

2024년도 한국소성·가공학회

# 추계학술대회 초록집

2024. 10. 17.(목)~18.(금)

제주 신화월드 랜딩관 컨벤션센터

주 최

(사)한국소성·가공학회

전시후원사

한국재료연구원

POSCO

(주)솔루션랩

오토폼엔지니어링코리아(주)

(주)씨에이이테크놀러지

(주)프론틱스

(주)프로솔

(주)에프엠케이

(주)엠에프알씨

오엠에이콤 유한회사

(주)웨이브센스

트리니티엔지니어링(주)

(주)진합



사단  
법인

한국소성·가공학회

The Korean Society for Technology of Plasticity and materials processing

# 2024년도 추계학술대회 및 정기총회 전체 일정표

2024년 10월 17일 목요일

□ 장소: 제주 신화월드 랜딩관 컨벤션센터

시간	제1발표회장 LGF 랜딩볼룸A	제2발표회장 LGF 랜딩볼룸B	제3발표회장 LGF 랜딩볼룸C	제4발표회장 한라룸A	제5발표회장 한라룸B	제6발표회장 영실룸	제7발표회장 어리목룸	제8발표회장 백록룸	제9발표회장 영주룸	제10발표회장 올레룸	제11발표회장 우도룸	제12발표회장 성산룸
09:40 ~ 12:00						특별세션15 KSP						
13:00 ~ 16:45	재료 거동 및 특성화 (13~16:15)	특별세션3 POSCO (13:20 ~16:00)	(故)이동녕 교수님 추모세션: (13~16:35)	특별세션2 POSCO (13~16:30)	특별세션14 Solutionlab (13~14:50)  특별세션5 플라스틱분과 (15~16:30)	박판성형/ 복합재료 가공 (13~16:30)	특별세션12 KOMERA (13~16:00)	특별세션9 SeAH (13:30 ~16:10)	적층제조 유연공정 /제조공정 및 장비 /금형가공 (13~16:15)	공정계산역학 /소재응용 /모델링 및 시뮬레이션 /금속성형 분야의 디지털 가상화 (13~16:30)	단조 /압연 /압출및인발 (13~16:45)	(Closed Session) 특별세션8 HWASHIN
16:45 ~ 17:00	휴 식											
17:00 ~ 18:00	○ 개 회 사 (랜딩볼룸C) - 한흥남 회장 ○ 기조강연 "공학적 사로로 보는 '인공지능 활용' 길라잡이" - 이승철 교수(KAIST)											
18:00 ~ 18:10	휴 식											
18:10 ~ 18:40	정기총회 및 시상식 (랜딩볼룸A)											
18:40 ~	Banquet (랜딩볼룸A)											

2024년 10월 18일 금요일

시간	제1발표회장 한라룸A	제2발표회장 영실룸	제3발표회장 어리목룸	제4발표회장 백록룸	제5발표회장 영주룸	제6발표회장 올레룸	제7발표회장 우도룸	제8발표회장 성산룸	제9발표회장 랜딩볼룸C Foyer
09:00 ~ 09:30	○ 기조강연II (한라룸A) "정부 R&D (기초연구) 지원 방향과 기계/재료공학 분야 소개" - 이혁모 기초연구본부장(NRF)								
09:30 ~ 09:35	휴 식								
09:35 ~ 12:00	특별세션6(1) SCNU (9:35~12:05)	특별세션7 KAERI (9:35~12:05)	특별세션4 KAIST (9:35~11:00)	특별세션13 KIMS (9:00~12:00)	(Closed Session) 특별세션10 KOMERA (9:00~12:00)	미세구조 및 응용 /표면 및 인터페이스 (9:35~11:35)	International Session (9:35~11:35)	특별세션11 POMIA (9:00~12:00)	포스터 발표 P01 ~ P81 (9:35~11:00)
11:40 ~	중 식 (랜딩관 1층 랜딩다이닝)								
13:00 ~ 15:00	특별세션6(2) SCNU (13:00~15:00)								

\* 사전등록하신 회원님은 등록처에서 명찰 및 일정집을 수령해 주시기 바랍니다.

\* 명찰을 착용 후 발표회장에 입장해 주시기 바라며, 양일간 발표회장 및 만찬, 중식홀에 입장하실 수 있습니다.

# 제 1 발표회장

2024년 10월 17일(목)

▶ 랜딩볼룸 A

○일반 발표 - 재료거동 및 특성화		좌 장: 홍성태 (울산대학교)
13:00~13:15	KSTP_2024B_073	예변형 및 소부경화의 충돌 성능 영향 평가 최지식*(포스코), 임지호, 이해아
13:15~13:30	KSTP_2024B_099	재료 물성 변화에서의 결합된 이차-비 이차 항복함수 모델 거동 해석적 분석 임현용*(한국과학기술원), 윤정환
13:30~13:45	KSTP_2024B_205	압축시험 결과로부터 고정도 유동함수의 획득 김남윤*(경상국립대학교), 김남현, 김민철, 모하마드 카스완디 라자리, 전만수
13:45~14:00	KSTP_2024B_203	원형 시편 인장시험에서 탄성변형의 영향 전만수*(경상국립대학교), 이현민
14:00~14:15	KSTP_2024B_076	포타슘이 텅스텐의 초기 소성에 미치는 영향 김정석*(서울대학교), 민건식, Phu Cuong Nguyen, 이성민, 오연주, 김항선, 김형찬, 류 일, 한흥남
14:15~14:30	KSTP_2024B_172	붕소 첨가가 철계 중엔트로피 합금의 인장 물성에 미치는 영향 구분우*(포항공과대학교), 이재흥, 김형섭, 손수정
14:30~14:45		Coffee Break
○일반 발표 - 재료거동 및 특성화		좌 장: 강성규 (경상국립대학교)
14:45~15:00	KSTP_2024B_175	온도 및 변형률 속도가 22Mn6Al0.9C 경량철강의 강도 및 연성에 미치는 영향 홍창완*(대구기계부품연구원), 이락규, 윤국태, 김주엽, 김선주, 박성준, 김준섭
15:00~15:15	KSTP_2024B_190	Inconel 718 열처리를 통한 석출물 제어와 균열 저항성에 대한 연구 안지섭*(한국생산기술연구원), 조민지, 여승현, 조아라, 정명식, 황선광
15:15~15:30	KSTP_2024B_210	구리의 마이크로 단위 극한환경 변형 거동 분석 강성규*(경상국립대학교)
15:30~15:45	KSTP_2024B_211	Ti-2Al-9.2Mo-2Fe 합금의 석출상 제어 공정과 기계적 특성 분석 신수홍*(국립순천대학교), 이동근
15:45~16:00	KSTP_2024B_180	저항 점 용접부의 국부적, 대변형 거동을 측정을 위한 마이크로 스케일 전단 실험 조동혁*(한국과학기술원), Hassan Ghassemi-Armaki, Blair E. Carlson, Thomas B. Stoughton, 윤정환
16:00~16:15	KSTP_2024B_208	자동다단냉간단조용 금속 재료의 유동특성 이현민*(경상국립대학교), 엄재근, 전만수



## 제 2 발표회장

2024년 10월 17일(목)

▶▶ 랜딩볼룸 B

○특별세션3 - 미래 모빌리티 대응 배터리팩 적용 소재 및 가공기술 혁신		좌 장: 위상권 (POSCO)
13:20~13:30		개회사
13:30~13:55	KSTP_2024B_057	전기차 배터리케이스 개발 동향 손성만*(주)성우하이텍
13:55~14:20	KSTP_2024B_084	소형 SUV-EV 배터리팩 케이스 개발 이상헌*(주)호원, 최현범, 이서한, 이정우, 박현경, 송종호, 김재열
14:20~14:45	KSTP_2024B_114	광학 측정 장비를 활용한 배터리 팩 용접해석 신뢰성 검증 김상훈*(주)화신, 도두이통, 김준영, 박종규
14:45~15:00		Coffee Break
○특별세션3 - 미래 모빌리티 대응 배터리팩 적용 소재 및 가공기술 혁신		좌 장: 위상권 (POSCO)
15:00~15:25	KSTP_2024B_068	포스코 철강기반 배터리팩 경량화 솔루션 개발 위상권*(POSCO)
15:25~15:50	KSTP_2024B_005	이차전지 배터리용 파우치 제작을 위한 알루미늄 합금 - 고분자 수지 분자접합 기술 개발 및 특성평가 김정한*(한밭대학교), 박진웅, 강정현, 한병준, Emmanuel, 김준현, 손병삼
15:50~16:00		Coffee Break

\* 17:00~18:00 기초강연

\* 18:10~18:40 정기총회 (Banquet)

# 제 3 발표회장

2024년 10월 17일(목)

▶▶ 랜딩볼룸 C

○ (故)이동녕 교수님 추모세션		좌 장: 정호태 (강릉원주대학교)
13:00~13:05	추모세션 개회사 (한흥남, 서울대학교)	
13:05~13:25	KSTP_2024B_288	소성가공분야 발전을 이끈 위대한 공학자: 이동녕 이종수*(포항공과대학교)
13:25~13:45	KSTP_2024B_046	비대칭 압연한 알루미늄 합금 판재에서 소성변형비 변화 김인수*(금오공과대학교), (故)이동녕
13:45~14:05	KSTP_2024B_107	Third Creative Zone and Engineering Innovation 양동열*(한국과학기술원)
14:05~14:25	KSTP_2024B_106	소성 가공에서의 연성파단조건 허 훈*(한국과학기술원)
14:25~14:45	KSTP_2024B_135	FCC와 BCC 금속 재료의 압연 및 소둔 과정에서 발달하는 집합조직의 이해 최시훈*(국립순천대학교)
14:45~14:55	Coffee Break	
○ (故)이동녕 교수님 추모세션		좌 장: 최시훈 (국립순천대학교)
14:55~15:15	KSTP_2024B_008	다공질 재료의 소성변형 김형섭*(포항공과대학교)
15:15~15:35	KSTP_2024B_290	비대칭압연의 진화: 등주속이형압연과 벨트압연 정호태*(강릉원주대학교)
15:35~15:55	KSTP_2024B_156	전기도금 구리 박막의 미세조직에 따른 1축 인장변형 거동 박 현*(동아대학교), 김정환, 이효종
15:55~16:15	KSTP_2024B_144	결함 동역학 모델을 활용한 나노 구조화된 금속의 소성 변형의 이해 류 일*(서울대학교), C. P. Nguyen, 이승준
16:15~16:35	KSTP_2024B_081	변형 에너지 방출 최대화 모델을 활용한 철강 소재 재결정 집합조직 예측 민경문*(한국재료연구원), 이명규, 한흥남

# 제 4 발표회장

2024년 10월 17일(목)

▶▶ 한라룸 A

○특별세션2 - 디지털 이미지 상관기법(DIC) 활용기술 심포지엄		좌 장: 임지호 (POSCO)
13:00~13:10		개회사 및 인사말
13:10~13:30	KSTP_2024B_240	디지털 이미지 연관기법 기반 티타늄 합금의 고온 인장물성 평가 김민기*(한국생산기술연구원), 채유진
13:30~13:50	KSTP_2024B_037	단축 인장 시험에서의 DIC 기술의 확장 김용남*(한국재료연구원), Thomas B. Stoughton, 윤정환
13:50~14:10	KSTP_2024B_095	평면 변형 시편과 변위센서를 활용한 2D DIC 변형률 측정 시 오차 개선 이상민*(국립공주대학교), 홍석무
14:10~14:20		Coffee Break
○특별세션2 - 디지털 이미지 상관기법(DIC) 활용기술 심포지엄		좌 장: 김민기 (한국생산기술연구원)
14:20~14:40	KSTP_2024B_010	DIC를 이용한 인장시험 불균일 변형 구간의 진응력-변형률 선도 도출 임지호*(POSCO), 이해아, 최지식
14:40~15:00	KSTP_2024B_077	가상필즈법(VFM): DIC 측정 변형장을 활용한 소재 기계적 물성의 역해석 측정 김찬양*(국립군산대학교)
15:00~15:20	KSTP_2024B_053	머신비전 및 다중 센서를 활용한 오비탈 용접 결함 분석 시스템 개발 정유형*(한양대학교), 이원주, 장승범, 트루영반도이, 왕운봉, 이장욱, 윤종헌
15:20~15:30		Coffee Break
○특별세션2 - 디지털 이미지 상관기법(DIC) 활용기술 심포지엄		좌 장: 최지식 (POSCO)
15:30~15:50	KSTP_2024B_100	차체정강성의 실차성능 상관성 및 계측 정확성 향상 연구 진재선*(현대자동차), 김태윤, 김규환, 전용배
15:50~16:10	KSTP_2024B_047	초고장력강 수소취성 예측 전산모사 해석기술 개발 정승필*(현대제철), 김기정, 김혜진, 신희권, 이동열, 현주식, 신건진, 박진흥, 이명규
16:10~16:30	KSTP_2024B_023	디지털 영상 상관기법을 이용한 대형 구조물 변형 측정 사례 분석 김태렬*(오엠에이콤 유한회사), 김원섭

# 제 5 발표회장

2024년 10월 17일(목)

▶▶ 한라룸 B

○특별세션14 - 열처리/유도가열 해석의 이해 및 응용		좌 장: 윤용석 (㈜솔루션랩)
13:00~13:20	KSTP_2024B_070	물성 계산 소프트웨어를 활용한 열처리 공정 시뮬레이션 강경필*(㈜솔루션랩)
13:20~13:40	KSTP_2024B_085	압출용 금형강의 고온강도 향상을 위한 열처리 조건 연구 신영철*(한국생산기술연구원), 강경필
13:40~14:00	KSTP_2024B_035	열처리시 유체-구조 연성해석을 이용한 변형을 예측 방법의 개발 권영조*(자트코코리아엔지니어링), 김민철
14:00~14:10	Coffee Break	
○특별세션14 - 열처리/유도가열 해석의 이해 및 응용		좌 장: 윤용석 (㈜솔루션랩)
14:10~14:30	KSTP_2024B_273	전기차 구동 모터 코어용 접착식 라미네이트의 유도가열 공정 해석 김동연*(한국생산기술연구원), 전용준
14:30~14:50	KSTP_2024B_105	이중 주파수를 이용한 기어의 유도가열 경화 패턴 분석 윤용석*(㈜솔루션랩)
14:50~15:00	Coffee Break	
○특별세션5 - 최신 플라스틱 가공 / 성형기술		좌 장: 박 근 (서울과학기술대학교)
15:00~15:15	KSTP_2024B_141	플라스틱 미세유체 칩 대량 제조를 위한 초음파 용착에 관한 연구 유영은*(한국기계연구원), 진재호, 이상원, 권오동, 이경훈
15:15~15:30	KSTP_2024B_040	다중소재 적용을 위한 금속과 플라스틱의 인서트 몰딩에 관한 연구 류민영*(서울과학기술대학교), 이현동, 이성혁, 정경환, 유혜진
15:30~15:45	KSTP_2024B_275	유한요소 기반 파라미터를 활용한 AI 가속 사출성형시뮬레이션에 대한 연구 이준한*(한국생산기술연구원), 김종선
15:45~16:00	KSTP_2024B_238	베이지안 최적화 3D 프린팅 기반 전기화학용 전극 제작 류원형*(연세대학교)
16:00~16:15	KSTP_2024B_266	고탄소 고분자 소재의 열분해 공정에 기반한 고온 내구성 탄소물드 개발 김석민*(중앙대학교), 김영규, Muzahir Ali, 김주완, 석수연, 이중호, 이성민, Tasadduq Hussain
16:15~16:30	KSTP_2024B_022	플라스틱 적층제조 기반 4D프린팅의 반복정밀도 향상 연구 박 근*(서울과학기술대학교)

# 제 6 발표회장

2024년 10월 17일(목)

▶▶ 영실룸

○특별세션15 - 선박 혼소엔진용 1.15Gpa 이상급 배기밸브 스피들, 유닛 제조 기술 심포지엄		좌 장: 우영운 (한국재료연구원)
09:40~09:50	개회사	
09:50~10:00	KSTP_2024B_146	선박 혼소엔진용 배기밸브 유닛 제조 기술 개발 신재우*(㈜케이에스피), 조재현
10:00~10:40	KSTP_2024B_292	Ni-Cr-Al계 내열, 내식성 합금 기술 개발 신정호*(세아창원특수강)
10:40~11:10	KSTP_2024B_103	선박 혼소엔진용 내열합금 배기밸브 스피들 부품 제조 기술 개발 신재우*(㈜케이에스피), 조재현
11:10~11:40	KSTP_2024B_102	배기밸브 스피들 유닛 작동상태 검출 및 피로 내구성 검증 기술 개발 노동현*(화진기업㈜), 이상민, 임종석
11:40~12:00	KSTP_2024B_267	선박 환경 규제 개요 및 기술동향 김현철*(한국조선해양기자재연구원), 윤지섭, 유시안
12:00~13:00	Coffee Break	

○일반 발표 - 박판성형 / 복합재료 가공		좌 장: 박남수 (한국생산기술연구원)
13:00~13:15	KSTP_2024B_134	Metal-Polymer-Metal 판재 성형 공정에서의 주름 방지 방법 김재훈*(포항공과대학교), 최연택, 김래연, 구강희, 권지혜, 서민홍, 김형섭
13:15~13:30	KSTP_2024B_233	Al1050/LC steel/Al1050 Clad 판재의 접합 계면에서 발생하는 GND에 의한 딥드로잉 성형성 향상 최연택*(포항공과대학교), 권지혜, 김래연, 김재훈, 이신영, 김형섭
13:30~13:45	KSTP_2024B_168	점진적 손상 해석을 적용한 Steel/CFRP 하이브리드 부품의 변형 해석 서준영*(부산대학교), 김민기, 류재창, 신도훈, 이찬주, 고대철
13:45~14:00	KSTP_2024B_119	리튬 이온 배터리 파우치 필름의 적층 소성 구성방정식 개발 장택진*(한국과학기술원), 사공철, 안태균, 윤정환
14:00~14:15	KSTP_2024B_121	알루미늄-폴리머 적층 형태 필름의 성형 한계도 시험 사공철*(한국과학기술원), 장택진, 안태균, 윤정환
14:15~14:30	KSTP_2024B_143	알루미늄 파우치 성형에서의 베이지안 최적화 기반 가변 블랭크 홀딩력 제어 안태균*(한국과학기술원), 장택진, 사공철, 김재균, 윤정환
14:30~14:45	Coffee Break	

○일반 발표 - 박판성형		좌 장: 노우람 (국립안동대학교)
14:45~15:00	KSTP_2024B_014	샤시부품 내구성 향상을 위한 고강도소재 성형기술 연구 공호영*(현대자동차), 이광복, 배찬희, 손경주, 박영철, 도형협
15:00~15:15	KSTP_2024B_246	딥 드로잉 가공에 의한 철강재 원통형 이차전지 용기 성형 시험용 금형 개발 및 활용 박기철*(포스코)
15:15~15:30	KSTP_2024B_058	수소 압축기 다이아프램의 블랭킹 시뮬레이션을 위한 데미지 모델 결정 김용관*(㈜솔루션랩), 박훈재, 김강은, 홍명표, 강경필, 이경훈
15:30~15:45	KSTP_2024B_182	열 이력이 핫스탬핑 공정의 마모와 성형성에 미치는 영향 지민기*(인천대학교), 손현성, 전태성
15:45~16:00	KSTP_2024B_082	X-선 회절 및 변형률 게이지를 이용한 고강도강 판재의 응력 추정 반승현*(한국재료연구원), 김진수, 최현성, 석무영, 이동준, 권용남, 박현일
16:00~16:15	KSTP_2024B_149	베이지안 최적화 알고리즘을 통한 롤러 오프셋 공정 알루미늄 강판 뒤틀림 최소화 한동훈*(한국과학기술원), Lu Huang, 안태균, Thomas Stoughton, 최현성, 윤정환
16:15~16:30	KSTP_2024B_183	알루미늄 합금 스탬핑 공정에 대한 극저온 마찰 및 성형성에 대한 연구 지민기*(인천대학교), 김예름, 최이천, 김용배, 임성식, 전태성

# 제 7 발표회장

2024년 10월 17일(목)

▶ ▶ [어리목룸](#)

○특별세션12 - 고청정 Ni-Cr-Mo계 소재부품기술개발 심포지엄		좌 장: 김덕령 (세아창원특수강)
13:00~13:15	KSTP_2024B_179	고청정 고내식 Ni-Cr-Mo계 소재 개발 김덕령*(세아창원특수강), 권순일, 정세지, 박상훈, 정해창, 안세호
13:15~13:25	KSTP_2024B_147	Ni-Cr-Mo계 무게목관의 열간 3롤 압연 공정기술 이준표*(㈜세창스틸), 권진구, 홍성모
13:25~13:35	KSTP_2024B_036	Ni-Cr-Mo계 소재 가공 및 부품화 연구 윤은유*(한국재료연구원)
13:35~13:45	KSTP_2024B_138	Ni-Cr-Mo계 소재 특수용해 및 정련연구 강영조*(동아대학교)
13:45~13:55	KSTP_2024B_044	Ni-Cr-Mo계 성분 최적화 설계와 미세조직 기반 특성 상관성 해석 주하연*(국립창원대학교), 김종훈, 홍현욱
13:55~14:05	KSTP_2024B_148	반도체/에너지산업용 고청정 고내식 Ni-Cr-Mo계 소재의 사업화 전략 수립 김태윤*(한국금속재료연구조합), 정철환
14:05~14:20		'24년도 산업부 금속재료 분야 R&D 현황 이광석*(한국산업기술기획평가원)
14:20~14:35		Coffee Break
○특별세션12 - 고청정 Ni-Cr-Mo계 소재부품기술개발 심포지엄		좌 장: 성열주 (㈜아스플로)
14:35~14:50	KSTP_2024B_151	반도체 가스이송용 금속소재 요구사항 조일동*(SK하이닉스/아이디어스)
14:50~15:05	KSTP_2024B_189	반도체용 Ni-Cr-Mo계 소재부품화기술 개발 성열주*(㈜아스플로), 이동운, 이성영, 강두홍
15:05~15:15	KSTP_2024B_268	고청정 Ni-Cr-Mo계 소재 제조 및 반도체-에너지산업용 핵심부품기술개발 이정휴*(신한금속)
15:15~15:25	KSTP_2024B_163	Ni-Cr-Mo 합금의 극청정화를 위한 전해액 조성 연구 양현석*(고등기술연구원), 정우철, 한덕현, 공만식
○특별세션12 - 고청정 Ni-Cr-Mo계 소재부품기술개발 심포지엄		좌 장: 김성진 (파이널텍)
15:25~15:40	KSTP_2024B_067	고청정 Ni-Cr-Mo계 소재 기반 두께 40µm급 금속기판 제조 및 초전도소재 부품화 기술 개발 김성진*(파이널텍)
15:40~15:50	KSTP_2024B_018	2세대 고온초전도 선재 제조 공정 개발 이재훈*(㈜서남), 이유리
15:50~16:00	KSTP_2024B_145	초전도 특성 분석 및 버퍼층 제조공정 연구 정재한*(서울과학기술대학교)

# 제 8 발표회장

2024년 10월 17일(목)

▷ ▶ 백록룸

○특별세션9 - 고성능 부품제조를 위한 금형공구용 소재기술개발 심포지엄		좌 장: 손동민 (세아창원특수강)
13:30~13:35	개회사 및 인사말	
13:35~13:50	KSTP_2024B_213	고성능 열간공구강 개발 현황 및 적용 사례 김형신*(세아창원특수강)
13:50~14:10	KSTP_2024B_229	열간공구강의 열피로 특성과 미세조직의 상관관계 윤국태*(대구기계부품연구원), 홍창환, 김주엽, 이락규, 김선주
14:10~14:30	KSTP_2024B_160	알루미늄 다이캐스팅 부품 고성능-대형화에 따른 금형 개발 동향 및 신강종 적용 결과 윤상일*(삼기), 최지석, 송호섭, 주훈희
14:30~14:50	KSTP_2024B_247	절삭 하중 데이터의 푸리에 변환을 이용한 공구 파손 예측 권오동*(㈜솔루션랩), 석주성, 송영빈, 이경훈
14:50~15:10	Coffee Break	
○특별세션9 - 고성능 부품제조를 위한 금형공구용 소재기술개발 심포지엄		좌 장: 손동민 (세아창원특수강)
15:10~15:30	KSTP_2024B_027	용도특화 플라스틱 사출용 금형강 소재 개발 배재민*(세아창원특수강)
15:30~15:50	KSTP_2024B_291	DED 금속적층 기술기반의 첨단제조 이슈와 응용분야 김대중*(AM솔루션즈)
15:50~16:10	KSTP_2024B_117	금속 적층 제조 공정으로 제조된 고탄소 D2 공구강의 미세조직 및 기계적 특성 이기안*(인하대학교), 박정현, 전민수, 구용모, 전종배, 김대중, 백소령



# 제 9 발표회장

2024년 10월 17일(목)

▶▶ 영주룸

○일반 발표 - 금형가공 / 적층제조 유연공정		좌 장: 이성욱 (한국원자력연구원)
13:00~13:15	KSTP_2024B_041	고강도강 경량 상용차 휠 개발 권혁선*(포스코)
13:15~13:30	KSTP_2024B_064	316L 스테인리스 강-구리 복합재의 3D 구조 적층을 통한 열적 특성 향상 연구 최동인*(서울대학교), 조영환, 강성규, 정경재, 정차희, 최현주, 최인석, 한흥남
13:30~13:45	KSTP_2024B_089	SLM 공정에서의 에너지밀도에 따른 순수 나이오븀의 미세조직 및 기계적 특성 연구 한승준*(한국생산기술연구원), 김원래, 김형균, 문인용
13:45~14:00	KSTP_2024B_092	DED 공정으로 제작된 박벽 구조물의 실험 및 해석 연계를 통한 열전달 해석 모델 개발 이광규*(조선대학교), 안동규
14:00~14:15	KSTP_2024B_174	객체 탐지 딥러닝을 통한 적층 제조 공정의 결함 탐지 및 보상 시스템 강정훈*(부산대학교), 이승문, 박석희
14:15~14:30	KSTP_2024B_217	다양한 하중 조건 하에서의 micro-scale 금속 격자구조의 변형 거동 연구 이기택*(포항공과대학교), 정상국, 권지혜, 안성열, 사공만재, 이기안, 김형섭
14:30~14:45	Coffee Break	
○일반 발표 - 적층제조 유연공정 / 제조 공정 및 장비		좌 장: 안동규 (조선대학교)
14:45~15:00	KSTP_2024B_218	레이저 용융 적층 제조를 통한 Cu-Al 합금을 사용한 니켈-알루미늄 청동 수리 요창량*(한국해양대학교), 신광용, 심도식
15:00~15:15	KSTP_2024B_237	CoCrTi 합금의 L-PBF 적층 공정 최적화 및 에너지밀도에 따른 특성 변화 연구 하정현*(한국생산기술연구원), 김원래, 이택우, 강현수, 박형기, 최선진, 김형균
15:15~15:30	KSTP_2024B_263	차세대 원전 부품에 3D 프린팅 기술 적용 이성욱*(한국원자력연구원), 김효찬, 김현길
15:30~15:45	KSTP_2024B_276	딥러닝을 이용한 적층제조된 18Ni300 마레이징 강의 잔류 응력 완화 예측 김세윤*(한국재료연구원), 김동규, 강성훈, 김지훈, 오영석
15:45~16:00	KSTP_2024B_120	공정 변수에 따른 너트 전조 탭핑 성형 부하 분석 김민수*(한국생산기술연구원), 정선호, 정건우, 윤용범, 정현우, 이종섭
16:00~16:15	KSTP_2024B_222	냉각 기체질소를 이용한 알루미늄 압출금형 냉각효과 홍순원*(한국생산기술연구원), 조진연, 김재범, 노재현, 백창현, 최호준

# 제 10 발표회장

2024년 10월 17일(목)

▶▶ 올레룸

○일반 발표 - 모델링 및 시뮬레이션 / 금속 성형 분야의 디지털화, 가상화		좌 장: 봉혁중 (한국재료연구원)
13:00~13:15	KSTP_2024B_109	코일 스프링의 제조를 위한 냉간 코일링 공정의 해석 이원동*(부산대학교), 김민기, 류재창, 신정규, 차승훈, 임철현, 고대철
13:15~13:30	KSTP_2024B_212	Ti-6Al-4V 합금의 주조 미세조직 성장 모사 LBM-CA 모델 이원주*(한양대학교), 현용택, 이호원, 강성훈, 윤종현
13:30~13:45	KSTP_2024B_234	대형 단조품 및 용접부 물성분석과 해석기법 개발 이주원*(한국과학기술원), 임현용, 장택진, 서송원, 고원기, 윤정환
13:45~14:00	KSTP_2024B_235	디지털 이미지 상관기법을 활용한 변형을 경로 변화 실험의 설계와 결과 김지민*(포스코)
14:00~14:15	KSTP_2024B_278	전자기장-열 연성 해석 기반 고주파 열처리로 인한 3D 곡면 형상의 상변태 및 변형 예측 황순재*(국립공주대학교), 김준영, 박종규, 홍석무
14:15~14:30	KSTP_2024B_096	인공지능기반 드로우비드에 따른 판재 성형 크랙 및 주름 예측 이사랑*(국립공주대학교), 현대일, 홍석무
14:30~14:45	Coffee Break	
○일반 발표 - 소재응용 / 공정계산역학 / 금속 성형 분야의 디지털화, 가상화		좌 장: 김지훈 (부산대학교)
14:45~15:00	KSTP_2024B_192	딥러닝 기반 철강소재의 템퍼링 공정-미세조직-물성 상관관계 모델링 강준우*(한국재료연구원), 김지훈, 김호혁, 강성훈
15:00~15:15	KSTP_2024B_009	극박 순 타이타늄 판재의 방향별 성형한계선도 도출 김경재*(한국재료연구원), 김찬양, 민경문, 김지훈, 봉혁중
15:15~15:30	KSTP_2024B_013	비중분 응력기반 탄점소성 다결정 모델과 유한요소해석 응용 정영웅*(국립장원대학교)
15:30~15:45	KSTP_2024B_050	실러 열경화를 고려한 Steel-Al 자동차 클로저 부품의 열변형 해석 안강환*(포스코), 서민홍, 강연식, 김경보
15:45~16:00	KSTP_2024B_157	딥 러닝을 이용한 공정의존적 탄소성 인공지능 구성방정식의 개발 문희범*(㈜솔루션랩), 강경필, 이경훈
16:00~16:15	KSTP_2024B_280	디지털 전환을 위한 프레스 스탬핑 프로세스의 제안 곽종환*(오토폼엔지니어링코리아㈜), Bart Carleer

# 제 11 발표회장

2024년 10월 17일(목)

▶▶ 우도룸

○일반 발표 - 단조		좌 장: 오영석 (한국재료연구원)
13:00~13:15	KSTP_2024B_094	3차원 파라메트릭 캐드를 활용한 자동차 베어링 허브 열간 단조 공정 자동 설계 및 해석 오민성*(국립공주대학교), 홍석무
13:15~13:30	KSTP_2024B_204	마찰의 접촉상태 의존도 허 윤*(경상국립대학교), 전만수
13:30~13:45	KSTP_2024B_206	체적소성가공 공정에서 연성파괴 예측을 위한 임계 요소 크기 홍보승*(경상국립대학교), 홍석무, 전만수
13:45~14:00	KSTP_2024B_220	고망간강의 열간가공 공정지도와 미세조직에 관한 연구 김영주*(포항금속소재산업진흥원), 이창우
14:00~14:15	KSTP_2024B_225	열간단조 중 금형의 저주기 피로파괴 문호근*(☞MFRC), 조현준, 김남윤, 조주현, 김진국, 전만수
14:15~14:30	Coffee Break	
○일반 발표 - 압연		좌 장: 이현석 (포항산업과학연구원)
14:30~14:45	KSTP_2024B_029	잔류응력을 고려한 인공지능 기반 열연 변형저항 예측 김현호*(포스코), 김성훈
14:45~15:00	KSTP_2024B_032	공형압연공정에서 압하력 기반 실제 롤 갭 예측 알고리즘을 통한 각 패스의 질량흐름 실시간 예측 남규한*(중앙대학교), 이동운, 이영석
15:00~15:15	KSTP_2024B_060	열간압연강에서 형성된 산화물 스케일의 잔류 응력 수치 분석을 위한 준해석적 방법 개발 전용제*(국립안동대학교), 이재민, 김선호, 김영천, 남승훈, 이명규, 노우람
15:15~15:30	KSTP_2024B_207	철강 압연 설비를 활용한 티타늄 판재 제조와 테르밋 반응 최미선*(포항산업과학연구원), 이현석
15:30~15:45	KSTP_2024B_244	타이타늄 Ti-6Al-4V 합금 극후물 압연재의 열처리 조건에 따른 미세조직 및 인장물성 변화 이현석*(포항산업과학연구원)
15:45~16:00	Coffee Break	
○일반 발표 - 압출 및 인발		좌 장: 이현석 (포항산업과학연구원)
16:00~16:15	KSTP_2024B_062	압출비가 마그네슘 미세튜브의 기계적 물성과 생분해 속도에 미치는 영향 김재성*(한국재료연구원), 임창동, 서병찬, 김하식, 이상은, 서종식
16:15~16:30	KSTP_2024B_170	분말충진밀도가 초전도 MgB2 선재의 임계전류밀도에 미치는 영향 오상현*(한국재료연구원), 오영석, 장세훈, 문영훈, 강성훈
16:30~16:45	KSTP_2024B_224	인발공정의 특징을 고려한 최적 해석 모델 신영빈*(경상국립대학교), 정동석, 전만수

# 제 12 발표회장

2024년 10월 17일(목)

▷▶ 성산룸

○Closed Session - 특별세션8 고강도 소재 적용 전기자동차 샤시 및 배터리 케이스 제조를 위한 접합장비와 스마트 접합라인 개발 및 제품화 실증		좌 장: 최현준 (㈜화신)
13:00~13:15	개회사 및 회의 안내	
13:15~13:30	KSTP_2024B_031	기계적 체결 시 홀 위치 측정 정확도 향상을 위한 FDS System 및 BMS 스마트 제조 라인 개발 이창훈*(㈜화신), 이태규, 최낙윤, 이기동
13:30~13:45	KSTP_2024B_020	590 MPa 이상의 고강도 강재와 알루미늄 이종소재의 플로우 드릴 스크류-분당 접합 품질 평가 임성빈*(한국생산기술연구원), 이솔미, 고한솔, 추우인, 주원중, 이태규, 이창훈, 김동윤, 유지영, 김동혁
13:45~14:00	KSTP_2024B_054	AC Pulse 디자인툴을 이용한 AC Pulse 알루미늄 용접조건 시너지라인 개발방법 소개 이재민*(현대피엔에스㈜), 김정용, 이창훈, 변동섭
14:00~14:15	KSTP_2024B_214	Blind Rivet Nut 접합 시스템 국산화 개발 김태오*(나우테크), 이태규, 이창훈
14:15~14:30	Coffee Break	
14:30~14:45	KSTP_2024B_034	이종소재 적용 프론트 크로스 멤버 개발 김성호*(㈜화신), 서오석, 박종규
14:45~15:00	KSTP_2024B_055	FDS 접합부에 대한 파단강도 평가방법 연구 김동건*(한국생산기술연구원), 박두현, 김성호, 송정한
15:00~15:15	KSTP_2024B_199	고강도 알루미늄 적용 프론트 크로스 멤버 용접 열변형 해석 기술 신뢰성 검증 연구 김한솔*(충북대학교), 강지석, 구인환, 서오석, 박종규, 조정호
15:15~15:30	KSTP_2024B_059	적응형 삼각형 메쉬 기반 성형 해석 결과의 육면체 메쉬로의 변환 알고리즘 개발 심규장*(서울대학교), 홍승효, 전형주, 이형림, 김성호, 서오석, 박종규, 이명규
15:45~16:00	KSTP_2024B_262	초음속 분말 적층 적용 스틸-알루미늄 이종용접 연구 최돈현*(현대모비스), 오주석, 서오석, 박종규
16:00~16:15	향후 계획 및 주요 사항 업무 협의	

**10월 18일 금요일**

**특별세션**

**기술분야 구두발표**

**International Session**

**포스터 발표**

# 제 1 발표회장

2024년 10월 18일(금)

▷▶ 한라룸 A

○특별세션6 - EBSD 데이터를 활용한 재료의 변형 및 파괴 거동 이해		좌 장: 조재형 (한국재료연구원)
09:35~09:50	KSTP_2024B_098	초고강도 Medium-entropy alloy의 고온 초소성 및 극저온 변형거동 손석수*(고려대학교)
09:50~10:05	KSTP_2024B_123	L-PBF 공정으로 제조된 In-situ 나노 산화물 강화 CrMnFeCoNi 고엔트로피 합금 기지 복합 재료의 미세조직 및 기계적 특성 이기안*(인하대학교), 김영균, 박소연
10:05~10:20	KSTP_2024B_164	DED 적층제조한 316L 스테인레스강의 고온 피로 특성 강석훈*(한국원자력연구원), 서주원, 정승문, 안동현, 천영범
10:20~10:35	KSTP_2024B_111	투과전자현미경을 이용한 철강재료의 변형조직해석 허윤욱*(포항공과대학교)
10:35~10:50	KSTP_2024B_006	강가공 소재에서 신뢰성 있는 EBSD 데이터 취득 강주희*(㈜웨이브센스)
○특별세션6 - EBSD 데이터를 활용한 재료의 변형 및 파괴 거동 이해		좌 장: 김정한 (국립한밭대학교)
10:50~11:05	KSTP_2024B_042	전산모사 기반 마찰교반접합부의 미세조직 변화 예측 조훈휘*(국립한밭대학교), 한흥남
11:05~11:20	KSTP_2024B_063	ECAP 공정으로 제조된 Pure Cu 소재의 동적인장입출 거동 이근호*(국방과학연구소), 김석봉, 박이주, 박경태
11:20~11:35	KSTP_2024B_069	철강판재의 구멍확장파괴 연구 한흥남*(서울대학교)
11:35~11:50	KSTP_2024B_049	우라늄의 열적 팽창 수축 사이클에 따른 소성 변형 현상과 결정소성학적 해석 정영웅*(국립창원대학교)
11:50~12:05	KSTP_2024B_257	Fe-3.5%Si강의 냉간 압연중 결정립 파편화에 대한 EBSD를 사용한 통계적 분석 이세일*(포스코)
12:05~13:00		Lunch
○특별세션6 - EBSD 데이터를 활용한 재료의 변형 및 파괴 거동 이해		좌 장: 조훈휘 (국립한밭대학교)
13:00~13:15	KSTP_2024B_219	EBSD와 실시간 X-선 회절을 이용한 마그네슘 합금의 변형기구 해석 이상봉*(금오공과대학교), 김영민, Gaoming Zhu
13:15~13:30	KSTP_2024B_258	ZK60합금의 쌍정생성에 미치는 결정방위와 온도의 영향 조재형*(한국재료연구원), 치투리비렌드라, 장효선, 이건영
13:30~13:45	KSTP_2024B_097	마그네슘 합금 판재의 R-value와 성형성간의 상관관계 김영민*(한국재료연구원), 서병찬, 유승윤, 박성혁
13:45~14:00	KSTP_2024B_101	결정소성 유한요소법을 이용한 CP Ti 판재의 거동 분석 김지훈*(부산대학교), 김경표, 강주희, 오창석
○특별세션6 - EBSD 데이터를 활용한 재료의 변형 및 파괴 거동 이해		좌 장: 최시훈 (국립순천대학교)
14:00~14:15	KSTP_2024B_227	압연접합시 알루미늄 합금판재의 초미세립 생성 거동 분석 김형욱*(한국재료연구원), 임차용, 최시훈, Nobuhiro Tsuji
14:15~14:30	KSTP_2024B_254	PBF Ti-6Al-4V 판재의 고주기피로 특성 권용남*(한국재료연구원), 석무영, 박주영, 정유인
14:30~14:45	KSTP_2024B_043	초극저온에서 순수 타이타늄의 인장변형 기구 및 serration 거동연구 김정한*(국립한밭대학교), 마흐디, 하디스, 이수열, 김영균, 나영상
14:45~15:00	KSTP_2024B_198	집합조직 분석을 기반으로 한 구리 박막의 소성변형 메커니즘 규명 이소연*(금오공과대학교)

## 제 2 발표회장

2024년 10월 18일(금)

▶▶ 영실룸

○특별세션7 - 국가참조표준 개발 재료 및 물리분과 합동 워크샵		좌 장: 정관성 (한국원자력연구원)
09:35~09:50		심포지엄 개회사 및 인사말
09:50~10:05	KSTP_2024B_165	재료분야을 위한 GUM에 따른 측정불확도 소개 김창근*(한국표준과학연구원), 심형석, 황재홍
10:05~10:20	KSTP_2024B_216	전자파물질상수 참조표준 개발 강진섭*(한국표준과학연구원)
10:20~10:35	KSTP_2024B_030	국가참조표준 융복합세라믹소재 데이터 생산 및 활용 김현식*(한국세라믹기술원)
10:35~10:50	KSTP_2024B_161	재활용 섬유소재의 가공 공정별 참조표준 데이터 생산 최윤성*(DYETEC연구원), 표규진, 박진아, 박수현
10:50~11:05		Coffee Break
○특별세션7 - 국가참조표준 개발 재료 및 물리분과 합동 워크샵		좌 장: 최윤성 (DYETEC연구원)
11:05~11:20	KSTP_2024B_129	AI기반 미세조직 정량 분석 기술 개발 연구 조다희*(포항산업과학연구원), 김재우, 양정환, 진현호, 조점석, 남기찬, 김영석, 박중철
11:20~11:35	KSTP_2024B_232	원자력구조재료 역학물성 참조표준 데이터 개발 정관성*(한국원자력연구원), 김경호
11:35~11:50	KSTP_2024B_249	플라즈마 물성 참조표준 소개 및 물성 송미영*(한국핵에너지기술연구원), 한선민, 김용현, 장원석, 김종식
11:50~12:05	KSTP_2024B_011	열기계분석기의 불확도 평가 강권호*(한국원자력연구원), 윤병주



# 제 3 발표회장

2024년 10월 18일(금)

▶▶ [어리목룸](#)

○특별세션4 - 디지털트윈 및 인공지능 기반 자율 제조 공정 기술 심포지엄		좌 장: 윤희택 (한국과학기술원)
09:35~09:50	KSTP_2024B_243	3D CNC 튜브 벤딩 공정 설계 고도화를 위한 롤 포밍 성형이력 맵핑 기술 개발 정건우*(한국생산기술원/성균관대학교), 김민수, 김민기, 이종섭, 조성민, 김근호, 박남수
09:50~10:05	KSTP_2024B_167	타이타늄 두개골 임플란트 성형을 위한 3차원 디지털 판재 프린팅 고온 모듈 개발 윤형원*(한국생산기술연구원), 박남수
10:05~10:20	KSTP_2024B_142	실시간 물성측정을 활용한 data-driven autonomous manufacturing 공정에 관한 연구 이은호*(성균관대학교)
10:20~10:35	KSTP_2024B_025	기계학습 기반 절삭공정 공구 마모 모니터링 기술 동향 윤희택*(한국과학기술원)
10:35~10:50	KSTP_2024B_286	판금라인 실시간 모니터링 시스템 개발 현황 및 추진 방향 박준용*(LG전자), 소현우

# 제 4 발표회장

2024년 10월 18일(금)

▷ ▶ 백록룸

○특별세션13 - 항공 금속소재 국산화 개발		좌 장: 박현일 (한국재료연구원)
09:00~09:15	KSTP_2024B_282	소재물성 데이터베이스 개발을 통한 항공소재 국산화 권용남*(한국재료연구원), 박현일, 정유인
09:15~09:30	KSTP_2024B_255	항공소재개발을 위한 통계분석 사례 및 K-MIDAS의 활용 전민우*(한국화학융합시험연구원), 장재준, 김태건
09:30~09:45	KSTP_2024B_231	항공기 엔진 부품용 고강도 Al-Zn-Mg-Cu계 합금 개발 김형욱*(한국재료연구원), 조용희, 김원경, 이윤수
09:45~10:00	KSTP_2024B_122	Al-Cu-Mg-Mn-Ag-Zr 합금 후판재의 석출거동 및 기계적 특성 향상에 미치는 가공열처리의 영향 정찬욱*((주)동양에이.케이코리아), 최지훈, 함진희
10:00~10:15	KSTP_2024B_026	항공용 금속소재의 피로 균열 치유를 위한 펄스전류 인가 공정설계 홍범락*(한국재료연구원), 이승환, 최현성, 석무영, 이동준, 권용남, 박현일
10:15~10:30	Coffee Break	
○특별세션13 - 항공 금속소재 국산화 개발		좌 장: 최현성 (한국재료연구원)
10:30~10:45	KSTP_2024B_186	금속소재의 실시간 열화분석을 통한 고장원인 규명 및 신뢰성 평가 이창희*(포항산업과학연구원), 이정훈, 박상혁, 강성
10:45~11:00	KSTP_2024B_056	인공지능기반 ML-CNT필름을 활용한 알루미늄 합금의 피로균열전파 거동 분석 좌비오*(한국재료연구원), 이승환, 최현성, 박현일, 석무영, 이동준, 권용남
11:00~11:15	KSTP_2024B_193	항공우주용 인코넬볼트의 피로수명 향상에 대한 연구 허민후*((주)화신볼트산업), 정태형, 이학철
11:15~11:30	KSTP_2024B_110	S45C 용접부의 잔류 응력 분포에 미치는 표면 처리의 영향 조윤지*(한국재료연구원), 심현보, 백민재, 최현성, 박현일, 석무영, 권용남, 이동준
11:30~11:45	KSTP_2024B_116	항공용 Beta Annealed Ti-6Al-4V 합금의 국산화 개발 나혜성*(에이치브이엠), 박상규, 임연민, 최재영
11:45~12:00	KSTP_2024B_269	비틀림 피로시험을 통한 기어 및 베어링 소재의 손상물성 평가 석무영*(한국재료연구원), 김담현, 이상인, 권순우, 박현일, 이동준, 최현성, 권용남

# 제 5 발표회장

2024년 10월 18일(금)

▶▶ 영주룸

○Closed Session - 특별세션10 에너지 산업용 대구경 강관 제조기술 개발 심포지엄		<b>좌 장: 차준현 (한국금속재료연구조합)</b>
09:00~09:20	KSTP_2024B_104	L80강의 mild 부식 환경에서의 HIC 및 특성 평가 차하림*(㈜파솔)
09:20~09:40	KSTP_2024B_201	페라이트/펄라이트 파이프 강의 두께 깊이와 수소취성의 관계 이현욱*(한양대학교), 정운문, 한효주, 유용재, 김규태, 한정호
09:40~10:00	KSTP_2024B_115	(Ti, Mo)C 형성이 라인파이프 강의 미세조직, 충격 특성, SSCC 저항성에 미치는 영향 공서윤*(국립순천대학교), 임승은, 김규태, 유용재, 신세은
○Closed Session - 특별세션10 에너지 산업용 대구경 강관 제조기술 개발 심포지엄		<b>좌 장: 김성웅 (세아제강)</b>
10:15~10:30	KSTP_2024B_159	열처리에 따른 ERW 강관 용접부의 미세조직 및 저온충격인성 특성 연구 고의석*(현대스틸파이프), 우현섭, 이동혁, 광진섭
10:30~10:45	KSTP_2024B_038	발전 주파수 변화를 이용한 HF-ERW 용접 현상 해석 하정우*(세아제강), 김성웅, 박춘섭
10:45~11:00	KSTP_2024B_139	API X70 ERW 강관 용접부에 M-A가 미치는 영향 분석 및 M-A 제어를 통한 저온 충격 인성 향상 방안 이찬희*(창원대학교), 백종민, 광진섭, 전동현, 흥현욱
○Closed Session - 특별세션10 에너지 산업용 대구경 강관 제조기술 개발 심포지엄		<b>좌 장: 우현섭 (현대스틸파이프)</b>
11:15~11:30	KSTP_2024B_033	해상 풍력 하부 구조용 대구경 모노파일 제조 기술 개발 김성웅*(세아제강)
11:30~11:45	KSTP_2024B_236	심해용 flexible pipe 개발을 위한 고압 CO2에서의 SCC(Stress Corrosion Cracking) 가속시험기법 고찰 이재원*(포항금속소재산업진흥원)
11:45~12:00	KSTP_2024B_281	대구경 강관용 용접부의 파괴인성 평가 조원준*(조선대학교), 이지승, 성대희, 안규백

# 제 6 발표회장

2024년 10월 18일(금)

▶▶ 올레룸

○일반 발표 - 미세구조 및 응용		좌 장: 최시훈 (국립순천대학교)
09:35~09:50	KSTP_2024B_074	전류 처리를 통한 Ti-V 합금 내 $\omega$ 상 성장 가속화 연구 김이재*(서울대학교), 최호욱, 김양후, 한흥남
09:50~10:05	KSTP_2024B_075	핵융합로 플라즈마 대면재용 인성 향상 텅스텐-크로뮴 복합재의 제작과 기계적 성질 분석 연구 이성민*(서울대학교), 김정석, 광노준, 한흥남
10:05~10:20	KSTP_2024B_171	고비강도 AlMoV 중엔트로피 합금의 미세구조 및 기계적 특성 이시우*(포항공과대학교), 홍순직, 손수정, 김형섭
10:20~10:35	KSTP_2024B_195	점소성 자기일관성 모델을 활용한 비상관 유동 법칙 하의 이산 소성 포텐셜 모델링 박원진*(한국과학기술원), 윤정환
10:35~10:50	Coffee Break	
○일반 발표 - 미세구조 및 응용 / 표면 및 인터페이스		좌 장: 조재형 (한국재료연구원)
10:50~11:05	KSTP_2024B_215	Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr 합금의 시효처리 공정에 따른 미세조직 거동 및 기계적 특성 평가 이승우*(국립순천대학교), 이동근
11:05~11:20	KSTP_2024B_021	역그라디언트구조를 통한 우수한 인장 물성-성형성 달성 방안 김래연*(포항공과대학교), 구강희, 최연택, 김형섭
11:20~11:35	KSTP_2024B_137	초음파 나노결정 표면개질 처리한 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금 소결체의 계층적 미세구조가 인장 특성에 미치는 영향 이도원*(포항공과대학교), 김래연, 하효정, Auezhan Amanov, 김형섭

# 제 7 발표회장

2024년 10월 18일(금)

▶▶ 우도룸

○International Session - Material / Process		좌 장: 박남수 (한국생산기술연구원)
09:35~09:50	KSTP_2024B_155	<b>Equi-biaxial tensile behavior of low carbon steel with bulge test</b> Shin-Yeong Lee*(Hyundai Mobis), Soo-Sang Kim, Doo-Hyun Park, Jung-Han Song, Woo-Jeong Oh, Joon-Seok Kyeong
09:50~10:05	KSTP_2024B_154	<b>Innovative approaches to roll pass design and simulation using QForm UK and QKaliber</b> Vitaliy Belugin*(QForm Group FZ(UAE)), Sergey Stebunov, Pavel Maltsev, Igor Alimov, Nikolay Biba
10:05~10:20	KSTP_2024B_245	<b>Effect of current density on diffusion process in electrically assisted pressure joining of dissimilar AA6061-T6&amp;C11000</b> Tu-Anh Bui-Thi*(Univ. of Ulsan), Thanh Thuong Do, Van Cong Phan, Yijae Kim, Heung Nam Han, Byungsun Park, Juhoon Lee, Sung-Tae Hong
10:20~10:35	KSTP_2024B_248	<b>Improving mechanical properties of Al-Mg-Si alloy through electrically assisted rapid precipitation hardening</b> Geng Meiling*(Univ. of Ulsan), Yixing Zhao, Yijae Kim, Heung Nam Han, Sung-Tae Hong
10:35~10:50	Coffee Break	
○International Session - Process		
10:50~11:05	KSTP_2024B_259	<b>Dislocation density based modelling of the electroplastic effect in pure copper using a crystal plasticity framework</b> Jai Tiwari*(Seoul Nat'l Univ.), Minwoo Park, Heung Nam Han
11:05~11:20	KSTP_2024B_271	<b>Effect of martensite volume fraction on the time-dependent plasticity of dual-phase steels</b> Kali Prasad*(POSTECH), Eun Seong Kim, Hyoung Seop Kim
11:20~11:35	KSTP_2024B_272	<b>Joining and Forging of a Lightweight Structural Component by Electrically Assisted Closed-die Forging</b> Thanh Thuong Do*(Univ. of Ulsan), Tu-Anh Bui-Thi, Jang Hyun Bae, Moon-Jo Kim, Sung-Tae Hong

# 제 8 발표회장

2024년 10월 18일(금)

▷▶ 성산룸

○특별세션11 - 철강/금속 산업 디지털전환 실증센터 구축사업		좌 장: 차태민 ((재)포항금속소재산업진흥원)
09:00~09:20	KSTP_2024B_126	철강/금속산업 디지털전환 도입 현황 김대욱*((재)포항금속소재산업진흥원), 김경훈, 허은주, 양해웅
09:20~09:40	KSTP_2024B_221	디지털트윈 적용 사례로 보는 실증 방안 고찰 허우로*((재)포항금속소재산업진흥원), 김경훈
09:40~10:00	KSTP_2024B_128	기계학습 모델에 따른 냉간단조 열처리 조건 별 기계적 물성 비교 연구 박종구*((재)포항금속소재산업진흥원), 허우로, 이현주, 김경훈
10:00~10:20	Coffee Break	
10:20~10:40	KSTP_2024B_131	사출공정 딥러닝기반 품질예측 연구 이용환*((재)포항금속소재산업진흥원), 허우로, 김경훈
10:40~11:00	KSTP_2024B_127	랜덤 포레스트 회귀법을 적용한 단조재 기계적 물성 예측 김대욱*((재)포항금속소재산업진흥원), 박종구, 김경훈, 양해웅
11:00~11:20	Coffee Break	
11:20~11:40	KSTP_2024B_194	고온 단조 환경을 위한 영상 기반 소재 추적 AI 시스템 김치성*(포스텍), 조현보
11:40~12:00	KSTP_2024B_253	제조 AI 숨은 속성 및 적용 사례 강용태*(한솔코에버)

# 제 9 발표회장 - 포스터발표 I

2024년 10월 18일(금) 09:35~11:00

▷ ▶ 랜딩볼룸 C Foyer

○ 포스터 발표		※ 포스터 사이즈: 가로 90cm X 세로 130cm
P01	KSTP_2024B_001	레이저 프로파일 센서를 적용한 대면적 3차원 곡면검사에 관한 연구 이상익*(기득산업㈜), 박성진, 공경열
P02	KSTP_2024B_002	디지털 3D형상 기반 3차원 자유곡면 열간성형 로봇 자동화에 관한 연구 이상익*(기득산업㈜), 박성진, 공경열
P03	KSTP_2024B_003	구멍 확장에 의해 유발된 잔류응력이 피로균열 성장에 미치는 영향 백민재*(한국재료연구원), 최현성, 석무영, 박현일, 권용남, 조윤지, 신윤우, 이동준
P04	KSTP_2024B_004	유한요소해석 기반 Ti-6Al-4V 항공부품 열간단조 공정 컨셉 개발 문인용*(한국생산기술연구원), 함민지
P05	KSTP_2024B_007	의료용 Ti6Al4V ELI 전치환 인공관절의 제조기술개발 김동권*(한밭중공업), 이경훈, 조종래, 정호승
P06	KSTP_2024B_012	이차전지용 8079 알루미늄 합금의 열처리에 따른 인장특성 향상 연구 강정현*(국립한밭대학교), 박진용, 한병준, Emmanuel Appiah, 김정한
P07	KSTP_2024B_015	중공형 샤프트 제조공정에서의 롤러 형상에 따른 플로우 포밍 성형 특성 연구 이성민*((재)경북테크노파크), 박은수, 김기영
P08	KSTP_2024B_016	에너지 플랜트용 난삭소재 가공성 평가 공정 개발 박광수*(포항산업과학연구원), 주성민, 김정석
P09	KSTP_2024B_017	전기자동차 배터리 리사이클링을 위한 배터리모듈 절단 해체 공정 개발 박광수*(포항산업과학연구원), 안준규, 박태준, 김동규
P10	KSTP_2024B_019	Directed energy deposition공정으로 제조된 Inconel 625 합금의 Ni 기반 Substrate에서의 방향성 응고 강호성*(경상국립대학교), 광민석, 김범준, 박기덕, 손유진, 서성문, 김상식, 이형수, 김정기
P11	KSTP_2024B_024	ECAP 고망간강의 공정 및 시험 온도에 따른 기계적 특성 정영훈*(경상국립대학교), 김범준, 권현석, M. Abramova, A. Zagraran, 김형섭, N. Enikeev, 김정기
P12	KSTP_2024B_028	후열처리강의 템퍼링 온도에 따른 저주기 피로시험 황용배*(포스코), 권혁선, 정연일
P13	KSTP_2024B_039	초고장력강 고속 파단물성 평가법 최재덕*(포스코), 임지호, 이해아, 최지식
P14	KSTP_2024B_045	레이저 용접된 DP 강의 계층적 균집화 기법을 활용한 상분율 예측 천민준*(국립한밭대학교), Sam Yaw Anaman, Soumyabrata Basak, 홍성태, 조훈휘
P15	KSTP_2024B_048	Pure Ta 소재의 열처리 조건에 따른 미세조직 및 상 분석에 관한 연구 이효주*(한밭대학교), 홍현빈, 이근호, 조민철, 박이주, 조훈휘
P16	KSTP_2024B_051	Multi-material 차체부품 개발 이철환*(디케이솔루션), 임재은, 서명관, 김용기, 심우정, 김동규
P17	KSTP_2024B_052	롤 포밍 공정을 이용한 차체 충돌보강재 개발 이철환*(디케이솔루션), 임재은, 강용기, 김동규, 심우정, 박광수
P18	KSTP_2024B_061	전기화학반응 중 준안정 오스테나이트계 스테인리스강에서 발생하는 마르텐사이트 변태 관찰 이귀형*(서울대학교), 채준영, 이명진, 한흥남



# 제 9 발표회장 - 포스터발표 II

2024년 10월 18일(금) 09:35~11:00

▶▶ 랜딩볼룸 C Foyer

○ 포스터 발표		※ 포스터 사이즈: 가로 90cm X 세로 130cm
P19	KSTP_2024B_065	Al-Mg-Si 합금의 열처리와 Cu 첨가에 따른 미세구조 및 전기화학적 거동에 대한 연구 홍현빈*(국립한밭대학교), Raj Narayan Hajra, 신은주, 김재국, 이종숙, 김정한, 김재향, 조훈휘
P20	KSTP_2024B_066	Pure Ta 소재의 고온 수소 장입에 따른 기계적 특성 및 미세구조 변화 분석에 관한 연구 홍현빈*(국립한밭대학교), 김민호, 조민철, 이근호, 박이주, 정상현, 이상엽, 조훈휘
P21	KSTP_2024B_071	알루미늄 박판 소재의 피어싱 공정에서 사각 편치 형상에 따른 전단 단면 패턴 연구 박기근*(㈜태진다이텍), 이재성, 장성민, 전만수
P22	KSTP_2024B_072	에너지저장장치용 알루미늄 옛지 및 전극 버스바의 유한요소해석 이상길*(㈜송원하이텍), 송춘만, 장성민, 엄재근, 전만수
P23	KSTP_2024B_078	자이로이드 내부 구조를 가진 샌드위치형 필터의 차압 특성 고찰 김현*(조선대학교), 범종찬, 이종배, 정성용, 안동규
P24	KSTP_2024B_079	멀티코어 구조 적용한 도어 인너 금형 실증 활동 최현범*(㈜호원), 이서한, 이정우, 김현우, 김대용, 이상헌
P25	KSTP_2024B_080	알루미늄 도어인너 프레스 성형불량 검출 방안 최현범*(㈜호원), 이서한, 이정우, 공예슬, 김대용, 이상헌
P26	KSTP_2024B_086	스프링백 예측을 위한 구리 소재의 밴딩 실험 및 수치해석 정현우*(한국생산기술연구원), 정건우, 윤용범, 김민수, 정선호, 이종섭
P27	KSTP_2024B_087	투명한 수지의 사출성형에서 수지에 따른 복굴절 특성 정영현*(서울과학기술대학교), 이현동, 최동해, 강민아, 류민영
P28	KSTP_2024B_088	PC/PMMA 필름의 열성형에서 하드 코팅이 미치는 영향에 대한 실험 및 해석적 연구 정영현*(서울과학기술대학교), 임채준, 성승민, 오건우, 윤석호, 이기호, 류민영
P29	KSTP_2024B_090	리브가 있는 사출성형 시편에서 싱크 마크 크기의 분석 성승민*(서울과학기술대학교), 이현동, 이성혁, 류민영
P30	KSTP_2024B_091	금형 파손 해결을 위한 스테인리스강 너트 온간 다단 포머 공정 설계 윤용범*(한국생산기술연구원), 정건우, 김민수, 정현우, 정선호, 이종섭
P31	KSTP_2024B_108	CCA 와이어의 고정자 권선 적용을 위한 기계적 전기적 특성 분석 및 고정자 권선의 유한 요소 해석기법 개발 조유진*(한국생산기술연구원), 황선광, 안지섭, 여승현, 정명식
P32	KSTP_2024B_112	분말 야금 기반 Ni기 초내열합금의 쇼트 피닝 공정 후 열처리에 따른 미세 조직 및 기계적 특성 분석 심현보*(한국재료연구원), 홍범락, 조윤지, 최현성, 박현일, 석무영, 권용남, 이동준
P33	KSTP_2024B_113	ML-DIC 기반 피로균열전파 거동분석을 통한 Al 합금 압연재의 압연 방향과의 각도 구분 김도현*(한국재료연구원), 홍범락, 좌비오, 신윤우, 이승환, 최현성, 박현일, 석무영, 이동준, 권용남
P34	KSTP_2024B_118	EV 모터용 경량화 ROTOR SHAFT 제조기술개발 및 성능검증에 관한 연구 박은수*(경창산업㈜), 이성민, 김동규
P35	KSTP_2024B_124	F/M-ODS 강 적층제조 중 산화물 분산 강화상의 형성 기구 분석과 Galling 마모 특성 연구 서주원*(서울대학교), 정원종, 천영범, 류호진, 한흥남, 강석훈

# 제 9 발표회장 - 포스터발표 III

2024년 10월 18일(금) 09:35~11:00

▶ ▶ 랜딩볼룸 C Foyer

○ 포스터 발표		※ 포스터 사이즈: 가로 90cm X 세로 130cm
P36	KSTP_2024B_130	LCP 복합재를 이용한 로터리 스위치 커버 성형 최적화 이종현*(구미전자정보기술원), 이성민, 차경제
P37	KSTP_2024B_132	Direct Energy Deposition 공정을 이용한 M4/G6 공구강 multi-layer 소재의 미세조직과 기계적 물성 전민수*(인하대학교), 박정현, 김대중, 구용모, 이기안
P38	KSTP_2024B_133	템퍼링 처리가 저항복비강의 기계적 특성 및 미세조직에 미치는 영향에 관한 연구 안민호*(한국재료연구원), 우영운
P39	KSTP_2024B_136	인공 흉골의 구조적 성능 향상을 위한 유한요소해석 기반 설계 최적화 함민지*(한국생산기술연구원), 문인용
P40	KSTP_2024B_150	알루미늄 압출 후 열처리 조건 변화에 따른 프로파일 변형 및 기계적 물성에 미치는 영향 장창순*(㈜씨에이이테크놀러지), 이주원, 곽호택
P41	KSTP_2024B_152	H-Beam의 압연 공정 조건에 따른 플랜지 돌출 결함 예측 장창순*(㈜씨에이이테크놀러지), 서경호, 곽호택
P42	KSTP_2024B_153	YOLOv8 기반 알루미늄 박판 표면 결함 검사 곽호택*(㈜씨에이이테크놀러지), 김진구
P43	KSTP_2024B_158	반도체 제조용 초순수 이송 시스템을 위한 ETFE 폴리머 분말 사출성형 연구 한덕현*(고등기술연구원), 윤상민, 이성중, 김영균
P44	KSTP_2024B_162	전단면 품질 저하 감소를 위한 하프블랭킹 공정 설계 및 적용에 관한 연구 임한비*(한국생산기술연구원), 이성윤, 이인규
P45	KSTP_2024B_166	Weld neck flange 성형을 위한 최적 단조 공정 설계 박영태*(한국폴리텍대학), 최민기, 최한글
P46	KSTP_2024B_169	단조 공정을 연계한 링밀 공정 유한요소해석 최한글*(울산폴리텍대학), 강 돈, 박영태
P47	KSTP_2024B_173	U-Net을 이용한 와이어-레이저 직접 에너지 적층공정 비드 형성 관찰 김영서*(부산대학교), 이승문, 육주찬, 박석희
P48	KSTP_2024B_176	냉간프레스 전단금형 수리, 보수를 위한 DED 공정 시뮬레이션 기술 개발 II 박성진*(㈜신영), 서종덕, 정대용, 이재욱
P49	KSTP_2024B_178	ESR 공정으로 제조된 하이퍼 캐스팅용 STD61 강의 고온 변형 거동 김송현*(한국생산기술연구원), 안유정, 전재열
P50	KSTP_2024B_181	Diaphragm valve 적용을 위한 고강도 Co-based 압연재의 미세조직 및 상온 인장 특성에 미치는 후열처리 영향 박정현*(인하대학교), 송노건, 최재호, 박만호, 이기안
P51	KSTP_2024B_184	Ta-10W 합금의 고온 마모 특성 강태훈*(인하대학교), 박정효, 김규식, 이기안

# 제 9 발표회장 - 포스터발표 IV

2024년 10월 18일(금) 09:35~11:00

▶ ▶ 랜딩볼룸 C Foyer

○ 포스터 발표		※ 포스터 사이즈: 가로 90cm X 세로 130cm
P52	KSTP_2024B_185	미충진 방지를 위한 낙하산 금구류 프리폼 형상 설계 정성화*(한국생산기술연구원), 이인규, 이성윤
P53	KSTP_2024B_187	Inconel 718의 δ 상 석출 열처리에 따른 기계적 물성 및 미세조직에 대한 연구 여승현*(한국생산기술연구원), 안지섭, 조아라, 이나경, 정명식, 황선광
P54	KSTP_2024B_191	초고강도강 TWB 적용 Side sill 부품의 CAM 제어를 통한 성형 공법 연구 정준영*(한국생산기술연구원), 김민기, 남성우, 이정흠, 송정한
P55	KSTP_2024B_196	핫스탬핑 성형품의 전단부 강도 저하를 위한 차등 냉각 공법 연구 전용준*(한국생산기술연구원)
P56	KSTP_2024B_197	대면적 패턴을 지닌 열가소성 탄소섬유강화 복합재료의 이차접합 공정에 관한 연구 최현석*(한국생산기술연구원), 전용준, 소태영, 김동연
P57	KSTP_2024B_200	유한요소해석을 이용한 열간단조의 금형파손 연구 김정곤*(한국생산기술연구원), 고대철, 장진석
P58	KSTP_2024B_202	음향 방출 시험(Acoustic Emission Testing, AET)을 통한 굽힘 하중을 받는 알루미늄 파이프의 손상 검출 최인규*(서울과학기술대학교), 정완진, 이창환
P59	KSTP_2024B_209	국부 가열 다점 성형 공정을 이용한 섬유 금속 적층체 시험편 제조에 관한 연구 박지우*(한국생산기술연구원), 김민수
P60	KSTP_2024B_223	볼조인트 맨드렐 회전튜브 드로우벤딩 신영빈*(경상국립대학교), 홍보승, 이동진, 문대국, 전만수
P61	KSTP_2024B_226	항공용 체결부품의 인장피로시험 박재현*(포항산업과학연구원), 박상혁, 최정묵
P62	KSTP_2024B_228	자동차용 밸브 센서 부품의 마이크로 스폿용접 해석 주성민*(조선대학교), 김영곤, 김현민
P63	KSTP_2024B_230	열간 공구강의 경도 및 충격인성 변화에 따른 열피로 특성 김주엽*((재)대구기계부품연구원), 윤국태, 이락규, 홍창완, 김선주, 손동민
P64	KSTP_2024B_241	와이어 아크 적층제조 초내열합금의 고온 물성 평가 채유진*(한국생산기술연구원), 김민기
P65	KSTP_2024B_242	마찰교반용접 AA6061-T6의 용접후 열처리: 미세조직 및 기계적 성질 판 반 공*(University of Ulsan), Ji Hoon Jeon, Hyo-joo Lee, Hoon-Hwe Cho, Jong-Seok Lee, Seo-Ho Lee, Soumyabrata Basak, Sung-Tae Hong
P66	KSTP_2024B_250	Cryogenic tube bending AA6061-T6: Concepts and Feasibility Zhao Yixing*(울산대학교), Lihong Cai, Meiling Geng, Jung-Wook Do, Ji-Hoon Jeon, 이선호, 이종석, Jin-Woo Lee, Sung-Tae Hong

# 제 9 발표회장 - 포스터발표 V

2024년 10월 18일(금) 09:35~11:00

▶ ▶ 랜딩볼룸 C Foyer

○ 포스터 발표		※ 포스터 사이즈: 가로 90cm X 세로 130cm
P67	KSTP_2024B_251	SGACUD 강과 6451 알루미늄 합금의 이중 통전 고상점접합 연구 추수현*(울산대학교), Van Cong Phan, 도정욱, 이창주, 남기석, 홍성태
P68	KSTP_2024B_256	Cermet 분말을 이용한 고내열 표면강화 기술 하형진*(국립한국해양대학교), 하동훈, 홍지일, 심도식
P69	KSTP_2024B_260	CAE를 이용한 1.5GPa급 루프레일 부품 성형성 검토 김세호*(대구대학교), 이세진, 권바다, 김재희, 이창민, 이경민, 전승훈
P70	KSTP_2024B_261	모노블럭의 역구배 치형 성형을 위한 냉간단조 금형의 수명 향상에 관한 연구 이인규*(한국생산기술연구원), 이성윤, 임한비
P71	KSTP_2024B_264	인코넬 625 합금의 레이저 직접 에너지 적층 제조시 휘어짐 및 잔류응력 유한요소해석 박찬호*(부산대학교), 진칭예, 정종욱, 박민수, 최규철, 김동현, 김두리, 이강재, 이육진
P72	KSTP_2024B_265	육군과학화 훈련단(KCTC) 대형불출함 케이스 국산화 개발 김지훈*(지브이엔지니어링)
P73	KSTP_2024B_270	공정 진동 신호 경향에 따른 사출제품 생산 변화 모니터링에 대한 연구 이준한*(한국생산기술연구원), 이효은, 김종선
P74	KSTP_2024B_274	온간 압축 과정에서 Zn-Al-Mg 합금의 동적 연화 거동에 미치는 Y 원소의 영향 서위걸*(국립순천대학교), 양동주, 최시훈
P75	KSTP_2024B_277	LNG선 멤브레인용 Invar 합금강(Fe-36%Ni)의 냉간압연 공정에 관한 연구 손승익*(풍산특수금속(주))
P76	KSTP_2024B_279	최적화된 미세구조 변수와 TTT 곡선을 이용한 개선된 경도 예측 모하마드카스완디라자리*(엠에프알씨), 정석환, 김민철, 문호근, 전만수
P77	KSTP_2024B_283	압축 성형된 PET Felt의 기계적 물성 변화에 관한 연구 정의철*(한국생산기술연구원 디지털생산부문), 김용대, 이준희, 김용호, 양철규, 이성희
P78	KSTP_2024B_284	금형 형상 변화에 따른 열간 포트홀 압출공정 해석 이성윤*(한국생산기술연구원), 이인규
P79	KSTP_2024B_285	나노 석출물과 전위 상호작용의 마이크로 범위 모델링 연경미*(서울대학교), 심규장, 류일
P80	KSTP_2024B_287	암모니아 연료 추진 선박의 27bar, 30m <sup>3</sup> /h 급 N <sub>2</sub> 퍼징 시스템 개발 정소현*(엠엔에스아이(주)), 이계승
P81	KSTP_2024B_289	다구간 홀딩력 제어를 활용한 수치해석 기반 유입량제어 성형한계 극복 성형 프로세스 설계 이지호*(한국생산기술연구원), 김태훈, 이상오, 송정환, 이종섭, 박남수, 김민기, 배기현

# 목 차

## 1. 일반 논문 발표 (제 1 발표회장)

### ○ 재료거동 및 특성화

- 예변형 및 소부경화의 충돌 성능 영향 평가  
..... 최지식\*(포스코), 임지오, 이해아 / 47
- 재료 물성 변화에서의 결합된 이차-비 이차 항복함수 모델 거동 해석적 분석  
..... 임헌용\*(한국과학기술원), 윤정환 / 48
- 압축시험 결과로부터 고정도 유동함수의 획득  
..... 김남윤\*(경상국립대학교), 김남현, 김민철, 모하마드 카스완디 라자리, 전만수 / 49
- 원형 시편 인장시험에서 탄성변형의 영향  
..... 전만수\*(경상국립대학교), 이현민 / 50
- 포타슘이 텅스텐의 초기 소성에 미치는 영향  
..... 김정석\*(서울대학교), 민건식, Phu Cuong Nguyen, 이성민, 오연주, 김황선, 김형찬, 류 일, 한홍남 / 51
- 붕소 첨가가 철계 중엔트로피 합금의 인장 물성에 미치는 영향  
..... 구본우\*(포항공과대학교), 이재홍, 김형섭, 손수정 / 52
- 온도 및 변형률 속도가 22Mn6Al0.9C 경량철강의 강도 및 연성에 미치는 영향  
..... 홍창완\*(대구기계부품연구원), 이락규, 윤국태, 김주엽, 김선주, 박성준, 김준섭 / 53
- Inconel 718 열처리를 통한 석출물 제어와 균열 저항성에 대한 연구  
..... 안지섭\*(한국생산기술연구원), 조민지, 여승현, 조아라, 정명식, 황선광 / 54
- 구리의 마이크로 단위 극한환경 변형 거동 분석  
..... 강성규\*(경상국립대학교) / 55
- Ti-2Al-9.2Mo-2Fe 합금의 석출상 제어 공정과 기계적 특성 분석  
..... 신수홍\*(국립순천대학교), 이동근 / 56
- 저항 점 용접부의 국부적, 대변형 거동을 측정을 위한 마이크로 스케일 전단 실험  
..... 조동혁\*(한국과학기술원), Hassan Ghassemi-Armaki, Blair E. Carlson, Thomas B. Stoughton, 윤정환 / 57
- 자동다단냉간단조용 금속 재료의 유동특성  
..... 이현민\*(경상국립대학교), 엄재근, 전만수 / 58

## 2. 특별세션 3 (제 2 발표회장)

### ○ 미래 모빌리티 대응 배터리팩 적용 소재 및 가공기술 혁신

- 광학 측정 장비를 활용한 배터리 팩 용접해석 신뢰성 검증  
..... 김상훈\*(주화신), 도두이통, 김준영, 박종규 / 60
- 포스코 철강기반 배터리팩 경량화 솔루션 개발

..... 위상권\*(POSCO) / 61

- 이차전지 배터리용 파우치 제작을 위한 알루미늄 합금 - 고분자 수지 분자접합 기술 개발 및 특성평가

..... 김정환\*(한밭대학교), 박진웅, 강정현, 한병준, Emmanuel. 김준현, 손병삼 / 62

### 3. 추모세션 (제 3 발표회장)

#### ○ (故)이동녕 교수님 추모세션

- 비대칭 압연한 알루미늄 합금 판재에서 소성변형비 변화

..... 김인수\*(금오공과대학교), (故)이동녕 / 65

- Third Creative Zone and Engineering Innovation

..... 양동열\*(한국과학기술원) / 66

- 소성 가공에서의 연성파단조건

..... 허 훈\*(한국과학기술원) / 67

- FCC와 BCC 금속 재료의 압연 및 소둔 과정에서 발달하는 집합조직의 이해

..... 최시훈\*(국립순천대학교) / 68

- 비대칭압연의 진화: 등주속이형압연과 벨트압연

..... 정효태\*(강릉원주대학교) / 69

- 전기도금 구리 박막의 미세조직에 따른 1 축 인장변형 거동

..... 박 현\*(동아대학교), 김정환, 이효종 / 70

- 결합 동역학 모델을 활용한 나노 구조화된 금속의 소성 변형의 이해

..... 류 일\*(서울대학교), C. P. Nguyen, 이승준 / 71

- 변형 에너지 방출 최대화 모델을 활용한 철강 소재 재결정 집합조직 예측

..... 민경문\*(한국재료연구원), 이명규, 한홍남 / 72

### 4. 특별세션 2 (제 4 발표회장)

#### ○ 디지털 이미지 상관기법(DIC) 활용기술 심포지엄

- 디지털 이미지 상관기법 기반 티타늄 합금의 고온 인장물성 평가

..... 김민기\*(한국생산기술연구원), 채유진 / 74

- DIC를 이용한 인장시험 불균일 변형 구간의 진응력-변형율 선도 도출

..... 임지호\*(POSCO), 이해아, 최지식 / 75

- 가상필즈법(VFM): DIC 측정 변형장을 활용한 소재 기계적 물성의 역해석 측정

..... 김찬양\*(국립군산대학교) / 76

- 초고장력강 수소취성 예측 전산모사 해석기술 개발

..... 정승필\*(현대제철), 김기정, 김혜진, 신희권, 이동열, 현주식, 신건진, 박진홍, 이명규 / 77

## 5. 특별세션 14 / 특별세션 5 (제 5 발표회장)

### ○ 열처리/유도가열 해석의 이해 및 응용

- 물성 계산 소프트웨어를 활용한 열처리 공정 시뮬레이션  
..... 강경필\*(㈜솔루션랩) / 79
- 압출용 금형강의 고온강도 향상을 위한 열처리 조건 연구  
..... 신영철\*(한국생산기술연구원), 강경필 / 80

### ○ 최신 플라스틱 가공 / 성형기술

- 플라스틱 미세유체 칩 대량 제조를 위한 초음파 용착에 관한 연구  
..... 유영은\*(한국기계연구원), 진재호, 이상원, 권오동, 이경훈 / 81
- 다중소재 적용을 위한 금속과 플라스틱의 인서트 몰딩에 관한 연구  
..... 류민영\*(서울과학기술대학교), 이현동, 이성혁, 정경환, 유혜진 / 82
- 유한요소 기반 파라미터를 활용한 AI 가속 사출성형시뮬레이션에 대한 연구  
..... 이준한\*(한국생산기술연구원), 김종선 / 83
- 베이지안 최적화 3D 프린팅 기반 전기화학용 전극 제작  
..... 류원형\*(연세대학교) / 84
- 고탄소 고분자 소재의 열분해 공정에 기반한 고온 내구성 탄소몰드 개발  
..... 김석민\*(중앙대학교), 김영규, Muzahir Ali, 김주완, 석수연, 이중호, 이성민, Tasadduq Hussain / 85
- 플라스틱 적층제조 기반 4D프린팅의 반복정밀도 향상 연구  
..... 박근\*(서울과학기술대학교) / 86

## 6. 특별세션 15 / 일반 논문 발표 (제 6 발표회장)

### ○ 선박 혼소엔진용 1.15Gpa 이상급 배기밸브 스피들, 유닛 제조 기술 심포지엄

- 선박 혼소엔진용 내열합금 배기밸브 스피들 부품 제조 기술 개발  
..... 신재우\*(㈜케이에스피), 조재현 / 88

### ○ 박판성형 / 복합재료 가공

- Metal-Polymer-Metal 판재 성형 공정에서의 주름 방지 방법  
..... 김재훈\*(포항공과대학교), 최연택, 김래언, 구강희, 권지혜, 서민홍, 김형섭 / 89
- Al1050/LC steel/Al1050 Clad 판재의 접합 계면에서 발생하는 GND에 의한 딥드로잉 성형성 향상  
..... 최연택\*(포항공과대학교), 권지혜, 김래언, 김재훈, 이신영, 김형섭 / 90
- 리튬 이온 배터리 파우치 필름의 적층 소성 구성방정식 개발  
..... 장택진\*(한국과학기술원), 사공철, 안태균, 윤정환 / 91
- 알루미늄-폴리머 적층 형태 필름의 성형 한계도 시험  
..... 사공철\*(한국과학기술원), 장택진, 안태균, 윤정환 / 92
- 알루미늄 파우치 성형에서의 베이지안 최적화 기반 가변 블랭크 홀딩력 제어



- .....안태균\*(한국과학기술원), 장택진, 사공철, 김재균, 윤정환 / 93
- 사시부품 내구성능 향상을 위한 고강도소재 성형기술 연구  
.....공호영\*(현대자동차), 이광복, 배찬희, 손경주, 박영철, 도형협 / 94
- 딥 드로잉 가공에 의한 철강재 원통형 이차전지 용기 성형 시험용 금형 개발 및 활용  
.....박기철\*(포스코) / 95
- 수소 압축기 다이어프램의 블랭킹 시뮬레이션을 위한 데미지 모델 결정  
.....김용관\*(㈜솔루션랩), 박훈재, 김강은, 홍명표, 강경필, 이경훈 / 96
- 열 이력이 핫스탬핑 공정의 마모와 성형성에 미치는 영향  
.....지민기\*(인천대학교), 손현성, 전태성 / 97
- X-선 회절 및 변형률 게이지를 이용한 고강도강 판재의 응력 추정  
.....반승현\*(한국재료연구원), 김진수, 최현성, 석무영, 이동준, 권용남, 박현일 / 98
- 알루미늄 합금 스탬핑 공정에 대한 극저온 마찰 및 성형성에 대한 연구  
.....지민기\*(인천대학교), 김예름, 최이천, 김용배, 임성식, 전태성 / 99

## 7. 특별세션 12 (제 7 발표회장)

### ○ 고청정 Ni-Cr-Mo계 소재부품기술개발 심포지엄

- Ni-Cr-Mo계 무게목관의 열간 3 롤 압연 공정기술  
.....이준표\*(㈜세창스틸), 권진구, 홍성모 / 101
- Ni-Cr-Mo계 성분 최적화 설계와 미세조직 기반 특성 상관성 해석  
.....주하연\*(국립창원대학교), 김종훈, 홍현욱 / 102
- Ni-Cr-Mo 합금의 극청정화를 위한 전해액 조성 연구  
.....양현석\*(고등기술연구원), 정우철, 한덕현, 공만식 / 103
- 초전도 특성 분석 및 버퍼층 제조공정 연구  
.....정재한\*(서울과학기술대학교) / 104

## 8. 특별세션 9 (제 8 발표회장)

### ○ 고성능 부품제조를 위한 금형공구용 소재기술개발 심포지엄

- 열간공구강의 열피로 특성과 미세조직의 상관관계  
.....윤국태\*(대구기계부품연구원), 홍창환, 김주엽, 이락규, 김선주 / 106
- 절삭 하중 데이터의 푸리에 변환을 이용한 공구 파손 예측  
.....권오동\*(㈜솔루션랩), 석주성, 송영빈, 이경훈 / 108
- DED 금속적층 기술기반의 첨단제조 이슈와 응용분야  
.....김대중\*(AM솔루션즈) / 109
- 금속 적층 제조 공정으로 제조된 고탄소 D2 공구강의 미세조직 및 기계적 특성  
.....이기안\*(인하대학교), 박정현, 전민수, 구용모, 전종배, 김대중, 백소령 / 110

## 9. 일반 논문 발표 (제 9 발표회장)

### ○ 금형가공 / 적층제조 유연공정 / 제조 공정 및 장비

- 고강도강 경량 상용차 휠 개발  
..... 권혁선\*(포스코) / 113
- 316L 스테인리스 강-구리 복합재의 3D 구조 적층을 통한 열적 특성 향상 연구  
..... 최동인\*(서울대학교), 조영환, 강성규, 정경재, 정차희, 최현주, 최인석, 한홍남 / 114
- SLM 공정에서의 에너지밀도에 따른 순수 나이오븀의 미세조직 및 기계적 특성 연구  
..... 한승준\*(한국생산기술연구원), 김원래, 김형균, 문인용 / 115
- DED 공정으로 제작된 박벽 구조물의 실험 및 해석 연계를 통한 열전달 해석 모델 개발  
..... 이광규\*(조선대학교), 안동규 / 116
- 객체 탐지 딥러닝을 통한 적층 제조 공정의 결함 탐지 및 보상 시스템  
..... 강정훈\*(부산대학교), 이승문, 박석희 / 117
- 다양한 하중 조건 하에서의 micro-scale 금속 격자구조의 변형 거동 연구  
..... 이기택\*(포항공과대학교), 정상국, 권지혜, 안성열, 사공만재, 이기안, 김형섭 / 118
- 레이저 용융 적층 제조를 통한 Cu-Al 합금을 사용한 니켈-알루미늄 청동 수리  
..... 요창량\*(한국해양대학교), 신광용, 심도식 / 119
- CoCrTi 합금의 L-PBF 적층 공정 최적화 및 에너지밀도에 따른 특성 변화 연구  
..... 하정현\*(한국생산기술연구원), 김원래, 이택우, 강현수, 박형기, 최선진, 김형균 / 120
- 차세대 원전 부품에 3D 프린팅 기술 적용  
..... 이성욱\*(한국원자력연구원), 김효찬, 김현길 / 121
- 딥러닝을 이용한 적층제조된 18Ni300 마레이징 강의 잔류 응력 완화 예측  
..... 김세윤\*(한국재료연구원), 김동규, 강성훈, 김지훈, 오영석 / 122
- 공정 변수에 따른 너트 전조 탭핑 성형 부하 분석  
..... 김민수\*(한국생산기술연구원), 정선호, 정건우, 윤용범, 정현우, 이종섭 / 123
- 냉각 기체질소를 이용한 알루미늄 압출금형 냉각효과  
..... 홍순원\*(한국생산기술연구원), 조진연, 김재범, 노재현, 백창현, 최호준 / 124

## 10. 일반 논문 발표 (제 10 발표회장)

### ○ 모델링 및 시뮬레이션 / 금속 성형 분야의 디지털화, 가상화 / 소재응용 / 공정계산역학

- 코일 스프링의 제조를 위한 냉간 코일링 공정의 해석  
..... 이원동\*(부산대학교), 김민기, 류재창, 신정규, 차승훈, 임철현, 고대철 / 126
- Ti-6Al-4V 합금의 주조 미세조직 성장 모사 LBM-CA 모델  
..... 이원주\*(한양대학교), 현용택, 이호원, 강성훈, 윤종현 / 127
- 대형 단조품 및 용접부 물성분석과 해석기법 개발  
..... 이주원\*(한국과학기술원), 임현용, 장택진, 서송원, 고원기, 윤정환 / 128

