

2016년도 한국소성가공학회

# 추계학술대회 초록집

일 시 : 2016년 10월 6일(목)~7일(금)

장 소 : 라마다프라자제주호텔

주 최 : 한국소성가공학회

# 2016 년도 추계 학술대회 및 정기총회 초 록 집

- ◎ 일시 : 2016 년 10 월 6 일(목)~7 일(금)
- ◎ 장소 : 라마다프라자제주호텔
- ◎ 주최 : 한국소성가공학회

# 제 1 발표회장

2016. 10. 6(목)

▶ 한라

**◎ 특별세션 - 정밀단조 시뮬레이션 기술과 응용**

**(13:00~15:00)**

**좌 장 : 정완진(서울과기대)**

13:00~13:20	AFDEX 탄소성 변형해석에 의한 금형탄성변형	김효동*, 김현우, 유제형, 이재빈, 정완진(서울과기대)
13:20~13:40	장축볼트 롤단조 공정의 해석결과의 실험적 검증	진호태*, 전만수(경상대), 남태현, 강석순(㈜한국샤프트)
13:40~14:00	핫프레스포밍 후 냉간 피어싱공정에서 펀치 파손에 관한 연구	홍석무*, 권순호, 이호성(공주대), 진홍교(엠에스오토텍), 엄재근(㈜MFRC)
14:00~14:20	정밀냉간단조 공정의 온도영향을 고려한 스프링백 해석	전만수*(경상대), 정석환(㈜엠에프알씨), 황태민(성진포머), 정완진(서울과기대)
14:20~14:40	강소성 유한요소해석 열간단조 공정 중 금형의 변형에 관한 해석적 및 실험적 연구	황효열*(우성메텍), 정승원(㈜엠에프알씨), 전만수(경상대)
14:40~15:00	프레스의 탄성변형을 고려한 단조공정의 해석	Akash Meena*, 전만수(경상대)
15:00~15:20	<b>Coffee Break</b>	

**◎ 특별세션 - 고강도 스테인리스강의 인발 기술 개발**

**(15:20~17:00)**

**좌 장 : 이광석(KIMS)**

15:20~15:40	멀티 롤 다이 인발 공정의 기하학적 설계에 관한 연구	김정훈*, 김병민(부산대)
15:40~16:00	등가환산법을 이용한 멀티 롤 다이 인발공정의 하중예측	김세환*, 김병민(부산대)
16:00~16:20	오스테나이트계 스테인리스 인발 무계목강관 공정조건과 결정립 미세화 상관관계 연구	이광석*, 이영선(KIMS), 김덕령(세아창원특수강)
16:20~16:40	인발 공정 및 필거 압연 공정에서 스테인리스 무계목 강관 및 접합 강관의 비교 평가	홍성규*, 홍성박(㈜부곡스텐레스), 김병민(부산대)
16:40~17:00	스테인리스강 인발공정 전처리 피막의 흡습성	남궁정*, 이영주, 박중철(포항산업과학연구원), 이광석(KIMS), 김정훈, 김병민(부산대)
17:00~17:40	<b>Coffee Break</b>	

17:40~18:40	<p><b>[개회식 및 정기총회](사회: 김형섭 총무이사)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 제20회 상우학술상 수상식</li> <li>- 제13회 기술상 수상식</li> <li>- 제5회 신진기술상 수상식</li> <li>- 제5회 학술상 수상식</li> <li>- 차기임원 선출</li> <li>- 기타 토의 사항</li> </ul>	<b>한라</b>
18:40~	<b>만찬</b>	<b>탐라</b>

## 제 2 발표회장

2016. 10. 6(목)

▶ 탐라

**◎ 특별세션 - 초고강도 판재 변형제어 냉간 성형 기술 개발**

<b>(13:00~15:00)</b>		<b>좌 장 : 김세호(대구대)</b>
13:00~13:20	초고강도강판 프레스성형용 금형의 CrN 코팅층 마모예측	배상범*, 이정흠, 김세호(대구대), 윤국태, 허재영, 박춘달(DMI)
13:20~13:40	금형구조해석을 활용한 1.5GPa급 초고강도강판 성형용 프레스 금형구조 최적설계	곽정환*, 김세호(대구대), 강경훈(㈜트리니티엔지니어링), 조준행(㈜세원물산)
13:40~14:00	공정변수 산포를 고려한 초고강도강 프레스 성형공정의 스프링백 경향	김세호*, 배상범(대구대)
14:00~14:20	1.5GPa급 초고강도강 냉간성형과 Boron steel Hot-Forming 공법의 성형성 및 구조 성능 비교	오인석*(㈜한국이에스아이), 김종상, 김형종(강원대), 조준행, 윤동렬, 김정훈(㈜세원물산)
14:20~14:40	1.5GPa급 초고강도 냉연강판 적용 자동차 차체부품 제조에 관한 연구	조준행*, 신현일(㈜세원물산), 송정환(생기원), 김형종(강원대), 김영석(경북대)
14:40~15:00	1.5GPa급 초고강도 강판의 가변홀당력에 따른 스프링백 비교	이중안*, 김형종(강원대), 송정환(생기원), 조준행, 김정훈(㈜세원물산)
<b>Coffee Break</b>		

**◎ 특별세션 - 초전도 의료.전력기기 적용을 위한 임계전류 특성이 우수한 6km급 MgB<sub>2</sub> 초전도 선재 및 코일 개발**

<b>(15:20~17:20)</b>		<b>좌 장 : 황덕영(KAT)</b>
15:20~15:40	Comparison of carbon dopants and its effect on the superconducting properties of MgB <sub>2</sub>	Mahipal Ronot*, K. P. Shinde, 오영석, 강성훈, 정국채(KIMS), 장세훈(KAT)
15:40~16:00	Mg,B core/Nb/Cu sheath 정수압 압출제의 Nb와 Cu의 미세조직 및 집합조직 변화 연구	이종범*, 정하국(생기원), 박상용(인하대)
16:00~16:20	MgB <sub>2</sub> 마그넷의 영구전류모드 운전을 위한 무저항 접합 기술 개발	김영균*, 송정빈, 최윤혁, 양동규, 김성겸, 정철희, 김지만, 이해근(고려대), 황덕영(KAT)
16:20~16:40	MgB <sub>2</sub> 선재의 인발 공정에 따른 barrier의 미세조직 및 계면 변화 연구	나신혜*, 김주홍, 김효성, 임재덕, 황덕영(KAT)
16:40~17:00	MgB <sub>2</sub> 전구체 분말의 혼합조건에 따른 초전도 특성 영향	장세훈*, 유현형, 임재덕, 황덕영(KAT)
17:00~17:20	공형압연을 이용한 초전도 MgB <sub>2</sub> 선재 제작	오영석*, 박선명, 이호원, Mahipal Ronot, 강성훈(KIMS), 황덕영(KAT)

<b>Coffee Break</b>		
17:40~18:40	<p>[개회식 및 정기총회](사회: 김형섭 총무이사)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 제20회 상우학술상 수상식</li> <li>- 제13회 기술상 수상식</li> <li>- 제5회 신진기술상 수상식</li> <li>- 제5회 학술상 수상식</li> <li>- 차기임원 선출</li> <li>- 기타 토의 사항</li> </ul>	<b>한 라</b>
18:40~	<b>만찬</b>	<b>탐 라</b>

## 제 3 발표회장

2016. 10. 6(목)

▶ 아라

<b>◎ 특별세션 - 가변 단면 튜브 적용 경량화를 30%이상의 770mm급 일체형 장구동축 복합성형기술 개발</b> <b>(13:00~15:00) 좌 장 : 강성훈(KIMS)</b>		
13:00~13:20	중공축 개발	신승만*(한국프랜지)
13:20~13:40	레이저 하이브리드 용접 판재의 열처리 조건에 따른 기계적 물성 변화에 대한 연구	이호원*, 오영석, 강성훈(KIMS)
13:40~14:00	압연 및 성형에 의한 변단면 판재의 조직학적 분석	손승우*, 이종훈(울산과학기술원)
14:00~14:20	35MnB 용접과이프의 스웨이징 성형 공정 연구	이중섭*, 김용배, 정선호, 임성주, 이상목(생기원), 강성훈(KIMS)
14:20~14:40	롤 포밍에 의한 변형잔류응력이 레이저 하이브리드 용접 잔류응력에 미치는 영향 분석	김태용*, 이영호, 이영석(중앙대)
14:40~15:00	가변단면튜브 롤포밍 공법 개발	김동범*, 조국래, 박상언, 이문용(성우하이텍)
15:00~15:20	<b>Coffee Break</b>	
<b>◎ 특별세션 - 타이타늄 튜브제조를 위한 공정단축형 주조-압출 복합성형기술</b> <b>(15:20~17:20) 좌 장 : 민경호(선우엔지니어링)</b>		
15:20~15:40	타이타늄 튜브제조를 위한 간이복동식 제어 압출기술 개발	배성환*, 민경호(㈜선우엔지니어링)
15:40~16:00	진공유도용해방식으로 제조된 상용 순티타늄 빌렛의 용해도가니에 따른 영향	이형욱*(㈜피디텍)
16:00~16:20	유한요소해석을 이용한 심리스 타이타늄 튜브의 압출 공정 설계	최병진*, 강성훈, 오영석, 이호원(KIMS)
16:20~16:40	비틀림 시험을 이용한 Al-Mg-Si 합금의 고온 변형 특성	이지운*, 김상욱, 정택균, 현승균(인하대), 김세광, 윤영욱, 최호준(생기원)
16:40~17:00	열간 압출공정에서 글래스 패드의 점성계수 측정연구	윤중현*, 송영남(한양대), 강성훈, 이호원(KIMS)
17:00~17:20	고신뢰성 심리스 타이타늄 튜브제조를 위한 파라미터 설계기법에 관한 연구	김재범*, 신영철, 최호준(생기원), 민경호, 최선목(㈜선우엔지니어링)
17:20~17:40	<b>Coffee Break</b>	
17:40~18:40	<b>[개회식 및 정기총회](사회: 김형섭 총무이사)</b> - 제20회 상우학술상 수상식 - 제13회 기술상 수상식 - 제5회 신진기술상 수상식 - 제5회 학술상 수상식 - 차기임원 선출 - 기타 토의 사항	한 라
18:40~	만찬	탐 라

## 제 4 발표회장

2016. 10. 6(목)

▶ 오라

**◎ 특별세션 - 설계기반 미래성형기술 1**

**(11:20~14:20)**

**좌 장 : 구태완(부산대)**

11:20~11:40	사출 성형 공정에서 웰드라인 개선을 위한 인서트 금형의 가열 및 냉각채널 설계	조용하*, 김병민(부산대)
11:40~12:00	유한요소 해석을 활용한 저탄소강에서의 산화층 계면 조도 및 잔류응력이 박리현상에 미치는 영향 분석	이재민*, 노우람, 이명규(고려대), 김득중(포스코)
12:00~12:20	다구찌 기법을 적용한 섬유금속적층판의 층간 접착력 강화에 대한 연구	길민규*, 박으뜸, 박지우, 송우진, 강범수(부산대)
12:20~12:40	T과이프 끝단부 교정 공정에서 톨의 이송량 결정	고필성*, 김병민(부산대), 박종욱(㈜성광기연)
12:40~13:00	실험계획법을 이용한 Al6061-T6의 마찰교반점용접 공정 변수 최적화	조덕상*, 김재홍, 고대철, 김병민(부산대)
13:00~13:20	초고장력강판의 성형공정에서 재료모델이 예측 정밀도에 미치는 영향	서기영*, 강길석, 고대철, 김병민(부산대)
13:20~13:40	초고강도강의 판재성형 공정에서 금형 보정을 이용한 Extension Rear Side Member 개발	한성준*, 김병민(부산대), 김근호(㈜아산)
13:40~14:00	차량용 센터필러 보강재의 CFRP 적층 배열 최적화에 관한 연구	민병진*, 이정민, 김병민, 고대철(부산대)
14:00~14:20	고정밀 슬드 캔 제조를 위한 박판 난성형재의 드로잉 공정에 관한 연구	박민제*, 강길석, 김병민, 고대철(부산대)
14:20~14:40	<b>Coffee Break</b>	

**◎ 특별세션 - 설계기반 미래성형기술 2**

**(14:40~17:40)**

**좌 장 : 송우진(부산대)**

14:40~15:00	초고강도강의 롤 포밍 공정에서 구성방정식에 따른 스프링백 예측	차태원*, 김재홍, 김병민(부산대), 김근호(㈜아산)
15:00~15:20	중공 분할형 터빈 노즐의 후판 성형 공정에 대한 해석적·실험적 연구	곽봉석*, 강병권, 강범수, 구태완(부산대), 윤만중, 전재영(과워엠엔씨㈜)
15:20~15:40	다단 형상 압연 공정에서 연신계수를 고려한 가상금형 적용	정현석*, 김남진, 김병민(부산대), 이철환, 홍리석, 김종성(고려제강)
15:40~16:00	마찰교반 홀 클린징 공법을 이용한 Al6061과 DP980 접합에 관한 연구	고룡해*, 이정민, 김병민, 고대철(부산대)
16:00~16:20	비정형 롤 판재성형기술 개발	박지우*, 윤준석, 강범수(부산대)
16:20~16:40	Multi-Point Forming Product Defect Reduction Using Reliability-based Robust Process Optimization	아베베*, 박지우, 강범수(부산대)
16:40~17:00	An Elastoplastic Mixed Finite Element Method for Numerical Analysis of 3D Sheet Metal Forming in Flexibly-Reconfigurable Roll Forming Process	하디*, 김정, 강범수(부산대)
17:00~17:20	섬유금속적층판을 이용한 자동차 도어 임팩트 빔에 관한 수치적 연구	박으뜸*, 김정, 강범수, 송우진(부산대)
17:20~17:40	고속성형에서 AI5052와 DP980의 전기소성효과에 관한 연구	박형규*, 노학곤, 김홍교, 우민아, 김정(부산대)
17:40~18:40	<p><b>[개회식 및 정기총회](사회: 김형섭 총무이사)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 제20회 상우학술상 수상식</li> <li>- 제13회 기술상 수상식</li> <li>- 제5회 신진기술상 수상식</li> <li>- 제5회 학술상 수상식</li> <li>- 차기임원 선출</li> <li>- 기타 토의 사항</li> </ul>	<b>한 라</b>
18:40~	<b>만찬</b>	<b>탐 라</b>

## 제 5 발표회장 - 포스터 발표

- ※ 포스터 발표자는 정해진 시간에 포스터판 앞에 위치하여 주십시오.
- ※ 포스터는 각 3분씩 발표를 진행하며, 발표논문은 심사하여 추후 진행 학술상을 시상합니다.(대학원생 대상)
- ※ 포스터판 사이즈 : 가로 1m×세로 1.2m (논문 1편당 1개)

2016. 10. 6(목)

▶ 8층 로비

(13:30~15:15)		좌 장 : 박준식(한밭대), 최정묵(㈜진합)
13:30~13:45	P01	항공기 부품 정밀 전가공용 스핀들 장치 설계에 관한 연구 김동환*(한국국제대), 배선민, 전만수(경상대), 윤대열(디엔엠항공), 이정민, 류호연(생기원)
	P02	핫스탬핑 국부연화 공정평가 박광수*(포항산업과학연구원), 배충수(울산테크노파크), 심우정(㈜ 새한산업), 김원혁(㈜ NKS), 김동규(㈜DK솔루션)
	P03	질화물 코팅에 미치는 브레이크 마스터 실린더 제조용 다이의 단조특성 분석 최정묵*(㈜진합), 손영일(국방과학연구소), 김민규, 박준식(한밭대)
	P04	조선해양플랜트용 T-bar 의 밴딩성형 공정에 관한 연구 이상익*, 최동환, 이진우, 이정환(KIMS), 윤중현(한양대), 공경열(기특산업㈜)
	P05	기계적 및 열적 하중에 의한 금형 변형과 연계한 열간 단조공정의 해석 김영신*, 전만수(경상대)
13:45~14:00	P06	냉간단단단조 공법을 적용한 최적의 Tube Yoke 설계방안 민두식*, 김광민, 박휘동, 김구락, 박상균, 황태민(㈜성진포머)
	P07	냉간단단단조 공법을 적용한 최적의 Pinch Yoke 설계방안 민두식*, 김광민, 박휘동, 김구락, 박상균, 황태민(㈜성진포머)
	P08	3차원 유한요소법을 활용한 Shaft 정밀성형 냉간단조 공정설계에 관한 연구 박희찬*, 김동배, 김주업(DMI), 서창민(㈜신도하이텍)
	P09	프레스 전방압출 시험을 통한 냉간자동단단단조용 소재 압출 특성에 관한 연구 윤일재*, 윤국태, 박춘달(DMI), 황태민, 김광민, 민두식(㈜성진포머)
	P10	투-피스 휠 너트용 와셔의 냉간 정형 단조 해석 이민호*, 민동균(한국기술교육대), 최석호(삼진정공㈜)
14:00~14:15	P11	냉간단조를 이용한 고강도 알루미늄 HUB CLUTCH 개발 이수정*, 주원광, 이원일(경창산업㈜), 정현욱(㈜호창)
	P12	Groove 단조로 제작된 크랭크샤프트 예비성형체 형상이 2차 성형성에 미치는 영향 전웅배*, 정상인, 박상덕(현진소재㈜), 오상균, 전효원(DMI)
	P13	비축대칭 로터 샤프트 생산을 위한 방사형 단조 기술 개발 곽호빈*, 김현구, 정기호(생기원), 박성남, 지용일(㈜ 한일단조)
	P14	Duplex강의 하이드로포밍 확관공정시 피딩속도에 관한 연구 김민우*, 허관도, 예상돈(동의대)
	P15	금형의 탄성변형을 고려한 요크 단조공정의 정밀해석 김민철*(MFRC), 진호태, 전만수(경상대), 김광민, 민두식, 황태민(성진포머)
14:15~14:30	P16	다목적 관리차용 연료탱크의 블로우 포밍 공법에 관한 연구 김병철*, 전만수(경상대), 이상곤(생기원), 김동환(한국국제대)
	P17	납욕을 사용하지 않는 스트립강의 연속열처리 공정개발 김종식*, 김현일, 임종호((재)포항금속소재산업진흥원)
	P18	Ti-6Al-4V 합금의 고온 유동응력 예측을 위한 현상학적 응력-변형을 모델 명동준*, 곽호빈, 이명규(고려대), 정기호, 임성식(생기원)
	P19	적외선 히터를 적용한 에너지절감형 압출 컨테이너 개발 민경호*, 배성환(㈜선우엔지니어링), 신영철, 최호준(생기원)
	P20	적외선 히터를 적용한 에너지절감형 금형예열로 개발 신영철*, 임성식, 임성주, 최호준(생기원), 민경호, 배성환(㈜선우엔지니어링)
14:30~14:45	P21	비관계 유동법칙을 적용한 판재의 소성 이방성 예측 이기정*, 최홍진, 최유미, 이명규(고려대), 배기현, 안덕찬(포스코)
	P22	LNG용 Mechanical Spring type Single Acting Actuator 피로 분석 이기훈*, 예상돈, 허관도(동의대)
	P23	열간 금형강 보수방법에 따른 내마모성 평가 이성윤*, 이인규, 조용재, 김다혜, 이상곤(생기원), 고대철(부산대)
	P24	유한요소해석을 이용한 냉간 점진 롤 성형 공정설계 이인규*, 이성윤, 정명식, 이상곤(생기원), 김병민(부산대)

	P 25	자동변속기용 헬리컬 기어 냉간단조에 대한 연구	이재은*, 양한성(㈜센트랄)
14:45~15:00	P 26	고속철도 차량용 경량 엑셀박스 개발	전웅식*, 황원주, 남학기(현우시스템)
	P 27	일체형 오일리스 기어 제조를 위한 분말 압축성형 유한 요소 해석	정명식*, 최용진, 이상곤, 황선광, 이인규(생기원), 정재훈(대광소결금속㈜)
	P 28	열박음을 고려한 정밀단조공정의 소재-금형 변형 연계 해석	정승원*(MFRC), 황태민(성진포머), 전만수(경상대)
	P 29	결정소성 유한요소 해석을 이용한 단결정 내의 공동 성장 전산모사	정우진*, 이명규(고려대), 이창훈(KIMS)
	P 30	파워트랜크용 치형부품 제조를 위한 냉간 단단단조 공정설계	조아라*, 이인규, 이상곤, 정명식, 이성윤, 조용재, 차경제, 황선광(생기원)
15:00~15:15	P 31	관재의 점진적 소성 이방성 변화 측정 및 모델링	최유미*, 이기정, 최홍진, 이정연, 이명규(고려대), 배기현, 안덕찬(포스코)
	P 32	고속철도 차량용 안티롤바의 롤 강성 정도 향상에 관한 연구	황원주*, 전웅식, 남학기(현우시스템)
	P 33	이속압연으로 제조된 6061 알루미늄 합금의 미세 결정립이 플라즈마 전해 산화에 미치는 영향	권정현*, 이용환, 다나세샤파라딘다 푸투라, 고영건(영남대)
	P 34	스웨이징 공정에서 이종복합 구성재료에 따른 변형특성	윤덕재*, 김응주(생기원)
	P 35	이종 복합 클레드 봉재 스웨이징 공정 해석	김응주*, 윤덕재(생기원)
15:15~15:30	<b>Coffee Break</b>		

<b>(15:30~17:18)</b>			<b>좌 장 : 홍석우(공주대), 최정욱(㈜진합)</b>
15:30~15:45	P 36	이속압연을 이용한 알루미늄 6061 합금의 기계적 물성 향상	양해웅*, 위디안타라이이푸투, 파티마시타, 고영건(영남대)
	P 37	Cu-Nb-NbTi로 결합된 이종소재의 인발가공 특성 연구	김효성*, 이광진, 임재덕, 황덕영(KAT)
	P 38	AFDEX Simulation을 이용한 단조금형 구조해석	민두식*, 김광민, 박휘동, 김구락, 박상균, 황태민(㈜성진포머)
	P 39	요소밀도 최적화 기법을 이용한 정밀단조공정 해석	엄재근*, 이민철(MFRC), 황태민(㈜성진포머), 전만수(경상대)]
	P 40	신선가공한 펄라이트 강선에서 신선 가공량 및 열처리 조건이 비틀림 특성에 미치는 영향	안강식*, 박정훈, 남원종(국민대), 김진호, 정진영(고려제강)
15:45~16:00	P 41	WIC NbTi 초전도 선재용 Cu channel 제조 특성에 영향을 미치는 인발 다이스 형상 설계	이광진*, 황덕영, 임재덕(KAT), 지세인, 홍리석(고려제강)
	P 42	Twin Roll Strip Casting 공정으로 제조된 Al-5wt.%Mg 합금의 미세조직, 인장 및 피로 특성	허준영*, 백민석, 이기안(안동대), 어광준, 임영목(KIMS)
	P 43	순철의 미끄럼마멸 시험 중 형성된 고경도 변형층 분석	구분우*, 권혁우, 김영규, 김용석(국민대)
	P 44	Nitriding한 2상 스테인리스강의 내부식 특성	김인수*, 이철우(금오공대)
	P 45	열처리 조건에 따른 필러 맨드렐 소재의 기계적 특성 연구	박민영*, 이덕희, 박기범, 최용신, 이영희(한전원자력연료)
16:00~16:15	P 46	냉간 성형을 위한 구상화 D6AC강의 기계적 물성 연구	손영일*(국방과학연구소), 이석재(전북대)
	P 47	응력삼축비에 따른 고 Mn 오스테나이트강 관재 인장파괴 거동	예정원*, 전기훈, 정기채, 박경태(한밭대), 노경민, 이창선(포스코)
	P 48	초고강도 핫스태핑 소재의 연화열처리에 관한 공정 및 기계적 특성평가	최영림*, 심우정(㈜새한산업), 전형준(㈜명진테크), 박광수(포항산업과학연구원)
	P 49	3D-printing Selective Laser Melting 공정으로 제조된 SUS 316L 소재의 미세조직, 인장 및 충격 인성 특성	합기수*, 강병훈, 이기안(안동대), 박순홍(포항산업과학연구원)
	P 50	전기저항 가열금형에 의하여 증첩된 알루미늄 금속관재의 점접합특성	김태현*, 진인태(㈜성우하이텍)

16:15~16:30	P51	조선해양플랜트용 T-bar의 용접해석 및 열변형 예측	윤종현*, 원찬희(한양대), 이정환, 이상익(KIMS), 공경열(㈜기독산업)
	P52	펄스 전류 인가에 따른 초고강도강의 스프링백 특성 평가	곽수현*, 장인제, 김용배, 송정환(생기원), 배기현(포스코)
	P53	고강도강 루프레이 부재의 드로우 금형 자동보정	권태성*, 신정희, 광정환, 김세호(대구대), 이종원, 허강호(㈜영진)
	P54	U-드로우 금형공정에서의 마찰 및 비드가 스프링백에 미치는 영향 분석	권용석*, 배한원, 강병욱, 광정환, 김세호(대구대), 박진우, 김용식(㈜화신테크), 박종규(㈜화신)
	P55	헤드랩프 반사판 성형금형 설계 및 시제품 제작 : 대학 연구동아리 종합설계	권용석*, 손민규, 김세호(대구대)
16:30~16:45	P56	저항가열 핫스탬핑 성형을 위한 보론강의 Joule Heating 특성 평가	김용배*, 장인제, 곽수현, 송정환(생기원), 임정식, 서종덕(㈜신영)
	P57	Si 강판의 비대칭 압연 집합조직 변화	김인수*, 남수권, 이철우(금오공대), 이동녕(서울대)
	P58	Al 합금 판재의 열간 비대칭 압연과 성형성 변화	김인수*, 남수권, 이철우(금오공대)
	P59	유한 요소 해석을 이용한 1.5GPa급 사이드아우터의 일체형 핫스탬핑 성형 공정 설계	박승연*, 이현철, 송종호(자동차부품연구원), 유상제(현성테크노)
	P60	다단 스탬핑 공법을 적용한 차량용 자동변속기 부품 성형 방법에 대한 연구	박은수*, 이성민, 이원일, 차달준(경창산업)
16:45~17:00	P61	핫스탬핑 소재인 SABC1470의 열처리 및 냉각 조건에 따른 기계적 물성 거동 분석	이동훈*, 박시준, 이현철, 송종호(자동차부품연구원), 유상제(㈜현성테크노)
	P62	벌지굽 프로그레시브 공정의 AFDEX 탄소성 유한요소 해석	조성민*, 정규석, 조재민, 정완진(서울과학기술대)
	P63	직접 냉각 방식 적용 핫스탬핑 금형의 상변태 해석	차승훈*, 소범식((재)경북테크노파크), 서종덕, 임창용, 임정식(㈜신영)
	P64	선박용 파형격벽 성형을 위한 스트로크 예측에 관한 연구	최동환*, 이상익, 이진우, 이정환(KIMS)
	P65	정밀 고온/고압 챔버를 이용한 폴리카보네이트 열접합	박동진*, 박태현(경남대)
17:00~17:18	P66	열가소성 플라스틱 소재의 온도 변화율에 따른 열 처짐 현상 연구	이호영*, 임성한(단국대), 송경섭, 배정관(에스브이에스㈜)
	P67	열간 성형 공정의 가열시간 따른 투명교정장치 두께 균일도	이호영*, 임성한(단국대), 송경섭, 배정관(에스브이에스㈜)
	P68	사출성형 CAE 프로그램을 활용한 자동차 ABS 변형 최소화 위한 성형 조건 최적화	차경제*, 황선광, 정명식(생기원), 이은숙(태림정공㈜)
	P69	집합조직 제어를 통한 마그네슘 판재의 성형성 향상	신민주*, 김세중, 이영선, 배병범, 김대근(KIMS)
	P70	사각 컵드로잉을 이용한 Mg 합금의 형상구형한계 분석에 관한 연구	김대근*, 이영선, 김세중, 송용현(KIMS)
	P71	반응압출을 통한 내열성이 강화된 TPEE의 제조 및 응용	유진*, 권재관, 김능현, 이철한(삼양사)

## 제 1 발표회장

2016. 10. 7(금)

▶ 한라

◎ 일반발표 - 소성이론 (09:00~10:20)		좌 장 : 김대용(KIMS)
9:00~9:20	DIC 기법을 이용한 판재 변형률과 기계적 특성 평가	이동훈*, Van-Thuong Nguyen, 오석환, 김영석(경북대), 이봉현(자동차부품연구원), 권오현(부경대)
9:20~9:40	DP980강의 미시적 응력-변형을 분리 및 파괴기구 대한 결정소성 유한요소모델링	김동규*, 우원측(한국원자력연구원), 김은영, 최시훈(순천대)
9:40~10:00	광학식 자동 표면변형률 측정 시스템 개발 -II	오태환*, 김성곤, 조원우, 김형중(강원대)
10:00~10:20	비관계유동법칙 및 소성이방성 변화 고려 유한요소해석	최홍진*, 최유미, 이기정, 노우람, 이명규(고려대), 배기현, 안덕찬(포스코)
10:20~10:40	<b>Coffee Break</b>	
◎ 일반발표 - 소성이론 (10:40~12:00)		좌 장 : 김동규(원자력연구원)
10:40~11:00	변태 소성 현상이 고려된 유한 요소법을 통한 드라이브 샤프트의 고주파 열처리 공정 해석	박시욱*, 김동완, 한홍남(서울대), 이시엽(현대자동차)
11:00~11:20	실험과 시뮬레이션을 통한 멀티재료로 구성된 센터필러의 충돌해석 비교	이민석*, 김대원, 강충길(부산대)
11:20~11:40	소성변형 이력을 고려한 연성파괴 거동의 실험적 측정	김찬양*, 노우람, 이명규(고려대), 송정환(생기원), 김대용(KIMS), 김지훈(부산대)
11:40~12:00	이중전단비틀림압출공정 중 소재의 변형 해석	이라니 미쌤*, 이요셉, 전만수(경상대)
12:00~	<b>점심</b>	

## 제 2 발표회장

2016. 10. 7(금)

▶ 탐라

◎ 일반발표 - 판재성형 (09:00~11:40)		좌 장 : 정동원(제주대)
9:00~9:20	초-고변형률속도 조건에서 4130 합금강의 전단파단변형률 추정에 관한 연구	최현우*, 박명준, 허 훈(KAIST)
9:20~9:40	통전직접가열방법을 활용한 초고강도 부품 성형기술에 관한 연구	김동욱*, 정경근, 명재곤(자동차부품연구원), 채관석, 홍민선, 정재형(경기산업㈜)
9:40~10:00	순 티탄늄 판재의 인장 변형에 따른 표면특성에 관한 연구	인정훈*, 김영석(경북대)
10:00~10:20	금속재료의 변형거동에 미치는 전류의 영향 연구	정혜진*, 박주원, 진성우, 한홍남(서울대), 김문조(생기원), 이규영(포스코), 임창동(KIMS)
10:20~10:40	자동차용 모터케이스의 클린칭 금형 설계 및 클린칭부 결합 강도 평가	권일근*, 김국용(동의과학대), 박준우(항성산업사)
10:40~11:00	중 변형률속도를 고려한 기가급 강재의 인장/압축 시험	주근수*, 허 훈(KAIST)
11:00~11:20	전자기 성형 해석에 영향을 미치는 유한요소 변수의 민감도 분석	박현일*, 이진우, 김세종, 이영선, 김대용(KIMS)
11:20~11:40	비대칭 압연에 의한 방향성 전기 강판의 GOSS 방위 형성과 자성 특성	이동녕*(서울대), 남수권, 이철우, 김인수(금오공대)
11:40~12:00	<b>Coffee Break</b>	
12:00~	<b>점심</b>	

### 제 3 발표회장

2016. 10. 7(금)

▶ 아래

◎ 일반발표 - 단조/압연 (09:00~10:00)		좌 장 : 정석환(MFRC)
9:00~9:20	HSC 로터용 니켈기 초합금의 열간단조특성 연구	김영득*, 김정옥, 강성태(두산중공업)
9:20~9:40	AFDEX와 HyperStudy를 이용한 단조공정의 금형형상변수 최적화에 관한 연구	정석환*, 김민철(MFRC), 김한구, 김원택(Altair Korea)
9:40~10:00	유한요소해석을 활용하여 굴삭기 아이들러 림의 프로파일링 플링 공정 및 금형 설계	성낙문*(칼텍㈜), 천세환( ㈜에프엠케이)
10:00~10:20	<b>Coffee Break</b>	
◎ 일반발표 - 재료기술 (10:20~11:40)		좌 장 : 송우진(부산대)
10:20~10:40	CrMnFeCoNi 고엔트로피합금의 소성변형	김형섭*, 장민지(포항공대)
10:40~11:00	3D 프린팅 Selective laser melting 공정으로 제조된 Ti-6Al-4V 합금의 미세조직, 고온 압축, 고온 크립 특성	김영균*, 이기안(안동대), 유지훈(KIMS), 박순홍(포항산업과학연구원)
11:00~11:20	결정립과 기계적 특성의 상관관계 분석을 위한 미세기동 압축 시험	문인용*, 이호원, 오영석, 강성훈(KIMS), 김보현(송실대)
11:20~11:40	타이어코드 고강도화에 미치는 C 및 Si의 영향	양요셉*, 김현진, 배철민(포스코), 배종구(고려제강)
11:40~12:00	<b>Coffee Break</b>	
12:00~	<b>점심</b>	

### 제 4 발표회장

2016. 10. 7(금)

▶ 오라

◎ 일반발표 - 플라스틱 가공 (09:00~10:00)		좌 장 : 정태성(인하공업전문대학)
9:00~9:20	Slit Pattern 적용을 통한 Carbon/Epoxy Prepreg Laminate의 성형성 향상에 관한 연구	이성균*, 원시태(서울과기대), 윤길상, 고영배, 허영무, 김종덕, 최정영, 김동연(생기원)
9:20~9:40	다품종 Wire to Board 커넥터 생산을 위한 확장형 금형	정태성*(인하공업전문대학), 한무근(㈜씨엔플러스)
9:40~10:00	고온 전사를 통한 유리 마이크로 렌즈 어레이 성형에 관한 연구	모하마드 자이룰니잠*, 정명기, 한재호, 김태경, 강신일(연세대)
10:00~10:20	<b>Coffee Break</b>	
◎ 일반발표 - 소성이론/해석 (10:20~11:40)		좌 장 : 윤길상(생기원)
10:20~10:40	ㄷ형강의 전단 절단면 형상 개선에 관한 연구	송승호*, 장승현, 박병규(동국제강)
10:40~11:00	저항복비를 이용한 냉간비조질강 개발 및 응용	이영선*, 윤은유, 이창길(KIMS)
11:00~11:20	이속압연 변형 시 변형량 및 텍스처 해석	고영건*(영남대)
11:20~11:40	NbTi 초전도 선재의 공형 압연 공정 적용을 위한 패스 스케줄 설계	박선명*, 오영석, 이호원, 강성훈(KIMS), 황덕영(K.A.T.)
11:40~12:00	<b>Coffee Break</b>	
12:00~	<b>점심</b>	

# - 목 차 -

## 1. 특별세션 - 정밀단조 시뮬레이션 기술과 응용 (제 1 발표회장)

- AFDEX 탄소성 변형해석에 의한 금형탄성변형  
..... 김효동\*, 김현우, 유제형, 이재빈, 정완진 / 19
- 장축볼트 롤단조 공정의 해석결과와 실험적 검증  
..... 진호태\*, 전만수, 남태현, 강석순 / 21
- 핫프레스포밍 후 냉간 피어싱공정에서 펀치 파손에 관한 연구  
..... 홍석무\*, 권순호, 이호성, 진홍교, 엄재근 / 23
- 정밀냉간단조 공정의 온도영향을 고려한 스프링백 해석  
..... 전만수\*, 정석환, 황태민, 정완진 / 25
- 강소성 유한요소해석 열간단조 공정 중 금형의 변형에 관한 해석적 및 실험적 연구  
..... 황효열\*, 정승원, 전만수 / 27
- 프레스의 탄성변형을 고려한 단조공정의 해석  
..... Akash Meena\*, 전만수 / 29

## 2. 특별세션 - 고강도 스테인리스강의 인발 기술 개발 (제 1 발표회장)

- 멀티 롤 다이 인발 공정의 기하학적 설계에 관한 연구  
..... 김정훈\*, 김병민 / 31
- 등가환산법을 이용한 멀티 롤 다이 인발공정의 하중예측  
..... 김세환\*, 김병민 / 32
- 오스테나이트계 스테인리스 인발 무계목강관 공정조건과 결정립 미세화 상관관계 연구  
..... 이광석\*, 이영선, 김덕령 / 33
- 인발 공정 및 필거 압연 공정에서 스테인리스 무계목 강관 및 집합 강관의 비교 평가  
..... 홍성규\*, 홍성박, 김병민 / 34
- 스테인리스강 인발공정 전처리 피막의 흡습성  
..... 남궁정\*, 이영주, 박중철, 이광석, 김정훈, 김병민 / 35

## 3. 특별세션 - 초고강도 판재 변형제어 냉간 성형 기술 개발 (제 2 발표회장)

- 초고강도강관 프레스성형용 금형의 CrN 코팅층 마모예측  
..... 배상범\*, 이정흙, 김세호, 윤국태, 허재영, 박춘달 / 37
- 금형구조해석을 활용한 1.5GPa급 초고강도강관 성형용 프레스 금형구조 최적설계  
..... 박정환\*, 김세호, 강경훈, 조준행 / 38
- 공정변수 산포를 고려한 초고강도강 프레스 성형공정의 스프링백 경향  
..... 김세호\*, 배상범 / 39

- 1.5GPa급 초고강도강 냉간성형과 Boron steel Hot-Forming 공법의 성형성 및 구조 성능 비교  
.....오인석\*, 김종상, 김형중, 조준행, 윤동렬, 김정훈 / 40
- 1.5GPa급 초고강도 냉연강판 적용 자동차 차체부품 제조에 관한 연구  
.....조준행\*, 신현일, 송정한, 김형중, 김영석 / 41
- 1.5GPa급 초고강도 강판의 가변홀딩력에 따른 스프링백 비교  
.....이충안\*, 김형중, 송정한, 조준행, 김정훈 / 43

#### 4. 특별세션 - 초전도 의료.전력기기 적용을 위한 임계전류 특성이 우수한 6km급 MgB<sub>2</sub> 초전도 선재 및 코일 개발(제 2 발표회장)

- Comparison of carbon dopants and its effect on the superconducting properties of MgB<sub>2</sub>  
..... Mahipal Ranot\*, K. P. Shinde, 오영석, 강성훈, 정국채, 장세훈 / 44
- Mg,B core/Nb/Cu sheath 정수압 압출재의 Nb와 Cu의 미세조직 및 집합조직 변화 연구  
.....이종범\*, 정하국, 박상용 / 45
- MgB<sub>2</sub> 마그넷의 영구전류모드 운전을 위한 무저항 접합 기술 개발  
..... 김영균\*, 송정빈, 최윤혁, 양동규, 김성겸, 정설희, 김지만, 이해근, 황덕영 / 47
- MgB<sub>2</sub> 선재의 인발 공정에 따른 barrier의 미세조직 및 계면 변화 연구  
.....나신혜\*, 김주홍, 김효성, 임재덕, 황덕영 / 49
- MgB<sub>2</sub> 전구체 분말의 혼합조건에 따른 초전도 특성 영향  
.....장세훈\*, 유현형, 임재덕, 황덕영 / 50
- 공형압연을 이용한 초전도 MgB<sub>2</sub> 선재 제작  
.....오영석\*, 박선명, 이호원, Mahipal Ronot, 강성훈, 황덕영 / 51

#### 5. 특별세션 - 가변 단면 튜브 적용 경량화를 30%이상의 770mm급 일체형 장구동축 복합성형 기술 개발 (제 3 발표회장)

- 중공축 개발  
..... 신승만\* / 52
- 레이저 하이브리드 용접 판재의 열처리 조건에 따른 기계적 물성 변화에 대한 연구  
.....이호원\*, 오영석, 강성훈 / 53
- 압연 및 성형에 의한 변단면 판재의 조직학적 분석  
..... 손승우\*, 이종훈 / 54
- 35MnB 용접파이프의 스웨이징 성형 공정 연구  
..... 이종섭\*, 김용배, 정선호, 임성주, 이상목, 강성훈 / 55
- 롤 포밍에 의한 변형잔류응력이 레이저 하이브리드 용접 잔류응력에 미치는 영향 분석  
.....김태용\*, 이영호, 이영석 / 56
- 가변단면튜브 롤포밍 공법 개발  
..... 김동범\*, 조국래, 박상언, 이문용 / 58

## 6. 특별세션 - 타이타늄 튜브제조를 위한 공정단축형 주조-압출 복합성형기술 (제 3 발표회장)

- 타이타늄 튜브제조를 위한 간이복동식 제어 압출기술 개발  
..... 배성환\*, 민경호 / 59
- 진공유도용해방식으로 제조된 상용 순티타늄 빌렛의 용해도가니에 따른 영향  
..... 이형욱\* / 60
- 유한요소해석을 이용한 심리스 타이타늄 튜브의 압출 공정 설계  
..... 최병진\*, 강성훈, 오영석, 이호원 / 62
- 비틀림 시험을 이용한 Al-Mg-Si 합금의 고온 변형 특성  
..... 이지운\*, 김상욱, 정택균, 현승균, 김세광, 윤영욱, 최호준 / 63
- 열간 압출공정에서 글래스 패드의 점성계수 측정연구  
..... 윤종현\*, 송영남, 강성훈, 이호원 / 65
- 고신뢰성 심리스 타이타늄 튜브제조를 위한 파라미터 설계기법에 관한 연구  
..... 김재범\*, 신영철, 최호준, 민경호, 최선목 / 66

## 7. 특별세션 - 설계기반 미래성형기술 (제 4 발표회장)

- 사출 성형 공정에서 웰드라인 개선을 위한 인서트 금형의 가열 및 냉각채널 설계  
..... 조용하\*, 김병민 / 67
- 유한요소 해석을 활용한 저탄소강에서의 산화층 계면 조도 및 잔류응력이 박리현상에 미치는 영향 분석  
..... 이재민\*, 노우람, 이명규, 김득중 / 68
- 다구찌 기법을 적용한 섬유금속적층판의 층간 접착력 강화에 대한 연구  
..... 길민규\*, 박오뜸, 박지우, 송우진, 강범수 / 69
- T파이프 끝단부 교정 공정에서 틀의 이송량 결정  
..... 고필성\*, 김병민, 박종욱 / 70
- 실험계획법을 이용한 Al6061-T6의 마찰교반점용접 공정변수 최적화  
..... 조덕상\*, 김재홍, 고대철, 김병민 / 71
- 초고장력강관의 성형공정에서 재료모델이 예측 정밀도에 미치는 영향  
..... 서기영\*, 강길석, 고대철, 김병민 / 72
- 초고강도강의 판재성형 공정에서 금형 보정을 이용한 Extension Rear Side Member 개발  
..... 한성준\*, 김병민, 김근호 / 73
- 차량용 센터필러 보강재의 CFRP 적층 배열 최적화에 관한 연구  
..... 민병진\*, 이정민, 김병민, 고대철 / 74
- 고정밀 쉘드 캔 제조를 위한 박관 난성형재의 드로잉 공정에 관한 연구  
..... 박민제\*, 강길석, 김병민, 고대철 / 75
- 초고강도강의 롤 포밍 공정에서 구성방정식에 따른 스프링백 예측  
..... 차태원\*, 김재홍, 김병민, 김근호 / 76
- 중공 분할형 터빈 노즐의 후관 성형 공정에 대한 해석적·실험적 연구  
..... 광봉석\*, 강병권, 강범수, 구태완, 윤만중, 전재영 / 77
- 다단 형상 압연 공정에서 연신계수를 고려한 가상금형 적용  
..... 정현석\*, 김남진, 김병민, 이철환, 홍리석, 김종성 / 78

- 마찰교반 홀 클리칭 공법을 이용한 Al6061 과 DP980 접합에 관한 연구  
.....고룡해\*, 이정민, 김병민, 고대철 / 79
- 비정형 롤 판재성형기술 개발  
.....박지우\*, 윤준석, 강범수 / 80
- Multi-Point Forming Product Defect Reduction Using Reliability-based Robust Process Optimization  
.....아베베\*, 박지우, 강범수 / 81
- An Elastoplastic Mixed Finite Element Method for Numerical Analysis of 3D Sheet Metal Forming in Flexibly-  
Reconfigurable Roll Forming Process ..... 하디\*, 김정, 강범수 / 82
- 섬유금속적층판을 이용한 자동차 도어 임팩트 빔에 관한 수치적 연구  
.....박으뜸\*, 김정, 강범수, 송우진 / 83
- 고속성형에서 Al5052 와 DP980 의 전기소성효과에 관한 연구  
.....박형규\*, 노학곤, 김홍교, 우민아, 김 정 / 84

## 8. 일반 논문 발표 (제 1 발표회장)

### ◎ 소성이론

- DIC 기법을 이용한 판재 변형률과 기계적 특성 평가  
..... 이동훈\*, Van-Thuong Nguyen, 오석환, 김영석, 이봉현, 권오현 / 85
- DP980 강의 미시적 응력-변형을 분리 및 파괴기구 대한 결정소성 유한요소모델링  
.....김동규\*, 우완측, 김은영, 최시훈 / 87
- 광학식 자동 표면변형률 측정 시스템 개발 -II  
.....오태환\*, 김성곤, 조원우, 김형중 / 88
- 비관계유동법칙 및 소성이방성 변화 고려 유한요소해석  
.....최홍진\*, 최유미, 이기정, 노우람, 이명규, 배기현, 안덕찬 / 89
- 변태 소성 현상이 고려된 유한 요소법을 통한 드라이브 샤프트의 고주파 열처리 공정 해석  
.....박시욱\*, 김동완, 한홍남, 이시엽 / 90
- 실험과 시뮬레이션을 통한 멀티재료로 구성된 센터필러의 충돌해석 비교  
.....이민식\*, 김대원, 강충길 / 91
- 소성변형 이력을 고려한 연성파괴 거동의 실험적 측정  
.....김찬양\*, 노우람, 이명규, 송정환, 김대용, 김지훈 / 92
- 이중전단비틀림압출공정 중 소재의 변형 해석  
.....이라니 미쌤\*, 이요셉, 전만수 / 93

## 9. 일반 논문 발표 (제 2 발표회장)

### ◎ 판재성형

- 초-고변형률속도 조건에서 4130 합금강의 전단파단변형률 추정에 관한 연구  
.....최현우, 박명준, 허 훈 / 95
- 통전직접가열방법을 활용한 초고강도 부품 성형기술에 관한 연구

- ..... 김동옥\*, 정경근, 명재곤, 채관석, 홍민선, 정재형 / 97
- 순 티탄늄 판재의 인장 변형에 따른 표면특성에 관한 연구  
..... 인정훈\*, 김영석 / 98
- 금속재료의 변형거동에 미치는 진류의 영향 연구  
..... 정혜진\*, 박주원, 진성우, 한홍남, 김문조, 이규영, 임창동 / 100
- 자동차용 모터케이스의 클린칭 금형 설계 및 클린칭부 결합 강도 평가  
..... 권일근\*, 김국용, 박준우 / 101
- 중 변형률속도를 고려한 기가급 강재의 인장/압축 시험  
..... 주근수\*, 허 훈 / 102
- 전자기 성형 해석에 영향을 미치는 유한요소 변수의 민감도 분석  
..... 박현일\*, 이진우, 김세종, 이영선, 김대용 / 104
- 비대칭 압연에 의한 방향성 전기 강판의 GOSS 방위 형성과 자성 특성  
..... 이동녕\*, 남수권, 이철우, 김인수 / 105

## 10. 일반 논문 발표 (제 3 발표회장)

### ◎ 단조/압연

- HSC 로터용 니켈기 초합금의 열간단조특성 연구  
..... 김영득\*, 김정옥, 강성태 / 106
- AFDEX와 HyperStudy를 이용한 단조공정의 금형형상변수 최적화에 관한 연구  
..... 정석환\*, 김민철, 김한구, 김원택 / 108
- 유한요소해석을 활용하여 굴삭기 아이들러 립의 프로파일 링 롤링 공정 및 금형 설계  
..... 성낙문\*, 천세환 / 110

### ◎ 재료기술

- CrMnFeCoNi 고엔트로피합금의 소성변형  
..... 김형섭\*, 장민지 / 111
- 3D 프린팅 Selective laser melting 공정으로 제조된 Ti-6Al-4V 합금의 미세조직, 고온 압축, 고온 크립 특성  
..... 김영균\*, 이기안, 유지훈, 박순홍 / 113
- 결정립과 기계적 특성의 상관관계 분석을 위한 미세기동 압축 시험  
..... 문인용\*, 이호원, 오영석, 강성훈, 김보현 / 115
- 타이어코드 고강도화에 미치는 C 및 Si의 영향  
..... 양요셉\*, 김현진, 배철민, 배종구 / 116

## 11. 일반 논문 발표 (제 4 발표회장)

### ◎ 플라스틱 가공

- Slit Pattern 적용을 통한 Carbon/Epoxy Prepreg Laminate의 성형성 향상에 관한 연구  
..... 이성균\*, 원시태, 윤길상, 고영배, 허영무, 김종덕, 최정영, 김동언 / 118
- 다품종 Wire to Board 커넥터 생산을 위한 확장형 금형  
..... 정태성\*, 한무근 / 119

- 고온 전사를 통한 유리 마이크로 렌즈 어레이 성형에 관한 연구  
..... 모하마드 자이룰니잠\*, 정명기, 한재호, 김태경, 강신일 / 121

◎ 소성이론/해석

- ㄷ형강의 전단 절단면 형상 개선에 관한 연구  
..... 송승호\*, 장승현, 박병규 / 123
- NbTi 초전도 선재의 공형 압연 공정 적용을 위한 페이스 스케줄 설계  
..... 박선명\*, 오영석, 이호원, 강성훈, 황덕영 / 125
- 이속압연 변형 시 변형량 및 텍스처 해석  
..... 고영건\* / 126
- 저항복비를 이용한 냉간비조질강 개발 및 응용  
..... 이영선\*, 윤은유, 이창길 / 127

12. 포스터 발표 (제 5 발표회장)

- P01 항공기 부품 정밀 전가공용 스핀들 장치 설계에 관한 연구  
..... 김동환\*, 배선민, 전만수, 윤대열, 이정민, 류호연 / 128
- P02 핫스텝핑 국부연화 공정평가  
..... 박광수\*, 배충수, 심우정, 김원혁, 김동규 / 129
- P03 질화물 코팅에 미치는 브레이크 마스터 실린더 제조용 다이의 단조특성 분석  
..... 최정목\*, 손영일, 김민규, 박준식 / 130
- P04 조선해양플랜트용 T-bar 의 벤딩성형 공정에 관한 연구  
..... 이상익\*, 최동환, 이진우, 이정환, 윤중현, 공경열 / 132
- P05 기계적 및 열적 하중에 의한 금형 변형과 연계한 열간 단조공정의 해석  
..... 김영신\*, 전만수 / 133
- P06 냉간다단단조 공법을 적용한 최적의 Tube Yoke 설계방안  
..... 민두식\*, 김광민, 박휘동, 김구락, 박상균, 황태민 / 134
- P07 냉간다단단조 공법을 적용한 최적의 Pinch Yoke 설계방안  
..... 민두식\*, 김광민, 박휘동, 김구락, 박상균, 황태민 / 136
- P08 3 차원 유한요소법을 활용한 Shaft 정밀성형 냉간단조 공정설계에 관한 연구  
..... 박희찬\*, 김동배, 김주엽, 서창민 / 137
- P09 프레스 전방압출 시험을 통한 냉간자동다단단조용 소재 압출 특성에 관한 연구  
..... 윤일채\*, 윤국태, 박춘달, 황태민, 김광민, 민두식 / 138
- P10 투-피스 휠 너트용 와셔의 냉간 정형 단조 해석  
..... 이민호\*, 민동균, 최석호 / 139
- P11 냉간단조를 이용한 고강도 알루미늄 HUB CLUTCH 개발  
..... 이수정\*, 주원광, 이원일, 정현욱 / 141
- P12 Groove 단조로 제작된 크랭크샤프트 예비성형체 형상이 2 차 성형성에 미치는 영향  
..... 전용배\*, 정상인, 박상덕, 오상균, 전효원 / 143
- P13 비축대칭 로터 샤프트 생산을 위한 방사형 단조 기술 개발  
..... 곽호빈\*, 김현구, 정기호, 박성남, 지용일 / 144
- P14 Duplex강의 하이드로포밍 확관공정시 피딩속도에 관한 연구

- .....김민우\*, 허관도, 예상돈 / 145
- P 15 금형의 탄성변형을 고려한 요크 단조공정의 정밀해석  
.....김민철\*, 진호태, 전만수, 김광민, 민두식, 황태민 / 147
- P 16 다목적 관리차용 연료탱크의 블로우 포밍 공법에 관한 연구  
.....김병철\*, 전만수, 이상곤, 김동환 / 149
- P 17 납욕을 사용하지 않는 스트립강의 연속열처리 공정개발  
.....김종식\*, 김현일, 임중호 / 150
- P 18 Ti-6Al-4V 합금의 고온 유동응력 예측을 위한 현상학적 응력-변형을 모델  
.....명동준\*, 곽호빈, 이명규, 정기호, 임성식 / 152
- P 19 적외선 히터를 적용한 에너지절감형 압출 컨테이너 개발  
.....민경호\*, 배성환, 신영철, 최호준 / 153
- P 20 적외선 히터를 적용한 에너지절감형 금형예열로 개발  
.....신영철\*, 임성식, 임성주, 최호준, 민경호, 배성환 / 154
- P 21 비관계 유동법칙을 적용한 판재의 소성 이방성 예측  
.....이기정\*, 최홍진, 최유미, 이명규, 배기현, 안덕찬 / 155
- P 22 LNG용 Mechanical Spring type Single Acting Actuator 피로분석  
.....이기훈\*, 예상돈, 허관도 / 156
- P 23 열간 금형강 보수방법에 따른 내마모성 평가  
.....이성윤\*, 이인규, 조용재, 김다혜, 이상곤, 고대철 / 158
- P 24 유한요소해석을 이용한 냉간 점진 롤 성형 공정설계  
.....이인규\*, 이성윤, 정명식, 이상곤, 김병민 / 160
- P 25 자동변속기용 헬리컬 기어 냉간단조에 대한 연구  
.....이재은\*, 양한성 / 162
- P 26 고속철도 차량용 경량 액슬박스 개발  
.....전응식\*, 황원주, 남학기 / 163
- P 27 일체형 오일리스 기어 제조를 위한 분말 압축성형 유한요 해석  
.....정명식\*, 최홍진, 이상곤, 황선광, 이인규, 정재훈 / 165
- P 28 열박음을 고려한 정밀단조공정의 소재-금형 변형 연계해석  
.....정승원\*, 황태민, 전만수 / 167
- P 29 결정소성 유한요소 해석을 이용한 단결정 내의 공동 성장 전산모사  
.....정우진\*, 이명규, 이창훈 / 169
- P 30 파워트렁크용 치형부품 제조를 위한 냉간 다단단조 공정설계  
.....조아라\*, 이인규, 이상곤, 정명식, 이성윤, 조용재, 차경제, 황선광 / 170
- P 31 판재의 점진적 소성 이방성 변화 측정 및 모델링  
.....최유미\*, 이기정, 최홍진, 이정연, 이명규, 배기현, 안덕찬 / 172
- P 32 고속철도 차량용 안티롤바의 롤 강성 정도 향상에 관한 연구  
.....황원주\*, 전응식, 남학기 / 173
- P 33 이속압연으로 제조된 6061 알루미늄 합금의 미세 결정립이 플라즈마 전해 산화에 미치는 영향  
.....권정현\*, 이용환, 다나세샤파라딘다 푸투라, 고영건 / 175
- P 34 스웨이징 공정에서 이중복합 구성재료에 따른 변형특성  
.....윤덕재\*, 김응주 / 177

- P 35 이중 복합 클래드 봉재 스웨이징 공정 해석  
..... 김응주\*, 윤덕재 / 179
- P 36 이속압연을 이용한 알루미늄 6061 합금의 기계적 물성향상  
..... 양해웅\*, 위디안타라이아이푸투, 파티마시티, 고영건 / 181
- P 37 Cu-Nb-NbTi로 결합된 이중소재의 인발가공 특성 연구  
..... 김효성\*, 이광진, 임재덕, 황덕영 / 183
- P 38 AFDEX Simulation을 이용한 단조금형 구조해석  
..... 민두식\*, 김광민, 박휘동, 김구락, 박상균, 황태민 / 184
- P 39 요소밀도 최적화 기법을 이용한 정밀단조공정 해석  
..... 엄재근\*, 이민철(MFRC), 황태민(주성진포머), 전만수 / 185
- P 40 신선가공한 펄라이트 강선에서 신선 가공량 및 열처리 조건이 비틀림 특성에 미치는 영향  
..... 안강석\*, 박정훈, 남원중, 김진호, 정진영 / 187
- P 41 WIC NbTi 초전도 선재용 Cu channel 제조 특성에 영향을 미치는 인발 다이스 형상 설계  
..... 이광진\*, 황덕영, 임재덕, 지세인, 홍리석 / 188
- P 42 Twin Roll Strip Casting 공정으로 제조된 Al-5wt.%Mg 합금의 미세조직, 인장 및 피로 특성  
..... 허준영\*, 백민석, 이기안, 어광준, 임영목 / 189
- P 43 순철의 미끄럼마멸 시험 중 형성된 고경도 변형층 분석  
..... 구분우\*, 권혁우, 김영규, 김용석 / 191
- P 44 Nitriding한 2 상 스테인리스강의 내부식 특성  
..... 김인수\*, 이철우 / 193
- P 45 열처리 조건에 따른 필거 맨드릴 소재의 기계적 특성 연구  
..... 박민영\*, 이덕희, 박기범, 최용신, 이영희 / 194
- P 46 냉간 성형을 위한 구상화 D6AC강의 기계적 물성 연구  
..... 손영일\*, 이석재 / 195
- P 47 응력삼축비에 따른 고 Mn 오스테나이트강 관재 인장파괴 거동  
..... 예정원\*, 전기훈, 정기채, 박경태, 노경민, 이창선 / 197
- P 48 초고강도 핫스태핑 소재의 연화열처리에 관한 공정 및 기계적 특성평가  
..... 심우정\*, 최영립, 전형준, 박광수 / 199
- P 49 3D-printing Selective Laser Melting 공정으로 제조된 SUS 316L 소재의 미세조직, 인장 및 충격 인성 특성  
..... 함기수\*, 강병훈, 이기안, 박순홍 / 201
- P 50 전기저항 가열금형에 의하여 중첩된 알루미늄 금속관재의 점접합특성  
..... 김태현\*, 진인태 / 203
- P 51 조선해양플랜트용 T-bar의 용접해석 및 열변형 예측  
..... 윤종현\*, 원찬희, 이정환, 이상익, 공경열 / 205
- P 52 펄스 전류 인가에 따른 초고강도강의 스프링백 특성 평가  
.....곽수현\*, 장인제, 김용배, 송정한, 배기현 / 207
- P 53 고강도강 루프레일 부재의 드로우 금형 자동보정  
..... 권태성\*, 신정희,곽정환, 김세호, 이종원, 하강호 / 208
- P 54 U-드로우 굽힘공정에서의 마찰 및 비드가 스프링백에 미치는 영향 분석  
..... 권용석\*, 배한원, 강병욱, 곽정환, 김세호, 박진우, 김용식, 박종규 / 209
- P 55 헤드램프 반사판 성형금형 설계 및 시제품 제작 : 대학 연구동아리 종합설계  
..... 권용석\*, 손민규, 김세호 / 210

- P 56 저항가열 핫스탬핑 성형을 위한 보론강의 Joule Heating 특성 평가  
..... 김용배\*, 장인제, 박수현, 송정환, 임정식, 서종덕 / 211
- P 57 Si 강관의 비대칭 압연 집합조직 변화  
..... 김인수\*, 남수권, 이철우, 이동녕 / 212
- P 58 Al 합금 판재의 열간 비대칭 압연과 성형성 변화  
..... 김인수\*, 남수권, 이철우 / 213
- P 59 유한 요소 해석을 이용한 1.5GPa급 사이드아우터의 일체형 핫스탬핑 성형 공정 설계  
..... 박승연\*, 이현철, 송종호, 유상제 / 214
- P 60 다단 스탬핑 공법을 적용한 차량용 자동변속기 부품 성형 방법에 대한 연구  
..... 박은수\*, 이성민, 이원일, 차달준 / 216
- P 61 핫스탬핑 소재인 SABC1470의 열처리 및 냉각 조건에 따른 기계적 물성 거동 분석  
..... 이동훈\*, 박시준, 이현철, 송종호, 유상제 / 218
- P 62 벌지킵 프로그레시브 공정의 AFDEX 탄소성 유한요소해석  
..... 조성민\*, 정규석, 조재민, 정완진 / 220
- P 63 직접 냉각 방식 적용 핫스탬핑 금형의 상변태 해석  
..... 차승훈\*, 소범식, 서종덕, 임창용, 임정식 / 222
- P 64 선박용 파형격벽 성형을 위한 스트로크 예측에 관한 연구  
..... 최동환\*, 이상익, 이진우, 이정환 / 224
- P 65 정밀 고온/고압 챔버를 이용한 폴리카보네이트 열접합  
..... 박동진\*, 박태현 / 225
- P 66 열가소성 플라스틱 소재의 온도 변화율에 따른 열 치짐 현상 연구  
..... 이호영\*, 임성한, 송경섭, 배정관 / 227
- P 67 열간 성형 공정의 가열시간 따른 투명교정장치 두께 균일도  
..... 이호영\*, 임성한, 송경섭, 배정관 / 229
- P 68 사출성형 CAE 프로그램을 활용한 자동차 ABS 변형 최소화를 위한 성형 조건 최적화  
..... 차경제\*, 황선광, 정명식, 이은숙 / 231
- P 69 집합조직 제어를 통한 마그네슘 판재의 성형성 향상  
..... 신민주\*, 김세종, 이영선, 배병범, 김대근 / 233
- P 70 사각 컵드로잉을 이용한 Mg 합금의 형상구형한계 분석에 관한 연구  
..... 김대근\*, 이영선, 김세종, 송용현 / 234
- P 71 반응압출을 통한 내열성이 강화된 TPEE의 제조 및 응용  
..... 유진\*, 권재관, 김능현, 이철한 / 235

# AFDEX 탄소성 변형해석에 의한 금형탄성변형

김효동<sup>1</sup>·김현우<sup>2</sup>·유제형<sup>2</sup>·이재빈<sup>2</sup>·정완진<sup>#</sup>

## Elastic Deformation of Tools by AFDEX Elasto-Plastic Finite Element Analysis

H. D. Kim<sup>1</sup>, H. W. Kim<sup>2</sup>, J. H. Yu<sup>2</sup>, J. B. Lee<sup>2</sup>, W. J. Chung<sup>#</sup>

### Abstract

냉간 단조에서 탄성변형이 있는 금형은 가공이 진행될 시 탄소성 재료와 상호작용이 일어나 응력이 걸리고 변위가 발생한다. 이때 유한요소해석을 통하여 그 경향성을 파악하는 것은 매우 중요하다. 이 연구에서는 드라이브 성형용 금형의 Assemble Process Design과 Separate Process Design의 두 가지의 케이스에 대해 각각 응력과 변위를 파악하였다.[1] 또한 AFDEX V16\_R01버전의 신뢰성을 검증하기 위해 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS 6.10을 사용하여 리메싱이 되지 않는 조건에서 그 결과값의 차이를 알아보고자 한다.

