀도를 갖는 제품을 얻을 수 있다는 장점과 금속분말의 합금 성분 조절이 용이하고 제품 설계의 자유도가 높으며 다른 공정에 비해 적층 속도가 빠른 이점이 있다. SLM은 기능성 부품 제조에 널리 적용되고 있으며, 특히 자동차, 의료, 항공산업에서 복잡한구조의 고강도부품 제조에 적용되는 사례가 증가하는 추세이다. 그러나 부품 제조를 위한 공정 최적화 연구는 금형강, 스텐리스강, 티타늄 합금 등 상용 구조재료에 제한되어 진행되고 있으며, 자성소재에 대한 SLM 적층성형 공정연구는 부족한 실정이다. 대표적인 연자성 소재인 Fe-Si합금의 경우 Si함유량이 증가할수록 자기적 특성의 이점이 있으나 4%이상의 Si가 첨가될 경우 취성의 증가로 기존의 공정의 어려움을 갖고 있다. 본 연구는 SLM공정을 이용하여 Si이 6%이상 첨가된 Fe-Si합금을 제조하고자 하였으며, 레이저 출력 및 스캔속도를 다양하게 설정하여 공정 최적화 연구를 실시하였다. 다양한 적층공정조건으로 제조된 소재의 OM, SEM, X-ray CT, XRD를 분석함으로써, 형성된 결함, 응고조직, 상의 특징을 분석하였다. SLM공정 조건에 따라 형성된 미세조직과 결함의 형성 매커니즘에 대해 논의하고, Fe-6wt%Si 합금소재에 대한 최적 공정조건을 제시하였다.

[P14-17]

Microwave Plasma 기술을 기반 한 Vapor-Phase Synthesis 과정 중 형성된 금속 나노 분말의 형상 고찰: 김영광¹, 이병주²
¹포항공과대학교 항공재료연구센터 ²포항공과대학교 신소재공학과

Keywords: Nanopowder, Microwave plasma, vapor-phase synthesis, Atomistic simulation, Metal

금속 나노 분말을 제조하는데 있어선 vapor-phase synthesis와 liquid-phase synthesis 방법으로 나눌 수 있다. 여기서 vapor-phase synthesis의 경우 합성의 속도가 빠르며 간단한 과정을 통해 제조할 수 있기 때문에 가격 경제성에 있어서 뛰어나다. 특히, Microwave plasma 기술을 이용한 나노 분말 제조는 환원 반응을 응용하여 빠른 시간에 수 나노에서 수 백 나노 사이 금속 나노 분말을 제조할 수 있기 때문에, 경제성이 뛰어난 장점이 있어서 지난 수십 년 간 연구되어져 왔다. 그럼에도 불구하고 vapor-phase synthesis 경우, 입자 형성 시 응집(aggregation)이 일어나면서 불규칙한 형상이 나타남에 따라 형상 조절의 어려움으로 인해 아직 상용화에는 많은 한계를 보이고 있다. 본 연구는 atomistic simulation을 이용하여 vapor-phase synthesis과정에서 분말 형상을 결정하는 요인에 관하여 분석하였으며, 기존 문헌과 비교 분석함으로 vapor-phase synthesis과정에서 분말 형상을 결정하는 요인을 규명하였다.

[P14-18]

PBF 공정으로 제조된 SUS316L의 마모 특성 평가: 배기창¹, 이육진², 박용호¹; ¹부산대학교 ²한국생산기술연구원

Keywords: 3D printing process, PBF, SUS316L, Wear property

3D 프린팅기술은 기존의 기술과 비교하였을 때 필요한 양만큼의 소량생산이 가능하며, 금형없이 제품생산이 가능하기 때문에 응용 분야가 확대되고 있다. 3차원 시제품 제작등에 이용되고 있으며, 전기 전자 분야, 건축분야, 자동차산업 및 항공·우주분야등 폭넓게 적용할 수 있는 기술이다. 스텐리스강중 SUS316L은 내식성, 내입계부식성과 고온강도 등 우수한 특성으로 인해 보일러용 파이프, 해양구조물 등에서 사용되고 있다. 특히, 부품 성능의 고효율화를 위해 복잡형상을 구현할 수 있는 금속 적층성형제조기술(Additive manufacturing)에서 많이 연구되고 있다. 본 연구에서는 Powder bed fusion (PBF)방식으로 시편을 제작하였으며, 주조재와 적층제조된 시편간의 미세구조와 기계적 및 내마모 특성을 비교분석하였다.

[P14-19] Canceled

Selective Laser Melting 공정에서의 Support Porosity에 따른 Ti6Al4V 미세구조 및 잔류응력 변화에 대한 연구: 이강표¹, 강석

현¹, 김강민¹, 한준현², 정경환*¹; ¹한국생산기술연구원 강원지역본부, ²충남대학교 신소재공학과

Keywords: Selective laser melting, Ti6Al4V, Support, Residual stress, Microstructure

Ti6Al4V 합금은 기계적 특성과 생체 적합성이 아주 우수한 재료로 항공/우주용 부품, 의료부품 등 고부가가치 산업분야의 제품으로서 널리 사용되고 있으나, 대표적인 난삭성 소재로 가공이 어렵고 주조나 단조로 생산을 할 수 있는 형상이 한정적이라는 단점을 가지고 있다. 적층가공공정(Additive manufacturing)의 Powder bed fusion(PBF)방식 중 하나인 Selective laser melting(SLM)법을 활용하면 복잡한 형상의 제품에 대한 제조가 가능하기에 최근 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있다. SLM법은 정밀도 및 내부밀도를 우수하게 제작 제조할 수 있다는 큰 장점을 가지고 있는 반면, 열잔류응력에 의한 변형 및 균열 발생의 단점을 가지고 있다. 이에 따라 SLM을 이용하여 제품을 제조할 때 가해진 열을 효율적으로 배출시킬 수 있는 Support를 설계하는 것이 가장 핵심적인 요소 중 하나이다. 본 연구에서는 열 배출역할을 하는 support의 porosity를 변화시켜 시편에서 배출되는 열의 양을 조절하여 내재된 잠열에 의해 변화된 미세구조를 분석하였고, 또한 support porosity에 따른 잔류응력을 측정하였다.

[P14-20]

알루미늄 분말야금 공법으로 제조된 자동차용 부품 제조기술 연구 및 평가: 도경록, 전영수, 박종관; *대한소결금속(주) 기술연구소*

Keywords: Aluminium Powder Metallurgy, Al P/M, Aluminium Powder Metallurgy Application

알루미늄은 자동차와 항공우주산업 및 수송기산업 등의 다양한 제품의 경량화를 통한 에너지절감 효과를 가지고 있으며, 낮은 밀도와 우수한 성형성, 기계적 특성 및 내부식성 등의 장점으로 인해 알루미늄의 적용이 확대되고 있다. 알루미늄 분말야금 공정은 알루미늄 분말을 이용한 성형, 소결 및 후처리 공정으로 높은 정밀성과 함께 복잡한 형상의 경량화 부품을 대량으로 생산할 수 있는 장점이 있다. 알루미늄 합금분말은 기계부품의 필요 물성에 따라 다양하게 개발되어 왔는데, 그 중 과공정 Al-Si계는 기존 다이캐스팅공법과는 다르게 균일하게 조절된 Si 입자상을 가질 수 있어 경량 내마모성 제품을 특화 제작할 수 있으며, 철계 분말야금제품에 상응하는 강도와 경도를 얻을 수 있다. 알루미늄 P/M제조공정은 성형, 소결 및 후처리공정의 엄격하고 정밀한 제어가 필요하고 특히 소결분위기, 온도 및 시간의 매우 정밀한 공정 파라미터가 필요하다. 본 연구에서는 다양한 알루미늄계 분말을 이용하여, 소결공정에서의 매우 정밀한 공정 파라미터로 분말야금 제품을 제조한 후, 특성을 평가하였으며, 이를 통해 알루미늄 분말야금 제품의 우수한 성능을 확인하였다.

[P14-21]

SLM(선택적 레이저 용융)법을 이용한 동일한 에너지 밀도에서 AlSi10Mg의 미세구조와 인장강도에 미치는 영향: 임근영¹, 노운², 김찬미¹, 이현정¹, 이재현¹; ¹강원대학교 신소재공학부 응고실험실, ²안회공업대학교 재료공학과

Keywords: Additive manufacturing, Selective laser melting, Energy density, AlSi10Mg, Tensile

선택적 레이저 용융(Selective laser melting; SLM)법은 금속 적층 가공기술(Additive manufacturing; AM)에서 가장 널리 쓰이는 방법으로, 고밀도 부품 생산에 주로 이용된다. 본 실험에서는 AlSi10Mg 인장시편을 이용하여 SLM법을 사용하여 동일한 에너지 밀도에서 입열량 조건을 달리하여 실험을 진행하였다. 서로 다른 입열량 조건에서 미세 구조와 인장특성의 차이를 조사하였다. 미세 조직 확인 결과 낮은 입열량 즉, 낮은 레이저 출력 및 낮은 스캐닝 속도에서는 Al용질이 셀상으로 존재하고 그 사이에 Al-Si이 공정상의 형태로 존재하는 것을 확인 할 수 있었다. 반대로 높은 입열량에서는 Al용질 셀은 상대적으로 미세하게 형성된 것을 확인 할 수 있었다. 결과적으로 본 실험을 통해 미세구조가 미세할수록 SLM 부품의 인장강도를 향상시키는데 기여함을 알 수 있었다. 따라서 AlSi10Mg의 고밀도 부품을 얻으려면 스캐닝 속도를 빠르게 하고 레이저 출력을 올리는 높은 입열량이 필요함을 알 수 있었다.

[P14-22]

Investigation on Microstructures of Inconel 718 Fabricated by Selective Laser Melting Process with Pulse Width Modulated Laser: 지승문, 윤영식, 여종석; *연세대학교 글로벌융합공학부*

Keywords: Inconel 718, Selective laser melting, Pulse width modulation, Microstructure

Inconel 718 is a Ni-Cr-based superalloy which has a good resistance to oxidation and a mechanical stability under high temperature environment. The material is extensively used in various areas such as, aeronautics and energy industries. Thanks to 3D metal printing process, especially selective laser melting (SLM) based on powder bed fusion process, complex metal parts can be manufactured with fewer steps compared to conventional cast-based manufacturing methods. Additionally, light weight energy-saving aircraft components can be fabricated using SLM at relatively low cost. In order to manufacture a sophisticated design, it is essential to irradiate a predetermined amount of laser energy accurately for a desired duration. In this respect, using a pulse width modulation (PWM) type laser has advantages. However, the microstructure of the Inconel samples printed with PWM lasers has rarely been studied compared to continuous wave (CW) lasers. In this work, we investigate microstructures of Inconel 718 blocks manufactured by SLM process with PWM laser and compared to those with CW type laser. Duty cycle of the PWM laser is fixed at 50%. As is well known, the CW samples show columnar dendrite structures that are slightly inclined to the building direction and have the characteristics of the Laves phase. On the other hand, the PWM samples show plate like precipitates along the grain boundaries and needle-like precipitates penetrating the grain boundaries. We analyze the chemical composition and characteristics of these precipitates by using energy dispersive x-ray spectroscopy, electron back scattering diffraction and transmission electron microscope. Micro Vickers hardness is also measured to characterize the mechanical properties according to the variation in microstructures. We conclude that the samples fabricated with PWM laser have enhanced mechanical properties compared to those with CW laser.

Acknowledgements: This research was financially supported by the Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE) and Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT) through the International Cooperative R&D program (N0002624_Development of metal additive manufacturing system with in-situ monitoring and powder recycling devices for biomedical applications).

[P14-23]

PBF (Powder Bed Fusion) 공정으로 제조된 AISI 316L Stainless Steel 합금의 마모특성: 김태환¹, 임준섭², 김찬진³, 하경식¹, 조영래², 이육진¹; ¹한국생산기술연구원 첨단하이브리드생산기술센터. ²부산대학교. ³해양대학교

Keywords: 3D프린팅, PBF, SUS316L, 마모특성

PBF 공정은 금속 3D프린팅 공정 중 하나로, 층 단위로 powder bed를 형성하고 레이저를 조사하여 선택적으로 금속분말을 용융시켜 3차원의 형상을 가진 부품을 제조하는 공정이다. 공정특성상 복잡한 형상을 가지는 부품의 제조가 가능하고, 치수가 정밀한 결과물을 제조하기 적합하기 때문에 금형, 항공, 바이오 등 여러 산업군에 응용되고 있으며 그 응용분야가 점차 확장 되고 있다. PBF로 제조된 부품은 기존의 공정으로 제조된 부품과 비교하여 제조시의 국부급속냉각에 의해 형성된 미세조직의 차이로 인하여 기계적 특성이 상이하다고 알려져 있다. PBF공정으로 제조된 부품이 기어부품 등 기계제품 분야에 적용될 경우, 부품간의 마찰에 의한 금속-금속간 마모가 예상된다. 건식조건에서의 금속간 마찰거동에 관한 분석은 상세한 미세조직 및 아금학적 분석이 동반되어 진행되어야 하지만 현재까지 이와 관련된 연구결과는 극히 드물게 보고되고 있으며 앞으로 많은 연구가 필요하다. 본 연구에서는 PBF공정으로 AISI 316L stainless steel 시험편을 제조하였으며, 열처리에 따른 미세조직 및 집합조직의 변화를 전계방사 주사전자 현미경 및 후방전자산란법을 통하여 분석하였다. 동일한 화학조성의 열연재를 대조군으로 설정하여 열처리 전/후의 PBF공정으로 제조된 시편의 마모특성과 비교하였으며, 3차원 표면조도 측정기를 사용하여 마모량 및 마모후의 표면형상 변화를 관찰하였다.

P15 : 가공-열처리

Room 전시장 III, 4월 26일

[P15-1]

열에너지수치를 이용한 이종소재 동시 소결 공정 설계 및 예측 기술 개발: 전동술, 안경준; 한국생산기술연구원 열처리그룹.
Keywords: Sintering, Co-sintering, Bi-materials, Energy value, Activation energy

열에너지수치를 이용한 Master Sintering Curve(MSC) 소결 모델은 소결 시 소결밀도가 제품에 가해진 열에너지에 비례한다는 사실에 착안하여, 소결체에 동일한 열에너지를 가할 경우 동일한 소결밀도를 얻을 수 있다는 개념을 가지고 있다. 본 연구에서는 소결 공정 실험을 통하여 단일소재 소결 시 각 반응에 요구되는 활성화에너지값과 누적열에너지를 각각 도출하였으며, 이를 이용하여 이종소재 동시 소결 조건을 설계하고, 이종소재의 소결밀도를 동시에 모니터링 및 예측하는 기술을 개발하였다. 본 기술을 산업 현장에 활용 시 복잡한 다상반응 소결의 최적 조건을 도출하기 위해서 기존의 반복적으로 시행착오적인 실험 방법에서 벗어나 과학적인 방법으로 원하는 목표치를 정확하고 쉽게 도출하고 정밀하게 소결밀도를 관리할 수 있다.

[P15-2]

SCM440의 열처리 조건에 따른 기계적 물성변화: 김환현, 김진원, 김원선, 조다희, 박중철; 포항산업과학연구원 분석평가센터.
 소재 및 부품에 요구되는 기계적 물성을 만족시키기 위해 다양한 형태의 열처리를 필요로 한다. 기계 및 자동차부품 소재로 사용되는 SCM440은 노멀라이징, 퀴칭, 템퍼링하여 부품에 요구되는 기계적 성질을 부여한다. 이때 표준 열처리 조건을 참고하여 열처리 조건을 결정하게 되는데 한 가지 표준값만으로는 다양한 열처리에 따른 물성치를 예측하기에 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서 기계구조용 합금강재(SCM440)에 대하여 67종의 표준 온도 범위에서 ± 100 °C 이상 차이가 나는 온도까지의 비표준 열처리를 실시하고, 열처리 조건에 따른 미세조직 및 기계적 물성 변화를 분석하였다. 본 연구를 통하여 구축된 DB는 국가참조표준으로 등록되어 관련 산업에 보급하여 기술경쟁력 향상에 기여할 것으로 기대된다.

[P15-3]

Microalloyed steel 열간단조재의 후열처리 조건이 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 영향: 조해주¹, 박건우¹, 김병준¹, 신선미², 최창용³, 박희상³, 안용식⁴, 전중배¹; ¹한국생산기술연구원 동남지역본부, ²한국생산기술연구원 울산지역본부, ³펠릭스테크, ⁴부경대학교 재료공학과.
Keywords: 열간단조, 후열처리, 플랜지, Microalloyed steel

최근 송유관 시스템, 해양 플랜트, 원유 정제설비의 개발이 활발해지면서 고온, 고압의 환경에서 견딜 수 있는 배관 플랜지 시스템의 개발이 요구되고 있다. 극한환경을 견디기 위해 고강도 특수 소재를 적용하고 있으며, 고장력강과 니켈합금강 등의 석출경화형 합금이 대표적인 적용소재이다. 이 중 고장력강 플랜지의 제작 공정은 열간단조로 형단조를 실시 후, 오스테나이트, 퀴칭 및 템퍼링의 후열처리를 통해 제품의 물성을 제어한다. 후열처리 공정은 열처리 온도 및 유지 시간, 냉각속도 등 최종 기계적 물성에 영향을 미치는 다수의 변수를 포함한다. 따라서 후열처리 공정 최적화를 위해서는 개별 공정 변수들이 미세조직 발현 및 기계적 성질에 미치는 영향에 대한 체계적인 이해가 요구된다. 본 연구에서는 Nb가 미량 첨가된 강으로 넥플랜지를 형단조한 후, 후열처리 과정의 오스테나이트 온도와 템퍼링 온도를 변화시켜 제품의 미세조직 및 기계적 성질에 대해 알아보고자 하였다. 후열처리의 조건에 따라 시멘타이트와 템퍼드 마르텐사이트 조직의 분율, 결정립 크기와 석출상의 종류 등을 조사하기 위해 광학현미경, FE-SEM (EBSD, EDS)을 이용해 미세조직을 분석하였다. 인장 시험, 충격 시험, 경도 시험을 수행함으로 ASTM-F70규격에 적합 여부를 알아보고 미세조직과의 연관성에 대해 토의하였다. 본 연구에서 후열처리 조건에 사용한 온도는 열역학적 계산을 통해 수집된 정보를 기반으로 설정하였으며, 실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하여 F70급 물성을 가지는 넥플랜지의 최적화된 후열처리 조건을 얻고자 한다. 더 나아가 본 실험의 데이터를 추후 후열처리 제조 공정을 체계화, 지능화하기 위한 머신러닝의 데이터로 활용하고자 한다.

[P15-4]

SCM415, SKH51, S45C 강의 플라즈마 질화 공정 후 질화층 예측 및 제어에 관한 연구: 박성준¹, 안경준¹, 전동술¹, 김상섭²; ¹한국생산기술 연구원, ²인하대학교

Keywords: Plasma Nitriding, heat treatment, compound layer, diffusion layer, activation energy

본 연구에서는 한국생산기술연구원이 보유한 PECVD 장비를 이용하여 강종별 플라즈마질화 공정 모델링 실험을 진행 하였다. SCM415, SKH51, S45C 의 강종을 질화온도(400-550 °C), 질화시간(1-6 Hr)에 따른 화합물층과 확산층 분석을 실시 하였다. 그 결과 강종별로 화합물층과 확산층 동시 제어를 위한 Master Nitriding Curve(MNC) 개발 및 활성화에너지값(Q) 도출 할 수 있었다. 그중 SCM415 강종은 화합물층과 확산층 형성에 필요한 활성화 에너지는 133kJ/mol, 65.5kJ/mol로 계산되었으며, 이는 확산층 보다 화합물층 형성에 더 많은 에너지가 필요하다는 것을 알 수 있었다. 이러한 MNC 개발은 플라즈마 질화 시 확산층과 화합물층이 열에너지수치에 의존함을 확인하였고, 동일한 열처리 조건에서도 열처리 품질 편차의 원인이 되는 제품의 크기, 장입량, 계절 등에 따라지는 기존 온도-시간 제어 열처리의 문제점을 극복 할 수 있었다.

[P15-5]

S45C 강의 가변 광학계를 이용한 레이저 열처리 특성 연구: 정우열¹, 김태경¹, 이광재², 한상배², 송봉근²; ¹자동차부품연구원, ²이브이레이저

Keywords: 레이저 열처리, S45C, 가변 광학계

레이저 열처리는 고주파열처리공법의 대체기술로서 자동차산업에서의 프레스금형, 사출금형, 자동차부품 등에 적용되고 있으며, 조선, 철강, 기계, 전자산업 등 국부열처리를 통한 제품의 경도 및 강도의 상승이 요구되는 다양한 분야로 확대 적용되고 있다. 본 연구에서는 가변 광학계를 이용한 실시간 온도 제어 레이저 열처리 시스템을 이용하여 공정변수에 따른 특성 분석을 하였다. 레이저 열처리에서 주요 공정변수인 온도, 빔의 이송속도, 빔 사이즈에 따른 S45C 소재의 열처리 특성 파악을 위하여 열처리 시편 단면 경도 측정, 열처리 시편 단면 미세조직 관찰 및 열처리 시편 열영향부 잔류응력측정을 진행하였다. 공정변수에 따른 열처리 특성 파악을 통하여 빔 사이즈 별 최적화 된 열처리 공정변수 제시하고자한다.

[P15-6]

가공열처리 기법을 통한 핵융합로용 저방사화 구조재 ARAA의 인장특성 향상: 천영범¹, 이동원¹, 박이현²; ¹한국원자력연구원, ²국기핵융합연구소

Keywords: 저방사화 구조재, 가공열처리, 인장특성, 동적시효, 동적회복

핵융합로용 블랭킷은 열교환 및 삼중수소 증식을 담당하는 구조부품으로 고온 및 고에너지/고선량의 중성자 조사 분위기에서 가동된다. 따라서 블랭킷용 구조재는 우수한 취화저항성 및 크립저항성이 요구되며, 또한 사용후 폐기물 처리 문제를 경감하기 위해 저방사화 특성을 갖추어야 한다. 현재 유럽이나 일본에서는 자체 개발한 Eurofer 97이나 F82H와 같은 8-9Cr계 저방사화 페라이트-마르텐사이트(RAFM, reduced-activation ferritic-martensite) 강을 핵융합로 구조재로 활용할 예정이다. 한국에서는 향후 DEMO 및 상용 핵융합로 적용을 위해 2012년부터 한국 고유의 저방사화 구조재를 개발해왔으며, 이를 통해 ARAA(advanced reduced-activation alloy)라는 RAFM강을 개발하였다. RAFM 강 성능의 최대 관심사는 고온 크립저항성이며, 이러한 크립저항성을 고려할 때, 현재까지 개발된 RAFM 강들의 최대 사용 온도는 550도에 그치고 있다. 저방사화 원소만으로 합금을 설계해야 하는 한계점으로 인해 합금설계를 통한 크립강도의 개선 가능성은 매우 낮다. 따라서 본 연구에서는 가공열처리 기법의 적용을 통해 석출물 분포 및 전위 구조 제어를 통해 ARAA의 고온 강도를 향상시킬 수 있는 방법을 연구하였다. 압연온도, 압연량 및 압연 전 초기 미세조직 조건 등을 다양하게 변화시켜 가공열처리 기법에 따른 인장특성을 분석한 결과, Aus-rolling과 마르텐사이트의 열간압연 모두 ARAA의 강도를 향상시키는데 효과적임을 확인하였으며, 이를 동적 시효와 동적 회복의 관점을 통해 설명하였다.

P16 : 재료강도

Room 전시장 III, 4월 26일

[P16-1]

지르코늄이 Inconel 740H의 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향: 박찬희¹, 추동주¹, 이준호¹, 정우상²; ¹고려대학교 신소재공학과, ²한국과학기술연구원 에너지소재연구단

Keywords: Ni, Superalloy, Zirconium, Microstructure

니켈계 초내열합금 중 하나인 Inconel 740H는 주요 석출상인 Gamma prime 과 탄화물 ($M_{23}C_6$, MC)의 형상 및 석출 거동에 따라 고온 기계적 특성이 결정된다. 지르코늄은 결정립계에 편석되어 결정립 성장을 억제시킴과 동시에 결정립계에 형성되는 탄화물의 성장 속도를 감소시킨다고 알려져 있다. 또한 지르코늄의 함량이 증가함에 따라 gamma prime 의 misfit이 증가하여 의 강화효과를 향상시킨다고 보고되었다. 따라서 본 연구에서는 기존 Inconel 740H에 지르코늄 첨가 시, 석출상과 미세조직 변화가 기계적 특성에 미치는 영향을 연구하였다.

[P16-2]

연료주입펌프 운전 중 고착된 플런저의 손상면 고찰: 이종훈, 김명훈, 부명환; 한수원 중앙연구원.

Keywords: 연료주입펌프, 플런저, 배럴, 고착, 질화층

연료주입펌프는 기계설비에 연료를 공급하는 장치로 플런저가 왕복운동을 하면서 배럴 내에서 연료분사 압력을 형성한다. 최근 연료주입펌프 동작 중에 플런저와 배럴이 고착되어 펌프를 교체해야 하는 사례가 몇 차례 발생하여 고착 원인을 분석하기 위해서 손상면을 분석하였다. 먼저 제작 스펙 만족 여부를 판단하기 위해서 플런저와 배럴을 절단하여 깊이에 따른 경도의 변화를 측정하였다. 플런저는 열처리를 통해 경도가 높게 제작되었으며 배럴은 질화처리를 통해 표면을 경화시킨 제품으로, 경도 측정 결과 스펙의 특징이 잘 나타났다. 또한 플런저의 손상이 심한 부위의 형상과 이물질이나 배럴의 파편이 존재하는지를 조사하기 위해서 SEM과 EDS 관찰을 수행하였다. 손상면은 전반적으로 마모가 심하게 발생하였으며, 오염과 2차 손상이 심해서 이물질에 대한 정확한 분석은 어려웠다. 그리고 배럴의 포트 주변에서 작은 파편이 발생하여 파손된 흔적이 발견되었는데, 이 파편들은 플런저와 배럴 사이의 간격보다 크기가 작아서 펌프 고착에 기여했을 가능성이 있는 것으로 조사되었다. 표면 분석 내용을 바탕으로 향후 연료유나 압력 등에 대한 종합적인 검토를 통해 고착 원인을 분석하고자 한다.

[P16-3]

나노압입시험 및 유한요소해석을 이용한 열처리에 따른 전해 Cr/전해 Ni-P 이중 도금의 기계적 신뢰성 평가: 김상년, 김영천; 안동대학교

Keywords: 나노압입시험 유한요소해석 신뢰성 잔류응력

전해 Cr/전해 Ni-P 도금은 금속 표면의 내식성을 향상시키고, 우수한 내마모성과 낮은 마찰계수로 인해 다양한 분야에서 활용되고 있다. 특히 우주항공, 전자, 자동차 등의 다양한 분야에서 이러한 장점으로 인하여 많이 이용되고 있고, 기계적 신뢰성 연구 또한 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 열피로를 통한 수명평가에서 발생하는 크랙의 메커니즘을 규명하고자 나노압입시험과 유한요소해석을 수행하였다. Cu모재에 전해 Ni-P 도금 후 전해 Cr 도금을 진행하고, 열처리를 통하여 시편을 제작하였고, 나노압입시험을 통하여 반복적인 열처리 전후 도금 층의 기계적 특성과 잔류응력을 측정하였다. 이러한 나노압입시험의 결과와 유한요소해석을 이용하여 열처리시 잔류응력과 크랙의 형성과정을 모사하고, 실제 열처리 후 시편의 단면 이미지와 비교하여 기존 연구의 가정을 검증하였다.

[P16-4]

수상태양광 금속 구조체의 풍속조건에 따른 기계적 변화 분석: 정재성¹, 이종문², 원창섭³; ¹전자부품연구원, ²스코트라(주), ³LS산전(주).

수상태양광 발전시스템은 25년 이상의 성능과 건전성 유지가 요구된다. 수상태양광 발전시스템의 구조별, 부품별로 스트레스 요소와 이로 인해 발생하는 고장모드를 예측가능하게 하고 유지보수 주기를 산정하는 것은 발전시스템 수명유지에 중요한 연구이다. 육상태양광 발전시스템과 다르게 수상태양광은 수면위에서 지속적인 동적운동을 하게 된다. 따라서 구조체의 기계적 변화 안정성 유지가 필요하다. 구조체의 고장은 수상태양광 발전시스템 중 태양전지 모듈의 깨짐과 같은 물리적손상과 물속으로 침수시키는 등 심각한 수준의 시스템 고장으로 확대 될 수 있다. 따라서 수상태양광 구조체의 기계적 변화 분석을 통해 건전성 유지에 필요한 데이터를 분석해야 한다. 본 연구에서 50kWp 수상태양광 발전시스템에 적용된 스틸 구조체의 풍속에 따른 스트레인 변화를 실시간 측정하였다. 구조체 중 스트레인 측정 위치는 시뮬레이션과 치명적 고장부위를 분석을 통해 결정하였다. 스틸 강관 연결부와 모듈지지 스틸관이 선정되어 측정되었다. 수상태양광의 동적운동을 일으키는 수면의 변화는 바람의 세기와 파도가 만들어지는 대안거리 등 현지 지형에 의존한다. 본 지역은 인제 소양강 상류지역이다. 풍속과 바람의 지속시간 기반으로 구조체 스트레인 변화를 분석하였다. 일정 풍속조건에서 측정 위치별로 스트레인 변화를 얻을 수 있었다. 특정 풍속조건에서 스트레인 변화의 경향성도 도출되었다. 이를 통해 바람 하중과 파고조건에 의한 구조체의 기계적 변화를 분석할 수 있었다. 이 결과를 통해 건전성 예측 기반 데이터로써 활용 가능성을 알 수 있었다.

Acknowledgements: 본 연구는 2015년과 2018년도 산업통상부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20153010012060)(No. 20183010014260)

[P16-5]

인코넬 718 내열합금의 제작사별 특성 평가: 김지혜, 민기득, 정윤철; (재)대구기계부품연구원

Keywords: 인코넬 718, 내열합금, 기계적 특성, 질삭가공

내열합금은 고온경도, 강성과 크리프 및 내부식성을 가지고 있어 항공기 엔진의 연소 및 터빈 부품, 에너지 플랜트 가스터빈 부품, 해양 유전 플랜트 오일 및 가스 운송 파이프, 의료용 조인트 임플란트 등에 이용되고 있는 소재이다. 초고경도의 내열합금은 질삭가공 시 ① 열전도율이 나쁘고 높은 질삭열이 발생하여 공구 날 끝이 연화(軟化)되어 소성변형이 발생하고, ② 가공경화가 일어나기 쉽고 절입 경계 마모가 발생하며, ③ 고온강도가 높고 큰 전단응력이 발생하기 때문에 chatter 진동과 chipping이 발생하는 단점을 가지고 있다. 특히 항공기 부품소재로 활용되는 인코넬 718 소재는 제작사별로 가공 시 각각 다른 문제점들을 나타낸다. 본 연구에서는 현재 범용으로 사용되고 있는 API, ASTM, 5662, 5663 소재의 미세조직 및 기계적 특성을 평가하였다. 미세조직 특성을 FE-SEM 과 EBSD를 활용하여 미세 조직적 차이를 분석 하였고, 기계적 특성은 고온 (~1000 °C) 인장시험을 통해 평가하였다. 평가된 결과는 향후 인코넬 718 가공 시 가공조건 설정에 중요한 데이터로 활용될 것으로 사료된다.

[P16-6]

Ni-free 경량 FeMnAlC계 스테인리스강 개발을 위한 Cr 첨가 효과 및 기계적 특성-변형 거동 해석: 김치원¹, 박성준², 이창훈², 김경원², 이영주³, 홍현욱¹; ¹창원대학교 신소재공학부, ²재료연구소 철강재료연구실, ³포항산업과학연구원

Keywords: Lightweight Stainless Steel, Dislocation, Cr addition, κ -carbide

최근 민수, 군수분야에서 저비중, 고강도 및 고내식성 재료의 개발을 통해 해당분야의 장비 운용 효율성을 증진시키고 나아가 Ni 첨가를 최소화하여 경제적인 측면을 개선하고자 하였다. 따라서, 합금원소 Ni를 배제한 Ni-free 경량 고강도 스테인리스강 개발에 대한 연구의 필요성이 요구되고 있다. 본 연구의 후보소재로는 Fe를 기반으로 약 20 wt% Mn과 1.5 wt% C의 첨가를 통해 상온에서 austenite 기지의 안정화를 유도하고, 경량 원소 Al의 약 12 wt% 첨가를 통해 기존철강 대비 약 15%-20% 가량 경량화를 목적으로 한 Fe-Mn-Al-C 합금계가 고려되었다. 본 합금계에서 Al과 C의 첨가는 열처리 시 austenite 기지로부터 정합관계를 가지며 규칙상으로 존재하는 L'_{12} 구조의 κ -carbide 석출에 기여한다. 강화상 κ -carbide는 합금성분 및 열처리 조건에 따라 입내에 미세하게 분포하거나 입계에 조대하게 석출되며, 입내에 분포할 경우 소성변형 시 발생하는 전위의 활주를 효과적으로 억제하여 석출경화의 주요인자로 작용하고, 입계에 석출될 경우 입계 파단을 초래하여 취성 파괴를 유발하기도 한다. 또한 Cr의 첨가를 통해 내식성 향상을 유도하였다. 따라서 본 연구에서는 Cr 첨가에 따른 κ -carbide의 석출거동 변화 및 소성변형 시 나타나는 변형기구에 대해 연구하고자 하였다. Cr이 첨가되지 않은 경우 Al과 C의 복합적인 합금화로 인해 κ -carbide의 석출이 활성화되어 입내에 미세하게 석출될 뿐만 아니라, 다소 성장한 형태로 석출되어 존재한다. 또한, austenite 기지와 정합관계를 갖는 상태가 아닌 정출상으로 판단되는 조대한 κ -carbide가 결정립계에서 관찰되었다. Cr이 첨가된 경우, 결정립이 조대화 되었으며 κ -carbide의 석출이 억제되어 입내에 비교적 미세하게 석출되었다. 소성변형 발생 시 Cr이 첨가되지 않은 합금에서는 전위의 평면형 활주에 의해 입내의 미세한 κ -carbide가 shearing되어 규칙화가 파괴되고, 이로 인해 전위에 대해 easy path로 작용하게 되므로 가공경화 효과가 미비하게 나타나는 것을 확인하였다. 결정립계 κ -carbide 내부에서 균열이 발생하여 파단이 이른 시기에 발생 하는데, 이는 응력집중으로 인해 균열 형성 구역으로 작용하기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 뿐만 아니라, 결정립계 κ -carbide 내에서도 고밀도 전위의 평면형 활주가 나타났다. 이러한 고밀도 전위가 이른 파단의 주요 원인으로 판단된다. Cr이 첨가된 경우 규칙상 κ -carbide의 미세화가 나타나며 이로 인해 전위의 shearing은 보다 많은 슬립계의 활성화에 의해 발생하는 것으로 판단된다.

[P16-7]

고강도 페라이트계 산화물 분산강화 강의 기계적 특성 평가와 튜브 제조를 위한 냉간가공성 검토: 노상훈¹, 강석훈¹, 김태규¹; ¹한국원자력연구원 원자력재료연구부 신소재개발실

Keywords: Ferritic steel, Oxide dispersion strengthening, High temperature strength, Cold rolling

산화물 분산강화(Oxide dispersion strengthened, ODS) 강은 페라이트/마르텐사이트 강 기지조직에 열적으로 매우 안정한 수 nm 크기의 산화물을 미세하고 균일하게 분산시킨 합금으로 고온강도, 조사저항성 및 내식성이 매우 우수하여 차세대 핵연료피복관과 같은 원자력용 핵심구조부품 소재로 주목을 받고 있다. 그러나 ODS 강을 핵심 구조부품으로 적용하기 위해서는 우수한 특성뿐만 아니라 박판, 와이어, 튜브와 같은 다양한 형태의 구조부품으로 제조할 수 있는 성형성이 확보되어야 한다. 본 연구에서는 고온강도가 우수한 ODS 강 및 튜브 구조부품 제조기술을 개발하기 위해, 페라이트계 ODS 강을 제조하고 기계적 특성과 냉간가공성을 평가하였다. ODS 강은 22 중량%의 높은 Cr 함량을 가지는 페라이트 강 상용분말과 Y_2O_3 분말을 활용하여 기계적 합금화, 열간등압성형 및 열간압연 공정으로 제조하였다. 제조된 페라이트계 ODS 강은 페라이트 결정립과 10 nm 전후의 미세한 산화물이 균일하게 분포하였으며 상용소재 대비 우수한 고온인장특성을 가지는 것을 확인하였다. 한편, 냉간드로잉, 필저링과 같은 튜브제조공정 적용성을 검토하기 위해 ODS 강의 냉간압연시험을 수행하였다. 압연율이 증가함에 따라 경도는 급격히 증가하였으나 크랙이나 찢어짐이 발생하지 않는 매우 양호한 냉간가공거동을 나타내었으며 최종적으로 두께 0.4 mm의 페라이트계 ODS 강 박판을 성공적으로 제조할 수 있었다. 본 연구결과는 원자력용 핵심구조부품에 적용이 가능한 고성능 ODS 강 개발에 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

[P16-8]

베이저안 통계를 이용한 중수로 압력관 직경변화 예측모델 개발: 이경근, 안동현, 권준현; 한국원자력연구원

Keywords: CANDU, Pressure tube, Diametral expansion, Predictive modeling, Bayesian statistics

중수로 압력관은 중수로의 출력관리 및 수명관리에 핵심이 되는 재료이다. 중수로 가동 중에 발생하는 중성자 조사와 1차계통에 가해지는 온도 및 압력으로 인하여 중수로 압력관은 최초 제작된 상태에서 직경증가, 길이증가 및 처짐이 발생하게 된다. 이중 직경 증가는 가동 중에 by-pass flow를 증가시키는데, 이는 운전여유도를 감소시키므로, 발전소의 출력을 저감해야 한다. 직경변화에 대한 분석 및 예측에 대해서는 기구 기반 및 경험식 기반의 통계모델을 이용하여 연구가 진행되어 왔다. 하지만, 압력관의 복잡한 조사기동으로 인하여 정확한 변화 예측은 매우 어렵다. 본 연구에서는 최근 각광을 받고 있는 통계기법인 베이지안 통계기법을 도입하여, 국내 발전소에서 측정된 직경변화 자료를 이용하여 예측모델을 구축하였다. 발전소별 특성을 고려한 다중모형을 이용하고 위치별 재료 특성을 추가하여 만든 통계모델은 시간에 따른 압력관 직경의 예측값 뿐만 아니라, 예측구간까지 정밀하게 계산할 수 있었다. 새롭게 도입된 방법은 기존의 방법에 비하여 적은 데이터로 정밀한 예측이 가능하였고, 추가되는 측정자료가 모델에 미치는 영향을 정량적으로 계산할 수 있어, 산업체에서의 응용에 매우 적합한 것을 확인하였다.

[P16-9]

고강도 오스테퍼링 처리한 구상흑연주철(ADI)의 감속기어 개발을 위한 마모특성 연구: 최창영, 조용재, 정유현, 임현규, 이재욱, 김다혜, 정명식, 황선광; 한국생산기술연구원 대경권지역본부

Keywords: 구상화흑연주철, 마모특성, 고강도, 열처리

최근 구상흑연주철의 강인성을 향상시키기 위해서는 합금원소를 첨가하는 방법과 열처리에 의한 방법 등이 있다. 구상흑연주철이 지니고 있는 장점은 경제성 및 구상흑연으로 인한 연성 향상 등에 있다. 구상흑연주철의 강인화하는 방법으로 오스테퍼링 처리에 대해 많은 연구가 이루어지고 있으며, 특히 단강품이나, 주강재의 대체소재로 고강도, 고경도, 고인성 및 내마모성을 요구하는 자동차, 산업기계, 공작기계, 부품소재 등의 적용에 대해 많은 기대를 하고 있다. 오스테퍼링처리는 열처리조건뿐만 아니라 Mo, Ni, Cu, Mn 등의 합금원소를 첨가량의 변화에 따라 기계적 성질에 큰 차이를 나타내며, 많은 선진국에서는 오래전부터 열처리조건 및 화학원소의 인자에 대한 많은 연구가 이루어져, 산업용 부품에 많이 적용되고 있으나, 국내에서는 아직 초기단계에 있는 실정이다. 하지만 오스테퍼링 처리한 구상흑연주철은 보다 박육화에 의한 중량 감소 및 생산비용 절감으로 많은 부품에 적용이 가능할 것으로 사료되어진다. 본 연구에서는 고강도, 고경도, 고인성 및 높은 내마모성을 갖는 산업부품기어에 적용을 위하여 Cu 첨가량 및 오스테퍼링 온도에 따른 기계적 성질 및 파괴인성에 미치는 영향을 조사 검토하였다.

[P16-10]

핵융합로용 RAFM강에서 Ti 및 Ta 첨가에 따른 미세조직 및 크리프 거동 특성 고찰: 위소영¹, 문준오², 이창훈², 홍현욱¹; ¹ 창원대학교 ² 재료연구소 철강재료연구실

Keywords: Fusion reactor, RAFM steel, Degradation, Creep

최근 핵융합로 블랭킷(Blanket) 후보 소재로 대표적인 저방사화(Reduced Activation Ferritic Martensitic, RAFM)강인 Eurofer97강이 가장 사용 가능성이 높은 후보재로 거론되고 있다. 본 연구에서는 Eurofer97강의 미세조직 안정성 및 고온 기계적 특성에 영향을 미치는 미세한 MX의 석출물의 양을 증가시키고자 Ta를 Ti로 치환한 Ti-RAFM강에 대하여 고온 특성을 비교 분석하여 고찰했다. 고온인장시험 결과, 초기에는 (Ti,W)C의 형성으로 석출강화 된 Ti-RAFM강은 336 MPa의 강도를 보였으나, 열 노출(600 °C/1000h) 후에는 급격히 감소하여 273 MPa로 측정되었다. 반면 기존 Eurofer97강은 초기에 304 MPa의 강도를 보였으나 열 노출 후에는 284 MPa의 강도를 보였다. 또한 Eurofer97강에서는 lath의 폭 증가량이 23 nm로 적었으나 Ti-RAFM강에서는 lath의 폭이 169 nm로 크게 증가되는 것으로 보아 Ti-RAFM강의 열화속도가 빠르다는 것을 알 수 있다. 이는 열간 노출 중 Ti의 빠른 확산 속도와 관련이 있다고 사료되어 크기가 크고 방사화가 낮은 Ta를 동시 첨가하기로 결정했고 그 결과 Ta/Ti RAFM강은 고온 인장시험 및 크리프 시험에서 우수한 미세조직 안정성을 보였다. 열 노출 후의 고온인장시험에서 Ti-RAFM강은 약 11%의 항복 강도가 감소했지만, Ta/Ti RAFM강은 약 0.9%의 감소만 관찰되었다. 이에 Ta/Ti RAFM을 적정 강재로 선정하였고 Ti의 첨가 효과를 확인하기 위해 Ta/High Ti RAFM강과 Ta/Low Ti RAFM강에 대해 비교 분석하여 고찰했다. 마찬가지로 고온인장시험 결과, Ta/High Ti RAFM강은 기존 Eurofer97강과 유사한 결과를 나타내었으나 Ta/Low Ti RAFM강의 경우에는 기존 Eurofer97강 보다 우수한 것을 확인하였다. 이를 바탕으로 550 °C/200MPa 조건에서 크리프 시험을 한 결과, Ta/Low Ti RAFM강이 1823시간으로 기존 Eurofer97강의 592시간 대비 약 3배 이상 크리프 수명이 향상된 것을 확인하였다. 또한, Ta/Low Ti RAFM강에 대하여 더욱 우수한 강도 및 크리프 수명을 얻고자 5% 상온인장 시험 후 크리프 시험을 수행하였다. 5% 상온인장을 행한 이유는 증가한 전위로 인해 가공경화 발생을 유도하고, 아울러 증가된 전위들은 고온 크리프 변형동안 MX 석출물의 핵생성 장소를 제공하여 석출강화 효과를 더욱 높이기 위해서이다. 하지만, 예상했던 것과는 달리 5% 상온인장 Ta/Low Ti RAFM강의 크리프 수명은 Eurofer97강과 유사함을 확인하였다.