- 디지털 이미지 상관기법을 활용한 변형을 경로 변화 실험의 설계와 결과  
..... 김지민\*(포스코) / 129
- 전자기장-열 연성 해석 기반 고주파 열처리로 인한 3D 곡면 형상의 상변태 및 변형 예측  
..... 황순재\*(국립공주대학교), 김준영, 박종규, 홍석무 / 130
- 인공지능기반 드로우비드에 따른 판재 성형 크랙 및 주름 예측  
..... 이사랑\*(국립공주대학교), 현대일, 홍석무 / 131
- 딥러닝 기반 철강소재의 템퍼링 공정-미세조직-물성 상관관계 모델링  
..... 강준우\*(한국재료연구원), 김지훈, 김호혁, 강성훈 / 132
- 극박 순 타이타늄 판재의 방향별 성형한계선도 도출  
..... 김경재\*(한국재료연구원), 김찬양, 민경문, 김지훈, 봉혁중 / 133
- 비중분 응력기반 탄점소성 다결정 모델과 유한요소해석 응용  
..... 정영웅\*(국립창원대학교) / 134
- 실러 열경화를 고려한 Steel-Al 자동차 클로저 부품의 열변형 해석  
..... 안강환\*(포스코), 서민홍, 강연식, 김정보 / 135
- 딥 러닝을 이용한 공정의존적 탄소성 인공지능 구성방정식의 개발  
..... 문희범\*(㈜솔루션랩), 강경필, 이경훈 / 136
- 디지털 전환을 위한 프레스 스탬핑 프로세스의 제안  
..... 곽종환\*(오토폼엔지니어링코리아㈜), Bart Carleer / 137

## 11. 일반 논문 발표 (제 11 발표회장)

### ○ 단조

- 3 차원 파라메트릭 캐드를 활용한 자동차 베어링 허브 열간 단조 공정 자동 설계 및 해석  
..... 오민성\*(국립공주대학교), 홍석무 / 139
- 마찰의 접촉상태 의존도  
..... 허 윤\*(경상국립대학교), 전만수 / 140
- 체적소성가공 공정에서 연성파괴 예측을 위한 임계 요소 크기  
..... 홍보승\*(경상국립대학교), 홍석무, 전만수 / 141
- 고망간강의 열간가공 공정지도와 미세조직에 관한 연구  
..... 김영주\*(포항금속소재산업진흥원), 이창우 / 142
- 열간단조 중 금형의 저주기 피로파괴  
..... 문호근\*(㈜MFRC), 조현준, 김남윤, 조주현, 김진국, 전만수 / 143

### ○ 압연

- 잔류응력을 고려한 인공지능 기반 열연 변형저항 예측  
..... 김현호\*(포스코), 김성훈 / 144
- 공형압연공정에서 압하력 기반 실제 롤 갭 예측 알고리즘을 통한 각 패스의 질량흐름 실시간 예측

- ..... 남규한\*(중앙대학교), 이동윤, 이영석 / 145
- 열간압연강에서 형성된 산화물 스케일의 잔류 응력 수치 분석을 위한 준해석적 방법 개발  
..... 전용제\*(국립안동대학교), 이재민, 김선호, 김영천, 남승훈, 이명규, 노우람 / 147
- 철강 압연 설비를 활용한 티타늄 판재 제조와 테르밋 반응  
..... 최미선\*(포항산업과학연구원), 이현석 / 148
- 타이타늄 Ti-6Al-4V 합금 극후물 압연재의 열처리 조건에 따른 미세조직 및 인장물성 변화  
..... 이현석\*(포항산업과학연구원) / 149

○ 압출 및 인발

- 압출비가 마그네슘 미세튜브의 기계적 물성과 생분해 속도에 미치는 영향  
..... 김재성\*(한국재료연구원), 임창동, 서병찬, 김하식, 이상은, 서종식 / 150
- 분말충진밀도가 초전도 MgB2 선재의 임계전류밀도에 미치는 영향  
..... 오상현\*(한국재료연구원), 오영석, 장세훈, 문영훈, 강성훈 / 151
- 인발공정의 특징을 고려한 최적 해석 모델  
..... 신영빈\*(경상국립대학교), 정동석, 전만수 / 152

12. 특별세션 8 (제 12 발표회장)

○ 고강도 소재 적용 전기자동차 샤시 및 배터리 케이스 제조를 위한 접합장비와 스마트 접합라인 개발 및 제품화 실증

- 기계적 체결 시 홀 위치 측정 정확도 향상을 위한 FDS System 및 BMS 스마트 제조 라인 개발  
..... 이창훈\*(㈜화신), 이태규, 최낙윤, 이기동 / 154
- 590 MPa 이상의 고강도 강재와 알루미늄 이종소재의 플로우 드릴 스크류-본딩 접합 품질 평가  
..... 임성빈\*(한국생산기술연구원), 이솔미, 고한솔, 추우인, 주원중, 이태규, 이창훈, 김동윤, 유지영, 김동혁 / 155
- AC Pulse 디자인틀을 이용한 AC Pulse 알루미늄 용접조건 시너지라인 개발방법 소개  
..... 이재민\*(현대피엔에스㈜), 김정용, 이창훈, 변동섭 / 156
- Blind Rivet Nut 접합 시스템 국산화 개발  
..... 김태오\*(나우테크), 이태규, 이창훈 / 157
- 이종소재 적용 프론트 크로스 멤버 개발  
..... 김성호\*(㈜화신), 서오석, 박종규 / 158
- FDS 접합부에 대한 과단강도 평가방법 연구  
..... 김동건\*(한국생산기술연구원), 박두현, 김성호, 송정환 / 159
- 고강도 알루미늄 적용 프론트 크로스 멤버 용접 열변형 해석 기술 신뢰성 검증 연구  
..... 김한솔\*(충북대학교), 강지석, 구인환, 서오석, 박종규, 조정호 / 160
- 적응형 삼각형 메쉬 기반 성형 해석 결과의 육면체 메쉬로의 변환 알고리즘 개발  
..... 심규장\*(서울대학교), 홍승효, 전형주, 이형립, 김성호, 서오석, 박종규, 이명규 / 161
- 초음속 분말 적층 적용 스틸-알루미늄 이종용접 연구

### 13. 특별세션 6 (제 1 발표회장)

#### ○ EBSD 데이터를 활용한 재료의 변형 및 파괴 거동 이해

- L-PBF 공정으로 제조된 In-situ 나노 산화물 강화 CrMnFeCoNi 고엔트로피 합금 기지 복합 재료의 미세조직 및 기계적 특성  
.....이기안\*(인하대학교), 김영균, 박소연 / 164
- 투과전자현미경을 이용한 철강재료의 변형조직해석  
.....허윤욱\*(포항공과대학교) / 166
- 강가공 소재에서 신뢰성 있는 EBSD 데이터 취득  
.....강주희\*(㈜웨이브센스) / 167
- ECAP 공정으로 제조된 Pure Cu 소재의 동적인장압출 거동  
.....이근호\*(국방과학연구소), 김석봉, 박이주, 박경태 / 168
- 철강판재의 구멍확장파괴 연구  
.....한홍남\*(서울대학교) / 169
- 우라늄의 열적 팽창 수축 사이클에 따른 소성 변형 현상과 결정소성학적 해석  
.....정영웅\*(국립창원대학교) / 170
- ZK60 합금의 쌍정생성에 미치는 결정방위와 온도의 영향  
.....조재형\*(한국재료연구원), 치투리비렌드라, 장효선, 이건영 / 171
- 결정소성 유한요소법을 이용한 CP Ti 판재의 거동 분석  
.....김지훈\*(부산대학교), 김경표, 강주희, 오창석 / 172
- 압연접합시 알루미늄 합금판재의 초미세립 생성 거동 분석  
.....김형욱\*(한국재료연구원), 임차용, 최시훈, Nobuhiro Tsuji / 173
- PBF Ti-6Al-4V 판재의 고주기피로 특성  
.....권용남\*(한국재료연구원), 석무영, 박주영, 정유인 / 174
- 초극저온에서 순수 타이타늄의 인장변형 기구 및 serration 거동연구  
.....김정한\*(국립한밭대학교), 마흐디, 하디스, 이수열, 김영균, 나영상 / 175
- 집합조직 분석을 기반으로 한 구리 박막의 소성변형 메커니즘 규명  
.....이소연\*(금오공과대학교) / 176

### 14. 특별세션 7 (제 2 발표회장)

#### ○ 국가참조표준 개발 재료 및 물리분과 합동 워크샵

- 재료분야을 위한 GUM에 따른 측정불확도 소개  
.....김창근\*(한국표준과학연구원), 심형석, 황재홍 / 178
- 전자파물질상수 참조표준 개발

- ..... 강진섭\*(한국표준과학연구원) / 179
- 국가참조표준 용복합세라믹소재 데이터 생산 및 활용  
..... 김현식\*(한국세라믹기술원) / 180
- 재활용 섬유소재의 가공 공정별 참조표준 데이터 생산  
..... 최윤성\*(DYETEC연구원), 표규진, 박진아, 박수현 / 181
- AI기반 미세조직 정량 분석 기술 개발 연구  
..... 조다희\*(포항산업과학연구원), 김재우, 양정환, 진현호, 조점석, 남기찬, 김영석, 박중철 / 182
- 원자력구조재료 역학물성 참조표준 데이터 개발  
..... 정관성\*(한국원자력연구원), 김경호 / 183
- 플라즈마 물성 참조표준 소개 및 물성  
..... 송미영\*(한국핵에너지기술연구원), 한선민, 김용현, 장원석, 김종식 / 184
- 열기계분석기의 불확도 평가  
..... 강권호\*(한국원자력연구원), 윤병주 / 185

### 15. 특별세션 4 (제 3 발표회장)

#### ○ 디지털트윈 및 인공지능 기반 자율 제조 공정 기술 심포지엄

- 3D CNC 튜브 벤딩 공정 설계 고도화를 위한 물 포밍 성형이력 맵핑 기술 개발  
..... 정건우\*(한국생산기술원/성균관대학교), 김민수, 김민기, 이종섭, 조성민, 김근호, 박남수 / 187
- 타이타늄 두개골 임플란트 성형을 위한 3 차원 디지털 판재 프린팅 고온 모듈 개발  
..... 윤형원\*(한국생산기술연구원), 박남수 / 188

### 16. 특별세션 13 (제 4 발표회장)

#### ○ 항공 금속소재 국산화 개발

- 소재물성 데이터베이스 개발을 통한 항공소재 국산화  
..... 권용남\*(한국재료연구원), 박현일, 정유인 / 190
- 항공소재개발을 위한 통계분석 사례 및 K-MIDAS의 활용  
..... 전민우\*(한국화학융합시험연구원), 장재준, 김태건 / 191
- 항공기 엔진 부품용 고강도 Al-Zn-Mg-Cu계 합금 개발  
..... 김형욱\*(한국재료연구원), 조용희, 김원경, 이윤수 / 192
- Al-Cu-Mg-Mn-Ag-Zr 합금 후판재의 석출거동 및 기계적 특성 향상에 미치는 가공열처리의 영향  
..... 정찬욱\*((주)동양에이.케이코리아), 최지훈, 함진희 / 193
- 항공용 금속소재의 피로 균열 치유를 위한 펄스전류 인가 공정설계  
..... 홍범락\*(한국재료연구원), 이승환, 최현성, 석무영, 이동준, 권용남, 박현일 / 194
- 인공지능기반 ML-CNT필름을 활용한 알루미늄 합금의 피로균열전파 거동 분석  
..... 좌비오\*(한국재료연구원), 이승환, 최현성, 박현일, 석무영, 이동준, 권용남 / 195

- 항공우주용 인코넬볼트의 피로수명 향상에 대한 연구  
.....허민후\*((주)화신볼트산업), 정태형, 이학철 / 196
- S45C 용접부의 잔류 응력 분포에 미치는 표면 처리의 영향  
.....조윤지\*(한국재료연구원), 심현보, 백민재, 최현성, 박현일, 석무영, 권용남, 이동준 / 197
- 비틀림 피로시험을 통한 기어 및 베어링 소재의 손상물성 평가  
.....석무영\*(한국재료연구원), 김담현, 이상인, 권순우, 박현일, 이동준, 최현성, 권용남 / 198

## 17. Closed Session - 특별세션 10 (제 5 발표회장)

### ○ 에너지 산업용 대구경 강관 제조기술 개발 심포지엄

- 열처리에 따른 ERW 강관 용접부의 미세조직 및 저온충격인성 특성 연구  
.....고의석\*(현대스틸파이프), 우현섭, 이동혁, 광진섭 / 200
- API X70 ERW 강관 용접부에 M-A가 미치는 영향 분석 및 M-A 제어를 통한 저온 충격 인성 향상 방안  
.....이찬희\*(창원대학교), 백종민, 광진섭, 전동현, 홍현욱 / 201
- 심해용 flexible pipe 개발을 위한 고압 CO2 에서의 SCC(Stress Corrosion Cracking) 가속시험기법 고찰  
.....이재원\*(포항금속소재산업진흥원) / 202
- 대구경 강관용 용접부의 파괴인성 평가  
.....조원준\*(조선대학교), 이지승, 성대회, 안규백 / 203

## 18. 일반 논문 발표 (제 6 발표회장)

### ○ 미세구조 및 응용 / 표면 및 인터페이스

- 전류 처리를 통한 Ti-V 합금 내 ω 상 성장 가속화 연구  
.....김이재\*(서울대학교), 최호욱, 김양후, 한홍남 / 205
- 핵융합로 플라즈마 대면재용 인성 향상 텅스텐-크로뮴 복합재의 제작과 기계적 성질 분석 연구  
.....이성민\*(서울대학교), 김정석, 광노준, 한홍남 / 206
- 고비강도 AlMoV 중엔트로피 합금의 미세구조 및 기계적 특성  
.....이시우\*(포항공과대학교), 홍순직, 손수정, 김형섭 / 207
- 점소성 자기일관성 모델을 활용한 비상관 유동 법칙 하의 이산 소성 포텐셜 모델링  
.....박원진\*(한국과학기술원), 윤정환 / 208
- Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr 합금의 시효처리 공정에 따른 미세조직 거동 및 기계적 특성 평가  
.....이승우\*(국립순천대학교), 이동근 / 209
- 역그라디언트구조를 통한 우수한 인장 물성-성형성 달성 방안  
.....김래언\*(포항공과대학교), 구강희, 최연택, 김형섭 / 210
- 초음파 나노결정 표면개질 처리한 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금 소결체의 계층적 미세구조가 인장 특성에 미치는 영향  
.....이도원\*(포항공과대학교), 김래언, 하효정, Auezhan Amanov, 김형섭 / 211

## 19. International Session (제 7 발표회장)

### ○ Material / Process

- Equi-biaxial tensile behavior of low carbon steel with bulge test  
.....Shin-Yeong Lee\*(Hyundai Mobis), Soo-Sang Kim, Doo-Hyun Park, Jung-Han Song, Woo-Jeong Oh, Joon-Seok Kyeong / 213
- Innovative approaches to roll pass design and simulation using QForm UK and QKaliber  
..... Vitaliy Belugin\*(QForm Group FZ(UAE)), Sergey Stebunov, Pavel Maltsev, Igor Alimov, Nikolay Biba / 214
- Effect of current density on diffusion process in electrically assisted pressure joining of dissimilar AA6061-T6&C11000  
..... Tu-Anh Bui-Thi\*(Univ. of Ulsan), Thanh Thuong Do, Van Cong Phan, Yijae Kim, Heung Nam Han, Byungsun Park, Juhoon Lee,  
..... Sung-Tae Hong / 215
- Improving mechanical properties of Al-Mg-Si alloy through electrically assisted rapid precipitation hardening  
..... Geng Meiling\*(Univ. of Ulsan), Yixing Zhao, Yijae Kim, Heung Nam Han, Sung-Tae Hong / 216
- Dislocation density based modelling of the electroplastic effect in pure copper using a crystal plasticity framework  
.....Jai Tiwari\*(Seoul Nat'l Univ.), Minwoo Park, Heung Nam Han / 217
- Effect of martensite volume fraction on the time-dependent plasticity of dual-phase steels  
.....Kali Prasad\*(POSTECH), Eun Seong Kim, Hyoung Seop Kim / 218
- Joining and Forging of a Lightweight Structural Component by Electrically Assisted Closed-die Forging  
..... Thanh Thuong Do\*(Univ. of Ulsan), Tu-Anh Bui-Thi, Jang Hyun Bae, Moon-Jo Kim, Sung-Tae Hong / 219

## 20. 특별세션 11 (제 8 발표회장)

### ○ 철강/금속 산업 디지털전환 실증센터 구축사업

- 철강/금속산업 디지털전환 도입 현황  
..... 김대욱\*((재)포항금속소재산업진흥원), 김경훈, 허은주, 양해웅 / 221
- 디지털트윈 적용 사례로 보는 실증 방안 고찰  
..... 허우로\*((재)포항금속소재산업진흥원), 김경훈 / 222
- 기계학습 모델에 따른 냉간단조 열처리 조건 별 기계적 물성 비교 연구  
..... 박종구\*((재)포항금속소재산업진흥원), 허우로, 이현주, 김경훈 / 223
- 사출공정 딥러닝기반 품질예측 연구  
..... 이용환\*((재)포항금속소재산업진흥원), 허우로, 김경훈 / 224
- 랜덤 포레스트 회귀법을 적용한 단조재 기계적 물성 예측  
..... 김대욱\*((재)포항금속소재산업진흥원), 박종구, 김경훈, 양해웅 / 225
- 고온 단조 환경을 위한 영상 기반 소재 추적 AI 시스템  
..... 김치성\*(포스텍), 조현보 / 226
- 제조 AI 숨은 속성 및 적용 사례  
..... 강용태\*(한솔코에버) / 227



## 21. 포스터 발표 (제 9 발표회장)

- 레이저 프로파일 센서를 적용한 대면적 3 차원 곡면검사에 관한 연구  
 ..... 이상익\*(기득산업㈜), 박성진, 공경열 / 229
- 디지털 3D형상 기반 3 차원 자유곡면 열간성형 로봇 자동화에 관한 연구  
 ..... 이상익\*(기득산업㈜), 박성진, 공경열 / 230
- 구멍 확장에 의해 유발된 잔류응력이 피로균열 성장에 미치는 영향  
 ..... 백민재\*(한국재료연구원), 최현성, 석무영, 박현일, 권용남, 조윤지, 신윤우, 이동준 / 231
- 유한요소해석 기반 Ti-6Al-4V 항공부품 열간단조 공정 컨셉 개발  
 ..... 문인용\*(한국생산기술연구원), 함민지 / 232
- 의료용 Ti6Al4V ELI 전치환 인공관절의 제조기술개발  
 ..... 김동권\*(한밭중공업), 이경훈, 조종래, 정호승 / 233
- 이차전지용 8079 알루미늄 합금의 열처리에 따른 인장특성 향상 연구  
 ..... 강정현\*(국립한밭대학교), 박진웅, 한병준, Emmanuel Appiah, 김정환 / 234
- 중공형 샤프트 제조공정에서의 물리 형상에 따른 플로우 포밍 성형 특성 연구  
 ..... 이성민\*((재)경북테크노파크), 박은수, 김기영 / 235
- 에너지 플랜트용 난삭소재 가공성 평가 공정 개발  
 ..... 박광수\*(포항산업과학연구원), 주성민, 김정석 / 236
- 전기자동차 배터리 리사이클링을 위한 배터리모듈 절단 해체 공정 개발  
 ..... 박광수\*(포항산업과학연구원), 안준규, 박태준, 김동규 / 237
- Directed energy deposition 공정으로 제조된 Inconel 625 합금의 Ni 기반 Substrate에서의 방향성 응고  
 ..... 강호성\*(경상국립대학교), 광민석, 김범준, 박기덕, 손유진, 서성문, 김상식, 이형수, 김정기 / 238
- ECAP 고망간강의 공정 및 시험 온도에 따른 기계적 특성  
 ..... 정영훈\*(경상국립대학교), 김범준, 권현석, M. Abramova, A. Zagraran, 김형섭, N. Enikeev, 김정기 / 239
- 초고장력강 고속 파단물성 평가법  
 ..... 최재덕\*(포스코), 임지호, 이해아, 최지식 / 240
- 레이저 용접된 DP 강의 계층적 균집화 기법을 활용한 상분율 예측  
 ..... 천민준\*(국립한밭대학교), Sam Yaw Anaman, Soumyabrata Basak, 홍성태, 조훈휘 / 241
- Pure Ta 소재의 열처리 조건에 따른 미세조직 및 상 분석에 관한 연구  
 ..... 이효주\*(한밭대학교), 홍현빈, 이근호, 조민철, 박이주, 조훈휘 / 242
- Multi-material 차체부품 개발  
 ..... 이철환\*(디케이솔루션), 임재은, 서명관, 김용기, 심우정, 김동규 / 243
- 롤 포밍 공정을 이용한 차체 충돌보강재 개발  
 ..... 이철환\*(디케이솔루션), 임재은, 강용기, 김동규, 심우정, 박광수 / 244
- 전기화학반응 중 준안정 오스테나이트계 스테인리스강에서 발생하는 마르텐사이트 변태 관찰  
 ..... 이귀형\*(서울대학교), 채준영, 이명진, 한홍남 / 245

- Al-Mg-Si 합금의 열처리와 Cu 첨가에 따른 미세구조 및 전기화학적 거동에 대한 연구  
 .....홍현빈\*(국립한밭대학교), Raj Narayan Hajra, 신은주, 김재국, 이종숙, 김정한, 김재황, 조훈휘 / 246
- Pure Ta 소재의 고온 수소 장입에 따른 기계적 특성 및 미세구조 변화 분석에 관한 연구  
 .....홍현빈\*(국립한밭대학교), 김민호, 조민철, 이근호, 박이주, 정상현, 이상엽, 조훈휘 / 247
- 알루미늄 박판 소재의 피어싱 공정에서 사각 펀치 형상에 따른 전단 단면 패턴 연구  
 .....박기근\*(주태진다이텍), 이재성, 장성민, 전만수 / 248
- 에너지저장장치용 알루미늄 엿지 및 전극 버스바의 유한요소해석  
 .....이상길\*(주송원하이텍), 송춘만, 장성민, 엄재근, 전만수 / 250
- 자이로이드 내부 구조를 가진 샌드위치형 필터의 차압 특성 고찰  
 .....김현\*(조선대학교), 범종찬, 이종배, 정성용, 안동규 / 252
- 멀티코어 구조 적용한 도어 인너 금형 실증 활동  
 .....최현범\*(주호원), 이서한, 이정우, 김현우, 김대용, 이상현 / 253
- 알루미늄 도어인너 프레스 성형불량 검출 방안  
 .....최현범\*(주호원), 이서한, 이정우, 공예슬, 김대용, 이상현 / 254
- 스프링백 예측을 위한 구리 소재의 벤딩 실험 및 수치해석  
 .....정현우\*(한국생산기술연구원), 정건우, 윤용범, 김민수, 정선호, 이종섭 / 255
- 투명한 수지의 사출성형에서 수지에 따른 복굴절 특성  
 .....정영현\*(서울과학기술대학교), 이현동, 최동해, 강민아, 류민영 / 256
- PC/PMMA 필름의 열성형에서 하드 코팅이 미치는 영향에 대한 실험 및 해석적 연구  
 .....정영현\*(서울과학기술대학교), 임채준, 성승민, 오건우, 윤석호, 이기호, 류민영 / 257
- 리브가 있는 사출성형 시편에서 싱크 마크 크기의 분석  
 .....성승민\*(서울과학기술대학교), 이현동, 이성혁, 류민영 / 258
- 금형 파손 해결을 위한 스테인리스강 너트 온간 다단 포머 공정 설계  
 .....윤용범\*(한국생산기술연구원), 정건우, 김민수, 정현우, 정선호, 이종섭 / 259
- CCA 와이어의 고정자 권선 적용을 위한 기계적 전기적 특성 분석 및 고정자 권선의 유한 요소 해석기법 개발  
 .....조유진\*(한국생산기술연구원), 황선광, 안지섭, 여승현, 정명식 / 260
- 분말 야금 기반 Ni기 초내열합금의 쇼트 피닝 공정 후 열처리에 따른 미세 조직 및 기계적 특성 분석  
 .....심현보\*(한국재료연구원), 홍범락, 조윤지, 최현성, 박현일, 석무영, 권용남, 이동준 / 261
- ML-DIC 기반 피로균열전파 거동분석을 통한 Al 합금 압연재의 압연 방향과의 각도 구분  
 .....김도현\*(한국재료연구원), 홍범락, 좌비오, 신윤우, 이승환, 최현성, 박현일, 석무영, 이동준, 권용남 / 263
- EV 모터용 경량화 ROTOR SHAFT 제조기술개발 및 성능검증에 관한 연구  
 .....박은수\*(경창산업(주)), 이성민, 김동규 / 265
- F/M-ODS 강 적층제조 중 산화물 분산 강화상의 형성 기구 분석과 Galling 마모 특성 연구  
 .....서주원\*(서울대학교), 정원중, 천영범, 류호진, 한홍남, 강석훈 / 266
- LCP 복합재를 이용한 로터리 스위치 커버 성형 최적화  
 .....이종현\*(구미전자정보기술원), 이성민, 차경계 / 267

- Direct Energy Deposition 공정을 이용한 M4/G6 공구강 multi-layer 소재의 미세조직과 기계적 물성  
.....진민수\*(인하대학교), 박정현, 김대중, 구용모, 이기안 / 268
- 템퍼링 처리가 저항복비강의 기계적 특성 및 미세조직에 미치는 영향에 관한 연구  
.....안민호\*(한국재료연구원), 우영윤 / 270
- 인공 흉골의 구조적 성능 향상을 위한 유한요소해석 기반 설계 최적화  
.....함민지\*(한국생산기술연구원), 문인용 / 271
- 알루미늄 압출 후 열처리 조건 변화에 따른 프로파일 변형 및 기계적 물성에 미치는 영향  
.....장창순\*(㈜씨에이이테크놀러지), 이주원, 광호택 / 272
- H-Beam의 압연 공정 조건에 따른 플랜지 돌출 결함 예측  
.....장창순\*(㈜씨에이이테크놀러지), 서경호, 광호택 / 273
- YOLOv8 기반 알루미늄 박판 표면 결함 검사  
.....광호택\*(㈜씨에이이테크놀러지), 김진구 / 274
- 반도체 제조용 초순수 이송 시스템을 위한 ETFE 폴리머 분말 사출성형 연구  
.....한덕현\*(고등기술연구원), 윤상민, 이성중, 김영균 / 275
- 전단면 품질 저하 감소를 위한 하프블랭킹 공정 설계 및 적용에 관한 연구  
.....임한비\*(한국생산기술연구원), 이성윤, 이인규 / 276
- Weld neck flange 성형을 위한 최적 단조 공정 설계  
.....박영태\*(한국폴리텍대학), 최민기, 최한글 / 277
- 단조 공정을 연계한 링밀 공정 유한요소해석  
.....최한글\*(울산폴리텍대학), 강 돈, 박영태 / 278
- U-Net을 이용한 와이어-레이저 직접 에너지 적층공정 비드 형성 관찰  
.....김영서\*(부산대학교), 이승문, 육주찬, 박석희 / 279
- 냉간프레스 전단금형 수리, 보수를 위한 DED 공정 시뮬레이션 기술 개발 II  
.....박성진\*(㈜신영), 서종덕, 정대용, 이재욱 / 280
- ESR 공정으로 제조된 하이퍼 캐스팅용 STD61 강의 고온 변형 거동  
.....김송현\*(한국생산기술연구원), 안유정, 전재열 / 281
- Diaphragm valve 적용을 위한 고강도 Co-based 압연재의 미세조직 및 상온 인장 특성에 미치는 후열처리 영향  
.....박정현\*(인하대학교), 송노건, 최재호, 박만호, 이기안 / 282
- Ta-10W 합금의 고온 마모 특성  
.....강태훈\*(인하대학교), 박정효, 김규식, 이기안 / 284
- 미충진 방지를 위한 낙하산 금구류 프리폼 형상 설계  
.....정성화\*(한국생산기술연구원), 이인규, 이성윤 / 286
- Inconel 718 의 6 상 석출 열처리에 따른 기계적 물성 및 미세조직에 대한 연구  
.....여승현\*(한국생산기술연구원), 안지섭, 조아라, 이나경, 정명식, 황선광 / 287
- 초고강도강 TWB 적용 Side sill 부품의 CAM 제어를 통한 성형 공법 연구  
.....정준영\*(한국생산기술연구원), 김민기, 남성우, 이정흠, 송정환 / 288

- 핫스탬핑 성형품의 전단부 강도 저하를 위한 차등 냉각 공법 연구  
 ..... 전용준\*(한국생산기술연구원) / 289
- 대면적 패턴을 지닌 열가소성 탄소섬유강화 복합재료의 이차접합 공정에 관한 연구  
 ..... 최현석\*(한국생산기술연구원), 전용준, 소태영, 김동연 / 290
- 유한요소해석을 이용한 열간단조의 금형파손 연구  
 ..... 김정근\*(한국생산기술연구원), 고대철, 장진석 / 291
- 음향 방출 시험(Acoustic Emission Testing, AET)을 통한 굽힘 하중을 받는 알루미늄 파이프의 손상 검출  
 ..... 최인규\*(서울과학기술대학교), 정완진, 이창환 / 293
- 국부 가열 다점 성형 공정을 이용한 섬유 금속 적층체 시험편 제조에 관한 연구  
 ..... 박지우\*(한국생산기술연구원), 김민수 / 294
- 볼조인트 맨드렐 회전튜브 드로우벤딩  
 ..... 신영빈\*(경상국립대학교), 홍보승, 이동진, 문대국, 하태광, 전만수 / 295
- 항공용 체결부품의 인장피로시험  
 ..... 박재현\*(포항산업과학연구원), 박상혁, 최정목 / 296
- 자동차용 밸브 센서 부품의 마이크로 스폿용접 해석  
 ..... 주성민\*(조선대학교), 김영근, 김현민 / 297
- 열간 공구강의 경도 및 충격인성 변화에 따른 열피로 특성  
 ..... 김주엽\*((재)대구기계부품연구원), 윤국태, 이락규, 홍창완, 김선주, 손동민 / 298
- 와이어 아크 적층제조 초내열합금의 고온 물성 평가  
 ..... 채유진\*(한국생산기술연구원), 김민기 / 299
- 마찰교반용접 AA6061-T6의 용접후 열처리: 미세조직 및 기계적 성질  
 ..... 판 반 콩\*(University of Ulsan), Ji Hoon Jeon, Hyo-joo Lee, Hoon-Hwe Cho, Jong-Seok Lee, Seo-Ho Lee, Soumyabrata Basak,  
 ..... Sung-Tae Hong / 300
- Cryogenic tube bending AA6061-T6: Concepts and Feasibility  
 ..... Zhao Yixing\*(울산대학교), Lihong Cai, Meiling Geng, Jung-Wook Do, Ji-Hoon Jeon, 이선호, 이종석, Jin-Woo Lee,  
 ..... Sung-Tae Hong / 301
- SGACUD 강과 6451 알루미늄 합금의 이중 통전 고상점접합 연구  
 ..... 추수현\*(울산대학교), Van Cong Phan, 도정욱, 이창주, 남기석, 홍성태 / 302
- Cermet 분말을 이용한 고내열 표면강화 기술  
 ..... 하형진\*(국립한국해양대학교), 하동훈, 홍지일, 심도식 / 303
- CAE를 이용한 1.5GPa급 루프레이일 부품 성형성 검토  
 ..... 김세호\*(대구대학교), 이세진, 권바다, 김재희, 이창민, 이경민, 전승훈 / 304
- 모노블럭의 역구배 치형 성형을 위한 냉간단조 금형의 수명 향상에 관한 연구  
 ..... 이인규\*(한국생산기술연구원), 이성윤, 임한비 / 305
- 인코넬 625 합금의 레이저 직접 에너지 적층 제조시 휘어짐 및 잔류응력 유한요소해석  
 ..... 박찬호\*(부산대학교), 진칭예, 정종욱, 박민수, 최규철, 김동현, 김두리, 이강재, 이옥진 / 306

- 육군과학화 훈련단(KCTC) 대형불출함 케이스 국산화 개발  
 ..... 김지훈\*(지브이엔지니어링) / 307
- 공정 진동 신호 경향에 따른 사출제품 생산 변화 모니터링에 대한 연구  
 ..... 이준한\*(한국생산기술연구원), 이효은, 김종선 / 308
- 온간 압축 과정에서 Zn-Al-Mg 합금의 동적 연화 거동에 미치는 Y 원소의 영향  
 ..... 서위걸\*(국립순천대학교), 양동주, 최시훈 / 309
- LNG선 멤브레인용 Invar 합금강(Fe-36%Ni)의 냉간압연 공정에 관한 연구  
 ..... 손승익\*(풍산특수금속(주)) / 310
- 최적화된 미세구조 변수와 TTT 곡선을 이용한 개선된 경도 예측  
 ..... 모하마드카스완디라자리\*(엠에프알씨), 정석환, 김민철, 문호근, 전만수 / 311
- 압축 성형된 PET Felt의 기계적 물성 변화에 관한 연구  
 ..... 정의철\*(한국생산기술연구원 디지털생산부문), 김용대, 이준희, 김용호, 양철규, 이성희 / 312
- 금형 형상 변화에 따른 열간 포트홀 압출공정 해석  
 ..... 이성윤\*(한국생산기술연구원), 이인규 / 313
- 나노 석출물과 전위 상호작용의 마이크로 범위 모델링  
 ..... 연경미\*(서울대학교), 심규장, 류일 / 314
- 암모니아 연료 추진 선박의 27bar, 30m<sup>3</sup>/h 급 N<sub>2</sub> 퍼징 시스템 개발  
 ..... 정소현\*(엠엔에스아이(주)), 이계승 / 315
- 다구간 홀딩력 제어를 활용한 수치해석 기반 유입량제어 성형한계 극복 성형 프로세스 설계  
 ..... 이지호\*(한국생산기술연구원), 김태훈, 이상오, 송정한, 이종섭, 박남수, 김민기, 배기현 / 316

# 1. 일반 논문 발표

재료거동 및 특성화

( 제 1 발표회장 )

# 예변형 및 소부경화의 충돌 성능 영향 평가

최지식<sup>1#</sup>, 임지호<sup>1</sup>, 이해아<sup>1</sup>

## Effect of pre-strain and bake hardening on crash performance

Jisik Choi, Jiho Lim, Haea Lee

### Abstract

차체 부품 단위의 충돌 성능 시험 방법은 대표적으로 굽힘 시험과 압축 시험이다. 충돌 사고 시 압축되며 충격량을 흡수하는 부품은 압축 시험을 통한 성능 테스트가 필요하다. 소재의 최적화를 통해 차체 경량화 및 충돌 안정성 향상을 위해서는 첫째로 신뢰성 있는 압축 시험 방법이 필요하다. 이는 동일 소재라도 압축 시험 시 발생하는 압력 거동이 달라서 정량적인 충돌 성능에 대한 비교 분석이 어렵기 때문이다. 둘째로 충돌 테스트 부품의 성형 이력과 소부경화 효과에 대한 고려가 필요하다. 차체 부품은 성형 공정을 통해 제작되고, 도장 공정에서 저온 열처리를 통해 경화된다. 최근 소부경화(Bake Hardening)강 뿐만 아니라 고장력강(HSS)도 소부경화 시 항복강도 및 인장강도가 증가한다는 연구결과가 있기 때문에, 부품 단위 충돌 성능 테스트에서도 이를 검증할 필요가 있다.

본 연구에서는 HAT형 압축 충돌 시편을 소재의 강도 및 두께에 무관하게 압력 거동이 발생하도록 변형 설계하였다. 유한요소해석을 통해 압축 시험 시 소재의 인장강도 590~1180MPa 및 두께 1.0~1.8mm에서 동일한 압력 거동이 발생하는 것을 확인했으며, 이를 통해 충돌 흡수 에너지 및 최대 응력을 정량적으로 비교 분석하였다. 또한 압축 시험 시 소재의 두께, 예변형(Pre-strain) 및 소부경화에 대한 영향을 검토하였다. 그리고 예변형 및 소부경화 효과를 실험적으로 검증하기 위해서, 1180MPa 소재를 활용한 실험 결과와 시뮬레이션 결과를 비교 분석하였다. 최종적으로 충돌 성능 평가 시 소재의 예변형 및 소부경화에 대한 고려가 필요하다는 것을 검증하였다.

**Keywords:** Crash Performance, Pre-strain, Bake Hardening, Energy absorption

1. 포스코 철강솔루션연구소 성형연구그룹, 수석연구원

#1 포스코 철강솔루션연구소 성형연구그룹, 수석연구원, E-mail: jisik0806@posco.com

# 재료 물성 변화에서의 결합된 이차-비 이차 항복함수 모델 거동 해석적 분석

임현용<sup>1</sup>, 윤정환<sup>1,2#</sup>

## Analytical Study of Coupled Quadratic-Nonquadratic Yield Function Behavior in Material Property Variations.

H. Lim, J.W. Yoon

### Abstract

결합된 이차-비 이차 (Coupled Quadratic-Nonquadratic ; CQN) 항복 함수 모델은 이차 항복 함수(Stoughton&Yoon, 2009)와 비 이차 항복 함수(Hosford, 1972)를 하나로 통합한 모델이다. 두 개의 다른 항복 함수를 하나로 묶음으로써 해당 모델을 통해 기존 항복 함수에서는 표현할 수 없었던 각기 다른 소재 방향, 다양한 변형률에서의 정확한 응력 값을 표현할 수 있다. 하지만, CQN 모델은 볼록성을 분석할 수 있는 해석적 방정식이 연구되지 않아, 이용하고자 하는 소재의 각 변형률 수준에 대해 그래프를 시각적으로 확인하여 모델의 적절한 매개변수를 찾아야 한다는 단점이 존재한다. 따라서, 본 연구에서는 CQN 모델을 해석적으로 분석하여 어떤 상황에서 CQN 모델의 불안정성이 발생하는지 찾고, 해당 모델의 볼록성을 판단할 수 있는 모델을 개발하고자 하였다. 우선적으로 본 연구에서는 로그 함수의 해 존재성을 이용하여 CQN 모델의 Quadratic 항복 함수에 도입된 추가 파라미터들이 불안정성의 원인임을 증명하였다. 두 번째로, 오일러 공식을 통해 CQN 모델을 극 좌표 형식으로 변환하여 모델의 불안정성을 설명할 수 있는 특정 방정식을 수립하였다. 이 방정식을 통하여, CQN의 모델의 불안정성이 언제 발생할지, 또한 불안정시 발생하는 최대 피크의 개수 또한 증명하였다. 마지막으로, CQN 모델의 헤시안(Hessian) 계산을 통해 CQN모델의 볼록성을 평가할 수 있는 방정식을 유도하고 이를 분석하였다.

**Keywords:** Coupled Quadratic-Nonquadratic Yield Function (CQN), Non-Associate Flow Rule, Quadratic Yield Function, Non-Quadratic Yield Function, Convexity, Material Property Variations

1. 한국과학기술원 기계공학과.

2. School of Engineering, Deakin University.

# 교신저자: 한국과학기술원 기계공학과, 교수. E-mail: j.yoon@kaist.ac.kr



# 압축시험 결과로부터 고정도 유동함수의 획득

김남윤<sup>1</sup>· 김남현<sup>1</sup>· 김민철<sup>2</sup>· 모하마드 카스완디 라자리<sup>2</sup>· 전만수<sup>#</sup>

## Obtaining the high degree flow function from the results of the compression test

N.Y Kim, N.H Kim, M. C. Kim, M. K. Razali, M.S Joun

### Abstract

Hot flow behaviors of an SCM440 are characterized using a hot cylinder compression test, focusing on the simultaneous temperature-and-friction compensation to numerically predict the stroke-compression load curves with accuracy. A general and systematic method is presented.

**Keywords:** Compression test(압축시험), Flow characterization(유동특성)

### 1. 서론

Joun 등 [1]은 압축시험으로부터, 고온 유동정보 획득 기술을 개발하였다. 이 기술은 고정도의 유동 함수를 제공하기 때문에 유용하다.

### 2. 본론

고온압축시험 결과로부터 균질압축이라는 가정 하에 일반화된  $C-m$  모델로 이상유동곡선의 함수를 획득하였다. 온도와 마찰의 영향을 동시에 보상하여 고정도의 유동곡선을 획득하였다. Fig.1은 획득된 유동곡선으로 압축시험을 해석하여 실험과 비교하고 있다. 그 결과, 1.78%의 평균 오차를 보였다.

### 3. 결론

고온유동 특성규명을 위한 체계적인 방법이 제안되었다. 유용성을 적용사례를 통해 입증하였다.

### 사사

이 연구는 MOTIE가 지원하는 202140000520의 연구결과입니다.

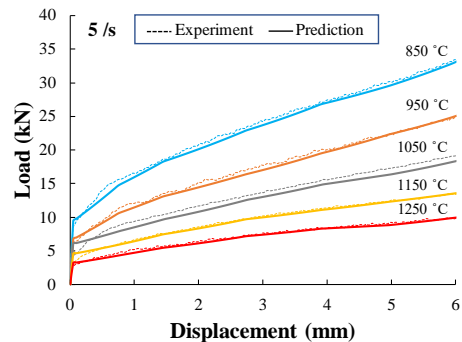


Fig.1 compression loads using improved flow curves

### 참고문헌

[1] M. S. Joun, M. K. Razali, J. D. Yoo, M. C. Kim, J. M. Choi, 2022, Novel extended C-m models of flow stress for accurate mechanical and metallurgical calculations and comparison swith traditional flow models, J. Magnes. Alloys, V. 10, pp. 2516-2533.

1. 경상대학교 기계공학부

2. (주) MFRC

# 교신저자: 경상국립대학교 기계항공공학부

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

# 원형 시편 인장시험에서 탄성변형의 영향

전만수<sup>1,\*</sup>, 이현민<sup>1</sup>

## Effect of elastic deformation on cylindrical tensile test

M. S. Joun, H. M. Lee

### Abstract

Flow curves obtained by rigid-plastic and elastoplastic finite element methods are compared focusing on revealing the effect of elastic deformation on the tensile test. It is shown that the effect of elastic deformation on the tensile test can be neglected when the strain hardening maintains even at the large strain, reducing the decrease in the tensile load.

**Keywords:** Tensile test (인장시험), Elastic deformation (탄성변형), Predicted tensile test (예측 인장시험)

### 1. 서론

탄소성 유한요소법으로 인장시험을 해석하는데 있어 초기결함의 부여가 당연시되고 있으나 이것은 해의 신뢰도를 떨어뜨리는 요인이 된다. Joun 등[1]은 강소성 유한요소법을 이용하여 완전 유한요소 해석모델을 이용한 인장시험 방법을 확립하였다. 이 방법은 Joun et al. 등[2]에 의하여 유동응력의 획득 목적으로 사용되었다. 이 연구는 탄소성 유한요소법의 인장시험 적용을 통하여 탄성변형의 영향을 규명한다

### 2. 본론

자동다단냉간단조 목적으로 생산된 SWCH10A의 재료의 유동곡선을 강소성 유한요소법으로 구한 후 이를 바탕으로 탄성변형을 고려함으로써 탄소성 유한요소법에 적합한 유동곡선을 구하여, 비교 목적으로 Fig. 1에 강소성 및 탄소성 유한요소법을 이용하여 획득한 유동곡선을 비교하였다.

### 3. 결론

변형경화능이 지속되고, 인장강도 대비 파단점의 공칭응력의 비가 작을 경우, 강소성과 탄소성 FEM과 인장시험으로부터 획득한 유동특성은 유사하다.

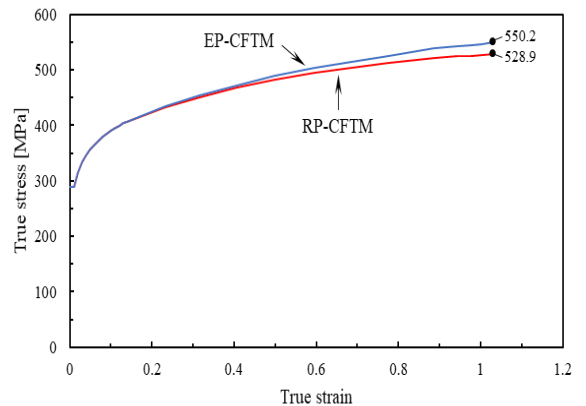


Fig. 1 Comparison of rigid-plastic (RP-CFTM) and elastoplastic (EP-CFTM) flow curves of SWCH10A

### 사사

이 연구는 MOTIE가 지원하는 202140000520의 사업과 202406190001의 결과물입니다.

### 참고문헌

- [1] M. S. Joun, I. S. Choi, J. E. Eom, M. C. Lee, 2007, Finite element analysis of tensile testing with emphasis on necking, *Comput. Mater. Sci.*, V. 41, pp. 63-69.
- [2] Joun, M. S., Eom, J. G., Lee, M. C., 2008, A new method for acquiring true stress-strain curves over a large range of strains using a tensile test and finite element method, *Mech. Mater.* 40(7) 586-593.

1. 경상국립대학교

\* 교신저자: 경상국립대학교 기계항공공학부

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

## 포타슘이 텅스텐의 초기 소성에 미치는 영향

김정석<sup>1</sup> · 민건식<sup>1</sup> · Phu Cuong Nguyen<sup>2</sup> · 이성민<sup>1</sup> · 오연주<sup>1</sup> · 김황선<sup>1</sup> · 김형찬<sup>3</sup> · 류일<sup>1,#</sup> · 한홍남<sup>1,#</sup>

### The Effect of Potassium on Incipient Plasticity of Tungsten

Jeongseok Kim<sup>1</sup>, Guensik Min<sup>1</sup>, Phu Cuong Nguyen<sup>2</sup>, Sungmin Lee<sup>1</sup>, Yeonju Oh<sup>1</sup>, Hwangsun Kim<sup>1</sup>, Hyoung Chan Kim<sup>3</sup>, Ill Ryu<sup>1,#</sup>, Heung Nam Han<sup>1,#</sup>

#### Abstract

텅스텐은 용점이 높고 고온 강도가 우수하여 핵융합, 국방, 항공우주, 반도체 등과 같이 고온과 고열속이 조사되는 극한환경에서 구조재료로써 널리 활용된다. 그러나, 텅스텐은 저온에서의 심각한 취성으로 인해 활용될 수 있는 온도 범위가 제한된다. 본 연구에서는 포타슘이 도핑된 텅스텐과 순수 텅스텐 상용재의 초기 소성 거동에 대한 분석을 기반으로 텅스텐의 초기 소성에 포타슘이 미치는 영향이 정량적으로 분석됐다. TEM 분석을 통해 포타슘이 도핑된 텅스텐 시편 내부에 평균 크기가 수십 나노미터인 포타슘 버블의 존재가 확인됐다. 나노압입시험을 통해 포타슘이 도핑된 텅스텐 시편은 순수 텅스텐 상용재 시편보다 더 낮은 응력 하에서 소성 변형을 시작하는 것으로 나타났다. 유한요소 해석을 통해 포타슘 버블 주위에 집중된 응력이 정량화됐으며, 전위 동역학 모사를 통해 포타슘 버블 개수와 전위 밀도가 응력 집중에 미치는 영향이 확인됐다. 이는 포타슘 버블로 인해 텅스텐의 소성 변형이 촉진되는 이유를 완전히 설명하며, 취성 문제를 해결하기 위한 텅스텐 기반 합금 개발에 기여할 것으로 기대된다.

**Keywords:** Tungsten, Potassium, Plasticity, Ductile-to-brittle transition temperature, Nanoindentation, Defect dynamics

1. 서울대학교 재료공학부, 대학원생

2. 텍사스 대학교 달라스 기계공학부, 박사 후 연구원

3. 한국핵융합에너지연구원, 담당

# 서울대학교 재료공학부, 교수, E-mail: ryuill@snu.ac.kr (류일), hnhan@snu.ac.kr (한홍남)

# 붕소 첨가가 철계 중엔트로피 합금의 인장 물성에 미치는 영향

구본우<sup>1</sup>, 이재흥<sup>1</sup>, 손수정<sup>2,#</sup>, 김형섭<sup>3,#</sup>

## The Effect of Boron Addition on the Tensile Properties of Fe-based Medium-Entropy Alloys

B. W. Koo<sup>1</sup>, J. H. Lee<sup>1</sup>, S. Son<sup>2,#</sup>, H.S. Kim<sup>3,#</sup>

### Abstract

Metastable medium-entropy alloys (MEAs) are attracting great attention due to their excellent mechanical properties. However, low yield strengths of metastable MEAs are stumbling blocks for industrialization. In addition, research on further improving the mechanical properties of metastable MEAs by adding interstitial atoms is also being actively conducted. Herein, a B-doped MEA is suggested to enhance the mechanical properties. Among diverse interstitial atoms, B was selected to add into the  $Fe_{60}Co_{15}Ni_{15}Cr_{10}$  (60Fe) to derive high yield strength and tensile strength. This alloy shows almost a single-phase fcc, and  $Cr_2B$  borides are formed by doping B. B-doped MEA exhibits a tensile strength of  $\sim 770$  MPa at room temperature, which is much higher than those of 60Fe. These mechanical properties are contributed by solid-solution strengthening and transformation-induced plasticity (TRIP). Furthermore, by forming  $Cr_2B$  borides, the TRIP kinetics change according to change in the composition of the matrix, and as a result, TRIP appears even at room temperature. This strategy not only enhances the yield strength, but facilitate the TRIP behavior, which suggests an efficient method to improve the mechanical properties of metastable MEA by doping B.

**Keywords:** High-entropy alloy, Metastability engineering, Martensite phase transformation, Precipitation, Work hardening

1. 포항공과대학교 신소재공학부, 대학원생

2. 포항공과대학교 신소재공학부, 연구원

3. 포항공과대학교 친환경소재대학원, 교수

# 교신저자: 김형섭, 포항공과대학교 친환경소재대학원 E-mail: hskim@postech.ac.kr

손수정, 포항공과대학교 신소재공학부 E-mail: sjson@postech.ac.kr

# 온도 및 변형률 속도가 22Mn6Al0.9C 경량철강의 강도 및 연성에 미치는 영향

홍창완<sup>1#</sup> · 이락규<sup>1</sup> · 윤국태<sup>1</sup> · 김주업<sup>1</sup> · 김선주<sup>1</sup> · 박성준<sup>2</sup> · 김준섭<sup>3</sup>

## Effect of Temperature and Strain rate on Strength and Ductility in 22Mn6Al0.9C lightweight Steel

C.W.Hong, R.G.Lee, K.T.Youn, J.U.Kim, S.J.Kim, S.J.Park, J.S.Kim

### Abstract

화력발전은 고온·고압의 수증기를 이용해 터빈블레이드를 회전시켜 전기에너지를 발생시키는 공정이다. 핵심 부품인 보일러 튜브와 터빈 블레이드는 고온강도와 내산화성이 요구되는데, 각 사용 조건 (온도와 압력)에 따라 여러 소재가 적용되고 있다. 발전 효율 향상을 위한 소재 개발은 주로 고온강도를 향상시키는 방향 (사용 증기 온도, 압력 상승)으로 이뤄졌으며, 소재 경량화에 대한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 후단 터빈 시스템내 LP (저압) 터빈 블레이드 (200~350 도, <20MPa) 소재로서, 기존에 사용되고 있는 페라이트계 12Cr0.1C 내열강을 대체할 수 있는 22Mn6Al0.9C 오스테나이트계 경량철강 (비중 6.97 g/cm<sup>3</sup>) 소재의 산화 및 고온 인장 (SSRT) 특성을 살펴보았다. Austenite 단상을 지니며 변형 중 Mechanical Twin 이 생성되는 TWIP 강은 우수한 인성과 연성을 나타내지만 낮은 Y.S., 코팅시 LME 로 인한 용접성 저하, 소성변형시 Serration flow 로 인한 성형성감소, 잔류응력에 따른 지연파괴 문제 등의 단점들이 보고 되었다. 이를 보완하기 위해 Al 첨가 시, Twin 및 DSA (Dynamic Strain Aging) 현상을 억제하여 homogeneous plastic deformation 을 유도하는 연구들이 진행되고 있다.

본 연구에서는 22Mn6Al0.9C 강에 대해 산화 거동 (350 도, 증기 분위기, 10~1000hr) 및 SSRT 인장 (25, 100, 200, 300 도,  $\dot{\epsilon}$ =10-3, 10-5, 10-6) 거동을 관찰하였다. 특정 온도 및 변형률 속도 (200 도,  $\dot{\epsilon}$ =10-6) 조건에서 인장 시, Matrix 내부 moving dislocation 과 용질 원자 간의 locking-unlocking 에 의한 DSA 현상이 발생함을 확인하였으며, 최종적으로 오스테나이트계 22Mn6Al0.9C 강에서 파괴인성에 영향 미치는 DSA 거동을 미세조직분석을 통해 이해하고자 하였다.

**Keywords:** High Mn (22Mn6Al) Steel, Oxidation, SSRT, Stress Strain Curve

### Acknowledgement

본 연구는 소재부품기술개발사업 (전략핵심소재기술개발, 20010748)으로 수행된 연구결과입니다.

1. 대구기계부품연구원 소재부품연구본부 첨단소재연구팀

2. 한국재료연구원

3. 진영 TBX (주)

# 교신저자 : 대구기계부품연구원, 홍창완, ihunsug1@dmi.re.kr

# Inconel 718 열처리를 통한 석출물 제어와 균열 저항성에 대한 연구

안지섭<sup>1,2</sup>, 조민지<sup>1</sup>, 여승현<sup>1,2</sup>, 조아라<sup>1,2</sup>, 정명식<sup>1</sup>, 황선광<sup>1,#</sup>

## Study on Precipitation Control and Crack Resistance through Heat Treatment of Inconel 718

J. S. An, M. J. Jo, S. H. Yeo, A. R. Jo, M. S. Jeong, S. K. Hwang

### Abstract

Inconel 718은 Ni-Fe계 초내열합금으로, 우수한 내산화성 및 내식성을 보유하며, 고온에서도 인장, 피로 강도 등 기계적 물성이 유지되는 특성을 지닌다. 이러한 특성 덕분에 Inconel 718은 고압축비와 고온 회전 환경을 견뎌야 하는 가스터빈 엔진 등에서 주로 사용된다. Inconel 718은 열처리 온도와 시간에 따라  $\gamma$  matrix에서  $\gamma'$ ,  $\gamma''$ ,  $\delta$  상이 석출되며, 이 석출 상의 종류와 분율은 기계적 특성에 큰 영향을 미치므로 열처리를 통한 석출물의 제어가 매우 중요하다. 본 연구에서는 열처리를 통해 석출 상을 제어하고 성형성을 평가하기 위해 빌렛 상태의 Inconel 718에 대해 homogenization (Ho), delta process (DP), pre-aging treatment delta process (PAT-DP) 열처리를 수행하였다. 각 열처리 조건 후, 소재에 대해 고온 압축 시험을 진행하였고, Ziegler와 Prasad의 소성 불안정성 이론을 바탕으로 유동응력 기반의 변형공정지도를 작성하여 성형성을 평가하였다. 압축 시험 결과,  $\delta$  석출로 인한 피닝 효과로 초기 경화 현상이 발생하였으며, 이에 따라 dynamic recrystallization (동적 재결정화)이 조기에 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 변형공정지도 결과, 모든 열처리 조건에서 변형률이 증가함에 따라 소성 불안정 영역이 증가하는 경향이 나타났다. 특히, 소성 불안정 영역의 비율은 Ho에서 65%였으나, PAT-DP에서는 30%로 감소하여 성형성의 향상이 확인되었다. 성형성 검증을 위해 Strain induced crack opening 시험을 수행하여 각 열처리 조건별 소재의 고온 변형 시 균열 발생 정도를 비교하였다. 본 연구에서는 열처리에 따른 고온 성형성과 균열 저항성의 영향을 평가하였으며, 이를 바탕으로 고온 성형 공정에 적절한 열처리 조건을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

**Keywords:** Inconel 718, Crack, Precipitation, Process map, Plastic instability

1. 한국생산기술연구원 모빌리티부품그룹

2. 부산대학교 기계공학부

# 교신저자: 한국생산기술연구원, 수석연구원, E-mail: skhwang@kitech.re.kr

# 구리의 마이크로 단위 극한환경 변형 거동 분석

강성규<sup>1</sup>

## Deformation behavior and micromechanical properties of Copper under Extreme Loading Conditions

S.-G. Kang

### Abstract

재료의 변형 특성은 온도 및 변형 속도와 같은 외부 요인에 의해 영향을 받는다는 사실이 입증되어왔다. 그러나 나노 및 마이크로 단위 같은 미시적 규모에서는 실험적 한계로 인해 준정적 변형 속도와 실온으로 실험 제한되어 더 넓은 범위의 변형속도와 온도에서 재료의 변형특성은 거의 탐구되지 않았다. 이 연구에서는 다양한 변형 속도( $0.001\sim 100\text{ s}^{-1}$ )와 상온(RT,  $25^\circ\text{C}$ )과 극저온(CT,  $-150^\circ\text{C}$ )의 두 가지 온도에서 구리 마이크로 필라의 변형 특성과 기계적 물성을 조사하였다. 구리 마이크로 필라는 마이크로 단위 적층제조 공정인 localized electrodeposition 공정을 통해 제작되었다. 필라 단면의 Transmission Kikuchi diffraction 분석을 통해 다결정 미세조직과 방향성 없는  $\Sigma 3$  입계를 확인할 수 있었다. 상온 조건 실시간 SEM 기계적 시험에서 구리 마이크로 필라의 응력은 변형 속도가 증가함에 따라 증가하다가  $1/\text{s}$  이상의 고변형속도 조건에선 응력이 일정해졌다. 반면에 극저온 조건 실시간 SEM 기계적 시험에서 구리 마이크로 필라의 응력은 변형 속도에 상관없이 일정하였다. 이러한 온도 및 변형 속도 의존성은 구리의 변형 메커니즘 변화에 기인함을 확인하였다. 변형 시험 후 미세조직 분석을 통해 상온에선 전위 슬립에 의한 소성 변형이, 그리고 극저온에선 나노 트윈 형성을 통한 소성변형이 일어남을 확인하였다. 이는 상온에선 다수의 슬립 시스템으로 전위 슬립 변형이 우세하게 일어나는 반면, 극저온에선 증가한 전위 이동 임계 응력으로 인해 전위 슬립이 억제되어 트윈 형성을 통한 소성변형이 우세하기 때문으로 추론된다. 마지막으로, 본 연구를 통해 복잡한 형상을 가진 구리 3차원 마이크로 구조체의 변형 특성 이해가 가능함을 보였다.

**Keywords:** Additive Manufacturing, Micro-pillar, Compression, Extreme conditions, Mechanical twinning

# Ti-2Al-9.2Mo-2Fe 합금의 석출상 제어 공정과 기계적 특성 분석

신수홍<sup>1</sup> · 이동근 #

## Analysis of Precipitation Control Process and Mechanical Properties of Ti-2Al-9.2Mo-2Fe Alloy

S.H. Shin, D. G. Lee

### Abstract

현재 지구온난화로 인해 탄소중립은 전 세계적인 핵심 과제로 대두되고 있으며, 특히 탄소 배출량이 높은 자동차 산업 분야에서는 차량 경량화를 위한 다양한 소재 연구가 진행되고 있다. 이 중  $\beta$  타이타늄 합금은 우수한 내식성과 비강도를 바탕으로 차량 경량화 소재로 활용하기에 이상적인 재료이다. Ti-2Al-9.2Mo-2Fe (2A2F) 합금은 비교적 저가의  $\beta$  안정화 원소인 Mo와 Fe를 첨가하여 낮은 가격을 형성하는 LCB (Low Cost Beta) 타이타늄 합금이다. 현재 Ti-2Al-9.2Mo-2Fe (2A2F) 합금의 실사용을 위한 다양한 연구가 진행되고 있으나, 기계적 특성 향상을 위한 열처리와 그에 따른 석출상 ( $\alpha$  상,  $\omega$  상) 제어에 관한 연구는 크게 진행되지 않았다. 이에 본 연구에서는 Ti-2Al-9.2Mo-2Fe (2A2F) 합금을 790 °C/1 h 에서 용체화 처리 후 다양한 조건의 시효처리를 진행하여 최적의 열처리 조건을 선정하고자 하였다. 450 °C 온도에서 시효처리를 수행한 결과 isothermal  $\omega$  상이 석출되었으며, 이는 경도 및 압축강도를 크게 향상시키나 연성을 저하시켜 취성 파괴를 발생시켰다. 500 ~ 600 °C 의 시효온도의 경우,  $\omega/\beta$  상 경계면이 핵생성 사이트로 작용하여 secondary  $\alpha$  상으로의 상변태가 발생하였으며, secondary  $\alpha$  상의 석출 및 성장에 따라 경도 및 압축강도가 감소와 함께 연성이 증가하였다. 이 중 500 °C/6 h 조건이 석출상 제어를 통해 가장 적절한 강도와 연성을 갖추어 최적의 열처리 조건임을 확인하였다.

**Keywords:**  $\omega$  phase, secondary  $\alpha$  phase, phase transformation, yield compression strength

1. 순천대학교, 신소재공학과, 대학원생

# 순천대학교, 신소재공학과, 교수, E-mail: leechodg@scnu.ac.kr



## 저항 점 용접부의 국부적, 대변형 거동을 측정을 위한 마이크로 스케일 전단 실험

조동혁<sup>1</sup> · Hassan Ghassemi-Armaki<sup>2</sup> · Blair E. Carlson<sup>3</sup> · Thomas B. Stoughton<sup>4</sup> · 윤정환<sup>#</sup>

### A Micro-Scale Shear Test for Measuring Localized Mechanical Properties of Resistance Spot Welds under Large Deformation

Donghyuk Cho<sup>1</sup> · Hassan Ghassemi-Armaki<sup>2</sup> · Blair E. Carlson<sup>3</sup>  
· Thomas B. Stoughton<sup>4</sup> · Jeong Whan Yoon<sup>#</sup>

#### Abstract

This research investigates the local mechanical properties of dissimilar aluminum-steel resistance spot welds (RSW) through micro-scale tensile and shear testing, enhanced by digital image correlation (DIC). Traditional methods like microhardness testing provide insight into property variation across the weld but offer limited data, necessitating advanced techniques to assess localized properties such as stress-strain relationships, strength, toughness, and fracture characteristics. To address challenges such as the small weld zone size, property variations, and inherent defects, samples from the fusion zone (FZ), heat-affected zone (HAZ), and base material (BM) were analyzed. Tensile test results enabled direct local constitutive characterization in the FZ, HAZ, and BM, but early fracture due to weld defects prevented measurements under large deformation. Micro-scale shear testing emerged as a more robust alternative, showing greater resistance to defects and the ability to measure local properties under large deformation. The study uncovered mechanical characteristics previously undetectable with conventional methods, revealing that while the BM exhibited saturated hardening with increasing deformation, the HAZ and FZ displayed continuous hardening. The integration of micro-DIC allowed for high-resolution capture of localized deformation patterns, enabling the establishment of stress-strain relationships under large deformation.

**Keywords:** Micro-digital image correlation (micro-DIC), Resistance spot welds (RSW), Shear Test, Constitutive properties, Localized deformation

1. 한국과학기술원 기계공학과, 박사과정

2. General Motors Global R&D, Staff Researcher

3. General Motors Global R&D, Senior Technical Fellow

4. Deakin University, Adjunct Professor

# 한국과학기술원 기계공학과, 교수, E-mail: j.yoon@kaist.ac.kr

# 자동다단냉간단조용 금속 재료의 유동특성

이현민<sup>1</sup> · 엄재근<sup>2</sup> · 전만수<sup>3, #</sup>

## Flow characteristics of metallic materials for automatic multistage cold forging

H. M. Lee, J. G. Eom, M. S. Joun

### Abstract

Various flow patterns of metallic materials for automatic multistage cold forging are presented from the characterized flow behaviors of SCM435, SWCH45F, S25C, SWCH10A, SUS304, A6061-T6, and ESW105. Their strain hardening capabilities are quantitatively analyzed by the strain hardening rate.

**Keywords:** Tensile test (인장시험), Flow characteristics (유동특성), Strain hardening (변형경화)

### 1. 서론

금속은 전처리에 따라 상온에서 유동특성이 크게 달라진다. 이에 대응하기 위해서 실용적인 유동 특성의 규명 방법이 필요하다. 이 연구에서는 Joun 등 [1]이 제안한 방법을 개선하여 인장시험 중 탄성변형을 고려한 새로운 방법으로 구한 금속 재료의 유동 특성을 비교한다.

### 2. 본론

자동다단 냉간단조용으로 생산된 SCM435, SWCH45F, S25C, SWCH10A, SUS304, A6061-T6, ESW105 [2, 3] 등에 대하여 인장시험과 FEM 연계 방법으로부터 획득된 유동곡선을 변형경화능의 관점에서 비교하였다. 네킹 후 변형경화 영역에서 인장하중의 증가에 따라 인장시험 중 탄성변형의 영향이 크게 감소한다.

### 3. 결론

인장시험과 유한요소법을 이용하여 고변형률에서의 유동정보가 획득되었으며, 분석 결과, 다섯 개의 전형적인 변형경화능이 제시되었다.

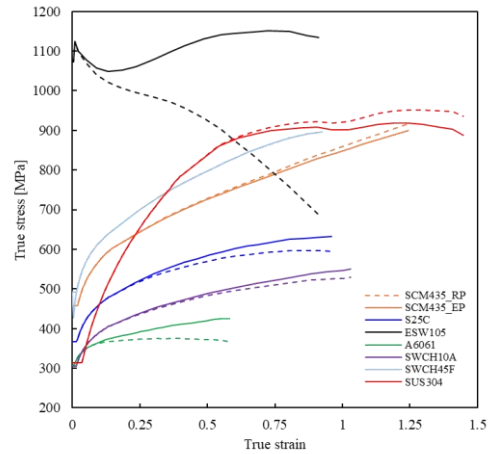


Fig. 1 Comparison of flow curves

### 사사

이 연구는 MOTIE가 지원하는 202140000520의 사업과 RS-2024-00398425의 결과물입니다.

### 참고문헌

- [1] Joun, M. S., Eom, J. G., Lee, M. C., 2008, A new method for acquiring true stress-strain curves over a large range of strains using a tensile test and finite element method, *Mech. Mater.* 40(7) 586–593.
- [2] Eom JG et al., Effect of strain hardening capability on plastic deformation behaviors of material during metal forming, *Mater Des* 2014;54:1010–1018.
- [3] K. M. Kim et al., 2023, Flow behavior dependence of rod shearing phenomena of various materials in automatic multi-stage cold forging, *J. Mech. Sci. Technol.*, V. 37, 139–148.

1. 경상국립대학교 기계항공우주공학부  
2. MFRC  
3. # 교신저자: 경상국립대학교 기계항공우주공학부, E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

## 2. 특 별 세 션 3

미래 모빌리티 대응 배터리팩  
적용 소재 및 가공기술 혁신

( 제 2 발표회장 )

# 광학 측정 장비를 활용한 배터리 팩 용접해석 신뢰성 검증

김상훈<sup>1</sup>· 도두이통<sup>1</sup>· 김준영<sup>2</sup>· 박종규<sup>#</sup>

## Reliability verification of welding analysis of battery pack using optical measurement equipment

S. H. Kim, D.T. Do, J.Y. Kim, J. K. Park

### Abstract

최근 전기차, 에너지 저장 시스템(ESS), 휴대용 전자기기 등 다양한 산업 분야에서 배터리 기술의 중요성이 부각되면서, 배터리 팩의 성능과 안전성을 확보하기 위한 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 특히 배터리 팩 케이스는 시스템 내 배터리 셀을 보호하고, 외부 충격이나 열로부터 안정성을 유지해야 하므로, 시스템의 성능에 큰 영향을 미치는 중요한 부품으로 경량화, 구조적 강도 및 열 관리 등 다양한 기술적 요구사항을 충족시켜야 한다. 하지만 배터리 팩 케이스 개발 과정에서 발생할 수 있는 다양한 품질 문제는 이러한 요구사항을 충족시키는 데 큰 장애물로 작용하며, 특히 배터리 팩 케이스 내 메인 프레임 용접 시 발생하는 열 변형으로 인한 치수 불량에 대표적인 문제이다. 이러한 문제를 해결하고자 개발 부서와 협업을 통하여 공정에 대한 변수를 최대한 반영하여 용접 해석을 수행하고 있지만, 실제 현장에서의 미세한 조건 변경 및 결과의 신뢰성 검증 부분에 관련된 기술은 아직 미흡한 상태이다.

이에 따라 본 연구에서는 광학 측정 장비(optical measurement equipment)인 3D 스캐너 및 DIC(digital image correlation)장비를 활용하여 해석 결과와 시제품의 품질을 비교 분석함으로써 해석 결과의 신뢰성 및 검증 방안을 제공하고자 한다.

**Keywords:** Battery pack case, Finite Element Analysis(FEA), Optical Measurement Equipment

### 후 기

이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(780 MPa급 이상 초고강도 소재 적용 전기자동차 샤시 및 300 MPa급 이상 알루미늄 배터리케이스 용접을 위한 요소 공정해석기술 개발 및 제품화 실증, 20022438, 산업통상자원부)

1. ㈜화신 선행연구팀, 책임연구원

2. ㈜화신 선행연구팀, 주임연구원

# ㈜화신 선행연구팀, 책임연구원, E-mail: boxlife@hwashin.co.kr

# 포스코 철강기반 배터리팩 경량화 솔루션 개발

위상권<sup>#</sup> · 박재현<sup>1</sup> · 정창균<sup>1</sup> · 정창규<sup>1</sup>

## POSCO Steel-intensive Battery Pack Lightweight Solution

S. K. Wee, J. H. Pack, C. G. Jung, C. K. Jung

### Abstract

최근 전기차 시장은 일시적인 침체를 겪으며 캐즘 구간을 지나고 있다. 전기차의 판매 가격, 화재 안전성, 충전 편의성은 소비자의 구매에 영향을 미치는 주요 요인으로 작용한다. 전기차 시장의 정상화 회복을 위해서는 소비자의 요구를 만족하는 현실적인 방안이 마련돼야 한다. 포스코는 철강 전문기업으로서 전기차의 시장 경쟁력 향상에 기여하는 철강 솔루션을 제시하고자 한다.

전기차는 주행거리 증가를 위한 경량화 방안으로 배터리팩 케이스에 알루미늄이나 복합소재와 같은 경량 소재를 주로 적용하고 있지만, 전기차 산업에서 배터리 열폭주와 제조 공정의 단소중립이 최근 이슈로 부각되면서 철강재를 배터리팩 케이스 소재로 검토하는 연구가 증가하고 있다. 또한, 전기차 보조금이 점차 삭감됨에 따라 가격 경쟁이 심화되면서 중저가 전기차에서는 배터리팩의 제작 원가 절감 방안으로 알루미늄을 철강재로 대체하는 추세가 늘고 있다.

본 발표에서는 포스코가 과거 10여 년간 철강재를 배터리팩 설계에 적용한 사례를 소개한다. 포스코 초고강도 철강재를 적용하여 배터리팩의 충돌성능을 향상시켰으며, 알루미늄 압출재 프레임에 대응하는 폐단면 구조설계 도출하고 톨포밍 제조공정을 개발했다. 이를 통해 알루미늄 적용 배터리팩과 동등한 수준의 혁신적인 철강 기반 경량화 설계를 완성했다. 또한, 배터리 냉각 부품에도 철강재를 적용하는 연구개발을 지속하고 있다. 본 연구는 철강 소재의 잠재력을 극대화하여 배터리팩 설계의 새로운 가능성을 제시하며, 전기차 산업의 지속 가능한 발전에 기여할 수 있는 원가 절감형 배터리팩 개발의 실질적 방안을 제공한다. 향후 연구에서는 자동차사의 다양한 요구 조건을 만족하는 환경에서 철강 배터리팩의 성능을 평가하고 양산성을 검토할 예정이다.

**Keywords:** Electric Vehicle, Battery Pack Case, Lightweight, Crashworthiness, Multi-material

# POSCO 철강솔루션연구소, 성형연구그룹, 수석연구원, E-mail: skwee@posco.com

1. POSCO 철강솔루션연구소, 성형연구그룹, 수석연구원

# 이차전지 배터리용 파우치 제작을 위한 알루미늄 합금 - 고분자 수지 분자접합 기술 개발 및 특성평가

김정한<sup>1, #</sup> · 박진웅<sup>1</sup> · 강정현<sup>1</sup> · 한병준<sup>1</sup> · Emmanuel<sup>1</sup> · 김준현<sup>2</sup> · 손병삼<sup>2</sup>

## Molecular Bonding Technique between Aluminum Alloy and Polymer Resin for Pouches in Secondary Batteries

Jeoung Han Kim<sup>#</sup> · Jin Woong Park<sup>1</sup> · Jung Hyun Kang<sup>1</sup> · Byoung Jun Han<sup>1</sup> · Emmanuel Appiah<sup>1</sup> · Junhyun Kim<sup>2</sup> · Byungsan Son<sup>2</sup>

### Abstract

The unique properties of aluminum and polymers make them indispensable for a wide range of applications. These materials offer ample opportunities for creating advanced composites that capitalize on their individual strengths. Integrating polymers with metals addresses the challenge of material compatibility, leveraging the distinct advantages of both.

Recently, aluminum laminate films have emerged as preferred packaging materials for pouch-type secondary batteries, comprising aluminum and various polymers bonded together with adhesives. However, adhesive-based bonding often results in a thick layer that can deteriorate over time, leading to decreased bonding strength and susceptibility to external impacts.

Our research focuses on a novel method for directly bonding cast polypropylene (CPP) to 8079 aluminum alloy after surface modification, entirely bypassing the need for adhesives. Pre-treatment of the aluminum surface involved degreasing, alkali, and acid treatments. Through a systematic experimental approach, aluminum substrates were subjected to anodization in H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> solution to introduce varying thicknesses of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> layers, facilitating subsequent bonding with CPP. As the oxide film thickness increased, so did the pore diameter within it. Optimal bonding strength of 21 MPa was achieved with an oxide film thickness of approximately 600 nm, which endured even after a thermal shock test at -20 °C.

Furthermore, the aluminum surface was modified post-anodization with triazine derivatives to further enhance bonding strength. Triazines, owing to their diverse chemical reactivity, show promise in establishing robust molecular-level interactions between metals and polymers. This treatment increased the bonding strength to 31 MPa. Advanced surface characterization techniques including energy-dispersive X-ray

spectroscopy (EDS), scanning electron microscopy (SEM), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), and contact angle measurements were employed to analyze the chemical interactions and physical characteristics at the bonded interface.

By ensuring the retention of the base materials' properties, our comprehensive approach aims to enhance the physical and chemical properties of the interface, facilitating seamless integration into precision manufacturing processes. These findings hold significant potential for advancing composite materials for the next generation, promising impactful applications across various industries.

**Keywords:** *Aluminum Pouch, Molecular bonding, Secondary battery, Environmental resistance*

- 
1. 국립한밭대학교 신소재공학과, 대학원생
  2. 롯데알미늄, 연구원
- # 국립한밭대학교 신소재공학과, 교수, E-mail: jh.kim@hanbat.ac.kr

### 3. 추 모 세 셴

(故)이동녕 교수님 추모세션

( 제 3 발표회장 )



# 비대칭 압연한 알루미늄 합금 판재에서 소성변형비 변화

김인수<sup>1, #</sup> · 故이동녕<sup>2</sup>

## Changes of Plastic strain ratios of Asymmetric Rolled Al alloy sheets

### Abstract

알루미늄 합금 판재는 비중이 낮아 경량소재로 사용되고 있다. 자동차 용 판재에서 경량화를 위하여 알루미늄 판재는 강판의 대체 재료로 관심이 높은 재료이다. 알루미늄 합금 판재는 완전 어닐링 하면 성형성이 낮은 입방(Cube) 집합조직이 발달되기 때문에 판재 성형성이 매우 낮은 이유이다. 자동차 경량화를 위하여 이 문제를 해결해야 한다.

본 연구실에서는 알루미늄 합금 판재에서 입방(Cube) 집합조직을 감소시키는 연구를 했다.

알루미늄 합금의 성형성 향상을 위하여 상온에서 1차 심한 비대칭 압연과 열처리 후에 상온에서 2차 낮은 비대칭 압연 후 열처리하였다.

이 시편을 XRD를 이용하여 극점도를 측정하고 집합조직의 변화를 관찰하였으며 소성변형비값을 계산하여 변화를 관찰하였다.

알루미늄 합금에서 상온에서 심한 비대칭 압연과 열처리 후에 상온에서 낮은 비대칭 압연과 열처리를 통하여 성형성에 영향을 주는  $\langle 111 \rangle$ -fiber 강도 변화를 관찰하였고 소성변형비 변화에 대하여 관찰하였다.

연구결과를 종합하면 상온에서 1차 심한 비대칭 압연 후 열처리한 시편을 상온에서 2차 낮은 비대칭 압연 후 열처리한 시편에서 성형성을 향상시키는 집합조직인  $\langle 111 \rangle$ -fiber 성분의 강도가 증가하여 소성변형비가 증가하는 결과를 얻었다.

**Keywords:** Asymmetric rolling, Pole figure,  $\langle 111 \rangle$ -fiber, plastic strain ratio

### 참고문헌

1. J.-H. Lee, G.-H. Kim, S. K. Nam, I. Kim and D. N. Lee, Calculation of Plastic Strain Ratio of AA1050 Al Alloy Sheet processed by Heavy Asymmetric Rolling-Annealing Followed by Light Rolling-Annealing, Computational Materials Science, 2015, 100, p 45-51
2. S. K. Nam, I. Kim and D. N. Lee, Improvement in Plastic Strain Ratio of AA1050 Al Alloy Sheet by Enhancing The  $\langle 111 \rangle$ -ND Texture Component, Applied Mechanics and Materials, 2016, 835, p 203-209
3. G.-H. Kim, S. K. Nam, D. N. Lee and I. Kim, A process for increasing plastic strain ratio of AA1050 Al alloy sheet, International Journal of Materials and Product Technology, 2017, 54(1/2/3), p 202-211

1. 금오공과대학교 신소재공학부

2. 서울대학교 재료공학부

# 금오공과대학교 신소재공학부, iskim@kumoh.ac.kr

4. D. N. Lee and I. Kim, Asymmetric rolling of aluminum and its advantages, Light Metal Age, 2016, 74(1), p 54-59 and 94

## 제 3의 영역과 공학적 혁신

양동열<sup>1#</sup>

### Third Creative Zone and Engineering Innovation

D. Y. Yang<sup>1#</sup>

#### Abstract

소성가공을 포함하여 금속재료분야에서 창의적이고 실용적인 연구를 오랫동안 해오셨던 이동녕교수님의 연구활동을 보아온 후학의 입장에서 보면 이교수님의 연구들은 소성가공이 불모지였던 시절에 선구적인 연구들과 함께 많은 제자들을 길러내셔서 소성분야에 크나큰 기여를 하신 분입니다. 이동녕교수님의 많은 연구들은 기존에 발표된 연구들과는 달리 새로운 방법으로 공학적인 해결책과 제안들을 해오셨습니다. 특히 기존의 연구분류와는 다른 새로운 길을 개척하신 연구들은 많은 연구자들이 기존연구를 개선하는 연구나 대척적인 방안을 마련하는 것과는 달리 제 3의 대안으로서의 해결책들을 제안하신 것들이 많다고 생각하며 정년이후에도 본인이 확신하는 방법들을 과감하게 제안해 오신 것으로 생각합니다.

차체에 공학적인 혁신을 가져오는 이른바 제3의 영역의 개척이라는 관점에서 제 3의 영역을 정의하고 제 3의 영역을 창출하는 시너지적 방법과 초월적 방법으로 나누어 이를 고찰하고자 합니다. 시너지적 방법은 오늘날의 기술융합시대를 맞아 서로 다른 분야의 계면(Interface)에서 각 분야가 상호 노력함으로써 계면을 새로운 영역으로 확장하여 새로운 공학적 기술혁신을 이루는 것입니다 반면에 초월적 방법에서는 흔히 두 부류로 대변되는 영역들을 떠나 제 3의 영역을 개척하여 전혀 다른 대안적 기술이나 해법을 제안하는 것입니다. 이 발표에서는 구체적인 사례들을 소개함으로써 이러한 개념을 이해함으로써 우리가 어떻게 공학적인 혁신을 이룩할 것인가에 대한 토의를 하고자 합니다.

**Keywords:** Plastic deformation, Engineering innovation, Innovative approach, Technological convergence

1. 한국과학기술원 기계공학과,

# 교신저자: 한국과학기술원 기계공학과, 명예교수, E-mail: dyyang@kaist.ac.kr

# 소성가공에서의 연성파단조건

허 훈<sup>1#</sup>

## Ductile fracture models in plastic forming processes

Hoon Huh<sup>1#</sup>

### Abstract

본 논문은 소성가공 공정에서 발생할 수 있는 연성파단 조건에 관하여 설명하며, 여러가지 연성파단 모델을 소개한다. 연성파단 모델은 각기 소성가공 공정에 따라 수많은 모델이 제안되었으나, 각 모델은 연결되는 공정에서는 파단 예측을 성공적으로 수행할 수 있으나, 제안된 모델과 예측하는 공정에서의 변형거동이 상이할 때에는 파단 예측이 성공적으로 수행되지 않을 수 있다. 이 논문에서는 제안된 여러가지 모델들의 특징을 소개하고, 일반화된 범용성이 있는 연성파단 모델을 소개하며 파단거동을 효과적으로 규명할 수 있는 방법을 설명한다. 또한 재료의 파단거동은 변형률속도에 따라 다른 양상을 보이므로 변형률속도의존 파단거동을 예측할 수 있는 모델을 소개한다.

### Abstract

This paper introduces various fracture models reported together with conditions on the onset of ductile fracture during the plastic forming process. Since ductile fracture models were proposed for related specific plastic forming processes, each model is successful in predicting fracture for corresponding plastic forming processes while some models fail to predict fracture during plastic forming processes which is irrelevant to the model employed. This paper describes the features of various fracture models reported and introduces a versatile ductile fracture model generalized to predict fracture behavior together with methodology of its effective adaptation. In addition, a ductile fracture model is proposed for rate-dependent hardening and fracture behavior since fracture behavior is dependent on the strain rate and shows unexpected behavior at high strain rates.

**Keywords:** Ductile fracture model, High strain rate

---

1. 한국과학기술원 기계공학과,

# 교신저자: 한국과학기술원 기계공학과, 명예교수, E-mail: hhuh@kaist.ac.kr

# FCC와 BCC 금속 재료의 압연 및 소둔 과정에서 발달하는 집합조직의 이해

최시훈#

## Understanding the Evolution of Texture in FCC and BCC Metals during Rolling and Annealing Processes

Shi-Hoon Choi#

### Abstract

이번 발표에서는 냉간 압연 및 소둔 시 FCC 및 BCC 금속 재료에 발달하는 변형 및 재결정 집합조직을 이해한 결과를 공유하고자 한다. 변형 및 소둔 과정에서 집합조직의 발달은 금속의 결정 구조에 따라 매우 상이한 양상을 보이며, 특히 재결정 집합조직은 최종 소재의 이방성 소성 성질에 중요한 영향을 미친다. 이러한 이유로, 재결정 집합조직을 제어하려는 연구는 금속 재료 분야에서 지속적으로 이루어지고 있다. 특히, 구조재료를 생산하는 기업들, 예를 들어 자동차 강판, 전기 강판, 모빌리티용 경량강판을 제조하는 기업 및 연구소에서 재결정 집합조직에 대한 관심은 여전히 뜨겁다. 이러한 기업들은 금속 재료의 성형성과 기계적 특성을 최적화하기 위해 재결정 집합조직의 이해와 제어를 핵심 과제로 삼고 있다. 이번 발표에서는 EBSD를 포함한 첨단 분석 기법을 활용하여, 압연 및 소둔 과정 중 미세조직과 집합조직 변화를 체계적으로 관찰하고 분석한 결과를 공유하고자 한다. 이를 통해 FCC와 BCC 금속에서 변형 집합조직과 재결정 집합조직의 발달 기구를 이해하고, 소재에 따라 어떠한 상이한 거동을 보이는지에 대한 구체적인 정보를 제공하고자 한다. 또한, VPSC/CPFEM 다결정 모델과 MC 모델을 적용하여 변형 및 소둔 과정에서 나타나는 집합조직의 변화를 이론적으로 해석함으로써, 금속 재료의 기계적 특성 및 이방성 거동을 예측하고 제어할 수 있는 방법을 소개하고자 한다. 특히, 이번 발표에서는 고인이 되신 이동녕 선생님과 집합조직 연구와 관련하여 함께 논의하고 공유했던 내용도 소개할 예정이다. 이동녕 선생님은 집합조직 연구 분야에 엄청난 기여를 하신 분으로, 그와의 협력은 본 연구의 발전에 큰 영감을 주었다. 이번 발표에서는 지금까지 심도있게 연구해 온 결과를 공유하고자 하며, 금속 재료의 미세구조 제어 및 기계적 성질 향상에 대한 중요한 기초 데이터를 제공함으로써, 자동차 및 모빌리티 산업을 포함한 구조재료 산업에서 중요한 적용 가능성을 제시하고자 한다.

**Keywords:** Deformation texture, Recrystallization texture, EBSD, Polycrystal models, Monte Carlo simulation

# 비대칭압연의 진화: 등주속이형압연과 벨트압연

정효태<sup>1</sup>

## Evolution of Asymmetric Rolling: Equal Speed Asymmetric Rolling and Belt Rolling

H. T. Jeong<sup>#</sup>

### Abstract

일반적인 압연(Rolling)공정은 판재의 대량생산에 대표적인 제조공정으로 상,하 압연롤의 형상 및 회전속도 등의 공정조건이 대칭적인 대칭압연(Symmetric Rolling)공정입니다. 최근 연구자들은 소재물성의 혁신을 이루기 위하여 전통적인 대칭압연과 다른 비대칭압연 공정을 연구하고 있습니다. 비대칭압연은 상,하 압연롤의 형상, 회전속도, 윤활조건, 온도 등을 다르게 하여 소재 내부에 가해지는 변형을 기존 대칭압연과 다르게 함으로써, 집합조직, 결정립 크기 및 형태 등을 포함한 소재의 미세조직과 물성을 혁신하는 판재 제조공정입니다.

그러나, 많은 연구자들이 연구한 비대칭압연은 혁신적인 판재물성의 개선이 가능함을 확인하였음에도 불구하고, 판재 상,하의 압연속도를 다르게 하는 특성으로 인하여 연속적인 압연이 불가능하여 대량생산기술까지 발전하지는 못하였습니다.

등주속이형압연(Equal Speed Asymmetric Rolling, ESAR)과 벨트압연(Belt Rolling)은 이러한 비대칭압연의 한계점을 극복한 대량생산용 비대칭압연 공정으로, 비대칭압연의 특징을 상,하 압연속도의 차이를 대신하여, 매우 큰 상,하 압연 형상의 차이로 구현함으로써 기존의 비대칭압연보다 월등한 비대칭 특징을 나타내면서도 우수한 대량생산성을 확보하였습니다.

이 발표에서는 등주속이형압연과 벨트압연공정을 적용한 스테인레스, 구리, 리튬 등의 극박압연판재들을 소개하고자 합니다.