따라서, 본 논문에서는 변형현상 및 응력을 예측하고 상호 비교하여 AFDEX의 신뢰성을 더욱 확보하여 그 결과값을 향후 개발에 반영하고자 한다.

**Key Words** : Forging simulation(단조시뮬레이션), Elastoplastic Material(탄소성재료), Elastic Die(탄성금형)

## 1. 서 론

본 논문에서는 AFDEX의 탄소성 변형해석에 의한 금형탄성변형의 유한요소해석을 평가하기 위해 현재 국내에서 개발되고 있는 AFDEX V16\_R01과 상용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS 6.10을 사용하여 해석을 수행하였다.

또한, 드라이브 성형용 금형의 Assemble Process Design과 Separate Process Design으로 나누어 해석을 진행하였으며, 각각의 프로세스에 대해 von Mises응력과 변위를 비교하였다.

## 2. 실험방법

본 해석에서 소재는 AISI1010를 사용하

였고 상부 및 하부 금형에는 SKD11을 사용하였다. Table. 1은 해석에 사용된 구성식과 함께 해석에 사용한 물성치를 나타내는 표이다.

Table. 1 Process Condition

	$\bar{\sigma} = Y_0 \left(1 + \frac{\bar{\epsilon}}{b}\right)^a$
소재의 유동응력	최소항복응력( $Y_0$ ): 260MPa 변형률경화지수(a):0.22676 변형률감소비(b):0.01138
소재의 탄성계수	199.95GPa
금형의 탄성계수	200.00GPa
마찰법칙과 마찰계수	Law of Coulomb friction $\mu=0.05$

Fig. 1은 Assemble Die와 Separate Die의 두 가지 형태의 금형을 나타내고 있다. 본 논문에서는 각각의 금형에 대하여 AFDEX

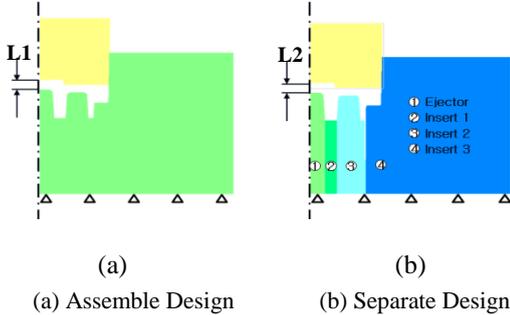
1. 서울과학기술대학교 대학원 제품설계금형공학과

2. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

# 교신저자: 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과,

E-mail:wjchung@seoultech.ac.kr

와 ABAQUS를 사용하여 유한요소해석을 진행하였다.



(a) Assemble Design (b) Separate Design

Fig. 1 2-types of Die Design

또한 (a)와 (b)에서 나타내고 있는 상부 금형의 하사점과 하부금형의 상사점의 거리인 L1과 L2는 8.11mm로 같다.

Fig. 1에서의 (a)와 (b)는 2차원 축 대칭 문제이므로 다이의 변위를 고정시키고 상부 금형의 변위를 -y방향으로 8.11mm 이동 시킴으로써 해석을 수행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 1에서의 두 가지 케이스를 이상적으로 해석을 했을 경우 금형의 총 행정은 8.11mm로 동일하다. 하지만 Assemble Process Design과 Separate Process Design의 리메싱이 최초로 발생하는 행정은 5.227mm와 5.054mm로 알 수 있다.

AFDEX와 ABAQUS 리메싱을 하는 방식이 다르기 때문에 리메싱 기능을 사용하지 않은 상태에서 결과 값을 비교해야 한다. 또한, AFDEX V16\_R01 요소가 열화 되어 해석정확도가 악화되는 경우 자동으로 리메싱이 되도록 설정이 되어 있다. 이러한 기능은 ABAQUS와의 객관적인 비교에 적합하지 않다. 따라서, 이러한 기준을 토대로 von Mises Stress와 변위의 해석 결과를 표로 정리하면 다음과 같다.

#### ① Assemble Process Design 비교

행정 : 5.246mm/8.110mm(리메싱 없음)

구 분	von Mises Stress(MPa)		Displacement(mm)	
	상·하부 금형	Workpiece	Die	Punch
AFDEX	2805	794.2	0.283	0.165
ABAQUS	2696	702.5	0.267	0.174

#### ② Separate Process Design 비교

행정 : 5.579mm/8.110mm(리메싱 없음)

구 분	von Mises Stress(MPa)		Displacement(mm)	
	상·하부 금형	Workpiece	Die	Punch
AFDEX	2196	805.6	0.510	0.167
ABAQUS	2080	702.5	0.476	0.179

## 4. 결론

본 논문에서는 현재 국내에서 개발되고 있는 AFDEX V16\_R01과 상용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS 6.10를 사용하여 드라이브의 응력과 변위를 비교하고 경향성을 알아보았다. 전반적으로 최대 응력, 최대 변위의 값과 발생 위치가 유사함을 알 수 있었으며, 같은 조건일 때에는 Separate Design이 Assemble Design일 때의 응력 값보다 적게 발생하는 경향을 보였다. 따라서, 상용화 된 프로그램인 ABAQUS 6.10과 비교 해석을 함으로서 AFDEX V16\_R01버전의 신뢰성을 검증할 수 있었다.

## 후기

이 논문은 2014년도 중소기업청의 혁신 기술개발사업의 지원을 받아 수행되었음.(S2227173)

## 참고 문헌

- [1] J. G. Eom, S. H. Chung, W. J. Chung, M. S. Joun, Elastoplastic Finite Element Analysis of Axis-Symmetric Cold Forging Process Considering Elastic Deformation of Dies, 2016, pp. 30~33

# 장축볼트 롤단조 공정의 해석결과의 실험적 검증

진호태<sup>1</sup> · 남태현<sup>2</sup> · 강석순<sup>2</sup> · 전만수<sup>#</sup>

## Experimental verification of the finite element predictions of the side bolt roll forging process

H. T. Jin, T. H. Nam, S. S. Kang, M. S. Joun

### Abstract

In this paper, a finite element model of grip in roll forging presented in the previous study [1] is validated by applying it to an actual roll forging process of long stepped bolt. In the model, a fraction of roll separating force is exerted on the front end of the material to be pulled, which was assumed 0.1 by insight. The comparison between predictions and experiments show that they are in good agreement with each other.

**Key Words** : Roll Forging (롤단조), Grip Pulling Force (그립 인장하중), Proportional Factor (비례상수)

### 1. 서론

롤단조(Roll forging)는 일종의 압연에 속하는 것으로 길이방향으로 형상이 균일하지 않는 봉재 형상의 제품 또는 예비성형체를 제조하는 목적으로 사용되고 있다. 롤단조에서 그립이 소재의 운동에 미치는 영향을 분석하기 위하여 압하력  $F_{RS}$  에 비례하는 추정된 하중을 그립에 부과하는 방법을 이전 연구에서 제안하였다[1]. 즉, 그립에 의해서 소재에 부과된 하중 즉 그립 인장하중  $F_G$  은 다음 식에 의해서 정의되며, 실제의 해석에서는 이 힘에 상응하는 균일한 응력을 소재의 선단면에 부과하였다. 여기서 상수  $f$  는 비례상수(proportional factor for grip pulling force)이며, 이 값은 실험과 해석의 비교를 통하여 공정에 특징에 따라 결정되는 일종의 공정변수를 정량화한 것이다.

$$F_G = f \times F_{RS} \quad (1)$$

이 논문에서는 식 (1)로 표현된 롤단조 중 그립 인장하중 부과 모델의 타당성을 실험과 해석을 통하여 입증하고, 적절한 비례상수를 제시하고자 한다.

### 2. 장축볼트 롤단조 공정 및 해석 조건

선행연구[1]에서 적용공정에 관하여 상술하였다. 해석에 필요한 공정변수와 관련된 내용은 다음과 같다. 실험에 의하여 획득된 소재의 고온 유동 특성은  $\bar{\sigma} = C(\epsilon, T)\dot{\epsilon}^{m(\epsilon, T)}$  식으로 표현하였고  $C$  와  $m$  값은 온도의 함수로 간주되었다. 롤과 소재 사이의 마찰계수는 0.25 로 간주하였으며 롤의 회전속도는 50 rpm 이다. 해석은 AFDEX 3D 를 사용하여 실시되었고, 요소망의 수는 40,000 개 내외가 되도록 하였다.

1. 경상대학교 일반대학원 기계항공공학부

2. ㈜한국사프트

# 교신저자: 경상대학교 기계항공공학부 / 공학연구원, E-mail: smjoun@gnu.ac.kr

### 3. 결과 및 고찰

추정된 그립에 부과된 인장력 비율(압하력 대비), 즉 비례상수는 0.1이다. 이 값을 이용하여 공정설계를 실시하였으며, 개발된 공정으로 실험을 실시하여 Fig. 2에서 해석결과와 비교하였다. 이 그림에서 보는 바와 같이, 실험결과와 해석결과는 매우 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다. 물론 선행연구에서 밝힌 바와 같이, 비례상수가 충분히 작을 경우, 이 값은 롤단조에서 중시하는 형상의 변화에는 미미한 차이를 발생시킨다. 그러나 평가된 그립의 모델은 상하 금형의 초기 또는 최종 접촉 전후에서 발생할 수 있는 미끄러짐이나 수치적 불안정성을 제거하기 때문에 실제의 공정 적용 시에 유용하다.

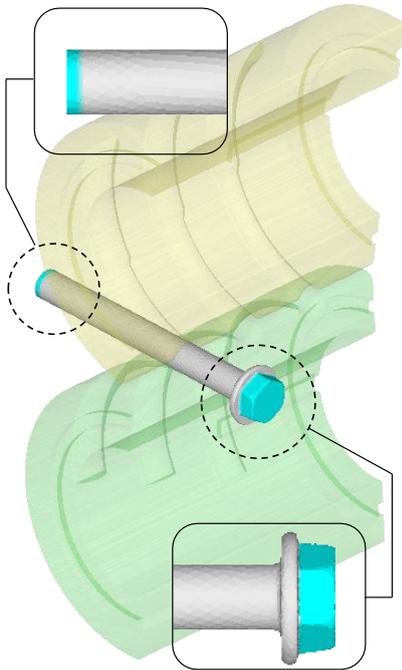


Fig. 1 Initial configuration of dies and material

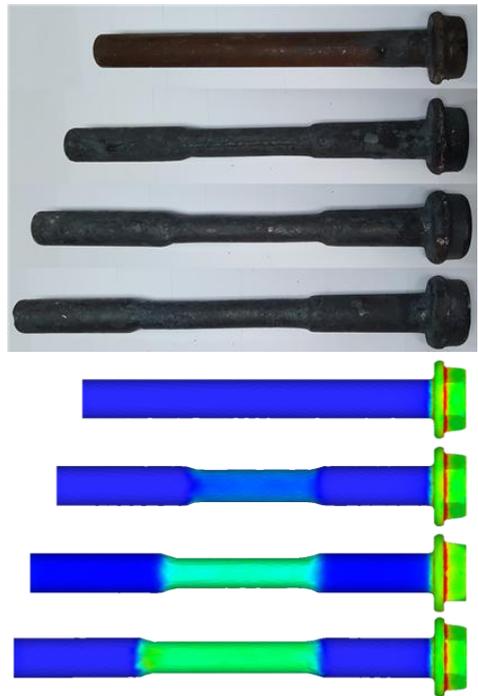


Fig. 2 History of deformation when  $f = 0.1$

### 4. 결론

이 논문에서는 선행연구에서 제시된 롤단조 공정의 그립의 수학적 모델을 장축볼트 롤단조공정의 실공정 적용을 통하여 실험적으로 검증하였다. 이 모델에서 그립에 의한 인장하중은 롤의 압하력의 일정비율, 즉 비례상수에 선형 의존적이라고 가정하였다. 상당한 크기의 범위 내의 비례상수에 대해서 안정적인 해가 얻어졌으며, 적용 예제에 대해서는 0.1을 적절한 값으로 제시하였다. 이 수치는 유사한 공정의 해석 시에 적용이 가능하다.

### 참고문헌

- [1] H. T. Jin, T. H. Nam, S. S. Kang and M. S. Joun, 2016, Finite Element Modeling of a Hot Roll Forging Process with Emphasis on Role of Grip and its Application, The Korean Society for Technology of Plasticity, Spring conference, pp. 180-183.

# 핫프레스포밍 후 냉간 피어싱공정에서 편치 파손에 관한 연구

권순호<sup>1</sup> · 이호성<sup>1</sup> · 진흥교<sup>2</sup> · 엄재근<sup>3</sup> · 홍석무<sup>#</sup>

## A Study on the Fracture of Shear Die in Cold Piercing after Hot Press Forming

S. H. Kwon, H. S. Lee, H. K. Jin, J. G. Eom, S. Hong

### Abstract

핫프레스 포밍은 강판을 950℃의 고온으로 가열하여 금형에 넣고 프레스 성형 후 동시에 급속 냉각하여 초고장력 강판(Ultra High Strength Steel)의 제품을 얻는 생산 방식이다. 기존 제품보다 높은 강도가 높아 충돌안정성을 확보하고 소재 두께를 줄여 경량화 할 수 있다. 그러나 소재의 높은 강도로 인해 금형의 파손이 기존 연강 소재보다 더 크게 발생하고 있다. 또한, 같은 크기의 피어싱 편치로 곡면 부와 평면 부의 냉간 피어싱 공정에서 곡률 부에 편치 파손이 더 크게 발생하였다. 본 연구에서는 초고장력 강판의 피어싱 금형에 가공경화(work hardening)가 미치는 영향에 관한 연구를 했다. 유한 요소 해석을 통해 가공경화를 다르게 받은 소재의 전단 해석을 진행하였고, 금형의 탄성 변형해석을 수행하여 편치에 발생하는 응력을 확인하였다. 이를 통해 같은 피어싱 편치에서 평면 부보다 곡률 부 편치의 응력이 더 크게 발생하여, 파손도 더 크게 발생함을 확인하였다.

**Key Words** : Hot press Forming, Work hardening, Die Fracture, Die Structural Analysis, UHSS(Ultra High Strength Steel)

## 1. 서론

최근 자동차 산업에서는 충돌 안정성 향상 및 차체 중량 감소를 시키기 위해 초고장력 강판(Ultra-High Strength Steel, UHSS)이 차량 주요 부품에 광범위 하게 적용되고 있다. UHSS는 강도가 높고 소재의 연신율이 낮아 프레스 가공 공정에서의 파단 불량률이 많이 발생한다[1]. 이에 대한 제어 기술 중에 하나인 핫프레스 포밍(Hot press Forming, HPF)은 강판을 950℃의 고온으로 가열하여 금형에 넣고 프레스 성형 후 동시에 급속 냉각으로 상변태(phase transformation)를 일으켜 초고장력 제품을 생산하는 방식이다. 연신율이 높은 고온의 상태에서 성형이 되어 복잡한 형상을 얻을 수 있으며 급속 냉각 후 1.5GPa의 강도를 갖는다. 그러나 초고장력 강판이 적용된 제품 전산 시 강판의 높은 강도 때문에 전단면의 품질이 저하되고 소재에 발생하는 응력에 의해 금형의 파손이 발생하여, 금형의 수명이 크게 단축된다. 본 논문에서는 같은 피어싱 편치에서 곡률 부에 발생하는 편치의 파손이 평면 부 편치 보다 크게 발생한 것에 대해 연구하였다.

1. Department of MetalMold Design Engineering,  
Kongju National University

2. MS AUTOTECH, www.msautotech.com

3. (주) MFRC 기술 연구소, www.afdex.com

# 교신저자: Department of MetalMold Design Engineering,  
Kongju National University, E-mail: smhong@kongju.ac.kr

제품의 평면 부와 곡면의 경도를 측정하여 강도로 환산 하였으며, 이를 바탕으로 소재 위치에 따라 가공경화를 고려하여 유동응력 곡선(Flow stress curve)을 다르게 적용하였다. 유한 요소 해석 프로그램은 AFDEX 2D를 사용하였고, 금형 구조 해석을 통해 평면 부와 곡률 부 편치에 발생하는 응력의 차이를 확인했다[2].

## 2. 금형 파손 원인 분석

판재 평면 부와 곡면 부의 인장 강도 차이를 확인하기 위해 경도 측정을 수행하였다. 일반적으로 인장 강도를 구하기 위해서 인장 시험을 해야 하지만, 성형된 제품은 두께 분포가 균일하지 않고, 평면이 아니라 단축으로 인장 하였을 때 걸리는 정확한 응력 값을 얻을 수 없다[3]. 실제 핫프레스 포밍으로 생산된 B-pillar 제품의 곡면 부와 표면 부의 시편을 채취하였고, 로크웰 경도(Rockwell hardness) 시험을 통해 c-scale로 경도 값을 측정 하였다. 원형 피어싱 홀 주변 8point를 선정하여 평균을 냈고, 경도 값을 인장 강도로 환산하였다. 평면 부 보다 곡률 부에서 +88MPa 더 큰 인장 강도를 확인하였다.

## 3. 가공 경화를 고려한 금형 구조 해석

유한 요소 해석 프로그램 AFDEX 2D를 사용하여, 1회 피어싱 전단 공정을 해석 하였다. 판재를 수직방향으로 전단하는 축 대칭 2차원 해석을 진행했고,  $\varnothing 20\text{mm}$ 와 제품 두께 1.4mm로 하였다. 가공 경화를 고려하기 위해 소재의 평면 부는 기존 초고장력 강판의 유동응력 곡선을 적용하였고, 곡률 부는 변형률이 40% 진행된 유동응력 곡선을 적용하였다. 먼저 금형을 강체(rigid body)로 설정하여 전단 해석 후 금형 구조 해석을 실시하였고, 편치의 하중이 최대일 때 평면 부와 곡률 부에서 편치에 발생하는 응력의 차이를 비교하였다. 곡률 부 전단 시 편치에 발생하는 응력이 평면 부에서 전단 시 편치에 발생하는 응력 보다 약 4배 크게 나타났다. 따라서 1회 전단 시 4배의 응력 값의 차이는, 반복 전단 해석을 하였을 경우에 피로 하중에 인해 더 큰 차이가 발생할 것으로 예상된다.

## 4. 결론

본 연구는 핫프레스 포밍 공정으로 생산된 초고장력 강판 제품에 원형 피어싱 공정에서 평면 부 보다 곡률 부에서 편치의 파손이 더 크게 발생하는 것을 가공경화를 통해 확인하였다. 실제 제품의 전단되는 부분을 경도 측정 후 인장 강도로 환산하였고, 곡률 부가 평면 부 보다 +88MPa 더 큰 인장 강도를 갖는 것을 확인했다. 명확한 차이를 확인하기 위해 유한 요소 해석을 활용하였으며, 가공경화를 고려한 평면 부와 곡면 부의 판재의 유동응력 곡선을 설정하였고 금형 파손에 요인으로 작용하는 인장 응력 발생량을 비교하였다. 곡률 부 전단 시 편치에 발생하는 응력이 평면 부에서 전단 시 편치에 발생하는 응력 보다 약 4배 크게 나타났다. 따라서 금형의 수명을 향상시키기 위해서, 소재에 발생한 가공경화를 고려한 금형 설계가 필요하다.

## 참고문헌

- [1] H. S. Choi, S. G. Kim, B. M. Kim, D. C. Ko, 2013, Quantitative Evaluation of Scratch Related Tool Life for Stamping of UHSS Using Pin-on-Flat Surface Test, Trans. Mater. Process., Vol. 22, No. 2, pp. 86~92.
- [2] AFDEX, <http://www.afdex.com>
- [3] D. H. Lee, T. J. Kim, J. D. Lim, H. J. Lim, 2009, Development of High Strength Steel Body by Hot Stamping, Trans. Mater. Process., Vol. 18, No. 4, pp304~309.

# 정밀냉간단조 공정의 온도영향을 고려한 스프링백 해석

전만수<sup>1, #</sup> · 정석환<sup>1</sup> · 황태민<sup>2</sup> · 정완진<sup>3</sup>

## Springback analysis of a precision forging process considering temperature effect

M. S. Joun, T. M. Hwang, S. H. Chung, W. J. Chung.

### Abstract

In this paper, a complicated coupled analysis of hot or cold upsetting process is conducted, considering all kinds of relationship between elastic and/or plastic deformation and temperature of material and elastic deformation and temperature of dies. In the die structural analysis, both mechanical force and thermal load are considered. Two simple examples of imaginary upsetting process, hot and cold ones, are investigated to reveal some correlation between all mechanical factors affecting the process in the macroscopic view.

**Key Words** : Precision Forging Simulation (정밀단조해석), Combined Coupled Analysis (종합연계해석)

### 1. 서론

소성가공 공정에 영향을 미치는 거시적 요소에는 금형, 소재, 프레스 등이다. 프레스의 변형은 스프링으로 모델링되며, 실제의 해석 시에는 일종의 정역학적 기법을 이용하여 어렵지 않게 반영할 수 있다. 금형은 기본적으로 기계적 하중과 열적 하중에 반응한다. 열간단조에서 표피에 부과된 높은 온도 분포는 소재의 팽창과 더불어 압축 응력을 유발하며, 이것은 금형 표면의 피로 파괴를 야기한다. 물론 금형의 변형은 소재의 변형에 영향을 미친다. 소재는 탄성 및 소성 변형량과 온도의 지배를 받는다.

이러한 요소들을 소성가공 시뮬레이션 시에 모두 고려하는 것은 많은 계산량을 필요로 하고, 프로그램의 난이도를 크게 높이는 결과를 초래한다. 따라서 실용적인 소성가공 시뮬레이션은 전술한 요소들에 대한 많은 가정에 근거하고 있다. 실제 과거의 소성가공 시뮬레이터 사용자들은 대부분 단조

분야에서 오랫동안의 경험을 보유하고 있었고, 전통적인 실용적 소성가공 시뮬레이션만으로도 많은 문제를 해결하는데 유용하게 사용되었다. 그러나 최근 경험이 적은 반면, 이론적으로 풍부한 소성가공 시뮬레이터 사용자들에게는 전술한 요소들에 대한 해결의 욕구가 높다.

이 논문에서는 전술한 요소들을 고려한 소성가공 시뮬레이션 결과를 제시함으로써 보다 현실적인 소성가공 시뮬레이션의 실현 가능성을 검토한다.

### 2. 업세팅 공정의 전체 연계해석

#### 2.1 열간 업세팅 공정

Fig. 1은 열간 업세팅 공정에 대한 해석결과를 나타낸 것이다. 좌편의 금형은 유효응력을 나타내고 우편의 금형은 온도의 분포를 나타낸다. 우측의 금형 온도 분포에서 하형의 온도가 약간 높은 것은 체류 공정이

1. ㈜엔에프알씨

2. 성진포머 개발팀

3. 서울과학기술대학교 제품설계금형공학과

# 교신저자: 경상대학교 기계항공공학부

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

고려되었기 때문이다. 소재는 강열점소성으로 간주되었다. 기본적인 해석조건은 참고 문헌[1]으로 대신한다. 상형의 금형구조해석 시에는 온도의 변화에 따른 열하중을 기계적 하중과 함께 고려하였고, 하형의 금형구조해석에서는 기계적 하중만 고려하였다. 이로 인한 응력의 차이를 명확하게 확인할 수 있다. 상형의 표피에서의 높은 유효응력은 온도의 상승에 따른 소재의 팽창에 기인하며, 압축응력 상태이다. 이것은 가열과 냉각의 반복으로 표면 균열 및 분리(spalling) 현상으로 연결된다.

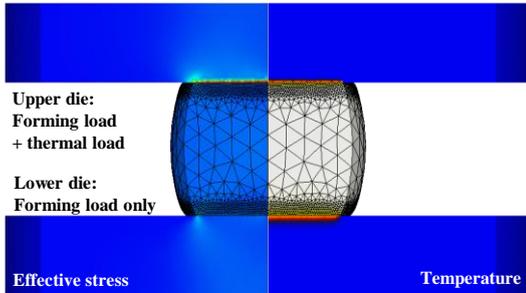


Fig. 1 Predictions of a typical hot upsetting process

### 2.2 냉간 업세팅 공정

Fig. 2는 냉간 업세팅 공정에 대한 해석결과를 나타낸 것이다. 이 해석의 특징은 다음과 같다. 소재는 탄소성으로 간주되었고, 금형과 소재 간의 열전달이 고려되었다. 금형의 구조해석에서는 성형하중의 영향뿐만 아니라 열하중의 영향도 고려되었다. 물론, 금형의 탄성변형이 소재의 탄소성 변형에 미치는 영향도 고려되었다. 금형은 예압되었으며, 예압에 따른 금형의 변형이 고려되었다. 해석에 사용된 조건들은 관련 문헌[2]을 참고하기 바란다.

### 3. 결론

이 논문에서는 각종 기계적 및 열적 연계를 고려한 해석 결과가 제시되었다. 소재와 금형 간의 열적 및 기계적 연계가 고려되었고, 이 때 금형의 열박음이 고려되었다. 물론 기계적 및 열적 하중에 의한 금형의 탄성변형과 소재의 탄소성변형과의 연계성이 고려되었다. 그리고 소재의 변형에서 소성변

형뿐만 아니라 탄성변형이 고려되었다. 따라서 모든 거시적 요소들이 해석에 고려되었다.

따라서 이 논문에서의 결과들은 보다 현실적인 소성가공 시뮬레이션의 가능성을 보여 주고 있으며, 특히 이 분야의 기술자들에게 공학적 감각과 상상력에 강화시키는데 도움을 줄 것으로 사료된다.

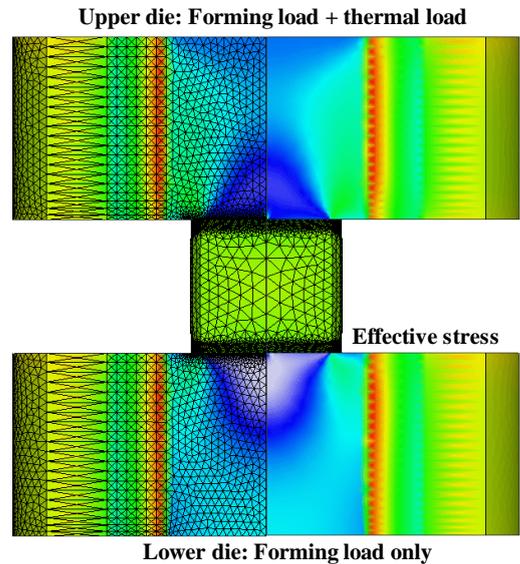


Fig.2 Precisions of cold upsetting process

### 후 기

이 논문은 2014년도 중소기업청의 혁신기술개발사업(S2227173) 및 중소기업청의 WC300프로젝트 기술개발지원사업(과제번호 : S241550)의 지원을 받아 수행된 연구임.

### 참 고 문 헌

- [1] M. S. Joun, H. K. Moon, R. Shivpuri, 1998, Automatic simulation of a hot-forming process by a rigid-thermoviscoplastic finite element, ASME, Vol. 120, pp. 291-296.
- [2] M. S. Joun, J. G. Eom, M. C. Lee, 2008, A new method for acquiring true stress-strain curves over a large range of strains using a tensile test and finite element method, Mechanics of Materials, Vol. 40, No. 7, pp. 586-593.

# 강소성 유한요소해석 열간단조 공정 중 금형의 변형에 관한 해석적 및 실험적 연구

황효열<sup>1</sup> · 정승원<sup>2</sup> · 전만수<sup>#</sup>

## Numerical and experimental study on die deformation in hot forging by rigid-thermoviscoplastic finite element method

H. Y. Hwang, S. W. Jeong, M. S. Joun

### Abstract

In this paper, a numerical study is conducted to quantify the elastic deformation of die in hot forging, prior to carrying out the related experimental study. An axisymmetric forging process is selected, which is simple enough to make clear the ambiguity due to complexity.

**Key Words** : Die Elastic Deformation (금형 탄성변형), Hot Forging (열간단조), Model Example (모델 문제)

### 1. 서론

시뮬레이션 기술을 이용한 단류선의 예측 결과는 질량보존법칙의 이론으로부터 실제의 현상을 잘 반영할 수밖에 없고, 경험적으로 볼 때도 대체적으로 인정되고 있다.

냉간의 경우, 치수정밀도가 상대적으로 중요하다. 단조품의 치수를 예측하기 위해서는 금형의 탄성변형의 고려가 필수적이다. 열간공정에서도 금형의 탄성변형을 고려해야 하는 경우가 있다. 대표적인 것이 장비의 선정작업처럼 정확한 성형하중 예측이 필요한 경우이다[1].

그러나 탄성변형을 고려한 해석 결과의 타당성 검증에는 큰 어려움이 따른다. 이 논문에서는 비교적 변형량이 큰 축대칭 열간밀폐단조공정을 선택하여, 타당성 검증의 선행연구 목적으로 탄성변형을 고려한 열간단조공정의 해석을 수행하여 그 결과를 분석한다. 이 해석결과는 실험결과와 비교될 것이다.

### 2. 적용 대상 공정의 선정

Fig. 1은 3단의 허브 단조공정 중 업세팅 공정(제1단)과 블로커공정(제2단)을 나타내고 있다. 그리고 Fig. 2는 제2단의 금형의 구조설계를 나타내고 있다. Fig. 2(a)는 실제의 단조공정이며, Fig. 2(b)는 외곽의 강성을 보강함으로써 금형의 변형량을 인위적으로 줄인 금형설계이다.

주요 해석 정보를 Table 1에 요약하였다. 소재는 Scr420HB이며, 소재의 가열온도는 1200°C이다. 금형의 탄성변형 시에, 금형 부품 1과 2 및 금형 부품 3, 4, 5의 사이에는 침투가 불가능하다는 조건을 부과하였다.

Table 1 Analysis information

소재의 유동응력	$\bar{\sigma} = C(\bar{\epsilon}, T) \dot{\bar{\epsilon}}^{m(\bar{\epsilon}, T)}$ [2]
금형의 탄성계수/ 포아송비	210.0 GPa / 0.28
마찰조건	Law of Hybrid friction $\mu = 0.2, m = 0.6$
프레스	JFP-2000

1. 우성메텍

2. ㈜엠프알씨

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

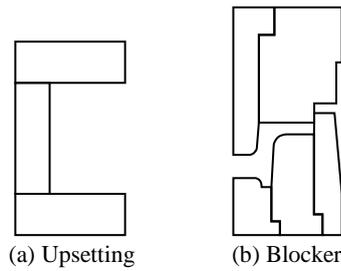
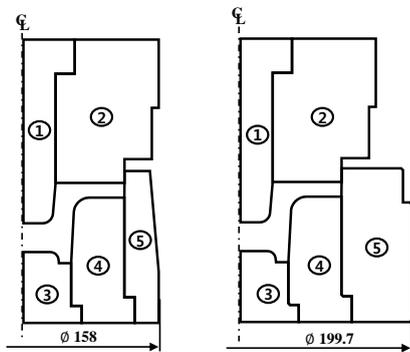


Fig. 1 Test process design

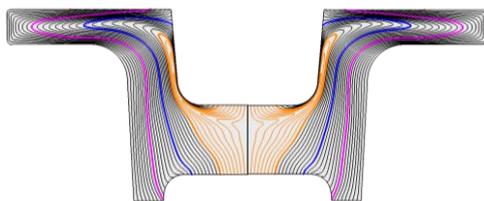


(a) Actual design (b) Structurally strengthened design

Fig. 2 Die design for the blocker.

Fig. 3에 단류선의 해석결과를 나타내었다. 그림에서 노란색은 반경 25%의 소재가 채워진 영역을 나타내며, 파란색과 분홍색 선은 각각 50%와 75% 반경의 단류선을 나타낸다. 좌편은 실공정의 금형에 대한 것을 나타내고 우편은 보강된 금형에 관한 결과를 나타낸다. 물론, 육안으로 구별이 불가능하다.

Fig. 4는 성형하중을 비교하고 있다. Fig. 4의 단류선과는 달리 육안으로 성형하중의 차이가 발생하였고, 이것은 보강된 금형을 사용한 것에 원인이 있다. 두 경우의 하중 차이는 약 200kN이다.



(a) Actual design (b) Structurally strengthened design

Fig. 3 Comparison of metal flow lines.

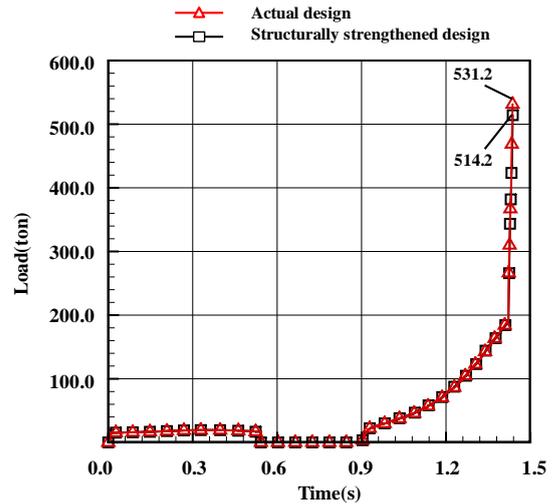


Fig. 4 Comparison of forming load

### 3. 결론

이 연구에서는 금형의 변형을 고려한 단조공정 해석 기술 및 기능의 타당성을 검증하기 위한 목적으로 실시된 선행연구이다.

금형의 변형량을 측정하기에 앞서, 적절한 공정을 선택하여 해석기술을 적용하여 획득된 결과물이 제시되었다. 실공정에 사용되는 금형과 보강된 금형의 변형량의 차이는 반경 기준으로 최대 0.04 mm로 나타났다.

### 후기

이 논문은 2014년도 중소기업청의 혁신기술개발사업의 지원을 받아 수행되었음.(S2227173).

### 참고문헌

- [1] S. W. Jeong, M. S. Joun, 2016, Rigid-viscoplastic finite element analysis of an axis-symmetric hot forging process considering elastic deformation of dies, KSTP, pp. 34-36.
- [2] M. C. Lee, M. S. Joun, 2013, AFDEX / MAT, an acquisition program of flow stress of material at room or elevated temperature, KSTP, pp. 225-228.

# 프레스의 탄성변형을 고려한 단조공정의 해석

Akash Meena<sup>1</sup> · 전만수<sup>#</sup>

## Analysis of a forging process considering elastic deformation of press

Akash Meena, M. S. Joun

### Abstract

In this paper, effects of elastic deformation of press as well as dies are studied by comparing some predictions obtained under various conditions. Four combinations of rigid or elastic press and rigid or elastic dies are examined to reveal the effects. A simple hot forging process with two stages are considered.

**Key Words:** Press Elastic Deformation, Die Deflection, Hot Forging Process.

### 1. 서론

공정설계 기술자들은 먼저 소성유동 또는 단류선 및 충전 여부와 성형하중에 관심을 가지고 있다. 단류선 등의 예측은 요구수준에 이미 도달해 있다. 그러나 성형하중의 정확도는 단류선과는 달리 성형하중이 소재의 유동응력, 금형 및 프레스의 변형 등에도 큰 영향을 받기 때문에 상황에 따라서는 신뢰할 수 없는 결과를 예측한다. 특히 덧살 미허용 단조의 경우, 마지막 순간에서 예측된 성형하중에 의미를 부여하는 것은 쉽지 않다.

그러나 최근들어 단조 시뮬레이션에 의존한 장비의 결정 등을 시도하는 사례가 많다. 경력자들의 수가 산업의 규모팽창에 비하여 늦은 속도로 증가하기 때문에 이러한 요구는 클 수밖에 없다. 대체적으로 사용자들은 프레스의 한계하중 측면에서 판단하여 실제 예상되는 성형하중보다 예측된 성형하중이 다소 크다고 생각한다. 물론 당연하다. 첫째, 프레스의 한계 성형하중은 실제 제작자가 추천한 한계치보다 약간 높다. 그리고 금형의 탄성변형 및 프레스의 영향을 무시 할

수가 없다[1]. 물론 강제 금형을 사용했을 경우와 비교할 때, 소성유동 또는 단류선의 변화는 크지 않았다.

이 논문에서는 프레스의 탄성변형이 성형하중에 미치는 영향을 조사하였다.

### 2. 프레스 변형의 영향 분석

이 연구에 사용된 열간단조공정의 형상 정보는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 그리고 주요 공정 정보는 Jeong 등[1]이 사용한 것으로 Table 1과 같다.

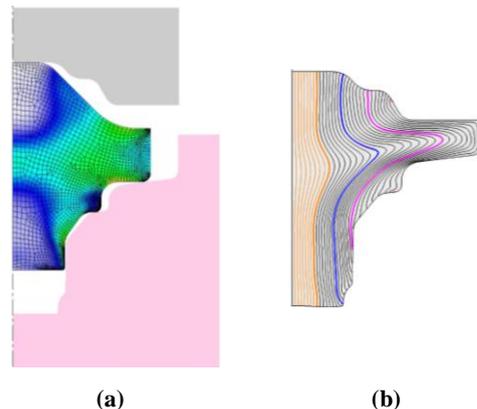


Fig. 1 (a) Process geometries and (b) metal flow lines of Case 1 (See Table 2)

1. 경상대학교 일반대학원 기계항공공학부  
# 교신저자: 경상대학교, E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

**Table 1 Analysis information**

소재의 유동응력	$\bar{\sigma} = C(\bar{\varepsilon}, T)\bar{\varepsilon}^{m(\bar{\varepsilon}, T)}$ [1]
금형의 탄성계수	210.0 GPa
마찰조건	Law of hybrid friction $\mu=0.2, m=0.6$
프레스	JFP-2000

프레스의 탄성변형이 성형하중에 미치는 영향을 조사할 목적으로 Table 2의 네 조건 하에서 해석이 수행되었다. 프레스의 탄성 변형은 변형량-성형하중의 함수로 입력될 수 있지만, 논리 전개의 명쾌함을 위하여 원점을 지나는 선형함수로 간주하였으며, 직선의 기울기, 즉 스프링상수는 3500 kN/mm와 7000 kN/mm의 두 경우의 값으로 가정하였다. 스프링상수 3500 kN/mm 참고 문헌[2]의 자료를 바탕으로 가정한 것이다.

**Table 2 Four combinations of press and dies**

	Die	Press
Case 1	Rigid	Rigid
Case 2	Rigid	Elastic
Case 3	Elastic	Rigid
Case 4	Elastic	Elastic

Table 3에 결과를 정리하였다. 금형과 프레스 모두 강체로 가정한 Case 1의 경우, 입력 스트로크와 해석 결과로 나타난 스트로크가 동일하도록 최종 스트로크를 결정하였다. 이 경우, 최종 스트로크에서 소재는 작은 크기의 자유 표면을 갖게 된다. Case 2, 3, 4의 경우는 소재가 Case 1보다 약간 길다. 왜냐하면, 동일한 스트로크를 입력하였지만, 금형 및 프레스의 탄성변형으로 인하여 소재의 높이가 커질 수밖에 없다. 그리고 당연히 하중이 감소한다. 이것을 Table 3에 나타내었다. 이 테이블에서 보는 바와 같이 프레스의 최종 스트로크에서 최대성형하중에 미치는 영향이 매우 큼을 알 수 있다. 금형의 탄성변형도 무시할 수는 없지만, 프레스의 그것에 비할 바가 못된다. 물론 프레스의 스프링상수의 증가는 그 차이를 좁히는 효과가 있다.

**Table 3 Effect of elastic deformation of press and die**

	Press Stiffness			
	3500 kN/mm		7000 kN/mm	
	Deflection of die and press(mm)	Forming load(ton)	Deflection of die and press(mm)	Forming load(ton)
1	0.0+0.0	564	0.0+0.0	564
2	0.0+0.535	192	0.0+0.420	316
3	0.034+0.0	537	0.034+0.0	537
4	0.541	194	0.433	312

### 3. 결론

이 논문에서는, 특히 밀폐단조 시에 최종 스트로크에 근접했을 때, 프레스를 강체로 간주하여 해석한 결과에서 최종 성형하중은 별 의미가 없음을 말해 준다. 실제 스트로크(여기서는 금형 사이의 두 점 사이의 거리로 정의한다)를 실제보다 작게 입력하면, 성형하중의 한계를 고려하지 않을 경우에는 밀폐가 발생하여 무한히 큰 성형하중의 결과를 낳게 된다. 이것은 무의미한 것이며, 수치해석에서 불가피한 부피변화에 민감하게 반응을 한다. 이 점을 깊이 이해할 필요가 있다.

프레스의 사양을 결정하기 위한 단조 시 물레이션 시에는 반드시 장비의 탄성변형을 고려한 성형해석 또는 스트로크의 결정이 이루어져야 한다.

### 후기

이 논문은 2014년도 중소기업청의 혁신기술개발사업의 지원을 받아 수행되었음.(S2227173).

### 참고문헌

- [1] S. W. Jeong, M. S. Joun, 2016, Rigid-viscoplastic finite element analysis of an axis-symmetric hot forging process considering elastic deformation of dies, KSTP, pp. 34-36.
- [2] T. Altan, M. Shirgaokar, 2005, Selection of forging equipment, ASM, Vol. 14A, pp. 36-46.

# 멀티 롤 다이 인발 공정의 기하학적 설계에 관한 연구

김정훈<sup>1</sup> · 김병민<sup>#</sup>

## A study on the geometrical design for multi roll-die drawing process

J. H. Kim, B. M. Kim

### Abstract

The multi roll-die drawing process consists of the idle roll-die and drawing die in tandem. In the course of drawing with roll-die, deformation takes place between the idle roller pair or pairs. The frictional force decreases with the idle roll-die, enabling the reductions to be risen in one step.

In this study, the theoretical models for the multi roll-die drawing process were proposed about the cross sectional shapes with circle-to-circle, circle-to-square, and circle-to-shape. The effects of roll-die in comparison with drawing die were analyzed through the theoretical models proposed, quantitatively. The pass schedule of multi roll-die drawing process was designed by virtual die method and was modified by considering the effects of roll-die. In order to verify the theoretical models and redesigned pass schedule, the FE-simulations and experiments of two-stage roll-die drawing process have been implemented.

**Key Words** : Multi Drawing Process (다단 인발 공정), Roll-die (롤 다이), Drawing die (인발 다이), Pass schedule (패스 스케줄)

### 후 기

이 논문은 산업통상자원부의 산업핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

---

1. 부산대 대학원 정밀가공시스템 전공

# 교신저자: 부산대학교 기계공학부,

E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

# 등가환산법을 이용한 멀티 롤 다이 인발공정의 하중예측

김세환<sup>1</sup> · 김병민<sup>#</sup>

## Prediction of Force of Multi Roll-Die Drawing Process using Equivalent Transformation Method

S. H. Kim, B. M. Kim

### Abstract

Multi roll-die drawing process consists of tandem with the idle roll drawing and die drawing. Recently, the drawing force was calculated by slab method, upper-bound method, and so on. But, previous methods are difficult to calculate the drawing force of the multi roll-die drawing process through a theoretical model because of the complex cross section shape. The purpose of this study is to predict drawing force easily in multi roll-die drawing process using equivalent transformation method. First, the cross section shape of drawn material transformed from complex shape to simple shape, and the drawing force was calculated using  $\Delta$ -parameter and equivalent transformation method of idle roll drawing and die drawing, respectively. Finally, friction force and shear force was considered with calculated drawing force, additionally. In the second pass, also, the drawing force considering the back tension was calculated. In order to verify the effectiveness of the proposed method, FE-simulation and experiment have been carried out. From the results of the FE-simulation and experiment, it had a good agreement between proposed method, FE-simulation and experiment.

**Key Words** : Multi Roll-Die Drawing(멀티 롤 다이 인발), Shape Roll Drawing(형상 롤 인발), Shape Drawing(형상 인발), Drawing Force(인발 하중), Equivalent Transformation Method(등가환산법)

### 후 기

이 논문은 산업통상자원부의 산업핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

---

1. 부산대 대학원 정밀가공시스템 전공  
# 교신저자: 부산대학교 기계공학부,  
E-mail:bmkim@pusan.ac.kr

# 오스테나이트계 스테인리스 인발 무계목강관 공정조건과 결정립 미세화 상관관계 연구

이광석<sup>1#</sup> · 이영선<sup>1</sup> · 김덕령<sup>2</sup>

## A study on the effect of process conditions on the grain refinement of cold-drawn austenitic stainless steel seamless tubes

K.S. Lee, Y.S. Lee and D.R. Kim

### Abstract

Cold drawn Cu-rich  $\gamma$ -stainless steel tube was considered as a new type of austenitic stainless steel which possesses not only excellent resistance to high-temperature corrosion above 600 °C and steam oxidation, but also superior creep strength. Thus, it is widely used in ultra supercritical boilers for fossil power plants. In order to utilize broadly, however, it is inevitable to deduce optimum thermomechanical process condition for grain-refining by ASTM No. 8 or more without crack generation during the entire fabrication process. In our work, softening, room-temperature compression and solutioning were subsequently carried out for hot-extruded  $\gamma$ -STS seamless tube at various temperatures and strains. The detailed mechanism governing the microstructural evolution during thermomechanical process was analyzed by optical microscope, scanning electron microscope together with electron back-scattered diffraction (EBSD) technique.

Cu 가 3% (wt. %) 내외 함유된 오스테나이트계 스테인리스 냉간인발 강관은 600 도 이상에서의 우수한 고온 내산화성 및 크리프 특성으로 인해 새로운 고온 내열 소재, 특히 초초임계(ultra-supercritical, USC) 화력발전용 터빈 및 튜브 소재로 주목받고 있다. 사용상의 주요 문제점으로는 1. 장시간 고온 크리프 강도의 저하, 2. 외부의 경우 석탄회 등에 의한 고온 부식, 3. 내부 고온 수증기에 의한 산화 등이 있다. 각각의 대응 방안으로는 1. 고용 및 석출 강화 원소의 최적화, 2. 경제적 합금 설계 및 외부 표면 처리, 3. 결정립 미세화에 의한 산화 지연 효과 등을 들 수 있는데, 본 연구에서는 우선 Cu-rich 오스테나이트계 무계목강관 제조에 있어서 주요 공정변수가 결정립에 어떠한 영향을 미치는지 분석하고, 수요가의 요구 수준에 맞춘 결정립미세화를 확보하기 위해 어떤 공정변수를 조정하여야 하는지를 제안하고자 한다.

**Key Words :**  $\gamma$ -stainless steel, thermomechanical process, grain refinement

### 후 기

본 연구는 세아창원특수강과 2016년도 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업의 지원에 의해 수행되었음 (GRANT NO. 10063258).

1. 재료연구소 실용화연구단

2. 세아창원특수강

# 교신저자: 재료연구소 실용화연구단 E-mail:ksl1784@kims.re.kr

# 인발 공정 및 필거 압연 공정에서 스테인리스 무계목 강관 및 접합 강관의 비교 평가

홍성규<sup>1</sup> · 홍성박<sup>1</sup> · 김병민<sup>#</sup>

## A comparison evaluation of stainless seamless pipe and welded pipe in drawing and pilger rolling processes

S. K. Hong, S. B. Hong, B. M. Kim

### Abstract

접합 강관은 무계목 강관에 비해 저렴하고 시장 규모가 크다. 또한, 낮은 두께의 허용오차, 내·외경의 난형도 및 수려한 내부 표면 등의 장점이 있다. 하지만, 용접부의 낮은 신뢰성으로 인해 고온, 고압, 강부식 및 높은 가공률이 필요한 경우에는 접합 강관의 적용이 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 무계목 강관 및 접합 강관의 성형 공정과 열처리 공정에 따른 미세조직 및 기계적 물성 비교 평가하였다. 접합 강관 및 무계목 강관은 STS 304 스테인리스를 사용하였으며, 외경은 48.6mm, 두께는 3t이었다. 건식과 습식 이중 피막처리 후, 인발 공정 및 필거 압연 공정을 각각 수행하였다. 각 성형 공정 후에는 잔류응력을 제거하기 위해 1050°C에서 광휘소둔 열처리를 실시하였다. 최종 제품은 외경 25.4mm, 두께 1.65t로 성형되었다. 실험결과를 통해 접합 강관의 기계적 물성이 향상됨을 확인하였고, 접합 강관의 적용 분야를 확대할 수 있을 것으로 기대된다.

**Key Words** : Drawing process (인발 공정), Pilger rolling process (필거 압연 공정), Seamless pipe (무계목 강관), Welded pipe (접합강관), Stainless steel (스테인리스 강)

### 후 기

이 논문은 2015년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2015H1C1A1035865)

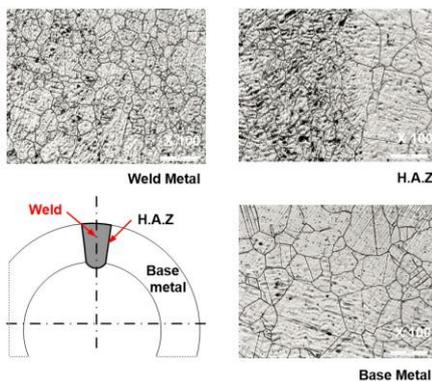


Fig 1. Microstructure of pilgered product after heat treatment

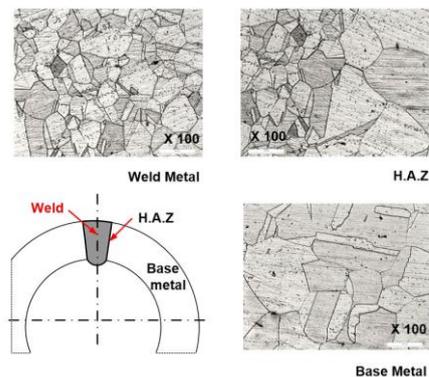


Fig 2. Microstructure of 3rd pass drawn product after heat treatment

1. ㈜부곡스텐레스

# 교신저자: 부산대학교 기계공학부,

E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

# 스테인리스강 인발공정 전처리 피막의 흡습성

남궁정<sup>1\*</sup> · 이영주<sup>1</sup> · 박종철<sup>1</sup> · 이광석<sup>2</sup> · 김정훈<sup>3</sup> · 김병민<sup>3</sup>

## Hydroscopic Property of the Surface Coating for the Stainless Steel Drawing with a Pre-treatment

J. Namkung, Y. J. Lee, J. C. Park, K. S. Lee, J. H. Kim, B. M. Kim

### Abstract

수산염 물질은 스테인리스강의 전처리 피막에 필수적인 물질로 널리 사용되고 있으나, 친수성 물질로 구성되어 있기 때문에 피막처리 후 여름철 고온 다습한 대기환경에 노출되면 시간경과에 따라 흡습이 발생하고 피막이 열화 되는 현상이 있고 스테인리스강의 인발제품 품질확보에 어려움이 있다. 스테인리스 강 인발 산업용 수산염 피막처리 조건에 따른 표면성상 관찰, 다습환경에서의 흡습에 따른 표면 성상의 변화관찰, 흡습시간에 따른 흡습성에 대한 다각적인 평가연구수행결과 보고는 미약하였다. 따라서, 본 연구에서는 국내 중소 스테인리스 인발제품 생산기업에서 전처리 피막제로 널리 사용되고 있는 황화 칼슘계 수산염 피막의 흡습에 따른 표면성상변화 관찰과 피막의 흡습성에 대한 정량적 평가를 시도하여 다습환경에서의 시간에 따른 흡습성 평가결과를 제시하며 스테인리스강 인발 산업현장 피막제 흡습 문제개선방향에 대하여 논의하고자 한다.

**Key Words** : 스테인리스강, 인발, 전처리, 피막, 수산염, 흡습성

### 1. 서론

인발공정에서 피인말소재 표면에는 윤활재의 부착성을 확보하기 위하여 전처리 피막을 형성한다. 일반적으로 탄소강의 경우 인산염 피막을 스테인리스강의 경우 수산염 피막을 적용하고 있다. 수산염 피막은 내식성이 우수한 스테인리스 강 표면과 반응하여 열풍 건조된 피막처리 초기에는 견고한 밀착성을 가지고 양호한 피막의 기능을 유지한다. 그러나, 여름철 및 우기의 다습한 환경에서는 처리된 피막 물질의 흡습성으로 인하여 밀착력에 약화되고 인발공정에서 피막의 역할을 하는데 문제가 발생하여 인발 공정장애 및 인발제품의 표면품질확보에 어려움이 있다. 국내 스테인리스강 중소인발기업에서 일반적으로 사용되는 전처리 피막제의 흡습성 문제에 대하여 경험적인 불편함과 어려움이 있었으나,

피막의 흡습진행에 따른 표면성상변화관찰 및 정량적인 흡습성 평가에 대한 연구보고는 미약하였으므로 본 연구에서 이러한 문제현상을 관찰 측정하고 향후 방습성 향상방안을 모색하고자 한다.

### 2. 실험방법

국내 스테인리스강 인발 중소기업에서 일반적으로 가장 많이 적용되고 있는 황화 수산염계 피막제를 증류수에 농도를 10%로 하고 용액의 온도를 70 ~ 95 °C 로 각각 변화하여 유지하고 L76 x W26 x t1mm 슬라이스 글라스를 용액에 약 5초 동안 침지한 후 꺼내어 약 60~70°C 드

1. 포항산업과학연구원

2. 재료연구소

3. 부산대학교 기계공학부

#교신저자 : RIST, E-mail: namkung@rist.re.kr

라이어 열풍으로 건조하였다. 건조직후 피막재의 코팅무게를 측정하고 현미경으로 표면성상을 관찰하였다. 흡습성 평가는 온도 26°C, 상대습도 65%, 75%가 유지되는 챔버에 5분~8시간 노출하고 습도변화, 시간 경과에 따라 피막재의 무게측정 및 현미경 표면성상변화 관찰을 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

85°C로 유지된 수산염 농도 10% 용액에서 침지하여 피막 처리한 시편에 대하여 드라이어로 건조하고 섭씨 26°C, 상대습도를 각각 65%, 75% 환경에 노출한 시간에 따라 무게 증가량을 흡습율로 나타내었다. 상대습도 65%에 비하여 상대습도 75% 분위기에서 흡습이 빠르게 증가됨을 볼 수 있다. 국내 대부분의 지역에서 6월~9월 시기에 평균상대습도 70~80% 환경이 조성됨을 감안할 때 전처리 피막방습에 대한 문제가 심한 수준임을 알 수 있다.

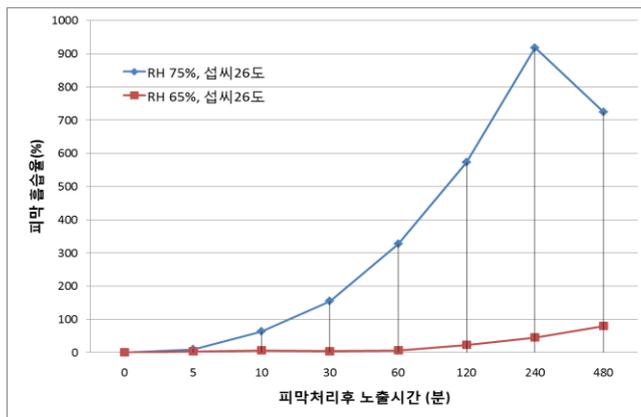


그림. 농도10%, 85°C처리 피막의 흡습율 그래프



그림. 피막표면성상 현미경 사진

### 4. 결론

수산염 피막재의 흡습율은 상대습도 증가 정도에 따라서 크게 영향을 받고 있으며, 국내 인발공장 작업환경 6월~9월 기간에는 조업 및 제품의 품질관리에 어려움이 예상되므로 피막처리제의 방습성 향상을 위한 첨가 물질발굴 및 처리기술개발이 필요하다.

### 참고문헌

[1] Chuiko, V. N., Savin G. and A. Kalashnikov(1973).Cold Drawing of Stainless Steel Tubes on Short Mandrel. *Metallurg, No. 3*, 32-33.

[2] Byon, S. M., S. J. Lee, D. W. Lee, Y. H. Lee and Y. Lee (2011). Effect of Coating Material and Lubricant on Forming Force and Surface Defects in Wire Drawing Process. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 21*, S104-S110.

# 초고강도강판 프레스성형용 금형의 CrN 코팅층 마모예측

배상범<sup>1</sup> · 이정흠<sup>1</sup> · 김세호<sup>#</sup> · 윤국태<sup>2</sup> · 허재영<sup>2</sup> · 박춘달<sup>2</sup>

## Wear Prediction of CrN Coating on the Press Tool for Stamping Products with UHSS

S. B. Bae, J. H. Lee, S. H. Kim, K. T. Youn, J. Y. Heo, C. D. Park

### Abstract

최근 자동차 부품생산 시 강화된 환경규제 및 경량화 요구에 대응하기 위한 초고강도강판 적용이 증가하고 있다. 초고강도강으로 제품 성형 시 금형과 블랭크 간의 접촉 하중과 소재 반력이 크게 증가하게 되며, 이로 인해 금형의 표면손상 및 금형 파괴 등이 발생하게 된다. 이에 대한 대책으로 금형 소재에 열처리 및 표면처리를 통해 금형의 표면경도를 증가시켜 금형수명을 연장시키고 있지만 큰 접촉 하중과 반복적인 마모에 의한 금형수명 저하가 발생하고 있다. 이에 따라 유지보수 빈도 증가와 생산중단 등의 문제가 발생할 가능성이 높기 때문에 사전에 금형수명을 예측하고 적절한 시기에 금형 보수 및 생산일정 변경 등의 효과적인 대응이 필요하다.