[P16-11]

인장물성을 통한 유연 페로브스카이트 태양전지의 유연성 특성화: 김한글, 안승민, 정의대, 김시훈, 송명훈, 김주영; UNIST 신소재공학부

Keywords: 페로브스카이트 태양전지, 일축인장시험, 탄성변형한계점, 나노인덴테이션, 임계굽힘곡률

최근 에너지 및 환경문제로 인해 친환경 차세대 에너지원으로 태양전지가 많은 관심을 받고 있다. 그 중, 발전단가가 저렴하고, 간단한 기술을 통해 고효율을 얻을 수 있는 페로브스카이트 구조의 유무기 복합재료를 이용한 태양전지에 대한 연구가 급속도로 진행되고 있다. 또한 유연 전자기기의 가능성으로 인해 유연태양전지 소자에 대한 연구도 함께 관심받고 있다. 대부분의 유연 페로브스카이트 태양전지는 수천회의 굽힘시험 후에 효율의 열화가 발생하게 되는데, 일반적으로 소자의 가장 약한층에서 파괴가 발생하기 때문이다. 따라서 유연 페로브스카이트 태양전지의 기계적 신뢰성을 평가하는 것이 중요하다. 하지만, 그에 대한 정확한 파괴 메커니

증은 아직 불분명하다. 나노인텐테이션 및 전산모사 기법을 이용한 소수의 연구가 진행되었지만, 결정립계 및 핀홀 같은 다양한 구조적 결함이 고려되지 않았기 때문이다. 이러한 결함을 고려하는 가장 적합한 방법은 인장시험을 통한 분석인데, 페로브스카이트 소재 자체가 가지는 대기중에서 쉽게 열화되는 특성으로 인해 샘플링 및 핸들링이 어려워 그에 대한 연구가 거의 전무하다. 따라서, 본 연구에서는 소자와 동일한 공정을 통해 독립형 박막을 제작한 후, SEM 내에서 in-situ 인장시험을 진행하였다. 또한 유연 페로브스카이트 소자를 제작하여 다양한 굽힘반경내에서 반복굽힘시험을 진행하였고, 그 결과 얻은 임계굽힘곡률이 인장시험을 통한 탄성 변형한계점과 매우 잘 일치한다는 것을 확인하였고, 인장시험을 통한 페로브스카이트 소재의 파괴 메커니즘에 대해 규명하였다.

[P16-12]

전기화학적 및 고압 열적 수소 주입에 따른 고온 강재의 수소 취화 민감도 비교: 이지민¹, 고석우¹, 유일^{1,2}, 서진유³, 황병철¹; ¹서울과학기술대학교 ²SK건설. ³한국과학기술연구원.

최근 화석 연료의 한계성과 환경오염에 대한 대응책으로 수소의 사용 범위를 넓히려는 시도가 지속적으로 이루어지고 있다. 특히 수송이나 발전 분야에서는 많은 투자가 이루어져 일부 진행되고 있다. 그 중 제철 산업은 고에너지를 소비하면서 다량의 CO₂를 배출하는 대표적인 산업으로 철광석의 환원 공정인 제선 공정은 전체 철강의 83% 이상으로 절대적인 비중을 차지하고 있다. 제선 공정에 수소를 적용하기 위해서는 수소의 생산 단가를 낮추는 것이 필수적인데, 재료 관점에서 본다면 사용 환경이 허락하는 한도 내에서 안정성이 높고 비용을 절감할 수 있는 재료를 사용해야 한다. 이러한 이유로 수소 환경에서 사용 가능성이 높은 재료들을 수소 환경 특성 평가를 통해 데이터를 축적하고 최적화된 재료를 선정하여 사용할 필요가 있다. 탄소강에서 Cr, Mo과 같은 합금 원소를 소량 함유한 강재를 통상 고온용 저합금강이라고 부르며, 이들 저합금강은 고가의 합금원소를 필요한 양만큼 최소화하여 경제성이 뛰어나다. 그러나 아직까지 수소 사용 환경에서의 고온용 저합금강에 대한 문헌상의 데이터가 수요에 비해 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 고온에서 열피로 특성과 경제성 관점에서 많이 사용되는 Cr-Mo, Cr-Mo-V 강재들과 일반 저탄소강 및 저온/고온내부식성 등의 다양한 용도로 사용되는 STS 304 강재의 전기화학적 및 고압 열적 수소 주입에 따른 수소 취화 특성을 평가하고, 블리스터링 및 실버 데코레이션 분석을 통해 그 메커니즘을 고찰하였다.

[P16-13]

구리-비결정성금속 적층 구조를 이용한 스트레처블 전극 재료의 제조 및 기계적 거동 분석: 황경석¹, 박선영¹, 김주영¹; ¹UNIST 신소재공학부.

Keywords: 구리, 비결정성금속, 다층 구조, 스트레처블, 전극 재료

기존 전극 재료로 많이 사용되는 금이나 구리 등은 우수한 전기 전도도와 함께 연성 거동을 보이는 장점을 갖고 있어서 오랜 기간 사용되고 있다. 이 재료들이 이후 플렉서블, 스트레처블 디바이스에 적용되기 위해서는 수많은 횡수의 변형에도 끊어지지 않고 성능을 유지하는 높은 수준의 탄성 변형 한계와 피로 한계가 필수적이다. 하지만 금이나 구리는 낮은 탄성 변형 한계를 가져 작은 변형에도 소성 변형이 진행되기 때문에 적은 횡수의 변형에도 피로 파괴 현상이 나타난다. 이를 극복하기 위해서는 높은 탄성 변형 한계와 전기 전도도를 함께 가지는 재료를 전극 재료로써 사용하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 낮은 탄성 변형 한계를 가졌지만 우수한 전기 전도도와 연성 거동을 보이는 구리와, 낮은 전기 전도도와 메짐성 거동을 가졌지만 우수한 탄성 변형 한계를 보이는 비결정성금속을 적층하여 플렉서블, 스트레처블 디바이스에 적용 가능한 전극 재료를 제조하였다. 재료는 스퍼터링을 통해서 제조하였으며 구리의 두께는 50 nm로 유지 시키고, 비결정성금속의 두께는 8-80nm로 변화시켰다. 그리고 만들어진 재료를 두 가지 방법으로 전기 전도도를 측정하고 일축 인장실험을 통해서 기계적 거동을 분석하였다. 전기 전도도를 측정하는 데에는 4침법과 패터닝을 통한 2침법을 사용하였으며 인장실험의 시험편은 집속 이온 빔 장비를 통해서 제작하였고, push-to-pull 방법을 사용해 인장실험을 하였다.

[P16-14]

페로브스카이트 LED 구성재료 고유의 물성에 기반한 유연 특성 분석: 김선경, 김시훈, 이상윤, 송명훈, 김주영; UNIST 신소재공학부.

유무기 하이브리드 구조를 가지고 있는 페로브스카이트는 높은 색 선명도와 제조공정이 간단하여 생산 단가가 낮다는 장점을 가지고 있어 LED의 활성층으로 많이 사용되고 있으며, 최근 수요가 증가하고 있는 유연성 소자에 페로브스카이트 LED를 적용시키기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 하지만 페로브스카이트 LED의 변형 특성에 대한 연구는 변형에 따른 효율 변화에 대해서만 진행되어 직접적인 소자 열화 원인 분석에 대한 연구는 부족하다. 페로브스카이트 LED는 박막 형태의 다양한 구성 재료들이 적층된 다층구조 형태로 제작되기 때문에 되기 때문에 구성 재료의 소자 내 위치에 따라 변형률이 다르게 작용하기 때문에 이에 대한 직접적인 분석이 필요하다. 본 발표에서는 페로브스카이트 LED 구성요소 고유의 기계적 물성을 이용하여 페로브스카이트 LED 유연 변형 특성을 분석하고자 한다. 페로브스카이트 LED 제작 공정과 동일한 공정으로 제작된 구성 재료의 파단 강도와 탄성계수를 홀 나노인텐테이션을 이용하여 측정하여 탄성한계가 가장 취약한 재료를 특정하였다. 구성 요소 중 가장 약한 재료로 특정된, 페로브스카이트를 in-SEM 인장 시험을 진행하여 보다 정확한 탄성한계를 측정하였다. 기계적 물성 분석을 통해 얻은 탄성 한계를 이용하여 제작된 페로브스카이트 LED의 임계 굽힘 곡률을 분석하고 반복 굽힘 변형시 소자의 효율이 감소하는 굽힘 곡률과 비교 분석하였다.

[P16-15]

이산화규소 박막의 변형 특성 분석 및 유연성 소자 적용 가능성 평가: 김나훤, 김시훈, 김한글, 김주영; UNIST 신소재공학부.

Keywords: 솔겔, 이산화규소, 탄성한계, 비정질구조

최근 웨어러블 디바이스와 같은 유연성 소자의 수요가 증가함에 따라 전자기기의 부동층, 절연층 등으로 사용되는 이산화규소 박막의 유연성을 증가시키기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 일반적인 무기재료의 경우 핀홀과 같은 재료 내에 존재하는 결함이 크

랙의 발생 원인으로 작용하여 낮은 변형률을 가지고 있어 유연성 소자에 적용하기 어려웠지만, 나노스케일 두께를 가진 무기재료 박막은 두께가 감소함에 따라 결합이 존재할 수 있는 부피가 감소하여 확률론적으로 결합의 수가 감소하여 변형 특성이 향상된다. 이산화규소 박막의 다양한 증착 방법 중 솔루션 공정인 솔겔 공정은 넓은 면적을 균일하게 코팅이 가능하고 두께 조절이 쉬우며 생산 단가가 다른 공정에 비해 낮은 장점이 있어 이산화규소 박막의 제작 방법으로 많은 연구가 진행되고 있다. 하지만 솔겔 공정으로 제작한 나노스케일 두께 이산화규소 박막의 경우 샘플 제작 공정 및 물성 분석이 어려워 기계적 물성 관련 연구가 부족한 상태이다. 본 발표에서는 솔겔 공정을 이용하여 나노스케일 두께의 이산화규소 박막을 제작하고 유연 특성을 분석하였다. 솔겔 공정으로 제작된 이산화규소 박막의 미세구조와 투과도는 TEM 분석과 UV-vis-nir 장비를 통하여 분석하였다. 기계적 물성은 in-situ 일축 인장실험을 진행하여 측정하였으며, 정확한 단성 한계를 평가하기 위해 반복 인장 실험을 진행하였다. 또한 유연성 소자에 적용 가능성을 평가하기 위해 반복 굽힘 실험을 진행하여 임계 굽힘 곡률을 분석하였다.

[P16-16]

발전부품용 FeMnAlC계 경량철강에서 Nb 첨가에 따른 -40~400 °C 온도별 인장 변형기구 고찰: 박병훈¹, 김치원¹, 박준영², 박성준², 홍현욱*¹; ¹왕원대학교 신소재공학부, ²재료연구소 철강재료연구실.

Keywords: Lightweight steel, Nb addition, κ -carbide, Deformation mechanism

최근 에너지 발전산업에서 온실가스 저감과 자원의 효율적 활용을 위해 경량 고강도 소재의 개발과 적용에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 산업적 요구에 발맞추어 본 연구에서는 기존의 고강간강에 치환형 경량원소인 Al을 약 8wt% 첨가하여 기존 철강소재 대비 10% 이상 경량화를 목표로 하며, 저온 및 고온에서 우수한 기계적 특성을 도모하고자 0.098wt% Nb를 첨가한 합금을 설계하였다. 현재 경량철강은 주로 수송기용 소재로의 활용을 목표로 상온 변형 및 파괴거동에 대해서는 연구가 활발히 진행 중이나, 발전부품 소재로 적용하기 위해서는 적용 환경에 따라 저온에서 고온까지의 온도범위에서의 야금학적 고찰이 요구되므로 미세조직과 기계적 특성의 상관관계 해석을 통한 소재의 안정성 확보가 요구된다. 따라서 경량철강의 적용 환경에 따른 미세조직과 기계적 특성의 상관관계에 대해 고찰하고자 하였다. 기존의 FeMnAlC 합금계는 석출경화형으로 시효 열처리 시 fcc 규칙격자인 강화상 κ -carbide가 석출이 된다. 상온에서 인장 변형 시 제한된 활주에 의한 전위 밀도 증가는 microband 형성에 기여하고, 이는 소성변형에서 주요 변형기구라고 판단된다. 한편, 시효 열처리 시 κ -carbide가 austenite 기지 내에서의 전위의 움직임을 제한하고, 이는 전위의 κ -carbide shearing을 통한 shearband 형성에 기여한다고 판단된다. 본 연구에서는 기존의 FeMnAlC 합금계에 Nb를 첨가하여 구성 합금원소 효과를 확인하고자 Fe-29Mn-8Al-1.1C, Fe-20Mn-8Al-1.1C 그리고 Fe-20Mn-8Al-1.1C-0.098Nb 세 합금조성을 만들었고, 이 세 합금을 각각 용체화 처리 후 시효열처리 하였다. 용체화 처리된 경우 Nb이 첨가된 합금의 결정립 크기가 약 30 μm 로 미첨가된 합금의 결정립 크기(49 μm) 보다 미세화 되었다. 이후 용체화한 합금을 550°C에서 1시간동안 시효열처리 후 각각 -40°C, 상온 그리고 400°C에서 인장시험을 했을 때 29Mn을 첨가한 합금이 항복강도가 가장 낮았으며, Nb를 첨가한 합금이 Nb를 첨가하지 않은 합금보다 각각의 온도에서 모두 우수한 강도와 연신율의 조합이 관찰되었다. 항복강도는 20Mn을 첨가한 합금이 가장 높았는데, 그 이유는 Nb이 C와 함께 NbC를 형성하여 κ -carbide가 적게 석출되어 항복강도가 낮아진 것으로 판단된다. Nb를 첨가할 경우 이와 같은 인장결과가 도출된 원인을 고찰하기 위해 각 조건에서의 변형기구 분석을 통해 확인하고자 하였다.

[P16-17]

바우싱거 및 가공경화 분석을 통한 파이프 조관시 발생하는 Yield Strength 변화 예측: 김대운¹, 김완근², 배진호², 최원두³, 김형섭¹, 이성학¹; ¹포항공과대학교, ²POSCO, ³한밭대학교

Keywords: Line-pipe steel, Casing-pipe steel, Bauschinger effect, Strain hardening, Microstructure

파이프 조관 후 Flattened steel은 Leveled Sheet보다 항복강도가 높거나 낮게 나타나는 경우가 많이 있어 항복 강도의 변화를 정확하게 예측하기 위한 연구가 많이 진행되어오고 있다. 본 연구에서는 Line-pipe 및 Casing-pipe 강재의 항복강도의 변화를 바우싱거 및 가공경화 분석을 통하여 예측하였다. 바우싱거 효과 및 가공경화를 합리적으로 분석하기 위하여 파이프 내측 및 외측의 항복강도 변화를 YR 및 YD Parameter를 새롭게 정의하였다. YD Parameter는 Pre-strain 1%까지 급격히 증가한 후 일정하게 나타나며 YR Parameter는 Pre-strain이 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 경향을 가진다. 두 Parameter를 결합함으로써 항복강도 변화를 예측할 수 있고 낮은 Pre-strain에서는 바우싱거 효과가, 높은 Pre-strain에서는 가공경화가 지배적이라는 것을 알 수 있었다. 미세조직 분석결과에 따르면, Polygonal Ferrite의 경우 낮은 Pre-strain 범위에서 항복강도 감소량을 감소시켰지만, Bainite 및 Pearlite는 이를 증가시켰다. 본 연구는 미세조직 분석 및 항복강도 변화 분석을 통해 신뢰성 있는 재료를 설계하고 물성 변화를 예측할 수 있다는 점에서 의의가 있다.

[P16-18]

자동차 엔진부품 응용을 위한 스테인레스강의 저온 기계적 특성 평가: 장세훈; 한국기계전기전자시험연구원.

Keywords: 오스테나이트계 스테인레스 강, 듀플렉스계 스테인레스 강, 저온 인장실험

자동차 엔진부품 중 배기 매니폴드는 엔진에서 나오는 배기가스에 가장 먼저 영향을 받아 가스에 의해 부식과 냉각 및 가열이 반복되는 형상이 나타난다. 또한, 북유럽, 러시아 및 캐나다 등 극한지역에서 주행을 위해 극저온에서 내부식성 및 기계적 성질이 저하되지 않는 소재의 선택이 중요하다. 배기 매니폴드의 소재로는 일반적으로 스테인레스 강 중 오스테나이트계인 STS304를 사용하고 있으나 오스테나이트계 스테인레스 강 보다 내구성 및 부식에 더 강한 특성을 가지고 있다고 알려진 듀플렉스계 스테인레스 강의 사용도 고려된다. 이 연구에서는 오스테나이트계의 STS304와 듀플렉스계 중 일반적으로 많이 사용되는 S31803의 저온인장 특성을 연구하였다. STS304는 -40 °C 인장시험결과 상온(20 °C)과 비교하여 인장강도는 증가하나, 연신율을 감소하는 결

과를 나타내었으나 S31803은 인장강도와 연신율 모두 증가하는 결과를 나타내었다. 이는 STS304의 경우 저온에서 2차 경화가 발생하였으나, S31803은 오스테나이트와 페라이트의 미세구조가 혼재되어 있어 저온에서도 안정적인 기계적 성질을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

[P16-19]

적층제조기술로 제조된 스테인리스 강의 기계적 거동에 미치는 수소의 영향: 박정민¹, 양광휘¹, 구영모¹, Y. Morris Wang², 서진유³, 장재일¹; ¹한양대학교, ²Lawrence Livermore National Laboratory, ³한국과학기술연구원 고온에너지재료센터.

Keywords: additive manufacturing, austenitic stainless steel, hydrogen, nanoindentation

적층제조(Additive Manufacturing, 이하 AM)기술은 기존의 제조공정과 비교하여 소재 및 공정시간들을 절감할 수 있다는 강점을 지니고 있어 제조산업의 패러다임을 바꿀 수 있는 혁신적인 기술로 주목받고 있다. 또한, AM을 이용한 금속제조도 활발히 진행되고 있으며, 이를 통해 제조된 일부 금속은 전위 밀도, 결정립계 분율 등의 미세조직이 일반 금속과 다르고, 그로 인한 특이한 물성을 보이는 연구사례들이 보고되고 있다. 이러한 AM으로 제조된 금속이 실제 응용에 이르기까지는 다양한 환경의 영향에 대한 연구가 선행되어야 하는데, 이 중 수소의 영향도 중요한 주제 중 하나이다. 이에 본 연구에서는 AM으로 제조된 오스테나이트 스테인리스 강에 대하여 기상 장입법과 전기화학적 장입법을 이용하여 수소를 도입한 후, 나노압입시험을 수행하여 나노역학 거동에 미치는 수소의 영향을 체계적으로 평가하였고, 상용강에 대한 실험 결과와 비교, 분석하였다.

Acknowledgements: 본 연구는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구과제(No.2015R1A5A1037627 and No.2017R1A2B4012255)입니다.

[P16-20]

타이타늄 중공빌렛 주조 방법에 따른 조직과 물성의 상관관계: 윤창석¹, 조평석¹, 이형욱², 이동근¹; ¹순천대학교 신소재공학과, ²(주)피디텍.

Keywords: Titanium, Hollow billet, Gravity casting, Centrifugal casting

타이타늄 및 타이타늄 합금은 비강도가 월등히 높으며 낮은 탄성계수와 우수한 내식성 및 내열성을 나타내어 해양 담수설비, 발전 등에서 주력 산업용 소재로 활용되고 있으며, 그 외의 여러 분야에서도 사용되고 있다. 담수화 설비의 핵심튜브소재로 Ti 및 Cu계 합금이 경쟁적으로 사용되고 있는데 저렴한 용접관은 부식에 취약하여 seamless tube가 고가임에도 수요가 증가하고 있다. 기존의 튜브 제조 공정에서는 홀 가공 및 테이퍼 가공으로 1차적인 소재 손실이 발생하고, 환관 공정에서 2차적인 소재 손실이 발생하게 된다. 그에 따라 공정을 일부 생략하여 손실을 줄이고 재료회수율을 증대시킬 수 있는 기술이 부각되고 있다. 본 연구에서는 타이타늄을 진공유도 용해하여 중력주조와 원심주조를 이용하여 타이타늄 중공빌렛주조재를 제조하였다. 각각의 주조 방법에 따른 미세조직학적 특징과 상온 기계적 특성의 상관관계 분석을 통해 요구되는 성능을 확보할 수 있는 효율적인 무게목관 제조공정을 위한 기초 기술을 습득하였다.

[P16-21]

ASTM WK61832기반 Small Punch 시험법을 활용한 SA508 Gr.3 국내 원자로용기강의 천이특성 평가: 이태경^{1,2}, 홍석민², 김종민², 김민철², 장재일¹; ¹한양대학교 신소재공학과, ²한국원자력연구원.

Keywords: Small punch test / ductile-to-brittle transition temperature DBTT / miniature tests / RPV steel

Miniature test 방법 중 하나인 Small punch 시험법은 제한된 양의 시료만으로 시험을 채취하여 재료의 기계적 특성을 평가할 수 있는 장점이 있어 이를 적용하기 위해 많은 연구가 진행되었다. 그러나 표준화된 방법이 존재하지 않고, 연구자들마다 수행된 시험편 크기, 시험방법, 결과해석 등의 차이가 있어 아직까지 활용이 되지 않고 있다. 그래서 최근 유럽 CWA (CEN Workshop Agreement)에서는 SP 시험법의 표준화를 위해 ASTM work item number WK61832 (전 WK47432)를 만들고 Interlaboratory test (ILS1408) 과정을 통해 표준화 방법의 신뢰성을 확보하는 등 SP 시험법 표준화에 노력을 가하고 있다. 하지만 ASTM WK61832에 나오는 방법은 시험편 크기 및 제작법, test rig 모양 및 규격, 시험 속도 등과 같은 시험 방법들은 규정해두었지만, SP 시험을 통해 얻은 data를 통해서 재료의 기계적 특성을 평가 하는 방법에 대해서는 연구자의 재량에 맡기고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존에 수행했던 SP 시험법과 표준시험법의 차이를 비교 해보기 위해 ABAQUS 시뮬레이션을 통해서 Jig 및 시험편 크기가 변경될 때 SP load-displacement curve에 미치는 영향을 분석했다. 또한 SP 시험법을 통해 국내 원자로 용기강의 천이 특성을 평가 할 수 있도록 ASTM WK61832 표준화 방법에 따라 Jig 및 시험편을 설계한 후 -193 °C 부터 상온 온도범위까지 SP 실험을 수행 한 뒤 이를 통해 얻어진 load-displacement curve로부터 SP 흡수에너지와 normalized 흡수에너지를 구하였고, 이를 에너지-온도 그래프로 나타낸 뒤 그래프로부터 SP 천이특성을 평가했다. 추가적으로, 평가한 SP 천이특성과 표준 샤르피 V-notch 충격 시험으로 평가한 천이특성과의 비교를 통해 SP 천이특성과 CVN 천이특성의 상관관계를 분석했다.

[P16-22]

구조용 접착제를 사용한 강-알루미늄 다중융합소재의 기계적 특성 및 파단거동: 하동욱^{1,2}, 전진우¹, 송태웅¹, 임연수², 김동진², 정창열¹; ¹동국대학교 원자력에너지시스템공학과, ²한국원자력연구원 원자력재료연구부.

Keywords: Steel, Aluminum, Multi-materials, Adhesive, Mechanical property

최근 강화되는 충돌 안전 법규 및 환경규제로 인해 차체의 고강도화와 경량화를 통한 충돌성능 및 연비 향상이 요구되고 있으며, 이를 동시에 만족하는 방안으로 강과 알루미늄을 접합한 다중융합소재에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있지만, 구조용 접착제를 사용한 강-알루미늄 다중융합소재의 접합강도에 따른 기계적 특성에 대한 연구결과는 부족한 현실이다. 본 연구에서는 자동차 차체

및 새시 부품 소재로 사용되고 있는 DP590 강판과 A356 알루미늄 주조재 합금을 구조용 접착제로 접합하여 접합강도 변화에 따른 인장 및 굽힘 특성을 평가하였다. 또한, 강과 알루미늄의 강도 차이가 DP590과 A356에 비해 상대적으로 작은 SS400과 A5052 판재를 접합하여 이중재질의 기계적 특성 결과를 비교 분석하였다. 인장 특성 결과, 두 이중재질은 접합강도가 증가함에 따라 계면의 접합력 향상으로 인해 알루미늄 파단 전까지 연신율이 증가하는 결과를 나타내었다. 또한, 동일한 적층 조건의 굽힘 특성 결과에서 두 이중재질은 접합강도의 증가에 따라 이중재질의 동시변형이 유지되어 계면분리 전까지 굽힘강도가 증가하는 결과를 나타내었다. 반면, 이중재질의 적층순서에 따른 굽힘 특성 결과에서 DP590-A356 이중재질은 강(하) - 알루미늄(상) 조건, SS400-A5052 이중재질은 강(상) - 알루미늄(하) 조건에서 계면분리 및 알루미늄 파단에 의한 급격한 응력 하락 구간의 발생 빈도가 낮은 결과를 확인하였다. 이는 강(상) - 알루미늄(하) 조건 굽힘 시험에서 DP590-A356 이중재질은 연성이 취약한 A356이 인장하중을 받아 파단이 일어났지만, SS400-A5052 이중재질은 A356보다 상대적으로 연성이 높은 A5052가 굽힘 시험 종료까지 파단이 일어나지 않고 지탱한 결과로 판단된다.

[P16-23]

니켈기 초내열 분말합금의 미세구조가 고온 피로균열성장률에 미치는 영향: 홍상현, 김상덕, 김재훈; *충남대학교 기계공학과*

Keywords: 터빈 디스크, 고온 피로균열성장 속도, 니켈기 초내열 분말합금, 미세구조

항공기용 가스 터빈 엔진에서 터빈 디스크는 반복하중을 받으며 고온 및 피로 손상이 주 고장원인이다. 이에 고압, 고온, 부식, 피로 등 열악한 환경에서 우수한 물성을 지닌 니켈기 초내열 분말합금이 주로 사용되고 있다. 따라서 고온 피로균열성장률은 터빈 디스크의 피로수명 및 재사용 여부 등을 평가하는데 중요한 요소로 작용한다. 본 연구에서는 니켈기 초내열 분말합금의 미세구조가 FCG거동에 미치는 영향을 분석하기 위해 전해에칭된 두 종류의 시편으로 SEM을 이용하여 미세구조를 관찰하였다. 고온 피로균열성장 속도는 온도 및 응력비의 증가에 따라 증가하며, γ' 상 분석결과, 체적분율과 크기 분포는 두 재료에서 유사하게 나타났고, 고온 피로균열성장 속도에 미치는 영향은 미미하게 관찰되었다. γ'' 상의 크기 분포는 두 재료에서 서로 달랐으며, 큰 크기의 γ'' 상은 고온 피로균열성장 속도를 감소시켰다.

[P16-24]

순 탄탈륨재료의 평균 결정립도에 따른 이축 신장 성형성: 김동현¹, 이학현¹, 황교준¹, 정재면¹, 김광련², 송이화², 박성택², 오경원³, 김형섭¹; ¹포항공과대학교 신소재공학과, ²(주) 풍산 방산기술연구원, ³방위산업기술지원센터

Keywords: Tantalum, Biaxial stretching, Grain size, Microstructure, Mechanical property

체심입방구조의 결정구조를 가지는 탄탈륨(Tantalum)은 고밀도 및 고연성뿐만 아니라, 우수한 내식성, 생체적합성 등의 특유의 기계적, 물리적 성질로 인해 다양한 공학 분야에서 활용이 가능하다. 이러한 다양한 산업에서의 수요에 따라 탄탈륨 소재의 성형성이 중요한 요소로 부각되고 있는 추세이다. 일반적으로, 이축 금속소재의 신장 성형성과 변형 경화지수는 강한 상관관계를 나타내고, 그에 따라 소재의 성형성은 다양한 미세조직학적 변수 중 평균 결정립 크기에 지배적인 영향을 받는다. 철강 및 타 비철재료의 경우, 다양한 연구에서 이미 최적의 기계적 성질과 신장 성형성을 가지는 결정립 크기의 구간이 제시되어 왔지만, 순 탄탈륨의 경우 평균 결정립도에 따른 기계적 성질 및 성형성에 관한 체계적인 연구가 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 순 탄탈륨의 평균 결정립 크기에 따른 기계적 성질과 신장 성형성의 변화를 고찰하였다. 본 연구에서 순 탄탈륨 소재의 결정립 크기는 고압비틀림 공정(high-pressure torsion, HPT) 및 후속열처리에 의해 서브마이크론부터 수십 마이크로미터까지 조절되었다. 결과적으로, 순수 탄탈륨이 우수한 신장 성형성과 가공경화율을 나타내는 특정 결정립도 구간을 실험적으로 도출하였고, 결정립이 큰 순 탄탈륨의 경우 표면 거칠기 및 변형 이질성에 기인한 심화된 변형 국소화가 취약한 기계적 물성 및 이축 신장성을 유발한 것으로 사료되었다.

[P16-25]

SA508 Gr.1A 저합금강의 강도 및 J-R fracture resistance에 미치는 미세조직 영향: 김민철¹, 홍석민¹, 현세미¹, 김종민¹, 이요섭², 김만원²; ¹한국원자력연구원, ²한국수력원자력(주).

Keywords: SA508 Gr.1A, LBB, 강도, J-R 특성

원자력발전소의 안전이 중요해짐에 따라 원자력 발전소의 1차 계통 고에너지 배관에서 적용되던 파단전 누설(Leak Before Break: LBB)개념을 확장해 2차 계통 주요배관인 주증기배관에도 적용하려고 노력중에 있다. 파단전 누설 개념이란 배관이 파단에 이르기 전에 발생하는 누설을 감지함으로써 배관의 양단순간 파단과 같은 극단적인 상황을 사전에 방지하고 선제적 조치를 취할 수 있음으로써 배관의 안전성을 향상시키는 방법이다. 파단전누설 안전성 마진은 배관의 누설 감지시설을 보강하거나 배관 재료의 강도 및 파괴저항성을 향상시킴으로써 얻을 수 있지만, 배관의 실제 안전도 향상을 위해서는 우수한 강도와 파괴저항성을 지니는 재료를 사용하는 것이 필수적이다. 따라서 신형 표준원전의 주증기배관에는 기존에 사용되던 SA106 Gr.C강을 SA508 Gr.1A강으로 대체하는 것을 고려하고 있다. 주증기배관 안전을 향상시키기 위해서는 기존 재료의 대체뿐만 아니라 SA508 Gr.1A 강도의 강도 및 파괴저항성을 향상시키려는 노력이 필요하다. 많은 연구를 통해서 미세조직이 저합금강의 강도에 미치는 영향은 많이 연구가 되었지만 J-R fracture resistance에 미치는 미세조직적 인자들에 대한 영향은 부족한 상황이다. 따라서 이번 연구에서는 J-R fracture resistance에 미치는 미세조직적 영향들을 분석했다. SA508 Gr.1A 강의 열처리 공정 중 냉각속도를 변화시켜 서로 다른 미세조직을 갖는 시험편들을 준비하였다. 인장, CVN 충격, J-R fracture resistance 시험을 통해서 기계적 특성을 평가하였다. 파면 및 파단면 분석과 EBSD 분석을 통해 파괴저항성에 미치는 미세조직적 특징들을 분석하였다. 이를 통해 SA508 Gr.1A강의 LBB 안전여유도 향상을 위한 개선방법을 고찰해 보았다.

[P16-26]

LBB 안전여유도 향상을 위한 SA508 Gr.1A 저합금강의 인장 및 인성에 미치는 오스테나이트 결정립 크기의 영향: 현세미^{1,2}, 홍석민², 김민철², 김홍덕³, 홍순익¹; ¹충남대학교 ²한국원자력연구원. ³한국수력원자력.

Keywords: SA508 Gr.1A, 주증기배관, 기계적특성, LBB

과단전누설 개념(Leak Before Break: LBB)은 배관이 파단에 이르기 전에 발생하는 누설을 감지해 조치를 취함으로써 배관의 양 단순간파단과 같은 극단적인 상황을 미리 방지할 수 있어 안전이 중요한 원자력발전소 대부분의 1차 계통 고에너지 계통에 사용되고 있다. 원자력발전소의 안전이 중요해짐에 따라 2차 계통 주요 배관인 주증기배관에도 LBB 개념을 적용하려는 노력이 진행 중에 있다. LBB 안전여유도 향상을 위해서는 재료의 강도와 파괴저항성을 향상시키는 것이 중요하기 때문에 국내 신형표준원전에서는 기존에 사용되던 SA106 Gr.C보다 강도와 인성이 우수한 SA508 Gr.1A 저합금강의 적용을 고려 중이며, 기존 상용 SA508 Gr.1A 강보다 기계적 특성이 향상된 배관재료를 개발하기 위해 노력하고 있다. 강도 및 인성이 향상된 배관재료 개발을 위해서는 초기 오스테나이트 결정립 크기가 미세조직의 형성 및 기계적 특성에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 오스테나이트 결정립 크기에 따른 미세조직의 차이를 분석하고 그로 인한 기계적 특성 변화를 고찰하였다. 초기 오스테나이트 결정립 크기변화를 위해 서로 다른 온도에서 Austenitizing 열처리를 수행한 뒤 동일 열처리 공정을 통해서 열처리를 마무리 하였다. 이후 OM, SEM, EBSD를 통해서 생성된 phase, 결정립 크기, 석출물 분포와 같은 미세조직을 분석하고 초기 오스테나이트 결정립 크기가 미세조직 형성에 미치는 영향을 분석했다. 또한 상온과 주증기배관의 가동온도인 286 °C에서의 인장특성과 Charpy impact test를 평가한 뒤, 미세조직이 기계적 특성에 미치는 영향을 분석했다. 이러한 미세조직적 분석결과를 토대로 추후 286 °C J-R fracture resistance 실험을 통해 고온에서의 균열성장저항성에 미치는 영향을 분석해볼 예정이다.

P17 : 고엔트로피 합금

Room 전시장 III, 4월 26일

[P17-1]

중온 어닐링에 의한 재결정 단일 FCC 상을 갖는 새로운 CoMnNiCu 고엔트로피 합금 개발: 김동근¹, 조윤희¹, 손석수², 최원미¹, 김형섭¹, 이병주¹, 이성학¹; ¹포항공과대학교 신소재공학과, ²고려대학교 신소재공학과

Keywords: High-entropy alloy (HEA), Cu addition, Single FCC phase, Computational thermodynamic approach

최근 극저 에너지 자원의 필요성과 해양 플랜트 및 선박이 극저나 심해의 극한 환경에서 운행이 증대됨에 따라 극저온 환경에서 재료의 강도 및 인성 등의 특성이 요구된다. 극저온 환경에서 BCC재료는 연성-취성 전이 현상의 발생으로 인해 사용이 제한된다. 따라서 연성-취성 전이 현상이 발생하지 않는 FCC 재료를 주로 사용한다. 본 연구에서는 전산 열역학 계산의 한 방법인 CALPHAD를 이용해 FCC 단상의 HEA 획득하고자 하였다. 합금 원소 비율 조절을 통해 넓은 온도 영역에서 FCC 단상을 갖게 하고 더불어 용점이 낮은 재료인 Cu를 합금 원소로 첨가하여 낮은 온도에서 재결정이 가능한 FCC 단상의 HEA 설계를 목표로 하였다.

[P17-2]

CrMnCoNiCu 조성을 갖는 하이엔트로피 합금의 열처리 온도에 따른 미세 조직 및 기계적 특성 분석: 김용근¹, 홍순익²; ¹충남대학교 신소재공학과, ²충남대학교 신소재공학과

Keywords: High Entropy Alloy, CrMnCoNiCu, Microstructure

본 연구에서는 일반적인 Cantor 합금에서 Fe가 Cu로 치환된 CrMnCoNiCu 합금의 미세 조직과 기계적 성질에 미치는 열처리 영향을 연구 하였다. 주조한 시편을 통해 2개의 상(Cr-Co rich 및 Cu rich)으로 분리되는 것을 확인 하였고, 균질화 온도를 다양하게 하여 OM, SEM, EBSD 및 XRD를 통해 미세조직 관찰 및 성분 분석을 진행하였으며, 압축 실험을 진행하여 기계적 특성을 관찰 하였다. 이를 통해 Cu-rich 상의 부분 용융 및 취성의 sigma상 형성은 CrMnCoNiCu 합금의 기계적 성능을 저하하는 요인이 됨을 확인하였다.

[P17-3]

분말야금법으로 제조된 생체적합형 TiZrNbTaMo 고엔트로피합금의 기계적 물성 평가: 강현수¹, 이성용¹, 류호진², 김양후¹, 박광석¹, 박형기¹; ¹한국생산기술연구원 강원지역본부, ²한국과학기술원 원자력 및 양자공학과

코발트합금은 높은 탄성계수와 우수한 내마모성을 가지고 있으며, 타이타늄합금은 높은 비강도와 상대적으로 낮은 탄성계수를 가지므로 이를 활용한 인체삽입용 임플란트 소재 개발연구가 지속적으로 이루어 지고 있다. 하지만 최근 들어 코발트합금이 생체에서 이온출출에 의해 독성 유발 및 DNA 이상이 발생되고, 타이타늄합금은 낮은 내마모성에 의해 문제가 발생된다는 연구가 보고되고 있다. 이를 극복하기 위한 방안으로 새로운 소재 개발이 필요하며, 최근 BCC구조를 갖는 TiZrNbTaMo 고엔트로피-합금이 개발되었다. 이러한 TiZrNbTaMo 합금은 타이타늄합금 대비 기계적 강도 뿐만 아니라 생체적합성 및 내부식성이 우수하다. 따라서 본 연구에서는 TiZrNbTaMo 고엔트로피합금의 분말제조기술에 대한 연구를 진행하였으며, 진공아크용해를 통해 잉곳 제조 후 균질화열처리, 수소화-탈수소화 공정을 거쳐 입도 25 μ m 이하의 각형 분말을 제조 하였다. 이렇게 얻은 분말을 스파크플라즈마소결을 진행하여 소결체를 제조하였다. 기계적성질을 측정하기위해 경도와 압축강도 실험을 진행하였으며, XRD 및 FE-SEM 분석을 통해 상과 미세조직을 분석하였다. 본 연구에서 분말야금법을 이용하여 제조된 TiZrNbTaMo 고엔트로피합금은 기존의 생체용 합금대비 우수한 기계적 성질을 가지고 있었다.

[P17-4]

MoNbTaVW 하이엔트로피 합금의 Si/Al 확산코팅 시 계면반응 및 내화염 특성: 양원철, 김정민, 이종원, 박준식*; ^{한밭대학교 신소재공학과}

Keywords: Refractory high entropy alloys, Pack cementation coatings, Ablation behaviors

하이엔트로피 합금은 다양한 원소가 함유되었음에도 불구하고 비교적 간단한 상을 유지하여 재료의 균일성이 높아 다양한 응용분야에 적용이 검토되고 있다. 특히, MoNbTaVW (at%) 합금은 477 MPa at 1600 °C 에서 약 450 MPa이 넘는 압축강도를 가짐으로 고온소재로서의 적용에 적합한 소재중의 하나이다. 하지만, MoNbTaVW합금은 내산화성이 약하여 고온에서 사용이 제한되고 표면코팅을 수행해야 할 필요가 있다. 본 논문에서는 확산코팅을 수행하여 합금의 내산화성을 검토하였으며, 내화염특성을 검토하기 위하여 LPG/O₂ 가스토치를 이용하여 1350 °C의 고온으로 유지하는 상황에서의 재료의 표면특성을 고찰하였다. 고온토치를 이용하여 약 10분이상 고온에서 노출하였음에도 불구하고 코팅된 합금은 우수한 내식특성을 보였다. 본 연구에서는 고온에서 표면에 생성된 산화물을 분석하고 계면의 생성상의 조성을 분석하였으며 조직분석을 수행하여 내산화성에 대한 기구를 고찰하고자 하였다.

[P17-5]

면심입방구조 단결정 및 다결정 고엔트로피 합금의 기계적 특성과 고온 강화 모델링: 권현석¹, 김동현¹, 문중언¹, 장민지¹, 배재웅¹, 박정민¹, 이재현², 김형섭¹; ¹포항공과대학교, ²창원대학교

Keywords: 고엔트로피 합금, 단결정, 고온 강화, 모델링

본 연구에서는 단결정 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금의 기계적 성질을 분석하고, 이를 통해 해당 합금의 고온강화 모델을 예측하

였다. [100], [110] 방위의 고엔트로피 합금을 성장시켜 X-ray diffraction (XRD), Electron backscatter diffraction (EBSD) 분석을 통해 확인하였고, 압축 시험을 시행하여 CoCrFeMnNi 합금이 일반적인 면심입방구조 단결정 합금과 유사한 기계적 성질을 가짐을 확인하였다. 합금의 격자의 왜곡 정도를 RMS 잔류 변형으로 정량적으로 분석해 본 결과, 고유 항복 강도가 높을수록 잔류 변형, 즉 격자 왜곡이 심하게 나타남을 확인하였다. 해당 모델을 통해 면심입방구조 단상 고엔트로피 합금의 항복 강도를 예측하였고, 고엔트로피 합금의 고용강화 효과를 설명하였다.

[P17-6]

강도-연신 Trade-Off 극복 나노복합구조 고엔트로피 합금 개발: 김민석, 윤국노, 오현석, 박은수; *서울대학교 재료공학부*
Keywords: High entropy alloy, Strength-ductility trade-off, Nano-lamella microstructure, ϵ -martensite matrix, Austenite reversion

강도와 연성은 구조 소재를 평가함에 있어서 가장 중요한 기계적 성질 중의 하나이며, 구조 소재로써 실제로 사용되기 위해서는 이러한 물성의 개선이 필수적이다. 하지만, 강도를 높이는 다양한 메커니즘은 대부분의 상용 합금계에 대하여 연신을 감소를 야기한다는 문제점이 있다. 이러한 경향은 ‘strength-ductility trade-off dilemma’로 널리 알려져 있으며 이를 극복하기 위한 연구가 꾸준히 이루어져왔다. 최근, 여러 개의 주 원소로 구성된 고엔트로피 합금(HEA)은 높은 상 안정성, 우수한 내부식성, 우수한 기계적 성질 등과 같은 우수한 물성으로 인해 ‘strength-ductility trade-off dilemma’를 극복 할 수 있는 합금계로 주목받고 있다. 이러한 사실에 기초하여 본 연구에서는 HEA의 정밀한 미세 구조 제어를 통하여 나노 복합구조화 함으로써 ‘strength-ductility trade-off dilemma’ 극복하고자 하였다. 부연하면, 본 연구에서는 경질 마르텐사이트 상 매트릭스 사이에 나노 두께의 낮은 적층결함에너지를 가진 오스테나이트 필름이 석출된 독특한 HEA 미세 구조를 설계하였다. 이러한 미세 구조를 가지는 합금은 경질 마르텐사이트 상에 의한 높은 강도와 준안정 오스테나이트 TRIP 현상에 의한 높은 연성을 동시에 가질 것으로 예상된다. 이를 위하여, 먼저 열역학 데이터베이스 기반 시뮬레이션(CALPHAD) 방법을 통한 합금 설계로 마르텐사이트 기지를 가지는 HEA를 제조하였으며 이후 저온 템퍼링 공정을 통하여 마르텐사이트를 부분 오스테나이트화하였다. 결과로써, 개발한 HEA가 마르텐사이트 매트릭스 사이에 준안정 오스테나이트상이 끼워진 ‘복합재 형상’을 가지는 것을 EBSD 분석으로 확인하였으며, 높은 강도와 연성을 동시에 가지는 것을 인장시험을 통하여 확인하였다. 본 연구에서 제시한 신합금 개발 전략은 정밀한 미세 구조 제어를 통하여 하이엔트로피 합금을 나노 복합구조화 함으로써 strength-ductility trade-off dilemma를 극복하는 새로운 가이드라인을 제시하고 있으며, 향후 다양한 구조 소재의 개발에 폭넓게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

[P17-7]

Effect of FCC Stability on FCC to BCC Transformation in Novel VCoCrFeMnNi High Entropy Alloy: 양준하, 조용희, 김동근, 최원미, 김형섭, 이병주, 이성학; *포항공과대학교 신소재공학과*
Keywords: TRIP, 상 안정성, 변형기구, BCC martensite

본 연구팀은 TRIP 메커니즘을 이용한 새로운 non-equiatomic high-entropy alloy (HEA)를 개발했다. VCoCrFeMnNi HEA 시스템은 BCC 상과 FCC 상 사이의 상 안정성 및 HCP 상과 FCC 상 사이의 상 안정성을 고려한 열역학적 계산에 의해 설계되었고, Ni 및 Mn 함량에 따른 기계적 변형 거동을 분석했다. 변형 전 조직에서 모두 FCC 단상을 가지며 상온 인장 후에는 Ni 및 Mn의 함량에 따라 TWIP → TWIP + TRIP → TRIP이 관찰되었지만, 극저온 인장 시에는 TRIP이 주된 변형기구로 관찰되었다. 결과적으로 BCC martensite는 상온 및 극저온 인장 시, 인장 강도 향상에 기여하였다. 본 연구에서는 Ni 및 Mn 함량에 따른 미세 구조가 어떻게 기계적 물성에 변화에 영향을 미치는지를 분석했다. Ni 및 Mn의 함량은 상 안정성에 중요한 역할을 하며, 결과적으로 FCC 상 안정성에 대한 조절을 통해 TRIP 발생 속도를 조절하여 기계적 물성의 변화를 유도한다. 본 연구팀의 연구 결과는 FCC 상에서 BCC 상으로의 변태가 극저온성 재료의 강도 상승을 위한 새로운 HEA 설계 전략의 매력적인 경로가 될 수 있다는 것을 보여준다.