**Keywords:** Asymmetric Rolling, Equal Speed Asymmetric Rolling, ESAR, Belt Rolling,

# 강릉원주대 신소재생명화학공학부 교수, ㈜솔룸신소재 대표이사

E-mail: htjeong@gwnu.ac.kr, htjeong@solum-materials.com

# 전기도금 구리 박막의 미세조직에 따른 1축 인장변형 거동

박 현<sup>1</sup>· 김정한<sup>1</sup>· 이효종<sup>#</sup>

## Uniaxial Tensile Deformation Behavior according to Microstructure of Electrodeposited Cu Thin Film

H. Park, J. H. Kim, H.-J. Lee

### Abstract

전기도금 기술을 이용하여 제조되는 독립형 (free-standing) 구리 박막 또는 동박은 리튬-이온 이차전지의 양극 집전체 물질로 사용된다. 그런데, 지속적인 고에너지 밀도 이차전지의 요구로 인해 동박 집전체의 두께는 급격히 감소하고 있으며, 이로 인한 동박의 기계적 물성 저하가 이차전지 제조과정 또는 사용 중 불량 발생에 불리하게 작용할 것으로 우려하고 있다. 이에 본 연구에서는, 동박의 두께 및 미세조직과 기계적 물성 간의 관계를 규명하고, 이를 바탕으로 고 강도 또는 고 연신율 동박을 제조하기 위한 전기도금 기술을 개발하고자 하였다. 이를 위해, 도금 용액에 포함되는 첨가제를 조절하여 상이한 미세조직을 가지는 도금층을 안정한 산화물 피막이 존재하는 기판 위에 형성하였고, 이들을 기판에서 분리하여 독립형 박막을 얻었다. 이들 박막 중 일부는 이차전지의 제조 과정 중 구리 박막 집전체가 겪게 될 것으로 예상하는 열하중 하에서 어닐링되었다. 도금 후 또는 어닐링 후 박막의 1축 인장변형 거동 특성을 인장강도와 연신율의 두 지표를 이용하여 분석하였고, 인장변형된 시편의 미세조직을 주사전자현미경 또는 투과전자현미경에 기반한 결정방위 매핑 기술을 이용하여 측정하였다. 또한, 결정소성 유한요소법을 이용하여 구리 박막의 결정학적 특징에 따른 인장시험 시 국부적인 변형 거동을 해석하였다. 그 결과, 구리 박막의 기계적 물성, 특히 연신율이, 결정립의 크기만이 아닌, 결정립의 크기와 형상에 의해 결정되는 두께 방향으로 존재하는 결정립들의 수에 영향을 받으며, <100> 결정방위가 박막성장방향 및 인장방향과 동시에 평행한 집합조직이 발달할 때 인장변형 시 국부적인 소성변형 불균일성을 억제할 수 있을 것으로 예상할 수 있었다.

**Keywords:** Electrodeposition, Cu Thin Film, Tensile Deformation, Microstructure, Texture

1. 동아대학교 신소재공학과

# 동아대학교 신소재공학과, 교수, hyojong@dau.ac.kr

# 결합 동역학 모델을 활용한 나노 구조화된 금속의 소성 변형의 이해

C. P. Nguyen<sup>1</sup>, 이승준<sup>2</sup>, 류 일<sup>1,3</sup>

## Mesoscale Defect Dynamics Model for Plasticity in Nano-Architected Metals

C. P. Nguyen<sup>1</sup>, S. Lee<sup>2</sup>, I. Ryu<sup>1,3</sup>

### Abstract

Nano-architected metals can exploit the combination of resilient architecture with size-dependent enhanced properties at nanoscale to achieve exceptional mechanical performance. To obtain a mechanistic understanding of plastic deformation in these materials requires an integrated computational model which can capture the relation between the dislocation microstructure characteristics and the macroscopic mechanical response. Recently, we have developed a mesoscale defect dynamics model to concurrently couple dislocation dynamics (DD) modeling with finite element method (FEM). The DD simulation could keep track of dynamic motion of dislocations and computer the accompanying plastic strain, while FEM simulation solves for the stress field to satisfy the equilibrium condition. By integrating these, our model could provide a unique opportunity to investigate fundamental deformation mechanism based on dislocation plasticity and corresponding macroscopic mechanical response. In this study, mechanical response in nano-architected metals has been explored both macroscopic properties and microscopic defect mechanisms. The model shows architected structures could exhibit increasing strength with decreasing unit cell size, which agrees with experimental observations.

**Keywords:** Nano-architected metals, Dislocation Dynamics, Finite Element Method, Crystalline Defects.

- 
1. Mechanical Engineering, The University of Texas at Dallas, Ph. D
  2. Mathematics and Statistics, California State University Long Beach, Professor
  3. 서울대학교, 재료공학부, 조교수  
# 서울대학교, 재료공학부, 교수, E-mail: ryuill@snu.ac.kr

# 변형 에너지 방출 최대화 모델을 활용한 철강 소재 재결정 집합조직 예측

민경문<sup>#</sup>, 이명규<sup>1</sup>, 한흥남<sup>1</sup>

## Application of strain energy release maximization model for prediction of recrystallization texture in steels

K. M. Min, M. -G. Lee, H. N. Han

### Abstract

본 연구에서는 철강 소재의 정적 재결정 중 발현하는 집합조직을 변형 에너지 방출 최대화 (strain energy release maximization, SERM) 모델을 활용하여 예측하였다. 통상적인 강판 제조 공정을 반영하기 위해, 열연 강판을 냉간 압연 후 열처리하여 정적 재결정을 유도하였다. 이 과정을 수치적으로 재현하기 위해 냉간 압연과 열처리 모사에는 각각 결정 소성 유한 요소 모델 (crystal plasticity finite element model, CPFEM)과 상장 모델(phase field model, PFM)을 활용하였다. SERM 모델은 CPFEM 예측 결과를 바탕으로, 기계적 하중이 가해진 상태에서 다수의 슬립 활성화도(slip activity)를 고려할 수 있도록 일반화되어 PFM에 구현되었다. 이렇게 일반화된 SERM 모델은 극저탄소강과 방향성 전기강판의 재결정 집합조직 예측에 적용되었으며, 실험 결과와 비교하여 검증되었다.

**Keywords:** Texture, Recrystallization, Crystal plasticity, Phase field

<sup>#</sup> 한국재료연구원 재료공정연구본부, 선임, E-mail: kmmin@snu.ac.kr

<sup>1</sup> 서울대학교 재료공학부, 교수



## 4. 특 별 세 션 2

디지털 이미지 상관기법(DIC)  
활용기술 심포지엄

( 제 4 발표회장 )

# 디지털 이미지 연관기법 기반 티타늄 합금의 고온 인장물성 평가

김민기<sup>#</sup> · 채유진<sup>1</sup>

## Evaluation of Tensile Properties at High Temperature of Titanium Alloys Based on Digital Image Correlation Method

M. Kim and Y. Chae

### Abstract

This study deals with evaluation of tensile properties of titanium alloy sheets at high temperatures based on the digital image correlation (DIC) method. A high speed/high temperature testing machine, the Gleeble 3500 system, was utilized to conduct tensile tests at high temperatures. Tensile specimens were prepared along the rolling direction (RD), diagonal direction (DD), and transverse direction (TD). Uniaxial tensile tests were carried out at various temperatures ranging from the room temperature (RT) to 1200 °C. To control the Joule heating system in the Gleeble machine, thermocouples were attached to each specimen. It allows to confirm the temperature history during the entire test. A DIC system was utilized to measure the strain data which are synchronized with the load data from the machine. The hardening behavior and the  $r$ -value were evaluated at various temperature. The high temperature properties were totally different from that at the RT. At 900 °C, the elongation increases due to the microstructural changes in terms of the phase in the titanium alloys.

**Keywords:** Digital Image Correlation (DIC), Titanium Alloy, High Temperature, Material Property, Tension

### Acknowledgement

This work was supported by the funding grant by the Korea Institute of Industrial Technology (KITECH) (No. KITECH UR-24-0008).

---

1. 한국생산기술연구원 유연생산연구부, 학생연구원  
# 한국생산기술연구원 유연생산연구부, 선임연구원, E-mail: mkim@kitech.re.kr

# DIC를 이용한 인장시험의 불균일 변형 구간의 진응력-변형을 선도 도출

임지호<sup>1.#</sup>, 이해아<sup>2</sup>, 최지식<sup>3</sup>

## Derivation of True Stress-Strain Curve using DIC in Non-uniformly Deformed Region of Tensile Test

Jiho Lim<sup>1.#</sup>, Haea Lee<sup>2</sup>, Jisik Choi<sup>3</sup>

### Abstract

인장시험은 재료의 물성을 측정하는 시험으로서 항복응력, 인장강도, 연신율과 같은 기본 물성과 해석에 사용되는 진응력-변형을 선도를 구할 수 있다. 진응력-변형을 선도는 공칭응력과 진응력의 관계식으로 계산하는데, 넥킹, 전단밴드와 같이 불균일하게 변형이 발생하면 연신계와 로드셀에서 측정된 변형율과 하중으로 진응력-변형을 선도를 계산할 수 없다. 넥킹 이후의 대변형에 대한 재료의 거동을 해석에서 모사해야 하기 때문에 넥킹 이전 데이터로 구한 물성 모델에 의한 외삽, 벌지시험에 구한 인장선도의 등가 소성일에 의한 변환, 폭 방향으로 균일 변형을 가정하고 DIC로 변형율을 측정하는 방법 등으로 진응력-변형을 선도를 구하여 사용하였다. 그러나, 기존의 방법들은 실제 측정 데이터를 사용하지 않고 가정에 의하여 응력선도를 계산하거나 폭 방향으로 불균일하게 변형하는 경우에 사용할 수 없는 한계가 있다.

본 논문에서는 DIC로 측정된 국소 부위의 변형율로 계산된 인장 방향의 국소 하중의 합이 시험기의 하중계에서 측정된 하중과 같아지도록 진응력-변형을 선도의 응력을 조정하여 구하는 DIC inverse method를 개발하였다. DIC inverse method는 시편의 임의의 단면에서 국소 하중을 계산하므로 시편의 폭 방향으로 변형이 불균일하여도 사용할 수 있다. 본 논문에서는 인장시험의 넥킹 이후 영역과 예변형 후 소부한 시편에서 많이 발생하는 전단밴드 변형에 DIC inverse method를 적용하여 진응력-변형을 선도를 도출하였다.

**Keywords:** DIC Inverse Method, CAE Inverse method, Stress-Strain Curve, Digital Image Correlation (DIC), Shear Band

1, 2, 3. 포스코 철강솔루션연구소 성형연구그룹, 수석연구원

# 포스코 철강솔루션연구소 성형연구그룹, 수석연구원, E-mail: jiholim@posco.com

# 가상필즈법(VFM): DIC 측정 변형장을 활용한 기계적 물성의 역해석 측정

김찬양<sup>1, #</sup>

## The Virtual Fields Method (VFM): Inverse Estimation of Mechanical Properties Using DIC Deformation Fields

C. Y. Kim

### Abstract

재료의 기계적 물성을 평가하기 위하여 통상적으로 표준 규격 일축 인장 시험, 압축시험 등 균일변형 및 단축 응력 인가 조건의 시험이 널리 활용된다. 이러한 시험법은 단순하고 정확하나, 복잡한 기계적 거동을 평가하기 위해서는 한계가 있다. 특히 이러한 기존 시험법에서 변형 측정에는 주로 기계식 또는 비접촉식 신율계나 스트레인 게이지를 사용하는데, 이는 시편에 인가된 복잡한 변형 거동 측정이 어렵다. 반면 DIC는 시편 표면의 관심영역 내 변형율장을 측정할 수 있어, 변형율장 측정치가 주는 풍부한 기계적 거동 정보를 정량적으로 활용한다면 통상적인 기계적 물성 평가법의 한계를 극복할 수 있다. VFM(virtual fields method, 가상필즈법)은 DIC 측정치를 활용하는 역해석 측정법 중 하나로서, 유한요소해석과 같은 평형 지배 방정식인 가상일의 원리에 기초한다. 유한요소해석은 재료의 기계적 거동인 구성방정식과 그 상수, 그리고 경계조건 입력인자로 활용하여 소재의 기계적 거동을 출력 값으로 예측한다. 반면 VFM은 소재의 기계적 거동은 실험을 통해 측정된 DIC 측정치와 하중이력을 입력 값으로 활용하여, 역학적 평형을 따르는 소재의 구성방정식 상수를 출력 값으로 도출함으로써 역해석적으로 소재의 기계적 물성을 측정한다. 이러한 VFM의 정확도를 향상시키고 수치해석 시 컴퓨터 계산 효율성을 높이기 위해 변위의 고차유한요소 맵핑과 가우스 구적법을 적용한 FE-VFM(finite element based virtual fields method)이 개발되었다. 또한 VFM을 활용하여 CFRP의 직교이방성 탄성계수(총 4개)를 단번의 실험으로 찾는 응용 연구가 진행되었으며, 1.5 GPa 급 초고장력강의 균일연신율 이후 경화 거동 측정연구가 진행되었다. 더불어 FSW로 용접된 알루미늄 합금 판재의 비균질 경화 거동 측정, 박판 판재의 파단 거동 평가 등에도 활용되었다.

**Keywords:** Digital Image Correlation, Virtual Fields Method, Inverse Optimization, Constitutive Parameter Identification

1. 국립군산대학교 신소재공학과, 조교수

# E-mail: choiceky@gmail.com

## 초고장력강 수소취성 예측 전산모사 해석기술개발

정승필<sup>1</sup>, 김기정<sup>1</sup>, 김혜진<sup>1</sup>, 신희권<sup>1</sup>, 이동열<sup>1</sup>, 현주식<sup>1</sup>, 신건진<sup>2</sup>, 박진흥<sup>2</sup>, 이명규<sup>#</sup>

### Development of Computational Simulation Analysis Technology for Predicting Hydrogen Embrittlement in High Strength Steel

S.P. Jung, K.J. Kim, H.J. Kim, H.G. Shin, D.Y. Lee, J.S. Hyun, G.J. Shin, J.H. Park, M.G. Lee

#### Abstract

최근 환경 규제 및 자동차 충돌 규제가 강화됨에 따라 초고강도강 수요가 증가하고 있다. 하지만, 철강의 강도가 증가하면 소량의 수소에 의해서도 급격하게 파단이 발생하는 수소취성이 문제가 될 수 있다. 초고강도강의 수소취성 민감도 및 부품 적용 시, 안정성을 예측하기 위해 다양한 평가 기술들이 연구가 되고 있다. 하지만, 다양한 컨셉의 초고강도강이 자동차 부품에 적용하여 사용되는 환경에서의 수소 유입량, 응력, 미세조직을 모두 고려하여 수소취성 특성을 예측하기란 쉽지 않다.

초고강도강의 수소취성 특성을 정확히 예측하기 위해서는 전산모사 기법을 통하여 수소 유입량, 응력, 미세조직을 고려한 전산모사 예측 기법이 필요하다. 기존 성형해석의 경우, 기계적 물성 기반의 성형한계도를 바탕으로 파단 평가를 진행해 왔다. 하지만, 수소취성 특성을 예측하기 위해서는 수소 유입, 확산 등을 고려한 해석이 이루어져야 할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 수소 유입 및 확산 거동을 포함한 성형 해석 기법을 개발하고자 하였다. 이를 위해 연성 파단 모델인 Hosford Coulomb model에 수소 농도에 따른 성형한계도를 활용하였다. 수소 유입량에 따른 성형한계도를 파악하기 위해서는 수소 농도별 stress triaxiality를 측정해야 한다. 수소 농도별 stress triaxiality를 분석하기 위해 수소 유입량에 따라 4가지 유형의 시편(Notched tensile, Central hole, plan strain, Central hole, shear mode)을 제작하여 저속 인장 시험을 수행하였다. 이때, DIC 분석 통해 국부적인 파단 변형율을 측정하여 측정 정확도를 향상시켰다.

결과적으로 기존 성형해석 기법 대비 수소 확산을 반영한 모델의 경우, 실 부품에서 발생하는 수소취성 특성을 기존 성형 해석 모델 대비 잘 예측하는 것을 확인하였다.

**Keywords:** hydrogen embrittlement, computational simulation, FEM

1. 현대제철 R&D center

2#. 서울대학교 Materials Science & Engineering

## 5. 특 별 세 션 14 / 특 별 세 션 5

열처리/유도가열 해석의 이해 및 응용

최신 플라스틱 가공 / 성형기술

( 제 5 발표회장 )

# 물성 계산 소프트웨어를 활용한 열처리 공정 시뮬레이션

강경필<sup>1, #</sup>

## Heat Treatment Process Simulation Using Material Property Calculation Software

G. P. Kang

### Abstract

열처리, 주조, 용접, 열간성형 등의 공정 시뮬레이션을 위해서는 공정변수와 함께 해당 소재의 물성거동을 표현할 수 있는 해석용 물성을 확보하는 것이 매우 중요하다. 이러한 물성은 고온에서의 기계적 강도, 밀도변화, 탄성물성, 열물성, 상변태 물성 등을 포함할 수 있다. 하지만 이러한 해석용 물성들을 실험에 의해 모두 구하는 것은 시간/비용상 비효율적이고, 장비 섭외의 제한도 따를 수 있다. 논문 검색이나 공정 시뮬레이션 소프트웨어에서 제공하는 물성을 사용하는 경우에도, 필요한 모든 물성을 포함하지 않는 경우가 많으며, 합금 성분에 민감한 물성의 경우에는 실제 소재의 물성과 차이를 가져, 해석 결과의 신뢰도에도 문제가 발생할 수 있다. 근래에는 JMatPro와 같은 물성계산소프트웨어가 개발되어 공정해석을 위한 물성을 일관성 있게 제공함으로써, 해석을 수행하는 엔지니어는 시작단계에서 큰 도움을 얻을 수 있게 되었다. 여기에서는 금형소재의 웬칭시 변형거동 해석, 니켈합금의 열처리 과정에서 응력풀림 해석, 핫스탬핑 공정 해석, 유도가열 공정 해석과 쌍롤박판공정해석에 필요한 물성 확보에 활용된 사례들을 소개하고자 한다.

**Keywords:** JMatPro, Simulation, Heat Treatment, Quenching, Stress Relief

1. ㈜솔루션랩, 해석기술연구소, 연구소장

# Corresponding Author: Solution Lab,

E-mail: kkpil@solution-lab.co.kr

## 압출용 금형강의 고온강도 향상을 위한 열처리 조건 연구

신영철<sup>1, #</sup>, 강경필<sup>2</sup>

### A Study on the Heat Treatment Conditions for the Improvement of High Temperature Strength of Extrusion die Steel

Y. C. Shin, K. P. Kang

#### Abstract

Aluminum alloys are extensively utilized in heat sink components due to their low specific gravity, excellent thermal conductivity, corrosion resistance, and formability. Recently, with the rising demand for part weight reduction and the need to enhance functionality, such as improved corrosion resistance, the use of alloying elements has been increasing. However, the addition of alloying elements generally reduces the formability of aluminum alloys, leading to higher forming loads during extrusion and greater wear on the dies, which ultimately shortens their lifespan. To address this, it is essential to develop die materials that can maintain strength at elevated temperatures and surface coating technologies that offer high wear resistance. This study focuses on selecting die steel suitable for use in high-temperature environments above 560°C and under conditions of high tensile force. After that, heat treatment conditions are optimized to ensure the material provides sufficient strength for the extrusion of microchannel heat sink using JMatPro software.

**Keywords:** Hot Extrusion, Die Steel, Heat Treatment Simulation, Quenching, Tempering, Heat Sink

---

1. 한국생산기술연구원, 수석연구원

2. ㈜솔루션랩, 부장

# 한국생산기술연구원, 유연생산연구부문, 수석연구원, E-mail: ycshin@kitech.re.kr



# 플라스틱 미세유체 칩 대량 제조를 위한 초음파 용착에 관한 연구

유영은<sup>1#</sup>, 진재호<sup>2</sup>, 이상원<sup>3</sup>, 권오동<sup>4</sup>, 이경훈<sup>5</sup>

## A Study on Ultra-sonic Welding for Mass Production of Plastic Micro-fluidic Chip

Y. -E. Yoo, J. H. Jin, S. W. Woo, O. D. Kwon, K. H. Lee

### Abstract

극미량의 시료를 이용한 정밀한 분석이나 진단, 반응 등을 위하여 다양한 구조 및 기능의 미세유체 칩에 대한 연구가 광범위하게 진행되었으며, 이를 통하여 우수한 기능 및 성능이 확인되고 있다. 미세유체 칩에 대한 연구는 미세유로를 간단하게 반복적으로 복제하여 제작할 수 있으며, 유로를 따라 흐르는 유체가 누출되지 않도록 용이하게 미세유로를 밀폐할 수 있는 PDMS 캐스팅 공정 개발을 계기로 비약적으로 발전하게 되었다. 그러나, PDMS 미세유체 칩 및 이를 위한 공정은 양산에 적용하기는 매우 어려워, 양산이 가능한 미세유체 칩 및 이의 제조공정 기술 개발이 실용화에 필수적이다. 열가소성 플라스틱 및 이를 이용한 사출성형 공정은 이에 매우 적합한 기술 중의 하나이다. 열가소성 플라스틱 미세유체 칩의 개발을 위해서는 미세유로 등 미세한 구조를 정밀하게 성형할 수 있는 금형 및 사출성형 공정 기술과 함께 성형된 미세유로를 변형없이 정밀하게 밀폐하는 용착이나 접착 구조 및 공정기술이 요구된다.

본 연구에서는 플라스틱 미세유체 칩 제조를 위하여 생산성 및 접합 특성이 우수한 초음파 용착 공정 적용을 위한 용착 구조 설계 및 용착 공정 기술을 개발하였다. 이 과정에서 미세유로의 변형, 용액 누출, 편차 등 공정 과정에서의 주요 문제 해결을 위하여 초음파 용착 공정 중 금형에 대한 응력 특성을 측정 분석함으로써 주요 문제 발생 원인 분석 및 공정 최적화를 추진하였다.

**Keywords:** Plastic Micro-fluidic chip, Injection molding, Micro-channel sealing, Ultra-sonic welding, Piezo-bolt sensor,

1. 한국기계연구원 나노리소그래피 센터, 책임연구원

2. (주) 네오나노텍, 주임연구원

3. (주) 우영솔루션, 대표이사

4. 솔루션랩, 해석기술연구소, 대리

5. 솔루션랩, 대표이사

# 한국기계연구원 나노리소그래피 센터, 책임연구원, E-mail: yeyoo@kimm.re.kr

# 다중소재 적용을 위한 금속과 플라스틱의 인서트 몰딩에 관한 연구

이현동<sup>1</sup>·이성혁<sup>1</sup>·정경환<sup>2</sup>·유혜진<sup>2</sup>·류민영<sup>#</sup>

## A Study on the Insert Molding of Metal and Plastic for Multi-Material Application

H. D. Lee<sup>1</sup>, S. H. Lee<sup>1</sup>, K-H Chung<sup>2</sup>, H.-J. Yoo<sup>2</sup>, and M.-Y. Lyu<sup>#</sup>

### Abstract

제품의 무게 감소를 위한 연구가 다방면으로 시도되고 있다. 플라스틱 소재에서는 내부에 폼을 도입하여 밀도를 낮춰서 비강성을 높이는 연구가 있다. 금속의 경우 소재의 비강성을 증가시켜 무게를 감소시키는데 한계가 있어 플라스틱과 함께 사용할 수 있는 하이브리드 시스템이 강점을 보인다. 이처럼 금속과 플라스틱을 이용한 다중 소재를 실현하기 위해서는 금속과 플라스틱의 접합이 필수적이다. 본 연구에서는 인서트 몰딩을 통하여 금속과 플라스틱을 접합하고 접합 강도를 측정하였다. 금속과 플라스틱의 접합력을 향상시키기 위해 금속 표면을 여러가지 형상으로 가공하여 인서트 몰딩 시편을 제작하였다. 또한 금속 표면에 니켈 도금을 하면서 마이크로 입자를 첨가하여 불규칙한 표면상태를 제작하였다. 입자의 크기와 도금의 높이를 조절하여 다양한 표면 상태를 얻었다. 물리적인 방법 외에 화학적인 방법으로, 금속표면을 코팅하여 인서트 몰딩으로 시편을 제작하였다. 인서트 몰딩의 성형조건에 따라 다양한 접착강도를 보였다. 표면을 음각으로 가공하는 방법 보다는 마이크로 입자를 이용하여 도금처리한 경우에 접합강도가 크게 향상되었다. 입자의 크기 및 도금의 높이에 따라 다양한 접합강도를 보였다.

**Keywords:** Metal-plastic Hybrid, Metal Insert Molding, Adhesive Strength, Surface Treatment, Plating, Coating

이 논문은 정부(과학기술정보통신부-경찰청)의 재원으로 과학기술사업화진흥원(과학치안 공공연구성과실용화 촉진 시범사업)의 지원을 받아 수행된 연구임(No.RS-2023-00282316).

1. 서울과학기술대학교, 기계시스템디자인공학과

2. POSCO

# 서울과학기술대학교, 기계시스템디자인공학과, 교수, E-mail: mylyu@seoultech.ac.kr

# 유한요소 기반 파라미터를 활용한 AI 가속 사출성형 시뮬레이션에 대한 연구

이준한<sup>1</sup> · 김종선<sup>2, #</sup>

## A study on AI-accelerated injection molding simulation using finite element-based parameters

J. H. Lee, J. S. Kim

### Abstract

사출성형은 수지 온도, 금형 온도 사출 속도, 보압 크기 등의 공정조건에 의해서 성형 중 재료의 거동과 상태가 결정되며 해당변수들은 제품의 품질에 영향을 미친다. 최근에는 공정변수들과 성형결과에 대한 관계를 생산 전에 분석하고 공정을 최적화하고자 CAE(computer-aided engineering) 기술이 많이 사용되고 있다. 그러나 CAE 기술은 해석 과정에서 많은 가정이 포함되어 있으면서도 사출성형 예측에 상당한 계산시간이 소요되는 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 성형제품의 유한요소에 기반한 파라미터들을 활용하여 사출성형해석을 인공지능 기술로 가속화하는 과정을 수행하였다. 사출성형해석에 사용되는 6가지 공정조건(수지온도, 금형온도, 사출속도, 보압크기, 보압시간, 냉각시간) 외에 유한요소에 기반한 성형제품의 형상정보를 파라미터로 추출하여 입력 파라미터로 사용하였다. 연구에는 기본적인 그릇 형상에서 높이와 직경의 비율이 서로 다른 다수의 제품을 사용하였으며 각각의 제품 모델에서 유한요소를 활용하여 학습에 필요한 특징들을 추출하였다. 이에 기반하여 사출성형해석에서 용융 수지가 제품을 충전하는 과정 중 유한요소들의 특성 변화를 인공신경망에 반영하여 예측할 수 있도록 모델을 구축하여 사출성형해석을 가속화하였으며 짧은 시간에 사출성형해석의 충전 패턴(fill pattern)을 CAE 기술과 유사한 수준으로 도출하는 것을 확인하였다.

**Keywords:** Injection Molding, Simulation, Artificial Intelligence, Finite Elements, Process Prediction

**Acknowledgements:** This research is supported by the project (No. 00140364, SE240060) and the project (IR230090).

1. 한국생산기술연구원 디지털생산부문, 박사후연구원(포스트닥터)

2. 한국생산기술연구원 디지털생산부문, 수석연구원

# 한국생산기술연구원 디지털생산부문, 수석연구원, E-mail: libra74@kitech.re.kr

# 베이지안 최적화 3D 프린팅 기반 전기화학용 전극 제작

류원형<sup>1</sup>#

## 3D Printing of Electrochemical Electrodes by Bayesian Optimization

W. Ryu

### Abstract

For electrochemical energy storage systems such as batteries or energy conversion in photoelectrochemical systems, achieving high energy and power densities of the energy systems is one of the most critical challenges. To increase the surface area or sites for electrochemical reactions for a given volume, various electrode structures have been developed such as foams, fibrous, and porous structures with electrochemically active materials. More recently, 3D printing technology has been extensively utilized as both anodes and cathodes for photoelectrochemical and battery systems. While the reported works demonstrated impressive improvements with 3D printing, their results were produced by performing rather simple change of a few operation or material parameters. The Bayesian optimization, a probabilistic model-based optimization technique, can systematically explore and exploit the complex, high-dimensional parameter space of 3D printing processes. In this work, use of the Bayesian optimization to construct 3D electrodes for bio-photoelectrochemical systems will be presented. We aim to create bio-photosynthetic anode that is 3D printed with a composite ink of thylakoid membranes (TMs), PEDOT:PSS, and carbon black (CB). Both the composite ink properties and operation parameters of 3D printing are optimized to increase photocurrent density and printing pattern resolution. The talk will guide each step of the optimization while explaining how the Bayesian optimization explores and exploits each parameter to maximize the multiple objectives of the printing pattern fidelity and photocurrent outputs.

**Keywords:** 3D printing, Electrochemistry, Electrodes, Bayesian optimization, Photosynthesis

---

1. 연세대학교 기계공학과, 교수

# 연세대학교, 기계공학과, 교수, E-mail: whryu@yonsei.ac.kr

## 고탄소 고분자 소재의 열분해 공정에 기반한 고온 내구성 탄소몰드 개발

김영규<sup>1</sup>, Muzahir Ali<sup>2</sup>, 김주완<sup>2</sup>, 석수연<sup>2</sup>, 이종호<sup>2</sup>, 이성민<sup>2</sup>, Tasadduq Hussain<sup>2</sup>, 김석민<sup>#</sup>

### Development of High Temperature Durable Carbon Mold by Pyrolysis of High Carbon Yield Polymer Material

Y.K. Kim, M. Ali, J.W. Kim, S.Y. Seok, J.H. Lee, S.M. Lee, T. Hussain, S.M. Kim

#### Abstract

본 연구에서는 유리 및 금속 소재의 고온 성형 공정을 통해 나노/마이크로/메트로 형상의 구조를 유리 및 금속 표면에 형성하는 기술을 소개한다. 높은 생산성을 갖는 유리 및 금속의 성형은 매우 높은 온도에서 수행되기 때문에, 이러한 공정에 사용되는 몰드는 고온에서 변형되지 않고 정밀한 패턴을 유지할 수 있는 내구성을 가져야 한다. 고탄소 고분자 소재인 퓨란수지를 이용한 복제 공정을 통해 나노/마이크로/메트로 형상의 구조를 갖는 전구체를 제작하고 제작된 전구체의 열분해 공정을 통해 고온 내구성 탄소 몰드를 제작하였다. 초기 마스터 패턴은 반도체 공정 및 초정밀 기계가공 등을 활용하여 제작되었으며, 마스터패턴을 PDMS(폴리디메틸실록산)로 복제하여 유연 몰드를 제작한 뒤 유연몰드 상에 액상 고탄소 고분자인 퓨란(Furan) 수지를 붓고 열경화 공정을 통해 퓨란 전구체를 제작하였다. 열경화된 퓨란 전구체는 이후 진공 상태에서 1000°C까지 가열하여 탄화 공정을 거쳐 비정질 탄소 몰드를 형성하였다. 이 과정에서 약 24%의 선형 수축이 발생하지만, 몰드 표면에 마스터와 동일한 형상의 구조가 정밀하게 형성된다. 제작된 비정질 탄소 몰드를 활용하여 고온 유리성형을 통해 마이크로 유체채널, 나노그레이팅, 마이크로렌즈어레이, 웨이퍼스케일 비구면 렌즈 어레이 등의 다양한 광학/바이오 소자의 구현에 응용하였으며, 고온 금속성형을 통해 비등열전달향상 및 빙결 방지 기능성 표면을 구현하였다.

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학협력 선도대학 육성사업 (LINC 3.0) 의 연구결과입니다.

**Keywords:** High Carbon Polymer, Pyrolysis, Vitreous Carbon, Glass molding, Metal Forming

1. 중앙대학교 빅데이터혁신인재양성사업단, 연구교수

2. 중앙대학교 기계공학과, 대학원생

# 중앙대학교 기계공학부, 교수, E-mail: smkim@cau.ac.kr

# 플라스틱 적층제조 기반 4D프린팅의 반복정밀도 향상 연구

박 근#

## Improvement on Shape Accuracy and Repeatability of 4D Printing Based on Polymer Additive Manufacturing

Keun Park

### Abstract

4D printing is an advanced extension of 3D printing that introduces shape transformation over time. Various 4D printing methods have been developed using shape memory materials or multi-material structures to achieve these transformations. However, for practical applications, two major challenges need to be addressed: (i) ensuring that manufacturing costs are competitive and (ii) achieving high dimensional accuracy and repeatability in the shape transformations. To address the cost challenge, this study proposes an efficient 4D printing method using a fused filament fabrication (FFF) type 3D printer and a single thermoplastic polymer (ABS) without shape memory properties. Shape transformation in this single material is achieved by designing printing paths that introduce intentional anisotropy, leading to bending deformation in response to thermal stimuli. To ensure high dimensional accuracy and repeatability, the 4D printing method incorporates a geometric constraint during the process. The dimensional accuracy and repeatability of the constrained and unconstrained thermal deformations were compared. The proposed 4D printing method was then successfully applied to various shape transformations, including (i) localized bending for self-assembly functions, (ii) in situ assembly of composite frame–membrane structures, and (iii) the fabrication of molded interconnect devices (MID) with curved shapes.

**Keywords:** 4D printing, Additive manufacturing, Fused filament fabrication, Thermoplastic filament.

**후기:** 이 논문은 과학기술정보통신부(한국연구재단)의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2024-00333936).

## 6. 특별 세션 15 / 일반 논문 발표

선박 혼소엔진용 1.15Gpa 이상급 배기밸브  
스핀들, 유닛 제조 기술 심포지엄

박관성형

복합재료 가공

( 제 6 발표회장 )

# 선박 혼소엔진용 내열합금 배기밸브 스피들 부품 제조 기술 개발

신재우<sup>1#</sup>, 조재현<sup>2</sup>

## Development of technology for manufacturing heat-resistant alloy exhaust valve spindle parts for ship engine

J.W. Shin, J.H. Cho.

### Abstract

Since the Industrial Revolution, climate change has led the international community to impose carbon regulations across various industries to achieve carbon neutrality. In the case of shipping, fuel changes in marine engines and the resulting changes in combustion conditions have begun in response to carbon emission restrictions. Ni-Cr-Al-based materials, which exhibit superior high-temperature corrosion resistance and hardness compared to traditional heat-resistant steels such as Dura and Nimonic80A, have been developed and are now being used for marine engine exhaust valve spindles.

Due to the high chromium content (38%) of Ni-Cr-Al materials, hot plastic working is difficult, and a heat treatment process is required to suppress brittleness. As these materials are currently dependent on imports, there is a need to develop technologies for producing Ni-Cr-Al materials domestically. This includes developing technologies for manufacturing exhaust valve spindles, such as hot plastic working, friction welding, and spindle repair welding. To verify these technologies, testing will be conducted on demonstration engines, along with wear and corrosion tests based on fuel changes (e.g., methanol and LNG)

**Keywords:** Valve spindle, Ni-Cr-Al, Ship engine, Ni Base Alloy,

---

1. 케이에스피, 기술연구소

2. 케이에스피, 기술연구소

# 케이에스피, 기술연구소, 연구소장, jwshin@kspvalve.com



# Metal-Polymer-Metal 판재 성형 공정에서의 주름 방지 방법

김재훈<sup>1</sup> · 최연택<sup>1</sup> · 김래연<sup>2</sup> · 구강희<sup>1</sup> · 권지혜<sup>1</sup> · 서민홍<sup>3</sup> · 김형섭<sup>4,#</sup>

## Prevention of Wrinkling in Metal-Polymer-Metal Laminates during Sheet Forming Process

J. H. Kim, R. E. Kim, G. H. Gu, Y. T. Choi, J. A. Lee, H. S. Kim

### Abstract

Metal-Polymer-Metal (MPM) 판재는 저렴한 비용과 조절 가능한 물리적 특성으로 인해, 높은 기계적 강도가 요구되지 않는 구조물의 경량화에 유망한 소재로 떠오르고 있다. 이는 금속의 강도와 폴리머의 유연성을 결합하여 두께를 조절함으로써 적절한 강도와 낮은 밀도를 동시에 구현할 수 있다는 이점이 있다. 하지만 성형성에 대한 연구가 미흡하여, 이를 상업적으로 활용하는 데에는 한계가 있는 상황이다. 특히, 기계적 물성이 약한 polymer로 인해 wrinkling이 빈번하게 발생하며 최종 제품의 품질에 큰 악영향을 끼치므로 방지하는 것이 중요하다. 일반적으로 wrinkling은 높은 blank holding force (BHF)를 적용하여 방지할 수 있으나, MPM 판재는 높은 BHF를 가해도 wrinkling이 발생하는 경향이 있다. 본 연구에서는 deep drawing 공정 중 MPM 판재에 발생하는 wrinkling의 원인을 실험과 유한요소해석을 통해 파악하고 이를 방지할 수 있는 방안을 제시한다.

**Keywords:** Metal-Polymer-Metal Laminates, Wrinkling, Deep Drawing, FEM Simulation

- 포항공과대학교 신소재공학과, 대학원생
- 포항공과대학교 친환경소재대학원, 대학원생
- 포스코 기술연구원, 수석연구원
- 포항공과대학교 친환경소재대학원, 교수

# 교신저자: 포항공과대학교 친환경소재대학원 E-mail: hskim@postech.ac.kr

# Al1050/LC steel/Al1050 Clad 판재의 접합 계면에서 발생하는 GND에 의한 딥드로잉 성형성 향상

최연택<sup>1</sup> · 권지혜<sup>1</sup> · 김래연<sup>2</sup> · 김재훈<sup>1</sup> · 이신영<sup>2</sup> · 김형섭<sup>#</sup>

## Enhancement of Deep Drawability Induced by GND at the Bonding Interface of Al1050/LC Steel/Al1050 Clad Sheets

Y. T. Choi, J. Kwon, R. E. Kim, J. Kim, S.-Y. Lee, H. S. Kim

### Abstract

본 연구는 성형성을 개선하기 위해 새로 개발된 저탄소강(LC강) 코어 알루미늄 판재(Al/LC 판재)의 컵 성형성 및 Al/LC 계면에서의 미세구조 변화를 분석하고, 유한요소 시뮬레이션을 통해 알루미늄의 컵 성형성을 향상시키기 위한 방법을 고찰하였다. Al/LC 판재는 제조 과정에서 제한적인 확산이 발생하면서 우수한 계면 결합을 나타냈고, 항복 강도와 인장 강도는 LC강과 Al 판재의 혼합 법칙(rule of mixtures)을 상회하는 값을 보였으며, 연신율은 LC강 판재와 비슷하거나 약간 더 높은 것으로 나타났다. LC강은 컵 성형 시험에서 가장 높은 최대 펀치 하중을 요구했고, 그 뒤를 이어 Al/LC 판재와 Al 판재 순으로 컵 성형 하중 요구가 높아졌다. 모든 컵 시편에서 귀(earing)가 관찰되었지만, 컵 벽 두께의 변화를 분석한 결과 Al/LC 시편에서 최소한의 두께 감소가 나타나 더 균일한 컵 변형을 보여주었다. 시뮬레이션 결과는 실험 데이터와 잘 일치했으며, Al/LC 컵 시편에서 더 균일한 변형 및 응력 분포가 나타났다. 계면 근처의 변형 구배는 기하학적으로 필수적인 전위를 유도하여 강도, 변형 경화율, 연성 및 컵 성형성을 향상시켰으며, 이는 LC강을 이용한 롤 본딩이 알루미늄의 컵 성형성을 향상시키는 데 효과적임을 확인하였다.

**Keywords:** High-entropy alloy, Stretchability, Stretch formability, Biaxial deformation, Transformation-induced plasticity, Cryogenic applicability

---

1. 포항공과대학교 신소재공학과, 대학원생  
2. 포항공과대학교 철강에너지소재대학원, 대학원생  
# 교신저자: 포항공과대학교, 교수, E-mail: hskim@postech.ac.kr

# 리튬 이온 배터리 파우치 필름의 적층 소성 구성방정식 개발

장택진<sup>1</sup>, 사공철<sup>1</sup>, 안태균<sup>1</sup>, 윤정환<sup>#</sup>

## Development of Layered Plastic Constitutive Model for Lithium-Ion Battery Pouch Film

T. J. Jang, C. Sagong, T. Ahn, J. W. Yoon

### Abstract

With the growth of electric vehicle market, lithium-ion pouch battery is attracting great attention. In this work, the deformation and failure behavior of pouch film was investigated. A constitutive model from property characterization was also derived. Tensile testing and nanoindentation combined with optimization were introduced for identifying layered properties of the film. Nanoindentation predetermined yield stress and hardening coefficients for different layers enhances material characterization. The optimization accurately identified layered properties considering stress and strain directionalities. Applying the method to the Yoshida buckling test and battery pouch forming, the proposed multi-layered model proved more accurate than the single-layer model.

**Keywords:** Lithium-ion battery pouch film, Anisotropy, Constitutive modeling

### Acknowledgments

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (2023R1A2C2005661), and the Technology Development Program of MSS (S3288770).

---

1. 한국과학기술원 기계공학과, 대학원생

# 교신저자: 한국과학기술원, 교수, Email: j.yoon@kaist.ac.kr

# 알루미늄-폴리머 적층 형태 필름의 성형 한계도 시험

사공철<sup>1</sup> · 장택진<sup>1</sup> · 안태균<sup>1</sup> · 윤정환<sup>#</sup>

## Forming Limit Test of Al-Polymer Laminate Composite Film

C. Sagong, T. J. Jang, T. Ahn, J. W. Yoon

### Abstract

환경 문제가 대두됨에 따라, 리튬 이온 배터리의 중요성이 크게 증가하였다. 이에 따라, 높은 효율의 배터리를 제조하려는 시도들이 이루어지고 있다. 대표적으로, 이전부터 사용되었던 금속 소재가 아닌, 뛰어난 연신율과 성형성을 지닌 알루미늄-폴리머 적층 형태 필름을 소재로 한 파우치형 배터리 셀을 예시로 들 수 있다. 그러나 해당 소재의 복잡한 구조와 이에 따른 소재의 이해도 부족으로 인해, 현재는 경험에 기반하여 성형 깊이를 증대시킬 수 있는 조건을 모색하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 해당 복합 소재의 성형 한계도 시험을 성공적으로 수행할 수 있는 방안을 제안하고자 한다. 기존의 성형 한계도 시험을 이용한 시험을 통해 새로운 시험법이 필요함을 보이고, Modified-Marciniak 시험 기법에 기반한 시험법을 제시하였다. 그리고 이를 이용하여 알루미늄-폴리머 적층 형태 필름의 성형 한계도를 구축하였다.

**Keywords:** Pouch Type Lithium-Ion Battery, Al-Polymer Laminate Composite, Forming Limit Test, Modified-Marciniak Test

1. 한국과학기술원 기계공학과, 대학원생

# 교신저자: 한국과학기술원, 교수, E-mail: j.yoon@kaist.ac.kr

# 알루미늄 파우치 성형에서의 베이지안 최적화 기반 가변 블랭크 홀딩력 제어

안태균<sup>1</sup>, 장택진<sup>1</sup>, 사공철<sup>1</sup>, 김재균<sup>2</sup>, 윤정환<sup>#</sup>

## Bayesian Optimization-Based Variable Blank Holding Force Control in Aluminum Pouch Forming

Taeyun Ahn, Taek Jin Jang, Cheol Sagong, Jaekun Kim, Jeong Whan Yoon

### Abstract

This study introduces Bayesian optimization to design spatially and temporally variable blank holding forces for forming aluminum pouch films, used in pouch-type lithium-ion battery packaging. To meet the demand for deeper forming depths, variable blank holding forces have been studied. To find the optimal variable blank holding forces, forming experiments or Finite Element (FE) simulations can be performed under various forces. However, the high cost of experiments and FE simulations makes it challenging to find a solution. Bayesian optimization offers a solution by efficiently finding optimal designs with minimal experiments or simulations. In this study, Bayesian optimization is applied to determine the variable blank holding force for achieving the target forming depth in pouch forming.

**Keywords:** Bayesian optimization, Variable blank holding force, Pouch forming

**Acknowledgements:** This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2023R1A2C200566111), and the Technology Development Program of MSS (No. S3288770)

---

1. 한국과학기술원 기계공학과, 박사과정

2. LG전자 생산기술원 금형기술센터

# 한국과학기술원 기계공학과, 교수, E-mail: j.yoon@kaist.ac.kr

# 샤시부품 내구성능 향상을 위한 고강도소재 성형기술 연구

공호영\* 이광복\* 배찬희\* 손경주\*\* 박영철\*\* 도형협\*\*

## A Study on High-Strength Steel Forming Technology to Improve the Durability of Chassis Parts

Kong, Ho Young\* Lee, Kwang Bok \* Bae, Chanhee\*  
Sohn, Kyoung Ju \*\* Park, Youngchul\*\* Do, Hyeong Hyeop \*\*\*.

### Abstract

As demands for increased strength and weight reduction of vehicles, high-strength parts are increasing.

In the case of suspension parts, 590 MPa grade steel is mainly used, but the trend to use more than 780 MPa grade steel is growing stronger due to the transition to electric vehicle and strengthening testing for rough road driving.

However, in the case of high-strength steel, there is a high risk of cracks occurring during forming, making it difficult to apply them to parts. In this paper, to solve this forming problem, we proposed a solution by improving the material and researching a method to remove cross-section notches, which are the main cause of molding cracks.

Through this, the parts were strengthened and a design guide applicable to other parts was presented.

**Key Word:** 980MPa Ultra high strength steel, Pre-Piercing, Rear Trailing arm, Formability, Shear surface

---

\* 현대자동차 샤시재료개발팀

\*\* 현대제철 샤시응용기술팀

\*\*\*현대제철 열연강관개발팀

# 딥 드로잉 가공에 의한 철강재 원통형 이차전지 용기 성형 시험용 금형 개발 및 활용

박기철#

## Tool Design and Application of Steel Cylindrical Secondary Battery Case by Deep Drawing Process

K. C. Park

### Abstract

원통형 이차전지 케이스에는 1~4 $\mu$ m 로 Ni 도금된 강판이 주로 사용된다. 이 소재를 이차전지 케이스 적용시의 성형 특성 연구에 사용할 금형을, 6단계 딥 드로잉 가공으로 2170case 를 제작하는 것으로, 설계 및 제작하였다. 원통형 이차전지 케이스는 다단 딥 드로잉 가공이나 Drawing-Redrawing-Ironing 으로 제작하는 방법이 있으나 현재 주요 업체에서 사용하는 소재 성형에 적합한 방법인 다단 딥 드로잉 방법을 채택하였다. 그리고 금형을 활용한 실험을 보완하기 위하여 다단 딥 드로잉 성형을 축대칭 모델로 구현하고 소재 특성 및 가공 조건의 영향을 검토 하였다. 실제 원통형 케이스 가공하는 업체와 같이 한 개 프레스에 다단 딥 드로잉 금형을 모두 설치하고 트랜스퍼 방식으로 가공한다. 단지 본 시험 금형에서는 성형 중간 단계 시편 이동은 수 작업으로 진행하였다. 트랜스퍼 가공에서 각 성형 단계의 성형하중을 측정하기 위하여 각 단계 펀치 하부에 Strain Gage 를 부착한 하중 측정부를 설치하여 각 단계의 성형 하중을 정확히 구할 수 있도록 하였다. 시험 금형임을 고려하여, tool 제작을 용이하게 하고자, 다이에는 금형 표면에 PVD 코팅을 하였으나 펀치는 고속도 공구강 소재로 열처리 하고 연마한 상태로 사용하였다. 그런데 연속 가공이 다수 회 진행되는 중 어느 시점에 4~6단계 금형의 펀치에 Ni 도금 가루가 부착되는 Gallling 이 발생하기에 시험 중에 펀치 표면 lapping 이 필요하였다. 따라서 펀치에도 금형 코팅이 필수임을 알 수 있었다.

성형 시험용 금형과 성형해석 모델을 이용해서 원통형 이차전지 케이스 성형 각 단계에서의 변형 특성과 성형하중 변화, 소재 특성 (두께, 강도 등) 차이에 의한 성형 특성 변화, 마찰 차이에 의한 성형 특성 변화 등을 구할 수 있었으며 그 시험 결과를 소개한다..

**Keywords:** 2170 Battery Case, Cylindrical Multistage Deep Drawing, Forming Force, Ni Coated Steel Sheet

# 수소 압축기 다이어프램의 블랭킹 시뮬레이션을 위한 데미지 모델 결정

김용관<sup>1</sup> · 박훈재<sup>2</sup> · 김강은<sup>2</sup> · 홍명표<sup>2</sup> · 강경필<sup>1</sup> · 이경훈<sup>#</sup>

## Determination of Damage Model for the Blanking Simulation of Hydrogen Compressor Diaphragm

Y. G. Kim, H. J. Park, K. E. Kim, M. P. Hong, G. P. Kang, K. Lee

### Abstract

최근 수소 충전 인프라의 확장에 대한 수요를 충족하기 위해 충전 효율과 내구성이 높은 수소 압축기의 개발이 요구되고 있다. 개발 중인 수소 압축기는 용접 벨로우즈(Bellows)의 압축과 팽창을 활용하여 수소를 압축하는 원리로 작동하는데 벨로우즈의 압축 효율과 내구수명은 내부와 외부의 다이어프램 형상과 이들의 용접 완성도에 좌우되며 이를 위해 정밀 성형 및 전단 공정을 통한 최적화된 다이어프램의 형상 구현이 요구된다.

수소 압축기의 용접 벨로우즈를 구성하는 단위셀인 다이어프램의 최적화된 설계 형상을 성공적으로 제조하기 위해 정밀 성형 공정에 대한 수치해석이 필요함에 따라, 본 논문에서는 수치해석시 중요한 재료 특성인 데미지 모델을 결정하는 과정을 설명하고자 하였다. 고강도 스테인리스 강관의 데미지 모델을 결정하기 위해 수행된 블랭킹 시험은 두 단계로 나누어 설명할 수 있다. 스트로크 전반부에는 판재 두께가 매우 얇기 때문에 다이(Die)와 프레스를 포함한 장비의 탄성 변형 효과가 지배적으로 나타난다. 스트로크 후반부에는 전단 공정으로 재료의 롤오버, 전단면 및 판단면이 형성되는 것으로 나타난다. 이러한 특성은 측정된 하중-스트로크 선도에 잘 나타나 있으며, 블랭킹 시뮬레이션과 시험의 하중-스트로크 선도를 일치시키기 위한 재료 모델과, 다이와 판재 사이의 마찰 계수 등과 같은 해석변수의 연구 결과를 제시하였다.

**Keywords:** Bellows, Diaphragm, Blanking, FEM, Damage, Press Stiffness

1. ㈜솔루션랩, 해석기술연구소

2. 한국생산기술연구원 대경본부

# ㈜솔루션랩, 대표, E-mail: klee@solution-lab.co.kr



# 열 이력이 핫스탬핑 공정의 마모와 성형성에 미치는 영향

지민기<sup>1</sup>, 손현성<sup>2</sup>, 전태성<sup>#</sup>

## Effects of thermal history on the wear and formability in hot stamping

M. K. Ji, H. S. Son, T. S. Jun

### Abstract

핫스탬핑 공정은 미세조직 제어를 통해 강도를 향상시키고, 두께 절감을 통해 연비를 개선함으로써 자동차 산업에서 중요한 공정으로 자리잡고 있다. 특히 전기자동차에 요구되는 높은 내충격성은 핫스탬핑 공정의 필요성을 더욱 부각시키고 있다. 그러나 핫스탬핑 공정에서는 마모 문제가 존재하며, 공정 조건과 소재에 따라 변화하는 마모를 분석하고 체계화할 필요가 있다. 또한, 변화하는 조건에 따라 마모를 분석함과 동시에 성형성 평가도 병행하여 이루어져야 하며, 이는 조건에 따른 핫스탬핑의 마모 및 성형성 측면에서 연구의 필요성을 강조한다.

본 연구에서는 22MnB5 강에 대해 열 이력이 핫스탬핑 공정의 마모 및 성형성에 미치는 영향을 연구하였다. 열 이력 차이를 부여하기 위해 모재의 두께를 달리하여 종류는 같지만 서로 다른 체적의 소재를 사용하였다. 마모는 스트립 드로잉 방식의 마찰기를 이용해 평가하였고, 성형성은 두 개의 가열로를 사용하여 실제 공정을 모사한 환경에서 단축 인장 실험을 통해 평가하였다. 정확한 변형률 측정을 위해 고온 단축 인장 실험에 이미지 상관 기법을 적용하였다. 마모는 금형의 무게 변화를 통해 정량화하였으며, 구축된 고온 단축 인장 시스템을 통해 고온 특성을 비교·분석하였다. 이러한 결과들을 바탕으로 열 이력이 핫스탬핑 공정에 미치는 영향을 논의할 것이다.

**Keywords:** Hot stamping, wear, strip drawing, Digital image correlation, Ultra-high strength steel

1. 인천대학교 기계공학과

2. 포스코 성형연구그룹

#. 인천대학교, 기계공학과, 부교수, t.jun@inu.ac.kr

# X-선 회절 및 변형률 게이지를 이용한 고강도강 판재의 응력 추정

반승현<sup>1,2</sup>, 김진수<sup>1</sup>, 최현성<sup>3</sup>, 석무영<sup>3</sup>, 이동준<sup>3</sup>, 권용남<sup>4</sup>, 박현일<sup>#</sup>

## Stress Estimation of High-Strength Steel Sheets using X-ray Diffraction and Strain Gauge Methods

Ban Seung-hyeon, Kim Jin-su, Choi Hyun-sung, Seok Moo-young, Lee Dong-jun,  
Kwon Yong-nam, Park Hyeon-il,

### Abstract

잔류응력은 항공기 부품의 피로 수명, 강도, 변형 등에 영향을 미치고 열적, 기계적, 화학적 요인에 기인하여 제조, 가공 및 조립 공정에서 발생한다. 일반적으로, 인장 잔류응력은 부품의 피로 수명 감소와 구조적 결함을 야기하며, 압축 잔류응력은 피로 강도, 내마모성, 내균열성을 향상한다고 알려져 있다. 잔류응력은 홀 드릴링 및 컨투어 컷과 같은 기계적 변형을 직접 측정하는 파괴적 방식이나, 재료의 결정 구조 변화를 기반으로 하는 X-선 회절(X-Ray Diffraction, XRD)이나 중성자 회절(Neutron diffraction)과 같은 비 파괴적 방식으로 추정한다. 일반적으로, 부품을 파괴하지 않는 비 파괴적 방법이 사용되지만, 소재 제조 및 부품 가공 공정 등에서 발생할 수 있는 사용자가 식별하지 못한 이력들이 추정된 응력 값에 영향을 미칠 가능성이 존재한다.

본 연구에서는 X-선 회절을 사용해 추정된 응력 값의 이해도를 향상하기 위해, 변형률 게이지(Strain gauge)를 이용해 추가로 응력을 추정하였고, 실험적으로 추정된 응력 값들과 유한요소 해석(FEA) 결과를 비교 분석하였다. 실험에는 1.5 GPa 급 고강도강 판재를 사용하였고, 다양한 변형모드의 응력 거동을 분석하기 위해, 4점 굽힘(4-point bending), 딥 드로잉(Deep drawing) 및 오픈 홀(Open hole) 인장 시험을 진행하였다. 결과적으로, 특정 조건에서 X-선 회절과 변형률 게이지로 추정된 응력 값들이 서로 차이가 있음을 확인하였고, 이러한 차이를 초래한 원인에 대해 집중적으로 고찰하였다.

**Keywords:** Residual stress, X-Ray Diffraction, Finite element simulation

1. 한국재료연구원 항공우주연구센터, 학생연구원

2. 부산대학교 기계공학부, 석사과정

3. 한국재료연구원 항공우주연구센터, 선임연구원

4. 한국재료연구원 항공우주연구센터, 책임연구원

# 한국재료연구원 항공우주연구센터, 선임연구원, E-mail: hipark@kims.re.kr

# 알루미늄 합금 스탬핑 공정에 대한 극저온 마찰 및 성형성에 대한 연구

지민기<sup>1</sup>· 김예름<sup>2</sup>· 최이천<sup>3</sup>· 김용배<sup>4</sup>· 임성식<sup>4</sup>· 전태성<sup>#</sup>

## Investigating cryogenic friction and formability of Al alloy in stamping process

M. K. Ji, Y. R. Kim, Y. C. Choi, Y. B. Kim, S. S. Lim, T. S. Jun

### Abstract

극저온 환경에서 재료의 기계적 특성 변화는 기존 상온에서 나타나는 메커니즘과 차이가 있으며, 이러한 특성 개선 가능성은 다양한 산업 분야에 응용될 수 있다. 그러나 극저온에서 발생하는 물성 변화에 대한 이해와 이를 공정에 효과적으로 적용하기 위한 구체적인 지침이 부족한 실정이므로, 극저온 연구는 새로운 가공 기술 개발과 고성능 소재 활용을 위해 필수적이다. 알루미늄 합금은 경량 소재라는 특성 덕분에 여러 산업에서 널리 사용되고 있으며, 특히 자동차 산업에서는 스탬핑 공정을 통해 중요한 소재로 각광받고 있다. 그러나 알루미늄 6천계 합금은 상온에서 낮은 연신율로 인해 복잡한 형상 성형에 어려움이 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 극저온을 적용하면 가공 경화 효과와 국부적인 네킹 저항성이 개선되며, 슬립 밴드 문제도 완화된다는 연구들이 보고되고 있다. 하지만 극저온 환경에서의 근본적인 메커니즘과 공정 적용에 대한 추가 연구가 여전히 필요한 상황이다.

본 연구에서는 알루미늄 6천계 합금을 대상으로 극저온에서의 마찰 및 성형성에 대한 연구를 수행하였다. 액화 질소를 이용해 소재의 극저온 상태를 구현하였으며, 스트립 드로잉을 통해 상온과 극저온에서의 마찰 거동을 비교하였다. 이를 바탕으로 스탬핑 공정에 적용하기 위해 컵 드로잉 시험을 통해 성형성도 평가하였다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 알루미늄 합금 스탬핑 공정에 대한 극저온 적용 연구의 향후 방향성을 논의할 것이다.

**Keywords:** Al alloys, Friction, cryogenic temperature, Cup drawing

- 인천대학교 기계공학과
  - 현대자동차 경량소재연구팀
  - 기아 성형검증선행생기팀
  - 한국생산기술연구원
- # 인천대학교, 기계공학과, 부교수, t.jun@inu.ac.kr

## 7. 특 별 세 션 12

고청정 Ni-Cr-Mo 계  
소재부품기술개발 심포지엄

( 제 7 발표회장 )

# Ni-Cr-Mo계 무계목관의 열간 3롤 압연 공정기술

이준표<sup>1</sup>, 권진구<sup>1</sup>, 홍성모<sup>1,#</sup>

## Hot-roll process for manufacturing Ni-base seamless pipe

J. P. Lee, J. G. Kwon, S. M. Hong

### Abstract

반도체 산업이 발전함에 따라 반도체소자의 고집적/미세화 개발이 가속화 되면서 기존 전기회로 물질인 텅스텐과 코발트 소재가 폴리브덴계 소재로 대체되고 있다. 폴리브덴 증착을 위한 고부식성 MoCl<sub>5</sub>계 가스의 사용이 증가하면서 극한의 부식환경에서 견딜 수 있는 고기능성의 Ni-Cr-Mo계 무계목배관(seamless pipe)이 필수적으로 요구되고 있다. 그러나 국내에서는 아직까지 고온강도가 매우 높은 Ni계 합금소재에 대한 열간 심리스 제조 기술력이 부족한 편이며 대부분을 해외에서 수입하고 있는 실정으로 국내에서의 제조기반 구축이 시급한 상황이다.

본 연구에서는 인장강도 690 MPa 이상의 Ni-Cr-Mo계(hastelloy C-22) 무계목배관 제조를 위한 중간 단계인 열간공정 시 3축 롤 압연 공정 적용을 통해 압출된 모관(mother pipe)의 치수제어 및 품질 확보를 목표로 하고 있다. 3축 롤 압연기술은 고온가열된 무계목관 내부에 멘드릴 플러그를 삽입한 상태에서 3개의 회전롤러를 통해 압연하여 외경과 두께를 줄이고 길이를 연신하는 공정으로 가열조건, 롤 속도, 롤간 거리, 롤 형상 등 다양한 세팅조건에 따라 품질이 결정되는데, Ni계 합금소재의 경우 고온강도가 높아 설비과부하 및 압연조건 확보에 어려움이 있다. 따라서 본 1차년도 과제에서는 3롤 압연설비 개선과 더불어 고강도 합금 압연에 적합한 롤러의 재질 및 형상을 설계적용하여 3롤 압연 테스트를 진행할 예정이며, 압연된 열간 무계목관의 치수분석 등 품질 특성 파악을 통해 향후 최종적으로 개발되는 소재에 적합한 열간 3축 롤 압연 공정기술을 마련할 계획이다.

**Keywords:** Ni-Cr-Mo base alloy, Seamless pipe, 3roll elongator, roll design, roll setting condition,

1. (주)세창스틸 중앙연구소

#(주)세창스틸, 중앙연구소, 연구소장, E-mail: hsm@scsteel.net

# Ni-Cr-Mo계 성분 최적화 설계와 미세조직 기반 특성 상관성 해석

주하연<sup>1</sup>, 김종훈<sup>2</sup>, 홍현욱<sup>#</sup>

## Ni-Cr-Mo based Alloy Design Optimization and Analysis of the Correlation between Microstructure and Mechanical Properties

H. Y. Joo, J. H. Kim, H. U. Hong

### Abstract

최근 반도체 및 에너지 산업의 고도화에 따라 극한 부식 환경에서도 우수한 내식성을 발휘하는 Ni-Cr-Mo계 소재에 대한 수요가 급증하고 있다. 특히, 반도체 산업에서는 고집적 반도체 소재 개발 시, 발열 및 성능 저하 문제로 인해 기존의 회로선 및 전극선 재료인 텅스텐, 코발트 등이 폴리브덴계 소재로 대체되고 있다. 폴리브덴계 소재 증착을 위해선 공정 가스 역시 고부식성의 NoCl계로 전환되어야 한다. 이로 인해, 기존에 반도체 공정 가스를 이송하던 스테인리스 스틸(STS)소재의 사용이 어려워져 Ni-Cr-Mo계 합금 소재가 해당 공정가스 이송용 부품 소재로 주목받고 있다. 그러나 국내에서 해당 소재의 생산 기반이 미비하여 해외 소재를 활용한 산업 시스템이 형성되는 상황으로, 원가절감을 통한 경제성 향상 도모 및 해외 기업 의존도 해소를 위한 소재 국산화 및 자립화 기술 개발이 필요한 상황이다. 소재 제조 기술 자립화를 위해선 우선, 기존 제조 공정 및 환경을 고려한 합금 설계 및 최적화가 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 합금 성분에 변화에 따른 부식·기계적 특성·미세조직 간의 상관성을 고찰하고, 이를 바탕으로 하여 열역학 및 속도론 기반의 합금 설계를 통해 극한 부식환경에서도 우수한 성능을 나타내는 최적화된 Ni-Cr-Mo계 소재를 개발하는 것을 목표로 한다.

**Keywords:** Ni-Cr-Mo alloy, Alloy design, Microstructure, Corrosion Resistance, Mechanical properties

1. 국립창원대학교 소재융합시스템공학과, 대학원생

2. 국립창원대학교 신소재공학부

# 국립창원대학교, 소재융합시스템공학과, 정교수, E-mail: huhong@changwon.ac.kr

# Ni-Cr-Mo 합금의 극청정화를 위한 전해액 조성 연구

양현석<sup>1</sup> · 정우철<sup>1</sup> · 한덕현<sup>1</sup> · 공만식<sup>1#</sup>

## Study on Electrolyte Composition for Ultra High Purity of Ni-Cr-Mo Alloys

H.S. Yang, W.C. Jung, D.H. Han, M.S. Kong

### Abstract

In this study, the optimal electrolyte composition for the ultra-high purity of Ni-Cr-Mo alloys used in semiconductor processes was investigated. Ni-Cr-Mo alloys are widely used as materials for semiconductor manufacturing equipment, providing excellent durability and corrosion resistance, particularly in high-temperature and corrosive environments. To maximize the performance of these alloys, an electropolishing process is required to remove surface impurities and achieve a high level of surface cleanliness. Various electrolyte compositions were designed, and the efficiency of electropolishing was evaluated through I-V curves, analyzing the effects of changes in current and voltage. Based on this, the effects on surface roughness, impurity removal, and microstructural changes were analyzed. The electrolyte composition derived from this study will be further optimized with various additives and appropriate temperature conditions, with plans to design and apply electropolishing processes for different shapes. Ultimately, this aims to significantly improve the corrosion resistance required in semiconductor manufacturing processes

**Keywords:** Semiconductor process, Ni-Cr-Mo alloy, Electropolishing, Electrolyte composition, I-V curve

**Acknowledgement:** This research was supported by funding from the Ministry of Trade, Industry and Energy and the Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT) in 2024 (RS-2024-00431424).

1. 고등기술연구원 신소재공정센터, 선임연구원

# 고등기술연구원 신소재공정센터, 수석연구원, mskong@iae.re.kr

# 초전도 특성 분석 및 버퍼층 제조공정 연구

정재한<sup>1#</sup>

## Buffer Layer Fabrication for Superconducting Wires

J.H. Jung

### Abstract

초전도 기술의 발전은 지속 가능한 에너지원을 모색하는 핵융합 연구를 포함한 다양한 과학 기술 분야에서 중요한 역할을 하고 있다. 특히 최근 소형 핵융합로 실험을 위한 고성능 초전도 자석의 필요성은 이 기술의 발전을 가속화 하고 있다. 고성능 초전도 자석은 매우 높은 자기장을 생성하기 위해 높은 전류밀도를 갖는 초전도 선재를 필요로 한다. 국내 기술에 의한 금속기판과 버퍼층 제조 기술 개발은 고온초전도 선재의 글로벌 경쟁력 확보와 기술 자립을 위해 필수적이다. 특히, 버퍼층과 초전도층의 상호작용에 대한 체계적인 연구는 전반적인 성능 향상을 이끌어 낼 수 있을 것이다. 이러한 연구개발 목표를 달성하기 위해서는 각 버퍼층 소재의 특성과 이들이 초전도층의 성능에 미치는 영향을 탐구하고, 이를 바탕으로 최적의 버퍼층 구성과 증착 공정에 대해 고찰한다.

**Keywords:** Solution deposition, Buffer layer, Superconductor

1. 서울과학기술대학교 신소재공학과, 조교수

# E-mail: jaehan@seoultech.ac.kr



## 8. 특 별 세 션 9

고성능 부품제조를 위한 금형공구용  
소재기술개발 심포지엄

( 제 8 발표회장 )

## 열간공구강의 열피로 특성과 미세조직의 상관관계

윤국태<sup>1\*</sup> · 홍창완<sup>2</sup> · 김주업<sup>2</sup> · 이락규<sup>2</sup> · 김선주<sup>2</sup> · 손동민<sup>3</sup>

### Correlation between thermal fatigue properties and microstructure of hot work tool steel

K.T.Youn, C.W.Hong, J.U.Kim, R.G.Lee, S.J.KIM, D.M.Son

#### Abstract

Hot work tool steel은 일반적으로 200°C 이상의 성형소재와 접촉하여 높은 정밀도와 우수한 표면 조도를 가지는 복잡한 형상의 제품을 대량으로 생산하는 금형용 합금 공구강이다. 사용 환경 상의 장시간 열적 부하에 더해 가열-냉각의 주기적 thermal cycle 노출에 의한 표면 응력이 추가되고, 이러한 열피로에 의해 발생하는 표면 network 형상의 미세균열(heat checking, thermal cracking)은 반복 열응력에 의해 금형 내부 깊이방향으로 깊어져 금형의 성능과 수명이 저하된다. 이에 열간공구강의 내열피로 특성 확보를 위해 Cr을 기반한 V, W, Ti 및 Mo 등의 합금성분을 추가하여 각 제강사와 연구자에 의해 다양한 소재가 제안되고 있으며, 소재의 성능 확인을 위한 열피로 시험 방법도 병행하여 제시되고 있다. 열피로 특성은 우수한 고온 강도, 고온 인성 및 열전도율과 연관성이 크고 경도와 인성의 최적 밸런스 확보와 탄화물 크기와 분포 등의 중요성은 잘 알려진 사항이지만, heat checking의 형성과 진전, 최종 내열피로 특성 확보를 위한 열간공구강의 제조 프로세스와 미세조직의 형성과정의 연관성 및 열피로 특성과의 상관관계에 대한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 열간 공구강의 주요 손상원인으로 알려져 있는 heat checking 특성에 영향을 미치는 미세조직 인자로 Cr, V, Mo 등 각 합금성분에 의해 형성되는 탄화물 거동과 primary austenite grain(PAG), packet, block, lath 등의 boundary와 균열진전 거동, 그리고 mis-orientation angle에 집중하여 열피로 특성과의 상관관계를 분석하였다.

Thermal Fatigue 시험은 제강 조건과 V, Mo 조성에 따라 초기 as-tempered 미세조직 내 precipitate 분포가 다른 Premium Grade Hot Work Tool Steel(PHTS, 1 : 1.26Mo-0.84V, 2 : 2.36Mo-0.55V) 2종과 세아창원특수강에서 개발된 VD(Vacuum Degassing, forging 공정 조정)급 강종에 대하여  $\Phi$

1. 대구기계부품연구원 소재부품연구본부

2. 대구기계부품연구원 소재부품연구본부 첨단소재연구팀

3. 세아창원특수강

# 교신저자 : 대구기계부품연구원 소재부품연구본부, 본부장, E-mail: younkt@dmi.re.kr

15×120 크기의 시험편을 제작하고, induction heating-water cooling 방식의 열피로 시스템을 활용하여 상온~700°C의  $\Delta T$  조건에서 4초 가열-3초 냉각 thermal cycling 시험을 1000 및 3000 cycle 동안 진행하였다. 표면에 형성된 heat checking은 PAG, packet, block 등 형성 boundary를 따라 주로 진전됨을 확인하였고, 제강-단조-열처리로 확보된 미세조직에서 사용 중 급형 표면에서의 반복적 온도 변화가 발생할 시 가장 크게 변화되는 인자 중 하나로 탄화물의 석출 및 조대화에 의한 영향이 고려되었다.

Thermal fatigue 시험재는 표면에 형성된 균열을 maximum crack length 및 total crack count 등으로 정량화하고, 첨가된 합금원소에 의해 형성되는 MC,  $M_6C$ ,  $M_{23}C_6$  등 주요 석출 탄화물의 반복 열노출에 의한 거동을 비교 고찰하였다. 또한 forging 방법을 달리한 VD급 개발재의 misorientation angle을 분석하여 미세조직상의 random성이 최종 열피로 특성에 미치는 영향도를 평가하였다.

제강 후 단조와 spheroidizing시 석출된 V-rich MC 탄화물은 이후 austenitizing 열처리 과정에서  $M_6C$  및  $M_{23}C_6$  탄화물과 달리 matrix에 재고용 되지 않았고 thermal fatigue 시험과정에서 계속 조대화가 진행되었다. 그리고 초기 미세조직 내, 특히 PAG, block 또는 packet에 MC 탄화물이 조대하고 높은 분율로 분포되어 있는 PHTS-1 공구강의 열피로 균열 특성이 비교열위에 있는 것으로 나타났다. 이러한 미세조직 분석 및 crack 진전 형태를 관찰한 결과, 열간 공구강 제조 공정에서 조대 MC 탄화물의 석출 제어를 통해 내열피로 특성 향상이 가능함을 확인하였다. 또한 misorientation angle을 분석에 의한 분율값의 차이가 미미하여 절대적 영향 요소로 제시하기는 어렵지만, 세아창원특수강에서 개발된 VD급 열간공구강의 경우 단축 forging 미세조직 대비 3축 forging 처리시 high angle boundary 분율이 소폭 높은 것으로 확인되었다. 이러한 random texture에 의해 균열성장을 저해하는 방향전환의 경계 요소 증가는 다축 forging시 내열피로특성이 상대적으로 우수하게 나타난 결과와 관계가 있고, 제조공정에 의한 미세조직제어도 열피로 특성에 미치는 중요한 영향인자 중 한가지로 고려된다.

**Keywords:** Hot work tool steel, Thermal fatigue, Mo, MC,  $M_6C$ , Carbide precipitation, Misorientation angle

### **Acknowledgement**

본 연구는 소재부품기술개발사업(전략핵심소재기술개발, 20010988)으로 수행된 연구결과입니다.

# 절삭 하중 데이터의 푸리에 변환을 이용한 공구 파손 예측

권오동<sup>1</sup>, 석주성<sup>2</sup>, 송영빈<sup>3</sup>, 이경훈<sup>#</sup>

## Prediction of Tool Failure Using Fourier Transform of Cutting Force Data

O. D. Kwon, J. S. Seok, Y. B. Song, K. Lee

### Abstract

금형 가공 과정에서 발생하는 절삭력은 공구의 수명 예측 및 금형 품질에 직접적인 영향을 끼친다. 가공 중에 가공면과 마찰에 의해서 공구가 마모되거나 절삭력 증가에 의해 파손될 수 있다. 이러한 문제는 가공정밀도가 급격히 떨어져 제품의 품질 저하로 경제적 손실을 초래할 뿐 아니라 높아진 절삭력은 동작기계의 수명 단축으로 이어질 수 있다. 본 연구에서는 볼트형 피에조 센서를 활용하여 절삭력이 구조적으로 전달되는 위치에 장착 되어있는 일반 볼트를 대체하여 절삭 하중을 간접적으로 측정하였다. 볼트형 피에조 센서는 측정을 위한 장착이 기존 설비의 추가 가공이나 변경을 하지 않고도 장착이 가능하다. 또한, 볼트형 피에조 센서는 현장 모니터링 적용과 공구의 파손을 예측할 수 있는 방안으로 제시할 수 있다. 장시간 가공을 통해 수집된 데이터를 바탕으로 공구 마모 예측을 수행하기 위해 시간 영역의 하중 신호를 주파수 성분으로 분해하여 변환하는 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform)을 활용하였다. 공구 회전수에 따른 특정 주파수 영역대의 진폭을 추출하여 공구 마모와의 연관성을 분석하였고, 공구의 마모 상태 모니터링 적용 가능성을 확인하였다.

**Keywords:** Cutting Force, Realtime monitoring, Tool status, Bolt type Piezo-Sensor, Fast Fourier Transform

1. ㈜솔루션랩, 대리

2. ㈜신화에스티, 책임연구원

3. ㈜신화에스티, 주임연구원

# 교신저자: ㈜솔루션랩 대표이사 E-mail: klee@solution-lab.co.kr

## DED 금속적층 기술기반의 첨단제조 이슈와 응용분야

(주)에이엠솔루션즈

### Abstract

산업용 금속 적층 제조산업은 광범위한 어플리케이션으로 미래의 디지털 제조를 이끄는 핵심기술로 발전하고 있다.

기존 고부가가치 산업인 항공우주, 국방, 원자력, 의료산업을 시작으로, 최근에는 적층 제조 기술의 진입장벽을 낮추고, 제조기술로 활용하기위해서 자동차 및 전자산업 과 소재부품 제조 산업에서 적층제조(AM) 기반의 생산기술 확립을 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

본 발표에서는 로봇팔 기반의 고속, 유연생산이 가능한 DED 기술기반의 금속와이어 및 금속분말 적층제조 기술을 바탕으로 산업별 제조업의 특성을 정확하고, 신속 하게 반영하여, 고객의 니즈에 따라 최적화된 기술을 빠른시간내에 도입하기 위한 방향을 모색하고자 한다. 또한 금속 적층 제조기술의 지속적인 성장을 통해 기술의 자립화를 확보하여, 사업모델의 고도화 및 수익성을 높이고자 한다.

# 금속 적층 제조 공정으로 제조된 고탄소 D2 공구강의 미세구조 및 기계적 특성

이기안<sup>1#</sup>, 박정현<sup>1</sup>, 전민수<sup>1</sup>, 구용모<sup>2</sup>, 전종배<sup>3</sup>, 김대중<sup>4</sup>, 백소령<sup>5</sup>

## Microstructure and Mechanical Properties of High Carbon D2 Tool Steels Fabricated by Metal Additive Manufacturing

K. A. Lee<sup>1#</sup>, J. H. Park<sup>1</sup>, M. S. Jeon<sup>1</sup>, Y. M. Koo<sup>2</sup>, J. B. Jeon<sup>3</sup>, S. R. Baek<sup>4</sup>

### Abstract

최근 고강도 공구강 소재를 금속 적층 제조방식에 적용하여 부품으로 제조하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 중 direct energy deposition (DED) 방식은 특유의 장점으로 인해, 금형/공구 산업에서 효율적인 공정으로서의 적용 가능성이 검토되고 있다. 그러나 고탄소 공구강의 경우 적층 과정 중 균열 발생으로 인해 제조에 어려움이 있어 벌크 형태의 샘플 제조에 어려움이 있는 실정이다. 본 연구에서는 대표적인 고탄소 공구강 중 하나인 AISI D2 소재를 DED 공정을 사용하여 제조하였다. 또한 as-built 소재에 후열처리를 적용하였으며, 후열처리가 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 영향에 대해 함께 조사하였다. DED D2 샘플은 균열과 결함이 거의 없는 벌크 형태로 제조되었으며, columnar dendrite structure가 확인되었다. as-built 시편에서는 eutectic structure (austenite +  $M_7C_3$ )가 관찰되었고, 후열처리 후에는 martensite matrix와 Cr-rich secondary carbide가 형성되었다. As-built 소재의 경우, 인장 강도는 1016MPa, 연신율은 2.4%로 측정되었다. 후열처리 후 최대 인장 강도는 1794MPa까지 증가하였으며, 연신율은 약간 감소하여 0.8%를 나타냈다. 또한 추가로 고탄소 공구강의 적층 과정에서 발생하는 균열 문제를 위한 대안으로 제시된 Material extrusion additive manufacturing (MEAM) 공정으로 DED D2 소재를 제조하였다. 상기 결과들을 바탕으로 MEAM 및 DED D2 소재와의 미세조직 및 기계적 특성 차이를 비교, 분석하고 제조된 고탄소 공구강 (D2)의 변형 및 파괴 메커니즘도 함께 논의하고자 한다.

**Keywords:** High-carbon high-chromium tool steel, Direct energy deposition, Post-heat treatment, Mechanical properties, Microstructure

1. 인하대학교 신소재공학과, 교수, 박사 후 연구원, 대학원생

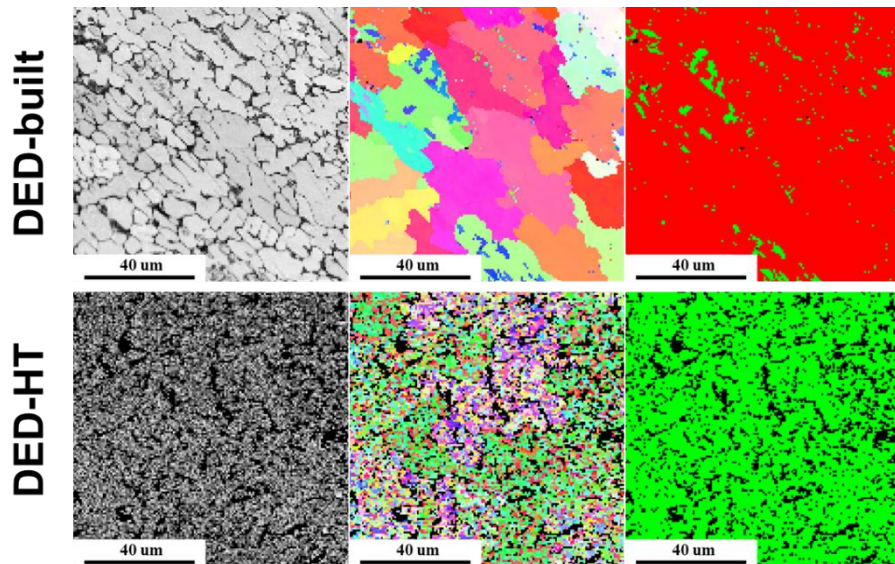
2. (주)창성, 이사

3. 동아대학교 신소재공학과, 교수

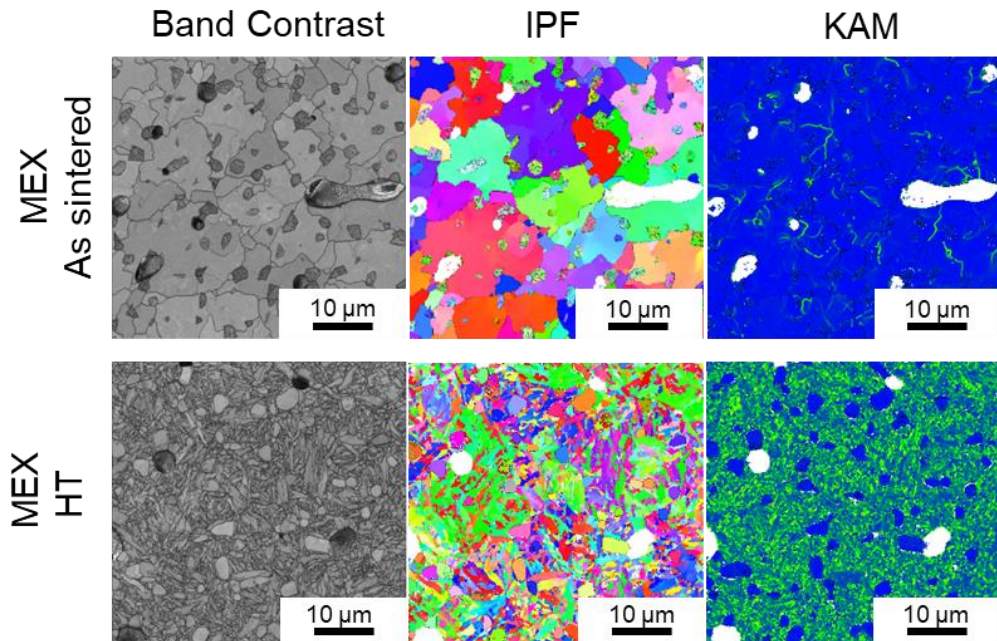
4. ㈜에이엠솔루션즈, 대표이사

4. Markforged, 한국 지사장

# 교신저자: 인하대학교 신소재공학과, 교수, E-mail: keeahn@inha.ac.kr



**Fig. 1.** EBSD mapping of as-built and post-heat treatment AISI D2 materials manufactured by direct energy deposition



**Fig. 2.** Initial microstructure of as-sintered and post-heat treatment AISI D2 materials manufactured by material extrusion additive manufacturing

## 9. 일반 논문 발표

금형가공

적층제조 유연공정

제조 공정 및 장비

( 제 9 발표회장 )



## 고강도강 경량 상용차 휠 개발

권혁선<sup>1</sup>

### Development of Lightweight Commercial Vehicle Wheel using High Strength Steel

Hyuk sun Kwon

#### Abstract

Recently, the trend of vehicle weight reduction is accelerating due to fuel efficiency and environmental issues, and in particular, in the material field, attempts are being made to apply high-strength steel of complex structure steel to vehicle weight reduction and parts weight reduction. In this study, a lightweight road wheel for commercial vehicles used in trailers, trucks, and buses was developed. In order to reduce the weight, shape optimization was first performed based on the shape of the existing mild steel wheel, and durability performance was compared and reviewed with the existing low-strength mild steel wheel to verify performance due to concerns about thickness reduction and rigidity reduction due to the application of high-strength steel. In particular, cooling performance and durability performance were improved by applying the drawing method to the vent hole. The newly developed wheel achieved a 15% weight reduction and showed the similar performance in rigidity and durability as the existing verified mild steel wheel.

**Keywords:** High strength steel, Road wheel, Shape optimization, Durability performance

# 316L 스테인리스 강-구리 복합재의 3D 구조 적층을 통한 열적 특성 향상 연구

최동인<sup>1</sup>, 조영환<sup>1</sup>, 강성규<sup>2</sup>, 정경재<sup>1</sup>, 정차희<sup>3</sup>, 최현주<sup>3</sup>, 최인석<sup>1</sup>, 한홍남<sup>#</sup>

## A Study on the Enhancement of Thermal Properties of 316L Stainless Steel-Copper Composite with 3D Structures

D. I. Choi<sup>1</sup>, Y. H. Cho<sup>1</sup>, S. Kang<sup>2</sup>, K. Jeong<sup>1</sup>, C. Jung<sup>3</sup>, H. Choi<sup>3</sup>, I. S. Choi<sup>1</sup>, H. N. Han<sup>#</sup>

### Abstract

스테인리스 강-구리 복합재는 스테인리스 강의 뛰어난 기계적 특성과 구리의 높은 열전도도로 인하여 열 전달이 요구되는 산업에서 구조 재료로서 각광받고 있다. 스테인리스 강-구리 복합재의 열전달 효율을 극대화하는 방안 중 하나로 복합재의 형상 제어가 있으며, 적층 제조는 기존 금형 가공과 비교하여 복잡한 형상 제작이 가능하다는 장점이 있다. 본 연구에서는 직접분사 적층(DED, Directed Energy Deposition)을 기반으로 단순 입방 구조의 스테인리스 강-구리 복합재를 제조하였으며 치밀화 및 내부 응력 완화를 위해 Spark Plasma Sintering 장비를 활용해 후처리를 진행하였다. 단순 입방 구조 적층으로 인해 복합재 내 형성되는 상 계면을 중심으로 제조된 복합재들에 대해 원소 분포와 미세조직을 분석하였다. 또한 Laser Flash Apparatus와 Compression test를 이용하여 열적·기계적 특성을 조사하였으며, ABAQUS 기반 유한 요소 해석을 통해 유효 열전도도 및 계면 열전도도를 계산하였다. 이를 통해 복합재의 상 계면에서 발생하는 계면 열 저항을 평가하고 최종적으로 복합재의 물성을 최적화할 수 있는 효과적인 적층 및 후처리 방안에 대해 고찰하였다.

**Keywords:** Additive Manufacturing, 316L stainless steel, Copper, 3D Structures, Thermal Property

1. 서울대학교 재료공학부

2. 경상국립대학교 나노신소재공학부

3. 국민대학교 신소재공학부

# 교신저자: 서울대학교 재료공학부, E-mail: hnhan@snu.ac.kr

# SLM 공정에서의 에너지밀도에 따른 순수 나이오븀의 미세조직 및 기계적 특성 연구

한승준<sup>1,2</sup>, 김원래<sup>1</sup>, 김형균<sup>1</sup>, 문인용<sup>#</sup>

## Abstract

적층 제조 공정 중 하나인 선택적 레이저 용융 공정은 열원 및 재료의 상호작용을 통해 금속 분말을 선택적으로 용융 시켜 복잡한 형상의 부품을 제조하는 특징을 갖는다. 선택적 레이저 용융 공정은 기존의 제조 기술에 비해 재료 손실이 거의 없고 적층 공정 시 높은 설계 자유도, 우수한 정밀도를 바탕으로 복잡한 형상의 부품을 단일공정을 통해 제작 가능하다는 이점이 있어 다양한 산업 분야에서 활발히 응용되고 있다. 순수 나이오븀 (Nb)은 극저온의 환경에서 초전도성을 띄는 금속재료로, 이 외에도 우수한 내식성, 내마모성 및 내화성을 갖는 특징에 따라 입자가속기 및 임플란트 등과 관련된 부품 제조에 많이 사용되고 있다. 따라서 순수 나이오븀 재료에 대한 선택적 레이저 용융 기반 적층제조 기술의 개발은 다양한 응용 분야에서 형상 관련 제약을 뛰어넘어 보다 다양한 범위의 나이오븀 부품 생산을 가능하게 할 것으로 기대된다. SLM 공정은 공정조건 (레이저 파워, 레이저 두께, 해치 간격 등)에 따라 에너지밀도가 변화하며, 이에 따른 열이력의 변화는 적층품의 미세구조 및 재료물성의 차이를 야기한다. 따라서, 적층공정을 통한 양품의 제품 생산을 위해선 공정조건에 따른 재료특성의 변화를 면밀하게 검토해야 한다. 하지만, 순수 나이오븀의 높은 활용도에도 불구하고, 에너지 밀도에 따른 순수 나이오븀의 특성변화에 대한 연구 수행은 아직 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 순수 나이오븀에 대한 선택적 레이저 용융 공정에서의 공정조건에 따른 재료특성 평가를 수행하였다. 이를 위해, 열역학적으로 계산된 순수 나이오븀의 완전 용융 에너지 (full melting energy)를 기준으로 공정 조건을 설정하고, 에너지밀도 제어에 따른 순수 나이오븀의 미세조직 및 기계적 물성에 대한 영향을 연구하였다. 특히, 최적 조건의 순수 나이오븀 적층품을 열간 등방 가압법 후처리 공정을 통해 내부 결함 회복 및 밀도특성을 향상시키고자 하였다.