본 논문에서는 인장강도 1.5GPa 급 초고강도강판 성형용 프레스 금형의 코팅층 수명을 예측하고자 하였다. 대상은 폼타입 냉간 프레스 성형공정용 금형으로 양산 금형 제작과정과 동일하게 열처리-이온질화처리-CrN 표면처리된 금형 마모시험편을 제작하여 Pin-on-disc 방식 마모시험을 수행하였다. 프레스 성형공정의 유한요소해석을 실시하여 성형공정 중 발생하는 금형과 소재간의 접촉압력, 상대속도, 소재 미끄럼거리의 범위를 도출하였으며, 마모시험기에 적용 가능하도록 수직하중, 시험 속도, 미끄럼거리 등의 시험조건을 도출하였다. 실험계획법을 바탕으로 도출된 시험조건을 활용하여 마모시험을 수행하였으며, 분산분석 및 회귀분석을 실시하여 각 시험인자의 유의성을 판단한다. 이상의 기법을 바탕으로 기초 마모수명 예측식을 제안하여 수명예측을 실시하였으며, 속도효과가 고려되지 않은 기존의 Archard 모델과의 경향차이를 비교하였으며, 제안된 예측식의 적용 가능성과 문제점을 검토하였다.

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업의 지원에 의하여 수행되었습니다.

**Key Words** : UHSS(Ultra High Strength Steel), Press Tool, Wear Test, Prediction Model

---

1. 대구대학교 대학원 기계공학과  
2. 대구기계부품연구원 뿌리산업혁신본부  
# 교신저자: 대구대학교 기계공학부, E-mail : mvksh@daegu.ac.kr

# 금형구조해석을 활용한 1.5GPa급 초고강도강판 성형용 프레스 금형구조 최적설계

곽정환<sup>1</sup> · 강경훈<sup>2</sup> · 김세호<sup>#</sup> · 조준행<sup>3</sup>

## Design Optimization of the Tool Die for the Auto-member with UHSS of 1.5GPa UTS-grade using Structural Analysis

J. H. Kwak, K. H. Kang, S. H. Kim, J. H. Cho

### Abstract

최근 자동차 업계에서 경량화 요구와 환경 및 충돌안전 법규가 강화되면서 초고강도 강판 사용이 증대되고 있다. 초고강도 강판의 적용을 확대하면서 금형변형에 의한 형합불량, 성형성 불량 및 스프링백 과다 등의 문제점들이 발생한다. 일반 강판 성형 시 발생하지 않았던 금형의 내구수명 문제와 성형 시 제품의 치수 정밀도 저하의 문제가 발생하게 된다. 따라서, 시험성형 시 시행착오법을 통해 추가적으로 금형을 보정해야 하며 이런 문제로 제작과정에서의 금형가공비 증가 및 금형 납품가의 상승 원인이 되고 있다. 특히 1.5GPa 급 초고강도 강판의 냉간 성형 시 금형변형 등의 현상이 일반 강판에 비해 매우 클 것으로 예상되어 이에 대한 사전 대응이 요구된다.

본 논문에서는 저자들에 의하여 기존에 수행된 금형구조해석 기법 및 금형구조 평가 연구[1]를 활용하여 금형구조의 최적설계를 수행하였다. 1.5GPa 급 초고강도강판을 적용하여 냉간 프레스 성형되는 멤버류 부품인 센터 플로어 사이드 어퍼(center floor side upper) 제작용 금형구조를 금형구조해석 및 최적설계 결과를 바탕으로 설계변수 연구를 진행하였다. 하형 주물부의 리브 두께 및 코어구조 등 주요 설계변수의 인자연구를 실시하여 높이 방향의 리브 두께 보강이 변형 및 응력 감소 효과가 있으며, 코어 형상은 큰 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다. 또한, 실험계획법을 통하여 주물부 리브 두께를 설계변수로 지정하여 다구찌 기법을 이용한 최적설계를 실시하였다. 리브 두께가 증가할수록 좋은 결과를 보였으며, 트러스 형상의 중간 리브의 두께가 변형에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

**Key Words** : UHSS(Ultra High Strength Steel), Design Optimization, Structural Analysis, Tool Deformation

### 참고문헌

- [1] 곽정환, 강경훈, 김세호, 조준행, 최원호, 오강세, 2016, 금형구조해석을 이용한 초고강도 차량부품 프레스금형의 기초설계, 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 55.

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업의 지원에 의하여 수행되었습니다.

1. 대구대학교 대학원 기계공학과

2. ㈜트리니티 엔지니어링

3. ㈜세원물산

# 교신저자: 대구대학교 기계공학부, E-mail : mvksh@daegu.ac.kr

# 공정변수 산포를 고려한 초고강도강 프레스 성형공정의 스프링백 경향

김세호<sup>#</sup> · 배상범<sup>1</sup>

## Springback Tendency in the Stamping Process of the UHSS considering Scattering of Process Parameters

S. B. Bae, S. M. Choi, S. H. Kim

### Abstract

초고강도강 프레스 성형공정 시 발생하는 파단, 주름, 스프링백 등 불량에 의하여 금형 및 공정 수정에 따른 금형 개발 기간 및 비용이 추가적으로 발생하고 있다. 이와 더불어 초고강도강 소재의 재질 산포와 공정조건의 산포 등에 의하여 금형 개발 및 제품 양산 단계에서 많은 문제가 발생하는 실정이다. 소재 산포는 소재의 로트, 블랭크 취출 위치에 따라 항복강도, 인장강도, 연신률과 소성변형 특성이 다른 문제로 동일 조건 성형 시에도 성형성 및 제품 형상정밀도 등이 변화하는 등의 불량이 발생한다. 또한, 초고강도강 성형 시 윤활조건, 금형온도, 블랭크 위치, 가압력 등 공정변수의 미소변화에도 성형품의 품질이 민감하게 변화하는 문제가 발생한다. 이러한 소재 및 공정조건 산포 문제가 양산 실시 후 발생할 경우 보정이 불가능하여 입력값인 조건 산포 및 결과값인 성형성 및 형상정밀도 불량의 분포 및 편차를 사전에 파악하여 제품 생산 전 설계와 보정을 포함한 효과적인 대응이 요구된다.

본 논문에서는 인장강도 1GPa 급 초고강도강판 프론트 레일 루프(Front Rail Roof)의 폼 성형공정을 대상으로 하여 소재의 물성 및 공정변수의 산포를 고려한 해석을 수행하였다. 해석은 상용 유한요소 프로그램인 Autoform-Sigma 의 RBDO(Reliability based Design Optimization) 기능을 활용하였으며, 소재의 물성 산포를 고려하기 위하여 소재 두께, 인장강도, 항복강도를 대상인자로 하고 공정변수 산포는 마찰계수와 패딩력을 대상으로 고려하였다. 공정변수 산포에 의하여 발생하는 불량 분포의 정량화를 위하여 높이 방향 스프링백을 결과값으로 하여 산포범위를 분석하였다. 특히 소재의 인장강도가 비슷한 소재가 항복강도 산포를 가질 때의 스프링백의 산포가 무시하기 어려운 크기로 발생하는 결과를 얻었으며, 이는 양산성형 시 블랭크 소재 물성의 체계적인 관리가 필요함을 의미한다.

**Key Words** : UHSS(Ultra High Strength Steel), Springback, Process Parameter, Yield Strength, Scattering

1. 대구대학교 대학원 기계공학과

# 교신저자: 대구대학교 기계공학부, E-mail : mvksh@daegu.ac.kr

# 1.5GPa급 초고강도강 냉간성형과 Boron steel Hot-Forming 공법의 성형성 및 구조 성능 비교

오인석<sup>1</sup> · 김중상<sup>2</sup> · 김형종<sup>2#</sup> · 조준행<sup>3</sup> · 윤동렬<sup>3</sup> · 김정훈<sup>3</sup>

## Formability and Structural Performance Comparison of 1.5GPa Ultra-high-strength Cold-forming and Boron Steel Hot-Forming

I. S. Oh, J. S. Kim, H. J. Kim, J. H. Cho, D. Y. Yun, J. H. Kim

### Abstract

지난 수년 동안 자동차업계에서 대두되고 있는 연비를 위한 경량화, 배기가스 관련 환경규제, 충돌 안전성을 위한 강화된 법규 등을 만족하기 위해 초고강도강 사용이 급속히 증가하고 있는 추세이다. 자동차 부품에서 이 냉간과 열간의 두 가지 제조 방법에서 일반적으로 냉간 공정 제품이 열간 공정 제품의 강도를 넘어서지 못하다고 알고 있다. 하지만 최근 일반 냉간 성형용 스틸 재질의 개발로 1.5GPa급 초고강도가 제조되었으며 프레스 제조 공정에서 실제 부품 반영이 시도되고 있다. 1.5GPa급의 수준은 핫포밍과 동등한 수준의 강도이며 경량화와 충돌 안정성을 만족할 강도확보를 위한 해결책으로 열간 성형(Hot Forming)이 많은 곳에서 쓰이고 있지만 초기 투자 비용, 생산 시간, CO<sub>2</sub> 배출 관련 환경규제 등의 문제가 대두 되고 있다. 이러한 문제 때문에 냉간 성형 공정으로 열간 성형을 대체하려는 시도가 필요하며 그 타당성 및 가능성에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 1.5GPa 급 초고강도 강판으로 진행 된 실제 제품을 성형해석 프로그램을 이용하여 성형성 및 탄성회복의 예측을 하였으며 동일 제품의 열간 성형 공정을 진행하였다. 이로써 두 공정의 특성을 비교하였다. 냉간 공정의 재질은 Yoshida model을 반영한 재질을 사용하였으며 핫포밍에 쓰여지는 열적, 상변태적 재질은 PAM-STAMP에 설정되어 있는 Boron steel을 사용하였다. 두 공정이 끝난 후 소재의 변형량을 비교하였으며 그 특성을 분석하였다. 최종적으로 성형해석 프로그램에서 제작이 끝난 두 결과물을 임의의 지그로 변형시켜봄으로써 그 반력으로 두 결과물의 구조적 강성을 평가 비교하였다.

**Key Words** : Mold(금형), Springback Analysis (스프링백 해석), Ultra-high-strength-steel(초고강도강), Boron steel(보론강), PAM-STAMP(팜스탬프), Hot-forming(열간 성형)

1. ㈜한국이에스아이

2. 강원대학교

3. ㈜ 세원물산

# 교신저자: 강원대학교, E-mail: khjong@kangwon.ac.kr

# 1.5GPa급 초고강도 냉연강판 적용 자동차 차체부품 제조에 관한 연구

조준행<sup>1</sup> · 신현일<sup>1</sup> · 송정한<sup>2</sup> · 김형종<sup>3</sup> · 김영석<sup>4#</sup>

## Study on manufacture of car body in Advanced Ultra High Strength Cold-rolled Steel Sheets of 1.5GPa UTS-grade

J. H. CHO, C. H. LEE, H. I. SHIN, Y. S. KIM

### Abstract

본 연구는 인장강도 1.5GPa급 초고강도 냉연강판의 자동차 차체부품 제조에 관한 것으로 냉간프레스 가공 특성 및 스프링백 발생량 평가를 위해 압연 방향별 인장시험과 인장-압축-인장의 반복하중에 따른 기계적 특성을 분석하였다. 분석된 데이터를 이용하여 유한요소 해석을 통해 제품의 성형성 및 스프링백 발생량을 예측하여 최적화 금형을 설계하였고 실제 제품을 제작하여 해석결과와 비교, 분석을 실시하였다. 유한요소 해석은 AUTOFORM을 활용하여 진행했으며 해석과 동일한 조건에서 프레스 성형을 실시하였다. 제품의 스프링백 발생량 측정은 별도의 검사구(C/F)를 제작하여 제품 트림부(Trim)를 측정하였다.

**Key Words** : Stamping(스탬핑), Forming(성형), Press(프레스), UHSS(초고강도강), Springback(스프링백), Autoform(오토폼)

## 1. 서론

자동차 차체부품은 강화되는 연비기준과 배기가스 배출량 총축을 위해 중량을 줄이기 위한 노력이 계속되고 있으며 그에 상응하는 충돌안전 법규 및 상품성 규제 또한 지속적으로 강화되고 있어 경량화 뿐만 아니라 안전성도 함께 요구되고 있다. 차체의 중량을 줄이는 방법으로는 경량재료(알루미늄, 마그네슘, 탄소섬유 등)와 같은 비중이 낮은 재료를 적용하거나 차체 구조설계 최적화를 통해 부품 수를 줄이는 방법 또는 고강도강을 적용하여 두께를 감소시키거나 보강재를 삭제하는 방법 등이 있다. 그 중 고강도강을 적용하여 부품의 강성을

확보하는 방법은 별도 생산설비나 공정이 필요없이 기존 프레스 생산공정을 사용할 수 있다는 점에서 많은 부품이 적용되고 있으며 금형 및 생산기술의 향상으로 GIGA급 초고강도강의 적용 비율 또한 증가되고 있는 추세이다. 그러나 인장강도 1.5GPa급을 갖는 초고강도강의 경우 항복강도가 높고 연신율이 7~8% 미만으로 낮아 파손 및 주름에 의한 형상 정밀도 저하, 금형의 파손 및 변형에 의한 수명 저하, 고항복강도에 따른 스프링백량 과다 발생 등의 문제로 많은 부품업체에서는 열간성형을 이용한 핫스탬핑(Hotstamping) 공법을 적용하고 있다. 핫스탬핑은 경화능이 우수한 보론강을 900°C 이상의 고온에서 열간성형 후 급속냉각하여 최종적으로 1.5GPa급의 차체부품을 제조하는 공법으로 성형

1. 세원물산 2. 한국생산기술연구원  
3. 강원대학교 4. 경북대학교 기계공학화  
# 교신저자: 경북대학교, E-mail:caekim@knu.ac.kr

후 레이저 트리밍(Trimming), 피어싱(Piercing) 등 고가의 후가공이 필요하고 사이클타임(C/T)이 낮아 생산속도가 저하되어 부품의 원가를 상승시키는 요인이 되고 있어 대체 기술의 연구가 필요한 상황이다.

본 연구에서는 핫스탬핑과 동일한 인장강도를 갖는 1.5GPa급 초고강도 냉연강판의 냉간프레스 가공 특성 평가를 위해 압연 방향별 인장시험과 인장-압축-인장의 반복하중에 따른 기계적 특성을 분석하였고 유한요소 해석을 이용하여 성형성 및 스프링백 발생량을 예측한 최적화 금형을 설계하였다. 예측된 해석데이터와 비교를 위해 금형을 제작하여 유한요소 해석과 동일한 조건에서 프레스 성형 실시 후 해석 결과와 제품의 예측 정확도 오차를 분석하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 기계적 특성 분석

실험 소재의 기계적 특성을 분석하기 위해 MTS 만능시험기를 활용하여 인장강도 시험 및 단축 인장-제중, 단축 인장-압축-인장 반복시험을 수행하였다. 시편은 SPFC 1470Y 1.0mm를 사용하였으며 생산기술연구원의 장비를 활용하였다.

Table. 1 인장강도 시험 데이터

Direction	YS(MPa)	UTS(MPa)	r-value	Rm
0°	1149.45	1607.58	0.73007	0.804427
45°	1123.43	1591.88	0.83519	
90°	1151.75	1620.88	0.81725	

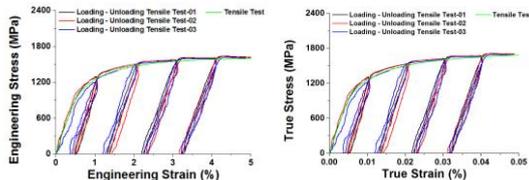


Fig. 1 단축 인장-제중 결과 그래프

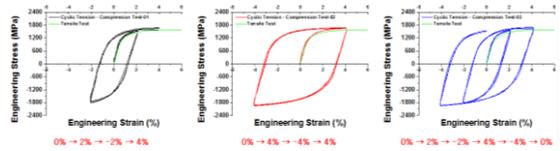


Fig. 2 단축 인장-압축-인장 결과 그래프

### 2.2 유한요소 해석

분석된 기계적 특성 데이터를 통해 유한요소 해석을 실시하였고 스프링백을 보정한 최적화 금형을 설계하였다.

### 2.3 해석 정확도 검증

스프링백 보정을 통해 성형된 제품의 해석 정확도 검증을 위해 검사치구에서 치수정도를 측정하였으며 해석 결과와 비교하였다.

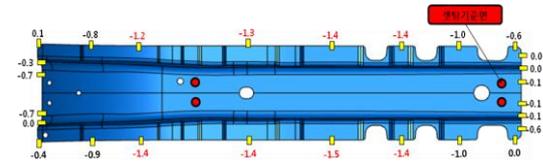


Fig. 3 시제품 제작 및 치수 측정

## 3. 결론

본 논문에서는 1.5GPa급 초고강도 냉연강판의 기계적 특성 분석과 유한요소 해석, 해석의 정확도 검증을 수행하였다. 해석 결과는 검사구 셋팅값을 기준으로 스프링백량을 측정하여 금형의 보정량을 결정하였다. 실제 금형을 제작하여 판넬의 스프링백량을 해석결과와 비교하여 정확도를 검증하였다.

### 후기

본 논문은 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 산업소재핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제명 : 1.5GPa급 초고강도 변형제어 냉간 정밀 프레스 성형 기술 개발)

## 1.5GPa급 초고강도 강판의 가변홀딩력에 따른 스프링백 비교

이충안<sup>1</sup> · 김형종<sup>1#</sup> · 송정한<sup>2</sup> · 조준행<sup>3</sup> · 김정훈<sup>3</sup> ·

### Comparison of Springback According to the Variable Blank Holding Force for 1.5GPa Ultra-high-strength

C. A. Lee, H. J. Kim, J. H. Song, J. H. Cho and J. H. Kim

#### Abstract

최근 자동차 연비향상과 충돌안전성 강화 등의 요구사항을 만족시키기 위한 대응책으로 국내의 자동차 업체에서는 초고강도강판 적용 비율을 지속적으로 증가시키고 있으며, 최근에는 인장강도 1.5GPa급 초고강도강판을 사용하는 비율이 증가하고 있다. 1.5GPa급 초고강도강의 차체부품 변형제어 냉간 정밀 성형 기술은 기존의 핫스탬핑에 비하여 설비 투자비가 저렴하고 제품형상 설계 자유도가 높아 자동차 차체부품 및 전자, 전기부품, IT 부품 제조에 넓게 활용 가능한 기술이다. 그러나 초고강도강의 냉간프레스 성형은 성형하중과 스프링백의 증가 성형성의 저하와 이에 수반되는 금형수명 저하 등의 문제가 있으며 특히 1.2GPa급 이상의 초고강도강에 대한 프레스 성형법 기술은 아직 미흡한 실정이다. 프레스 가공 시 제품 성형 관련하여 발생하는 문제는 크게 주름과 파단 그리고 성형 완료 후 발생하는 스프링백으로 나눌 수 있다. 주름과 파단에 영향을 주는 다양한 인자 중 블랭크 홀딩력(blank holding force)은 그 크기에 따라 주름 및 파단에 다른 영향을 미치고 성형 완료 후 스프링백의 크기 변화에 상당한 영향을 미친다. 블랭크 홀딩력을 시간에 따라 다르게 부여하는 가변 블랭크 홀딩력(variable blank holding force)기술은 초고강도강의 냉간 프레스 성형 시 필수적인 요소이며 이에 따른 제품의 스프링백 예측에 대한 연구가 반드시 필요하다. 본 연구에서는 1.5GPa급 초고강도강판의 냉간 프레스 성형 시 가변 블랭크 홀딩력에 따른 스프링백량을 예측하고 보완하기 위해 유한요소해석을 통한 스프링백 정밀 예측 기술에 대한 연구를 수행하였다. 가변 블랭크 홀딩력의 스프링백 영향성을 분석하기 위해 U-Bending모델에 대해 고정 블랭크 홀딩력과 가변 블랭크 홀딩력에 따른 성형 하중 및 스프링백량을 측정하고 이를 유한요소 해석 결과와 비교를 수행하였다. 스프링백 해석을 위해 사용된 해석프로그램은 판재성형 전용 해석프로그램인 PAM-STAMP를 사용하였으며, 경화모델은 Yoshida model을 사용하였다.

**Key Words** : Springback analysis(스프링백 해석), 가변 블랭크 홀딩력(variable blank holding force), Yoshida model(요시다 모델), Ultra-high-strength(초고강도강), PAM-STAMP(팜-스탬프), Finite Element Method(유한요소법)

#### 후 기

본 논문은 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 산업핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임.  
(과제명: 1.5GPa급 초고강도 차체부품 변형제어 냉간 정밀 프레스 성형 기술 개발)

1. 강원대학교 기계의용공학과

2. 한국생산기술연구원

3. ㈜ 세원물산

# 교신저자: 강원대학교, E-mail: khjong@kangwon.ac.kr

# Comparison of carbon dopants and its effect on the superconducting properties of MgB<sub>2</sub>

Mahipal Ranot<sup>1</sup>, S. H. Jang<sup>2</sup>, K. P. Shinde<sup>1</sup>, Y. S. Oh<sup>1</sup>, S. H. Kang<sup>1</sup>, and K. C. Chung\*

## Abstract

Carbon is proven to be very effective in pinning the magnetic vortices and improving the superconducting performance of MgB<sub>2</sub> at high fields, which is very important for practical applications. Up to now the carbon and the carbon containing compounds with minimum particle size of 15 nm or above have been used for doping into MgB<sub>2</sub>. However, according to two-gap superconductivity theory, if the size of the carbon dopant is of the order of coherence length ( $\xi_{ab(0)}$ ) of MgB<sub>2</sub> is approximately 6–7 nm), then large enhancement in flux pinning properties could be achieved. The small size and high number density of pinning centers lead to strong flux pinning. With this motivation, we have derived nanoscale amorphous carbon and carbon dots (CDs) from polymethyl methacrylate (PMMA) and polyvinyl pyrrolidone (PVP) polymers, respectively. We prepared the carbon-doped MgB<sub>2</sub> pellet samples by two different ways. In case of PVP-derived carbon dots, the CDs were added directly to the mixture of Mg and B. While in case of PMMA-derived amorphous carbon, the amorphous carbon was first coated on boron powders by pyrolysis of PMMA, and then stoichiometric amount of Mg was mixed well. The sample preparation was carefully carried out in the atmosphere-controlled glove-box. All pellets were sintered at 700°C for 30 min under the flowing high purity Ar gas. The  $T_c$  was found to be decreased for both dopants, however, significant enhancement in  $J_c(H)$  performance was obtained for amorphous carbon and carbon dots-doped MgB<sub>2</sub> samples compared to undoped sample. The high  $J_c$  values of  $J_c(5\text{ K}, 8\text{ T}) \sim 3.1 \times 10^4\text{ A/cm}^2$  and  $J_c(20\text{ K}, 5\text{ T}) \sim 10^4\text{ A/cm}^2$  were achieved for PMMA-derived amorphous carbon doped sample, which are similar with the best high-field  $J_c$  values reported for best known dopants for MgB<sub>2</sub>, such as SiC and malic acid. The improved flux-pinning force density as a result of C substitution for B and the partial inclusion of nano-sized carbon particles within grains might be responsible for enhancement of  $J_c$ .

**Keywords:** MgB<sub>2</sub>, Carbon Doping, Superconducting Properties

---

1. Korea Institute of Materials Science

2. Kiswire Advanced technology

# Korea Institute of Materials Science

Email: kcchung@kims.re.kr

# Mg,B core/Nb/Cu sheath 정수압 압출재의 Nb와 Cu의 미세조직 및 집합조직 변화 연구

이종범<sup>1,#</sup> · 박상용<sup>2</sup> · 정하국<sup>1</sup>

## Microstructural change and texture evolution of Nb and Cu of Mg,B core/Nb/Cu sheath fabricated by hydrostatic extrusion

J.B. Lee, S.Y. Park, H.G. Jeong

### Abstract

Mg, B 혼합분말을 Nb 튜브에 삽입 후 빌렛을 만들고 정수압 압출 공정에 의해 Mg,B core/Nb/sheath 압출재를 제조하였다. 압출비 및 단면적 감소에 따른 압출재의 기계적 특성 및 미세조직을 관찰하고 집합조직 변화를 EBSD를 이용하여 확인하였다. 소성변형 중에 각 Nb와 Cu 층은 정수압 압출 공정에 의해서 균일하게 소성변형 되었으며, 단면적 감소에 따라 결정립 크기도 미세화가 되었다. Cu와 Nb는 소성변형에 의해 동적 재결정립화가 일어나면서 (101) 면의 집합조직이 강하게 나타났다.

**Key Words** : MgB<sub>2</sub>, Hydrostatic extrusion, Powder densification, Hardness, Microstructure, Texture

### 1. 서론

MgB<sub>2</sub> 초전도소재는 임계온도 (T<sub>c</sub>=39K)이어서 저온 초전도소재와 달리, 값비싼 액체헬륨을 사용하지 않고 냉동기기로 생각하여 초전도 특성을 구현할 수 있다 [1]. 또한, MgB<sub>2</sub> 초전도소재는 고온초전도소재와는 달리 상대적으로 화학조성, 결정구조, 낮은 이방성 및 원소재가 저렴하다. MgB<sub>2</sub>가 갖는 전기적 특성으로 MRI의 마그넷 부품으로 사용이 가능하며, 적용하기 위해서는 MgB<sub>2</sub> wire로 제조하여야 한다[2]. MgB<sub>2</sub> wire 제조는 일반적으로 in-situ 및 ex-situ PIT (powder in tube) 공법으로 제조하여 인발 공정에 의해 선재를 제조한다. 여기서, in-situ는 Mg 분말과 B 분말을 튜브에 넣는 것이고, ex-situ는 MgB<sub>2</sub>를 튜브에 삽입하는 방법이다. 인발 공정은 압하율이 작아서 분말 충전율을 높이는데 한계가 있다. 분말 충전율이 낮으면 열처리 공정에서 MgB<sub>2</sub> 생성과 동시에 기공의 분율이 높아져서 낮은 임계 전류 값을 나타나게 된다.

본 연구에서는 in-situ PIT 공법으로 Nb 튜브에 시스재는 Cu를 사용한 빌렛을 제조하고 분말의 충전율을 높이기 위해 정수압 압출 공정으로 Mg,B core/Nb/Cu sheath 압출재를 제조하였다. 압출비에 core 분말의 충전율 변화 및 그에 따른 압출재의 기계적 특성, 미세조직 관찰 및 집합조직 변화 등을 분석하였다.

### 2. 실험방법

직경 40 mm, 두께 3mm의 Nb 튜브에 Mg 및 B이 1:1.2로 혼합된 분말을 삽입한 후, 직경 46 mm, 두께 3mm Cu 튜브에 삽입하여 빌렛을 제조하였다. 정수압 압출 장비를 이용하여 빌렛을 압출하여 압출재를 제조하였다. 압출비는 2~6이며, 상온에서 실시하였다. 제조한 압출

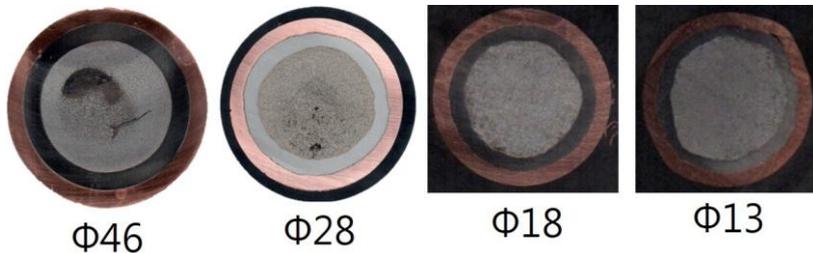
1. 한국생산기술연구원

2. 인하대학교 신소재공학과

# 교신저자: 한국생산기술연구원, E-mail: ljb01@kitech.re.kr

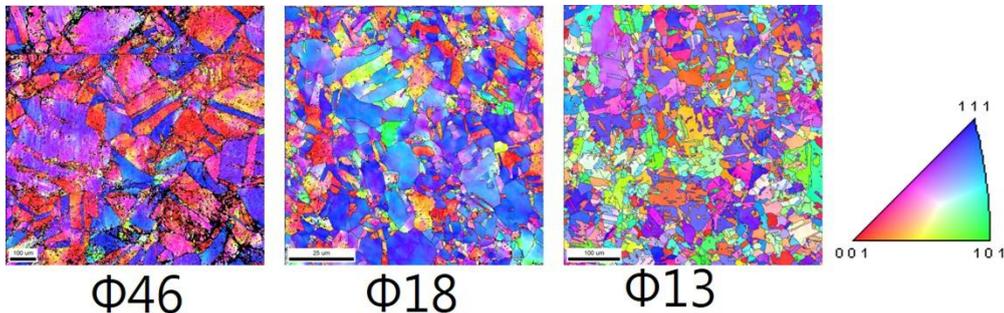
재는 비커스 경도계를 이용하여 기계적 특성을 분석하고 광학 및 전자현미경을 이용하여 미세조직을 분석하였다. 또한, EBSD를 이용하여 압축비 및 단면적 감소에 따른 집합조직 변화 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰



<그림 1: 빌렛 및 정수압 압출재 단면 사진>

직경 46mm의 빌렛을 만들고 정수압 압출 공정에 의해 직경 28mm, 18mm의 압출재를 제조하고 공형압연 공정에 의해 직경 13mm까지 단면적 감소시켰다. Nb과 Cu 소재는 균일하게 성형되었음을 확인할 수 있었다.



<그림 2: 단면적 감소에 따른 Cu소재의 미세조직 및 집합조직 변화>

빌렛의 Cu 소재의 평균 결정립 크기는 100  $\mu\text{m}$  이상이었으나, 직경 18mm 압출재는 24  $\mu\text{m}$ , 직경 13mm 압출재는 12  $\mu\text{m}$ 로 감소하였다. 또한 EBSD 결과에서 보듯이 단면적 감소됨에 따라 (101) 면으로 집합조직이 발달되는 것을 알 수 있다.

### 4. 결론

정수압 압출 공정에 의해 Mg, B core/Nb/Cu sheath 압출재를 제조하였으며, Nb와 Cu는 균일하게 소성 변형되었다. 압출재의 단면 감소에 따라 Mg, B 혼합분말의 충전율은 증가되었으며, Nb와 Cu 소재의 결정립은 미세화 되었다. Cu와 Nb 소재는 상온 소성 변형에 의해 동적 재결정이 발생하여 결정립 크기가 균일하게 되었으며, (101) 면의 집합조직이 발달하게 되었다.

### 참고문헌

1. J.Nagamatsu, N. Nakagawa, T. Muranka, Y.Zeniranim, J.Akimitsu, 2001, Superconductivity at 39K in magnesium diboride, Nature, Vol. 410, pp. 63-64
2. X. Tang, D.L.Zu, T.Wang, B.H. Han, 2010, An optimizing design method for a compact iron shielded superconducting magnet for use in MRI, Supercond.Sci.Technol. Vol. 23, pp. 085008

# MgB<sub>2</sub> 마그넷의 영구전류모드 운전을 위한 무저항 접합 기술 개발

김영균<sup>1</sup> · 송정빈<sup>1</sup> · 최윤혁<sup>1</sup> · 양동규<sup>1</sup> · 김성겸<sup>1</sup> · 정설희<sup>1</sup> · 김지만<sup>1,2</sup> · 황덕영<sup>2</sup> · 이해근<sup>1,#</sup>

## Development of Resistance-Free Superconducting Joint for Persistent Current Mode Operation of MgB<sub>2</sub> Magnet

Y. G. Kim, J. B. Song, Y. H. Choi, D. G. Yang, S. G. Kim, S. H. Jeong, J. M. Kim, D. Y. Hwang, and H. G. Lee

### Abstract

본 연구에서는 MgB<sub>2</sub> 마그넷의 영구전류모드 운전을 위한 접합저항이 0인 초전도 접합기술 개발의 일환으로 접합공정을 확립하고 공정변수에 따른 접합특성을 평가하였다. Mg와 B 분말 혼합체의 성형 및 열처리 공정을 통해 이루어지는 일련의 접합공정에서, 성형 시의 하중이 낮을 경우 전류 증가에 따라 접합된 선재의 전압이 증가하는 ohmic 특성을 보여 3000 lbs 이상의 하중에서 접합하는 것이 적합하다는 것을 알 수 있었다. 또한 승온속도가 느릴 경우, 열처리 시간이 증가하여 MgB<sub>2</sub> 선재 내부의 Nb barrier가 손상됨에 따라 MgB<sub>2</sub> 분말과 표면의 Cu층이 반응하게 되어 비 초전도 상태의 혼합물이 형성되기 때문에 임계전류특성이 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구결과를 통해, 접합저항이 0인 MgB<sub>2</sub> 선재의 초전도 접합기술의 구현 가능성을 확인하였으며, MgB<sub>2</sub> 마그넷에 적용할 경우 영구전류모드 운전을 가능케 할 수 있을 것으로 판단된다.

**Key Words** : MgB<sub>2</sub>, 마그넷, 영구전류모드, 초전도 접합 기술

### 1. 서론

인간의 삶의 질 향상 및 수명연장에 대한 필요성이 급부상함에 따라 전 세계적으로 이에 대한 활발한 연구가 진행되고 있으며 관련 의료기기 시장 역시 급속도로 성장하고 있다. 특히 초전도 마그넷 응용기술을 사용하는 핵자기공명/자기공명영상장치 (NMR/MRI)는 각각 시료 및 인체 내의 원소 분포를 10억분의 1의 정밀도로 분석할 수 있게 함으로써 생명·의공학 분야에서 필수적으로 요구되고 있는 장치이다. 그러나 현재 상용되고 있는 NMR/MRI는 액체헬륨의 사용이 필수적인 저온초전도 (low temperature superconductor, LTS) 선재를 주로 사용하는데, 헬륨 매장량의 한계 및 수요량의 꾸준한 증가로 인해 향후 지속적인 가격 상승이 예상되어 액체헬륨의 안정적인 공급이 어려운 상황이다.

반면 2001년에 최초로 발견된 MgB<sub>2</sub> 초전도체는 임계온도가 약 39 K로 전도냉각 및 고체냉매 냉각 등의 무헬륨 냉각이 가능할 뿐만 아니라, 저온초전도체와 흡사한 금속 제조 공정을 통해 제작하게 되어 수 km 단위의 장선화가 가능하기 때문에 차세대 초전도 재료로 급부상하고 있다. 이에 본 연구에서는 “초전도 의료·전력기기 적용을 위한 임계전류 특성이 우수한 6km급 MgB<sub>2</sub> 초전도 선재 및 코일 개발” 사업의 일환으로 MgB<sub>2</sub> 코일의 영구전류모드 운전을 위한 초전도 접합기술의 공정파라미터를 확립하고 단심 MgB<sub>2</sub> 선재의 접합을 수행 및 평가하였다.

1. 고려대학교 신소재공학과

2. Kiswire Advanced Technology Co., Ltd.

# 교신저자 E-mail: haigunlee@korea.ac.kr

## 2. 실험방법

본 연구에서는 공동연구기관인 고려제강 Kiswire Advanced Technology Co., Ltd. 에서 제작한 단심 MgB<sub>2</sub> 초전도 선재를 이용하여 접합을 수행하였다. 접합 공정은 그림 1과 같이 6단계로 실시하였으며 그 절차는 다음과 같다: 1) HNO<sub>3</sub>를 etchant로 사용하여 MgB<sub>2</sub> 선재 표면의 Cu층 제거; 2) etching된 MgB<sub>2</sub> 선재의 양 끝단을 비스듬히 절단; 3) mold에 Mg(제조사: 하나AMT, 순도: 99.8 %)와 B(제조사: pavezyum, 순도 95 %) 분말을 혼합하여 MgB<sub>2</sub> 선재와 함께 장입; 4) mold를 press하여 분말혼합체를 성형; 5) 세라믹본드(제조사: Aremco products, Inc.)를 이용하여 분말혼합체에 공기 유입을 차단; 6) 675 °C에서 1시간 동안 열처리 후 furnace cooling 실시. 접합된 샘플의 임계전류 특성은 액체헬륨 (4.2 K) 하에서 4단자법을 이용하여 측정하였다.

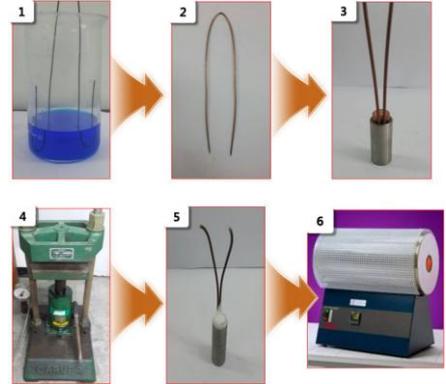


그림 1. MgB<sub>2</sub> 선재의 초전도접합 공정

## 3. 결과 및 고찰

그림 2는 승온속도 및 press 하중에 따른 접합샘플들의 V-I 그래프를 보여준다. 승온속도 1 °C/min으로 접합한 샘플들은 전류가 증가함에 따라 전압이 증가하는 ohmic 특성을 보이며, 전압이 매우 불안정한 것을 알 수 있다. 승온속도가 5 °C/min일 경우, 성형 시 press 하중을 2000 lbs로 접합한 샘플 역시 ohmic 특성을 보이지만, 3000 lbs로 접합했을 때 500 A의 전류가 통전되는 동안 전압의 상승이 없어 초전도 접합이 성공적으로 수행되었다는 것을 알 수 있다. 본 결과를 통해 성형 시 press 하중은 3000 lbs 이상으로 하는 것이 보다 적합하고, 승온속도가 느릴 경우 특성이 저하되는 것을 알 수 있으며, 이는 낮은 승온속도로 인해 열처리 시간이 증가하여 MgB<sub>2</sub> 선재 내부의 Nb barrier가 손상됨에 따라 MgB<sub>2</sub> 분말과 표면의 Cu층이 반응하기 때문인 것으로 판단된다.

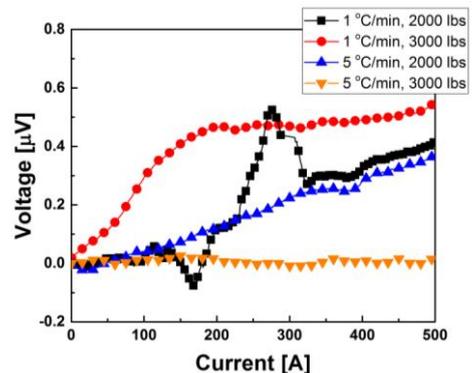


그림 2. 승온속도 및 press 하중에 따른 접합 샘플들의 V-I 그래프

## 4. 결론

본 연구에서는 차세대 초전도 재료로 급부상하고 있는 MgB<sub>2</sub> 선재의 초전도 접합기술 개발을 위해 접합공정을 확립하고 공정변수에 따른 접합특성을 평가하였다. 승온속도 및 press 하중에 따른 접합특성을 평가함으로써 성형 시의 press 하중을 3000 lbs 이상으로 하는 것이 접합공정에 보다 적합한 것을 확인할 수 있었다. 또한 승온속도가 느릴 경우, 열처리 시간이 증가하여 MgB<sub>2</sub> 선재 내부의 Nb barrier가 손상됨에 따라 MgB<sub>2</sub> 분말과 표면의 Cu층이 반응하게 되어 비 초전도 상태의 혼합물이 형성되기 때문에 임계전류특성이 저하되는 것을 알 수 있었다. 종합하면, 3000 lbs 이상의 press 하중과 5 °C/min의 승온속도로 접합을 수행할 경우, 접합저항이 0이며 가장 높은 임계전류특성을 갖는 초전도 접합을 구현 할 수 있으며, 이를 통해 MgB<sub>2</sub> 마그네틱의 영구전류모드 운전을 가능케 할 수 있을 것으로 판단된다.

## MgB<sub>2</sub> 선재의 인발 공정에 따른 barrier의 미세조직 및 계면 변화 연구

나신혜<sup>1</sup> · 김주홍<sup>1</sup> · 김효성<sup>1</sup> · 임재덕<sup>1</sup> · 황덕영<sup>#</sup>

### Study on the variations of the microstructure and interface in the barrier by drawing process of the MgB<sub>2</sub> wire

S. H. Na, J. H. Kim, H. S. Kim, J. D. Im, D. Y. Hwang

#### Abstract

MgB<sub>2</sub> 초전도체는 저온초전도체인 NbTi, Nb<sub>3</sub>Sn 등에 비해 임계온도가 39K 로 높기 때문에 고가의 액체 헬륨을 사용하지 않고도 일반 냉동기로 초전도 특성의 구현이 가능하며 초기 원료 분말의 가격이 저렴하다. 또한 MgB<sub>2</sub> 는 화합물 초전도체로서 고온초전도체에 비해 긴 coherence length 를 가지고 강한 이방성을 보이지 않으며, 선재로 가공하는 공정이 단순하고 경제성이 용이하여 저온 초전도체를 대체할 선재로 떠오르고 있다. 그러나 MgB<sub>2</sub> 초전도 선재의 원재료인 마그네슘, 붕소 및 MgB<sub>2</sub> 는 모두 연성이 부족하여 MgB<sub>2</sub> 선재의 장선화에는 여러 가지 문제점이 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 In-situ 및 Ex-situ 방식 등 선재 가공기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

MgB<sub>2</sub> 선재 제조 방법중 일반적으로 사용되는 PIT 법에서는 초기 충전되는 분말 종류와 Nb tube 의 미세조직 형태 등에 따라 선재의 인발 가공성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이는 선재 제조 공정 중에 불균일 성형에 의한 선재의 단면 형상 변화 및 초전도 특성 저하에 상당한 영향을 미칠 수 있다.

따라서 본 연구에서는 MgB<sub>2</sub> 선재의 인발 공정에서 초기 충전 분말 종류에 따른 선재의 인발 가공성 및 barrier 의 계면 변화에 대한 연구를 수행하였다. 또한 MgB<sub>2</sub> 선재 제조시 초기 Nb tube 의 미세조직에 따른 단면 형상 변화에 대해 조사하였다. MgB<sub>2</sub> 단심, 다심선재는 PIT(powder-in-tube) 방법으로 Mg, B, MgB<sub>2</sub> 분말을 각각 충전하여  $\Phi 1.4\text{mm}$  까지 인발 공정으로 제조하였다. 선재의 단면 형상 및 barrier 의 계면 변화는 광학현미경과 주사전자현미경으로 분석하였으며, barrier 의 미세조직 분석은 EBSD 로 분석하였다.

**Key Words** : MgB<sub>2</sub>, superconducting wire, Magnesium powder, Boron powder, Drawing process, niobium, barrier, interface, microstructure

---

1. Kiswire Advanced Technology Ltd.[KAT]  
# 교신저자: Kiswire Advanced Technology Ltd.[KAT],  
E-mail: dyhwang74@kiswire.com

## MgB<sub>2</sub> 전구체 분말의 혼합조건에 따른 초전도 특성 영향

장세훈<sup>1</sup> · 유현형<sup>1</sup> · 임재덕<sup>1</sup> · 황덕영<sup>1#</sup>

### The effect of mixing conditions of MgB<sub>2</sub> precursors on superconducting properties

S. H. Jang, H. H. You, J. D. Im, D. Y. Hwang

MgB<sub>2</sub> 초전도체의 임계온도는 39 K으로 고가의 액체헬륨을 사용하지 않고 냉동기로만 운전이 가능하며 뛰어난 성능과 쉬운 제조법 등의 장점을 이용하여 MRI 의료기기, 초전도 전력기기 등에 응용이 가능하다. MgB<sub>2</sub> 초전도 선재는 PIT(Powder In tube)법으로 제조되며 균일한 장선재 제조를 위해서는 균일한 Mg와 B 혼합분말이 필요하다. 하지만 나노 B분말 입자간의 높은 마찰력은 혼합분말의 밀도, 유동성, 충전성을 감소시켜 불균일한 특성과 단선의 문제를 발생시킨다. 본 연구에서는 건식혼합법을 이용하여 MgB<sub>2</sub> 전구체 분말을 혼합하였으며 습식혼합법과 비교, 조성비(Mg:B=1.1:2, 1:2, 0.9:2), 혼합시간(5, 15, 25 시간)에 따른 초전도 선재의 전기적 특성에 미치는 영향을 확인하였다.

In-situ 공정으로 Nb/Cu tube에 Mg, B 혼합분말을 장입한 후 최종선경  $\phi$ 1.03 mm까지 인발 가공하여 MgB<sub>2</sub> 단심선재를 제조하였고 675 °C 1시간 동안 Ar 분위기에서 열처리를 실시하여 MgB<sub>2</sub> 상을 형성시켰다. 각 혼합분말의 제조 조건에 따른 겉보기 밀도를 측정하여 혼합분말을 평가하였고 겉보기 밀도가 다른 혼합분말을 이용하여 MgB<sub>2</sub> 충전밀도 변화에 따른 MgB<sub>2</sub> core/Nb/Cu 단면형상을 관찰하였다. XRD, FE-SEM을 이용하여 혼합분말들과 MgB<sub>2</sub> 모노선재의 형성된 상들과 미세구조를 분석하였고 제조한 MgB<sub>2</sub> 모노선재의 임계전류밀도는 액체헬륨 온도(4.2 K)에서 3~6 T 자기장하에서 측정하여 평가하였다.

**Key Words :** MgB<sub>2</sub>, 겉보기밀도, 임계전류밀도, 인발 가공

---

1. Kiswire Advanced Technology Ltd., Daejeon, Korea

# Kiswire Advanced Technology Ltd., Daejeon, Korea, E-mail: dyhwang74@kiswire.com

## 공형압연을 이용한 초전도 $MgB_2$ 선재 제작

오영석<sup>1</sup> · 박선명<sup>1</sup> · 이호원<sup>1</sup> · Mahipal Ronot<sup>1</sup> · 황덕영<sup>2</sup> · 강성훈<sup>#</sup>

### Fabrication of $MgB_2$ Superconducting Wire Using Groove Rolling Process

Y. S. Oh, S. M. Park, H. W. Lee, M. Ranot, D. Y. Hwang and S. H. Kang

#### Abstract

In the conventional drawing process of  $MgB_2$  superconducting wire, non-uniform plastic deformation such as sausaging of the wire may occur due to the low ductility of Mg and B powder. The repeated drawing processes can cause breakage of wire because of the penetration of B powder into the soft sheath material (diffusion barrier). This non-uniform plastic deformation is one of the barriers to fabricate kilometre long  $MgB_2$  wire and its applications. For this reason, it is very important that the thickness of sheath material must be maintained uniformly during the manufacturing process. Groove rolling process is alternative method to reduce non-uniform plastic deformation by applying uniform strain and low work hardening on the wire compared with drawing process. In this study, we fabricated multi-filamentary  $MgB_2$  wires by groove rolling and drawing with different volume fraction of Mg + B powders for in-situ method. And we investigated the optimum volume fraction of powder in groove rolling and drawing processes. The deformation behavior of sheath material measured by optical microscopy was compared to drawing process with different volume fraction of powder. And superconducting properties were also compared with drawing process. From above study, we found that groove rolling is more helpful to prevent non-uniform plastic deformation because of its uniform distribution of thickness and low hardening rate of sheath material.

**Key Words** :  $MgB_2$  Superconducting wire, Groove rolling, Drawing, Sheath material, Diffusion barrier, Superconducting property

---

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

2. K.A.T.

# 교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소, E-mail: kangsh@kims.re.kr

## 중공축 개발

신승만

### Development of Tubular Shaft

Seungman. Shin

#### Abstract

구동축(H/Shaft)은 엔진에서 나온 출력을 회전속도와 토크의 변동 없이 휠축에 전달하는 부품이다. 일반적으로 엔진과 트랜스미션을 좌우간 직렬 배치로 인하여 트랜스 미션의 위치가 좌 또는 우측으로 편중될 수밖에 없고 이에 따라 구동축의 좌우 길이와 그 꺾이는 각도가 다르기 때문에 차량의 급출발 시 모멘트 차이로 인한 좌 또는 우로 쏠리는 토크스티어 현상이 발생한다. 현재 개발 적용되고 있는 구동축은 인너 샤프트를 적용하여 좌/우 구동축의 길이와 꺾임각을 동일하게 하거나 우측 샤프트의 경을 증대하여 좌/우 강성비를 맞추고 있지만, 부품의 중량이 증가하여 연비가 떨어지는 문제가 여전히 숙제로 남아 있다. 알루미늄 소재, 하이드로 포밍 프레임, 중공 구조물 등 중량절감을 위해 연구개발이 이뤄지고 있다. 본 논문에서는 최적화 설계와 고내구 신뢰성 설계 및 평가 기술을 적용하여 구동축의 진동 특성을 향상 시킬수 있는 중공 구동축을 개발하여 기술 경쟁력을 확보하고 해외 수출의 기반을 갖추고자 한다

**Key Words** : Tubular Shaft(중공축), H/Shaft(구동축), CVJ(등속조인트), Torque steer(토크스티어)

# 레이저 하이브리드 용접 판재의 열처리 조건에 따른 기계적 물성 변화에 대한 연구

이호원<sup>1</sup> · 오영석<sup>1</sup> · 강성훈<sup>#</sup>

## Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of Laser Hybrid Welded Plate

H. W. Lee, Y. S. Oh, S. H. Kang

### Abstract

In this paper, the effect of heat treatment on mechanical properties of laser hybrid welded specimen was investigated experimentally. The boron steel plate was butt welded by laser hybrid welding. Then, the steel plate was heat treated with quenching-tempering process. The temperature and time during heat treatment was varied to investigate the effect on mechanical properties. The tensile strength, hardness and microstructure of each specimen was investigated experimentally.

**Key Words:** laser hybrid welding, heat treatment, mechanical property, quenching-tempering

---

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소 소재성형연구실  
# 교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소 소재성형연구실,  
E-mail:kangsh@kims.re.kr

## 압연 및 성형에 의한 변단면 판재의 조직학적 분석

손승우<sup>1</sup> · 이종훈<sup>1,#</sup>

### Analysis on microstructure of variable cross section plate after rolling and forming

S. Son, Z. Lee

#### Abstract

To weight reduction of car, our research group have been trying to compose a shaft as variable cross section. We analyzed each part of the variable cross section plate made by KIMS. With this material, effects of rolling and forming were also studied. After rolling and forming, a laser-arc hybrid welding effects were observed. The arc welding process is easy and convenient when an object is thick. The laser welding process has merits of deep fusion depth and fast welding speed. With those advantages of the arc and the laser welding processes, industrial field tried to combine the arc and the laser welding processes as hybrid welding. The variable conditions such as laser power, arc current and welding speed will be used for manufacturing variable thickness hollow drive shaft for automobile. This study investigated the microstructure of the variable cross section plate. Additionally, the effects of rolling and forming with the hybrid welding parameters were investigated to find suitable conditions for stable welding process.

**Key Words** : : Microstructure Analysis, Variable cross section plate, Rolling, Forming

---

1. 울산과학기술원 신소재공학부  
# 교신저자: 울산과학기술원 신소재 공학부,  
zhlee@unist.ac.kr

## 35MnB 용접파이프의 스웨이징 성형 공정 연구

이종섭<sup>1</sup> · 김용배<sup>1</sup> · 정선호<sup>1</sup> · 임성주<sup>1</sup> · 강성훈<sup>2</sup> · 이상목<sup>#</sup>

### Study on the swaging process of 35MnB welded pipes

J. Lee, Y. B. Kim, S. H. Jeong, S. J. Lim, S. H. Kang, S. Lee

#### Abstract

Recently, monobloc hollow drive shaft is required for the weight reduction of the auto-body parts. New manufacturing process for the drive shaft using variable cross-section tube has been proposed. At the final stage of this process, the variable cross-section tube is swaged in order to form the stub part of the drive shaft. Thickness variation during the swaging is required for the process design of the variable cross-section.

In this study, the swaging process of 35MnB welded pipes has been studied. Tubes for swaging were made using 35MnB. The thickness increases with respect to various materials and process parameters was investigated.

**Key Words** : tube thickness variation, swaging, material, process parameter

---

1. 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소

2. 재료연구소

# 교신저자: 한국생산기술원 뿌리기술연구소,

E-mail:sanmokl@kitech.re.kr

# 롤 포밍에 의한 변형잔류응력이 레이저 하이브리드 용접 잔류응력에 미치는 영향 분석

김태용<sup>1</sup> · 이영호<sup>2</sup> · 이영석<sup>#</sup>

## A Study on how residual stress caused by roll forming process affects Laser arc hybrid welding condition

T.Y. Kim, Y.H. Lee, Y.S. Lee

### Abstract

본 연구에서는 가변압연판재(TRB)를 적용한 롤 포밍 공정을 유한요소 해석하여 변형 잔류응력을 계산하였다. 이때 계산된 변형잔류응력은 원주 방향과 길이 방향에 따라 다르게 분포한다. 계산된 잔류응력을 롤 포밍이 완료된 가변 단면 튜브에 레이저 하이브리드 용접 과정을 모사하여 롤 포밍에 의한 변형잔류응력의 유무에 따라 용접 잔류 응력의 변화를 분석하였다.

**Key Words** : Laser welding, Gas metal arc welding(GMAW), Hybrid laser-GMA welding, Finite elements method(FEM), Residual stress, Heat affected zone(HAZ), Roll forming, X-ray diffraction, instrumented indentation

### 1. 서론

용접 구조물의 용접잔류응력은 용접 방법, 용접부 형상, 입열량, 구속조건, 소재 특성 등의 많은 변수에 의하여 영향을 받으므로 정확한 예측이 힘들다. 최근 용접잔류응력을 측정하기 위한 방법들도 많이 개발 되어 측정 정확도가 높아지고 있다. 용접잔류응력을 계산하기 위하여 유한요소해석, 용융점 근처의 물성치 변화를 고려할 수 있는 전문 소프트웨어 등과 같은 수치해석방법도 개발되어 있다.

그러나 여전히 많은 변수들로 인하여 용접 잔류응력의 예측이 힘들다. 본 연구에서는 용접 시편을 제작하여 레이저 하이브리드 용접을 수행한 후 계정화 압입법과 x-선 회절법을 사용하여 시편 표면에서의 용접잔류응력을 측정하고 레이저 하이브리드 용접에 대한 유한요소해석을 수행하여 용접잔류응력을 계산하였다.

또한 실험을 통해 가변압연판재가 롤 포밍 공정을 걸친 제품의 성형성 평가를 하고 가변압연판재의 롤 포밍 공정을 유한요소 해석하여 계산하였다.

용접에서는 잔류응력 측정값과 유한요소해석 결과를, 롤 포밍에서는 제품의 성형성 평가와 유한요소해석 결과를 비교하여 고찰하였다.

검증을 통한 결과로 롤 포밍에 의한 변형잔류응력이 용접 잔류응력에 어떠한 영향을 미치는지 유한요소해석을 통해 분석하였다.

### 2. 실험방법

롤 포밍 판재의 크기는 770mm×165mm×3(or 6)mm (세로×가로×두께) 인 가변압연판재이고 소재는 ST35MnB이다.(Fig. 1)

실제 롤 포밍 공정을 걸쳐 가변단면 판재의 성형성을 평가하였다.(Fig. 2)

용접잔류응력 측정은 계정화 압입법과 x-선 회절법을 이용하여 측정하였다.

1. 중앙대학교 기계공학과  
2. 중앙대학교 기계공학과  
# 교신저자: 중앙대학교 기계공학과, E-mail: ysl@cau.ac.kr

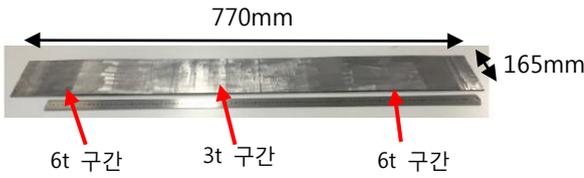


Fig. 1 가변압연판재 실제 모습

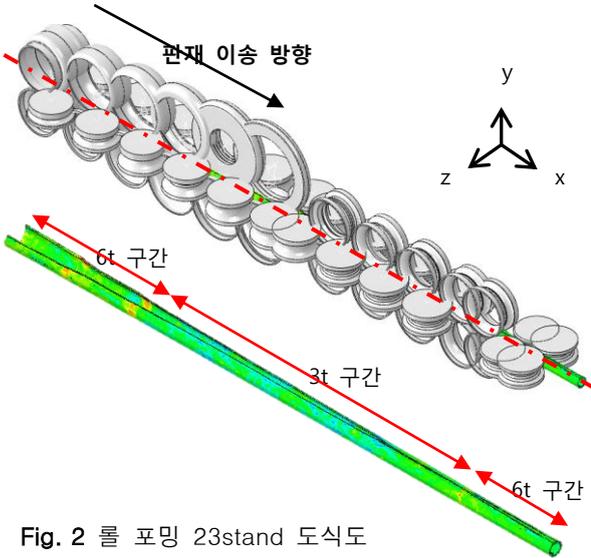


Fig. 2 롤 포밍 23stand 도식도

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 실제 가변압연판재를 롤 포밍 모습과 유한요소해석 결과를 통한 시뮬레이션 모습을 비교한 것이다. 간격 차이가 거의 일치하는 것을 보아 경향은 같다고 할 수 있었다.

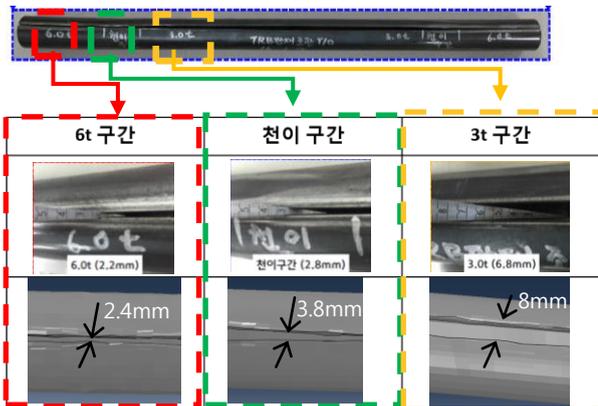


Fig. 3 롤 포밍 성형성 비교 (제품 vs FEM)

Fig. 4는 계정화 압입법과 x-선 회절법을 이

용한 각 측정점에서 측정한 용접잔류응력과 유한요소해석을 통해 계산된 잔류응력 분포를 비교한 모습입니다. 잔류응력분포 경향이 같다.

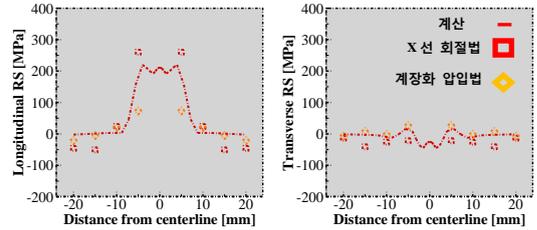


Fig. 4 용접잔류응력 분포 비교 그래프

Fig. 5는 가변단면 튜브에 레이저 하이브리드 용접을 했을 때와 롤 포밍에 의한 변형잔류응력이 존재할 때 레이저 하이브리드 용접을 했을 때 모습을 비교했다. von Mises stress를 비교해서 보면 용접 부분에 생기는 잔류응력은 큰 차이가 없다. 하지만 그 외 부분에서는 변형잔류응력에 의해 생긴 응력에 의해 많은 차이를 보인다.

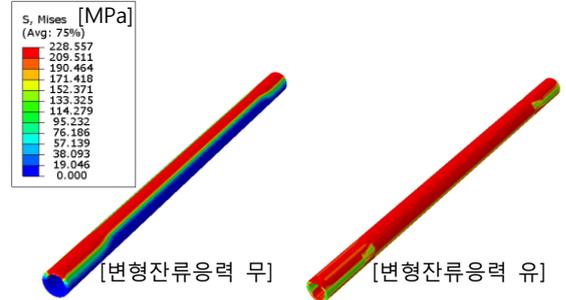


Fig. 5 변형잔류응력의 유무에 따른 용접 후 응력

### 4. 결론

본 연구에서는 롤 포밍에 의한 변형잔류응력이 레이저 하이브리드 용접 잔류응력에 영향을 미치는지 살펴보았다. 그 결과 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

본 논문에서의 내용을 바탕으로 변형잔류응력을 고려할 때 최적화된 용접 조건을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

박치용, 이경수, 김만원, 송기오. (2010.9). 직선 Slot 용접의 유한요소해석 및 용접잔류응력 분포특성. 대한기계학회 논문집 A권, 34(9), 1311-1316.

## 가변단면튜브 롤포밍 공법 개발

김동범<sup>1</sup> · 조국래<sup>1</sup> · 박상언<sup>1</sup> · 이문용<sup>#</sup>

### Development of Roll Forming Process for the Variable Cross-Section Tube

D. B. Kim, K. R. Cho, S. E. Park, M. Y. Lee

#### Abstract

가변 단면 튜브 롤포밍은 테일러드 블랭크를 이용한 중공축 성형법으로써 기계적 성질 만족과 중량 감소를 기대할 수 있으며, 절삭가공보다 재료 손실이 적은 이점이 있다.