[P17-8]

혼합열 계산을 통한 공정 하이엔트로피 합금 설계 및 합금의 기계적 특성 분석: 김민정, 김영석, 박혜진, 문상철, 홍성환, Jumaev Elyorjon, 박제형, 임기성, 김기범*; *세종대학교 나노신소재공학과*
Keywords: High entropy alloy, Alloy design, Eutectic high entropy alloy, Mixing enthalpy

5개 이상의 원소로 구성되는 하이엔트로피 합금(HEA, High entropy alloy)은 높은 배열 엔트로피를 가지기 때문에 단상으로 형성되는 경향성을 가진다. 그러나 BCC단상 HEA의 경우 높은 강도에 비하여 연성이 부족하고, 연성이 우수한 FCC단상 HEA는 강도가 떨어지는 물성적 한계를 가진다. 이러한 단상 HEA의 편향된 기계적 물성 및 상용화의 한계를 극복하기 위하여, 연성이 우수한 FCC상과 고강도의 BCC 혹은 Laves상이 공정구조를 이루는 공정 하이엔트로피 합금(EHEA, Eutectic high entropy alloy)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재까지의 연구에 따르면, EHEA를 설계하는 방법으로는 크게 세가지가 있는데, 먼저 CALPHAD(Calculation of phase diagram)법을 이용하여 설계하는 방법, 실험을 통하여 우연적으로 발견하는 방법, 그리고 실험적으로 발견한 EHEA에서 원소의 첨가 및 치환을 통하여 새로운 EHEA를 설계하는 방법이다. 이 중, CALPHAD법이나 실험적인 방법을 통한 합금 설계는 요구되는 시간과 노력에 비하여 정확도가 떨어지며, 매우 비 효율적이다. 따라서 본 연구에서는 물성적 균형이 이루어진 EHEA개발을 위하여 Co-Cr-Fe-Ni 조성의 4원계 FCC단상 HEA에 혼합열 계산을 통하여 얻은 일정비율을 유지하는 두 원소를 첨가하여 FCC와 Laves상이 공정구조를 갖는 고강도-고연성의 6원계 EHEA를 설계하였다. 설계한 합금은 arc melting 방식 및 구리 몰드를 이용한 suction casting을 통해 직경 3 mm, 길이 50 mm의 봉상 시편으로 제조되었다. XRD(X-ray diffraction)와 SEM(Scanning electron microscope)을 이용하여 시편의 미세조직 및 상 분석을 실시하였고, 시편의 기계적 물성 평

가는 UTM(Universal testing machine)을 이용한 압축강도 시험을 통하여 진행하였다.

[P17-9]

고엔트로피 합금 Ti-V-Al-X(=Zr,Nb)의 Al 첨가량에 따른 미세조직 및 기계적 물성변화: 정윤준, 박강현, 김경식, 홍순직, 송기안*; *공주대학교 신소재공학부*

Keywords: High Entropy alloys, Microstructure, Mechanical Properties

최근, 고엔트로피합금(High-Entropy Alloys, HEAs)의 출현과 함께 그 우수한 물성이 주목받아 활발한 연구가 이루어지고 있다. 일반적으로 합금설계에서 다양한 합금원소가 첨가될수록 금속간화합물의 형성으로 인해 기계적 물성이 매우 취약해진다. 하지만 고엔트로피 합금은 다종의 합금원소를 비슷한 분율로 조성하여 높은 구성 엔트로피로 인해 금속간 화합물이 형성되지 않고 FCC구조 및 BCC구조의 단상을 이루게 되며, 그 격자구조의 심각한 변형이 형성되어 높은 강도와 인성, 더 나아가 우수한 고온강도와 크리프 물성 등 다양한 환경에 적용될 수 있는 잠재력을 가진다. 특히, 최근에는 대부분의 고엔트로피 합금의 밀도가 높다는 단점을 극복하기 위해 경금속을 첨가하는 방법으로 연구가 이루어져 저밀도이며 높은 비강도를 가진 경량화된 고엔트로피 합금이 개발되고 있다. 본 연구에서는 두가지 조성의 고엔트로피 합금 TiZrVAl 및 TiNbVAl에서의 Al 함량 변화(1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2)에 따른 미세조직 및 물성 변화에 대한 연구를 수행하였다. X-Ray Diffraction, SEM 및 EDS, 압축시험 등을 통해 미세조직과 기계적 특성을 평가, 분석하여, 미세조직의 변화가 기계적 물성에 미치는 영향을 이해하고자 한다. *교신저자: gasong@kongju.ac.kr

[P17-10]

Dual-Phase Al_{0.5}CoCrFeMnNi 고엔트로피합금의 상온 및 극저온 인장 거동 분석: 손수진, 박정민, 문종언, 배재웅, 김동혁, 조용희, 이성학, 김형섭; *포항공과대학교 신소재공학과*

Keywords: High Entropy Alloy, Dual-phase, Tensile Property, X-ray diffraction, Fracture Phenomenon

고엔트로피 합금(High Entropy Alloy: HEA)는 5원소 이상의 다원소 합금계로서, 고합금계임에도 불구하고 혼합엔트로피가 높아 금속간 화합물이 형성되지 않고 면심입방격자(Face Centered Cubic: FCC) 또는 체심입방격자(Body Centered Cubic: BCC)로 구성된 새로운 개념의 신물질이다. 2004년 금속간화합물 없이 단상이 얻어진다는 것이 학계에 발표되었고, 2012년 FCC 단상 고엔트로피 합금 대비 강도가 높은 Al_{0.5}CoCrFeMnNi dual-phase 고엔트로피 합금이 발견되어 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 상온(298 K) 및 극저온(77 K)에서 Al_{0.5}CoCrFeMnNi dual-phase 고엔트로피 합금의 인장 거동에 대해 고찰하였다. X-ray 회절, 주사전자현미경을 통하여 구조 및 미세조직을 확인하였고 인장 실험을 통하여 기계적 특성을 확인하였다. 그 결과, Al_{0.5}CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금이 극저온에서 높은 연성과 함께 높은 강도 또한 가지는 것을 알 수 있었다. 이는 온도가 낮아질수록 면심입방격자와 체심입방격자의 강도 차이가 커지기 때문으로 strain partitioning effect와 back stress hardening에 의해 설명될 수 있다. 또한, 주사전자현미경으로 파면을 분석하여 상온에서는 연성 파괴가 주로 일어나는 반면 극저온에서는 벽개 파괴도 일어나는 것을 확인하였다.

[P17-11]

선변형이 고 엔트로피 합금(CoCrFeMnNi)의 고주기 피로 거동에 미치는 영향: 이경태, 원종우, 임가람, 나영상; *재료연구소(KIMS)*

Keywords: High entropy alloy, Fatigue, Pre-strain, Microstructure, Twinning

고 엔트로피 합금(CoCrFeMnNi)은 높은 엔트로피 구성에 의해 비슷한 원소 분율과 4가지 이상의 서로 다른 원소로 구성되어 있는 고용체이다. 이러한 고 엔트로피 합금(CoCrFeMnNi)은 우수한 기계적 특징들을 가지고 있기 때문에 학계와 산업체로부터 많은 관심을 받고 있다. 본 연구에서 우리는 동일한 원소 분율로 이루어진 고 엔트로피 합금(CoCrFeMnNi)에서 선변형이 고주기 피로에 어떠한 영향을 미치는지 조사하였다. 특히, 변형 미세조직 변화에 따른 피로균열 형성 및 성장 거동을 알아보기 위해 두가지의 온도 조건에서(293 K and 77 K)에서 선변형을 실시하였다. 선변형을 부여하지 않은 조건과 비교하여 선변형을 부여한 조건에서는(273 K) 피로 저항성이 향상되었지만 극저온 온도에서의 선변형은 피로 저항성이 저하 되었다. 피로 저항성 변화 정도는 변형 미세조직 특성에 따라 달랐다. 피로 파면 분석 결과 극저온 시편의 피로 시작점에서는 큰 크랙이 발생하였으며 피로 균열 전파 시 발생하는 스트라이에이션(striation) 또한 극저온 시편에서 더 큰 것을 알 수 있었다. 피로 시작점에서 형성된 크랙과 스트라이에이션(striation) 간격 차이를 규명하기 위해 미세조직 분석(EBSD)을 실시하였다.

[P17-12]

Study of Cooling Rate and Mechanical Properties of Ni-Rich AlCoCrNi High Entropy Alloys: Jehyung Park, Jumaev Elyorjon, Sung Hwan Hong, Young Seok Kim, Hae Jin Park, Sang Chul Mun, Ki Seong Lim, Min Jeong Kim, Ki Buem Kim*; *Sejong University*

Keywords: High entropy alloy, Mechanical property, Microstructure, AlCoCrNi, Cooling rate

AlCoCrNi high entropy alloy is one of the alloys with excellent mechanical properties. AlCoCrNi high entropy alloy has low density of alloy, excellent strength and ductility, and is being applied to various commercial alloys. The excellent mechanical properties of AlCoCrNi alloys are due to the microstructure. The microstructure of AlCoCrNi high entropy alloys is divided into dendrite and interdendrite regions. The dendrite and interdendrite regions have nano-sized Cr-rich A2 phases and Ni -rich B2 phase is present. The Cr-rich A2 phase and the Ni-rich B2 phase have high coherency, resulting in similar deformation behavior to single phase solid solution, resulting in high strength and excellent ductility. This study was performed to make a formula and alloy with Ni-rich-based composition,

to observe the microstructure and to evaluate the mechanical properties and to check the possibility of commercial alloy. Alloys were prepared by selecting four compositions of Ni-rich by making $(\text{AlNi}_2)_{70-x}\text{Co}_{30}\text{Cr}_x$ to from compositions of phases of AlCoCrNi high entropy alloys from the results of previous research. Arc melting and suction casting method are performed into a rod-shaped specimen of 3mm, 10mm in diameter length and 50 mm in length through a copper mold. X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) were used to analyze the phase and microstructure of the specimens. The mechanical properties of the prepared specimens were evaluated by the universal testing machine (UTM) at room temperature and the hardness at room temperature was measured using a microindenter.

[P17-13]

Non-Equiatomic 고엔트로피 초내열 합금의 기계적 물성 제어: 김상준, 김일환, 오현석, 박은수; 서울대학교 재료공학부
Keywords: Refractory high entropy alloy, Non-equiatomic composition, Phase stability, Mechanical property, High temperature materials

Ni계 초합금은 우수한 고온 강도, 산화 저항성, 크리프 특성 등을 바탕으로 고온 구조 소재로써 가장 널리 사용되고 있으나, Ni의 낮은 녹는점으로 인해 1100 °C 이상의 초고온에서는 충분한 강도를 보이지 못한다는 단점이 있다. 특히 제트 엔진, 복합 화력 발전에 사용되는 내부기관인 가스터빈의 효율 상상을 위하여 더 높은 온도에서 작동 가능한 내열 소재가 요구되고 있어, Ni계 초합금의 한계를 극복하기 위해 고용점 원소로 구성된 초내열 신합금의 개발 필요성이 강조 되고 있다. 한편, Nb, Mo, Ta, W 등의 고용점 원이 원소로 이루어진 BCC 구조의 하이엔트로피 합금이 우수한 상 안정성과 Ni계 초합금 대비 뛰어난 비강도를 바탕으로 차세대 초내열 합금으로써 주목받고 있다. 하이엔트로피 합금(High entropy alloy)이란 다중 주요 원소가 서로 비슷한 원자비로 고용체를 이루고 있는 새로운 개념의 신합금으로, 높은 구성 엔트로피의 영향으로 인한 상 안정도, 과포화 고용으로 인한 격자 비틀림 등 기존의 단일 주요원소 중심 상용 합금은 가지지 않는 독특한 특성을 가지고 있다. 본 연구에서는 혼합 엔탈피, 전자가 밀도 등의 설계인자를 활용하여 우수한 상 안정성의 Ti-V-Nb-Ta-(Mo,W) 합금계를 개발하였으며, 관련 합금계에서 equiatomic 및 non-equiatomic 다양한 합금조성을 주조하였다. 제조된 합금은 넓은 조성 범위에서 단일상 BCC 구조를 가져 우수한 상 안정성을 보이는 것을 확인하였다. 또한, 기계적 특성을 제어하는 내부 인자를 바탕으로 제조된 non-equiatomic 조성의 합금에 대해 기계적 성질을 체계적으로 분석함으로써, 우수한 강도의 하이엔트로피 초고온 내열 신합금을 개발하였을 뿐만 아니라 하이엔트로피 합금계에서 non-equiatomic 조성 합금들의 기계적 특성 제어 기술을 확보하고자 하였다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 향후 가스 터빈 엔진, 항공기 등의 Ni계 초합금을 대체할 수 있는 차세대 초내열 합금 개발에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

[P17-14]

CrFeCoNiCu, CrFeCoNiCu_{1.72} 조성을 갖는 하이엔트로피 합금의 미세조직 및 기계적 거동 분석: 김용근, 홍순익; 충남대학교 신소재공학과
Keywords: High Entropy Alloy, CrFeCoNiCu, Mechanical properties

본 연구에서는 Cantor high entropy 합금에서 Mn이 Cu로 치환된 CrFeCoNiCu 및 CrFeCoNiCu_{1.72} 고엔트로피 합금의 미세 구조 안정성 및 기계적 성질을 관찰하였다. 주조된 CrFeCoNiCu와 CrFeCoNiCu_{1.72} 합금은 2 개의 FCC 상으로 분리되며, 주조 합금에서, Fe, Cr 및 Co rich상과 Cu 및 Ni rich 상으로 분리되었다. 압연한 판재의 강도와 연성은 Cu의 함유량이 낮은 조성에서 모두 높게 나왔으며, 이는 Fe, Cr 및 Co rich 상보다 연한 성질을 띄는 Cu rich상의 분율이 증가함에 따른것으로 판단된다. CrFeCoNiCu와 CrFeCoNiCu_{1.72}의 변형 메커니즘과 슬립 거동을 분석하여 강도와 연성에 대한 Cu-rich 상의 역할을 조사 하였다.

P18 : 비철 금속

Room 전시장 III, 4월 26일

[P18-1]

공정 부산물로부터 인듐금속 분리 및 고순도화 기술 개발: ¹인호세¹, 정병조^{1,2}, 양재열³, 윤재식^{1,3}; ¹하이퍼나인(주). ²디에스엠(주). ³한국기초과학지원연구원.

Keywords: Indium, Czochralski, GD-MS

인듐은 반도체 산업의 발전에 따라 III-V 화합물 반도체에 사용되며, 주 원료인 인듐은 6N 이상의 고순도가 필요하다. 희소금속인 인듐은 매장량이 적어 원료 수급에 어려움이 있기 때문에 그 대안으로는 인듐이 함유된 공정폐기물을 이용한 방법이 있다. 본 연구에서는 공정 폐기물로부터 전해정련법과 Czochralski(CZ)법을 이용하여 고순도 인듐 금속을 제작하였다. CZ장치는 고순도 환경을 위해 400 class 이하의 클린룸에서 가동 하였고, 소스 도가니에는 미네랄 오일을 이용해서 금속의 산화를 제어하였다. 결정성장을 위한 seed 부분은 인듐결정화를 원활히 하기 위해 냉각을 실시하였다. 고순도화 과정을 거친 인듐 금속은 Glow discharge mass spectrometer(GD-MS)를 이용하여, 6N급 고순도 인듐 금속의 정량분석법을 연구하였다. GD-MS를 이용한 정량분석에서는 relative sensitivity factors(RSF)를 이용하는데, 각 원소의 RSF는 알루미늄 matrix에 인듐이 불순물로 함유된 표준시료를 이용하였다. 알루미늄 matrix CRM을 분석하여 계산된 인듐의 RSF는 2.45이고, 인듐 뿐만 아니라 이 표준시료를 이용하면 Mg, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Ag, Cd, Sn, Pb, Bi, 총 17개 원소에 대해 정량분석이 가능하다. 인듐 정량 분석 시에는 인듐의 RSF=1로 나머지 원소에 대해서도 같은 비율로 변환하여 RSF를 계산하여 적용하였다. 마지막으로 CZ방법을 이용하여 결정화한 인듐금속의 분석에서는 불순물 원소의 총합이 1ppm 이하로 인듐의 최종 순도는 약 99.99994%(6N)로 나타났다.

[P18-2]

Mo 및 WC 확산 방지막에 직접 전해도금을 통한 Cu 나노박막의 증착 거동 및 임피던스 분광법 연구: 박현철, 윤홍민, 김선정; 울산대학교 첨단소재공학부.

Keywords: Molybdenum, Tungsten carbide, Direct electrodeposition, Copper thin film, EIS

동일한 면적에 많은 수의 트랜지스터 (transistor)를 집적하는 것은 반도체의 핵심 기술 중 하나이다. 반도체의 전공정 중 구리 증착 공정에서 중요한 것은 내부 배선으로 사용되는 트렌치 (trench) 구조 내에 구리를 기공, 공공 등의 결함 없이 채우는 것이다. 공정에 영향을 미치는 요인 중 하나는 확산 방지막의 종류와 증착 방식이며, 본 연구에서는 확산 방지막의 종류로서 몰리브덴 (Mo)과 탄화텅스텐 (WC)을 선택하고 각각 직류 마그네트론 스퍼터링 (DC magnetron sputtering)과 원자층 증착 (atomic layer deposition) 방식을 사용해 확산 방지막을 도포했으며 이후 동일한 실험 조건에서 상호 비교 연구하였다. 또한, 기존에 연구된 논문들의 경우 직류 전류 (DC current)를 인가하여 구리의 증착 거동을 알아보았으나 전극의 계면에서 발생하는 복합 저항을 설명할 수 없으므로 본 연구에서는 차별화를 위해 전기화학 임피던스 분광법 (EIS; electrochemical impedance spectroscopy)을 도입하여 직류 전류와 임피던스를 인가한 조건 중 전류 효율과의 연계성에 관한 영향을 비교하여 임피던스 측정법이 더욱 정확한 수치를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

[P18-3]

인발 및 정수압 압출 공정에 의해 제조된 Mg-B/Nb/Cu clad의 기계적 미세적 특성 연구: 이종범¹, 박상용¹, 황덕영², 정하국¹; ¹한국생산기술연구원. ²K.A.T.

Keywords: In-situ MgB₂ claddings, Drawing, Hydrostatic extrusion, Microstructure, Texture

MgB₂ materials have attracted much attention because these materials exhibit superconductivity under 20 K. Their critical temperature (T_c) is higher than that of other superconductive metallic materials such as NbTi and Sn₃Ti. Higher T_c offers the advantage for superconductive materials to be used in cryosystem that operate using liquid nitrogen instead of liquid helium. Liquid nitrogen is more environment friendly and cheaper than liquid helium. MgB₂ materials have mainly used as a type of wire in magnets used in magnetic resonance imaging (MRI) application in the medical field. The wires consist of a MgB₂ core inside a Nb tube and outside a Cu tube as sheath materials. Here, the Nb tube prevents a chemical reaction between the Mg-B powder and Cu tube during the annealing process for MgB₂ formation from the mixed Mg and B powders. If the Mg-B powder and Cu tube chemically react during the annealing process, the superconductivity of the wire is reduced because the intermetallic reaction disturbs the current due to the electrons. Therefore, successfully manufacturing an in-situ MgB₂/Nb/Cu wire without fracture is very important. In particular, deformation of the Nb tube is more difficult than that of the Cu tube because the Nb materials are a body-centered cubic structure with less-slip systems compared with the face-centered cubic structure of the Cu tube. The diameter of the MgB₂ wire should be lower than 1 mm for application in MRI magnet. MgB₂ wires have been manufactured using the drawing process. The superconductivity of a MgB₂ wire depends on the density of the finally drawn MgB₂ powders. In fact, the drawing process suffers from the limitation in terms of improvement in the densification of Mg-B powders during deformation because of the low reduction rate compared with the extrusion process. In the present study, wires made of in-situ MgB₂/Nb/Cu claddings were manufactured using both processes; only the drawing process, and first followed by subsequent hydrostatic extrusion plus drawing process to improve the density of the Mg-B powders. We

investigated the mechanical properties using the Vickers hardness (VH) and themicrostructural properties using electron backscatter diffraction (EBSD).

[P18-4]

철삭성이 향상된 무연 황동 신합금 개발: 예정원¹, 윤국노¹, 박은수¹, 이시연²; ¹서울대학교 ²원진금속

Keywords: Lead-free Brass, CALPHAD, High Entropy alloy 2nd phase, Globule particle, Machinability

납을 포함하는 구리 합금인 황동은 구형의 납 개재물을 형성시켜 철삭 가공성을 향상시켰다. 그러나 수도관 등으로 활용되는 황동 소재의 함유된 납은 다양한 환경 문제를 일으킬 뿐만 아니라, 중금속 오염 등의 문제로 인하여 세계적으로 사용이 금지되고 있는 추세이며, 최근들어 대부분의 선진국에서 납이 거의 검출되지 않는 수준을 요구하고 있기 때문에 그 대체재의 개발이 절실히 필요하다. 이에 따라 비스무스 등을 활용하는 무연 황동 개발이 진행되어 왔으나 아직까지 확실한 대안이 제시되고 있지 못한 실정이다. 이러한 사실에 기초하여 본 연구에서는 신개념 하이엔트로피 합금 제 2 상 석출을 통해 납을 사용하지 않으면서도 철삭성을 극대화할 수 있는 무연황동 신합금을 개발하고자 하였다. 부연하면, 본 연구에서는 먼저 합금화하였을 때 Cu와 상분리되는 원소를 열역학 데이터베이스 기반 시뮬레이션(CALPHAD) 방법을 통하여 선정하였다. 이후 공정 조건의 제어 등을 통해 하이엔트로피 합금 제 2 상 석출상의 형상을 제어하여 기존 유연 황동 상용 합금과 비슷하게 Brass 기지 내에 석출상이 구형으로 존재하는 미세구조를 얻었다. 결과로써, 인장실험을 통하여 항복강도는 200 MPa 이상 연신율은 20% 이상으로 기존 유연 상용합금보다 우수한 기계적 특성을 얻을 수 있었으며, 철삭성 평가를 통해 개발 합금의 상용화 가능성을 모색하였다. 본 연구를 통하여 하이엔트로피 제 2 상을 활용하여 향후 활발한 활용이 모색되고 있는 무연황동 신합금을 개발하여, 관련 소재 신시장 개척에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[P18-5]

황화 반응을 통한 FeTiO₃에서 Fe-S-C 금속 상의 형성에 대한 온도 영향: 김용우¹, 신승환², 김선중¹; ¹조선대학교 재료공학과 ²조선대학교 첨단소재공학과

Keywords: Ilmenite, Rutile, Sulfurization reduction

티타늄은 철강, 의료, 항공 우주분야 등 다양한 분야에서 사용되는 필수 금속이며 향후 수요가 지속적으로 증가할 것으로 예상되는 소재이다. 티타늄은 우수한 특성을 가졌지만 고용점, 고반응성, 난가공성을 가지기 때문에 티타늄 원재료의 생산 원가는 다른 구조용 재료에 비해서 현저하게 높다. 티탄 철광의 기존 제련법은 FeTiO₃에서 Fe를 제거하기 위해 1600°C 이상의 온도에서 탄소 환원 반응을 활용하며 Fe를 제거하고, TiO₂ 함유량이 높은 슬래그를 복합적인 습식 공정을 통해 맥석 성분을 제거한다. 본 연구는 1450°C 이하의 온도에서 FeTiO₃와 Na₂SO₄ 간의 고온 황화 반응을 진행하여 금속성 Fe를 형성하여 회수하기 위한 온도 및 반응 시간의 영향에 대하여 조사한다.

[P18-6]

습식제련 응용공정에 의한 합성 Rutile로부터 고순도 TiO₂ 제조를 위한 연구: 주성호¹, 신동주¹, 이동석^{1,2}, 강정신¹, 김민석¹, 신선명^{1,2}; ¹한국지질자원연구원, ²UST.

Keywords: Rutile, Cyanex 923, HCl, Ti, 가수분해

합성 rutile을 소다 배소한 후 HCl 침출 용액으로부터 용매추출에 의한 Ti의 추출거동 및 이로부터 고순도 rutile을 제조하기 위한 분리정제 연구를 수행하였다. 침출실험은 HCl의 농도와 온도에 따라 진행되었고 침출 후 용매추출에 의한 Ti의 추출거동을 파악하기 위해 용매화 추출제인 Cyanex 923을 사용하였다. 용매추출 실험은 추출제의 농도, 유기상과 수용액상의 비율, McCabe-thiele diagram 등의 실험이 변수로써 적용되었다. 실험결과 Ti의 HCl 침출 시 가장 영향을 주는 것은 온도로써 온도가 상승할 경우 Ti이 용액으로 해리하기보다 가수분해가 진행되어 시간이 지날수록 침출율이 감소하였다. 그 결과 50°C에서 약 99.9% Ti을 침출시켰고 20.2 g/L Ti 1g/L Fe, 150mg/L Zr이 침출용액 내 함유되어있었다. 용매추출 실험에서 용매화 추출제인 Cyanex 923을 사용하여 O/A=4, 향류 2단, 0.3M Cyanex 923의 농도 조건하에서 Fe와 Zr을 99.9% 유기상으로 추출하였다. 마침내 불순물이 제거된 raffinate 용액을 90°C에서 24시간 동안 가수분해 하여 순도 99% 이상의 TiO₂를 제조하였다.

[P18-7]

Al-Mg-Si 블루 컬러 합금의 미소원소 첨가에 따른 기계적 물성 및 색도 변화 연구: 강결찬, 문상철, 박혜진, 김영석, 김태경, 홍성환, 김기범*; 세종대학교 공대 나노신소재공학부

Keywords: Color alloy, Minor element, Mechanical properties, CIE L*a*b* color space

최근 ICT의 발전에 따라 정보기기의 외장 소재 분야 역시 발전하고, 소비자들의 수요는 기술 중심에서 디자인 중심으로 변화하였다. 이에 금속소재의 색을 이용한 외장 디자인에 대한 수요 역시 증가하였다. 하지만 금속재료에서 특정 색을 갖는 금, 은, 구리를 제외한 금속재료들은 무채색을 나타내고 있어 다양한 색을 기대하기 어렵다. 이러한 한계점을 극복하기 위한 하나의 방안으로, 최근에는 금속재료 외부에 색을 구현하기 위한 방법으로 표면 처리 공정인 도장기법과 양극 산화법이 많이 사용되고 있다. 하지만 이러한 표면처리 방식은 외부로부터의 충격과 화학적인 반응으로 인하여 색상 구현 층이 쉽게 변형되는 단점을 가지고 있고, 이는 색 내구도가 저하되는 문제점으로 이어진다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 합금설계를 통한 금속간 화합물 석출제어를 이용하여 색도와 기계적 물성을 제어할 수 있고 자체적으로 색을 갖는 합금이 개발되고 있다. 관련 연구를 통해 개발된 합금 중 Al-Mg-Si 합금은 청색을 갖는 Mg₂Si 상의 석출제어를 통하여 높은 청색도를 갖는 것을 확인하였다. 하지만 Al-Mg-Si 합금은 다른 Al계 합금이나 Mg계 합금에 비해 우수한 기계적 물성을 가지고 있지 못하다. 이에 따라 Al-Mg-Si 합금에 미소원소 첨가를 통해 기계적 물성

을 개선하는 연구를 진행하였다. 본 연구에서는 Al-Mg-Si 합금에 미소원소를 첨가하여 청색도를 제어함과 동시에 합금의 기계적 물성을 향상시키고자 하였다. 이에 따라 합금의 Mg₂Si의 상 분율을 유지하면서 미소원소를 Al 기지상에 고용시키거나 새로운 석출상을 형성하기 위한 원소들을 선정하여 실험을 진행하였다. 미세조직 및 상 분석을 위하여 전계 방출형 주사전자현미경, X선 회절 실험을 진행하였고, 합금의 기계적 물성은 비커스 경도계, 만능시험기를 이용하여 확인하였다. 유색 합금의 색 분석을 위해 분광 분석기를 이용하여 반사도를 측정하고, 이를 CIE L*a*b* 색 공간으로 변환하여 합금의 색상을 표현하고자 하였다.

[P18-8]

염산용액 중 텔루륨의 침출거동 연구: 유경근; 한국해양대학교

Keywords: 텔루륨이온, 염산용액, 텔루륨재활용, 태양박막전지, 열전소자

텔루륨은 CdTe가 태양박막전지분야에서, 그리고 Bi₂Te₃가 열전소자분야에서 사용되고 있으며, 신재생에너지 지원정책과 함께 수요량이 급격히 증가하고 있다. 하지만 국내에서 텔루륨의 생산은 이루어지고 있지 않아 100% 수입에 의존하고 있으나 자원고갈계수가 희소 금속 중 3위에 해당하고 있어 향후 자원 확보에 어려움이 있을 것으로 예상된다. 따라서 텔루륨이 주요 원소인 페로박막전지 및 페로열전소자로부터 텔루륨을 회수할 수 있는 재활용 공정 개발이 필요하다. 그러나 텔루륨의 침출공정 등 재활용 공정 개발이 부족한 실정이므로 우선적으로 Te 침출거동에 관한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 텔루륨 분말을 이용하여 염산용액 중 텔루륨의 침출 거동을 조사하였다. 순도가 99.99%인 텔루륨 텔루륨 그라놀을 75 μm 이하로 분쇄하여 텔루륨의 침출 실험을 진행하였다. 텔루륨은 산소가 없는 상태 (질소주입) 에서 침출률이 약 2%로 침출이 이루어지지 않았고, 이에 비해 공기를 주입할 경우는 침출률이 증가하는 것이 확인되었다. 실험변수로서 염산의 농도 (1, 3, 5 M), 텔루륨이온의 초기농도 (0, 2000, 5000 ppm), 온도 (50, 70, 90 °C), 교반속도 (200-600 rpm)를 변화시켜 침출실험을 진행하였다. 텔루륨은 일부의 텔루륨이 산화되어 침출이 가능한 것으로 판단되지만 진행 속도가 느리기 때문에 산화제로서 텔루륨 4가이온을 투입하여 침출속도를 가속화시킬 수 있는 것으로 판단되었다.

[P18-9]

LiCl 용융염 전해질 내 Sr/Ba의 전착 특성 및 안정성 평가: 김성욱, 전민구, 최은영; 한국원자력연구원

파이로프로세싱 전해환원공정은 LiCl 용융염 전해질 내 전기화학 반응을 이용하여 산화물 형태의 사용후핵연료를 후속 처리에 용이한 금속 형태로 변환시키는 공정이다. 전해환원공정 시 사용후핵연료 내에 존재하는 II족 원소인 Sr/Ba는 LiCl 전해질에 용출되어 SrCl₂/BaCl₂ 등 염화물을 형성하는 것으로 알려져있다. LiCl 전해질을 이용한 전해환원공정에서는 전기화학 반응 시 금속 Li가 음극에서 형성되어 사용후핵연료를 금속 형태로 변환시킨다. 하지만 SrCl₂/BaCl₂가 전해질에 농축되는 경우 음극에서 금속 Sr/Ba 등이 형성되는 부반응을 야기할 가능성이 존재한다. 따라서, LiCl 전해질 내 SrCl₂/BaCl₂가 전해환원 반응에 미치는 영향을 확인할 필요가 있다. 본 연구에서는 순환전류전압법 및 전해질 전기분해를 통해 탄소양극 전해환원공정 중 SrCl₂/BaCl₂의 전착거동을 평가하였다. 또한, 금속 Sr/Ba의 LiCl 전해질 내 안정성을 확인하였다.

[P18-10]

응고속도 및 제2상석출이 Al-Si-Mg-Cu계 주조합금의 열 특성에 미치는 영향: 최세원, 김유미, 김영찬, 강창석; 한국생산기술연구원

Keywords: Al-Si-Mg-Cu계 합금, 열확산도, 열팽창계수, 석출, 시효처리

Al-Si 합금 시스템은 우수한 유동성과 주조성으로 인해 알루미늄 주조 합금으로 가장 일반적으로 사용된다. 특히, Al-Si-Mg-Cu계 합금은 엔진 블록, 실린더 헤드 및 피스톤과 같은 자동차 엔진 어플리케이션에 널리 사용되고 있다. 대량 생산 환경에서는 금형 온도가 상승하게 되고 제품의 냉각 속도에 영향을 주게 된다. 이러한 냉각 속도의 변화는 Al-Si 합금에서 실리콘 입자의 미세 구조에 영향을 미치게 되고 제품의 물리적 특성을 변화시킨다. 합금의 물성을 향상시키기 위해 응고속도에 따른 물리적 성질과 미세조직 변화 사이의 관계에 대한 연구들이 많이 진행되고 있다. 그러나 대부분의 연구는 기계적 성질 변화에만 초점을 두고 있다. 하지만, 알루미늄 합금을 고온 환경에서 사용하기 위해서는 고온환경에서의 미세조직 변화가 열적 특성에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 응고 속도가 다른 Al-Si-Mg-Cu 합금을 이용하여 열처리 후 제2상 석출이 열적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 실험방법은 Al-9Si-0.4Mg 합금을 전기 저항로를 이용하여 30kg 용량의 SiC 도가니에서 용융한 후, 순 구리 (99.9 중량 %)를 용탕에 첨가하여 Al-9Si-0.4Mg-0.7Cu 합금을 제조하였다. 용융 온도는 730 °C이었고, Ar을 사용하여 740 °C에서 15 분 동안 GBF 처리하였다. 각각 95 °C 및 200 °C의 다른 온도로 예열 된 금형으로 시편을 제조하여 금형 온도에 따른 합금의 응고속도가 열 특성에 미치는 영향을 평가하였다. 열 분석에 사용 된 시편의 열처리는 535 °C에서 6 시간 동안 고온체 열처리 한 후 80 °C의 온수에서 급냉 시켰다. 시편의 인공시효처리는 180 °C에서 5 시간 동안 대기 중에서 수행되었다. 시효 처리 후 시편은 실온에서 자연 냉각시켰다. 응고속도 및 열처리에 따른 미세조직 변화가 열적 특성에 미치는 영향은 열확산도, 열팽창계수 및 열량변화를 각각 측정하여 분석하였다.

[P18-11]

고효율 고체 산화물 멤브레인(SOM) 전해제련반응기 개발 연구: 김종길, 조재익, 정은진, 추동균; 포항산업과학연구원(RIST)

Keywords: Electrolytic refining, SOM(Solid Oxide Membrane), ITO(Indium Tin Oxide), Rare metal

인듐주석산화물(Indium Tin Oxide, ITO)은 디스플레이 산업의 발전과 더불어 그 수요가 급격하게 증가하고 있다. ITO는 일반적으로 습식 제련 공정이나, 흑연양극 전해제련시스템을 사용하여 유용자원을 회수하고 있다. 하지만 이러한 처리공정은 고가의 비용이 필요하며, 공해를 야기하는 환경오염물질이나, 전해 양극에서의 이산화탄소 및 탄소오염이 발생하는 단점을 가지고 있다. 따라서 소모성흑연양극이 아닌 SOM(Solid Oxide Membrane) 양극을 이용하여 유용금속을 회수하는 기술을 개발하고자 하였다. SOM(Solid

Oxide Membrane) 제련공정은 이온 전도성 고체 전해질 멤브레인을 이용한 직접 전해 공정으로 온실가스의 배출이 적고, 고순도 금속 제조가 가능하여 희소금속 제련/재활용의 생산 비용을 절감할 수 있는 차세대 혁신 금속 직접 환원 제련 공정 기술이다. 본 연구에서는 효율증대를 위한 전해제련반응기의 운전조건 평가, SOM 양극 최적화 연구, 전해환원 실험 등을 진행하였다. 또한 SOM 전극용 세라믹 소재의 내구성 평가를 위하여 전해질 내 Y_2O_3 의 적정 첨가량 선정 실험 및 장기수명 평가를 수행하였다.

[P18-12]

Al-Si-Mg 합금에서 열처리를 통한 열확산도 향상 방안 연구: 김유미, 최세원, 김영찬, 강창석; 한국생산기술연구원

Keywords: Al, Thermal diffusivity, Heat treatment, Al-Si-Mg, Si distribution

Al-Si-Mg 합금은 열처리가 가능하며 높은 비강도와 낮은 밀도를 갖는다는 장점이 있어 산업전반에 널리 사용되고 있다. 특히 Al-Si-Mg 합금은 열전도 특성이 우수하여 전자 및 전기 기기의 방열판 소재로 많이 사용된다. 열전도도는 재료의 열방출 특성을 결정하는 매우 중요한 특성 중 하나이며, 재료의 미세 구조에 의해 결정된다. Al-Si 2원계 합금에서 Si 공정상의 분해는 합금의 열전도도를 향상시키는데 기여하는 것으로 알려져 있으나, 다원계 합금의 정출상 및 석출상의 영향에 대해서는 연구가 미비한 실정이다. 이 논문에서는 열처리에 의한 Si 공정상의 분해와 제 2상의 석출이 합금의 열전도도에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 2가지 종류의 Al-Si-Mg 합금은 중력주조법으로 제조되었다. Al6.5Si0.4Mg와 Al0.2Si0.4Mg로 명명된 시편들은 535 °C 에서 5시간동안 용체화 처리 하였으며, 그 후 80 °C 물에서 퀘칭되었다. Al6.5Si0.4Mg시편은 공정 Si 상 분해를 위해 10시간의 용체화 처리를 추가로 실시하였다. 시효처리는 180, 200, 240도에서 각각 5시간 동안 실시하였다. 열처리에 따른 미세조직의 변화는 광학현미경, 투과현미경으로 관찰하였다. 또한 시차주사열량계를 이용하여 합금 내 제 2상의 석출 및 용해 거동을 조사하였다. 각 시료의 열전도도 특성은 LFA장비로 열확산도를 측정하여 비교하였다.

[P18-13]

고강도 Al-Mg 용접 소재 개발: 김선기¹, 조대연¹, 김민상¹, 이근호¹, 윤영욱¹, 김동철¹, 김영직², 조훈¹; ¹한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소 ²성균관대학교 신소재공학과

Keywords: Al-Mg 합금, Welding wire, Mechanical properties

Al-Mg계 용접 소재는 우수한 기계적 특성과 낮은 연성-취성 전이온도(DBTT, Ductile-Brittle Transition Temperature)특성을 가지고 있기 때문에 수송기분야, 특히 선박에서의 선체 및 가압탱크 용접에 크게 적용되고 있으며, 최근 연비 향상을 위해 용접 모재의 두께를 감소하는 추세에 따라 기존 대비 강도가 향상된 고강도 용접부 특성을 구현하고자 많은 연구들이 진행되고 있다. 특히 모재합금 대비 용접부에서의 높은 강도를 얻기 위한 방안으로 Mg의 첨가량을 증가시키는 방법이 적용하고 있으나, Mg은 일정 함량 이상이 첨가될 경우 용탕에서의 Mg 산화에 따른 조성 불량 및 생성된 Mg-O 계 산화물에 의한 개재물 혼입등이 발생하는 문제점이 있다. 또한 Mg 첨가에 따른 강도 증가에 의한 가공성 악화로 용접소재의 제조 공정이 어려워질 수 있으며, 개재물에 의해 용접이후 제품의 건전성을 확보하기 어려운 관계로 대부분의 경우 용접부 강도 향상에서 제한된 결과만을 얻는 수준에 있다. 이에 본 연구에서는 용접부에서의 기계적 특성 향상을 목적으로 용접 소재 제조를 위한 합금 설계 및 공정 설계를 진행하였으며, 이를 통해 Al 용접부에서의 기계적 특성 향상을 구현하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 기존의 Al 합금 용접 소재로 적용되던 조성 검토 후 개선된 조성을 설계하여 합금 빌렛을 주조하였으며, 해당 빌렛을 균질화 열처리 후 열간압출을 진행, 용접 소재 제조를 진행하였다. 이후 용접 소재의 기계적 특성을 평가 후 Al 모재에 대한 arc 용접을 진행하여 해당 용접부에 대한 특성 평가를 진행하였다. 이러한 결과들을 바탕으로 용접부에서의 기계적 특성을 향상시킬 수 있는 Al-Mg 용접소재를 개발하고자 하였다.

[P18-14]

건식열처리공정에 의한 폐 리튬이온전지 안정적 전처리기술 개발: 왕제필¹, 안세호¹, 이병우²; ¹국립부경대학교 금속공학과. ²국립부경대학교 신소재시스템공학과

Keywords: 리튬이온전지, 리튬, 코발트 망간, 니켈, 건식방진

폐 리튬 이온전지는 리튬, 니켈, 코발트, 망간 등의 유가금속들을 함유하고 있어 한정되어있는 자원을 효율적으로 재활용하기 위해 폐전지 재활용 기술 개발이 요구되어지고 있다. 또한 폐전지에는 유해한 중금속인 납, 수은, 카드뮴등을 함유하고 있으며, KOH, NH4Cl, 리튬염, H2SO4 등이 전지 내 전해액으로 사용되어지고 있어 재활용 공정이 환경에 미치는 영향을 고려하여 재활용 기술을 개발해야 할 필요성이 있다. 파쇄 시 폭발의 위험성이 있는 폐 리튬이온전지를 연속적으로, 안정적으로 처리하기 위한 열처리로 설계 및 제작을 하였으며, 배터리를 연속적으로 투입하기 위해 장입로에 컨베이어 벨트 설치 및 로내 분위기를 질소 분위기로 만들어 주어 배터리 폭발의 위험성이 적은 안정적인 로를 개발하였다. 또한 매 공정시 발생하는 유해가스 및 분진을 집진하여 환경문제 발생을 저감시켰다. 열처리 및 파/분쇄를 통한 물리적 전처리를 거친 뒤 0.58mm 기준으로 입도 분리를 하였으며, 그 결과 0.58mm under 사이즈의 분말 내 조성은 Li, Ni, Co, Mn의 유가금속이 많이 함유되어 있으며, 0.58mm over 사이즈의 분말 내 조성은 배터리 케이스의 성분인 Fe와 Al이 많이 함유되어 있는 것이 확인 되었다. 따라서 폐 리튬이온전지로부터 건식열처리 공정에 의한 안정적 전처리 기술을 통해 폐배터리의 유가금속과 배터리케이스의 분리가 성공적으로 되었으며, Li 0.3wt%, Ni 0.6wt%, Co 1.4wt%, Mn 0.1wt%의 유가금속을 회수할 수 있었다.