**Keywords:** Additive Manufacturing, Selective Laser Melting, Energy Density, Pure Niobium, Hot Isostatic Pressing

1. 한국생산기술연구원 기능성소재부품그룹

2. 성균관대학교 에너지과학과

# 한국생산기술연구원, 기능성소재부품그룹

E-mail: mooniy085@kitech.re.kr

# DED 공정으로 제작된 박벽 구조물의 열전달 해석 모델 개발

이광규<sup>1</sup>· 안동규<sup>#</sup>

## Development of the Heat Transfer Analysis Model of Thin-wall Structure Fabricated by the DED Process

K. K. Lee, D. G. Ahn

### Abstract

직접식 에너지 용착 공정 (Directed Energy Deposition : DED) 공정은 금속 적층 제조 공정 중 하나로 형상의 자유도가 높다는 특징이 있는 공정이다. 하지만, 공정 변수 설정과 적층 형상에 따라 변화하는 열전달 특성은 설계 형상과 제품 형상에 차이를 발생시킨다. 박벽 구조물의 경우 전도 영역이 적어 형상 변화가 크며, 적층부의 열전달 특성은 실험으로 분석하기 어려운 열전달 해석 모델 개발이 요구된다. 따라서, 본 연구에서는 실험과 해석을 연계하여 DED 공정으로 제작된 박벽 구조물의 열전달 해석 모델을 개발하고자 한다. 적층 실험은 하이브리드 적층 장비인 DVF-8000AML 을 이용하였으며, 기저부 및 적층부는 17-4PH 소재를 이용하였다. 20층 높이의 박벽 구조물을 길이별로 적층하였으며, J-type 열전대를 이용하여 기저부 4 지점에 온도를 측정하였다. 열전달 해석 모델 개발은 상용 소프트웨어인 SYSWELD 를 이용하였다. 가우시안 형상의 체적 열원을 적용하였으며, 문헌조사를 통해 계산된 대류 및 복사 열전달 조건을 적용하였다. 열원의 효율, 대류 계수 및 히트 싱크에 따른 열전달 해석을 통해 해석 모델의 열 이력 변화를 도출하고 실험 결과와 비교 하여 적정 계수를 도출하였다. 열전달 해석모델을 이용하여 길이별 열 이력을 도출하고 적층부의 온도 변화에 대해 고찰하였다.

**Keywords:** Heat Transfer Analysis, Linkage of Experiments and Analysis, Thin-wall Structure, Directed Energy Deposition Process

---

1. 조선대학교 기계공학과, 대학원생

# 조선대학교, 기계공학과, 교수, E-mail: smart@chosun.ac.kr

# 객체 탐지 딥러닝을 통한 적층 제조 공정의 결함 탐지 및 보상 시스템

강정훈<sup>1</sup>, 이승문<sup>1</sup>, 박석희<sup>#</sup>

## Defect Detection and Compensation System of Additive Manufacturing Process using Object Detection Deep Learning

J. H. Kang, S. M. Lee, S. H. Park

### Abstract

재료 압출(Material Extrusion) 공정은 필라멘트를 압출해 적층하는 적층 제조 공정으로 주로 PLA, PETG 등의 폴리머가 사용되며 여기에 금속 분말이나 탄소섬유를 첨가해 필라멘트의 기능성을 강화한 재료를 사용하기도 한다. 그러나 이러한 첨가물이 포함된 필라멘트는 일반 필라멘트보다 압출이 불안정하고 층간 결합이 약해지는 문제가 발생한다. 이로 인해 출력된 구조물의 의도된 기능과 물성이 저하되며 단순한 출력 파라미터 조절만으로는 이러한 문제를 해결하기 어렵다는 문제점이 있다.

기존 연구에서는 이러한 적층 제조 공정 중 발생한 결함을 보상하려 했지만, 결함이 발생한 이후의 층에만 보상이 이루어지거나 결함이 없는 영역까지도 함께 보상하여 출력 속도와 정밀도가 떨어지는 문제가 있었다. 본 연구에서는 딥러닝 기반 객체 탐지 기법을 사용해 매 층에서 발생할 수 있는 결함을 실시간으로 확인하고 결함 위치에만 보상을 수행하는 시스템을 개발했다. 이를 통해 내부 채움 영역에서 발생할 수 있는 결함을 학습하고, 출력 중 획득한 이미지를 바탕으로 결함 위치를 정확히 파악하여 해당 위치에만 보상을 수행함으로써 보상 시간을 줄이고, 생산성을 높이며, 출력 품질을 향상시키고 재료 소모를 최소화하는 기술을 제시하였다.

**Keywords:** 3D Printing, Material Extrusion, Deep learning, Object detection

1. 부산대학교 기계공학부, 대학원생

# 부산대학교 기계공학부 부교수, E-mail: selome815@pusan.ac.kr

# 다양한 하중 조건 하에서의 마이크로 스케일 금속 격자구조체의 변형 거동 연구

이기택<sup>1</sup>, 정상국<sup>2</sup>, 권지혜<sup>3</sup>, 안성열<sup>3</sup>, 사공만재<sup>3</sup>, 이기안<sup>4</sup>, 김형섭<sup>#</sup>

## A study of the deformation behavior of micro-scale metal lattice structures under various loading conditions

G. Lee, S. G. Jeong, J. Kwon, S. Y. Ahn, M. J. SaGong, K. A. Lee, H. S. Kim

### Abstract

Recent advancements in metal 3D printing have positioned lattice structures an important innovation in a variety of industries, such as aerospace, automotive, and defense, due to their light weight and ability to absorb energy, especially under compressive loads. Despite their growing importance, a lack of data on their behavior under shear loads has limited wider application. This study aims to bridge this gap by investigating the lattice structures deform under shear stress and comparing these results to their compressive properties. A novel shear testing method was introduced by fabricating 316L stainless steel lattice structures of three different geometries but maintaining consistent relative density using metal 3D printing. The results show that the mechanical properties of these lattice structures under compression and shear vary significantly with geometry, indicating that each lattice geometry offers unique mechanical strengths. This research improves our understanding of lattice structure shear properties, promotes safer designs, and enables lightweight solutions for a wide range of industrial applications.

**Keywords:** Metal 3D printing, Lattice structure, Mechanical property, Finite element method analysis

---

1. 포항공과대학교 융합대학원, 대학원생

2. Tohoku University WPI-AIMR, 박사 후 연구원

3. 포항공과대학교 신소재공학과, 대학원생

4. 인하대학교 신소재공학과, 교수

# 포항공과대학교 융합대학원, 교수, E-mail: hskim@postech.ac.kr

# 레이저 용융 적층 제조를 통한 Cu-Al 합금을 사용한 니켈-알루미늄 청동 수리

요창량<sup>1</sup> · 신광용<sup>2</sup> · 심도식<sup>#</sup>

## Repair of nickel-aluminum bronze using Cu-Al alloys via direct energy deposition additive manufacturing

C. L. Yao<sup>1</sup>, K. Y. Shin<sup>2</sup>, D. S. Shim<sup>#</sup>

### Abstract

Nickel-aluminum bronze (NAB) is widely used in pump casings, seawater valves, and other components due to its unique combination of good corrosion resistance and mechanical properties. During usage, parts inevitably experience wear and damage, making the repair of these components a significant research topic. Directed Energy Deposition (DED) is one of the primary metal additive manufacturing processes, known for its fast fabrication speed and ability to achieve precise localized control. In this study, we repaired the trapezoidal grooves of a cast NAB substrate using DED with a mixed powder of CuNi2SiCr copper alloy and 10 wt% Al 6063 aluminum alloy. The microstructure and tensile properties of the repaired specimens were investigated. No significant porosity or thermal cracks were observed within the repaired area or at the interface with the NAB substrate. The microstructure of the DED-deposited area primarily consisted of martensite, which exhibited a self-accommodating zigzag morphology with tiny plates. Interestingly, Al-rich  $\gamma_2$  phase precipitation was observed at the overlap of the molten pools, which was caused by thermal accumulation during the DED process. A complex microstructure due to irregular nucleation was observed at the boundary of the repaired area and the NAB substrate. Tensile test results showed that the fractures occurred in the middle of the repaired area rather than at the interface, indicating excellent bonding strength between the repaired area and the NAB substrate. Furthermore, the tensile fracture mechanism was investigated through microstructural investigation. Overall, the use of Cu-Al mixed powder via the DED process proves to be an effective method for repairing damaged NAB components.

**Keywords:** Directed energy deposition, Cu-Al alloys, Microstructure evolution, Tensile behavior

1. 한국해양대학교 해양신소재융합공학과, 대학원생

2. 한국생산기술연구원 스마트가공공정그룹, 연구원

# 한국해양대학교 해양신소재융합공학과, 교수, E-mail: think@kmou.ac.kr

# CoCrTi 합금의 L-PBF 적층 공정 최적화 및 에너지밀도에 따른 특성 변화 연구

하정현<sup>1</sup>, 김원래<sup>2</sup>, 이택우<sup>3</sup>, 강현수<sup>4</sup>, 박형기<sup>5</sup>, 최선진<sup>6</sup>, 김형균<sup>#</sup>

## Optimization of L-PBF Process for CoCrTi alloy and Study on Properties According to Energy Density

J. H. HA, W. R. KIM, T. W. LEE, H. S. KANG, H. G. PARK, S.J. CHOI, H. G. Kim

### Abstract

산업이 발달함에 따라 초고온, 극저온 등 극한환경에서 특성 발현이 가능한 재료의 개발 중요성이 높아졌다. 이에 따라, 우수한 강도와 고온특성, 내부식성 특성을 가진 초합금이 주목받고 있다. 초합금 중 CoCrTi 합금은 우수한 고온특성 및 내부식 특성 구현이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 재료의 강도가 높아 가공 및 성형이 어렵다는 단점도 존재한다. 이러한 문제 해결방법으로, 성형 및 후가공이 요구되지 않는 3D 프린팅 공정이 각광받고 있다. 3D 프린팅 공정 중 L-PBF (Laser - Powder Bed Fusion)은 설계파일만 있다면 복잡한 형상구현이 가능하다. 또한 L-PBF 공정은 여러 공정 Laser power, Scan speed, Layer thickness 등 에 따라 에너지 밀도가 달라지게 되고 재료적 특성이 변화하는 특성을 가지고 있다. 하지만 CoCrTi 합금에 L-PBF 공정을 접목한 기초적인 연구가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 초합금인 CoCrTi 합금에 L-PBF 공정을 적용하여 에너지밀도에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화를 분석하기 위해 Scan speed는 고정하고 Laser power를 변수로 하여 적층 공정을 진행하였다. Laser power에 따라 변화하는 적층밀도, 미세조직 및 기계적 특성 차이를 분석하였으며, 최적의 적층 조건을 도출하였고, Laser power에 의한 미세조직 변화 및 기계적 특성 거동을 파악하였으며, 이에 대한 상호관계에 대해 연구하였다.

**Keywords:** L-PBF, Laser power, CoCrTi, Super alloy

1. 한국생산기술연구원, 기능성소재부품그룹, 학생연구원
  2. 한국생산기술연구원, 기능성소재부품그룹, 선임연구원
  3. 한국생산기술연구원, 기능성소재부품그룹, 수석연구원
  4. 한국생산기술연구원, 기능성소재부품그룹, 연구원
  5. 한국생산기술연구원, 기능성소재부품그룹, 수석연구원
  6. 한양대학교, 신소재공학과, 교수
- #. 한국생산기술연구원, 기능성소재부품그룹, 수석연구원, hgk@kitech.re.kr



## 차세대 원전 부품에 3D 프린팅 기술 적용

이성욱<sup>1,\*</sup>, 김효찬<sup>1</sup>, 김현길<sup>1</sup>

### Applying 3D Printing Technology to Next-generation Nuclear Power Plant Components

S. U. Lee, H.C. Kim, H.G. Kim

#### Abstract

Compared to the existing production process, 3d printing is a technology that molds parts directly from raw materials, with fewer restrictions on design shapes and fewer production steps, which can reduce manufacturing time and carbon emissions. Due to these features, 3d printing is attracting attention as a next-generation manufacturing process. In the nuclear field, 3d printing can be applied to the repair of damaged parts in operating nuclear power plants, the continuous supply of discontinued parts, and the verification of component designs for new reactors. The benefits of 3d printing are maximized when the freedom of manufacturing is incorporated into new designs. For components used in small modular reactors (SMRs), optimal performance can be achieved by combining the design of optimal geometries using topological optimization (DfAM) with 3d printing methods that can produce the designed optimal geometries. The PBF(Powder Bed Fusion) process, which is one of the representative metal 3d printing processes, was used to fabricate printed circuit steam generator(PCSG) used for heat exchange in nuclear power plant. The DfAM-applied 3d printing product showed better heat exchange performance than the conventional PCSG.

**Keywords:** 3d printing, SMR, DfAM, PBF, PCSG

---

1. 한국원자력연구원 경수로핵연료기술연구부, 책임연구원, # E-mail: leesunguk@kaeri.re.kr

# 딥러닝을 이용한 적층제조된 18Ni300 마레이징 강의 잔류 응력 완화 예측

김세윤<sup>1,2</sup> · 김동규<sup>3</sup> · 강성훈<sup>1</sup> · 김지훈<sup>2</sup> · 오영석<sup>1,#</sup>

## Prediction of Residual Stress Mitigation in Additively Manufactured 18Ni300 Maraging Steel using Deep Learning

Seyun Kim<sup>1,2</sup>, Dong-Kyu Kim<sup>3</sup>, Seong-Hoon Kang<sup>1</sup>, Ji Hoon Kim<sup>2</sup>, Young-Seok Oh<sup>1,#</sup>

### Abstract

적층 제조 방식의 하나인 Laser Powder Bed Fusion (LPBF)은 고출력 레이저를 이용해 금속 분말을 선택적으로 용융하고 융합하여 층별로 3차원 금속 구조를 형성하는 방식이다. 이 과정에서 발생하는 급격한 열적 구배는 부품 내 잔류응력을 유발하기 때문에, 이를 완화하기 위해 후열처리 (Post-Heat Treatment, PHT)가 필요하다. 잔류응력은 PHT 공정 조건뿐만 아니라 LPBF 공정 조건에도 영향을 미치기 때문에 이 두 공정 조건을 고려한 잔류응력 완화가 필수적이다. 하지만 기존의 잔류응력 완화를 분석하기 위한 방법은 시간과 비용이 많이 든다. 본 연구에서는 딥러닝을 활용하여 18Ni300 마레이징 강의 잔류응력 완화를 위한 공정 최적화를 목표로 한다. 공정 변수(레이저 파워, 스캔 스피드, 열처리 온도, 유지시간)에 대한 LPBF-PHT 공정 시뮬레이션 데이터를 사용하였고, 딥러닝 모델은 StyleGAN2-ADA를 사용하여 예측한 잔류응력 분포는 학습 및 검증 데이터에 대한 결정계수( $R^2$ ) 값이 각각 99%와 97%로 높은 정확도를 보였다. 마지막으로, 딥러닝 모델이 생성한 잔류응력 분포 이미지를 활용하여 목표로 하는 RS 감소 수준을 달성하기 위한 최적의 PHT 조건을 결정하는 공정 맵을 제안하였다.

**Keywords:** Laser powder bed fusion, Residual stress, Deep learning, StyleGAN2-ADA

1. Korea Institute of Materials Science (KIMS, 한국재료연구원)

2. Pusan National University (PNU, 부산대학교)

3. Kunkuk University (KU, 건국대학교)

# Corresponding authors : 오영석 (한국재료연구원, 재료공정연구본부, 책임연구원, oostone@kims.re.kr)

## 공정 변수에 따른 너트 전조 탭핑 성형 부하 분석

김민수<sup>1,2</sup>, 정선호<sup>1</sup>, 정건우<sup>1,3</sup>, 윤용범<sup>1,2</sup>, 정현우<sup>1,2</sup>, 이종섭<sup>1,#</sup>

### The Analysis of Forming Load in Roll Tapping Process According to Process Variables

M. S. Kim, S. H. Jung, G. W. Jung, Y. B. Yoon, H. W. Jung, J. S. Lee

#### Abstract

전조 탭핑 공정은 재료를 절삭하지 않고 소성 변형을 통해 나사산을 성형하는 방식으로, 절삭 공정에 비해 나사산의 기계적 강도가 우수하며 칩이 발생하지 않는다는 장점이 있다. 또한 자동화가 용이해 생산 효율을 크게 향상시킬 수 있다. 이러한 장점으로 인해 최근 전조 공정의 적용이 증가하고 있는 추세이다. 그러나 너트 소재의 강도가 높거나 너트 직경이 큰 경우 성형 부하가 급격히 증가하는 단점이 있으며, 이로 인해 탭 금형의 마모가 가속화되고 수명이 짧아지는 문제가 발생한다. 따라서 큰 직경의 너트에 전조 공정을 적용하는 데는 제약이 따른다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 성형 부하에 영향을 미치는 주요 공정 변수를 분석하였다. 탭핑 실험을 통해 성형 부하를 정량적으로 평가하고, 이를 최소화할 수 있는 최적의 공정 조건을 도출하였다. 또한, 유한요소해석을 활용해 탭 금형에 국부적으로 발생하는 성형 부하를 분석하여 금형 형상이 성형 부하에 미치는 영향을 확인하였다. 이를 바탕으로, 성형 부하를 감소시키고 탭 금형의 수명을 개선할 수 있는 최적의 공정 변수를 제안하였다.

**Keywords:** Form-Tapping, Forming Load, Tap Die, Tool Life, Wear

1. 한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소

2. 인하대학교 기계공학과

3. 성균관대학교 지능형로봇학과

# 한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소, 유연생산연구부문, 수석연구원,  
jongsup@kitech.re.kr

## 냉각 기체질소를 이용한 알루미늄 압출금형 냉각효과

홍순원<sup>1</sup>, 조진연<sup>2</sup>, 김재범<sup>3</sup>, 노재현<sup>4</sup>, 백창현<sup>5</sup>, 최호준<sup>#</sup>

### The Cooling Effect of Aluminum Extrusion Dies using Cooled Gaseous Nitrogen

S. W. Hong, J. Y. Cho, J. B. Kim, J.H. Rho, C. H. Baeg, H. J. Choi,

#### Abstract

In recent years, significant research and development efforts have been made, particularly in advanced countries, to reduce the weight of transportation vehicles in order to prevent environmental pollution, reduce carbon emissions, and mitigate global warming. Aluminum alloys, which are being used as key structural materials in electric vehicles, are gaining attention as one of the most suitable materials for lightweighting not only in electric vehicles but also in urban air mobility (UAM).

This study was conducted to verify the effect of introducing cooled gaseous nitrogen during the aluminum extrusion process. While previous studies have suggested that cryogenic liquid nitrogen cooling can reduce the temperature of extruded materials by up to 20°C, there is a lack of clear research on the cooling effect of cryogenic gaseous nitrogen. In this study, instead of using the conventional cryogenic liquid nitrogen cooling method, we utilized newly developed cryogenic gaseous nitrogen cooling equipment. Experiments were conducted by injecting gaseous nitrogen cooled to a range of -196°C to -150°C through cooling channels embedded in the extrusion die to verify the cooling effect of cryogenic gaseous nitrogen.

Through this study, we confirmed the cooling effect of gaseous nitrogen and, compared to traditional methods, provided data-driven evidence to support the cost-effectiveness of the gaseous nitrogen cooling system.

**Keywords:** Cryogenic Nitrogen cooling system, Gas nitrogen cooling, Liquid nitrogen cooling, Cooling effect, Aluminum extrusion process, Cooling temperature variability

- 
1. 한국생산기술연구원 연구원/ 인하대학교, 항공우주공학과, 석사과정, atsome@kitech.re.kr
  2. 인하대학교, 항공우주공학과, 교수, cgy@inha.ac.kr
  3. ㈜준스엔지니어링, 기술경영본부, CSO, jaybkim@joonseng.com
  4. ㈜준스엔지니어링, DX사업부, CTO, jaybkim@joonseng.com
  5. ㈜준스엔지니어링, 기술연구소, 연구소장, semlab@joonseng.com
- # 한국생산기술연구원, 수석연구원/㈜준스엔지니어링 CEO, E-mail: hjoon@kitech.re.kr

# 10. 일반 논문 발표

모델링 및 시뮬레이션

소재응용

공정계산역학

금속성형 분야의 디지털화/가상화

( 제 10 발표회장 )

# 코일 스프링의 제조를 위한 냉간 코일링 공정의 해석

이원동<sup>1</sup>· 김민기<sup>1</sup>· 류재창<sup>2</sup>· 신정규<sup>3</sup>· 차승훈<sup>4</sup>· 임철현<sup>5</sup>· 고대철<sup>#</sup>

## Analysis of Cold Coiling Process for Manufacturing of Coil Spring

Y. D. Li, M. G. Kim, J. C. Ryu, J. G. Shin, S. H. Cha, C. H. Lim, D. C. Ko

### Abstract

Recently, the use of electric vehicles for environmental protection has been increasing, but there is a disadvantage of increasing automotive weight due to battery. So it is necessary to use high strength steel because of lightening the weight for vehicle. In addition, to improve steering performance and ride comfort, the application of coil springs with various coil diameters and pitches is required. Meanwhile, high strength spring is primarily manufactured by hot coiling process to ensure formability. But hot coiling process has limits in producing coil springs due to high energy consumption, low efficiency, and the need for mandrel. Therefore, this study proposes to apply the cold coiling process, which allows for free-forming, to manufacture high-strength coil springs. However, the cold coiling process is difficult to implement the complex shape, so accurate shape prediction and dimensional control are essential during the cold coiling process. This study proposes a method to simulate the cold coiling process through finite element(FE) simulation to predict shape and dimensional changes that occur during the forming of coil springs. First, uniaxial tensile test was conducted to evaluate the mechanical properties of the high-strength material. Next, FE-simulation was performed to predict the shape changes occurring during the forming process. Finally, comparison was performed with coil springs produced through actual cold coiling process. As a result, the effectiveness of the cold coiling process simulation proposed in this study was verified.

**Keywords:** High Strength, Coil Spring, Cold Coiling Process, Finite Element Simulation

### Acknowledgement

We would like to acknowledge the financial support from Technology Innovation Program (No. 20026321) funded by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE).

---

1. 부산대학교 나노메카트로닉스공학과

2. 부산대학교 부품소재산업협력연구

3. 와이에이치오토

4. 경북테크노파크

5. ㈜에이텍

# 교신저자: 부산대학교 나노메카트로닉스공학과 교수 E-mail: dcko@pusan.ac.kr

# Ti-6Al-4V 합금의 주조 미세조직 성장 모사 LBM-CA 모델

이원주<sup>1</sup>· 현용택<sup>2</sup>· 이호원<sup>2</sup>· 강성훈<sup>2</sup>· 윤종현<sup>1,#</sup>

## Lattice Boltzmann - Cellular Automata Model for Prediction of Microstructural Evolution of Ti-6Al-4V Alloy

W. J. Lee, Y. T. Hyun, H. W. Lee, S. H. Kang, J. H. Yoon

### Abstract

본 연구는 Ti-6Al-4V 합금의 주조 과정에서 미세조직 성장을 모사하기 위한 Lattice Boltzmann - Cellular automata 방법을 제안한다. Ti-6Al-4V는 항공우주 및 의료 분야에서 널리 사용되는 고강도 합금으로, 주조 과정에서의 미세구조 변화가 기계적 특성에 미치는 영향을 분석하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 합금의 열역학적 특성과 미세조직 형성을 고려하여 Ternary alloy에 대한 LBM-CA 모델을 구축하였다. 미세조직의 성장 패턴이 주조 온도 및 냉각 속도에 따라 어떻게 변화하는지를 확인하였으며, 예측된 미세조직과 이론 값을 비교하여 모델의 신뢰성을 검증하였다. 또한, 본 연구에서는 Ti-6Al-4V 합금의 Beta-Alpha phase 간의 동소변태(Allotropic transformation)를 모사할 수 있도록 하였으며 기존 문헌에서 보고된 측정치와 비교하여 냉각 속도에 따른 시뮬레이션 결과를 비교 및 검증하였다.

**Keywords:** Casting process, Dendrite growth, Solidification, Simulation, Microstructure

1 한양대학교 ERICA, 기계공학과

2. 한국재료연구원

# 한양대학교 ERICA, 기계공학과, E-mail: jyoona@hanyang.ac.kr

# 대형 단조품 및 용접부 물성분석과 해석기법 개발

이주원<sup>1</sup> · 임현용<sup>1</sup> · 장택진<sup>1</sup> · 서송원<sup>2</sup> · 박주성<sup>3</sup> · 고원기<sup>4</sup> · 윤정환<sup>#</sup>

## Material Characterization of Large-Scale Forging Weld Joint and Its Finite Element Modeling

J. Lee, H. Lim, T. J. Jang, S. W. Seo, J. S. Park, W. K. Ko, J. W. Yoon

### Abstract

본 연구에서는 축방향 충격하중을 받는 실린더 형상의 대형 단조품 용접부에 대한 구조안전성을 예측하고자 한다. 대형 실린더를 제작하기 위해 길이방향으로 형단조를 수행하고, 용접으로 접합하는 제작 방식을 적용했다. 대형 실린더가 적용되는 다양한 구조물의 사용환경에서 축방향 충격하중에 의해 용접부에 고속변형이 발생하는 상황을 고려할 수 있다. 고속변형이 발생된 용접부에는 다양한 변형률 속도가 존재하게 되며, 이에 따른 재료의 기계적 물성에 변화가 나타난다. 일반적인 금속 소재의 구조안전성에 대한 연구는 많이 수행되어 왔지만, 용접부의 구조안전성을 예측하기 위해 고속 물성을 분석한 연구는 아직 부족한 상황이다. 따라서 용접부의 시편 채취 방법에 대한 고찰이 필요하며, 고속 실험 방법에 대한 조건도 연구되어야 한다. 다음으로 획득한 용접부 물성을 적용하여 유한요소해석을 수행하였다. 오직 실험을 통한 구조안전성의 파악은 시간과 비용에 대한 제약사항이 있다. 이를 극복하기 위해 해석기법을 개발하고자 하며, 이를 이용하여 용접부의 구조안전성을 예측하고자 한다.

**Keywords:** Large scale forging, Multi-pass weld joint, High-strain rate material property, Finite element analysis

1. 한국과학기술원, 기계공학과, 박사과정

2. ㈜풍산 방산기술연구원, 이사

3. ㈜풍산 방산기술연구원, 수석연구원

4. ㈜풍산 방산기술연구원, 선임연구원

# 한국과학기술원, 기계공학과, 교수, E-mail: j.yoon@kaist.ac.kr



# 디지털 이미지 상관기법을 활용한 변형을 경로 변화 실험의 설계와 결과

김지민<sup>1, #</sup>

## Strain Path Change Experiment Design and Result using Digital Image Correlation (DIC) Technique

J. M. Kim

### Abstract

In order to ensure the productivity of automotive parts, it is crucial to accurately predict and control springback of material. However, accurately predicting springback is very challenging due to its significant dependence on the stress state of the material during forming processes. This difficulty arises because the material undergoes various stress states and continuous/discontinuous strain path changes during deformation. Therefore, the most commonly used method is to predict springback by utilizing complex models in finite element (FE) analysis. In this study, research on complex strain path changes through forming simulation and real experiments were conducted. First, complex strain path changes were identified through forming FE simulation that material undergoes during forming. Next, experiments were designed to reproduce the observed behavior in actual experiments and results are presented. At each step of strain path change experiment, the digital image correlation (DIC) technique was utilized to measure strain information.

**Keywords:** Sheet forming, Digital image correlation (DIC), Strain path change, springback

---

1, #. 포스코 성형연구그룹, 책임연구원

E-mail: jimin.kim@posco.com

# 전자기장-열 연성 해석 기반 고주파 열처리로 인한 3D 곡면 형상의 상변태 및 변형 예측

황순재<sup>1</sup>, 김준영<sup>2</sup>, 박종규<sup>3</sup>, 홍석무<sup>#</sup>

## Phase Transformation and Deformation Prediction of 3D Geometry during Induction Hardening Using Electromagnetic- Thermal Analysis

S. J. Hwang, J. Y. Kim, J. K. Park, S. Hong

### Abstract

고주파 열처리(Induction Hardening)는 표면이 빠르게 가열되는 특성으로 인해 정밀한 국부 경화가 가능하며, 이로 인해 차량 및 항공기를 포함한 다양한 제조 공정에서 취약부를 보강하는 공정에 사용되고 있다. 하지만 잘못된 고주파 가열 공정 설계는 경도가 낮아지거나 변형이 발생하는 문제를 야기할 수 있으며, 이는 제품의 생산 품질을 저하로 이어질 수 있다. 이를 해결하기 위해 다양한 고주파 열처리를 예측하는 연구들이 진행되었으나, 대부분의 연구는 2D 평면 형상에 초점을 맞추고 있어 3D 곡면 형상에 대한 연구는 부족한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 고주파 열처리 공정을 전자기장 열 연성 해석을 통해 구현하였으며, 이를 통해 3D 곡면 형상의 상변태 및 변형을 예측하고자 한다. 해석 결과 복잡한 곡면 형상을 가진 부품에서 온도 분포와 상변태가 균일하지 않게 발생함을 확인하였으며, 상변태를 포함한 해석 결과 더 큰 변형이 발생함을 확인하였다. 본 연구는 3D 형상에 대한 고주파 열처리 공정의 정밀한 상변태 및 변형 예측을 통해, 복잡한 형상의 부품을 대상으로 한 최적의 열처리 공정 설계에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

**Keywords:** Induction Hardening, 3D shape machining, Electromagnetic-thermal-structural coupled analysis, Phase Transformation, Deformation Prediction

이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (2024-0913-01)

1. 공주대학교 미래융합공학부, 대학원생

2. (주)화신 기술연구소 선행연구팀, 주임연구원

3. (주)화신 기술연구소 선행연구팀, 책임연구원

# 공주대학교, 미래자동차공학과, 부교수, E-mail: smhong@kongju.ac.kr

# 인공지능기반 드로우비드에 따른 판재 성형 크랙 및 주름 예측

이사람<sup>1</sup> · 현대일<sup>1</sup> · 홍석무<sup>#</sup>

## AI-based Prediction of Cracks and Wrinkles in Sheet Metal Forming Due to Drawbeads

S. Yi, D. Hyun, S. Hong

### Abstract

자동차 산업에서 복잡한 부품의 주름, 크랙 두께 분포와 같은 품질을 개선하기 위해 드로우비드의 적용에 대한 실험과 해석에 대한 많은 연구가 수행되고 있다. 드로우 비드는 주로 현장 작업자의 경험에 의존하며 실제 적용 시 많은 가공 시간과 시행착오가 동반되기 때문에 산업 현장에서는 드로우 비드의 위치와 비드력에 따라 실시간 성형 품질을 예측하는 기술이 요구된다. 본 연구는 인공지능 기반 드로우비드에 위치와 홀더력에 따른 성형성을 예측하는 방안을 제시한다. 우선, 유한요소 해석을 통해 다양한 드로우비드 위치에 대한 유한요소해석을 수행한 후, 분류와 회귀 알고리즘을 활용하여 주름과 찢어짐 발생 여부를 분류하고, 발생 시 수치를 예측하는 인공지능 모델을 개발하였다. 학습 결과, 분류 모델의 정확도는 98%, 예측 모델의 MSE (Mean Square Error)는 0.08로 나타나 정확도 높은 예측이 가능하여 현장에서 실시간 주름과 크랙 등 성형 품질을 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

**Keywords:** Artificial Intelligent, Drawbeads, Sheet Metal Forming

1. 공주대학교 미래융합공학부, 대학원생

# 공주대학교, 미래자동차공학과, 교수, E-mail: smhong@kongju.ac.kr

# 딥러닝 기반 철강소재의 템퍼링 공정-미세조직-물성 상관관계 모델링

강준우<sup>1</sup> · 김지훈<sup>2</sup> · 김호혁<sup>1,#a</sup> · 강성훈<sup>2,#b</sup>

## Modeling Correlation of Tempering Process-Microstructure-Property Based on Deep Learning for Steel Material

J. W. Kang, J. H. Kim, H. H. Kim, S. H. Kang

### Abstract

슬루잉 베어링 모듈은 굴삭기의 상부 차체와 하부 주행체를 연결하는 필수 구동 부품이며, 다양한 제조 공정을 거쳐 생산된다. 이 중 열처리 과정의 하나인 템퍼링은 베어링의 미세조직과 기계적 물성을 결정하는 중요한 과정으로, 기존에는 반복적인 실험을 통해 템퍼링 온도가 미세조직과 물성에 미치는 영향을 분석해왔다. 그러나 이러한 실험 방식은 시간과 비용이 많이 소요된다는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 딥러닝 기반 접근법을 도입하였다. 다양한 템퍼링 온도 조건에서 42CrMo4강 소재의 미세조직을 OM (Optical Microscopy), SEM (Scanning Electron Microscopy), EBSD (Electron Backscatter Diffraction) 등을 통해 분석하였으며, 인장 시험을 통해 기계적 물성을 평가하였다. 수집된 데이터를 바탕으로, StyleGAN (Style-based generator architecture for generative adversarial networks)을 활용하여 템퍼링 온도와 미세조직 간의 관계를 모델링 하고, 합성곱 신경망 (Convolutional neural networks, CNN)을 활용하여 미세조직과 물성의 관계를 모델링 하였다. FID (Frechet inception distance), 생성된 이미지의 분율 계산을 통해 Style GAN의 성능을 평가하였으며, RMSE (Root mean squared error)을 통해 CNN의 성능을 평가하였다. 딥러닝 기반 모델을 통해 실험 데이터에 포함되지 않은 템퍼링 온도 조건에서도 미세조직 및 물성을 예측할 수 있었으며, 딥러닝을 통해 효율적으로 공정-미세조직-물성 관계 모델링할 수 있음을 확인하였다.

**Keywords:** Deep Learning, Steel, Tempering, Microstructure, Mechanical Properties

1. 한국재료연구원

2. 부산대학교 기계공학부

#a 교신저자: 한국재료연구원, 선임 연구원, E-mail: hoheokkim@kims.re.kr

#b 한국재료연구원, 책임 연구원, E-mail: kangsh@kims.re.kr

# 극박 순 타이타늄 판재의 방향별 성형한계선도 도출

김경재<sup>1,2</sup> · 김찬양<sup>1</sup> · 민경문<sup>1</sup> · 김지훈<sup>2</sup> · 봉혁중<sup>1,#</sup>

## Determination of Direction-Dependent Forming Limit Diagram of Ultra-Thin Commercially-Pure Titanium Sheet

K. J. Kim, C. Kim, K. M. Min, J. Kim, H. J. Bong

### Abstract

본 연구에서는 연료전지의 경량화 및 효율 향상을 위한 핵심 구성 요소인 연료전지 분리판 소재 중 기계적 강도, 내부식성 등의 특성이 매우 우수한 금속 소재인 극박 순 타이타늄의 성형한계선도를 실험적으로 도출하였다. 금속 판재의 성형한계선도를 실험적으로 도출하기 위해 가장 흔하게 사용되는 ISO12004-2 규격에 제시된 Nakajima 및 Marciniak 실험법을 통해 0.1 mm 두께의 극박 순 타이타늄 판재의 성형한계선도를 도출해 보았다. 그 결과 해당 실험법으로 장축 RD 방향으로의 성형한계선도를 성공적으로 도출하였다. 하지만, 소재가 가지는 매우 큰 이방성으로 인해 장축 TD 방향으로의 성형한계선도는 규격에 제시된 실험법으로 도출할 수 없는 문제가 있었다. 이 같은 문제점을 해결하기 위해 재료의 이방성을 고려한 고차원 재료 모델링 기술을 개발하고 이를 통해 장축 TD 방향으로의 성형한계선도 확보를 위한 새로운 시험편 형상을 디자인하였다. 새로운 시험 디자인을 적용한 실험을 통해 장축 TD 방향으로의 성형한계선도를 도출할 수 있었으며 그 결과 극박 순 타이타늄 소재의 경우 방향에 따라 성형한계선도의 개형이 매우 다르게 나타남을 확인하였다. 특히, 장축 TD 방향으로의 성형한계선도는 네킹(necking)이 거의 발생하지 않고 파단이 발생하는 파단성형한계선도의 개형을 보이는 것을 확인하였다.

**Keywords:** Commercially pure titanium, Marciniak test, Forming limit diagram

1. 한국재료연구원 재료공정연구본부

2. 부산대학교 기계공학부 정밀가공시스템전공

# 한국재료연구원 재료공정연구본부 선임연구원, E-mail: hjbong@kims.re.kr

# 비증분 응력기반 탄점소성 다결정 모델과 유한요소해석 응용

정영웅<sup>1, #</sup>

## Non Incremental Elasto-Visco-Plastic Polycrystal Model for Finite Element Analysis

Y. Jeong

### Abstract

The incremental elasto-visco-plastic polycrystal model is revisited to demonstrate its sensitivity to the time increment, particularly in terms of intergranular dispersions. A new elasto-visco-plastic formulation based on the non-incremental stress tensor is introduced. It is shown that both incremental and non-incremental formulations exhibit unwanted sensitivity to the chosen time increment, thus forcing to use a constant time increment which may require too many incremental steps for finite element analysis. In this study, a method to mitigate this undesirable sensitivity is proposed. The proposed method ensures that the intergranular dispersion of strain rate and stress is consistent with that of visco-plastic self-consistent (VPSC) model. Its application to finite element analysis is demonstrated for steel and magnesium alloys.

**Keywords:** Anisotropy, texture, crystal plasticity, elasto-visco-plastic modeling

# 실러 열경화를 고려한 Steel-Al 자동차 클로저 부품의 열변형 해석

안강환<sup>1#</sup>, 서민홍<sup>1</sup>, 강연식<sup>2</sup>, 김경보<sup>3</sup>

## Thermal Deformation Analysis of the Automotive Steel-Al Closure Part Considering Sealer Thermal Curing

K. Ahn<sup>1#</sup>, M. H. Seo<sup>1</sup>, Y. S. Kang<sup>2</sup>, K. Kim<sup>3</sup>

### Abstract

이종소재로 제작된 자동차 클로저 부품 (Tailgate)의 전착도장 열처리 조건 하에서 열변형 평가를 위한 실험과 해석을 실시하였다. 해당 부품은 알루미늄 외판과 스틸 내판이 헤밍과 SPR, 실러에 의해 결합된 구조이다. 해석을 위해 알루미늄과 스틸 소재의 온도별 경화곡선과 열팽창 계수가 측정되었다. 해석에서는 열처리 중 부품에 적용된 실러 및 접착제의 경화현상이 고려되었다. 열변형 해석은 상용 소프트웨어인 Abaqus/Standard로 수행하였다. 실물 부품의 열변형 평가를 위해 Steel-Al Tailgate 부품이 제작되었으며, 차체에 부착하여 열처리로를 통과시켰다. 레이저 스캐닝을 실시하여 열처리 전/후 실물 부품의 형상을 측정하였고, 해석 결과와 비교하였다. 비교 결과 실러의 열경화 현상을 고려한 해석 결과가 그렇지 않은 해석 결과들보다 실험 결과와의 일치성이 높은 것을 확인하였다. 이를 통해 Steel-Al 이종소재로 제작된 부품의 열변형 해석에서 실러의 열경화현상을 고려하는 것이 중요함을 확인할 수 있었다.

**Keywords:** Multi-material parts, Thermal deformation, Sealer curing analysis, Automotive tailgate

1. 포스코 기술연구원, 수석연구원

2. 포스코 기술연구원, 연구위원

3. 현대자동차 차체재료개발팀, 책임연구원

# 포스코 기술연구원, 수석연구원, E-mail: akhwan21@posco.com

# 딥 러닝을 이용한 공정의존적 탄소성 인공지능 구성방정식의 개발

문희범<sup>1</sup>, 강경필<sup>2</sup>, 이경훈<sup>3, #</sup>

## Development of Artificial Intelligence Process Dependent Elastic Constitutive Equation Model Using Deep Learning

H. B. Moon, G. P. Kang, K. Lee

### Abstract

내연적 유한요소코드를 이용한 성형해석 중 탄소성 해석의 경우 구성방정식을 풀기 위한 반복 과정으로 인해 많은 시간이 소요된다. 따라서 복잡한 공정 또는 형상을 가진 실제 문제에 적용하는 데 어려움이 있을 수 있다. 최근에는 유한요소해석의 전처리 및 후처리, 요소망 생성, 구성방정식 등 유한요소해석의 다양한 분야에서 인공지능(Artificial Intelligence, AI)을 적용하는 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 구성방정식을 계산하는 과정에 인공지능을 도입하여 다수의 반복 계산과정 없이 상태변수 정보로부터 그 응력을 구함으로써 앞서 언급된 한계를 극복할 방안을 제안하였다. 본 연구는 선행 연구로 개발된 인공지능 강소성 구성방정식 모델을 확장하여 탄소성 재료 타입에 인공지능 구성방정식을 적용하였다. 기존의 탄소성 구성 방정식의 경우 입력 변수의 개수가 많고 범위가 넓어 일반적인 인공지능 구성방정식의 학습이 어렵다는 한계가 있다. 이를 극복하기 위해 본 연구에서는 ‘공정 의존적(Process dependent)’ 인공지능 구성방정식을 제안하였다.

**Keywords:** Finite Element Method, Artificial Intelligence, Deep Learning, Constitutive Equation

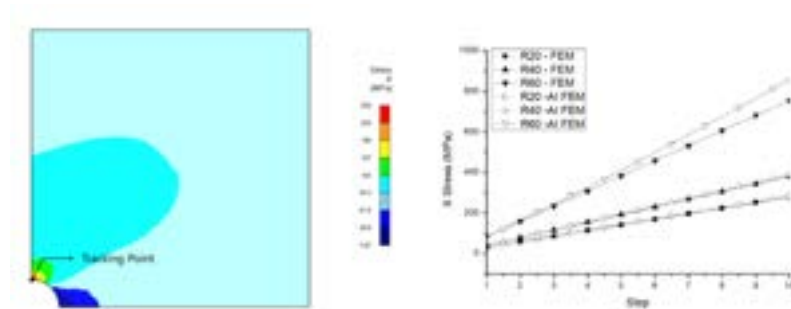


Fig 1. FEM과 AI FEM 방식에 따른 인장응력 비교 Graph

1. 솔루션랩, 대리
2. 솔루션랩, 부장
3. 솔루션랩, 대표이사

# 솔루션랩, 대표이사, E-mail :klee@solution-lab.co.kr



# 디지털 전환을 위한 프레스 스탬핑 프로세스의 제안

곽종환<sup>1</sup> · Bart D. Caleer<sup>2</sup>

## Press Stamping Process for the Full Digital Transformation

J. H. Kwak, B. D. Caleer

### Abstract

4 차 산업 혁명의 시작과 함께 다양한 분야에서 디지털 전환을 시도하고 있음에도 성공 사례는 매우 드물다. 글로벌 컨설팅 기업인 맥킨지의 조사에 따르면, 미디어나 통신과 같은 디지털 기반의 산업 조차도 성공률은 26% 미만이며, 자동차 산업과 같은 전통적인 제조업에서의 디지털 전환 성공률은 4~11%에 불과한 것으로 나타났다.

맥킨지에 의하면, 주요 실패 원인 중 한 가지는 '명확한 목표의 결여'이다. 명확한 목표 없이 특정 산업 분야의 최신 트렌드를 맹목적으로 따르는 것이 다수의 실패 사례에서 관찰되는 것이다. 이러한 문제는 인공지능을 활용하기 위한 현재의 산업계 흐름에서도 동일하게 발생할 수 있다.

오토폼 그룹에서는 Graph Neural Network 를 접목하여 프레스 스탬핑에 관한 종합 솔루션을 제공하기 위해 노력하고 있으며, DieDesigner 와 Sigma 등과 같은 고유 기술을 통해 인공지능 학습을 위한 데이터를 충분히 확보할 수 있을 뿐 아니라 인공지능에 관한 전문 지식이 없더라도 사용자 본연의 업무에 충실할 수 있는 사용자 친화적인 제품을 제공하기 위해 노력하고 있다.

또한, 제조 공정의 디지털 전환에 관하여, 물리적인 방식과 데이터에 기반한 두 가지 프로세스 트윈을 통해 혁신적인 스마트 제조/생산 방법에 관한 연구를 진행하고 있다. 양산 중 발생하는 불량 문제가 센서를 통해 감지되면, 사전에 진행된 강건성(Robustness) 해석 결과를 바탕으로 해결 방법을 분석하고 이를 프레스 라인에 적용함으로써 불량률을 혁신적으로 개선하는 것이다.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Smart Production, Press Stamping, Digital Twin, Digital Transformation

1. 오토폼엔지니어링코리아 기술영업본부, 부장

2. AutoForm Engineering GmbH, Executive Committee, Corporate Technical Director

# 오토폼엔지니어링코리아 기술영업본부, 부장, E-mail: Jonghwan.kwak@autoform.kr

# 11. 일반 논문 발표

단조

압연

압출 및 인발

( 제 11 발표회장 )

# 3차원 파라메트릭 캐드를 활용한 자동차 베어링 허브 열간 단조 공정 자동 설계 및 해석

오민성<sup>1</sup>, 이사람<sup>2</sup>, 홍석무<sup>#</sup>

## Automotive Bearing Hub Using 3D Parametric CAD Automated Design and Analysis of Hot Forging Processes

M. Oh, S. Lee, S. Hong

### Abstract

최근 자동차의 브랜드와 종류가 다양해짐에 따라 차량용 허브베어링 또한 차량의 목적에 맞게 복잡하고 다양한 설계가 이루어지고 있다. 이로 인해 허브베어링 열간단조의 예비성형체 설계 시 고려해야 될 설계 변수가 증가하여 설계 시간이 늘어난다. 추가로 예비 성형체의 설계가 변경됨에 따라 유사한 설계를 반복 진행하는 경우 또한 발생한다. 따라서 본 연구는 3차원 파라메트릭 캐드를 활용하여 자동차 베어링 열간 단조 공정 자동 설계 및 해석을 진행하였다. 3차원 파라메트릭 캐드를 활용하여 허브베어링 2차원 형상 도면에 내제된 특징 점을 인식하여 제품을 제작하는 동시에 3차원 금형 또한 자동 제작되도록 기능을 구현하였다. 또한 적응형 파라메트릭 컴포넌트를 도입하여 새로운 2차원 허브베어링 형상을 불러와서 특징 점의 위치와 개수가 바뀌더라도 사용자가 개입하지 않고 설계가 완료되었다. 본 연구의 유용성을 확인을 위해 자동차 베어링의 열간단조 공정 설계 및 성형 해석을 적용하였다. 무개입 자동 설계 및 해석을 통해 기존 대비 약 24 배 빠르게 전처리 및 후처리 과정이 단축되었으며, 자동화 프로그램을 통해 무개입 최적화 설계가 성공적으로 수행되었다.

**Keywords:** Automation, Finite Element Analysis, Hot Forging, Multi-Stage Die Design, Parametric CAD

이 연구는 중소벤처기업부의 스마트 제조혁신 기술개발사업(R&D)(RS-2024-00446241)의 지원으로 수행됨.

# 마찰의 접촉상태 의존도

허윤<sup>1</sup>, 전만수<sup>1#</sup>

## Dependence of contact states of friction

Y. Heo, M. S. Joun

### Abstract

The phenomenon that the surface strain of a material increases the friction in forging is reported as an important problem in metal forming. This study shows the importance of investigating the functional relationship between friction and state variables in the cold forging process.

**Keywords:** Friction (마찰), State variable dependence (상태변수 의존성)

### 1. 서론

Lee 등[1]의 연구에 따르면, 알루미늄 열간 단조에서 마찰이 상태변수에 따라 큰 영향을 받는다. 이 논문에서는 알루미늄 냉간단조에서 마찰과 변형률의 관계를 최적화를 통해 규명하는 내용을 소개한다.

### 2. 본론

Fig. 1은 알루미늄 냉간단조에서 마찰을 변형률의 함수로 취급하여 실험과 형상이 유사하도록 최적화하여 얻은 결과이다. 마찰함수의 차이는 작지만, 이를 반영한  $d$  값의 예측결과가 다소 차이점을 보인다.

### 3. 결론

비슷한 마찰함수라도 해석 결과는 뚜렷한 차이를 보였다. 이는 단조공정에서 마찰의 상태변수 의존성을 충분히 고려해야함을 의미한다.

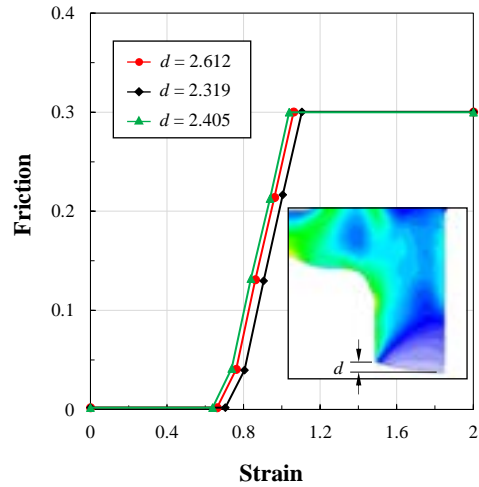


Fig.1 Comparison of optimized predictions

### 사사

이 연구는 MOTIE가 지원하는 20214000520의 사업과 RS-2024-00398425의 결과물입니다.

### 참고문헌

[1] S. W. Lee, J. M. Lee, M. S. Joun, On critical surface strain during hot forging of lubricated aluminum alloy, Tri. Int. V. 141, 2020, 105855.

1. 경상국립대학교 기계항공공학부

# 교신저자: 경상대학교 기계항공공학부, E-mail:

msjoun@gnu.ac.kr

# 체적소성가공 공정에서 연성파괴 예측을 위한 임계 요소 크기

홍보승<sup>1</sup> · 홍석무<sup>2</sup> · 전만수<sup>#</sup>

## In The Volumetric Plastic Processing Process Critical Element Size for Ductility Failure Prediction

B. S. Hong, S. M. Hong, M. S. Joun

### Abstract

The characteristics of damage prediction in bulk metal forming are emphasized, and the existence of a critical edge length for accurate analysis of history-dependent variables, including damage, is revealed. It is found that when the edge length of an element is less than 1/5 of the crack, the damage predictions do not depend on the re-meshing during the metal forming simulation.

**Keywords:** Critical Edge Length(임계요소 모서리 길이), Tensile test(인장시험), Bolt heading(볼트헤딩).

### 1. 서론

체적소성가공에서 연성파괴 이론은 실용적인 관점에서 큰 도전에 직면해 있다. 판재 성형의 경우 GISSMO가 실용적인 수준에서 널리 연구되고 있다. 체적소성가공의 목적으로는 GISMMO가 주목받고 있지만, 본 연구에서는 그 한계를 강조하고 있다. 원통형 인장 시험 조차도 변형 구간에서 응력 삼축성이 크게 변화하기 때문에 GISSMO의 구성 요소인 단순 변형 모드의 예로 간주할 수 없다는 점을 강조하고 있다.

### 2. 본론

벌크 금속 성형에서 손상 예측의 특성을 강조하고 데미지를 포함한 종속 변수의 정확한 분석을 위한 임계 요소 모서리 길이의 존재를 밝혀냈다. 요소의 임계 요소 모서리 길이가 초기 크랙의 최소 1/5 이하가 되어야 연성파괴 예측에 있어서 리메싱에 의존하지 않는 것을 알아낼 수 있었다.

### 3. 결론

이 연구를 통해 기존 데미지 모델의 사용성을 높이고 전통적인 연성 파괴 이론의 실용성에 기여하는 기초 논문 중 하나가 될 것이다.

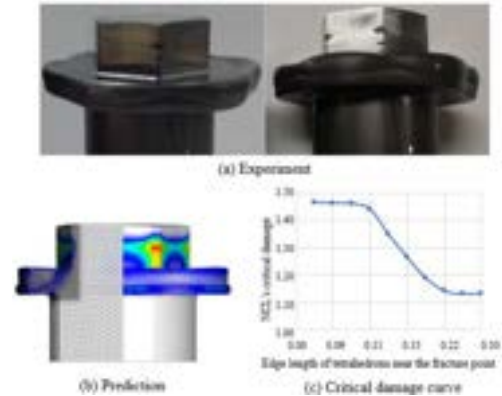


Fig. 1. Bolt heading process

### 사사

이 연구는 MOTIE가 지원하는 RS-2024-00398425의 결과물입니다.

### 참고문헌

[1] M.S. Joun, J.G. Eom, M.C. Lee, A new method for acquiring true stress-strain curves over a large range of strains using a tensile test and finite element method, Mech. Mater. V 40(7), 2008, PP. 586-593.

1. 경상국립대학교

2. 공주대학교

# 교신저자: 경상대학교 기계항공공학부

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

## 고망간강의 열간가공 공정지도와 미세조직에 관한 연구

김영주<sup>1</sup>, 이창우<sup>1</sup>

### Study on Process Map and Microstructure of High Manganese Steel During Hot Deformation.

Youngju Kim<sup>1</sup>, Changwoo Lee<sup>2</sup>

#### Abstract

세계적인 기후변화에 대응하고 탄소중립을 실현하기 위해 청정에너지인 수소의 중요성이 점점 커지고 있다. 수소 경제의 핵심 인프라인 생산, 저장, 운송 기술 개발은 이러한 목표를 달성하는 데 필수적이다. 특히, 수소를 효율적으로 저장하고 운송하기 위해서는 극저온 상태에서도 안정적인 물성을 유지할 수 있는 소재 개발이 중요하다. 본 연구에서는 극저온 환경에서 스테인리스강을 대체하기 위해 개발된 Mn-24wt% 고망간강을 사용하여 유동 응력 시험을 진행하고, 공정 지도를 작성하며 유동 응력 시험 후의 미세조직을 분석하였다. 유동 응력 시험은 Gleeble 3800 GTC 장비를 사용하여 용체화 처리 후 700, 800, 900, 1000°C의 온도와 0.01, 0.1, 1, 10/s의 변형 속도로 실시하였다. 유동 응력 시험에서 얻은 물성 정보를 바탕으로 열간가공 공정 지도를 작성하였고, 공정 지도와 미세조직의 관계를 확인하기 위해 EBSD 장비를 활용한 미세조직 분석을 수행하였다.

**Keywords:** Hi-Mn Steel, Gleeble, Flow stress, Process Map, EBSD

1. 포항금속소재산업진흥원 강관기술센터, 주임연구원

2. 포항금속소재산업진흥원 강관기술센터, 센터장

# 포항금속소재산업진흥원 강관기술센터, 주임연구원, E-mail: pip676@pomia.or.kr

# 열간단조 중 금형의 저주기 피로파괴

조현준<sup>1</sup>, 김남윤<sup>1</sup>, 조주현<sup>2</sup>, 김진국<sup>2</sup>, 문호근<sup>3</sup>, 전만수<sup>1#</sup>

## Low-Cycle Fatigue Fracture of The Die during Hot Forging

H. J. Cho, N. Y. Kim, J. H. Cho, J. K. Kim, H. K. Moon, M. S. Joun

### Abstract

A typical case of die failure owing to low-cycle fatigue fracture during hot forging is presented. The reason for the fracture is revealed through precise thermoviscoplastic finite element analysis of the three-stage hot forging process and die structural analysis. The fracture occurred not at the very corner but at around the corner where the maximum principal stress reaches the peak value. The fracture direction is perpendicular to the principal axis.

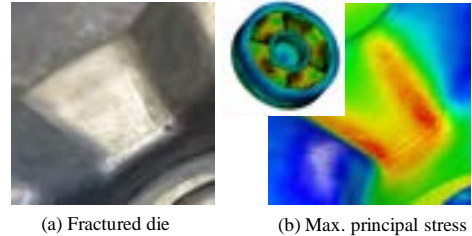
**Keywords:** Hot forging (열간단조), Low-cycle fatigue fracture(저주기 피로파괴), Maximum principal stress (최대주응력)

### 1. 서론

열간단조에서 금형의 주요 파손 원인은 마모이지만, 금형의 저주기 피로파괴[1]도 빈번하게 발생한다. 이 연구에서는 모서리에서 약간 벗어난 지역에서 발생한 저주기 피로파괴 사례를 제시하고, 그 원인을 분석함으로써 이에 관한 연구를 위한 경험적 기초를 확립한다.

### 2. 본론

Fig. 1(a)는 인터기어(Inter-Gear)의 열간단조 중, 제3단에서 발생한 금형의 파손 사례이다. 다수의 크랙이 발생하여 모서리 부분으로 성장하는 형태를 보이고 있다. 금형의 구조해석을 중시하여 3단 열간단조 공정을 비등온해석을 실시하였다. 그 결과, Fig. 1(b)에서 보는 바와 같이, 최대 주응력이 금형의 모서리 부분에서 약간 떨어진 지점에서 발생하며, 그 방향은 크랙의 방향에 수직하다.



**Fig. 1 Detailed view of the fractured die and the maximum principal stress**

### 3. 결론

전형적인 금형의 저주기 피로파괴 사례를 제시하였으며, 파괴된 지점이 모서리에서 약간 벗어난 지점에 위치하고 있어 구조해석, 열간단조 중 금형의 피로파괴, 역학적 현상 이해 등에 모범적인 예제라고 판단된다.

### 사사

이 연구는 MOTIE가 지원하는 202140000520의 사업 및 중소벤처기업부의 스마트 제조혁신 기술개발사업(R&D)(RS-2024-00446241)의 지원으로 수행됨.

### 참고문헌

[1] G. Bernhart, G. Moulinier, O. Brucelle, D. Delagnes, High temperature low cycle fatigue behaviour of a martensitic forging tool steel,

Int. J. Fatigue, V 21, 1999, pp.179-186

1. 경상국립대학교 기계항공공학부

2. 동은단조

3. MFRC

# 교신저자: 경상국립대학교 기계항공공학부

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

# 잔류응력을 고려한 인공지능 기반 열연 변형저항 예측

김현호<sup>1#</sup>, 김성훈<sup>2</sup>

## Artificial Intelligence-Based Prediction Technology for Hot Rolling Deformation Resistance Considering Residual Stress

H. H. Kim, S.H. Kim

### Abstract

본 연구는 열간 압연 공정에서 변형저항을 보다 정확하게 예측하기 위한 인공지능(AI) 기반 기술을 제안한다. 변형저항은 mean flow stress(MFS)로 정의되며, 이는 응력-변형률 곡선에서 특정 변형률 구간의 평균 응력으로 나타난다. 기존의 변형저항 예측 방법은 주로 Shida 식과 Misaka 식을 이용하여 탄소강을 대상으로 수행되었으며, 이는 탄소 함량 외의 합금 조성의 영향을 충분히 반영하지 못하는 한계가 있었다. 또한, 열간 압연 공정에서 발생하는 잔류응력의 영향을 고려하지 않아 예측 성능에 한계가 있었다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 열간압연 조업실적 빅데이터를 AI 모델에 학습시켜 잔류응력을 고려한 변형저항 예측 기술을 개발하였다. AI 모델은 고합금강 및 Nb, Si, Al, Mn 첨가강을 대상으로 잔류응력을 고려한 변형저항 예측을 성공적으로 수행하였으며, 이는 기존의 물리모델 및 경험식 기반 예측 방법보다 높은 정확도를 보였다. 특히 열간 압연 공정에서 후단 스탠드로 갈수록 잔류변형이 누적되는 현상을 고려하여, 잔류응력이 변형저항에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. AI 기반 예측 모델은 기존의 물리모델 및 경험식 기반 예측 방법에 비해 실험 비용을 절감하고, 신강종 개발 시 양산 조건을 신속하게 최적화하는데 기여할 것으로 예상된다.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Hot Rolling Deformation Resistance, Residual Stress

1. 포스코 기술연구원

2. 한국재료연구원

# 교신저자: 포스코 기술연구원 강재연구소, 수석연구원, khhpos@posco.com



# 공형압연공정에서 압하력 기반 실제 롤 갭 예측 알고리즘을 통한 각 패스의 질량흐름 실시간 예측

남규한<sup>1</sup>· 이동윤<sup>2</sup>· 이영석<sup>#</sup>

## Real-time mass flow prediction for each pass using actual roll gap prediction algorithm based on rolling force in caliber rolling

G. H. Nam<sup>1</sup>, D. Lee<sup>2</sup>, Y. Lee<sup>#</sup>

### Abstract

공형압연에서 필수조건은 각 패스가 동일한 질량흐름(mass flow) (=압연된 소재의 단면적×압연 속도) 값을 가지는 것이다. Lee<sup>1,2)</sup>가 개발한 해석모델을 사용하면 소재의 단면적과 압연속도를 1초 이내에 계산할 수 있기에, 압연 시작 이전에는 각 패스에서의 질량흐름을 거의 완벽하게 계산할 수 있다. 하지만 이는 설계(또는 기준) 롤 갭  $RG_{ref}$  을 사용했을 때이다.

압연기의 탄성변형 때문에 압연 중 실제 롤 갭( $RG_{act}$ )은  $RG_{ref}$  보다 크게 된다. 따라서 열간 압연과는 달리 공형압연 공정에서 조업자는 경험에 기반하여  $RG_{ref}$  값 보다 약간 작은 값, 즉 setup roll gap( $RG_{setup}$ ) 값을 설정한다. 하지만  $RG_{setup}$ 도 압연 중에는 변하기 때문에  $RG_{act}$ 을 정확하게 알 수 없다. 하지만 압연기(즉, 스탠드) 수가 많아 설치/유지비용 때문에 전 세계의 선재/봉강공장의 압연기에  $RG_{act}$  및 압연하중(roll force)을 측정하는 sensor 가 없다. 따라서 조업자의 경험에 의해서 각 스탠드(패스)에서  $RG_{act}$ 을 추정하기 때문에 각 근무교대 조별로 각 패스(pass)에서 질량흐름 값이 다르다. 이로 인해 압연과정에서 소재에 걸리는 tension 예측 값이 달라서, 근무교대 조별로 최종제품 단면의 편경차가 다르고, 압연공정이 자주 불안정하다.

본 연구는 공형압연해석과 압연하중(P) 기반 롤 갭 예측 알고리즘을 연계한 연구결과를 보여 준다. 먼저 봉강공장에서 각각의 압연기에 측정되는 모터 전류치(current)를 활용하여 모터 토크(torque)를 계산한다<sup>3)</sup>. 계산된 모터 토크에 기어 비(gear ratio)를 나누어 롤 토크를 산출한다. 공형 롤의 유효 직경을 고려하여 레버 암(lever arm)을 구하고 압연하중을 계산한다. Nam et. al<sup>4)</sup>이 제안한 방법을 사용하여 압연기의 밀 정수(mill modulus, M)를 구하면 mill stretch,  $\delta$  를 계산할 수 있다.

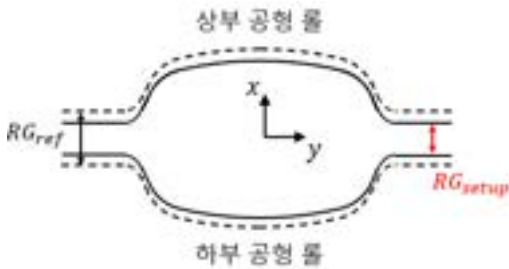
두번째로, 공형압연에서 각 패스의 소재단면의 폭포짐, 형상, 면적, 표면온도를 1 초이내로 계산하는 Rod Rolling Simulator(RRS)<sup>3)</sup> code 를 BISRA (British Iron & Steel Research Association)-AGC(Automatic Gauge Control) 모델<sup>6)</sup> 과 결합한다. 이렇게 개발된 Integrated RRS code 를 6-패스 봉강압연공장에 적용하고 또한 Matlab simulink 를 사용하여 압연하중을 기반으로 각 패스에서  $RG_{act}$  값과 제어해야 될 롤 갭( $RG_{control}$ )을 산출할 수 있다. 이런 롤 갭 값들을 다시 RRS 에 연결하여 연속압연 중 각 패스에서 시간에 따라 변하는 소재의 폭포짐, 단면형상(면적) 및 질량흐름을 실시간으로 계산할 수 있게 된다.

본 연구에서 개발된 code 를 연속 선재/봉강 압연공정에 사용하면 실시간으로 소재에 걸리는 tension 양을 알 수 있어 조업 불안정을 줄일 수 있다. 또한 근무교대 조별로 달라지는  $RG_{setup}$  값의 변동을 최소화시킬 수 있고 그러면 최종제품 단면의 편경차를 대폭 줄일 수 있다. 따라서, 이 연구결과를 현장에 적용하면 조업자가 많은 스탠드의 롤 갭을 일일이 경험기반으로 조정하는 것을 피할 수 있어 선재/봉강 생산 표준화 및 자동화에 한 발짝 더 다가 갈수 있다.

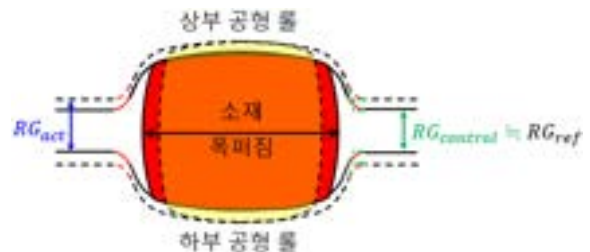
**Keywords:** Rod/Bar rolling, Actual roll gap, Control, Time dependent mass flow, Production automation

**Reference**

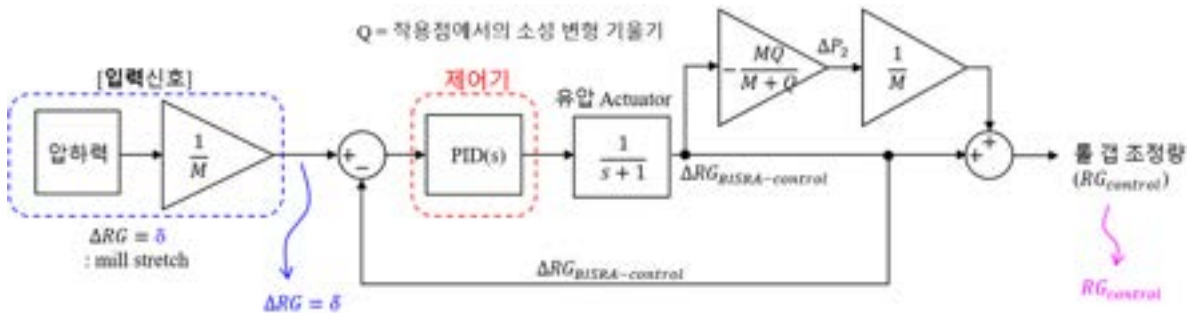
- (1) Lee, Y. (2002). Prediction of the surface profile and area of the exit cross section of workpiece in round-oval-round pass sequence. *ISIJ international*, 42(7), 726-735.
- (2) Lee, Y. (2001). An analytical study of mean roll radius in rod rolling. *ISIJ international*, 41(11), 1414-1416.
- (3) 신명호 (2014). 3 상 유도전동기의 간이등가회로에 의한 토크 오차 분석. *조명. 전기설비학회*, 28(1), 45-49.
- (4) 남규한, 이동윤, & 이영석. (2024). 연속압연 공정에서 소재의 mass flow 실시간 진단을 위한 동적 소재 폭퍼짐 예측. 한국소성가공학회 학술대회 논문집, 127-127.
- (5) 이동윤. (2023). 연속 공형압연에서 표면흠 예측 모델(Surface Defect Index model)개발 및 Fast Prediction 플랫폼 구축. 중앙대학교 석사학위 논문.
- (6) 이해영 (1997). 압연공정의 자동제어. 도서출판 춘도. 82-83



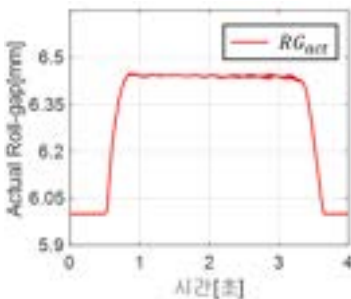
<Fig. 1 압연 이전 공형 롤의 상/하 변위(움직임)>



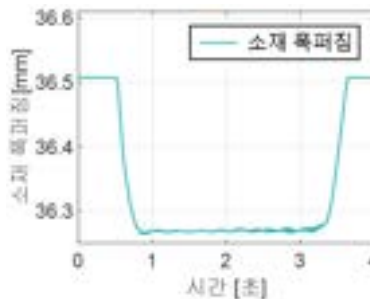
<Fig. 2 압연 도중 공형 롤의 상/하 변위(움직임)>



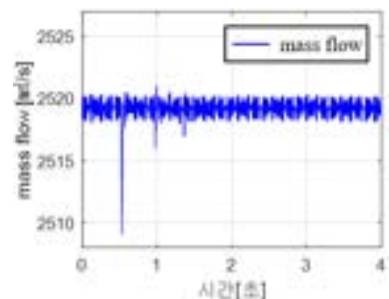
<Fig. 3 PID 제어를 추가한 BISRA-AGC 모델 블록 선도>



<Fig. 4 실제 롤 갭(RG\_act) 변화>



<Fig. 5 소재폭퍼짐(spread) 변화>



<Fig. 6 mass flow 변화>

- 1. 중앙대학교 기계공학부, 대학원생
- 2. Department of Mechanical Engineering, Iowa State University, USA
- # 중앙대학교 기계공학부, 교수, E-mail: ysl@cau.ac.kr

# 열간압연강에서 형성된 산화물 스케일의 잔류 응력 수치 분석을 위한 준해석적 방법 개발

전용제<sup>1,\*</sup> 윤지강<sup>1,\*</sup> 이재민<sup>2</sup> 김선호<sup>1</sup> 김영천<sup>3</sup> 남승훈<sup>4</sup> 이명규<sup>5,#1</sup> 노우람<sup>6,#2</sup>

## A Semi-Analytical Approach for Numerical Analysis of Residual Stress in Oxide Scale Grown on Hot-Rolled Steels

Y.-J. Jun, J.-G. Yoon, J.-M. Lee, S.-H. Kim, Y.-C. Kim, S. Nam, M.-G. Lee, W. Noh

### Abstract

In this study, we developed a semi-analytical approach for the numerical analysis of residual stress in oxide scales formed on hot-rolled steels. The oxide scale, formed during the hot rolling process, experiences complex interactions due to thermal and mechanical influences, significantly affecting the material's integrity and performance. Our research focuses on integrating various stress components such as thermal stress, growth stress, and creep behavior to predict the residual stress within the oxide layer. The semi-analytical method combines analytical expressions for each stress component with numerical integration to account for their cumulative effects. Validation through instrumented indentation tests confirms the reliability of our model, which considers thermal expansion coefficient (CTE) differences, scale growth, and creep-induced stress relaxation. Our findings indicate that thermal stress resulting from CTE differences significantly impacts the overall residual stress, with growth stress contributing a compressive component during cooling, and creep behavior playing a minor role in stress relaxation. This comprehensive approach enhances the accuracy of residual stress prediction, facilitating the optimization of material design and processing conditions for hot-rolled steel products.

**Keywords:** Semi-Analytical Method, Residual Stress, Oxide Scale Growth, Thermal Expansion, Hot-Rolled Steel

1. 안동대학교 반도체·신소재공학과, 석사 과정
2. 현대제철 전기로공정기술팀, 책임매니저
3. 안동대학교 반도체·신소재공학과, 부교수
4. 명지대학교 신소재공학과, 부교수
5. 서울대학교 재료공학부, 교수
6. 안동대학교 반도체·신소재공학과, 조교수

\* These authors contributed equally to this work.

#1 Corresponding Author : Seoul National University, Department of Materials Science and Engineering, E-mail : myounglee@snu.ac.kr ORCID : 0000-0001-5870-0737

#2 Corresponding Author : Andong National University, Department of Materials Science and Engineering E-mail : wnoh@anu.ac.kr ORCID : 0000-0002-0969-6441

# 철강 압연 설비를 활용한 티타늄 판재 제조와 테르미트 반응

최미선<sup>1</sup>· 이현석<sup>1</sup>

## Manufacturing of Titanium Plate using steel rolling equipment and Thermit reaction

M.S. Choi, H.S. Lee

### Abstract

티타늄의 연속열연은 제철소 티타늄 판재는 가열로에서 가열된 후, 대기 중에서 열간 가공하여 제조되지만, 이때, 티타늄의 높은 고온 산화력 때문에 산소가 용이하게 내부에 침입하고, 표면의 산화 경화층이 증가하고 압연 중에 표면 결함이 발생하는 원인으로서 작용하는 것으로 알려져 있다. 한편, 가열로에서 티타늄과 철 스케일이 접촉하면 테르미트 반응이 일어나, 급격한 발열 반응으로 진행되는 것이 보고되고 있지만, 티타늄 표면에 미치는 영향에 대해서는 충분히 조사되지 않았다.

본 연구에서는 티타늄 판재에 있어서의 철 스케일의 테르미트 반응을 명확히 하고, 테르미트 반응에서 생긴 표면 결함이 압연에 의해 잔류, 성장, 소멸하는 거동을 조사했다. 철 스케일을 표면에 포함하는 순티타늄을 열간 압연하면, 압연 롤의 마찰이나 압력에 의해 티타늄의 표면에서 테르미트 반응에 의한 격렬한 반응 불꽃이 발생했다. 두께 30T까지 압연하면, 철 스케일이 티타늄의 표면에 압착된 후 떨어질 때에 패임이 생겨, 10T까지 압연하면, 패임은 압연 방향으로 신장되고 평평해졌다. 또한 티타늄 표면에 잔류한 철 스케일은 10T에서도 테르미트 반응을 거쳐 표면에 새로운 패임이 생겨 3.5T까지 압연하면 평평해졌다.

티타늄의 표면에서 FeO, Fe의 결정 구조가 관찰되는데 이것은 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 철 스케일이 티타늄에 의해 환원되었기 때문이라고 생각된다. 결함은 티타늄 표면 약 60 $\mu$ m 깊이까지 관찰되었지만, 조직은 정상 조직과 유사하였다. 철의 산화물을 포함하는 영역을 0.5T까지 냉간 압연하면 압연 방법에 수직인 방향에 크랙을 수반하는 표면 결함이 발생하였다. 이는 테르미트 반응에 의해 국부적으로 두꺼워진 산소 경화층이 산세로 완전히 제거되지 않았기 때문이라고 생각된다.

**Keywords:** Titanium, Iron, surface defect, Rolling process

1. 포항산업과학연구원2.  
# 교신저자의 소속, 부서, 직위, E-mail: 포항산업과학연구원,  
재료공정연구소, 수석연구원, msc@rist.re.kr

# 타이타늄 Ti-6Al-4V 합금 극후물 압연재의 열처리 조건에 따른 미세조직 및 인장물성 변화

이현석<sup>1</sup>

## The Effect of Heat Treatment Conditions on the Microstructure and Mechanical Properties of Extra-thick Rolled Ti-6Al-4V Alloy

### Abstract

타이타늄은 우수한 기계적 특성, 경량성, 내식성 및 생체 적합성으로 인해 항공우주, 해양, 의료 등 다양한 산업 분야에서 널리 사용되고 있다. 특히, Ti-6Al-4V 합금은 높은 강도와 내열성, 가공성이 뛰어나 항공기, 터빈 블레이드, 의료 임플란트 등 고성능 부품에 주로 적용된다.

본 연구에서는 항공기 규격의 Ti-6Al-4V VAR(Vacuum Arc Remelting) 잉곳을 슬라브 단조 후, 철강 생산 설비를 활용해 두께 100mm의 극후물 압연 공정을 수행하였다. 이후 압연된 Ti-6Al-4V 극후물재에 대해 Mill Annealing 및 Beta Annealing 열처리를 실시하였다. Mill Annealing은 타이타늄 합금의  $\alpha+\beta$  영역에서 수행되어 비교적 안정된  $\alpha$ 상과  $\beta$ 상이 공존하는 미세조직을 형성하여 우수한 인성 및 균형 잡힌 기계적 특성을 제공하였으며, Beta Annealing은  $\beta$  영역에서 고온 처리 후 빠르게 냉각하여  $\beta$ 상의 결정립 성장이 억제되고 높은 내피로전과 특성이 우수한 침상형의 조직을 형성하였다. 두 가지 열처리 방식에 따른 극후물재의 위치별 인장 물성 변화를 비교한 결과, 소재의 미세조직과 인장 특성에서 뚜렷한 차이가 관찰되었다.

# 압출비가 마그네슘 미세튜브의 기계적 물성과 생분해 속도에 미치는 영향

김재성<sup>1,2</sup>, 임창동<sup>1</sup>, 서병찬<sup>1</sup>, 김하식<sup>1</sup>, 이상은<sup>1</sup>, 서종식<sup>1\*</sup>

## The Effect of Extrusion Ratio on the Mechanical Properties and Biodegradation Rate of Magnesium Microtubes

J. S. Kim, C. D. Yim, B. C. Suh, H. S. Kim, S. E. Lee, J. S. Suh\*

### Abstract

생분해성 정형외과 임플란트와 혈관질환 치료용 소재는 미래 생체 삽입형 의료기기의 핵심 기술 중 하나이다. 현재 사용되고 있는 혈관용 스텐트는 영구적으로 체내에 남는 stainless steel, Co-Cr 또는 nitinol 합금으로 제조되어 혈전증, 지속적인 염증 유발 등 부작용을 일으킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해 생분해성 스텐트가 대안으로 주목받고 있다. Mg은 인체 구성 원소로서 생체 적합성과 생분해성으로 인해 체내 삽입형 스텐트용 금속소재로 각광받고 있다. 하지만 낮은 기계적 물성과 빠른 분해 속도, 성형성이 떨어지는 한계로 인해 합금화와 가공 열처리를 통해 이를 개선하는 연구가 진행되고 있다. 스텐트 삽입술 중 혈관의 손상없이 복잡한 혈관을 통과하여 원하는 위치에 안전하게 도달하기 위해서 얇은 스트럿 두께가 요구되며 이를 위해 우수한 기계적 물성 확보가 필수적이다. 본 연구에서는 2단 직접 압출 공정을 활용하여 스텐트 제작에 필요한 미세튜브를 압출비를 달리하여 제조하고 물성을 평가하였다. 압출비의 변화, 즉 미세튜브의 외경과 벽 두께의 변화에 따른 형상 변화를 측정하고 비교하였다. 압출비에 따른 상온 인장 물성과 생분해 속도를 미세조직 및 집합조직과 연계하여 비교 분석하였다. 압출비가 증가할수록 결정립 미세화를 통해 Mg 미세튜브의 강도가 증가하였고, 생분해 속도도 증가하는 것을 확인하였다.

**Keywords:** 생분해성 마그네슘 합금, 미세튜브, 압출, 기계적 물성, 생분해 속도

1. 한국재료연구원

2. 부산대학교

\*한국재료연구원, 경량재료연구본부, 책임연구원, E-mail: jssuh@kims.re.kr

# 분말충진밀도가 초전도 $MgB_2$ 선재의 임계전류밀도에 미치는 영향

오상현<sup>1,2</sup>, 오영석<sup>1</sup>, 장세훈<sup>3</sup>, 문영훈<sup>2</sup>, 강성훈<sup>#</sup>

## Effect of Powder Packing Density on Critical Current Density of Superconducting $MgB_2$ Wire

S. H. Oh, Y. S. Oh, S. H. Jang, Y. H. Moon, S. H. Kang

### Abstract

반응된 이붕화마그네슘(magnesium diboride,  $MgB_2$ )의 상온 성형성의 한계로 초전도  $MgB_2$  선재 제작에는 마그네슘(Mg)과 붕소(B)를 혼합한 분말이 사용된다. 이 혼합분말은 금속관에 장입된 후 공형압연 및 인발 등의 소성가공 공정을 통해 선재로 제작된다. 혼합분말의 충진밀도는 열처리 후 초전도체의 성능을 결정하는 주요인자로 알려져 있다. 본 연구에서는 혼합분말의 충진밀도를 증가시키기 위해서 Mg분말 벽을 제작하여 Mg분말과 B분말의 영역을 나누는 Mg분말 압축(Mg-Powder-Compaction) 방법을 사용하였다. 충진밀도의 영향을 확인하기 위해 Mg분말 벽의 두께를 조절하였고, Mg분말 벽 내에 B분말과 Mg분말을 혼합한 혼합분말을 충전하였다. 혼합분말 내 첨가된 Mg분말의 양은 Mg분말 벽의 두께에 따라 달리하였으며 공형압연 및 인발 공정을 통해 선재를 제작하였다. 선재의 단면, 상전도 및 초전도 특성을 Mg분말의 양에 따라 비교 분석하였다. 그 결과, 충진밀도가 감소함에 따라 입자연결성은 감소하는 경향을 보였지만 임계 전류 밀도는 증가하는 경향을 보였다. 이는 Mg의 짧은 확산거리로 인해 초전도 선재 내에 반응이 되지 않은 Mg이 임계 전류 밀도에 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다.

**Keywords:**  $MgB_2$  wire, Mg-Powder-Compaction, Critical current density

1. 한국재료연구원 재료공정연구본부

2. 부산대학교 기계공학부

3. Kiswire Advanced Technology Ltd.

# 교신저자: 한국재료연구원, 재료공정연구본부, 본부장, kangsh@kims.re.kr

# 인발공정의 특징을 고려한 최적 해석 모델

신영빈<sup>1</sup>, 정동석<sup>2</sup>, 전만수<sup>1#</sup>

## Optimized Drawing Process Analysis Model Considering its Characteristics

Y. B. Shin, D. s. Jung, M. S. Joun

### Abstract

An optimized analysis model for the tube or rod drawing process is proposed to obtain high-precision finite element analysis results while overcoming limitations in numerical analysis such as the large number of stages in the drawing process, extreme slippage between the die and material, pulling grips, and the like.

**Keywords:** Drawing Process (인발공정), Optimized Analysis Model (최적해석모델), Automation (자동화)

### 1. 서론

인발공정은 극단적인 특징이 있다. 단의 수가 많고, 극단적인 금형과 재료 간의 미끄러짐 발생, 잡아당기는 그림 등을 특징으로 한다[1]. 이로 인하여 해석 기술의 적용에 있어 많은 제약을 받아왔다. 이 연구에서는 이러한 제약을 극복하면서 고정도의 해석결과를 얻기 위한 최적화된 해석모델을 제안한다.

### 2. 본론

제안된 최적의 인발공정 해석모델은 구조요소를 사용하며, 인발공정에서 변형은 극단적인 금형과 재료의 상대운동에 의존하기 때문에 표면조밀요소를 사용하였고, 필요에 따라 조밀도를 유연하게 조절할 수 있다. 초기 진입을 용이하게 하기 위하여 선단에 테퍼링을 부과하였고, 구조강도의 저하를 방지하도록 하였다. 다단공정의 자동해석과 정밀 유한요소해석이 이루어지도록 하였다. 기본적으로 정상상태에 이르기 전에는 압출에 의존하도록 하였으나, 그 역학적 영향을 최소화하였다. 전방과 후방 인발 공정의 해석이 가능하도록 하였다. Fig. 1은 11단 공정을 자동해석 기능으로 얻은 결과이다.

### 3. 결론

제안된 최적 인발공정 해석기능은 인발공정의 엔지니어링의 생산성 향상과 공정 최적설계에 기여할 것으로 기대된다.

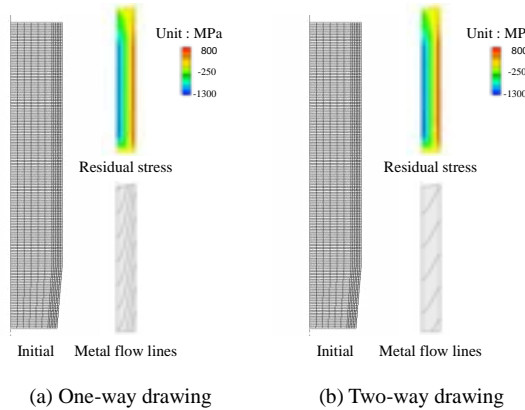


Fig. 1 Automated simulation of a multipass drawing process

### 사사

이 연구는 LINC 3.0(20240619001)의 연구결과입니다.

### 참고문헌

[1] Y. Heo, N.Y. Kim, J.W. Nam, I.G. Chung, M.S. Joun, Friction heat ball in round-to-half circle drawing and its effect on the material's skin shearing, Tribology International, Volume 197, 2024, 109755.

1. 경상국립대학교

2. 풍성정밀관

# 교신저자: 경상국립대학교 기계항공공학부, E-mail: msjoun@gnu.ac.kr



## 12. 특별 세션 8

Closed Session

고강도 소재 적용 전기자동차 샤시  
및 배터리 케이스 제조를 위한 접합장비와  
스마트 접합라인 개발 및 제품화 실증

( 제 12 발표회장 )

# 기계적 체결 시 홀 위치 측정 정확도 향상을 위한 FDS System 및 BMS 스마트 제조 라인 개발

이창훈<sup>1,#</sup> · 이태규<sup>2</sup> · 최낙윤<sup>3</sup> · 이기동<sup>4</sup>

## Development of FDS System and BMS Smart Manufacturing Line to Improve Hole Position Measurement Accuracy in Mechanical Fastening

C. H. Lee, T. K. Lee, N. Y. Choi, K. D. Lee

### Abstract

본 연구개발은 차시 부품 및 배터리팩케이스에 적용되는 스마트 체결 장비 개발을 목적으로 한다. 본 연구에 적용되는 스마트 체결 제조라인은 FDS(Flow Drill Screw) System과 BMS(Blind nut Mounting System)이며, 본 연구를 위해 FDS, BMS, 로봇 등 국산 장비가 활용되었다. 스마트 체결 시스템은 이종소재 및 알루미늄 부품 등의 기계적 체결 시, 2D 비전 및 3D 비전을 활용하여 체결부인 프리홀의 위치를 정확히 측정하고, 체결 후 위치에 정확히 체결되었는지 확인하는 시스템이다. 본 연구에서는, 2D 비전을 활용하여 홀 위치 측정 시  $\pm 0.14\text{mm}$  이내의 오차를 확인하였으며, 조립 위치 정확도는  $\Phi 0.97\text{mm}$  이내의 오차를 확인하였다.