일반적인 튜브 롤포밍은 상, 하부 롤이 고정되어 있으므로 테일러드 블랭크를 적용한 튜브 성형이 난해하다. 따라서 테일러드 블랭크 판재 성형에서는 롤의 직선 운동이 필요하다. 이를 위해 롤포밍 장치에는 유압, 스프링 등을 이용한 메커니즘을 적용해야 한다.

본 연구에서는 가변 단면 튜브를 성형하기 위해 롤포밍 공법을 적용하였고, 롤의 상하 움직임이 가능한 기술을 적용하였다. 또한 롤포밍 장치에 레이저-아크 하이브리드 용접을 적용하였다.

**Key Words** : 가변단면튜브, 롤포밍, 레이저-아크 하이브리드 용접

---

1. 성우하이텍 R&D본부  
# 교신저자: 성우하이텍, E-mail:mylee@swhitech.com

# 타이타늄 튜브제조를 위한 간이복동식 제어 압출기술 개발

배성환<sup>1</sup> · 민경호<sup>#</sup>

## Development of control process of a simple double-acting extrusion for the manufacturing of titanium tubes

S. H. Bae, K. H. Min

### Abstract

Although titanium alloy has received much attention to apply the tube/shell heat exchanger and the desalination system of seawater for its corrosion and erosion resistance, their applications are impeded by level of domestic technology which is situation that even though it is expensive, titanium seamless tube has imported whole quantity because only welded tube of small amounts have been manufactured by welding a plate. The method of a conventional manufacturing a seamless tube has problems that the hole and tapering process can be primarily lead to material damage and loss, and the secondary material losses was caused by the tube-expanding process to the punch generated in the nozzle shape. The aim of this study is to develop the control process of a simple double-acting extrusion on the manufacturing of ti seamless tube to maximize material recovery rates by omitting a conventional process for reducing the process costing and improving the mechanical properties on ti tube. This study discusses the feasibility of using double-acting extrusion to determine the possibility of extrusion on titanium alloys by comparative analyzing the extruded tube and mechanical properties as a possible first step in developing, and provides a foundation for manufacturing the seamless tube in the future.

**Key Words:** Titanium alloy, extrusion process, double-acting, seamless tube

---

1. ㈜선우엔지니어링

# 교신저자: ㈜선우엔지니어링, E-mail:sunwoornd@hanmail.net

# 진공유도용해방식으로 제조된 상용 순티타늄 빌렛의 용해도가니에 따른 영향

이형욱<sup>1</sup>

## Effects of Casting Crucible in CP Ti Fabricated by Vacuum Induction Melting

H. W. Lee

### Abstract

In this study, vacuum induction melting of Commercially pure titanium(CP Ti) grade 2 has been conducted to find out whether casting crucible effect a reactivity of commercially pure titanium or not. Vacuum induction melting on commercially pure titanium was carried out at various casting crucible under the identical conditions, Such as melting capacity, electric power, vacuum degree. It was found that casting crucible affects the reactivity of commercially pure titanium.

**Key Words** : Vacuum induction, Pure titanium, Casting crucible.

### 1. 서론

티타늄과 그 합금(이하 티타늄)은 비중이 철의 3/5 수준으로 가볍고, 내식성이 우수하기 때문에 항공우주, 군수용품, 해양구조물 및 화학플랜트 분야에서 주로 사용되고 있다[1]. 하지만, 티타늄은 원광석을 주괴로 제조하기 위하여 철강 및 Al에 비해 각각 약 16 및 2배의 에너지를 소요하는 에너지 다소비형 금속으로 제조비용이 비싸며, 용해공정 시 티타늄의 강한 활성으로 인하여 분위기 가스 및 내화물과의 격렬한 반응이 일어나기 때문에 용해공정의 제어가 무엇보다 중요시 되는 금속이다[2]. 또한, 티타늄의 용해공정 시 용탕과 주형과의 반응으로 생기는 주요 표면결함인  $\alpha$ -case를 제거하기 위한 표면 연마작업으로 생산비용이 상승하는 문제를 갖는다. 이를 해결하기 위하여 산화물 표준생성자유에너지( $\Delta G^0$ )에 관한 Ellingham 도표를 활용하여 열역학적으로 안정한 용해도가니를 적용 개발하고 있으나 현실적으로 상반된 결과들을 보이고 있다[3]. 본 연구에서는 담수화시설 및 의료용으로 널리 사용되는 상용 순티타늄의 진공유도용해시 발생하는 용탕과 용해도가니간의 반응을 분석하기 위하여 다양한 용해도가니를 활용하여 고주파 진공유도용해를 수행하였다.

---

1. ㈜피디텍

## 2. 실험방법

### 2.1 순티타늄의 진공유도용해

순티타늄의 용해도가니에 따른 용탕과 도가니간의 반응을 분석하기 위하여 다양한 용해도가니를 이용하여 Table 1과 같이 동일한 조건에서 고주파 진공유도용해를 실시하였다.

Table 1. Conditions for Vacuum Induction Melting

Material	Melting Capacity (Kg)	Electric Power (Kw)	Frequency (kHz)	Vacuum Degree (Torr)	Argon Pressure (MPa)
CP Ti (Grade 2)	1.5	40	8.6	$8.5^{-2}$	-0.06

### 2.2 용해도가니

순티타늄의 고주파 진공유도용해에 사용된 용해도가니는 알루미늄( $Al_2O_3$ ), 카본(Graphite), 지르코니아( $ZrO_2$ ) 및 카시오( $CaO$ ) 재질의 도가니를 적용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

다양한 용해도가니를 활용하여 고주파 진공유도용해 시 용탕과 상용 순 티타늄간의 반응성을 확인하고자 하였다. 동일한 고주파 진공유도용해 조건에서 상용 순 티타늄을 용해한 결과, 도가니 재료에 따른 용탕과 도가니간의 반응도를 확인할 수 있었으며, 표면결함인  $\alpha$ -case의 volume fraction 또한 확인되었다.

## 4. 결론

본 연구에서 확인하고자 하였던 고주파 진공유도용해 시 도가니와 순 티타늄 용탕과의 반응도는 산화물 표준생성자유에너지( $\Delta G^0$ )에 관한 Ellingham 도표와 유사한 결과를 보이지 않는 것으로 확인되었다.

### 참고문헌

- [1] Matthew J. Donachie, The Materials Information Society. "Titanium: A Technical Guide". 2<sup>nd</sup> edition, ASM International, (2000), 5-11
- [2] S.H. Lee, Korea Foundry Society, "Effects of Process Parameter on Alpha-Case Formation of Ti and TiAl Casting", 23 (2003) 137-146.
- [3] J.P. Kuang, R.A. Harding and J. Campbell, Mater. Sci. Tech., "Investigation into refractories as a crucible and mold materials for melting and casting TiAl alloys", 16 (2000) 1007-101

## 유한요소해석을 이용한 심리스 타이타늄 튜브의 압출 공정 설계

최병진<sup>1</sup> · 강성훈<sup>1</sup> · 오영석<sup>1</sup> · 이호원<sup>#</sup>

### Design of Extrusion Process of Titanium Seamless Tube by Finite Element Analysis

B. J. Choi, S. H. Kang, Y. S. Oh, H. W. Lee

#### Abstract

In this study, the extrusion process of titanium seamless tube was numerically studied by finite element analysis to design process parameters and mechanical parts such as dies, mandrel, and so on. To investigate the effect of process parameters during extrusion, the elasto-plastic forming analysis was conducted using forge software. The flow stress used in the forming analysis was obtained by hot compression tests with various temperatures and strain rates. Then, elastic structural analyses of mechanical parts were carried out for obtaining optimal design of each part without any failure during extrusion process.

**Key Words** : Seamless tube, Extrusion, Titanium, Finite Element Analysis

---

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

# 교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소, E-mail: h.lee@kims.re.kr

# 비틀림 시험을 이용한 Al-Mg-Si 합금의 고온 변형 특성

이지운<sup>1</sup> · 김상욱<sup>1</sup> · 정택균<sup>1</sup> · 김세광<sup>2</sup> · 윤영옥<sup>2</sup> · 최호준<sup>2</sup> · 현승균<sup>#</sup>

## High temperature deformation characteristics of Al-Mg-Si alloy by hot torsion tests

J. W. Lee, S. W. Kim, T. K. Jung, S. K. Kim, Y. O. Kim, H. J. Choi, S. K. Hyun

### Abstract

As large deformation is normally involved in many metalworking processes, hot torsion tests are useful for the study of flow behavior subject to a large strain. In this study, high temperature deformation characteristics for Al-Mg-Si alloy were investigated by hot torsion tests. The hot torsion tests were carried out at several temperatures and strain rates. Flow curves showed a sharp peak followed by softening. The peak stresses and the peak strains were increased with increasing strain rate and decreasing temperature. The deformed microstructure revealed that the alloy was underwent dynamic recrystallization during the tests.

**Key Words** : Hot torsion test, Al-Mg-Si, Hot deformation, Constitutive equations, Dynamic recrystallization

### 1. 서론

금속재료의 열간가공은 높은 온도와 빠른 변형 속도에서 큰 변형을 일으키는 공정으로, 변형량이 작은 상온가공과는 달리 변형시에 조직의 변화가 많이 발생한다. 일반적으로 재료의 물성은 미세조직에 의해 결정되기 때문에, 특정재료의 열간가공시 발생하는 조직 변화의 충분한 이해가 필요하며, 열간가공공정에서 중요한 인자로 작용하는 응력, 변형속도, 온도 등 공정변수의 적합한 선택 또한 중요한 작업 중 하나이다.

고온 가공시의 응력, 변형속도, 온도의 적합한 선택을 위해서는 인장, 압축, 비틀림 시험법 등이 이용된다. 그 중 비틀림 시험은 순수 전단조건 하에서 재료가 파괴되기 전까지 큰 변형률을 얻을 수 있으며, 인장시험의 네킹(necking) 또는 압축시험의 바렐링(barreling)현상 같은 국부변형이 없어 시편 전체적으로 일정한 변형 속도를 유지할 수 있는 장점을 갖고 있다.

본 연구에서는 대표적인 열처리형 알루미늄 합금인 Al-Mg-Si 합금을 고온 비틀림 시험하였으며, 고온가공에 필요한 응력, 변형속도, 온도 조건들의 적합한 선택에 활용할 수 있도록 고온 변형 특성에 대해 조사하였다.

### 2. 실험방법

본 연구에 사용된 Al-Mg-Si 합금은 연속주조를 통해 제조되었고, 균질화 열처리 후 직경 10mm, 길이 20mm의 고체형 비틀림 시편으로 기계 가공하여 제작하였다. 비틀림 시험은 400, 450, 500 °C의 온도에서 0.05, 0.5, 5 s<sup>-1</sup>의 속도로 수행하였으며, 유효응력-변형률 곡선은

1. 인하대학교

2. 한국생산기술연구원

# 교신저자: 인하대학교, E-mail: skhyun@inha.ac.kr

Fields와 Backofen이 제시한 식과 von Mises 항복조건을 이용하여 구하였다 [1]. 유동곡선을 활용해 고온구성방정식과 공정지도를 구축하였으며, 광학현미경과 주사전자현미경을 이용해 미세조직을 관찰하여 동적연화기구의 판단에 활용했다.

### 3. 결과 및 고찰

Al-Mg-Si 합금의 비틀림 시험 결과 온도가 감소할수록, 변형속도가 증가할수록 유동응력은 증가하였다. 변형 초기 단계에 가공경화에 의해 유동응력이 급격히 증가하다가 최대값을 보인 후 점차 감소하여 정상상태에 도달하는 연화거동을 나타냈다.

유동곡선을 활용해 hyperbolic sine 법칙을 만족하는 구성방정식을 도출하였으며, 활성화 에너지는 석출물의 영향으로 알루미늄의 자기확산에 필요한 활성화에너지보다 큰 값을 나타내었다. 또한, 프로세싱 맵을 구축하였으며, 이 때 온도가 증가할수록 변형속도가 감소할수록 변형효율은 증가하였다. 소성불안정 영역은 변형률이 커질수록 증가하였다.

고온 변형이 일어난 후의 Al-Mg-Si 합금의 조직을 관찰한 결과, 변형초기 초기 결정립 내부에 저각각계가 형성되었고, 변형이 진행될수록 입계불일치도가 증가하며 고각각계로 발전함을 확인하였다. 변형률에 따른 미세조직 관찰 결과, 본 연구에서 사용된 Al-Mg-Si 합금의 고온연화 기구는 연속동적재결정임이 확인되었다. 또한, 변형이 진행될수록 동적재결정 분율이 증가함을 확인하였다. 유동곡선과 조직관찰결과를 토대로 Avrami 식을 개량하여 연속동적재결정에 활용할 수 있는 속도론 모델을 수립하였으며, 실험값과 유사한 결과를 확인하였다.

### 4. 결론

본 연구에서는 고온 비틀림 시험을 이용하여 Al-Mg-Si 합금의 고온 변형 특성을 조사하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. Al-Mg-Si 합금의 유동곡선에서 나타났듯이, 유동응력이 최대점에 도달 후 감소하여 정상상태를 나타내는 연화거동이 나타났다.
2. 유동곡선으로부터 구성방정식을 도출하였으며, 구성방정식을 이용해 공정지도를 구축할 수 있었다.
3. 미세조직 관찰 결과, Al-Mg-Si 합금의 연화기구는 연속동적재결정이며, 이에 적합한 속도론 모델을 수립하였다.

### 참고문헌

(1) H.J. McQueen, E. Evangelista, N. Jin, M.E. Kassner, 1995, Energy Dissipation Efficiency in Aluminum Dependent on Monotonic Flow Curves and Dynamic Recovery, Metall. Mater. Trans. Vol. 26A, No. 7, pp. 1757-1766.

## 열간 압출공정에서 글래스 패드의 점성계수 측정연구

송영남<sup>1</sup> · 강성훈<sup>2</sup> · 이호원<sup>2</sup> · 윤종현<sup>1#</sup>

### Calibration of glass pad viscosity in hot extrusion

Y. N. Song, S. H. Kang, H. W. Lee, J. H. Yoon

#### Abstract

In hot extrusion with high strength materials, friction coefficient influences on microstructure and surface finish of extruded billets under high pressure and severe forming temperature. Glass lubricants with the type of powder and pad are one of the attractive materials since it does not only reduce friction coefficient, substantially, but also act as an insulator between billet and die for isothermal condition. A solid glass pad is inserted between billet and extrusion die while a ram proceeds at the elevated forming temperature, which changes to fluid lubricant through phase transition. Since the glass lubricant with the type of fluid affects friction force and forming temperature, it is required to measure precise friction coefficient between billet and glass lubricant with respect to forming temperatures. In this paper, a formulation of parallel plate viscometry (PPV) based on the ASTM C1351-96 has been conducted to measure the viscosity of glass lubricant, which is applied to numerical simulation for the hot extrusion for Titanium alloy.

**Key Words** : Glass lubricant, Glass pad, Viscosity, Hot extrusion

---

1. 한양대학교 ERICA 기계공학과

2. 한국기계연구원 부설 재료연구소

# 교신저자: 한양대학교 ERICA 기계공학과, E-mail: yooncsmd@gmail.com

## 고신뢰성 심리스 타이타늄 제조를 위한 파라미터 설계기법에 관한 연구

김재범<sup>1</sup> · 신영철<sup>1</sup> · 민경호<sup>2</sup> · 최선목<sup>2</sup> · 최호준<sup>#</sup>

### Study on the Parametric Design Method for Manufacturing Titanium Seamless Tube with High Reliability

J. B. Kim, Y. C. Shin, K. H. Min, S. M. Choi, H. J. Choi

#### Abstract

This paper addresses the advanced reliability analysis methods of extrusion process for Titanium. The Titanium alloy temperature and the strain rate of billet has significant on quality and cost of the extruded parts respectively. Hence, it is important to find and optimize the economical process conditions during the titanium extrusion process. Also, some of the most significant design parameters such as ram velocity, coefficient of friction and die angle are investigated and considered. In order to simulate the experiments, we employed the lately reliability analysis methods, advanced Taguchi methods, response surface methods with combined arrays and principle component analysis with combined array.

**Key Words** : Titanium, Extrusion Process, Reliability Analysis, Taguchi methods, Response surface methods, Combined Array

---

1. 한국생산기술연구원

2. (주)선우엔지니어링

# 교신저자: 한국생산기술연구원, hjoon@kitech.re.kr

# 사출 성형 공정에서 웰드라인 개선을 위한 인서트 금형의 가열 및 냉각채널 설계

조용하<sup>1</sup> · 김병민<sup>#</sup>

## Design of Heating and Cooling System for Insert Mold in Injection Molding to Improve Weld-line Fraction

Y. H. Cho, B. M. Kim

### Abstract

Weld-lines are generated during the injection molding process when two or more melt flows are contacted. To eliminate or reduce weld-lines for improvement surface quality, the mold temperature at the corresponding weld locations should be maintained higher than the glass transition temperature of the resin material. In this study, heating and cooling system for insert mold was designed to improve weld-line fraction. To design heating and cooling system of insert mold, design of experiments are used in two part of analysis. Firstly, a thermal response analysis based on numerical simulations was conducted to investigate the influences of the distance from heater to cavity surfaces, the power density of the heaters and the gap between heaters on heating stages. Secondly, thermal response analysis for cooling stages was conducted to investigate the influence of the gap between cooling channels, the distance from cooling channels to heater and the channel diameters.

**Key Words** : Weld-lines, Insert mold, Design of experiment, Injection molding

### 후기

본 연구는 중소기업청의 첫걸음기술개발사업 (C0354806 3D 금속 프린팅 가공된 인서트 금형 기반의 자동차 크래시 패드 제조용 정밀사출금형 기술 개발)과 해창정밀(주) 사업의 일환으로 수행하였음

---

1. 부산대학교 정밀가공시스템 전공  
# 교신저자: 부산대학교 기계공학부,  
E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

# 유한요소 해석을 활용한 저탄소강에서의 산화층 계면 조도 및 잔류응력이 박리현상에 미치는 영향 분석

이재민<sup>1</sup> · 노우람<sup>1</sup> · 김득중<sup>2</sup> · 이명규<sup>#</sup>

## Effect of interfacial roughness and residual stress on spallation of oxide scale on steel substrate: FE analysis

J. M. Lee, W. R. Noh, D. J. Kim, M. G. Lee

### Abstract

The spallation of the oxide scale grown on the surface of low carbon steel has been reported as detrimental surface appearance of sheet product. Due to the applied bending force in the sheet product, normal and shear stresses are developed along the interface between oxide scale and substrate, which may cause the interfacial fracture. In this study, effects of geometrical factors of the oxide-steel substrate interface, growth stress and thermal residual stress developed during the hot rolling process on the spallation were analyzed using thermo-mechanical finite element simulation. For the boundary condition, four-point bending was considered as a representative for an uncoiling process where the spallation has been frequently observed. For the calculation of the thermal residual stress and growth stress development, a nonlinear numerical procedure was incorporated into the finite element analysis. On the basis of the sensitivity analysis using finite element simulations, dominant factors influencing the spallation are discussed.

**Key Words** : Oxide scale, Spallation, Finite Element Analysis, Roughness, Residual stress

---

1. 고려대학교 신소재공학부

2. 포스코 강제1연구그룹

# 교신저자: 고려대학교 신소재공학부, E-mail: myounglee@korea.ac.kr

## 다구찌 기법을 적용한 섬유금속적층판의 층간 접착력 강화에 대한 연구

길민규<sup>1</sup> · 박으뜸<sup>1</sup> · 박지우<sup>1</sup> · 송우진<sup>2</sup> · 강범수<sup>#</sup>

### Study on Enhancement for Interfacial Adhesive Strength of Fiber Metal Laminates using Taguchi Method

M. G. Kil, E. T. Park, J.W. Park, W. J. Song and B. S. Kang

#### Abstract

The fiber metal laminates have shown outstanding corrosion resistance, fatigue characteristic, maintainability and impact resistance and so forth. However, the main disadvantage of fiber metal laminates is delamination phenomenon by normal- or transverse-direction force and it takes much time and money to make FMLs. For these reasons, the proper manufacturing process is essential for fiber metal laminates. The objective of this research is to establish the manufacturing variables for enhancing the interfacial adhesive strength of fiber metal laminates using Taguchi method. The major variables of the manufacturing process are surface treatment, pre-specified temperature holding time and additional pressure. The double cantilever beam and end-notched flexure tests were conducted to determine the interfacial adhesive strength. Afterward, Mode I and II energy release rates at various conditions were deduced to obtain signal-to-noise ratio with respect to each condition. Finally, the combination of manufacturing variables which makes the strongest interfacial strength is evaluated using larger-the-better characteristic.

**Key Words:** Fiber Metal Laminate(섬유금속적층판), Taguchi Method(다구찌 기법), Signal to Ratio(신호 잡음비), Energy Release Rate(에너지 해방률)

#### 후 기

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 선도연구센터지원사업(No. 2012R1A5A1048294)과 중견연구자지원사업(No. 2015R1A2A2A01005494)의 지원을 받아 수행된 연구임. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

---

1. 부산대학교 항공우주공학과  
2. 부산대학교 융합학부  
# 교신저자: 부산대학교 항공우주공학과,  
E-mail: bskang@pusan.ac.kr

## T파이프 끝단부 교정 공정에서 툴의 이송량 결정

고필성<sup>1</sup> · 박종욱<sup>2</sup> · 김병민<sup>#</sup>

### Determination of feed of tool on the fitting process for pipe-end of T-pipe

P. S. Ko, J. O. Park, B. M. Kim

#### Abstract

T-pipe is easy to occur the defect such a fallen ovality on the manufacturing process or post processes at a pipe-end part. Thus, it is necessary the fitting process typically. Because the T-pipe supervene elastic recovery after the fitting process on the fitted region, the amount of spring-back should be considered to predict the feed of tool. In this study, the feed of tool was determined on the fitting process for pipe-end of T-pipe. The ovality,  $\delta$  and relative reduction rate,  $H$  were defined as ratio of deviation of directional radius and feed of tool about initial radius. In order to predict the amount of spring-back, the elastoplastic FE-simulation was carried out. The ovality was increased from initial pipe that ovality is zero. And the relation with the ovality and relative reduction rate was deduced through FE-simulation. The feed of T-pipe having an arbitrary ovality was calculated using the deduced relation. The proposed method about the determination of feed of tool was verified through the FE-simulation and experiments of T-pipe.

**Key Words** : T-Pipe(T 파이프), Fitting Tool(교정 툴), Feed(이송량), Pipe-end(끝단부), Ovality(난형도)

#### 후 기

본 연구는 한국산업기술평가관리원의 현장맞춤형 기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

---

1. 부산대학교 기계공학부 정밀가공시스템전공

2. ㈜성광기연

# 교신지자: 부산대학교 기계공학부

E-mail bmkim@pusan.ac.kr

## 실험계획법을 이용한 Al6061-T6의 마찰교반점용접 공정변수 최적화

조덕상<sup>1</sup>·김재홍<sup>1</sup>·고대철<sup>2</sup>·김병민<sup>#</sup>

### Optimization of Process Parameters using Design of Experiments in Friction Stir Spot Welding of Al6061-T6

D. S. Jo, B. M. Kim

#### Abstract

In this study, the shear strength of the welded joints produced by friction stir spot welding(FSSW) was investigated for various process parameters such as tool rotational speed, dwell time, plunge depth and plunge rate. The parameters were optimized by design of experiment based on Taguchi method. Design of experiment was used to minimize the number of experiments and applied to draw maximum shear strength of the welded joints. The experimental results showed that the optimal levels of the rotational speed, dwell time, plunge depth and plunge rate were found to be 1500rpm, 8seconds, 2.6mm and 0.3mm/s, respectively. The analytical results based on experiment showed that the rotational speed is the most important FSSW parameter.

**Key Words** : Friction Stir Spot Welding, Al6061-T6, Optimization, Design of Experiment, Taguchi method

#### 후 기

이 논문은 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012R1A5A1048294).

---

1. 부산대학교 정밀가공시스템 전공  
2. 부산대학교 기계공학부  
# 교신저자: 부산대학교 기계공학부,  
E-mail:bmkim@pusan.ac.kr

## 초고장력강판의 성형공정에서 재료모델이 예측 정밀도에 미치는 영향

서기영<sup>1</sup> · 강길석<sup>2</sup> · 고대철<sup>2</sup> · 김병민<sup>#</sup>

### The Effect of Material Models on Prediction Accuracy in Forming Process of Advanced High Strength Steel

K. Y. Seo, G. S. Kang, D. C. Ko, B. M. Kim

#### Abstract

Recently, the necessity of forming technology in advanced high strength steel(AHSS) is being increased for weight lightening of automotive. However, AHSS leads a large amount of springback and it is difficult to predict deformation behavior of AHSS. To improve the prediction accuracy of AHSS, various material models have been developed and applied to FE-simulation. In this study, the effect of material models on prediction accuracy was investigated according to deformation mode in forming process of AHSS. The parameters for various material models were obtained from uniaxial tension, uniaxial tension-compression, loading-unloading and biaxial tension tests. FE-simulation with various material models were performed to investigate prediction accuracy for dome stretching, square cup drawing and advanced square drawing tests. Results of simulation were also compared with experimental results.

**Key Words** : Advanced High Strength Steel, Yield Function, Hardening Model, Spring-back

#### 후 기

이 논문은 산업통상자원부의 재원으로 중소기업청의 지원을 받아 수행된 연구임.(No.S2315965)

---

1. 부산대학교 기계공학부 정밀가공시스템전공

2. 부산대학교 융합학부

# 교신저자: 부산대학교 기계공학부

E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

## 초고강도강의 판재성형 공정에서 금형 보정을 이용한 Extension Rear Side Member 개발

한성준<sup>1</sup> · 김근호<sup>2</sup> · 김병민<sup>#</sup>

### Development of Extension Rear Side Member using Die Compensation in Sheet Forming for Ultra High Strength Steel

S. J. Han, G. H. Kim, B. M. Kim

#### Abstract

Share of high and ultra-high strength steels in automobile is increasing. However, such steels generally have poor formability and high amount of spring-back, which is one of the focus areas of research in high strength steel for get better formability. So it is very important to predict spring-back's quantities of the die and moreover. Adequately to compensate the die, this study based on the die design for extension rear side member by ultra-high strength steel sheet. The forming and spring-back prediction, carried out using PAMSTAMP 2G, are reported and compared with the measurement data of the prototype. The predicted spring-back results were acceptable, so the processes of compensating die using Automatic Die Compensation Module of PAMSTAMP 2G were performed tolerances between the designed shape and the simulation data were satisfied.

**Key Words** : Ultra-high-strength steel, Spring-back, Die compensation,

#### 후기

이 논문은 산업기술혁신사업의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.10052779).

---

1. 부산대학교 기계공학부 정밀가공시스템전공

2. ㈜아산 중앙기술연구소

# 교신지자: 부산대학교 기계공학부

E-mail bmkim@pusan.ac.kr

## 차량용 센터필러 보강재의 CFRP 적층 배열 최적화에 관한 연구

민병진<sup>1</sup> · 이정민<sup>2</sup> · 김병민<sup>2</sup> · 고대철<sup>#</sup>

### A Study on Optimization of CFRP Fiber Arrangement for Vehicle Component of Center-Pillar Reinforcement

B. J. Min, J. M. Lee, B. M. Kim, D. C. Ko

#### Abstract

Recently, the application of carbon fiber reinforced plastic(CFRP) material is being increased for vehicle weight reduction due to its ability to meet the vehicle performance requirements. Generally, the mechanical properties of CFRP products such as strength and stiffness depend on the lay-up method. Therefore, the aim of this study is to optimize lay-up method for the center-pillar reinforcement by using a genetic algorithms(GAs). In order to minimize the variables, the thickness was determined to compare the stiffness curve for the products with DP590 using FE-analysis. Also, GAs were applied to optimize the fiber arrangement in conjunction with FE-analysis. In this study, the optimum condition was determined to be minimum punch strokes in the same punch load. The parameters of ply angles considering the symmetry for the twill weave were represented between 0° and 45°, in increments of 15°. An initial population was set to 100 generation and GAs was carried out through the fitness, crossover and mutation. Finally, to verify the validation of GAs, the CFRP reinforcement fabricated using two different lay-up method were evaluated by bending test performed under the same condition in FE-analysis.

**Key Words** : Fiber Orientation(적층 배열), Genetic algorithms(유전자알고리즘), CFRP, Quasi-isotropic(준등방성), tensile test(인장 실험), Bending analysis(굽힘해석)

#### 후 기

본 연구는 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 지원(No.2012R1A5A1048294) 및 중소기업청 2015년 중소기업 기술혁신개발사업의 지원(No.S2312729)을 받아 수행된 연구결과입니다.

---

1. 부산대학교 융합학부  
2. 부산대학교 기계공학부  
# 교신저자: 부산대학교 융합학부, E-mail: dcko@pusan.ac.kr

## 고정밀 셸드 캔 제조를 위한 박판 난성형재의 드로잉 공정에 관한 연구

박민제<sup>1</sup> · 강길석<sup>1</sup> · 김병민<sup>2</sup> 고대철<sup>#</sup>

### A Study on Drawing Process of Complicated Sheet Metal for Manufacturing Shield Can with High Accuracy

M. J. Park, G. S. Kang, B. M. Kim, D. C. Ko

#### Abstract

Recently, the requirement for dimensional accuracy and shielding properties have been increased in the mobile industry. For this reason, stainless steel has been well applied because of its excellent properties such as high strength, corrosion resistance and shielding ability. However, insufficient formability of stainless steel could cause wrinkling or fracture especially in the radial portion of products. Therefore, the radius of punch is thought to largely affect the dimensional accuracy of products. In this study, manufacturing process for the shield can of mobile phone was designed to achieve high dimensional accuracy and defect prevention using very thin stainless steel sheet(SUS304L). Initial shape of blank was designed based on final product using inverse method and optimum radius of punch was determined by finite element analysis. Additionally, experiments considering result of FE-simulation were conducted to manufacture shield can using drawing process. Analytical and experimental results shows that the proposed initial blank and radius of punch are efficient to achieve high dimensional accuracy without wrinkling and fracture for shield can.

**Key Words** : Shield Can(셸드 캔), Finite element analysis(유한요소해석), Drawing process(드로잉 공정), Complicated material(난성형재), inverse method(역설계기법)

#### 후 기

본 연구는 2015년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 중소기업청의 지원(No.S2365097)으로 수행된 연구 결과입니다.

---

1. 부산대학교 융합학부  
2. 부산대학교 기계공학부  
#교신저자: 부산대학교 융합학부, E-mail: dcko@pusan.ac.kr

# 초고강도강의 롤 포밍 공정에서 구성방정식에 따른 스프링백 예측

차태원<sup>1</sup> · 김재홍<sup>1</sup> · 김근호<sup>2</sup> · 김병민<sup>#</sup>

## Springback Prediction according to Constitutive Equations in Roll Forming Process of Ultra High Strength Steel

T. W. Cha, J. H. Kim, G. H. Kim, B. M. Kim

### Abstract

Recently, roll forming process is widely used in automotive industry for manufacturing part such as bumper, sill side and door frame using Ultra High Strength Steel(UHSS). However, the large springback is occurred in roll forming process for UHSS products. Therefore, accurate springback prediction is important. In this study, springback in roll forming process of UHSS was numerically predicted according to constitutive equations. For springback prediction, Hill'48 and Yld2000-2d yield functions were applied to consider also anisotropic behavior, and isotropic hardening and kinetic hardening model were adopted to investigate hardening behavior. The material parameters for various constitutive equation were obtained from uniaxial tension, uniaxial tension-compression, uniaxial tension-unloading and bulging tests. The finite element simulation for roll forming process was performed using LS-Dyna and the results of simulation were compared with the experimental data.

**Key Words** : Roll Forming Process(롤 포밍 공정), Ultra High Strength Steel(초고강도강),  
Springback(스프링백), Constitutive Equations(구성방정식)

### 후 기

이 논문은 산업기술혁신사업의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.10052779).

---

1. 부산대학교 정밀가공시스템 전공  
2. ㈜아산 중앙기술연구소  
# 교신저자: 부산대학교 기계공학부  
E-mail:bmkim@pusan.ac.kr

## 중공 분할형 터빈 노즐의 후판 성형 공정에 대한 해석적·실험적 연구

곽봉석<sup>1</sup> · 강병권<sup>1</sup> · 윤만중<sup>2</sup> · 전재영<sup>2</sup> · 강범수<sup>3</sup> · 구태완<sup>#</sup>

### Numerical and Experimental Study on Thick Plate Forming for Hollow-Partitioned Turbine Nozzle

B. S. Kwak, B. K. Kang, M. J. Yoon, J. Y. Jeon, B. S. Kang, T. W. Ku

#### Abstract

At the last rotor blade of low-pressure steam turbine, it is suffered from water droplet induced by its low vapor enthalpy. The water droplet generated at the prior stage gives seriously impact to the leading edge region of the rotor blade, and so it is tended to critically reduced the service life of the rotor blade. To solve this situation, it is needed to restrain and eliminate the water droplet. Accordingly, a hollow-partitioned turbine nozzle with hollow portion which can suck the water droplet in the steam turbine is considered in this study. General solid blade is made by die forging with large scale press machine. Also, this process needs long time to manufacture. On the other hand, the hollow-partitioned blade requires less time and small scale press machine. The hollow-partitioned blade consist of 5.0mm upper plate and 10.0mm lower plate. This study is focused on design and compatibility of the punch and die for the upper plate of hollow-partitioned blade. Elastic recovery behavior of this three-dimensional multi-curved plate forming is studied numerically and experimentally. The overbending scheme is an effective way to compensate the elastic recovery, which can reduce and control the spring-back amount.

**Key Words** : Steam Turbine, Water Droplet, Hollow-Partitioned Turbine Nozzle, Suction Hole, Elastic Recovery

#### 후 기

본 연구는 산업통상자원부의 투자자연계형 소재부품기술개발사업(No. 10052835)의 일환으로 수행되었습니다. 또한, 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012R1A5A1048294).

---

1. 부산대학교 항공우주공학과 대학원

2. 파워엔지니어

3. 부산대학교 항공우주공학과

# 교신저자: 부산대학교 설계기반미래성형기술센터

E-mail: longtw@pusan.ac.kr

## 다단 형상 압연 공정에서 연신계수를 고려한 가상금형 적용

정현석<sup>1</sup> · 김남진<sup>1</sup> · 이철환<sup>2</sup> · 홍리석<sup>2</sup> · 김종성<sup>2</sup> · 김병민<sup>#</sup>

### Application of Virtual Die Method Considering Elongation Coefficient in Multi-Stage Shape Rolling Process

H. S. Jung, N. J. Kim, K.H. Lee, L.S. Hong, J.S. Kim, B. M. Kim

#### Abstract

The design of intermediate roll profiles in shape rolling is important as a key role in improving product quality and dimensional accuracy. Multi-stage shape rolling process is more complex than the plate rolling due to many geometrical parameters and the methods of intermediate profiles in shape drawing is difficult to applying on the shape rolling. It is one of virtual die method (VDM) number of ways. The VDM used in the shape drawing used to intermediate cross section of 3D model connecting first shape and final shape. In this study, in order to design intermediate roll profiles for the shape rolling the design method modified the VDM is proposed. Metal flow is generated through the elongation coefficients. To consider the characteristic of the above was applied to elongation method and tangential method. The effectiveness of the designed roll profiles was verified by FE-simulation. The proposed method was applied to the shape of S-wrapping wire. From the results of the FE-simulations, the proposed design method led to a rolled product with a sound shape. The dimensional tolerances of the product were within the allowable specified tolerances.

**Key Words :** Shape Rolling, Virtual Die Method, Elongation Coefficient, Intermediate Roll Profile, FE-simulation

#### 후 기

이 논문은 (주)고려제강 사외위탁연구과제 및 PNU-IFAM 국제공동연구소의 지원을 받아 수행된 연구임.

---

1. 부산대학교 기계공학부 정밀가공시스템전공  
2. 고려제강 기술개발연구원  
# 교신저자: 부산대학교 기계공학부  
E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

# 마찰교반 홀 클린칭 공법을 이용한 Al6061과 DP980 접합에 관한 연구

고룡해<sup>1</sup>·이정민<sup>2</sup>·김병민<sup>2</sup>·고대철<sup>#</sup>

## A study on Friction Stir Hole-Clinching for Joining of Al6061 with DP980

L. H. Gao, J. M. Lee, B. M. Kim, D.C. Ko

### Abstract

Owing to the demand for reduced automobile weight, improved safety and crashworthiness, the need to manufacture automobile components from aluminum alloy with a light-weight, high-strength and impact absorption is apparent. However, aluminum alloy could not be welded by current resistance spot welding with conventional metal alloy because of different melting points. Therefore, it is necessary to develop new joining techniques for aluminum and metal alloy. The friction stir hole-clinching(FSHC) is suggested as a new joining method for aluminum and metal alloy. The concept of this process is stir-heating upper material and forming it into a prefabricated hole with the lower material. This study proposes a FSHC process for joining aluminum alloy 6061 with DP980. A coupled thermo-mechanical analysis was performed to assess the temperature and joining shape of aluminum alloy 6061 under different rotating speeds, during the FSHC process of the plunge stage. A three-dimensional FE-model was constructed in ABAQUS/Explicit using the arbitrary Lagrangian-Eulerian(ALE) formulation, the Johnson-Cook materials law and Coulomb's Law of Friction. The results of simulation indicate that the maximum temperature in the FSHC process can be increased with an increase in the rotational speed, which can be used to reduce the reaction force. Based on the result of FE-analysis, experimental tests of FSHC joint specimens were performed by comparison with a shape of the joint area and a single lap shear test.

**Key Words :** Friction stir hole-clinching(마찰교반 홀 클린칭), FE-analysis(수치 시뮬레이션), Mechanical joining(기계식 접합)

### 후 기

본 연구는 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 지원(No.2012R1A5A1048294) 및 중소기업청 2015년 중소기업 기술혁신개발사업의 지원(No.S2312729)을 받아 수행된 연구결과입니다.

---

1. 부산대학교 융합학부  
2. 부산대학교 기계공학부  
# 교신저자: 부산대학교 융합학부, E-mail:dcko@pusan.ac.kr

## 비정형 롤 판재성형기술 개발

박지우<sup>1</sup> · 윤준석<sup>1</sup> · 강범수<sup>#</sup>

### Development of Flexibly-reconfigurable Roll Forming Technology

J. W. Park, J. S. Yoon, B. S. Kang

#### Abstract

Flexible forming technology requiring only one forming die set have been developed to form the three-dimensional curved sheet since it can satisfy the productivity and economic efficiency by reducing the processing time. However, the general flexible forming methods still have several drawbacks such as dimple and wrinkle during forming process. In this research, new technology was developed to realize flexibly-reconfigurable roll forming (FRRF) process. The concept of FRRF is to form the curvature along the longitudinal direction by strain distribution control. Through the arrangement of curvature adjusting rods could be implemented various curvature of the roller. The methodology to devise the components of the FRRF apparatus is described, and experiments have been carried out. Resultantly, it is verified that this FRRF technology could be manufactured 3D curved sheet, and it is expected that FRRF would be alternative process to improve the flexible forming technology.

**Key Words** : Flexibly-reconfigurable Roll Forming, Sheet Metal Forming, Numerical Simulation and Experiment

#### 후 기

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 선도연구센터지원사업(No. 2012R1A5A1048294)과 중견연구자지원사업(No. 2015R1A2A2A01005494)의 지원을 받아 수행된 연구임. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

---

1. 부산대학교 항공우주공학과 대학원  
# 교신저자: 부산대학교 항공우주공학과  
E-mail: bskang@pusan.ac.kr

## Multi-Point Forming Product Defect Reduction Using Reliability-based Robust Process Optimization

B. M. Abebe<sup>1</sup>, J. W. Park<sup>1</sup>, B. S. Kang<sup>#</sup>

### Abstract

The product quality of multi-point forming (MPF) is identified to be dependent on the process parameters. Besides of that, a certain variation of friction and material properties may have a substantial worsening influence on the final product quality. This study proposed on how to compensate the MPF product defects by minimizing the sensitivity of the noise parameter variations. This can be attained by reliability-based robust optimization (RRO) technique to obtain the optimal process setting of the controllable parameters. Initially two MPF Finite Element (FE) simulations and experiments of AA3003-H14 saddle shape showed a substantial amount of dimpling, wrinkling and shape error. FE analyses are consequently applied on ABAQUS commercial software to obtain the correlation between the control process setting and noise variation regards to the product defects. The best prediction models are chosen from the family of metamodels to swap the computationally expensive FE simulation. Using these models, genetic algorithm (GA) is applied to determine the optimal process settings of the control parameters. Monte Carlo Analysis (MCA) is executed to determine how the noise parameter variation affects the final product quality. Finally, the result shows that the amendment of the control parameters in the final forming process leads to obtain a considerably better-quality product.

**Key Words:** Multi-point forming, reliability-based robust optimization, wrinkling, dimpling, shape error, variation.

### 후 기

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 선도연구센터지원사업(No. 2012R1A5A1048294)과 중견연구자지원사업(No. 2015R1A2A2A01005494)의 지원을 받아 수행된 연구임. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

---

1. Department of Aerospace Engineering, Pusan National University, Busan 46241, South Korea  
# Corresponding author: Engineering Research Center (ERC) of Innovative Technology on Advanced Forming (ITAF), Pusan National University, Busan, 46241, South Korea E-mail: [bskang@pusan.ac.kr](mailto:bskang@pusan.ac.kr).

# An Elastoplastic Mixed Finite Element Method for Numerical Analysis of 3D Sheet Metal Forming in Flexibly-Reconfigurable Roll Forming Process

H. Ghiabakloo<sup>1</sup>, J. Kim<sup>1</sup>, B.S. Kang<sup>2,#</sup>

## Abstract

Flexibly-reconfigurable roll-forming (FRRF) process is recently suggested for the production of doubly-curved sheet metal parts. In FRRF, a sheet metal is rolled by a pair of bended rollers with non-constant roll gap, leading to a 3D surface. The product has a curvature in transverse (or width) direction imposed by the curvature of the rollers and a longitudinal curvature determined by the roll gap distribution. Since in FRRF a line deformation zone leads to a 3D surface, the final shape is determined by elastic deformations as a result of residual stresses in the sheet. Thus, the material undergoes an elastoplastic deformation with comparable amounts of elastic and plastic strains. Hence, an accurate elastoplastic shell formulation is required for the prediction of final geometry in FRRF. In the present study, curvilinear elements are utilized in conjunction with mixed formulation and a layered approach for considering the distribution of plastic zone through the sheet thickness. This formulation is locking free and robust for numerical analysis of FRRF process.

**Keywords:** Flexibly-reconfigurable roll forming process, Finite element method, Elastoplastic analysis

## 후 기

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 선도연구센터지원사업(No. 2012R1A5A1048294)과 중견연구자지원사업(No. 2015R1A2A2A01005494)의 지원을 받아 수행된 연구임. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

---

1. Department of Aerospace Engineering, Pusan National University, Busan 46241, South Korea

2. Engineering Research Center (ERC) of Innovative Technology on Advanced Forming (ITAF), Pusan National University, Busan, 46241, South Korea

# Corresponding author / E-mail: [bskang@pusan.ac.kr](mailto:bskang@pusan.ac.kr).

# 섬유금속적층판을 이용한 자동차 도어 임팩트 빔에 관한 수치적 연구

박으뜸<sup>1</sup> · 김 정<sup>1</sup> · 강범수<sup>1</sup> · 송우진<sup>#</sup>

## Numerical Study on Automotive Side-Door Impact Beam using Fiber Metal Laminates

E. T. Park, J. Kim, B. S. Kang, W. J. Song

### Abstract

Fiber metal laminates is a type of hybrid material, which consist of metallic sheets and fiber-reinforced plastic sheets. The fiber metal laminates can reduce the weight of parts, and enhance the impact resistance. In this study, the goal is to develop the automotive side-door impact beam using fiber metal laminates. First, the shape of cross-section was decided by conducting three-point bending test numerically. Second, the static loading test of side-door impact beam was carried out to compare the reaction force and the absorbed energy in accordance with Federal Motor Vehicle Safety Standard. The numerical results were shown that the typical side-door impact beam is able to be replaced with the fiber metal laminates.

**Key Words** : Federal Motor Vehicle Safety Standard, Fiber Metal Laminates, Numerical Simulation, Side-Door Impact Beam

### Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) through the Engineering Research Center (No. 2012R1A5A1048294)

---

1. 부산대학교 항공우주공학과

# 교신저자: 부산대학교 융합학부,

E-mail: woodysong@pusan.ac.kr

## 고속성형에서 Al5052와 DP980의 전기소성효과에 관한 연구

박형규<sup>1</sup> · 노학곤<sup>1</sup> · 김홍교<sup>1</sup> · 우민아<sup>1</sup> · 김 정<sup>#</sup>

### Investigation of electro-plastic effect on high-speed forming test of Al5052 and DP980

H. G. Park, H. G. Noh, H. K. Kim, M. A. Woo, J. Kim

#### Abstract

Electro-plastic effect can be used for new metal forming method which can decrease the forming load. In this forming process, the electric current pulse is applied to the material during deformation and the electric current pulse induce the stress drop of the materials during the electric current flows. Such stress drop due to the electric current pulse is called the electro-plastic effect (EPE). In this paper, in order to show the advantages of passing electric current pulses through metal sheet during the forming process without Joule heating, the uniaxial tensile test with electric current pulse and the experimental test and numerical simulation of high-speed forming with electric current pulse were carried out. The ultimate goal is to find out whether the EPE can improve the formability or not, and to verify the EPE material properties can be used in the simulation.

**Key Words** : Al5052, DP980, Electro-plastic effect, Electric current pulse, High-speed forming

#### 후 기

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 선도연구센터지원사업(No. 2012R1A5A1048294)과 중견연구자지원사업(No. NRF-2014R1A2A1A11054473)의 지원을 받아 수행된 연구임. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

---

1. 부산대학교 항공우주공학과  
# 교신저자: 부산대학교 항공우주공학과, E-mail: greatkj@pusan.ac.kr

# DIC 기법을 이용한 판재 변형률과 기계적 특성 평가

응웬반퉁<sup>1</sup>, 오석환<sup>1</sup>, 이동훈<sup>1</sup>, 이봉현<sup>2</sup>, 권오현<sup>3</sup>, 김영석<sup>1, #</sup>

## Full-Field Strain Measurement and Mechanical Properties Identification of Sheet Metals by using DIC method

Van-Thuong Nguyen<sup>1</sup>, Seok-Hwan Oh<sup>1</sup>, Dong-Hun Lee<sup>1</sup>, Bong-Hyeon Lee<sup>2</sup>,  
Oh-Heon Kwon<sup>3</sup>, and Young-Suk Kim<sup>3, #</sup>

### Abstract

In this study, an in-house 2D-DIC(Digital Image Correlation) system is developed to measure physical properties such as stress-strain curve, Young's modulus and anisotropic plastic ratio parameters under uniaxial tension of aluminum AL5052-O and high strength steel DP980 sheets.

**Key Words** : Digital image correlation (DIC), Full-field measurement, Mechanical property, Tensile test, Speckle.

### 1. Introduction

In this paper, two dimensional-DIC system[1,2,3] using NCORR software [4] was employed to measure the full field strain distribution as well as the anisotropic plastic ratio parameters and stress-strain curves for aluminum AL5052-O and high strength steel DP980 materials under uniaxial tensile condition.

The digital image correlation techniques for full-field strain measurement have been studied by many researchers because there are many advantages such as non-contact method and high accuracy for full-field strain measurements.

### 2. Results and Discussion

Fig. 1(a) and Fig. 1(b) show the stress-strain curves measured by the strain-gauge type extensometer method (solid line) and the DIC method (dotted line). Up to tensile strength point the stress-strain curves of both methods overlap almost together with no difference but show just a little difference after the necking.

The different results after the neck occurrence came from the fact that the strain at necking area as marked by C is larger than the outside area of the neck showing almost uniformly straining. As indicated in Fig. 2(a) and 2(b), the maximum true strain  $(\epsilon_v)_{max}$  at C area is 0.436 for AL5052-O sheet and 0.272 for DP980 sheet. However, the average true strain for AL5052-O sheet and DP980 sheet is approximately 0.108 and 0.123, respectively.

Anisotropic coefficients ( $r_0$ ) and Young's

modulus (E) calculated from the DIC results are 0.763 and 72.1 GPa for AL5052-O; 0.761 and 225.8 GPa for DP980, respectively, which almost matches with the strain-gauge type extensometer method.

The benefit of the DIC is that it provides a more complete true stress-strain curve in all range of straining of the material under loading condition before and after necking until the fracture in the tensile test. [2] By measuring the local strain at the necking area C, we can derive the whole stress-strain curve up to failure occurrence from Ref. [2]

The measured true stress-strain curves after the necking (i.e. post-necking) known as strain hardening curve or flow curve are denoted by the dotted curve after the maximum point M in Fig.1(a) and (b).

Fig. 2 shows the major strain distributions along the line AB at three levels of average strain ( $\epsilon_a$ ) corresponding to the just three previous steps before fracture occurrence.

As the tensile strain increases the measure strain at the necking area C near the fracture occurrence point increase largely and localizes into narrow region on both materials. However the localization tendency and localized width for AL5052-O sheet are more remarkable compared with DP980 sheet.

To describe the flow curve of the tested sheets into an analytical form for FEM simulation of the sheet metal forming, Kim-Tuan hardening model [5] that has been developed by one of the

1. School of Mechanical Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

2. Daegu-Gyeongbuk Regional Division, Korea Automotive Technology Institute, 711 Hosan-dong, Dalseo-gu, Daegu 43011, Republic of Korea

3. Division of Safety Engineering, Pukyoung National University, Busan 48513, Republic of Korea

# Corresponding author: Young-Suk Kim, E-mail: caekim@knu.ac.kr

authors was applied.

Fig. 3 shows the comparisons of the local stress-strain curves (dotted curves) in Fig. 1 and the predicted flow curves (solid curves) based on Kim-Tuan hardening model. In this figure  $\epsilon^M$  and  $\epsilon^F$  denoted the strains at the maximum stress point and the fracture occurrence point.

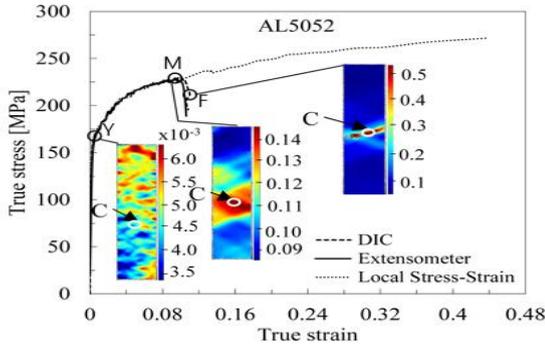


Fig. 1(a) True stress-strain curves for AL5052-O

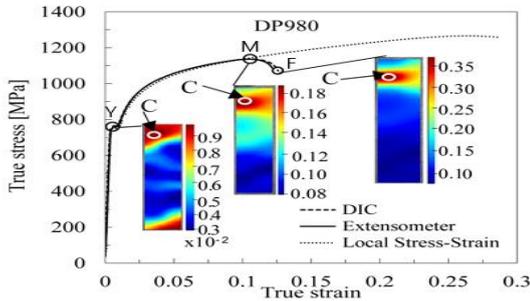


Fig. 1(b) True stress-strain curves for DP980

It is clear that Kim-Tuan hardening model described well the experimental stress-strain curves over the whole range of straining of the material under loading in both tested materials of aluminum and high strength steel sheets even though the measured data after onset of necking are a little higher than the predicted curves.

### 3. Conclusion (omitted due to space)

#### Acknowledgements

This works was supported by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Korea Government (MEST) (NRF-2014R1A 2A2A0100 5903) and a grant No.R0003356 (Tuning Professional Support Center in Daegu Metropolitan City) from Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE).

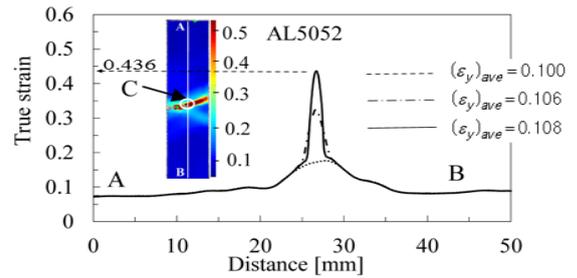


Fig. 2(a) True strain distribution for AL5052-O

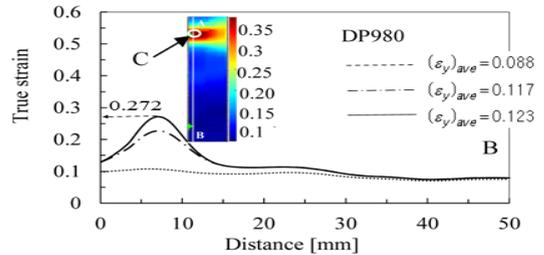


Fig. 2(b) True strain distribution for DP980

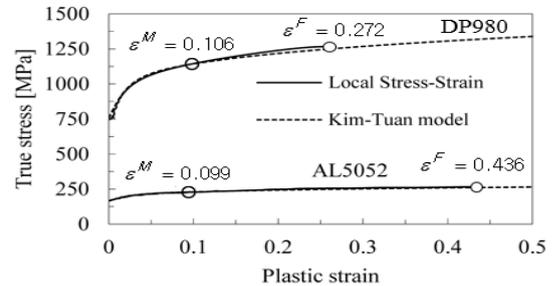


Fig.3 Post-necking prediction of Kim-Tuan model in comparison with from DIC result

#### References

- [1] B. Pan, K. Qian, H. Xie, and A. Asundi, Two-dimensional Digital Image Correlation for in-plane displacement and strain measurement: A review, *Measure. Sci. Tech.*, 20-6 (2009), 1-17.
- [2] Y. H. Wang, J.H. Jiang, C. Wanintrudal, C.Du, D.Zhou, L.M. Smith and L.X. Yang, Whole field sheet-metal tensile test using Digital Image Correlation, *Exper. Tech.*, 34 (2010), 54-59.
- [3] O.H.Kwon, S.T. Kim, J.W. Kang, A study of the strain measurement for Al6061-T6 tensile specimen using the digital image correlation, *J. Korean Soc. Safety*, 28-4 (2013), 26-32.
- [4] J. Blaber, B. Adair, A. Antoniou, Ncorr: Open-Source 2D Digital Image Correlation Matlab Software, *Exper. Mech.*, 55 (2015), 1105-1122.
- [5] Y.S Kim, J.H. In; Evaluation of press formability of pure titanium sheets, *J. Korea. Acad-Ind. Coop. Soc.* 17-7 (2016), 380-388.

# DP980강의 미시적 응력-변형을 분리 및 파괴기구 대한 결정소성 유한요소모델링

김동규<sup>1</sup> · 우완측<sup>1</sup> · 김은영<sup>2</sup> · 최시훈<sup>2</sup>

## Crystal plasticity finite element modeling of microscopic stress-strain partitioning and failure mechanism in DP980 steel

Dong-Kyu Kim<sup>1</sup>, Wanchuck Woo<sup>1</sup>, Eun-Young Kim, and Shi-Hoon Choi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Neutron Science Division, Korea Atomic Energy Research Institute

<sup>2</sup> Department of Printed Electronics Engineering, Sunchon National University

### Abstract

Stress-strain partitioning and failure behaviors in DP980 steel are investigated using microstructure-based modeling. First, micromechanical failure behaviors associated with the hot spots for void formation are carefully observed by *ex-situ* tensile test using a miniaturized specimen to reveal the main ductile failure mechanism. Then, crystal plasticity finite element method (CPFEM) is utilized to look into the effects of microstructural factors, i.e., orientation-dependent kinematic stability, martensite morphology, grain boundary alignment, on the void formation by ferrite-martensite interface decohesion. The microscopic hardening parameters for each phase used in the CPFEM were determined by fitting the macroscopic stress and microscopic lattice strains measured by the in-situ neutron diffraction during the uniaxial tensile test. To capture the hot spots for void formation by interfacial decohesion, the cohesive zone model based on the traction-separation law was introduced along the interfaces between ferrite and martensite phases. The simulation revealed that the crystallographic orientation for ferrite, the martensite morphology, and the grain boundary alignment all significantly affected the heterogeneity of strain-stress partitioning, in-grain orientation gradient for the ferrite matrix, and the void formation by F/M interface decohesion in DP980 steel under uniaxial tension.

**Key Words:** DP980 steel, Failure, Micromechanics, Neutron diffraction, Crystal plasticity, Finite element

---

1. 한국원자력연구원 중성자과학연구부

2. 국립순천대학교 인쇄전자공학과

## 광학식 자동 표면변형률 측정 시스템 개발 -II

오테환<sup>1</sup> · 김성곤<sup>1</sup> · 조원우<sup>1</sup> · 김형종<sup>#</sup>

### Development of an automated optical surface-strain measurement system -II

T. H. Oh, S. G. Kim, W. W. Jo, H. J. Kim

#### Abstract

본 연구에서는 컴퓨터 비전 오픈 라이브러리를 이용하여 자체 개발한 광학식 자동 표면변형률 측정 시스템을 수정·보완하였다. 오픈 라이브러리의 카메라 보정(Calibration) 과정에서 도출된 매개변수에 대하여 자체 고안한 방법으로 정확성 평가를 수행하여 신뢰성을 확보하였다. 영상이미지 픽셀좌표는 측정 물체에 미리 인쇄한 구조적인 연결성을 가진, 균일 또는 불균일 격자 패턴의 중심을 인식하는 통합 알고리즘을 고안하여 도출할 수 있으며, 정확한 공간좌표 도출을 위해 정수형의 이미지 픽셀좌표를 타원근사법과 도심 계산을 이용하여 실수형 좌표로 표현하였다. 검증된 매개변수 및 영상이미지 픽셀좌표를 이용해 측정 물체를 3차원 공간좌표로 재구성하였다. 전용 촬영장비가 필요한 기존의 상용 소프트웨어와 달리 본 연구에서 개발한 소프트웨어는 전용 또는 범용 디지털 카메라 및 스마트폰 등 다양한 촬영 장비를 사용하여 신뢰성 높은 변형률 측정이 가능함을 확인하였다. 측정된 변형률 값의 신뢰성을 평가하기 위해 성형성 평가시험을 거친 금속판재를 대상으로 고가의 상용 장비로 측정한 결과와 비교하였다.

**Key Words:** Surface Strain Measurement, Camera Calibration, Image Processing

---

1. 강원대학교 대학원 기계융합공학과  
# 교신저자: 강원대학교 기계융합공학과,  
E-mail: khjong@kangwon.ac.kr

## 비관계유동법칙 및 소성이방성 변화 고려 유한요소해석

최홍진<sup>1</sup> · 최유미<sup>1</sup> · 이기정<sup>1</sup> · 노우람<sup>1</sup> · 배기현<sup>2</sup> · 안덕찬<sup>2</sup> · 이명규<sup>1,#</sup>

### Finite Element Simulation for Earing Prediction with Non-Associated Flow Rule and Evolutionary Anisotropy

H. J. Choi, Y. M. Choi, K. J. Lee, W. R. Noh, G. H. Bae, Y. M. Choi, D.C. Ahn, M. G. Lee

#### Abstract

Earing is often developed in the forming of cylindrical cup drawing experiments. This non-uniform height profile has been understood as a result of sheet anisotropy, thus numerous researches have been focused on the accurate description of anisotropic deformation of sheet. In particular, the directional differences in the yield stress and r-value were considered as the most influencing factors for the earing profile. In the present study, various constitutive models were comparatively investigated for the prediction of earing profile in the cup drawing finite element simulations. The constitutive models include the Hill 1948 models under associated and non-associated flow rules, and the Yld2000-2d non-quadratic yield function with associated flow rule. Moreover, the evolution of anisotropy was also considered by employing simplified equivalent plastic strain rate dependent anisotropic coefficients. The evaluation of the model capability in predicting the earing profile was carried out by comparing with the measured one for steel sheets.

**Key Words** : Earing, anisotropy, yield function, FEM, cup drawing

---

1. 고려대학교 신소재공학부

2. 포스코

# 교신저자: 고려대학교, E-mail: myounglee@korea.ac.kr

# 변태 소성 현상이 고려된 유한 요소법을 통한 드라이브 샤프트의 고주파 열처리 공정 해석

박시욱<sup>1</sup> · 김동완<sup>1</sup> · 이시엽<sup>2</sup> · 한흥남<sup>1#</sup>

## A finite element analysis on heat treatment of drive shaft incorporating transformation plasticity

S.W. Park<sup>1</sup>, D.-W. Kim<sup>1</sup>, S.Y. Lee<sup>2</sup>, H.N. Han<sup>1#</sup>

### 초록

기계부품 재료의 표면 경화 처리법으로서 고주파 열처리는 친환경적이며 단시간에 열처리가 가능한 장점을 가져 많은 공정 과정에서 이용되고 있다.