[P18-15]

Fe, Mn 첨가에 따른 7xxx계 알루미늄 합금 특성 변화 분석: 김민상, 김세훈, 주경석, 신재혁, 김진평, 성시영; 자동차부품연구원

Keywords: A7xxx alloy, Alloy Design, Mechanical properties

최근 자동차 산업에서는 연비 및 배출가스에 대한 글로벌 규제에 의해 차량의 경량화, 고효율화에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 그 중에서 차량에 적용되던 철강 소재를 대표 경량 소재인 알루미늄 합금으로 대체하려는 노력이 대표적이며, 알루미늄 합금의 특성 향상 및 차량에 적용을 위해 설계, 제조, 공정 기술에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 특히, 7xxx계 알루미늄 전신재 합금은 5xxx, 6xxx계 합금에 비해 높은 강도를 갖지만 응고시 큰 수축률에 의해 hot tearing 발생으로 연속 주조가 어려운 단점이 있어 수축률의 제어와 동시에 기계적 특성 향상이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 7xxx계 합금의 단점을 보완하기 위해 응고시 수축률이 제어된 합금을 설계한 이후, Fe, Mn 첨가량에 따른 기계적 특성을 분석하였다. 연속주조를 이용하여 설계 합금을 제조 한 뒤 압출 및 열처리 공정을 거쳐 시편을 제조하였고, 인장실험을 통해 기계적 특성을 평가하였다.

[P18-16]

Al-Cu 주조접합 시편의 열처리에 따른 금속간화합물 층의 두께 변화가 열확산도에 미치는 영향: 김용원¹, 김유미², 최세원¹, 김영찬¹, 강창석¹, 홍성길¹; ¹한국생산기술연구원, ²전남대학교 신소재공학과

Keywords: 이중소재, 주조접합, 금속간화합물, 열확산

최근 서로 다른 두 소재의 단점은 보완하고 우수한 장점만을 취할 수 있는 이중 소재 접합에 관해 연구가 활발히 진행되고 있다. 구리는 강도가 우수하며, 가공성이 좋고, 열 및 전기 전도성이 좋다. 그러나 무겁고, 가격이 비싸다는 단점이 있다. 알루미늄은 가격이 저렴하고 밀도가 구리의 1/3정도로, 귀금속 및 구리를 제외하고 가장 높은 전도성을 가지고 있어 구리의 이중재로써 적합하다. Al-Cu 접합에 브레이징이 많이 사용되고 있지만, 공정이 어려워 전문 인력이 필수적이며 가공단가가 비싸고, Al-Cu 사이에 충전재가 들어가므로 전도성을 저하시키는 문제가 있다. 그러므로 브레이징보다 공정이 단순하며 상대적으로 저렴한 주조를 이용한 Al-Cu 접합에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 주조 시 열에 의한 확산으로 생성되는 금속간화합물 층이 전도성에 영향을 줄 수 있다. 이 연구에서는 Al-Cu 주조 접합으로 생성된 시편이 열처리 조건에 따른 금속간화합물층의 두께 변화와 그에 따른 전도도의 변화를 조사했다. 구리 시편은 순도 99.9%인 순수 Cu재를 202020(mm)로 가공한 후 모든 면을 연마지 #600으로 기계 연마했다. 준비된 Cu 시편을 180 °C로 예열된 10015022(mm)의 흑연 몰드의 중앙에 위치시켰다. Al 용탕(순도 : 99.9%)을 흑연 몰드에 주탕(주탕온도 : 690 °C)하여 Al-Cu 주조접합 시편을 제작 후 공냉했다. 두께 4mm로 절단된 Al-Cu 시편을 기계적 연마 후 금속간화합물 층의 조성과 두께 분석은 광학 현미경, 주사 전자 현미경 및 전자 탐침 미세 분석을 이용하여 실시하였다. 열확산도 분석은 Laser Flash Analysis를 이용했다.

[P18-17]

첨가원소 함량에 따른 고용질 Al-Mg-Zn계 합금의 특성 변화 분석: 김민상, 김세훈, 주경석, 신재혁, 김진평, 성시영; 자동차부품연구원

Keywords: Al-Mg-Zn alloy, Alloy Design, Mechanical Properties

수송기기 분야에서 배출가스 및 연비 규제가 가속화됨에 따라 자동차에 적용을 목적으로 하는 경량소재에 대한 연구가 진행되고 있으며, 경량 금속 소재 중 철강 소재를 대체하기 위해 알루미늄 합금 개발의 필요성이 대두되고 있다. 또한, 최근 알루미늄 소재 수요산업의 트렌드가 고품질, 고성능, 친환경, 저비용, 에너지절감 등의 방향으로 진행되고 있어 이를 충족시키기 위한 고강도, 고연성, 고성형성 등의 고품질 알루미늄 합금이 요구되고 있다. 특히, Al-Mg-Zn계(A5xxx계) 합금은 가공경화형 알루미늄 합금으로 우수한 충격 흡수량을 나타내어 차체 구조재료로써 적용을 목표로 하지만, 소성가공의 어려움이 있어 생산성 저하에 따른 높은 가격이 문제되고 있다. 따라서 본 연구에서는 주요 첨가원소인 Mg, Zn, Cu 첨가량에 따른 shear modulus를 예측하고, 기계적 특성을 분석하여 가공성이 향상된 고품질 알루미늄 합금을 개발하고자 하였다. 연속주조를 통해 합금을 제조하고 압출하여 시편을 제조하였으며, 첨가원소 함량에 따른 기계적특성을 분석하였다.

[P18-18]

염산에칭용액의 재사용 및 유가금속 회수를 위한 전해투석에 관한 연구: 박상미¹, 김권웅², 신기웅², 현승균¹; ¹인하대학교 ²인천화학(주)

Keywords: Electrodialysis, Hydrochloric acid, Valuable metal, Recovery

일반적으로 금속을 가공하거나 표면처리하기 위해서는 불순물을 제거하는 탈지 및 에칭공정으로 강산인 황산, 염산, 질산과 불산의 혼산 등이 사용된다. 이 과정에서 산 용액 속에 금속이 녹아들고 일정 농도가상이 되면 에칭 효율이 감소하여 새 용액으로 교체하게 되는데, 이 때 폐액 속 함유된 금속은 슬러지 형태로 배출되며 매립지에 유해한 영향을 미치게 된다. 이와 관련하여 본 연구는 염산베이스의 에칭폐액에 전해투석공정 적용해서 염산에칭폐액의 재사용 및 유가금속의 회수를 목표로 한다. 전해투석에서 농축액은 염산과 황산으로 두고 실험은 농축액 산의 농도와 전압을 조정하여 진행하였으며 금속 이온은 유도결합 플라즈마 (ICP) 발광분석법으로 거동을 관찰하였다.

[P18-19]

Alloy 690합금의 입계 탄화물 석출 거동에 미치는 입계 특성 및 열처리 공정의 영향: 이태현¹, 서호영², 이종현³; ¹한국지질자원연구원, ²한국과학기술연구원, ³충남대학교 신소재공학과

Keywords: Alloy 690, M23C6 carbide, Misorientation, Solution annealing, Thermal treatment

The effect of solution annealing and aging treatment on the intergranular carbide precipitation behavior of alloy 690 tubes for steam generators is investigated. The carbides precipitated on the grain boundaries were identified as chromium-rich $M_{23}C_6$ carbide, which has a cube-cube orientation relationship with the matrix on one side of neighboring grains. The carbide precipitation behavior is closely related with the interaction between the solubility of carbon in Ni-based matrix and diffusion of alloying elements. The ultimate tensile

strength and elongation of the solution annealed alloy 690 tubes at 300 °C are 638.8 ± 12.4 MPa and $43.2 \pm 4.2\%$, respectively. In the early stage of precipitation, the ultimate tensile strength increased to 720.4 ± 13.5 MPa. The carbides function as reinforcement in alloy 690 and provide strength enhancement with aging time reached 15 hours. However, when the aging time passed 15 hours, this property gradually decreased to 710.6 ± 12.6 MPa due to the low bonding strength between the carbide and matrix.

[P18-20]

열처리 공정에 의한 Al6061/Cu 와 Al6063/Cu 클래드의 기계적 및 미세조직 변화 연구: 이종범, 박정민, 정하국; 한국생산기술연구원

Keywords: Structural, Metallic composites, Diffusion, Interfaces, Caliber-rolling

Cladding materials, which are composites formed by fusing two or more metals at their interface, are often used to realize the required functional properties that cannot be obtained from a single material. Al/Cu cladings show a reduction in weight by approximately 50% as compared to Cu, together with a 30% increase in conductivity as compared to Al. In addition, their cost is also expected to be reduced by 30% compared to Cu. Consequently, applications such as armored cables, TV yoke coils, and busbar are greatly benefited by the merits of Al/Cu cladings. Conventionally, an Al/Cu clad is fabricated by techniques; such as welding, explosion welding, extrusion, and rolling processes. In the process of metal cladding, the reaction at the interface between the Al and Cu matrix is often studied because of its influence on the mechanical properties and microstructure of the resulting composite. To date, several studies have reported the formation and growth of intermetallic composites at the interface of Al/Cu cladding materials fabricated by various processes. However, to the best of our knowledge, very few studies have analyzed the changes in microstructure and mechanical properties of the cladings containing Al alloys as a function of annealing duration. In present study, we report the change of hardness and microstructure in the Al, Cu, and the interface between these in Al6061/Cu and Al6063/Cu materials, as a function of annealing time.

[P18-21]

Comparative Analysis of Microstructural Modifying Effects of Pulsed External EM-Force at 7xxx Al-Alloys Semi-Continuous Billet Casting for Zr-Intermetallic Containing and Free Modifiers: Wonjae Kim, Mykola Slazhniev, Kyung Hyun Kim, Se Won Kim, Hyun Suk Sim; (주)동산테크

Keywords: Continuous casting, Electromagnetic stirring, Pulse magnetic field, Pressure, Oscillation, Acoustical impact, Microstructure, Grain size, Wrought aluminum alloys.

This study presents an experimental comparative analysis of micro and macrostructural modifying effects of pulsed external force MHD-effects on the process of structure formation of high-strength wrought Al-alloys 7xxx series containing and not containing Zr-intermetallic modifiers. In developing the technology and especially improving the methods of external electromagnetic impact, one of the weighty arguments is the aspect of the force external influence of MHD-processes on the formation of the microstructure of billets under continuous casting conditions. The thermodynamics of the structure formation of zirconium (0.2%) containing alloys of the 7xxx series are adequate and predictable, but the contribution and role of the external pulsed effect of the pulsating component of the pulsating magnetic field is not always clear. For an experimental study of the phenomena, the role and contribution of the pulsating and mixing components of an external magnetic field in a radial EMS for continuous casting machine of 7-inch billet, an analysis was performed for DC conditions, a traditional rotating and pulsating magnetic field for alloys of two types with and Zr (0.2%). It has been established that the use of a traditional rotating magnetic field for zirconium-containing alloys and Zr-free alloys has an insignificant effect on zones deeper than 50% of the radius, when the micro and macrostructure is identical and is in the range of 100~150 μ m. However, the axially normal component of the pulsating MHD-effect within the frequency range from 4 to 14 Hz has a cardinal refining and homogenizing effect on the size of micro grains over the entire cross section up to 80~100 μ m. At the same time, this effect is comparable in efficiency for cases with and without zirconium, which indicates the acoustic and thermal-force pulsating impact by the pulsating magnetic field.

[P18-22]

수소 플라즈마 용해에 의한 Inconel 718 합금 스크랩 내 가스 및 금속 불순물 제거: 이도선, 오정민, 임재원; 전북대학교 신소재공학부

Keywords: Inconel 718, HPAM, Refining, Impurities, Hydrogen

본 연구에서는 수소 플라즈마 용해(HPAM, Hydrogen Plasma Arc melting)를 이용하여 용해 시간에 따른 Inconel 718의 가스 및 금속 불순물 제거와 정련 메커니즘을 조사되었다. 원재료로 Solid-type의 Inconel 718 스크랩을 사용하였고, 진공 분위기에서 Ar+20Vol%H₂ 혼합가스를 주입하여 상압 조건을 충족시킨 후에 HPAM을 실시하였다. 정련된 잉곳의 미세조직 및 산화층을 관찰하기 위하여 FE-SEM 및 EDS 분석을 실시하였다. 산소/질소 분석기와 GDMS(Glow Discharge Mass Spectrometry)을 사용하여 스크랩과 정련된 잉곳 내의 가스 및 금속 불순물 함량이 분석되었다. 분석 결과 스크랩에서 관찰되었던 산화층이 HPAM에 의해 우선적으로 제거되었다. Inconel 718 스크랩 내의 산소, 질소와 금속 불순물의 함량은 각각 173 ppm, 53 ppm과 2,934 ppm으로 확인되었고, 용해 시간이 증가 할수록 Inconel 718 잉곳 내 산소와 질소 함량이 감소되었다. 30분 동안 정련된 잉곳의 총 가스 불순물과 금속 불순물의 함량은 43 ppm과 1,214 ppm으로 스크랩 대비 각각 81 및 58%의 저감율을 보였다. HPAM 내에서 아르곤 플라즈마 발생 가스에 첨가된 수소는 활성화 수소 원자로 해리된다. 활성화 수소 원자는 상압에서도 용융 금속 내 산소 및 질소와

반응하여 효과적으로 저장되었다. 또한 수소는 플라즈마 아크가 thermal pinch effect에 의해 수축되도록 야기시켜서 열 유속 밀도를 높이므로 용융 Inconel 718의 표면 온도가 상승되고 금속 증기 발생을 촉진시켜 용융 금속 내 불순물 제거에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

[P18-23]

옥살산의 저품위 티탄철석 내 철 침출에 미치는 영향 연구: 박상철, 윤흥민, 김선정; 울산대학교 첨단소재공학부

Keywords: Hematite, Leaching efficiency, Oxalic acid, Ilmenite, Titanium dioxide

전 세계적으로 산업, 의료, 국방 분야에서 다양하게 쓰이고 있는 티타늄은 철보다 우수한 소재로 주목 받고 있다. 그러나 우리나라의 경우 자체 제련 가능한 기술을 보유하고 있지 않아 매년 1조 원 이상의 루타일 (rutile), 아나타제 (anatase) 광물을 전량 수입에 의존하고 있다. 본 연구에서는 경남 하동 및 경기도 연천 지역에 매장되어 있는 19 wt% 수준의 이산화티타늄의 품위를 가지는 저품위 티탄철석을 이용하여 산업 현장에서 사용 가능한 45 wt% 이상의 고품위 티탄철석으로의 품위 변화를 시도하였다. 첨가제로써 옥살산 (oxalic acid)을 사용해 저품위 티탄철석 내의 철 구성 성분 중 하나인 헤마타이트 (hematite) 중 철 침출율을 높이기 위한 연구를 수행하고 재사용이 불가능한 황산 침출법의 단점을 극복하기 위해 재사용 가능한 염산 침출법을 적용하여 추후 공정 순환이 가능하도록 설정하였다. 염산 침출 공정을 진행하여 침출액 성분 분석을 통한 침출 효율과 침출 후 남은 산화물에 관한 성분 분석을 진행하여 염산 농도, 옥살산 첨가량, 온도에 따른 티탄철석의 품위 변화를 나타내었다.

[P18-24]

Cu-Ni 리드 프레임의 황산침출에서 산화제의 영향: 김준현¹, 이재진², 김민석², 박현식², 최경섭¹; ¹과학기술연합대학원대학교 ²한국지질자원연구원

Keywords: 리드 프레임, 황산, 산화제, 선택적 침출, 토탈 리싸이클링

반도체 제조공정에서 발생하는 리드 프레임 스크랩은 천연광물에 비하여 수십에서 수백 배 높은 품위의 귀금속 및 희소금속을 함유하고 있기 때문에 매력적인 2차 자원으로 효율적인 재활용이 필수적이다. 본 연구에서는 리드 프레임의 모재인 구리 표면에 얇은 막으로 코팅되어 있는 니켈을 선택적으로 침출하여 제거함으로써 구리를 다시 리드 프레임의 소재로 재활용하는 공정개발을 시도하였다. 또한 니켈의 황산 침출 시 니켈 층에 존재하는 금과 팔라듐의 거동을 조사하여 리드 프레임의 토탈 리싸이클링에 대한 가능성을 조사하였다. 니켈과 구리의 침출에 영향을 미치는 인자를 고찰하기 위해 침출온도, 황산농도, 침출시간, 광액농도, 산화제의 종류 및 산소 분사율을 변수로 설정하였고, ICP(Inductively Coupled Plasma)를 사용하여 침출액의 성분분석을 진행하였다. 황산에 의한 니켈의 침출은 침출실험 초기부터 급격히 진행된 반면 구리의 침출은 초기반응시간에 거의 일어나지 않고 니켈 코팅이 대부분 침출된 후 침출이 진행되었다. 침출실험 조건을 변화시키며 실험을 진행한 결과 침출온도, 황산농도, 침출시간, 산소 분사율이 증가함에 따라 니켈의 침출이 향상되었고, 광액농도의 증가에 따라 니켈의 침출이 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 리드 프레임 최적 침출조건에서 표면에 코팅된 니켈의 96%까지 선택적 침출이 가능하였으며 구리, 금, 팔라듐을 농축시킬 수 있었다. 최적 침출조건은 침출온도, 90 °C; 황산농도, 1.0 M; 산소 분사율, 1.0 l/min; 광액농도, 1.5%; 침출시간, 1 h이다. 산화제를 첨가한 황산용액에서 리드 프레임의 선택적 니켈 침출을 통하여 구리, 니켈, 금, 팔라듐의 토탈 리싸이클링 가능성을 확인하였다.

[P18-25]

불용성 양극을 이용한 아연 전해회수의 반응속도론적 연구: 김동현, 김선정; 울산대학교 첨단소재공학부

Keywords: Zinc, Sulfuric acid, Insoluble anode, Electrowinning, Reaction kinetics

아연은 다량이 지하에 매장되어 있는 금속으로 매해 생산량과 소모량이 꾸준히 증가하고 있는 금속으로 알려져 있다. 대부분의 아연은 부식을 방지하기 위한 용도로 사용되고 일부는 낮은 용점을 이용하여 주물을 만드는데 사용된다. 이러한 아연은 습식 전해회수 과정을 통해 생산이 되고 있으며, 생산 과정의 가장 큰 손실은 생산에 사용되는 전력량에 따른 비용이다. 전력량을 감축하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔지만 전극재에 대한 연구가 부족한 것이 현실이다. 따라서, 현재 사용되는 전해회수 환경보다 전류효율을 높이고 원가를 절감할 수 있는 전해회수 환경을 만들어 주기 위해 기존의 황산 아연과는 달리 산화아연을 전해질로 사용하고, 아연 제련산업과 동일하게 알루미늄판을 환원전극으로 이용하였으며, 전극의 재사용률 및 안정성을 높이기 위해 이리듐-탄탈륨 산화물 촉매 층을 지닌 불용성 전극을 산화전극으로 사용하였다. 순환전압전류법을 이용하여 아연의 전해 산화/환원거동을 확인하였으며, 전해환원 전류밀도를 변수로 설정하여 아연의 전해회수 거동을 연구하였다. 산화아연 속의 아연의 함량과 황산의 농도를 조절하여 각 농도조건 별 아연 전해환원의 전류효율과 전력량을 비교 연구 및 각 전해질 농도의 변화가 과전압에 미치는 영향과 확산 속도에 미치는 영향을 연구하였다.

[P18-26]

미량원소가 Al-Mg 합금의 항복강도에 미치는 영향: 김세훈, 김민상, 주경석, 신재혁, 김진평, 성시영; 자동차부품연구원

Keywords: Alloy Design, Yield Strength, Minor Element, Al-Mg Alloy

알루미늄 합금은 일반적으로 주조재와 전신재 합금으로 나뉘며, 각각은 요구되는 특성에 따라 다양한 원소가 첨가되어 수송기기 분야뿐만 아니라 다양한 분야에 수십 종 이상의 합금이 적용되고 있다. 특히 자동차용 알루미늄 합금은 적용 부품에 따라 합금 성분이 다른 경우가 많아 재활용 시에는 합금원소 차이로 인해 저급의 스크랩으로 활용되는 문제점이 있다. 이에 본 연구에서는 주조재와 전신재 사이의 차이를 극복하여 주조-전신재 모두 적용이 가능하고 수송기기에서 요구되는 다양한 기계적 특성을 만족할 수 있는 Al-Mg계 합금을 개발하였으나, 열처리 합금에 비해 항복강도가 낮아 부품 적용에 한계가 있다. 본 연구에서는 비열처리 Al-Mg

합금의 낮은 항복강도 특성을 향상시키기 위한 합금 설계를 진행하였으며, 이를 통해 도출된 알루미늄 합금은 해당 조성에 맞게 첨가원소를 각각 칭량한 후 20KW 유도용해로를 통해 용해하여 빌렛 형태로 중력 주조하였다. 제조된 빌렛은 200ton 압출기를 통해 25:1의 압출비로 압출하여 미세조직을 평가하고 인장시험을 통해 기계적 특성 평가를 실시하였다.

[P18-27]

순환공정을 이용한 금속산화물 환원 기술: 김성욱, 전민구, 강현우, 최은영; 한국원자력연구원.

파이로프로세싱에서 사용후핵연료 내 U 및 TRU(transuraniuc element)를 전기화학적으로 분리/회수 하기 위해서는 산화물 형태의 사용후핵연료를 금속 형태로 환원 시키는 공정이 선행되어야 한다. 현재 파이로프로세싱에서는 전해환원공정을 통해 이러한 금속 산화물 환원 반응을 수행하고 있다. 전해환원공정은 LiCl(-Li₂O) 용융염 전해질 내 전기화학반응을 통해 이루어진다. LiCl(-Li₂O) 전해질의 전기분해를 통해 생산된 금속 Li는 산화물 사용후핵연료를 금속 형태로 변환 시킨다(예: UO₂ + 4Li = U + 2Li₂O). 반응 중 생성된 Li₂O는 화학적/전기화학적 방법에 의해 재분해되어 용융염 전해질 내 Li₂O 농도는 일정 수준으로 유지된다. 전해환원공정은 전기화학적 금속 Li 생성반응과 화학적 금속산화물 환원반응의 속도를 효과적으로 제어해야 한다. 두 반응 속도가 균형을 이루지 못하는 경우 반응효율이 감소하고 미반응 금속 Li에 의해 각종 부반응이 일어날 수 있다. 이러한 반응 불균형 문제는 장치 규모가 증대 됨에 따라 심화되며, 이에 따라 대형장치 개발에 큰 어려움이 따른다. 본 연구에서는 기존 전해환원장치와 달리 전기화학반응과 화학반응을 분리된 반응기에서 각각 진행하는 새로운 환원 공정을 제시하고자 한다. 두 반응을 분리시키는 경우 예상되는 문제점은 금속 Li의 공급과 용융염 내 Li₂O 농축으로 인한 화학적 환원 반응효율 저하이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Li₂O 스캐빈저(ZrO₂ 등)를 이용한 순환공정을 제시하였다. Li₂O 스캐빈저를 이용해 환원 반응 시 형성된 Li₂O를 포집(Li₂O + ZrO₂ = Li₂ZrO₃)함을 통해 용융염 내 Li₂O 농도를 일정 수준 이하로 유지할 수 있다. Li₂O를 흡수한 스캐빈저는 Cl₂를 이용한 재생공정을 거쳐 재생 될 수 있으며, 이 때 Li₂O와 LiCl이 생성된다(Li₂ZrO₃ + Cl₂ = 2LiCl + ZrO₂ + 0.5O₂). LiCl은 전기분해의 원료물질로서 사용되어 금속 Li와 Cl₂를 생성하게 된다. 본 순환공정은 사용후핵연료의 환원 반응 뿐 아니라 다른 금속산화물의 금속 변환 공정에서도 폭넓게 사용될 것으로 기대된다.

P19 : 마그네슘

Room 전시장 III, 4월 26일

[P19-1]

AZ91 합금의 고온 평면변형압축 변형에 따른 집합조직 형성거동: 한동근¹, 고민성², 강창룡², 김권후²; ¹부경대학교 마린융합디자인 협동과정, ²부경대학교 금속공학과

Keywords: 마그네슘, 집합조직, 동적재결정, 평면변형압축

마그네슘은 우수한 비강도, 진동 감쇠능, 열전도율과 같은 우수한 특성을 가지고 있으며 휴대용기기, 자동차 부품, 구조재와 같은 경량재료로 사용되고 있다. 그러나 HCP 결정구조적 특성으로 인해 상온에서 활성 슬립시스템이 적어 가공이 어렵고, 가공 후 나타나는 저면 집합조직으로 인해 후가공성 또한 좋지 않다. 이전 연구에서는 AZ91 마그네슘 합금의 고온 단축 압축 변형 중 집합조직 형성 거동에 대해서 연구하였다. 그 결과 변형조건에 따라 집합조직의 주성분 및 발달정도가 달라지는 것을 발견했다. 그러나 단축 압축실험의 변형조건은 제한적이므로, 이번 연구는 다양한 변형조건에서 초기 집합조직이 다르게 형성된 AZ91 마그네슘합금의 집합조직 발달을 관찰하기 위해 평면변형압축 실험을 수행하였다. 초기 시편은 주조재 AZ91 마그네슘 합금을 673K 및 723K에서 압축을 30%로 압연하여 {0001} 집합 조직을 갖는 압연재로부터 각기 다른 초기 집합조직을 가진 3종의 시편을 가공한다. 이 후 723K에서 1시간 동안 열처리한다. 평면변형 압축 실험은 673, 723K에서 변형속도 5×10^{-4} s⁻¹~ 5×10^{-2} s⁻¹, 변형률 -0.4에서 -1.0 조건에서 수행되었으며 시편은 수냉 시킨 후 XRD, EBSD를 통해 결정방위분포를 분석한다. 이 연구에서 모든 시편의 진 응력-진 변형을 곡선에서 가공연화 현상이 관찰되었다. 미세조직 관찰 결과 변형률의 증가와 함께 결정입계가 줄어들었다. 저면 집합조직은 변형속도에 따라 빠른 변형속도에서는 저면 집합조직의 강도가 강하게 나타나고 느린 변형속도에서는 spread된 저면 집합조직을 갖는다. ODF 분석에서 관찰 된 두 유형의 방위성분(orientation component) {0001}, {0001}{1010}은 모든 시편에서 다른 방위성분(orientation component) 보다 높은 방위밀도(orientation density)를 갖는다.

[P19-2]

AZX611 마그네슘 합금의 단축압축 실험에 대한 미세조직 변화 거동: 김기범¹, 이정훈², 남기우³, 김권후²; ¹부경대학교 ²부경대학교 금속공학과, ³부경대학교 재료공학과

Keywords: 마그네슘, 미세 조직, 재결정

마그네슘 합금의 상용합금인 AZ61은 알루미늄이나 철계 합금에 비해 비강도가 높으며 Mg와 유사한 밀도를 가지는 Ca를 첨가하였을 때, Mg 합금에서 (MgAl)₂Ca의 제 2상 형태로 입계에 석출하여 조직 미세화 영향을 주며 인장 특성과 크리프 특성을 증가하는 역할을 한다. 하지만 AZX611은 조밀 육방 격자구조로 슬립계의 부족으로 이방성이 강하고 낮은 가공성을 나타내므로 가공재료 사용 시에는 일반적으로 열간 가공을 실시한다. 하지만 열간가공 이후 발생하는 저면 집합조직은 후가공에 불균일변형을 초래한다. 따라서 이러한 저면 집합조직 형성 메커니즘을 연구하기 위해 이번 연구에서 AZ61 합금에 1% Ca원소를 첨가한 AZX611 합금에서 SS curve와 미세조직의 변화 거동을 관찰하여 재결정에 의한 저면 집합조직의 변화를 조사하기 위해 열처리 후 고온 단축압축을 실시하였다. 초기 시편은 AZX611 주조재를 673K의 온도에서 압축을 30%로 열간 압연을 진행하고 원통형으로 제작하였으며 723K의 온도에서 균질화 열처리를 실행했다. 단축압축 실험은 673K, 723K의 온도에서 -0.4, -0.7, -1.0의 변형률과 5×10^{-4} ~ 5×10^{-2} 의 변형속도로 압축 후 수냉 하였으며, 이후 TD면을 부식시켜 미세조직을 관찰하고 압축 실험에서 얻은 데이터를 통해 SS curve를 분석하였다. SS curve에서는 변형률이 낮은 구간에서 응력이 증가하다가 일정 변형률 이후 감소하는 가공 연화를 나타내었으며, 각각의 조건에서 미세조직은 공통적으로 변형률이 증가할수록 결정립의 크기가 감소하다가 일정 수준 이상에서는 다시 결정립이 성장하는 거동을 보였다.

[P19-3]

Hot Deformation Behavior of Mg-Zn-Y Alloys During Multipass Torsion Testing: Yong Jae Kim, Sang-Wook Kim, Hyeon-Woo Son, Chang-Hee Cho, Jae-Cheol Lee, Soong-Keun Hyun; *Department of Materials Science and Engineering, Inha University.*

Keywords: Mg-Zn-Y alloy, Hot deformation, Multipass, Recrystallization.

In order to investigate SRX, MDRX and DRX behavior, multi-pass torsion test of as-cast Mg-Zn-Y alloys was implemented. The torsion test was performed with variations ; the temperature of 400-500 °C, strain rate(/sec) of 0.05-5, interrupted time(sec) of 0.5-100 and pass strain of 0.25-2ε_p. Before torsion test, heat treatment at 300, 400, 500 °C for 6 hours had been carried out. The results show that the alloy with I-phase pre-heated at 300 °C exhibits lower SRX and DRX behavior and faster SRV and DRV behavior compared to alloy with W-phase pre-heated at 400 °C which is thought to be the low interface energy of I-phase. For quantitative comparison, the fraction of recrystallization is determined from the flow curve. The dependence of temperature and stain rate is also discussed.

P20 : 상변태
Room 전시장 III, 4월 26일

[P20-1]

Zr-TM 이성분 비정질 합금의 특성 변화간 상관관계 고찰: 김경준, 류욱하, 안혜상, 박은수; 서울대학교 재료공학부

Keywords: Zr-TM alloy, Glass-forming region, Low glass transition temperature, high mechanical stability, Thermo-plastic forming ability

Zr 원소는 Cu나 Ni, Co, Fe 같은 전이금속 (Transition metal, TM)과 큰 원자 반경 차이 및 커다란 음의 혼합열을 가져 비정질 형성을 위한 경험적인 법칙에 부합하는 관계에 있으며, 넓은 조성 영역에 걸쳐 다수의 깊은 공정 조성을 포함한다. 이 때문에, 이성분 합금시스템 임에도 불구하고 넓은 조성영역에서 비정질 형성이 가능하며, 특정 조성에서는 벌크 비정질화도 가능한 것으로 알려져 있다. 하지만, TM의 유사한 특성에도 불구하고 Zr-TM 이원계 비정질 합금에서 조성변화에 따른 특성 변화간 상관관계에 관한 연구는 Zr-Cu 시스템에 대해서만 제한적으로 진행되고 있는 실정이다. 이러한 사실에 기초하여 본 연구에서는 Zr과 전이금속 간 이성분 비정질 형성 합금 시스템에서 비정질 형성능, 열 특성 및 기계적 특성 변화에 대해 체계적으로 고찰하고 그 상관관계를 규명하고자 하였다. 결과로써, Zr-TM 이원계 합금시스템은 TM과 무관하게 Zr 함량이 증가함에 따라 유리전이 온도(T_g)가 감소하는 독특한 현상을 나타냄을 확인할 수 있었다. 또한, 이러한 조성에 따른 열 특성 온도 변화가 탄성 계수 등 다른 물리적 성질과 밀접한 관계를 가짐을 확인하고, 조성에 따라 T_g 가 변화하는 현상이 가지는 물리적 의미에 대해 고찰했다. 이와는 달리, 기계적 특성은 Zr 함량에 따라 비례하는 변화뿐 아니라 Dense packing 정도와 밀접한 상관관계를 가지고 변화함을 확인할 수 있었다. 본 연구를 통하여, 기존의 비정질 형성능이 높은 특정 합금계 및 조성을 고찰하는 한정된 연구에서 벗어나, 비정질 합금의 실제 산업적 응용을 위한 열성형 공정에 적합하면서도 더 유연한 기계적 특성을 갖는 비정질 신합금 개발의 새로운 연구 방향을 제시하였다는 의의를 가진다.

[P20-2]

Al계 비정질 합금의 급냉 온도에 따른 국부 원자배열 변화: 나민연¹, 김원태², 김도향³, 장혜정¹; ¹한국과학기술연구원 특성분석센터, ²청주대학교 레이저광정보공학과, ³연세대학교 신소재공학과

Keywords: Al계 비정질 합금, 급냉 온도, 국부 원자배열

비정질 합금은 승온 시에 유리전이 온도와 결정화 전, 다른 결정질 합금에서 관찰할 수 없는 뛰어난 소성 특성을 보이는 과냉각 액체구간이 존재한다. 이를 이용해 과냉각 액체구간 내에서 열가소성 변형을 통한 복잡한 소형 부품이나 표면 패턴을 제조할 수 있다. 비정질의 열가소성 변형 능은 크게 과냉각 액체구간에서의 열적 안정성과 취도에 의해서 영향을 받는데, 이는 비정질의 국부원자 배열과 관련이 있다고 보고된 바 있다. 따라서 본 실험에서는 비정질의 열가소성 변형의 최적조건을 찾기 위한 하나의 방법으로 같은 조성의 Al계 비정질 합금에서 급냉 온도만 달리하여 이것이 국부원자 배열, 즉 취도에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 확인하고자 하였다. 본 실험에서는 Al계 비정질 합금의 대표적 조성중 하나인 Al85Ni5Co2Y8 비정질 합금을 대상으로, 1273 K 부터 1573 K까지 100 도 간격으로 급냉 온도를 달리하여 X-선 회절(XRD) 결과의 prepeak과 시차 주사열량계 (DSC)를 이용해 국부원자배열을 분석하였다. 또한 승온속도를 변화 시킨 DSC 결과를 이용해 간접적으로 과냉각 액체구간의 취도를 확인하였고, 열기계분석기를 통해 실제 시편의 점도를 비교해보고자 했다. 실험 결과, 낮은 급냉 온도에서 제조한 비정질 시편의 경우 비정질 기지 내에 이중원자들로 이루어진 중거리 원자배열의 양이 많았고, 반대로 높은 급냉 온도에서 냉각 시에는 중거리 원자배열의 양이 적어짐과 동시에 급냉 시 핵생성이 일어남을 확인할 수 있었다. 결과적으로 승온 시 과냉각 액체구간에서 취도를 높이는데 긍정적 역할을 한다고 보고된 중거리 원자배열의 양이 많은 낮은 급냉 온도의 시편이 가장 낮은 점도값을 보였고, 급냉 시의 핵생성과 상대적으로 적은 중거리 원자배열의 양으로 인해 급냉 온도가 증가할수록 점도 값이 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 국부 원자배열은 급냉 온도에도 민감하게 변하며, 적절한 급냉 온도로 열가소성 변형능을 최적화 할 수 있음을 시사한다.

[P20-3]

탄소강의 상변태 및 미세조직이 부식 기구에 미치는 영향: 이삼우, 이호연, 이충혁, 백혜원, 라찬식, 이민재, 이승백, 최병학; 강릉원주대학교 신소재금속공학과

Keywords: 상변태, 미세조직, 탄소강, 부식기구

탄소강 재료로 만들어진 배관, 용기 및 부품은 일반 산화 외에도 대략 여섯 가지 분위기에서 부식이 발생된다. 염소, 황 부식은 기본 부식기구이며 암모니아, 이산화탄소, 아세틸렌 및 염기성 부식 영향성을 들 수 있다. 여기에 수소균열을 일종의 부식현상으로 포함시킬 수 있다. 본 연구에서는 탄소강이 겪는 각종의 부식현상을 제시하고 그 특징을 소개하고자 한다. 또한 탄소강의 미세조직과 상변태 현상 분석을 통하여 이것들이 이러한 부식 기구에 미치는 영향성을 정리하고 평가하였다. 이를 통하여 강 재료 부품의 부식 방지 또는 억제 방안을 제시하고자 한다.

[P20-4]

21Cr Lean Duplex Stainless Steel에서 미세조직에 미치는 Mo와 Ni의 영향: 윤병준¹, 최중규¹, 이만재¹, 안용식²; ¹포항산업과학연구원 분석평가그룹, ²부경대학교 재료공학과

Keywords: Duplex Stainless steel, Phase transformation, Thermal martensite, Austenite stability

Duplex Stainless Steel(DSS)에서 페라이트/오스테나이트의 평형 상분율은 Ni, Cr, Mo, C, N 등의 첨가원소와 소둔 열처리 조건에 의존한다. DSS에는 내식성 특히 내공식성을 위해 일반적으로 Mo이 3%-5% 정도 첨가되어 있다. 그러나 Mo은 함유 시 소둔열처리 동안 또는 중간온도에서 장시간 유지되는 조건에서 2차상의 석출을 발생시키며 그로인해 기계적 성질의 열화 및 내식성의 급격한 저하 등이 유발된다고 알려져 있다. 특히 2차상의 형성과 관련된 국부적인 조성변동은 오스테나이트의 안정성을 변화시킨다. 본 연구에서는 21Cr Lean DSS에서 Mo을 0%-2%, Ni을 0 또는 1% 첨가한 강을 용해주조 및 열간 압연하여 각 소둔온도에서 α 와 γ 상의 상분을 변화를 조사하였고, 이에 따른 충격특성 및 기계적성질에 미치는 영향을 조사하였다. 상분을 측정결과 Mo의 함량이 증가함에 따라 α 상의 분율은 꾸준히 증가하였고, Ni-free강에 비해 1Ni강의 α 분율은 현저히 낮았다. 이는 각 소둔 온도별로 동일한 양상을 나타내었다. Mo함량 증가에 따른 충격에너지는 연속적으로 감소하였으며, 특히 1000 °C에서 소둔한 Ni-free강에서 눈에 띄게 감소하였다. 각 소둔온도 별로 thermo calc로 계산된 α 상의 평형 상분율과 ferrite scope로 측정된 α 분율은 상당한 차이를 나타내었으며, 이는 소둔 후 냉각 중에 형성된 열적 마르텐사이트의 형성 때문임을 확인되었으며, 따라서 Mo 및 Ni 원소의 첨가량이 열적마르텐사이트의 형성 즉 오스테나이트의 안정도에 미치는 영향에 대해 조사하였다.

[P20-5]

SS304에서 상변태가 응력부식균열에 미치는 영향: 이상우, 김유석, 김종문, 배재준, 이우석, 한성희, 김대현, 최병학; *강릉원주대학교 신소재 금속공학부*

Keywords: 상변태, SS304, 응력부식균열

오스테나이트계 스테인레스강인 SS304는 비교적 낮은 Ni 함유량 (8% 이상)으로 인하여 변형유기 상변태 우려가 크다. 그리고 이러한 상변태는 응력부식균열에 영향을 미칠 것인데, 이에 대한 구체적인 고찰이 부족하다. 본 연구에서는 SS304의 변형유기상변태 현상과 이것이 CI에 의한 부식과 균열발생 기구를 고찰하였다. 오스테나이트계 스테인레스강의 응력부식균열 현상을 언급하고, 여기에 관련되는 상변태 현상을 TEM으로 분석하였다. 이를 통하여 SS304 가공과 열처리의 제조에 따른 응력부식균열 요인을 찾아내고 이것의 억제 방안을 제시하고자 하였다.

[P20-6]

비정질상을 전구체로 이용한 L1₀-FeNi상의 형성과 분해: 노태기, 이 승훈, 김진영; *경북대학교 금속공학과 나노구조재료연구실*

Keywords: Nanostructured Fe Ni alloy, phase transformation, L1₀-FeNi, magnetic property

오늘날 풍력발전, 태양광 발전과 같은 신재생 에너지 사업과 전기 자동차 등의 산업 분야가 확대됨에 따라 희토류계 고효율 영구자석의 필요성이 증가 되었다. 그러나 희토류계 자석이 갖는 자원의 희소성, 고비용, 자원 수급의 문제점 등이 지속적으로 제기되어 희토류 저감 및 대체 자성재료에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 비 희토류계 재료인 L1₀-FeNi는 희토류계 영구자석 에너지적 (Energy Product) 에 준하는 이론적 에너지적 가지고 있어 단일상의 L1₀-FeNi 를 제작하는 경우 실온에서 최대 56 MGOe의 에너지적 값을 가질수 있다. 하지만 L1₀-FeNi의 화학적 질서-무질서 전이온도 부근 (chemical order-disorder transition temperature; 593 K)에서 벌크 L1₀-FeNi 자성재료를 제작하는 것은 Ni의 무 확산에 가까운 확산에 의해 거의 불가능 하다고 할 수 있다. 본 연구는 결정화가 일어날 때 동반되는 높은 확산 속도와 핵 생성 구동력을 이용하여 저온에서 L1₀-FeNi상 형성이 가능한 준 안정상 전구체를 제작하기 위해 비정질/나노결정질 FeNi 기지 합금조성을 설계 하였고 열처리를 통해 비교적 단기간에 L1₀-FeNi상의 형성을 가능하게 하는 준 안정상 전구체를 제작할 수 있었다. 또한 열처리 시간에 따른 FeNi 합금의 자기적 특성평가와 XRD 상분석을 실시하여 합금 내부에서의 L1₀-FeNi 상의 형성 및 분해에 따른 자기적 특성 변화 거동을 연구하였다.

[P20-7]

Ni-Rich Ti-Ni-Fe 형상기억합금의 R상변태 거동: 김진윤¹, 차재호¹, 마봉건², 김재일¹; ¹ *동아대학교 공과대학 금속공학과*, ² (주) *현테크*

Keywords: Ti-Ni-Fe, Ni-rich, Shape memory alloy, R-phase, Annealing, Thermal cycle

Ti-Ni기 2원계 합금에서는 B2phase, B19'phase 및 R-phase가 있으며 이 상들 간에는 B2 \leftrightarrow R, R \rightarrow B19' 및 B2-B19'의 세 가지 변태를 한다. 이들 모두는 마르텐사이트 변태이며 형상기억 특성을 발현한다. 특히 B2 \leftrightarrow R상 변태는 전위, Ti Ni 석출물 및 제 3원소 첨가에 의하여 발생하며 R상변태의 출현으로 B2 \leftrightarrow R \leftrightarrow B19'의 2단계 변태과정을 거치게 된다. B2 \leftrightarrow R상 변태는 작은 격자 변형을 가지므로 작은 변태 변형율과 온도 히스테리시스를 가진다. 이 때문에 반복적인 변태에서 작은 미세조직의 구조적 결함을 보이므로 온도응답성이 우수하며 actuator의 재료로써 응용이 기대된다. 이와 같은 B2 \leftrightarrow R변태의 응용을 위해서는 R상 변태온도의 제어가 중요하다. 선행 연구에서는 equi-atomic 조성의 Ti-Ni기 2원계 합금에 제3원소 Fe를 첨가하여 R상 변태거동에 미치는 영향을 조사하였다. Fe첨가는 R \rightarrow B19' 마르텐사이트 변태온도의 감소와 R상을 안정화시키는 효과를 보였다. 하지만 Ni 조성에 따른 석출거동과 R상 변태온도 변화는 체계적으로 보고되어 있지 않다. 그러므로 본 연구에서는 Ni-rich Ti-Ni-Fe 합금의 Ti Ni 석출물이 R상 변태 및 형상기억거동에 미치는 영향을 조사하였다. DSC를 이용하여 Ni-rich Ti-Ni-Fe 합금의 조성 및 열처리에 의한 R상 변태온도 변화를 측정하였다. 또한 반복적인 변태에 의한 R상 변태거동의 변화를 조사하기 위하여 열싸이클 테스트를 수행하였고 인장 시험기를 이용하여 형상기억특성을 평가하였다.

[P20-8]

Suppressing Spinodal Decomposition by Adding rGO into (Sn_{0.5}Ti_{0.5})O₂ Solid Solutions: 최윤희; *대구가톨릭대학교*

Keywords: SnO₂-TiO₂, Solid solution, Spinodal decomposition, Phase separation, Reduced graphene oxide

The phase diagram for SnO₂-TiO₂ solid solution has the well-defined miscibility gap which is a phase-separation region by spinodal decomposition. Such spinodal-decomposed phases in SnO₂-TiO₂ system have been widely explored in fundamental phase transformation study as well as applications to gas sensors and photocatalysts, since it is one of few ceramic systems with spinodal decomposition. On the other hand, phase separation is sometimes regarded as an adverse phenomenon to be avoided in practical applications. In this presentation, we show that the incorporation of rGO into (Sn_{0.5}Ti_{0.5})O₂ solid solution suppresses its spinodal decomposition by structural characterization using X-ray diffraction (XRD) method and field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM), and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). The mechanism will be discussed in terms of composition and oxidation state.