**Keywords:** FDS, BMS, Chassis, Battery Pack Case, Joining, smart manufacturing

### Acknowledgement

이 연구는 2024 년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (전기자동차 차시 및 배터리케이스 조립을 위한 접합 장비 국산화 및 스마트 접합라인 개발, 20022489, 산업통상자원부)

1. ㈜화신, 기술연구소 선행연구팀, 책임연구원

2. ㈜나우테크, 연구소, 책임연구원

3. ㈜화신, 전기차부품기술팀, 책임연구원

4. ㈜화신, 전기차부품담당, 상무

# ㈜화신, 기술연구소 선행연구팀, 책임연구원, chang-hoon.lee@hwashin.co.kr

## 590 MPa 이상의 고강도 강재와 알루미늄 이종소재의 플로우 드릴 스크류-본딩 접합 품질 평가

임성빈<sup>1,3</sup>· 이솔미<sup>1</sup>· 고한솔<sup>1</sup>· 추우인<sup>1</sup>· 주원중<sup>1,3</sup>· 이태규<sup>2</sup>· 이창훈<sup>4</sup>· 김동윤<sup>1</sup>· 유지영<sup>1</sup>· 김동혁<sup>1,#</sup>

### Flow Drill Screw-bonding Joint Quality of High Strength Steel more than 590 MPa and Aluminum Alloy

S. B. Im, S. M. Lee, H. S. Ko, W. I. Choo, W. J. Ju, T. K. Lee, C. H. Lee, D. Y. Kim, J. Y. Yu, D. H. Kam

#### Abstract

최근 자동차 산업에서 강화되는 환경 및 연비 규제에 따라 전기자동차 시장이 연비 증가를 위해 차량 경량화에 대한 요구가 증가하면서 샤시부품 및 배터리 케이스 개발 수요가 증가하고 있다. 이러한 부품 제조를 위해 고성능 접합 기술이 요구되고 있고 그 중에 FDS(Flow Drill Screw) 접합은 프로파일(Profile) 형상이나 대형 부품과 같이 편면 접합을 요구하는 부품에 주로 적용되는 기계적 체결 공법으로 사용량이 증가하고 있다. 하지만 현재 FDS 접합은 해외 거의 선진사 장비에 의존해 공정이 진행되고 있다. 본 연구는 국산화된 FDS 개발 장비로 상판 SG AFC 590DP 2.3 mm, SG AFC 980DP 2.0 mm 소재와 하판 A6N01 5.0 mm 소재의 FDS-bonding 접합 품질을 평가한다. FDS 접합 공정의 4단계(find slot, form flow hole, screw in, tightening)에서 각 단계의 주요 변수(bit speed, rotation speed, torque)를 순차적으로 평가하여 공정 범위를 제시한다.

**Keywords:** Aluminum, High-strength steel, Dissimilar material joint, Flow drill screw, Pre-hole,

#### Acknowledgement

이 연구는 2024 년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (전기자동차 샤시 및 배터리케이스 조립을 위한 접합 장비 국산화 및 스마트 접합라인 개발, 20022489, 산업통상자원부)

1. 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소, 유연생산연구부문

2. 주식회사 나우테크, 용접기개발팀

3. 서강대학교, 기계공학과

4. ㈜화신, 기술연구소 선행연구팀

# 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소, 유연생산연구부문, 수석연구원, kamdong@kitech.re.kr

# AC Pulse 디자인툴을 이용한 AC Pulse 알루미늄 용접조건 시너지라인 개발방법 소개

이재민<sup>1.#</sup>, 변동섭<sup>2</sup>, 김정용<sup>3</sup>, 이창훈<sup>4</sup>

## Introduction to the Development Method of AC Pulse Synergic Line for Aluminum Welding with Using AC Pulse Design Tools

J. M. Lee, D. S. Byun, J. Y. Kim, C. H. Lee

### Abstract

알루미늄 합금은 높은 열전도도와 열팽창률을 가지고 있어 용접시 변형의 발생이 쉽다. 또한 표면에 형성된 산화피막은 알루미늄의 본 모재보다 용융점이 높기 때문에 용접중 수소가 용융부에 침투하여 기공등의 결함을 유발할 수 있다. AC Pulse용접은 DCEN(direct current electrode negative)와 DECP(direct current electrode positive)구간이 주기적으로 반복되어 모재가 받는 입열을 줄일 수가 있어서 열변형이 적고, 산화피막의 제거등의 효과도 얻을 수 있다. 최근에는 AC Pulse용접장비의 경우 제조사에 의하여 내장된 펄스용접조건을 사용하고 있으나, 이는 제조사에 의한 가장 이상적인 환경에서의 펄스데이터라고 볼 수 있다. 기본적으로 Pulse 용접의 시너지데이터는 송급속도를 기준으로 하여 각각의 항목들이 선형적으로 증가 또는 감소한다. AC Pulse의 경우는 DCEN, DECP의 극성이 존재하기 때문에 극성비율, 크기등의 항목들이 추가로 데이터화 되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 현장에 최적화될 수 있도록 사용자가 AC Pulse의 세부항목들을 모두 변경할 수 있도록 설계 툴을 소개한다. 설계 툴에 의한 용접 조건등은 데이터화되어 알루미늄의 재질 및 직경에 따라 사용자 전용 시너지라인을 만들 수 있으며, 각각의 세부항목들에 대한 설명을 포함하도록 한다.

**Keywords:** AC Pulse, Synergic, Aluminum MIG Welding

### Acknowledgement

이 연구는 2024 년도 산업통산자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (전기자동차 샤시 및 배터리케이스 조립을 위한 접합 장비 국산화 및 스마트 접합라인 개발, 20022489, 산업통상자원부)

1. 현대피엔에스 용접시스템기술부 제어기술1팀, 팀장

2. 현대피엔에스 용접시스템기술부, 연구소장

3. 현대피엔에스 용접시스템기술부, 책임연구원

4. (주)화신, 기술연구소 선행연구팀, 책임연구원

# 현대피엔에스, 용접시스템기술부 제어기술1팀, 팀장, jaemin.lee@hyundaipns.com

# Blind Rivet Nut 접합 시스템 국산화 개발

김태오<sup>1, #</sup> · 이태규<sup>2</sup> · 이창훈<sup>3</sup>

## Development of a Domestic Blind Rivet Nut Fastening System

T. O. Kim, T. K. Lee, C. H. Lee

### Abstract

본 연구개발은 전기차 배터리팩 제작을 위한 Blind Rivet Nut를 체결하기 위한 접합 시스템 개발을 목적으로 한다. 이를 위해 체결 시 자율적으로 홀과 매칭이 가능한 기계적 구조를 개발하였고, 각 체결 단계별 실시간 모니터링을 위한 시스템을 구축하였다. 이러한 국산화 시스템은 기존의 수입 의존도를 낮추고, 전기차 생산 과정에서의 비용 절감과 효율성 향상을 목표로 한다. Blind Rivet Nut 접합 시스템은 서보 모터 기반의 정밀 제어 가압 장치를 통해 체결 정확도를 높였으며, 실시간 토크 및 가압력 센서를 이용해 각 체결 단계에서 발생하는 데이터를 모니터링하고 분석하여 체결 품질을 관리할 수 있도록 설계되었다. 또한, 사용자 친화적인 인터페이스를 통해 작업자의 접근성과 편의성을 향상시켰다. 본 연구의 결과는 전기차 배터리팩 생산 공정에서의 품질과 효율성을 높이는 데 기여할 뿐만 아니라, 국내 제조업체의 경쟁력을 강화하는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

**Keywords:** Blind Rivet Nut, Fastening System, Electric Vehicle Battery Pack, Real-time Monitoring, Domestic Development

### Acknowledgement

이 연구는 2024 년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (전기자동차 샤시 및 배터리케이스 조립을 위한 접합 장비 국산화 및 스마트 접합라인 개발, 20022489, 산업통상자원부)

- (주)나우테크, 연구소, 선임연구원
  - (주)나우테크, 연구소, 책임연구원
  - (주)화신, 기술연구소 선행연구팀, 책임연구원
- # (주)나우테크, 연구소, 선임연구원, kevin@nawootec.com

## 이종소재 적용 프론트 크로스 멤버 개발

김성호<sup>1</sup> · 서오석<sup>1</sup> · 박종규<sup>#</sup>

### Development of Front Cross Member Using Dissimilar Materials

S. H. Kim, O. S. Seo, J. K. Park

#### Abstract

최근 미국과 유럽연합(EU)에서 잇따라 자동차 연비·탄소배출 규제 기준을 강화하는 가운데, 자동차 산업에서는 기존 내연기관 자동차에서 친환경을 목표로 전기자동차와 같은 친환경차로의 전환을 가속화하고 있다. 전기자동차는 고용량 배터리가 탑재되어 같은 규모의 기존 내연기관 자동차에 비해 공차중량이 더 많이 나가는 이유로 경량화에 대한 요구가 증대되고 있으며, 그에 따라 차량 경량화를 위해 초고강도강, 알루미늄, 복합소재 등 다양한 경량소재들이 차량에 적용되고 있다. 하지만 대부분의 경량소재는 차체(Body)에 위주로 적용되고 있으며 높은 수준의 강성 및 내구성을 요구하는 샤시(Chassis) 부품에 적용은 아직 미비하며, 샤시 부품이 차량 중량에 차지하는 비중이 큰 것을 감안하면 심층적인 연구가 필요한 시점이다.

본 연구는 기존 철강 소재 위주의 자동차 샤시 부품인 프론트 크로스 멤버를 초고강도강과 고강도 알루미늄(주조/압출) 소재를 적용하여 경량화 및 고강도화 개발하고자 한다. 이종소재간 접합은 Flow Drill Screw, Blind Rivet, 접착제 등 다양한 접합법을 시편단위로 접합성능을 평가하여 최적의 접합법을 선정하였다. 각 단품의 성형성은 유한요소해석기반으로 평가하였고, 각 부품별 성형이력 및 용접이력 해석결과를 매핑(Mapping)하여 최종 용접 해석에 반영하였다. 해석결과는 실제 3D 스캐닝 치수 데이터와 비교하여 용접 열변형 해석의 신뢰성을 검증하였다. 또한 자동차에서 요구되는 성능을 평가하기 위해 내구시험을 진행하여 기존 양산 대비 성능을 검증하였다.

**Keywords:** Vehicle Chassis Parts, Front Cross Member, Dissimilar Material, Dissimilar Joining

#### Acknowledgement

이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(780 MPa급 이상 초고강도 소재 적용 전기자동차 샤시 및 300 MPa급 이상 알루미늄 배터리케이스 용접을 위한 요소 공정해석기술 개발 및 제품화 실증, 20022438, 산업통상자원부)

1. ㈜화신 기술연구소

# ㈜화신, 선형연구팀, 책임연구원, E-mail: boxlife@hwasin.co.kr

## FDS접합부에 대한 파단강도 평가방법 연구

김동건<sup>1,2</sup> · 박두현<sup>1</sup> · 김성호<sup>3</sup> · 송정한<sup>1,#</sup>

### Evaluation Method of Fracture Strength in Dissimilar Material Combination using Flow Drill Screw Connection

D.G. Kim, D.H. Park, S.H. Kim, J.H. Song

#### Abstract

최근 글로벌 탄소중립 실현을 위한 EV, FCEV와 같은 친환경자동차 시장의 확대로 차체 부품의 경량 설계로 인한 이종소재 사용이 증가하고 있다. 이종소재의 조합을 통해 단일 소재만으론 달성하기 어려운 경량화를 이끌어낼 수 있지만, 체결부에 파단이 발생하면 차체 부품이 구조적 역할을 수행하지 못하게 된다. 따라서, 부품간의 구조적 성능을 만족하면서 최적화된 차체 부품을 개발하기 위해선 이종소재 체결부에 대한 성능평가가 반드시 필요하다.

본 논문에서는 인장-전단 복합하중이 적용된 이종소재 FDS접합부의 파단강도를 평가하고자 순수인장 및 순수전단을 포함하여 다양한 하중 경로에 대한 실험을 수행하였다. 그리고, FDS체결부를 모사하기 위한 유한요소모델을 구성하여 실험결과를 예측할 수 있는 모델링 기법에 대한 연구를 진행하였다.

**Keywords:** FDS(Flow Drill Screw), Dissimilar material, Load-angle, Cross-tension test, Lap-shear test

#### Acknowledgement

이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (780 MPa급 이상 초고강도 소재 적용 전기자동차 샤시 및 300 MPa급 이상 알루미늄 배터리카이스 용접을 위한 요소 공정해석기술 개발 및 제품화 실증, 20022438, 산업통상자원부)

1. 한국생산기술연구원 뿌리기술 연구소

2. 서울대학교 재료공학부

3. ㈜화신 기술연구소

# 한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소, 유연생산연구부문, 수석연구원, jhsong@kitech.re.kr

# 고강도 알루미늄 적용 프론트 크로스 멤버 용접 열변형 해석 기술 신뢰성 검증 연구

김한솔<sup>1</sup>, 강지석<sup>1</sup>, 구인환<sup>1</sup>, 서오석<sup>2</sup>, 박종규<sup>2</sup>, 조정호<sup>1, #</sup>

## A Study on the Reliability of Thermal Deformation Analysis of FR C MBR Welding with High Strength Aluminum

H. S. Kim, J. S. Kang, I. H. Koo, O. S. Seo, J. K. Park, J. H. Cho

### Abstract

용접 공정은 재료에 국부적인 열을 입력하기 때문에 재료의 급격한 팽창과 냉각에 의한 수축을 야기하여 잔류 변형을 발생시킨다. 특히, 자동차 샤시 모듈과 같은 대형 부품을 용접할 경우, 용접 선이 길고 다수 위치에 용접이 수행되기 때문에 용접 공정 후 발생하는 열변형은 최종 조립품의 치수 정밀도에 큰 영향을 미친다. 이외에도, 용접 지그 구속 위치, 자유도 등에 따라 영향을 받기 때문에 초기 설계 단계에서 중요하다. 따라서 실품 용접 전, 용접 공정에 의한 열변형 예측 해석의 필요성이 꾸준히 인식 되어왔다. 용접 순서에 따라 변형 정도가 달라지기 때문에 용접 순서에 따라 열변형 최소화를 위한 해석 사례가 몇몇 보고되어 왔다. 본 연구에서는 고강도 알루미늄이 적용된 프론트 크로스 멤버 용접 열변형 해석을 수행하였다. 프론트 크로스 멤버의 서브 부품에 대해 용접 순서에 따라 열변형 크기를 비교하였으며 실품과 동일한 순서로 열변형 해석 후, 3D 스캐닝 측정 데이터를 기반으로 신뢰성을 검증하였다.

**Keywords:** FEM, Welding deformation, distortion, High Strength Aluminum

### Acknowledgement

이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(780 MPa급 이상 초고강도 소재 적용 전기자동차 샤시 및 300 MPa급 이상 알루미늄 배터리케이스 용접을 위한 요소 공정해석기술 개발 및 제품화 실증, 20022438, 산업통상자원부)

1. 충북대학교 기계공학부, 대학원생

2. ㈜화신 기술연구소

# 충북대학교 기계공학부, 교수, junghocho@cbnu.ac.kr



# 적응형 삼각형 메쉬 기반 성형 해석 결과의 육면체 메쉬로의 변환 알고리즘 개발

심규장<sup>1</sup>, 홍승효<sup>1</sup>, 전형주<sup>1</sup>, 이형림<sup>1</sup>, 김성호<sup>2</sup>, 서오석<sup>2</sup>, 박종규<sup>2</sup>, 이명규<sup>#</sup>

## Abstract

부품 제작을 위한 용접 해석에서는 해당 부품들의 성형 이력을 반영하는 것이 필수적이다. 이는 잔류 응력 및 항복 강도를 정확히 반영하는 데 도움이 되며, 단순히 형상만을 고려한 용접 시뮬레이션보다 더 정확한 열변형 계산을 가능하게 한다. 성형 이력을 반영하기 위해서는 먼저 성형 해석을 수행한 후, 그 결과를 용접 시뮬레이션에 적용해야 한다. 많은 상용 성형 해석 소프트웨어는 큰 변형량을 효율적으로 계산하기 위해 적응형 삼각형 메쉬(adaptive triangular mesh)를 사용하지만, 열변형 계산에서는 육면체 메쉬(hexahedral mesh)를 이용하는 것이 더 높은 정확도를 제공한다. 따라서 적절한 재메쉬(remeshing)와 유효소성변형량 및 잔류 응력의 매핑(mapping)이 필요하다. 본 연구에서는 quadratic blossom algorithm과 적분점 간 거리 기반 매핑 알고리즘을 통해 이 문제를 해결하고자 하였다.

**Keywords:** remeshing, mapping

## Acknowledgement

이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(780 MPa급 이상 초고강도 소재 적용 전기자동차 샤시 및 300 MPa급 이상 알루미늄 배터리케이스 용접을 위한 요소 공정해석기술 개발 및 제품화 실증, 20022438, 산업통상자원부)

1. 서울대학교 재료공학부

2. 화신 기술연구소

# 서울대학교 재료공학부 교수, myounglee@snu.ac.kr

# 초음속 분말 적층 적용 스틸-알루미늄 이종용접 연구

최돈현<sup>#</sup>, 오주석<sup>1</sup>, 서오석<sup>2</sup>, 박종규<sup>2</sup>

## Research of Dissimilar Welding of Aluminum and Steel using Supersonic Particle Deposition

D. H. Choi, J. S. Oh, O.S. Seo, J.G. Park

### Abstract

최근 자동차 산업에서는 탄소저감과 관련한 글로벌 기후 규제 강화에 대응하기 위하여 차량 경량화를 위한 다양한 방법을 모색 중에 있으며 이 중 가장 효과적인 방안으로 경량 금속과 스틸 합금 또는 그 이상의 소재를 적절히 구성하는 이종 소재 조합이 점차 증가되고 있는 상황이다. 이에 따라 이종소재 (스틸 합금 / 비철 금속)로 구성된 고강도 경량부품 개발을 위해서는 이종 소재 (스틸 / 알루미늄)간 용접 기술의 확보가 필히 확보되어야 한다. 그러나 이종소재의 용접은 두 소재간 물성 차이에 기인하여 계면에 형성되는 금속간 화합물(Intermetallic compounds, IMCs)의 과도한 성장으로 인하여 용접부의 신뢰성을 확보하기 어려운 문제가 있다. 이를 극복하기 위하여 마찰교반접합 등 고상 접합 등의 연구가 진행되고 있으며 일부 양산 사례도 있으나, 아크 및 레이저 등 용융 용접을 적용한 스틸/알루미늄 이종 소재의 접합은 연구는 진행되고 있으나 실제적으로 양산화까지 적용에는 어려움이 많은 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 초음속 분말 적층을 적용한 스틸/알루미늄의 이종 용접 연구를 수행하였다. 피용접재 표면 적층 후 용접 결과 안정한 용접부가 형성되는 것을 확인할 수 있었으며, 기계적 체결 접합 대비 약 130% 수준의 강도를 확보할 수 있었다.

**Keywords:** Cold Spray Coating, Steel Alloy, Aluminum Alloy, Dissimilar welding

### Acknowledgement

이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(780 MPa급 이상 초고강도 소재 적용 전기자동차 샤시 및 300 MPa급 이상 알루미늄 배터리케이스 용접을 위한 요소 공정해석기술 개발 및 제품화 실증, 20022438, 산업통상자원부)

1. 현대모비스, 책임연구원

2. 화산, 책임연구원

/ 1622702@mobis.com 본 문서는 현대모비스의 대외비 정보자산이므로 무단 전재 및 복제할 수 없으며, 위반 시 당사 사규 및 관련 법규에 의해 제재될 수 있습니다.

# 현대모비스, 책임연구원, 1622702@mobis.com

# 1. 특 별 세 션 6

EBSD 데이터를 활용한 재료의 변형  
및 파괴 거동 이해

( 제 1 발표회장 )

# L-PBF 공정으로 제조된 In-situ 나노 산화물 강화 CrMnFeCoNi 고엔트로피 합금 기지 복합 재료의 미세조직 및 기계적 특성

이기안<sup>1#</sup>, 김영균<sup>1,2</sup>, 박소연<sup>1</sup>

## Microstructure and Mechanical Properties of In-situ Nano Oxide Reinforced CrMnFeCoNi High Entropy Alloy Matrix Composite Manufactured by Laser Powder Bed Fusion

K. A. Lee<sup>1#</sup>, Y. K. Kim<sup>1,2</sup>, S. Y. Park<sup>1</sup>

### Abstract

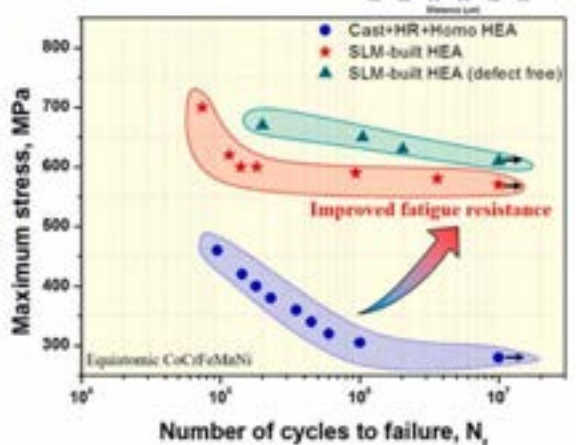
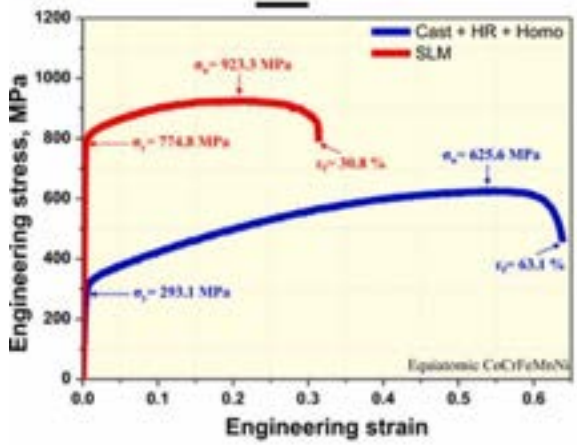
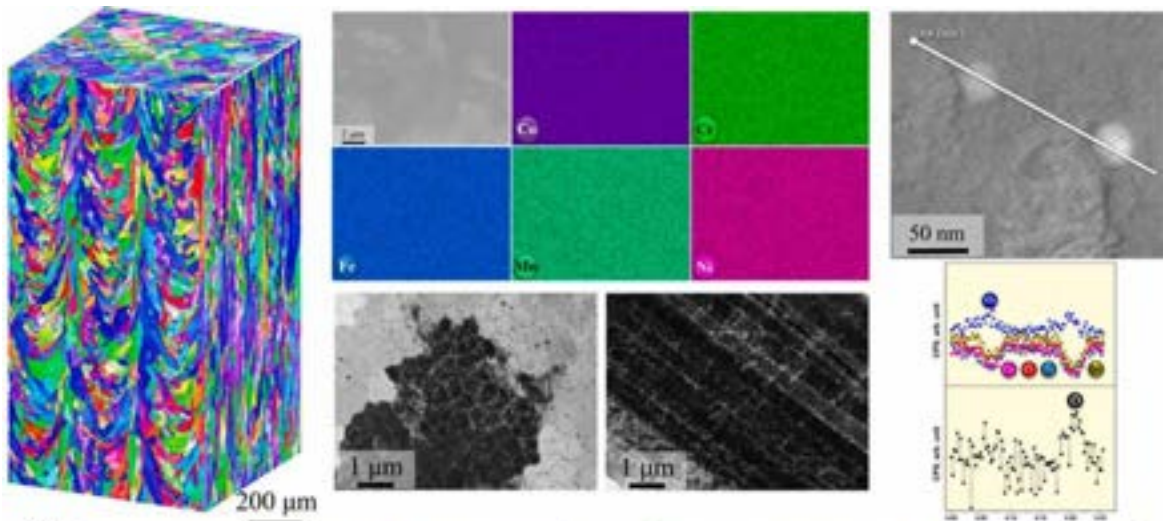
본 발표는 한국 소성가공학회 특별 세션(EBSD 데이터를 활용한 재료의 변형 및 파괴 거동 이해)을 위한 것으로 EBSD 및 다양한 분석 방법을 이용한 신소재의 미세조직 관찰 및 변형, 파괴 거동 해석과 관련된 것이다. 본 연구에서는 Cantor 고엔트로피 합금 기지에 nano oxide 가 분포된 복합 재료를 금속 적층 제조 기술인 laser powder bed fusion 공정을 이용하여 제조하고, 그 미세조직과 기계적 특성을 조사하였다. 제조된 소재의 경우 heterogeneous 결정립 구조와 전위 network-induced substructure를 보였다. 또한 substructure 경계 및 입계에 미세하게 분포된 nanosized 산화물들을 관찰할 수 있었다. 인장 시험 결과 774.8 MPa의 항복 강도, 923.3 MPa의 인장 강도 및 30.8%의 연신율의 우수한 기계적 특성을 얻을 수 있었다. 피로 시험 결과 기존 공정으로 제조된 Cantor 합금에 비하여 현저하게 향상된 고주기 피로 물성을 나타냈다. 본 연구에서는 이 독특한 복합 재료의 변형 및 파괴 거동을 EBSD 등 분석 방법을 활용하여 제시된 heterogeneous 결정립 구조, 전위 network 구조, in-situ oxide 강화상 등과 연계하여 규명할 수 있었다. 상기 결과들을 바탕으로 EBSD 분석 결과를 활용한 금속 및 복합 재료의 변형, 파괴 기구 해석의 응용 가능성에 대해서도 함께 토의하고자 하였다.

**Keywords:** EBSD, High entropy alloy, Laser powder bed fusion, In-situ precipitation, Microstructure, Mechanical property

1. 인하대학교 신소재공학과, 교수, 대학원생

2. 한국재료연구원, 선임연구원

# 교신저자: 인하대학교 신소재공학과, 교수, E-mail: keeahn@inha.ac.kr



# 투과전자현미경을 이용한 철강재료의 변형조직해석

허윤옥<sup>1</sup>

## Study on the deformed behavior of various steels using a transmission electron microscope

### Abstract

결정질 재료에서의 전위의 움직임은 기계적 특성 혹은 전기적 특성과 연관되어 있어서 많은 연구자들에 의해서 오랜 기간 연구되어 왔다. 이와는 다른 관점에서 잘 정렬된 전위의 움직임은 때로는 격자구조의 변화를 가져올 수 있어서 상변태를 유발하기도 한다. 최근 주사전자현미경의 Electron Channeling Contrast Imaging 기법을 통해서 재료의 변형거동에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만, 여전히 투과전자현미경을 이용한 전위구조에 대한 해석이 필요하다. 본 발표에서는 투과전자현미경을 이용한 결정결함을 해석하는 방법을 소개하고, 실제 다양한 철강재료의 변형조직 내부의 전위 및 결함 구조를 해석한 결과를 공유하고자 한다.

# 강가공 소재에서 신뢰성 있는 EBSD 데이터 취득

강주희

## Acquisition of reliable EBSD data in severe deformed materials

Joo-Hee Kang

### Abstract

EBSD 분석은 금속 소재뿐만 아니라 세라믹, 기능 소재의 미세구조와 집합조직 해석을 위해 널리 사용되고 있다. 2010 년대 후반부터 주사전자현미경 분해능과 전류밀도의 비약적 향상, CMOS EBSD 검출기 개발로, 이전에는 EBSD 분석이 어려웠던 전자빔에 취약한 소재나 sub-micron 크기 결정립을 가진 소재도 비교적 쉽게 분석할 수 있게 되었다. 또한 EBSD 분석은 TEM 분석에 비해 비교적 넓은 영역에서 통계적 미세조직 데이터를 획득할 수 있고, 초당 수백~수천 픽셀 분석 속도를 얻게 되면서 대면적 분석도 용이하게 되었다. 이처럼 EBSD 의 분해능 및 속도 발전으로 금속소재에서 EBSD 분석은 필수불가결한 분석기법으로 인식되고 있다.

기존 강가공 소재의 EBSD 분석은 Kikuchi 패턴이 선명하지 않아 Hough indexing 이 어려워 indexing 율이 낮은 EBSD 데이터를 얻을 수밖에 없었다. 따라서 정량 해석에 제한이 있거나 TEM 분석을 통해 고분해능 해석을 해야 하는 경우가 대부분이었다. 그러나 TEM 분석은 관찰 영역이 최대 수  $\mu\text{m}$  로 협소하여 통계적인 미세구조 파악이 어렵고, 통계적 분석이 쉽지 않은 단점이 있어 연구자들은 가급적 SEM-EBSD 분석으로 많은 정보를 얻고 싶어한다.

최근 제안된 pattern matching (PM) indexing 법은 분석시 얻은 Kikuchi 패턴과 시뮬레이션 패턴을 서로 비교하여 기존 Hough indexing 이 불가능한 픽셀의 방위와 상 정보를 얻거나, Pseudo-symmetry 등으로 방위 결정이 쉽지 않은 경우에도 적용할 수 있다. 한편 CMOS EBSD 검출기는 SEM 의 높은 probe current 에서도 분석이 가능하므로 기존에 사용하던 CCD EBSD 검출기와 달리, 효과적인 EBSD 분석을 위한 SEM 및 EBSD 설정치가 매우 달라지게 된다. 본 연구에서는 PM indexing 과 효율적 SEM 및 CMOS EBSD 검출기 설정을 통해 indexing 율을 향상시키고, 강가공 소재에서 신뢰성 있는 EBSD 데이터를 확보하는 방법을 소개하고자 한다.

**Keywords:** EBSD, Severe deformed materials, CMOS, Pattern matching indexing

# ECAP 공정으로 제조된 Pure Cu 소재의 동적인장압출 거동

이근호<sup>1, #</sup>·김석봉<sup>1</sup>·박이주<sup>1</sup>·박경태<sup>2</sup>

## Dynamic Tensile Extrusion Behavior of pure Cu Fabricated by Equal Channel Angular Pressing

Keunho Lee, Seok Bong Kim, Leeju Park, Kyung-Tae Park

### Abstract

The deformation behavior and microstructural evolution of ultrafine- (UFG) and fine-grained (FG) Cu during the dynamic tensile extrusion (DTE) process were investigated. The DTE tests were conducted with identical projectile velocities using an all-vacuum gas gun. The DTE ductility increases as the grain size increases, in contrast to the previous outcome with coarse-grained Cu exhibiting that the ductility increased with a decrease in the grain size. The fragments were softly recovered and were examined by a micro-Vickers hardness test and microstructural characterization assessments. A strong dual  $\langle 001 \rangle + \langle 111 \rangle$  texture is developed during the DTE regardless of the UFG and FG sizes. The UFG-B fragments show that the  $\langle 111 \rangle$  fibers are replaced by the  $\langle 001 \rangle$  fibers as a result of meta-dynamic recrystallization (mDRX), while the  $\langle 111 \rangle$  fibers in FG-200 saturate without any extensive reduction. Evidence of the mDRX was found in an analysis of the misorientation-angle distribution, grain morphology, and grain orientation spread. A numerical simulation reveals that the mDRX can occur due to adiabatic heating, with the faster kinetics in the UFG-B originated from the accumulation of higher levels of deformation energy during the DTE process. The present study also confirms that occurrence of mDRX in the UFG and FG Cu triggers a ductile failure and local necking with a decrease in the DTE ductility.

**Keywords:** Copper, ECAP, Dynamic tensile extrusion, Microstructure, Dynamic Recrystallization

---

1. 국방과학연구소

2. 국립한밭대학교 신소재공학과

# 교신저자: 국방과학연구소, 선임연구원

E-mail: top8772@add.re.kr



# Hole Expansion Failure of Steel Sheets

Heung Nam Han<sup>1</sup>

## Abstract

Advanced high-strength steel (AHSS), known for its excellent combination of strength and ductility, has a critical limitation of inferior edge formability. Accordingly, the edge formability, represented by hole expansion ratio (HER), becomes a crucial consideration in the application of AHSS to automotive parts. Despite its significance, improving HER is still challenging because it is difficult to simply correlate HER with microstructure characteristics. In this presentation, we propose a novel approach to correlate microstructure to HER. HER is influenced not only by the material's intrinsic edge formability but also by damage accumulated during hole-punching process. Therefore, we evaluate HER by the separation into two indicators. Firstly, by making a hole through electrical discharge machining, we can exclude the damage effect induced by the hole-punching process. The HER in this case is named intrinsic HER or HER<sub>0</sub>. Next, the punching damage effect is quantified through the difference between HER obtained by the punched hole and HER<sub>0</sub>. The thing to note is that microstructural characteristics influence both HER<sub>0</sub> and punching damage effect and by understanding the effects of microstructure on each case, we are able to accurately understand HER from a microstructure perspective. In particular, through an artificial neural network technique, it is confirmed that there is a strong correlation between the uniaxial tensile properties and HER<sub>0</sub>. In addition, we could obtain the relationship between the properties obtained by shear test and the punching damage effect. Finally, we propose a dual-scale finite element model to predict HER<sub>0</sub> based on real microstructure. From the FE model, comprehensive insights of deformation and failure behavior of AHSS sheets is discussed in connection with microstructural features.

---

1. Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea,  
E-mail: hnhan@snu.ac.kr

# 우라늄의 열적 팽창 수축 사이클에 따른 소성 변형 현상과 결정소성학적 해석

정영웅<sup>1, #</sup>

## Plastic deformation of uranium under thermal cycle interpreted via crystal plasticity modeling

Y. Jeong

### Abstract

우라늄 다결정의 열순환(thermal cycle)에 의한 소성 변화는 1950년대에 이미 보고되었다. 우라늄의 결정구조는 orthorhombic으로써, 탄성계수와 열팽창계수의 이방성이 매우 높은 편이다. 게다가 다양한 전위 슬립계가 존재하며, 그 임계 전단 응력값이 매우 상이하다. 따라서, 열순환에 의해 내부 응력이 쌓이다, 특정 슬립의 임계 전단 응력값을 넘어서면 단순 부피 변화에 벗어난 소성변형이 일어날 수 있다. 이 현상으로 말미암아 우라늄 다결정에 나타나는 열 팽창/수축 순환에 의한 소성 변형을 정성적으로 설명할 수 있으나, 탄성계수, 열팽창계수, 슬립계 및 쌍정계, 그리고 다결정의 집합조직을 고려한 결정 소성 모델을 활용한 정량적 분석사례는 찾기 힘들다. 본 발표에서는 최근 문헌에 발표한 결정소성 모델을 활용한 분석 사례를 소개한다.

**Keywords:** Anisotropy, texture, crystal plasticity, elasto-visco-plastic modeling, uranium

# ZK60합금의 쌍정생성에 미치는 결정방위와 온도의 영향

조재형<sup>1#</sup>, 치투리비렌드라<sup>1</sup>, 장효선<sup>1</sup>, 이건영<sup>1</sup>

## Effects of orientations and temperature on activation of tensile twinning of ZK60 Mg alloys

J.-H. Cho, V. Chitturi, H.-S. Jang, G.Y. Lee

### Abstract

ZK60마그네슘합금은 비교적 고강도의 합금으로 산업적 응용성이 높은 편이다. 용체화 처리한 ZK60합금을 이용하여 높이  $\phi 10\text{mm} \times 12\text{mm}$ 의 원통형 시편을 제작하여 일축압축시험을 실시하고 결정립의 방위와 온도, 변형량 및 변형속도 등과 같은 여러 가지 공정변수에 따른 미세조직 변화와 쌍정의 생성에 대해서 고찰하였다. 결정립의 방향성에 따른 차이를 살펴보기 위해서 압연방향(V0)과 압연방향에 수직(V90)인 두 개의 시편을 제작하였고, 0.083 /sec and 1.6667 /sec의 변형속도에서 3%, 7%의 변형량에 따른 미세조직을 EBSD를 통해서 측정하였다. 방위차분포를 평가할 수 있는 KAM (kernel average misorientation)과 GAM (grain average misorientation) 및 GOS (grain orientation spread)를 통해서 쌍정이 발생하는 경우와 발생하지 않은 결정립들의 특성을 평가하였다. KDE(kernel density estimation)을 통해서 방위차분포의 빈도를 평가함으로써, 인장쌍정 발생과 이중쌍정 및 슬립변형의 상이한 특성을 확인하였다. Schmid factor를 이용하여 basal<a>, prismatic<a> 그리고 tensile twins의 변형모드에 따른 결정립들의 거동을 critical resolved shear stress(CRSS)와 연관 지어 살펴보았다.

**Keywords:** ZK60 magnesium alloys, texture and microstructure, twinning, misorientation, Schmid factor

## 결정소성 유한요소법을 이용한 CP Ti 판재의 거동 분석

# Analysis of the Behavior of CP Ti Sheets using Crystal Plasticity Finite Element Method

김경표<sup>1</sup> · 강주희<sup>2</sup> · 오창석<sup>3</sup> · 김지훈<sup>#</sup>

### Abstract

Commercially pure titanium (CP Ti) exhibits large anisotropy and asymmetry at room temperature. Even though several studies for behavior of CP Ti have been conducted to explain such unique behavior, the deformation mechanism responsible for these asymmetric yielding and hardening is not clearly understood. In this study, to predict hardening behavior of CP Ti based on its microstructure, a micromechanical analysis was conducted using electron backscatter diffraction (EBSD) and crystal plasticity finite element analyses (CPFEM). Representative volume elements were generated based on EBSD experiment results on CP Ti Grade 2 and 4. Parameters of crystal plasticity model were derived from comparison between uniaxial tensile/compression tests and results from CPFEM. The roles of different deformation modes in various loading conditions were discussed. Predicted yield functions of CP Ti at various plastic work level also were suggested.

**Keywords:** Crystal Plasticity, Mechanical testing, Anisotropic material, Twinning

---

1. 부산대학교 기계공학부, 대학원생

2. (주)웨이브센스, CTO

3. 한국재료연구원, 책임연구원

# 부산대학교 기계공학부, 교수, E-mail: kimjh@pusan.ac.kr

# 압연접합시 알루미늄 합금판재의 초미세립 생성 거동 분석

김형욱<sup>1#</sup>, 임차용<sup>1</sup>, 최시훈<sup>2</sup>, Nobuhiri Tsuji<sup>3</sup>

## Analysis on the formation behavior of ultra-fine grains of Al alloy sheets during Accumulative Roll Bonding(ARB)

H.W.Kim, C.Y. Lim, S.H.Choi, N. Tsuji

### Abstract

알루미늄 합금 판재를 반복적으로 압연접합하는 경우 압연접합횟수의 증가에 따라 결정립의 크기가 감소하며, 따라서 알루미늄 합금판재의 인장시험 시 항복강도가 증가한다. 반복적으로 접합압연하면 롤 표면과 접하는 부분은 전단변형이 판재의 중심부는 평면변형이 우세하며 압연 접합된 판재는 측정 위치에 따라 결정립의 형상 및 방위에 차이가 있다. 반복횟수 증가에 따른 결정립의 형상과 내부 결정립의 방위를 EBSD분석을 통하여 알 수 있으며 변형의 진행에 따른 결정립 미세화 거동 분석이 가능하다. 본 발표에서는 순알루미늄 판재를 반복적으로 압연 접합하고 누적압연량의 증가에 따른 판재 부위별 결정립 형상 및 방위 변화를 측정하였으며 각 단계에서의 결정립계의 생성과 방위변화가 초미세립의 생성에 미치는 영향을 고찰하였다. 압연시의 국부적인 방위의 변화 및 결정립의 형상변화를 EBSD 측정으로 분석이 가능하였으며 따라서 압연접합시 반복횟수의 증가에 따른 새로운 결정립계의 생성과 결정립 방위의 생성이 초미세립 생성에 많은 영향을 미치며 각 부위에서의 국부적인 방위 및 결정립계 특성 변화를 분석하여 초미세립 생성 거동을 보다 명확히 확인할 수 있었다.

**Keywords:** Al alloy, Sheet, Roll bonding, UFG, grains

1. 한국재료연구원 경량재료연구본부 책임연구원

2. 국립순천대학교 첨단신소재공학과 교수

3. 교토대학교 재료공학과 교수

# 한국재료연구원 경량재료연구본부 책임연구원, E-mail: hwkim@kims.re.kr

## 적층 제조 Ti-6Al-4V 판재의 고주기피로 특성

권용남<sup>1</sup>, 석무영<sup>1</sup>, 박주영<sup>2</sup>, 정유인<sup>2</sup>

### High Cycle Fatigue Characteristics of PBF Ti-6Al-4V Sheet

Yong-Nam Kwon, Moo-Young Seok, J. Y. Park and Y. I Jeong

#### Abstract

In this study, the high cycle fatigue characteristics of Ti-6Al-4V alloy plates manufactured using the Powder Bed Fusion (PBF) method were evaluated. 3D printing technologies, including PBF, are effective for improving material utilization and are anticipated to find applications in the aviation industry. The investigation focused on specimens produced by the PBF process, examining how variables such as stacking direction, post-treatment, and surface roughness affect high cycle fatigue characteristics. It was observed that these fatigue characteristics are influenced by both stacking direction and surface roughness. Based on these findings, additional technologies and measures required for the application of PBF materials in aircraft were considered.

**Keywords:** powder bed fusion, Ti-6Al-4V, high cycle fatigue

---

1. Korea Institute of Materials Science

2. Korea Aerospace Industries, LTD

# Aerospace Materials Center, E-mail: kyn1740@kims.re.kr

# 초극저온에서 순수 타이타늄의 인장변형 기구 및 serration 거동연구

김정한<sup>1#</sup>, 마흐디<sup>1</sup>, 하디스<sup>1</sup>, 이수열<sup>2</sup>, 김영균<sup>3</sup>, 나영상<sup>3#</sup>

## Tensile properties and serrated flow behavior of commercially pure titanium under extra-low temperature conditions

Jeoung Han Kim<sup>1#</sup>, Mahdi Aghaahmadi<sup>1</sup>, Hadis Esmailpour<sup>1</sup>, Soo Yeol Lee<sup>2#</sup>, Young Kyun Kim<sup>3</sup>,  
Young Sang Na<sup>3#</sup>

### Abstract

The mechanical properties of metallic materials at extremely low temperatures are critical for ensuring structural integrity in various applications, including fuel tanks, pressure vessels, and aerospace components. Microscopically, these properties are governed by the formation and migration of extended defects such as stacking faults and dislocations. At cryogenic temperatures, the reduced intensity of thermal activation poses challenges to defect activity, affecting the competition between dislocation glide and deformation twinning as primary deformation mechanisms. One well-known phenomenon observed at low temperatures is serrated flow behavior, which has intrigued scientists for decades. Titanium, especially pure titanium, is notable for exhibiting this behavior and holds significant importance in cryogenic applications. Despite its importance, understanding the underlying mechanisms of serrated flow in titanium remains elusive. This study aims to address this gap by investigating the deformation behavior of commercially pure titanium at extra-low temperatures. Employing diverse mechanical testing methodologies alongside advanced characterization techniques such as electron microscopy and in-situ neutron diffraction analysis, the research endeavors to provide a comprehensive understanding of this complex phenomenon. Digital image correlation will be utilized to observe deformation behavior down to 15 K, facilitating a detailed examination of microstructural changes and deformation mechanisms.

**Keywords:** Serrated flow behavior, Extra-low temperature, Commercially pure titanium, Neutron diffraction analysis, Electron microscopy, DIC

1. 국립한밭대학교 신소재공학과, 대학원생

2. 충남대학교 신소재공학과, 교수

3. 한국재료연구원 특수합금그룹, 책임연구원

# 국립한밭대학교, 신소재공학과, 교수, E-mail: jh.kim@hanbat.ac.kr

# 한국재료연구원, 특수합금그룹, 교수, E-mail: nys1664@kims.re.kr

# 집합조직 분석을 기반으로 한 구리 박막의 소성변형 메커니즘 규명

이소연<sup>1</sup>

## Abstract

작은 스케일의 금속, 특히 나노 스케일 두께의 나노결정(nanocrystalline)으로 구성된 금속 박막은 일반적으로 전위가 부족하고 전위 이동이 억제되어 소성 변형이 일어나지 않는다는 것이 통설로 여겨져 왔다. 또한, 결합 주변의 변형 집중은 금속 박막의 빠른 파괴를 유발하는 것으로 알려져 어서, 응력 집중에 취약한 금속 박막은 소성 변형이 일어나는 것이 거의 불가능하다고 여겨져 왔다. 그러나 이러한 일반적인 믿음과는 달리, 본 연구에서는 특정 조건 - 변형 분산과 변형 중 전위원의 공급 - 이 충족될 경우 금속 박막도 소성 변형을 보일 수 있음을 발견했다. 본 연구에서는 전자빔 조사 전에 두께 100 nm의 Cu 박막을 폴리이미드(PI) 기판에 증착하여 인장변형을 진행해 구리 박막의 소성 거동을 관찰하였다. 특히, 전자빔 조사를 통해 Cu와 PI 간의 접착력을 강화시켜 Cu 박막을 균열 없이 최대 30%까지 늘릴 수 있었다. 이상의 메커니즘을 규명하기 위해 TEM 기반 EBSD(ASTAR™) 분석을 실시하였으며, 쌍정을 기반으로 한 결정립 성장과 미세화를 관찰하였고, 분자 동역학 시뮬레이션을 통해 메커니즘을 검증했습니다. 따라서 입자 내부에 쌍정이 존재하고 재료에 응력 분산이 이루어질 경우, 나노결정 금속 박막도 연성을 가질 수 있다는 본 연구 결과는 나노 금속과 유연한 전자제품 설계에 새로운 방향을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.



## 2. 특 별 세 션 7

국가참조표준 개발 재료 및  
물리분과 합동 워크샵

( 제 2 발표회장 )

## 재료분야을 위한 GUM에 따른 측정불확도 소개

김창근<sup>1#</sup>, 심형석<sup>2</sup>, 황재홍<sup>2</sup>

### Introduction of measurement uncertainty according to GUM for material field

C. G. Kim, H. S. Shim, J. H. Hwang

#### Abstract

재분야에서 많은 검사, 시험, 측정이 이루어지고 있으며, 측정결과는 측정값과 측정불확도로 구성되어있다. 물리, 화학분야 보다 늦게 측정의 영역으로 들어온 재료분야에서도 불확도를 적극적으로 도입하려는 노력들이 있으나, 아직도 소급성과 불확도에 대한 개념이 생소하거나 옛 개념인 오차와 혼돈되어 현장에 잘 적용되지 못하고 있다. 대부분이 차이가 작아서 값이 정해진것처럼 느껴지는 물리 분야와 다르게 재료분야는 차이가 커서 다른 것으로 느껴지는 것이 어려운 부분이다. 이러한 어려움을 해소하기 위하여 국제기구들이 협력하여 “ISO/IEC Guide 98-3(GUM)”을 발간하였다. 이 가이드에서는 측정결과를 사용하는 사람들이 그 신뢰도를 평가할 수 있도록 측정결과의 품질에 대한 정량적인 지표를 보고하게 하고 있으며 이 정량적인 지표를 “측정불확도”라고 정의하였다. 재료분야 전문가들이 측정결과에 대한 신뢰성을 정량적으로 보고할 수 있도록 측정불확도 표현지침(GUM)에 대한 내용을 소개하고자 한다.

**Keywords:** Traceability, Uncertainty, GUM

---

1. 한국표준과학연구원 국가참조표준센터, 책임연구원

2. 한국표준과학연구원 국가참조표준센터, 연구원

# 한국표준과학연구원 국가참조표준센터, 책임연구원, E-mail: cgkim@kriss.re.kr

## 전자파물질상수 참조표준 개발

강진섭<sup>#</sup>

### Development of Electromagnetic Material Parameter Reference Standard

J. S. Kang<sup>#</sup>

#### Abstract

산업과 과학이 빠른 속도로 발전하면서 전자파 활용 분야가 전통적인 정보통신/국방 분야뿐만 아니라 항공우주, 보안/안전/교통, 의료/환경, 자연과학 분야 등으로 급속히 확장되고 있다. 다양한 분야에서 사용되는 전자파 관련 각종 소재/소자/부품/시스템이 원하는 사양을 가지도록 설계/제작하기 위해서는 사용되는 전자파 재료의 물질상수(예를 들면 상대유전율, 상대투자율, 굴절율, 정반사율 등) 정보가 반드시 필요하다. 국가 차원에서 국내 산/학/연/군에서 필요한 정확성/신뢰성(즉, 소급성/불확도)이 확보된 전자파 재료의 데이터(즉, 참조표준)를 개발, 확보하기 위해 전자파물질상수 데이터센터가 2018년 산업통상자원부 국가참조표준데이터센터 제 40호로 지정되었고, 국내 수요조사 분석을 통해 수립된 참조표준 개발 로드맵에 따라 참조표준을 개발, 제정하여 보급하고 있다. 여기서는 전자파물질상수 참조표준의 개발 과정을 소개하려 한다.

**Keywords:** Electromagnetic material parameters, relative permittivity, relative permeability, dielectric constant, dielectric loss

## 국가참조표준 용복합세라믹소재 데이터 생산 및 활용

김현식#

### Abstract

용복합세라믹소재는 기존의 일반적인 금속, 세라믹, 복합재 등의 이종소재가 결합하여 각각의 소재가 가지는 기본적인 물성을 뛰어넘는 신기능성의 세라믹 소재로써 용복합세라믹소재 데이터센터는 물리적·열적 특성의 정량적 값으로 원료·공정·생산 정보 및 데이터간 상호연계가 구축되어 믿고 쓸 수 있는 데이터 생산을 하고 있으며 고강도, 내마모성의 물리적 특성과 방열, 단열의 열적 특성 등 타소재의 특성을 능가하여 항공우주, 첨단바이오, 반도체 등 첨단 산업의 성능 및 품질 확보에 활용되는 용복합세라믹소재의 데이터베이스 개발 및 보급 확산에 기여함

**Keywords:** National Reference Standards, Functional Convergence Ceramic materials, Fine ceramic

# 재활용 섬유소재의 가공 공정별 참조표준 데이터 생산

최윤성<sup>1</sup>· 표규진<sup>2</sup>· 박진아<sup>3</sup>· 박수현<sup>3</sup>

## Production of reference standard data for each processing process of recycled textile materials

Y. S. CHOI, G. J. PYO, J.A. PARK, S.H. PARK

### Abstract

최근 섬유 패션 산업의 대량 생산과 소비가 환경 문제와 자원 파괴를 초래하고 있다는 인식이 확산하면서, 지속 가능한 성장이 업계의 최대 이슈로 부상하고 있다. 특히, EU와 미국 등 선진국을 중심으로 탄소중립, 환경규제 등 친환경 섬유 및 재활용 섬유 소재에 대한 수요가 급속히 증가하고 있다. 이러한 시장 변화에 대응하기 위해, 재활용 섬유 소재의 역학적 특성에 관한 연구의 필요성이 증대되고 있다. 이에 따라 섬유 소재 데이터 센터에서는 재활용 섬유 소재의 참조 표준 데이터의 필요성을 느끼고 이를 개발하고 있다. 섬유 소재 데이터 센터에서는 재활용 섬유 소재를 물리적 재활용 소재와 화학적 재활용 소재로 분류하고, 원사의 제·편직 조직 및 전처리, 감량 조건에 따른 섬유 소재 역학적 특성 데이터를 체계적으로 생산하고 있다. 원사부터 생지, 전처리 원단, 감량 후 원단을 활용하여 원단 데이터를 생산하고 있다. 이러한 데이터는 재활용 섬유 소재를 개발하고자 하는 up-stream 및 down-stream 섬유 제조 기업에서 참조 표준 데이터를 활용하여 개발할 수 있다. 또한, 국제적 환경규제 및 고객 요구에 맞는 제품 개발에 도움을 줄 수 있으며, 지속 가능 제품(소재), 재활용 섬유가 글로벌 섬유 산업의 핵심 경쟁력으로 대두되어, 이에 따른 경쟁력 향상을 위한 주춧돌 역할을 함으로써 섬유 산업의 재활용 섬유 소재 데이터 기반 혁신에 이바지할 수 있다.

이처럼 섬유 소재 데이터 센터에서 제공하는 재활용 섬유 소재 표준 데이터는 글로벌 섬유 산업의 핵심 경쟁력으로 자리 잡을 수 있으며, 향후 의류용 섬유 소재뿐만 아니라 산업용 소재 등에도 기술 적용이 가능할 것으로 예상된다.

**Keywords:** Textile Industry, Data Center, Recycled Fabric, Standard Data, Textile Data Center

1. DYETEC연구원 소재빅데이터연구센터 센터장
2. DYETEC연구원 소재빅데이터연구센터 전임연구원, gjpyo@dyetec.or.kr
3. DYETEC연구원 소재빅데이터연구센터 연구원

# AI기반 미세조직 정량 분석 기술 개발 연구

조다희<sup>1</sup>·김재우<sup>2</sup>·양정환<sup>2</sup>·진현호<sup>2</sup>·조점석<sup>2</sup>·남기찬<sup>1</sup>·김영석<sup>1</sup>·박중철<sup>#</sup>

## Development of Microstructure Quantitative Analysis Technology using Artificial Intelligence

D.H.Cho, J.W.Kim, J.H.Yang, H.H.Jin, J.S.Cho, K.C.Nam, Y.S.Kim, J.C.Park

### Abstract

철강소재 미세조직 참조표준은 국내 산업적으로 가장 널리 사용되는 철강소재에 대해 다양한 열처리를 거쳐 생산한 소재 물성 데이터 베이스(DB)이다. 종래의 다른 소재 물성 DB와 다르게 철강소재 미세조직 참조표준 DB는 규격에 제시되는 표준 열처리뿐 아니라, 비정상 열처리 조건에서의 소재물성을 포함하고 있다. 이를 통해 소재가 가질 수 있는 물성 한계를 도출할 수 있고, 이는 재료 설계나 고장 분석에 활용될 수 있다.

철강소재 미세조직 데이터센터는 2015년부터 표준 열처리 온도 범위에서 100~150°C 벗어난 Wide-range 열처리를 실시했을 때의 소재 물성 DB\*(미세조직, 경도, 인장물성, 충격)를 구축하였고, 2021년부터는 용접부 물성에 대한 DB 구축을 실시하고 있다. 본 연구에서는 철강소재 미세조직 참조표준 데이터 개발 방법에 대해 소개하고, 참조표준 보급 및 확산을 위해 개발한 다양한 AI 활용 기술 개발 사례에 대해서 소개한다.

미세조직을 활용한 AI 활용 기술로 ‘자동 미세조직 상 분율’, ‘점 용접 너깃 사이즈 자동 측정’ 분석 기술이 대표적으로 있으며, 이 외에도 다양한 미세조직을 활용한 AI 연구에 대해 소개한다.

\* 철강소재 미세조직 참조표준 DB 목록 : SM45C, S55Cr, SCM420, SCM440, SNCM439, SCR420, SCR440, SCM440 후판용접부, 980DP-GA 점 용접부, 980DP-GI 점 용접부

**Keywords:** Steel Microstructure, Mechanical Property, Data Set, Reference Standard, Phase Fraction, Spot Welding, Artificial Intelligence, Computer Vision, Machine Learning

1. 포항산업과학연구원 스마트공정안전연구그룹, 연구원
  2. 포항산업과학연구원 분석평가연구그룹, 과장
- # 포항산업과학연구원 분석평가연구그룹, 리더, ltpark@rist.re.kr

# 원자력구조재료 역학물성 참조표준 데이터 개발

정관성<sup>1</sup>, 김경호<sup>2</sup>

## Development of Reference Standard Data for Mechanical and Physical Properties in the Structural Materials of Nuclear Power Plants

K. S. Jeong, K. H. Kim

### Abstract

국내 원전 설계 기술은 세계최고 수준의 경쟁력을 확보하였지만, 설계 자료로써 사용하고 있는 원자력구조재료 규격은 주로 ASME 표준을 중심으로 제정된 KEPIC 규격이며, 국내 독자적인 재료 물성 설계 자료는 매우 미흡한 실정이다. 설계 자료로 활용되는 재료 규격 개발에 대하여 세계 원전 산업에서 기술적으로 선도적인 역할을 확보하려면 재료 물성에 대한 신뢰성 및 건전성의 확보가 반드시 선결되어야 한다. 원자력구조재료 역학물성 데이터센터에서는 품질보증체제를 기반으로 측정/평가/검증 시스템을 구축하여, 국내 가동원전 감시시험편의 주기적 역학물성시험 데이터와 원자력 핵심요소 소재 개발의 역학물성 데이터를 직접 생산하고 있다. 세계적으로 소형원자로(SMR 및 iSMR) 설계 및 혁신기술 개발에 주력하고 있으며, 혁신적인 원자로 제조가 구현될 수 있도록 필수 수단인 첨단 3D 프린팅 기술 적용을 위해 적층제조 혁신 원자력 구조 소재에 대한 역학물성 데이터에 대한 기틀을 마련하고자 한다. 그리고 원자력 시설 관련 재료 기술의 국산화에 기여 및 다양한 원자력 시설 설계 시 적절한 재료의 선택 근거를 제공한다. 결과적으로 생산 및 관리된 원자력구조재료 역학물성 참조표준 데이터는 원자력재료규격의 국제표준화 작업 전 단계로 선구자적 사업으로 매우 의미가 크며, 재료 규격 관련 원자력 기술의 선도국 위치를 확보할 것이며, 이에 대한 직간접 경제적 효과는 매우 클 것으로 판단된다.

**Keywords:** mechanical and physical properties, nuclear power plant, reference standard, structural materials

1. 한국원자력연구원, 해체기술개발부, 책임연구원, ksjeong1@kaeri.re.kr

2. 한국원자력연구원, 경수로핵연료기술연구부, 책임연구원, khkim@kaeri.re.kr

# 플라즈마 물성 참조표준 소개 및 응용

송미영<sup>1#</sup>, 한선민<sup>1</sup>, 김용현<sup>1</sup>, 장원석<sup>1</sup>, 김종식<sup>1</sup>

## Introduction to plasma property reference standards and use cases

M.Y. Song, S.M. Han, Y. H. Kim, W. S. Chang

### Abstract

플라즈마 물성 데이터는 기체 분자가 플라즈마 상태가 되는 과정 또는 플라즈마가 표적 물질 간 반응 과정을 통해 생성되는 데이터를 의미하며, 이는 플라즈마 이해를 위한 전반적인 과학 기술 정보라 할 수 있다. 또한 플라즈마 공정 설계에 있어서 매우 중요한 데이터로 산업체가 플라즈마 장비 최적화를 위해 사용된다. 플라즈마 물성 데이터에는 플라즈마를 구성하는 전자, 이온, 원자 나 분자들의 물리적 충돌 물성 데이터, 화학반응 물성 데이터, 플라즈마 상태의 측정을 통한 물성 데이터가 포함된다. 플라즈마 물성 데이터 센터는 2006년 산업통상자원부로부터 플라즈마 물성 참조표준 개발 및 보급이 목적인 데이터 센터(1호)로 지정받아 국내 유일 플라즈마 공정에서 활용되는 가스 원자/분자의 물리, 화학적 특성을 정확도와 신뢰도를 바탕으로 과학적으로 분석 평가하여 참조표준을 개발하여, 이를 산업체가 더 잘 활용할 수 있도록 기초적인 기준과 함께 제공하여 플라즈마 기술 관련 산학연 관련 기관들의 플라즈마 공정 설계 기술의 자립화를 지원하고 있다. 이번 기회를 통해 플라즈마 물성 참조표준을 소개하고, 참조표준의 응용사례를 소개하고자 한다.

**Keywords:** Plasma Property, Cross Section, molecules, etching process

---

1. 한국핵융합에너지연구원, 플라즈마물성데이터센터

#, 한국핵융합에너지연구원, 플라즈마물성데이터센터, 센터장 E-mail: mysong@kfe.re.kr



# 열기계분석기의 불확도 평가

강권호<sup>1#</sup>, 윤병주<sup>2</sup>

## Uncertainty quantification of a thermomechanical analyzer

K. H. Kang, B. J. Yoon

### Abstract

In this study, the quantification procedure for the uncertainty of the thermo-mechanical analyzer (TMA) using standard reference materials was established according to guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) [1]. The measurement model of the relationship between the measurand and the input quantities was established. The uncertainty factors from the model are composed of the initial length of the specimen, the length change of the specimen due to temperature increase, and the correction factor.

The uncertainty of the initial length of the specimen was derived from repeated measurements, the resolution of the micrometer, and the calibration uncertainty of the micrometer. The uncertainty due to the length change of the specimen with temperature increase was determined from the standard deviation of the average of five repeated measurement data using TMA (Thermomechanical Analysis). The uncertainty of the correction factor was obtained from the uncertainty in the self-calibration report. The combined standard uncertainty was calculated using each uncertainty, and the degrees of freedom of each uncertainty component were calculated to obtain the coverage factor at a 95% confidence level. The expanded uncertainty was obtained by multiplying the combined standard uncertainty by the coverage factor.

**Keywords:** uncertainty, thermo-mechanical analyzer, GUM, Degree of Freedom, Coverage Factor

---

1. 한국원자력연구원, 선진핵주기기술개발부, 책임연구원  
2. 한국원자력연구원, 하나로이용연구부, 위촉연구원  
# 한국원자력연구원, 선진핵주기기술개발부, 책임연구원,  
nghkang@kaeri.re.kr

## 3. 특 별 세 션 4

디지털트윈 및 인공지능 기반  
자율 제조 공정 기술 심포지엄

( 제 3 발표회장 )

# 3D CNC 튜브 벤딩 공정 설계 고도화를 위한 롤 포밍 성형이력 매핑 기술 개발

정건우<sup>1</sup> · 김민수<sup>2</sup> · 김민기<sup>3</sup> · 이종섭<sup>4</sup> · 조성민<sup>5</sup> · 김근호<sup>6</sup> · 박남수<sup>4#</sup>

## Development of roll forming history mapping technology for advanced 3D CNC tube bending process design

G.W. Jung, M.S. Kim, M.K. Kim, J.S. Lee, S.M. Cho, G.H. Kim, N. Park<sup>#</sup>

### Abstract

롤포밍 공정은 금속 판재를 연속적으로 구부려 길이 방향으로 동일한 형상의 차체 부품을 생산한다. 이 공정은 CNC 벤딩 공정과 결합되어 더 복잡한 각도와 형태의 부품 생산을 가능하게 하고, 제품의 디자인과 기능적 요구사항을 충족시킬 수 있다. 그러나 산업 현장에서는 이 두 공정을 별도로 진행하며, 공정 설계 시 이전 공정의 성형 이력을 고려하지 않는 경향이 있다. 이러한 접근은 CNC 벤딩 시 최종 제품의 형상 정밀도 분석 및 공정 설계에 한계를 야기하며 제품의 품질과 성능에 주요한 영향을 미친다. 본 연구에서는 상용 프로그램인 LS-DYNA와 Matlab을 사용하여 롤포밍 공정에서 발생하는 성형 이력(잔류응력/변형, 두께 등)을 CNC 벤딩 공정의 초기 조건으로 활용하는 매핑 방법을 개발하였다. 이 방법은 공정 간 연속성을 보장하고 복잡한 제조 공정의 설계 효율을 증진시킬 뿐만 아니라, 해석의 고도화를 통한 정확한 스프링백 분석을 가능하게 하여 최종 제품의 형상 정밀도와 품질을 개선하는데 유효한 분석 기술로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

**Keywords:** Roll Forming, Forming History, Residual Stress/Strain, Thickness Variation, 3D CNC Bending

### Acknowledgements

이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임( '20022814' )

- 한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소/성균관대학교 지능형로봇학과, 학연협동과정
  - 한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소/인하대학교 기계공학과, 학연협동과정
  - 한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소, 선임연구원
  - 한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소, 수석연구원
  - ㈜아산, 과장
  - ㈜아산, 이사
- # 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소 유연생산연구부, E-mail: nspark@kitech.re.kr

# 타이타늄 두개골 임플란트 성형을 위한 3차원 디지털 판재 프린팅 고온 모듈 개발

윤형원<sup>1</sup>, 박남수<sup>2#</sup>

## Development of a Thermal Module for 3D Digital Sheet Metal Printing Process for Forming Titanium Cranial Implants

H.W. Youn, N. Park<sup>#</sup>

### Abstract

미래 제조산업에서의 주요한 트렌드는 생산의 유연화다. 3차원 부품화를 위한 점진적 성형은 대표적인 유연화 제조공정으로 다품종 소량생산에 적합하여 개인 맞춤형 생산 니즈를 충족시킬 수 있다. 또한, 목표하는 형상의 3차원 형상 데이터를 기반으로 개인 맞춤형 성형의 디지털화가 가능하고, 무금형 또는 최소한의 금형을 사용하여 복잡한 3차원 형상의 부품을 성형함에 있어 효과적으로 대응할 수 있다. 의료·바이오 분야에서 널리 사용되는 타이타늄 소재는 대표적인 고강도, 난성형, 저연신 특성을 갖는 소재로 일반적인 성형 공정을 통해서는 고정도 성형품 확보에 한계가 존재한다. 따라서, 이러한 난성형성 소재의 개인 맞춤형 형상화 및 연성 확보를 위해 3차원 디지털 판재 프린팅 공정과 국부 가열 모듈 및 이와 관련된 성형 공구, 지그 구조물 구성 등에 대한 연구 개발이 필요하며 본 연구에서는 이를 목적으로 개인 맞춤형 체내 삽입형 임플란트 성형을 위한 고강도 타이타늄 소재의 고온 3차원 디지털 성형공정 개발을 다룬다. 제안된 고온 모듈의 유효성 검증을 위해 3차원 두개골 임플란트 형상에 대한 고온 디지털 성형 후 비접촉 변형률 평가 시스템(ARGUS)를 통하여 변형 특성을 분석하고, 최종적으로 시성형품의 3차원 스캐닝을 통해 종합적인 형상 정밀도를 비교 검토한다.

**Keywords:** Titanium, Cranial Implant, 3D Digital Sheet Metal Printing, Thermal Module, ARGUS

### Acknowledgements

본 연구는 한국생산기술연구원 기관주요사업 “제품생산 유연성 확보를 위한 뿌리공정기술 개발(KITECH E0-24-0009)”의 지원으로 수행한 연구입니다.

1. 한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소, 연구원

2. 한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소, 수석연구원

# 한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소, 유연생산연구부 E-mail: nspark@kitech.re.kr

## 4. 특 별 세 션 13

항공 금속소재 국산화 개발

( 제 4 발표회장 )

# 소재물성 데이터베이스 개발을 통한 항공소재 국산화

권용남<sup>1#</sup>, 박현일<sup>1</sup>, 정유인<sup>2</sup>

## Establishment of Material Properties Database for the Development of Domestic Aerospace Materials

Yongnam Kwon, Hyeonil Park, and Yoojin Jeong

### Abstract

본 연구는 산업통상자원부 항공용 경량소재 국산화를 위한 소재데이터 시험개발사업(과제번호:20016468)의 지원으로 국내 소재기업 지원 및 항공용 경량소재 국산화를 위한 항공기 설계용 소재데이터 시험개발을 수행하였다. 항공 OEM의 국제협력개발 확대를 위하여 필수적인 Al, Ti, Ni 등 소재의 물성 데이터베이스 구축 및 국산화에 관한 연구를 수행하였다.

연구를 통해 A12024-T8511 압출재, A84TV2002 전단볼트 등 다수의 소재를 국산화하고 설계용 데이터를 획득하여 고품질 항공소재 제조기술 국산화에 기여하였다. 또한, 시험평가기술 표준화 및 Round robin 시험을 통한 시험결과 신뢰도 향상을 꾀하였다. 이러한 결과들을 바탕으로 항공소재 물성 데이터베이스를 확대 발전시키기 위해 K-MPDS 체계를 제안하였다.

**Keywords:** Aerospace materials, Material properties database, Design allowable, K-MPDS

1. 한국재료연구원 항공재료연구센터, 책임연구원

2. 한국항공우주산업 재료공정팀, 팀장

# 한국재료연구원, 항공재료연구센터, 책임연구원, E-mail: kyn1740@kims.re.kr

# 항공소재개발을 위한 통계분석 사례 및 K-MIDAS의 활용

전민우<sup>1#</sup> · 장재준<sup>1</sup> · 김태건<sup>1</sup>

## Introduction to statistical analysis cases and utilization of K-MIDAS for aerospace material development

M. W. Jeon, J. J. Jang, T. G. Kim

### Abstract

항공기 설계 및 제작을 위해서는 각 부품의 설계 요구도에 따라 다양한 소재가 적용되나, 여러 소재 중 해당 항공기의 특성에 따른 감항인증 기준을 통과한 소재에 한하여 설계 및 제작에 적용될 수 있다. 감항인증 기준을 만족하기 위해 소재의 설계허용치가 필요하며, 설계허용치는 기계적물성 등에 대한 통계적으로 처리된 값을 의미한다. 항공용 소재개발에 필수적인 통계분석 설계허용값 산출절차와 유사한 숙련도 프로그램설계 사례를 소개하고, “항공용 경량소재 국산화를 위한 소재데이터 시험개발사업”에서 개발 배포하는 K-MIDAS를 이용하여 실제 수행된 인장시험 데이터를 분석하였다. 이를 바탕으로 소재개발 후 설계허용치 산출을 위한 약 천개 이상의 시험을 수행하기 이전에 최소한의 10 ~ 30개의 데이터를 사용하여 산포를 예상하고 효율적인 항공용 소재개발이 가능할 것으로 판단된다.

**Keywords:** Statistical analysis, aerospace material, Design allowable, K-MIDAS

### Acknowledgement

이 연구는 2021년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT)의 연구비 지원에 의한 연구임(No. 20016471, 20009993)

1. 한국화학융합시험연구원, 책임연구원

# E-mail: mwjeon@ktr.or.kr

# 항공기 엔진 부품용 고강도 Al-Zn-Mg-Cu계 합금 개발

김형욱<sup>1#</sup>, 조용희<sup>1</sup>, 김원경<sup>1</sup>, 이윤수<sup>1</sup>

## Development of high strength Al-Zn-Mg-Cu aluminum alloy for aircraft engine part

H.W.Kim<sup>1</sup>, Y.H. Jo<sup>1</sup>, Y.S.Lee<sup>1</sup>, W.K.Kim<sup>1</sup>

### Abstract

알루미늄 합금은 비강도가 우수하여 각종 수송기기 경량화 재료로 활용되고 있다. 특히 항공기의 경우, 우수한 경량성 및 내구성이 요구되는 바 고강도 알루미늄을 중심으로 기체 구조체의 대부분에 활용되어 왔으며 다양한 엔진의 구조용 부품소재로도 활용되고 있다. 본 연구에서는 비강도 및 피로특성이 우수한 고강도 알루미늄 합금인 Al-Zn-Mg-Cu계 알루미늄 합금판재를 제조하기 위하여 결정립 및 계재물크기가 미세한 알루미늄 슬라브 주조, 슬라브의 열간압연성 확보를 위한 균질화 처리, 열간압연 조건 평가, 열처리 및 냉간압연을 통하여 항공기 엔진계 부품의 경량 구조체로 사용가능한 고비강도알루미늄합금 판재를 제조하고자 하였다. 슬라브제조시 일부 전자기장을 인가하여 미세균일한 결정립과 미세한 2차상을 갖는 슬라브를 제조할 수 있었으며 이단 균질화 처리를 통하여 우수한 열간 압연성을 확보할 수 있었다. 최종 열처리한 두께 25mm의 7075합금 판재의 경우 수입소재와 동등한 강도 및 피로강도를 나타내었다. 또한 비강도 향상을 위하여 Zn함량을 증가시킨 합금의 경우 상용 7075 소재에 비하여 항복강도 및 피로강도가 더 우수한 특성을 나타내었다.

**Keywords:** Al alloy, Al-Zn-Mg-Cu, Plates, Strength, fatigue

1. 한국재료연구원 경량재료연구본부 책임연구원

# 한국재료연구원 경량재료연구본부 책임연구원, E-mail: hwkim@kims.re.kr



# Al-Cu-Mg-Mn-Ag-Zr 합금 후판재의 석출거동 및 기계적 특성 향상에 미치는 가공열처리의 영향

정찬욱<sup>1#</sup>, 최지훈<sup>1</sup>, 함진희<sup>2</sup>

## Influence of thermo mechanical processing on precipitation behavior and mechanical properties improvement in Al-Cu-Mg-Mn-Ag-Zr alloy thick plate

Chan Uk Jeong, Jihun Choi and Jinhee Ham

### Abstract

항공기용 부품에 적용되는 고강도·고인성 알루미늄 소재는 국내 제조기술 부재로 인해 미국 및 유럽 등에서 전량 수입에 의존하고 있다. 항공용 알루미늄 소재는 크게 압연, 압출 및 단조재로 구분되며 국내에서는 글로벌 OEM사 부품 제조 시 압연판재가 ~70%의 수요를 차지하고 있어 국내 항공용 알루미늄 소재기술 자립화를 위해 압연판재 국산화를 우선적으로 검토할 필요가 있다. Al-Cu-Mg-Ag계 합금(예: A2139-T8)은 기존 2xxx계 합금에 비해 더 우수한 Damage tolerance 특성을 가지고 있으며, 종래에 사용되던 5xxx, 7xxx계 합금 대비 개선된 고온특성 및 방탄특성(Ballistic limit velocity)을 가지고 있어 항공우주용 소재뿐만 아니라 방위산업 분야에도 적용 가능한 소재로 주목 받고 있다. 글로벌 소재 제조업체에서는 열처리형 알루미늄 합금 광폭/후판 제조 시 용체화처리 후 대형 프레스를 이용한 냉간 스트레칭으로 예비변형(Pre-deformation)을 적용한 후 인공시효처리(T8 열처리)하는 가공열처리를 실시함으로써 강도향상 뿐만 아니라 급냉 시 발생된 잔류응력을 제거하고 있으나 국내에는 광폭/후판을 냉간 스트레칭 적용을 위한 설비 및 제조기술이 전무한 실정이다. 본 연구에서는 Modified A2139 합금 후판재에 대해 냉간압연을 통한 예비변형을 적용하는 가공열처리 방식에 대한 기초연구와 함께 예비변형량에 따른 석출거동 및 기계적 특성 향상과 미세조직 발달 간의 상관관계에 대해 고찰하고자 한다.

**Keywords:** aluminum alloy, Thermo mechanical processing, Precipitation hardening, Microstructure, Mechanical property

1. ㈜동양에이.케이코리아 연구개발팀, 연구원

2. 국방과학연구소 소재에너지센터 2팀, 선임연구원

# ㈜동양에이.케이코리아 연구개발팀, 팀장, E-mail: mdcuj@akglobal.net

# 항공용 금속소재의 피로 균열 치유를 위한 펄스전류 인가 공정설계

홍범락<sup>1</sup>, 이승환<sup>2</sup>, 최현성<sup>2</sup>, 석무영<sup>2</sup>, 이동준<sup>2</sup>, 권용남<sup>2</sup>, 박현일<sup>#</sup>

## Process Design for Electropulsing-Assisted Healing of Fatigue Cracks in Aerospace Metallic Materials

Beom-Rak Hong, Seung-Hwan Lee, Hyunsung Choi, Moo-Young Seok, Dongjun Lee, Yongnam Kwon  
and Hyeonil Park

### Abstract

항공기 구조설계시 주로 적용되는 손상 허용 설계(Damage Tolerant Design) 개념은 작은 결함이나 균열이 있을 때 이를 즉각적으로 수리하지 않더라도 추적 관리하여 안전하게 운용할 수 있도록 하는 설계 방식을 의미한다. 균열을 관리하기 위한 방법으로 용접, 스톱-홀, 접착 패치 기법 등이 연구되어 왔으며, 최근에는 일정한 품질이 유지 가능하고 비파괴적 방법이라는 장점이 있는 펄스 전류를 활용한 균열 치유 기술(Electropulsing treatment, EPT)이 주목받고 있다. 펄스 전류가 균열부에 인가될 경우 조건에 따라 균열선단에서 줄 가열(Joule heating)로 인해 일부 용융용접 또는 열팽창에 의한 압축응력으로 국부적인 확산접합이 발생할 수 있다. 이러한 기본 메커니즘은 알려져 있으나, 공정조건에 따른 구체적인 치유 메커니즘 규명은 아직 부족한 실정이다.

본 연구에서는 EPT 공정의 인가 전류 타입, 최대 인가 전류, 균열 형상 등의 변수들이 균열 치유에 미치는 영향을 분석하고, 그 상관관계를 고찰하였다. 열-전자기-구조를 포함하는 다물리 유한요소 해석을 통해 균열부의 온도 분포와 변형량을 살펴보고, 공정 변수에 따른 로렌츠 힘의 영향도 분석하였다. 이를 기반으로 EPT 공정을 설계하고 균열치유 시험을 진행하였다. 실험에 사용된 소재는 SUS 321 이며, 5mm 두께의 ASTM E-647 규격 기반 SE(B) 및 M(T) 시편을 가공하여 약 1mm 길이의 피로 균열을 생성한 후 조건 별 EPT 공정을 수행하였다. 결과적으로, 저주파 직류와 고주파 교류 전류를 각각 인가하였을 때, 소재의 열팽창과 로렌츠 힘의 영향등을 분석할 수 있었고, EPT 공정의 적용 가능성을 확인할 수 있었다. 본 연구는 한국재료연구원 기관고유사업(주요사업, PNK9910)의 지원을 받아 수행되었습니다.

**Keywords:** Fatigue crack healing, Electropulsing treatment, Aerospace metallic material, Process design

1. 한국재료연구원 재료공정연구본부 항공우주재료연구센터, 부산대학교 기계공학부, 학생연구원

2. 한국재료연구원 재료공정연구본부 항공우주재료연구센터, 연구원

# 한국재료연구원 재료공정연구본부 항공우주재료연구센터, 연구원, E-mail: hipark@kims.re.kr

# 인공지능기반 ML-CNT필름을 활용한 알루미늄 합금의 피로균열전파 거동 분석

좌비오<sup>1</sup>, 이승환<sup>1</sup>, 최현성<sup>1</sup>, 박현일<sup>1</sup>, 석무영<sup>1</sup>, 이동준<sup>1</sup>, 권용남<sup>#</sup>

## Analysis of fatigue crack propagation of aluminum using A.I. based ML-CNT film

Jwa Pius, S. H. Lee, H. S. Choi, H. I. Park, M. Y. Seok, D. H. Lee, Y. N. Kwon

### Abstract

7xxx 계열 알루미늄 합금은 높은 비강도, 피로 수명, 부식 저항성, 응력 부식 균열 저항성 및 파괴 인성을 지닌다. 또한, 판재로 가공하기 용이하여 항공우주 및 자동차 산업에서 주요 구조 부품으로 널리 사용되고 있다. 금속 구조물의 피로 균열 전파 특성을 정밀하게 이해하는 것은 특히 항공우주 구조물에서 재료의 신뢰성을 확보하는 데 필수적이다. 구조물의 신뢰성을 유지하기 위해서는 비파괴 검사에서 감지된 균열이 치명적인 결함으로 발전하기 전에 적절한 대응이 필요하며, 이를 위해 피로 균열의 단계별  $\Delta K$  값에 대한 면밀한 분석이 요구된다.

ML-CNT 필름은 인장, 압축, 전단 및 진동과 같은 기계적 자극에 반응하여 발광하는 기계발광(ML) 물질로 구성되어 있다. ML 강도는 재료에 작용하는 응력과 변형에 직접적으로 관련이 있으며, 필름 내에 포함된 탄소나노튜브(CNT)는 디지털 이미지 상관(DIC) 기법에서 Speckle 패턴 역할을 하여, DIC 분석의 적용을 용이하게 한다. 본 연구에서는 ML-CNT 필름을 활용한 구조물의 안전 진단 평가를 위한 새로운 접근 방식을 제시하고자 한다. ML-CNT 필름을 이용한 피로 균열 전파 실험을 통해 피로 균열과 관련된 K 값을 도출하고, 이후 DIC 데이터 및 ML 강도 데이터를 인공지능 모델에 적용하여  $\Delta K$  값과의 상관관계를 분석함으로써 피로 균열의 진행을 정량적으로 평가하고자 한다.

**Keywords:** Aircraft, Fatigue, DIC

1. 한국재료연구원

# 한국재료연구원, 항공우주재료연구센터, 센터장, E-mail: kyn1740@kims.re.kr

# 항공우주용 인코넬볼트의 피로수명 향상에 대한 연구

허민후<sup>1</sup>, 정태형<sup>1</sup>, 이학철<sup>1</sup>

## Study on improving fatigue life of Inconel bolts for aerospace

M. H. Heo, T. H. Jung, H. C. Lee

### Abstract

항공기는 수많은 부품들로 구성되며, 그중 패스너(fastener)는 항공기의 기계적 안정성을 보장하는 필수적인 요소이다. 현대 항공기는 그 크기와 설계에 따라 수십만 개의 패스너를 필요로 하며, 이러한 패스너들은 반복적인 기계적 하중과 피로 환경에 지속적으로 노출된다. 따라서 항공기의 안전성과 신뢰성을 보장하기 위해서는 피로 저항성이 높은 패스너의 사용이 필수적이다.

특히, 볼트는 주요 구조적 부품을 연결하는 데 핵심적인 역할을 하며, 장기간의 반복적인 하중으로 인해 피로에 의한 파손의 위험이 존재한다. 볼트의 피로 수명을 향상시키기 위해서는 설계와 제조 과정에서의 세심한 관리가 요구된다. 그 중에서도, 볼트 머리 아래 필렛(fillet) 부위는 응력 집중이 발생하는 주요 부위로, 이 부분의 형상을 최적화하고 필렛 머신을 이용하여 잔류응력을 발생시켜 피로 수명 향상시키는 것이 중요하다.

인코넬 718 합금은 우수한 고온 저항성과 부식 저항성을 제공하는 고성능 소재로, 항공우주 및 가스 터빈과 같은 극한 환경에서의 사용에 적합한 소재이다. 본 연구는 필렛 가공 조건을 다양하게 변경하며, 볼트 목 부분의 응력 분포를 분석하여, 피로 수명에 미치는 영향을 평가하였다. 실험 결과, 필렛 형상의 미세 조정이 볼트의 피로 수명 향상에 큰 영향을 미쳤으며, 이를 통해 항공기 패스너의 장기 신뢰성 및 안정성을 크게 개선할 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 향후 항공우주 산업에서 사용되는 패스너 필렛부의 필렛공정 및 제조에 중요한 기초 데이터를 제공할 수 있을 것으로 기대되며 또한, 볼트뿐만 아니라 다양한 기계 부품의 피로 수명을 연장하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

**Keywords:** Nickell alloy, Fastener, Fillet, Fatigue strength,

## S45C 용접부의 잔류응력 분포에 미치는 표면처리의 영향

조윤지<sup>1</sup> · 심현보<sup>1</sup> · 백민재<sup>1</sup> · 최현성<sup>1</sup> · 박현일<sup>1</sup> · 석무영<sup>1</sup> · 권용남<sup>1</sup> · 이동준<sup>#</sup>  
성현민<sup>2</sup> · 김두영<sup>2</sup>

### The effect of surface treatment processes on the residual stress distribution in S45C welded joints

Y. J. Cho, H. B. Sim, M. J. Baek, H. S. Choi, H. I. Park, M. Y. Seok, Y. N. Kwon, D. J. Lee  
H. M. Sung, D. Y. Kim

#### Abstract

Residual stress, a common issue in welding processes, is known to cause cracks in welds, leading to failure and significantly impacting the fatigue life of components. To address this problem, research has been conducted to control and evaluate the impact of residual stress in welded joints. In this study, the residual stress distribution in welds of S45C medium carbon steel, commonly used in automotive components, was analyzed. The residual stress was measured using the contour method and X-ray diffraction (XRD) technique, and a comparative analysis was performed to establish the most suitable measurement technique for welds. Additionally, two surface treatment processes, Ultrasonic Nanocrystalline Surface Modification (UNSM) and shot peening (SP), were employed to introduce compressive residual stress into the welds. The changes in residual stress were analyzed for each process, and the optimal surface treatment conditions were determined. Finally, the study analyzed the residual stress distribution and microstructural changes that occur when welding tubular specimens and how these characteristics change after the introduction of compressive residual stress, focusing on microstructural evolution, hardness, and final residual stress distribution.

**Keywords:** Residual stress, welded joints, shot peening, UNSM

1. 한국재료연구원 재료공정연구본부 항공우주재료연구센터

2. 현대자동차 경량소재연구팀 책임연구원

# 한국재료연구원 재료공정연구본부 항공우주재료연구센터 선임연구원, E-mail: djlee@kims.re.kr

# 비틀림 피로시험을 통한 기어 및 베어링 소재의 손상물성 평가

석무영<sup>1#</sup>, 김담현<sup>2</sup>, 이상인<sup>3</sup>, 권순우<sup>4</sup>, 박현일<sup>1</sup>, 이동준<sup>1</sup>, 최현성<sup>1</sup>, 권용남<sup>1</sup>

## Evaluation of torsional fatigue property on gear and bearing steels

M.-Y. Seok, D. H. Kim, S. I. Lee, S. W. Kwon, H. I. Park, D. J. Lee, H. S. Choi, Y. N. Kwon

### Abstract

최근 첨단 모빌리티 산업의 발전과 함께 차량의 경량화 및 고성능화가 요구됨에 따라, 기어 및 베어링과 같은 핵심 부품의 내구성 향상이 중요한 이슈로 부각되고 있다. 특히, 고속 회전과 반복적인 비틀림 하중을 받는 부품의 손상 특성은 모빌리티 시스템의 안전성과 직결되기 때문에 이에 대한 정확한 평가가 필요하다. 본 연구에서는 이러한 요구에 부합하기 위해 기어 및 베어링 소재로 널리 사용되는 AISI 52100과 SCr420 철강소재의 손상 물성을 평가하고자 다양한 기계적 시험을 수행하였다. 먼저, 3종(AISI52100 2종, SCr420 1종)의 소재에 대해 열처리를 수행하고 물성 수준을 판단하기 위해 깊이에 따른 비커스 경도 시험 및 미세조직을 분석하였다. 비틀림 정하중 시험에서는 각 소재의 비틀림 변형 저항 특성을 평가하였으며, 비틀림 피로시험을 통해 반복적인 비틀림 응력에 따른 피로수명과 손상 거동을 분석하였다. 미세조직 분석을 통해 상변태 및 조직의 변화가 비틀림 하중에 미치는 영향을 확인하였으며, 파면 관찰을 통해 피로균열의 전파 경로와 기어 및 베어링 소재로서의 적용 가능성을 평가하였다.