본 연구 그룹에서는 드라이브 샤프트의 고주파 열처리 공정 과정에서 발생하는 상변태 및 이로 인한 변태 소성 현상을 고려하여 유한요소해석을 수행, 열처리 공정 시 온도, 변형, 상 분율, 잔류응력 분포를 해석하였다. 고주파 열처리 공정 중 인덕션 코일에 의해 발생하는 열은 표면효과를 고려하여 발열 분포를 재현[1]하였으며, 소입수에 의한 냉각은 뉴턴의 냉각 법칙에 따라 냉각 조건에 맞는 열 전달 계수를 도입하여 해석을 수행하였다.[2] 상변태 kinetic은 딜라토미터 실험을 통해 분석되었으며, 다양한 냉각속도(0.3 °C/s, 3 °C/s, 10 °C/s, 30 °C/s)에 대하여 상변태 거동을 확인하였다. 확산 변태의 경우 Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov 식을, 무확산 변태의 경우 Koistinen-Marburger 식을 따라 모델링 되었다. 소입수에 의한 냉각 과정에서 변화하는 냉각조건을 고려하여 JMAK 식의 계수를 변수로 설정하여 가산법칙을 적용하였다.[3] 상변태 도중 가해진 외부 응력에 의해 발생된 변태 소성은 열-탄소성 변형 해석에 적합한 형태로 변형되어 유한 요소 해석 모델에 적용되었다.[4,5] 온도, 상변태, 잔류 응력 해석 결과는 실험으로 측정된 값을 통해 검증되었다.

**Key Words** : 고주파 열처리; 상변태; 변태 소성; 딜라토미터; 잔류응력

### 참고문헌

- [1] John Davies et al. Induction heating handbook, McGraw-Hill, 1979. pp.307-312
- [2] H.N. Han et al. J MATER PROCESS TECH. 128. 2002. pp. 216-225
- [3] H.N. Han et al. Mater. Sci. Technol. 17, 2001. pp.721-726
- [4] H.N. Han et al. PHILOS MAG. 87. 2007. pp.159-176
- [5] H.N. Han et al. Acta Mater. 52. 2004. pp.5203-5214

1. 서울대학교 재료공학부(바탕, 7pt)

2. 현대자동차 남양연구소

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

# 실험과 시뮬레이션을 통한 멀티재료로 구성된 센터필러의 충돌해석 비교

이민식<sup>1</sup> · 김대원<sup>2</sup> · 강충길<sup>#</sup>

## Comparison of the Collision test in Hybrid-Multi Materials by Using Experimental and Theoretical Methods

M. S. Lee, D. W. Kim, C. G. Kang

### Abstract

In this study, center-pillar consist of Hot stamping part, CR420 and CR420/CFRP hybrid composite materials. After assembled, collision test was conducted to evaluate fracture toughness with center-pillar. Center-pillar reinforcement with CR420/CFRP hybrid composite materials was include to reduce weight and improve fracture toughness. Experiment collision result was compared with CAE to verify again. Detailed result was analyzed with ABAQUS/explicit. The mechanical properties of CR340 and CFRP were input by dividing the material regime into elastic, plastic, and fracture regions in order to improve the simulation reliability. A forming limit diagram was determined through a stretch test for the CR340 steel plate and used as data input in the simulation. For CFRP, simulation was carried out using the Hashin damage theory and damage evolution obtained from references. The simulation results shared distinct similarities with the test results.

**Key Words** : Collision test, hybrid materials, TWB, simulation, CFRP

### 후 기

본 연구는 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (No. 2011-0030013)

---

1. 부산대학교 기계공학부(바탕, 8pt.)

2. 부산대학교 기계공학부

# Corresponding Author : School of Mechanical Engineering, Pusan National University, E-mail:cgkang@pusan.ac.kr

## 소성변형 이력을 고려한 연성파괴 거동의 실험적 측정

김찬양<sup>1</sup> · 노우람<sup>1</sup> · 송정한<sup>2</sup> · 김대용<sup>3</sup> · 김지훈<sup>4</sup> · 이명규<sup>#</sup>

### Experimental Evaluation of Ductile Fracture Criterion under Strain Path Change

C. Y. Kim, W.R. Noh, J.H. Song, D.Y. Kim, J.H. Kim, M.G. Lee

#### Abstract

Ductile fracture of metals is associated with nucleation, growth and coalescence of micro-voids under plastic deformation of surrounding matrix. To evaluate the ductile fracture of metal from a continuum mechanics point of view, ductile fracture criteria as measure of the fracture initiation have been developed. However, common approach for this fracture criterion is based on proportional loading and the effect of strain path has not been considered. In this study, a ductile fracture criterion of DP590 steel sheet after prior plastic deformation was experimentally evaluated. For this purpose, a big tensile specimen was elongated to provide prior plastic deformation. Then, the fracture specimens having different stress triaxialities under tensile loadings were fabricated from the large specimen. Three different directions for the fracture specimens were considered; i.e., 0, 45, 90 degrees from the loading direction of pre-strain. Displacement and load at the onset of fractures were measured with digital image correlation (DIC). Inverse analysis with finite element simulation enabled to obtain stress and strain history at the critical fracture locations for each specimen. Finally, Mohr-Coulomb ductile fracture criteria were evaluated using the test data under different deformation histories.

**Key Words** : Ductile fracture (연성파괴), Mohr-Coulomb criterion, Plastic deformation path (소성변형이력)

#### 후기

본 연구는 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2012R1A5A1048294)

---

1. 고려대학교 신소재공학부  
2. 한국생산기술연구원  
3. 재료연구소  
4. 부산대학교 기계공학부  
# 이명규: 고려대학교 신소재공학부, E-mail:myounglee@korea.ac.kr

## 이중전단비틀림압출과정 중 소재의 변형 해석

이라니 미쌘<sup>1</sup>, 이요셉<sup>1</sup>, 전만수<sup>#</sup>

### Analysis of billet deformation during double shear twist extrusion process

M. Irani, Y. S. Lee, M. S. Joun

#### Abstract

In the present study, double shear twist extrusion as a novel severe plastic deformation process is investigated using finite element analysis. Various coefficients of Coulomb friction are employed in the simulations and their influence on the die filling fraction and effective strain in severely deformed billets are studied. The results reveal that by increasing the coefficient of Coulomb friction the average of strain increases while the homogeneity of the strain distribution on the cross section of the deformed billet does not vary noticeably. It is also found that the filling fraction of the die exit channel increases.

**Key Words** : Double shear twist extrusion, Finite element analysis, Strain homogeneity

#### 1. Introduction

Several types of SPD processes have been developed to advance the multi-functional material properties using high shear strain and the magnitude and distribution of strain in SPDed materials have been studied using theoretical analysis and finite element method (FEM) [1,2]. However, non-uniform mechanical properties and microstructures, as results of inhomogeneous plastic strain distributions imposed during the processes, and small workpiece size for industrial applications are two main restrictions to the production of SPDed materials. Double shear twist extrusion (DSTE) is introduced by the authors as a novel extrusion based SPD process which increases the strain magnitude applied per pass and improves the strain homogeneity on the cross-section of severe plastic deformed workpiece. During DSTE process, pure shear extrusion and twist extrusion are merged together and a higher shear strain is imposed to the workpiece consequently.

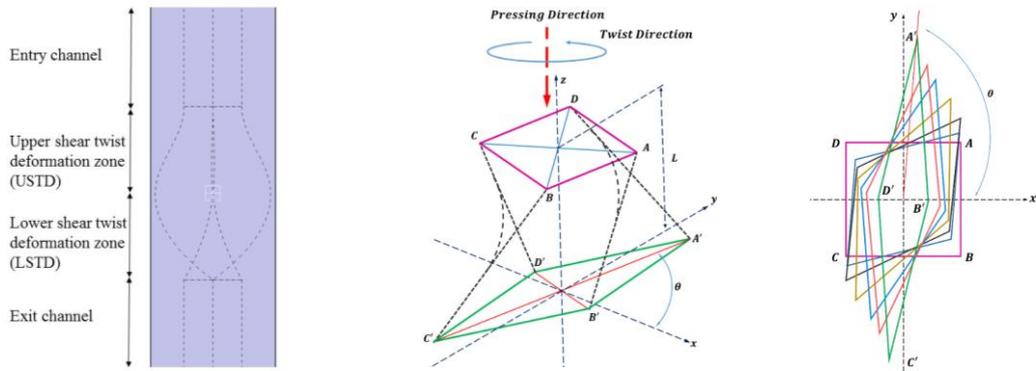
#### 2. Double shear twist extrusion principle

In DSTE, a sample with square cross-section is pressed through a direct channel die consisting of four zones as shown in Fig. 1. The cross-sectional shape gradually deforms from square to rhombic and at the same time rotates along the pressing direction throughout the upper shear twist deformation zone (USTD). In lower shear twist deformation zone (LSTD), the cross-section returns back to its initial form while it rotates in the same direction throughout the lower die simultaneously.

---

1. 경상대학교 일반대학원 기계항공공학부

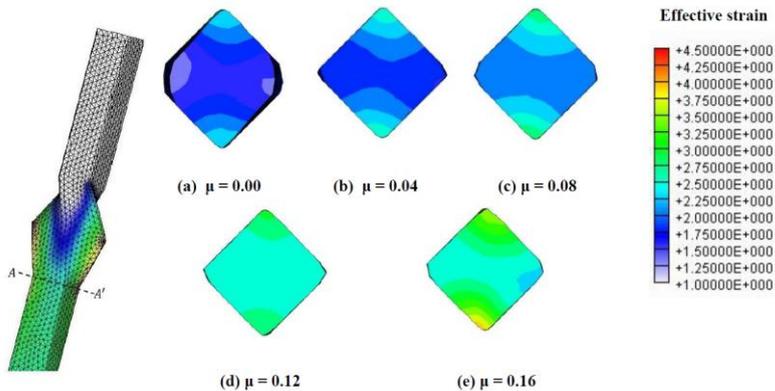
# 교신저자: 경상대학교 기계항공공학부 / 공학연구원, E-mail: msjoun.gnu.ac.kr



**Fig. 1. Schematic illustration of: (a) DSTE die consisting of four zones, (b) upper shear twist deformation zone and effective design parameters, (c) top view of gradual changes in the cross-sectional shape from inlet to the end of upper shear twist deformation zone.**

### 3. Results and Discussion

As shown in Fig.2 the sharp corners contain the largest strains due to the friction at the die-material interface where severe plastic deformation is experienced. The gap between the die and material at round corners (the black regions) is diminished as the coefficient of Coulomb friction increases. Moreover, the homogeneity of the effective strain is improved noticeably with higher friction, as indicated in Fig. 2(d) and (e).



**Fig. 2. Predicted strain distribution on AA' cross-section with various coefficient of Coulomb friction.**

### 4. Conclusion

The results showed that higher coefficient of Coulomb friction increases the magnitude of strain and filled fraction of the exit channel mean while the homogeneity of effective strain on the cross-section of exit channel does not change noticeably.

### References

[1] H.S. Kim, S.H. Joo, H.J. Jeong, “Plastic deformation and computer simulations of equal channel angular pressing”, Korean J. Met. Mater. Vol. 52, pp. 87~99, 2014.  
 [2] W. Wang, D. Gao, E.Y. Yoon, D.J. Lee, H.S. Kim, “Finite element analysis of the effect of friction in high pressure torsion”, Metal. Mater. Inter., Vol. 20, pp. 445~450, 2014.

# 초-고변형률속도 조건에서 4130 합금강의 전단파단변형률 추정에 관한 연구

최현우<sup>1</sup> · 박명준<sup>2</sup> · 허훈<sup>#</sup>

## Research on Estimation of Shear Fracture Strain of 4130 Alloy Steel at Ultra-High Strain Rates

Hyeonu Choe, M. J. Piao, H. Huh

### Abstract

This paper is concerned with the estimation of shear fracture strain of 4130 alloy steel for ultra-high strain rates. The shear fracture strain has been estimated by a number of experimental techniques considering a wide range of strain rates with many different types of specimen. In the strain rate region below 100/s, experiments are typically accomplished through various types of servohydraulic machines. In the high strain rate region, over 100/s, the shear deformation behavior of material has been investigated with Split-Hopkinson or Kolsky Bar test by analyzing wave signals came from impact. In this paper, Taylor impact test machine is used to obtain ultra-high strain rates ranging over 10,000/s and finite element analysis for the test is conducted to be compared with the experimental result. A novel type of specimen is also proposed to obtain shear loading condition in interesting region of the specimen during the impact test. Deformation process of specimen during the impact is caught on high speed camera. Shear fracture strain of the specimens is estimated by comparing the captured images with finite element analysis result. Obtained shear fracture strain at ultra-high strain rate region can be usefully applied to the numerical analysis dealing with high speed impact.

**Key Words** : 4130 Alloy Steel, Ultra-High Strain Rates, Shear Fracture Strain, Taylor Impact Test, Finite Element Analysis

### 1. 서론

금속재료의 유동응력 및 파단변형률과 같은 기계적 물성치는 일반적으로 변형률경화 현상에 의해 정적영역과 동적영역에서 차이를 보인다. 군사, 항공 분야에서 자주 활용되는  $10^3\text{s}^{-1}$  이상의 고 또는 초-고변형률속도 영역에서는 그 차이가 더욱 심화되므로, 올바른 유한요소해석결과를 위해 정확한 재료물성의 획득 및 활용이 요구된다.

Lim[1] 등에 의하면 4130 합금강의 경우 파단변형률이  $0.1\sim 1\text{s}^{-1}$  에서 가장 낮고, 변형률속도가 증가함에 따라 순수전단 및 단순인장조건에서 증가하는 양상이 명확하게 관찰된다. 또한 군사, 항공 분야에서 활용되는 충돌 및 관통해석은 고, 초-고변형률속도 영역에서 전단하중 하의 기계적 물성의 중요성이 더욱 높다. 정적 및 중변형률속도 조건에서는 다양한 형태의 시험기법을 통해 순수전단조건에서의 기계적 물성 획득이 이루어져 왔지만, 초-고변형률속도 조건에서는 명확한 시험기법이 확립되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 4130 합금강의 초-고변형률속도 영역에서 순수전단조건 하의 파단변형률 측정기법을 제시하고자 한다.

1. 한국과학기술원, 기계항공시스템학부

2. 한국과학기술원, 기계항공시스템학부

# 교신저자: 한국과학기술원, 기계항공시스템학부

E-mail: hhuh@kaist.ac.kr

## 2. 테일러 충격시험 및 유한요소해석

초-고변형률속도 영역에서의 시험을 위해, 시편을 높은 속도( $150\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  이상)로 강체에 충돌시켜  $10^5\text{s}^{-1}$  이상의 변형률속도를 획득할 수 있는 테일러 충격시험을 수행했다. 순수전단하중조건 획득을 위해 시편의 형상을 그림 1에 도시한 알파벳 S형태로 설계했다. 개발된 시편을 활용하여  $159\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  로 수행된 충격시험의 과정을 초고속카메라로 촬영하여 연속적인 사진으로 획득하고, 시편의 윤곽선을 추적하여 그림 2에 도시했다.

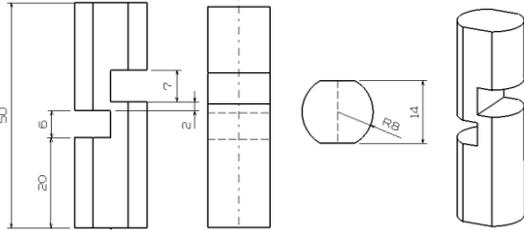


그림 1. 테일러 충격시험을 위한 S형태 시편

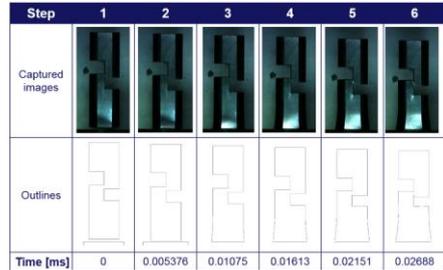


그림 2. S형태 시편으로 수행한 테일러 충격시험과정

Fig. 2에 도시한 Step 2에서 충격이 시작되었고, Step 6에서 전단파단이 발생 했다. 충격시험에서 전단파단이 발생한 시간을 획득하여 유한요소해석에 활용했다.

S형태 시편으로 수행한 테일러 충격시험을 유한요소해석으로 구현하기 위해 Piao[2] 등이 획득한 4130 합금강의 다양한 변형률속도의 유동응력 데이터를 활용하고, 그림 3에 도시했다. 상업용 소프트웨어인 ABAQUS/Explicit을 사용했고, 순수전단파단이 발생하는 시편의 중심부에 세밀한 요소배치(그림 4)를 통해 해석의 정밀도를 높였다. 유한요소해석결과를 통해 순수전단조건을 확인하고, 충격시험에서 획득한 전단파단발생시간과 동일한 시간에 시편의 중심부에서 측정(그림 5)된 등가소성변형률( $0.72$ )을 4130 합금강의 초-고변형률속도 영역에서 전단파단변형률로 추정했다.

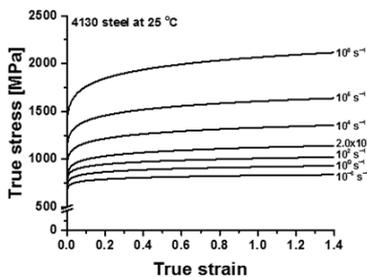


그림 3. 4130 합금강의 유동응력

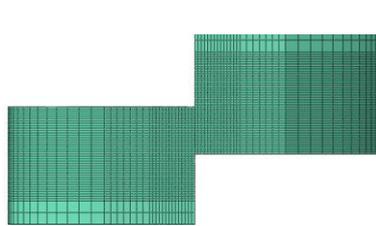


그림 4. 변형집중부위의 요소분포

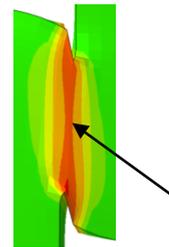


그림 5. 등가소성변형률 측정부

## 3. 결론

초-고변형률속도에서 순수전단조건을 획득하기 위한 새로운 시편형상을 설계했고, 본 시편을 활용한 테일러 충격시험과 유한요소해석 간의 비교를 통해 초-고변형률속도에서 4130 합금강의 전단파단변형률을 추정했다.

### 참고문헌

- [1] S. Lim, "Fracture strain evaluation of the metallic materials at intermediate strain rates", *Proceedings of KIMST Annual Conference*, 2013
- [2] M. Piao, "Characterization of flow stress at ultra-high strain rates by proper extrapolation with Taylor impact tests", *Int. J. Impact Eng.* 2016

## 통전직접가열방법을 활용한 초고강도 부품 성형기술에 관한 연구

정경근<sup>1</sup> · 명재곤<sup>1</sup> · 채관석<sup>2</sup> · 홍민선<sup>2</sup> · 정재형<sup>2</sup> · 김동욱<sup>#</sup>

### The Study of Joule Heating Process for Ultra-High Strength Steel Component

K. G. Jung, J. G. Myung, K. S. Chae, M. S. Hong, J. H. Jung, D. O. Kim

#### Abstract

차체 부품 업계에서는 경량화와 충돌안전 성능을 동시에 만족할 수 있도록 초고강도 부품 개발을 지속적으로 수행하고 있다. 이를 위해 자동차 업계에서는 소재를 950℃까지 가열하고, 급형에서 급냉시키며 성형하는 핫프레스포밍 또는 핫스탬핑이라는 공법을 사용하여 초고강도 부품을 생산하고 있다. 그러나, 본 공법은 일반적으로 간접가열 방식의 연속이송가열로를 사용하고 있어, 높은 설비투자비와 낮은 공간 활용성 및 에너지 효율성이 문제로 대두되어 왔다. 따라서, 본 논문에서는 이에 대한 대안으로 급속가열 방식의 Joule Heating 방법을 적용하여 부품 성형에 관한 연구를 실시하였다. 사용된 소재는 길이, 폭, 두께가 각각 1300mm x 130mm x 1.6mm 인 22MnB5 스틸 판재가 사용되었고, 유한요소 해석을 통해 전류해석, Joule Heating에 의한 온도변화, 팽창에 의한 처짐량을 분석하였고, 이를 실험과 비교하였다. 12kA 전류 통전 시 소재 온도는 1,100도씨까지 도달하였고, 소재는 급냉 후 마르텐사이트 조직에 1.5GPa까지 증가하는 것을 확인하였다.

**Key Words :** Joule Heating (전기저항열), Ultra High Strength (초고강도), Steel Sheet(스틸판재), Finite element Analysis (유한요소해석)

---

1. 자동차부품연구원 융합소재공정연구센터

2. 경기산업(주) 기술연구소

# 교신저자 : 자동차부품연구원, E-mail : dokim@katech.re.kr

# 순 티탄늄 판재의 인장 변형에 따른 표면특성에 관한 연구

인정훈<sup>1</sup> · 김영석<sup>#</sup>

## A Study on the surface characteristics by tensile deformation in pure titanium sheet

J. H. In, Y. S. Kim

### Abstract

본 연구에서는 순 티탄늄 판재의 각 방향별 인장특성을 알아보고, 단축 및 이축인장에 의해 변형된 시편에 대하여 표면거칠기의 변화를 평가하였다.

**Key Words** : 순 티탄늄, 표면거칠기, 인장특성, 면내변형실험, 두께 불균일

### 1. 서론

순 티탄늄 판재(pure titanium sheet)는 4.504g/cm<sup>3</sup>의 비중을 지닌 경금속으로 분류되는 금속으로 타소재에 비하여 내부식성, 프레스 가공성, 비강도가 우수한 특징이 있다.

프레스 성형시 소성변형의 진행에 따라 성형품 표면상태가 변하고 판재성형품의 거칠어진 표면은 판재의 성형한계를 저하시키는 원인이 된다.

본 연구에서는 순 티탄늄 판재에 대하여 인장 실험을 실시하고, 단축 및 이축변형의 진전에 따른 표면거칠기의 영향을 관찰하였다.

### 2. 실험방법

#### 2.1 인장실험

두께 0.5mm(500 μm)의 순 티탄늄 판재를 이용하여 KS 0801 13B 규격에 따른 시편으로 KS B 0802의 실험방법에 따라서 압연방향의 0도, 45도, 90도 방향에 대하여 1mm/min의 속도로 인장실험을 수행하였다.

#### 2.2 표면거칠기 조사

순 티탄늄 판재의 압연방향의 0도, 90도 방향으로 인장실험을 실시한 시편[1]과 Marciniak multiaxial test[2]를 이용하여 등2축 면내장출 실험을 실시하여 중앙부의 표면의 공초점 레이저 주사 현미경(confocal laser scanning microscope)를

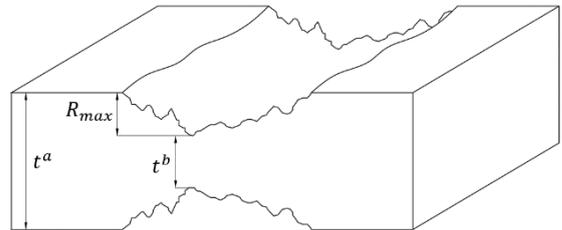
이용하여 300X300 μm<sup>2</sup> 범위내에서 표면거칠기를 측정하였다.

#### 2.3 판재의 두께 불균일 분석

판재의 인장이 진행되면서 표면거칠기가 변하게 되고, 판재의 두께방향으로 불균일함(thickness heterogeneity)이 가속되어 재료가 파단에 이른다. 이 불균일함은 다음의 불균일 계수 f로 나타낼 수 있다.[3] 그림 1은 판재의 불균일함에 대한 계략도를 나타낸 그림이다.

$$f = \frac{t^b}{t^a} = \frac{t^a - 2R_{max}}{t^a} \times \exp(\epsilon_t^b - \epsilon_t^a) \quad (1)$$

여기서,  $t^a, t^b$ 는 균일부와 불균일부의 두께를 나타내며,  $\epsilon_t^a, \epsilon_t^b$ 는 균일부와 불균일부의 두께 변형률,  $R_{max}$ 는 최대 표면거칠기이다.



[그림 1] Schematic of thickness heterogeneity of sheet

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 인장실험

표 1은 인장실험을 통하여 구한 순 티탄늄 판재의 기계적 특성을 나타낸다.

1. 경북대학교 대학원 기계공학과

# 교신저자: 경북대학교 기계공학부,

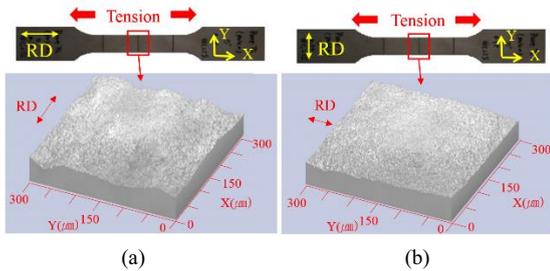
E-mail : caekim@knu.ac.kr

[표 1] 순 티탄늄 판재의 기계적 특성

Tensile direction	E (GPa)	YS (MPa)	TS (MPa)	EI (%)	K (MPa)	n-value
0°	104.78	191.74	311.77	56	538.32	0.22
45°	110.97	206.25	270.99	65	407.57	0.13
90°	110.04	232.74	288.71	45	384.06	0.08

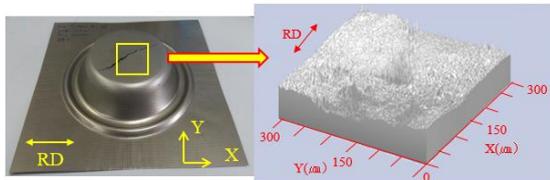
### 3.2 표면거칠기 조사

그림 2는 압연방향(rolling direction, RD)과 압연방향의 직각인 방향(transverse direction, TD)으로 단축인장실험을 실시한 시편의 중앙부의 표면을 촬영한 그림이다. 압연방향으로 20%까지 인장된 시편(a)은 압연방향으로 주름과 같은 모양으로 표면이 거칠어졌고, 그에 반해 압연방향의 직각인 방향으로 20% 인장된 시편(b)의 경우는 이와 같은 현상이 발생하지 않았다.



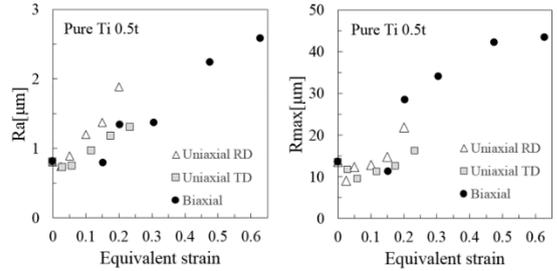
[그림 2] Surface condition of uniaxially stretched pure Ti sheet  
(a) Tensile test specimen in rolling direction  
(b) Tensile test specimen in transverse direction

그림 3은 면내 장출실험을 통해 등2축인장 변형된 시편의 중앙부의 표면을 촬영한 그림이다. 등2축인장된 시편도 압연방향으로 주름과 같은 모양으로 표면이 거칠어진 것을 관찰할 수 있다.



[그림 3] Surface condition of in-plane equibiaxially stretched pure Ti sheet

그림 4는 압연방향과 압연방향의 직각인 방향으로 인장실험을 실시한 시편의 중앙부의 표면과 등2축인장된 시편의 중앙부의 표면의 표면거칠기를 증가변형률에 따라 나타낸 그림이다.

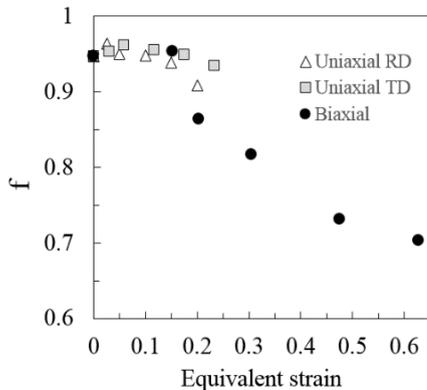


[그림 4] Development of surface roughness during uniaxial and equibiaxial stretching of pure Ti sheet

인장초기에는 두께방향으로 균일변형이 작용하면서 표면거칠기가 감소하다가 인장변형률이 증가할수록 불균일변형이 작용하여 두께방향 변형이 가속화되어 표면이 점점 거칠어지고 있음을 알 수 있다.

### 3.3 판재의 두께 불균일 분석

인장이 진전됨에 따른 불균일 계수를 그림 5에 나타내었다. 이 불균일계수의 변화는 판재의 성형한계선의 예측에 크게 영향을 미친다. 단축인장의 경우에 불균일계수의 감소가 크지 않은 반면에 등2축인장의 경우는 크게 감소하고 있어 후자의 경우에 보다 빨리 판재가 파단에 이른다는 것을 예상할 수 있다.



[그림 5] Heterogeneity coefficients associated with strain in uniaxial and equibiaxial stretching of pure Ti sheet

### 참고문헌

[1] C. H. Suh, Y. S. Kim, Effects of thickness and surface roughness on mechanical properties of aluminum sheets, J. Mech. Sci. Tech. Vol. 24(10), 2091-2098, 2010.  
 [2] Z. Marciniak, K. Kuczynski, Limit strains in the processes stretch-forming sheet metal, Int. J. Mech. Sci., 9, 609-620, 1967.  
 [3] J. Z. Gronostajski, Z. Zimniak, The effect of changing of heterogeneity with strain on the forming limit diagram, J. Mat. Proc. Tech., 34, 457-464, 1992.

# 금속재료의 변형거동에 미치는 전류의 영향 연구

정혜진<sup>1</sup> · 김문조<sup>2</sup> · 박주원<sup>1</sup> · 진성우<sup>1</sup> · 이규영<sup>3</sup> · 임창동<sup>4</sup> · 한흥남<sup>1#</sup>

## Effect of Electric current on mechanical behavior of metal alloy

H.-J. Jeong<sup>1</sup>, M.-J. Kim<sup>2</sup>, J.-W. Park<sup>1</sup>, S.-W. Jin<sup>1</sup>, K.Y. Lee<sup>3</sup>, H.N. Han<sup>1#</sup>

### 초록

(국문초록) 최근 고유가 및 충돌안전 규제 강화에 따른 경량 고강도 차체부품에 대한 요구수준이 높아짐에 따라 마그네슘 합금과 고강도 강에 대한 수요가 급증하고 있다. 하지만 마그네슘 합금의 낮은 성형성과 고강도 강의 높은 스프링백으로 인하여 기존 성형기술의 문제점을 극복하는 효율적인 성형기술의 필요성이 증대되고 있다. 이에 따라 새로운 성형기술인 통전성형기술이 각광을 받고 있으며, 현재 전류인가에 따른 변형 및 미세조직의 변화 특성 확인에서 제품화 적용까지 다양한 연구들이 활발히 진행 중에 있다.

통전성형기술은 재료의 변형 중에 고전류를 인가하여 낮은 유동응력과 높은 연신율을 확보함으로써 재료의 성형성을 높이는 기술로, 이를 활용한 많은 연구들이 보고되고 있다. 예를 들어 알루미늄 및 마그네슘 합금의 인장 변형 중 펄스 전류 인가를 통해 전위의 소멸과 같은 다양한 미세조직 변화가 관찰된 바 있다 [1-2]. 또한, 980MPa급 dual phase강의 변형 중 전류를 인가함으로써 스프링백의 감소를 확인한 바 있다 [3].

본 발표에서는 마그네슘 합금 및 고강도 강 소재에 통전성형기술을 적용하여, 통전소성 거동을 미세조직 분석과 더불어 평가하였다. 일축 인장시험 중에 전류를 주기적으로 인가하면서 기계적 거동을 측정하고, 이를 무통전 시의 기계적 거동과 비교 분석함에 따라 전류의 효과를 평가하였다. 더불어 통전 인장 시, 출발열 효과를 고려하기 위하여 적외선 열화상 카메라 (FLIR)를 이용하여 시편의 온도를 측정하였으며, 측정된 온도를 기준으로 고온인장을 실시하였다. EBSD, XRD, TEM 등의 분석 장비들을 이용하여 미세조직 변화를 관찰하였으며, 이를 기반으로 출발열 효과를 구분한 전류 자체의 효과에 대해 논의하였다.

**Key Words** : 통전소성; 마그네슘 합금; 고강도 강; 용체화; 경화

### 참고문헌

- [1] M.-J. Kim, K. Lee, K.H. Oh, I.-S. Choi, H.-H. Yu, S.-T. Hong, S.-T., H.N. Han, Electric current-induced annealing during uniaxial tension of aluminum alloy, *Scr. Mater.* 75 (2014) 58-61.
- [2] T.T. Nguyen, T.V. Nguyen, S.-T. Hong, M.-J. Kim, H.N. Han, F. Morestin, The Effect of Short Duration Electric Current on the Quasi-Static Tensile Behavior of Magnesium AZ31 Alloy, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016 Article ID 9560413 (2016) 1-10.
- [3] M.-S. Kim, N.T. Vinh, H.-H. Yu, S.-T. Hong, H.-W. Lee, M.-J. Kim, H.N. Han, Effect of electric current density on the mechanical property of advanced high strength steels under quasi-static tensile loads, *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* 15 (2014) 1207-1213.

1. 서울대학교(바탕, 7pt)

2. 한국생산기술연구원

3. 포스코

4. 재료연구소 (KIMS)

# 교신저자: 서울대학교, E-mail:hnhan@snu.ac.kr

# 자동차용 모터케이스의 클린칭 금형 설계 및 클린칭부 결합 강도 평가

권일근<sup>1#</sup> · 김국용<sup>1</sup> · 박준우<sup>2</sup>

## Design of Clinching Die Shape for the Automotive Motor Case and Evaluation of Joinging Strength of Clinching Part

I. K. Kwon, G. Y. Kim, J. W. Park

### Abstract

자동차용 모터케이스의 클린칭 공정은 도그랙 캠을 이용하여 수평 수직 양 방향으로 판재를 굽혀서 원형상으로 성형하는 공정이다. 본 연구에서는 모터케이스의 경량화를 위하여 고장력 강판을 소재를 사용하는 경우 스프링백을 고려한 적정 금형 형상을 설계하고자 하였다. 이를 위해 심봉, 편치, 다이의 장축과 단축을 나누는 동시에 성형해석과 최적화 방법으로 스프링백 고려한 형상을 최적화하였으며 시험 결과 요구 정밀도를 만족하는 성형품을 얻을 수 있었다. 또한 고장력 강판 부품의 클린칭부 결합 강도를 일반 강판 부품과 비교하여 고장력 강판 모터케이스의 적용 가능성을 확인하였다.

**Key Words** : Automotive motor case, clinching die, high tension steel plate, Die optimization, Joining strength

---

1. 동의과학대학교 기계계열

2. 항성산업사

# 교신저자: 동의과학대학교, E-mail:kik@dit.ac.kr

## 중 변형률속도를 고려한 기가급 강재의 인장/압축 시험

주근수<sup>1</sup> · 허훈<sup>#</sup>

### Tension/compression Test of Giga-grade Steel Sheets Considering Intermediate Strain Rates

G. Joo<sup>1</sup>, H. Huh<sup>#</sup>

#### Abstract

This paper deals with a tension/compression test of sheet metals considering intermediate strain rates with a hydraulic material testing machine. For the tension/compression test, novel devices are designed to impose a designated tensile pre-strain and to reverse the loading direction. The novel devices have advantages for the load measurement regardless of the fundamental mode of the devices at intermediate strain rates. Tension/compression tests are performed for TRIP980 and TWIP980 steel sheets considering strain rates ranging from  $0.001 \text{ s}^{-1}$  to  $100 \text{ s}^{-1}$ . From the test results, tension/compression hardening behaviors are analyzed with respect to the strain rate.

**Key Words** : Tension/compression test, Novel devices, TRIP980, TWIP980, Intermediate strain rates

#### 1. 서론

박판의 성형 시 금형의 이탈 후 판재의 변형이 일부 복원되는 스프링백 현상은 부품의 치수 정밀도를 떨어뜨리는 주요 원인이 된다. 이러한 판재의 스프링백 현상은 성형 중 굽힘과 펴짐이 반복되는 변형거동에 의해 발생하며, 따라서 스프링백을 정확히 예측하기 위해서는 부재의 인장/압축 물성을 확보하여 수치해석에 적용하여야 한다. 또한 부재는 성형공정 중 수~수십/s의 중 변형률속도를 겪게 되므로 중 변형률속도를 고려한 인장/압축 물성이 확보되어야 한다. 하지만 기존의 인장/압축 시험은 10/s 이상에서 수행된 것이 전무한 실정이다. 본 연구에서는 성형해석을 통해 부재의 스프링백을 정확하게 예측하기 위하여, 중 변형률속도를 고려한 인장/압축 물성치의 획득하고 이를 분석하고자 한다.

#### 2. 실험방법

본 연구에서는 TRIP980과 TWIP980 강판의 인장/압축 시험을 위한 장치를 개발하고 변형률 속도에 따른 인장/압축 시험을 수행하였다. 변형률속도  $0.001\sim 0.1/s$ 에서 인장/압축 시험은 INSTRON 5583을 사용하였으며, 변형률속도  $0.1\sim 100/s$  인장/압축 시험은 고속재료시험기(HSMTM)를 활용하여 수행되었다. 고속재료시험기를 이용하여 인장/압축 시험을 수행하기 위하여 Joo et al.[1] 논문을 참고하여 추가적인 장치를 개발하였다. 그림1과 그림2는 개발된 인장 예비 변형률을 부과 장치와 압축 하중 부과 장치를 나타낸다. 각 장치는 고속재료시험기의 하부 실린더가 그립시편(grip specimen)을 아래로 잡아 당김으로써 시편에 인장 또는 압축을 부과하게 된다.

1. 한국과학기술원 기계공학과

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

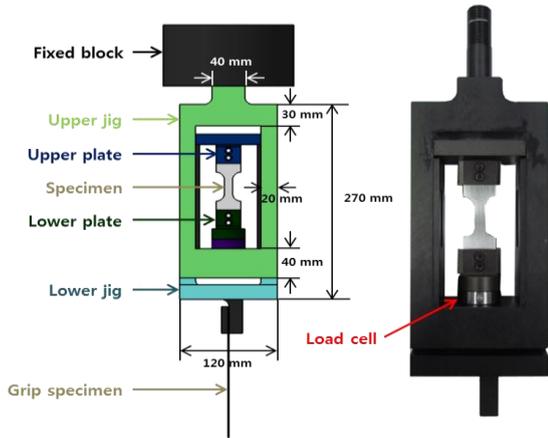


그림 1. 인장 예비변형을 부과 장치

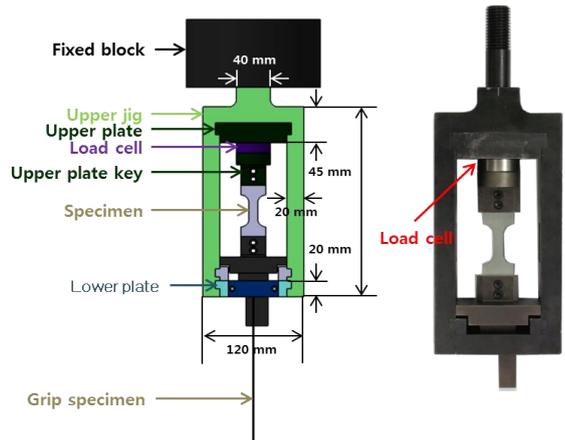


그림 2. 압축 하중 부과 장치

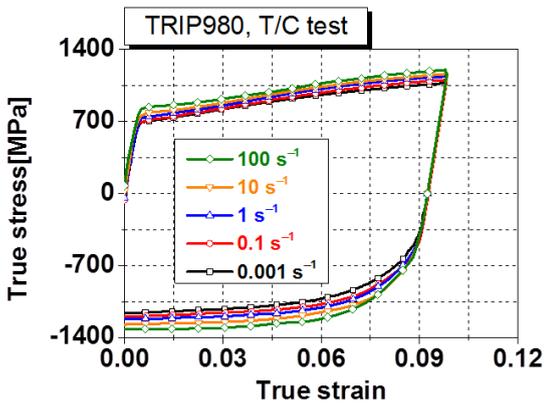


그림 3. TRIP980 강판의 인장/압축 거동

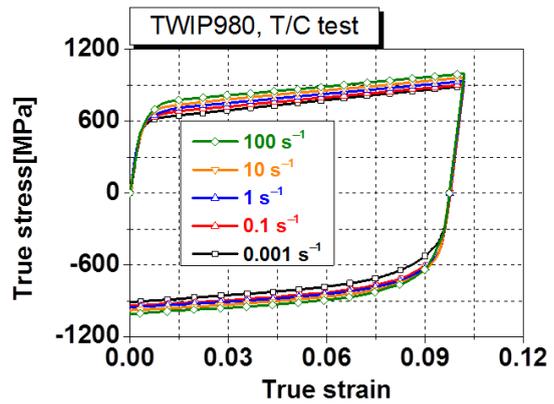


그림 4. TWIP980 강판의 인장/압축 거동

### 3. 결과 및 고찰

개발된 장치를 이용하여 TRIP980 강판과 TWIP980 강판의 인장/압축 물성을 획득하여 그림3과 그림4에 도시하였다. 두 그래프를 통하여 인장/압축 거동이 변형률속도에 따른 경화현상을 확인할 수 있다. 또한 두 그래프를 분석한 결과 TRIP980 강판은 영구연화 현상이 발생하지 않지만 TWIP980 강판은 영구연화 현상이 발생하는 것을 확인하였다.

### 4. 결론

본 연구에서는 중 변형률속도를 고려한 인장/압축 장치를 개발하여 TRIP980강판과 TWIP980 강판의 인장/압축 경화 거동을 획득하고 분석하였다. 추후 획득한 인장/압축 물성을 스프링백 해석에 적용하여 정확도를 향상시키고자 한다.

### 참고문헌

[1] Joo G., Huh H. and Choi M. K., 2015, "A newly developed clamping device for the tension/compression test at various strain rate", Key Engineering Material, 626, 353-358.

# 전자기 성형 해석에 영향을 미치는 유한요소 변수의 민감도 분석

박현일<sup>1</sup> · 이진우<sup>1</sup> · 김세종<sup>1</sup> · 이영선<sup>1</sup> · 김대용<sup>1#</sup>

## Effect Analysis of the finite element variables on the electromagnetic forming simulation

Hyeonil Park, Jinwoo Lee, Se-Jong Kim, Youngseon Lee, Daeyong Kim

### Abstract

전자기 성형 기술은 판재나 관재를 초고속으로 성형하는 충격 성형 기술 중 하나로 콘텐츠에 충전된 고밀도의 전류를 코일에 순간적으로 방전시켜 코일 주변에 발생하는 자기장과 피가공재(workpiece) 표면에 유도되는 와전류(eddy current) 사이에서 생성된 로렌츠 힘(Lorentz force)을 사용한다[1]. 고강도 강판은 일반 강판에 비해 전기 전도도가 작고 강도가 크기 때문에 그 자체 만으로는 전자기 성형이 쉽지 않다. 이를 해결하고자 전기 전도도가 큰 소재를 배면판으로 사용하여 성형에 필요한 로렌츠 힘을 확보하는 방법이 이용된다[2]. 전자기 성형 해석은 전자기와 기계 문제들이 연성된 다물리 문제이므로, 유한요소 해석 시 더 많은 해석 변수가 결부되므로 해의 정도에 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 AA1050 알루미늄 배면판을 적용한 DP780 고강도 강판의 전자기 성형 공정 모사 시 유한요소 변수가 성형 해석 결과에 미치는 영향을 분석하였다. 전자기 성형 공정을 적용한 강성 비드 성형을 위하여 평판 나선형 코일과 개형(open cavity) 금형을 사용하였다. 상용 해석 프로그램인 LS-DYNA의 다물리(multiphysics) 모듈을 사용하여 전자기와 소성 변형을 동시에 고려한 전자기 성형 해석을 수행하였다. 평면 방향 유한요소 크기가 작아지고 두께 방향 유한요소 개수가 증가할수록 강성 비드 성형 높이가 증가하다가 수렴하는 것을 확인하였다. 향후 성형 해석 정밀도와 계산 소요 시간을 동시에 분석함으로써 정밀도를 담보하면서도 경제성을 확보할 수 있는 유한요소 변수 조건을 선정할 수 있을 것으로 기대된다.

**Key Words** : Electromagnetic forming(전자기 성형), Dual phase 780 steel sheet(이상 780 강판), Flat spiral coil(평판 나선형 코일), Multiphysics simulation(다물리 해석)

### 후 기

본 연구는 재료연구소 기본사업과 산업통상자원부 산업 융합 원천기술 개발사업(No. 10040078)의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] V. Psyk, D. Risch, B. L. Kinsey, A. E. Tekkaya, M. Kleiner, 2011, Electromagnetic forming – a review, J. Mater. Process. Technol. Vol. 211, pp.787~829.
- [2] H. Park, D. Kim, J. Lee, S-J. Kim, Y. Lee, Y. H. Moon, 2016, Effect of an aluminum driver sheet on the electromagnetic forming of DP780 steel sheet, J. Mater. Process. Technol. Vol. 235, pp. 158~170.

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소  
# 교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소,  
E-mail: daeyong@kims.re.kr

# 비대칭 압연에 의한 방향성 전기 강판의 GOSS 방위 형성과 자성 특성

남수권<sup>1</sup>, 이철우<sup>1</sup>, 김인수<sup>1</sup>, 이동녕<sup>2\*</sup>

## Abstract

변압기 재료로 쓰이는 방향성 전기강판은 연자성 특성을 나타내야 하므로 GOSS 방위를 갖고 있어야 한다.

방향성 전기강판의 제조방법은 고온 열처리를 장시간 함으로서 GOSS 방위를 얻는데 그 공정이 매우 복잡하고 어려워 생산방법이 잘 알려지지 않고 있다.

이 제조 방법은 공정이 복잡할 뿐만 아니라 에너지 소비가 매우 높은 공정으로 알려져 있어 실제로 개선해야 할 단점이 많은 공정이다.

그럼에도 불구하고 새로운 공정을 개발하기 어려워 1934년에 Goss에 의하여 개발한 공정을 발전시켜 현재까지 방향성 전기강판의 제조 방법으로 이용되고 있다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 방향성 전기강판의 제조법을 비대칭 압연과 열처리를 간단히 함으로서 얻을 수 있는 새로운 방법을 제시하였다.

본 연구에서는 전기강판 소재를 열간에서 비대칭 압연 함으로서 전단변형에 의하여 GOSS 집합조직을 생성하고 낮은 온도와 단시간에 열처리 함으로서 방향성 전기 강판의 새로운 제조방법을 연구하였다.

이렇게 하여 얻어진 방향성 전기강판은 XRD와 EBSD를 이용하여 GOSS 집합조직의 발달 정도를 비교하였으며 열처리 후에 VSM을 이용하여 자성 특성을 측정 함으로서 성능을 검증하였다.

**Key Words** : 비대칭 압연, 전기강판, 전단변형, GOSS 방위, 연자성

---

1. 금오공과대학교 신소재공학부

2. 서울대학교 재료공학부, # . 교신저자

# HSC 로터용 니켈기 초합금의 열간단조특성 연구

김영득<sup>#</sup> · 김정욱<sup>1</sup> · 강성태<sup>1</sup>

## A Study of Hot-Forging Properties on Ni-base Superalloy for HSC Rotor

Y. D. Kim<sup>#</sup>, J. W. Kim<sup>1</sup>, S. T. Kang<sup>1</sup>

### Abstract

발전소 주요핵심 부품인 로터소재는 발전증기온도의 증가와 더불어 고강도 고내식성의 고온 소재로 변화되었다. 발전증기온도 510°C급 SC로터에는 Fe-기 소재, 610°C급 USC 로터에는 고크롬강 소재가 사용되었다. 그러나, 더 높은 고효율 발전을 위해서 증기온도 700°C~750°C급 HSC 용 로터에 많은 연구개발이 진행되고 있다. 본 연구에서는 HSC 로터용의 대표적인 Ni기 초합금 4종(Nimonic 263, CCA617, Inconel 740H, Haynes 282)에 대해 120kg/개의 VIM+ESR 강괴를 제작하였다. 이어서 단조 및 열처리조건 도출연구를 통해 실 단조 작업을 수행하여 후보 소재별 단조성형 특성을 조사하여 성형특성면에서 가장 유리한 초합금 강종을 제안하였다..

**Key Words** : HSC Rotor, Ni-base superalloy; Hot Compression Test; Forging ability Map; Forging ratio;

### 1. 서론

발전소 운용의 가장 큰 목적 중 하나는 발전효율을 높이는 것이다. 이를 위해 발전증기 온도 증가가 필수적이며 주요 부품들이 사용조건 하에서 충분히 안전성을 가지고 견딜 수 있는 소재 품질 확보 또한 필수적이다. 발전소 터빈소재의 흐름은 약500°C급에서 사용되는 Fe-기의 SC(Super Critical)에서 약610°C급의 고크롬강계열 USC(Ultra Super Critical)까지 발전하였다. 그러나, 더 높은 효율증대를 위하여 700°C~750°C의 HSC(High Super Critical)급 개발이 유럽, 중국, 인도 및 일본 등에서 대규모 투자를 통해 진행되고 있다. HSC급 소재는 Ni-기의 초합금이 사용 되는데 세계적으로 여러 가지 초합금재의 개발 및 공정기술들이 추진되고 있다.

본 연구에서는 HSC 로터용의 대표적인 초합금 후보 소재(Nimonic263, CCA617, Inconel740H, Haynes282)에 대하여 용해/정련 강괴 제작 후 단조성형 공정 및 열처리 연구와 실 단조품 제작 및 평가를 통해 가장 유리한 소재를 제안 하였다.

### 2. 초합금 정련소재 제작

강괴 소재별 일반적인 성분 조성표를 기준으로 개당 120kg의 VIM+ESR 정련 강괴를 제작하였다. 제조설비는 ALD사(독), Capa. 250kg 에서 정련하였다. ESR 슬래그조성 설계를 위해 CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaF<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>(-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 슬래그와 합금원소 Ti, Al, B 분배평형 측정을 통해 소재별 최적 슬래그 조성조건을 설정하여 제작하였다.

아래 그림 1은 제작한 HSC 로터용 후보소재 4종에 대한 강괴품 사진으로  $\phi 250 \times L 290 \text{mm}$ , 각각의 중량은 약 120kg이다.

<sup>#</sup>: 교신저자: 두산공공업 기술연구원 소재기술개발팀,

E-mail: [youngdeak.kim@doosan.com](mailto:youngdeak.kim@doosan.com)

<sup>1</sup>: 두산공공업 기술연구원 소재기술개발팀



Fig. 1 Photograph of manufactured ingots by using the VIM+ESR process for superalloy

### 3. 공정조건 및 열처리 조건 도출



Fig. 2 Deduction of forging and heat treatment process factors for superalloy forging

그림 2는 고온압축 유동응력 시험, DMM(Dynamic Materials Model) 이론[1], 단조공정 해석과 초합금 관련 기본 열처리 조건[2~3]에서 온도 및 시간변수를 통해 최적의 공정조건들을 도출하였다. 그 결과 단조온도는 1,000~1,180°C에, 용체화 처리 온도 1,150°C/2hr/WQ, 시효열처리 800~1,000°C/2~8hr/AC 조건을 얻을 수 있었다.

### 4. 단조열처리 및 검토

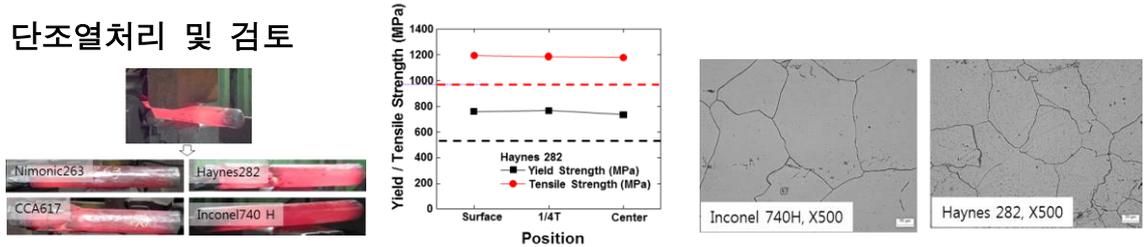


Fig. 3 Actual forging product and test results for HSC rotor superalloy

그림 3은 도출공정 조건에 따라 실 열간 단조작업을 수행하고 시험테스트를 통해 얻어진 결과이다. 성형성, 단조크랙, 온도범위, 가열차수 및 요구물성(TS=980MPa) 등을 종합하여 고려할 때 4가지 후보합금 중 Inconel 740H, Haynes 282가 가장 유리한 것으로 분석된다.

### 5. 결론

HSC 로터용 니켈기 초합금 후보재 4종 강괴를 제작하여 단조 및 열처리 공정연구를 통해 얻어진 결론은 첫째, 단조성은 Inconel 740H>CCA617>Haynes282>Nimonic 263순이다. 둘째, 물성 및 경제성 등을 종합 고려할 때 Inconel 740H, Haynes282이 가장 유리하다.

### 참고문헌

- [1] Y.V.R.K. Prasad, Metall. Mater. Trans. 27A (1996) 235-236
- [2] European Tech. Development report, 2014
- [3] Special Metal Technical report, VDM Metal technical report

# AFDEX와 HyperStudy를 이용한 단조공정의 금형형상변수 최적화에 관한 연구

김민철<sup>1</sup> · 김한구<sup>2</sup> · 김원택<sup>2</sup> · 정석환<sup>1#</sup>

## A Study on Optimization of Die Shape Parameters of a Forging Process Using AFDEX and HyperStudy

M. C. Kim, H. G. Kim, W. T. Kim, S. H. Chung

### Abstract

In this paper, an approach of optimizing forging process by using a commercial metal forming simulator, AFDEX and optimization software, HyperStudy is introduced. Optimization target was die shape parameters, radii of certain corners determining blocker shape of a gear driver forging process, to minimize forming load, where maximum forming load was reduced by 24% through optimization. The capability of optimizing the design parameters was shown even in case of highly nonlinear problem with critical disturbance caused by inevitable remeshings during forging simulation.

**Key Words** : Forging Process (단조 공정), Optimization (최적화), Forming Load (성형하중)

### 1. 서론

90년대 중반부터 설계민감도 기반 최적화 기법, 유전알고리즘, 실험계획법 등의 다양한 기법을 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되었으며 [1-3], 근래에 들어서는 공정해석 시뮬레이터와 최적화 전용 소프트웨어와의 연계를 통한 실적용 연구가 주로 진행되고 있다.

본 연구에서는 소성가공 해석 S/W인 AFDEX와 Altair의 최적화 S/W인 HyperStudy를 이용하여 2단의 기어 드라이브 제조 공정을 최적화 하였다.

### 2. 최적화 이론 소개

일반적으로 최적화 알고리즘은 크게 미분 즉, 설계민감도를 바탕으로 하는 방식과 설계민감도를 이용하지 않는 방식으로 구분할 수 있다. 설계민감도를 이용하는 방식의 경우 최적화를 위한

계산량이 작아 계산 시간 측면에서 장점이 있고 유전알고리즘이나 실험계획법 등과 같이 설계민감도를 이용하지 않는 방식의 경우 상용 해석 S/W와 연계하기 쉬운 장점이 있다.

### 3. 단조 금형 형상 최적화 적용

#### 3.1 공정 정의

본 연구에서 최적화 기법을 적용하기 위한 공정은 Fig. 1에서와 같은 2단의 축대칭 기어 드라이브를 성형하는 공정이다. 사용된 소재는 직경 75 mm, 높이 118.5 mm의 SCr420H이며, 마찰계수 0.2인 Coulomb 마찰 조건을 적용하였다.

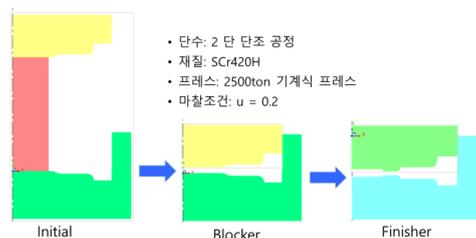


Fig. 1 Gear drive forging process

1. 주식회사 엠에프알씨

2. Altair Korea

# 교신저자: 주식회사 엠에프알씨

E-mail: shchung@afdex.com

### 3.2 최적화 문제 정의

본 연구에서는 2단 피니셔 공정의 성형 하중을 최소화시키는 것을 설계 목적함수로 선정하였으며 1단의 성형하중은 프레스의 최대 성형 하중 2500톤의 64%인 1600톤을 넘지 못하는 제한조건을 적용하였다. 설계변수로는 Fig. 2에서와 같이 1단 블럭커 공정의 상하부 금형의 point 1과 point 2로 표시된 부분의 반경을 선정하였다.

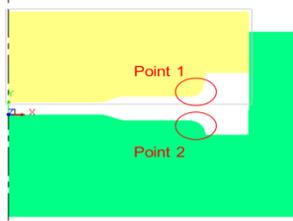


Fig. 2 Definition of design parameters in blocker stage

Fig. 3은 Point 1과 Point 2 반경의 초기 예측치 6mm와 4mm 적용하였을 때 시간에 따른 성형 하중의 변화를 보여 준다.

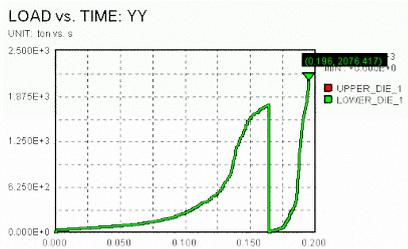


Fig. 3 The variation of forming load with time in case of initial guessed die shape

### 3.3 최적화 결과

본 연구에서 3.2절에서 정의된 상하부 금형의 형상을 최적화하기 위해서 Altair의 범용 최적화 소프트웨어인 HyperStudy를 이용하였다. Fig. 4는 최적화 반복 계산에 따른 2단 피니셔 공정의 최대 성형 하중 변화를 보여 준다.

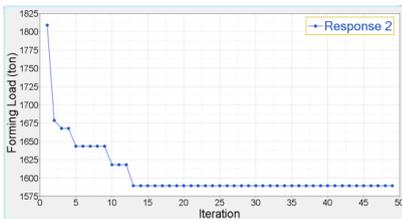


Fig. 4 Variation of forming load with iteration for optimization

최적화 과정을 통해서 얻어진 point 1과 point 2에서의 반경은 각각 11.0 mm와 7.5 mm이고, 이 때의 성형 하중 변화는 Fig. 5에서와 같다. 최적화 목표로 삼고 있는 2단 공정 기준으로 최대성형하중은 초기 예측 금형 적용시 2076톤에서 최적 금형 적용시 1571톤으로 약 24%의 저감효과가 있었다



Fig. 5 The variation of forming load with time in case of optimal die shape.

## 4. 결론

본 연구에서는 소성가공 공정 해석 S/W인 AFDEX와 범용 최적화 S/W인 HyperStudy를 연계하여 성형 하중을 최소화 하기 위한 기어 드라이브 단조 공정의 1단 금형 형상을 설계하였다. 해의 비선형성이 크고 리메싱 등 해의 외란 인자가 큰 단조 공정에서도 최적화를 통한 공정설계가 효과적이라는 것을 보였다.

## 참고 문헌

- [1] M. S. Joun and S. M. Hwang, 1993, Optimal process design in steady-state metal forming by finite element method- I Theoretical considerations- II Application to die profile design in extrusion, Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 33, pp. 51-70.
- [2] S. H. Chung and S. M. Hwang, 1998, Optimal process design in non-isothermal non-steady metal forming by the finite element method, Int. J. Num. Meth. Eng., Vol. 42, pp. 1343-1390.
- [3] J. S. Chung and S. M. Hwang, 1998, Application of a genetic algorithm to process optimal design in non-isothermal metal forming, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 80-81, pp. 136-143.

# 유한요소해석을 활용하여 굴삭기 아이들러 림의 프로파일 링 롤링 공정 및 금형 설계

성낙문<sup>1#</sup> · 천세환<sup>2</sup>

## Development of the profile ring rolling process and design of roll profile for an idler rim for an excavator using finite element analysis

N. M. Sung, S. H. Chun

### Abstract

최근 모든 산업 분야에서 환경 법규의 강화에 대응하기 위하여 이산화탄소 가스 배출을 줄여야 하는 필요성이 점점 더해지고 있다. 굴삭기의 경우에도 환경 규제를 벗어나기 위한 방법의 하나로 경량화가 대두되고 있으며, 이를 위해 기존에 주조품으로 제작되던 아이들러 림을 프로파일 형상 링 롤링 공정을 통한 링 압연품으로 개발하게 되었다. 아이들러 림을 일반적인 링 롤링 공정을 이용하여 사각 단면 단조품으로 제작한다면 단조품의 투입 중량이 주조품을 초과하여 그 제조 비용이 주조품보다 더 증가하기 때문에 주조품을 단조품으로 대체할 수 없으므로 단조품의 단면 형상을 최종 제품에 유사한 단면의 압연품으로의 개발이 필요하였다.