[P20-9]

Fabrication and Mechanical Responses of Quasicrystal Nanoparticle: 유근희, 김지영, 박은수; 서울대학교

Keywords: TiZrNi quasicrystal, Phase separation, Selective dealloying, Size effect, Pico-indentation

The discovery of quasicrystals (QC) unveiled a class of matter which exhibits long-range order but lacks translational periodicity. Owing to their differentiated structure, quasicrystals exhibit unique properties such as high hardness, wear-resistance, and high hydrogen storage ability. Despite there have been several attempts to clarify the deformation mechanism of quasicrystals, the unique deformation mechanism of quasicrystal at room temperature, which is induced by the absence of translation symmetry, is still undisclosed because of its intrinsic brittleness at room temperature. However, nanoscale deformation might be a clue to unveil deformation mechanism of quasicrystal because quasicrystals under hundreds of nanometers exhibit ductile behavior at room temperature, which is recently reported through pillar compression test. In the present study, we suggested novel method to fabricate quasicrystal nanoparticles using selective dealloying of phase separated TiZrNi-Y alloy and measure its mechanical responses through pico-indentation technique. To induce the phase separation behavior, we systematically controlled Y contents in Ti₄₀Zr₄₀Ni₂₀ composition, which results in droplet structure and interconnected structure of TiZrNi-enrich quasicrystal phase depending on the position of miscibility gap. Through selectively dissolving Y-enrich matrix by nitric acid, we can fabricate the spherical quasicrystal nanoparticles. Indeed, we investigate the size-effect as well as deformation behavior of QC nanoparticles through compression test using pico-indentation technique. This study provides a novel method how to fabricate QC nanoparticles and improves understanding of their deformation mechanism at room temperature.

P21 : 알루미늄

Room 전시장 III, 4월 26일

[P21-1]

함침(Infiltration)법으로 제조된 Nano-Al₂O₃ 입자분산 Al 6061 합금기 복합재의 고온 유동응력 모델링: 연규호¹, 김복순¹, 유승백²,
¹인하대학교 신소재공학과, ²동양피스톤

Keywords: Nano sized Al₂O₃, Al6061 based MMC (metal matrix composite), Compressive test, Constitutive equation

내연 엔진의 고성능화 및 연비 향상을 위해서는 엔진의 출력 향상 및 폭발압 증대가 필수적이며, 이에 따라 엔진의 핵심 부품인 피스톤의 고강도화, 고기능화가 요구 되고 있다. 미세한 크기의 세라믹 입자가 분산 강화된 Al 합금기 복합재는 강도 및 내마모성이 우수하고, 열팽창 계수가 낮아 이러한 요구를 만족 시킬 수 있는 피스톤 소재로 주목 받고 있다. 본 연구에서는 함침(Infiltration)법으로 제조된 Nano-Al₂O₃ 입자분산 Al 6061 합금기 복합재를 대상으로, 고온에서 피스톤 형상으로 성형하는 경우에 필요한 기초 데이터를 얻고자, 고온 유동응력에 대한 모델링을 행하였다. 이를 통해 구한 예측값과 실험값을 비교하여 상관계수(Correlation coefficient) 및 평균절대상대오차(Average absolute relative error)에 대해서도 평가하였다.

[P21-2]

Al-Zn-Cu 합금의 Mg 원소 함량 첨가에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화: 김용호, 유효상, 손현택; 한국생산기술연구원
Keywords: Aluminum, Electric conductivity, Texture, Extrusion, 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 가능하다. 본 연구에서는 Al-Zn-Cu계 알루미늄 합금의 강도 향상을 위한 Mg(0.1, 0.3, 0.5 및 0.7 wt%) 원소의 첨가 영향과 첨가량 변화에 따른 2차 상의 분포, 미세조직 및 전기전도도 특성에 관한 연구를 수행하였다. 사용된 알루미늄 합금은 고주파용해로를 이용하여 제조하였고, 200 °C 온도도 예열된 금형(ø80×200 mm)을 사용하였다. 압출 가능하도록 가공된 빌렛(Ø70×90)을 550 °C 4시간 균질화 처리 후 500 °C에서 직접압출을 통하여 12 mm 직경의 봉상 압출재를 제조하였다. 미세조직 분석을 위해 FESEM, EBSD를 사용하였고, 상 분석 및 전기적 특성 분석을 위해 X-선 회절분석과 전기전도도 분석기가 사용되었다. 압출 및 합금원소 첨가에 따른 기계적 특성을 평가하기 위해 인장시험을 실시하였다.

[P21-3]

희토류 첨가형 알루미늄 합금 개발 및 기계적 특성 향상을 위한 연구: 원성재, 소형섭, 김규현; 한국생산기술연구원

Keywords: 경량소재, 알루미늄, 희토류, 미세구조분석

최근 경량화 효율 극대화를 위하여 기존 단일소재로 이루어진 기기 구성 방식에서 부위별 경량화 효율을 극대화 할 수 있는 Multi materials mix 개념의 연구가 이루어지고 있으며, 철강을 대체하는 알루미늄합금, 마그네슘합금, 탄소섬유복합재(CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic) 등의 경량 소재의 활용이 증가하고 있다. CFRP 및 마그네슘 합금은 고비용의 성형성 및 발화위험성에 기인하여 알루미늄 합금 대비 효율이 떨어지는 경향을 보이며, 기기를 구성하는 소재의 비용 자체가 기존의 기기와 크게 차이가 나지 않도록 저비용 소재 채용이 필수적으로 요구됨에 따라 고품질의 알루미늄 합금 소재의 수요가 증가하였다. 알루미늄 합금 중 가장 강도가 높아 경량화에 유리한 Al-Zn-Mg-Cu 합금과 내식성이 우수하여 산업 전반적으로 범용성을 가지는 Al-Cu-Mg 합금 개발에 대한 연구를 진행하였다. 본 연구에서는 Al-Zn-Mg-Cu 및 Al-Cu-Mg 합금에 REEs 원소를 첨가하여 합금 설계를 진행하고 미세 구조 및 상 분석을 통하여 입계 및 입내에서 각각 첨가된 REEs 원소에 대한 역할을 규명하고자 하였다. 또한, 분석 결과를 바탕으로 기계적인 특성 평가를 진행하고 고강도 특성을 갖는 REE 원소가 첨가된 새로운 알루미늄 합금을 개발하는 것을 최종 목표로 하였다.

[P21-4]

Al-Cu-Mg 합금의 용체화 처리 온도 및 시효 처리 조건에 따른 특성변화 분석: 유가영, 김동배, 전진현; (재)대구기계부품연구원

최근 차량의 연비향상을 위한 자동차 부품 경량화의 일환으로 철강재를 대체한 비철소재의 적용시도가 점차 확대되고 있다. 가장 활발하게 적용되는 경량소재는 알루미늄 6000계 합금으로 성형이 용이하다는 장점을 가지고 있으나, 비교적 낮은 인장강도를 나타내고 있어 250MPa이상의 강도를 요구하는 부품에는 적용이 불가능하다는 한계성을 가지고 있다. 이러한 이유로 최근 합금개발 및 시효열처리, 가공경화를 통한 Al 합금의 고강도화 기술 개발이 시도되고 있다. Al 6000계 합금보다 더욱 높은 강도를 가지는 Al 2000계 및 7000계 합금은 성형난이도, 가격 등의 다양한 이유로 항공기부품 및 특수기계부품에만 제한적으로 적용되고 있다. 알루미늄 2000계 합금은 시효경화처리를 통해 인장강도를 450MPa까지 구현할 수 있기 때문에 이를 이용하면 보다 폭 넓은 경량화 대체가 가능할 것으로 예상되며, 이를 위해서는 이 소재에 대한 시효특성 데이터베이스 확보가 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 알루미늄 2000계 대표 합금인 Al2014 합금의 시효 경화열처리 조건에 따른 특성변화를 확인하고자 하였다. 이를 위하여 시효 온도 및 시간을 다르게 설정하여 열처리를 실시하고, 기계적특성 및 미세조직 관찰을 통하여 특성 변화를 관찰하였으며, 이를 통해 적절한 시효 조건을 도출하고자 하였다.

[P21-5]

Enhancement of Electric Conductivity, Thermal Conductivity and Formability in the Extruded Aluminum Alloys by Addition of RE and Trace Element: Hyeon Taek Son, Yong-Ho Kim, Hyo-Sang Yoo; *Korea Institute of Industrial Technology*.

Aluminum alloys are widely used in automobiles, aircraft, and electronic components because they are lightweight. Pure aluminum alloys have excellent electrical conductivity and thermal conductivity, but they are limited in their use because of their low strength and processability. Al-RE alloy systems appear as attractive candidates for the fabrication of conductor and heat sinks for application at elevated temperatures. In this study, microstructure, mechanical properties, electric conductivity and thermal conductivity of the as-extruded Al-RE-X based alloy was investigated. Al-RE based alloys were prepared under an induction melting furnace in a graphite crucible by melting 99.7% pure aluminum, 99.9% pure copper and rare-earth metals (RE). The alloy melts were cast into a pre-heat steel mold (D 75 mm × H 250 mm) at 200 °C. The cast alloys was machined into cylinder shape with a diameter 70 mm and a height 90m. The machined cast was homogenized at 550 °C for 4 hr. The cast billets were extruded into a 12mm bar shape with extrusion ratio 39 at 550 °C. In order to examine microstructure, an optical microscope (OM), a scanning electron microscope with an energy-dispersive X-ray spectrometer (EDS) and electron backscatter diffraction (EBSD) system and transmission electron microscope (TEM). Phase analyses were performed using an X-ray diffractometer with Cu K α radiation were used.

[P21-6]

Effect of Cr, Mn, and Ti Elements on Microstructure and Mechanical Properties of Conventional 6016 Al Alloy: 유선현, 강현, 박호준, 구남훈; *현대제철연구소*

최근 환경규제와 차량 연비향상을 위해 높은 비강도와 성형성을 갖는 알루미늄 판재가 차량 경량소재로 주목 받고 있다. Al-Mg-Si계 6xxx 열처리합금은 기존 합금보다 더 높은 물성으로 인해 자동차 차체용으로 제한적으로 사용되고 있다. 최근에는 이러한 적용 범위를 확대하기 위해 Cu 합금원소가 미량 첨가된 Al 6016 판재가 개발되고 있으며, 성형성을 높이기 위한 합금 개발과 공정에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 기존에 사용되는 6016 합금 조성을 기반으로 고성형성을 위한 합금 설계 및 분석을 진행하였다. Mg 및 Si 함량을 제어함으로써 최적의 정출상 분율과 물성을 도출하였으며, Cu 함량을 0.2-0.6 wt% 범위로 제어하여 최적의 강도와 성형성을 갖는 합금을 설계하였다. 또한 최적화된 합금에 Mn, Cr 및 Ti 합금 원소를 첨가하여 첨가 함량에 따른 미세조직과 물성 변화에 대해 분석을 진행하였으며, 최종 합금재의 T4 및 Bake hardening에 따른 물성 향상효과 및 각 합금 원소의 영향을 비교 분석하였다.

[P21-7]

첨가원소 함량에 따른 Al-Mg-Si계 6xxx계 합금 판재의 기계적 특성 평가: 주경석^{1,2}, 김민상¹, 김진평¹, 신재혁¹, 김세훈¹, 성시영¹, 최순목²; ¹자동차부품연구원, ²한국기술교육대학교

Keywords: 알루미늄 합금, 6xxx계 알루미늄, 압연, 기계적 특성

전 세계적 이슈로 환경문제가 부각됨에 따라 자동차 산업에서도 연비규제에 따른 경량화, 친환경화를 위한 연구가 요구되고 있으며, 이러한 흐름에 따라 기존의 철강 대비 낮은 비중을 갖는 알루미늄 합금에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 중에서도 6xxx계 합금은 뛰어난 성형성과 피로특성 등을 바탕으로 우수한 표면품질, 고강도, 고연성을 요구하는 자동차 외판재에 적합한 소재로 평가받고 있다. 이와 같은 최근 자동차 시장에서의 알루미늄 수요 증대에 발맞추어 알루미늄 판재의 특성향상에 많은 연구가 요구되고 있다. 본 연구에서는, Al-Mg-Si base의 6xxx계 합금의 Mg/Si 비를 0.45 wt%:1.25 wt%로 정하고, 첨가원소로 Cu, Fe, Mn을 선정하여 Cu, Mn 첨가량 변화에 따른 판재의 기계적 특성 평가를 실시하였다. 유도용해 및 중력주조를 통하여 슬라브 형태의 샘플을 주조하였으며, 균질화 처리를 거쳐 20 mm에서 5 mm까지 열간압연을, 5 mm에서 1 mm까지 냉간압연을 실시하였다. 제조된 판재는 어닐링 처리하였으며, 기계적 특성 평가 및 첨가원소가 합금 특성에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

[P21-8]

세노스피어가 첨가된 Al-Mg 합금 기지 Syntactic Foam의 압축특성에 미치는 중공체 부피분율 및 미세조직의 영향과 강도 예측: 정제기¹, 김수현², 이윤수², 김희주², 임차용², 박용호¹; ¹부산대학교, ²재료연구소

Keywords: Metal matrix syntactic foam, Cenosphere, Microstructure, Compressive property

금속기지 Syntactic foam은 중공체가 첨가된 Foam으로 기공들이 연결성을 가지지 않는 폐기공 구조의 Metal foam에 비하여 에너지흡수능이 우수하고 고 충격에너지 흡수제로의 활용을 기대할 수 있다. 속이 빈 중공체 입자는 Metal foam에서 기공의 역할을 대신하고 Cell 벽을 지지해주는 강화재로 작용하며 스테인리스강, 유리, 탄화규소, 산화 알루미늄 중공체 입자 등이 사용된다. 세노스피어는 화력발전으로 발생하는 부산물이며, 수 마이크로 미터의 입도를 갖는 속이 빈 구조로써 중공체로 활용이 가능하다. 세노스피어는 Mg과 계면에서 화학반응하여 MgAl₂O₄ 반응층의 생성을 유도하기 때문에 Al-Mg 합금에 세노스피어를 첨가하여 Foam을 제조하는 경우, Syntactic foam의 기지와 중공체 간의 계면 결합을 감소시키고 기계적 특성을 향상 시킬 것으로 기대할 수 있다. 본 연구에서는 세노스피어를 활용하여 Al-Mg 합금 기지 Syntactic foam을 교반주조법으로 제조를 하였으며, 중공체의 부피분율과 Mg 함량이 Syntactic foam의 압축강도에 미치는 영향을 비교 분석하였다. 또한 정량적 분석 결과들을 기반으로 강도 예측 모델에 제안하고 압축특성에 미치는 주요 인자들에 대하여 고찰하였다.

[P21-9]

Al-4Mg 합금에서 Fe, Si, Mn-Rich 금속간화합물이 압연 미세조직과 기계적 특성에 미치는 영향: 이다빈^{1,2}, 김봉환¹, 하성호¹, 윤영욱¹, 김세광¹, 현승균²; ¹한국생산기술연구원, ²인하대학교

Keywords: Al-Mg alloy, Intermetallic compounds, Rolling, Microstructure

최근 친환경, 에너지 효율이 중요해지면서 경량화 소재에 대한 주목이 증가하고 있다. 중량이 무거워질수록 에너지의 효율성이 떨어지기 때문에 차량 경량화에 대한 관심은 미래 자동차 시장에서 매우 중요한 과제로 인식되고 있다. 자동차 내판재용으로 주로 사용되는 5xxx계(Al-Mg계) 합금은 Mg의 첨가로 인하여 고용강화 효과를 보인다. 이로 인해 넓은 범위의 강도와 연신율을 제어할 수 있으며, 우수한 성형성, 용접성, 내식성 등을 얻기에 유리하다. 본 연구에서는 Al-Mg합금에 필연적으로 포함되는 불순물로서 Fe, Si 원소와 강도향상을 위해 첨가되는 Mn 원소의 상호 상변태에 따른 금속간화합물의 형성과 이들 금속간화합물이 압연공정에서의 미세조직 변화와 최종특성에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 Al-4Mg에 합금원소 Fe, Si, Mn을 첨가하여 중력 주조한 합금을 사용하였다. 이를 20x30x50(mm)으로 가공하여 6t까지 열간 압연을 진행하였고, 최종 두께 1t로 냉간 압연 후 열처리를 진행하였다. 각 공정별로 금속간화합물이 압연 미세조직에 미치는 영향을 알아보기 위해 OM을 통하여 열연 및 냉연 상태의 미세조직을 관찰하였다. 열처리를 동일한 온도에서 시간을 변수로 두어 1시간과 3시간, 두 가지로 나누어 진행하였다. 추가적으로 SEM분석을 통해 열연, 냉연, 열처리 후의 조직 변화를 평가하였다. 이 후 금속간화합물의 차이에 따라 나타나는 기계적 특성 변화를 평가하기 위하여 인장 시험을 진행하였다.

[P21-10]

Al-Si-Mg계 합금의 Zn첨가량에 따른 다이캐스팅 시험편 특성변화: 황수빈¹, 김병주¹, 김동규², 이영철¹; ¹한국생산기술연구원, ²동아대학교 금속공학부

Keywords: Aluminum, Die casting, Mechanical Properties, Micro structure, Solid solution hardening

최근 자동차, 항공기, 군수분야 등의 많은 산업에서 고강도 알루미늄 합금의 수요가 증가하고 있고, 다양한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. Al-Si-Mg 6천계 알루미늄 합금은 일반적으로 T4, T6와 같은 열처리를 통하여 높은 강도를 보유할 수 있으며, 최근에는 SiC와 같은 강화상이나, Sc, Hf와 같은 희토류 원소의 첨가에 의한 기계적 특성 향상방안이 보고되고 있다. 열처리와 희토류 원소 첨가는 뛰어난 강화효과를 기대할 수 있지만 제조 단가가 높고, SiC와 같은 강화상은 일반적인 주조 공정 중 결정립계에 응집되기 쉽다는 문제가 있어 산업의 적용에 제한적이다. 알루미늄 합금에 널리 적용되는 생산 방식인 Die casting 및 합금원소인 Zn는 상대적으로 원자재 및 공정의 비용이 저렴하며, 알루미늄 기지에 고용되고 가압에 의한 조밀한 미세조직을 가지게 되어 합금의 기계적 특성을 향상시킬 수 있지만, Die casting 공정을 적용한 Al-Si-Mg계 합금에서 Zn가 미치는 영향에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 본 연구는 Zn함량의 증가에 따라 Die casting 공정을 적용한 Al-Si-Mg계 합금의 미세조직 변화에 따른 기계적 특성을 분석하였다. Zn를 최대 8wt%까지 첨가한 Al-Si-Mg계 합금에 Zn첨가량에 따른 미세조직변화를 광학현미경과 주사 전자현미경으로 관찰하였으며, 경도시험과 인장시험을 통하여 기계적 특성변화를 분석하여 Zn첨가량에 따른 Die casting 공정을 적용한 Al-Si-Mg계 합금의 기계적 특성의 관계를 규명하였다.

[P21-11]

AlMg8.5 알루미늄 판재의 냉간 가공율에 따른 굽힘 거동 및 파단 면 분석: 최권훈¹, 김봉환², 하성호², 윤영욱², 김세광²; ¹과학기술원 합대학원대학교, ²한국생산기술연구원

Keywords: Al-Mg alloy, Cold rolling, Bending, Microstructure

최근 자동차 및 항공기에서 경량화 수요가 증가함에 따라 알루미늄 합금에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 여러 알루미늄 합금 중 자동차용 내판재로 주로 쓰이는 Al-Mg계 합금은 Mg 함량이 증가함에 따라 강도 및 신율 모두 증가하는 특징을 가지고 있는 합금이다. 이러한 장점에도 불구하고 Mg이 많이 포함된 고강도 Al-Mg계 합금에 대한 판재 성형성 관련 연구는 상대적으로 부족하다. 본 연구에서는 기존 Al-Mg 합금 대비 상대적으로 Mg의 양이 많이 포함된 AlMg8.5 합금과 공업적으로 주로 많이 쓰이는 5083 합금 판재의 냉간 압하율에 따른 기계적 특성 및 굽힘 실험을 진행하였다. 굽힘 시험은 재료에 굽힘 모멘트를 작용 하였을 때 변형 저항을 측정하여 재료의 소성 가공성을 평가하는 실험 중 하나이다. 굽힘 시험이 성공할 수 있는 최대의 강도값을 얻기 위하여 각 합금의 판재에 대하여 냉간 가공율 0, 10, 20, 30%를 진행하였고, 냉간 가공도에 따른 인장 시험 및 굽힘 시험을 통하여 판재 기계적 특성 및 성형성에 대하여 평가하였다. 시험 평가 후 판재의 파괴 거동을 분석하기 위하여 균열이 일어난 부분의 미세조직 관찰을 하였고, 파단이 진행 된 부분의 SEM 분석을 통하여 그 균열 거동을 분석하였다. 시험 결과 Mg 함량이 높아짐에 따라 더 높은 강도의 값을 가지는 냉간 가공율에서 굽힘 성공이 가능한 것을 확인할 수 있었다. 향후 이 실험을 통하여 고강도 Al-Mg계 알루미늄 합금의 판재 제조 개발에 대하여 도움이 될 것이라 기대된다.

[P21-12]

Effect of Mg Solute Content on the Hot Workability of Al-Mg Alloys: JaeCheol Lee¹, Sang-Wook Kim¹, Hyeon-Woo Son¹, Yong-Jae Kim¹, Chang-Hee Cho¹, Shae-Kwang Kim², Young-Ok Yoon², Soong-Keun Hyun¹; ¹Inha University, ²Korea Institute of Industrial Technology

Keywords: Flow stress, Hot deformation, Solute strengthening, Processing maps

Al-Mg alloys have great properties in automobile and aerospace industries, because of their high corrosion resistance, light weight, and its moderate strength. In this study, the workability of high content of Mg aluminum alloys (Al-6Mg, Al-8Mg, Al-9Mg) were

obtained by microstructure characterization and processing maps. Hot torsion tests were conducted in the range of 350-500 °C, between 0.1 and 1s⁻¹. Constitutive equations were derived from various effective stress-strain curves, obtained thermal activation energy were 171 kJ/mol at Al-6Mg, 195 kJ/mol at Al-8Mg, 220 kJ/mol at Al-9Mg respectively. In the case of processing maps, which was obtained by Lyapunov criterion shows instability region caused by porosity, and localized deformation bands. The pore generation and growth are increased as the Mg content rises. This tendency increases with arising temperature and shows ductility minimized temperature(DMT) at 450 °C.

[P21-13]

Al 7055합금의 미세조직과 기계적 특성에 미치는 승온 속도 영향: 최승규, 이석재; 전북대학교 금속공학과

Keywords: 7055 Al 합금, 승온속도, 석출경화, dilatometer

7xxx계 알루미늄 합금은 자동차, 항공기, 방산분야에서 요구하는 고비강도를 충족시키는 재료로서 널리 사용되고 있다. 그 중 Al 7055 합금은 기지 내 미세한 석출상을 형성시켜 강도를 향상시키는 석출경화형 합금이다. Al 7055 합금은 용체화처리를 통해 석출상을 형성 후 다단 열처리와 같은 인공시효를 하여 강도를 향상시키는 T6열처리를 실시한다. 알루미늄 합금에서 열처리 도중 형성된 석출상의 분포와 크기는 기계적 성질에 직접적으로 영향을 준다. 석출상을 형성시키는 용체화처리 온도에 도달하는 승온 속도가 빨라질수록 평균 결정립 크기는 작아지며 석출상이 형성될 핵생성 사이트가 많아서 미세하고 조밀한 석출상을 형성시킨다. 이번 연구에서는 Al 7055 합금의 용체화처리시 승온 속도에 따른 기계적 거동과 미세구조의 변화에 대해 연구하였다. 승온 속도에 따른 석출상의 형성 및 거동을 분석하기 위해 딜라토미터를 활용하여 용체화처리 온도까지 도달하는 승온 속도를 조절하였으며, 이후 인공시효를 실시하였다. 경도측정과 압축시험을 통해 기계적 거동을 분석하였다. 석출상 형성 및 성장과 같은 미세조직 특징을 XRD, OM, EDS, TEM 등을 통해 확인하였다.

[P21-14]

탈가스 및 전자제어 용탕처리로 제조된 Al-Zn-Mg-Cu 합금의 미세조직이 인장특성에 미치는 영향: 정해춘¹, 김도희¹, 어광준², 김세원³, Slazhniev Mykola³, 성효경¹; ¹경상대학교 ²재료연구소 ³동산테크(주)

Keywords: Al-Zn-Mg-Cu alloys, Gas bubbling filtration, Electromagnetic stirring, Microstructure, Tensile properties

Al-Zn-Mg-Cu계 알루미늄 합금은 비강도가 우수하지만, 주조 및 균질화 처리 후 소성 가공이 어려워 자동차용 소재로 널리 활용되지 못하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존 주조 공정을 개선하여 탈가스 용탕처리 (gas bubbling filtration, GBF) 또는 전자제어 용탕처리 (electromagnetic stirring, EMS) 처리를 적용하고자 하는 연구들이 많이 진행되고 있다. GBF 및 EMS 처리를 실시하면 결정립 미세화와 함께 용탕 내의 결함이 줄어들어 고품질의 주조재 생산이 가능하다. 본 연구에서는 GBF 및 EMS 처리를 이용하여 Al-Zn-Mg-Cu 합금을 주조한 후, T4 및 T6 열처리를 통해 시편을 제작하였다. 미세조직은 GBF 처리한 경우 dendritic cell structure가 나타나지만 EMS 처리하게 되면 globular structure가 나타난다. 결정립 미세화 효과는 EMS 처리가 GBF 처리에 비해 효과가 뛰어났으며, EMS 처리 시간 증가에 따라 결정립 미세화 효과가 더 높게 나타난 것을 확인할 수 있었다. T4 및 T6 열처리한 시편 모두에서 EMS 처리 시간에 따라 이차상의 분율이 증가하였으며, T6 열처리한 시편의 경우 항복 강도가 500 MPa 정도로 T4 열처리한 시편에 비해 높게 나타났다. 금속학적 파면 분석을 통하여 Al-Zn-Mg-Cu계 알루미늄합금의 주조 조건 및 미세조직이 인장 특성에 미치는 영향을 고찰하였다.

[P21-15]

Effects of Silicon and Strontium Addition on Commercial Hypoeutectic Aluminum-Silicon Alloy: Jinwon Kim, Je Heon Jeon, Dong Hyun Bae; Yonsei University.

Keywords: Casting, Aluminum, Silicon, Strontium

Aluminum-silicon alloy is widely used in automotive industries due to its low density and castability to produce components with high specific strength and complex shape. Commonly used aluminum-silicon casting alloy in the industries is ADC12. ADC12 is eutectic aluminum-silicon alloy with high productivity by high pressure die casting alloy, but it often undergoes T5 treatment with low yield strength because of micropore formation. This study focused on the feasibility of aluminum-silicon alloy with low alloying element to achieve high mechanical properties and productivity. Silicon was added to the alloy with hypoeutectic composition up to eutectic composition to see the effect of silicon without addition of alloying elements and formation of coarse primary silicon particles. Modification was done using aluminum-strontium master alloy. Strontium modification was observed using optical microscope and scanning electron microscope. Mechanical properties including tensile strength and Vickers hardness were improved by addition of silicon and strontium. Thermal analysis on strontium added eutectic alloy using K-type thermocouple showed shift of eutectic composition point.

[P21-16]

Hot Rolling 공정으로 제조된 Al 5086 합금의 인장 및 이상 피로 거동 해석: 박태현¹, 백민석¹, 어광준², 임창동², 이기안^{1*}; ¹인하대학교 신소재공학과, ²재료연구소

Keywords: Al-Mg alloy, Al-5086, Hot rolling, High cycle fatigue, Cyclic hardening

Al 5xxx 계열 합금은 Mg를 주 첨가 성분으로 하여 Mn, Fe, Cr, Si 등의 원소들이 첨가되어 기계적 특성을 향상시켜 고강도

구조용 소재로도 사용되고 있다. 최근 주조 공정을 대체하려는 시도가 되고 있으며 각 공정별로 제조된 소재의 기계적 특성에 대한 연구가 수행되고 있다. 본 연구에서는 Hot rolling(열간 압연)으로 제조된 Al 5086 합금의 인장, 고주기 피로(high cycle fatigue) 특성 및 거동에 대하여 조사하였다. 초기 미세조직 관찰 결과 압연방향으로 연신된 결정입과 석출물들이 관찰되었으며, SEM/EDS 및 EPMA 관찰결과 이는 $Al_6(Mn,Fe)$ 와 Mg_2Si 로 확인되었다. 인장 시험 결과, 항복 강도와 인장 강도는 각각 132.56MPa, 278.29MPa로 확인되었으며 인장 파면에서는 많은 수의 dimple이 관찰되었다. 고주기 피로 시험 결과, 피로한(fatigue limit, 10^7 cycle 기준)은 항복 강도보다 높은 170MPa로 확인되어 일반적인 금속의 피로 거동을 따르지 않는 특이한 현상을 나타냈다. 이에 상기 소재의 뛰어난 고주기 피로 특성을 cyclic hardening과 연계하여 해석하였으며 고주기 피로 거동에 미치는 초기 미세조직의 역할에 대해서도 함께 고찰하였다.

Acknowledgements: 본 과제는 소재부품 융합얼라이언스 사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

[P21-17]

압출된 Al-5.6Zn-2.5Mg-1.6Cu합금에서 미량 합금원소 Cr,Ca 원소 첨가가 시효 거동에 미치는 영향: 양승윤¹, 김봉환², 하성호², 윤영옥², 김세광², 김영직¹; ¹성균관대학교 ²한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구본부

Keywords: Al-Zn-Mg-Cu alloy, Extrusion, Precipitation, Aging Behavior

알루미늄 합금 중 Al-Zn-Mg-Cu를 주요 합금원소로 가지는 7xxx계 합금은 가장 강도가 높은 알루미늄 합금으로 알려져 있다. 우수한 기계적 특성 덕분에 7xxx계 합금은 주로 항공기용 재료 또는 구조 재료로 사용되고 있다. 7xxx계 합금이 항공용 재료나 구조 재료에 적용될 때는 주로 압출 상태 또는 압출 후 단조 공정을 거친 상태로 사용된다. 본 연구에서는 재결정 억제 원소로 알려진 Cr 원소와 Mg+Al₂Ca 복합합금의 형태로 사용될 경우 주조과정에서 Mg의 산화성을 억제해준다고 알려져 있는 Ca원소의 첨가 유무가 압출된 합금의 시효 거동에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 각각의 원소의 영향을 보기 위하여 Cr원소와 Ca원소의 첨가 유무에 따른 3가지 조성의 합금을 설계하였고, 설계한 조성으로 연속주조하여 빌렛으로 제작하였다. 제작한 빌렛은 직접 압출기를 통해 봉상형태로 압출하였다. 이후 최고 강도를 얻을 수 있는 T6 및 SCC저항성을 높이기 위해 과시효하는 T7 등 다양한 조건으로 시효 열처리를 실시하였고, 시효 후 합금들의 기계적 특성을 비교하기 위해 인장시험을 실시하였다. 그리고 조성 및 시효 조건에 따른 석출상의 크기 및 분포 차이를 관찰하기 위해 TEM분석을 실시하였다.

[P21-18]

Modification of Horizontal Continuous Casting Al-12%Si Alloy Using Fine-Grained Structural Material as the Master Alloy: Jing Zhang¹, Eun Soo Park²; ¹Jiangsu University of Science and Technology. ²Seoul National University.

Keywords: Al-Si alloys, Solidification, Modification, Structural heredity, Microstructure

In this paper, horizontal continuous casting Al-12%Si alloy was modified by 30% fine-grained structural material (FSM) of the same composition as the master alloy. The effect of this FSM master alloy on the morphologies and crystal defects of eutectic Si has been investigated. Results show that microstructure of eutectic Si alters from coarse needle-like to fine fibrous shape after modification. TEM observations reveal that the crystal defects such as twins and stacking faults generate in the modified eutectic Si while no obvious defects are found in the unmodified Si. Furthermore, hundreds of nanoparticles present in the modified eutectic Si along with the twins and stacking faults. Finally, we determine the composition of these nanoparticles to be Si-Si bonded nanoculsters which should be the genetic factors in term of metal structural heredity.

[P21-19]

연속주조 된 Al-(6-8)Mg-Al₂Ca 합금의 고온압축성형 시 미세조직변화: 김남석¹, 김봉환², 윤영옥², 현승균¹, 김세광²; ¹인하대학교 ²한국생산기술연구원

Keywords: AlMg alloy, Compression test, Microstructure, Al₂Ca

5xxx계로 알려진 Al-Mg계 합금은 알루미늄 합금 중 대표적인 고온강화형 합금으로 강도와 연신을 측면에서 우수한 특성을 갖는다. 또한, 인공시효 등 열처리 공정의 하지 않는 비열처리형 합금이기 때문에 공정비용을 절감할 수 있는 장점이 있으며 내식성 또한 우수하다. 이러한 장점 때문에 친환경 수송기기용 소재뿐만 아니라 해양 수소용 등 다양한 분야에 적용되고 있다. Al-Mg계 합금의 수송기기 소재로의 적용은 압연, 압출, 단조 등 고온에서 소성가공 단계를 거쳐 제조되는데, 이때 공정 조건에 따라 특성이 상이하기 때문에 고온변형 거동의 이해가 필요하다. 본 연구에서는 최근 대두되고 있는 마그네슘을 다량 함유한 고품량 Al-Mg계 합금의 고온에서 변형 거동을 이해하기 위해 마그네슘 함량이 6%-8% 수준인 Al-Mg계 합금의 합금을 연속주조법을 통해 원형 빌렛 형태로 주조하였고, 주조된 빌렛의 특성을 평가하기 위해 고온압축시험을 수행하였으며, 이때 나타나는 유동곡선 및 미세조직 변화를 통하여 Al-Mg계 합금의 고온변형거동을 이해하고자 하였다.

[P21-20]

Influence of Pre-Aging on Bake Hardening Response of Twin-Roll Cast AA6016 Aluminum Sheets: Cui Min¹, Min-Seok Kim¹, Yun-Soo Lee¹, Ji-goo Heo¹, Hyoung-Wook Kim¹, Je-hyun Lee²; ¹재료연구소(KIMS). ²창원대학교

Keywords: Pre-aging, Natural aging, Al-Mg-Si alloy, Bake hardening response.

AA6016 aluminum sheets have been used as automotive outer panels due to their high weight/strength ratio, superior surface quality after pressing and remarkable precipitation hardening effect after paint bake treatment. The formability and the Bake Hardening

Response (BHR) both are reduced by atom clustering during Natural Aging (NA). Pre-aging immediately after solution treatment is considered as the most common method to suppress the detrimental effect of NA. The present work focused on the effect of pre-aging treatment on BHR of twin-roll cast AA6016 aluminum sheets. The hardness evolution of AA6016 during NA (2 weeks) and the effect of NA on BHR were also studied. All the specimens were cut from as-rolled sheets and then solution treated at 550 °C for 30min, followed by water quenching. For In-Line pre-aging, short time pre-aging treatment was performed at a relatively high temperature ranged from 150 °C to 225 °C with various time. Hardness test was performed to optimize the pre-aging condition by comparing the hardness values before and after paint bake treatment. Tensile test was applied to elucidate the improvement of mechanical properties. DSC test of the natural aged sample was carried out to investigate the aging behavior along the thermal treatment.

P22 : 열전재료

Room 전시장 III, 4월 26일

[P22-1]

Cu₂Se-RGO(Reduced Graphene Oxide)복합체의 열전수송특성: 진승현¹, 탁장렬², 남우현², 전동영¹, 임수민¹, 임영수¹; ¹부경대학교 ²한국세라믹기술원

Keywords: Thermoelectric, Cu₂Se, RGO(reduced graphene oxide), Hybrid composite

최근 들어 우수한 열전성능지수가 보고된 Cu₂Se는 독성이 없고, 지각에 풍부한 원소로 구성되어 있다는 장점으로 인하여 유망한 열전소재로 각광받고 있다. 이러한 Cu₂Se의 열전성능을 보다 더 향상시키기 위하여 이종원소의 도핑을 통해 전하농도를 조절하여 출력인자를 최적화 하거나 결정립의 크기를 나노크기로 제어하여 열전도도의 저감을 이루는 등의 많은 연구들이 진행되어 왔다. 한편, 최근에는 그래핀, 탄소나노튜브와 같은 나노탄소물질 복합화를 통한 열전성능지수 향상이 다양한 열전소재에서 시도되고 있다. 특히 그래핀 복합화는 전기전도도와 Seebeck 계수의 제어를 통해 출력인자를 향상시킬 수 있으며, 또한 결정립계에서 포논산란을 통해 격자 열전도도를 저감시켜 ZT향상을 이끌어낼 수 있다는 연구결과가 보고되고 있다. 본 연구에서는 출력인자의 향상과 열전도도의 저감을 목표로 Cu₂Se-RGO(reduced graphene oxide)복합체를 제작하였고, RGO 함량에 따른 복합체의 열전수송특성에 대해 연구하였다. RGO복합화는 전기전도도의 감소와 Seebeck 계수의 증가를 가져왔으며, Hall 측정을 통해 확인된 정공농도의 감소와 이동도의 증가가 출력인자 최적화(power factor optimization)를 가능하게 하였다. RGO 복합화가 Cu₂Se의 열전수송특성에 미치는 자세한 효과에 대해 고찰하였으며, 이러한 연구결과로부터 RGO 복합화를 통한 Cu₂Se의 열전성능지수 향상이 가능함을 제시한다.

[P22-2]

저온열 열전발전소자의 성능 최적화 설계: 윤태영, 김종태, 백주영, 김호영, 김동환*; ^{대구경북과학기술원}

Keywords: Thermoelectric device, Thermoelectric generation, Thermoelectric device design

열전기술은 열에너지와 전기에너지의 상호변환이 가능한 열전 소재의 특성을 이용한 기술로 Seebeck 효과를 이용한 발전과 Peltier 효과를 이용한 냉각이 가능하다. 열전소재의 종류에 따라 열전소자는 저온(상온~200 °C)에서부터 중온(200~500 °C), 고온(500 °C~)영역에 이르기 까지 전 온도영역에서 발전이 가능하며, 저온에서는 Bi-Te 계 열전소재를 이용한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 저온열의 온도차(ΔT)를 이용한 열전발전기술은 무선센서나 웨어러블 디바이스등 비교적 소비전력이 낮은 기기의 독립전원장치로서 개발가능성이 높아 최근들어 크게 주목받고 있는 기술이다. 본 연구에서는 열전소자를 구성하는 열전소재의 특성(전기전도도, Seebeck 계수 및 열전도도)을 기반으로 사용온도 영역에 따른 열전발전소자 설계기술 최적화 연구를 수행하였다. 또한, 열전소재의 면적과 높이 등의 크기변화 및 pair수에 따른 개방전압(V_{OC}) 및 최대출력(P_{max})값을 도출하였으며, 실제 Bi-Te계 열전소자 시작품을 제작하여 측정된 소자성능과 비교분석하였다.

Acknowledgements: 본 연구는 DGIST R&D프로그램과 2019년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (19-ET-02, No. 20000280)

[P22-3]

Oxidation Characteristics of Skutterudite-Based Thermoelectric Legs with Various Coating Materials: 연창호¹, 박상현¹, 허주열², 유충열¹; ¹한국에너지기술연구원. ²고려대학교 신소재공학과

Keywords: Skutterudite, Anti-oxidation coating, Thermoelectric

스쿠테루다이트 (Skutterudite, SKD) 소재를 이용한 열전 소자는 중온 영역(400-600 °C)의 열원을 사용하여 자동차 폐열 회수 및 우주탐사선 전원 등 다양한 발전분야에 적용할 수 있다. SKD기반 중온 열전 소자는 실제 작동조건에 노출 되었을 때 외부의 공기에 노출되면 산소와 급격히 반응하여 산화되기 때문에 SKD기반 중온 열전 소자의 기술 상용화를 위해서는 작동 온도 조건에서 SKD의 산화를 방지하기 위한 산화 방지 코팅이 필수적이다. 본 연구에서는 SKD 소재에 금속, 유리질, 세라믹의 다양한 코팅재를 소재의 표면에 도포하였다. 산화 방지 코팅소재는 SKD 소재와 열팽창 계수가 유사한 후보군을 선정하였으며, 산화 방지 코팅된 SKD를 공기 분위기에서 열처리하며 산화방지 특성을 확인하였다.

[P22-4]

전이금속(Tr)이 도핑된 Cu₁₁TrSb₄S₁₃의 열적 안정성과 전하 이동 및 기계적 특성: 피지희, 이고은, 김일호*; ^{한국교통대학교}

테트라헤드라이트(tetrahedrite)는 우수한 열전 성능을 나타내는 친환경적인 열전 재료로서 주목을 받고 있다. 합성된 테트라헤드라이트 Cu₁₂Sb₄S₁₃는 복잡한 결정구조와 Sb 고립 전자쌍(lone-pair electrons) 때문에 낮은 열전도도를 갖는다. 또한 전기 전도도와 제백계수가 p형 축퇴 반도체 거동을 보인다. Cu₁₂Sb₄S₁₃에 도펀트를 첨가하여 열전 성능, 열적 안정성 및 기계적 특성을 향상시키는 연구들이 진행되고 있다. 본 연구에서 전이금속이 도핑된 테트라헤드라이트 Cu₁₁TrSb₄S₁₃(Tr = Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn)을 기계적 합금화로 합성하고 열간압축 성형하여, 도핑원소에 따른 열적 안정성과 전하 이동 및 기계적 특성을 평가하였다.

[P22-5]

Cu₃Sb_{1-x}Sn_xS₄의 합성 및 열전 특성: 피지희, 이고은, 김일호*; ^{한국교통대학교}

Cu계 칼코제나이드 화합물은 높은 효율성과 낮은 독성 및 경제적인 열전재료로 주목 받고 있다. Cu계 sulfide는 Cu계 selenide와 telluride에 비해 연구가 많이 진행되지 않았지만, 최근 Cu-Sb-S계가 우수한 열전특성을 갖는다고 보고되었다. 이 중에서 famatinitite Cu_3SbS_4 는 비대칭성인 zinc blende 결정구조에서 변형된 tetragonal I-42m 공간 군에 속한다. 단위 셀당 64개의 원자로 구성되어 있고, 낮은 열전도도를 보여 열전재료로서의 가능성이 기대된다. 본 연구에서 Sb자리에 Sn을 일부 치환한 $Cu_3Sb_{1-x}Sn_xS_4$ 를 합성하여 Sn의 치환량에 따른 열전특성의 변화를 조사하였다.

[P22-6]

테트라헤드라이트 $Cu_{12}Sb_{4-x}Bi_xS_{13}$ 의 고상합성 및 열전특성: 광성규, 이고은, 김일호*; *한국교통대학교*

테트라헤드라이트(tetrahedrite) $Cu_{12}Sb_4S_{13}$ 는 Sb 원자의 고립 전자쌍(lone-pair electrons)로 인해 Cu 원자가 저주파 고진폭으로 진동하여 낮은 격자 열전도도를 나타낸다. 따라서 치환을 통해 Cu 원자의 진동으로 인한 포논 산란을 극대화하여 열전 특성을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 Bi가 도핑된 $Cu_{12}Sb_{4-x}Bi_xS_{13}$ ($x = 0.1 \sim 0.4$)를 기계적 합금화로 합성한 후 열간 압축으로 성형하였다. 고상합성 공정으로 테트라헤드라이트 상이 성공적으로 합성되었지만, Bi의 도핑량이 증가하면 스킨너라이트(skinnerite) Cu_3SbS_3 이차상이 검출되었다. 측정 온도 범위(323~723 K)에서 주 운반자가 정공인 p-type 전도특성을 나타내었고, $Cu_{12}Sb_{3.9}Bi_{0.1}S_{13}$ 이 723 K에서 $ZT = 0.88$ 의 최대 무차원 성능지수를 나타내었다.

[P22-7]

Cu-Incorporation by Melt-Spinning in N-Type $Bi_2Te_{2.7}Se_{0.3}$ Polycrystalline Alloys for Low-Temperature Power Generation: Min Young Kim¹, Heelim Kim¹, Hyun-sik Kim², Hyun-joon Cho³, Sang-il Kim³, Hyuna Mun⁴, Sung Wng Kim⁴, Kyu Hyung Lee¹; ¹Yonsei University. ²Hongik University. ³University of Seoul. ⁴Sungkyunkwan University.