**Keywords:** AISI52100, SCr420, Torsional Fatigue Test

- 한국재료연구원, 항공우주재료연구센터
  - 현대자동차, 내구기술팀
  - 현대자동차, 전동화부식제어리서치랩
  - 현대자동차, 샤프트재료개발팀
- # 한국재료연구원, 항공우주재료연구센터, 선임연구원, myseok@kims.re.kr

## 5. 특별 세션 10

Closed Session

에너지 산업용 대구경 강관  
제조기술 개발 심포지엄

( 제 5 발표회장 )

# 열처리에 따른 ERW 강관 용접부의 미세조직 및 저온충격 인성 특성 연구

고의석<sup>1</sup>, 우현섭<sup>2</sup>, 이동혁<sup>3</sup>, 곽진섭<sup>#</sup>

## Study on the Microstructure and Low-Temperature Impact toughness of ERW Pipe Welds with Heat-Treatment

U. S. Ko, H. S. Woo, D. H. Lee, J. S. Kwack

### Abstract

전 세계적으로 천연자원의 수요가 증가함에 따라, 공급 확대를 위해 극저온 환경에서의 자원 채굴이 확장되고 있으며, 이에 따라 우수한 저온충격인성이 요구된다. 천연가스와 석유의 수송용 소재로는 원거리에서도 저비용으로 효과적인 수송이 가능한 라인파이프강이 사용되며, 이는 API(American Petroleum Institute) 5L 규격을 따른다. 강관 조관 용접 시 생산성과 가격 경쟁력이 우수한 전기저항용접(Electric Resistance Welding, ERW) 공정이 주로 적용되지만, 용접 후 용접부의 기계적 특성이 감소하는 단점이 있다. 따라서 기계적 특성 향상을 위해 후열처리가 필수적이다. 본 연구에서는 ERW 강관 용접부의 후열처리를 통한 미세조직 변화와 저온충격인성 특성을 고찰하였다. 결정립 미세화는 균열 전파 속도를 저하시켜 충격인성 특성을 향상시키는 효과적인 방법으로 알려져 있다. 본 연구에서는 미세한 결정립 크기를 구현하기 위해 A3 온도 이상으로 가열하여 용접부의 조직을 균질화한 후 퀴칭을 실시하였으며, 노멀라이징 열처리 대비 퀴칭 후 미세한 용접부 미세조직을 확보하였다. 저온충격인성을 보증할 수 있는 최적의 조직 및 열처리를 확보하고자 노멀라이징/퀴칭/QT 각 열처리 및 냉각속도 별로 0 °C ~ -45 °C 온도 조건에서 CVN 충격시험 실시하였다. CVN 충격시험 결과, QT 열처리 조건에서 저온충격인성이 가장 우수하였으며, 이는 미세한 결정립 크기가 기인한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 ERW 강관의 저온충격인성에 미치는 인자를 파악하고, 최적의 미세조직을 확보할 수 있는 열처리 조건에 대해 논의하고자 한다.

**Keywords:** Electric Resistance Welding(ERW), Quenching-Tempering, Grain Refinement, Low-Temperature Impact toughness,

1. 현대스틸파이프 생산기술연구소, 매니저

2. 현대스틸파이프 생산기술연구소, 책임매니저

3. 현대스틸파이프 생산기술연구소, 책임매니저

# 현대스틸파이프 생산기술연구소, 팀장, jskwack@hyundai-steelpipe.com



# API X70 ERW 강관 용접부에 M-A가 미치는 영향 분석 및 M-A 제어를 통한 저온 충격 인성 향상 방안

이찬희<sup>1</sup>· 백종민<sup>1</sup>· 곽진섭<sup>2</sup>· 전동현<sup>2</sup>· 홍현욱<sup>1</sup>

## Analysis of the Effect of M-A on Welds of API X70 ERW Steel Pipe and Improvement of Low-Temp. Impact Toughness through M-A Control

C. H. Lee, J. M. Baek, J. S. Gawk, D. H. Jeon, H. U. Hong

### Abstract

본 연구에서는 극저온 석유수송용 전기저항용접(Electronic Resistance Welding, ERW) 강관의 용접부에 대한 Post Seam Annealing(PSA) 조건이 그 미세조직과 저온충격인성에 미치는 영향을 해석하고자 하였다. PSA 를 적용하지 않은 as-weld 조건의 경우, 용접부에서 bainitic ferrite 가 관찰되었으며, 용접부인 bondline 에서 Martensite Austenite constituent(M-A)가 pearlite 와 함께 강관의 반경 방향에 평행하게 분포하는 것을 확인하였다. PSA 가 적용된 강관의 경우, bondline 뿐만 아니라, Heat Affected Zone(HAZ) 영역에서 polygonal ferrite-pearlite 조직이 지배적으로 관찰되며, 특히 M-A 가 약 3%의 분율로 관찰되었다. 이러한 M-A 는 일반적으로 저온 환경에서 외부의 충격이 가해졌을 때, 그 계면에서 crack initiation 을 일으키고, 주변으로 삼축 응력이 집중되도록 하여 BCC (100)면을 따라 벽개파단을 유발하는 등, 저온충격인성에 부정적인 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 또한 이러한 M-A 는 일반적으로 용접을 하였을 때, HAZ 에서 형성되는 것으로 알려져 있으나, 본 연구의 ERW 강관에 대한 PSA 는 A3 온도 이상에서 normalizing 을 하기 때문에, 용접부가 아니더라도, 후열처리의 영향을 받은 영역에 다수의 M-A 가 형성될 수 있음이 확인되었다. 이러한 M-A 는 후열처리 조건에 따라, 분율, 크기, 내부 조직 등이 달라질 수 있음을 확인하였고, Gleeble 을 통한 후열처리 모사시험을 통해 PSA 조건에 따른 M-A 등의 미세조직 변화와 저온충격 인성의 변화를 관찰하였다. 이때 특히 낮은 온도 및 느린 냉각 속도를 가지는 PSA 조건에서, 미세한 결정립 크기, 매우 낮은 수준의 M-A 분율이 나타나며 용접부와 모재부 모두에서 우수한 저온 충격 인성을 가지는 것이 확인되었다. 이러한 일련의 연구들을 통해, PSA 와 같은 후열처리 조건이 미세조직과 저온충격 특성에 미치는 영향을 체계적으로 파악하고, ERW 강관 용접부의 저온충격 향상을 유도하기 위한 방안을 제시하였다.

**Keywords:** Electric Resistance Welding, X70 steel pipe, Martensite-Austenite constituent, Low temperature toughness

# 심해용 flexible pipe 개발을 위한 고압 CO<sub>2</sub>에서의 SCC(Stress Corrosion Cracking) 가속시험기법 고찰

이재원<sup>1</sup> #

## Study on CO<sub>2</sub> Stress Corrosion Cracking accelerated test technique for development of flexible pipe for deep water

J. W. Lee<sup>1</sup> #

### Abstract

Fossil fuel should remain the dominant source of energy until 2040, despite the efforts of replacing it with renewable sources. Therefore in the absence of easy oil extraction, countries that have reserves are compelled to invest in more efficient ways of exploiting oil in areas that require greater technological efforts, such as the deep water of the Brazilian pre-salt. High-strength steels are used flexible pipes in deep water, and the evaluation of stress corrosion cracking resistance to high concentrations of CO<sub>2</sub> is important in deep water environments. This study was conducted to focus on the stress corrosion cracking behavior of high-strength flexible wire materials immersed in degassed ASTM D1141 solution (3.5% NaCl) under 20 ~ 40bar CO<sub>2</sub> partial pressure at test temperatures (25°C, 40°C, and 80°C) loaded by the ASTM G39 four point bending test method. The existing commercial material test methods take at least 6 months, making it difficult to develop high -strength steels. The accelerated corrosion resistance evaluation conditions were derived through corrosion evaluation and corrosion behavior investigation under various CO<sub>2</sub> partial pressure and temperature conditions.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> Stress Corrosion Cracking, flexible pipes, high CO<sub>2</sub> partial pressure, in situ pH, corrosion rate

# 해상풍력용 대구경 강관 강재의 저온 파괴인성에 관한 연구

조원준<sup>1</sup> · 이지승<sup>1</sup> · 성대희<sup>1</sup> · 안규백<sup>#</sup>

## A study on the low temperature fracture toughness of steel for Large diameter steel pipe

W. J. Jo, J. S. Lee, D. H. Seong, G. B. Ahn

### Abstract

최근 전세계적으로 화석연료 대체를 위한 친환경 에너지에 대한 관심이 커지고 있다. 그 중 풍력발전은 지속가능한 에너지 확보와 온실가스 감축 달성을 위한 신재생 에너지원으로써 큰 주목을 받고 있다. 풍력발전에는 육상풍력발전과 해상풍력발전으로 구분되는데 그 중 해상풍력 발전은 최근 가파른 성장 및 활발한 연구가 진행되고 있다. 또한 2030 탄소중립 실현을 위해서는 현재 신규 풍력발전 성장의 4배 규모가 되어야 가능할 것으로 전망되고 이 것은 향후 풍력 발전산업의 성장가능성이 높은 것을 의미한다. 해상풍력은 크게 고정식 해상풍력발전기, 부유식 해상풍력 발전기로 구분할 수 있다. 수심에 따라 고정식 및 부유식으로 하부구조물의 구조가 변하게 된다. 높은 발전량을 확보하기 위해 심해와 극지에 해상풍력 발전기를 설치하려는 움직임이 있고, 심해와 극지에 설치되는 구조물은 해상에서 발생하는 지진, 풍파와 같은 환경 하중에 의한 손상이 발생할 가능성이 높다. 따라서 하부구조물에 적용되는 강재는 엄격한 품질을 요구하고 있고, 이러한 환경하중에 의한 구조물의 파괴 안전성 평가를 위한 기초자료 확보가 필수적이다. 본 연구에서는 파괴안전성 평가를 위한 기초자료 확보를 목적으로 파괴인성을 평가하는 대표적인 파라메타인 CTOD(Crack Tip Opening Displacement)를 통해 해상풍력용 강재의 파괴인성을 평가하였다.

**Keywords:** Offshore wind power generation, Fracture toughness, Crack tip opening Stress,

1. 조선대학교 선박해양공학과, 대학원생

# 조선대학교, 선박해양공학과, 교수

E-mail: gyubaekan@chosun.ac.kr

## 6. 일반 논문 발표

미세구조 및 응용  
표면 및 인터페이스

( 제 6 발표회장 )

# 전류 처리를 통한 Ti-V 합금 내 $\omega$ 상 성장 가속화 연구

김이재<sup>1</sup>, 최호욱<sup>1</sup>, 김양후<sup>2</sup>, 한홍남<sup>#</sup>

## A Study on Accelerating $\omega$ Phase Growth in Ti-V Alloys through Electric Current Treatment

Y. Kim<sup>1</sup>, H. Choi<sup>1</sup>, Y. Kim<sup>2</sup>, H. N. Han<sup>#</sup>

### Abstract

$\beta$ -타이타늄 합금은 높은 강도와 우수한 내식성 덕분에 다양한 산업에서 구조 재료로 활발히 사용되고 있다.  $\beta$ -타이타늄 합금의 고강도화는 합금을  $\beta$  상 안정 영역에서 열처리한 후 퀴칭하고, 이어지는 2단계 열처리를 통해 이루어진다. 먼저 합금을 퀴칭하면 생성되는  $\omega$  상이 1차 열처리 과정 중 성장한다. 이후의 2차 열처리에서  $\omega$  상과  $\beta$  상 계면에  $\alpha$  상이 미세하게 석출되며 합금의 강도가 향상된다. 그러나 미세한  $\alpha$  상 석출을 위해서는  $\omega$  상의 크기가 1차 열처리를 통해 충분히 성장하여야 하며, 이 과정에서 1차 열처리에는 수십시간 이상이 소요되는 단점이 있다. 최근, 기존의 열처리 공정을 전류처리 공정으로 대체하면 합금의 재결정 및 석출 등의 현상을 가속화할 수 있음을 밝힌 연구가 많이 진행되어왔다. 본 연구에서는  $\beta$ -타이타늄 합금의 일종인 Ti-V 합금을 대상으로, 전류처리를 활용하여 기존 열처리 공정 대비  $\omega$  상 성장 시간 단축을 통해  $\beta$ -타이타늄 합금 강화 공정을 가속화하고자 하였다. 이를 위하여 다양한 조건에서 전류처리 및 열처리한 시편의 미세구조를 투과전자현미경으로 분석하고, 기계적 물성을 비교하였다. 이로부터  $\beta$ -타이타늄 합금 강화 공정에서 전류가 석출물의 성장에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

**Keywords:** Electric current treatment,  $\beta$ - Titanium alloy, Transmission electron microscope, Precipitate growth

1. 서울대학교 재료공학부, 대학원생

2. 한국생산기술연구원

# 서울대학교 재료공학부, 정교수, E-mail: hnhan@snu.ac.kr

# 핵융합로 플라즈마 대면재용 인성 향상 텅스텐-크로뮴 복합재의 제작과 기계적 성질 분석 연구

이성민<sup>1</sup> · 김정석<sup>1</sup> · 광노준<sup>1</sup> · 한흥남<sup>1#</sup>

## W-Cr Composite with Enhanced Toughness as Plasma-Facing Material: Fabrication and Mechanical Properties Characterization

Sungmin Lee<sup>1</sup>, Jeongseok Kim<sup>1</sup>, Nojun Kwak<sup>1</sup> and Heung Nam Han<sup>1#</sup>

### Abstract

텅스텐은 높은 강도, 높은 용점, 높은 열전도율, 저방사성, 낮은 스퍼터율로 핵융합로 플라즈마 대면 소재의 유망한 후보로 거론되고 있다. 그러나 일반적으로 순수 텅스텐의 높은 연성-취성 천이 온도는 텅스텐의 핵융합로 저온부 적용을 극히 제한한다. 이 연구에서는 텅스텐의 저온 취성을 보완하기 위해 저방사화 크로뮴 바인더를 첨가하여 텅스텐-크로뮴 이상(dual-phase) 복합재를 제조하였다. 텅스텐과 크로뮴 파우더를 고에너지 밀링을 통해 혼합 후 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy, SEM)으로 관찰한 결과 코어-셸(core-shell) 파우더가 형성된 것을 확인하였다. 코어-셸 파우더를 수소환원 공정을 거친 후 통전활성소결(Spark Plasma Sintering, SPS)을 통해 텅스텐-크로뮴 이상 복합재를 제작하였다. 복합재를 주사전자현미경으로 관찰한 결과 균일하고 치밀한 미세구조가 관찰됐으며 에너지분산분광법(Energy Dispersive Spectroscopy, EDS)으로 수소 환원 공정을 통해 산화물이 제어된 것을 확인하였다. 3점 굽힘 시험 결과 순수 텅스텐에 비해 향상된 저온 인성과 낮은 연성-취성 천이 온도가 관찰됐으며 주사전자현미경으로 파면 분석을 수행했다.

**Keywords:** Plasma-facing material, Dual-phase tungsten composite, Spark plasma sintering, Ductile-to-brittle transition temperature, Toughness

1. 서울대학교 재료공학부, 대학원생

# 교신저자 : 서울대학교 재료공학부, E-mail: hnhan@snu.ac.kr

# 고비강도 AlMoV 중엔트로피 합금의 미세구조 및 기계적 특성

이시우<sup>1</sup>, 손수정<sup>2, #</sup>, 홍순직<sup>3</sup>, 김형섭<sup>4, #</sup>

## Microstructure and mechanical properties of high-specific-strength AlMoV medium entropy alloy

S. W. Lee<sup>1</sup>, S. Son<sup>2</sup>, S. -J. Hong<sup>3</sup>, H. S. Kim<sup>3, #</sup>

### Abstract

Refractory high entropy alloy (RHEA)는 상온과 고온에서 우수한 기계적 물성을 나타내 차세대 극한 환경용 소재로써 많은 주목을 받고 있다. 그러나 내열 원소들의 높은 밀도로 인해 해당 합금의 상용화에는 어려움이 있었다. 이 문제를 해결하기 위해 RHEA에 경량 원소인 Al을 첨가하여 경량화를 추구하는 동시에 고용강화를 통해 강도를 증가시키려는 시도가 있었다. 하지만, Al과 내열 원소들의 낮은 고용도로 인해 단상의 Al 기반 RHEA를 설계하는 것은 어려울 것으로 생각되었다. 이 문제를 해결하기 위해, 본 연구에서는 일반적으로 Al에 다른 원소를 첨가하는 방식 대신, 완전 고용체 관계를 가지는 Mo-V 합금계에 Al을 첨가하는 새로운 합금 설계 방식을 사용하였다. 동일한 체심입방구조를 갖는 합금들은 Al의 함량에 따라 다른 소성 변형 및 파괴 거동이 나타난 것이 확인되었으며, 이러한 차이는 미세구조 분석을 통해 규명되었다. 본 연구는 우수한 비강도를 나타내는 AlMoV 중엔트로피합금 설계에 성공하였을 뿐만 아니라, 향후 RHEA의 경량화에 새로운 방향성을 제시했다는 데 의의가 있다.

**Keywords:** Lightweight alloy, Medium entropy alloy, Mechanical property

1. 포항공과대학교 신소재공학부, 대학원생
2. 포항공과대학교 신소재공학부, 연구원
3. 국립공주대학교 신소재공학부, 교수
4. 포항공과대학교 친환경소재대학원, 교수

# 점소성 자기일관성 모델을 활용한 비상관 유동 법칙 하의 이산 소성 포텐셜 모델링

박원진<sup>1</sup> · 정영웅<sup>2</sup> · 윤정환<sup>#</sup>

## Discrete Plastic Potential Modeling Under Non-Associated Flow Rule Using a VPSC Model

W. J. Park, Y. U. Jeong, J. W. Yoon

### Abstract

The yield function under the associated flow rule is used to predict the anisotropy of metal sheets. While more complex yield models can provide more accurate predictions of anisotropic behavior, they often require extensive experimentation and challenging coefficient fitting. This study proposes a simpler approach that maintains the accuracy of complex yield function predictions. To achieve this, a new plastic potential modeling is introduced under the non-associated flow rule. Instead of using a phenomenological plastic potential surface obtained from experiments, the plastic potential surface derived from the polycrystal model is proposed. Points on the plastic potential surface are computed using the VPSC, and these points are then interpolated to create a plastic potential surface under plane stress conditions. The generated surface consists of thousands of triangles, so a search algorithm is needed to calculate the surface gradients at specific stress states. The discrete potential surface and phenomenological yield surface is applied within the non-associated flow rule to predict the anisotropy of metal sheets.

**Keywords:** Sheet metal, Plastic anisotropy, Non-associated flow rule, Plastic potential function, Crystal plasticity, VPSC

---

1. 한국과학기술원 기계공학과, 석사과정

2. 창원대학교 신소재공학과, 부교수

# 교신저자: 한국과학기술원, 기계공학과, 교수, E-mail: j.yoon@kaist.ac.kr



# Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr 합금의 시효처리 공정에 따른 미세 조직 거동 및 기계적 특성 평가

이승우<sup>1</sup>, 이동근<sup>#</sup>

## Evaluation of Microstructural Behavior and Mechanical Properties of Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr Alloy According to Aging Treatment

S. W. Lee, D. G. Lee

### Abstract

연비 및 온실가스에 대한 환경규제의 심화로 친환경 자동차의 수요가 증가하고 있으며, 연비 향상을 위한 차량의 경량화는 필수적이다. 기존 자동차용 스프링으로 적용되는 SPS 6 소재보다 비강도가 높은  $\beta$ -Ti 합금은  $\beta$  matrix에  $\alpha$  상을 석출시키고 분율 및 크기를 제어함으로써 기계적 특성을 향상시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr 합금의 시효처리 공정에 따른 미세조직 거동 및 기계적 특성을 평가하기 위해 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C에서 각각 2 h, 8 h, 16 h, 24 h 유지하여 시효처리를 수행하였다. 시효 온도와 유지 시간이 증가함에 따라  $\beta$  matrix에 secondary  $\alpha$  상이 석출되어 경도와 압축 항복강도가 증가하였다. 400 °C에서는 느린 확산속도로 인해 석출 구동력이 낮아 경도와 압축 항복강도 변화가 미미하였다. 500 °C 이상에서는 secondary  $\alpha$  상의 핵생성 사이트로 작용하는  $\beta'$  상이 짧은 시효 시간에 의해  $\beta \rightarrow \beta + \beta'$  로 상분리가 빠르게 일어난다. 550 °C에서는 secondary  $\alpha$  상이 성장하여 기계적 특성이 감소하였다. 결론적으로 500 °C에서 24 h 조건에서 가장 높은 경도 (406.3 HV)와 압축 항복강도 (1443.8 MPa)가 나타났다.

**Keywords:** Metastable  $\beta$ -titanium alloy, aging treatment, precipitation, secondary  $\alpha$  phase

1. 국립순천대학교 신소재공학과, 대학원생

# 국립순천대학교, 신소재공학과, 교수, E-mail: leechodg@scnu.ac.kr

# 역그라디언트 구조를 통한 우수한 인장 물성-성형성 달성 방안

김래언<sup>1</sup>, 구강희<sup>1</sup>, 최연택<sup>1</sup>, 김형섭<sup>#</sup>

## Superior Synergy of Tensile Properties-Formability Enabled by Inverse-Gradient Structure

R. E. Kim, G. H. Gu, Y. T. Choi, H. S. Kim

### Abstract

헤테로 구조는 서로 다른 물성이 지닌 혼합된 구조를 통해, 우수한 기계적 물성을 달성할 수 있다. 그러나 도메인 간의 큰 물성 차이는 크랙에 취약하여, 특히나 성형에 취약하게 된다. 헤테로 구조의 산업성을 확대시키기 위해, 헤테로 구조의 우수한 성형성에 대해 향상이 필요하다. 해당 연구에서 성형에 최적화된 헤테로 구조를 제작하여, 우수한 기계적 물성과 성형성을 동시에 획득하였다. 냉간 압연된 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금에 양쪽 면에 레이저 처리함으로써 역그라디언트 구조 (소프트한 외부-하드한 내부)를 제조하였다. 이는 그라디언트 구조를 통해 이웃한 도메인 간 물성 차이를 줄이고 소프트한 영역에 외부에 배치함으로써, 외부 크랙 생성을 지연시켜 성형에 최적화된 미세구조 배치를 하였다. 그 결과, 벤딩 성형에서 우수한 굽힘성과 인장 시험에서 뛰어난 인장 물성을 동시에 획득하였다.

**Keywords:** Formability, Tensile properties, Heterostructure, Inverse-gradient

1. 포항공과대학교

# 포항공과대학교, 친환경소재대학원, 교수, E-mail: hskim@postech.ac.kr

# 초음파 나노결정 표면개질 처리한 CoCrFeMnNi 고엔트로피 합금 소결체의 계층적 미세구조가 인장 특성에 미치는 영향

이도원<sup>1</sup>· 김래언<sup>2</sup>· 하효정<sup>1</sup>· Auezhan Amanov<sup>3</sup>· 김형섭<sup>1,2,#</sup>

## Abstract

본 연구는 초음파 나노결정화 처리(UNSM)가 금속 시편의 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. UNSM 처리를 통해 표면에 두꺼운 UNSM 처리 영역(UTR)이 형성되었으며, 특히 더 높은 하중 조건인 U2에서 UTR의 깊이가 증가하였다. 미세조직 분석 결과, UTR에서는 기공이 감소하고 입자 미세화가 이루어져 표면 경도와 강도가 향상되었다. 인장 시험에서 U1과 U2 시편은 각각 537 MPa와 572 MPa의 항복 강도를 보여 무처리 시편보다 크게 향상되었으나, 연신율은 감소하였다. 이는 UTR에서 GND 밀도 증가로 인한 변형 슬립의 억제로 표면 변형이 제한되었기 때문으로 해석된다. XRD 분석에서는 UNSM 처리로 인한 나노결정 구조 형성과 압축 잔류 응력이 확인되었다. 변형 EBSD와 파단면 분석 결과, 강화된 UTR이 변형을 제약하여 시편의 조기 파단을 유발하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 UNSM 처리가 표면 강화와 내부 연성 유지에 효과적이며, 향상된 표면 내구성이 필요한 응용 분야에 적용 가능성을 시사한다.

**Keywords:** Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification (UNSM), Hierarchical Microstructure, Mechanical Properties, Pore Reduction, Residual Stress

- 
- 포항공과대학교 신소재공학과, 대학원생
  - 포항공과대학교 친환경소재대학원, 대학원생
  - 선문대학교, 교수
- # 포항공과대학교, 신소재공학과, 교수, E-mail: hskim@postech.ac.kr

# 7. International Session

Material

Process

( 제 7 발표회장 )

# 벌지 시험을 통한 저탄소강의 이축 인장 거동

이신영<sup>1, #</sup> · 김수상<sup>1</sup> · 박두현<sup>2</sup> · 송정한<sup>2</sup> · 오우정<sup>1</sup> · 경준석<sup>1</sup>

## Equi-biaxial tensile behavior of low carbon steel with bulge test

Shin-Yeong Lee, Soo-Sang Kim, Doo-Hyun Park, Jung-Han Song, Woo-Jeong Oh, Joon-Seok Kyeong

### Abstract

In the automotive industry, the impact simulation is generally used to optimize the product design. The uniaxial tensile behavior of material is commonly used for the simulation; however, the real material deformation behavior in the impact simulation is multi-axial stress state, especially, equi-biaxial tension. For example, the under parts of car are often exposed to external objects like stones, which typically results in equi-biaxial tensile behavior. Therefore, in this study, the equi-biaxial tensile behavior of low carbon steel was characterized with bulge test, which is a kind of dome forming leading to equi-biaxial tension. It was observed that, unlike general high strength steel sheets, the strength difference between uniaxial and equi-biaxial tension stress states was large. This anisotropy of equi-biaxial tension state was modeled by Yld2004-3d general anisotropic yield function. Finally, numerical simulations for the bulge test with isotropic and anisotropic yield functions were conducted and compared for the accuracy of simulation.

**Keywords:** Equi-biaxial tension, bulge test, low carbon steel

---

1. 현대모비스, R&D기반기술연구실, 책임연구원

2. 한국생산기술연구원, 지능화뿌리기술연구소

# E-mail: sylee413@mobis.com

# QForm UK 및 QKaliber를 사용한 롤 패스 설계 및 시뮬레이션에 대한 혁신적인 접근

Sergey Stebunov<sup>1</sup> · Pavel Maltsev<sup>1</sup> · Vitaliy Belugin<sup>1#</sup> · Igor Alimov<sup>1</sup> · Nikolay Biba<sup>2</sup>

## Innovative approaches to roll pass design and simulation using QForm UK and QKaliber

S. Stebunov, P. Maltsev, V. Belugin, I. Alimov, N. Biba

### Abstract

This article examines the utilization of QKaliber software and the QForm UK FEM simulation program for streamlining the roll pass design (RPD) of profiles in longitudinal rolling processes. The investigation covers QKaliber's functionalities, including the assessment of rolling parameters, RPD analysis, visualization of groove geometries and rolled parts, roll stress analysis, and the automated generation of technological documentation, while storing rolling mill characteristics.

Using analytical formulas, QKaliber computes rolling parameters such as metal deformation, temperature, speed regimes, and energy-force parameters across consecutive passes. The program's adaptability allows for the design of both long and shaped profiles in two directions: from the workpiece to the finished profile or vice versa. In the latter case, profiles are segmented into parametric components, whose sizes are automatically determined through a built-in algorithm that considers dimensional aspects between adjacent roll passes. This algorithm can be easily adjusted by the user to achieve a well-balanced reduction pattern.

A case study on the I-beam IPE 140 profile presented in this paper illustrates RPD using both approaches, followed by the verification of analytical calculations through the Finite Element Method in QForm UK. The obtained results demonstrate a substantial reduction in RPD time for new profiles and the potential for optimizing existing RPDs. The integration with QForm UK for the automatic preparation of projects in simulating longitudinal rolling processes not only enhances comprehension but also underscores the intuitive and advanced capabilities of QKaliber software in RPD.

**Keywords:** Rolling, Roll Pass Design, Process Design, Optimization, FEM

---

1. QForm Group FZ LLC (UAE)

2. Micas Simulations Ltd (UK)

# QForm Group FZ LLC (UAE), E-mail: belugin@qform3d.com

# Effect of current density on diffusion process in electrically assisted pressure joining of dissimilar aluminum 6061-T6 and copper C11000 alloys

Tu-Anh Bui-Thi<sup>1</sup>, Thanh Thuong Do<sup>1</sup>, Van Cong Phan<sup>1</sup>, Yijae Kim<sup>2</sup>, Heung Nam Han<sup>2</sup>,

Byungsun Park<sup>3</sup>, Juhoon Lee<sup>3</sup>, Sung-Tae Hong<sup>1,#</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, University of Ulsan, Ulsan, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Materials Science and Engineering and Research Institute of Advanced Materials, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

<sup>3</sup>Research and Development Department, Daeseong, Yangsan, Republic of Korea

#Corresponding author, e-mail: sthong@ulsan.ac.kr

## Abstract

The present study experimentally investigates the effect of current density on an electrically assisted pressure joining (EAPJ) of copper (Cu) 11000 and aluminum (Al) 6061-T6 alloys at a fixed temperature. A primary electric current, designed to be varied in current density and duration, is concurrently applied to the cylindrical assembly with continuous axial compressive plastic deformation. Then, an additional electric current is periodically applied to the specimen assembly without plastic deformation to keep the temperature elevated and enhance the diffusion process. Microstructural observation confirms that the defect-free joint of the selected material combination is fabricated at solid state. Also, the thickness of the intermetallic compound layer at the joint interface is observed to increase as the current density increases. The calculated overall diffusivity during EAPJ shows that the electric current-induced athermal charge imbalance effect, in addition to resistance heating, strongly affects the joining performance as well as atomic diffusion at the joint interface. The present study demonstrates that the concept of EAPJ is clearly applicable to joining of imperative material combinations.

**Keywords:** solid-state; electrically assisted pressure joining; copper C11000; aluminum AA6061-T6; diffusivity; current density.

## Acknowledgment:

This research was financially supported by the Ministry of Small and Medium-sized Enterprises(SMEs) and Startups(MSS), Korea, under the "Regional Specialized Industry Development Plus Program(R&D, S3363550)" supervised by the Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT). This work was also supported by "Regional Innovation Strategy (RIS)" through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education(MOE)(2021RIS-003).

# Improving mechanical properties of Al-Mg-Si alloy through electrically assisted rapid precipitation hardening

Meiling Geng<sup>1</sup>, Yixing Zhao<sup>1</sup>, Yijae Kim<sup>2</sup>, Heung Nam Han<sup>2</sup>, Sung-Tae Hong<sup>1,#</sup>

## Abstract

For energy saving and environmental protection, a simple strategy to realize rapid artificial aging of 6061 aluminum alloy is suggested by combining electropulsing treatment and furnace heating (electrically assisted rapid precipitation hardening, EA-RPH). A parameter study is conducted to evaluate the effect of heating rate, heating temperature, and duration of electropulsing heat treatment. Correspondingly, proper electric parameters are confirmed for efficient EA-RPH. Resultant mechanical properties are examined by Vickers hardness measurement and uniaxial tensile tests. The microstructure evolution is also characterized. The result of a comparative study of conventional precipitation hardening and EA-RPH confirms that the suggested EA-RPH can effectively and significantly reduce the whole process time. The result of present study contributes to tuning the microstructure and final mechanical properties of lightweight structures made of precipitation-hardening aluminum alloys.

**Keywords:** Electric current, Precipitation behavior, Tensile behavior, Al-Mg-Si alloy

## Acknowledgments

This work was supported by the Technology Innovation Program (Development Program Development of design for additive manufacturing technology and Low alloy steel materials with tensile strength 1.0 GPa for next-generation components, 20024345) funded by the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE, Korea). This work was supported by the Technology Innovation Program (Industrial Strategic Technology Development Program- Advanced Technology Center Plus, 20017966) funded By the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE, Korea).

---

1. School of Mechanical Engineering, University of Ulsan, Republic of Korea

2. Department of Materials Science and Engineering and Research Institute of Advanced Materials, Seoul National University

# Corresponding Author: sthong@ulsan.ac.kr



# Dislocation density based modelling of the electroplastic effect in pure copper using a crystal plasticity framework

Jai Tiwari<sup>1</sup>, Minwoo Park<sup>1</sup>, Heung Nam Han<sup>#</sup>

## Abstract

The benefits of improved formability and reduced springback through electric-assisted forming are well documented. These advantages are attributed to the interaction of the electric current with the material's microstructure, known as the electroplastic effect, alongside Joule's heating effect. Numerous attempts have been made to model electroplastic behavior in the literature. Among these, the dislocation density-based constitutive model has proven most effective in describing electroplastic behavior. Key challenges in modeling this effect include incorporating the thermal and electrical influences and identifying the material parameters necessary to characterize the overall mechanical behavior. In the present work, a modified dislocation density-based model with the concept of effective temperature is used to model the electroplastic behaviour of pure copper metal. This model is implemented in a commercial finite element software using the crystal plasticity framework. The experimental mechanical behaviour in pulsed and non-pulsed conditions is used to identify the modelling parameters. The identified parameters are found to match the experimental data with reasonable accuracy, and the effective temperature approach is validated.

**Keywords:** Electroplastic effect, Joule's heating, Constitutive model, Effective temperature, Dislocation density

---

1. Department of Materials Science and Engineering & Research Institute of Advanced Materials, Seoul National University, Korea

# Seoul National University, Department of Materials Science and Engineering, Professor, E-mail: hnhan@snu.ac.kr

# DP강의 마르텐사이트 체적 분율이 시간에 따른 변형 거동에 미치는 영향

## Effect of martensite volume fraction on the time-dependent plasticity of dual-phase steels

Kali Prasad<sup>1</sup>, Eun Seong Kim<sup>2</sup>, Hyoung Seop Kim<sup>1,2</sup>

### Abstract

The mechanical performance of dual-phase (DP) steels is primarily influenced by their constituent phases, namely ferrite and martensite, with strain partitioning between these phases playing a key role in the material's overall behavior. To effectively stamp these steels using servo presses, it is essential to evaluate their stress relaxation behavior. In this study, the stress relaxation characteristics of DP steels with varying martensite volume fractions were investigated. DP steels were produced through different inter-critical annealing temperatures, resulting in varying martensite content. Both monotonic and stress relaxation deformation responses were examined under different pre-strain conditions to assess their influence on deformation behavior. The results demonstrate that martensite volume fraction significantly affects time-dependent deformation kinetics. Furthermore, the study reveals that stress relaxation enhances the ductility of the material. The underlying mechanisms responsible for the improved ductility across different martensite volume fractions are thoroughly analyzed and discussed.

**Keywords:** Dual phase steels, Servo press, Forming, Stress relaxation

---

1. Graduate Institute of Ferrous and Eco Materials Technology, Pohang University of Science and Technology

2. Department of Materials Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology

# Corresponding author, E-mail: kaliprasad@postech.ac.kr

# Joining and Forging of a Lightweight Structural Component by Electrically Assisted Closed-die Forging

Thanh Thuong Do<sup>1</sup>, Tu-Anh Bui-Thi<sup>1</sup>, Jang Hyun Bae<sup>2</sup>, Moon-Jo Kim<sup>2</sup>, Sung-Tae Hong<sup>1,#</sup>

## Abstract

The feasibility of simultaneous joining and forging of a lightweight structural component by electrically assisted (EA) closed-die forging is experimentally investigated. The objective is to join dissimilar aluminum alloys with distinct material properties (AA6061 and AA7075) while simultaneously forging a product with a designed geometry using the joining dissimilar aluminum alloys. To achieve this, electrodes that act as forging dies are designed to accommodate the target geometry. Compressive displacement is then applied to the workpiece to induce plastic deformation, with a simultaneously applied pulsed electric current of varying current densities. This process results in compression at elevated temperatures, facilitating diffusion joining and ensuring the workpiece fills the electrode cavity to meet the desired geometry. As a result, two dissimilar aluminum alloys are successfully joined in a solid state without micro/macro defect, while the target product geometry is also formed. The findings confirm the potential of EA forging for manufacturing lightweight structural components from dissimilar materials.

**Keywords:** electrically assisted; solid-state joining; simultaneous joining and forging; dissimilar aluminum alloys.

## Acknowledgment:

This research was financially supported by the Ministry of Small and Medium-sized Enterprises(SMEs) and Startups(MSS), Korea, under the "Regional Specialized Industry Development Plus Program(R&D, S3363550)" supervised by the Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT).

This result was supported by "Regional Innovation Strategy (RIS)" through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(MOE)(2021RIS-003)

---

1. School of Mechanical Engineering, University of Ulsan

2. Materials Supply Chain R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology, Incheon

#Corresponding author: sthong@ulsan.ac.kr

## 8. 특 별 세 션 11

철강/금속 산업  
디지털전환 실증센터 구축사업

( 제 8 발표회장 )

## 철강/금속산업 디지털전환 도입 현황

김대욱<sup>1</sup>, 김경훈<sup>2</sup>, 허은주<sup>3</sup>, 양해웅<sup>#</sup>

### Digital Transformation Adoption in the Steel and metals Industry

D. W. Kim, K. Kim, E. J. Heo, H. W. Yang

#### Abstract

우리나라의 철강/금속산업은 자동차, 조선, 건설 등 주요 산업의 핵심 소재를 공급하며 국가 경제 성장에 크게 기여하였으나, 최근 세계철강산업 경쟁 심화, 중국의 저가 철강재 공급 등의 문제로 성장정체를 겪고 있다. 지속되는 철강경기 부진으로 국내기업의 생산 및 수출의 감소 문제를 해결하기 위해 기존 철강산업의 4차 산업혁명 대응이 필수적이며, 그 중 디지털전환기술을 통한 디지털 제조 혁신으로 생산성 향상, 새로운 가치창출 등 국내철강산업 발전과 경쟁력을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 본 논문에서는 국내외 주요 철강 기업의 디지털전환 사례를 분석하고 스마트 제조 시스템 도입, 빅데이터 기반 예측 모델 개발, 사물인터넷(IoT) 기반 실시간 모니터링 시스템 구축 등 다양한 디지털 기술의 도입 사례와 산업현황을 분석하여 철강/금속 산업의 지속가능한 성장을 위한 디지털전환 전략 수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

**Keywords:** Digital Transformation , Steel Industry , Big Data , Digital Twin , IoT

1. (재)포항금속소재산업진흥원 전략기획실, 주임연구원

2. (재)포항금속소재산업진흥원 전략기획실, 선임연구원

3. (재)포항금속소재산업진흥원 전략기획실, 연구원

# (재)포항금속소재산업진흥원 전략기획실, 팀장, E-mail: hwyang@pomia.or.kr

## 디지털 트윈 적용 사례로 보는 실증 방안 고찰

허우로<sup>1</sup> · 김경훈<sup>#</sup>

### A Review of Empirical Methods Based on Digital Twin Application Cases

U. R. Heo, K. Kim

#### Abstract

디지털 트윈 기술은 현실에서 발생할 수 있는 상황을 가상의 환경에서 시뮬레이션을 하여 사전 결과를 예측하는 기술이며 스마트시티, 제조, 의료 등 다양한 산업분야에 접목되어 문제 해결과 생산성 향상 도모를 위해 활용되어지고 있다. 본 연구에서는 포항시 탄소중립, 해양안전, 대기오염 등 지역현안문제 해결을 위해 디지털트윈 기술을 적용한 사례를 살펴보고자 한다.

**Keywords:** Digital twn, Social challenges, Pohang

1. (재)포항금속소재산업진흥원, 전략기획실, 주임연구원

# (재)포항금속소재산업진흥원, 전략기획실, 팀장, E-mail: kkh@pomia.or.kr

# 기계학습 모델에 따른 냉간단조 열처리 조건 별 기계적 물성 비교 연구

박종구<sup>1</sup>, 허우로<sup>1</sup>, 이현주<sup>2</sup>, 김경훈<sup>#</sup>

## Comparison Study of Mechanical Properties by Cold Forging Heat Conditions Using Machine Learning

J.-G Park, U. R. Heo, H. J. Lee, K. Kim

### Abstract

기계학습 알고리즘을 활용한 소재 물성 예측에 관한 연구가 활발해지면서 다양한 소재와 공정 과정에서 적용되고 있다. 금속소재의 경우 역사적으로 오랫동안 다루었던 소재로써 수많은 데이터를 가지고 있어 기계학습을 적용시킨 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 냉간 단조 공정의 열처리는 자동차, 비행기, 우주선 등 첨단 기술의 집약체의 부속 부품을 생산하는 공정으로 사용되어 기계적 물성을 향상하는데 있어 중요한 역할을 맡고 있다. 그러나, 열처리 공정은 작업자의 경험과 기술에 의존적이기 때문에 정밀 부품을 생산하는데 어려움을 겪고 있다. 본 연구에서는 냉간단조 및 오스템퍼링 열처리 공정이 적용된 데이터를 사용하여 적합한 기계 학습 모델을 탐색하여 경도에 상당한 영향을 미치는 요소를 분석하였다. 기계학습 모델은 랜덤 포레스트(RF), 그라디언트 부스팅(GB), 엑스트라 트리(ET), 릿지 회귀(RIDGE), 라쏘 회귀(LASSO)를 활용하였다. 그 결과, 14개의 특성 중 7개의 특성 변수 중 소입온도, 탄소 및 구리 함유량에 의존적인 경향을 보여주었으며 L2 정규화 방법에 적합하다는 것을 분석하였다.

**Keywords:** Cold forging, Aus-tempering heat treatment, Machine learning, Normalization

1. (재)포항금속소재산업진흥원 전략기획실, 주임연구원

2. (재)포항금속소재산업진흥원 전략기획실, 연구원

# (재)포항금속소재산업진흥원 전략기획실, 팀장, E-mail: kkh@pomia.or.kr

# 사출공정 딥러닝기반 품질예측 연구

이용환<sup>1</sup> · 허우로<sup>2</sup> · 김경훈<sup>#</sup>

## Study on Quality Prediction in Injection Molding Based on Deep Learning

Y. H. Lee, U. R. Heo, K. Kim

### Abstract

사출성형 공정은 플라스틱 소재를 활용해 제품을 대량 생산하는 공정으로 산업 전반에 걸쳐 필수적인 공정 기술이다. 특히 자동차, 항공우주 부품 소재로 활용되어 고도의 기술이 요구된다. 사출성형의 품질관리는 제품에 대한 측정 및 평가를 수반하여 디지털 전환 기술과 인공지능 기술을 접목하여 데이터 기반의 품질 관리가 이루어지고 있다. 하지만, 현재 사출공정 기반의 인공지능 기술은 기계에서 추출한 데이터를 활용하여 기계학습을 하는 수준이므로 전문적인 기술이 작업자들에게 요구되는 어려움이 있다. 본 연구에서는 사출성형 공정 중 발생하는 음향 데이터를 수집하여 CNN(Convolutional Neural Network) 기반의 알고리즘을 적용하여 제품 품질을 예측하는 연구를 진행하였다. 사출성형기에 부착된 센서를 사용해 학습 및 분석 데이터 세트를 수집한 후, 양품과 불량품을 라벨링하고, 각 모델에 대한 파라미터를 변경하며 모델을 평가하였다. 그 결과, 사출 공정 중 발생하는 소리를 기반으로 98%의 정확도를 가지는 모델을 개발하였다.

**Keywords:** Injection molding, Sound data, Quality prediction, Convolutional neural network

1. (재)포항금속소재산업진흥원 전략기획실, 선임연구원

2. (재)포항금속소재산업진흥원 전략기획실, 주임연구원

# (재)포항금속소재산업진흥원 전략기획실, 팀장, E-mail: kkh@pomia.or.kr



# 랜덤 포레스트 회귀법을 적용한 단조재 기계적 물성 예측

김대욱<sup>1</sup>· 박종구<sup>1</sup>· 김경훈<sup>2</sup>· 양해웅<sup>#</sup>

## Predicting Mechanical Properties of Forgings Using Random Forest Regression

D. W. Kim, J.-G. Park, K. Kim, H. W. Yang

### Abstract

냉간단조는 기초공정산업 중 하나로써 자동차, 항공기, 선박 등 중대형 장비 부품 생산에 주로 사용되며, 단조재 부품의 품질과 성능은 열처리 공정에 의해 결정되어진다. 하지만, 열처리 공정에서 작업자의 노하우 및 숙련도에 의존하는 전통적인 작업 방식을 채택하여 다양한 산업에 적용되는 냉간단조 부품 성능의 일관성을 확보하기 어려운 상황이다. 이러한 문제를 해소하고자 디지털 전환의 목적으로 인공지능을 접목한 연구가 상당히 진행되고 있지만 기계적 물성과 예측 모델 간의 연관성에 대한 분석 연구가 부족한 편이다. 본 논문에서는 냉간 단조 제조 생산 효율성 향상을 위해 랜덤 포레스트 회귀법을 적용하여 기계적 물성(경도)을 예측하는 모델의 우수성을 분석하였다. 랜덤 포레스트 회귀법은 기존에 잘 알려진 그라디언트 부스팅 회귀법과 엑스트라 트리 회귀법 보다 우수한 성능을 보여주는 것을 확인하였다.

**Keywords:** Random Forest Regression, Cold Forging, Heat treatment, Machine Learning

1. (재)포항금속소재산업진흥원 전략기획실, 주임연구원

2. (재)포항금속소재산업진흥원 전략기획실, 선임연구원

# (재)포항금속소재산업진흥원 전략기획실, 팀장, E-mail: hwyang@pomia.or.kr

# 고온 단조 환경을 위한 영상 기반 소재 추적 AI 시스템

김치성<sup>1</sup> · 조현보<sup>#</sup>

## Vision-based Workpiece Tracking System for Extreme Environments in Open-die Press Forging

C. S. Kim, H. B. Cho

### Abstract

4 차 산업혁명의 도래와 함께 인공지능(AI)은 다양한 산업 분야에서 필수적인 역할을 수행하고 있습니다. 특히 대량의 데이터 분석, 실시간 의사결정, 복잡한 공정 자동화 등의 능력은 생산성과 고객 신뢰도를 향상시키는 데 크게 기여하고 있습니다. 현대 인프라의 근간인 철강 산업 역시 AI 기반 변혁의 예외는 아닙니다. 기계 및 장비에 부착된 센서에서 수집한 데이터를 통해 잠재적인 고장과 품질 문제(결함, 제품 사양 이탈 등)를 적시에 탐지할 수 있습니다. 또한 AI 를 활용하여 작업자 안전과 환경변화를 효과적으로 관리하고 모니터링함으로써 안전성과 지속가능성을 제고할 수 있습니다. 그러나 철강 산업의 많은 영역에서는 여전히 수작업이 필요한 실정입니다.

특히 단조 공정에서의 소재 추적은 매우 어려운 문제입니다. 단조 공정은 고온으로 가열한 소재에 기계적 압력을 가해 모양을 변형시켜 소재를 성형하는 공정입니다. 원하는 형상에 따라 가열과 단조를 반복하며, 하나의 가열로에서 서로 다른 소재를 함께 가열하기도 합니다. 따라서 반복적인 가열과 단조 과정에서 소재가 섞이지 않도록 정확한 소재 추적이 필수적입니다. 다른 제조 분야에서는 RFID, QR 코드, 바코드, IoT 기술 등을 활용하여 정확하고 자동화된 소재 추적이 이루어지고 있습니다. 그러나 단조 공정의 1000 도가 넘어가는 극한 온도 환경에서는 작업자에 의한 수기 기록으로 소재 추적이 이루어지고 있는 실정입니다.

본 연구에서는 단조 공정에서의 소재 추적 문제를 해결하기 위해 비전 AI 기반 소재 추적 시스템을 개발하였습니다. 먼저 단조 공장에 소재 추적을 위한 이미지 데이터를 수집하기 위하여 카메라를 설치하여 단조 공장의 이미지를 수집하였습니다. 수집된 데이터는 딥러닝 기반 객체 감지와 비디오 행동 인식 AI를 통해 분석되어 소재의 위치, 상태, 이력 등을 자동으로 추적하고 기록합니다. 비전 AI 기반 소재 추적 시스템 실제 운영 중인 단조 현장에 적용하여 테스트하였고, 테스트 기간 동안 45회의 소재 이동 중 40회를 성공적으로 감지했으며, 16개의 소재 중 14개를 정확하게 추적했습니다. 이를 통해 작업자의 수기 기록에 의존하던 기존 방식의 한계를 극복하고, 소재 추적의 정확성과 효율성을 크게 향상시킬 수 있었습니다.

**Keywords:** Metal Forging, Workpiece Tracking, Computer Vision, Object Detection, Activity Recognition

1. 포항공과대학교 산업경영공학과, 대학원생

# 포항공과대학교, 산업경영공학과, 교수, E-mail: hcho@postech.ac.kr

## 제조 AI 숨은 속성 및 적용 사례

강용태#

### Manufacturing A.I. Hidden Features and Application Cases

Y. T. Kang#

#### Abstract

최근 제조업에서 스마트 팩토리 구축을 통해 생산성과 효율성을 높이는 움직임이 활발해지고 있다. 이에 따라 각 공정에서 발생하는 제조 데이터를 수집하고, 이를 활용해 생산성을 개선하려는 다양한 시도들이 이루어지고 있다. 특히, 인공지능 알고리즘을 생산 공정에 도입해 효율성을 극대화하려는 노력이 점차 확대되고 있다. 본 연구에서는 제조 산업에서 적용된 제조 AI 기술의 주요 특징과 이를 활용한 사례들을 분석하였다.

**Keywords:** Manufacturing data, AI algorithm, Production efficiency

## 9. 포스터 발표

( 제 9 발표회장 )

# 레이저 프로파일 센서를 적용한 대면적 3차원 곡면검사에 관한 연구

이상익<sup>1#</sup>, 박성진<sup>1</sup>, 공경열<sup>1</sup>

## Development of Laser Profile Sensing Technology for Large-area 3D Surface Inspection

S. I. Lee, S. J. Park, K. L. Kong

### Abstract

대면적 후판 3차원 곡면은 조선, 항공 분야 등 산업분야에 적용되고 있는 소재부품으로 조선 분야는 선형, 항공분야는 기체 등에 많이 적용되고 있다. 이는 3차원 곡면으로 프레스 성형, 벤딩 및 열간가공 등 공정을 통해 3차원 곡면으로 제작하고 있다. 3차원 곡면 곡률 검사를 위해 다양한 방법으로 검사를 하고 있으나 조선분야의 대면적 후판 3차원 곡면검사는 나무목형 템플릿으로 위치 별 곡률을 검사하고 있다. 나무목형 템플릿은 1회성으로 비용이 많이 발생하기 때문에 경쟁력이 저하되고 있다. 따라서 본 연구는 조선분야의 대면적 3차원 곡면검사를 레이저 프로파일 센싱기술을 적용하여 곡면검사가 가능한 연구개발 수행하였다. 레이저 프로파일 센서를 이용해 대면적 후판 3차원 곡면을 센싱하여 설계 데이터와 센싱 데이터를 정합하여 3차원 곡면검사가 가능 하도록 개발하였다. 따라서 대면적 후판 3차원 곡면검사 비용절감과 검사 시간 단축할 수 있었다.

**Keywords:** Laser profile sensing, 3D shape, Surface, Inspection

본 연구는 중소벤처기업부의 중소기업기술정보진흥원의 “지역특화산업육성+(R&D, 과제번호 S3363111)” 사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임

1. 기득산업(주) 기업부설연구소  
# 기득산업(주), 기업부설연구소, 수석연구원,  
E-mail: star1238@kdkw.co.kr

# 디지털 3D형상 기반 3차원 자유곡면

## 열간성형 로봇 자동화에 관한 연구

이상익<sup>1#</sup>, 박성진<sup>1</sup>, 공경열<sup>1</sup>

### Development of Automation Technology for Three-Dimensional Free-Form Hot Forming based on Digital 3D Shapes

S. I. Lee, S. J. Park, K. L. Kong

#### Abstract

3차원 자유곡면은 조선, 항공 분야 등 다양한 산업분야에 적용되고 있는 소재부품으로 조선 분야에서는 선형, 항공분야는 기체 등에 많이 적용되고 있다. 3차원 자유곡면 성형을 위해 1차로 프레스 성형, 벤딩 후 2차로 열간성형을 통해 3차원 자유곡면으로 제작하고 있다. 조선분야의 3차원 자유곡면 성형을 위한 2차 열간성형은 수작업의 화염가열과 수냉을 통해 제조되고 있다. 하지만 2차 열간성형은 작업환경이 열악하기 때문에 인력부족으로 제조공정의 문제가 발생하고 있다. 따라서 2차 열간성형을 인력부족 문제에 대응하기 위해 열간성형 공정 자동화가 필요하다. 본 연구는 3차원 자유곡면 열간성형을 위해 설계 데이터를 3D형상으로 변환하고 1차 냉간성형된 2차원 곡면 후판의 제품을 비전센싱을 통해 획득한 데이터 기반으로 3차원 자유곡면의 곡률 완성도를 달성하기 위해 선상 및 삼각가열을 통해 열간성형 로봇이 자동으로 곡률 성형할 수 있다. 따라서 3차원 자유곡면 열간성형 공정의 인력부재에 대응할 수 있을 것으로 예상된다.

**Keywords:** Digital, 3D Shape, Free form surface, Hot forming, Robot, Automation

본 연구는 중소벤처기업부의 중소기업기술정보진흥원의 “지역특화산업육성+(R&D, 과제번호 S3363111)” 사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임

1. 기득산업(주) 기업부설연구소

# 기득산업(주), 기업부설연구소, 수석연구원,

E-mail: star1238@kdkw.co.kr

# The influence of residual stress induced by hole expansion on fatigue crack growth

Min Jae Baek, Moo Young Seok, Yong Nam Kwon, Hyeonil Park, Hyunsung Choi, Dong Jun Lee\*

KEYWORD : Hole Expansion, Method, Genetic Algorithm, Compressive Residual Stress, Residual Stress Method, Fatigue Crack Growth

Residual stress induced plastic deformation during the fabrication of aircraft components significantly influences their fatigue life and crack propagation characteristics. Hole expansion process has been widely used to generate residual stress in these components. By expanding the hole around a designated area, this process generates compressive residual stress, effectively mitigating crack growth. The surface compressive residual stress augments the fatigue limit and enhances mechanical properties, particularly by suppressing stress corrosion cracking (SCC). Achieving the desired magnitude of residual stress necessitates the design of an optimal hole expansion process. Conducting repetitive experimental designs for this purpose proves to be prohibitively costly and time-consuming. Thus, it is necessary to efficiently analyze the relation between the process variables and the primary outputs through finite element analysis. In this study, the optimized hole expansion process has been designed by analyzing the relation between design variables of hole expansion process such as Insert Angle, Mandrel Diameter, and Plate Hole Diameter and the primary outputs of the process such as residual stress magnitude and distribution, and stress of mandrel. By utilizing the resultant optimal process, we have compared and assessed the residual stress induced in the material during the hole expansion process using three different types of measurement methods, namely X-ray diffraction (XRD), hole drilling, and contour analysis. Subsequently, we have analyzed the implications of these findings on fatigue crack growth.

# 유한요소해석 기반 Ti-6Al-4V 항공부품 열간단조 공정 컨셉 개발

함민지<sup>1</sup>, 문인용<sup>#</sup>

## Development of Hot Forging Process for Ti-6Al-4V Aircraft Part Based on FE-Simulation

I. Y. Moon

### Abstract

본 연구에서는 Ti-6Al-4V 합금을 사용한 항공부품의 열간단조 공정을 개발하기 위해 유한요소해석(Finite Element Analysis, FEA)을 기반으로 한 공정 컨셉을 제안하였다. Ti-6Al-4V는 우수한 강도 대 중량비와 높은 내식성으로 인해 항공우주 분야에서 널리 사용되고 있지만, 가공이 어려운 특성 때문에 제조 공정에서 많은 도전 과제가 존재한다. 따라서 공정해석을 활용한 선행 연구를 통하여 열간단조 공정을 최적화하고 공정 효율성을 높이고자 하였다. 연구 방법으로는, 유한요소해석 소프트웨어를 이용하여 Ti-6Al-4V의 단조 과정을 시뮬레이션하여 다양한 공정 변수(온도, 속도, 변형률 등)에 따른 성형 하중 및 성형성을 분석하였다. 연구 결과, 성형 하중 및 성형성을 최대화할 수 있는 공정 조건을 제안할 수 있었으며, 해당 제품의 단조에 필요한 프레스기의 스펙을 제시할 수 있었다. 이러한 결과는 항공부품 제조에서 Ti-6Al-4V의 활용도를 높이고, 공정의 신뢰성을 향상시키는 데 기여할 것이라 기대된다.

**Keywords:** Finite Element Method, Ti-6Al-4V, Hot Forging, Deformation, Aircraft

1. 한국생산기술연구원 기능성소재부품그룹, 연구조원

# 한국생산기술연구원 기능성소재부품그룹, 선임연구원, E-mail: mooniy085@kitech.re.kr



# 의료용 Ti6Al4V ELI 전치환 인공관절의 제조기술개발

김동권<sup>#</sup> · 이경훈<sup>1</sup> · 조종래<sup>2</sup> · 정호승<sup>3</sup>

## Manufacturing Technology Development of Ti6Al4V ELI Artificial Joint for Complete Substitution

D. K. Kim, K. H. Lee, J.R.Cho, H.S.Jeong

### Abstract

현재 수입에 의존하고 있는 Ti64 ELI 의료용 전치환 인공관절 단조부품의 국산화를 통하여 수입대체 및 수출경쟁력 확보를 위한 기술개발을 추진 중이다. 본 기술개발을 통하여 정형외과용 인공관절 단조품의 제조기술을 확보하고, 향후에 엉덩이, 어깨 및 발목 관절 등의 다양한 삽입형 의료기기 제작에 확대 적용이 가능할 것으로 판단된다.

고온에서 성형성이 부족한 Ti64 ELI 전치환 인공관절 부품을 제조하기 위하여, 우선 단조공정해석을 수행하여 열간단조공정을 설정하였다. 이를 통하여 당사 보유의 유압프레스에 맞는 맞춤형 열간단조금형과 구조물을 설계한 후에 유압프레스에 제작, 설치하여 최종 형단조공정을 수행하였다. 이를 토대로 사전에 Pb를 활용한 모델실험을 실시한 후, Ti64 ELI 본 소재에 대한 단조작업을 수행함으로써 난성형 재료인 Ti64 ELI 소재에 대한 제조기술을 확립하였다.

본 기술을 토대로 단조품의 가공여유를 최소화한 Near-Net Shape의 인공관절 부품을 개발하기 위하여, 향후에는 항온단조기술을 접목하여 기술개발을 수행해 나갈 예정이다.

**Keywords:** Titanium Alloy, Isothermal Forging, Hot Forging, Artificial Joint



Fig. 1 The Shape of finish machined product

### Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부 및 방위사업청 재원인 2022년도 민군기술개발사업으로 수행된 연구이며 이에 감사드립니다(22-CM-AU-21, 2022년도 민군기술개발사업).

1. 한밭중공업(주), 연구소장  
2. 한국해양대학교, 기계공학부 교수  
3. 한국해양대학교, 학연연구교수  
# 교신저자: 한밭중공업(주), 연구위원. kdg2638@hfm.kr

## 이차전지용 8079 알루미늄 합금의 열처리에 따른 인장특성 향상 연구

강정현, 박진웅, 한병준, Emmanuel Appiah, 김정한\*

국립한밭대학교 신소재공학과

Email: [wjdgus8627@naver.com](mailto:wjdgus8627@naver.com), [wlsdnd1121@naver.com](mailto:wlsdnd1121@naver.com), [gwfans@gmail.com](mailto:gwfans@gmail.com),  
[owusuappia8@gmail.com](mailto:owusuappia8@gmail.com), [jh.kim@hanbat.ac.kr](mailto:jh.kim@hanbat.ac.kr)

### Abstract

AA8079 알루미늄 합금은 비교적 새로운 소재로서 Fe 와 Si 를 주요 합금 원소로 가진다. 우수한 내식성과 산소, 수분 통과에 대한 저항성이 높아 이차전지용 파우치 필름 제작에 주로 사용되고 있다. 그러나, AA8079 합금은 내부에 금속간화합물을 다량 포함하고 있어서 연성이 열악하고 이에 따라 배터리 파우치의 성형성을 악화시키는 요인으로 작용하고 있다. 그러나 현재까지 8079 알루미늄 합금의 강화상과 열처리에 따른 기계적 특성 변화에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서, 최적의 강도와 연성을 얻기 위한 용체화 및 시효 조건도 명확하지 않다. 본 연구에서는 AA8079 합금의 열처리 공정이 합금의 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 다양한 열처리 조건에서 합금의 경도와 연성 변화를 분석하여 최적의 열처리 조건을 탐색하였으며, 어닐링 시간과 온도 변화가 합금의 경도 향상에 미치는 영향을 검토하였다. 실험 결과, 특정 열처리 조건에서 AA8079 의 경도와 연성이 크게 개선됨을 확인하였다. 열처리 후 미세조직과 기계적 특성의 변화를 관찰하기 위해 FIB, SEM 분석, 경도 및 인장 시험을 실시하였다. 본 연구 결과는 AA8079 합금의 다양한 응용 분야 확대를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**Keywords:** Al8079, Heat treatment, Hardness, Lithium battery

# 중공형 샤프트 제조공정에서의 롤러 형상에 따른 플로우 포밍 성형 특성 연구

이성민<sup>1</sup> · 박은수<sup>2</sup> · 김기영<sup>#</sup>

## A Study on the Characteristics of Flow Forming by Roller Shape in Hollow Shaft Manufacturing Process

S. M. Lee, E. S. Park, G. Y. Kim

### Abstract

최근 전 세계 자동차 부품산업에서는 에너지 효율 개선 및 차량 고급화를 위한 경량화 및 주행 감성 향상 등을 위한 신소재, 신공법 개발 및 부품화에 집중하고 있다. 이러한 경향은 친환경 자동차의 확대에 따라 그 핵심부품 중 하나인 구동 모터에 대한 기술개발도 꾸준히 이루어지고 있는 상황이다. 이는 자동차 부품 선진국인 미국, 독일 등을 중심으로 xEV 구동모터용 샤프트 부품을 중공(Hollow) 타입으로 제조하는 방안이 확대되고 있으며, 이를 위해 다양한 제조 공법 및 기술이 활용되고 있다. 본 연구에서는 Radial Forging, 기계가공 또는 기계가공 후 용접 등 중공 샤프트 제조의 다양한 공법 중 기존 제조방법의 단점을 보완할 수 있는 점진유동성형 방법인 플로우 포밍(Flow-Forming) 공법을 활용한 중공형 샤프트 부품의 개발을 진행하였다. 본 논문에서는 플로우 포밍을 이용한 중공 샤프트 제조공정 중 중공의 크기를 가변적으로 조정하여 축소시키는 공정인 네킹 공정에서 플로우 포밍용 롤러의 다양한 형상에 따른 SCM440H 프리폼 소재의 성형 정도, 성형 특성, 소재의 변형 특성 및 문제점 분석/해결을 통한 플로우 포밍 공정에서의 중공형 샤프트 최적 성형 조건을 도출하였다.

**Keywords:** Hollow shaft, Flow forming, Necking process, Metal flow, SCM440H, NVH

- (재)경북테크노파크 미래모빌리티육성본부, 책임연구원
  - 경창산업주식회사 중앙연구소, 책임매니저
- #(재)경북테크노파크, 미래모빌리티육성본부, 센터장, E-mail: psudal@gbtp.or.kr

# 에너지 플랜트용 난삭소재 가공성 평가 공정 개발

박광수<sup>1</sup>, 주성민<sup>2</sup>, 김정석<sup>#</sup>

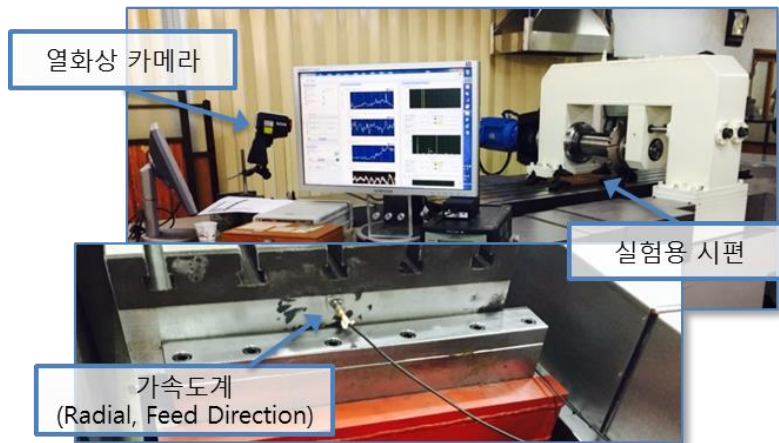
## Development of a process for evaluating the machinability of difficult-to-cut materials for energy plants

K.S. Park, J. S. Kim

### Abstract

Energy plant materials are increasingly being developed as materials that are difficult to process. In order to ensure machining quality and productivity in various cutting processes, selection of cutting tools suitable for machining and optimization of machining conditions are urgently required. In this study, we evaluate the machinability of difficult-to-cut materials and use it as basic data for developing optimal tools. We used finite element analysis for machining processes as basic data for tool design and developed a machinability evaluation device to verify it..

**Keywords:** Machinability, Difficult to cut, Cutting Force, Energy plant material



<난삭소재 가공성평가 실험장비>

1. 포항산업과학연구원, 엔지니어링솔루션연구그룹 수석연구원
  2. 조선대학교 스마트이동체융합시스템공학부 교수
- # 부산대학교 기계공학과 교수 E-mail:juskim@pusan.ac.kr

# 전기자동차 배터리 리사이클링을 위한 배터리모듈 절단 해체 공정 개발

박광수<sup>1</sup> · 안준규<sup>1</sup> · 박태준<sup>1</sup> · 김동규<sup>#</sup>

## Development of a battery module cutting and disassembly process for recycling electric vehicle batteries

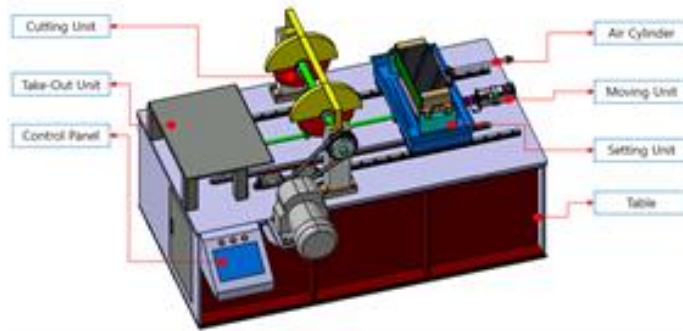
K. S. Park, J. K. Ahn, T. J. Park, D. K. Kim

### Abstract

As of 2022, the accumulated amount of waste batteries nationwide is 493, and the Ministry of Environment expects that this number will increase to approximately 13,800 in 2024. As the amount of waste batteries increases, policy and environmental issues are arising, and in particular, the dependence on overseas countries can be reduced through recycling and reuse of lithium in waste batteries used due to the depletion of core materials for batteries such as lithium, and environmental issues can be improved through recycling lithium and cobalt, which are classified as toxic substances.

This study aims to manufacture a waste battery module cutting and disassembly device and evaluate cutting and disassembly for the purpose of recycling waste batteries for electric vehicles.

**Keywords:** Electric vehicle, battery, battery recycling, battery module disassembly, cutting and disassembly process



< 배터리 모듈 분해 시스템 개략도 >

# Directed energy deposition 공정으로 제조된 Inconel 625 합금의 Ni 기반 Substrate에서의 방향성 응고

강호성<sup>1</sup>, 광민석<sup>1</sup>, 김범준<sup>2</sup>, 박기덕<sup>3</sup>, 손유진<sup>4</sup>, 서성문<sup>5</sup>, 김상식<sup>6</sup>, 이형수<sup>7</sup>, 김정기<sup>#8</sup>

## Repairing weld for directly solidified Ni-based superalloy substrates using directed energy deposition of Inconel 625

Ho Seoung Kang<sup>1</sup>, Minseok Gwak<sup>1</sup>, Beom Joon Kim<sup>2</sup>, Kideok Park<sup>3</sup>, Yujin Son<sup>4</sup>, Seong-Moon Seo<sup>5</sup>, Sangshik Kim<sup>6</sup>, Hyungsoo Lee<sup>7</sup>, Jung Gi Kim<sup>#8</sup>

### Abstract

가스터빈 시스템의 유지보수, 수리, 운영은 현재 중요한 문제로 자리매김 되고 있지만, 최근까지의 수리 용접 공정은 Ni기 초내열 합금 내 일부 부품에만 적용 가능하다. 따라서, 본 연구에서는 Inconel 625 합금에 DED (directed energy deposition) 공정법을 적용해 난용접 Ni기 초내열 합금의 보수 가능성을 검증했다. 빠른 냉각속도와 작은 레이저 빔 직경을 가진 DED는 HAZ (heat-affected zone)과 mushy zone의 지속시간을 최소화하여 계면부 균열 발생을 예방한다. 특히, 계면부에서 first layer가 적층 될 때 Substrate에 용융이 발생하며 화학적 조성 구배를 가지는 mixing zone이 형성되고, 반복적인 용융과 응고에 의해 Fusion line에 잔류응력이 집중됨에 따라 계면부 재결정 온도가 감소하여 열처리 시 재결정과 결정립 잠식 현상이 발생하게 되며 결과적으로 균열 없이 연속성을 가지며 계면에서의 파단을 유발하지 않는다. 비록 열처리 이후 Inconel 625 합금의 인장강도가 감소하는 결과를 나타내었지만 계면부에서의 균열과 개재물을 없애 크랙 형성을 방지할 수 있으므로 DED를 활용한 수리 공정 적용이 가능할 것으로 예상된다.

Keywords: Additive manufacturing, Inconel alloy, Response surface method, Heat Treatment

1. 경상국립대학교 나노신소재융합공학과, 석사과정

2. 갯테크(주), 연구원

3. 갯테크(주), 대표

4. 두산에너지빌리티, 수석

5. 한국재료연구원, 책임연구원

6. 경상국립대학교 나노신소재융합공학과, 교수

7. 한국재료연구원, 선임연구원

8. 경상국립대학교, 나노신소재융합공학과, 부교수

# 교신저자: 경상국립대학교 나노신소재융합공학과, 부교수, junggi91@gnu.ac.kr

# ECAP 고망간강의 공정 및 시험 온도에 따른 기계적 특성

정영훈<sup>1</sup> · 김범준<sup>1</sup> · 권현석<sup>2</sup> · M. Abramova<sup>3</sup> · A. Zagraran<sup>4</sup> · 김형섭<sup>4</sup> · N. Enikeev<sup>3</sup> · 김정기<sup>#5</sup>

## Mechanical properties of ECAP-processed High Mn steel under different processing and testing temperatures

Y. H. Jeong, B. J. Kim, H. S. Kwon, M. Abramova, A. Zagraran, H. S. Kim, N. Enikeev, J. G. Kim

### Abstract

극저온 분야에 대한 중요성이 점차 증가함에 따라 물성 향상을 위해 우수한 가공경화율을 갖는 고망간강에 대한 관심이 커지고 있다. 하지만, 극저온 환경에 따라 낮아진 Stacking Fault Energy(SFE)에 의한 마르텐사이트 변태는 소성 변형 중 취성 파괴에 의한 연신을 저하를 일으킨다. 상기 문제점을 해결하기 위해, 쌍정 및 마르텐사이트 상변태에 필요한 응력을 제어하기 위한 결정립 크기 제어는 필수적이다. 이에 본 연구에서는 Equal-channel Angular Pressing(ECAP) 공정의 온도 변수를 제어해 초기 결정립 크기를 조절 후 물성평가를 수행하였다. 그 결과, 공정 온도에 따른 결정립 크기 차이와 상온 및 극저온 SFE에 영향을 미쳤다. 상기 SFE 차이는 결정립 크기에 따라 다른 변형률 메커니즘과 상관관계를 가졌는데, 상온에서는 ECAP 처리 후 균질화 처리된 조건이 높은 쌍정 분율로 인해 가장 높은 연성과 가공 경화율을 나타내었다. 하지만, 극저온 환경에서는 낮아진 SFE로 인한 마르텐사이트 상변태로 인해 취성이 높아져 연신율의 감소가 커졌다. 그와 달리, ECAP 12 PASS 900 °C 공정 처리된 소재의 경우 상대적으로 높은 SFE를 가져 마르텐사이트가 억제되면서도 쌍정이 형성되어 우수한 강도-연성 조합을 나타내었다. 위의 결과를 통해 ECAP 공정 변수 제어에 기반한 결정립 크기 제어를 통해 우수한 물성의 고망간강을 제작할 수 있음을 확인하였다.

**Keywords:** Equal-channel Angular Pressing, High-Mn steel, Cryogenic mechanical properties, martensite transformation

- 
1. 경상국립대학교 나노신소재융합공학과, 석사과정
  2. 포항공과대학교 신소재공학과, 석박사통합과정
  3. Ufa State Aviation Technical University, 선임연구원
  4. 포항공과대학교 신소재공학과, 교수
  5. 경상국립대학교 나노신소재융합공학과, 부교수
- # 교신저자: 경상국립대학교 나노신소재융합공학과, 부교수, junggi91@gnu.ac.kr

## 초고장력강 고속 파단물성 평가법

최재덕<sup>1</sup>, 최지식<sup>1</sup>, 이해아<sup>1</sup>, 임지호<sup>1</sup>

### Evaluation of fracture strain for high-speed test of AHSS

J. D. Choi, J. S. Choi, H. A. Lee, J. H. Lim

#### Abstract

최근 전기차 및 자율주행차들에 대한 관심이 증가함에 따라, 자동차 충돌 안전성에 관한 이슈가 지속적으로 증가하고 있다. 이에 따라 자동차 충돌 사고시 차체 소재가 겪는 다양한 속도에서의 기계적 거동, 특히 파단 물성에 대한 관심이 증대하고 있다. 본 연구에서는 자동차용 강재로 널리 사용되는 DP980강을 활용하여, 시험속도 0.032 ~ 3200 m/s 범위의 파단물성 평가법을 정립하였다. 시편은 시험 속도에 상관없이 동일 규격을 사용하였다. MTS 인장전단시험기를 이용하여 준정적(Quasi-static) 시험을, INSTRON 고속인장시험기를 통해 고속(High-speed) 시험을 진행하였다. 변형율은 3차원 Digital Image Correlation(DIC)를 적용하여 측정하였으며, 시험 속도 변화에 따른 최적 카메라 해상도(Resolution), 초당 프레임 수(FPS), 및 ARAMIS 분석방법등을 도출했다. 마지막으로, 변형 속도 증감에 따른 DP980강의 파단물성 특성 변화를 분석 하였다.

**Keywords:** Fracture strain, Digital Image Correlation, AHSS, High-Speed Tensile test



# 레이저 용접된 DP 강에서 계층적 군집화 기법을 활용한 상분율 예측

천민준<sup>1</sup> · Sam Yaw Anaman<sup>1</sup> · Soumyabrata Basak<sup>2</sup> · 홍성태<sup>2</sup> · 조훈휘<sup>1, #</sup>

## Prediction of Phase Fraction in Laser-Welded DP Steel Using Hierarchical Clustering Method

M. J. Cheon<sup>1</sup> · Sam Yaw Anaman<sup>1</sup> · Soumyabrata Basak<sup>2</sup> · S. T. Hong<sup>2</sup> · H. H. Cho<sup>1, #</sup>

### Abstract

DP(Dual Phase)강은 페라이트와 마르텐사이트의 2상 조직으로 구성되어 있으며, 1980년대에 개발되어 유럽에서 자동차 산업에서 적극적으로 사용되기 시작했다. 이 강의 기계적 특성은 주로 2상의 분율에 의존하며, 보통 가공처리 혹은 열처리 후에는 2상의 분율이 모상과 상이하게 된다. 본 연구에서는 레이저 용접된 DP590강에서 2상의 상분율을 기계학습 기법을 이용해 분석하고자 한다. 우선, 전자후방산란회절(Electron Backscatter Diffraction, EBSD) 분석기를 이용해 모재, 용접부 및 통전 열처리된 용접부의 미세조직을 관찰하였다. 측정된 image quality(IQ) 값을 이용해 상분율을 분석하였고, 다양한 군집화 알고리즘 중 계층적 군집화 기법이 가장 정확한 상분율 분석 결과를 나타내었다. 레이저 용접부에서는 상당한 마르텐사이트 분율 증가가 나타나는 것을 확인하였으며, 통전 열처리가 용접부의 마르텐사이트 분율을 낮추는 것을 확인하였다.

**Keywords:** DP steel, laser welding, microstructure, machine learning, hierarchical agglomerative clustering, image quality

1. 국립한밭대학교 신소재공학과

2. 울산대학교 기계공학과

# 교신저자: 국립한밭대학교 신소재공학과, 교수

E-mail: hhcho@hanbat.ac.kr

# Pure Ta 소재의 열처리 조건에 따른 미세조직 및 상 분석에 관한 연구

이효주<sup>1</sup>·홍현빈<sup>1</sup>·이근호<sup>2</sup>·조민철<sup>2</sup>·박이주<sup>2</sup>·조훈휘<sup>1, #</sup>

## A Study on the Microstructure and Phase Analysis of Pure Ta under Heat Treatment Condition

H. J. Lee, H. B. Hong, K. H. Lee, M. C. Jo, L. J. Park, H. H. Cho

### Abstract

본 연구에서는 Pure Ta 소재의 다양한 열처리 조건에 대해 조사하였으며, Ta 소재의 미세조직 및 상 분석에 중점을 두었다. 열처리 조건이 Ta 소재의 가공성에 미치는 영향을 분석하기 위해 전자후방산란회절(Electron Backscatter Diffraction, EBSD) 현미경을 사용하였으며, 저진공 열처리 시편과 저진공 열처리 후 고진공으로 재열처리한 시편 모두 표면에서 결정립 미세화가 관찰되었다. 비커스(Vickers) 경도 시험을 통해 시편의 단면 경도를 측정하였다. 두 시편 모두 표면에서 가장 높은 경도값이 나타났으며, 내부로 갈수록 경도가 감소하는 경향을 보였다. 미세 X선 회절 분석기(Micro X-ray Diffraction, Micro-XRD)를 사용하여 열처리 후 Ta 소재의 상 분석을 하였으며, 표면에서 석출물이 더 많이 형성된 것을 확인하였다. 이는 저진공 열처리 조건에서 불순물이 첨가되어 석출물이 형성되었고, 석출물이 결정립 성장을 방해하여 표면에서 결정립 미세화와 석출 강화 현상을 일으킨 것으로 보인다.

**Keywords:** Pure Ta, heat treatment, microstructure, XRD analysis, Vickers hardness test

1. 국립한밭대학교 신소재공학과

2. 국방과학연구소

# 교신저자: 국립한밭대학교 신소재공학과, 교수

E-mail: hhcho@hanbat.ac.kr

## Multi-material 차체부품 개발

이철환<sup>1</sup>· 임재은<sup>1</sup>· 서명관<sup>1</sup>· 강용기<sup>1</sup>· 심우정<sup>2</sup>· 김동규<sup>1#</sup>

### Development of Multi-material automotive body parts

C. H. Lee, J. E. Lim, M. G. Seo, Y. K. Kang, W. J. Sim, D. K. Kim

#### Abstract

In the overseas automobile market, the demand for eco-friendly cars is rapidly expanding, especially in the Chinese/North American/European markets, in accordance with the Paris Agreement, and the automobile industry is shifting its paradigm from internal combustion engines to eco-friendly cars. In the case of eco-friendly cars, the weight reduction efficiency is directly linked to energy/driving performance, so there is an urgent need for a weight reduction solution for parts. Various materials such as high-strength steel plates, aluminum, and composite materials (FRP: Fiber Reinforced Plastic) are being applied to reduce the weight of body parts. In this study, we developed a lightweight multi-material body part that improves the weight reduction and structural performance of an eco-friendly car using aluminum and FRP materials.

**Key Words** : Multi-material, Aluminum, FRP(Fiber Reinforced Plastic), Automotive body parts

#### 후기

본 연구는 자동차산업기술개발사업(20019142)으로 수행된 연구결과입니다.

1. (주)디케이솔루션

2. (주)새한산업

# 교신저자 : (주)디케이솔루션,  
dksolution1@naver.com

## 롤 포밍 공정을 이용한 차체 충돌보강재 개발

이철환<sup>1</sup>, 임재은<sup>1</sup>, 강용기<sup>1</sup>, 김동규<sup>1</sup>, 심우정<sup>2</sup>, 박광수<sup>3#</sup>

### Development of car body collision reinforcement using roll forming process

C. H. Lee, J. E. Lim, Y. K. Kang, D. K. Kim, W. J. Sim, K. S. Park

#### Abstract

The roll forming process is a forming method that uses continuous bending, and is a process of forming a part with a desired cross-sectional shape by passing a material through a continuous forming roll. In addition, it has a low investment cost compared to the press process, and is advantageous in manufacturing a closed cross-sectional shape, especially in manufacturing high-strength materials with low elongation and high strength. In this study, the forming pattern design and process analysis for forming a car body collision reinforcement were performed using Profil, a roll forming-specific program, and the Abaqus program, and a car body collision reinforcement prototype using a stainless steel plate was developed through optimized process settings.

**Key Words** : Roll forming, Car body collision reinforcement, Stainless steel

#### 후기

본 연구는 우수기업연구소육성사업(20018008)으로 수행된 연구결과입니다.

---

1. ㈜디케이솔루션

2. ㈜새한산업

3. 포항산업과학연구원(RIST)

# 교신저자 : 포항산업과학연구원(RIST),  
winter@rist.re.kr

# 전기화학반응 중 준안정 오스테나이트계 스테인리스강에서 발생하는 마르텐사이트 변태 관찰

이귀형<sup>1</sup> · 채준영<sup>1</sup> · 이명진<sup>1</sup> · 한흥남<sup>#</sup>

## Observation of Martensitic Transformation in Metastable Austenitic Stainless Steels during Electrochemical Reaction

G. Lee<sup>1</sup>, J. Chae<sup>1</sup>, M. Lee<sup>1</sup>, H. N. Han<sup>#</sup>

### Abstract

다양한 초기 표면 거칠기와 조성의 준안정 오스테나이트계 스테인리스강에서 전기화학반응 중 마르텐사이트 변태가 발생하는 것이 관찰되었다. 시편을 작동전극으로 하여 양극 차징을 수행한 결과, 시편 극표면에 한하여 마르텐사이트 변태가 발생함을 EBSD, XRD 및 페라이트스 코프 분석을 통해 확인하였다. 전기화학반응 중 발생하는 마르텐사이트 변태를 폭넓게 고찰하고자, 시편을 작동전극이 아닌 보조전극으로 이용하여 환원반응을 일으키는 음극 차징을 수행하였다. 임계 전류 밀도와 임계 시간을 초과하는 조건에서 음극 차징 중 마르텐사이트 변태가 관찰되었다. 전기화학반응 중 발생하는 마르텐사이트 변태 현상을 정성적으로 분석하기 위해, COMSOL Multiphysics 소프트웨어를 활용하여 양극 및 음극 차징 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 시뮬레이션 모델을 통해 산화-환원 반응 중 양극 및 음극 차징 모두에서 시편 극표면에 전하 축적이 발생할 수 있음을 확인하였다. 결과적으로, 전기화학반응 중 발생하는 마르텐사이트 변태가 시편 극표면에서의 전하의 축적으로 인해 영향을 받을 수 있음을 발견하였다.

**Keywords:** Metastable austenitic stainless steel, Electrochemical reaction, Martensitic transformation, Extreme surface

1. 서울대학교 재료공학부, 대학원생

# 서울대학교 재료공학부, 정교수, E-mail: hnhan@snu.ac.kr

# Al-Mg-Si 합금의 열처리와 Cu 첨가에 따른 미세구조 및 전기화학적 거동에 대한 연구

홍현빈<sup>1</sup> · Raj Narayan Hajra<sup>1</sup> · 신은주<sup>2</sup> · 김재국<sup>3</sup> · 이종숙<sup>3</sup> · 김정한<sup>1</sup> · 김재황<sup>4</sup> · # · 조훈휘<sup>1</sup> · #

## Study on the microstructure and electrochemical behavior of Al-Mg-Si alloys with heat treatment and Cu addition

H. B. Hong, Raj Narayan Hajra, E. J. Shin, J. K. Kim, J. S. Lee, J. H. Kim, J. H. Kim, H. H. Cho

### Abstract

세계적으로 온실가스 배출을 줄이기 위한 노력이 지속되고 있으며, 이로 인해 연비 규제 강화되고 경량 소재에 대한 수요가 증가하는 추세이다. 그 중, 6xxx계 Al 합금은 철강 대비 높은 비강도와 가공성, 내식성으로 차량 및 항공기의 경량 소재로 널리 사용되고 있다. 차량 및 항공기 이용의 안전성을 위해 Cu를 첨가하여 강도 특성을 향상시키는 연구가 진행되었으나 내식성의 저하 문제가 대두되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 강도와 내식성의 최적화를 위해 다양한 열처리 조건 및 Cu 첨가 조건에 따른 6xxx계 Al 합금의 미세조직 및 전기화학적 거동을 분석한다. Cu의 첨가 여부에 따른 Al 합금을 제작하고, 인공 시효 조건을 다양하게 설정하였다. 전기화학 계측기(Potentiostat)를 사용하여 전기화학적 거동을 측정하였으며, 인공 시효 시간이 증가할수록 높은 부식 속도를 보였으나 Cu가 첨가된 경우 반대의 양상을 보였다. 광학 현미경(Optical Microscope, OM)으로 부식된 시편의 단면을 관찰하여 표면에서의 부식 형태와 깊이를 확인하였다. 시차 주사 열량계(Differential Scanning Calorimetry, DSC)를 사용하여 각 조건 별 시편의 석출물 거동을 분석하였고, 투과 전자 현미경(Transmission Electron Microscope, TEM)과 소각 중성자 산란 장치(Small Angle Neutron Scattering, SANS)로 석출물의 유형 및 분포를 분석하였다.

**Keywords:** Al alloys, Cu addition, artificial aging, electrochemical behavior, precipitation behavior

1. 국립한밭대학교 신소재공학과

2. 한국원자력연구원 중성자과학부

3. 전남대학교 신소재공학과

4. 한국생산기술연구원 탄소경량소재그룹

4. # 한국생산기술연구원 탄소경량소재그룹, 수석 연구원,

E-mail: raykim@kitech.re.kr

1. # 국립한밭대학교 신소재공학과, 교수,

E-mail: hhcho@hanbat.ac.kr

# Pure Ta 소재의 고온 수소 장입에 따른 기계적 특성 및 미세구조 변화 분석에 관한 연구

홍현빈<sup>1</sup>· 김민호<sup>1</sup>· 조민철<sup>2</sup>· 이근호<sup>2</sup>· 박이주<sup>2</sup>· 정상현<sup>3</sup>· 이상엽<sup>1</sup>· 조훈휘<sup>1.#</sup>

## Study on the mechanical properties and microstructural changes of pure Ta by hydrogen charging at high temperature

H. B. Hong, M. H. Kim, M. C. Jo, K. H. Lee, L. J. Park, S. H. Jeong, S. Y. Lee, H. H. Cho

### Abstract

본 연구에서는 LPCVD(Low Pressure Chemical Vapor Deposition)를 이용하여 Pure Ta 소재에 고온 수소 장입이 미치는 영향을 분석한다. 실험은 10 torr 압력의 수소 분위기에서 900 ~ 1100 °C로 가열한 후 1시간동안 유지하는 조건으로 수행된다. 비커스(Vickers) 경도 시험을 수행하여 수소 장입에 따른 각 조건별 경도 변화를 측정한다. 샘플의 경도는 유지 온도가 증가함에 따라 감소하며, 이는 어닐링 시 회복 및 재결정 거동에 의한 것으로 판단된다. 동일한 열처리 조건의 진공 분위기와 비교했을 때, 수소 분위기에서 평균적으로 더 높은 경도 값이 나타나며, 특히 900 °C에서 수소가 기계적 특성에 미치는 영향이 가장 두드러지게 나타난다. 추가적으로, 미세구조를 분석하기 위해 광학 현미경(Optical Microscope, OM)과 전자후방산란회절(Electron Backscatter Diffraction, EBSD) 현미경을 사용하여, 각 조건에서 열처리에 의한 회복 및 재결정 거동과 수소 장입에 따른 미세구조 변화를 비교한다.