본 논문에서는 단면 형상이 복잡한 아이들러 림 제품을 유한요소해석을 활용한 프로파일 링 롤링 공정을 해석하고, 그 결과를 이용하여 단조품의 결함이 발생하지 않는 금형 형상 설계를 수행하였다. 이때 최종 제품 단면에서 발생 할 수 있는 미충진을 미리 시뮬레이션을 통하여 중간 제품의 형상을 바꾸어 가며 소재의 볼륨을 이동시키고 이를 통하여 최종 제품의 결함을 해소하기 위한 최적 공정 설계를 실시 하였다. 이러한 공정에 대한 설계와 금형 형상에 대한 검증을 위하여 유한요소해석을 활용하여 실제 생산에서의 시행착오 회수를 줄 일 수 있었고, 시험을 통한 단조품의 생산에서의 시험 결과와 시뮬레이션의 결과를 비교 검토하였을 때 비슷한 결과를 나타내었다. 또한 본 연구를 통해 개발한 29 톤 굴삭기 아이들러 림의 프로파일 링 압연품은 2012 년부터 문제 없이 생산을 하고 있으며, 이러한 유한요소해석을 활용한 설계 기술을 활용하여 다른 굴삭기 모델의 아이들러 림 단조품 개발에도 추가적으로 적용하여 유용하게 활용하고 있다.

**Key Words** : Excavator(굴삭기), Idler Rim(아이들러림), Profile ring rolling(형상링롤링), Finite element analysis(유한요소해석)

1. 칼텍(주)

2. ㈜에프엠케이 (Forge Master Korea)

# 교신저자 : 칼텍(주), E-mail: nmsung@kaltek.co.kr

# CrMnFeCoNi 고엔트로피합금의 소성변형

장민지<sup>1</sup> · 김형섭<sup>2</sup>

## Plasticity of CrMnFeCoNi High-Entropy Alloy

M. J. Jang, H. S. Kim

### Abstract

The compressive deformation behavior of a single phase CrMnFeCoNi high-entropy alloy (HEA) is investigated using experimental and theoretical approaches. Compressive results reveal that the CrMnFeCoNi HEA has a high strain-hardening exponent in spite of its large grain size due to increased dislocation density and severe lattice distortion. The compressive texture of the HEA resembles those of typical FCC metals. The phenomenological dislocation-based constitutive model well describes the compressive deformation behavior. The predicted dislocation density is in good quantitative agreement with the experimental value measured using whole-profile fitting of synchrotron XRD peaks. It can be confirmed from the experimental and theoretical findings that the deformation mechanism of the CrMnFeCoNi HEA is the conventional dislocation glide and mechanical twinning is negligible contrary to general belief.

**Keywords:** High Entropy Alloy, Plasticity, Constitutive Model, Deformation Mechanism, Dislocation, Twinning

### 1. 서론

The advent of high-entropy alloys (HEAs) has changed the paradigm of alloy design, breaking the traditional concept in which an alloy consists of one base metal with added alloying elements [1, 2]. By contrast, HEAs are composed of multiple principal elements and form a single phase due to their high configurational entropy [1]. The compositional uniqueness of HEAs leads to their exceptional properties: high strength and toughness due to severe lattice distortions, better high temperature strength than that of superalloys, such as Inconel or Haynes alloys, structural stability, high creep resistance promoted by sluggish diffusion, good weldability, large strain hardening capability, high strain rate sensitivity of the flow stress, etc. Furthermore, deformation twinning that occurs in HEAs results in higher strength and better ductility at cryogenic temperatures, and general corrosion resistance at room temperature is superior to that of 304S stainless steel. Due to these extraordinary properties, HEAs are considered as promising multi-functional materials and the next generation structural materials.

In this study, we propose a dislocation glide and deformation twinning based constitutive model for this alloy and similar HEAs. A quantitative analysis of the effect of dislocation glide and twinning on plastic strain rate is considered in terms of the theoretical approach developed. In addition, we predict the evolution of the dislocation density and the twin volume fraction and validate the model by comparing these predictions with the experimental data.

---

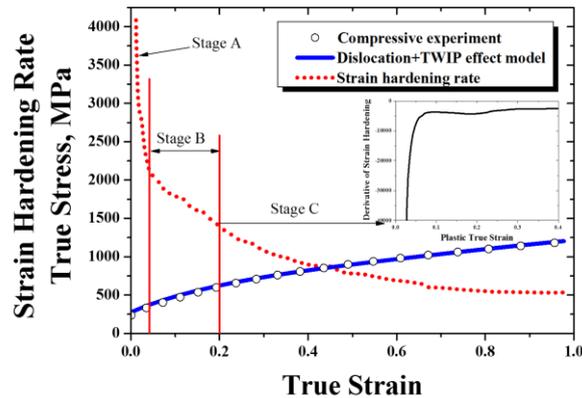
1. 포항공과대학교 신소재공학과

2. 포항공과대학교 신소재공학과

# 교신저자: 김형섭, hskim@postech.ac.kr

## 2. Materials and methods

For experimental study, a solidified slab of HEA CrMnFeCoNi with a thickness of 11 mm was cold rolled to 5 mm, and annealed at 1100 °C for 6 hours with subsequent water quenching. Compression tests were performed at room temperature with a constant strain rate of  $10^{-3}$  s<sup>-1</sup> in an electro-mechanical testing machine (Instron 1361, USA) using cylindrical specimens with diameter of 4.5 mm and height of 4.5 mm. In order to minimize the friction between the surfaces of specimens and anvils, Teflon tape and MoS<sub>2</sub> spray were used as a lubricant. The compressive stress-strain curves were obtained from the data acquired using the digital image correlation technique with an optical 3D deformation analysis system (ARAMIS 5M, GOM Co., Germany).



**Fig. 1 True stress-strain and strain hardening rate curves from uniaxial compressive tests and plastic deformation behavior predicted by dislocation and TWIP effect mode. The second derivative of the stress with respect to strain is shown inset.**

## 4. Conclusion

In summary, we adopted a constitutive model based on dislocation density and twin volume fraction evolution, to analyze the deformation behavior of the high-entropy alloy CrMnFeCoNi theoretically.

## Acknowledgement

This work was supported by the Future Material Discovery Program of the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT and Future Planning (MSIP) of Korea (2016M3D1A1023384).

## References

- [1] J.-W. Yeh, S.-K. Chen, S.-J. Lin, J.-Y. Gan, T.-S. Chin, T.-T. Shun, C.-H. Tsau, S.-Y. Chang, *Adv. Eng. Mater.* 6 (2004) 299-303.
- [2] J.-W. Yeh, *JOM* 67 (2015) 2254-2261.

# 3D 프린팅 Selective laser melting 공정으로 제조된 Ti-6Al-4V 합금의 미세조직, 고온 압축, 고온 크립 특성

김영균<sup>1</sup>, 유지훈<sup>2</sup>, 박순홍<sup>3</sup>, 이기안<sup>1#</sup>

## Microstructure, High Temperature Compression, Creep Properties of Ti-6Al-4V alloy Manufactured by 3D-Printing Selective Laser Melting Process

Y. K. Kim<sup>1</sup>, J. H. Yu<sup>2</sup>, S. H. Park<sup>3</sup>, K. A. Lee<sup>1#</sup>

### Abstract

금속 3D 프린팅 분야는 금속 분말을 도포 후 선택적인 영역을 용융시켜 원하는 3차원 형태를 제조하는 powder bed fusion(PBF) 방식과 분말, 레이저를 동시에 분사, 조사하여 제조하는 direct energy deposition(DED) 방식으로 나뉘어지고 있다. 본 연구에서는 PBF 방식 중 하나인 selective laser melting 공정을 이용하여 Ti-6Al-4V 합금을 제조하였다. 이와 함께 selective laser melted Ti-6Al-4V의 미세조직과 상온-고온 기계적 특성, 변형 거동에 대하여 조사하였다. 또한 stress relieving 열처리의 영향에 대해서도 알아보았다. 초기 미세조직 관찰 결과 열처리 전, 후 모두 소재 전체에 걸쳐 building direction을 따라 prior beta grain의 연선이 확인되었다. XRD 및 SEM, EBSD 결과를 토대로 초기 미세조직을 분석해 본 결과 열처리 전은 fully martensite 조직이, 열처리 후에는 martensite 조직과 함께  $\alpha$ ,  $\beta$ 상이 함께 검출되는 것으로 나타났다. 기계적 특성에 미치는 열처리의 영향을 알아보기 위하여 상온, 500°C, 700°C, 900°C에서 압축 시험을 수행하였다. 상온 압축 항복 강도는 열처리 전, 후 소재에서 각각 1365MPa, 1138MPa로 측정되었으며 이는 상용 단련재와 비교하여 우수하거나 유사한 수준으로 확인되었다. 이러한 뛰어난 강도와 열처리 전, 후의 기계적 특성 차이는 500°C까지 유지되는 것으로 나타났고 700°C 이후에서는 두 소재가 유사한 기계적 거동을 보였다. 이러한 기계적 거동의 변화는 microstructure evolution에 의한 것으로 확인되었으며 이는 압축 표면 및 변형 조직으로부터 유추해 볼 수 있었다. 또한, 3D printed Ti-6Al-4V는 대부분 martensite 조직을 갖는 것으로 보고되고 있으며 이는 크립 특성을 저하시키는 요인으로 알려져 있다. 따라서 가공과 같은 형상 변화 없이 열처리만을 통해 크립 특성에 적합한 조직으로 제어하고 이에 대한 500°C 크립을 수행하였다. 그 결과 모든 응력 조건에서 열처리만을 통해 얻어진 widmansatatten 조직을 갖는 소재가 상대적으로 우수한 크립 특성을 나타냈다. 상기 결과들을 바탕으로 3D printed Ti-6Al-4V의 미세조직 및 변형, 파괴 거동에 대해 토의하고자 하였다.

[본 연구는 KIMS 일반 사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다]

**Keywords** : Selective laser melting, Ti-6Al-4V, Microstructure, High temperature compression, High temperature creep

1.국립 안동대학교 신소재공학부  
2.한국기계연구원 부설 재료연구소  
3. 포항산업과학연구원

\* Corresponding Author : Kee-Ahn Lee, Andong Natl. Univ., E-mail: keeahn@andong.ac.kr

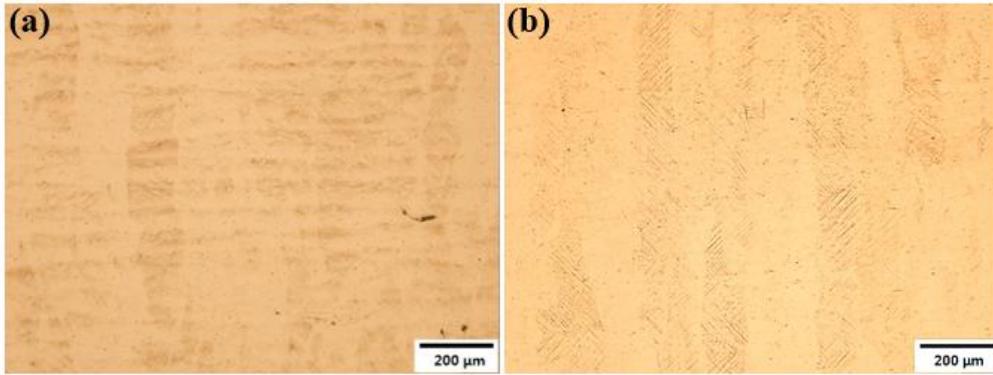


Fig. 1 Initial microstructures of selective laser melted Ti-6Al-4V; (a) as-fabricated, (b) heat-treated

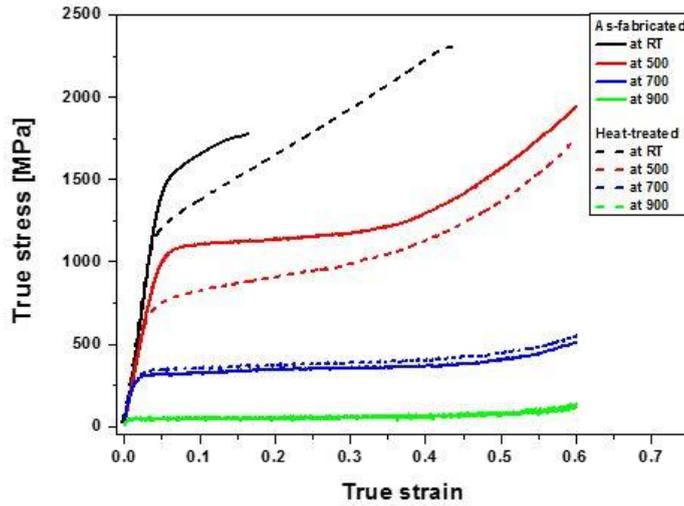


Fig. 2 Stress-strain curves for selective laser melted Ti-6Al-4V with different temperature.

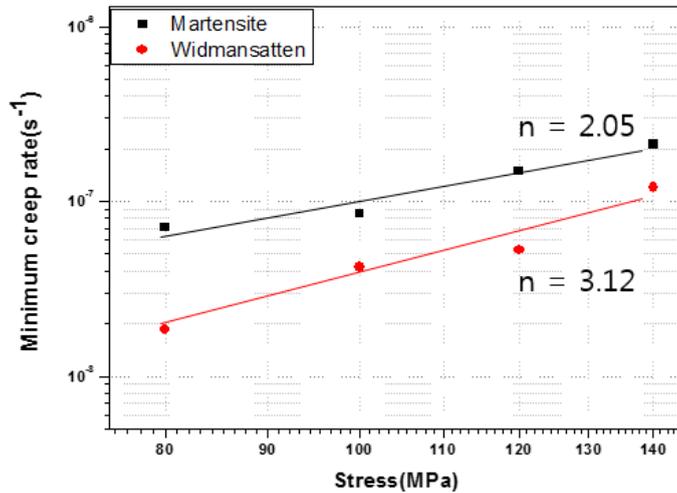


Fig. 3 Stress dependence of the minimum creep rate of Ti-6Al-4V with different microstructure.

## 결정립과 기계적 특성의 상관관계 분석을 위한 미세기둥 압축 시험

문인용<sup>1</sup> · 김보현<sup>2</sup> · 이호원<sup>1</sup> · 오영석<sup>1</sup> · 강성훈<sup>#</sup>

### **μEDMed Micro-Pillar Compression Test for Analyzing Influence of Grain on Mechanical Properties**

I. Y. Moon, B. H. Kim, H. W. Lee, Y. S. Oh and S. H. Kang

#### **Abstract**

Micro-size workpiece has relatively bigger ratio of grain size/workpiece size than macro-size workpiece. As a result, dimensional accuracy and product appearances after forging are easily affected by each grain characteristic. Analysis on individuality of mechanical properties of each grain according to grain size and grain orientation should be studied to predict forging characteristics. In this study, pure copper rods were heat-treated to produce grain size of 100  $\mu\text{m}$ . Using this workpiece, micro-pillars with  $\emptyset$  100  $\mu\text{m}$ , h 150  $\mu\text{m}$  were fabricated by  $\mu\text{EDM}$  and compression tests were continuously performed. Because each micro-pillar has different grain boundary density, every micro-pillar compression test had various load-strain curves. As a result, correlation between grain boundary density and load-strain curve was investigated by analyzing microstructure of compressed micro-pillars. Furthermore, appearance of compressed micro-pillar according to distribution of grains was investigated. It was experimentally found that difference of mechanical properties between grain and grain boundary made irregular workpiece surface geometry.

**Key Words:** Size Effect,  $\mu\text{EDM}$ , Micro-Pillar, Grain Boundary

---

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

2. 숭실대학교 기계공학과

# 교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소, E-mail: kangsh@kims.re.kr

# 타이어코드 고강도화에 미치는 C 및 Si의 영향

양요셉<sup>1#</sup> · 김현진<sup>1</sup> · 배철민<sup>1</sup> · 배종구<sup>2</sup>

## Effects of C and Si on the Strengthening of Steel wires for Tire Cords

Y. S. Yang, H. J. Kim, J. G. Bas, C. M. Bae

### Abstract

TBR/PCR 타이어 보강재로 사용하는 타이어코드 고강도화 방법에 대해 연구하였다. 일반적으로, 타이어코드 제품 강도가 증가하면 가공시 인가할수 있는 신선량 또는 신선한계는 점차적으로 감소하는 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 신선가공량을 증가시키는 대신 C 및 Si 합금 원소 함량 증가를 통한 열처리 시 강도 증가로 타이어코드 고강도화 하고자 하였다. C 및 Si 함량을 변화시켜 미세조직 변화 및 기계적 특성을 확인하였으며, 이를 통해 최종 합금계를 도출하였다. 해당 성분계로 300 톤 시험출강 후 5.5mm $\phi$  선재를 생산하였으며, 신선사에서 건식신선, LP 열처리/황동도금 및 최종 습식 신선하여 가공을 마무리 하였다. 최종 신선처리된 0.2mm $\phi$  강선에서 인장강도 4,360 MPa, 딜라미네이션이 발생하지 않고 비틀림 51회 특성을 갖는 것을 확인하였다.

**Key Words:** Strengthening, Delamination, alloy element

### 1. 서론

신선가공된 고 탄소 강선은 높은 강도와 우수한 비틀림 특성으로 인하여 트럭/버스 및 승용차 타이어 등의 보강재(Tire cord)로 사용된다[1]. 통상적으로 0.6 % 이상 탄소강 5.5 mm $\phi$  선재가 초기 소재로 사용되며, 신선사에서 건식신선, 열처리, 도금, 습식신선 및 연선 처리하여 마무리한다. 타이어코드를 구성하는 미세강선에 우선적으로 요구되는 특성은 강도이며, 이는 고강도화를 통해 타이어 중량감소(9kg/차)가 가능하기 때문이다. 미세강선 0.2mm $\phi$  에서 4,000 MPa 급 고강도 제품이 이미 상용중이며, 차세대 최상위급 강종 개발을 위해 전세계적으로 힘쓰고 있다.

C, Cr 등 합금량 증가와 신선가공량 증가를 통해 강선 고강도화가 이루어지고 있지만, 고강도화될수록 신선한계(딜라미네이션이 발생하지 않는 가공량) 증가폭은 점차 감소하기 때문에 초강도급 강선 개발은 쉽지않다. 이러한 현상에 대한 명확한 이유는 설명되고 있지 않지만, 가공석감일수록 이러한 현상은 뚜렷하게 나타난다.

본 논문에서는 신선 가공량을 기존재와 동등 수준으로 유지하고, 합금 원소 제어를 통한 열처리 선 강도 증가로 딜라미네이션 발생이 억제된 4,400 MPa 급 강선개발을 목적으로 하였다.

### 2. 실험방법

합금원소 효과를 확인하기 위하여 중량 %로, C: 0.90~1.15, Si: 0.2~1.25, Cr: 0~0.6 (기타

1. 포스코 강재1연구그룹

2. 고려제강 기술연구소 제1연구팀

# 교신저자: 포스코 강재1연구그룹, E-mail:

polaris1@posco.com

성분 동등 유지)로 하여 50kg 진공용해하여 시험편을 준비하였다. 과공석강이기 때문에 중심 편석을 억제하기 위해 soaking 열처리 (1,250 °C x 10 hr) 하였다. 딜라토미터 시험기를 이용하여 납조열처리를 모사하였으며, 열처리 온도 및 시간에 따른 기계적 특성 및 미세조직 변화를 확인하였다. 최종 성분계를 적용하여 300 톤 출강하였으며, 통상적인 조건으로 열간압연 후 스텔모아 냉각대에서 25 C/s 로 냉각하여 5.5 mmø 선재를 제조하였다. 신선사에서 건식신선→납조열처리(고온가열로: 1,000 °C, 향온열처리: 600 °C)→건식신선→납조열처리/도금→습식신선 하였다. 가공 후 시간에 따른 시효민감도를 확인하기 위하여 60 일까지 유지시키면서 강도와 비틀림 특성을 평가하였으며, 일부 시험편은 신선가공량에 따른 영향을 확인하기 위하여 습식신선시 가공량에 차이를 두어 제조하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 저 Si강 “A-1, A-2”와 고 Si강 “B”의 최종 신선 후 60 일까지 상온유지했을 때 나타나는 시효민감도(강도와 비틀림 변화) 특성을 보여준다. 일반적으로 최종 신선된 강선을 상온에서 유지시키면 일정 시간까지 강도가 크게 증가하며, 비틀림 특성은 감소 또는 딜라미네이션이 발생한다. 이러한 현상은 국내외 경쟁사들이 강종개발시 공통적으로 갖는 문제이기 때문에, 개발될 강종은 시간에 따른 시효 민감도가 낮아야한다.

저 Si강 “A-1, A-2”는 신선가공량이 시효민감도에 미치는 영향을 확인하기 위한 실험으로, 가공량이 증가하면 as-drawn의 강도는 4,300 MPa로 유사하지만 시효민감도는 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 그림1에서 나타낸것과 같이 시효시간에 상관없이 모든 조건에서 딜라미네이션이 발생(open mark)하는데 이는 실제품으로 사용할 수 없음을 의미하기도 한다.

이에반해 고 Si강 “B”는 as-drawn에서 4,300 MPa의 강도를 갖지만, 시간이 60일 경과 하더라도 강도가 4,360 MPa로 강도증가가 크지 않으며, 모든 조건에서 딜라미네이션이 발생하지 않는다. 이로부터 고 Si강 “B”가 저 Si강 “A-1, A-2”에 비해 시간에 따른 시효민감도가 낮고, 이러한 이유는 “B”강의 열처리 시 강도가 “A”에 비해 크기 때문에, 강도 증가한 만큼 인가할 가공량이 낮아졌기 때문으로 판단하였다.

이외반해 고 Si강 “B”는 as-drawn에서 4,300 MPa의 강도를 갖지만, 시간이 60일 경과 하더라도 강도가 4,360 MPa로 강도증가가 크지 않으며, 모든 조건에서 딜라미네이션이 발생하지 않는다. 이로부터 고 Si강 “B”가 저 Si강 “A-1, A-2”에 비해 시간에 따른 시효민감도가 낮고, 이러한 이유는 “B”강의 열처리 시 강도가 “A”에 비해 크기 때문에, 강도 증가한 만큼 인가할 가공량이 낮아졌기 때문으로 판단하였다.

### 4. 결론

본연구에서는 타이어코드 고강도화에 미치는 C 및 Si 의 영향 확인하고자 하였으며 이의 결론을 다음과 같이 정리하였다.

- (1) 최대 물성치를 보이는 C 와 Si 함량은 1.02 %, 0.5 % 이다. 합금원소별 한계가 나타나는 이유로 C 는 초과시 변태발열이 제어되지 않고, Si 는 분절된 펄라이트가 형성되기 때문이다.
- (2) 고 Si 강 “B” 이 저 Si 강 “A”에 비해 시효민감도가 낮으며, 이는 “A”에 비해 LP 열처리 강도가 높아 인가되는 가공량이 낮기 때문이다.

### 참고문헌

M. Dollar, I. M. Bernstein and A. W. Thompson, 1998, Influence of Deformation Substructure on Flow and Fracture of Fully Pearlritic Steel, Acta Metal. 36 pp.311~320

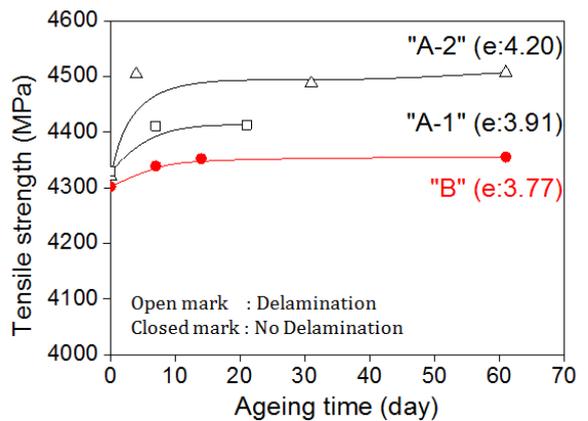


그림 1. 습식신선된 강선의 시간에 따른 시효민감도 변화

# Slit Pattern 적용을 통한 Carbon/Epoxy Prepreg Laminate의 성형성 향상에 관한 연구

이성균<sup>1,2</sup> · 원시태<sup>1</sup> · 윤길상<sup>2</sup> · 고영배<sup>2</sup> · 허영무<sup>2</sup> · 김종덕<sup>2</sup> · 최정영<sup>2</sup> · 김동연<sup>#</sup>

## A Study on formability of Carbon/Epoxy Prepreg Laminate applied Slit patterns

S. G. Lee, S. T. Won, G. S. Yoon, Y. B. Ko, Y. M. Heo, J. D. Kim, J. Y. Choi, D. E. Kim

### Abstract

탄소배출량 규제가 강화됨에 따라 친환경 소재개발 및 차량 경량화의 중요성이 강조되는 가운데, 무게가 가볍고 기계적 물성이 우수한 탄소섬유 복합소재는 강재를 대체할 차량 경량화의 핵심 소재로 주목 받고 있다. 그러나 Fiber Array 방향으로의 연신 발생이 없어 주름, 미성형 등의 성형불량이 발생하기 쉽고, 경화로 인한 긴 성형 Cycle 을 갖는다는 단점으로 인해 성형상의 어려움이 따르게 된다.

본 논문에서는 상기 문제점 해결을 위해 준등방 Array 가 적용된 Prepreg Laminate 에 일정한 패턴의 Slit 을 가해 이를 적층, Array 방향의 연신모드를 발생시켜 성형불량을 감소시키고 성형성을 증가시키는 방법을 고안하여 적용하였다. 소재 회사로부터 제공받은 데이터 및 시차주사열량측정법(DSC)을 통해 150°C/10min 의 공정온도 및 경화시간을 결정하였다. 경화 압력은 미경화 Prepreg 의 압밀실험을 통해 Fiber Volume Fraction 측정, Fiber Spreading 이 발생하지 않는 150Kpa 의 압력을 선정하여 Slit 의 영향력만을 관찰할 수 있도록 실험을 구성하였다. 결정된 성형조건으로 각각 크기가 다른 Picture Frame 형태로 제작된 틀 안에 동일한 크기(80x80mm)로 재단, 적층 된 Prepreg 를 넣고 가열된 금형 위에 올려 압축성형을 수행하여 제작된 성형물의 변형 수준을 관찰하고 시편을 채취하여 굽힘 실험을 수행하여 Slit Pattern 이 Formability 및 기계적 물성에 미치는 영향력을 관찰하였다.

**Key Words:** CFRP, Prepreg, Slit patterns, Compression molding, Formability

### 후기

본 논문은 2016년도 한국생산기술연구원의 지원을 받아 수행된 연구임.

---

1. 서울과학기술대학교 대학원 제품설계금형공학과  
2. 한국생산기술연구원 금형기술그룹  
# 한국생산기술연구원 금형기술그룹: Kdu0517@Kitech.re.kr

# 다품종 Wire to Board 커넥터 생산을 위한 확장형 금형

정태성<sup>#</sup> · 한무근<sup>1</sup>

## Expandable Injection Mold For Multiple-types Wire to Board Connector

T. S. Jung, M. K. Han

### Abstract

본 연구에서는 제품 개발기간 단축 및 투자비 감소를 위하여 동일 금형에서 다양한 핀 수의 커넥터 제품군을 생산할 수 있는 확장형 금형을 개발하였다. 개발된 유연생산 대응 확장형 금형은 하나의 금형 플랫폼에서 피치 단위로 제작된 금형 코어를 추가 또는 제거하면서 원하는 핀 수에 맞게 조립하여 다수의 캐비티를 구성할 수 있는 핫런너 금형이다. 이를 위하여 확장형 커넥터 제품 설계, 누적공차를 고려한 코어 분할과 정밀가공, 다수 캐비티 균일충전을 위한 사출공정 감시와 제어 기술을 개발하였다.

**Key Words** : Wire to Board Connector, Expandable, Multiple-types, Injection Mold

### 1. 서론

최근 커넥터는 소형화, 협피치, 저배형, 다극화나 고속전송 대응, 차세대 인터페이스 대응 가능한 모델 개발이 활발히 진행되고 있으며, 다양한 품종이 있는 것이 특징이다. 특히, Wire to Board 커넥터는 적용되는 제품 및 용도가 매우 다양하기 때문에 일반적으로 최소 2핀에서 15~20핀, 많게는 40pin까지 다양한 핀 수의 제품을 하나의 제품 군에서 생산하고 있으며, 각 핀 수 별로 개별 금형을 제작하는 경우 제작해야 하는 금형 투자비용이 급격히 증가하는 문제가 있다. 본 연구에서는 제품 개발기간 단축 및 투자비 감소를 위하여 동일 금형에서 다양한 핀 수의 제품을 생산할 수 있도록 확장형 금형을 개발하였다.

### 2. 유연생산 대응 커넥터 금형

다음 Fig. 1 은 본 연구에서 개발한 확장형 금형의 개략적인 구조와 개념을 보여준다. 개발된 확장형 금형은 2 핀 ~ 8 핀의 1.5mm 피치(pitch) WtB 커넥터를 생산하기 위한 것으로 총 4 개의 캐비티를 가지고 있고, 세미 핫런너 형식을 적용한 2 단 사출 금형으로 런너를 자동절단 할 수 있는 터널게이트를 사용하여 후 공정을 최소화 하였다.

Fig. 2 는 핀 수에 따라 조립되는 확장형 코어의 구조와 제작된 코어의 사진을 보여주는데, 생산되는 커넥터의 핀 수에 따라 각 캐비티 별로 1~2 개의 제품을 제작할 수 있다. 본 연구에서 개발된 확장형 금형은 피치단위로 제작된 공용 코어와 공간 블록을 적층하여 사용하기 때문에 누적 공차를 고려하여 정밀한 연마 가공을 통해 제작하였다.

1. (주)씨엔플러스

<sup>#</sup> 교신저자: 인하공업전문대학, E-mail: tsjung@inhac.ac.kr

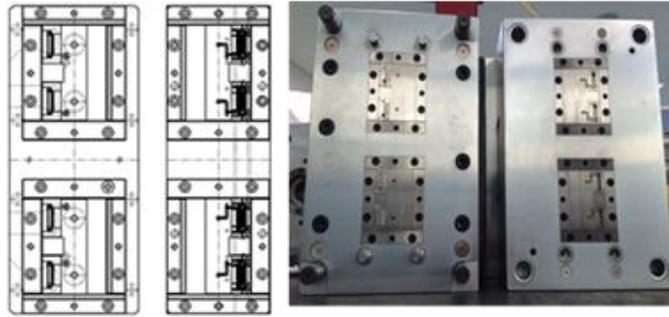


Fig. 1 Expandable Injection Mold

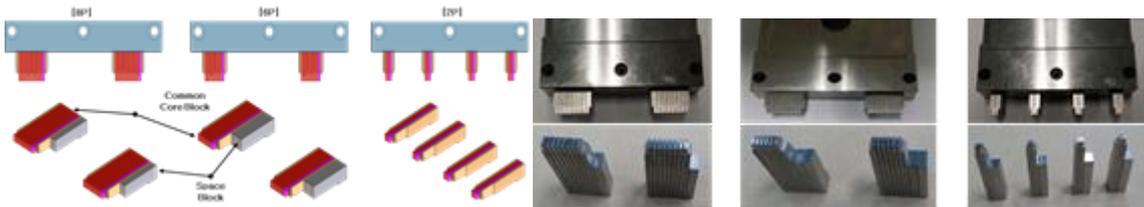


Fig. 2 Core for 2Pin, 6Pin, 8Pin Wire to Board Connector

### 3. 사출 공정제어 시스템

개발된 확장형 금형은 다양한 핀수와 캐비티를 가지게 되므로 성형 중 불균일 충전으로 인한 잔류응력, 치수 및 중량 편차 등 불량 발생 확률이 높다. 일반적으로 커넥터용 부품의 경우 충전이 0.5초이내에 이루어지므로 빠른 모니터링 및 제어가 필요하게 된다. 본 연구에서는 각 캐비티 별로 온도와 압력센서를 설치하고 입력된 신호를 이용하여 핫런너 노즐 온도를 제어함으로써 일정한 충전 흐름이 가능하도록 하였다. Fig.3은 본 시스템을 통하여 제작된 8핀 커넥터 부품을 보여준다.



Fig. 3 8-Pin Connector Parts

### 4. 결론

본 연구에서 개발된 유연생산 대응 확장형 금형은 하나의 금형 플랫폼에서 피치 단위로 제작된 금형 코어를 추가 또는 제거하면서 원하는 핀 수에 맞게 조립하여 사용하므로 확장성이 뛰어나고 제작 원가가 획기적으로 절감된다.

### 참고문헌

1. H. G. Kim, I. H. Son, J. Y. Song, T. H. Ha, 2014, Embedded Controller Technology of Injection Molding Machine for Control and Monitoring, J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 31, No. 7, pp. 577-583.

# 고온 전사를 통한 유리 마이크로 렌즈 어레이 성형에 관한 연구

모하마드 자이룰니잠<sup>1</sup>, 정명기<sup>1</sup>, 한재호<sup>1</sup>, 김태경<sup>1</sup>, 강신일<sup>1, #</sup>

## Thermal Imprinting of Glass Microlens Array

Zairulnizam M.Z, Myungki Jung, Jaeho Han, Taekyung Kim, Shinill Kang

### Abstract

Typical thermal imprinting or so called hot embossing process on glass substrate has long cycle time due to the heating, pressing and cooling step perform in series inside one moulding chamber. Herein, we devised the process where prior to the imprinting step, the glass was preheated externally and a shallow depth of its surface was further softened by means of heat energy absorption through CO<sub>2</sub> laser irradiation. This method outperforms the conventional one in terms of overall cycle time reduction, minimized mould working temperature and improves the filling of glass material into the microstructured mold cavities.

**Key Words:** Optical glass, thermal imprinting, microstructure patterning, laser irradiation

## 1. Introduction

Design and fabrication of glass devices with many new advanced functions has received continuous worldwide attentions such as anti-reflective surfaces, light wave guide, and microfluidic channel. The existing techniques to produce glass products including photolithography, direct laser texturing, microcutting and etching process are generally costly and slow in throughput. So far, replication method such as glass molding and thermal imprinting had been proven to be efficient in manufacturing of net shaped glass product with high quality optical finishing. However, one major drawback in the conventional glass thermal imprinting is its long cycle time which comprises of heating, pressing, and cooling in series. We improve the process where prior to the imprinting step, the glass was preheated externally and a shallow depth of its surface was further softened, reducing the glass viscosity by means of heat energy absorption through CO<sub>2</sub> laser irradiation. This technique not only facilitate the challenging micro patterning process on the glass substrate but in overall can shortened the cycle time, reduced mold working temperature and imprinting pressure.

## 2. Experimental setup

Primarily, this custom made facility consists of heating and imprinting station. We used a CO<sub>2</sub> laser (10.6  $\mu\text{m}$  wavelength), which can deliver a maximum power of 30W. The process begin with the optical phosphate glass, K-PG375 having dimensions of 10mm<sup>2</sup> square area and 1.1mm thickness located on the lower base mold was preheated slightly above its glass transition temperature (350°C) at the heating station. Then, the initial 2.5 mm beam diameter

---

1. Yonsei University, School of Mechanical Engineering  
# Shinill Kang: snlkang@yonsei.ac.kr

from the laser source irradiation was enlarged by a beam expander to soften shallow depth of the glass surface. Both upper and lower base mold were made of hot work tool steels, grounded to mirror surface finish. The microstructured concave micro lenses array nickel mold was attached at the upper base mold by mechanical clamping. After laser irradiation, the optical glass was then transferred quickly and secured to the imprinting station. Then, immediately a pressurization system was used to transfer the pattern from the mold onto the optical glass substrate. In order to control and monitor the laser driven heating process, an external computer controlled program and infrared pyrometer was used to set the desired laser beam intensity profile and monitor the glass surface temperature respectively.

### 3. Result and discussion

After several preliminary trials, we established the following laser heating and imprinting conditions. In all the laser irradiation conditions, the glass maximum surface temperature increase as the laser power increase with an average heating time of 10s. No crack was observed since the glass was initially preheated well above  $T_g$ , but bulk deformation of glass occurred when the laser power was more than  $22\text{W}/\text{cm}^2$ . However, the maximum temperature achieved which is approximately  $530^\circ\text{C}$  is sufficient enough to lower the glass viscosity at the surface which can improve the filling of glass material into the microstructured cavities and at the same time reducing the imprinting pressure and holding time. During all imprinting test, constant temperature of  $350^\circ\text{C}$  was set to both upper and lower mould, constant imprinting speed of  $20\text{mm}/\text{s}$  and constant pressure of  $2.5\text{Mpa}$ . Almost complete replication height (95%) can be achieved when the pressing time was 90s.

### 4. Conclusion

We proposed a thermal imprinting method which utilized laser driven surface heating prior to the imprinting. Heat energy absorption through  $\text{CO}_2$  laser irradiation lower the glass viscosity at the glass surface and improve the filling of glass material into the microstructures cavities. Instead of heating, pressing and cooling perform in series inside one moulding chamber used in the conventional method, preheating and cooling step were performed externally. We successfully replicated  $80\mu\text{m}$  diameter micro lens array pattern on the optical glass substrate using constant molds temperature of  $350^\circ\text{C}$ , pressure of  $2.5\text{Mpa}$  and imprinting time of 90s. With proper automation setup, this technique can be applied in the mass production with high efficiency.

### References

- 1) Kim, Youngmin, Yong Choi, and Shinill Kang. "Replication of high density optical disc using injection mold with MEMS heater." *Microsystem technologies* 11.7 (2005): 464–469.
- 2) Nagato, Keisuke, et al. "Laser-assisted replication of large-area nanostructures." *Journal of Materials Processing Technology* 214.11 (2014): 2444–2449.
- 3) Laguarda, F., N. Lupon, and J. Armengol. "Optical glass polishing by controlled laser surface-heat treatment." *Applied optics* 33.27 (1994): 6508–6513.

# ㄷ형강의 전단 절단면 형상 개선에 관한 연구

송승호<sup>#</sup> · 장승현<sup>1</sup> · 박병규<sup>1</sup>

## Improvement of the Cutting Surface in Shearing of a Channel

S. H. Song, S. H. Jang, B. G. Park

### Abstract

Shearing is widely adopted in production sites due to its fast cutting speed. But a proper setting of knife's shape and clearance between upper and lower knife are essential for the shearing. In this paper, the knife's shape and the clearance were examined by finite element analyses to improve the quality of cutting surface of the channel. In order to simulate the shearing process, ductile and shear damage model were applied and results of FE analyses were compared with those of experiments. New knife's shape and clearance were proposed and tested by a finite element analysis. As a result of the analysis, the quality of cutting surface was improved and no burr was found on the surface.

**Key Words** : Channel, Shearing, Knife Shape, Clearance, Finite Element Analysis, Ductile Fracture Model, Stress Triaxiality, Shear Fracture Model, Shear Stress Ratio

### 1. 서론

일반적으로 전단 절단 방식은 빠른 절단 속도로 인하여 대부분의 ㄷ형강 생산공정에 적용되고 있지만 Knife 의 형상과 Clearance 조건을 적절히 설정해야 하는 단점이 있다. 본 연구에서는 ㄷ형강의 전단 절단면 형상을 개선하기 위하여 Knife 형상과 Clearance 조건을 변경하여 유한요소해석을 실시하였다. 전단 공정을 모사하기 위하여 Ductile and Shear fracture model 을 적용하였으며 해석결과를 시험결과와 비교하여 해석의 정확도를 확보하고자 하였다.

### 2. 전단 해석 및 검증

ㄷ형강의 전단 해석을 위하여 Kolmogorov가 제안한 파괴기준을 적용하였다[1]. 연성 파괴 기준은 식 (1)에 Stress triaxiality를, 전단 파괴 기준은 Shear stress ratio를 각각 적용한다[2].

$$\int_0^{\varepsilon_{eq}^{**}} \frac{d\varepsilon_{eq}}{\varepsilon_{eq}^{**}(\eta)} = 1 \quad (1)$$

전단 해석을 위하여 Abaqus 6.12를 사용하였으며 ㄷ형강은 폭방향으로 1/2만 모델링 하였다. 기존 Knife 형상과 Clearance 조건을 적용한 해석 결과는 Fig. 1과 같다. 해석과 실제 절단 형상을 비교한 결과, 제안된 해석 Model이 실제 전단 공정을 잘 모사하고 있음을 알 수 있다.

1. 동국제강 중앙기술연구소

# Corresponding Author: Dongkuk Steel R&D Center, E-mail: seungho.song@dongkuk.com

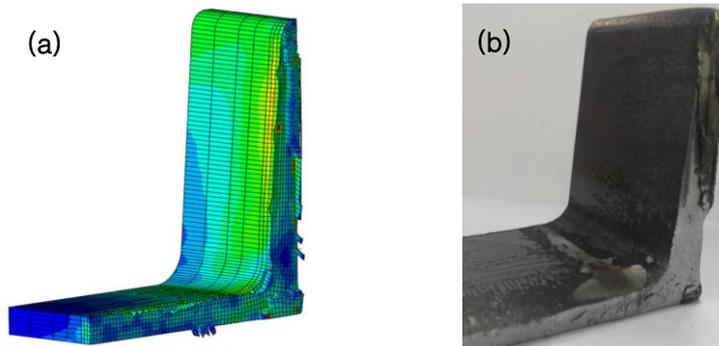


Fig. 1 Comparison of cutting surfaces – (a) FEA, (b) Test

### 3. 개선 조건 해석

ㄷ형강의 절단면 개선을 위하여 전단 공정의 주요 인자인 상부 Knife 형상과 Clearance 조건을 변경하였다. 상부 Knife는 Fig. 2 (a)와 같이 기존의 2중 Wedge 타입에서 Fig. 2 (b)와 같은 형상으로 변경하였다. 상부 Knife와 하부 Die 사이의 거리인 Clearance는 ㄷ형강 두께의 10%인 0.8mm를 적용하였다. 변경된 조건을 적용한 전단 해석 결과, 절단면이 Fig. 2 (c)와 같이 기존에 비하여 개선되었으며 표면에 Burr도 관찰되지 않았다.

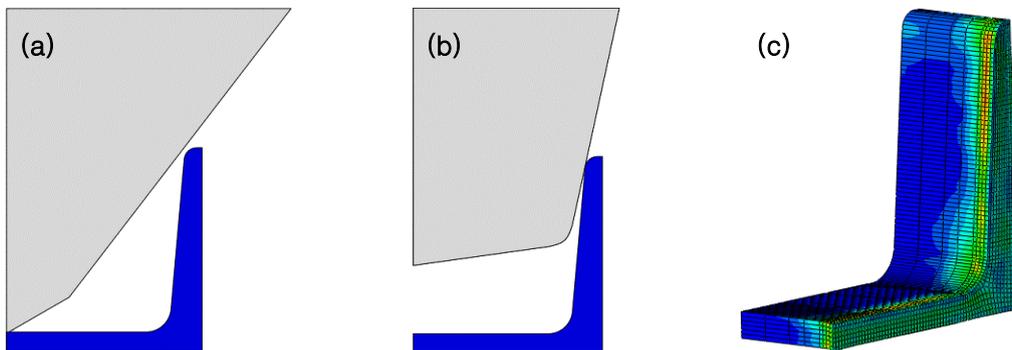


Fig. 2 Upper knife and cutting surface – (a) Old knife, (b) New knife, (c) Cutting surface

### 4. 결론

본 논문에서는 유한요소해석을 통하여 ㄷ형강의 전단 절단면 형상을 개선하는 연구를 수행하였다. 먼저, 전단 해석의 정확도를 위하여 Ductile 및 Shear fracture model을 적용하였으며 실제 절단면과 비교하여 잘 일치하는 결과를 얻었다. 다음으로, 개선된 상부 Knife 형상과 Clearance 조건을 적용하여 전단 해석을 수행하였으며 우수한 절단면 형상을 얻었다. 본 전단 조건을 실제 ㄷ형강 공정에 적용할 경우 절단면 품질을 향상시킬 수 있을 것이라 판단된다.

### 참고문헌

- [1] W. L. Kolmogorov, 1970, Spannungen Deformationen Bruch, Metallurgija, pp. 230.
- [2] H. Hooputra, H. Gese, H. Dell, and H. Werner, 2004, A Comprehensive Failure Model for Crashworthiness Simulation of Aluminium Extrusions, International Journal of Crashworthiness, vol. 9, No. 5, pp. 449-463.

## NbTi 초전도 선재의 공형 압연 공정 적용을 위한 패스 스케줄 설계

박선명<sup>1</sup> · 오영석<sup>1</sup> · 이호원<sup>1</sup> · 황덕영<sup>2</sup> · 강성훈<sup>#</sup>

### Design of Pass Schedule in Groove Rolling Process for NbTi Superconducting Wire

S. M. Park, Y. S. Oh, H. W. Lee, D. Y. Hwang, S. H. Kang

#### Abstract

The extrusion process is generally applied for the initial stages of manufacturing process for NbTi superconducting mono-wire with large diameter. However, the extrusion process has major problem such as inhomogeneity of cross section in the front and the rear part of the wire and large extrusion force. This inhomogeneity can cause low yield of NbTi wire because inhomogeneous cross section resulted in degradation of superconducting properties. The hot extrusion process, adopted for solving problem of large extrusion force, can aggravate inhomogeneity of cross section compared to cold extrusion. Therefore, the groove rolling process was applied as an alternative process for manufacturing NbTi wire in this study. A number of finite element (FE) analyses were conducted for designing the pass schedule of the groove rolling process. For comparison, the oval and round groove was applied for rolling simulation. In order to verify the numerical results, the groove rolling experiment of NbTi wire was conducted and compared with numerical results. From the above study, it was concluded that the oval groove was more suitable for manufacturing the NbTi wire compared to round groove.

**Key Words:** NbTi Superconducting wire, Extrusion process, Groove Rolling, Finite-Element Analysis

---

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

2. K.A.T.

# 교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소, E-mail: kangsh@kims.re.kr

## 이속압연 변형 시 변형량 및 텍스처 해석

고영건<sup>#</sup>

### Strain and Texture Evaluation in Differential Speed Rolling

Y. G. Ko

#### Abstract

This work investigated the shear strain evaluation and related microstructural change in orientation distribution function (ODF) of interstitial free steel via differential speed rolling. The shear strain with a maximum value of  $\sim 0.4$  calculated by indentation marks was imparted at the top part of the deformed sample, which was higher than the other parts. The ODF results exhibited that shear texture was operated mainly at the top part whilst texture in the middle and bottom parts was dominated by cold-rolling components.

**Key Words** : Differential Speed Rolling, Finite Element Method, Microstructure, Rolling Load

#### Acknowledgment

This work was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea funded by the Ministry of Education, South Korea (NRF-2014R1A1A2059004).

---

<sup>#</sup> 교신저자: 영남대학교

## 저항복비를 이용한 냉간비조질강 개발 및 응용

이영선<sup>1#</sup>·윤은유·이창길<sup>1</sup>

### Application and development of non-heat-treatment steel using the Yield-Ratio for Cold Former

Y. S. Lee<sup>1#</sup>, E.Y. Yoon, J.M. Choi<sup>2</sup>

#### 초 록

저원가와 고생산성을 위해 비조질강의 사용은 지속적으로 증대되고 있다. 특히, 냉간단조용 비조질강은 일반적인 볼트에서부터 열처리변형에 대한 문제(치수불량) 해결을 위한 효과적인 방법인 롱볼트(long bolt)에 이르기 까지 다양한 제품에 적용이 확대되고 있다. 인장강도 80kgf/mm<sup>2</sup>급 수준에서 일반화된 냉간비조질강은 베이나이트계 소재를 위주로 120kgf/mm<sup>2</sup>급 고강도 강 개발에 이르고 있다. 그러나, 기존의 비조질강들은 항복비가 크기 때문에 선재(wire rod) 절단공정시 공구무모나 손상 발생 가능성이 크며 가공경화에 따른 단조하중 증가와 금형수명 저하로 인해 단조회사에 큰 부담이 되고 있다. 따라서, 저항복비이면서 고가공경화 특성을 갖은 냉간비조질강은 동일한 인장강도를 갖는 소재-부품을 제조할 수 있으므로 단조회사의 경쟁력을 높여줄 수 있을 것이다.

본 연구에서는 인장강도 80kgf/mm<sup>2</sup>급 냉간포머용 저항복비 소재를 개발하여 냉간비조질강으로 적용을 위한 소재특성을 분석하고 자동차용 볼트(bolt), 가이드로드(guide rod)를 제조하여 그 특성을 분석함으로써 고장력 볼트 류에 적용 가능성을 제시하였다. 사용된 소재는 항복비가 0.5이하로서 40kgf/mm<sup>2</sup>에서 항복(소성변형)이 시작되는 만큼 구상화 소둔 소재들(1045K, SCM435)의 보다 20%이상 낮은 항복강도를 갖는 만큼 단조하중 감소와 금형수명 향상 효과를 얻을 수 있다. 개발 소재는 소성변형에 따라 유동응력과 동일한 형태로 경도증가를 보였으며 우수한 피로특성을 나타내었다. 또한, 시제품으로 제조된 볼트, 가이드로드는 원하는 요구특성을 모두 만족하고 자동차용 부품 제조에 활발히 이용될 것으로 기대된다.

**Key Words:** Tensile Strength, Fatigue Strength, Cold Former, Yield-Ratio-Control-Steel, Non-heat-treated Steel

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소  
# 교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소,  
E-mail: lys1668@kims.re.kr

# 항공기 부품 정밀 전가공용 스피들 장치 설계에 관한 연구

배선민<sup>1</sup> · 윤대열<sup>2</sup> · 이정민<sup>3</sup> · 류호연<sup>3</sup> · 전만수<sup>4</sup> · 김동환<sup>#</sup>

## Study on Design of Aircraft Parts Pre-machining Precision the Spindle Apparatus

S. M. Bae<sup>1</sup>, D. Y. Yoon<sup>2</sup>, J. M. Lee<sup>3</sup>, H. Y. Ryu<sup>3</sup>, D. H. Kim<sup>#</sup>

### Abstract

최근 항공기 산업이 확대되어 항공기 기계 가공 부품들도 지속적으로 물량이 증가하고 있다. 항공기를 구성하는 구조물은 대부분 대형이고, 형상이 복잡하여 정밀가공을 수행하기 위해서는 전 가공 공정을 거쳐야 한다. 전 가공 공정은 항공기 부품의 정밀가공 시 가공 기준점을 정확히 일치 시키기 위해 수행하는 기초가공으로 slot 가공, 세팅 구멍 가공 등을 수행하며, 치수 정밀도가 확보되어야 한다. 하지만 전 가공 공정에서 고가의 대형 3축 또는 5축 NC 장비와 CAM 소프트웨어를 이용하고 있으며, 3대 이상의 장비가 활용됨으로 가공 시간 및 소재 이동 시간 등의 발생으로 가공 공정의 효율성 및 치수 정밀도가 떨어진다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 3대 이상의 장비 및 공정을 1대의 장비로 수행하는 장치를 개발하고 있다. 본 연구에서는 가공 공정의 시간을 단축 시키기 위해 전 가공 장비의 spindle 장치 등을 3D 설계 후 구조 강도 해석을 실시하였다. 현재 개발되고 있는 전 가공 장비는 Gantry Type으로 Saddle, Column, Bed 등으로 구성되어 있다. 현재 개발되고 있는 장비의 가공 공정 효율성을 높이기 위해 가공 공정의 단순화가 필요하다. 그러므로 셋팅 구멍가공을 수행하는 C-Axis column 및 자동 공구교환장치 등을 설계 하여 가공 공정 시 치수정밀도를 확보하기 위해 구조적으로 안정성을 확인하고자 하였다. 연구 방법으로는 각각의 세부 부품별 형상을 설계하여 spindle의 하중 및 공구 하중 등에 의한 처짐과 변형에 대한 안정성을 확인하였다.

---

**Key Words** : Pre-machining, Aircraft Parts, Multi-Complex, Airframe Structures, Spindle

---

1. 경상대학교 재료공정융합공학과

2. 디엔엘항공

3. 한국생산기술연구원

4. 경상대학교 기계항공정보융합공학부

# 교신저자: 한국국제대학교 항공부품공학과, E-mail: dhkim@iuk.ac.kr

## 핫스탬핑 국부연화 공정평가

박광수<sup>1#</sup> · 배충수<sup>2</sup> · 심우정<sup>3</sup> · 김원혁<sup>4</sup> · 김동규<sup>5</sup>

### Process Estimation of Partial Softening on Hot Stamping of Ultra High Strength Automobile Structure

K. S. Park, C. S. Bae, W. J. Sim, W. H. Kim, D. K. Kim

#### Abstract

연비규제 및 안전도 향상 이슈로 차량용 센터필라는 핵심구조재로서 초고강도화 되어가고 있다. 핫스탬핑 공정을 통해 강도가 1500MPa이상급의 초고강도 소재를 적용시 충격인성 저하로 소재취성 및 접합부 파단으로 충격안전성이 저하된다. 이 것은 인장강도가 높은 만큼 연성과 피로강도의 저하로 야기되는데 이를 해결하기위해 본 연구에서는 센터필러의 충격인성 향상을 위해 국부적인 고주파 유도 가열을 통해 소재 템퍼링의 효과를 가지는 공정을 설계하였고, 그에대한 실시예 및 공정 평가에 관해 연구하였다.

**Key Words** : Hot stamping, Partial Softening, UHSS

- 
1. 포항산업과학연구원
  2. 울산테크노파크
  3. (주) 새한산업
  4. (주) NKS
  5. (주) DK솔루션

# 교신저자: 포항산업과학연구원, E-mail:winter@rist.re.kr

# 질화물 코팅에 미치는 브레이크 마스터 실린더 제조용 다이의 단조특성 분석

최정목<sup>1</sup> · 손영일<sup>2</sup> · 김민규<sup>3</sup> · 박준식<sup>#</sup>

## Analysis of The Effect of Nitride Coatings on Cold Forging Dies for Fabrication for Brake Cylinders

J. M. Choi, Y. I. Son, M. K. Kim, J. S. Park

### Abstract

The plasma vapor coatings on two kinds of die steels have been carried out in order to identify the most optimized conditions. When TiN or TiAlN coatings were carried out on the substrates, the coating layer thicknesses were not significantly changed, and the optimized coating thickness was identified as ~ 5  $\mu$ m. When the optimized coating conditions and stress analysis were applied to the primary piston dies for fabrication of aluminum cylinders, an extended life time of the die was observed. The methodology for extending the life time of dies was discussed in terms of microstructures and stress analysis.

**Key Words** : Forging Die, Physical Vapor Deposition, Nitride, Bond strength

### 1. 서론

다양한 환경에서 금속의 고인성특성을 유지하며 표면에 부가적인 기능성을 부여하기 위하여, 화학증착법 (CVD (Chemical Vapor Deposition)), 물리증착법 (PVD (Physical Vapor Deposition)), 플라즈마열분사법 (TBC (Plasma Thermal Barrier coatings) 등 다양한 코팅법이 연구되어 왔다[1-3]. 다양한 코팅 방법 중 PVD는 아크, 열, 전자빔 등에 의하여 금속물질을 고진공의 플라즈마 분위기에서 활성화시킨 후 높은 가속에너지로 코팅대상재료에 충돌시키는 방법으로 잘 알려져 있다. 특히, PVD는 모재와 밀착력이 우수하고 균일한 증착이 가능하며, 두께조절이 쉬움으로 반복적으로 동으로 동일한 작동을 하는 금형의 수명 연장과 성공적인 냉간 단조를 위하여 다양하게 사용되고 있다 [1,2].

특히, 냉간단조에 사용하는 다이의 경우에는 다양하고 높은 압력이 작용하며, 같은 응력을 반복적으로 부가하게 됨으로 매우 높은 응력과 지속적이고 반복적인 응력에 대하여 저항할 수 있어야 함으로 경 (hard)하고 밀착력이 매우 우수한 PVD 코팅이 수행되고 있다. 본 연구에서는 알루미늄 소재의 자동차용 브레이크 마스터 실린더를 냉간단조로 제조하기 위하여 최적의 다이선정과 이에 관한 다이의 PVD코팅을 수행하였으며 코팅 조건의 최적화를 도모하여 최적의 조건을 확립하고자 하였다

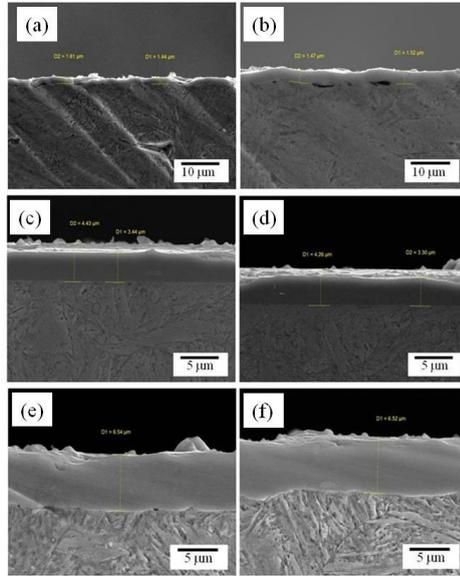
1. ㈜진합

2. 국방과학연구소

3. # 교신저자: 한밭대학교, E-mail:jsphb@hanbat.ac.kr

## 2. 실험방법

본 연구에서는 전자빔을 이용하여 TiN, TiAlN 코팅 타겟을 플라즈마 분위기 내에서 활성화 하여 스퍼터링 반응을 통해 금형 재료에 코팅층을 형성하였다. 또한, 상기 금형소재를 이용하여 코팅 종류 및 코팅 증착 조건에 따라 코팅층의 형상 및 두께, 밀착력 등을 평가하였다.



**Fig. 1 SEM of TiN (a,d and e) and TiAlN (b,d and f) coated QCM8 substrates for 30 min (a and b), 60 min (c and d) and 120 min (e and f)**

## 3. 결과 및 고찰

그림 1은 본 연구에서 진행된 PVD 코팅된 QCM8금형강의 단면을 나타낸다. 그림에서 보듯이, 코팅시간이 증가할수록 코팅의 두께는 두꺼워짐을 알 수 있었고, 건전한 코팅층이 균일하게 모재위에 코팅됨을 알 수 있었다. 또한, 코팅재의 종류 (즉, TiN 혹은 TiAlN) 에 따라 코팅층의 두께는 큰 변화가 없음을 알 수 있었다. 시간에 따른 코팅층과 모재의 종류 즉, QCM8과 CALDIE에 따른 코팅층 두께의 변화를 표 2에 나타내었다. 표2 에서 보이는 바와 같이 코팅층의 두께는 일부의 편차는 있었지만, 시간의 증가에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었고 기지의 종류에 따라서 큰 편차는 보이지 않음을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] M. Tkadletz, N. Schalk, R. Daniel, J. Keckes, C. Czettel, C. Mitterer, 2016, Advanced characterization methods for wear resistant hard coatings: A review on recent progress, Surf. Coat. Technol. Vol. 285, pp. 31~46.
- [2] J. Bouquerel, B. Diawara, A. Dubois, M. Dubar, J.-B. Vogt, D. Najjar, 2015, Investigations of the Microstructural Response to a Cold Forging Process of the 6082-T6 Alloy, Mater. Des., Vol. 68, pp. 245~258.

## 조선해양플랜트용 T-bar 의 벤딩성형 공정에 관한 연구

이상익<sup>1</sup> · 최동환<sup>1</sup> · 이진우<sup>1</sup> · 윤종현<sup>2</sup> · 공경열<sup>3</sup> · 이정환<sup>1#</sup>

### A study on the bending process of T-bar for offshore plants

S. I. Lee, D. H. Choi, J. W. Lee, J. H. Yoon, K. Y. Gong, J. H. Lee

#### Abstract

T-bar occupies a large portion of Materials required for offshore plants Ship Building. offshore plants has large scale loss by the main factor for the marine plants. Therefore, offshore plants quickly focus on the merchant ship Building, and T-bar was often used when merchant ship Building. The T-bar production process was made by welding with bending process of manual work. In this paper, finite element analysis was performed to create a data base of the punch stroke for bending process of the T-bar. Experimental bending process using data base was conducted in a press to evaluate th propose stroke in the dimensions requirements and comparative analysis. It could improve productivity by using data base for punch Stroke.

**Key Words** : T-bar, Bending process, FEA(finite element analysis), Data base, Punch stroke.

#### 후 기

본 논문은 산업통상부와 한국산업기술진흥원 “경제협력권산업육성사업”의 지원으로 이루어 졌으며, 이에 감사 드립니다.