Keywords: $Bi_2Te_{2.7}Se_{0.3}$, Melt spinning, Cu addition, Carrier concentration, Thermal conductivity

In this study, we investigated the enhanced thermoelectric performance of n-type $Bi_2Te_{2.7}Se_{0.3}$ polycrystalline alloys prepared using melt spinning (MS) and spark plasma sintering (SPS) processes by Cu addition, especially at the low ($0.008Bi_2Te_{2.7}Se_{0.3}$, compared to the maximum zT of 0.70 at 300 K for the MS-SPSed $Bi_2Te_{2.7}Se_{0.3}$ sample. The maximum efficiency of thermoelectric power generation could be enhanced in value about 4.2% at $DT = 180$ K.

[P22-8]

Famatinitite Cu_3SbS_4 의 합성 및 열전특성: 이고은, 김일호*; *한국교통대학교*

최근 매장량이 풍부하고 무독성의 원소로 이루어진 Cu-Sb-S 3원계 화합물이 p형 반도체 재료로서 많은 관심을 받고 있으며, $Cu_{12}Sb_4S_{13}$ (tetrahedrite), $CuSbS_2$ (chalcocostibite), Cu_3SbS_3 (skinnerite) 및 Cu_3SbS_4 (famatinitite) 등의 안정한 상이 존재한다. Cu_3SbS_4 는 다른 Cu-Sb-S계 화합물과 달리 낮은 격자 열전도도의 원인이 되는 Sb 원자의 고립 전자쌍(lone-pair electrons)이 존재하지 않아 상대적으로 높은 열전도도를 가질 뿐만 아니라, 낮은 전기전도도로 열전성능이 좋지 않은 것으로 알려져 있었다. 그러나 최근, 규칙적인 zinc-blende 구조를 기반으로 한 Cu_3SbS_4 의 결정구조가 cubic과 같은 높은 밴드 축퇴(band degeneracy)를 가져 높은 출력인자를 얻을 수 있다고 보고된 바 있다. 또한 비슷한 조성의 같은 구조를 갖는 Cu_3SbSe_4 (permingeatite)에서 높은 성능이 보고되어 주목을 받고 있지만, Cu_3SbS_4 열전재료의 연구는 많이 보고되지 않은 편이다. 따라서 본 연구에서는 Cu_3SbS_4 상을 합성하기 위한 공정조건을 연구하였고, 그에 따른 열전특성을 평가하였다.

[P22-9]

Sb와 Cu 첨가에 따른 GeTe계 열전재료의 열전도도 감소에 대한 연구: 김현호, 정혜린, 김현지, 류주희, 사무엘키마니, 이호성; *경북대학교*

Keywords: GeTe, 열전도도, 헤링본구조, 포논산란

열전기술은 낭비되는 열로부터 전기에너지를 생산하는 방법으로 관심을 받고 있다. 사용온도 범위에 따라 저온용, 중온용, 고온용으로 구분 할 수 있고, 중온용 열전재료에는 대표적으로 GeTe가 있다. GeTe계 화합물은 Ge의 공공 때문에 높은 캐리어 농도를 가지게 되고, 이로 인해 낮은 제벡계수 값과 높은 열전도도를 가지게 된다. 따라서 GeTe의 열전 성능지수를 향상시키기 위해서는 파워팩터의 상승과 열전도도의 감소가 필요하다. 열전도도를 감소시키는 방안으로 도핑을 통한 캐리어 농도 제어와 포논산란을 통한 열전도도 감소가 있다. 도핑을 하여 GeTe 화합물내에 점결함이나 나노석출물을 형성하거나, 헤링본구조의 도메인 크기제어 등을 통하여 포논산란을 일으켜 열전도도를 감소시켜 GeTe계 화합물의 열전특성 향상에 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상된다. 본 연구에서는 도핑원소 첨가에 따른 GeTe계 열전재료의 열전도도 변화와 미세조직 변화의 상관관계에 대하여 연구하였다.

[P22-10]

Ni이 도핑된 테트라헤드라이트 $Cu_{12-x}Ni_xSb_4S_{13}$ 의 열전 특성: 김성윤, 이고은, 김일호*; *한국교통대학교*

$Cu_{12}Sb_4S_{13}$ 계 테트라헤드라이트(tetrahedrite)는 Sb의 고립 전자쌍으로 인해 Cu의 비조화 진동을 유발하여 열전도도가 매우 낮은 p-type 열전 재료로서 관심을 받고 있다. 또한, Cu자리에 Co, Zn, Ni, Fe, Mn 등 전이금속을 일부 치환하여 열전 성능을 향상 시키려는 연구가 많이 진행되고 있다. 그 중에서 Cu^+ 자리에 Ni^{2+} 를 도핑하면 잉여의 전자가 공급되어 주 캐리어인 홀(hole)의 감소로 인해 전기 전도도와 전자 열전도도가 낮아지며, 출력인자가 최적화되어 열전 성능의 향상을 기대할 수 있다. 본 연구에서는 Ni이 도핑된 $Cu_{12-x}Ni_xSb_4S_{13}$ ($x = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$)을 기계적 합금화로 합성을 하였고, 열간 압축으로 성형하여 열전 특성을 평가하였다.

[P22-11]

Ge이 도핑된 고망간 실리사이드 $MnSi_{1.72-1.75}Ge_m$ 의 고상합성 및 열전특성: 이인재, 박솔빈, 이고은, 김일호*; *한국교통대학교*
 고망간 실리사이드(HMS)는 지구상에서 가장 풍부하게 존재하는 Mn과 Si의 두 원소로 구성되어 있으며, 환경친화적이고 높은 기계적, 열적 및 화학적 저항력으로 인해 열전 응용 분야에서 유망한 후보 물질이다. HMS는 Nowotny chimney-ladder (NCL) 격자 구조를 가지는 Mn_4Si_7 ($MnSi_{1.75}$), $Mn_{11}Si_{19}$ ($MnSi_{1.72}$), $Mn_{15}Si_{26}$ ($MnSi_{1.73}$) 및 $Mn_{27}Si_{47}$ ($MnSi_{1.74}$)로 구분된다. 본 연구에서는 Ge이 도핑된 $MnSi_{1.72-1.75}Ge_m$ 을 고상반응과 열간압축으로 제작하여 열전특성을 평가하였다. HMS 상이 성공적으로 합성되었고, MnSi 상이 생성되지 않았으며, Ge이 Si 자리에 치환(고용)된 것을 확인하였다. Ge 도핑량이 증가함에 따라 전기전도도와 출력인자가 증가하였고, 이는 Si 자리에 치환된 Ge으로 인해 운반자(정공) 농도가 증가된 것으로 해석되었다. 그러나 Ge 도핑에 의해 제벡계수는 감소하였다. $MnSi_{1.73-1.75}Ge_m$ 의 경우 Ge 도핑으로 열전도도가 증가하였지만, $MnSi_{1.72}Ge_m$ 의 열전도도는 크게 변하지 않았다. Ge 도핑에 무차원 열전 성능지수가 증가하였고, $MnSi_{1.72-1.75}Ge_m$ 계 중에서 $MnSi_{1.72}Ge_{0.01}$ 이 823 K에서 최대 무차원 성능지수 $ZT = 0.44$ 를 나타내었다.

[P22-12]

Zn와 Bi가 이중 도핑된 테트라헤드라이트 $Cu_{12-x}Zn_xSb_{4-y}Bi_yS_{13}$ 의 열전특성: 이고은, 김일호*; *한국교통대학교*

$Cu_{12}Sb_4S_{13}$ 의 기본 조성을 갖는 테트라헤드라이트(tetrahedrite) 화합물은 낮은 열전도도와 상대적으로 가볍고 무독성 원소인 Cu 및 S로 이루어져 있어 중온 영역의 유망한 p형 열전재료로 관심을 받고 있다. 테트라헤드라이트는 높은 홀 농도를 가지기 때문에, 도핑을 통해 캐리어농도를 감소시켜 출력인자를 최적화할 수 있다. 본 연구에서는 Zn 도핑으로 캐리어 농도 감소에 의한 출력인자 최적화와 Bi 도핑으로 추가적인 포논 산란에 의한 격자 열전도도 감소를 위해, Zn와 Bi가 이중 도핑된 $Cu_{12-x}Zn_xSb_{4-y}Bi_yS_{13}$ ($0.1 \leq x \leq 0.4$ 및 $0.1 \leq y \leq 0.4$) 화합물을 기계적 합금화 및 열간압축 성형을 통해 제작하여 열전특성과 전하 이동특성을 평가하였다.

[P22-13]

Fabrication and Assessment of Flexible Thermoelectric Device with Energy Storage: 최유환, 김다혜, 김기태, 한승우; *한국기계연구원*

Thermoelectric generator can convert heat to electricity by using gradient of temperature caused by wasted heat. Although conventional thermoelectric device has high thermoelectric performance, it's restricted to apply to various system due to non-flexibility. Flexible thermoelectric device has been of rapidly growing interest for generator that can harvest from heat source with spherical surface. In this study, we fabricated flexible thermoelectric device by using FPCB and BiTe-based thermoelectric leg. Cu electroplated on PI(polyimide) film as electrode to make FPCB. Cu electrodes were soldered to thermoelectric legs of the device using solder paste. They was soldered at 230 °C for 15 min in oven. Power output of thermoelectric device was measured by source meter to estimate thermoelectric performance. Results of measurement were shown for P-R, V-I, P-I graphs. Also we stored energy generated from flexible thermoelectric device. Voltage of generated electricity was too low to utilize charge and discharge module. So we raised voltage using boost converter to charge 18650 battery.

[P22-14]

Co-Mo Alloy Diffusion Barrier with Low Contact Resistance for High Performance Skutterudite-Based Thermoelectric Generators: Jinseop Song¹, Yeongseon Kim¹, Byung Jin Cho¹, Chung-Yul Yoo², Hana Yoon², Sang Hyun Park²; ¹KAIST. ²KIER.
 Keywords: Skutterudites, Elemental inter-diffusion, Diffusion barrier, Contact resistivity

Skutterudites (SKD) is one of the most remarkable thermoelectric (TE) material for medium temperature range (300-800 °C) thermoelectric generator (TEG) due to its low cost and high figure of merit¹. With these interest, many research groups have reported SKD-based TE modules. However, most of these TEGs experience a large power loss due to relatively high contact resistivity between electrode and SKD, which is caused by the interfacial cracks and the elemental inter-diffusion at the interface during leg fabrication. Therefore, in order to fabricate a high performance TEG, it is important to develop diffusion barriers that maintain a stable interfacial state without cracks and prevent elemental inter-diffusion. In this paper, we will introduce Co-Mo alloy diffusion barriers for n-type SKD. We will fabricate Co-Mo diffusion barriers which have stable interface layer without cracks and can suppress elemental inter-diffusion by adding Co powder with thermal expansion coefficient similar to SKD in Mo which has good diffusion barrier property². The presence of cracks at the joints and the degree of inter-diffusion of the interface layers will be analyzed using scanning electron microscope (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) line-scan profiles. To confirm the suitability of Co-Mo metallized legs, we will measure the electrical contact resistivity using in-house apparatus³ and compare it with reported metallized leg from other groups. Furthermore, we will compare the Co-Mo diffusion barrier with the Ti diffusion barrier to prove its superiority as a diffusion barrier.

[P22-15]

Thermoelectric Properties of Hybrid Porous Carbon Doped Bismuth Telluride Matrix Composites: 김성태, 박기태, 손인식, 김진영, 전상은, 이승훈; *경북대학교 금속공학부*
 Keywords: Hybrid porous carbon, Bismuth Telluride, Thermal conductivity, Thermoelectric properties

Bi_2Te_3 계 열전소재는 상온영역에서 우수한 열전변환성능지수를 보여, 전자소자냉각에서 휴대용 발전까지 그 응용범위가 타 재료에 비해 매우 넓기 때문에 소재개발 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 기존의 연구방식에 따른 ZT값 향상에 한계가 나타나, 최근에는 분산상을 제2상으로 사용하는 연구들이 진행되고 있다. 특히 탄소나노튜브, 그래핀나노입자 소재 등의 탄소계 나노소재를 혼합해 전기전도도의 향상과 열전도도의 감소를 동시에 확보하여 ZT 값을 상승시키고자 하는 연구가 최근 수년간 진행되어왔고, 실제로 탄소나노튜브를 사용했을 때 효과적인 열전도도 감소현상이 발견되어 이를 통한 ZT값 향상의 가능성이 확인된 바 있다. 그러나, 탄소면의 형태에 따라 격자포논을 산란 시킬 수 있는 계면 면적 형성이나 전기전도도 상승 효과에 한계가 있는 점을 발견하여 이를 개선하기 위해 탄소 소재의 형태, 비 표면적, 표면의 기공과 같은 구조적 특성을 최적으로 제어하고자 하는 연구가 진행되고 있고, 계면 면적을 증가시켜 열전재료 내부에 분산될 경우 우수한 전기적, 기계적 물성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 상용 Bi_2Te_3 분말에 자체적으로 제작된 하이브리드 다공성 탄소 재료를 미량 첨가하고 고압 소결하여 시편을 제작하고 열전물성을 측정하여 하이브리드 다공성 탄소재가 열전재료에 미치는 영향에 대해 연구를 하였다. 열전재료 내부 탄소재의 형태와 함량을 최적으로 맞출 경우 우수한 열전특성과 기계적 물성을 동시에 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

[P22-16]

[(La/Ce)_{1-z}(Pr/Nd)_z]_yFe_{4-x}Co_xSb₁₂계 스커테루다이트의 열전특성: 차예은, 김일호*; 한국교통대학교

La/Ce과 Pr/Nd를 부분적으로 이중 충전하고 Fe 자리에 Co를 전하 보충한 p형 [(La/Ce)_{1-z}(Pr/Nd)_z]_yFe_{4-x}Co_xSb₁₂계 스커테루다이트를 밀폐용해 방법으로 합성한 후 열간 압축성형을 통해 제작하여, 상 분석과 열전특성을 평가하였다. 스커테루다이트 상이 성공적으로 합성이 되었지만, 미량의 이차상(FeSb₂)이 검출되었다. 그러나 Co의 양이 증가할수록 이차상이 감소하였다. 온도가 상승함에 따라 전기전도도가 감소하는 축퇴 반도체 특성을 보였고, 체백계수와 홀계수 측정을 통하여 모든 시편이 p형 전도성을 보였다. La/Ce와 Pr/Nd의 부분 충전과 Co 치환량이 증가함에 따라 전기전도도 및 전자 열전도도가 감소하였다. 이는 전하보충으로 캐리어 농도가 감소하였기 때문이었다. 최대 무차원 성능지수(ZT)는 다음과 같이 나타났다: (La_{0.25}Pr_{0.75})_{0.8}Fe_{3.5}Co_{0.5}Sb₁₂가 723 K에서 ZT = 0.79; (La_{0.25}Nd_{0.75})_{0.8}Fe₃CoSb₁₂가 723 K에서 ZT = 0.76; (Ce_{0.75}Pr_{0.25})_{0.8}Fe₃CoSb₁₂가 623 K에서 ZT = 0.84; (Ce_{0.75}Nd_{0.25})_{0.8}Fe₃CoSb₁₂가 723 K에서 ZT = 0.87.

[P22-17]

산화물환원과 방전플라즈마소결에 의해 제조된 Cu-Se계 합금의 열전특성: 신지은, 황해술, 임영수, 이길근; 부경대학교
 Keywords: Thermoelectric, Copper selenide, Oxide reduction, Powder, sintering

최근 에너지 소비의 증가와 함께 환경문제의 심각성이 증가함에 따라, 열에너지와 전기에너지를 직접, 가역적으로 변환시킬 수 있는 열전재료에 대한 관심이 새롭게 부각되고 있다. 상온 부근에서는 Bi, Te, Sb, Se을 주성분으로 하는 Bi-Te-Sb계와, Bi-Te-Se계가 우수한 열전특성을 나타내어, 현재 상업적으로 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 이들 재료에 사용되는 원소들의 희소성과 유독성은 이들 열전재료의 범용 상용화에 장애로 작용하고 있다. 이러한 장애를 극복하기 위해, Cu-Se계, Ti-S계 등의 새로운 합금계의 열전재료에 대한 연구가 진행되고 있다. 특히 Cu-Se계는 상온부근에서 우수한 열전특성을 나타내며, 구성원소의 가격이 낮고 자원이 풍부하여, p형 Bi-Te-Sb계의 대체 재료로 주목을 받고 있다. 한편 열전재료의 제조에는 단결정성장법, 기계적밀링+소결법, 기계적합금화+소결법 등의 다양한 방법들이 시도되고 있다. 그러나 이들 방법들은 초기원료로서 고가의 순수 금속을 사용함으로써 열전재료 제조비용 저하에는 한계가 있어 왔다. 최근 초기원료로서 저가의 산화물을 사용하여 상용수준의 열전특성을 가지는 Bi-Te-Sb계와 Bi-Te-Se계 합금의 제조가 보고되고 있다. 본 연구에서는 초기 원료로서 저가의 산화물을 사용하여, 환원공정과 방전플라즈마소결법을 조합하여 Cu-Se계 합금을 제조하고, 제조된 합금의 열전특성을 평가하고자 한다.

[P22-18]

열전발전소자 산화방지막용 폴리이미드 소재 제조기술 및 코팅공정에 관한 연구: 황인지, 김동환, 김호영, 김현철, 김참; DGIST
 Keywords: 열전재료, 폴리이미드, 산화방지막

최근 산업체 미활용열을 전기에너지로 활용가능한 열전발전 기술분야의 산업화를 위하여 Bi-Te계, silicide계, SKD계, half-hausler계 등 다양한 열전소재를 이용한 열전발전소자 제조기술에 관한 연구가 진행되고 있다. 열전발전소자는 열전소재의 종류와 사용환경에 따라 소재의 부식이나 산화현상에 의해 사용환경에 대한 제약을 받으며, 내구성과 장기 신뢰성 확보를 위하여 소자의 산화방지를 위한 encapsulation기술이 요구된다. 본 연구에서는 Bi-Te계 열전발전소자의 상용화를 위한 기초연구로서 300 °C이하의 온도에서 안정한 산화방지막 소재와 제조공정에 관한 연구를 진행하였다. 고온에서 안정한 폴리이미드 소재의 개질을 통하여 열전소자의 양산기술에 적용할 수 있는 전구체 제조기술과 폴리이미드 전구체를 이용한 산화방지막 공정기술을 개발하였으며, 전구체의 농도, 열처리 온도, 시간 등의 조건에 따른 코팅막의 특성을 분석하여 폴리이미드 소재의 산화 방지막으로의 개발가능성을 확인하였다.

Acknowledgements: 본 연구는 DGIST R&D프로그램 및 산업통상자원부 (MOTIE)와 한국에너지기술평가원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (19-ET-02, No. 20172010000830)

[P22-19]

부분 이중 충전형 스커테루다이트 (La_{1-z}Yb_z)_yFe_{4-x}Co_xSb₁₂의 합성 및 열전특성: 차예은, 김일호*; 한국교통대학교

충진형 스커테루다이트는 단위 셀 당 2개가 존재하는 공극에 원소를 충전하여, 충전원소의 rattling 효과에 의해 격자 열전도도를 감소시켜 열전성능을 개선시킨 열전재료이며, 일반적으로 RM₄X₁₂(R: 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 희토류 금속) 조성식이 사용된다. n형의 경우 R₂Co₄Sb₁₂를 기본 조성식으로, p형의 경우 R₂Fe₄Sb₁₂를 기본 조성식으로 연구가 많이 진행되고 있다. n형 R₂Co₄Sb₁₂는

충진원소의 선택과 충진율의 조절이 비교적 용이하여 전자농도 최적화가 가능하다. 그러나 p형 $R_z\text{Fe}_4\text{Sb}_{12}$ 는 3~4가 원소를 완전 충진을 해도 높은 전공 농도를 가지게 된다. 그러므로 Fe 자리에 Co 또는 Ni의 전하보상이 이루어져야 한다. 이번 연구에서는 La과 Yb 을 부분적으로 이중 충진하고 Fe 자리에 Co로 전하 보상한 p형 $(\text{La}_{1-z}\text{Yb}_z)_x\text{Fe}_{4-x}\text{Co}_x\text{Sb}_{12}$ 를 밀폐용해 방법으로 합성한 후, 열간 압축 성형을 통해 제작하였고, 미세조직, 상분석, 전하 이동특성 및 열전특성을 평가하였다.

[P22-20]

Optimization for Synthesis Method of Nano-Sized Bismuth Telluride Using Hydrothermal Method: Da-hye Kim¹, Seungwoo Han²; ¹University of science & technology. ²Korea Institute of Machinery & Materials.

Keywords: Bismuth telluride, Hydrothermal, Nano

The thermoelectric effect, which used as the heat energy harvesting, is being actively researched to solve the energy problem. Because the thermoelectric effect is the nature of the thermoelectric material, it is important to develop thermoelectric materials. Thermoelectric figure of merit is a measure of the thermoelectric performance. The thermoelectric figure of merit is defined as $ZT = S^2\sigma T/K$ where S is the Seebeck coefficient, σ is the electrical conductivity, K is the thermal conductivity and T is the temperature. Nano-sized thermoelectric materials have a high thermoelectric figure of merit by increasing the Seebeck coefficient and decreasing the thermal conductivity. The synthesis is easy to produce thermoelectric materials rapidly. In this study, we synthesized nano-sized thermoelectric materials by hydrothermal method. Nano-sized thermoelectric materials with high thermoelectric figure of merit were synthesized by controlling the shape and size of the materials according to the synthesis temperature conditions. In order to analyze the morphology, structure and composition of the synthesized thermoelectric materials, scanning electron microscope (SEM), energy dispersive x-ray spectroscopy (EDS) and x-ray diffraction (XRD) were performed. As a result of the analysis, the structure is dibismuth telluride, and the shape is Bi_2Te_3 nanostrings. The width of the particles is about 400 nm and the length is 1.8 μm . In order to analyze the Seebeck coefficient, a thin film was prepared with a size of 10 mm \times 3 mm using a cold press. The Seebeck coefficient of the thin film is -91.34 $\mu\text{V/K}$.

[P22-21]

전자구조제어와 결정방향제어 기술을 이용한 N-Type Bi-Te계 열전소재의 성능 최적화: 백주영, 황인지, 김참, 김호영, 김동환*; DGIST.

Keywords: 열전소재, Bi-Te-Se, 열전특성

Bi-Te계 열전소재는 열전냉각소자로서 상용화되어 있으며, 최근 들어 250 °C이하의 저온열을 이용한 열전발전소자에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 특히, 상온영역에서의 미세 온도차이를 이용한 열전발전기술로서, 비교적 저전력의 출력으로도 구동가능한 IoT 무선센서용 독립전원장치로 개발하기 위한 연구가 주목받고 있다. 본 연구에서는 전자구조 및 결정방향제어 기술을 이용하여, 상온영역에서 높은 열전성능지수를 가지는 n-type Bi-Te계 열전소재 제조기술에 관하여 연구를 수행하였다. 원료소재의 용해와 방전 플라즈마소결법 (Spark plasma sintering)을 이용하여 1차 소결체를 제작하였으며, 이를 2차 변형가공 (hot-deformation)공정을 거쳐 소재의 결정구조 제어기술을 개발하였으며 원료조성의 조성에 따른 열전특성 변화를 관찰하였다. 제작된 소재의 열전특성은 조성, 입도크기 및 입도분포 등의 변수들에 크게 의존함을 확인하였으며, 최적의 변형가공 공정 조건을 확립하여 열전소재의 결정이방성을 증대시켜 전기적 특성을 선택적으로 향상시킬 수 있는 제조공정을 확보하였다.

Acknowledgements: 본 연구는 2019년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (No. 20000280).

[P22-22]

Effect of Process Control Agents on Thermoelectric Properties of BiTe: 장정인, 박수동, 김봉서, 민복기, 주성재, 이희웅, 류병기, 이지은; 한국전기연구원.

Keywords: Thermoelectric, Bi_2Te_3

Bi_2Te_3 based compounds have been known as the best thermoelectric materials around room temperature. Many studies to enhance the thermoelectric properties of Bi_2Te_3 based compounds were tried, which includes addition of doping elements, the microstructural variation, and so on. In this study, microstructure was controlled by adding stearate. A stearate additive was added as a process control agent early in the ball milling process to prevent grain agglomeration. After ball milling, the powder was sintered using SPS. The phases of sintered products were characterized by XRD, and the thermoelectric properties of the each sample were investigated in the temperature range from 298K to 573K.

[P22-23]

250 °C 이하 산업체 미활용열을 위한 Bi-Te계 열전발전소자 시제품 제조기술 및 출력평가: 김종태¹, 김동환*¹, 백주영¹, 윤태영¹, 황인지¹, 윤덕기², 김태훈², 김호영¹; ¹DGIST. ²(주)정관.

Keywords: 열전발전, 산업체 미활용열, 열전소재

열전발전기술은 열에너지를 직접 전기에너지로 변환할 수 있는 기술로써 인류가 직면해 있는 에너지 부족 문제와 환경오염 문제를 해결 할 수 있는 여러 가지 친환경/신재생 에너지 기술 중 하나이다. 철강산업, 열병합발전 등의 대형 산업체에서부터 가정용 보일러에 이르기까지 대부분의 경우 투입된 에너지 중 일부가 열에너지의 형태로 방출되는데, 이러한 열에너지는 효율적으로 활용되지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 250 °C 이하의 산업용 미활용열을 전기에너지로 재 활용하기 위한 열전소재의 제조기술에 관하여 연구를 수행하였다. 열전소재의 크기에 따른 4종의 Bi-Te계 열전발전소자 시제품을 제작하였으며, 고온부 및 저온부의 온도변화

에 따른 출력을 측정하여 배폐열 조건에 따른 최대 출력조건을 조사하였다.

Acknowledgements: 본 연구는 DGIST R&D 프로그램 및 산업통산자원부와 한국에너지기술평가원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (19-ET-02, No. 20172010000830)

[P22-24]

Bi-Te계 열전모듈 제작을 위한 압출공정 및 수율 향상에 대한 연구: 김소영, 이동선, 최병준, 박우철, 조병현, 황창원; (주) 에스랩

Keywords: Thermoelectric, Bi-Te, Extrusion, Productivity, Process

열전재료는 폐열을 이용하여 열에너지와 전기에너지를 가역적으로 변환하는 반도체로서 최근 신재생 에너지에 대한 관심이 급증하며 산업용 및 가정용 다양한 제품에 적용되고 있다. 열전재료 중에서도 Bi-Te계 물질은 상온영역에서 우수한 성능을 나타내는데 점차 희토류 금속의 가격이 급등함에 따라 소재의 생산성을 높이는 것이 필수적이다. 또한, 기존의 열전모듈 제작공정에서 사용되는 SPS, Hot-press, Zone melting 등의 소결방식은 Dicing과정에서 Thermal expansion에 의한 Cleavage Phase가 생겨 Crack이 나기 쉽다. 그에 비하여 열간 압출한 시편은 동적 재결정이 발생하여 기계적 강도가 높고 소결체보다 미세한 결정립으로 낮은 열전도도를 가지며 소재의 균일성이 좋은 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 최적의 조건에서 압출하여 n-type은 $37.4 \mu\text{W}/\text{cmK}^2$, p-type은 $39.3 \mu\text{W}/\text{cmK}^2$ 의 Power factor를 갖는 소재를 제작하였고, 이를 모듈로 완성하여 기존공정에 비해 Pellet의 손실을 약 30% 이상 줄여 수율을 높이고 과정을 단축시켜 생산성을 높였다.

[P22-25]

Fabrication of Silver Pastes Recovered from Catalyst Wastes and Their Application to Thermoelectric Devices: Subyeon Lee¹, Min-Wook Oh²; ¹KAIST. ²Hanbat National University.

Keywords: Silver nanowire, Paste, Electrode, Flexible thermoelectric devices

A catalytic converter changes toxic pollutant (NO_x, CO, HC, O₂) into less-toxic pollutant (CO₂, N₂, H₂O) by the catalyzed redox reactions. The Pd-based catalytic converter contains silver to reduce the cost and increase the oxygen-reduction reaction. Recently, the recovery of Pd and Ag from the waste of catalytic converters is much required due to their rareness in natural resource. Especially, the recovery of Ag have been less interested due to relatively low price of Ag. Thus, the recovered Ag should have functionality to increase the value added. In this study, we have tried to reach Ag and Pd from the catalytic converter wastes and then reduce Ag from the leaching solution. The morphology of Ag was controlled to enhance the functionality, especially the shape of Ag particles shape was controlled by various capping agent. The procedures of silver paste were also optimized. And we evaluated the electrical resistivity of the paste obtained within various fabrication procedures and applied to flexible thermoelectric devices as an electrode.

[P22-26]

Effect of C and N Addition on Thermoelectric Properties of TiNiSn Half-Heusler Compounds: Jinuk Hwang¹, Woo Sik Kim², Hwan Soo Dow²; ¹Gyeongsang National University. ²Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology.

We investigated the thermoelectric properties of the ternary half-Heusler compound, TiNiSn, when introducing C and N. The addition of C and N to TiNiSn leads to an enhanced power factor and a decreasing lattice thermal conductivity by point defect phonon scattering. The thermoelectric performances of TiNiSn compounds are significantly improved by adding 1 at. % TiN, TiC and the figure of merit (ZT) values of 0.43 and 0.34, respectively, can be obtained at 723 K. This increase in thermoelectric performance is very helpful in the commercialization of thermoelectric power generation in the mid-temperature range.

[P22-27]

Effect of Sb Doping on the Microstructure of Zn Doped SnTe: SAMUEL KIMANI KIHOI¹, Hyunho Kim², Hyerin Jeong¹, Hyunji Kim³, Juhee Ryu¹, Ho Seong Lee³; ¹School of Materials Science and Engineering. ²Kyungpook National University. ³Kyungpook National.

Keywords: Selected Area Diffraction Pattern (SAED), Embedded, Phonon scattering

We have studied both Sn_{1-x}Zn_xTe(x=0.01,0.02) and Sn_{1-x-0.02}Zn_{0.02}Sb_xTe(x=0.1,0.15). XRD results show the solubility of Zn in SnTe to be about 1 mol%, above this, 2 mol%, ZnTe second phase is observed. This is also the case after doping Sb in Zn-doped SnTe but with a more distinct phase shift to the right as compared to Zn-doped SnTe. SEM-EDS mapping of Sn_{1-x-0.02}Zn_{0.02}Sb_xTe samples confirms the presence of both Zn and Sb precipitates which plays an integral role in phonon scattering. TEM analysis of SAED patterns for both cases with a [1-10] zone axis show strong and weak diffraction points. In addition, Zn doped SnTe clearly shows twinning bands which also plays a role in enhanced phonon scattering. We have also established that Zn doped SnTe displays a partially ordered CuPt-type ordering structure, however, adding Sb the sample is transformed into a rock-salt structure as observed from the FFT of the different HRTEM and SAED patterns. Formation of embedded structures, twinning bands, and CuPt-type ordering is expected to contribute to reduced lattice thermal conductivity resulting in an improved zT compared to pristine SnTe.

[P22-28]

High-Performance Skutterudite-Based Tubular Thermoelectric Generator: Hanhwi Jang¹, Jong Bae Kim¹, Min-wook Oh²;

¹KAIST, ²Hanbat National University.

Keywords: Thermoelectric, Skutterudite, Metallization, Power density

Governments and industries are devising a breakthrough to deal with the unprecedented world's energy catastrophe nowadays. Thermoelectric generators can recover the vast amount of waste heat from factories, power plants, and even home appliances directly into a practical electricity. However, low energy conversion efficiency of conventional thermoelectric materials has been their critical demerit to be an alternative candidate for a future energy source. Furthermore, most of the thermoelectric generators are fabricated into cubical shape and joined onto a flat substrate, while typical heat source have curved or tubular surface. This results in poor thermal contact between the heat source and the module, finally decreased heat absorption ability. Tubular thermoelectric generators (TTEG) have been suggested as a solution to the aforementioned issues due to their conformal interface with heat source. However, as opposed to planar-type TEG, few studies have been presented concerning with a designs of the TTEG such as machining process, choice of electrode materials or brazing materials, and their joining techniques. The absence of the well-established processing technique will lead to deteriorated module performance even if a thermoelectric material with superior material property is introduced. In addition, most of the TTEGs are made of Bi₂Te₃-based thermoelectric materials, which is easily degraded at high-temperature region. Therefore, necessity for developing process for fabrication of TTEG for mid-temperature operation is evident. Here, we present skutterudite (SKD)-based tubular thermoelectric generator which shows ultra-high power density. A single-pair TTEG exhibited an open circuit voltage (OCV) of 0.1mV, and outstanding power density about 0.57 at a temperature difference of 420K. This extraordinary power density was achieved by an optimization of the sintering and metallization condition. The joining of the components of the TTEG was done by modified resistance welding (MRW) method, which separates sintering of thermoelectric material and joining with electrodes. Scanning electron microscope (SEM) analysis confirmed that an interface between the SKD and the electrode is clear, and has no significant cracks. It is concluded that MRW method contributed to a low specific contact resistance of the module thereby increasing a performance of whole TTEG.

P23 : 전자재료
Room 전시장 III, 4월 26일

[P23-1]

Structural Analysis of Ag/Sn/Ag Backside Metal for High-Temperature Semiconductor Devices: 최여진¹, 남상열², 최진석¹, 안성진¹; ¹금오공과대학교, ²구미전자정보기술원.

Keywords: Backside metallization, Die attach process, Sn-Ag

Die bonding materials of the semiconductor manufacturing process should have a melting point higher than the temperature of the wire bonding process. Conventional Au-based alloys are very expensive and Pb-based alloys are toxic. Therefore, they should be replaced with cheaper and environmentally friendly materials. In this study, we report a die attach process using backside metals with Ag/Sn/Ag sandwich structure. After die attach process, we investigated the interfacial structure by optical microscope and electron microscopes.

[P23-2]

Wafer-Scale Homogeneous Growth of Monolayer Tungsten Dichalcogenides Using MOCVD: Hee Seong Kang, Do Hyoung Koo, Chul-Ho Lee; *Korea University.*

Keywords: 2D semiconductors, TMDCs, MOCVD

Atomically thin transition metal dichalcogenides (TMDCs) have recently attracted tremendous scientific and technological interests as an emerging semiconductor because of their exceptional electrical and optical properties. For practical device applications, the wafer-scale homogeneous growth of high-quality TMDCs is surely required. To date, thermal chemical vapor deposition (CVD) methods by sublimation of solid powder precursors have been widely utilized for the large-area growth. Although those processes produced the TMDCs layers with large grain sizes of a few hundred microns, the uniform growth of TMDCs over a wafer scale still remains unsolved. In this research, we present the wafer-scale growth of monolayer tungsten dichalcogenides using metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD). The nucleation density and grain sizes of crystalline tungsten dichalcogenides could be precisely controlled by modulating the various growth parameters. As a result, monolayer WSe₂ and WS₂ were grown uniformly on a 2-inch SiO₂/Si substrate. We investigated the optical properties of MOCVD-grown films through photoluminescence (PL), Raman spectroscopy, and confirmed that they have high optical quality which is comparable to that of the exfoliated counterpart. In addition, we have successfully demonstrated that the epitaxial WSe₂/WS₂ hetero-bilayer can be grown by the sequential growth. Furthermore, we will discuss the electronic and optoelectronic device applications of MOCVD-grown TMDCs and their heterostructures.

[P23-3]

Electrical Stabilization and Room-Temperature Light Emission of Trions in Van Der Waals Heterostructure: Huije Ryu¹, Junyoung Kwon¹, Chul-Ho Lee², Gwan-Hyoung Lee³; ¹Yonsei University, ²Korea University, ³Seoul National University.

Keywords: Van der Waals heterostructure, Trion, Light emission, Charge injection, Gate tunability, Room temperature

Charge carriers in monolayer group VI transition-metal dichalcogenides (TMDs) feels strong quantum confinement, reduced dielectric screening of electric fields, and heavy effective masses of electron and hole in the strict two-dimensional (2D) limit, resulting in a strong Coulomb interaction between electrons and holes. The resulting formation of various excitonic complexes (ECs) including excitons, trions, and biexcitons with high binding energy than other conventional semiconductors. Charged exciton known as trion has an additional charge to neutral exciton, which makes it negatively or positively charged. Due to the net charge and heavy effective mass, charge transport by electrostatic field in trion have been studied. In addition, it has lower energy state than exciton energy; it has many possibilities in terms of wavelength tunability for optoelectronic application. However, the binding energy of the trions is lower than that of the exciton, which means the stability of trions is lower than that of the exciton. Therefore, most studies of trions have been conducted at low temperature. It is important to make trion stable at high temperature from an application point of view. To date, most of the methods for observing and studying trions in two-dimensional materials have used optical methods such as photoluminescence (PL) measurement by photo excitation. So far, the binding energy, decay time, transport, and possibility of presence in hetrobilayer of trions have been studied with PL. However, in order to apply trions as a quasi-particle in new concept optoelectronic device such as an excitonic device, it is necessary to electrically generate and control trions. Here, we fabricated light emitting devices based 2D heterostructures that only electrically control the trions/excitons ratio and emit trions stabilized at RT. These devices was composed of WSe₂ monolayer encapsulated between thin hBN barriers with top and bottom graphene electrodes for vertical current injection and light emission. In addition, we supply extra free carrier into WSe₂ quantum well by direct injection electrode to provide ultrahigh free carrier concentration, which control density of trion at RT. Our work provides better understanding for behaviors of the tightly bound exciton in atomically confined systems and shows a novel approach to electrical modulation of the selective generation of excitons or trions, which is essential for potential applications in excitonic electronics.

[P23-4]

Atomically Thin Graphene Etch Masks for Integration of 2D Heterostructure Devices: Junyoung Kwon¹, Jangyup Son², Sun Phil Kim², Yinchuan Lv², Jaehyung Yu², Jong-Young Lee¹, Huije Ryu¹, Rita Garrido-Menacho², Nadya Mason², Elif Ertekin², Pinshane Y. Huang², Arend van der Zande², Gwan-Hyoung Lee³; ¹Yonsei University. ²University of Illinois at Urbana-Champaign. ³Seoul National University.

Keywords: Two dimensional materials, XeF₂, Graphene, Van der Waals heterostructures, Patterning

In next generation molecular nanotechnologies, atomically-precise fabrication methods are needed to controllably, scalably and reproducibly engineer devices with designed functionality. Here, we demonstrate the novel use of monolayer graphene as a highly selective etch mask in van der Waals (vdW) heterostructures and application in nanoelectronic and nanomechanical devices. With the exception of graphene, most two dimensional (2D) materials are etched through exposure to xenon difluoride (XeF₂) gas. In contrast, graphene is fluorinated into highly resistive and gas impermeable fluorographene (FG). By burying graphene within stacked heterostructures of other 2D materials, this unconventional etching selectivity allows one-step patterning of sophisticated devices within the heterostructures by using the graphene as one-atom-thick etch mask or etch stop. This technique enables atomic-precision in etch depth without precise control of etch time or process parameters, yet also works on chip-scale patterned arrays. We fabricated contacts to graphene devices encapsulated within hexagonal boron nitride (hBN) layers, where deposited metal touches only the fluorinated graphene regions through etched holes in the hBN. The devices showed remarkably high carrier mobility of $\sim 140,000 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ at room temperature and surprisingly low contact resistance of $80 \Omega \cdot \mu\text{m}$. We highlight the advantages of graphene etch masks through proof-of-concept demonstrations: 1. Interlayer vias between devices at different depths within a heterostructure, 2. Devices with multiple active layers, and 3. Suspended graphene mechanical resonators with a dry, one-step etching process. Combined, the graphene etch mask is a versatile new nanofabrication process enabling 3D-integrated nanoelectronic and nanoelectromechanical devices from 2D material heterostructures, while simultaneously being atomically precise, scalable, simple to execute, and having performance at or exceeding the state of the art. By bringing these critical capabilities together, along with recent advancements in the scalable growth of 2D materials, this selective etch will find wide applicability in realizing 2D heterostructure devices as a viable technology.

[P23-5]

Engineering of Graphene by Epitaxial Growth of MoO₃: Hangyel Kim¹, Jong-Hun Kim¹, Gwan-Hyoung Lee²; ¹Yonsei University. ²Seoul National University.

Keywords: 2D materials, Van der Waal's heterostructure, Graphene, Molybdenum trioxide

In recent years, two-dimensional (2D) materials have attracted great attention due to their unique properties. Among them, graphene has attractive properties, such as high carrier mobility, flexibility, and transparency, which make graphene an emerging candidate in next-generation electronic devices. Despite explosive researches of 2D materials, 2D oxides have not been widely studied. Molybdenum trioxide (α -MoO₃) is a layered oxide material, where octahedral layers are stacked along b-axis direction with weak van der Waals force. Here we demonstrated engineering of graphene by epitaxial growth of MoO₃. Layered MoO₃ was produced on graphene templates by proximity evaporation of Mo thin film in ambient condition. Strong Interaction between graphene and the grown MoO₃ was observed because graphene/MoO₃ interface forms an ultraclean heterointerface with a crystalline correlation. When few-layered MoO₃ is grown on monolayer graphene, graphene is compressed by $\sim 0.2\%$ due to large lattice mismatch of graphene and MoO₃. In addition, graphene is p-doped up to $2.0 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$ due to extraction of electrons to large work function MoO₃. More interestingly, we observed a decoupling of top graphene layer from bottom layers in MoO₃-deposited multilayer graphene, probably due to large strain effect induced by MoO₃. Our work shows a possibility of graphene engineering by using epitaxial growth of 2D oxides, including strain modulation, doping control, and decoupling of layers.

P24 : 재료분석
Room 전시장 III, 4월 26일

[P24-1]

비파괴 정밀분석용 CT를 활용한 자동차 엔진 전장용 부품 분석: 박한수, 박현준, 차성철; 현대케피코

Keywords: 엔진 전장용 부품, CT, 비파괴검사

산업용 CT (Computed Tomography) 란 의학용 CT를 산업용으로 응용한 것으로, X선 소스로부터 투영된 단층상의 2D 데이터를 고해상도 3D 이미지로 재구성하여 검사하는 비파괴 검사 장비이다. CT의 주요 기능은 시료의 별도 가공 없이 비파괴 방식으로 단면 품질 분석, 내부 결함 및 형상 분석, 치수 분석, 역설계 및 기초 정보 확보 등이 있다. 당사는 Micro/Nano 듀얼 타입 CT를 보유중이며, 본 발표에서는 1 μm 의 정밀도를 갖는 Micro CT를 활용한 비파괴 분석이 자동차 엔진 전장용 금속/세라믹 부품 개발 및 불량 원인 분석에 적용된 사례를 소개하고자 한다. 그 사례로서, 산소센서 소자 개발 간, 전극 및 절연층의 핀홀, 이물질, 인쇄성 확인 및 최적화, 고압펌프 카운터바 (Counter bar) 금속분말사출성형품 (Metal Injection Molding) 내부 기공 분석을 통한 성형 조건 최적화 및 부품 강도 확보, 고압인젝터 밸브시트 (Valve seat) 내측 홀 주변 미세크랙 검출을 통한 로트성 불량 확인 및 불량 원인 규명이 있다. 향후에도 본 CT를 활용해 지속적인 제품 성능 및 품질 향상을 도모하고자 한다.

[P24-2]

TEM 전자회절패턴 해석을 위한 자동화 시스템 개발 (1/3): 강선, 허윤, 홍기정; 포항산업과학연구원(RIST).

Keywords: TEM, 전자회절패턴, 결정상, 플랫폼, 자동화

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-micrograph와 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 개발 중에 있다. 본 발표에서는 TEM으로부터 획득한 회절패턴의 Spot 간 거리와 각도를 정확하게 측정하고, 입력한 Ref.(JCPDS DB 활용) 수치와의 직접 비교가 가능하도록 개발된 신 전자회절패턴 해석 플랫폼을 소개하고자 한다.