**Keywords:** Ta, high temperature, hydrogen charging, microstructure, mechanical properties

1. 국립한밭대학교 신소재공학과

2. 국방과학연구소

3. 국립한밭대학교 소재시스템공학과

# 교신저자: 국립한밭대학교 신소재공학과, 교수

E-mail: hhcho@hanbat.ac.kr

# 알루미늄 박판 소재의 피어싱 공정에서 사각 펀치 형상에 따른 전단 단면 패턴 연구

박기근<sup>1</sup> · 이재성<sup>1</sup> · 장성민<sup>2</sup> · 전만수<sup>#</sup>

## Study of the Sheared Surface Pattern according to Rectangular Punch Shape in Piercing Process of Aluminum Thin Sheet

K. G. Park, J. S. Lee, S. M. Jang, M. S. Joun

### Abstract

In this paper, finite element analysis and actual experiments were conducted to analyze the sheared surface and fractured surface of aluminum material according to the rectangular punch shape. The simulation results and experimental results for the shear process were compared to confirm similar shear patterns and shapes.

**Keywords:** Finite Element Analysis (유한요소해석), Piercing Process (피어싱 공정), Aluminum Thin Sheet(알루미늄 박판), Rectangular Punch(직사각형 펀치)

### 1. 서론

배터리 전기 자동차(BEV) 시장의 성장을 촉진하려면 차량은 더 가볍고 친환경적으로 제작되어야 한다. 이에 부합하는 재료는 알루미늄이 가장 적합한 소재라고 할 수 있다. 하지만 철강 소재 대신 알루미늄 소재를 사용함으로써 인해 발생하는 위험과 부품비용 상승 등의 문제를 해결해야 할 필요성이 있다[1]. 또한 전기차 시장이 활발해짐에 따라 배터리 분야에 사용되는 알루미늄 박판의 소재의 성형성, 절삭성, 전단간격(Clearance)과 전단면, 롤오버(Rollover)의 관계[2,3] 등에 관심이 높아지고 있다. 해당 공정에 주로 사용되는 프로그레시브 공법은 피어싱(Piercing) 및 트리밍(Trimming)과 같은 전단공정이 필수적인 설계 방식[3]이며, 이로 인해 알루미늄 박판 소재의 전단과정에 대한 연구가 필요하다. 이 논문은 알루미늄 박판소재를 펀치 형상을 달리하여 피어싱 공정의 유한요소해석을 수행하고 전단과정에 나타나는 결과를 실험과 비교하였다.

### 2. 알루미늄 박판 소재의 피어싱 공정 시뮬레이션과 실험

사각펀치 형상은 직선형, 단차형, 단차와 각도형으로 구분하여 피어싱 공정을 시뮬레이션 하였고, Fig. 1 은 금형 구조와 직사각펀치 형상을 나타내고, Case 2 의 단차의 높이는 1.0mm, 간격은 편측 0.5mm 로 일정하게 유지되도록 하였다. Case 3~5 는 단차 부분은 Case 2 와 동일하며, 각도가 결합된 형상으로 각도( $a$ )의 영향성 분석을 위해 15, 30, 45 도 세가지 경우로 적용하였다.

피어싱 공정에 사용되는 금형은 1/4 모델을 사용하였고, 마찰계수  $\mu=0.05$  이다. 해석과 실험

1. ㈜태진다이텍 기술연구소

2. ㈜엠에프알씨 기술연구소

# 교신저자: 경상국립대학교 기계공학부, 교수.

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr



에 사용된 피어싱 상부와 하부 금형의 전단간격은 편측으로 0.06 mm 이다.

실험 장비는 80 ton 기계식 프레스, 파단면 측정에는 형상측정기, 단면 확인은 실체 현미경(올림푸스 SZ 51)으로 진행되었다. 눌림면은 실험 고려대상이 직사각형이므로 측정위치에 따라 치수적으로 차이를 보였고, 이에 따라 직사각형의 긴 변에서 최대한 중심방향에 와이어 가공을 진행하여 측정시료를 확보하였다. 파단면은 형상측정기로 표면 윤곽 측정 데이터를 기록하고, 소재 두께에서 파단면 측정 데이터를 제외하여 전단면 데이터(눌림면 포함)를 획득하였다. 그 결과를 소재의 두께 대비 측정데이터로 해석결과와 비교하여 Fig. 2 에 그래프로 나타내었다.

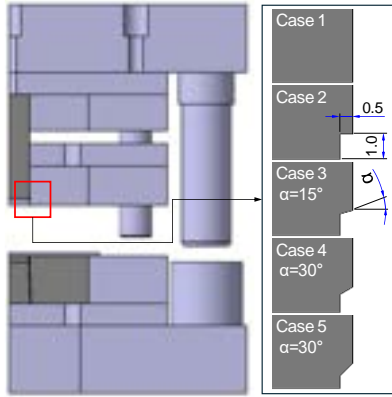


Fig. 1 Assembly die 3D model and shape of each type of piercing upper punch

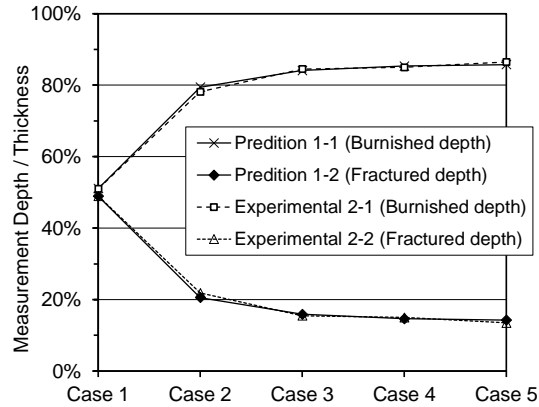


Fig. 2 Comparison of prediction and experimental results of shear and fracture surfaces according to changes in rectangular punch shape

### 3. 결론

전기차 배터리용의 양극(Cathod)방향에 적용되는 콜렉터 부품(A1050-H14)의 설계 시 파단면을 최소화하기 위한 조건 확인을 위하여 피어싱 공정 시뮬레이션과 실험을 진행하였고, 해석결과와 정확성 검증결과 전단과정의 패턴과 형상적인 측면에서 유사함을 확인할 수 있었다. 실험에서 일자형 펀치(Case 1)보다는 단차형 펀치(Case 2)의 파단면이 약 27% 줄었으며, 단차와 각도 결합형 펀치(Case3~5)는 추가적으로 약 6~8%로 파단면이 줄어드는 결과를 확인할 수 있었다. 이는 파단면 30% 이하(전단면 70% 이상)로 관리 목적에 부합하는 결과를 보여주고 있다.

### 후기

이 연구는 중소벤처기업부의 중소기업기술혁신개발사업(수출지향형\_글로벌 강소기업 1,000+ 프로젝트 R&D 연계과제\_RS-2023-00276473)의 지원으로 수행됨.

### 참고문헌

- [1] D. H. Park, T. G. Lee, H. J. Jeon, Rapid air cooling mold technology for reducing burrs and preventing fusion in the blanking process of tail gate hinge parts of aluminum alloy sheets, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng. 2023, Vol. 32, NO. 1, pp.49-55.
- [2] S. W. Jeong, Y. T. Park, K. M. Kim, M. S. Joun, 2020, Three-dimensional finite element analysis of piercing and trimming processes in metal forming, Autumn Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf. 2020, pp.29.
- [3] A. Sontamino, S. Thipprakmas, Development of a shaving die design for reducing rollover, 2019, Int. J. Adv. Manuf. Tech. Vol.103, pp.1831-1845.

# 에너지저장장치용 알루미늄 엣지 및 전극 버스바의 유한요소해석

이상길<sup>1</sup>· 송춘만<sup>1</sup>· 장성민<sup>2</sup>· 엄재근<sup>2</sup>· 전만수<sup>#</sup>

## Finite Element Analysis of Aluminum Edges and Electrode Busbars for Energy Storage System

S. G. Lee, C. M. Song, Z. Y. Lee, S. M. Jang, J. G. Eom, M. S. Joun

### Abstract

Most aluminum parts used in energy storage devices depend on overseas imports and require domestic production. In this study, finite element analysis was performed on two types of edge and electrode busbars to utilize basic data for die design of the progressive process.

**Keywords:** Aluminum Busbar(알루미늄 버스바), Finite Element Analysis (유한요소해석), Progressive Process (프로그레시브 공정), Energy Storage System(에너지저장장치)

### 1. 서론

버스바(Busbar)는 전기/전자 부품을 서로 연결시켜 주며 전력의 분기점을 만들어 주는 역할을 한다[1]. 또한 에너지저장장치(ESS)의 배터리 모듈 내에서 전력 송수신을 지원하며, 그 장착 위치에 따라 메인버스바, 센터버스바, 엣지버스바, 전극버스바로 나눌 수 있다.

버스바는 일반적으로 구리로 사용되었으나, 원자재 상승으로 인한 사용자의 부담 증가하였다[2]. 이에 따라 과거에는 구리/알루미늄 복합 버스바[3]에 관한 많은 연구가 이루어졌으며, 최근에는 전기자동차의 배터리를 버스바에 관한 연구도 증가하고 있다[4]. 대체 재질로 알루미늄을 주로 사용하고 있는데, 해당 연구에서는 가공성 및 내식성, 표면 처리성이 좋고, 열전도성이 우수한 A1050 소재를 사용하였다.

버스바 중에서 메인 및 센터버스바는 주로 형상부의 외면을 피어싱 또는 트리밍하는 공법으로 소재를 제거해가는 방식으로 설계[5]되지만, 엣지와 전극버스바는 최종 형상의 특성상 밴딩과 단차 성형 공정이 추가되어 설계가 진행되었다.

### 2. 알루미늄 버스바 프로그레시브 공정의 유한요소해석

이 논문에서는 엣지와 전극버스바(재질:A1050-H14) 각각 2 종씩 총 4 종을 유한요소해석을 수행하였으며, 알루미늄 박판 소재는 0.8 mm 두께를 사용하였다. 마찰계수는  $\mu=0.05$  를 사용하였으며, 형상적으로 복잡한 엣지버스바 2의 요소수는 최대 약 1,780,000 개 내외로 제어하였다.

1. ㈜송원하이텍 기술연구소

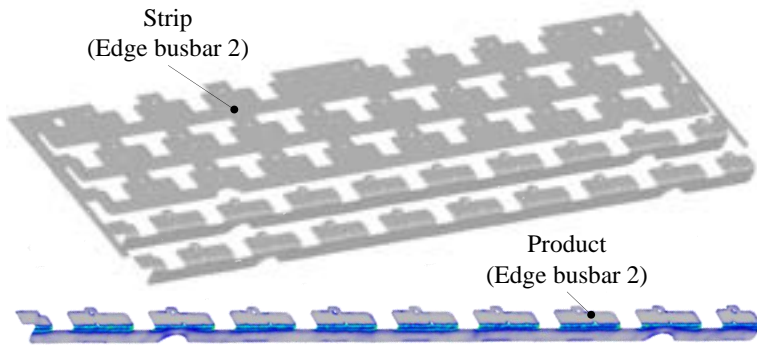
2. ㈜엠에프알씨 기술연구소

# 교신저자: 경상국립대학교 기계공학부, 교수.

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

엣지 및 전극버스바의 세부공정은 기초 홀 및 형상부 피어싱, 윤곽 제거 및 면취를 위한 트리밍, 밴딩, 단차 성형, 기타 스트립 제거를 위한 트리밍 공정으로 설계되었다. 버스바 4 종은 해석상에서 그 형상에 따라 총 7 단 또는 10 단으로 부품이 완성되며, 공타(Idle) 구간은 제외하였다.

프로그레시브 공정은 연속적으로 소재가 취출되는 방식이므로, 기존 메인과 센터버스바 공정 해석과정을 참고하여 전극버스바의 소재 형상을 일정부분 가공된 형태의 소재 모델을 사용하여 마지막 공정에서 기타 스트립이 제거되었을 때, 형상에 문제가 없도록 하였다. Fig. 1 은 엣지 버스바 2의 스트립과 최종 형상을 나타내고 있다.



**Fig. 1 Simulation results of edge busbar 2**

### 3. 결론

이 연구에서는 가정용 에너지저장장치의 핵심부품인 알루미늄 버스바 중 엣지 및 전극 버스바의 프로그레시브 공정을 유한요소해석을 수행하였으며, 공정해석 결과를 바탕으로 프로그레시브 금형설계 과정의 기초자료로 활용하였다.

### 후기

이 연구는 중소기업 구매조건부(구매연계형) 신제품 개발사업(과제번호:S3347523)의 지원을 받아 수행함.

### 참고문헌

- [1] J. H. Bae, D. K. Bea, 2006, Design and Fabrication of Light-Weight Composite Bus Bar, Trans. Korean. Inst. Elect. Eng., Vol. 55A, No. 8, pp. 334-340
- [2] Y. I. Park, 2016, A Study on Optimization of Special High-Polymer coated Al Busbar for Substituting Cu Material, Master's thesis, Hanyang University.
- [3] B. C. Woo, H. W. Lee, W. B. Byun, B. S. Kim, 1996, A processes of Cu clad Al busbar for light weight, Summer. Proc. KIEE. Conf. 1996, pp. 1654-1656.
- [4] S. J. Lee, N. G. Lim, J. H. Kim, 2018, A Study on Designing the Bus Bar for Inverter in Electric Vehicle, KSAE 2018 Annu. Spring Conf., pp.1179-1180.
- [5] S. G. Lee, C. M. Song, Z. Y. Lee, S. M. Jang, J. G. Eom, M. S. Joun, 2023, Finite Element Analysis of Aluminum Busbars for Energy Storage System, Autumn Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf. 2023, pp.138-139

# 자이로이드 내부 구조를 가진 샌드위치형 필터의 차압 특성 고찰

김현<sup>1</sup>· 범종찬<sup>1</sup>· 안동규<sup>#</sup>· 이종배<sup>2</sup>· 정성용<sup>3</sup>

## A Study on Pressure Difference Characteristics of Sandwich Type Filter with Gyroid Inner Structures

H. Kim, J. C. Beom, D. G. Ahn, J. B. Lee, S. Y. Jung

### Abstract

삼중 주기적 최소 곡면 (Triply periodic minimal surface : TPMS) 구조는 연속적인 내부 구조 형상 및 동일한 체적에서 높은 표면적을 가지고 있는 구조이다. TPMS 내부 구조에 자가순환이 발생하여 CO<sub>2</sub> 포집 향상에 기여할 것이라고 사료되기에 이를 이용한 샌드위치형 필터를 제작하고자 한다. TPMS 내부 구조를 가진 샌드위치형 필터에 대한 압력강하 연구는 진행되고 있지 않다. 이 연구에서는 자이로이드 내부 구조를 가진 샌드위치형 필터의 압력강하 특성을 고찰하고자 한다. 기초적인 TPMS 구조 중에서 체적 대비 표면적 비가 높게 도출된 자이로이드 구조를 선정하였다. 40 × 20 × 40 mm<sup>3</sup> 크기에 각각 5 × 5 × 5 mm<sup>3</sup>, 10 × 10 × 10 mm<sup>3</sup> 및 20 × 20 × 20 mm<sup>3</sup> 단위 셀로 채운 뒤 5 mm 벽을 둘러 샌드위치형 필터를 제작하였다. 자이로이드 구조 설계 및 제작은 nTopology S/W를 사용하여 설계하였고 Figure 4 장비를 사용하였다. 소재는 PC 계열인 PRO-BLK 10을 사용하였다. 자체 제작한 차압계를 이용하여 각 필터 및 챔버 입구의 평균 속도에 따라 차압을 측정하였다. 실험 결과 단위 셀의 크기가 작을수록, 속도가 빠를수록 차압이 높게 도출되는 것을 확인할 수 있었다.

**Keywords:** Pressure Difference, Sandwich Type Filter, Gyroid Inner Structures, TPMS sturcture

- 
1. 조선대학교 기계공학과, 대학원생
  2. 조선대학교 기계공학과, 학부생
  3. 조선대학교 기계공학과, 교수

---

# 조선대학교 기계공학과, 교수, E-mail: smart@chosun.ac.kr

# 멀티코어 구조 적용한 도어 인너 금형 실증 활동

최현범<sup>1</sup> · 이서한<sup>1</sup> · 이정우<sup>1</sup> · 김현우<sup>2</sup> · 김대용<sup>2</sup> · 이상현<sup>#</sup>

## Door Inner Mold Demonstration Activity for Multi-Core Structure

H. B. Choi, S. H. Lee, S. W. Lee, S. W. Lee, H. W. Kim, D. Y. Kim, S. H. Lee

### Abstract

최근, 전기에너지를 동력원으로 기반하는 모빌리티 전환이 점차적으로 확산하면서 에너지원을 저장하는 배터리 장착이 늘어나고 있다, 하지만 주행거리 확보를 위하여 중량은 불가피하게 늘어가게 되었고 개선하기 위한 차체부품 경량화가 부각 되었다. 자동차 구조를 유지 및 주행 중 외부로부터 탑승자를 보호하는 차체의 골격 (Body IN white, BIW)를 이루는 소재로 강한 강성 및 강도, 원자재 비용 등 장점이 있는 강판 (Steel)이 적용 하였으나, 차체부품 경량화의 부각으로 부분적으로 적용된 알루미늄 (Aluminium) 판재를 차체부품이 점차적으로 확대가 되는 추세이다.

하지만, 경량효과 및 강판을 대체되는 강성을 가진 6000계열 알루미늄은 강판에 비하여 프레스 냉간성형을 수행 했을 때 품질문제를 야기하고 있는 실정이다. 이에 당 사는 알루미늄 판재의 성형문제를 개선하기 위하여 프레스 금형의 펀치(Punch) 부를 분할하여 유입량을 조정할 수 있는 멀티코어 금형구조를 설계 및 제작하여 프레스 성형설비 조건에 맞춰 성형해석을 진행하였다.

본 연구에서는 해석에서 도출된 알루미늄 도어 인너 성형조건으로 멀티코어 구조 금형의 실증(Try out)에 반영하여 외관 품질 및 소재 유입량 거동 등 해석 결과의 비교하여 성형조건의 실 제작과의 영향 및 유효성을 확인 하였다.

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “중견기업 DNA 융합 산학협력 프로젝트” 으로 수행 된 연구 결과임(P0024554)

**Keywords:** Smart Mold , Alumimum Stamping , Multi-Core , Data Analysis , Close Car body part

---

1. ㈜호원 기술연구소, 책임연구원 및 연구원  
2. 전남대학교 산학협력단, 석사과정 및 교수  
# ㈜호원 기술연구소, 수석연구원, E-mail:shlee@howon.com

# 알루미늄 도어인너 프레스 성형불량 검출 방안

최현범<sup>1</sup> · 이서한<sup>1</sup> · 이정우<sup>1</sup> · 공예슬<sup>2</sup> · 김대용<sup>2</sup> · 이상현<sup>#</sup>

## Defect Detection Method for Aluminum Door inner Press Stamping

H. B. Choi, S. H. Lee, S. W. Lee, S. W. Lee, Y. S. Gong, D. Y. Kim, S. H. Lee

### Abstract

전 세계적인 환경정책 강화는 자동차 소비시장에서 전기 자동차(Battery Electric Vehicle, BEV) 모델 출시가 증가 및 내연기관자동차에 대하여 연비개선을 요구하고 있다. 따라서, 알루미늄 소재를 적용한 경량 차체부품 사용이 증가하고 있지만, 아직은 알루미늄 차체부품 제작에 따른 품질 산포 발생 및 미흡한 품질 검사로 현장에서 개선에 대한 요구가 지속적으로 발생하고 있는 상황이다.

본 논문에서는 멀티코어 구조 금형을 반영한 알루미늄 도어 인너의 프레스 냉간 성형에서 불량을 검출하여 제조라인 투입 사전방지를 위한 불량 검출 시스템을 구축하고자 한다.

소재 유입량을 조정하여 외관 품질을 개선한 멀티코어 구조 알루미늄 도어인너 금형에 음향 방출센서(Acoustic Emission Sensors) 및 하중센서를 장착하여 300대분 연속 생산을 통하여 프레스 성형시 발생하는 신호와 프레스 설비의 접점신호 데이터를 확보하여 300대분에 대하여 각각의 제품별 비전(Vision)시스템 및 육안검사를 통하여 합/부 판정 데이터를 도출, 소프트웨어를 통하여 상기의 센서 데이터와 실제품의 합/부 상관관계를 분석하여 하나의 데이터 묶음으로 정리, 이를 바탕으로 지속적인 학습을 통하여 도출된 상관관계 기반으로 불량 예측이 가능한 알고리즘을 개발하고자 한다.

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “중견기업 DNA 융합 산학협력 프로젝트” 으로 수행 된 연구 결과임(P0024554)

**Keywords:** Acoustic Emission Sensors , Aluminum Stamping , Data Analysis , Close Car body part

1. ㈜호원 기술연구소, 책임연구원 및 연구원
  2. 전남대학교 산학협력단, 박사과정 및 교수
- # ㈜호원 기술연구소, 수석연구원, E-mail:shlee@howon.com

# 스프링백 예측을 위한 구리 소재의 벤딩 실험 및 수치해석

정현우<sup>1,2</sup>·정건우<sup>1,3</sup>·윤용범<sup>1</sup>·김민수<sup>1</sup>·정선호<sup>1</sup>·이종섭<sup>#</sup>

## Bending Experiment and Numerical Analysis of Cu Sheets for SpringBack Prediction

HW Jung, GW Jung, YB Yoon, MS Kim, SH Jung, JS Lee

### Abstract

부스바(Busbar)는 전력 반도체의 필수 구성요소로서 고전압 및 고전류 제어 시스템에서 중요한 역할을 한다. 대부분 Cu 소재를 사용하며, 전력을 전달하고 열을 분산시키는 핵심 부품이다. 전력 반도체의 안정적인 체결과 전기적 접속을 위해 부스바는 수직, 수평 등의 방향으로 벤딩 성형 시 높은 정밀도가 요구된다. 복잡한 형상의 부스바를 제조하기 위해서는 프로그래시브 금형이 적용되며, 성형 정밀도를 높이기 위해 스프링백 오차를 고려한 벤딩 공정 설계가 필요하다. 본 연구에서는 인장 물성 및 성형 한계도 평가를 통해 해석에 필요한 물성을 구축하였으며, 코너 반경과 각도에 따른 벤딩 시험을 통해 스프링백을 정량적으로 평가하였다. 또한, 수치해석을 통해 벤딩 시의 스프링백을 예측하고, 시험 결과와 비교하여 해석의 신뢰성을 검증하였다.

**Keywords:** Busbar, Bending, Springback

1. 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소 유연성형연구부문

2. 인하대학교 기계공학과

3. 성균관대학교 지능형로봇공학과

# 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소 유연성형연구부문, E-mail: jongsup@kitech.re.kr

# 투명한 수지의 사출성형에서 수지에 따른 복굴절 특성

정영현<sup>1</sup> · 이현동<sup>2</sup> · 최동해<sup>3</sup> · 강민아<sup>3</sup> · 류민영<sup>#</sup>

## Birefringence Characteristics According to Resins in the Injection Molding of Transparent Materials

Y. H. Jeong<sup>1</sup>, H. D. Lee<sup>2</sup>, D. H. Choi<sup>3</sup>, M. A. Kang<sup>3</sup>, and M.-Y. Lyu<sup>#</sup>

### Abstract

투명한 사출 제품은 잔류응력에 의해 복굴절이 발생한다. 복굴절은 광 특성을 활용하는 제품의 경우 낮게 제어되어야 한다. 복굴절은 사출 조건뿐 아니라 수지에 따라 다르게 나타난다. 본 연구에서는 사출성형의 공정 조건 변화에 따른 복굴절과 수지에 따른 복굴절을 분석하였다. 시편은 게이트 형상, 사출 온도, 사출 속도, 금형 온도 및 보압 크기를 변화시키며 제작했다. 본 연구에서 사용한 수지는 SK Chemical 사의 PETG(SKYGREEN PN200), PCTG(SKYGREEN JN200), PET(ECOTRIA CLARO200) 및 PEICT(ECOZEN T110G PRO)이다. PEICT는 식물로부터 유래한 수지이다. PETG, PCTG는 PET에 Cyclohexane Dimethanol(CHDM)을 첨가하여 합성되며 그 비율이 다르다. PEICT의 경우 PCTG에 식물 유래인 Isosorbide를 첨가하여 합성된다. 실험 결과 복굴절은 PEICT에서 가장 크게 나타났으며 PCTG, PETG, PET 순으로 작아졌다. 사이드 게이트는 터널 게이트보다 면적이 넓어 수지에 보압이 잘 전달되며, 그 결과 복굴절이 더 크게 나타났다. 같은 타입의 게이트일 때 게이트의 직경 또는 폭이 커지는 경우에도 보압이 잘 전달되어 복굴절이 크게 나타났다. 사출 온도와 금형 온도가 증가할수록 복굴절이 작게 나타났고 보압이 증가할수록 복굴절이 크게 나타났다. 사출 속도는 복굴절에 크게 영향을 미치지 않았다. 게이트 형상, 사출 온도, 보압 크기 변화에 따른 복굴절의 변화는 PCTG에서 가장 두드러지게 나타났으며, 금형 온도 변화에 따른 복굴절의 변화는 PEICT에서 가장 크게 나타났다.

**후기:** 이 논문은 정부(과학기술정보통신부-경찰청)의 재원으로 과학기술사업화진흥원(과학치안 공공연구성과 실용화 촉진 시범사업)의 지원을 받아 수행된 연구임(NO.RS-2023-00282316).

**Keywords:** Residual stress, Injection molding condition, Photoelasticity, Birefringence, Side gate, Tunnel gate

1. 서울과학기술대학교 대학원 기계정보공학과

2. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

3. 에스케이케미칼(주)

#. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과, 교수, E-mail: mylyu@seoultech.ac.kr



# PC/PMMA 필름의 열성형에서 하드 코팅이 미치는 영향에 대한 실험 및 해석적 연구

임채준<sup>1</sup>, 정영현<sup>1</sup>, 성승민<sup>1</sup>, 오건우<sup>2</sup>, 윤석호<sup>2</sup>, 이기호<sup>2</sup>, 류민영<sup>#</sup>

## Experimental and Simulation Study on the Effect of Hard Coating in Thermoforming of PC/PMMA Film

C. J. Lim<sup>1</sup>, Y. H. Jung<sup>1</sup>, S. M. Sung<sup>1</sup>, G. -W. Oh<sup>2</sup>, S. H. Yoon<sup>2</sup>, K. H. Lee<sup>2</sup>, M. -Y. Lyu<sup>#</sup>

### Abstract

PC/PMMA 다층 필름은 전자기기, 자동차, 의료기기 등에서 핵심적인 요소로 부상하고 있다. PC/PMMA 다층 필름은 PMMA의 높은 표면 경도와 PC의 우수한 기계적 강도를 결합하여 뛰어난 내구성과 투명도를 제공하므로 3D 터치 패널 제작에 적합하다. 그러나 다층 필름의 열성형 거동은 단일 소재 필름에 비해 복잡하다. 고온에서의 물성 변화, 복잡한 금형 형상으로 인한 불균일한 변형, 다층 구조로 인한 층간 상호작용 등 다양한 요인이 영향을 미친다. 또한 필름의 내스크레치성을 위해 하드 코팅을 하게 되는데, 이는 필름의 열성형성에 영향을 미친다.

본 연구에서는 PC/PMMA 다층 필름의 열성형 특성을 분석하기 위해 실험과 해석을 수행하였다. 실험과 해석에는 돔과 큐빅 형상의 금형을 사용하였으며, 두 가지 두께(250  $\mu\text{m}$ , 640  $\mu\text{m}$ )와 하드 코팅 유무를 조합한 총 4종류의 PC/PMMA 다층 필름을 대상으로 하였다. 각 필름의 물성을 파악하기 위해 다양한 온도 조건에서 인장시험을 수행하였다. 그리고 열성형 실험을 수행하고 성형품의 품질을 평가하였다. 열성형에 의한 필름의 변형을 파악하기 위해 스트레치 해석을 수행하였다. 이를 바탕으로 성형된 필름의 면적 연신율과 두께 분포에 대해 실험과 해석 결과를 비교 분석하였다.

이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT)의 연구비 지원에 의한 연구임 (20014372, 2024년 자유 곡면에 성형 가능한 30%이상 연신율, 3H 이상 연필경도를 갖는 터치입력장치용 고기능성 기관 기술개발)

**Keywords:** Thermoforming, PC/PMMA Multilayer Film, Hard Coating, Stretch Ratio, Thickness Distribution

1. 서울과학기술대학교 기계정보공학과

2. ㈜아이컴포넌트

# 서울과학기술대학교, 기계시스템디자인공학과, 교수, E-mail: mylyu@seoultech.ac.kr

# 리브가 있는 사출성형 시편에서 싱크 마크 크기의 분석

성승민<sup>1</sup>, 이현동<sup>2</sup>, 이성혁<sup>2</sup>, 류민영<sup>#</sup>

## Investigation of sink marks in injection molded specimen with ribs

S. M. Sung<sup>1</sup>, H. D. Lee<sup>2</sup>, S. H. Lee<sup>2</sup>, M-Y. Lyu<sup>#</sup>

### Abstract

사출 성형품의 강성 증대를 위해 리브 설계가 활용되고 있다. 리브와 평판이 교차하는 지점에서 체적이 커져 큰 수축으로 인해 싱크 마크가 형성된다. 이러한 싱크 마크는 외관상 문제가 되며 그 크기는 리브의 설계 및 성형 조건에 의존한다.

본 연구에서는 리브 두께와 성형조건이 사출 성형품의 싱크 마크 크기에 미치는 영향을 실험과 해석적으로 조사하였다. 지름이 108 mm이고 두께가 2.5 mm인 원형 판에 리브 패턴을 설계하여 싱크마크를 관찰하였다. 리브 두께가 0.5 mm, 0.75 mm, 1.25 mm, 1.75 mm일 때 보압 크기와 보압 시간에 따른 싱크 마크 크기를 분석하였다. 사용한 수지는 PC/ABS 얼로이로 50:50의 비율이다. 표면거칠기측정기를 이용하여 리브가 있는 반대쪽 바닥 면의 싱크 마크를 측정하였다. 리브 두께에 따라 싱크 마크는 2 ~ 70  $\mu\text{m}$  수준으로 분포하였고 성형 조건 중 보압 시간의 영향을 가장 크게 받았다. 실험과 같은 조건으로 사출성형 해석을 진행하여 리브에서 수지의 흐름 및 압력 분포등을 관찰하여 싱크 마크 크기에 미치는 영향을 분석하였다.

이 논문은 정부(과학기술정보통신부-경찰청)의 재원으로 과학기술사업화진흥원(과학치안 공공연구성과 실용화 촉진 시범사업)의 지원을 받아 수행된 연구임(NO.RS-2023-00282316).

**Key Words** : Injection Molding, Rib Thickness, Sink Mark, Injection Molding Condition, Computer Simulation

1. 서울과학기술대학교 기계정보공학과

2. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

# 서울과학기술대학교, 기계시스템디자인공학과, 교수 E-mail: mylyu@seoultech.ac.kr

# 금형 파손 해결을 위한 스테인리스강 너트 온간 다단 포머 공정 설계

윤용범<sup>1,2</sup>, 정건우<sup>1,3</sup>, 김민수<sup>1,2</sup>, 정현우<sup>1,2</sup>, 정선호<sup>1</sup>, 이종섭<sup>#</sup>

## Design of Stainless Steel Nut Warm Multistage Former Process for Solving Tool Failure

Y. B. Yoon, G. W. Jung, M. S. Kim, H. W. Jung, S. H. Jung, J.S. Lee

### Abstract

포머 공정은 단조의 일종으로, 여러 단계의 성형을 통해 단계별로 소재가 이송되어 복잡한 형상의 제품을 효율적으로 생산하는 공법이다. 최근 포머 공정을 이용해 뛰어난 내식성과 높은 강도를 지닌 스테인리스강 소재의 제품이 개발되고 있지만, 생산 시 성형 부하 증가로 인한 금형의 균열 및 파손 문제가 발생하고 있다. 이는 제품 품질 저하와 금형 수명 단축으로 이어져 경제적 손실을 초래한다. 이러한 문제는 높은 온도에서 이루어지는 온간 다단 포머를 통해 성형 부하와 금형 응력을 감소하여 해결할 수 있다. 본 연구에서는 상용 프로그램인 DEFORM을 사용하여 스테인리스강 너트 공정의 성형 하중과 금형 응력을 분석하였다. 분석 결과를 바탕으로 온도 별 소재 물성에 따른 최적의 온도 조건을 도출하여 공정을 설계함으로써 고강도 소재 제품의 생산성 향상 및 경제성 확보 효과를 기대할 수 있다.

**Keywords:** Die Stress, Former, Nut, Stainless Steel, DEFORM

1. 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소 유연생산연구부

2. 인하대학교 기계공학과

3. 성균관대학교 지능형로봇공학과

# 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소 유연생산연구부, E-mail: jongsup@kitech.re.kr

# CCA 와이어의 고정자 권선 적용을 위한 기계적 전기적 특성 분석 및 고정자 권선의 유한 요소 해석기법 개발

조유진<sup>1,2</sup>, 안지섭<sup>1,2</sup>, 여승현<sup>1,2</sup>, 황선광<sup>1</sup>, 정명식<sup>1,#</sup>

## Development of mechanical electrical characteristics analysis and finite element simulation of CCA wire for stator winding

Y. J. Cho, J. S. An, S. H. Yeo, S. K. Hwang, M. S. Jeong

### Abstract

전기자동차 용 고성능 구동모터 제조를 위해서는 적용되는 모터 코일 소재의 특성 분석에 기반한 면밀한 고정자 권선 공정의 설계가 요구된다. CCA(Copper Clad Aluminum) 와이어는 경량화와 비용 절감의 장점이 있으나, 기존 구리 와이어와 비교해 전기적 성능, 기계적 강도, 권선 공정 설계에서 차이를 보인다. 따라서 CCA 의 한계를 개선하고 고정자 권선 공정의 효율을 향상시키기 위한 체계적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 CCA 와이어의 인장 강도, 연신율 및 경도를 측정 분석하였다. 와이어에 적용된 알루미늄 1000 계열의 순수 알루미늄으로 판단되며, CCA 와이어가 구리 와이어보다 기계적 강도 및 경도가 낮은 것으로 확인되었다. 또한 주사전자현미경을 이용하여 와이어 코팅층, 클래드 소재의 두께 및 계면을 각각 측정하였다. 그리고, 부분 방전 테스트(PDIV)를 통해 와이어의 절연 성능을 평가하였다. CCA 와이어의 경우 기존 구리 와이어 대비 낮은 절연성능을 보였으며, 코팅 조건뿐만 아니라 클래딩 소재 또한 구동모터의 설계에 영향을 미치는 요소임을 확인할 수 있었다.

또한 고정자 권선의 유한 요소 해석기법 개발을 위한 연구를 진행하고 있으며, 현재 보빈의 형상에 따른 와이어의 성형 양상을 분석하고 있다. 절연 코팅된 와이어의 파단 매커니즘의 분석 및 유한 요소 해석을 통해 고정자 권선 공정의 설계 방안을 도출하고자 한다.

**Keywords:** CCA(Copper-Clad Aluminum) wire, Winding process, PDIV, FE-simulation

본 연구는 산업통상자원부 자동차산업기술개발사업(과제명 : 탄화수소계열 냉매기반 간접식 중앙집중형 열관리 시스템용 800V 급 고효율 전동 압축기 기술 개발, 과제번호 : No. 20014421)의 지원으로 수행되었음.

1. 한국생산기술연구원, 모빌리티부품그룹

2. 부산대학교 기계공학부

# 한국생산기술연구원 모빌리티부품그룹, E-mail: msjeong@kitech.re.kr

# 분말 야금 기반 Ni기 초내열합금의 쇼트 피닝 공정 후 열처리에 따른 미세 조직 및 기계적 특성 분석

심현보, 홍범락, 조윤지, 최현성, 박현일, 석무영, 권용남, 이동준

## Microstructure and Mechanical Properties of Ni-based Powder Metallurgy Superalloy After Shot Peening and Subsequent Heat Treatment

H.B.Sim, B.R.Hong, Y.J.Cho, H.S.Choi, H.I.Park, M.Y.Seok, Y.N.Kwon, D.J.Lee

### Abstract

니켈 기반 초내열합금(Ni-based superalloy)은 고온에서 뛰어난 강도, 크리프 저항성, 피로 저항성, 내산화성 및 내식성을 자랑하며, 복잡한 형상을 가공할 수 있는 우수한 가공성을 지니고 있어 항공기 엔진 및 터빈 블레이드와 같은 고성능 부품에 주로 사용된다. 차세대 항공기 가스 터빈 엔진은 효율성 향상과 배기가스 배출 감소를 위해 더 높은 온도에서 작동해야 하며, 이를 위해 재료의 특성 개선이 필수적이다.

표면강소성공정 중 쇼트 피닝(Shot Peening), SMAT(surface mechanical attrition treatment), UNSM(Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification) 등의 공정은 초미세 결정립 및 나노결정립 미세구조를 형성하여 강도를 향상시키고, 표면에 압축 잔류응력을 인가하여 재료의 피로특성을 향상시키는 공정이다. 이 중 쇼트 피닝은 경제성과 편리성을 동시에 충족시키며, 금속 표면에 고속으로 작은 구체를 충돌시켜 수많은 덩굴을 형성하고, 이를 통해 표면층에 압축 잔류응력을 유도하여 기계적 특성을 향상시키는 데 널리 사용되고 있다. 하지만, 표면에 유도된 소성변형은 고온에 어닐링 열처리를 하면 변형이력이 없어지게 되므로, 기어와 같이 상온에서 구동되는 부품에 적용되는 것이 일반적이다. 따라서, 표면강소성공정을 초내열 합금에 적용하기 위해서는 소재의 사용온도에서의 미세조직, 기계적특성 및 잔류응력의 변화에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 쇼트 피닝 시간을 달리하여 피닝 시간이 재료의 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

본 연구에서는 분말 야금으로 제조된 Ni 초내열합금으로 시편을 제작한 후 각각 30초, 1분, 3분, 5분, 10분, 30분, 60분 동안 쇼트 피닝 공정을 적용하였다. 이후 피닝된 시편에 대해 고주기 피로(HCF) 시험과 고온크리프 시험(응력-과단 시험)을 진행한 결과, 고온크리프 특성이 향상되는 것을 확인하였다. 이에 대한 원인을 분석하기 위해 SEM과 EBSD를 이용하여 미세구조를 관찰하였고, XRD 잔류응력 측정을 통해 잔류응력을 평가하였다. 그 결과, 일반적으로 크리프 특성을 저하시키는 것으로 알려진 결정립의 미세화에도 불구하고, 압축 잔류응력이 고온에서 여전히 유지하고 있어, 이러한 잔류응력의 영향으로 크리프 성능이 향상되었음을 확인할 수 있었다. 반면, 고주기 피로 시험에서는 피로 성능의 향상이 관찰되지

않았다. 피로 파단면 분석 결과, 소재 내부에 결함이 존재했으며, 균열이 동일한 지점에서 시작됨으로써 피로 성능이 향상되지 않았음을 확인할 수 있었다.

**Keywords:** Shot peening, Ni based superalloy, mechanical properties

- 
1. 한국대학교 기계공학부, 대학원생
  2. 한국자동차 연구개발본부, 부장

# ML-DIC 기반 피로균열전파 거동분석을 통한 AI 합금 압연재의 압연 방향과의 각도 구분

김도현<sup>1</sup>, 홍범락<sup>1</sup>, 좌비오<sup>1</sup>, 신윤우<sup>1</sup>, 이승환<sup>1</sup>, 최현성<sup>1</sup>, 박현일<sup>1</sup>, 석무영<sup>1</sup>, 이동준<sup>1</sup>, 권용남<sup>#</sup>

## Angle Differentiation with Respect to Rolling Direction of AI Alloy Sheets through ML-DIC Image-Based Analysis of FCP

D. H. Kim, B. R. Hong, Pius. Jwa, Y. W. Shin, S. H. Lee, H. S. Choi, M. Y. Seok, D. J. Lee, Y. N. Kwon

### Abstract

항공기 구조 재료는 고강도, 경량성, 내식성, 내열성 등 다양한 특성이 요구된다. 그중에서도 알루미늄 7000 계 합금은 경량성, 고강도, 피로 수명, 부식 저항성, 응력 부식 균열 저항성 및 파괴 인성 등의 우수한 특성을 나타낸다. 또한, 압연 판재로 가공이 용이하다는 장점이 있다. 이러한 특성으로 인해 알루미늄 7000 계 합금은 항공우주 및 자동차 구조 부품의 주요 소재로 널리 사용되고 있다.

손상 허용 설계 방식을 채택한 알루미늄 합금으로 제작된 항공우주 구조물에서 피로 균열의 전파 특성에 대한 이해는 구조적 무결성 평가 및 향상에 필수적이다. 이는 구조물의 피로 손상 해석을 수행하는 중요한 기반을 제공하며, 항공우주 구조물의 설계 및 유지 보수 전략에 중대한 영향을 미친다. 피로 균열 전파는  $\log da/dN$  과  $\log \Delta K$  사이의 선형 관계를 기반으로 하며, 이를 통해 구조물의 신뢰성 향상과 유지 보수 비용 절감에 기여할 수 있다. 또한, 안전한 설계와 장기적인 내구성 확보에 중요한 역할을 한다.

기계 발광(Mechanoluminescence, ML) 재료는 다양한 기계적 자극에 의해 발광 현상을 나타내는 고체 상태의 물질이다. 이러한 발광 현상은 응력 및 변형과 상관관계를 가지며, 본 연구에서는  $SrAl_2O_4$ ,  $Dy^{3+}$  (SAO)와 CNT(탄소 나노튜브)를 혼합하여 제작한 ML-CNT 필름을 이용하여 응력 감지 센서로서의 가능성과 피로 균열 전파 특성을 정밀하게 분석하고자 하였다.

ML-CNT 필름에 포함된 SAO의 ML 특성을 활용하여 극한 환경에서의 균열 탐지, 균열 선단의 위치, 균열 길이를 정확하게 파악할 수 있었으며, 밝고 오래 지속되는 녹색의 지속 발광(PL) 현상을 관찰하였다. 또한, 필름에 포함된 CNT를 활용하여 무작위 스펙클 패턴을 구현한 디지털 이미지 상관 분석(DIC)을 적용하였으며, 이를 통해 균열 선단의 변형장을 도출하고 피로 균열 성장률 및 K 값을 추정하였다.

Al7050 합금은 Zn, Mg, Cu 등의 첨가물과 시효 처리 과정에서 형성된  $MgZn_2(\eta, \eta')$  석출물을 포함하고 있으며, 이러한 석출물은 합금의 주요 강화 메커니즘으로 작용한다. 또한, Al7050 압연재는 압연 공정에 따라 압연 방향과의 각도에 따라 피로 특성이 다르게 나타난다. 압연 방향에 따라 LT에서는 주로 결정립 내부에서 균열이 성장하고, TL에서는 결정립계를 따라 균열이 성장한다. 이로 인해 균열 선단에서 집중되는 응력의 차이가 발생하며, 기계 발광(ML) 분석을 통해 균열 선단 변형장에 대한 ML 이미지의 차이를 확인할 수 있었다.

ML 발광 현상의 응력 및 변형과의 상관관계에 기반한 이미지 차이가 관찰되었으며, 추후에는 디지털 이미지 상관 분석(DIC) 및 ML 이미지를 활용하여 CNN을 통해 압연 방향과 각도의 구분을 목표로 하고 있다.

**Keywords:** Metal, Mechanoluminescence (ML), Aerospace Materials, Rolled product, Fatigue Crack Propagation

- 
1. 한국재료연구원 재료공정연구본부
  2. 항공우주재료연구센터, 연구원
- # 교신저자의 소속, 부서, 직위, E-mail: kimdo0405@kims.re.kr



# EV 모터용 경량화 ROTOR SHAFT 제조기술개발 및 성능 검증에 관한 연구

박은수<sup>1#</sup>, 이성민<sup>2</sup>, 김동규<sup>3</sup>

## Research on development of lightweight ROTOR SHAFT manufacturing technology and performance verification for EV motors

E. S. Park, S. M. Lee, D. K. Kim

### Abstract

EV용 모터의 성능 향상에 대한 연구는, 자석의 배치, 철손 감소 등 전자기적인 부분에 대해 진행되는 것 일반적이기는 하나, 냉각성능 향상, 단위부품의 무게 저감 등 기계적인 부분에 대한 연구 또한 지속적으로 진행되고 있다. 모터의 무게가 가벼울 수록 효율 및 성능이 증가한다는 지극히 간단한 사실은 누구나 인지하고 있지만, 이를 실현시키는 데는, 상당한 시간과 노력이 필요하다. 국내외를 통틀어, EV모터용 ROTOR SHAFT는, 건드릴 공정을 적용한 일체형타입, 레이디얼 포징을 적용한 일체형 타입, 기계 가공된 분할형 단위 부품을 용접한 용접 타입이 개발 및 양산 중이다. 각각의 공정은 모두 장점과 단점을 가지고 있으며, 건드릴 공정 적용 샤프트는 중량이 무겁고, 레이디얼 포징 샤프트는 밸런스 문제가 있으며, 용접 샤프트는 용접변형 및 용접부 파손 가능성의 단점이 있다. 이러한 단점을 개선하고자, 연구를 진행하였다. 본 연구에서는, EV 모터용 경량화 ROTOR SHAFT 제조기술개발 및 성능검증에 관한 연구이며, 유한요소 해석법을 이용하여, 성형 공정의 성형 조건을 정립하였고, 열처리 및 후공정을 통해, 제품 제작을 완료하였으며, 성능 검증을 위한 테스트를 진행하였다.

**Keywords:** EV Motor, Rotor Shaft, Flow Forming, Tube Preform, FEM

### 후기

이 논문은 2021년도 산업통상자원부의 '신산업진출 사업재편 핵심기술개발사업', 'NVH 성능 및 비틀림 강성이 향상된 전기 자동차 구동 모터용 일체형 중공 샤프트 제조 기술개발' (과제번호: P0018669)의 지원을 받아 연구되었음.

- 경창산업(주), 책임연구원
  - 경북테크노파크, 책임연구원
  - 디케이솔루션, 대표이사
- # 경창산업(주), 중앙연구소, 책임연구원, E-mail: parkes@kc.co.kr

# F/M-ODS 강 적층제조 중 산화물 분산 강화상의 형성 기구 분석과 Galling 마모 특성 연구

서주원<sup>1,2</sup>, 정원종<sup>3</sup>, 천영범<sup>1</sup>, 류호진<sup>3,4</sup>, 강석훈<sup>1#</sup>, 한흥남<sup>2</sup>.

## Abstract

경면합금은 원자로에서 코발트와 같은 감마 방사성 핵종의 영향을 최소화하면서, 변형과 마모에 저항성을 가져야한다. 이트륨계 나노 산화물인 이트리아가 분산된 ferritic/martensitic (F/M) 강은 변형과 마모 저항성이 우수하여 원자로에서 경면합금의 후보 재료로 고려된다. 일반적으로 나노 이트륨계 산화물을 분산시키기 위하여 F/M 강 분말은 볼 밀링을 통하여 제작된다. 하지만 볼 밀링 분말은 적층제조 중 나노 이트리아가 응집되는 경향이 크다. 본 연구에서는 산소가 포함된 혼합가스를 이용하여 적층제조 중 실시간으로 산화물을 형성하여 F/M 강을 제작하였다. 나노 산화물의 분산에 의한 결정립 크기 변화는 electron backscatter diffraction (EBSD)를 통하여 측정하였다. 나노 산화물의 크기 및 분포는 scanning transmission electron microscope (STEM)을 이용하여 측정하였다. 경면합금은 원자로에서 높은 하중으로 표면에 수 mm 크기의 돌출부인 galling 마모에 저항성을 가져야 하므로, 적층제조 F/M 강의 galling 마모는 65MPa의 접촉응력, 350°C의 온도에서 평가하였다. Galling 시험 전 후 표면 거칠기는 laser confocal microscopy로 측정하였다.

**Keywords:** Oxide dispersion strengthened (ODS), Galling wear resistance, Electron backscatter diffraction (EBSD), Scanning transmission electron microscope (STEM)

- 
- 한국원자력연구원 재료안전기술연구부
  - 서울대학교 재료공학부
  - 한국과학기술원 원자력및양자공학과
  - 한국과학기술원 신소재공학과
- # 한국원자력연구원 재료안전기술연구부 책임연구원 shkang77@kaeri.re.kr

# LCP 복합재를 이용한 로터리 스위치 커버 성형 최적화

이종현<sup>1</sup>, 이성민<sup>2</sup>, 차경제<sup>#</sup>

## Optimization of Molding for Rotary Switch Covers Utilizing LCP Composite Materials

J. H. Lee<sup>1</sup>, S. M. Lee<sup>2</sup>, K.J. Cha<sup>#</sup>

### Abstract

본 연구는 유리섬유(GF) 30%가 포함된 액정 폴리머(Liquid Crystal Polymer, LCP) 소재를 사용하여 로터리 스위치 커버의 사출성형 공정을 해석한 것이다. LCP는 우수한 내열성, 높은 강도, 낮은 유전율 등 뛰어난 물리적 특성 덕분에 전자 부품에서 널리 사용되고 있으며, 여기에 강화된 GF 30%의 복합재는 기계적 강도를 더욱 향상시키는 역할을 한다.

본 연구에서는 사출성형 해석 소프트웨어를 사용하여 로터리 스위치 커버의 성형 공정을 시뮬레이션하였다. 분석의 주요 목표는 성형 중 충전 거동, 유동 선단의 진행, 냉각 속도, 수축 및 변형 등의 문제를 예측하고 이를 기반으로 최적의 금형 설계를 제안하는 것이다. 특히, 유리섬유가 포함된 LCP 소재의 특성상, 유동 및 냉각 시 균일한 섬유 분포와 기계적 특성 확보가 중요한 과제였다.

해석 결과, 사출 속도, 금형 온도, 그리고 충전 압력이 제품의 품질에 크게 영향을 미침을 확인하였다. 또한, 유리섬유의 배향에 따른 물성 차이와 사출 후 발생할 수 있는 수축 및 변형 현상을 최소화할 수 있는 공정 조건을 제시하였다. 본 연구를 통해 LCP-GF30% 복합재를 활용한 로터리 스위치 커버의 고품질 사출성형을 위한 가이드라인을 제공하고, 향후 전자 부품 설계 및 제조 분야에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

**Keywords:** LCP, 30% Glass Fiber, Injection Molding Analysis, Rotary Switch Cover, Composite Material, Mold Design

1. 구미전자정보기술원 스마트제조혁신사업단 선임연구원

2. 경북테크노파크 하이브리드부품연구소 연구원

# 한국생산기술연구원 미래모빌리티그룹 수석연구원 kjcha@kitech.re.kr

# Direct Energy Deposition 공정을 이용한 M4/G6 공구강 multi-layer 소재의 미세조직과 기계적 물성

전민수<sup>1</sup>, 박정현<sup>1</sup>, 김대중<sup>2</sup>, 구용모<sup>3</sup>, 이기안<sup>1\*</sup>

## Microstructure and Mechanical Properties of Multi-layer M4/G6 Tool Steel Made by Direct Energy Deposition Process

M. S. Jeon, J. H. Park, D. J. Kim, Y. M. Koo, K. A. Lee

### Abstract

대표적인 금속 적층 제조 공정 중 하나인 DED (Direct Energy Deposition) 공정은 빠른 제조 속도와 대형 부품 가능성, 이종 소재 적층 그리고 국부적 파손 영역의 수리에 용이하다는 장점을 가져 금형, 공구 분야에서 적용 가능성이 활발히 검토, 진행되고 있다.

중탄소 공구강 소재인 Gridur 6 (G6)는 우수한 용접성을 가져, 균열이 없는 벌크 소재의 적층 제조 가능성이 제시되고 있다. 이에 본 연구에서는 G6 소재를 AISI M4 공구강의 표면 적층부로 적용하여 내구성 강화 및 표면 특성을 향상시키고자 하였다. 제조된 multi-layered 소재의 초기 미세조직을 분석하였으며 경도와 충격 인성을 조사하였다.

미세조직 관찰 결과 평균 99.72%의 areal density를 나타냈으며, macro crack은 관찰되지 않았다. 또한 G6, M4 사이에서는 원소 조성에 의한 확산이 발생한 dilution 영역이 형성되었다. M4, G6 영역에서는 공통적으로 martensite / austenite matrix를 나타내었으며 austenite 주변에서 무정형의 carbide가 다수 관찰되었다. EBSD 관찰 결과 G6에 비해 M4 영역에서 미세한 grain size와 높은 austenite fraction이 확인되었다. Dilution 영역은 다른 영역들에 비해 조대한 grain size와 높은 austenite 분율을 나타냈다. 비커스 경도 측정 결과 G6영역과 M4 영역에서 각각 650~670Hv, 820~840Hv 범위의 값이 확인되었으며, dilution 영역에서는 720~740Hv로 G6와 M4 사이의 값을 보였다. M4/G6 multi-layer 소재의 충격 인성은 1.9 J/cm<sup>2</sup>로 얻어졌으며 G6 단일 적층재의 값인 1.34 J/cm<sup>2</sup>과 비교하여 더 우수한 특성을 나타냈다. 상기 결과들을 바탕으로 DED 공정을 이용한 M4/G6 multi-layer 소재의 기계적 특성 조사 및 변형, 파괴 기구를 규명하고자 하였다.

**Keywords:** Directed Energy Deposition, Multi-layered tool steel, Microstructure, mechanical property

1. 인하대학교, 신소재공학과, 교수, 박사후 연구원, 대학원생

2. ㈜에이엠솔루션즈, 대표이사

3. ㈜창성, 이사

# 교신저자의 인하대학교 신소재공학과, 교수, E-mail: keeahn@inha.ac.kr:

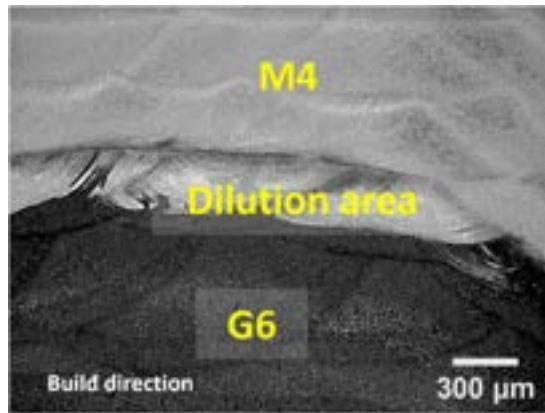


Fig. 1. SEM image of as-built M4 / G6 multi-layer manufactured by direct energy deposition

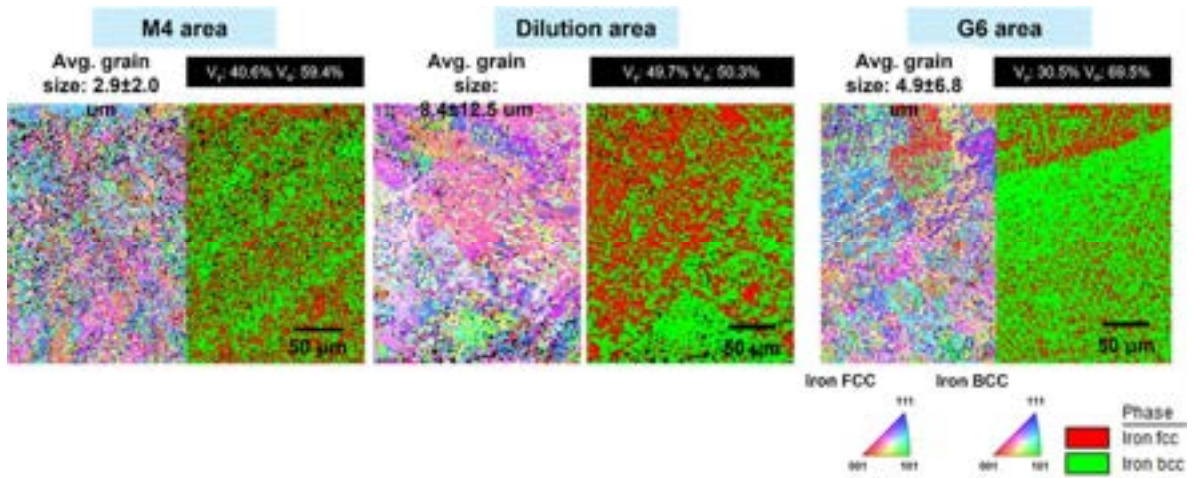


Fig. 2. EBSD mapping of M4 / G6 multi-layer materials manufactured by direct energy deposition

# 템퍼링 처리가 저항복비강의 기계적 특성 및 미세조직에 미치는 영향에 관한 연구

안민호<sup>1</sup> 윤은유<sup>2</sup> 이영선<sup>3</sup> 우영윤<sup>#</sup>

## Study on the effects of tempering on the mechanical properties and microstructure of low-Yield ratio control steel

M. H. An, E. Y. Yoon, Y. S. Lee, Y. Y. Woo

### Abstract

매년 극심해지는 지구온난화로 인한 탄소 저감 정책에 따라 탄소 배출량을 저감할 수 있는 방안에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 그 중 하나인 비조질강은 냉간단조 이후 조질처리를 생략할 수 있기에 친환경 소재로 주목받고 있다. 이때 저항복비강은 비조질강의 종류 중 하나로 어닐링 후 오스템퍼링의 2단 열처리 과정을 통해 다상 미세조직을 형성함으로써 후속 조질처리를 대체할 수 있는 기계적 특성을 확보한 소재이다. 낮은 항복강도를 가짐으로써 성형성을 높여 금형 수명을 늘리고, 높은 인장강도를 가짐으로써 최종제품의 기계적 물성을 확보할 수 있기에 자동차 구조부품 등 다양한 산업에서 활용되고 있다. 그러나 인장강도 900MPa급 이상의 저항복비강의 경우 낮은 충격인성을 갖는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 템퍼링 처리가 저항복비강의 충격 인성 향상에 유효한 영향을 미칠 수 있는지 확인하고자 250mm 봉재 형태의 0.25C Steel을 800°C에서 30min동안 어닐링 후 400°C에서 30min간 오스템퍼링 한 소재를 각각 300°C, 500°C에서 1h동안 템퍼링 처리 후 기계적 물성을 측정하였다. 실험결과 두 조건에서의 템퍼링 처리 모두 인장강도는 낮아지는 반면 충격인성은 개선되는 것으로 확인되었다. 상기 결과들을 바탕으로 기계적 특성이 변화된 원인을 고찰하기 위한 미세조직 분석도 함께 진행되었다.

**Keywords:** Low Yield ratio Steel, Impact toughness, Tempering, Micro structure, Mechanical property

- 한국재료연구원 재료공정연구본부, 연구원
- 한국재료연구원 재료공정연구본부, 책임연구원
- 한국재료연구원 극한소재 실증연구 기반조성사업 추진단, 단장

# 한국재료연구원 재료공정연구본부, 선임연구원,

E-mail:yywoo@kims.re.kr

# 인공 흉골의 구조적 성능 향상을 위한 유한요소해석 기반 설계 최적화

함민지<sup>1</sup>, 문인용<sup>#</sup>

## Finite element analysis-based optimization of the structural performance of artificial sternum

M. J. Ham, I. Y. Moon

### Abstract

본 연구는 금속 적층제조기반 맞춤형 인공 흉골의 기존 늑골과 접촉면적에 따른 유한요소해석 결과를 기반으로 설계된 인공 흉골의 구조적 안전성을 검증하고 최적화하는 것이 목적이다. 인공 흉골은 질병, 수술, 외상 등으로 인해 결손된 복장뼈를 대체함으로써 체형을 유지하고 내부 장기(심장, 폐, 혈관 등)를 보호하는 역할을 한다. 또한 대체 의료가 부재한 실정이기 때문에 의사의 임상적 소견과 환자의 상태에 따라 의료용 영상데이터를 기반으로 환자 맞춤형 형상설계가 필요하다. 인공 흉골 설계는 외부 물리적 충격에 대한 보호기능 구현이 가능한 수준의 구조적 강성을 가지며, 상체 전면부에 위치함에 따라 일상생활 및 중량감으로 인한 불편함을 최소화하는 경량구조, 호흡활동 방해 요소를 최소화하는 등의 주요 요구사항에 중점으로 두고 진행하였다. 실제 임상에서 인공흉골을 식립할 때, 의료용 케이블 타이를 활용하여 기존 늑골과 인공흉골을 접촉시킨 후 고정하기 때문에 늑골 접촉면적에 따라 유한요소해석 결과를 비교하여 구조적 안전성을 확인하였다. 인간의 일상생활에서 인위적인 상해, 물리적 충격에 대한 조건을 제외하고 생활상 가중될 수 있는 외력을 검토한 결과, 환자의 심폐소생술 진행에 따른 가슴 압박이 가장 큰 외력수준임을 확인하였으며, 심폐소생술 과정 중 흉부에 부여되는 압박 하중의 객관적인 산출은 미국심장협회에서 제시한 응급상황 시 가이드를 참고하였다. 심폐소생술 시 부여되는 힘을 동일한 하중조건으로 지정하였고, 인공 흉골과 늑골의 접촉면적을 4가지 케이스로 나누어 고정조건으로 지정하여 유한요소해석을 통해 최대응력값과 최대변형값을 비교분석하여 인공 흉골에 대한 구조적 안전성을 제시하고자 한다.

**Keywords:** Design optimization, FEA, Additive manufacturing, Artificial sternum, Customization

1. 한국생산기술연구원 기능성소재부품연구그룹, 연구조원

# 한국생산기술연구원, 기능성소재부품연구그룹, 선임연구원,

E-mail: mooniy085@kitech.re.kr

# 알루미늄 압출 후 열처리 조건 변화에 따른 프로파일 변형 및 기계적 물성에 미치는 영향

이주원<sup>1</sup>, 장창순<sup>2#</sup>, 곽호택<sup>3</sup>

## Effect of heat treatment conditions after aluminum extrusion process on profile deformation and mechanical properties

J. W. Lee, C. S. Jang, H. T. Kwak

### Abstract

최근 자동차 산업에서 경량화 및 친환경 소재를 확대함으로써 알루미늄 압출 공정에 대한 중요성이 증대되고 있다. 특히, 알루미늄 프로파일은 복잡한 단면 형상으로 성형할 수 있어 높은 강성과 충돌 안전성을 유지하면서도 경량화할 수 있기 때문에 차체 프레임, 새시, 도어 프레임 등 다양한 부품에 사용될 수 있다. 또한, 압출 직후 수행되는 열처리 공정은 최종 제품의 기계적 물성과 진직도, 뒤틀림과 같은 형상 공차에 영향을 미치는 주요한 공정으로 최적의 냉각 조건을 통해 균일한 물성 확보와 변형 방지가 중요하다.

본 연구에서는 소성가공 해석 소프트웨어 QForm UK를 사용하여 알루미늄(6000계열) 열간 압출 및 열처리 연계 해석을 수행하여 열처리 조건이 변형 및 기계적 물성 변화에 미치는 영향을 분석하였다. Spray 방식의 냉각 스테이션에서 Spray의 냉각수 유량을 다르게 하여 열처리 공정 후 프로파일 단면 변위량과 상변태에 의한 인장 강도 변화를 비교하였다.

**Keywords:** Aluminum, Extrusion, Heat Treatment, Distortion, Mechanical properties, FEA

- 기아자동차 경량소재성형기술팀, 책임매니저
  - (주)CAE테크놀러지, 책임연구원
  - (주)CAE테크놀러지, 대표이사
- # (주)CAE테크놀러지, 책임연구원, E-mail: csjang@caetech.co.kr



# H-Beam의 압연 공정 조건에 따른 플랜지 돌출 결함 예측

서경호<sup>1</sup>, 장창순<sup>2#</sup>, 곽호택<sup>3</sup>

## Prediction of side protrusion defects according to H-Beam rolling process conditions

K. H. Seo, C. S. Jang, Hotaek Kwak

### Abstract

H-Beam은 건축 및 토목 구조물에서 널리 사용되는 고강도 형강 제품으로, 압연 공정을 통해 제조된다. H-Beam의 형상 및 강도는 압하율, 공형 설계, 소재 온도, 압연 속도 등을 포함한 패스 스케줄에 따라 크게 달라지므로 공정의 최적화가 매우 중요하다. 특히, BDM 공정에서 발생하는 H-Beam 플랜지의 측면 돌출부는 소재를 회전시키며 성형하는 공정과 H-Beam 형상의 특징 때문에 제품 형상 오차에 크게 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 소성가공 해석 소프트웨어 QForm UK를 사용하여 H-Beam 형상의 압연 패스 스케줄에 따른 플랜지 돌출부 변화를 비교하였다. 가열에 의한 팽창된 체적 변화를 고려하여 압연 롤 갭 변화(Roll gap change)와 공형 회전 속도에 따른 플랜지 돌출부 길이를 측정하여 그 영향을 분석하였다.

**Keywords:** Shape Rolling, H-Beam, Process condition, Roll Pass, FEA

- 
- 현대제철 봉형강압연설계팀, 책임매니저
  - (주)CAE테크놀러지, 책임연구원
  - (주)CAE테크놀러지, 대표이사
- # (주)CAE테크놀러지, 책임연구원, E-mail: csjang@caetech.co.kr

# YOLOv8 기반 알루미늄 박판 표면 결함 검사

김진구<sup>1#</sup>, 곽호택<sup>2</sup>

## Aluminum sheet surface defect detection based on YOLOv8

J. G. Kim, Hotaek Kwak

### Abstract

전기차와 2차전지 산업이 급속도로 성장함에 따라, 경량화와 높은 내구성을 필요로 하는 알루미늄 박판의 수요가 증가하고 있다. 알루미늄 박판은 배터리 셀과 전기차 부품의 주요 소재로 사용되며, 제품의 성능과 안전성에 큰 영향을 미친다. 그러나 알루미늄 박판 제조 과정에서 발생하는 미세한 크랙, 핀홀, 이물질 등의 결함은 제품에 치명적인 손상을 일으킬 수 있으며, 이는 배터리 성능 저하와 안전성 문제를 야기할 수 있다. 기존의 레이저 검사 및 육안 검사 방식은 이러한 미세 결함을 완벽하게 검출하는 데 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 인공지능 기술을 활용한 결함 검출 시스템을 개발하였다. YOLOv8 객체 탐지 알고리즘을 사용하여 알루미늄 박판의 표면 결함을 자동으로 검출하는 모델을 구축하고 훈련하였다. 수집된 결함 데이터는 크랙, 핀홀과 이물질을 포함하며, 훈련 데이터 70%, 검증 20%, 시험 데이터 10%로 나누어 모델 성능을 평가하였다. 실험 결과, YOLOv8 기반 모델은 결함 종류에 따라 95% 이상의 검출 정확도를 달성하였으며, 전기차 및 2차 전지 생산에 필요한 알루미늄 박판의 품질 관리에 기여할 수 있는 가능성을 확인하였다. 앞으로 추가적인 데이터 확장과 알고리즘 개선을 통해 더욱 높은 정확도의 검출 시스템을 개발할 계획이다.

**Keywords:** Aluminum Sheet, Deep learning, Defect detection, YOLOv8,

1. ㈜씨에이이테크놀로지, 책임연구원

2. ㈜씨에이이테크놀로지, 대표이사

# 교신저자 E-mail: jgkim@caetech.co.kr

# 반도체 제조용 초순수 이송 시스템을 위한 ETFE 폴리머 분말 사출성형 연구

한덕현<sup>1</sup>· 윤상민<sup>1</sup>· 이성중<sup>2</sup>· 김영균<sup>#</sup>

## Research on Injection Molding of ETFE Polymer Powder for Ultrapure Water Transport Systems in Semiconductor Production

D. H. Han, S. M. Yoon, S. J. Lee, Y. K. Kim

### Abstract

반도체 제조 공정에서 저항률이  $18 \text{ M}\Omega\cdot\text{m}$  이상인 초순수는 불순물 침출을 방지하고 화학적 및 부식 저항성을 갖춘 배관 시스템이 필요하다. 따라서 이러한 배관에 사용되는 재료는 높은 화학적 순도와 더불어 화학적 저항성 및 기계적 강도를 유지해야 한다. 이를 위해 소재 데이터 베이스를 활용하여 다양한 재료가 검토하였고, 이중 에틸렌 테트라플루오로에틸렌(ETFE) 분말은 우수한 화학적 및 기계적 특성을 가지고 있다. 그러나 높은 물성에 따라 높은 성형온도와 사출 조건이 필요하나, 성형 시 발생하는 흡수로 인해 작업자의 건강에 위협을 줄 수 있는 문제가 간혹 발생한다.

이에 본 연구에서는 ETFE 폴리머 분말을 사용한 초순수 이송 배관의 사출 성형 공정 최적화에 대하여 연구를 수행하였으며, 몰드 온도와 냉각 시간을 포함한 주요 사출 매개변수를 조정하여 실험을 진행하였으며, 초기 사출 성형은  $85^{\circ}\text{C}$ 에서  $115^{\circ}\text{C}$  범위에서 진행 후, 시뮬레이션 사출 조건과의 비교 분석을 수행하였고, 예측된 결과와 실제 결과 간의 차이에 따른 공정 변수를 통해 최적의 사출 조건을 도출하였다. 최적화된 사출 조건으로 제조된 샘플은 초순수에 노출되어 ICP 분석을 통해 이온 용출 테스트를 거쳤으며, 크기와 밀도 측정, 인장강도 측정을 통해 성형성을 평가하였다.

**Keywords:** Ultrapure Water, ETFE, Injection Molding, Semiconductor piping

1. 고등기술연구원, 신소재공정센터, 선임연구원

2. 삼일프론테크, 대표

# 교신저자 고등기술연구원, 신소재공정센터, 책임연구원, E-mail: kyk@iae.re.kr

# 전단면 품질 저하 감소를 위한 하프블랭킹 공정 설계 및 적용에 관한 연구

임한비<sup>1,2</sup>, 이성윤<sup>3</sup>, 이인규<sup>#</sup>

## Study on the Design and Application of Half-Blanking Process to Reduce the Degradation of Sheared Surface Quality

H. B. Im, S. Y. Lee, I. K. Lee

### Abstract

자동차 산업 등에 사용되고 있는 마운트 브라켓(Mount Bracket)은 고강도 강판(SPF590)을 소재로 하여 드로잉(Drawing) 공정과 트리밍(Trimming), 피어싱(Piercing), 노칭(Notching) 등의 다양한 전단공정으로 생산되고 있다. 고강도 강판을 소재로 하는 전단공정에서는 높은 전단하중에 의해 금형의 수명이 감소되어 펀치(Punch) 및 다이(Die)의 곡률 그리고 클리어런스(Clearance) 조건이 변하게 된다. 이로 인해 전단면 품질이 저하되는 문제가 지속적으로 발생되고 있다. 따라서, 본 연구는 전단공정 금형의 수명을 향상시키며, 금형의 수명이 전단면 품질에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 하프블랭킹(Half-blanking)을 적용한 전단공정을 설계하는 것을 목적으로 한다. 하프블랭킹 공정을 설계하기 위해 기존 전단공정의 펀치 곡률, 다이 곡률, 클리어런스 조건이 롤오버(Roll-over), 전단면, 버(Burr) 등의 전단면 품질과 전단하중에 미치는 영향을 유한요소해석(Finite Element Analysis, DEFORM-2D)으로 평가하였다. 또한, 펀치 곡률, 다이 곡률의 조건에 따른 연성과파괴 위치를 평가하여 펀치부에서 연성과파괴가 발생할 수 있는 조건을 선정하였다. 최종 설계된 하프블랭킹을 적용한 전단공정을 유한요소해석으로 평가한 결과에서 롤오버와 전단면은 금형의 수명에 영향을 받지 않으나, 버는 다이 금형의 수명에 지배적인 영향을 받는 결과를 보였다. 하지만 하프블랭킹을 적용한 전단공정의 다이 금형 유효응력은 기존 1,210 MPa 에서 1,040MPa 로 감소하는 결과를 보여 수명이 상대적으로 증가함에 따라 버 불량은 감소할 것으로 기대된다.

**Keywords:** Shearing Process, Half-Blanking, Sheared Surface, Mount Bracket

\* 이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 한국산업기술진흥원의 연구비 지원에 의한 연구임(\*P0024189\*)

1. 경북대학교 대학원 기계공학부, 대학원생

2. 한국생산기술연구원 모빌리티부품그룹, 연구원

3. 한국생산기술연구원 모빌리티부품그룹, 선임연구원

# 교신저자: 한국생산기술연구원 모빌리티부품그룹, 선임연구원, E-mail: lik1025:kitech.re.kr

# Weld neck flange 성형을 위한 최적 단조 공정 설계

박영태<sup>1</sup>, 최민귀<sup>2</sup>, 최한글<sup>#</sup>

## Optimal forging process design for weld neck flange forming

Y. T. Park, M. G. Choi, H. G. Choi

### Abstract

In this study, a Hot forging simulation was conducted to design the optimal forging process for forming a weld neck flange. The shape obtained through hot forging will be used as a preform for the ring mill process. The final product shape was designed concerning the flange specifications. The goal is to reduce repetitive trial and error by designing the optimal forging process and examining material flow, forming load, and material yield in advance.

Keywords: Weld neck flange, Optimal forging process, Preform design

### 1. 서론

자동차 산업에서 경쟁력을 높이기 위해 제품의 경량화, 고품질화 원가 절감 등 다양한 활동이 이루어지고 있다. 링밀 제품의 프리폼 설계는 제품의 품질 및 원가 절감에 매우 중요하다. 이 연구에서는 최적 단조 공정을 통해 반복되는 시행착오를 줄이고 소재의 유동, 성형하중, 재료 수율을 사전에 검토하고자 한다.

### 2. 최적 단조 공정 설계 및 유한요소해석

그림 1은 Weld neck flange 링밀 공정 해석을 위해 설계된 프리폼 최적 단조 공정이다. 몰딩, 펀칭, 평탄, 피어싱 순으로 이루어져 있으며 전체 5단 열간단조이다. 최종 형상은 플랜지 규격에 따라 제품 형상 설계가 이루어졌으며 원소재 가열온도를 고려하여 열팽창률 1.5%를 적용하였다. 설계를 바탕으로 시뮬레이션이 진행되었으며 프리폼 형성 과정에서 결함 발생여부 검토, 성형 하중 적정성 검토, 소재의 유동을 검토하였다.

### 3. 결론

이 연구는 프리폼 설계 및 시뮬레이션을 통한 분석으로 공정의 타당성을 검증하였다.

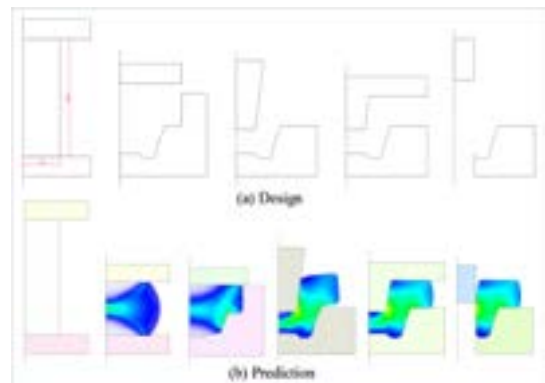


Fig. 1 Optimal forging process design

### 후기

이 연구는 산업통상자원부/한국산업기술진흥원의 “사업재편 탄소중립 기술개발 사업”의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] M. C. Kim, H. K. Moon, M. S. Joun, Preform design in symmetric ring rolling process. 2021, KSTP Spring conference.

1. 한국폴리텍대학 울산캠퍼스

2. (주)한국단조

# 교신저자: 한국폴리텍대학 울산캠퍼스

E-mail: koreanchoi@kopo.ac.kr

# 단조 공정을 연계한 링밀 공정 유한요소해석

최한글<sup>1</sup>, 강돈<sup>2</sup>, 박영태<sup>#</sup>

## Finite element analysis of ring mill process with forging process

H. G. Choi, D. Kang, Y. T. Park

### Abstract

In this study, Finite element analysis of ring rolling was performed in conjunction with the hot forging process. The main roll was designed according to the flange specifications, and the validity of the design was verified through simulation.

Keywords: Ring mill process, Preform design, Finite element analysis,

### 1. 서론

링밀 제품은 이음매가 없어 기계적 특성이 우수한 장점이 있으며 다양한 산업 분야에서 활용된다. 링밀 공정은 주로 메인 롤, 맨드릴, 가이드 롤, 액시얼 롤으로 구성되어 있으며 링밀 설계가 잘못되면 비대칭 형상, 폭퍼짐량에 따른 피쉬 테일 발생 등 다양한 결함을 야기할 수 있다. 이 연구에서는 프리폼 단조 공정을 연계한 링밀 공정 유한요소해석[1]을 실시하며 설계의 타당성을 검증한다.

### 2. 링밀 공정 유한요소해석

Weld neck flange 링밀 공정 해석을 위해 프리폼 최적 단조 공정 설계가 이루어졌으며[2] 앞선 연구로부터 획득한 프리폼 형상을 활용하여 링밀 공정 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 1은 시뮬레이션 결과로부터 획득한 링밀 공정의 변형이력을 나타내었다.

### 3. 결론

이 연구는 열간단조공정 결과를 연계하여 링밀 유한요소해석이 실시되었으며, 소재의 유동 측면에서 설계의 타당성을 검토하였다.

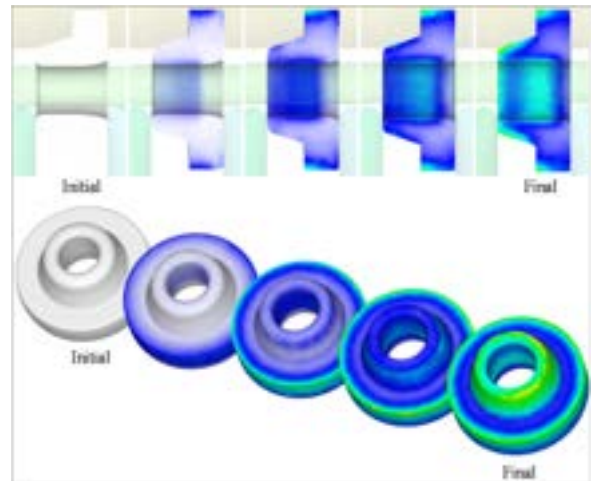


Fig. 1 Ring mill process analysis

### 후기

이 연구는 산업통상자원부/한국산업기술진흥원의 “사업재편 탄소중립 기술개발 사업”의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] M. S. Joun, H. K. Moon, S. H. Sim, M. C. Lee, J. G. Eom, AFDEX / RING, a ring rolling simulator. 2010, KSTP Autumn conference.
- [2] Y. T. Park, M. G. Choi, H. G. Choi, Optimal forging process design for well neck flange forming, 2024, KSTP Autumn conference.

1. 한국폴리텍대학 울산캠퍼스

2. (주)한국단조

# 교신저자: 한국폴리텍대학 울산캠퍼스

E-mail: doandgo@kopo.ac.kr

# U-Net을 이용한 와이어-레이저 직접 에너지 적층공정 비드 형성 관찰

김영서<sup>1</sup>, 이승문<sup>1</sup>, 육주찬<sup>1</sup>, 박석희<sup>#</sup>

## Monitoring Bead Formation in Wire-Laser Directed Energy Deposition Processes Using U-Net

Y. S. Kim, S. M. Lee, J. C. Yuk, S.H. Park

### Abstract

Wire-laser direct energy deposition (W-L DED)은 레이저로 형성된 용융물에 와이어를 주입해 금속 층을 적층하는 방식이다. 다양한 공정 변수를 복합적으로 고려해야 하는 공정으로, 부적절한 조건이 선정되면 예측하기 어려운 결함이 발생할 수 있다. 예를 들어, 와이어와 베드 사이 간격이 먼 경우에는 레이저의 에너지가 와이어로 집중되어 과도한 용융이 발생한다. 이때, 용융된 와이어는 표면장력으로 인해 구형으로 형성되며, dripping 결함을 유발할 수 있다. 또한, 적층이 반복될수록 열 방출이 이전 층으로만 집중되어 상층부에 과도한 열이 쌓이는 문제가 발생한다. 이러한 현상은 비드가 장시간 고온 상태로 유지되도록 하여 미세조직 형성에 영향을 미치며, 각 층의 열적 특성이 달라져 전체적으로 불균일한 기계적 특성을 초래할 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해, 공정 모니터링 시스템 개발이 필요하며, 공정 이미지에서 결함 및 특성을 분석하기 위해 딥러닝 기법인 semantic segmentation을 적용하였다. Semantic segmentation은 이미지 내 객체를 픽셀 단위로 분할하는 딥러닝 기법으로, 각 객체를 미리 정의된 색상으로 시각화하여 출력한다. 특히, U-Net 모델은 간단한 구조 덕분에 빠른 연산이 가능하다는 장점이 있어 해당 모델을 적용하였다. 용접 카메라로 획득한 공정 이미지에서 dripping 결함과 열 잔류 영역을 성공적으로 분할했으며, 각 객체의 길이와 면적을 측정하는 알고리즘을 통해 공정을 정밀하게 분석할 수 있었다. 이러한 방식은 결함을 실시간으로 탐지하고, 공정의 품질을 향상시키기 위한 중요한 기술적 도구로 활용될 수 있다.

**Keywords:** Direct Energy Deposition, Semantic Segmentation, U-Net, Defect Detection, Process Monitoring

1. 부산대학교 기계공학부, 대학원생

# 부산대학교 기계공학부, 부교수, E-mail: selome815@pusan.ac.kr

# 냉간프레스 전단금형 수리, 보수를 위한 DED 공정 시뮬레이션 기술 개발 II

박성진<sup>1,#</sup>, 서종덕<sup>1</sup>, 정대용<sup>2</sup>, 이재욱<sup>3</sup>

## Development of DED Process Simulation Technology for Cold Press Trimming Die Repair and Maintenance II

S. J. Park, J. D. Seo, D.Y. Jung, and J. W. Lee

### Abstract

In recent times, the automotive industry has been rapidly undergoing a transition towards e-mobility solutions, leading to increased demands for lightweight, precision, and high productivity. Consequently, the use of high-strength steel sheets has become more frequent. From the perspective of the cold press process, the growing use of these high-strength steel sheets has a direct impact on the lifespan of Dies. As a result, many researchers are working on repairing and maintaining trimming dies by utilizing techniques such as the multi-material complex additive manufacturing technology, where non-functional parts are made from cost-effective materials while functional parts incorporate high-cost, high-hardness tooling steel selectively. However, the current practice involves recovering completely damaged molds and determining the repair regions through visual inspection. Therefore, there is a need for research into technologies that can quantitatively predict and assess these damaged areas. In this study, we analyzed the distribution of compressive stresses that molds experience during shear deformation, predicted the target number of cuts relative to stress, and established clear criteria for determining repair regions during trimming die repair and maintenance. Furthermore, by performing DED (Direct Energy Deposition) additive process simulations, we aimed to predict the residual stress and thermal deformation characteristics of dies during additive manufacturing, addressing issues such as cracks and deformations that occur during large-scale additive processing. This research aims to achieve a reduction in the time and cost involved in repairing and maintaining cold press trimming dies.

**Keywords:** DED(Direct Energy Deposition) Process Simulation, Trimming Die, Repair and Maintenance, damage and repair region

---

1. ㈜신영  
2. ㈜에이엠솔루션즈  
3. 경북대학교

#. E-mail: sjpark92@shym.co.kr



## ESR 공정으로 제조된 하이퍼 캐스팅용 STD61 강의 고온 변형 거동

김송현<sup>1</sup>, 안유정<sup>2</sup>, 전재열<sup>#</sup>

### Hot Deformation Behavior of Hyper Casting STD61 Steel Manufactured by ESR Process

S. H. Kim, Y. J. An, J. Y. Jeon

#### Abstract

STD61은 열간 작업용 공구강으로, 주로 고온에서 작업하는 금형이나 도구의 제조에 사용된다. STD61의 제조 방식으로는 일반적인 주조 공정인 DC(Direct Casting)와 전기 슬래그 재용해(ESR) 방식인 DCE(Direct Current Electroslag Remelting)공정이 존재한다. DCE 공정은 DC 공정에 비해 불순물 제거 효과가 더 뛰어나며 그로 인해, 소재의 미세한 구조가 더 균일해져 우수한 강도, 내마모성 및 열 충격 저항성을 가진다고 알려져 있다. STD61과 같은 공구강은 고온에서 작동하는 금형이나 도구의 제조에 적합하지만, 고온에서 재료의 기계적 성질이 변화할 수 있어 변형 거동에 대한 연구가 필요하다. 특히, 고온에서의 재료 변형은 열 피로, 크리프, 마모와 같은 문제로 이어질 수 있다. 이러한 이유로, 고온에서 재료가 어떻게 변형되고, 그에 따라 발생하는 성질 변화를 이해하여 재료의 안정성 확보, 수명 연장, 열간 성형 공정 최적화 할 필요가 있다. 본 연구에서는 DC 공정 및 DCE 공정으로 각각 제조된

고온 압축 시험을 하기 위해 시편을  $\Phi$  31, H 12mm 가공 후, 압축 시험은 초기가열온도 1250 °C에서 수행하였으며, 압축 시험 온도는 850 °C, 900 °C, 950 °C 및 1000 °C, 1050 °C, 1100 °C 및 1150 °C, 변형률 속도는  $5.0 \text{ s}^{-1}$ ,  $1.0 \text{ s}^{-1}$ ,  $0.1 \text{ s}^{-1}$ ,  $0.01 \text{ s}^{-1}$  및  $0.001 \text{ s}^{-1}$ 에서 변형률 50 %로 압축하였다. 고온 압축 시험을 통해 얻은 유동 응력-변형률 곡선을 기반으로 구성 방정식을 도출 및 Processing map을 작성하였다. Processing map의 신뢰성을 확인하기 위해, 압축시험편의 미세조직을 분석하였으며, STD61과 DCE 공정을 통한 STD61의 고온 변형 거동을 예측하였다.