---

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

2. 한양대학교 에리카산학협력단

3. 기특산업㈜

# 교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소,

E-mail:ljh1239@kims.re.kr

# 기계적 및 열적 하중에 의한 금형 변형과 연계한 열간 단조공정의 해석

김영신<sup>1</sup> · 전만수<sup>#</sup>

## Combined coupled analysis of a hot forging process with the die deformation owing to mechanical and thermal load

Y. S. Kim, M. S. Joun

### Abstract

In this study, finite element analysis is conducted for the hot forging process of aluminum fixed scroll with consideration of die deformation due to mechanical and thermal loads. It is revealed from comparison of predictions obtained under various conditions that the effect of temperature on die mechanics in aluminum forging is not critical.

**Key Words** : Combined Coupled Analysis (종합연계해석), Thermal Load (열적 하중), Forging Simulation (단조 시뮬레이션), Fixed Scroll (고정 스크롤)

### 1. 서론

알루미늄 고정스크롤의 열간단조 공정은 형상적으로 매우 복잡하다. 따라서 소재의 유동이 제한적이며, 정교한 설계가 필요하고, 공정 해석에 고급기술이 필요하다[1]. 선행연구[2]에서는 스크롤에 관한 해석기술로서 금형과 소재의 상호작용 즉, 금형의 탄성변형을 고려한 해석을 수행하였고 정량적 측면에서 미치는 영향을 연구하였다.

이 논문에서는 알루미늄 고정스크롤의 열간 단조공정 중 발생한 금형의 파손에 온도변화와 열적 하중이 미치는 영향을 분석한다.

### 2. 공정해석

Fig. 1은 실제 파손된 금형과 금형의 유한요소해석을 위해 사용된 사면체요소망을 나타내고 있으며, 소용돌이 형상의 끝부분인 F 지점의 뿌리부분에서 파단이 발생한다. 해석에 사용된 소재는 실제 공정에 쓰이는 알루미늄 AW-5082이며, 유동응력정보는 선행연구[1]에서 고온압축시험을 통하여 실험적으로 획득하였다. 초기 소재의 온도는 400℃이며, 금형과 소재의 마찰계수는 0.2로 가정하였다. 온도변화와 열적 하중의 영향에 대해 알아보기 위하여 선행연구[2]를 기준으로 등온해석 (Case 1), 비등온해석 (Case 2), 열적 하중을 고려한 비등온해석 (Case 3) 세 가지 경우로 나누어 해석을 진행하였다. 이 세 경우 모두 금형의 탄성변형이 고려되었다.

선행연구[1]에서 밝혔듯이 금형 파손의 원인은 성형종료 이전 시점에서 발생하는 파손부위인 랩(wrap) 부의 내외 층진의 차이로 금형에 부과되는 과도한 응력이다. 따라서 파손지점에 작용하는 성형방향의 응력  $\sigma_{yy}$ 를 통하여 온도변화와 열적 하중에 의한 영향을 상술한다. Fig. 2는  $\sigma_{yy}$ 가 최댓값일 때의 응력분포를 비교한 것이다. 모든 경우에서 파손지점에 가장 큰 응력이

1. 경상대학교 기계공학과 일반대학원

# 교신저자: MFRC, 경상대학교 기계공학과, E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

작용하는 것을 볼 수 있으며, 전체적인 응력의 분포에서도 차이를 보이지 않는다. Fig. 3은 파손 지점에 부과되는 응력이 최대가 될 동안의 변화를 시간에 따라 나타낸 것이다. 응력의 변화에서도 비슷한 양상을 보이며, 최대응력도 각각 1181.6 MPa, 1183.9 MPa, 1185.4 MPa로 큰 차이가 없다.

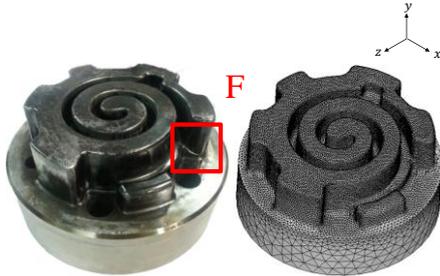


Fig. 1 Fractured die and its analysis model

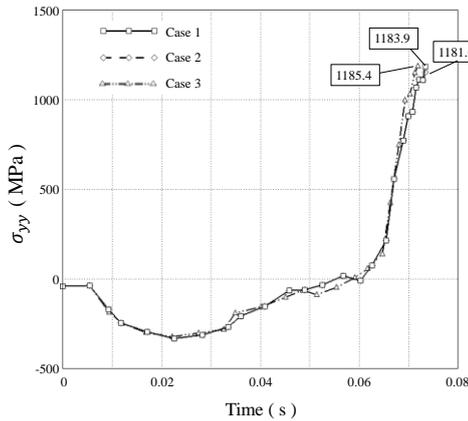


Fig. 3  $\sigma_{yy}$  at the fracture point

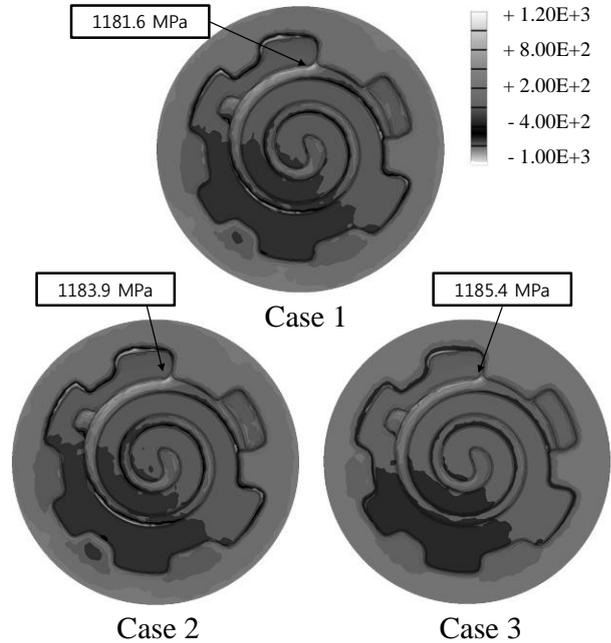


Fig. 2  $\sigma_{yy}$  at the stroke of peak stress

### 3. 결론

이 논문에서는 알루미늄 고정스크롤의 열간 단조공정에 온도의 변화와 그에 따른 열적 하중이 미치는 영향을 인장응력의 관점에서 비교하였다. 응력의 분포,  $\sigma_{yy}$ 의 최대값, 시간에 따른 응력의 변화 등 전체적인 양상에서 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 소성유동과 관련이 있으며 스크롤과 같이 복잡한 형상을 가진 공정에서는 온도, 열적 하중 등의 변수가 소성유동의 제어에 큰 영향을 미치지 못하는 것이라 할 수 있다. 또한 알루미늄 공정의 특성상 온도변화가 비교적 작기 때문에 뚜렷한 차이를 보이지 않는 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- [1] Y. S. Kim, S. W. Jeong, J. G. Lim, M. S. Joun, 2015, Die fracture in hot forging of a fixed scroll, ASPF2015, 85-87
- [2] Y. S. Kim, J. G. Lim, M. S. Joun, 2016, Analysis of the fixed scroll die forging process considering the elastic deformation of dies, Spring conference of KSTP 2016, 158-161

## 냉간다단단조 공법을 적용한 최적의 Tube Yoke 설계방안

민두식 · 김광민 · 박휘동 · 김구락 · 박상균 · 황태민<sup>#</sup>

### Optimal Design of Tube Yoke For Multi-Stage Cold Forging Process

D. S. Min, K. M. Kim, H. D. Park, K. R. Kim, S. K. Park, T. M. Hwang<sup>#</sup>

#### Abstract

본 연구에서는 냉간다단단조공법을 적용한 조향장치의 인터미디에이트샤프트의 핵심부품인 Tube Yoke의 최적의 공정설계방안을 연구하였다. 당사가 개발하고자하는 Tube Yoke는 과거 샤프트부와 요크부(너클부)를 각각 성형 및 절삭가공하여 용접, 콕킹이나 스웨이징 방법으로 제조되어 왔지만, 본 연구과제에서는 냉간다단단조공법을 이용하여 샤프트부와 요크부(너클부)를 일체형으로 성형하는 공법의 설계방안을 연구하고자 한다. 이 일체형 Tube Yoke의 설계를 위해 Free 단조공정도를 설계하였고, 이 단조공정도에서 가장 중요한 공정의 형상을 조건별로 설계하여 Metal Flow(단류선)와 응력분포해석을 통한 성형해석을 진행하여 최적의 공정설계를 하고자 한다. 최적의 공정설계완료 후 검증을 위해 금형제작 및 시제품 제작을 하여 해석결과와 시제품을 비교 분석하므로 설계연구의 결과를 리뷰하고자 한다.

**Key Words :** 인터미디에이트샤프트, 냉간다단단조, 튜브요크, 파이프요크, 포머, AFDEX

---

1. 주식회사 ㈜성진포머  
2. 기술연구소 개발팀  
<sup>#</sup> 교신저자: ㈜성진포머 기술연구소, E-mail:tmhwang@sjfoma.com

# 냉간다단단조 공법을 적용한 최적의 Pinch Yoke 설계방안

민두식 · 김광민 · 박휘동 · 김구락 · 박상균 · 황태민<sup>#</sup>

## Optimal Design of Pinch Yoke For Multi-Stage Cold Forging Process

D. S. Min, K. M. Kim, H. D. Park, K. R. Kim, S. K. Park, T. M. Hwang<sup>#</sup>

### Abstract

본 연구에서는 냉간다단단조공법을 적용한 조향장치의 인터미디에이트샤프트의 핵심부품인 Pinch Yoke의 최적의 공정설계방안을 연구하였다. 개발하고자하는 Pinch Yoke는 과거 기계가공 및 주조공법으로 제조되어 왔지만, 냉간다단단조공법으로 개발을 시도하면서 높은 성형기술을 필요로 한다. Pinch Yoke의 설계를 위해 비대칭인 Pinch Yoke의 단조설계를 다단단조의 특성에 맞게 대칭으로 변경을 하였다. 이를 토대로 Free 단조공정도를 설계하였고, 이 단조공정도에서 가장 중요한 공정의 형상을 조건별로 설계하여 Metal Flow(단류선)와 응력분포해석을 통한 성형해석을 진행하여 최적의 공정설계를 하고자 한다. 최적의 공정설계완료 후 검증을 위해 금형 제작 및 시제품 제작을 하여 해석결과와 시제품을 비교 분석하므로 설계연구의 결과를 리뷰하고자 한다.

**Key Words** : 인터미디에이트샤프트, 냉간다단단조, 핀치요크, 포머, AFDEX

---

1. 주식회사 ㈜성진포머  
2. 기술연구소 개발팀  
# 교신저자: ㈜성진포머 기술연구소, E-mail:tmhwang@sjfoma.com

## 3차원 유한요소법을 활용한 Shaft 정밀성형 냉간단조 공정설계에 관한 연구

박희찬<sup>1#</sup> · 김동배<sup>1</sup> · 김주업<sup>1</sup> · 서창민<sup>2</sup>

### Study on Precision Cold Forming Process Design of Shaft Using 3D Finite Element Method

H. C. Park, D. B. Kim, J. E. Kim, C. M. Seo

#### Abstract

An oil pump that is used for automatic transmission performs the important function of transmitting the driving force of the engine. An important feature of the oil pump and the like is delivered to the driving torque and action of the lubricating and cooling bearings and bushing system of the internal transmission. One of these main parts of the oil pump reaction shaft is transmitting the driving force and performs the role of the oil passage. Therefore, through the cold forging process to form a fine tooth profile and the characteristics of the discrete value type is needed to perform the role oil passage. Utilizing a three-dimensional finite element method for this purpose would review the precision molding process design, and to derive the size of teeth with near net shape manufacturing

**Key Words** : Precision Cold Forming, Near Net Shape, 3D Finite Element Method, Hollow Shaft

---

1. (재)대구기계부품연구원

2. (주)신도하이텍

# 박희찬:(재)대구기계부품연구원, E-mail:parkhc@dmi.re.kr

# 프레스 전방압출 시험을 통한 냉간자동다단단조용 소재 압출 특성에 관한 연구

윤일채<sup>#</sup> · 윤국태<sup>1</sup> · 박춘달<sup>1</sup> · 황태민<sup>2</sup> · 김광민<sup>2</sup> · 민두식<sup>2</sup>

## Extrusion Properties and workability of Material on Automatic multi-stage cold forging

I. C. Yoon, K. T. Yoon, J. S. Song, J. Y. Heo, H. C. Lim, T. M. Hwang, K. M. Kim, D. S. Min

### Abstract

Automatic multi-stage cold forging process is consist of 5 or 6 process. Increasing productivity and reducing material loss are important advantages of this technology. The first operation is forward extrusion on automatic multi-stage cold forging and analysis of forming limit is significant influencing factor for full process design. To analysis extrusion properties and forming limit, the die and mold were produced for extrusion experiment on 200ton servo press. Various punch motion and speed were applied and several friction conditions also evaluated in experiments. This paper present design of die and mold for forward extrusion experiment and properties and workability of forming materials.

**Key Words** : Automatic multi-stage cold forging, Extrusion experiment, Extrusion limit, Servo press, Die and mold

---

1. (재)대구기계부품연구원

2. (주)성진포머

# 교신저자: (재)대구기계부품연구원, icyoon@dmi.re.kr

# 투-피스 휠 너트용 와셔의 냉간 정형 단조 해석

이민호<sup>1</sup> · 최석호<sup>2</sup> · 민동균<sup>#</sup>

## A Research for Cold Net-Shape Forging Simulation of Two-Piece Wheel Nut Washer

M. H. Lee, S. H. Choi, D. K. Min

### Abstract

삼진정공(주)에서는 투-피스 휠 너트(Two-Piece Wheel Nut)를 열간 단조 후 후 공정으로 절삭가 공하여 생산하고 있다. 이 투-피스 휠 너트의 와셔 공정을 냉간 정형 단조로 개발함으로써 열 전달 공정 및 후 공정을 제외하여 생산 비용을 절감하는데 본 연구의 목적이 있다. 이를 위하여 공정 설계를 위한 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션 결과를 바탕으로 냉간 정형 단조 공정의 시제품 생산을 위한 적합성을 검토하였다.

**Key Words** : Washer, Net-shape Forming, Cold Forging, DEFORM, Simulation

### 1. 서론

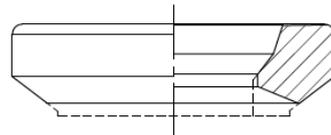
본 연구의 목적은 투-피스 휠 너트의 와셔 공정을 컴퓨터 시뮬레이션으로 해석함으로써 냉간 정형 단조 공정을 설계하고, 제품의 최종 형상을 예측함으로써, 시제품 생산을 위한 적합성을 검토하는 것이다. 이를 위한 냉간 정형 단조 제품의 개발 목표는 <표 1-1>과 같으며, 성형 해석 프로그램은 DEFORM-2D를 사용하였다.

<표 1-1> 제품 개발 목표

구분		삼진정공(주)
크기	외경(Ød1)	46
	내경(Ød2)	26

### 2. 실험방법

[그림 2-1]은 DEFORM-2D에서 적용할 최종 형상의 모델링 도면이며, <표 2-1>은 성형 및 해석 조건이다.



[그림 2-1] 와셔의 형상

<표 2-1> 성형 및 해석 조건

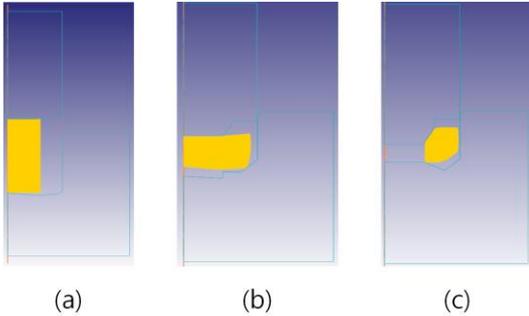
분류	조건
원소재	AISI-1010, COLD, Ø25* 32.8L
온도	70°F (20°C)
공정	기계식 프레스

[그림 2-2]의 (a)는 1차 성형 공정의 금형과 모재 형상을 나타내는 그림이다. 해석에 사용된 요소의 수는 1074개이며, 절점의 수는 1169개이다. 해석의 방법은 대칭성을 고려하여 2차원으로 수행하였다.

(b)는 2차 성형 공정의 금형과 모재의 형상을 나타내고 있다. 해석에 사용된 요소의 수는 988개이며, 절점의 수는 1055개이다.

1. 한국기술교육대학교  
 2. 삼진정공(주) 기술연구소  
 # 교신저자: 한국기술교육대학교  
 E-mail: dkmin@koreatech.ac.kr

마지막으로 (c)는 최종 성형 공정의 금형 및 모재를 나타내는 그림이다. 해석에 사용된 요소의 수는 532개이며, 절점의 수는 574개이다.



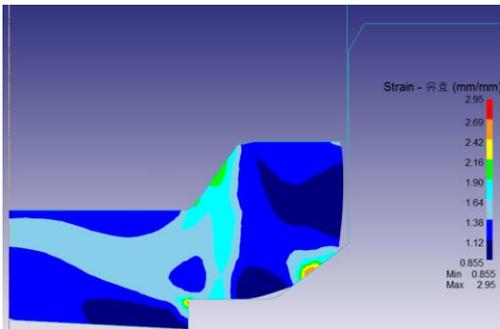
[그림 2-2] (a)1차 성형공정 (b)2차 성형 공정 (c)최종 성형 공정

### 3. 결과 및 고찰

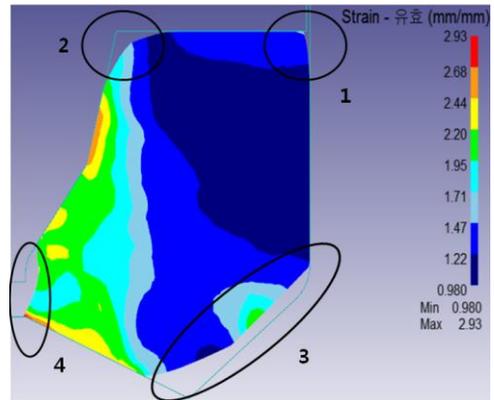
[그림 3-1]는 2 차 성형 해석 후의 유효 변형률 결과이다. 모서리와 하단부에 미충전이 발생하였음을 볼 수 있다.

[그림 3-2]는 최종 성형 후 유효 변형률 시뮬레이션 결과이다. 1부분에서 플래시가 발생하지 않는 상태에서 2번 모서리 부분의 미충전이 발생하였으며, 3번 하단 부분 전체의 미충전이 발생하였고, 4부분의 와서 조립부분의 성형이 잘 되지 않은 것을 볼 수 있다.

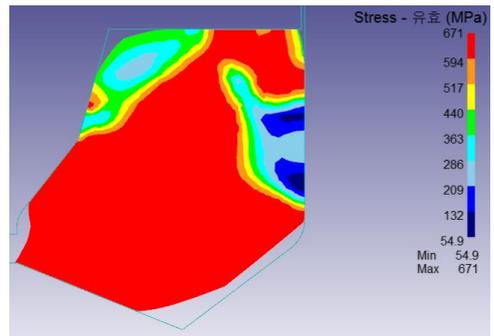
[그림 3-3]는 최종 성형 후의 유효 응력 시뮬레이션 결과로, 과도한 응력상태에 도달할 상황임을 예측할 수 있다.



[그림 3-1] 2차 성형 후 유효 변형률



[그림 3-2] 최종 성형 후 유효 변형률



[그림 3-3] 최종 성형 후 유효 응력

### 4. 결론

투-피스 휠너트용 와셔를 시제품으로 제작할 경우 너트와의 조립시 내경부의 미충전이 예상된다. 뿐만 아니라 최종공정에서 외경 모서리 부분과 하단부 미충전으로 인한 외관불량이 예상된다.

결론적으로 현재의 공정설계로는 원하는 최종 제품을 얻는 것은 어려울 것이 예상되며, 예비성형체의 형상 및 공정수 조정, 혹은 금형의 설계 변경 등의 공정설계변경이 요구된다.

향후 연구에서는 시제품 제작을 통한 시뮬레이션 결과의 검증이 필요하며, 예비 성형체 설계 등을 추가하여 보완하는 연구가 필요하다.

# 냉간단조를 이용한 고강도 알루미늄 HUB CLUTCH 개발

이수정<sup>1#</sup> · 주원광<sup>1</sup> · 이원일<sup>1</sup> · 정현욱<sup>2</sup>

## Study on the Manufacturing Technology of the HUB CLUTCH by Using Aluminium Cold-Forging

S. J. Lee, W. G. Joo, H. W. Jung, W. I. Lee

### Abstract

For many years, aluminium and its alloys have drawn quite interest as light weigh materials to improve fuel consumption and reduce CO2 emission in the automotive industry. However, it has not been active in the powertrain field, especially transmission parts which require high mechanical properties. Recently, there is an effort to product using aluminium die-casting. There are still problems such as pores, draft taper and others. In this study, splines of hub clutch are formed as the extruding of aluminium alloys by cold-forging. It involves the comparison between theoretical analysis and experimental studies in cold-forging process.

**Key Words** : Automotive transmission, Clutch, Aluminium alloys, Cold-Forging

### 1. 서론

자동차 시장은 환경규제 강화로 인한 연비 향상을 위해 경량 부품의 적용이 점진적으로 확대되고 있다. 특히, 파워트레인의 자동변속기 분야는 연비 향상의 직접적인 영향을 끼치므로 고단화, 다운사이징, 경량 부품 적용에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 본 연구에 사용된 동력 전달 부품인 HUB CLUTCH는 높은 토크와 하중을 받기 때문에 경량뿐만 아니라 고강도의 소재가 요구된다. 그 중, 알루미늄은 비강도가 높고, 비교적 우수한 성형성을 가지고 있어 기존의 시장을 대체할 수 있는 주요 소재로 각광받고 있으며, 이를 이용한 다양한 성형 공법에 대한 연구가 진행되고 있다. 냉간단조 공법은 대표적인 알루미늄 성형 방법 중 하나로 복잡한 형상 구현이 가능하며 가격이 저렴한 이점이 있다. 본 연구에서는 리브(rib), 스플라인(spline) 구조를 가지는 난형상의 부품을 냉간단조 성형기술을 통해 나타내었다. 또한 이에 대한 시뮬레이션 해석과 제품 성형 비교 실험 결과를 기술하였다.

### 2. 실험방법

본 실험에서는 다양한 알루미늄(A6061-F, A6013-F, A2014-F)을 이용하여 성형성을 평가하였다. 조직을 유연화하기 위해 소재 별 특성에 따라 소둔(annealing)과정을 거친다. 800t의 하중으로 전방 압출을 이용하여 리브(rib)와 스플라인(spline)부를 동시에 성형하였다. 또한 이를 CAE 해석을 통해 단조 성형 조건 및 재료에 따른 성형성을 비교 실험을 진행하였다.

1. 경창산업㈜

2. ㈜호창

# 교신저자: 경창산업㈜, E-mail: sjlee02@kc.co.kr

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에 대상이 된 제품의 리브부는 전방 압출 시 높은 하중과 유동응력을 요구한다. 이로 인하여 고강도 알루미늄인 A2014 소재는 리브 성형 중에 살이 찢어지는 현상이 발생하였으나, 비교적 성형성이 높은 A6061 및 A6013는 리브 형상을 구현하였다(Fig.1). 이는 CAE 시뮬레이션 해석상에서 A2014 소재가 리브 형성 구간에서 응력으로 인해 크랙이 발생하였다(Fig.2). 이는 제품 성형 결과와 일치함을 나타내었다. 따라서 소재의 조직과 특성이 제품의 성형성에 상당한 영향을 끼치며, 냉간 단조 성형 내 소재 적용의 한계성을 확인하였다.



Fig. 1 A results of the formed rib and spline using A6061, A6013, A2014

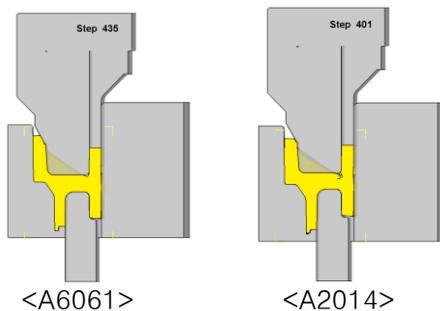


Fig. 2 Finite element predictions of the optimized process design

### 4. 결론

이 논문에서는 리브와 스플라인을 지닌 난형상의 제품을 알루미늄 냉간단조 기술을 이용하여 제품을 구현하였다. 냉간단조 공정을 최적화 하기 위해 시뮬레이션을 이용한 비교 결과를 나타내었다. 소재의 조직과 특성은 성형성 여부를 결정하는 중요한 요인으로 보여진다.

#### 참고문헌

- [1] H. S. Kim, Y. T. Im, M. Geiger, Prediction of ductile fracture in cold forging of aluminium alloy, Journal of Manufacturing Science and Engineering, V. 121, p. 336-343, 1999
- [2] M. M. Rahman, A. K. Ariffin, FATIGUE BEHAVIOUR OF 6000 SERIES ALUMINUM ALLOYS ON CYLINDER BLOCK OF A FREE PISTON LINEAR ENGINE USING TOTAL LIFE APPROACH, Jurnal Mekanikal, No. 21, p. 1-15, 2006
- [3] 권용남, 김상우, 김봉준, 박은수, 차달준, 유동성형을 이용한 중동형 부품의 제조공정 개발, 한국소성가공학회지, 제20권, 제8호, 2011

## Groove 단조로 제작된 크랭크샤프트 예비성형체 형상이 2차 성형성에 미치는 영향

전웅배<sup>1#</sup> · 정상인<sup>1</sup> · 박상덕<sup>1</sup> · 오상균<sup>2</sup> · 전효원<sup>2</sup>

### The effect of the crankshaft preform shape manufactured by Groove forging on semi-closed forging.

W. B. Jeon, S. I. Jeong, S. D. Park, S. K. Oh, H. W. Jeon

#### Abstract

Crankshaft which is seated in crankcase of marine and generator engine and changed from a reciprocating motion to a rotary motion of Piston, is significant component of an internal combustion engine. Manufacturing process of Forged integral crankshaft is divided into first Forging(Manufacturing the Preform) and semi-closed forging. After the first forging, The Preform manufactured by machining is pressed in the vertical and horizontal directions at the same time when the secondary forging. This time, The Groove acts as Grip to prevent slip in the horizontal direction of the preform. The Groove shape and dimension of preform manufactured by forging is not precise, compare with manufactured by machining. In this study, there is a purpose to find the proper crankshaft preform shape condition, By investigating the effect of the crankshaft preform shape manufactured by Groove forging on semi-closed forging.

**Key Words** : Solid crankshaft; Crankshaft perform; Groove forging process; semi-closed forging

\* 본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 경제협력권산업육성사업으로 수행된 연구결과입니다.

---

1. 현진소재㈜

2. (재)대구기계부품연구원

# 교신저자: 현진소재㈜, E-mail: wbjeon32350@hjgr.co.kr

## 비축대칭 로터 샤프트 생산을 위한 방사형 단조 기술 개발

곽호빈<sup>1</sup> · 김현구<sup>1</sup> · 박성남<sup>2</sup> · 지용일<sup>2</sup>, 정기호<sup>#</sup>

### Development of radial forging process to manufacture non-axisymmetric rotor shaft

H. B. Kwak<sup>1</sup>, H. G. Kim<sup>1</sup>, S. N. Park<sup>2</sup>, Y. I. Ji<sup>2</sup>, K. H. Jung<sup>#</sup>

#### Abstract

Radial forging is one of hot or cold open-die forging processes which is cost-effective and material-saving to manufacture large shafts, tubes, and axles. In this study, a numerical approach to apply radial forging technique to non-symmetric 4-pole rotor shaft for huge vessels or power plant generators is carried out. Based on the simulation results, more than 20% in terms of material cost reduction was achievable by employing radial forging. In addition, three different side angles of the radial forging dies were compared to optimize the newly developed forging sequence.

**Key Words** : radial forging, non-symmetric rotor shaft

---

1. 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소

2. ㈜ 한일단조

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

# Duplex강의 하이드로포밍 확관공정시 피딩속도에 관한 연구

김민우<sup>1</sup> · 허관도<sup>2</sup> · 예상돈<sup>#</sup>

## Study on the feeding velocity for hydroforming tube expanding duplex steel

M. W. Kim, K. D. Hur, S. D. Ye

### Abstract

현재 하이드로포밍 공정을 이용한 확관성형에 대한 연구가 많은 관심을 보이고 있으며, 확관공정에 대한 평가를 다양한 방법으로 연구하고 있는 실정이다. 본 논문은 하이드로포밍 확관 공정시 압력에 대한 피딩속도의 변화로 인하여 발생하는 두께 변화를 성형해석을 이용하여 분석하였다.

**Key Words** : Hydrfoforming (액압성형공법), Tube expanding (튜브확관), Feeding Velocity (피딩속도)

### 1. 서론

현재 승용차용 부품에 하이드로포밍을 이용하여 생산에 적용하고 있으며, 가솔린 엔진은 연료효율 및 성능을 극대화 하기 위하여 GDI 엔진적용이 점차 증가 하고있다. GDI 엔진용 연료 공급 튜브는 특정지점이 확관된 구조로 이루어져 있으며, 현 생산방식은 확관된 튜브를 헤딩공정이 이루어진 튜브와 용접하여 생산하고 있으며, 이는 용접부의 누수확률이 높은 공법으로 하이드로포밍을 이용한 확관공정의 접목함으로 공정의 문제점에 개선 할 수 있다.

본 논문은 용접공정을 대체하기 위하여 하이드로포밍 공정을 이용하여 Duplex강 재질의 특정 부분의 확관공정을 분석하기 위하여 강소성해석프로그램을 사용하였으며, 설계인자는 확관공정시 피딩속도로 선정하여, 결과값으로는 튜브의 두께의 변화량을 비교하였다.

### 2. 실험방법

튜브 확관시 하이드로 포밍공법에 필요한 설비는 Fig.1과 같이 하이드로포밍금형, 확관 시 좌우에서 튜브를 밀어 확관을 도와주는 피딩 금형, 그리고 성형이 되는 성형 튜브로 이루어져 있다. 튜브의 두께는 1mm, 튜브의 내경은 6mm, 하이드로포밍 확관공정에 필요한 성형압력은 238.4 MPa, 금형간의 마찰계수는 0.04 로 설정 하였으며 피딩속도(F.V)는 18~42 mm/sec 으로 3 mm/sec 간격으로 성형 후 피딩금형과 접촉하는 튜브의 지점을 X1, X3으로 두께를 확인하였으며, 확관부의 센터지점의 두께를 X2로 설정하여 튜브의 두께를 확인하였다.

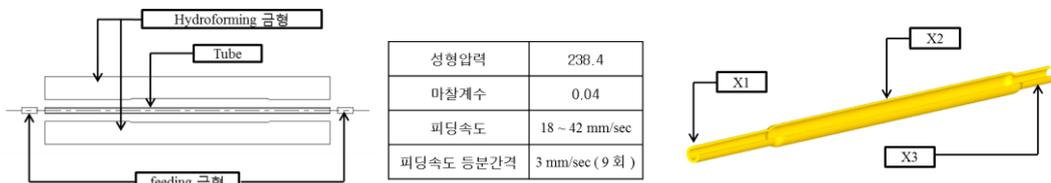


Fig.1 Simple diagram of tube hydroforming process

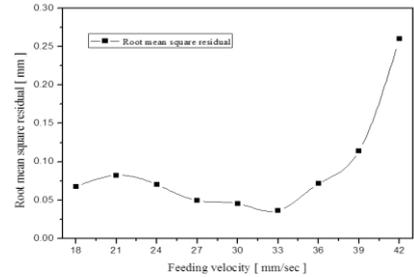
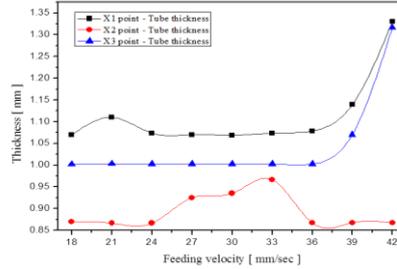
1. 동의대학교 기계공학과

2. 동의대학교 기계공학과

# 교신저자: 동의대학교 기계공학과, E-mail:63009@deu.ac.kr

### 3. 결과 및 고찰

Feeding Velocity	X1	X2	X3
18	1.069567	0.8695758	1.0022944
21	1.1098042	0.8662295	1.0033491
24	1.0740934	0.8663479	1.0028298
27	1.0703112	0.924791	1.0026675
30	1.068917	0.934779	1.002658
33	1.0731975	0.966227	1.002677
36	1.0787375	0.8667802	1.0026171
39	1.1390679	0.8669203	1.0702782
42	1.3310069	0.8673081	1.3170451



(a) Tube thickness of each Feeding velocity

(b) F.V - Thickness curve of process expanding tube

(c) F.V - Root mean square residual

**Fig.2 Results of the thickness of the tube expanding process analysis using the hydroforming**

Fig.2 의 (a)는 피딩속도에 대해 성형후 각 지점의 튜브의 두께를 나타내었으며, 선도는 Fig.2 의 (b)에 나타내었다. 피딩금형과 접촉하는 지점인 X1, X3의 두께는 18~36 mm/sec 까지 큰 변화 없이 일정하게 형성되지만, 이 구간의 X1의 평균두께는 초기 조건인 1 mm 보다 큰 1.078mm으로 약 7.8% 두꺼워지는 경향이 보이며, 36~42 mm/sec 에서는 피딩속도가 튜브 팽창속도보다 빨라 소재의 길이방향의 저항이 증가하여 X1, X3에서의두께가 증가하는 현상이 발생한다.

확관공정시 피딩속도와 압력과의 균형을 판단할수 있는 확관 중간지점인 X2의 두께를 보면 18~24 mm/sec 에서 일정한 두께가 0.867mm으로 초기두께보다 얇게 형성되며 이는 피딩량이 부족하다 보여진다. 피딩량은 피딩속도에 비례하므로 피딩속도가 높은 지점인 24~33 mm/sec 영역에서 0.966 mm 로 초기 튜브두께의 1mm에 근사되는 양상을 보이며, 피딩속도가 33 mm/sec 보다 빠른 영역에서는 피딩공정이 오히려 확관부 두께의 감소로 이어지는 현상이 나타났다.

각 지점의 두께가 초기 두께와 근접하면, 확관성형 후 튜브 내 특정지점에서의 두께가 초기 튜브 두께에 수렴하므로 잔차제곱평균제곱근(RMSR)을 이용하여 (c)와 같이 선도로 나타내었으며 성형압력 238.4 MPa 일때 피딩속도는 30~36 mm/sec 영역이 적합하다 판단되어진다.

두께변화가 가장 작은 33mm/sec에서 성형해석의 결과는 X1: 1.073mm, X2: 0.966mm, X3: 1.003mm, RMSR: 0.037mm으로 나타났다.

### 4. 결론

하이드로포밍공정을 이용하여 특정압력(238.4MPa)에서 튜브 확관을 공정을 수행하기 위하여 설계인자를 피딩속도 18~42mm/sec으로 강소성해석프로그램을 이용하여 분석하였다. 분석결과 피딩속도는 30~36 mm/sec 영역이 적합하다 판단 되어지고 33mm/sec에서 성형해석의 결과 X1: 1.073mm, X2: 0.966mm, X3: 1.003mm, RMSR: 0.037mm으로 나타났으며, 30mm/sec 이전의 영역은 피딩량이 부족하여 확관 중간부 두께가 감소하였으며, 36mm/sec 이후의 영역에서는 피딩금형과의 접촉지점의 두께가 증가하여 확관공정시 피딩속도로 사용하기에는 문제점이 있었다.

### 5. 후기

본 논문은 중소기업청의 기술혁신개발사업 [S2359118,이중관경의 250bar급 GDI엔진용 고압연료 공급관 개발] 과 구매조건부 신제품개발 사업의 일환으로 수행하였음.

### 참고문헌

[1] H. T. Lim, H. J. Kim, D. J. Lee, H. Y. Kim, 2006, Forming Analysis and Formability Evaluation for Aluminum Tube Hydroforming, Transactions of Materials Processing, Vol.15, No.2, 138~142

# 금형의 탄성변형을 고려한 요크 단조공정의 정밀해석

진호태<sup>1</sup> · 김민철<sup>2</sup> · 김광민<sup>3</sup> · 민두식<sup>3</sup> · 황태민<sup>3</sup> · 전만수<sup>#</sup>

## Precision analysis of a yoke forging process considering elastic deformation of dies

H. T. Jin, M. C. Kim, K. M. Kim, D. S. Min, T. M. Hwang, M. S. Joun

### Abstract

In this paper, three-dimensional precision analysis of a sequence of automatic multi-stage cold forging processes is conducted with emphasis on coupling die elastic deformation with material plastic deformation. The effect of die elastic deformation on the process and die stress is discussed and the related predictions are given with emphasis on die stresses and deformation.

**Key Words** : Automatic Multi-Stage Cold Forging (자동다단냉간단조), Coupled Analysis of Die and Material Deformations (금형-소재 변형 연계해석)

### 1. 서론

정형단조의 요구가 점점하고 있다[1, 2]. 승용차 조향장치용 요크의 단조 공법도 원가절감 및 품질향상의 차원에서 일체화 및 정형화의 방향으로 발전하고 있다. 일체화된 정밀 요크의 단조 공정의 개발에는 필수적으로 정밀단조시뮬레이션 기술이 필요하다. 일체화된 요크 단조 공정은 금형의 잦은 파손 및 제품의 스프링백에 의한 불량품 발생에 노출되어 있다. 따라서 요크의 단조공정 해석은 금형의 탄성변형과 소재의 스프링백을 고려한 해석이 필수적이다.

이 논문에서는 일체형 요크 단조공정의 개발 및 최적화 목적으로 수행된 공정해석 결과를 특히 금형의 변형 및 응력의 관점에서 상술하고자 한다.

### 2. 공정해석

Fig. 1에 개발 대상인 요크의 냉간단조품을 나타내고 있다. 이것은 주로 두 개의 단조품을 용접에

의하여 생산되고 있거나, 프레스 단조 공법에 의존하여 생산되어 왔다. 최근들어 프레스 냉간단조품이 자동다단공법으로 대체되는 속도가 가속되고 있다. 일체형 요크가 전형적인 예이다. 이 연구에서는 일체형 요크 단조공정의 해석에서 금형의 탄성변형을 강조하여 획득한 결과를 소개한다.

해석의 조건으로 소재는 SCM415이고, 금형-소재 접촉면에서의 마찰계수는 0.025로 가정하였다. Fig. 2에 사용된 금형 형상을 나타내었다. Fig. 3에 5단에서의 소재의 형상과 금형의 변형량 및 응력을 나타내었다. 금형의 최대 변형량은 0.15 mm로 나타났고, 금형의 최대 유동응력은 3300 MPa이다.



Fig. 1 Yoke design to be forged

1. 경상대학교 일반대학원 기계항공공학부  
2. 주식회사 엠에프알씨  
3. 성진포머 개발팀

# 교신저자: 경상대학교 기계항공공학부 / 공학연구원, E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

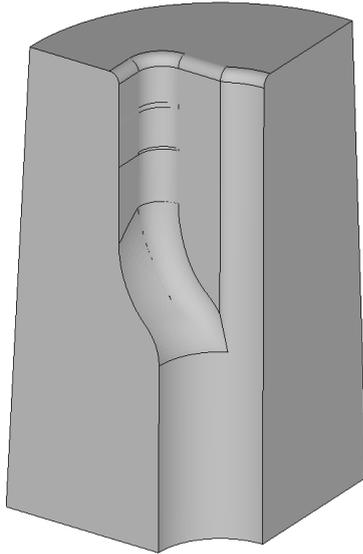
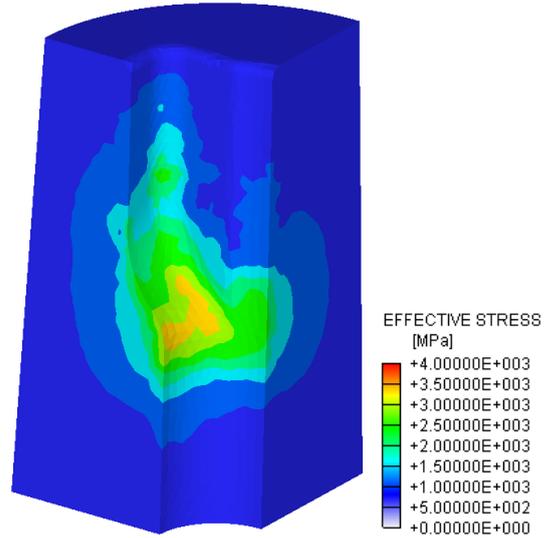
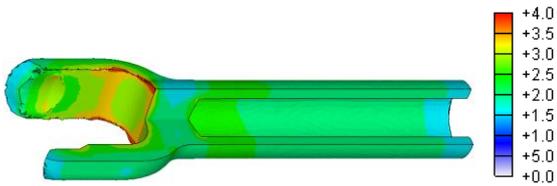


Fig. 2 Die geometries of the fifth stage, used for simulation

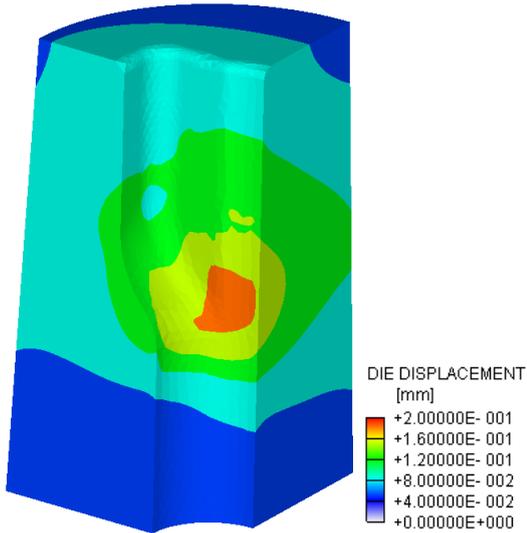


(c) Die stress

Fig. 3 Predictions of one-piece yoke cold forging process



(a) Effective strain of workpiece



(b) Die deformation

### 3. 결론

이 논문에서는 금형탄성변형 고려 정밀단조 공정 해석 기술을 이용한 일체형 요크의 자동다단냉간단조 공정 해석 결과를 제시하였다. 특히, 일체형 요크 냉간단조는 금형의 파손과 소재의 스프링백에 노출된 문제로, 금형의 강체 가정하에서 획득된 결과와의 비교를 통하여 금형의 탄성변형과 연계한 소재의 소성변형의 정밀 해석의 중요성을 강조하였다.

### 후기

본 연구는 중소기업청의 WC300프로젝트 기술개발지원사업(과제번호: S2415560)의 지원을 받아 수행된 연구임.

### 참고문헌

- [1] D. Y. Yang, 2015, Flexible manufacturing innovation in the shape manufacturing, ASPF, p. 16.
- [2] Isogawa, 2015, Trends of precision forging in Japan, ASPF, p. 10.

## 다목적 관리차용 연료탱크의 블로우 포밍 공법에 관한 연구

김병철<sup>1</sup> · 전만수<sup>2</sup> · 이상곤<sup>3</sup> · 김동환<sup>#</sup>

B. C. Kim, M. S. Joun, S. M. Lee, D. H. Kim

### Abstract

최근 세계 4륜구동 다목적 차량 시장은 신흥시장(아시아)의 급격한 수요 증가에 비해 서유럽 및 북미 시장의 비중은 축소되고 있다. 세계 4륜구동 다목적 차량 시장의 경쟁구도는 2006년 이후 전환기술 맞아 Triad 산업용 차량 업체들의 시장 점유율은 하락한 반면 아시아 업체들의 시장 지배력이 강화되고 있다. 농업용 다목적 차량은 농촌의 노동인구 감소와 고령화에 따른 노동력 부족에 대항하고 높은 노동 부담과 생산비용을 줄이기 위한 수요가 증가하고 있으며, 또한 국내에서는 농업기계의 효율적인 이용을 위하여 농기계부품 표준화 등의 개발이 요구되고 있다. 본 논문에서는 다목적 관리차용 연료탱크의 블로우 포밍 공법에 관한 연구를 하고자 한다. 블로우 포밍 성형은 플라스틱 사출 성형의 일종으로서, 2개의 맞붙인 시트 형상의 성형품, 또는 관상 성형품을 형틀 속에 넣고 공기를 내부에 불어넣어 중공품을 만드는 성형방법을 말한다. 자동차 및 다목적 관리차용 등의 주요 부품을 만드는데 사용되고 있다. CATIA프로그램을 이용하여 다목적 차량에 사용되는 연료탱크를 설계한 후 CAM소프트웨어를 사용하여 다목적 차량에 사용되는 연료탱크관련 블로우 몰딩 공법을 이용하여 해석에 관한 연구를 하고자 한다.

**Key Words** : Blow Molding, Fuel Tank, FE-Simulation, Prison, Plastic,

---

1. 경상대학교 재료공정융합공학과  
2. 경상대학교 기계항공정보융합공학부  
3. 대구 생산기술연구원  
# 교신저자: 한국국제대학교 항공부품공학과, E-mail: dhkim@iuk.ac.kr

# 납욕을 사용하지 않는 스트립강의 연속열처리 공정개발

김종식<sup>1</sup> · 김현일<sup>1</sup> · 임종호<sup>#</sup>

## Development of continuous heat treatment process for steel strip without Pb-bath

J. S. Kim, H. I. Kim, J. H. Lim

### Abstract

일반적으로 스트립 형태의 강 제조 공정에서 열처리는 용체화처리 후 냉각, 템퍼링 공정으로 이루어지며, 이때 납욕 또는 염욕이 사용되고 있다. 본 연구에서는 환경유해물질인 납욕을 대체하기 위해 냉각롤을 이용한 열처리 공정기술(퀵칭, 오스템퍼링)을 개발하고자 하며, 이를 위해 전산모사기법을 이용하여 해당 열처리 공정의 구현 가능성을 연구하였다.

**Key Words** : Die quenching, Computer Aided Engineering, Austempering, Pb-bath, Cooling-Roll Heat-treatment

### 1. 서론

세계적으로 스트립(strip) 형태의 강 제조 공정에서 열처리는 용체화열처리 후 냉각, 템퍼링 공정으로 이루어지고 있으며, 이를 위해 납욕 또는 염욕을 사용하고 있다. 환경 오염물질인 납욕의 사용시 열처리시 납 손실이 발생하고 납의 보충 및 제품 후처리가 필요하다. 생산현장 작업자의 위해환경 노출과 제품 표면의 잔류 납에 의한 사용상 문제점, 철자원 재활용시 납에 의한 문제가 발생하고 있다. 이에 따라 관련 제품 수출시 선진국에서는 유해물질 함량을 규제하는 움직임이 있다. 본 연구에서는 기존 납욕을 냉각롤로 대체함으로써 후처리 감소에 따른 생산성 향상 및 생산단가 절감, 친환경 공정 적용을 통한 환경문제를 해결할 수 있는 공정개발을 위해 전산모사를 이용하여 해당 공정의 구현 가능성을 연구하였다.

### 2. 실험방법

실험에 사용된 소재는 자동차 안전벨트 스프링강으로 사용되는 고탄소강(SAE1078)으로 화학 조성은 아래와 같다. JMatPro를 이용하여 소재의 CCT곡선과 TTT곡선을 구하였으며, 이를 바탕으로 열처리공정범위를 설정하였다. DEFORM 상용프로그램을 이용하여 냉각롤과 소재간의 배치 및 구조에 따른 열전달 해석을 수행하였다.

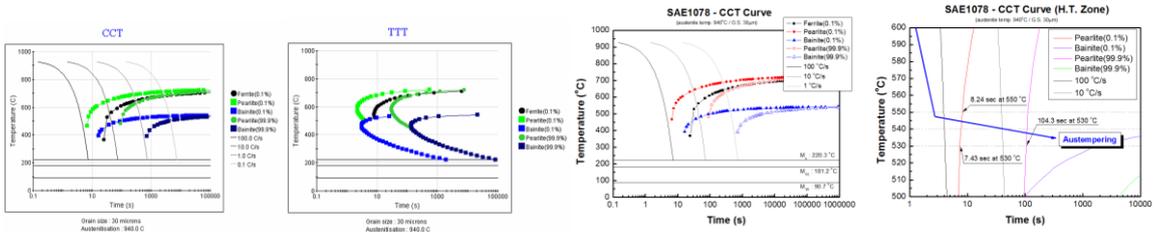
원소	C	Si	P	S	Mn	Ni	Cr	Cu	Al	Bal.
wt%	0.806	0.1875	0.012	0.002	0.38	0.0105	0.088	0.009	0.012	98.49

1. (재)포항금속소재산업진흥원

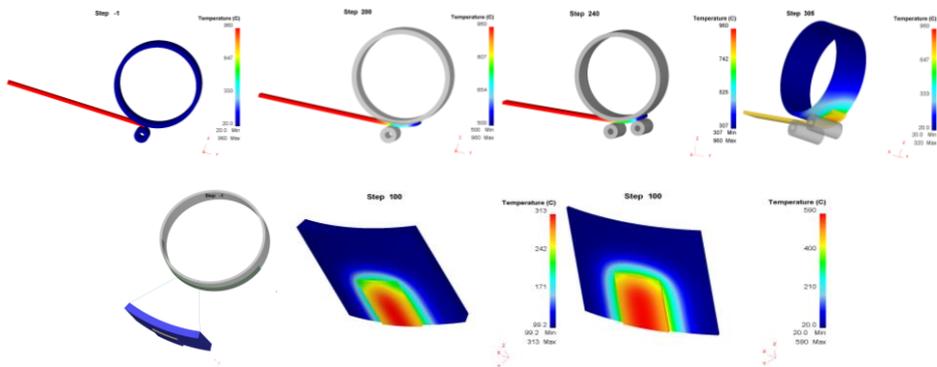
# 교신저자: (재)포항금속소재산업진흥원, E-mail: vigbell@pomia.or.kr

### 3. 결과 및 고찰

JMatpro를 이용하여 계산한 SAE1078강의 CCT곡선과 TTT곡선과 열처리 공정구간은 아래와 같다[그림1]. 냉각률을 이용하여 퀴칭 및 오스템퍼링 열처리를 위해서 펄라이트 개시 온도 곡선을 지나지 않아야 함으로 냉각속도는 초당 100도로 계산하였다. SAE1078강의 오스템퍼링 작업구간은 결정립이 작은 미세펄라이트를 얻기 위한 530~550도에서 90초간 유지하여야 한다. DEFORM을 이용하여 소재와 냉각률 사이의 열전달 해석을 수행하였으며, 메인롤과 가이드 역할을 하는 보조롤을 배치하여 열전달 접촉면을 늘이는 구조를 가지도록 하였다[그림2]. 냉각률 내부면에 냉각률 표면온도 제어를 위한 냉각을 실시함으로써 충분한 냉각효과를 얻을 수 있으며, 이를 통해 냉각률을 이용한 스트립강의 연속 열처리 공정개발이 가능함을 알 수 있다.



[그림1] SAE1078강의 CCT곡선 및 TTT곡선. 열처리공정조건



[그림2] 전산해석 결과

### 4. 결론

고탄소강(SAE1078)의 열전달 해석을 통해 냉각률을 이용하여 퀴칭 및 오스템퍼링 열처리가 가능함을 확인하였다. 세부적인 공정설계를 위해서는 추가적으로 금형 소재와 열처리 대상 소재간의 접촉열전달계수 및 소재의 결정립 모델 등 추가적인 연구가 필요하다.

## Ti-6Al-4V 합금의 고온 유동응력 예측을 위한 현상학적 응력-변형을 모델

명동준<sup>1</sup> · 광호빈<sup>1,2</sup> · 정기호<sup>2</sup> · 임성식<sup>2</sup> · 이명규<sup>#</sup>

### Phenomenological Constitutive Model for Flow Behavior of Ti-6Al-4V at High Temperature and Various Strain Rates

D.J. Myung, H.B. Kwak, K.H. Jung, S.S. Lim, M.G. Lee

#### Abstract

In this study, a flow stress model for Ti-6Al-4V alloy at various temperatures and strain rates were proposed. The flow stress model is based on conventional Arrhenius type phenomenological model, but the two regions, high and low stress levels, are considered depending on the magnitude of flow stress. However, since the experimental results showed intermediate responses between the two regions, a new method for predicting the flow stresses between the high and low stress levels was proposed by the combination of the flow stress equations at high and low regions. The model parameters were identified from the isothermal hot compression tests using the Gleeble-3500 simulator. The calculated stress-strain curves at various testing conditions were compared with those from experiments to validate the proposed model.

**Key Words :** Ti-6Al-4V (타이타늄합금), phenomenological model(현상학적 모델), flow stress(유동응력), Arrhenius type equation, isothermal hot compression(등온열간압축)

---

1. 고려대학교 신소재공학부

2. 한국생산기술연구원

# 이명규: 고려대학교 신소재공학부, E-mail:myounglee@korea.ac.kr

## 적외선 히터를 적용한 에너지절감형 압출 컨테이너 개발

민경호<sup>1</sup> · 배성환<sup>1</sup> · 신영철<sup>2</sup> · 최호준<sup>2, #</sup>

### Development of energy-saving extrusion container applying an infrared heater

K. H. Min, S. H. Bae, Y. C. Shin, H. J. Choi

#### Abstract

In generally, an extrusion container has the function of supporting the liner in order to prevent a breakage of the liner under high extrusion pressures during the extrusion process. And the temperature of the billet should be controlled as of it is taken out the container until it passes through a homogenously heated die. However, the necessary long-term time for warming up to the oven by cartridge type heaters causes not only considerable energy consumption, but also significantly decreasing productivity. At present containers, which typically have horizontal two temperature control zones(back and forth), the cartridge type heaters are positioned in the proximity of the liner. Consequently, it is difficult to produce a sound extruded material because the temperature deviation between the upper and lower portion is not considered. The idea of an uniform container temperature has been touted as the optimal extrusion condition for isothermal extrusion. The aim of this study is to estimate the influences of infrared heater on energy efficient and to minimize the temperature deviation for manufacturing uniform extruded material by both vertical and horizontal four temperature control zones. As a result, thermal measurements have proved that the temperature difference between the top and the bottom of the liner is approximately equal( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) during the extrusion process. And the experiences have shown that the container using infrared heater designed to heat the liner primarily and not the container mantle, can decrease the costs of the utilized energy by up to 30% in comparison with cartridge type heater. At the same time, long termed savings are also provided with extended mantle life-time.

**Key Words:** Infrared heater, Extrusion, Container, Energy-saving, Cartridge type heater

---

1. ㈜선우엔지니어링

2. 한국생산기술연구원

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

## 적외선 히터를 적용한 에너지절감형 금형예열로 개발

신영철<sup>1.#</sup> · 민경호<sup>2</sup> · 배성환<sup>2</sup> · 임성식<sup>1</sup> · 임성주<sup>1</sup> · 최호준<sup>1</sup>

### Development of energy-saving extrusion dies oven applying infrared heater

Y. C. Shin, K. H. Min, S. H. Bae, S. S. Lim, S. J. Lim, H. J. Choi

#### Abstract

Al extrusion process has typically spent a lot of energy for heat-related process, such as dies heating, container heating, billet heating and aging. Because most of heat-treatment was conducted by the electric heater, electric charges accounts for a very high portion in the extrusion manufacturing cost. Therefore, energy-saving can be regarded as an important factor for determining the competitiveness of the extrusion company. The aim of this study is to develop the dies oven for energy-saving during the pre-heated process of extrusion dies. Applying high-efficiency infrared heater, single cell dies oven was developed instead of the traditional chest type oven. Therefore the dies is individually heated uniformly to operation temperature so rapidly. Not only reducing power consumption of the heater but also minimizing the waiting time in the oven, the unnecessary electric energy will be significantly decreased. In addition, the results have shown that it is possible to accurately control the dies temperature for improving the quality of extruded profile and to minimize die bearing oxidation and nitride layer degradation responsible for surface defects on the profile and shorter die life.

**Key Words** : Dies oven, Energy-saving, Infrared heater, Extrusion, High-efficiency

---

1. 한국생산기술연구원

2. ㈜선우엔지니어링

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

## 비관계 유동법칙을 적용한 판재의 소성 이방성 예측

이기정<sup>1</sup> · 최홍진<sup>1</sup> · 최유미<sup>1</sup> · 배기현<sup>2</sup> · 안덕찬<sup>2</sup> · 이명규<sup>#</sup>

### Evaluation of Anisotropic Behavior of Steel Sheets using Non-Associated Flow Rule

K. J. Lee, H. J. Choi, Y. M. Choi, K.H. Bae, D.C. Ahn, M.G. Lee

#### Abstract

In general, the plastic deformation has been commonly described by the associated flow rule, in which the plastic strain increment is calculated based on the plastic stress potential or yield function. This approach has been well implemented in the sheet metal forming community, but increase of material parameters for more robust anisotropic yield functions such as Yld2000 was inevitable to describe complex anisotropic nature of sheet metals. As an alternative to this approach, a non-associated flow rule has been used to describe this complex anisotropy but using simpler yield functions. For example, the Hill1948 model can be used for describing the directional differences in both r-value or yield stress under this non-associated flow rule. In this study, we measured the anisotropies of two steel sheets, DP490 and TRIP1180, then both associated and non-associated flow rules were evaluated by employing the Hill1948 and Yld2000-2d yield criteria, which were implemented in the user material subroutines of a commercial finite element software.

**Key Words** : Anisotropy, Associated flow rule, Non-associated flow rule, Lankford coefficient, Yield function

---

1. 고려대학교 신소재공학부

2. 포스코

# 교신저자: 고려대학교, E-mail: myounglee@korea.ac.kr

# LNG용 Mechanical Spring type Single Acting Actuator 피로분석

이기훈<sup>1</sup> · 예상돈<sup>1#</sup> · 허관도<sup>1</sup>

## Fatigue Analysis of Mechanical Spring type Single Acting Actuator for LNG

K. H. Lee, S. D. Ye, K. D. Hur

### Abstract

상선에 LNG를 연료로 사용하는 LNG연료추진선박 건조와 연구가 급증하고 있으며, HFO를 대체하려는 기존 선박의 수도 증가 추세이다. LNG 연료 추진선박에 LNG를 공급하기 위한 LNG 병커링 셔틀(선박)이 증가하게 되면서 LNG연료추진선박과 병커링 선박의 안전과 관련된 Emergency Shutdown(ESD)기술과 설비들의 개발 및 연구가 강하게 요구되고 있다. 따라서 연구가 필요한 LNG연료추진선박의 Actuator Remote control system의 Emergency Shutdown 핵심 부품인 Mechanical Spring type Single Acting Actuator를 피로분석 하였다.

**Key Words** : Finite Element Method(유한요소법), Fatigue Analysis(피로분석), Actuator(액추에이터)

### 1. 서론

상선에 LNG를 연료로 사용하는 LNG연료추진선박 건조와 연구가 급증하고 있으며, HFO를 대체하려는 기존 선박의 수도 증가 추세이다. LNG 연료 추진선박에 LNG를 공급하기 위한 LNG 병커링 셔틀(선박)이 증가하게 되면서 LNG연료추진선박과 병커링 셔틀의 안전과 관련된 Emergency Shutdown(ESD)기술과 설비들의 개발 및 연구가 강하게 요구되고 있다. LNG용 ESD ARC 핵심 부품으로 Actuator ESD Block, Mechanical Spring Pack, Deck Box ESD Block, Single Acting Actuator 등으로 구성되어 있다. 액추에이터는 Disc Spring에 의해 힘을 받게 되며, 하우징과 결합되어, 내압에 의한 랙의 이동에 따라 Spring에 의해 힘을 받게 된다.

본 논문에서는 LNG용 Mechanical Spring type Single Acting Actuator 피로분석을 통해, 액추에이터의 안전성을 검토 하였다.

### 2. Single Acting Actuator의 유한요소해석

LNG용 Mechanical Spring type Single Acting Actuator를 피로분석하기 위해, 유한요소해석을 수행 하였다. Fig. 1과 같이 Single Acting Actuator의 해석 모델, Mesh, 경계조건을 구성하였다. 액추에이터의 작동방법은 하우징에 유압을 주입하여 랙을 전, 후진 시켜 Disc Spring Stopper를 밀어 Disc Spring을 인장, 압축 시켜 적은 유량과 높은 토크를 통해 밸브를 동작 시킨다. 액추에이터용 플렌지의 재료로는 S45C를 사용 했으며, Table 1은 S45C의 기계적 물성치를 나타내고 있다. 피로해석을 위한 피로방정식은 Goodman fatigue equation을 사용했고, 응력비 R값은 0으로 적용하였다.