[P24-3]

등온열화에 따른 1.25Cr-0.5Mo강의 미세조직과 기계적 특성 분석: 김명연¹, 정우상², 이영국¹, 심재혁²; ¹연세대학교 ²한국과학기술연구원

Keywords: 1.25Cr-0.5Mo steel, Hardness, Precipitates, TEM, XRD

전력 수요의 증가와 온실가스의 감소를 위한 목적으로 국내의 20년 넘게 사용된 표준석탄화력시스템의 Retrofit (성능개선사업)을 계획하고 있다. 그 중에서 재가열기(CRH : Cold-reheater)의 소재로 1.25Cr-0.5Mo 내열강이 사용되고 있다. CRH 배관은 낮은 설계 온도 및 압력(310 °C, 52 MPa)을 고려하여 보일러 출력증강 사업추진의 교체 대상목록에서 제외되었다. 그러나, 변경된 설계 조건에서 기존 사용 소재가 연속적으로 사용되기 위해서는 소재의 물성을 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 1.25Cr-0.5Mo강을 설계 온도 조건보다 높은 550 °C 에서 가속열화 하여 미세조직과 기계적 특성을 분석하였다. 등온 열화재의 경도 측정을 통해 시간에 따라 경도가 감소하는 경향을 확인하였고, 일정 시간 이후 새로운 석출상이 생성됨을 XRD(X-Ray Diffraction) 및 투과전자현미경(TEM)을 이용하여 관찰하였다.

[P24-4]

Corrosion Behavior of the Fe-Based Amorphous Alloys: 김송의, 이아영, 이민하; 한국생산기술연구원

Keywords: Fe-based amorphous, Corrosion properties, Amorphous,

The Fe-base amorphous ribbons with alloying element of Mn, Si, V, Si and Ti synthesized by melt spinning technique and we evaluated the variation of glass forming ability and thermal property of Fe-based amorphous ribbons by additional alloying elements. Corrosion properties of Fe-based amorphous alloy were tested by weight loss of initial materials for long-term immersion in acid solution (67vol%_10%HCl + 33vol%_10%NaCl) at room temperature. The microstructural and structural characterizations were performed using by x-ray diffraction with monochromatic Co-K α radiation and a scanning electron microscope (SEM). The weight reduction ratio by increasing time from 0 to 534 days under corrosive environment of 67 vol % (10%HCl) + 10 vol% (10%NaCl) solution was measured and evaluated the corrosion resistance of Fe-based amorphous alloys.

[P24-5]

A356합금 내의 Mn이 Nanocluster에 미치는 영향에 대한 APT(Atom Probe Tomography) 분석: 신원상, 김윤준; 인하대학교신소재공학과

Keywords: Cast Aluminum Alloys, APT, Nanoclusters, Aging Heat Treatment, Microstructure

주조알루미늄 합금은 중량 대비 강도가 높고, 내부식성과 리사이클링 등이 좋기 때문에 자동차 및 우주 산업에서 널리 사용된다.

그 중, A356 합금($Al - 7 \text{ wt}\%Si - 0.3 \text{ wt}\%Mg$)은 대략 50%의 eutectic microstructure를 포함하는데, 주조 조건에서 갖는 높은 Si함량은 eutectic의 형상을 제어하기 때문에 A356합금의 강화에 중요한 역할을 한다. 따라서 고Si조성이 A356합금 물성에 미치는 영향을 파악하기 위해 α -matrix내에 용해되는 Si nanoclusters가 형성되는 메커니즘을 이해하는 것이 필요하다. 또한 nanoclusters의 분포, 크기 및 조성의 정량화를 통해 다른 합금 원소들 간의 상관관계를 이해할 수 있다. Nanocluster의 일반적인 크기는 수 nanometer에서 sub-nanometer정도로 특성화가 어렵지만 APT(Atom Probe Tomography)는 클러스터의 크기, 분포 및 조성 뿐 아니라 3-D형태의 화학 및 공간 정보도 제공한다. 클러스터 분석방법으로는 3차원 좌표 정보와 time-of-flight 데이터에 maximum separation algorithm을 적용하며, 여기에 필요한 input parameter(d_{\max} , N_{\min} 등), 합금원소(Al, Si, Mg)별 Envelopment distances, Erosion distance와 같은 추가 보정 변수를 조절하여 최적화된 Cluster 정보를 도출할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 APT 및 IVAS(APT 분석 software)를 통해 서로 다른 시효열처리 온도(120min, 각 110 °C, 130 °C, 150 °C)로 제작된 A356합금의 Al-Mg-Si nanocluster, Al-Mg-Si-Mn nanocluster의 크기, 분포 및 조성에 대한 정보를 도출하였으며, 최종적으로Mn이 Cluster를 형성하는 데 영향이 있음을 확인하였다.

[P24-6]

Effect of Additive Processing on the Microstructure of SS316L: Sijia Liu¹, Keesam Shin¹, Choi Chul², Mi-hee Jung²,
¹Changwon National University. ²KEPCO Research Institute.

Keywords: Additive manufacturing, Microstructure, Precision casting, Fatigue, 316L stainless steel

Additive manufacturing (AM) has been getting attention as a reliable means of designing and producing metallic parts in the aerospace, naval vessel, medical domain (skull, spine, pharmacy, etc.), construction, automobile industry and so on, due to its flexible shape and competitive mechanical properties. In this study, specimens manufactured upon precision casting, directed energy deposition (DED) and powder bed fusion (PBF) were analyzed and for the correlation between microstructures and processing technics. The microstructure of the specimens was investigated using various characterization techniques, i.e., OM, SEM, EBSD, and TEM. Besides, fatigue characteristics of the specimens were studied. Microstructures of the precision casting specimens were characterized as cellular grains of austenite with segregation of Mo. Precipitates in DED and PBF-processed specimens were enriched with Si, Mn, resulting in the increase of microhardness. During the AM processing, the power melted in a semi-molten state at the nozzle and extruded layer by layer onto the substrate and then solidified into parts. In this way, the correlation between the load axis and the interface is analyzed, to determine the change of tensile strength to the direction of the interface and its transversal direction of the specimen.

[P24-7]

전기폭발법으로 제조된 니켈 나노분말의 미세구조 및 자기적 특성: 현유희, 김유신, 김영우, 박현순; 인하대학교 신소재공학부.

Keywords: Nickel nano powder, Pulsed Wire Evaporation, Microstructure, Magnetic properties

나노 분말은 입자 크기 감소에 따른 표면적 증가 및 나노화된 체적 특성으로 인해 기존 벌크 소재와는 다른 특별한 전자적, 광학적, 자기적, 기계적인 특성을 나타낸다. 따라서 산업적 응용을 위한 나노분말을 제조하기 위해 다양한 방법들이 시도 되고 있다. 특히 전기폭발법(PWE; Pulsed Wire Evaporation)은 공정이 간단하며 높은 에너지 효율, 고순도의 분말을 제조가 가능하다는 장점이 있어 활발한 연구가 행해지고 있다. 본 연구에서는 전기폭발법으로 제조된 니켈 나노 분말에 대해 결정구조, 입도분포 및 자기적 특성을 분석하고자 하였다. 직경 0.2mm 니켈 와이어를 사용하여 질소 분위기하에서 인가전압(2.6kV, 6.0kV)에 따른 분말을 각각 제조하였다. 전압에 따른 결정구조, 미세구조 및 입도 분포를 관찰하기위해 XRD, SEM 및 TEM을 활용하였으며 자기적 특성은 MPMS를 활용하였다. 이를 토대로 니켈 나노 분말의 미세구조 및 자기적 특성에 대해 논의하고자 한다.

[P24-8]

Sn, Cr 원소 첨가와 표면 열처리에 따른 FCD600의 마찰마모특성 및 기계적 변화 분석: 정동현¹, 김윤준², 백승학³; ¹인하대학교 신소재공학부. ²인하대학교. ³벽진(주).

Keywords: FCD600, 마찰 마모, 원소 첨가, 고주파열처리

아이들러는 굴착기의 트랙 프레임에 설치되어 진행 방향을 조정하는 역할을 수행하는 부분으로, 굴착기의 방향 전환 시 높은 응력을 받기 때문에 높은 기계적 강도와 내마모성을 요구 받고있다. 이에 사용되는 소재로 재질과 성능이 우수한 주철재인 FCD600이 상용화되어있다. 그러나 굴착기의 거친 사용 환경으로 인해 잦은 파손이 일어나므로, 합금 원소 첨가와 추가 공정을 통해 이를 개선하고자 한다. FCD600은 높은 탄소 함량으로 인해 조직 내에 구상의 흑연이 있는 구상흑연주철이다. 내부의 구상 흑연으로 인해 기계적 강도와 내열성, 내식성이 우수하므로 강도를 요구하는 기계부품에 많이 사용되고 있으나, 아이들러 소재로써 적용되면 파손이나 수명 단축 등의 결함이 발생하므로 기계적 특성의 개선이 필요하다. 이를 위해 합금 원소 Sn, Cr을 첨가하였으며, 첨가된 Sn은 조직 내 구상흑연의 구상화와 입 수 증가에 영향을 주고, Cr의 첨가는 구상흑연의 입 수를 줄이나 강도를 크게 향상시킨다. 추가적으로, 내마모성 및 표면 경도 향상을 위해 표면 고주파 열처리를 수행하였으며, 이는 아이들러 표면의 경도와 내마모성을 크게 향상시키지만 조직 내 구상흑연에는 거의 영향을 주지 않는 것을 확인하였다. 따라서, 본 연구에서는 FCD600의 첨가 원소와 표면 처리에 따른 소재의 미세조직 및 기계적 성질 변화를 비교 분석을 통해 확인하였다.

[P24-9]

Study on the Microstructural Degradation of the Boiler Tubes After Long-Term Service: Liming Xu¹, Keesam Shin¹,

Yinsheng He², Si-yeon Bae²; ¹Changwon National University. ²KEPCO Research Institute.

Keywords: Microstructural degradation, Boiler tubes, Long-term service

In most case, materials applied for boiler tubes are one of the two types: 1) ferritic/martensitic or 2) austenitic steels. During long-term exposure to high temperature with steam, the microstructural degradation of these steels are rather drastic causing premature failure of the boiler systems in power plant. To estimate the life time for better maintenance and even expand it, we studied the microstructural degradation mechanism of the two major types of boiler steels after long-term on-site usage. In this study, two ferritic steels and one austenitic steel are investigated, i.e., T11/T22 (ferritic steel, 1Cr-0.5Mo/2.25Cr-1Mo), T91 (martensitic steel, 9Cr-1Mo-Nb-V) and S304H (austenitic steel, 18Cr-9Ni-3Cu-Nb-N), which were produced by Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation and were used in Boryeong and Samcheonpo coal-fired power plants. The microstructure investigation focused on the precipitates variation, microstructural stability and oxidation behaviors were carried out using various analytical techniques, i.e., optical microscopy, Vickers microhardness test, scanning electron microscopy, electron backscattered diffraction, X-ray diffractometry and transmission electron microscopy. The main phenomena of microstructural degradation of the investigated boiler tubes can be summarized as: (1) precipitates coarsening; (2) phase transformation; (3) the original microstructure decomposition.

[P24-10]

기계적박리와 화학기상증착으로 합성한 2차원 전이금속 칼코제나이드 물질의 트라이볼로지 특성 분석: 황교진¹, 장호², 함명관¹, 김윤준¹; ¹인하대학교 신소재공학과. ²고려대학교 신소재공학과.

Keywords: Superconductor, Transition Metal Dichalcogenide, Tribology, Atomic Force Microscope

초전도체는 물질의 임계온도 아래에서 저항이 급격하게 감소하여 전력 손실 없이 전류가 흐르는 물질이다. 이를 이용하면 에너지, 전력, 교통, 의료·과학, 환경·산업 그리고 전자·정보 등의 분야에서 활용이 가능하다. 이러한 초전도체 중 2차원 전이금속 칼코제나이드 (Transition Metal Dichalcogenide, TMDs)가 최근 각광을 받고 있으며, NbSe₂ 물질이 대표적이다. TMD는 구조적으로 안정하며, 밴드 갭 그리고 실리콘과 비슷한 전자 이동도를 갖는다. 또한 나노 크기이므로 나노전자기계 시스템(Nanoelectromechanical System, NEMS)에서 사용되며, NEMS에서는 기존의 마이크로 이상의 시스템과는 다른 트라이볼로지 (Tribology) 특성을 보인다. 본 연구에서는 TMD 물질 중, 반도체 특성을 갖는 MoS₂와 초전도 특성을 갖는 NbSe₂를 기계적 박리(Mechanical exfoliation)와 화학 기상 증착(Chemical Vapor Deposition)을 이용하여 합성하고, TMD 박막의 합성법에 따른 트라이볼로지 특성을 원자힘현미경 (Atomic Force Microscope)를 이용하여 비교 분석하였다.

P25 : 집합조직

Room 전시장 III, 4월 26일

[P25-1]

AA5000 계열 Al 합금판재의 Hot Asymmetry Rolling과 성형성 변화 예측: 이철우, 보보무로드, 김인수; *금오공과대학교*
Keywords: AA5000 series Al alloy sheet, Hot Asymmetric rolling, Pole figure, ODF, Formability

Al 합금은 비중이 낮아 대표적인 경량 금속소재로 사용되고 있다. AA5000 계열 Al 합금은 기계적 성질이 우수하여 다른 어떠한 알루미늄 합금판재보다 자동차 경량화에 적합한 재료 중의 하나이다. 그러나 Al 합금은 완전 어닐링한 후에 입방 집합조직이 잘 발달되어 판재 성형성이 매우 낮다. 이 문제를 해결하기 위하여 Al 합금의 집합조직을 변화시키는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 AA5000 Al 합금 계열의 성형성을 향상 시키기 위하여 열간 비대칭 압연 방법을 도입하였다. AA5000 Al 합금 계열의 열간 비대칭 압연을 하면 전단변형에 의하여 극점도의 변화를 얻을 수 있을 것이다. 이를 바탕으로 AA5000 Al 합금 계열의 열간 비대칭 압연 후 rotated cube 성분, α , γ fiber 성분 등의 전단변형이 극점도 변화에 미치는 과정을 비교하여 보았다. 전 두께 층의 XRD 측정 데이터를 이용하여 AA5000 Al 합금 계열의 극점도를 측정하고 방위분포함수(ODF)로 전개하여 보았다. AA5000 Al 합금 계열의 방위분포 함수로부터 성형성을 예측 계산하고 열간 비대칭 조건의 변화에 의한 극점도의 변화와 성형성 변화를 비교하였다.

[P25-2]

2상 타이타늄 합금의 결정소성 유한요소 해석: 정혜인¹, 채준열¹, 김은영², 강주희², 오창석², 김지훈¹; ¹부산대학교 ²재료연구소
Keywords: titanium Alloys, 3D microstructure, Colony, Homogenization, Crystal plasticity FEM

다상으로 이루어진 소재의 경우 단일상의 거동뿐만 아니라 각 상들의 3차원적 구조가 거시적 거동에 미치는 영향이 크게 작용하기 때문에 3차원 미세구조를 재건하고 이를 이용하여 변형 거동을 예측하는 결정소성 유한요소 해석 기술이 필수적이다. 이를 위해 본 연구에서는 EBSD 분석을 통해서 2상 타이타늄 합금의 콜로니 층 간격, 길이 등 구조를 분석하여 콜로니 단위의 해석 모델을 개발하고 균질화를 통해 물성을 계산하였다. 또한, 콜로니의 물성을 재건된 미세조직 모델에 적용하여 결정소성 유한요소 해석을 수행하고, 거시적 물성과 미세조직 모델의 거동을 비교하여 2상 타이타늄 합금의 변형 특성을 분석하였다.

[P25-3]

AA6000 계열 Al 합금판재의 Hot Asymmetry Rolling과 성형성: 이철우, 보보무로드, 김인수; *금오공과대학교*
Keywords: AA6000 series Al alloy sheet, Hot Asymmetric rolling, Pole figure, ODF, Formability

Al 합금은 비중이 낮아 대표적인 경량 금속소재로 사용되고 있다. AA6000 계열 Al 합금은 기계적 성질이 우수하여 다른 어떠한 알루미늄 합금판재보다 자동차 경량화에 적합한 재료이다. 그러나 AA6000 계열 Al 합금 이외에 모든 Al 합금은 완전 어닐링한 후에 입방 집합조직이 잘 발달되어 판재 성형성이 매우 낮다. 이 문제를 해결하기 위하여 성형성 향상을 위하여 모든 Al 합금의 극점도를 변화시키는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 성형성을 향상 시키기 위하여 AA6000 Al 합금 계열의 열간 비대칭 압연 방법을 도입하였다. AA6000 Al 합금 계열의 열간 비대칭 압연은 열간에서 전단변형을 함으로서 극점도의 변화를 얻을 수 있다. AA6000 Al 합금 계열의 열간 비대칭 압연 후 rotated cube 성분, α , γ fiber 성분 등의 극점도 변화 과정을 비교하여 보았다. XRD 측정 데이터를 이용하여 AA6000 Al 합금 계열의 극점도를 측정하고 방위분포함수(ODF)로 전개하여 보았다. AA6000 Al 합금 계열의 방위분포 함수로부터 성형성을 계산하고 열간 비대칭 조건의 변화에 의한 극점도의 변화와 성형성 변화를 비교하였다.

[P25-4]

멀티 리플로우에 따른 Cu 필라 솔더 범프의 미세조직 변화 및 방위관계 관찰: 김상현, 신한균, 이우진, 박현, 이효종; *동아대학교 금속공학과*
Keywords: Electroplating, Cu pillar solder bump, Reflow, EBSD

급속한 전자 제품 산업 발전에 따라 전자 부품 실장 기술도 미세화를 위한 방향으로 빠르게 발전하고 있다. 전자 부품 실장 기술은 3차원 적층구조의 수요와 더불어 혁신적으로 변화하고 있으며, 현재는 종래의 접합방식인 BGA(ball grid array)방법으로 대응할 수 없는 영역의 출현으로 TSV(through silicon via) 기술과 더불어 Cu 필라 솔더 범프(Cu pillar solder bump)를 통한 50 μm 이하의 피치가 사용되어 집적도 향상을 견인하고 있다. 미세 피치 구현이 가능한 Cu 필라 솔더 범프는 기계적 물성이 특정방향에 대해 비교적 낮고 발열 및 냉각을 통한 thermal cycling은 원자의 열확산을 유도해 금속간 화합물(IMC), 공공(void), 균열(crack) 등과 같은 신뢰성 저하 요소들이 발생한다. 본 연구는 금속간 화합물 성장 및 공공 발생에 대해 Cu/IMC/Sn 각각의 계면을 관찰하기 위하여 Cu 필라 솔더 범프를 전해도금으로 제작하였다. 먼저 Si wafer상 Cu 씨앗층을 형성하고 50 μm 폭으로 패터닝하였다. Cu와 솔더를 순차적으로 각각 30, 25 μm 두께로 전해 도금하여 제작하였으며 솔더 도금은 Sn, Sn-Ag 2가지의 시편을 준비하였고, 각각 1, 3, 5회까지 멀티 리플로우 공정을 수행하여 미세조직 변화를 비교 관찰하였다. 솔더층은 초기의 조대한 결정립에서 리플로우 횟수에 따라 결정립이 미세화 되는 것을 확인하였고, 이에 대한 금속간 화합물 성장방향에 대한 Cu pillar 및 솔더층 간의 방위관계를 규명하고자 한다.

[P25-5]

전단 변형을 이용해 순 탄탈륨 압연재의 성형성을 향상시키는 방법: 김소연¹, 황교준¹, 이학현¹, 박형근¹, 정재면¹, 김광련², 오주영², 박

성택², 오경원³, 김형섭¹; ¹포항공과대학교 신소재공학과, ²(주) 풍산 방산기술연구원, ³방위산업기술지원센터.

Keywords: Formability, ECAP(Equal Channel Angular Pressing), Pure Tantalum, VPSC(Visco plastic self-consistent)

체심입방구조 (Body centered cubic, BCC) 결정구조를 가지는 Ta은 초기에 (001) 집합조직을 강하게 함유하고, 압연공정을 거치더라도 초기 (001) 조직이 여전히 잔류하여 성형성을 낮추는 요인으로 작용한다. 따라서, 초기 집합조직 제어를 통해 압연 후 성형성을 높이는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구는 소재에 전단변형을 가하였을 때 (001) 집합조직이 제어되는 것을 기반으로 동통로각압축 (Equal channel angular pressing, ECAP) 공정과 다결정 소성모델 (Visco-plastic self-consistent, VPSC)을 사용하여 초기 집합조직을 변화하였을 때 압연 공정 후 생성되는 (001)/(111) 집합조직 분율을 이용하여 성형성 분석을 진행하였다.

P26 : 가공-소성 가공

Room 전시장 III, 4월 26일

[P26-1]

항공기용 Firewall Chord 부품 제작을 위한 열간 성형 기술 개발: 유원규¹, 김성욱¹, 김경환¹, 권용남², 김대용², 박현일², 김수환¹; ¹대화항공산업(주). ²재료연구소

Keywords: 열간 성형, Ti-6Al-4V, Firewall Chord, 항공기 부품

타이타늄 합금을 이용한 항공기 부품은 국외의 경우 오래전부터 사용되고 있으나 국내의 경우 고가의 설비, 까다로운 인증 절차, 높은 기술 개발이 요구되어 선진국의 기술 수준에 도달하기 어려운 실정이다. 현재까지도 시장 진입 장벽이 높은 이유로 인해 대부분 수입에 의존하고 있으며 일부 업체에서만 국산화 전환을 위한 기술 개발 연구를 진행하고 있다. 당사에서는 국내에서 시도하지 못한 장축 길이 1,500 mm 이상 대형 Ti-6Al-4V 합금 부품의 국산화 전환을 위해 자체적으로 1,500 mm × 3,000 mm 급 대형 열간 성형(Hot Forming) 장비를 제작하였고, 항공기 기체 구조용 부품(Firewall Chord)을 선정하여 열간 성형 공정 기술 개발을 진행하였다. Firewall Chord 부품은 장축 길이가 길수록 형상 제어가 까다롭고 개발 요구 수준이 높은 점을 고려하여 형상이 다른 장축 길이 약 1,446 mm와 1,685 mm 2종에 대해 개발하고자 하였다. 본 연구에서는 Net-Shape 부품 제작을 위해 유한요소해석을 이용하여 금형 개념을 선정하였으며 온도 650 °C, 하중 7Ton, 유지 시간 15min의 동일 성형 조건에서 Ti-6Al-4V 판재 블랭크의 형상을 변형시켜 성형성을 확인하고자 하였다.

[P26-2]

냉간 인발 Co₁₀Cr₁₅Fe₂₅Mn₁₀Ni₃₀V₁₀ 고엔트로피합금 와이어의 미세조직과 변형률의 상관관계: 조환술¹, 배성준¹, 이광석¹, 나영상¹, 김정환², 이동근³; ¹Korea Institute of Materials Science. ²Hanbat National University. ³Suncheon National University.

Keywords: High entropy alloy, Finite element method, Cold drawing, Microstructural evolution

FCC계 고엔트로피합금은 극저온에서 강도와 연성이 모두 우수해지는 특성을 바탕으로 선박, LNG 등의 산업 분야로 응용하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 대표적인 합금계로는 Cantor alloy (CoCrFeMnNi)가 있으며, 최근에는 물성 최적화를 위한 합금 설계 및 열/변형 유기 미세조직 변화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 열/변형이 미세조직에 미치는 영향을 예측하기 위해 유한요소해석을 활용한 사례도 보고되고 있으나, 주로 판재 및 빌렛 제조를 위한 압연과 압축 공정에 관한 내용이 주를 이루고 있으며, 와이어 제조를 위한 인발 공정에의 적용 사례는 미흡한 상황이다. 본 연구에서는 주조시 단상의 FCC 구조를 갖는 6원계 Co₁₀Cr₁₅Fe₂₅Mn₁₀Ni₃₀V₁₀ 고엔트로피 합금의 냉간 인발시 96%까지의 단면 감소율과 위치별 변형률을 유한요소해석법으로 예측하였다. 또한 실제 다단 냉간 인발을 수행하여 대표적으로 몇몇 다른 직경을 갖는 와이어 제조에 성공하였다. EBSD, TEM 분석을 통해 미세조직 변화를 관찰함으로써 단면 감소율의 변화가 변형 쌍정 및 결정립 미세화에 미치는 영향을 분석하였으며, 유한요소해석 결과의 유효성을 검증하였다.

[P26-3]

열간단조 및 열처리가 CrNiMo강의 미세조직과 기계적특성에 미치는 영향에 대한 연구: 이민지¹, 권용남¹, 이동준¹, 이진모², 이동근³; ¹재료연구소(KIMS). ²(주)태웅 기업부설연구소. ³순천대학교 신소재공학과.

Keywords: CrNiMo steel, Hot forging process, Heat treatment, Microstructure, Tempered martensite

해상풍력발전기의 주 부품인 Main shaft는 단조부품으로 용도와 지리적 여건상 우수한 기계적성질을 요구하는데, 탄소농도가 0.3%-0.5%, Cr이 0.8%-1.2%를 함유하는 Cr강은 우수한 강도와 좋은 인성을 나타내고, Ni과 Mo를 첨가한 CrNiMo 강으로 제조하여, 고 강도와 고내식성을 바탕으로 이에 적합하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 주조된 CrNiMo강을 열간단조, 열처리 하여 미세조직에 따른 기계적물성과 충격인성을 평가하였다. 열간단조는 1250 °C에서 0.6%의 압축비로 수행 후, 열처리 공정은 Annealing(730 °C, 1 h, Air cooling), Quenching(860 °C, 1 h, Water quenching), Tempering(640 °C, 1 h, Air cooling)의 순서로 진행되었다. 기계적 특성 평가는 인장시험과 샤르피 충격시험으로 실시하였으며, 미세조직은 후방산란전자회절(EBSD) 방법을 통하여 분석하였다. 주조된 시편에 비해 열간단조 및 열처리된 시편에서 높은 인장강도와 연신률, 샤르피 충격인성을 보였다. 이는 주조된 시편에서 발견되었던 많은 기공들이 열간단조 및 열처리를 거치면서 크기가 감소하고 분산되어 존재 됨으로써 인장강도, 연신률, 충격인성이 향상되었고, 특히, 열처리 후 템퍼드마르텐사이트 조직으로 인하여, 주조된 페라이트, 펄라이트 혼합상에 비해 높은 충격인성을 가지는 것을 알 수 있었다.

[P26-4]

Gas Tungsten Arc Welding을 이용한 25%Mn강 인발강관의 용접부 미세조직 및 기계적 물성평가: 박건우¹, 박민하¹, 조해주¹, 김병준¹, 신선미¹, 안용식², 전종배¹; ¹한국생산기술연구원 동남지역본부. ²부경대학교 재료공학과.

Keywords: High Manganese Steels, Twinning Induced Plasticity, Gas Tungsten Arc Welding, Pipe Extrusion, Cryogenic Application

고망간강은 소성변형 중에 발생하는 TWIP(twinning induced plasticity)효과를 통해 우수한 강도와 인성 가지며 높은 가공경화율을 보인다. 또한 극저온환경에서도 오스테나이트상을 유지하기 때문에 300계 스테인레스강, 9%Ni강 등을 잇는 차세대 극저온용 소재로 각광받고 있다. 현재까지 Laser welding, Resistance spot welding 등의 용접연구가 이루어져왔으며 주로 자동차산업 위주로

연구가 진행되어 왔다. 하지만 최근 LNG운반선 등에서 극저온용 강관의 수요가 증가하고 있지만 고망간강을 이용한 용접강관의 연구가 부족하며, 특히 산업적 수요가 높은 Gas tungsten arc welding(GTAW)에 대한 연구가 필요한 상황이다. 또한 소구경 강관의 경우 용접강관을 모관으로 하는 인발 공정을 도입하여, 수요자 요구에 맞는 구경의 맞춤 제작이 필요하다. 기존의 seamless 관과 비교하면, 용접부를 포함하는 강관의 인발의 경우, 인발 공정이 용접부의 기계적 신뢰성의 상관관계에 대한 이해가 필수적이다. 하지만, 고망간 용접강관의 인발 공정에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 GTAW를 이용한 25%Mn-3.4%Cr-0.44%C 고망간 강관을 모관으로 하여, 인발 공정 및 열처리 조건이 미세조직 및 기계적 물성에 대해 미치는 영향에 대해 연구하였다. 용접강관을 950 °C와 1050 °C 두 가지 온도로 풀림 열처리 수행 후 인발 공정을 실시하였으며, 인발 후 1080 °C도에서 열처리를 실시하여, 인발 후 풀림 열처리의 효과도 알아보았다. Optical microscope, XRD, EBSD 등을 통해 강관의 미세조직과 상 분석을 실시하였으며, tensile test를 통해 열처리 및 인발 공정이 용접부의 기계적 물성에 미치는 영향을 분석하였다.

[P26-5]

베벨기어의 온간단조 공정 후 제어냉각 공정 적용 효과: 김기환¹, 배성준¹, 윤은유¹, 노태두², 이상용³, 이영선¹; ¹한국기계연구원부설재료연구소 ²(주) 프로솔 ³국립 안동대학교

Keywords: Bevel gear, Warmforging, Control cooling, Finite element method, Microstructure prediction

단조 공정은 성형 후 Quenching&Tempering(QT) 열처리 공정을 진행한다. QT 열처리를 통해 부품의 표면 경화와 내부의 잔류응력을 제거하여 인성을 증가시키기 위한 추가적인 공정이 필요하다. 재료의 강도적인 측면을 고려하였을 때에는 피할 수 없는 공정이지만, 공정비용의 증가 및 환경의 오염과 같이 산업적인 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 온간으로 부품을 성형하고 냉각 중에 2차 열처리를 진행하는 제어냉각 공정을 적용하였다. 제어냉각 공정은 TRIP steel 제조에 쓰이는 공정으로 냉각속도 및 2차 열처리 온도를 제어하여 steel의 미세조직을 변화시키는 공정이다. 따라서 부품의 미세조직을 제어하는데 바로 적용하기에는 온도조건의 설정과 유지시간 설정에 따른 비용과 시간적인 낭비가 크다. 따라서 공정 적용을 위한 유한요소해석과 해석결과의 정확도를 확인하는 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 온간 성형 후 냉각 중에 2차 열처리의 효과를 확인하기 위해 유한요소해석을 이용해 미세조직의 분석을 확인하고 실제 공정에 적용하였다. 그리고 공정 후 부품의 미세조직을 비교하고 경도를 통해 제어냉각 공정의 효과를 확인하였다.

[P26-6]

Effects of a Hot Rolling on the Homogeneity and Thickness Fluctuations of the Fuel Meat: 박철훈, 강동현, 송화영, 김성환, 정용진, 박중만; 한국원자력연구원

The Ki Jang Research Reactor (KJRR), which will be constructed for the production of medical isotopes and the NTD service, will be using a high density nuclear fuel assembly constituted 21 plate type nuclear fuels as a driver fuel. The fabrication issues with increased uranium loading density induced the potential difficulty in the integrity of the fuel meat. In this study, a plate type nuclear fuel for the KJRR was hot rolled at 500 °C to investigate the influence of percent thickness reduction on the homogeneity and thickness fluctuations of the fuel meat. The measurements were made using a linear X-ray scanner for the homogeneity and the microstructural analysis was performed on each rolled fuel plates for investigating thickness variations in the fuel meat.

[P26-7]

ECAP으로 제조된 OFHC Cu의 고변형률속도에서의 동적변형거동: 이예림¹, 이근호¹, 이상현², 박이주¹; ¹국방과학연구소 ²과학기술연합대학원대학교 무기체계공학과

Keywords: High strain rate, ECAP, OFHC Cu, Ultrafine grains

ECAP(Equal Channel Angular Processing)공정으로 초미세립 OFHC Cu를 제작하여 성형작약탄(Shaped charge, SC)의 라이너에 적용시키고자 재료의 동적변형거동을 분석하였다. ECAP공정은 Φ100mm급으로 16passes, Route B₀로 수행하여 1μm 이하의 초미세립 OFHC Cu(UFG-B)를 제조하였고, 공정 후 추가적으로 150 °C(UFG-HT1), 200 °C(UFG-HT2)에서 1시간씩 열처리하였다. 10⁴/s의 고변형률속도에서의 재료의 변형거동을 알아보기 위해 Taylor충격시험을 실시하였다. 또한 일축인장시험기와 SHPB(Split Hopkinson Pressure Bar)를 이용하여 변형률속도에 따른 기계적 특성을 평가하고 실험적으로 얻은 데이터를 적용하여 Johnson-cook 모델 구성방정식 변수를 결정하였다. 재료의 동적변형거동을 모사하기 위해 결정된 변수를 이용해 Hydrodynamics 기반 전산해석을 수행하였고, 그 결과를 Taylor충격시험 실험결과와 비교하였다. Taylor 시험 후 시편의 미세조직을 관찰하기 위해 EBSD(Electron Backscatter Diffraction)를 이용하여 집합조직을 분석하고, 위치에 따른 결정립의 차이를 관찰하였다.

P27 : 가공-용접 및 접합

Room 전시장 III, 4월 26일

[P27-1]

선박용 극저온 알루미늄 소재의 용접 특성 연구: 김재윤, 김지선, 김인주, 강성욱; 한국생산기술연구원

Keywords: IMO환경규제, LNG연료탱크, A15083-0 소재, 인장/항복 강도, 혼합가스 비율

최근 IMO 환경 규제에 의해 친환경연료탱크를 사용하는 선박의 수요가 증가하고 있다. 친환경연료탱크 중 LNG연료탱크는 액화 온도가 극저온이므로 IGC Code에서 정의한 4가지 소재만 사용가능하다. 이 중 A15083-0 소재는 타 재질에 비해 경량화가 가능한 장점이 있다. Al 소재 특성상 용접 시 He과 Ar의 혼합가스를 사용하며, 이 비율에 따른 용접 비드의 형상 등이 다른 경향을 나타낸다. 본 연구에서는 친환경연료탱크 제작 시 탱크 두께와 직접적인 연관이 있는 기계적 물성 중 인장/항복 강도를 혼합가스 비율을 달리하여 실험한 후 평가하였다. 실험은 동일 조건 하에서 혼합가스 비율의 5가지 조건을 각각 2번씩 실험하였다. 본 연구를 통해 혼합가스의 가격의 상대적 차이와 탱크에서 요구되는 기계적 물성치를 고려하여 최적 혼합가스 비율 산출이 가능할 것으로 예상된다.

[P27-2]

FCAW를 이용한 이종금속재료 용접시 보호가스 혼합량에 따른 용접부 기계적 특성 평가: 엄민혁², 조영우¹, 정택균², 현승균²; ¹(주)하이 드로웨스트, ²인하대학교

Keywords: 이종금속 용접, FCAW, 보호가스, 스테인리스강, 탄소강

육상 자원의 고갈로 인해 극지 개발 및 해양플랜트 산업이 발전하면서 스테인리스강의 사용이 많아지게 되고, 오스테나이트계 스테인리스강의 주요원소인 Ni 원료의 가격이 상승함에 따라 재료의 원가 절감을 위한 연구가 진행되고 있다. 사용 온도가 매우 낮은 극지 환경에 필요한 각종 내부식용 설비의 용접구조물 제작 시 비용과 성능의 관점에서 전체를 고합금강으로 제작하는 것보다 탄소강과 합금강 혹은 고합금강을 동시에 사용하는 이종금속 용접이 유리하다. 그러나 이종금속 용접 시 발생하는 물성 차에 따른 균열, 또는 희석이나 금속간 화합물로 인한 기계적 특성 또는 내식성 저하 발생 가능성 때문에 이종금속 용접부의 품질 확보 및 기술 향상을 위한 연구가 필요한 실정이다. 본 연구는 오스테나이트계 스테인리스강(STS 316L)과 저온 압력용기용 탄소강(A516-70N)의 이종금속 FCAW 다층 용접을 실시하여 가스혼합량에 따른 미세조직 및 상 분석, 기계적 특성에 대한 평가를 실시하였다.

[P27-3]

Al 5J32 알루미늄 합금의 마찰교반점용접부의 기계적 특성 평가 연구: 김홍주, 박종원, 박광수, 이목영; 포항산업과학연구원(RIST)

Keywords: Friction stir spot welding, FSJ, AL 5J32, FSW tool, Plunge depth

자동차용 알루미늄 합금으로 각광받고 있는 Al-Mg계(5xxx series)인 5J32 알루미늄 합금에 대하여 최적의 FSJ 접합 조건을 설정하고, 더불어 점 용접부의 금속학적 분석과 기계적 특성을 파악 하였다. 실험에서는 접합용 툴의 회전속도(rotational speed), 접합 툴 삽입 후 유지시간(Dwell time), 툴의 삽입깊이(Plunge depth)를 변화시켜 결함이 없는 건전한 접합부를 얻었다. A5J32 합금은 툴 회전속도 800-1200 rpm, 툴 삽입 후 유지시간 2 sec, 툴 삽입깊이 1.7 mm일 때 가장 양호한 접합부를 나타내었다. 인장시험 후 파단형상은 3가지 Shear, Plug, Tear fracture로 나타났으며, 접합부 강도는 접합부의 접합부 단면적이 클수록 증가 하였다.

[P27-4]

Fe계 Gr.92 내열강과 Inconel 740H 초내열합금의 이종용접부 크리프 특성과 파괴 메커니즘 상관성 고찰: 김진혁¹, 이지원¹, 홍현욱¹, 한정민², 이경운², 공병욱²; ¹창원대학교 신소재공학부, ²두산중공업

Keywords: Dissimilar welding, Type IV crack, Fusion line, Wled Metal, P92 steel

현재 화력 발전소 보일러 증기관에 사용되는 Fe계 P92강은 최대 670°C 운전온도의 한계를 가지고 있다. 특히 배관과 튜브에 사용되고 있으나, 균열로 인해 파열사고가 빈번히 발생된다. 따라서, 고온 응력이 우수한 Ni계 석출경화형 Inconel 740H 초내열합금을 응력과 열이 집중되는 일부 구간에서의 적용을 시도하고 있다. 이를 위해서는 Inconel 740H와 기존재료인 P92강이 이종용접이 필요한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 Inconel 740H와 기존 철계합금 즉 P92강과의 이종용접성과 미세조직, 나아가 고온 크리프 특성에 대한 고찰을 하고자 한다. 각각의 이종용접부 취약부분인 열 영향부의 파괴거동에 미치는 영향을 분석하기 위하여 미세조직 멀티스케일 분석을 통한 상안정성, 고온변형, 파단기구, 크리프 수명 고찰 및 파괴 기구에 미치는 미세조직 변화를 해석하였다. 그 결과 용접부의 미세조직과 파괴 메커니즘의 관련성을 고찰하였다. 크리프 파단 후, 주사전자현미경 (Scanning Electron Microscopy)을 이용하여 미세조직을 분석하였다. 740H-P92 이종용접부에서는 Larson-Miller 지수가 증가함에 따라 P92측 용융선에서 균열이 발생하는 용융선 파괴에서 결정립 크기가 작고 경도값이 낮은 FG/ICHAZ에서 균열이 발생하는 Type IV 파괴로 변화하는 것을 관찰하였다. 균열위치에 따른 전자후방산란회절 (Electron Backscatter Diffraction)를 이용하여 FG/ICHAZ에서 높은 Misorientation의 차이를 고찰하였다. 그 결과, LMP가 26이상 일 경우 FG/ICHAZ에서 높은 Misorientation으로 인해 균열이 발생하는 Type IV 파괴가 관찰되었다. 투과전자현미경 (Transmission Electron Microscopy)을 이용하여 균열위치에 따른 전위거동을 분석하였다. 크리프 시험 전 P92측 용접면과 CGHAZ 사이에 계면 밴드가 관찰되었다. 이는 용접과 후열처리(PWHT) 동안 Cr과 Ni 원소의 확산에 의해 생성된 fresh martensite임을 확인하였다. 균열이 용융선에서 발생한 경우, 용융선에 높은 전위밀도가 형성하였음을 관찰하였다. 반면, Type IV 파괴에서는 용융선 주변 낮은 전위밀도가 형성되었다. 이러한 결과를 통하여, LMP가 높아짐에 따라 전위 크리프

메커니즘에서 확산 크리프 메커니즘으로 천이되는 것을 확인하였다.

[P27-5]

Angle 및 T-bar 용접부의 열 영향에 따른 미세조직학적 특성에 관한 연구: 장지훈, 최영신, 윤창석, 이동근; *순천대학교 신소재공학과*
Keywords: T-bar, Angle, Fillet welding, Microstructure, Mechanical property, Bainitic transformation

형강류는 선박건조 및 해양플랜트 제작에 상당 부분을 차지하는 필수적인요소이다. T형 및 H형 구조의 형강류는 2차 가공을 수작업으로 진행하며 3D 직종으로 여겨져, 청년 및 장년층의 직무기피현상을 보인다. 또한 공급량이 수요량을 충족시키지 못함에 따라 자동 및 고속 생산이 요구되고 있다. 고속 용접으로 원하는 용접 비드형상을 얻기 위해 전류, 전압 등의 변수 조절을 통한 용접조건 최적화는 필수적이며, 용접부의 조직학적 분석을 통해 용접결합 및 기부 건전성 확보를 위하여 Fillet 용접된 Angle(┌) 및 T-bar(T)의 macrostructure 관찰을 통해 열 영향부(Heat Affect Zone, HAZ) 영역 및 용접 결합 여부를 조사하였다. 그리고 Microstructure 관찰을 통해 열 영향부 별 미세조직 및 그에 따른 기계적 물성을 비교하였으며, 용접품 형상 및 용접 순서에 따른 용접부의 열 영향 차이와 그 차이가 미치는 미세조직학적 영향을 분석하였다.

[P27-6]

핫스탬핑강 볼트 프로젝션 용접의 용융현상에 따른 동저항 거동 비교: 김재훈, 지창욱, 천주용; *한국생산기술연구원 울산지역본부*
Keywords: Multi pulse, Hot Press Forming Steel, Bolt, Projection welding

최근 자동차 산업은 환경보호를 위해 배출가스 규제기준이 강화되어 이를 대비한 다양한 해결책을 제시하고 있으며 고장력강판, Al, 탄소복합소재 등 다양한 신소재를 이용한 차체경량화 및 연비절감과 관련된 기술이 대두되고 있다. 이러한 목적으로 두께감소를 통한 경량화와 초고강도화를 만족하는 핫스탬핑 강판의 적용이 증가되고 있으나 보고된 연구에 따르면 핫스탬핑 강판의 경우 핫스탬핑 공법으로 인해 형성되는 표면의 알루미늄-실리콘 등의 복잡한 합금화층의 영향으로 비산현상, 표면균열, 용접부계면파단, 인장강도/전단강도저하 등 용접성에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 현장에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 프로젝션 용접 후 CO2용접을 이용한 보강 용접, 합금화층 제거를 위한 시편 표면 연마, 고입열 용접법 등을 활용하고 있으나 공정상의 문제와 양호한 품질의 제품을 생산 하는 데 있어 한계가 있다. 본 연구에서는 핫스탬핑강판의 프로젝션 용접 용융현상에 따른 동저항 거동에 대해 비교분석하고자 합금화층의 용융거동을 EPMA를 통해 분석하고, 합금화층의 유무에 따른 영향을 분석하기 위해 동저항 그래프 및 초고속 카메라를 통해 용융현상을 관찰해 보았다.

[P27-7]

고인성 해양플랜트용 후판 강재 SAW 다층용접부 미세조직 및 기계적 특성: 최동기¹, 조성규², 정준모³, 신상용⁴, 김형찬⁵, 정택균³, 현승균³; ¹하이드로웨스트 ²현대제철 ³인하대학교 ⁴울산대학교 ⁵한국생산기술연구원

Keywords: SAW, TMCP, Multi-pass, High toughness

극저 에너지 자원 개발을 위해 해양구조물의 안전성과 내구성 확보가 절대적으로 필요하다. 이는 극한지 해양 환경이 영하 60 °C 이하의 극저온 하중과 풍랑, 파랑에 의한 주기적인 극저온 피로하중이 가중되어 해양플랜트 구조물에 악영향을 미치기 때문이다. 따라서 극한지 환경에 사용하기 위한 강재는 고강도 고인성을 보증함과 또한 용접부의 인성을 확보하기 위한 우수한 용접기술이 필요하다. 본 논문에서는 해양플랜트용에 적용하기 위한 모재로 영하 40 °C 저온 환경을 보증하는 강재인 항복강도 460MPa급 100mm 두께의 TMCP로 제조된 강재를 사용하였다. 용접특성을 알아보기 위해 대입열 용접법인 SAW(Submerged Arc Welding)로 Butt 개선행상으로 다층용접 하였다. 최적 용접특성을 얻기 위해 플럭스와 용접와이어를 선정하여 50KJ/cm의 입열조건으로 다층용접 하였다. 고인성에 미치는 영향을 확인하기 위해 용접부의 저온 변태 미세조직을 관찰하였다. 용접HAZ부에 대해 기계적 특성을 관찰하기 위해 W.M, F.L, F.L-HAZ에 대해 상온, 0 °C, 영하20 °C, 영하40 °C, 영하60 °C 조건에서 저온 충격특성을 관찰하여 연성(D)-취성(B) 특성을 제시하였다.