**Keywords:** STD61, DC, DCE, Gleeble test, Constitutive equation, Processing map

1. 한국생산기술연구원, 연구별정(단)

2. 한국생산기술연구원, 학생연구원

# 한국생산기술연구원, 수석연구원, E-mail: jyjeon0156@kitech.re.kr

# Diaphragm valve 적용을 위한 고강도 Co-based 압연재의 미세조직 및 상온 인장 특성에 미치는 후열처리 영향

박정현<sup>1</sup>, 송노건<sup>1</sup>, 최재호<sup>2</sup>, 박만호<sup>3</sup>, 이기안<sup>1#</sup>

## Effect of post-heat treatment on the microstructure and tensile properties of rolled high-strength Co-based materials for diaphragm valve applications

J. H. Park<sup>1</sup>, N. G. Song<sup>1</sup>, J. H. Choi<sup>2</sup>, M. H. Park<sup>3</sup>, K. A. Lee<sup>1#</sup>

### Abstract

Diaphragm valve는 반도체 제조 공정에서의 고순도 가스 및 화학물질의 유동을 제어하기 위해 사용된다. 특히 diaphragm valve의 경우 반복적인 하중과 압력 차이에 견딜 수 있는 충분한 강도 및 고주기 피로 특성을 가져야 하며, 사용되는 소재에 따라 내부 압력, 외부 힘 및 작동 응력을 견딜 수 있는 능력이 결정되는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 diaphragm valve 적용에 필요한 기계적 특성 및 우수한 내부식성을 가지는 Co-based 합금인 Elgiloy와 SPRON 510 합금을 사용하였다. 두 소재들은 각각 진공 주조로 제조되었으며 이후 열간 압연을 각각 수행하였다. 두 합금들에 대하여 solid solution & aging 그리고 direct aging으로 구성된 후열처리를 적용하고 그 미세조직 및 기계적 특성 차이를 비교하였다. 열간 압연된 Elgiloy과 SPRON 510 소재들에서는 주요 상으로 FCC-Co 상이 관찰되었으며, 추가로 Elgiloy에서는 Mo-rich 금속간화합물, SPRON 510에서는 Mo, Nb, Ti-rich 금속간화합물 존재하였다. 열간 압연된 Elgiloy 소재의 인장 강도, 항복강도 및 연신율은 각각  $1141.0 \pm 1.4$  MPa,  $1044.5 \pm 14.8$  MPa,  $21.0 \pm 1.2$  %로 확인되었으며 SPRON 510 소재의 인장 강도, 항복 강도 및 연신율은 각각  $1128.2 \pm 11.1$  MPa,  $1033.3 \pm 31.3$  MPa,  $7.2 \pm 1.3$  %로 측정되었다. 한편 열처리 된 소재들에서 공통적으로 강도는 감소하였으며 연신율은 크게 상승하였다. 특히 direct aging에 비해 solid solution & aging 후열처리에서 강도 특성 감소와 연신율 증가가 크게 나타내었다. 상기 결과들을 바탕으로 Elgiloy 및 SPRON 510 압연재의 인장 시험 후 변형 및 파괴 기구를 규명하고자 하였다.

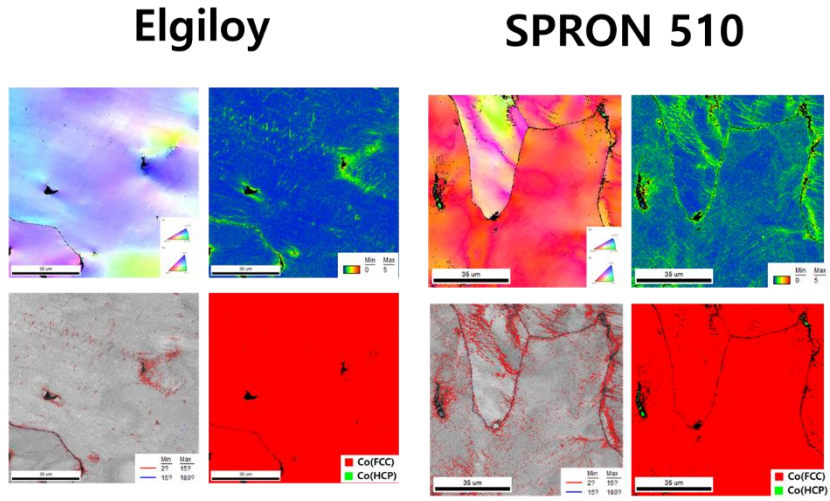
**Keywords:** Co-based superalloy, Hot & Cold rolling, Post-heat treatment, Mechanical properties, Microstructure

1. 인하대학교 신소재공학과, 교수, 박사후 연구원, 대학원생

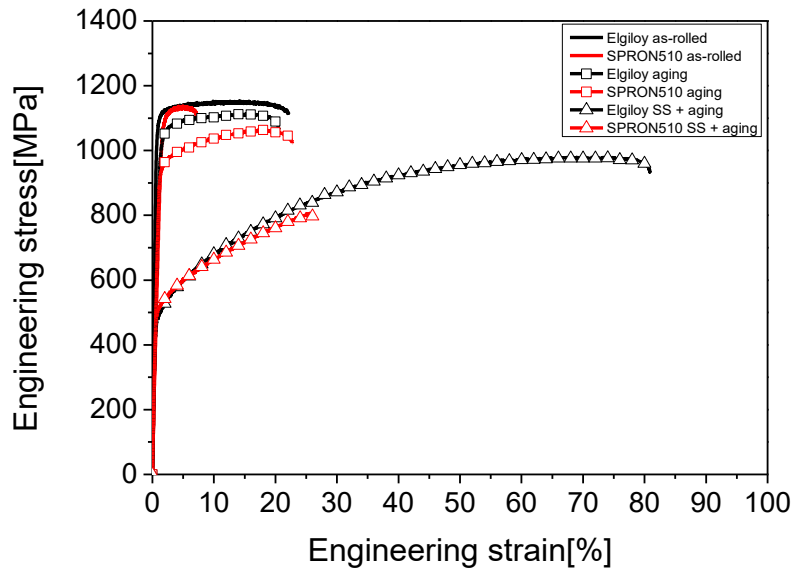
2. (주) 씨엔원, 부사장

3. (주) 아스플로, 연구소장

# 교신저자: 인하대학교 신소재공학과, 교수, E-mail: keeahn@inha.ac.kr



**Fig. 1.** EBSD mapping of hot-rolled Elgiloy and SPRON 510 Co-based superalloy materials



**Fig. 2.** Tensile properties of Elgiloy and SPRON 510 Co-based superalloy materials in as-rolled and post heat treatment

## Ta-10W 합금의 고온 마모 특성

강태훈<sup>1</sup>· 박정효<sup>2</sup>· 김규식<sup>2</sup>· 이기안<sup>1#</sup>.

### High-temperature wear property of Ta-10W alloy

T. H. Kang<sup>1</sup>, J. H. Park<sup>2</sup>, K. S. Kim<sup>2</sup>, K. A. Lee<sup>1#</sup>,

#### Abstract

Ta-10W 합금은 높은 용융점, 우수한 내식성, 산화 저항성을 나타내는 고온용 합금으로, 본 연구에서는 Ta-10W 합금의 고온 마모 특성에 대해 조사하였다. 고온 마모 시험은 알루미늄이나 불을 사용한 볼-온-디스크(ball-on-disc) 방법으로 200° C, 400° C, 600° C 및 700° C의 온도에서 각각 수행하였다. 고온 마모 시험 결과, 200° C에서 600° C까지는 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>에 의해 생성된 산화물 입자의 윤활 효과로 인해 마모 손실이 감소(마모 저항성이 증가)하는 경향을 보였다. 반면, 700° C에서는 과도한 산화물 형성 및 균열 발생으로 인해 마모 손실이 크게 증가하는 결과를 나타냈다. 마모 속도 (wear rate) 계산 결과, 온도가 증가함에 따라 마모 속도는 감소하여 200° C에서  $2.12 \times 10^{-4} \text{ mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ , 400° C에서  $2.67 \times 10^{-5} \text{ mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ , 600° C에서는  $4.21 \times 10^{-6} \text{ mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 계산되었다. 반면, 700° C에서는 마모율이  $3.87 \times 10^{-4} \text{ mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 마모 속도가 현저히 증가하였다. 마모 트랙 분석 결과, 온도에 따라 서로 다른 마모 메커니즘이 확인되었다. 200° C에서는 구덩이(furrow)와 균열이 특징인 연삭 마모가 지배적이었으나, 400° C에서부터 응착 마모가 두드러지게 관찰되었으며, 200° C 대비 마모 후 표면에서 균열이 더 많이 관찰되는 경향을 보였다. 600° C에서는 마모 시험 후 표면에서 알 형태의 산화물이 확인되었으며, 이는 Ta계 합금에서 나타나는 pest oxidation 현상으로 설명될 수 있었다. 700° C에서는 이전 낮은 온도 조건들 대비 깊은 구덩이와 균열, 그리고 산화물이 주로 관찰되었다. X-선 회절(XRD) 분석 결과, 200° C, 400° C, 600° C 조건에서  $\alpha$ -Ta 상이 존재하며, 격자 팽창을 나타내는 피크 이동이 확인되었다. 반면, 700° C에서는 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 피크가 관찰되었다. 상기 결과들을 바탕으로 Ta-10W 합금의 고온 마모 메커니즘에 대해서도 함께 고찰하였다.

**Keywords:** Ta-10W alloy, High temperature wear, Ball-on-disc wear, Oxidation, Wear mechanism

1. 인하대학교 신소재공학과, 교수, 박사 후 연구원

2. 국방과학연구소 소재에너지센터, 선임 연구원

# 교신저자: 인하대학교 신소재공학과, 교수, E-mail: keeahn@inha.ac.kr

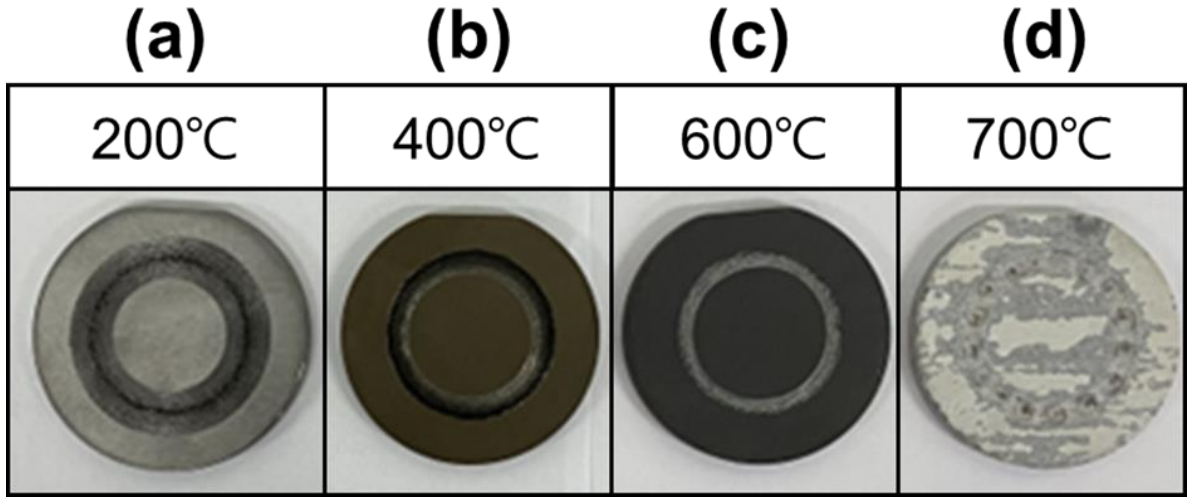


Fig. 1 Macroscopic observation results of Ta-10W wear specimens at (a) 200 °C, (b) 400 °C, (c) 600 °C, and (d) 700 °C.

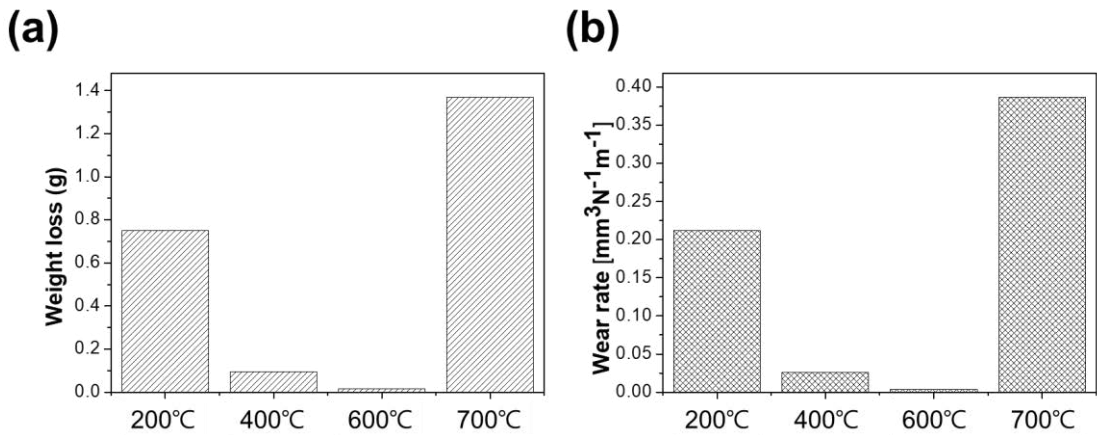


Fig. 2. (a) Weight loss values and (b) wear rates determined as a result of elevated temperature (200°C, 400°C, 600°C, and 700°C) wear tests of Ta-10W alloy.

# 미충진 방지를 위한 낙하산 금구류 프리폼 형상 설계

정성화<sup>1</sup>, 이인규<sup>2</sup>, 이성윤<sup>2#</sup>

## Design of Parachute Metalwork Preform Shape to Prevent Underfilling

S. H. Jeong, I. K. Lee, S. Y. Lee

### Abstract

단조는 기계적 특성이 우수한 제품의 대량 생산에 적합한 공정이다. 특히 재결정 온도 이상에서 진행되는 열간 단조의 경우 생산성이 우수하고 낮은 성형 하중으로 인해 큰 소성 변형이 가능하다. 이러한 열간 단조 공정은 높은 내구성과 강도가 요구되며 복잡한 형상을 가지는 퀵핏의 성형 공정으로 적합하다. 그러나 퀵핏은 링 부분과 후크 부분 간의 중횡비 차이 및 두께 차이가 크기 때문에 단공정으로 성형하기 어려운 문제점이 있다.

본 연구에서는 이러한 문제 해결을 위해 1 공정에 앞서 프리폼 공정을 추가하여 초기 프리폼 형상이 충진 상태에 미치는 영향을 예측하기 위한 연구를 수행하였다. 이를 위해 유한요소 해석 소프트웨어인 DEFORM-3D를 활용하였으며 공정 조건은 실제 공정 조건과 동일하게 적용하였다. 프리폼 금형 형상을 변형하며 반복 해석하여 1 공정 형상에서 충진 되는 정도를 확인하였다. 프리폼 형상에 따른 1 공정에서의 충진 정도, 폴딩 발생 여부 및 성형 하중에 미치는 영향을 분석하였다. Fig. 1은 퀵핏 소재의 형태와 프리폼 및 1 공정 형상을 나타낸다.



Fig. 1 퀵핏의 소재와 프리폼 및 1 공정 형상

**Keywords:** Parachute Metalwork , Quick Fit, Multistage Hot Forging , Finite Element Analysis , Preform

1. 한국생산기술연구원 모빌리티부품그룹, 연구원

2. 한국생산기술연구원 모빌리티부품그룹, 선임연구원

# 한국생산기술연구원 모빌리티부품그룹, 선임연구원, E-mail: yunskills@kitech.re.kr

# Inconel 718의 $\delta$ 상 석출 열처리에 따른 기계적 물성 및 미세조직에 대한 연구

여승현<sup>1,2</sup>, 안지섭<sup>1,2</sup>, 조아라<sup>1,2</sup>, 이나경<sup>1,2</sup>, 정명식<sup>1</sup>, 황선광<sup>1,#</sup>

## Study on the Microstructure and Mechanical Properties of Inconel 718 Induced by $\delta$ Phase Precipitation Heat Treatment

S. H. Yeo, J. S. An, A. R. Jo, N. K. Lee, M. S. Jeong, S. K. Hwang

### Abstract

Inconel 718은 고온 환경에서의 우수한 기계적 물성을 바탕으로 항공우주, 가스터빈, 원자력 산업에서 널리 사용되는 초내열합금으로 석출상에 의해 기계적 물성이 결정되는 특징을 가지고 있다. 대표적으로  $\gamma'$ ,  $\gamma''$ ,  $\delta$ 가 석출되며, 특히  $\delta$  상은 고온 변형 과정에서 결정립 미세화 및 성형성 향상에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.  $\delta$  상을 석출하기 위하여 delta process (DP) 및 preaging treatment - delta process (PAT-DP) 등 열처리 연구가 활발하게 진행되고 있다. 본 연구에서는 열처리 조건 별 Inconel 718의 기계적 물성 및 미세조직에 대한 영향에 대하여 분석하고자 한다. 열처리 조건으로는 homogenization (Ho), Ho + PAT, Ho + PAT + DP 3가지 열처리 조건을 각각 적용하였다. 각 열처리가 수행된 소재들은  $\phi 8 \times 12$  mm의 압축시편으로 가공되었으며, 900°C, 1/s의 온도조건에서 Gleeble-3800 GTC 장비를 이용하여 고온 압축시험을 수행하였다. 고온 압축시험 수행 결과, Ho + PAT + DP 열처리를 수행한 소재와 다른 두 열처리 조건의 유동응력을 비교하였다. DP 열처리와 고온 변형 의해 생성된  $\delta$  상의 pinning effect에 의해 결정립 고정으로 strain 0.03 지점에서 조기 hardening을 거쳐 0.28 지점에서 peak stress (606 MPa)에 도달하는 것을 확인하였다. 이후 연화되는 경향을 보였고, strain 0.33 지점에서 다른 열처리 조건에 역전된 것을 확인하였다. 이는 재결정 에너지를 낮춰 dynamic recrystallization 촉진에 의해 발생된 것으로 판단된다. 또한 FE-SEM 장비를 활용하여 미세조직 측정 결과 Ho + PAT + DP 열처리는  $\delta$  상 생성에 영향을 미치며 추가 고온변형 후 생성된  $\delta$  상은 결정립 미세화에 활용되는 것을 확인하였다. 본 연구를 바탕으로 각 열처리 조건에 따른  $\delta$  상의 석출과 기계적 물성 및 미세조직의 비교를 통해 Inconel 718의 고온 변형 공정설계에서 유용한 열처리 조건을 제시할 것으로 판단된다.

**Keywords:** Inconel 718, Delta phase, Preaging Treatment-Delta Processing, Dynamic Recrystallization

1. 한국생산기술연구원 모빌리티부품그룹

2. 부산대학교 기계공학부

# 교신저자: 한국생산기술연구원, 수석연구원, E-mail: skhwang@kitech.re.kr

# 초고강도강 TWB 적용 Side sill 부품의 CAM 제어를 통한 성형 공법 연구

정준영<sup>1</sup>· 김민기<sup>1</sup>· 배기현<sup>1</sup>· 남성우<sup>2</sup>· 이정흠<sup>2</sup>· 송정한<sup>#</sup>

## Study on Cold Forming Process through CAM Control of Ultra-High Strength Steel TWB Applied Side Sill Parts

J. Jeong, M. Kim, G. H. Bae, S. W. Nam, J. H. Lee, J. H. Song

### Abstract

최근 온실가스 규제 강화로 인해 친환경 차량의 수요가 증가되고 있으며, 이에 따라 경량화 및 배터리 안전 확보를 위한 초고강도강을 적용한 부품이 확대되고 있다. 특히 Side sill과 같은 충돌안전 부품의 구조 강성 확보 및 경량화를 위해 초고강도강 이종소재/두께의 재단용접강판(TWB, Tailor-welded Blank)이 사용되고 있다. 그러나 초고강도 강판 적용시 낮은 연신율로 인한 성형성 확보의 어려움과 과도한 스프링백 문제가 발생하고 있다. 따라서 초고강도강 적용 용접제품의 형상동결성을 확보한 성형 공정 설계가 필수적이다. 본 연구에서는 Side sill 부품에 1.5GPa/1.0GPa급 TWB 판재를 적용하여 성형성 평가 및 스프링백을 유한요소해석을 통해 분석하였다. 포밍 성형 후 캠 리스트라이킹 공법을 이용하여 캠 제어량에 따른 형상을 비교하였으며, 이를 토대로 스프링백 보정이 가능한 가변 캠 제어 모델을 도출하였다.

**Keywords:** Tailor-Welded Blank, Cold Forming, Forming Process Design, Numerical Simulation

### Acknowledgments

본 논문은 산업통상자원부 글로벌뿌리기술개발사업 “글로벌 시장진출을 위한 1.5GPa급 초고강도강 및 경량합금 친환경차 충돌안전 부품의 품질편차 저감을 위한 실시간 지능형 금형 제어 프레스 성형 기술개발(20018447)” 과제의 지원으로 수행된 결과임.

1. 한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소 유연생산연구부문

2. 대우공업 기술연구소

# 교신저자: 한국생산기술연구원, E-mail: jhsong@kitech.re.kr



# 핫스탬핑 성형품의 전단부 강도 저하를 위한 차등 냉각 공법 연구

전용준<sup>#</sup>

## A Study on Differential Cooling Process for Reducing Shear Strength of Hot Stamped Parts

Y. J. Jeon

### Abstract

본 연구에서는 핫스탬핑 성형품의 전단부 강도 저하를 유도하기 위한 차등 냉각 공정을 제안하고, 최적의 강도 저하 조건을 도출하였다. 핫스탬핑 성형품은 높은 강도 때문에 금형 전단시 마모 및 파손과 같은 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해, 가열된 소재의 이송 중 전단부에 공압 분사를 통해 온도를 저하시키고, 마르텐사이트 상변태를 억제하여 강도를 낮추는 방법을 제안하였다. 기초 실험으로 공압 조건과 분사 거리에 따른 냉각 속도 및 경도를 측정하였으며, 그 결과 마르텐사이트 경도 HRC 40 이하를 나타내는 분사 거리 300 mm, 공압 0.05 MPa 조건을 선정하였다. 이 조건을 사이드 실 부품의 성형 공정에 적용한 후, 금형 전단품과 차등 냉각 공정이 미적용된 레이저 커팅 부품의 전단면 경도를 비교하였다. 레이저 커팅 부품은 Hv0.1 550 이상의 경도를 보였으나, 금형 전단품은 Hv0.1 350 수준의 낮은 경도를 나타냈다. 또한, 차등 냉각 적용 부품의 전단 하중은 미적용 부품에 비해 2배 이상 감소하는 것을 확인하였다. 본 연구에서 제안한 차등 냉각 공법은 핫스탬핑 성형품의 마르텐사이트 상변태를 억제하여 전단부 강도 저하를 효과적으로 유도하였으며, 이를 통해 후처리 공정에서 금형 전단이 가능해져 품질 향상과 공정 비용 절감에 기여할 수 있음을 확인하였다.

**Keywords:** Die trimming, Differential cooling, Hot stamping, Laser cutting, Martensite

<sup>#</sup> 한국생산기술연구원, 지역산업혁신부문(성장동력), 연구원,  
E-mail: yjjeon@kitech.re.kr

# 대면적 패턴을 지닌 열가소성 탄소섬유강화 복합재료의 이차접합 공정에 관한 연구

최현석<sup>1</sup> · 소태영<sup>2</sup> · 전용준<sup>1</sup> · 김동언<sup>#</sup>

## Investigation on the secondary bonding process of carbon fiber/PEKK thermoplastic composite with large area pattern

H. S. Choi, T. Y. So, Y. J. Jeon, D. E. Kim

### Abstract

항공기와 같은 대형 구조물의 제조 공정에는 부품을 체결하는 접합공정이 요구된다. 이때 부품을 성형한 후 접착제를 이용하여 결합하는 방법을 이차접합(secondary bonding)이라 일컫는다. 우수한 체결성능을 확보하기 위하여 피착제와 접착제의 계면에서 기계적인, 화학적인 결합이 생성되도록 유도하는 다양한 방법이 적용된다. 본 연구에서는 유리섬유로 직조된 필플라이를 이용하여 탄소섬유강화 복합재료의 표면에 대면적 패턴을 전사하였고 전자주사현미경을 통해 패턴의 형상과 크기를 분석하였다. 또한 접합강도와 파단면 분석을 통해 표면 패턴이 접합강도에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 따라서 다양한 공정조건에 대한 실험적 분석을 통해 접합강도를 향상시키는 결과를 도출하였다.

**Keywords:** Thermoplastic Composite(PEKK), Secondary Bonding, Pattern, Peel Ply, Bonding Strength

1. 한국생산기술연구원, 지역산업혁신부문

2. 한국생산기술연구원, 소재공급망연구부문

# 한국생산기술연구원, 지역산업혁신부문, E-mail: kdu0517@kitech.re.kr

# 유한요소해석을 이용한 열간단조의 금형파손 연구

김정곤<sup>1</sup> · 고대철<sup>2</sup> · 장진석<sup>#</sup>

## Study on Die Failure in Hot Forging Using Finite Element Analysis

J. G. Kim, D. C. Ko, J. S. Jang

### Abstract

This study analyzes die stress in the hot forging of parachute harness parts using SCM 440 alloy steel. The die material, QHZ tool steel, maintains its hardness and heat resistance at elevated temperatures. Finite element analysis was conducted to evaluate the stress distribution during the preforming stage. The analysis revealed that while stress is generally well-distributed, certain areas experience stress concentration, increasing the risk of die failure. These findings emphasize the importance of addressing stress concentration through design modifications or structural improvements to prevent die failure. This research offers valuable insights for extending die life, reducing production costs, and improving product quality.

**Keywords:** Finite Element Analysis, Die Stress, Hot Forging,

### 1. 서론

열간단조는 고온에서 소재를 가공하여 복잡한 형상을 구현하는 데 효과적이므로, 하네스 부품 제작에 널리 사용된다. 그러나 단조 공정 중 발생하는 금형의 응력은 금형 수명에 큰 영향을 미친다. 특히 고온 소재와 높은 압력에 의해 금형이 받는 응력은 금형의 파손을 유발하여[1], 생산 비용을 증가시키고 제품 품질을 저하시킬 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 금형의 응력 분포를 분석하여 금형의 파손 부위를 사전에 예측하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 유한요소해석을 통해 금형의 응력 분포를 정량적으로 분석하고, 이를 바탕으로 금형의 파손 가능성을 사전에 예측하였다.

### 2. 유한요소해석을 이용한 금형응력 분석

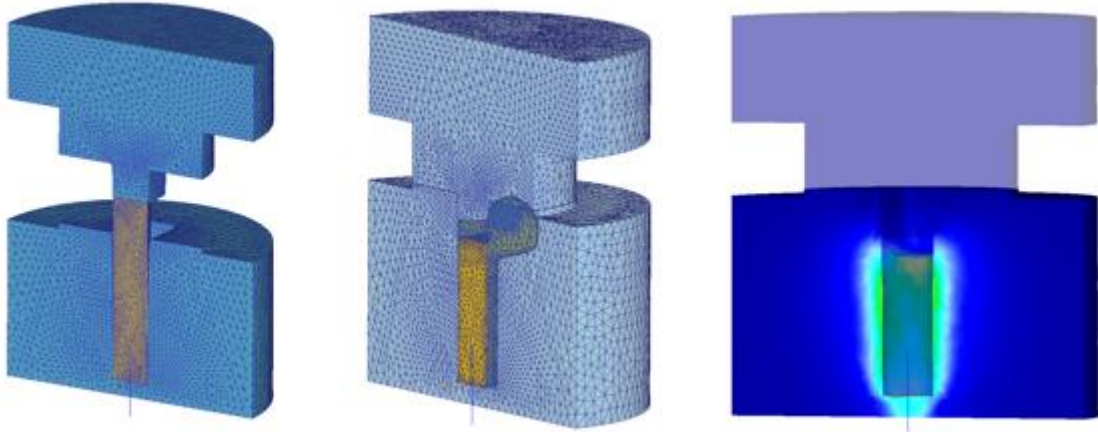
본 연구의 모델은 낙하산 하네스 부품으로, 다단 단조 공정을 통해 제작된다. 사용된 성형 소재는 몰리브덴과 크롬을 함유한 합금강인 SCM 440이다. 금형 소재는 열간단조용 공구강으로, 고온에서도 경도를 유

1. 한국생산기술연구원 모빌리티부품그룹, 석사과정 학연협동과정생

2. 부산대학교 나노메카트로닉스공학과, 교수

# 교신저자: 한국생산기술연구원 모빌리티부품그룹, 수석연구원, E-mail: jsjang@kitech.re.kr

지하며 열 저항성이 뛰어난 특성을 가진 QHZ이다. 이러한 재료의 특성을 바탕으로 유한요소해석 조건을 수립하고 예비성형, 1차 및 2차 단조로 구성된 공정 중 예비성형 금형과 초기 소재에 대한 유한요소해석을 수행하여, 예비성형 과정에서 다양한 금속의 유동 및 하중 조건에 따른 응력 분포를 분석하였다. 분석 결과, 응력이 전반적으로 고르게 분포되어 있으나, 특정 부위에 응력이 집중되는 것을 확인하였고, 이러한 부위가 금형의 파손 가능성을 높이는 요인임을 알 수 있었다.



**Fig. 1. Preform die stress analysis results**

### 3. 결론

금형의 응력에 의한 파손은 금형 수명에 중요한 영향을 미치는 주요 요인 중 하나이다. 본 연구의 분석 결과, 단조 공정 중 기계의 압력과 소재 변형으로 인해 특정 부위에 응력 집중이 발생하며, 이로 인해 금형의 파손 가능성이 높아지는 것으로 나타났다. 이러한 분석 결과를 반영하여 응력 집중 부위를 분산시키는 설계나, 금형의 구조적 개선을 통해 소재 변형을 제어하여 파손을 보다 효과적으로 예방할 수 있다. 본 연구는 이러한 분석을 통해 향후 응력 문제를 해결하고 금형 수명을 연장하는 데 기여할 것으로 기대된다.

### 후기

본 연구는 한국생산기술연구원 융복합생산고도화기술개발사업(KITECH-EH-24-0002)과 중소벤처기업부의 구매조건부신제품개발사업(S3345198)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] I. V. Kolmogortsev, E. V. Ledovskikh, S. A. Osipov, A. K. Shmakov, 2016, Analysis of the Thermal State of a Semifinished Product During Hot Die Forging, Metallurgist, Vol. 59, Nos. 11–12, pp. 1157–1162. <http://doi.org/10.1007/s11015-016-0231-9t>

# 음향 방출 시험(Acoustic Emission Testing, AET)을 이용한 굽힘 하중을 받는 알루미늄 파이프의 손상 검출

최인규<sup>1</sup>, 정완진<sup>2</sup>, 이창환<sup>2, #</sup>

## Damage detection of aluminum pipes subjected to bending loads using Acoustic Emission Testing (AET)

I. G. Choi, W. J. Chung, C. W. Lee

### Abstract

본 연구에서는 음향 방출 시험 기법을 적용하여 굽힘 하중을 받는 알루미늄 파이프의 손상 시 발생하는 AE 신호에 대해 분석하였다. 음향 방출 시험(Acoustic Emission Testing, AET)은 비파괴시험의 한 종류로, 재료의 변형 단계에서 발생하는 탄성파를 측정하여 재료의 거동을 실시간으로 관찰하고 그 특성을 파악할 수 있는 시험법이다. 이는 대규모 균열, 파손이 발생한 이후에 적용 가능한 다른 검사 기법들에 비해 재료의 탄·소성 변형 단계에서 재료의 항복 및 파손을 빠르게 탐지하고 그 발생 위치를 추정할 수 있다. 본 연구에서는 구조재로 활용성이 높은 Al6063 사각 및 원형 파이프에 대해 굽힘 실험을 진행하고, 굽힘 변형 중 발생하는 음향 방출 신호를 분석하였다. 굽힘 변형 중 음향 방출 신호는 Duration, Peak Amplitude, Signal Energy, Frequency Centroid 등의 음향 방출 파라미터를 사용해 분석을 진행하였다.

**Keywords:** Acoustic Emission Testing(AET), AE Parameter, Aluminum Pipe

### 후 기

본 연구는 정부의 재원으로 한국연구재단 (NRF)의 지원 (과제번호: RS-2023-00249455)을 받아 수행되었습니다.

1. 서울과학기술대학교 일반대학원 기계정보공학과

2. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

# 교신저자 : 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과, E-mail: cwlee@seoultech.ac.kr

# 국부 가열 다점 성형 공정을 이용한 섬유 금속 적층체 시험편 제조에 관한 연구

박지우<sup>1, #</sup>, 김민수<sup>2</sup>

## Study on the Manufacturing of Fiber Metal Laminate Specimens Using a Local Heating Multi-Point Dieless Forming Process

J. W. Park, M. S. Kim

### Abstract

Lightweight design has always been a critical concern in the automotive and aerospace industries, prompting extensive research. Recently, Fiber Metal Laminate (FML) has gained recognition as a promising solution for achieving both reduced weight and high strength in crashworthiness designs. This study introduces a novel approach for the fabrication of FML products using a multi-point dieless forming (MDF) apparatus. MDF technology, optimized for small-batch production, allows the shaping of various curved sheets. In this research, a localized heating effect was applied to the MDF apparatus, proposing a new FML fabrication method akin to hot press forming. A simplified MDF device was developed and used to produce rectangular FML specimens. Tensile tests on the fabricated specimens revealed significantly higher tensile strength compared to conventional aluminum products.

**Keywords:** Multi-point Dieless Forming, Fiber Metal Laminate, Local Heating, Sheet Metal Forming

### 후기

본 연구는 한국생산기술연구원의 지역혁신기반기술지원사업(JC240026, 전북주력산업(뿌리/농기계) 중사 중소기업의 애로기술 해결을 위한 수요대응형 기술 개발)의 지원으로 수행되었습니다.

1. 한국생산기술연구원, 선임연구원

2. 한국생산기술연구원, 수석연구원

# Corresponding Author : Korea Institute of Industrial Technology,

E-mail : pjwoo@kitech.re.kr

# 볼조인트 맨드렐 회전튜브드로우벤딩 공정의 탄소성 유한요소해석

신영빈<sup>1</sup>, 홍보승<sup>1</sup>, 이동진<sup>2</sup>, 문대국<sup>2</sup>, 하태광<sup>3</sup>, 전만수<sup>1#</sup>

## Elastoplastic finite element analysis of a rotary tube draw bending process with three-ball-joints mandrel

Y. B. Shin, B. S. Hong, D. J. Lee, D. K. Moon, T. K. Ha, M. S. Joun

### Abstract

A rotary tube drawing bending process with three ball joints mandrel is simulated focusing on the springback prediction with the mandrel motion. The elastoplastic finite element method with the multi-body treatment scheme to deal with the four-pieces mandrel is utilized. The validity of the predictions is evaluated.

**Keywords:** Rotary Tube Draw Bending (회전튜브드로우벤딩), Springback (탄성회복)

### 1. 서론

굵은 튜브의 용도가 다양하므로 튜브의 벤딩은 산업적으로 매우 중요하다. 튜브 벤딩에서 요구되는 것은 생산성과 직결된 것으로 불량률을 줄이고 공정개발 과정을 체계화하고 과학화 하는 것이다. 볼조인트 맨드렐 사용 회전튜브드로우벤딩(BJ-RTDB)[1]은 정밀 튜브 제작 목적으로 널리 사용되고 있으나, 공정의 복잡성으로 해석 기술이 충분히 그 역할을 발휘하지 못하고 있다. 이 연구는 BJ-RTDB의 FEM 적용성 기술의 향상을 위한 것이다.

### 2. 본론

이 연구에서는 다물체 기법을 이용하여 세 개의 볼조인트를 처리함으로써 BJ-RTDB의 전과정을 해석하였다. 주변형구역에서 조밀요소를 사용하였고, 최대굽힘 각도는 30도이다. 맨드렐은 성형의 시작과 함께 전진하다가 성형 종료시점에 이르기 이전부터 맨드렐은 후진하기 시작한다. 벤딩 종료와 함께 스프링백 해석이 시작된다. Fig. 1(a)은 이 연구에서 사용된 볼조인트 맨드렐 사용 회전튜브드로우벤딩 공정을 나타낸다. Fig. 1(b)는 맨드렐의 후진 직전의 재료의 변형된 모양을 나타낸다.

### 3. 결론

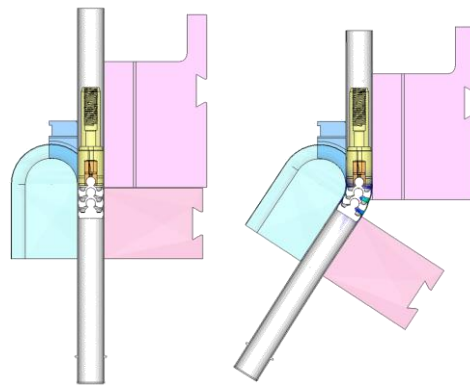
맨드렐의 운동이 스프링백 및 외형에 미치는 영

- 경상국립대학교
- DH튜브
- 조선대학교

# 교신저자: 경상국립대학교 기계항공공학부

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

향을 파악하였다. 해석결과의 타당성이 평가되었다. BJ-RTDB 공정 해석 기술의 실용성이 배가되었다.



(a) Initial configuration (b) Before backward motion  
Fig. 1 Rotary tube draw bending

### 사사

이 연구는 LINC 3.0(20240619001)의 연구결과입니다.

### 참고문헌

- [1] N. A. Razali, S. H. Chung, W. J. Chung, M. S. Joun, 2022, Implicit elastoplastic finite element analysis of tube-bending with an emphasis on springback prediction, Int. J. Adv. Manuf. Technol. 120, 6377-6391.

# 항공용 체결부품의 인장피로시험

박재현<sup>1</sup>, 박상혁<sup>2</sup>, 최정묵<sup>3</sup>

## Tensile Fatigue Tests of Fastener for Aerospace

J. H. Park, S. H. Park, J. M. Choi

### Abstract

항공용 체결부품은 항공용부품 전체의 40%를 차지할 정도로 많은 부분을 차지하며 항공용 금속소재부품 국산화와 함께 타이타늄 체결부품 국산화의 중요성도 대두되어 이에 대한 연구가 진행된 바 있으나 시험평가관련 장비/기술 및 이에 대한 인프라구축 및 기술축적이 절실하다. 미국의 경우 항공용 체결부품은 NASM1312등 별도 시험규격과 NAS621등 체결부품별로 시험 및 평가기준이 존재하며 소재 개발후 공급을 위해서는 이에 근거한 시험 및 결과 도출이 중요하다. 항공용 체결부품의 경우 중요한 기계적 시험으로는 인장시험, 이중전단시험, 인장피로시험 등이 있으며 본 내용에서는 항공용 체결부품에서 요구되는 중요한 기계적시험중 인장피로시험에 대한 시험규격을 소개하고 시험을 위한 세부조건을 검토후 이에 근거하여 지그 및 장치를 제작하여 시험결과를 도출하였다.

**Keywords:** Fastener, Tensile Fatigue Test, Aerospace

- 포항산업과학연구원 분석평가연구그룹 수석연구원,
- 포항산업과학연구원 분석평가연구그룹 그룹장
- (주)진합 연구소장



# 자동차용 밸브 센서 부품의 마이크로 스폿용접 해석

김영곤<sup>1</sup>, 김현민<sup>2</sup>, 주성민<sup>#</sup>

## Micro Spot Welding Analysis of Automotive Valve Sensor Components

Y. G. Kim, H. M. Kim, S. M. Joo

### Abstract

자동차 엔진의 배기 가스 재순환 시스템에 사용되는 EGR 밸브 센서는 차량 배기 가스 제어에 핵심 구성 요소 역할을 담당하는 주요 부품이다. 해당 부품의 접합 형태는 커버 단자위에 Hall IC 단자를 얹고 마이크로 스폿용접하는 구조로써, 용접불량 해결 및 용접부 품질 향상을 위해 용접공정조건 최적화가 필요한 상황이다.

특히, 밸브 센서 단자 소재는 도금된 박판의 동합금이 사용되고 있으며, 용접시공 측면에서 현장 용접조건과 비교를 통한 가용 용접조건 도출 가능성을 검토해야 한다. 이에 따라, 마이크로 스폿용접관련 실용화 연구가 진행 중이지만 아직까지 복잡한 형태의 용접부 형상의 제약과 함께 시뮬레이션에 필요한 모델링 및 용접기, 전극, 소재 등 다양한 해석 물성 데이터의 부재 때문에 기초적인 개발단계에 머무르고 있는 실정이다.

본 연구에서는 저항용접용 해석 S/W인 SORPAS를 활용해 3D 해석용 모델링 작성 후 대상 제품의 용접 강도 향상을 위해서 스폿용접조건에 대한 공정 해석과 함께 인장강도 테스트 모델을 통한 용접부 강도 해석 결과 도출을 진행하였다. 초기 시뮬레이션 과정에서 소재의 접합 온도는 500°C, 소재 도금층 접합온도는 각각 200°C로 설정하여, 전극과 소재 표면간의 고상 상태 접합과 파단 모델을 고려하여 개선된 모델링을 적용하였다. 또한, 스폿용접의 주요 공정변수인 가압력 4.5kgf, 용접전류 1.55kA, 용접시간 2.5ms(x2pulse 적용)의 현장 용접조건을 토대로 그 중에서 2개의 공정변수를 고정하고, 나머지 1개의 변수를 일정 조건으로 다양하게 변화시켜 해석을 수행하였다. 전단인장강도 해석시 모재 파단의 기준으로는 최대 하중이 15N 이상일 경우에 적정 용접 조건 범위로 추정되었으며, 이 때 용접부 너깃 형성에 미치는 온도 분포 결과도 도출하였다.

**Keywords:** Valve sensor, Spot welding, FEA simulation, Optimum condition

본 과제(결과물)는 2024년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력 기반 지역혁신 사업의 결과입니다. (과제관리번호: 2021RIS-002)

1. 한국생산기술연구원 목적기반모빌리티그룹

2. 한국알프스㈜

# 조선대학교 스마트이동체융합시스템공학부, joo@chosun.ac.kr

# 열간 공구강의 경도 및 충격인성 변화에 따른 열피로 특성

김주업<sup>1#</sup> · 윤국태<sup>2</sup> · 이락규<sup>1</sup> · 홍창완<sup>1</sup> · 김선주<sup>1</sup> · 손동민<sup>3</sup>

## Thermal fatigue characteristics according to the changes in hardness and impact toughness of hot work tool steel

J.U.Kim, K.T.Youn, R.G.Lee, C.W.Hong, S.J.Kim, D.M.Son

### Abstract

열간 공구강은 자동차 부품산업분야에서 다이캐스팅, 핫스탬핑, 단조 등 열간 소성가공 공정에 적용되는 금형소재로써, 사용환경에 의한 가열-냉각의 반복 노출로 수명이 저하되는 문제가 발생한다. 최근의 부품 성형공정은 소재의 다변화와 복잡한 요구 형상을 만족하기 위해 열과 압력, 충격 등의 가혹한 환경과 대량 생산을 목적으로 하는 금형의 특성상 반복 생산공정에 의한 열피로(thermal fatigue)가 더해져 수명확보 문제가 대두된다. 이에 금형의 안정적 품질확보와 생산 효율 향상을 위해 열간 공구강은 고온 강도와 인성이 요구되며, 제강조건과 균질화, 열간단조, 구상화어닐링 등을 통하여 미세조직을 제어하고 최종 austenitizing 과 tempering 열처리를 통하여 특성을 확보하고 있다. 특히 열간 공구강의 주요 손상 메커니즘을 고려시 금형의 내열피로 특성 확보가 요구되고, 최종 열처리 공정에 의한 사용 환경에 따라 경도와 인성의 선택이 중요하다. 그리고 열간 공구강의 고온 강도와 인성은 이러한 석출물의 종류, 분율, 크기 등과 밀접한 관계가 있으며 V, Si, Mo, Mn 함량에 따른 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 가열-냉각에 의한 열피로 현상으로 금형 표면에 발생하는 히트체크(Heat check)의 생성과 균열 진전현상을 모사시험하여 소재 경도 및 충격 인성과 열피로 특성의 상관관계를 연구하였다. 소재는 Mo 를 첨가한 5% Cr ESR 급 열간 공구강 세아창원특수강 개발재에 대하여 열처리를 달리하여 준비하고, 열피로(Thermal Fatigue) 시험은 고주파 가열 (4 sec) - water spray 냉각 (3 sec) 1 Cycle 로 정하여 1,000 Cycle 및 3,000 Cycle 변화를 주어 진행하였다. 경도 변화에 따른 열피로 모사실험이 완료된 시료에 대하여 표면에 생성된 Crack 깊이를 시편의 원주 방향으로 측정하여 균열 수, 최대 균열 길이, 총 균열 길이 등을 측정하여 균열 지표와 경도, 충격 인성 등 상관관계를 분석하였다

**Keywords:** Hot work tool steel, Thermal fatigue, Heat Check, Heat Treatment, Hardness & Impact toughness

### Acknowledgement

본 연구는 소재부품기술개발사업(전략핵심소재기술개발, 20010988)으로 수행된 연구결과입니다.

1. 대구기계부품연구원 소재부품연구본부 첨단소재연구팀

2. 대구기계부품연구원 소재부품연구본부

3. 세아창원특수강

# 교신저자 : 대구기계부품연구원, 선임연구원, E-mail: juup5391@dmi.re.kr

# 와이어 아크 적층제조 초내열합금의 고온 물성 평가

채유진<sup>1</sup> · 김민기<sup>#</sup>

## Evaluation of Material Properties at High Temperature of Wire-Arc Additive Manufactured Heat Resisting Super Alloy

Y. Chae and M. Kim

### Abstract

This study addresses evaluation of material properties at high temperatures of a heat resisting super alloy, In 718, which is deposited by the wire-arc additive manufacturing (WAAM). The WAAM-ed super alloy were prepared by deposition on the SUS316L substrate with different deposition rates. Compression specimens were prepared from the built block by the WAAM to evaluate its material properties at high temperatures. Both the super alloy and the SUS316L were tested to investigate changes in the hardening behavior at various temperatures ranging from the room temperature (RT) to 1100 °C. For the high temperature tests, the Gleeble 3500 system was utilized to carry out the uniaxial compression tests at various strain rates and temperatures. The strength reduction rate of the super alloy at elevated temperature is totally different from that of the stainless steel. Furthermore, the difference in the stress level varies according to the strain rate.

**Keywords:** Heat Resisting Super Alloy, Wire-Arc Additive Manufacturing (WAAM), High Temperature, Material Property, Compression

### Acknowledgement

This work was supported by the funding grant by the Korea Institute of Industrial Technology (KITECH) (No. KITECH JE-24-0024).

---

1. 한국생산기술연구원 유연생산연구부문, 학생연구원  
# 한국생산기술연구원 유연생산연구부문, 선임연구원, E-mail: mkim@kitech.re.kr

# Post-weld heat treatment on friction stir welded AA6061-T6: microstructure and mechanical properties

V.C.Phan<sup>1</sup>, J.H.Jeon<sup>1</sup>, H.J.Lee<sup>2</sup>, H.H.Cho<sup>2</sup>, S.H.Lee<sup>3</sup>, J.S.Lee<sup>3</sup>, S.Basak<sup>4,#</sup>, S.T.Hong<sup>1,#</sup>

## Abstract

The effect of post-weld heat treatment (PWHT) on the microstructure and mechanical properties of friction stir welded (FSWed) AA6061-T6 aluminum alloy is investigated. The microstructural change and precipitation behavior in the stir zone has been characterized by optical microscopy (OM), scanning electron microscopy (SEM), followed by energy-dispersive spectrometer (EDS) analysis. The results of the uniaxial tensile test, microhardness mapping, and fatigue life test show that the joint gains superior mechanical properties after heat treatment compared to the as-welded condition (no PWHT). SEM and EDS analyses also confirm that the improved mechanical properties after the PWHT can be explained by the re-precipitation and dispersion strengthening of fine precipitates within the joint.

**Keywords:** friction stir welding; aluminum alloy; post-weld heat treatment; microstructure; mechanical properties

**Acknowledgment:** This work was supported by the Technology Innovation Program (Development of a tooth-type wheel bearing with a raceway hardness of 600Hv and a weight reduction ratio of over 10%, RS-2024-00430258) funded By the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE, Korea)

---

1. School of Mechanical Engineering, University of Ulsan, Republic of Korea  
2. Department of Materials Science and Engineering, Hanbat National University, Republic of Korea  
3. Advanced Material R&D Center, ILJIN Global Co., Ltd. Seoul 06157, Republic of Korea  
4. 3D Printing and Manufacturing Process Centre, Korea Institute of Industrial Technology, Ulsan, Republic of Korea  
# Corresponding, E-mails: soumyabrata0290@kitech.re.kr; sthong@ulsan.ac.kr

# Cryogenic tube bending AA6061-T6: Concepts and Feasibility

Yixing Zhao<sup>1</sup>, Lihong Cai<sup>1</sup>, Meiling Geng<sup>1</sup>, Jung-Wook Do<sup>1</sup>, Ji-Hoon Jeon<sup>1</sup>, Seon-Ho Lee<sup>2</sup>

Jong-Seok Lee<sup>2</sup>, Jin-Woo Lee<sup>1,#</sup>, Sung-Tae Hong<sup>1,#</sup>

## Abstract

The present study investigates the tensile properties of AA6061-T6 aluminum alloy at cryogenic temperatures to enhance its formability compared to room temperature. Tensile tests are conducted at temperatures ranging from -160°C to 20°C with a strain rate of 0.17 min<sup>-1</sup>. Based on the result of cryogenic tensile tests, a cryogenic tube bending process is proposed. The results demonstrate that cryogenic bending significantly reduces defects such as wrinkling, over-thinning, cross-sectional distortion, and spring-back, providing superior performance over conventional bending methods. This process offers potential advantages for applications requiring precise forming of aluminum alloys.

**Keywords:** AA6061-T6, Cryogenic temperatures, Tube bending, Tensile properties

## Acknowledgements:

This work was supported by the Technology Innovation Program (Development of a tooth-type wheel bearing with a raceway hardness of 600Hv and a weight reduction ratio of over 10%, RS-2024-00430258) funded By the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE, Korea). This result was supported by "Regional Innovation Strategy (RIS)" through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (MOE) (2021RIS-003).

---

1. School of Mechanical Engineering, University of Ulsan, Republic of Korea

2. Advanced Material R&D Center, ILJIN Global Co., Ltd. Seoul 06157, Republic of Korea

# Corresponding authors: [jinwoolee@ulsan.ac.kr](mailto:jinwoolee@ulsan.ac.kr) and [sthong@ulsan.ac.kr](mailto:sthong@ulsan.ac.kr)

## SGACUD 강과 6451 알루미늄 합금의 이종 통전 고상점접합 연구

추수현<sup>1</sup>, 판반콩<sup>1</sup>, 도정욱<sup>1</sup>, 이창주<sup>2</sup>, 남기석<sup>3</sup>, 홍성태<sup>#</sup>

### Electrically assisted solid-state spot joining of dissimilar SGACUD steel and aluminum 6451 alloy

S. H. Choo, V. C. Phan, J. W. Do, C. J. Lee, K. S. Nam, and S. T. Hong

#### Abstract

In the present study, lap joining of dissimilar materials, SGACUD steel (0.7 mm thickness) and aluminum 6451 alloy (2 mm thickness), is performed using an electrically assisted solid-state spot joining (EA-SSJ) technique. During the joining, continuous compressive plastic deformation is applied simultaneously with an electric current. Initially, the current is continuously applied to reach a predetermined joining temperature (below the melting points of joining materials). Subsequently, pulsed currents are applied to maintain the elevated temperature for a specified duration. With the combination of compressive deformation and effects (thermal and athermal) of electric current, the two dissimilar sheets are successfully joined in a solid state through diffusion. Nugget pull-out failure is observed after the shear tensile test, indicating the satisfactory structural integrity and reliability of the joint. Additionally, optical microscopy analysis of the joint cross-sections reveals successful joining without macro-effects. The experimental results clearly indicate that EA-SSJ is a feasible method for joining dissimilar steel and aluminum alloys.

**Keywords:** SAGUD steel; Aluminum 6451 alloy; Solid state; Spot joining; Dissimilar materials; Electrically assisted.

#### Acknowledgment:

This result was supported by "Regional Innovation Strategy (RIS)" through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(MOE)(2021RIS-003)

---

1. 울산대학교 기계공학부, 대학원생  
2. 현대자동차 제조SI기술개발3팀, 매니저  
3. 현대자동차 차체재료개발팀, 연구원  
# 울산대학교, 기계공학부, 교수, sthong@ulsan.ac.kr

# Cermet 분말을 이용한 고내열 표면강화 기술

하형진<sup>1,2</sup>·하동훈<sup>1</sup>·홍지일<sup>1</sup>·심도식<sup>#</sup>

## Surface Hardening to Improve Thermal-Resistance Using Directed Energy Deposition and Cermet Powder

H. J. Ha, D. H. Ha, J. I. Hong, D. S. Shim

### Abstract

실제 산업에서 프레스금형을 이용하여 알루미늄 판재를 전단가공을 할 시에 금형 표면과 제품의 마찰로 인한 열에 의해 알루미늄이 금형 표면에 소착되는 문제가 발생한다. 이를 개선하기 위해서는 금형 소재의 표면강화를 통해 알루미늄에 대한 소착성을 낮추는 방법을 검토해 볼 수 있다. Cermet 코팅은 세라믹과 금속의 특성을 결합한 복합 코팅으로, 항공우주, 자동차, 제조 및 전자 산업에서 널리 사용된다. 본 연구에서는 직접에너지적층(Directed energy deposition, DED) 공정을 사용하여 WC10%-Ni60AA cermet 분말을 SKD61에 적층하고, 코팅층의 내열성을 평가하였다. 적층을 위해서는 주요 DED 공정변수가 적절히 선정되어야 하며, 그렇지 않을 경우에는 기공 및 크랙과 같은 결함이 발생하였다. 열처리된 SKD61의 평균 경도는 550 HV였으며, 코팅층의 평균 경도는 680 HV로 증가하였다. 내열성 평가를 위해 레이저 펄스를 이용해 모재를 상온에서부터 500°C까지 가열하여 열전도도를 측정하였다. Cermet 적층재는 열처리된 SKD61 보다 낮은 열전도도를 보였으며, 온도가 증가함에 따라 열전도도의 상승률에서도 차이를 보였다. 이는 cermet 코팅이 열차폐 기능을 갖추고 있음을 입증한다. 코팅층 표면과 알루미늄 간의 소착 특성을 확인하기 위해, 핀온디스크(pin-on-disc) 방식으로 마모시험을 진행하였다. 실험 결과, 열처리된 SKD61 표면에서 소착의 흔적이 나타났으며, 마찰 열에 의해 알루미늄 핀에서 소성변형이 일어나 길이가 크게 감소하였다. 반면, cermet 코팅층 표면에서는 소착의 흔적은 없었다. 시편의 단면을 SEM-EDS 분석한 결과, 열처리된 SKD61 표면에 두꺼운 알루미늄 소착층이 형성되었으며, cermet 코팅층 표면에서는 소착층이 발견되지 않았고 마모가 관찰되었다. 열처리된 SKD61은 높은 열전도도 때문에 마찰 중 발생한 열이 빠르게 표면에 전달되어 표면 온도가 상승하였고, 이로 인해 소착층이 두껍게 형성되었다. 반면, cermet 코팅층은 낮은 열전도도로 인해 표면 온도 상승이 억제되어 소착 현상이 일어나지 않았다. 본 연구는 WC10%-Ni60AA cermet 분말을 이용한 표면 코팅이 내열성을 극대화하며 산업적 적용 가능성이 있음을 확인하였다.

**Keywords:** Cermet, Directed energy deposition, Thermal-resistance, Thermal conductivity, Adhesion

1. 국립한국해양대학교 신소재융합공학과

2. 국립한국해양대학교 해양신재생에너지융합공학

# 국립한국해양대학교 해양신소재융합공학과, 정교수, E-mail:think@kmou.ac.kr

# CAE를 이용한 1.5GPa급 루프레일 부품 성형성 검토

이세진<sup>1</sup>· 권바다<sup>1</sup>· 김재희<sup>1</sup>· 이창민<sup>1</sup>· 이경민<sup>2</sup>· 전승훈<sup>2</sup>· 김세호<sup>#</sup>

## CAE-based Validation of Formability of a Roof Rail with UTS of 1.5GPa

S. J. Kim, B. D. Kwon, J. H. Kim, C. M. Lee, K. M. Kee, S. H. Jun, S. H. Kim

### Abstract

본 논문에서는 CR 1.5GPa급 강판을 적용하여 프레스성형 공정으로 제작되는 루프 레일 부품의 성형성 개선을 위하여 성형공정의 유한요소해석을 이용하여 초기 검토한 사례를 소개하고자 한다. 1.5GPa급 강판을 적용하고 더블 드로우 타입의 성형공법을 이용한 경우 엠보싱 부에서 네킹 및 파단이 발생하고, 블랭크 홀딩력으로 개선이 불가능한 주름이 잔존하여 제품형상 변경이 필수적이다. 이를 개선하기 위해서 고연신 1GPa급 냉연강판을 적용하는 방법과 열간 프레스성형(Hot Press Forming)을 적용하는 방안이 해석을 통하여 검토되었다. 1GPa급 강판을 적용한 경우에는 네킹과 파단의 가능성은 존재하나 기존 경우보다 개선되었으며 주름량도 개선되어 현장작업 및 세부 설계변경으로 성형문제의 해결이 가능하다고 판단되었다. 스프링백의 경우에는 3mm 수준으로 분포되어 금형보정으로 해결이 가능할 것으로 판단된다. 열간 프레스 가공의 경우 공정 후 전체 판별이 마르텐사이트로 변태할 것으로 예측되어 인장강도 1.5GPa 확보가 가능할 것으로 보이며, 주름 발생은 1GPa급 소재의 경우와 유사하게 예측되어 공정변수 제어로 개선이 가능할 것으로 예상된다. 스프링백은 3mm 수준으로 분포하고 있으나 기존 냉간성형 대비 개선된 결과를 보이고 있어 HPF의 적용이 냉간성형 대비 제품 강도와 형상정밀도 측면에서 우수한 결과를 보였다.

**Keywords:** Roof Rail, 1.5GPa, Cold Forming, Hot Press Forming, Formability, Springback

### 후 기

본 연구는 경상북도와 영천시에서 지원하는 영천 스마트 모빌리티 혁신인재 양성사업 수행의 결과입니다.

1. 대구대학교 기계자동차공학부, 학부생

2. ㈜영진 기술연구소

# 대구대학교 기계자동차공학부, 교수, E-mail: mvksh@daegu.ac.kr



# 모노블럭의 역구배 치형 성형을 위한 냉간단조 금형의 수명 향상에 관한 연구

이인규<sup>1, #</sup>, 이성윤<sup>1</sup>, 임한비<sup>2,3</sup>

## A Study on Improving Life of Cold Forging Dies for Back-Taper Tooth Forming of Mono-Block

I. K. Lee, S. Y. Lee, H. B. Im

### Abstract

치형 성형을 위한 냉간단조 금형은 치형부에서 높은 응력이 발생되어, 금형의 수명이 저하되는 문제점이 지속적으로 발생되고 있다. 특히, 역구배 형상을 가지는 모노블럭(Mono-Block)은 일반적인 단조 금형과는 달리 원주방향으로 배열된 핀에 의해 성형되기 때문에 구조적으로 수명을 더욱 확보하기 어렵다. 본 연구에서는 역구배 치형을 가지는 모노블럭을 제조하기 위한 냉간단조 1, 2공정 금형의 마모/피로수명을 향상하기 위해 유한요소해석과 인공신경망학습법으로 공정을 개선하였다. 또한, 적합한 금형 소재를 선정하기 위해 냉간단조 금형 소재(STD11, SKH51, PM60, V4E, CALDIE, YXR3)에 따른 마모/피로수명을 예측하였다. 기존 냉간단조 공정의 금형 소재는 STD11으로 공정 개선을 통해 1공정의 마모/피로수명은 각 11,905타 / 260,889타, 2공정의 마모/피로수명은 각 6,057타 / 6,011타 향상된 예측 결과를 보였다. 냉간단조 금형 소재를 기존 STD11에서 SKH51, PM60, V4E, CALDIE, YXR3로 변경하였을 때, V4E가 가장 우수한 마모/피로수명 결과를 보였다. 하지만 금형 제작비 등의 경제성을 고려하였을 때, 1공정의 마모/피로수명이 각 295,455타 / 959,742타 이상, 2공정의 마모/피로수명이 각 175,483타 / 300,818타 향상된 예측 결과를 보인 YXR3가 역구배 치형 성형을 위한 냉간단조 금형의 소재로 가장 적합한 것으로 판단된다.

**Keywords:** Mono-Block, Cold Forging, Fatigue Life, Wear Life

\* 이 논문은 2024년도 중소벤처기업부의 ‘중소기업기술혁신개발사업 소부장전략’의 지원을 받아 연구되었음(No. RS-2023-00221395).

1. 한국생산기술연구원 대경기술실용화본부 모빌리티부품그룹, 선임연구원

2. 한국생산기술연구원 대경기술실용화본부 모빌리티부품그룹, 연구원

3. 경북대학교 대학원 기계공학부, 대학원생

# 교신저자: 한국생산기술연구원 대경기술실용화본부 모빌리티부품그룹, 선임연구원, E-mail: lik1025@kitech.re.kr

# 인코넬 625 합금의 레이저 직접 에너지 적층 제조시 휘어짐 및 잔류응력 유한요소해석

박찬호<sup>1</sup>, 진칭예<sup>1</sup>, 정종욱<sup>1</sup>, 박민수<sup>1</sup>, 최규철<sup>2</sup>, 김동현<sup>2</sup>, 김두리<sup>2</sup>, 이강재<sup>2</sup>, 이욱진<sup>1#</sup>

## Finite Element Analysis of Distortion and Residual Stress in Laser Direct Energy Deposited Inconel 625 Alloy

Chanho Park, Qing-Ye Jin, Jongwook Jung, Minsu Park, Kyuchoul Choi, Dong-Hyeon Kim, Dury Kim,  
Kangjae Lee, Wookjin Lee

### Abstract

L-DED (Laser Direct Energy Deposition, 레이저 직접 에너지 적층) 공정은 고에너지 레이저로 용융풀을 만듦과 동시에 금속 분말을 용융풀에 직접 분사하여 레이저로 용융시키며 재료를 층층히 쌓아 3차원의 형상을 제조하는 금속 적층 제조 공정으로, 복잡한 3차원의 형상을 비교적 빠르게 제작할 수 있고 모재의 형상에 제약이 없는 등의 장점으로 부품의 보수 및 국부강화 등에 널리 활용되고 있다. 그러나 L-DED는 공정 특성상 레이저를 이용한 국부적인 입열과 빠른 냉각 속도로 인해 적층재 내부에 복잡한 형태로 잔류 응력이 형성되며, 이러한 잔류 응력은 휘어짐을 일으켜 최종 부품의 형상을 의도한 설계와 동떨어지게 하거나 극심한 경우에 부품의 박리 및 균열과 같은 결함을 초래하기도 한다. 휘어짐 및 뒤틀림 현상을 설계에 반영하는 응력보상설계를 도입하고 잔류응력 집중부위를 완화시키는 설계를 하기 위해서는 L-DED 공정중 잔류 응력 및 휘어짐 형성 거동을 예측할 수 있는 해석모델이 필요하다.

본 연구는 인코넬 625 합금을 L-DED를 이용하여 적층 제조할 때, 잔류 응력 형성 거동을 분석하고 이를 예측할 수 있는 유한 요소 해석 모델을 개발하는 것을 목표로 하였다. 레이저 스캔 방향에 따른 잔류 응력을 실험을 통해 알아보기 위해 직육면체 형태의 모재를 준비하여 모재 상단에 90도 틸팅 및 일방향의 두 가지 적층전략으로 인코넬 625 합금을 두께를 달리하여 L-DED 적층, 모재의 휘어짐을 측정하여 잔류응력을 정량적으로 분석하였다. 분석 결과를 토대로 L-DED 각 층의 수축률을 변수로 하는 유한요소 해석 모델을 설계하였다.

**Keywords:** Laser Direct Energy Deposition, Residual Stress, Finite Element Analysis

1. 부산대학교 재료공학부

2. DN 솔루션즈

# 부산대학교 재료공학부, 조교수, E-mail: wookjin.lee@pusan.ac.kr

## 육군과학화 훈련단(KCTC) 대형불출함 케이스 국산화 개발

김지훈<sup>1</sup>· 권정재<sup>2</sup>· 박상범<sup>#</sup>

### Development of localization of Korea Combat Training Center (KCTC) large reusable packaging container

J. H. Kim, J. J. Kwon, S. B. Park

#### Abstract

This research describes the development process of localization for the large reusable packaging container using in the Korea Combat Training Center (KCTC). Currently, in Korea, large reusable packaging container is 100% dependent on imported products and having difficulties in supply due to the external environment (COVID-19), increase of logistics cost, delivery delay, design changes and insufficient follow-up support response. To solve these difficulties, research and development is underway with the goal of reducing the price by 20~25% compared to existing products while having the same or higher performance as existing products. If this research is successful, it is expected to contribute to the localization of the engineering packaging industry by simultaneously securing price competitiveness and technological competitiveness in the country.

**Keywords:** Korea Combat Training Center, Large reusable packaging container

---

1. (주)지브이엔지니어링, 기술연구소, 주임연구원

2. (주)지브이엔지니어링, 기술연구소, 책임연구원

# (주)지브이엔지니어링, 기술연구소, 수석연구원, E-mail:spark@gv-engineering.com:

# 공정 진동 신호 경향에 따른 사출제품 생산 변화 모니터링에 대한 연구

이준한<sup>1</sup>, 이효은<sup>2</sup>, 김종선<sup>3,#</sup>

## Detection of production changes based on vibration trends according to changes in the injection molding process

J. H. Lee, H. E. Lee, J. S. Kim

### Abstract

In this study, IoT edge devices with acceleration sensor were installed on the surface of the mold to collect real-time vibration signals generated by the mold during the injection molding process. To analyze the variations in the collected signals, injection molding was conducted under six distinct process conditions. The analysis of the mold vibration signals based on the different process conditions revealed trends and patterns. To build on these findings, cosine similarity was employed to facilitate a comparison of the changes in vibration signal patterns. The time and acceleration vector space similarities between the collected data were examined to gain insight into the similarities and differences between the data sets. As a result, the cosine similarity under the same conditions for all six process settings remained similar at around 0.9. However, when different process conditions were applied, the cosine similarity value decreased to below 0.5. From these results, a cosine similarity threshold was established. By applying this threshold to the analysis of the vibration signals generated by the mold, it was possible to determine whether the molding process was stable or whether variations were occurring due to changes in process conditions.

**Keywords:** Injection Molding, Vibration, Acceleration, Process Pattern, Process Monitoring

**Acknowledgements:** This research is supported by the project (No. 00140364, SE240060) and the project (IR230090).

- 
- 한국생산기술연구원 디지털생산부문, 박사후연구원(포스트닥터)
  - 단국대학교 기계공학과, 석사과정, 한국생산기술연구원 디지털생산부문 근로연수생
  - 한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소 디지털생산부문, 수석연구원
- # 한국생산기술연구원 디지털생산부문, 수석연구원, E-mail: libra74@kitech.re.kr

# 온간 압축 과정에서 Zn-Al-Mg 합금의 동적 연화 거동에 미치는 Y 원소의 영향

서위걸<sup>1</sup>, 양동주<sup>2</sup>, 최시훈<sup>#</sup>

## Effect of Yttrium (Y) on the Dynamic Softening Behavior of Zn-Al-Mg Alloys During Warm Compression

W. G. Seo, D. J. Yang, S. H. Choi

### Abstract

최근 Zn 합금은 인체에 무해하고, 마그네슘과 철 사이의 중간 정도의 연화 거동을 보여 바이오 소재로 주목받고 있다. 또한, 철강 소재의 내식성을 향상시키기 위한 도금 소재로도 사용되고 있다. 빌렛을 제조하기 위해, Zn-2wt%Al-1wt%Mg-xwt%Y 합금을 높이 100 mm, 직경 75 mm의 원형으로 주조하였으며, 여기서 Y의 함량은 0.2wt%, 0.6wt%, 1.0wt%로 설정하였다. 주조된 시편의 조성을 균일화하기 위해 250°C에서 3시간 동안 균질화 열처리를 수행하였다. 열처리된 소재는 높이 15 mm, 직경 10 mm 크기로 가공하여 Gleeble 압축 시험 시편을 제작하였다. Gleeble 압축 시험은 100°C의 온도와 1/sec의 변형률 속도에서 수행되었다. 압축 중 동적 연화 거동을 분석하기 위해, 변형률에 따라 중단 시험을 실시하였다. 중단된 시편의 미세조직 분석은 SEM과 EBSD를 사용하여 수행되었으며, GAM 분석을 통해 동적 재결정 분율을 계산하였다. 이러한 결과를 바탕으로 Zn-Al-Mg 합금에서 Y 함량이 동적 재결정 거동에 미치는 영향을 분석하였다.

**Keywords:** Zn alloy, Yttrium, Dynamic Softening, Compression, Recrystallization

1. 국립순천대학교 첨단부품소재공학과, 대학원생

2. ㈜하나스틸, 연구소장

# 순천대학교, 첨단부품소재공학과, shihoon@scnu.ac.kr

# LNG선 멤브레인용 Invar 합금강(Fe-36%Ni)의 냉간압연 공정에 관한 연구

손승익<sup>1#</sup> · 김준태<sup>1</sup> · 이율<sup>1</sup> · 손재호<sup>1</sup>

## A Study on the cold rolling process in Invar alloy steel for membrane contains of LNG carriers

S. I. Son, J. T. Kim, Y. Lee, J. H. Son

### Abstract

액화천연가스(Liquefied natural gas, LNG)에 대한 수요 증대로 인해 국내 조선업계의 LNG 선박의 발주 또한 증가하고 있는 추세이다. LNG 저장을 위한 화물창의 핵심 소재는  $-163^{\circ}\text{C}$ 의 극저온 환경에서 우수한 기계적 특성이 요구된다. 이를 만족하는 여러 소재들 중 Invar 합금강(Fe-36%Ni)은 국내생산이 가능하지만 멤브레인(Membrane)의 일체형 타입의 LNG 화물창은 프랑스의 GTT(Gaztransport & Technigaz SA)사가 라이선스를 보유하고 있어 Invar 합금강을 전량 수입에 의존하고 있다. 또한 제품군에 대한 규정이 까다로워 GTT 소재 인증 확보하기 어려운 실정이다.

본 연구는 LNG선박 화물창용 Invar 합금강 소재 국산화 필요성에 따라 소재 제조 공정 최적화에 대한 연구를 진행하였고, 수입제품과 동등 이상의 품질 수준을 확보하였다. 또한 품질 확보를 위한 결함 검출 시스템을 도입하여 고품질의 Invar 합금강 소재 개발을 하였다. 해당 연구 결과를 통하여 국내 조선사의 LNG선 화물창용 소재 수급 애로사항에 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

**Keywords:** LNG carrier, membrane, Invar 36 alloy, Roll-to-roll

### Acknowledgments

이 연구는 2021년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (과제번호 20015935)

1. 풍산특수금속 기술연구소

# 풍산특수금속, 기술연구소, 연구원 sison@poongsan.co.kr

## 최적화된 미세구조 변수와 TTT 곡선을 이용한 개선된 경도 예측

모하마드카스완디라자리<sup>1</sup>·정석환<sup>1</sup>·김민철<sup>2</sup>·문호근<sup>3</sup>·전만수<sup>#</sup>

# Enhanced Hardness Prediction with Optimized Microstructural Parameter and TTT-Curve

M. K. Razali, S. H. Chung, M. C. Kim, H. K. Moon, M. S. Joun

### Abstract

This study uses a finite element optimization technique to improve the accuracy of hardness prediction in materials. The process focuses on optimizing important microstructural parameters, heat transfer coefficients, and adjusting TTT-curves for better results. The method provides accurate outcomes when compared to simulations using reference parameters. It effectively optimizes grain sizes and TTT curves, producing phase fraction predictions that match experimental data. With the optimized grain sizes, phase fractions, and Hall-Petch variables, the final hardness is calculated. This approach integrates the effects of dynamic recrystallization (DRX) and work hardening (WH), providing an accurate and reliable method for hardness prediction.

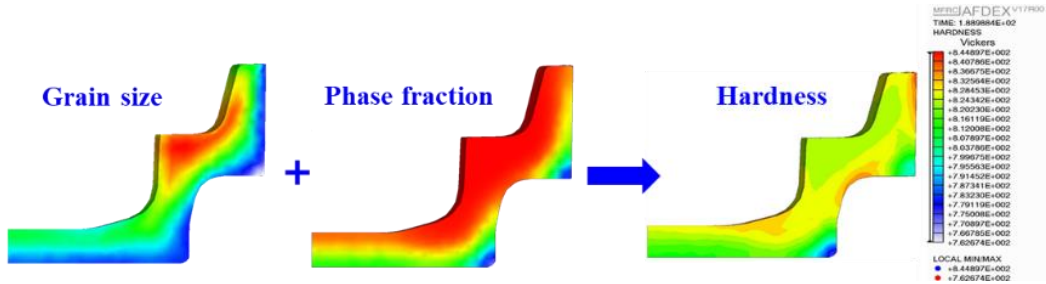


Fig. 1 Hardness prediction

**Keywords:** Finite element method, Hardness prediction, Microstructural parameters, TTT-curves

### 사사

이 연구는 중소벤처기업부의 스마트 제조혁신 기술 개발사업(R&D)(RS-2024-00446241)의 지원으로 수행됨.

### 참고문헌

1. (주)엠에프알씨, 선임연구원
  2. (주)엠에프알씨, 책임연구원
  3. (주)엠에프알씨, 이사
- # 교신저자: 경상국립대학교 기계항공공학부, 교수  
E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

- [1] M. Irani, S. H. Chung, M. C. Kim, K. O. Lee, M. S. Joun, 2020, Adjustment of isothermal transformation diagrams using finite-element optimization of the jominy test, *Metals*, Vol 10, 931.
- [2] S. N. Naik, S. M. Walley, 2020, The Hall-Petch and inverse Hall-Petch relations and the hardness of nanocrystalline metals, *J. Mater. Sci.* Vol. 55, 2661.

# 압축 성형된 PET Felt의 기계적 물성 변화에 관한 연구

정의철<sup>1</sup> · 김용대<sup>2</sup> · 이준희<sup>3</sup> · 김용호<sup>3</sup> · 양철규<sup>3</sup> · 이성희<sup>1, #</sup>

## A Study on the Variation of Mechanical Properties of Compression molded PET Felt

E. C. Jeong<sup>1</sup>, Y. D. Kim<sup>2</sup>, J. H. Lee<sup>3</sup>, Y. H. Kim<sup>3</sup>, C. K. Yang<sup>3</sup>, S. H. Lee<sup>1, #</sup>

### Abstract

본 연구에서는 재활용이 가능한 경량 언더커버를 개발하기 위하여 기존 다적층(Multi-layer) 복합소재로 구성된 자동차 언더커버를 PET Felt 단일소재로 변경하고, 소재의 물성특성과 소재 적용 언더커버의 온도변화를 고려한 설계를 위해 압축 성형된 PET Felt의 기계적 특성 변화에 관한 연구를 수행하였다. 언더커버는 차량의 하부 충격 및 엔진 발열에 대한 강성 및 흡음성이 요구되며, PET Felt 소재는 흡음성이 우수하나 기공을 많이 포함하고 있어 여러 압축공정을 거치며 기계적 특성이 변화하는 특징을 가지고 있다. 따라서, 언더커버 부품의 제작공정의 성형 공정조건에서 PET Felt 소재의 표준 인장시편을 제작하여, 소재의 압축성형 후 서로 다른 온도, 두께, 변형률 속도(Shear rate) 조건에서 소재의 기계적 특성 변화를 확인하였다. 서로 다른 두께 (2.0, 2.5, 3.0 mm)의 시편은 25°C에서 시험되었으며, 3.0 mm 두께의 시편에서 영률(Modulus)은 약 40%, 최대 인장강도는 약 37%의 감소를 보였다. 서로 다른 변형률 속도(5, 100, 500, 1000 mm/min) 조건은 두께 2.0 mm 시편이 25°C에서 수행되었으며, 변형률 속도 변화에 따라 영률은 약 13%, 최대 인장강도는 약 9%의 변화를 보였다. 서로 다른 온도 조건(15, 25, 50, 75, 100, 200°C)의 시편은 75°C 이상의 온도에서 영률과 최대 인장강도가 급격하게 감소하였으며, 특히 100°C 이상의 고온 환경에서 상온 대비 영률은 약 90%, 최대 인장강도는 약 50% 감소하였다. 이를 통해, 언더커버 설계 시 소재의 강성 저하를 피하기 위해서 언더커버는 두께 2.5 mm 이하로 설계되어야 하며, 흡음 성능 뿐만 아니라 온도 변화에 따른 언더커버의 변형특성 평가가 추가적으로 필요함을 알 수 있다.

**Keywords:** Compression molding, Lightweight, PET Felt, Tensile properties, Under cover

**Acknowledgement:** 본 연구는 “중소벤처기업부 구매조건부신제품개발사업(S3377093)”의 지원을 받아 수행되었습니다.

- 한국생산기술연구원 디지털생산부문, 포스트닥터
- 한국생산기술연구원 지역산업혁신부문, 수석연구원
- (주)에스피엘, 과장, 이사, 전무

# 한국생산기술연구원 디지털생산부문, 수석연구원, E-mail:birdlee@kitech.re.kr



# 금형 형상 변화에 따른 열간 포트홀 압출공정 해석

이성윤<sup>1#</sup>, 이인규<sup>1</sup>

## Analysis of Hot Porthole Extrusion Process Based on Die Shape Variation

S. Y. Lee, I. K. Lee

### Abstract

기후 변화에 대한 국제적 대응의 일환으로, 많은 주요 국가들이 탄소 중립을 목표로 노력하고 있다. 이러한 노력 중 하나로 친환경 차량의 보급과 차량 경량화를 통한 항속거리 확보에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 차량 경량화 소재 중 알루미늄은 우수한 강도 대비 낮은 중량, 내식성, 가공성 등의 장점으로 인해 배터리 팩 프로파일부터 차체의 다양한 부품에 이르기까지 널리 사용되고 있다. 차량 경량화에 대한 요구가 증가함에 따라 알루미늄 부품의 형상이 더욱 복잡해지고 있으며, 이를 대응하기 위해서는 고도화된 성형 기술과 금형 설계 기술의 확보가 필요하다. 본 연구에서는 비대칭 형상의 복잡한 브라켓 렛치 로어 부품을 압출하기 위해 금형 형상 변화에 따른 성형성을 유한요소 해석을 통해 분석하였다. 성형 해석은 DEFORM-3D를 사용하였으며, 포트홀 압출 금형 및 접합 금형의 형상 변화가 최종 성형부의 속도 분포에 미치는 영향을 분석하였다. 해석 결과를 바탕으로 실제 압출에 적용하여 제품의 치수 정밀도를 평가하였다.

This study has been conducted with the support of the Korea Institute of Industrial Technology as “Digital transfer project of Ppuritechnology master know-how (KITECH IL-24-0018, KITECH UR-24-0021)”

This research was financially supported by the Ministry of Small and Medium-sized Enterprises(SMEs) and Startups(MSS), Daegu Regional Institute of Industrial Advancement(DGRIIA), Korea, under the “Regional Specialized Industry Development Program+(R&D, S3365201)” supervised by the Korea Technology and Promotion Agency for SMEs(TIPA)

**Keywords:** Extrusion, Aluminium, porthole Extrusion, ‘FEM

# 나노 석출물과 전위 상호작용의 마이크로 범위 모델링

연경미<sup>1</sup>, 심규장<sup>1</sup>, 류일<sup>#</sup>

## Mesoscale modeling of dislocation interaction with nanoprecipitates

K. Yeon<sup>1</sup>, G. Sim<sup>1</sup>, I. Ryu<sup>#</sup>

### Abstract

전위와 나노석출물 간의 상호작용을 이해하는 것은 첨단 재료의 기계적 특성을 예측하고 최적화하는 데 매우 중요하다. 본 연구에서는 전위 동역학(DD)과 유한요소법(FEM)을 결합한 마이크로 범위 모델을 개발하여, 전위가 나노석출물과 상호작용하는 동작을 조사하였다. 특히, 이 연구의 핵심은 석출물과 모재(matrix) 간의 탄성 계수가 다르므로써 발생하는 응력 분포를 직접적으로 전위 동역학 계산에 반영하는 데 있다. 이를 통해 전위와 나노석출물 간의 상호작용을 보다 정확하게 분석하고, 변형 메커니즘을 규명할 수 있다. 또한, 초기 전위 밀도, 전위-석출물 상호작용 유형, 석출물 체적 분율이 거시적 기계적 특성에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 수 있다. 본 모델을 통해 다양한 하중 조건에서의 미세구조 진화를 분석할 수 있으며, 고강도와 고성능을 지닌 재료 설계에 중요한 정보를 제공할 수 있다.

**Keywords:** Structural materials, Multiscale modeling, Dislocation dynamics, Finite element method, Nanoprecipitates

1. 서울대학교 재료공학부, 대학원생

# 서울대학교 재료공학부, 조교수, E-mail: ryuill@snu.ac.kr

# 암모니아 연료 추진 선박의 27bar, 30m<sup>3</sup>/h 급 N<sub>2</sub> 퍼징 시스템 개발

정소현<sup>#</sup>, 이계승<sup>2</sup>

## Development of 27bar, 30m<sup>3</sup>/h class N<sub>2</sub> Purging System for Ammonia Fuel Ship

S.H. Jung, K.S. Lee

### Abstract

The global shipbuilding and shipping industry is expected to focus on ordering and building ammonia-fueled vessels in response to IMO 2030(CO<sub>2</sub> reduction by 40%). When the fuel supply system is shut down or the engine stops in the ammonia propulsion line, N<sub>2</sub> purging should be performed to prevent explosion due to the remaining ammonia in the piping and engine and to remove toxic gases, and only 25 ppm or less of ammonia should be discharged. In this study, we developed an N<sub>2</sub> supply system to stably supply more than 27 bar of nitrogen suitable for the capacity of 20 bar of ammonia fuel supply system. All systems were configured in a 20ft standard for ease of transportation and installation of the N<sub>2</sub> purging system, and the performance test was performed by creating an environment similar to the actual operating conditions.

**Keywords:** Ammonia fuel ship, N<sub>2</sub> Supply System, Membrane type N<sub>2</sub> generator, N<sub>2</sub> purging

### 1. 서론

글로벌 조선·해운 업계는 온실가스 규제(IMO 2030, CO<sub>2</sub> 40% 저감)에 대응하기 위해 암모니아 연료 추진 선박에 대한 집중적인 발주 및 건조가 이루어질 것으로 예상되어진다. 유럽을 비롯한 조선 해양 선진국들은 IMO에서 주도하고 있는 주요 온실가스 정책 및 관련 산업 기술의 선점을 통해 후발국과의 차별화된 수단을 확보하기 위해 역량을 집중하고 있으며, 이에 따라 국내에서도 암모니아 추진선의 핵심 기자재 개발에 집중 투자하고 있다.

암모니아 추진선에서 연료공급시스템의 셧다운 혹은 엔진 이상 발생 시 배관 및 엔진 등에 남아있는 암모니아로 인한 폭발 방지 및 유독성 가스 제거를 위하여 질소 퍼징(N<sub>2</sub> purging)을 실시하며, 25ppm 이하의 암모니아만 배출될 수 있도록 하여야 한다. 질소는 지구 대기에서 가장 많은 비중을 차지하기 때문에 대기중의 질소만을 추출하여 공급하는 시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 27bar 이상, 30m<sup>3</sup>/h 이상의 질소를 안정적으로 공급하기 위한 질소공급 시스템은 압축공기 공급, 질소생산, 질소가압, 질소퍼지의 4단계 시스템으로 구성하였으며, 멤브레인(membrane) 방식을 적용하여 대용량의 질소를 안정적으로 공급할 수 있도록 하였다. 이러한 질소공급시스템의 구성도 설계, 퍼지 용량, 히터 용량, 콘트롤밸브 용량, 저장탱크 용량 및 압력 등에 대한 상세 설계를 수행하였다. 본 개발에서는 질소 퍼징 시스템의 운송 및 설치 등의 용이성을 위하여 20ft 표준 컨테이너에 모든 시스템을 구성하였고, 실제 운용 조건과 유사한 환경을 조성하여 성능시험을 수행하였다.

본 연구는 “2023년도 경상남도 암모니아 연료 활용 선박 규제자유특구사업(암모니아 혼소 연료추진시스템 선박 구축사업)”에 의해 수행되었습니다.

#. 엠엔에스아이(주), 연구원, E-mail: shjung@mnsi.co.kr

2. 엠엔에스아이(주), 대표

# 다구간 홀딩력 제어를 활용한 수치해석 기반 유입량제어 성형한계 극복 성형 프로세스 설계

이지호<sup>1</sup>, 김태훈<sup>1,2</sup>, 이상오<sup>1</sup>, 송정환<sup>1</sup>, 이종섭<sup>1</sup>, 박남수<sup>1</sup>, 김민기<sup>1</sup>, 배기현<sup>#</sup>

## Forming Process Design for Overcoming Forming Limits through Numerical Analysis-Based Draw-In Control Utilizing Multi-Stage Blank Holding Force Control

J. H. Lee, T. H. Kim, S. O. LEE, J. H. Song, J. S. Lee, N. S. Park, M. K. Kim, G. H. Bae

### Abstract

최근 환경 및 연비 규제 강화에 따라, 친환경 차량 부품의 충돌 성능 확보와 경량화를 위해 초고강도강, CFRP 등 난성형성 소재가 적용되고 있다. 이러한 부품의 효율적인 제조를 위해서 성형 한계를 극복하는 프로세스 개발이 필수적이다. 이를 위해 본 연구에서는 수치해석 기반의 다구간 홀딩력 제어 기술을 활용한 성형 프로세스 설계 기법을 제안한다.

본 논문에서는 Oil Pan의 성형 한계를 극복하기 위해 수치해석 기법을 바탕으로 다구간 홀딩력을 검토했고, 유입량 제어를 통해 성형 깊이 등 성형 한계 극복 가능성을 모색하였다. 성형 해석을 위해 300MPa급 이상의 Mild Steel 판재를 사용하여 제작된 Oil Pan 금형을 대상으로 균일하중 조건에서 가압력에 따른 유입량 및 주름량을 정량적으로 평가하였다. 이후 해석 결과와 성형된 모사품을 1:1로 비교했고 다점 쿠션 제어를 통한 성형성 확보 가능성을 검토했다. 또한, AutoForm을 사용해 다점 쿠션 제어 범위를 모사하여 Sigma 해석 기법을 통해 파단 및 주름이 발생하는 시점을 세분화했고 성형한계 극복을 위해 시점별 홀딩력을 최적화하였다. 최종적으로, 단일 금형에서도 성형한계 극복이 가능함을 확인하였다.

**Keywords:** Forming, Sheet Metal Forming, Stamping, Die, Blank Holding Force Control, Formability, Overcoming Forming Limit, Multi Stage, Design Technique

**Acknowledgement** 이 연구는 한국생산기술연구원 산업통상자원부 “프레스 성형품질 제어를 위한 다점수치제어 다이쿠션 및 공정 모니터링 모듈 개발(KITECH 20018327)”의 지원으로 수행한 연구입니다.

1. 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소, 유연생산연구부

2. 인하대학교

# 한국생산기술연구원, 유연생산연구부, 수석연구원, Email: baegh@kitech.re.kr