[P27-8]

Diffusion Welding of Austenitic Alloys for High Temperature Reactor Service: Injin Sah¹, Jong-Bae Hwang², Sang Ji Kim¹, Eung-Seon Kim¹; ¹KAERI. ²Chungnam National University.

Keywords: diffusion welding, CHE, Incoloy 800HT, Alloy 617, tensile test

In this study solid-state diffusion welding for compact type heat exchangers (CHE) has been researched. Austenitic alloys such as Incoloy 800HT (UNS N08811) and Alloy 617 (UNS N06617) are promising candidate metallic materials in anticipated operating conditions due to the microstructural stability, corrosion/oxidation resistance, and superior strengths at high temperature regime (> 425 °C). To have a reliable joining integrity, diffusion welding was performed at solution annealing temperature regime (~ 1150 °C) under the compressive pressure of 10-15 MPa for about 1 hour. Post bond heat treatment was carried out in that temperature regime to enhance the additional diffusion of the solute elements near the interface. Low magnification microstructural analysis showed that there are no cracks, incomplete bond, and porosity at/near the interface for both alloys, but significant amount of Cr- and Ti-rich carbides and Al-rich oxides are identified at the interface through high resolution electron microscopic analysis. In room- and high-temperature tensile testing, while comparable yield strength is attained in all testing temperature, tensile strength drops rapidly in creep dominant regime of the alloys (> 600 °C) with the fracture at the joint. Best fit curves for minimum yield strength and average tensile strength are drawn from the tensile testing results to apply for allowable stress values in ASME Code.

[P27-9]

Cu-Al 마찰용접 접합부 계면에서 열처리에 따른 금속간화합물 성장에 관한 연구: 김기열¹, ITO Kazuhiro², 최인철³, 오명훈³
¹A.F.W(주). ²오사카 대학교 JWRI. ³금오공과대학교 신소재시스템공학부.

Keywords: Cu-Al, Friction welding, Intermetallic compound growth, Lifetime

본 연구에서는 Cu-Al이 전력부품으로 사용될 때 발생하는 열에 의한 조직변화와 기계적 강도 특성을 전기로를 이용한 열처리의 온도 및 시간을 변수로 하여 접합 계면에서 금속간화합물이 성장함에 따른 미세조직과 기계적 강도 특성의 변화에 대하여 연구하였다. 그 결과를 통하여 Cu-Al의 마찰용접 접합부 계면에서 발생한 금속간화합물의 성장 두께를 시간적으로 계산하여 수명을 예측한 연구를 수행하였다. 금속간화합물의 생성 및 성장은 원자의 확산에 의해 영향을 받으며, 온도의 증가에 따라 금속간화합물의 성장이 더욱 빠르게 촉진되는 것을 알 수 있었다.

[P27-10]

듀얼빔 레이저 용접을 이용한 알루미늄 합금의 용접성 평가: 심우정¹, 전형준², 안명복¹, 박성진¹, 김철³; ¹(주)새한산업. ²(주)명진테크. ³한국트럼프지엠비아이㈜(주).

Keywords: 듀얼빔 레이저 용접, 알루미늄 합금 용접

자동차 산업은 연비규제 및 환경규제 강화로 인한 연비향상을 위해 차체 경량화 요구가 증대되고 있으며, 이로 인해 점차 알루미늄 합금 소재 부품적용에 대한 필요성이 증대되고 있다. 또한, 전기자동차의 경우 배터리 무게 증가로 인한 주행거리 향상을 위해 경량 차체연구가 활발히 이루어지고 있다. 하지만 알루미늄 합금 차체 부품 접합의 경우 기존 자동차 제조에 이용되는 저항점용접을 적용할 경우 알루미늄 합금의 소재 특성으로 인한 용접 성능 및 전극 마모 등의 문제가 발생 할 수 있다. 따라서 현재에는 리벳, TIG 용접, SPR 등의 접합이 사용되고 있지만 용접 품질이나 외관 품질 등으로 적용에 한계가 있는 단점이 있다. 이런 단점을 보완하기 위해 레이저 용접을 사용하여 알루미늄 합금 용접에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만 높은 에너지 밀도에 의해 발생하는 기공 등이 문제점으로 대두되고 있다. 따라서 본 연구에서는 레이저 용접 중 발생하는 키홀(keyhole)을 안정화 시켜 스패터와 기공을 제거해줄 수 있는 듀얼빔 레이저를 적용하여 실험을 실시하였다. 동종 계열의 알루미늄 합금과 이종 계열의 알루미늄 합금을 적용하여 알루미늄 합금의 레이저 용접시험을 실시하여 용접성 평가하였다.

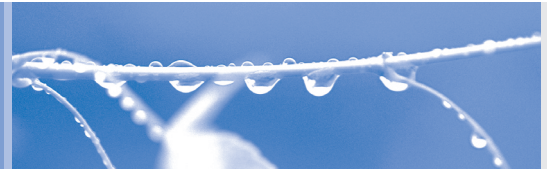
[P27-11]

페라이트계 STS의 GTAW 용접부 현상 및 미세화 기구 고찰: 김진현¹, 홍현욱¹, 조영태², 오용희², 이원배³; ¹창원대학교 신소재공학부. ²창원대학교 기계공학과. ³포스코 칠강솔루션마케팅실.

Keywords: Ferritic stainless steel, GTA welding, CET, Simulation

400계 페라이트계 스테인리스강은 우수한 성형성 및 내부식성을 갖는 소재로 자동차 배기파이프로 널리 사용되고 있다. 하지만 용융 용접 시 발생하는 미세조직의 이방성이 문제가 되고 있다. 또한, 합금원소 편석이 심한 영역이 용접 중심부에 존재한다. 이러한 이유로 자동차 배기파이프와 같은 부품들은 판재 성형 후 용접을 하게되면, 용접된 파이프를 상온에서 곡관 또는 확관하면서 조대화된 용접부에서 균열이 발생하기도 한다. 이런 부분을 개선하고자 포스코에서는 산화개재물 제어를 통해 등축정율을 향상시킨 modified 439강을 개발하였다. 기존 439강과 modified강의 가스텅스텐(Gas Tungsten Arc) 용접부 미세조직을 비교하고, 등축정율 향상기구에 대해 고찰하였다. 기존 439강과 modified 439강의 미세조직을 비교한 결과, 기존 439강 대비 용접부 중심의 등축정 크기가 25% 이상 미세화 되었고, 등축정 영역 또한 크게 증가함을 관찰하였다. 전자현미경을 통하여 modified 439강의 등축정 중심부에 산화개재물이 존재하는 것을 확인하였으며, 이 개재물은 기존 439강에서는 발견하기 힘든 TiN이 MgAl₂O₄를 둘러싼 구조임을 관찰하였다. 또한 TiN과 spinel 구조의 MgAl₂O₄는 [-112] TiN//[-112]spinel, (110)TiN//(110)spinel의 방향관계를 가지고, TiN과 ferrite가 이루는 방향관계는 [011]TiN//[-111]ferrite, (01-1)TiN//(01-1)ferrite 임을 새롭게 확인하였다. 따라서 이러한 방향관계는 산화개재물이 등축정의 heterogeneous nucleation site로 작용하는 것을 의미하며, 등축정과의 misfit을 최소로 하는 구조로 판단된다. 다양한 용접 조건으로부터 얻어진 데이터를 바탕으로 초기 변수값을 선정 후, GTA용접 용융풀 해석을 실시하였다. 용융풀 해석으로 얻어진 thermal gradient (G)와 growth rate (V) 값으로 439강의 단위부피당 heterogeneous nucleant 수를 예측하였다. 그 결과, 기존 439강 대비 modified 439강의 heterogeneous nucleation site가 약 40% 많은 것을 확인하였고, 이 결과는 실험 데이터와 유사한 결과를 얻었다 또한 439강과 modified 439강을 용접하는 과정에 liquid Tin에 급냉 시킴으로써 nucleation site로 작용하는 개재물을 분석하였다. 따라서, 본 연구에서는 modified 439강의 용접부 등축정율 향상 원인을 규명하고, 용융풀 해석과 급냉 실험을 통해 그 결과를 증명하였다.

발표자 색인



ㄱ

강결찬 P18-7	권상흠 철강5-5	김도현 P7-12	비정질1-1	김선규 지르코늄2-3	알루미늄2-5
강남현 융복합1-4	권숙철 비철1-2	김동근 P17-1	김도현 P7-12	김선기 P18-13, P13-2	김원배 비철1-3
강덕수 타이타늄5-1	권영국 Water2-1	김동혁 철강4-6	김동근 P17-1	김선아 감성1-2	김용근 P12-4, P17-2, P17-14, 복합2-3, 복합2-2
강덕호 비철3-1	권오성 P1-20	김동현 철강1-4, P16-24, 타이타늄S2-1	김동현 철강1-4, P16-24, 타이타늄S2-1	김선정 P18-2, P18-23, P18-25	김용래 P13-4
강동규 계장화3-2	권오형 적층3-5	김동훈 고엔S2-4, 전산4-1	김동훈 고엔S2-4, 전산4-1	김선중 타이타늄S1-4	김용민 전산4-3
강동현 P14-3	권용남 피로1-2	김두현 P1-22	김두현 P1-22	김선진 표면1-4	김용우 P18-5
강병근 비철3-4	권용우 전산3-4, 감성2-2	김득중 철강6-4	김득중 철강6-4	김성균 나노스케일1-2	김용원 P18-16
강병철 P10-1	권용욱 비철4-4	김로사 P1-16	김로사 P1-16	김성수 상변태1-1	김용유 전산1-3
강상운 표면2-5	권준범 소재1-2	김마로 P7-20	김마로 P7-20	김성욱 P18-9, 용접2-3, P18-27	김용재 P19-3
강석현 P1-5	권준영 P23-4	김만호 융복합3-3	김만호 융복합3-3	김성윤 P22-10	김용주 P5-18, P14-15
강석훈 적층2-1	권한술 표면2-3	김명균 알루미늄3-1	김명균 알루미늄3-1	김성철 타이타늄3-4	김용호 P21-2
강성 P24-2	권해웅 미래1-3	김명세 NEW1-5, 타이타늄S2-2	김명세 NEW1-5, 타이타늄S2-2	김성태 P22-15	김우중 NEW2-4
강소영 P2-1	권혁인 P2-15	김명수 AW-5	김명수 AW-5	김성호 P11-4	김우철 P5-17
강수빈 에너지2-2	권현석 P17-5	김명연 P24-3, 철강5-6	김명연 P24-3, 철강5-6	김성환 P7-6	김원식 계장화5-1
강영실 북한광물1-2	권호 마그네슘3-5	김민경 P1-17	김민경 P1-17	김세림 P2-28	김원재 P18-21
강전연 나노스케일1-3, 집합조직2-5, 철강6-1	기형서 P7-22	김민상 P18-17, P18-15	김민상 P18-17, P18-15	김세종 소성2-4	김유미 P18-12
강주희 집합조직1-2	김가영 P7-3	김민생 피로2-3	김민생 피로2-3	김세훈 P18-26	김윤석 나노기술2-2
강지연 P1-13	김강민 철강3-8	김민석 P17-6, 상변태2-1	김민석 P17-6, 상변태2-1	김소연 P25-5	김인수 알루미늄4-4
강진구 북한광물2-2	김경민 전산3-2, 에너지2-3	김민성 집합조직2-6	김민성 집합조직2-6	김소영 P12-6, P22-24	김일현 지르코늄1-4
강태훈 적층1-5	김경아 P2-10	김민영 P22-7	김민영 P22-7	김소진 전통2-2, 전통1-2	김재권 타이타늄2-3
강현 알루미늄4-1	김경원 P2-2	김민정 P17-8, P9-2, P2-32	김민정 P17-8, P9-2, P2-32	김송이 P24-4	김재연 소재2-1
강현수 P17-3	김경준 P20-1, 상변태2-4	김민지 집합조직1-3	김민지 집합조직1-3	김수민 P3-1, 에너지1-4	김재웅 적층3-2, P27-1
강희성 P23-2	김관식 열전2-2	김민철 전산5-3, P16-25	김민철 전산5-3, P16-25	김순 전산1-7, 전산2-6	김재혁 마그네슘3-1
고대균 지르코늄1-2	김관호 북한광물1-3	김병주 알루미늄3-4	김병주 알루미늄3-4	김승록 P1-18	김재황 알루미늄1-1
고명선 적층4-8	김광석 P10-11	김병철 계장화4-1	김병철 계장화4-1	김승철 전산5-2, P11-2, P11-6	김재훈 P27-6
고상모 북한광물1-1	김규식 철강4-1	김병훈 Water3-3	김병훈 Water3-3	김양후 타이타늄4-1	김정민 전3-2, P14-11, 지르코늄1-5
고승희 P1-24	김규완 P2-12	김비오 계장화4-5	김비오 계장화4-5	김연주 P1-21	김정원 나노기술3-1
고윤석 철강5-7	김기범 P19-2, P1-2	김상년 P16-3	김상년 P16-3	김영광 P14-17, P10-8	김정인 철강2-6
고종빈 마그네슘1-5	김기영 P27-9	김상덕 P16-23	김상덕 P16-23	김영균 적층4-5	김정훈 P2-6
고희연 전산4-2	김기태 P13-10	김상식 피로2-2	김상식 피로2-2	김영무 고엔S3-2	김종국 표면1-3
공정현 상변태1-2	김기한 P26-5	김상욱 비철4-2	김상욱 비철4-2	김영민 북한광물2-4	김종범 재료강도1-2
공태인 마그네슘2-4	김나향 P16-15, 재료강도1-5	김상원 알루미늄3-2	김상원 알루미늄3-2	김영석 수소2-3, 감성1-4, 고엔S1-2, 나노스케일1-1	김종열 융복합1-2
곽병제 마그네슘2-2	김남룡 마그네슘1-4	김상준 고엔3-7, P17-13	김상준 고엔3-7, P17-13	김영선 열전1-5	김종우 미래3-2
곽성규 P22-6	김남석 P21-20	김상혁 P25-4	김상혁 P25-4	김영준 P5-3	김종철 철강2-3
곽은지 재료강도1-1	김다혜 P22-20	김상훈 마그네슘1-3	김상훈 마그네슘1-3	김영천 계장화5-4	김종태 P22-23
곽정호 P14-9	김대영 P12-7	김선경 P16-14	김선경 P16-14	김예림 철강3-3	김종현 P18-24
곽태양 P14-13	김대용 소성2-3			김예진 마그네슘3-4	김종형 소재1-3
국승우 P13-1	김대웅 P16-17			김완 P14-6,	김중훈 타이타늄2-2
권동일 계장화3-4	김대중 NEW2-3				김중석 P1-30
	김도향 타이타늄S5-2,				

김지영 P5-19, 나노3-3
 김지원 P1-26
 김지현 타이타늄3-3
 김지혜 P16-5
 김진배 미래2-1
 김진영 P5-5
 김진용 P20-7
 김진원 P21-16
 김진혁 P27-11, P27-4, 재료강도2-4
 김진훈 P1-1
 김찬미 P13-8
 김천중 생체1-3
 김치원 P2-26, 철강4-3, P12-12, P16-6
 김태경 P6-2
 김태성 철강1-6
 김태영 집합조직1-5
 김태주 융복합1-1
 김태현 타이타늄1-1
 김태현 P7-14
 김태환 P14-23
 김택수 미래2-3, NEW3-2
 김하영 P7-21
 김학현 P15-2
 김한결 P11-10, P23-5
 김한글 P16-11, 재료강도1-4
 김한열 P1-10
 김한진 P1-15
 김행구 북한광물2-1
 김현규 P6-3
 김현길 지르코늄1-1
 김현아 Water1-5
 김현우 P10-4
 김현진 철강7-2
 김현호 P22-9
 김형준 Water2-2, 전산5-1
 김혜원 생체1-1
 김휘준 비정질3-3
 김흥주 P27-3

L

나나 용접1-3
 나라야나 타이타늄5-3
 나민영 P20-2
 나영상 AW-6
 나종주 감성2-1

나태욱 고엔2-4
 나현웅 에너지2-5
 나혜성 타이타늄S6-3
 남기태 Water2-4
 남기훈 P7-5
 남선우 비철1-6
 남승진 고엔4-5
 남현빈 용접2-4
 남효문 비철4-6
 노상훈 P16-7
 노태기 P20-6

C

도경록 P14-20
 도경연 전산2-4
 도환수 P22-26

리

라기호 철강3-5
 라호만 압들 나노3-1
 류정기 Water3-4
 류종성 P10-6
 류한식 P10-12
 류호진 고엔S3-1
 류희제 P23-3
 리블라디슬라브 타이타늄1-3

문

문민석 P12-2
 문병록 철강4-8
 문상철 비철4-1
 문정태 타이타늄3-2
 문제현 나노기술3-2
 문종언 고엔2-1
 문준오 철강6-3
 문준호 지르코늄2-2
 문홍재 열전1-4
 민경문 P1-7
 민기득 고엔1-3

박

박강현 P2-17
 박경태 AW-1
 박건우 P26-4
 박광석 소재2-2
 박근태 적층1-3
 박기덕 소재3-2
 박기태 용접1-6
 박노근 고엔S2-3
 박동준 지르코늄1-6
 박동휘 P1-29

박민선 나노1-2
 박민하 P2-23, P2-24
 박병훈 P16-16
 박상미 P18-18
 박상민 비철1-5
 박상용 복합1-5
 박상원 고엔3-4
 박상협 P5-6
 박선영 계장화1-4
 박성준 철강6-2
 박성중 P15-4
 박성진 열전1-1
 박성현 타이타늄2-1
 박성훈 P5-1
 박영도 타이타늄S4-2, 용접2-5
 박영주 P2-8
 박요설 타이타늄S2-3
 박은수 비정질1-2, 고엔S1-1, 타이타늄S5-4
 박이호 소재3-3
 박장식 전통1-5, 전통1-4
 박재신 마그네슘1-1
 박재영 전통2-4
 박재호 P4-1
 박정민 고엔3-1, 계장화1-2, P16-19
 박정빈 P5-14
 박정현 적층1-1
 박정환 지르코늄1-3
 박제형 P17-12, 고엔4-7
 박종구 P11-12
 박종규 P9-8
 박종범 타이타늄S6-4
 박주례 여성1-1
 박주현 고부가1-4
 박주호 P2-9
 박준우 P1-25
 박준형 에너지1-2, P7-19, P7-1
 박지현 P8-1
 박진수 용접1-1
 박진홍 P11-1
 박찬구 P3-3
 박찬웅 P5-13
 박찬희 P16-1
 박철호 수소1-2

박철홍 P26-6
 박태성 P10-10, 소재3-1
 박태은 P2-22
 박태현 P21-17
 박현준 P24-1
 박현 집합조직1-4
 박현서 Water1-4
 박현태 소성1-1
 박형근 전산2-3
 박형기 적층4-1
 반훈영 P4-3
 방경배 적층1-2
 방기훈 전산2-2
 배경훈 에너지1-3
 배기창 P14-18
 배상우 철강4-2
 배성준 소성1-3
 배재웅 고엔1-2
 배종호 철강3-6
 배지환 철강6-5
 백민석 알루미늄3-3, P2-14
 백세일 피로2-1
 백송이 열전2-4
 백승협 집합조직1-1
 백운봉 수소2-1
 백주영 P22-21
 백주환 P9-7
 변영민 P9-11
 변지영 감성2-3

사

사인진 P27-8
 서경덕 P12-15
 서동일 타이타늄1-4
 서민석 철강3-10
 서성지 P5-11
 서위걸 재료강도2-3, P8-2
 서종식 마그네슘1-2
 서주원 피로3-2
 서진유 비정질3-1, 수소1-3
 서진희 P4-4
 서현선 생체1-6
 서현주 철강5-2
 석무영 계장화5-3
 설동혁 P11-9
 설재근 비철4-3
 설재복 고엔S2-2

성기태 P13-5
 성백석 융복합3-4
 성봉준 P7-2
 성시문 P1-3
 성영은 Water3-5
 성유진 전산3-3
 성장훈 P13-12
 성현제 철강7-3
 성효경 피로1-1, 소재2-3
 손가은 집합조직1-6
 손명균 P13-9
 손석수 고엔1-1
 손수정 P17-10
 손영균 전산4-4
 손원영 철강3-2
 손인진 P12-11, P12-10, P12-9
 손일 고부가1-2
 손준우 나노기술1-2
 손진혁 P5-16
 손해솔 철강2-4, P1-23
 손현우 마그네슘3-3
 손현택 P21-5
 송다혜 P14-2
 송민영 알루미늄1-3
 송영석 타이타늄S6-1, AW-7
 송은지 재료강도1-6, 계장화2-3
 송지호 P1-28
 송진섭 P22-14
 송훈 P13-11, P13-6
 신기승 P14-7
 신동원 적층4-7
 신민호 P10-15
 신상균 철강3-7
 신선미 P14-16
 신영호 적층2-2
 신용비 전통1-3
 신원상 P24-5
 신찬선 복합1-1
 신형섭 철강7-1
 심기동 계장화1-3
 심상훈 고엔3-2
 심예린 P6-7
 심우정 P27-10
 심재진 P12-5
 심정호 P2-18

ㅇ

아크말 무하마드 고엔2-2
 안경준 P15-1
 안동현 전산3-1
 안우진 P3-4
 안인경 Water2-5
 안지혁 비철3-6
 안태용 P6-5
 안혜성 P11-8
 앤드류 철강5-8
 양승윤 P21-18
 양승현 알루미늄1-2
 양원준 소재3-4
 양원철 P17-4, P9-12, P9-3, 상변태2-3
 양준하 P17-7
 양지바름 복합1-4
 양현석 P9-4, P9-5
 어두림 적층1-6
 엄광섭 Water1-2
 엄민혁 P27-2
 엄승훈 생체1-2
 연규호 알루미늄3-5, P21-1
 연창호 P22-3
 염종택 타이타늄S5-3
 예정원 고엔3-5, P18-4
 오동현 P7-16
 오명훈 타이타늄S4-1
 오민교 P2-27
 오상호 P7-4, 고엔S1-4
 오선근 P1-11
 오승탁 P14-4
 오윤제 계장화4-3
 오정목 타이타늄4-3
 오제혁 P7-8
 오종영 적층2-5
 오지원 적층3-4
 왕제필 P18-14
 이상현 재료강도2-5
 우완출 융복합2-1
 우정현 재료강도1-3
 우화영 P2-11
 원성재 P21-3
 원윤정 철강4-4
 원종우 고엔S1-3
 유가영 P21-4
 유경근 P18-8

유근희 P20-9, 상변태2-5
 유동근 P7-15
 유미 P11-11
 유병길 계장화2-1, 철강7-5
 유보령 비철3-5
 유봉선 AW-4
 이상임 미래2-2
 이상현 수소1-1, P1-19
 유석현 NEW1-1
 유성현 P21-6
 유수환 P5-7
 유승호 철강6-6
 유원규 P26-1
 유정민 철강1-5
 유지성 P2-7
 유지원 비철2-3
 유지훈 NEW3-1
 유채연 P2-21
 유현정 P21-15
 윤백상 P7-25
 윤병준 P20-4
 윤성준 타이타늄2-4
 윤성호 타이타늄S6-2
 윤용희 P7-23
 윤준석 소성2-1
 윤창석 P16-20
 윤태영 P22-2
 응웬 탄투안 수소2-2
 이강표 P14-19
 이건하 소재1-1
 이건희 P2-4
 이경근 P16-8
 이경욱 철강3-1
 이경태 P17-11
 이고은 P22-11, P22-8, P22-12
 이관호 피로4-3
 이근우 비정질1-3
 이기안 비정질3-2, NEW3-4
 이길근 P22-17
 이다빈 P21-9
 이다영 P6-1
 이도성 P18-22
 이동근 타이타늄S2-4
 이동목 NEW2-2
 이동우 비정질2-1

이동원 철강5-4
 이동준 피로4-4
 이동현 복합1-3
 이동희 전산1-1
 이명규 AW-2
 이명진 전산1-5
 이목영 알루미늄2-1, 용접2-2
 이미선 P5-4
 이민수 타이타늄5-2
 이민지 P26-3
 이병수 적층4-2
 이병주 고엔3-6
 이병준 P7-18
 이상우 P20-3, P20-5
 이상원 타이타늄S3-2, 마그네슘2-3
 이상울 표면1-1
 이상인 P2-31
 이석규 피로4-1
 이설 P12-3
 이성용 지르코늄2-1
 이성음 알루미늄4-3
 이성학 고엔S2-1
 이소연 나노1-5
 이소영 타이타늄1-2
 이수진 마그네슘2-5
 이수현 P22-25
 이슬비 적층3-3
 이승완 재료강도4-2
 이승욱 융복합1-3
 이승환 철강4-5
 이승훈 P10-3
 이아영 P7-17
 이영선 소성1-4
 이영호 지르코늄2-4
 이예림 P26-7
 이용재 P5-12
 이우영 미래1-1
 이옥진 타이타늄S5-5
 이원준 P6-6
 이원지 나노2-3
 이은우 전통2-3
 이안섭 P9-10, P9-14
 이인열 감성1-3
 이재운 Water3-2
 이재은 재료강도3-1
 이재철 비정질2-4, P21-12

이재호 표면2-1
 이정구 미래1-2
 이정섭 P14-8
 이정환 나노3-2
 이종범 P18-20, P18-3
 이종수 열전3-3, 타이타늄S3-1
 이종언 마그네슘3-2
 이종영 P10-2
 이종현 타이타늄S1-1
 이종훈 P16-2
 이주혁 철강2-1, P2-16
 이주훈 P2-13
 이준혁 융복합3-2
 이준호 나노1-3, 고부가1-1
 이지민 P16-12
 이지원 P14-10, 재료강도2-2
 이지은 P14-5
 이진영 북한광물2-3
 이진우 계장화2-2, 소성2-2
 이찬기 NEW3-3
 이창우 NEW2-1
 이창훈 재료강도2-1
 이철우 P25-1, P25-3
 이철주 피로3-1
 이철희 열전1-2
 이태경 P16-21, 타이타늄S3-3
 이태진 마그네슘2-1
 이태혁 P18-19
 이택우 복합1-2
 이학현 재료강도3-2
 이해진 적층2-4
 이현주 P2-5
 이현규 비철1-4
 이현석 타이타늄S3-4
 이현우 P13-7
 이현욱 P2-19
 이형욱 P9-1
 이호세 P18-1
 이홍우 전산2-5
 이효수 감성1-1
 이훈 P2-20
 임가람 고엔S3-3
 임규석 철강5-3
 임근영 P14-21

임기성 P9-13, 표면2-4
 임성록 용접2-1
 임성미 P11-3
 임소영 피로4-2, P16-10
 임재홍 비철2-2
 임창진 P1-4
 임태홍 감성2-4
 임혜인 미래3-1
자
 장동민 P1-12
 장 징 P21-19
 장규선 P10-13
 장세훈 P16-18
 장연지 나노1-1
 장연호 P7-11
 장영준 표면1-2
 장재훈 전산5-4
 장정인 P22-22
 장준익 철강3-11
 장준혁 P7-9
 장지훈 P27-5
 장창환 철강7-4
 장한휘 P22-28
 장혜정 융복합3-1
 장효선 전산1-6
 전선영 P14-12
 전승환 나노2-2
 전영준 P13-3
 전종철 에너지1-5
 전진명 적층1-4
 전한솔 계장화5-2
 전호선 고엔4-6
 정경우 타이타늄S1-2
 정광용 적층4-4
 정동혁 P24-8
 정무섭 비철3-3
 정병기 AW-3
 정병석 재료강도4-1
 정상윤 Water3-1
 정상준 전산2-1
 정석준 적층2-3
 정성욱 소재3-5
 정성훈 용접1-5
 정승혁 고엔4-3
 정양일 지르코늄2-5
 정연욱 생체1-5
 정영권 융복합2-3
 정영웅 집합조직2-3

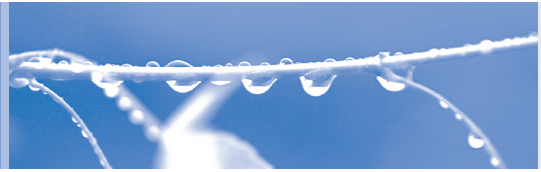
정우영 P15-5
 정유인 NEW1-3
 정윤오 P5-21
 정윤종 P17-9
 정은진 비철1-1, 비철2-5
 정인호 고부가1-3, 철강1-2
 정재석 융복합2-2
 정재성 P16-4
 정재용 나노2-1
 정제기 알루미늄2-3, P21-8
 정지연 철강2-2
 정찬원 상변태2-2
 정철환 복합2-5
 정태수 P1-8
 정해송 P21-14
 정현진 P10-14
 정혜인 P25-2
 정희봉 나노1-4
 정호태 집합조직2-1
 정희태 고엔3-3
 조강래 복합2-4
 조계훈 P5-8
 조남철 전통2-5
 조덕용 나노기술2-3
 조민규 전산1-2
 조민철 P2-3, P12-13
 조상준 계장화4-4
 조소혜 타이타늄S1-3
 조신후 NEW1-2
 조영래 복합2-1
 조용희 고엔4-1
 조우진 재료강도3-6
 조인식 피로3-3
 조장용 철강5-1
 조주영 적층4-6
 조준현 P1-27
 조창현 계장화1-1
 조창희 알루미늄2-4
 조한솔 P26-2
 조해주 P15-3
 조현용 열전1-3
 조현철 NEW1-4
 조형준 P2-30
 주경석 P21-7
 주상훈 Water1-1
 주성재 열전3-5

주성호 P18-6
 주수현 고엔S2-5
 지민기 P5-10
 지승묵 P14-22
 지장욱 알루미늄2-2
 진승현 P22-1
 ☆
 차승환 에너지2-4
 차예은 P22-19, P22-16
 채지광 P5-9
 채홍준 P11-5
 천영범 P15-6
 천정민 철강2-5
 최광덕 P12-1
 최광묵 P9-9
 최광효 적층3-6
 최권훈 P21-11
 최누리 고엔1-4
 최동기 P27-7
 최동준 재료강도3-4
 최미선 타이타늄S4-3
 최벽파 비정질2-2
 최병학 나노스케일1-4
 최상훈 비철2-1
 최석원 P1-14
 최성근 생체1-4
 최성기 계장화3-3
 최세원 P18-10
 최수영 타이타늄3-1
 최승규 P21-13
 최시영 미래3-3
 최시훈 집합조직2-2
 최여진 P23-1
 최용 융복합2-4
 최용석 P7-10, P7-7, 에너지1-1
 최우남 P2-25
 최우석 비철2-4
 최유환 P22-13
 최윤석 적층3-1
 최윤재 P10-7
 최윤혁 P20-8
 최인철 계장화3-1
 최정우 P11-7
 최준규 P6-4
 최준성 철강3-9
 최준영 비철3-2
 최진석 P10-5

최진주 P5-20
 최창영 P16-9
 최창혁 소성1-2, Water1-3
 최한신 비정질3-4
 최희수 P3-2
 추동주 P1-6
 ▣
 피지희 P22-5, P22-4
 ▣
 하경식 P14-14
 하동욱 P16-22
 한덕현 P12-8
 한동근 P19-1
 한동현 P12-14
 한인수 P7-24
 한재욱 P9-6
 함기수 피로1-3
 함종오 소재2-4
 허성준 열전3-4
 허일권 전통2-1
 허지구 알루미늄4-2
 현성희 철강3-4
 현세미 P16-26
 현윤희 P24-7
 홍기하 전산5-5
 홍석민 소재1-4
 홍성민 P5-2
 홍성환 비정질2-3
 홍순철 미래1-4
 홍승범 나노기술1-1
 홍영곤 재료강도3-3
 홍지현 에너지2-1
 홍진성 P1-9
 홍창완 상변태1-3
 홍태운 철강4-7
 홍태은 나노기술2-1
 홍현욱 NEW3-5
 황경석 P16-13
 황교준 재료강도3-5
 황교진 P24-10
 황다원 P10-9
 황수빈 P21-10
 황윤정 Water2-3
 황인지 P22-18
 황재찬 P2-29
 황준선 P7-13

▣
 ABBEY STANLEY 열전2-3
 ALAM KHURSHED P4-2
 ANAMAN YAW SAM 용접1-2
 ARIJIT ROY 전산3-5
 ASHIQUZZAMAN SHAWON 열전2-1
 ASHUTOSH SHARMA 고엔S3-4
 ▣
 Babu Ram 전산4-5
 Bagus Dinda Erlangga P5-15
 ▣
 Cui min P21-21
 ▣
 Deepika 전산5-6
 DILEEP CHANDRAN R 용접1-4
 ▣
 Edson K, Chiwandika 철강1-1
 ▣
 JAIVEER SINGH 집합조직2-4
 Jamil Ur Rahman 열전3-1
 JUMAEV ELYORJON 고엔4-4
 ▣
 KALE AMOL BABURAO 적층4-3
 KRISHNAMOHAN T 전산1-4
 ▣
 Leonardo T, da Rocha 철강1-3
 LI SHUANGLI 타이타늄4-2
 Liming Xu P24-9
 ▣
 Md Rakib Hasan 고엔4-2
 Mehmet Emin Kilic 전산4-6
 mykola slazhniev 비철4-5
 ▣
 Nannan Ehmke 계장화4-2
 Nguyen Van Du 열전2-5
 ▣
 OWAIS AHMED WASEEM 고엔2-3
 ▣
 Saif Haider Kayani 알루미늄1-4
 Samuel Boateng 전산5-7
 Samuel Kimani Kihoi P22-27
 Sijia Liu P24-6
 ▣
 TSEDENBAL BULGAN P14-1
 ▣
 Yao Wenhui 표면2-2
 Yoko Yamabe-Mitarai 타이타늄S5-1

2019년도 임시총회 학회상 수상자



1. POSCO학술상

- ◆ 박경태(한밭대학교)

2. POSCO젊은철강상

- ◆ 이명규(서울대학교)

3. LS학술상

- ◆ 정병기(한국과학기술연구원)

4. 현송공학상

- ◆ 유봉선(재료연구소)

5. 기술상

- ◆ 김명수(POSCO 기술연구원)
- ◆ 나영상(재료연구소)
- ◆ 송영석(두산중공업)

6. 신진학술상

- ◆ 손석수(고려대학교), 이미정(국민대학교), 이석재(전북대학교), 정두석(한양대학교)

7. 신진기술상

- ◆ 강정신(한국지질자원연구원), 배규열(POSCO 기술연구원), 장재훈(재료연구소), 정훈제(동국제강 중앙기술연구소)

8. 논문상

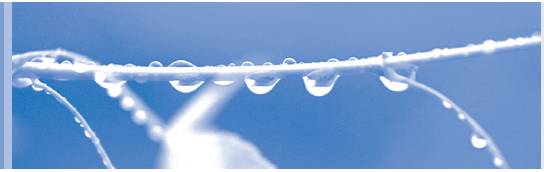
제1부문: 우수 논문

- ◆ 대한금속 · 재료학회지(Korean Journal of Metals and Materials)
고망간 경량철강 냉연판재의 미세조직, 인장특성 및 파괴거동에 미치는 어닐링 온도의 영향
Vol. 55, No. 5, pp. 363-371
이재현^{1,2}, 박성준², 문준오², 강전연², 박준영², 이태호², 조경목^{1*}
¹부산대학교, ²재료연구소
- ◆ Metals and Materials International
Characterization of Microstructure of HAZs in As-Welded and Service Condition of P91 Pipe Weldments
Vol. 23, No. 1, pp. 148-162
C. Pandey*, A. Giri, M. M. Mahapatra, and P. Kumar
Indian Institute of Technology
- ◆ Electronic Materials Letters
Rapid Crystallization in Ambient Air for Planar Heterojunction Perovskite Solar Cells
Vol. 23, No. 1, pp. 72-76
신광수, 최원규, 나성재, 류상욱, 문태호*
단국대학교

제2부문: 논문 다수 인용

- ◆ 대한금속 · 재료학회지(Korean Journal of Metals and Materials)
송명엽(전북대학교)
- ◆ Metals and Materials International
이성학(포항공과대학교)
- ◆ Electronic Materials Letters
김현우(한양대학교)

2019년도 임시총회 학회상 수상자



9. Kutribueosang

- ◆ 대한금속 · 재료학회지(Korean Journal of Metals and Materials)
홍순직(공주대학교)
- ◆ Metals and Materials International
황병철(서울과학기술대학교)
- ◆ Electronic Materials Letters
표성규(중앙대학교)

10. 재료조직사진상

[학술부문 - 최우수]

- ◆ 레이저 용융을 이용한 선택적 오스테나이트 생성
박건우^{1,2}, 조해주^{1,2}, 남태훈^{1,3}, 하경식¹, 최은영¹, 신선미¹, 이육진¹, 안용식², 전종배¹
¹한국생산기술연구원, ²부경대학교, ³부산대학교

[학술부문 - 장려]

- ◆ TRIPLEX nanostructure of TiVNbTaW high entropy alloy
김상준¹, 김진연¹, 송다혜², 이진규², 박은수¹
¹서울대학교, ²공주대학교
- ◆ Inter-metallic Dry River Bed
김선진, 박경관, 이민하, 홍문희
포스코강판 기술연구소
- ◆ The Flexible Nano Architecture : Build Up Various Nanostructured Oxides From Multicomponent Alloys
박혜진, 김태경, 김영석, 문상철, 홍성환, 김기범
세종대학교

[기술부문 - 최우수]

- ◆ Phase identification of 4 different cubic crystals by combined EDS & EBSD analysis
김한진^{1,2}, 박지혜³, 서진유¹, 김동익¹, 이준호², 심재혁¹
¹한국과학기술연구원, ²고려대학교, ³현대자동차그룹

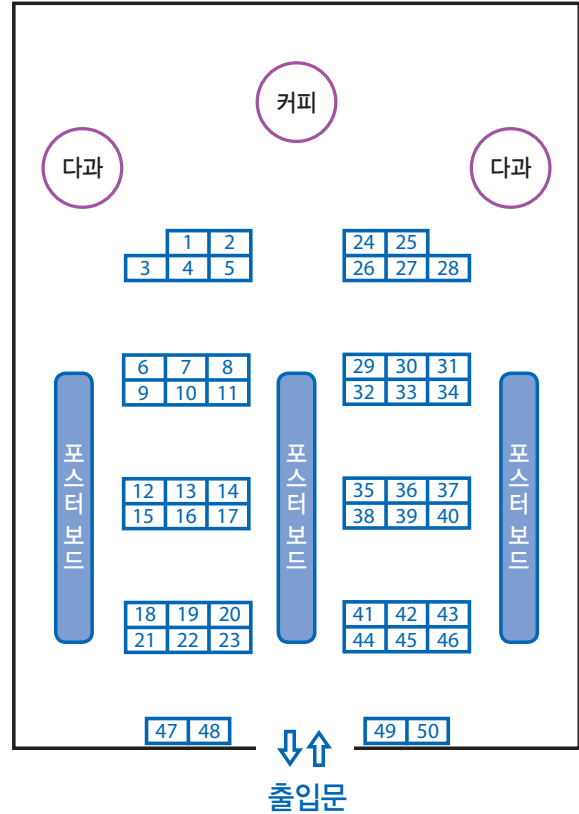
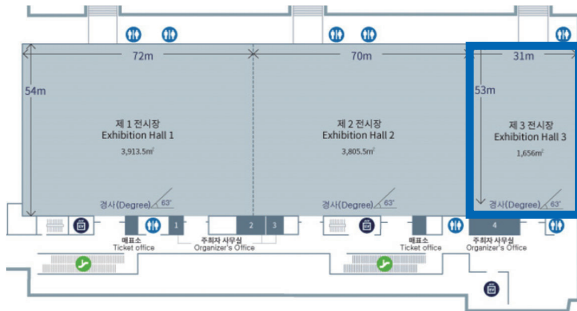
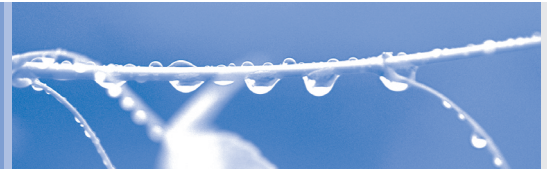
[기술부문 - 우수]

- ◆ On the nucleation and growth mechanism of Z-phase at Cr₂N
김명연^{1,2}, 이영국², 심재혁¹
¹한국과학기술연구원, ²연세대학교

[기술부문 - 장려]

- ◆ Hyper-dendritic High Entropy Alloy Foams
윤국노¹, 이제인¹, 김진연¹, 쿠람 야콥¹, 김수현², 박은수¹
¹서울대학교, ²재료연구소
- ◆ Iron Flower (spangle microstructure)
진현호, 김학현, 이만재, 김원선
포항산업과학연구원

부스배치



- | | | |
|--|---|---------------------------------|
| 01,02 ㈜알앤비 | 15 비전플러스 주식회사 | 33,34 금속융합얼라이언스 |
| 03 영인과학(주) | 16 (유)코린스테크 | 35,38 ㈜진우테크, 시편전처리센터 |
| 04 (주)팜테크 | 17 (주)블루시스 | 36 (주)KAMI |
| 05 태명과학(주) /
TAEMYONG SCIENTIFIC CO.,LTD. | 18,19,20, (주)만진교역 / STRUERS
21,22,23 | 37 만진상사 |
| 06 SJ트레이딩 | 24 JEOL KOREA | 39 (주)유로사이언스 |
| 07 한국세라믹기술원 분석기술센터 | 25 (주)경원이앤씨 | 40 유로산업(주) |
| 08 에스와이사이언스(R-DEC) | 26 에이티이랩 / LAMPLAN SA | 41,42,43, 엠티미디어㈜
44,45,46 |
| 09 서울대 복합환경저어멀티스케일시험평가센터 | 27 한결산업 | 47 저널랩 |
| 10 (주)네오사이언스 | 28 KTM 엔지니어링 | 48 (주)버추얼랩 |
| 11 (주)에스피사이언스 | 29 (주)프론틱스 | 49 (주)창성 |
| 12 (주)신영사이언스(ZEISS/MATSUZAWA) | 30 엠티엠 코퍼레이션㈜ / PRESI S.A | 50 한국생산기술연구원 대구/
고령 뿌리기술지원센터 |
| 13 자이스 코리아 | 31 (주)이지테크에이유 | |
| 14 나모텍 | 32 안톤파코리아 주식회사 | |

경품 추첨 안내

- ◆ 학술대회 전시부스 도장 28개 → 응모함(大) 응모 → 1~5등 경품
- ◆ 학술대회 전시부스 도장 8개 → 응모함(小) 응모 → 번외 경품(상품권 10만원권)
- ◆ 경품 추첨 일시 : 4.25(목) PM 5:00 / 4.26(금) PM 2:30 ◆ 추첨 장소 : 3층 전시장

4월 25일 (목)

4월 26일 (금)

1등
(1명)



LG 그램 (14ZD990-GX50K)



iPhone Xs

2등
(2명)



다이슨 청소기 (V8 카본파이버)



삼성 무풍 공기청정기



다이슨 청소기 (V8 카본파이버)



삼성 무풍 공기청정기

3등
(3명)



브라운 전기면도기 (9260s)



LG 퓨리케어 자연기화 가습기



애프터샷 골전도 헤드셋 트랙 에어



브라운 전기면도기 (9260s)



LG 퓨리케어 자연기화 가습기



애프터샷 골전도 헤드셋 트랙 에어

4등
(4명)



피직스 웨이텀 맥주 디스펜서 -2명-



네스프레소 에센자 미니 D30 -2명-



피직스 웨이텀 맥주 디스펜서 -2명-



네스프레소 에센자 미니 D30 -2명-

5등
(5명)



신세계상품권 (5만원)



신세계상품권 (5만원)

번외
(5명)



신세계상품권 (10만원)



신세계상품권 (10만원)

- ◆ 경품 추첨 시, 당첨자가 자리에 있는 경우에만 유효하고 자리에 없는 경우에는 재추첨 하게 됩니다.
(※ 일반 참가자 및 학생 참가자 모두 응모 가능)