1. 동의대학교 기계공학과

# 교신저자: 동의대학교 기계공학과, E-mail:63009@deu.ac.kr



## 열간 금형강 보수방법에 따른 내마모성 평가

이성윤<sup>1,2</sup> · 이인규<sup>1</sup> · 조용재<sup>1</sup> · 김다혜<sup>1</sup> · 고대철<sup>2</sup> · 이상곤<sup>#</sup>

### Evaluation of Wear Characteristics of Repair method of Hot-Working Tool Steels

S. Y. Lee, I. K. Lee, Y. J. Cho, D. H. Kim, D. C. Ko, S. K. Lee

#### Abstract

This paper describes the tool life of die. The wear of die is more likely to occur in the complex shape and high contact pressure. The wear-damaged die reduce the accuracy of product. In this problem is repaired through the overlaying welding or replacement process. Generally, welding process has the defects such as dimensional changes, crack and pore. Thus, improved repair method is required for die. In this study, a method was proposed to repair the die by using the additive manufacturing(metal 3D print)process. The pin-on-disk test was conducted to evaluate wear resistance according to the different repair conditions(3D printing-STD61, Welding-STD61, Nomal-STD61). Finally, the improved repair method was verified through the comparative evaluation of wear resistance.

**Key Words** : STD61, DED, 3D printing, Wear, Pin-on-disk test

#### 1. 서론

금형은 열간 단조, 압출, 프레스공정의 핵심 부품으로 복잡한 형상을 갖는 제품의 대량생산에 사용되며, 시대적 요구에 따라 제품의 높은 정밀도 및 금형수명 향상이 요구된다. 금형수명에 미치는 인자는 마모, 소착, 피로 등이 있으며, 이중 마모는 제품의 치수정밀도에 직접적인 영향을 미치는 요인으로 과도한 마모 발생시 금형 교체 및 보수가 수행된다. 일반적인 금형보수방법은 마모가 발생한 표면에 용접을 이용한 육성용접이 수행된다. 하지만 육성용접의 경우 기술자의 의존도가 높고 치수상의 결함 및 구조상의 결함을 가지고 있어 실질적인 금형보수에 어려움을 겪고 있다. 최근 이러한 문제점의 해결 방안으로 3D 프린팅을 이용한 금형보수가 대두되고 있다. 3D 프린팅공정 중 DED(Direct metal deposition)은 모재위에 레이저와 분말을 분사하여 적층하는 기술로 기존 금형과 동일한 분말을 사용한 적층이 가능하며 육성용접에 비해 정밀한 보수가 가능한 장점이 있다[1]. 하지만 고온마모특성에 대한 연구가 미미한 실정이다. 따라서 본 논문은 3D 프린팅 공정 중 하나인 DED 공정을 적용하여, 보수방법(Nomal-STD61, DED-STD61, Welding-STD61)에 따른 내마모성 평가를 통해 DED 공정의 금형보수 적용가능성을 평가하였다. 적용 소재는 열간 금형강 STD61을 사용 하였으며, 평가 방법은 열적, 기계적 물성을 고려한 마모시험을 통해 보수방법에 따른 내마모성 및 마모거동을 평가하였다.

1. 한국생산기술연구원 극한제조기술그룹

2. 부산대학교 융합학부

# 교신저자: 한국생산기술연구원 극한제조기술그룹, E-mail:sklee@kitech.re.kr

## 2. 실험 및 결과

시험에 적용된 소재는 STD61로 산업현장에서 널리 사용되는 열처리조건으로 제작되었다. 육성용접의 소재는 산업현장에서 일반적으로 사용되는 열간 금형강의 보수용 용접재 및 용접공정을 STD61위에 적층하여 제작하였다. DED 공정의 소재는 모재와 동일한 분말을 STD61위에 적층하여 제작하였다. 적층 높이는 DED 공정과 육성용접 모두 약 15mm를 적층 하였으며, 마모 시험편 핀(pin) 가공 시 적층 방향이 마모가 일어나는 방향으로 제작하였다. 마모시험의 상대소재는 제품 치수정밀도에 지배적인 영향을 미치는 연삭마모를 유도하기 위해 하이스강(HrC 62.7)을 적용하여 마모시험을 수행하였다. 마모시험 조건은 분위기 온도 400℃에서 하중 30N, 속도 120mm/s, 슬라이딩거리 50m x 10회 총 500m를 수행하였다.

슬라이딩거리 500m에서 마모체적은 기존 STD61에서 0.015mm<sup>3</sup>, DED 보수 공정에서 0.014mm<sup>3</sup>, 육성용접 보수공정에서 0.065mm<sup>3</sup>로 기존 STD61과 DED 보수공정이 유사한 마모체적을 나타내었다. 반면 육성용접 보수공정은 다른 보수공정에 비해 가장 높은 마모체적을 나타내었다. Fig. 1은 핀의 수평방향 및 수직방향의 마모면을 나타낸 것이다. 기존 Nomal-STD61과 DED-STD61 보수공정은 마모면에 플라우잉(plowing) 연삭마모가 지배적으로 발생하는 반면 Welding-STD61은 미소균열(micro cracking)에 의한 연삭마모가 지배적으로 나타났다.

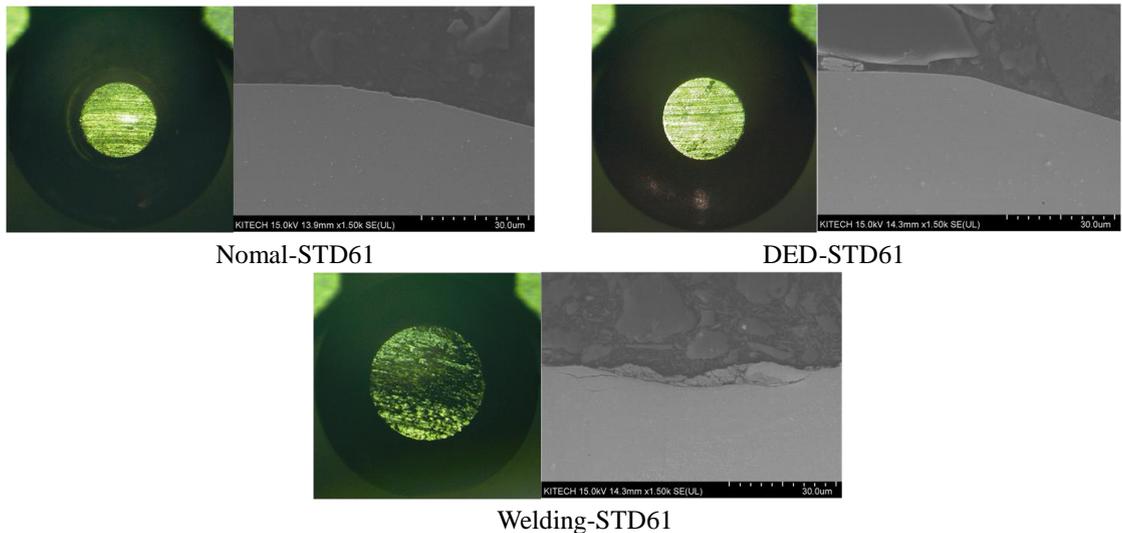


Fig. 1 The microstructure of the wear area

## 3. 결론

본 연구는 금형강 보수방법(Nomal-STD61, DED-STD61, Welding-STD61)에 따른 내마모성 평가를 수행하였다. 내마모성 평가는 pin-on-disk 시험을 통해 마모체적 및 마모거동을 확인하였다. DED-STD61과 Nomal-STD61은 유사한 내마모성을 가지는 반면 Welding-STD61이 상대적으로 낮은 내마모성을 보였다. 이는 Welding-STD61이 미소균열에 의한 연삭마모 발생으로 상대적으로 낮은 내마모성을 갖은 것으로 평가된다. 향후 보수 방법에 따른 재료적 특성 및 기계적 특성 평가도 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] J. S. Park, J. H. Park, M. G. Lee, J. H. Sung, K. J. Cha, D. H. Kim, 2016, METALL MATER TRANS A, Vol. 47A, 2529~2535.

# 유한요소해석을 이용한 냉간 점진 롤 성형 공정설계

이인규<sup>1,2</sup> · 이성윤<sup>1</sup> · 정명식<sup>1</sup> · 김병민<sup>3</sup> · 이상곤<sup>#</sup>

## Design of Cold Incremental Roll Forming Process Using Finite Element Analysis

I. K. Lee, S. Y. Lee, M. S. Jeong, B. M. Kim, S. K. Lee

### Abstract

The cold incremental roll forming(CIRF) is one of the green manufacturing processes because the material waste can be minimized comparing the conventional machining process. The principal benefits of the CIRF are concise die set, improved productivity, low forming load, and excellent dimensional accuracy. However, The process design of the CIRF is difficult to manufacture the product because the dimensional accuracy of the product depends on many process variables such as the size of the roll-head, the mandrel feeding rate, the radius of rotation of the roll-head. Thus, to achieve the process design of the CIRF, a numerical approach by finite element analysis is required.

The objective of this paper is to design the CIRF process. In order to evaluate the formability of the CIRF according to the process variables, the finite element analysis(FEA) was performed. Based on the FEA results, a CIRF experiment was conducted to evaluate the effectiveness of the FEA. As a result, it can be possible to effectively manufacture the product through the CIRF.

**Key Words** : Cold Incremental Roll Forming, Drum clutch, Finite Element Analysis

### 1. 서론

드럼클러치(Drum clutch)는 자동차 변속기의 치형부품으로 고정밀, 고강도, 고내구성이 요구되어 기계가공과 소성가공을 병행하여 제조되고 있다. 하지만 기계가공은 절삭에 따른 과도한 재료 손실 및 제품의 강도 저하 등의 문제점이 있다[1]. 최근 이러한 문제점을 개선하기 위해 치형부품 제조를 위한 롤 다이 성형 공정 등의 소성가공 기술 개발이 지속적으로 진행되고 있는 추세이다[2]. 하지만 롤 다이 성형 공정은 정밀 치형 성형을 위해서 공정수를 증가시켜야 하기 때문에 생산성 저하 및 제품 단가 상승 등의 문제점이 있다. 따라서 기존 공정을 대체하며 공정 수를 줄일 수 있는 새로운 제조기술이 요구된다. 본 논문에서 소개하는 냉간 점진 롤 성형(Cold Incremental Roll Forming, CIRF) 공정은 소재 손실 감소, 제품의 강도 및 생산성을 확보 할 수 있는 소성가공 공정으로 금형 구조가 간소한 장점이 있다. 하지만 국내에서는 CIRF공정 기술이 미흡한 실정으로 공정설계에 많은 어려움을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 CIRF의 공정 설계를 위해 유한요소해석을 이용하여 공정변수에 따른 성형성을 평가하였으며, 그 유효성을 평가하기 위해 실험적 검증을 수행하였다.

1. 한국생산기술연구원 대경지역본부 극한제조기술그룹

2. 부산대학교 정밀가공시스템전공

3. 부산대학교 기계공학부

# 교신저자: 한국생산기술연구원 대경지역본부 극한제조기술그룹, E-mail:sklee@kitech.re.kr

## 2. CIRF 공정 해석 및 결과

본 논문에서는 드럼클러치 소재인 SAPH440 3.4t 소재를 유한요소해석 툴 DEFORM 3D에 적용하여 공정 해석을 수행하였다. 유한요소해석은 드럼클러치의 대칭성을 고려하여 1/15 모델을 적용하였으며, 해석의 효율성을 위해 롤-헤드(Roll-head) 3개를 연속적으로 배치하여 맨드릴(Mandrel)회전을 대체하였다. 또한, CIRF의 주요 공정변수 중 하나인 맨드릴의 이송거리는 각 조건에 따른 성형성을 평가하기 위해 1mm, 3mm로 설정하였으며, 롤-헤드의 직경, 회전반경, 회전속도 조건은 각 74mm, 80mm, 125rad/s로 고정하여 유한요소해석을 수행하였다.

Fig. 1의 (1)에 해석결과를 나타내었다. 맨드릴 이송거리가 1mm인 경우에는 골부(a)에서 1.93mm, 측벽부(b)에서 1.82mm, 산부(c)에서 2.10mm의 최대치수를 보였으며, 3mm인 경우에는 골부(a)에서 1.94mm, 측벽부(b)에서 1.83mm, 산부(c)에서 1.99mm의 최대 치수를 보였다. 결과적으로 맨드릴 이송거리 3mm 조건의 치형 형상이 목표치수에 잘 부합하는 결과를 보였다.

## 3. CIRF 공정 실험 및 결과

유한요소해석의 유효성을 평가하기 위해 해석결과에서 양호한 치형 형상을 보인 맨드릴 이송거리 3mm 조건을 적용하여 CIRF 공정 실험을 수행하였다. 실험 결과는 Fig. 1의 (2)에 나타내었다. 골부(a)에서 1.94mm, 측벽부(b)에서 1.98mm, 산부(c)에서 1.99mm의 최대 치수를 보였으며, 유한요소해석과 잘 일치하는 결과를 보였다.

## 4. 결론

이상의 연구 결과로부터 맨드릴의 이송거리가 치형 정밀도에 미치는 영향을 확인하였다. 향후 롤-헤드의 직경, 회전반경, 속도에 따른 성형성 평가도 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

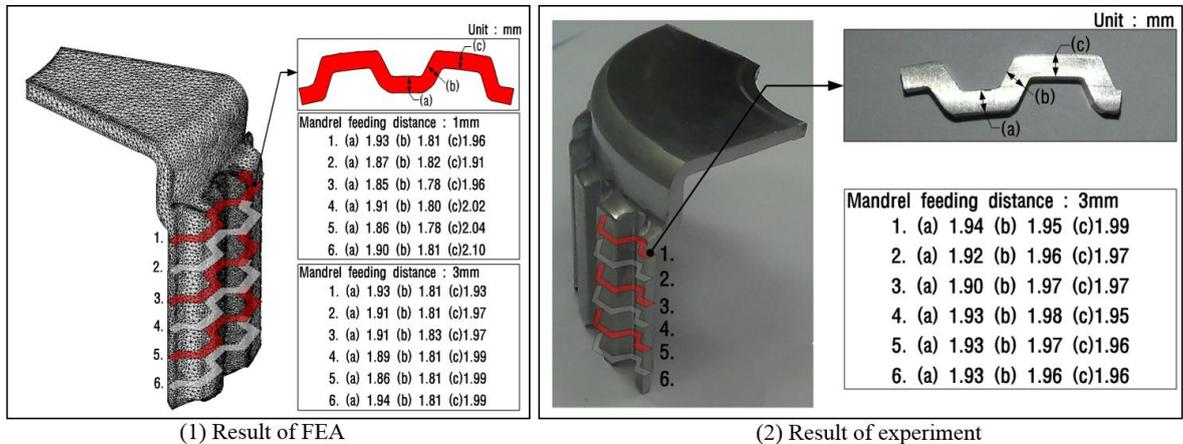


Fig. 1 Result of FEA and experiment

## 참고문헌

- [1] Y. C. Chang, Z. M. Hu, B. S. Kang, T. A. Dean, 2002, A Study of Cold Ironing as a Post-Process for Net-Shape Manufacture, Int. J. Mach. Tools Manuf., Vol. 42, No. 8, pp. 945~952.
- [2] D. H. Ko, S. K. Lee, Y. N. Kwon, S. W. Kim, B. H. Kim, B. M. Kim, D. C. Ko, 2012, Improvement in Dimensional Accuracy of Roll-Die-formed Clutch Hub Used in Automotive Transmission, Int. J. Precis. Eng. Manuf., Vol. 13, No. 2, pp. 237~243.

# 자동변속기용 헬리컬 기어 냉간단조에 대한 연구

이재은<sup>1</sup> · 양한성<sup>1</sup>

## A Study on the Cold Forging of Helical Gear for Automatic Transmission

J. E. Lee, H. S. Yang

### Abstract

자동차용 기어들은 클러치 기어를 중심으로 하여 스피어 기어, 베벨 기어에 이르기까지 다양한 종류의 기어가 단조공정으로 제조되고 있다. 헬리컬 기어(Helical Gear)의 경우 치형이 단조방향과 헬릭스 각도(Helix Angle)만큼 경사져 있기 때문에 치수정밀도를 충족시키기 어려우며, 금형에 과도한 하중이 걸리기 때문에 금형수명의 부족으로 국내에서는 대부분 기계가공으로 생산되고 있는 실정이다. 그러나, 선진국의 경우 오래 전부터 냉간단조에서 헬리컬 기어의 치수정밀도 및 금형수명 향상에 대한 연구가 활발히 이루어져 현재는 대량생산 중에 있다.

본 연구에서는, 자동변속기에 적용되고 있는 피니언 기어(Pinion Gear)에 대해 생산성 향상을 위해 2 piece의 압출 방식(Extrude method)의 냉간단조를 제안하였다. 인벌류트 곡선(Involute Curve)로 구현되는 자동변속기용 헬리컬 기어에 대해 평가하기 위해서는 이를 형상화하기 위한 프로그램을 필요하기 때문에, 학교 및 산업현장에서 널리 사용하고 있는 AutoCAD에서 VisualLISP을 이용하여 수치적 알고리즘을 설계하여 치형설계 프로그램의 개발하였다. 또한, 이를 기반으로 작성된 3D 모델링을 가지고 3차원 유한요소 해석을 통해 성형성을 평가하였으며, 그 결과를 바탕으로 선삭, 열처리, 연삭 공정을 통해 헬리컬 기어를 제작하였다.

**Key Words** : Helical Gear(헬리컬 기어), Cold Forging(냉간단조), FE-Simulation(유한요소해석)

---

1. ㈜센트랄

# 교신저자: 센트랄 구동설계팀, E-mail:jelee@ctr.co.kr

# 고속철도 차량용 경량 액슬박스 개발

전응식<sup>1</sup> · 황원주<sup>2</sup> · 남학기<sup>#</sup>

## Development of Lightweight Axlebox for High-Speed Railway Vehicle

E. S. Jeon, W. J. Hwang, H. G. Nam

### Abstract

액슬박스는 차축에 설치되어 1차 현가장치를 통해 차량의 무게를 지지하는 매우 중요한 구조물이며, 액슬박스의 중량을 포함한 스프링하 질량은 차량의 동적특성과 궤도손상에 영향을 미치는 요소로서 이의 경량화는 철도차량의 주요 설계목표 중 하나이다. 본 연구에서는 주강으로 제작되고 있는 국내 고속철도차량의 동력차용 액슬박스를 50% 가까이 경량화 한 알루미늄 합금의 단조품으로 개발하였으며, 구조적인 성능 검증을 위해 하중 시험과 내구성 시험을 수행할 예정이다.

**Key Words** : Axlebox, High-Speed Railway

### 1. 서론

액슬박스는 철도차량의 차축에 설치되어 1차 현가장치를 통해 주행장치와 차체의 중량을 지지함과 동시에 전후 및 좌우방향의 움직임을 제한하여 차량 주행 시 차량이 선로의 상황에 따라 정확히 추종하도록 하는 매우 중요한 구조물로서 차량의 중량 뿐만 아니라 주행 중 발생하는 진동이나 외부의 비산물에 의한 충격에도 충분히 견딜 수 있는 구조강도를 확보하고 있어야 한다. 또한 그 크기가 클수록 궤도에 손상을 줄 수 있는 스프링하 질량(Unsprung mass)을 낮추기 위해 액슬박스의 중량이 적을수록 유리하다고 할 수 있다. 이에 현재 주강으로 제작되고 있는 고속열차 동력차량의 액슬박스를 분석하고 여러 종류의 경량재질과 제작방법을 검토하여 기존 중량 대비 30% 이상 경량화 한 액슬박스를 개발하고자 하였다.

### 2. 재질 선정

현재 국내에서 운행되고 있는 고속열차인 KTX와 KTX 산천의 동력차량에는 주강재질인 GE280N으로 제작된 액슬박스가 적용되어 있으며, 여러 가지 분석을 통해 이를 대체하기 위한 재질로서 알루미늄 합금 7050(단조), 알루미늄 합금 EN AC 42200(주조), 구상흑연주철, 오스템퍼드 구상흑연주철(ADI), 마그네슘(AZ31) 등을 선정하여 검토하였다.



Fig.1 액슬박스 형상 및 구조

액슬박스가 경량화 되더라도 기존의 구조강도를 유지해야 하므로 구조해석을 통해 기존 재질과 경량재질을 적용한 액슬박스의 정적강도와 피로강도를 비교하였다. 해석결과, 기존 액슬박스의 정적강도 안전율이 1.85임을 확인할 수 있었으며, 이 이상의 안전율을 가지는 재질은 알루미늄 합금 7050과 오스템퍼드 구상

1. 현우시스템 책임연구원a

2. 현우시스템 책임연구원

# 교신저자: 현우시스템 대표, E-mail:hgnam@hw-system.co.kr

흑연주철로 나타났고 피로강도 또한 안전영역 이내임을 확인하였다. 두 경량재질 중 기계적인 특성(취성, 인성, 연성)과 제작성 등을 기존 재료와 비교하여 최종적으로 알루미늄 합금 7050으로 선정하였다.

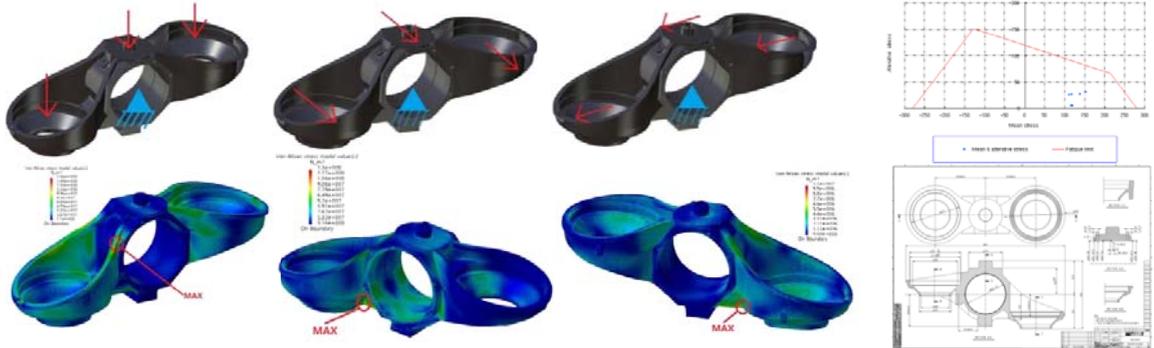


Fig.2 액슬박스 하중조건 및 해석결과와 최종 설계안

최종적으로, 선정된 경량재질을 적용하여 현가장치와 차축이 조립되는 인터페이스 영역을 제외하고 구조 강도를 유지하면서 중량을 최소화하도록 형상을 보완하여 기존 액슬박스 보다 다소 커진 경량 액슬박스 설계를 확정하였다.

### 3. 제작

기존 액슬박스는 기본형상을 주조한 후 조립부분을 가공하여 제작되나, 본 연구에서 설계된 경량 액슬박스는 선정된 재질을 단조한 후 조립부분을 가공하여 제작하여야 한다. 그러나 국내에서는 개발을 위한 소량의 단조가 현실적으로 많은 어려움이 있어 해외의 전문업체를 통해 자유 단조로 기본형상을 제작하고 이를 국내에서 가공하여 경량 액슬박스를 제작하였다.



Fig.3 경량 액슬박스 제작 - 단조 및 가공

### 4. 결론

최종 제작 완료된 경량 액슬박스의 중량은 약 40.78kg으로서 기존 액슬박스의 중량인 80kg에 비해 48.8%의 경량화가 이루어졌으며, 이는 연구 목표인 30%를 크게 상회하는 결과이다. 향후 개발된 경량 액슬박스의 구조적인 성능 입증을 위해 하중 시험과 피로 시험을 수행할 예정이며, 현재 시험 장치와 지그가 제작 중에 있다. 강도입증이 완료되면 1 대차 분의 수량(4 sets)을 추가로 제작하여 주행시험대를 이용한 주행안전성능 시험을 수행하는 등 실용화를 위한 최종적인 검증을 수행할 계획이다.



### 후기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(과제번호 15RTRP-B067706-03)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 현우시스템, 2014, 액슬박스 부품 및 제작사양서, RN1401-P021.
2. BSI, 2011, Railway applications – Wheelsets and bogies – Method of specifying the structural requirements of bogie frames, BS EN 13749.
3. UIC, 2003, Motive power units – Bogies and running gear – bogie frame structure strength tests, UIC 615-4.

## 일체형 오일리스 기어 제조를 위한 분말 압축성형 유한요소 해석

최용진<sup>1</sup> · 정명식<sup>#</sup> · 이상곤<sup>1</sup> · 황선광<sup>1</sup> · 이인규<sup>1</sup> · 정재훈<sup>2</sup>

### Finite Element Simulation of Powder Compaction Process for Integrated Oilless Gear

Y. J. Choi, M. S. Jeong, S. K. Lee, S. K. Hwang, I. K. Lee, J. H. Jung

#### Abstract

This paper aims to estimate the interfacial form of integrated oilless gears fabricated by a powder compaction process using finite element analysis. A constitutive equation was derived using the yield function of a porous material for numerical analysis as suggested in the previous study. The analysis was performed by applying the constitutive equation to DEFORM-2D, a common finite element analysis tool. The oilless gear is divided into its bearing and gear parts, which have different material properties. Subsequently, after considering the forming sequence of each part as a process variable, we analyzed the changes in the interfacial form. In conclusion, we verified that the estimate model of the material properties can be used for designing integrated components of the powder compaction process with the help of a commercial finite element tool.

**Key Words** : Powder Compaction, FE Simulation, Powder Metallurgy

#### 1. 서론

분말야금 공정은 높은 생산성, 낮은 생산 비용, 정형가공 등의 장점으로 자동차 및 정밀기계부품 산업에 폭넓게 적용되고 있다. 분말야금 공정 중 하나인 분말 압축성형 공정의 설계를 수치해석적으로 접근하기 위해 수년간 다양한 연구들이 수행 되었다[1]. 그러나 여전히 생산 현장에서는 경험자의 반복적 시행착오로 공정설계가 되고 있는 실정이다. 분말성형 공정설계에 수치해석적 접근방법은 과도한 시간과 비용 발생을 절감할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 서로 다른 밀도와 물성을 가지는 두 소재의 동시성형 공정에 수치해석 기법을 적용하여 오일리스 일체형 기어의 계면형상을 분석 하였다.

#### 2. 분말재료의 항복함수와 구성방정식

분말 압축공정의 유한요소 해석을 위해서는 다공질 재료의 항복 모델이 적용 되어야 한다. 분말재료는 정수응력(volumetric stress)에 의해서도 부피가 변화되므로 식 (1)과 같이 정수 응력항을 포함하는 항복함수를 사용하여야 한다. 본 연구에 적용된 항복함수는 수정된 Shima-Oyane 모델을 활용하였다[1].

식 (1)의 A, B로 표현되는 매개변수는 상대 밀도의 함수로 표현되는 값이다.  $\delta$ 는 상대 밀도의 함수로 '기하학적 경화' 또는 '치밀화 경화'라 한다.  $J_1, J_2, R$ 은 각각 1차 응력 불변량, 2차 편차응력 불변량, 재료의 상대밀도이다.  $\mu_{DUM}$ 은 분말이 특정 상대밀도 이하의 값을 가질 때도 모델을 적용 할 수 있도록 도입한 값이며, 이는 본 모델이 1축 응력상태의 항복함수 조건을 만족할

1. 한국생산기술연구원

2. 대광소결금속㈜

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

수 있도록 정의된 값이다[1].

소성이론을 기본으로 한 다공질 재료의 구성방정식을 유도 하기 위해 식 (1)에 유동 법칙(associated flow rule)을 적용 하였다(식 (2)). 이를 정리하면 식(3)과 같이 정수응력 항과 편차응력 항으로 표현된다. 이때 비례 계수  $\lambda$ 은 식 (4)의 work rate( $\dot{w}$ )를 이용하여 식 (5)와같이 표현되며, 비례계수  $\lambda$ 은 변형을 속도 성분과 유효응력을 포함한다. 식 (3)을 응력에 대한 항으로 나타내면 식 (6)과 같이 표현이 된다. 식 (7)은 유효 변형을 속도를 표현한 것으로 식 (4)와 식 (6)으로부터 유도 되었다. 다공질 재료의 항복 함수로부터 유도된 구성방정식은 전단변형과 부피변형을 모두 포함하는 분말재료의 거동을 나타낼 수 있다.

### 3. 유한요소해석

구성방정식을 DEFORM-2D에 적용하여 이종소재로 동시 성형되는 오일리스 일체형 기어의 계면거동을 예측하고자 하였다. Fig. 1은 오일리스 일체형 기어의 압축성형 공정 후, 계면과 밀도구배를 보여주고 있다. (a)는 베어링부를 우선 성형 한 후 기어부를 성형하는 공정이며, (b)는 기어부를 선 성형 하는 공정이다. (a)에서는 밀도가 낮은 베어링 방향으로 변형이 발생하였으며, (b)에서는 계면의 형태가 wave 형상을 보였다. 이는 밀도가 낮은 베어링이 후 성형될 때의 유동력이 기어부에 전달되어 소재 유동이 기어부위로 발생했다고 판단된다. 계면의 wave 형상은 밀도구배의 차이를 야기할 수 있으며, 이로 인해 소결공정 시 뒤틀림과 균열이 발생 될 수 있다[1].

### 4. 결론

본 연구에서는 다공질 물체의 항복함수를 유한요소해석에 적용하여 분말압축공정을 해석하였으며, 서로 다른 물성을 가지는 소재의 동시성형 공정의 계면거동을 분석하였다. 동시성형 공정이 적용되는 일체형 부품의 제조 시, 상대적으로 낮은 밀도를 가지는 부분을 먼저 성형하는 것이 제품의 형상정밀도를 향상시키는데 유리하다고 판단된다.

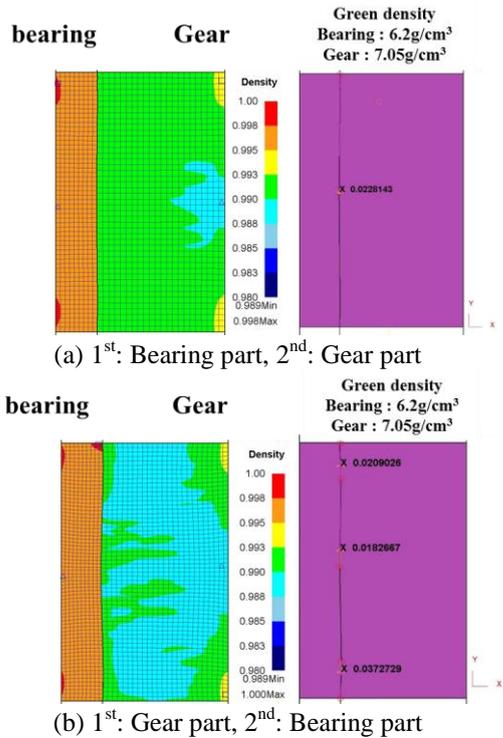


Fig.1 The interfacial form and density distribution of integrated oilless gears powder compaction;

$$F = AJ_2' + BJ_1^2 = Y_R^2 = \delta Y_0^2$$

$$\text{where } A = \frac{3}{\mu_{DUM}}, \quad B = \frac{1}{1/9f^2 \mu_{DUM}}, \quad \delta = \frac{R^{2n}}{\mu_{DUM}},$$

$$\mu_{DUM} = \frac{1}{1+1/9f^2}, \quad f^2 = 0.16(1-R) \quad (1)$$

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}} \dot{\lambda} \quad (2)$$

$$\dot{\epsilon}_{ij} = 2\lambda \left( \frac{A}{2} \sigma'_{ij} + B \sigma_{kk} \delta_{ij} \right) \quad (3)$$

$$\dot{w} = \sigma_{ij} \dot{\epsilon}_{ij} = \bar{\sigma}_R \dot{\epsilon}_R = \dot{\lambda} 2\bar{\sigma}_R^2 \quad (4)$$

$$\dot{\lambda} = \frac{\dot{\epsilon}_R}{2\bar{\sigma}_R^2} \quad (5)$$

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{2\lambda} \left( \frac{2}{A} \dot{\epsilon}'_{ij} + \frac{1}{9B} \dot{\epsilon}_{kk} \delta_{ij} \right) \quad \text{where } \dot{\lambda} = \frac{\dot{\epsilon}_R}{2\bar{\sigma}_R^2} \quad (6)$$

$$\dot{\epsilon}_R = \sqrt{\left( \frac{2}{A} \dot{\epsilon}'_{ij} \dot{\epsilon}'_{ij} + \frac{1}{9B} \dot{\epsilon}_{kk} \dot{\epsilon}_{kk} \right)} \quad (7)$$

### 참고문헌

- [1] M. S. Jeong, J. H. Yoo, S. H. Rhim, S. K. Lee, S. I. Oh, 2012, A Unified Model for Compaction and Sintering Behavior of Powder Processing, Finite Elem. Anal. Des., Vol. 53. pp. 56~62.

# 열박음을 고려한 정밀단조공정의 소재-금형 변형 연계해석

정승원<sup>1</sup> · 황태민<sup>2</sup> · 전만수<sup>#</sup>

## Material and die deformations coupled analysis of a precision forging process

S. W. Jeong, T. M. Hwang, M. S. Joun

### Abstract

In this paper, a typical application of precision forging simulation considering die elastic deformation is presented. A sequence of 5-stage cold forging processes for a CV-joint part of passenger's car is simulated with emphasis on effects of die elastic deformation due to mechanical load and shrink fit on the product and the dies. The detailed predictions are given.

**Key Words** : Die Elastic Deformation (금형 탄성변형), Hot Forging (열간단조), Model Example (모델 문제)

### 1. 서론

냉간단조 금형은 일반적으로 열박음에 의하여 예압된다. 이 예압은 금형의 변형을 야기시킨다. 물론 경우에 따라서 예압 후에 다이인서트(die insert)는 정삭되기도 한다. 정밀단조 시뮬레이션에서 이러한 금형의 상태를 고려한 해석이 필요한 경우가 있다. 예압량을 결정하는 과정에서도 이러한 해석이 유의미하다. 예압에 의한 압축응력 상태의 금형은 단조 중 면압의 부과에 따라 오히려 유효응력이 작아지는 효과를 가지적으로 볼 수 있기 때문이다. 그리고 만약 최종적으로 가공된 다이인서트를 사용할 경우, 예압에 따른 금형 형상의 예측을 위해서도 예압을 고려한 해석이 필요하다. 최근 열박음 및 금형의 탄성변형을 고려한 2차원 단조공정해석 모듈이 실용적 관점에서 소개되었다[1].

### 2. 적용 대상 공정의 선정

Fig. 1은 적용 대상의 단조공정에 사용된 금형의 형상 및 열박음 상태를 나타내고 있다. 해석 조건은 Table 1에 요약되어 있다. 모든 단에서 하형은 2겹의 열박음링(shrink ring)으로 예압되어 있다. 각 링은 400도로 가열된 상태에서 억지 끼워맞춤된 후 냉각된 것으로 간주하였다. 소재의 열팽창계수를 0.00001로 간주할 경우, 이것은 0.4%의 수축률을 의미한다. 열박음 직후에 다이인서트는 정밀 가공된 것으로 간주하였다. 즉, 입력된 금형의 형상은 열박음된 이후의 것이다.

Table 1 Analysis information

소재의 유동응력	$\bar{\sigma} = C(\bar{\epsilon}, T)\dot{\bar{\epsilon}}^{m(\bar{\epsilon}, T)}$ [1]
금형의 탄성계수/ 포아송비	210.0 GPa / 0.3
마찰조건	Law of Hybrid friction $\mu = 0.2, m = 0.6$
프레스	JFP-600

1. ㈜엠에프알씨  
2. 성진포머 개발팀  
# 교신저자: 경상대학교, E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

Fig. 2에 금형에 작용하는 응력과 금형의 변형을 나타내었다. 금형 상의 W 지점에서의 유효응력은 예압 직후 1100MPa에서 단조과정에서 640MPa로 줄어들었다. 금형의 변형량은 최대 0.56 mm로 나타났다.

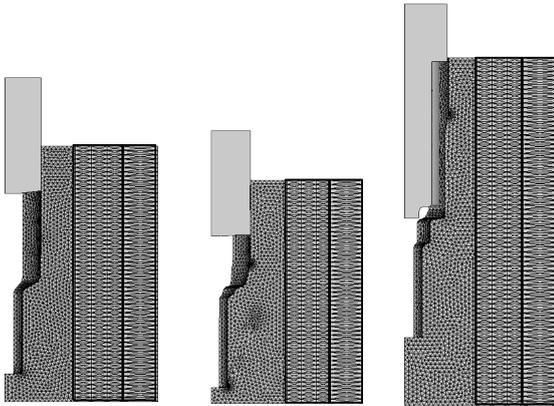
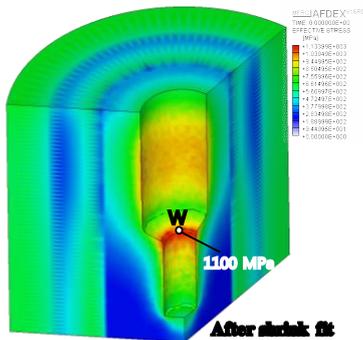
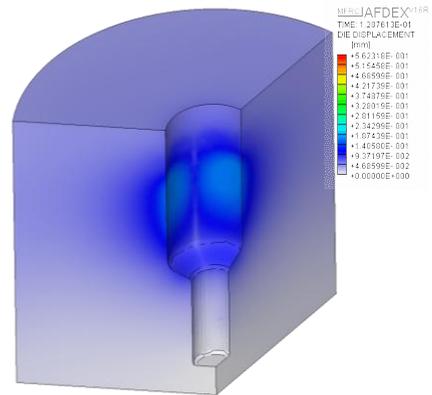


Fig. 1 Die designs of the entire process with shrink rings



(a)



(b)

Fig.2 Effective stress (a) and Displacement (b).

### 3. 결론

이 논문에서는 AFDEX 3D를 사용한 열박음과 금형의 탄성변형을 고려한 3차원 3단 냉간단조 공정의 해석 결과를 제시하였다. 이 기술 및 기능은 열박음량의 결정과 정밀 단조공정 설계에 유용한 정보를 제공한다.

단조공정의 해석에는 많은 이론적, 수치적, 현실적 가정이 불가피하다. 이러한 가정들은 공학적 해석결과를 가져다 주며, 일반적인 문제의 해결에 많은 도움을 주고 있다. 그러나 수많은 미결 과제들이 이러한 가정과 연관되어 있다. 이 연구는 금형과 관련된 가정들을 하나씩 제거해 가는 과정의 결과물로서 의미를 갖는다.

### 후기

이 논문은 2014년도 중소기업청의 혁신기술개발사업(S2227173) 및 중소기업청의 WC300프로젝트 기술개발지원사업(과제번호 : S241550)의 지원을 받아 수행된 연구임.

### 참고문헌

- [1] S. W. Jeong, M. S. Joun, 2016, Rigid-viscoplastic finite element analysis of an axis-symmetric hot forging process considering elastic deformation of dies, KSTP, pp. 34-36.

# 결정소성 유한요소 해석을 이용한 단결정 내의 공동 성장 전산모사

정우진<sup>1</sup> · 이창훈<sup>2</sup> · 이명규<sup>#</sup>

## Investigation of void growth in single crystal under multi-axial stress state using crystal plasticity FEM

W. J. Jeong, C. H. Lee, M. G. Lee

### Abstract

In the classical ductile fracture model, the fracture is associated with void growth and coalescence. Therefore, the investigation of the void growth mechanism is important to understand the fracture of ductile metals. In this study, the void growth in a single crystal was investigated by using the crystal plasticity finite element method (CPFEM). The CPFEM is based on the crystallographic slip in a single crystal and associated homogenization scheme. The advantage of the CPFEM against the classical elastic-plasticity model is that it is able to consider the microstructure of the metal such as crystal structure, and slip system. RVEs (representative volume element) of single crystals with three different orientations, (100), (110), (111), were constructed. The RVE has a spherical void with initial volume fraction of 0.01. Two different stress states with distinct triaxiality were applied as boundary conditions. The growth rates of the voids were analyzed considering the single crystal orientation. As a future work, the calculated void growth rates with various orientations will be applied to the macroscopic ductile fracture model such as GTN model (Gurson-Tvergaard-Needleman) by proper homogenization scheme to extend the current approach to polycrystals.

**Key Words** : Crystal plasticity, Finite element method, Low activation steel, GTN model, Fracture, Fatigue life

---

1. 고려대학교 신소재 공학부

2. 재료연구소

# 교신저자: 고려대학교 신소재공학부, E-mail: myounglee@korea.ac.kr

# 파워트렁크용 치형부품 제조를 위한 냉간 다단단조 공정설계

조아라<sup>1</sup> · 이인규<sup>1</sup> · 이상곤<sup>1</sup> · 정명식<sup>1</sup> · 이성윤<sup>1</sup> · 조용재<sup>1</sup> · 차경제<sup>1</sup> · 황선광<sup>#1</sup>

## Process Design of Multi-stage Cold Forging for Manufacturing Tooth Part of Power Trunk

A. R. Jo<sup>1</sup>, I. K. Lee<sup>1</sup>, S. K. Lee<sup>1</sup>, M. S. Jeong<sup>1</sup>, S. Y. Lee<sup>1</sup>, Y. J. Cho<sup>1</sup>, K. J. Cha<sup>1</sup>, S. K. Hwang<sup>#1</sup>

### Abstract

Generally, tooth parts of the power trunk in vehicle are manufactured by machining process. However, the machining process accompanies low production rate and material loss. In this study, to overcome these problems and develop a new process, the multi-stage cold forging process was numerically designed using commercial finite element analysis program. The element kill method was applied to predict the ductile fracture in the piercing process of the multi-stage cold forging process. From the numerical results, the applied maximum effective stress on the dies was lower than yield strength of the die material during the multi-stage process. Therefore, it was demonstrated that the tooth part of the power trunk in vehicle could be manufactured by the developed multi-stage cold forging process, resulting in lower material loss and higher production rate compared to the conventional machining process.

**Key Words** : Multi-stage Cold Forging Process(냉간 다단단조 공정), Finite Element Analysis(유한요소해석), Ductile Fracture(연성파괴), Power Trunk(파워트렁크)

### 1. 서론

본 논문에서 소개하는 파워트렁크용 치형부품은 자동차 트렁크 자동 개폐장치의 주요 부품으로 기계가공으로 제조된다. 하지만, 기계가공으로 제조된 부품들은 일반적으로 높은 기계강도, 생산성 및 낮은 제품 단가 확보에 어려움이 있어 최근 이를 대체할 새로운 공정기술이 요구되고 있다. 이에, 산업현장에서는 소성가공 중 냉간 단조공정을 적용한 파워트렁크용 치형부품 제조 시도가 있었으나, 공정 및 금형 설계기술 부족으로 공정전환 기술 확보에 어려움을 겪고 있다. 냉간 단조공정을 적용하여 파워트렁크용 치형부품을 제조하기 위해서는 소재의 예비형상을 갖추기 위한 예비성형 공정과 소재중심의 홀을 가공하기 위한 전단공정이 요구된다. 하지만, 전단공정 시 두꺼운 소재로 인해 금형에 과부하가 가해져 파손(Fracture)을 야기할 수 있기 때문에 무엇보다 금형에 가해지는 전단력을 감소시킬 수 있는 공정설계가 요구된다. 일반적으로 전단력은 소재의 강도, 전단 길이 및 깊이에 의해 결정되기 때문에 예비성형체의 형상에 지배적인 영향을 받는다. 따라서, 본 논문에서는 금형파손을 방지하기 위해 예비성형체 형상설계를 수행하였으며, 설계된 금형의 파손 여부를 예측하기 위해 요소제거법이 고려된 유한요소해석을 수행하였다.

1. 한국생산기술연구원 대경지역본부 극한제조기술그룹

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

## 2. 냉간 다단단조 공정 해석 및 결과

Fig. 1 에 파워트링크용 치형부품(소재:S20C)을 제조하기 위해 설계된 공정도 및 해석모델을 나타내었다. 공정은 크게 예비성형을 위한 1~3 공정, 전단을 위한 4 공정, 치형 성형을 위한 5 공정으로 분류된다. 기 서술한 바와 같이, 4 공정에서 금형에 가해지는 전단력은 예비성형체 형상에 지배적인 영향을 받는다. 따라서, 본 연구에서는 3 공정에서 소재의 두께를 감소시켜 4 공정에서 전단 깊이를 낮추어 전단력을 감소시킬 수 있도록 설계하였다. 또한, 전단력을 예측하기 위해 연성파괴조건으로 널리 사용되고 있는 Normalized Cockcroft-Latham 요소제거기법을 적용한 DEFORM-3D 를 사용하여 공정해석을 수행하였다[1]. 해석결과, 각 공정에서의 제품형상은 목적형상과 0.22%의 오차율을 보이며 양호한 결과를 보였다. 또한, 3 공정에서의 성형하중은 544 kN, 4 공정에서의 성형하중은 113 kN 으로 평가되었으며, 3 공정의 성형하중이 더 높은 결과를 보였다.

## 3. 금형 강도해석 및 결과

금형 강도해석은 냉간 다단단조 공정해석의 최대 하중 결과를 기준으로 수행하였다. 이때, 금형파손 여부는 금형강 STD-11 의 압축항복강도 범위(2,000~2,800 MPa)를 기준으로 안전율을 고려한 2,000 MPa 응력 수준을 금형 파손 지점으로 선정하였다[2]. Fig. 2 에 금형의 유효응력 분포를 나타내었다. 금형에 발생된 최대 유효응력은 3 공정 금형에서 1,600 MPa, 4 공정 금형에서 1,500 MPa 로 평가되었으며, 금형파손은 발생되지 않을 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 논문에서 기존 기계가공을 냉간 다단단조 공정으로의 공정전환을 통해 금형파손 없이 파워트링크용 치형부품을 제조할 수 있었다. 따라서, 냉간 다단단조 공정을 적용한 파워트링크용 치형부품 제조공정은 기계가공을 대체하기 적합한 것으로 판단되며, 향후 치형 정밀도 향상을 위한 공정설계가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

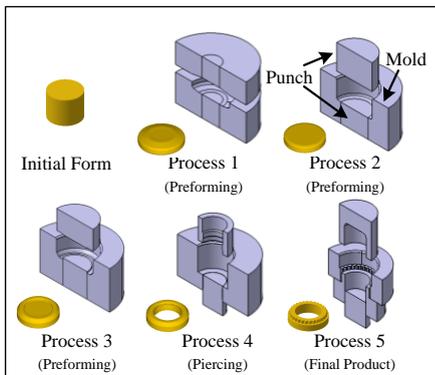


Fig. 1 The multi-stage forging process

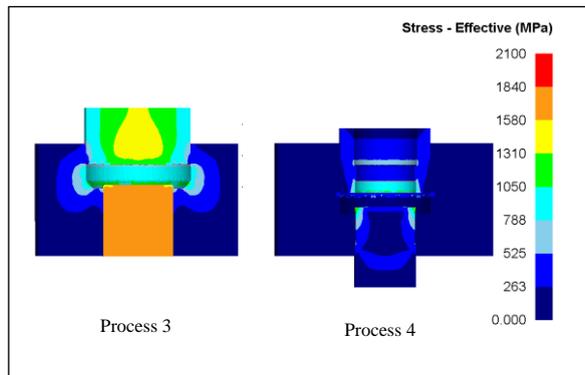


Fig. 2 Distribution of the effective stress at the die

## 참고문헌

- [1] B. M. Kim, H. S. Choi, M. J. Chang, J. H. Bae, S. B. Lee, D. C. Ko, 2008, Development of High Precision Plate Holder in Automotive Seat Recliner by Mechanical Press( I ) -Application of FCF Method, J. Kor. Soc. Precis. Eng., Vol. 25, No. 7, pp. 55~63.
- [2] M. J. Jang, H. S. Choi, S. H. Lee, D. S. Kim, J. H. Bae, D. C. Ko, B. M. Kim, 2011, Design of Half Blanking Process for Reducing Rollover and Stress Acting on Tools in Forming of Lower Tooth, Trans. Mater. Process., Vol. 20, No. 3, pp. 214~221.

## 판재의 점진적 소성 이방성 변화 측정 및 모델링

최유미<sup>1</sup> · 이기정<sup>1</sup> · 최홍진<sup>1</sup> · 이정연<sup>1</sup> · 배기현<sup>2</sup> · 안덕찬<sup>2</sup> · 이명규<sup>#</sup>

### Measurement of anisotropy evolution and its modeling for steel sheets

Y.M.Choi, K.J.Lee, H.J.Choi, J.Y.Lee, K.H.Bae, D.C.Ahn, M.G.Lee

#### Abstract

Anisotropy in sheet metals has significant effect on formability and shape of final sheet products. This anisotropy has been often expressed by the directional differences in yield stress and r-value, which are used as material parameters for various anisotropic yield functions for numerical simulations. The simple approach for the FE simulation is to consider these anisotropic coefficients as constants, thus they do not change during the deformation. However, our recent experiments showed that the anisotropy in deformation varied significantly. Also, the ratio of stresses between uniaxial tension and biaxial tension also varied as the plastic deformation proceeded. In this study, the experimental results on the evolution of anisotropy are presented with associated analytical analyses.

**Key Words** : Lankford coefficient variation, r-value, anisotropic coefficient, the ratio of stresses

---

1. 고려대학교

2. 포스코

# 교신저자: 고려대학교, myounglee@korea.ac.kr

# 고속철도 차량용 안티롤바의 롤 강성 정도 향상에 관한 연구

황원주<sup>1</sup> · 전응식<sup>2</sup> · 남학기<sup>#</sup>

## A Study on Improvement of Roll Stiffness Precision of Antiroll Bar for High-Speed Railway Vehicle

W. J Hwang, E. S. Jeon, H. G. Nam

### Abstract

안티롤바는 철도차량의 대차와 차체 사이에 설치되어 차체의 롤링 운동을 억제하고 롤링 변위를 제한함으로써 주행안전성과 승차감 향상에 기여하는 주요 장치 중 하나이다. 이렇게 롤링 운동을 제한하거나 복원하는 힘은 안티롤바의 핵심 부품인 토션바의 비틀림 강성에 의해 발생되므로 롤 강성이 안티롤바 성능의 핵심 요소라 할 수 있다. 그러나 여러 가지 요인으로 인해 설계 강성과 실제 강성에는 차이가 있을 수 있으며, 이러한 차이가 안티롤 성능을 저하시키는 요인이 되고 있다. 본 연구에서는 롤 강성에 영향을 미치는 인자를 분석하여 안티롤바 시스템의 롤 강성 정도를 향상시킬수 있는 인자에 대해 고찰하였다.

**Key Words** : Antiroll Bar, Roll Stiffness, High-Speed Railway

### 1. 서론

안티롤바는 차체의 롤모션을 방해하는 막대로서 철도차량의 주행안전성과 승차감을 위한 필수 요소 중 하나라고 할 수 있다. Fig.1에 나타낸 바와 같이 안티롤바는 토션바, 레버암, 베어링, 하프셸 부시, 로드, 탄성조인트, 마운팅블럭 등의 여러 하위 부품으로 구성되어 있다. 차량 운행중 차체에 롤링현상이 발생했을 때 차체와 대차 사이에 설치된 안티롤바 시스템에 의하여 롤링운동이 제한되고 차체가 복원

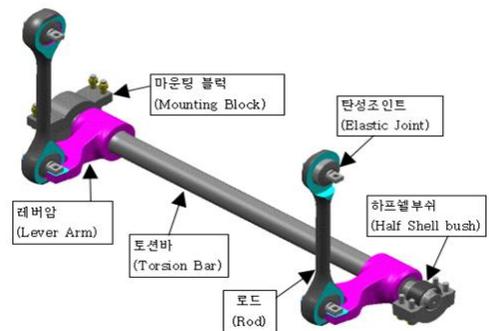


Fig.1 Anti-rollbar system 구성

되어 주행안전성이 유지된다. 이렇게 롤링운동을 제한하거나 복원하는 힘은 안티롤바 시스템의 핵심 부품인 토션바의 비틀림 강성에 의해 발생하는 것으로 판단된다. 본 논문에서는 안티롤바의 강성정도를 향상하기위하여 시스템을 구성하고 있는 부품의 형상, 결합력등을 해석적 모델로 만들어 이를 검토하여 롤강성에 대한 영향성을 검토하고자 한다.

1. 현우시스템 책임연구원

2. 현우시스템 책임연구원

# 교신저자: 현우시스템 대표, E-mail:hgnam@hw-system.co.kr

## 2. 해석적 접근

안티롤바 시스템의 영향을 줄수 있는 있는 인자를 정의하여 각 해석모델과 경계조건을 부여하여 해석을 수행하였다. Fig.2는 해석모델 및 경계조건을 나타낸 그림이다. 또한 Flat한 롤바를 bending타입으로 변경하여 토션바의 형상에 대한 인자를 고려한 모델도 함께 검토하였다. Fig.3,4에는 2가지 타입의 안티롤바의 형상을 나타내고 있다.



Fig.2 경계조건



Fig.3 토션바의 형상별 모델

## 3. 결과 및 고찰

이상의 안티롤바를 이루는 영향인자를 정하여 해석모델을 만들고 해석적으로 영향성을 검토하였다. 이를 통해 탄성조인트의 탄성, 토션바의 형상, 레버암의 결합위치등이 안티롤바의 강성에 영향을 주는 인자임을 확인하였다. Fig.4은 토션바의 형상에 대한 밴딩타입 안티롤바의 해석그림이다.

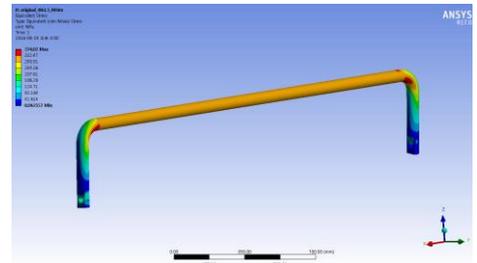


Fig.4 밴딩타입 안티롤바 해석

## 4. 결론

이상에서 안티롤바의 롤강성 정도를 향상시키기위한 인자에 대해 해석적인 방법으로 접근하여 검토하였다. 향후 실제 안티롤바 시스템을 제작하여 시험을 할 예정이며, 이를 토대로 최적화를 통해 차량의 특징에 맞는 안티롤바 시스템을 설계할 수 있는 방안을 연구할 것이다.

## 후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(과제번호 15RTRP-B067706-03)에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 현우시스템, 2015, 안티롤바 부품 및 제작사양서, RN1401-P001.
- [2] 현우시스템, 2014, 안티롤바 부품규격서, RN1401-000-001.
- [3] 장형진 외, 2012, 운영환경을 고려한 KTX 안티롤바의 구조동특성 계측시험 평가 및 너클부의 표면피로마모 감소방안 연구, 한국철도학회 추계학술대회논문집

# 이속압연으로 제조된 6061 알루미늄 합금의 미세 결정립이 플라즈마 전해 산화에 미치는 영향

권정현<sup>1</sup> · 이용환<sup>1</sup> · 다나세사파라딘다 푸투라<sup>1</sup> · 고영건<sup>#</sup>

## Effect of Grain Size on the 6061 Al alloy via Different Speed Rolling and Plasma Electrolytic Oxidation

J. H. Kwon, Y. H. Lee, D. P. Putra, Y.G. Ko

### Abstract

Plasma electrolytic oxidation (PEO) coatings were fabricated on 6061 Al alloy with and without differential-speed rolling (DSR) pretreatment to observe the effect of grain-size on the initial coating behavior. The pretreatment sample was carried out using 2-pass DSR with the speed ratio of 1:4 and height reduction of 50%. The coating processes were performed in alkaline-silicate base electrolyte employing AC current with fixed current density and terminated directly when the breakdown voltage was reached. The morphology and phase composition of the coatings were investigated by scanning electron microscopy (SEM). The SEM micrographs revealed uniform growth of oxide for sample treated by DSR which could attributed to grain refinement imposed by DSR.

**Key Words** : Differential speed rolling, Plasma electrolytic oxidation, Grain-size, 6061 Al alloy

### 1. 서론

플라즈마 전해 산화 공정은 습식 표면처리 방법으로써 소재를 전해액 내에 침지한 후 표면에 마이크로 아크를 유도함으로써 치밀하고 기계적 물성이 좋은 산화층을 효과적으로 도입하는 전기화학적 표면처리방법으로 종래부터 플라즈마 전해 산화를 통해 형성된 코팅층의 특성분석에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 아직까지 미세결정립에 따른 플라즈마 전해 산화에 대한 연구를 찾아볼 수 없었다 [1~3]. 본 연구에서는 이속압연을 통해 미세결정립 크기를 제어하여 플라즈마 전해 산화에 미치는 영향에 대해 조사하였다.

### 2. 실험방법

본 연구에 사용된 6061 알루미늄 합금 시편을 550℃ 에서 3시간 동안 열처리 후 공냉하였으며 이를 이속압연기에 압하율(reduction)을 50%로 하여 상온 조건에서 실시하였다. 이속비(difference speed ration)를 1:4로 하여 4pass까지 압연을 실시하였으며 시편을 30mm, 40mm, 1mm의 판재로 제작한 후, SiC paper로 #1000까지 표면을 균일하게 연마한 후 아세톤을 이용하여 1분간 초음파 세척하였다. 플라즈마 전해 산화 표면처리는 Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 0.05M+NaAlO<sub>2</sub> 0.05M+KOH 0.05M이 포함된 전해액 내에 제작된 시편을 침지하여 이를 양극에 연결시켰으며 음극에는 스테인리스강을 위치시킨 후, AC 전원공급기(ACP Korea, ACP-1010)를 이용하여 100mA/cm<sup>2</sup>로 일정하게 인가하였으며 코팅시간은 30, 60, 90 그리고120s로 코팅시간을 실험변수로 결정하여 실시하였다. 형성된 코팅층 표면 및 단면 조직을 관찰하기 위해 주사전자현미경 (HITACHI, S-4800)을 사용하였다.

1. 영남대학교 신소재공학부

# corresponding Author: School of Materials Science and Engineering, Yeungnam University, Republic of Korea

E-mail: younggun@ynu.ac.kr

### 3. 결과 및 고찰

코팅시간 30s인 그림 (a)에서는 작은 결정립(CG)과 큰 결정립(FG)에서는 별다른 차이점을 찾을 수가 없었다. 코팅시간 60s인 그림 (b)에서는 항복전압까지 도달하였으므로 알루미늄 표면에 코팅층이 형성된 것을 확인할 수 있다. 코팅시간 90s인 그림 (c)에서는 작은 결정립과 큰 결정립의 코팅층 두께가 비슷한 것을 확인할 수 있었다. 그러나 코팅시간 120s 조건에서는 그림 (b)에서 형성된 초기 코팅 두께보다 훨씬 더 높은 코팅 두께를 가지는 것을 그림 (d)에서 보듯이 알 수 있다. 이는 결정립 크기에 따라 전기 전도도와 전기저항성이 다르기 때문에 시편에 전압을 인가하였을 경우 두께가 다른 코팅층이 형성되어 성장에 영향을 주는 것으로 판단되므로 작은 결정립의 경우 높은 전기 전도도에 의해 파괴전압(breakdown voltage)까지는 빠르게 도달하여 큰 결정립보다 더 높은 코팅층 두께를 가지지만 큰 결정립은 항복전압 이후로 부터 코팅층이 수직으로 형성되어 작은 결정립 보다 더 높은 코팅층을 형성하는 것으로 판단된다.

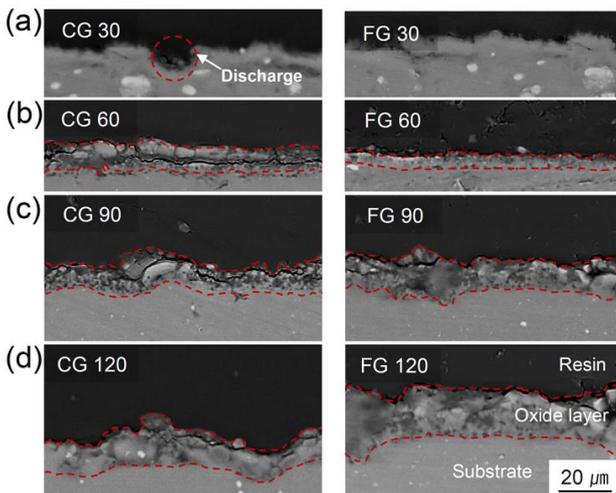
### 4. 결론

DSR에 의해 제작된 작은 결정립과 큰 결정립을 플라즈마 전해 산화공정을 통해 형성된 코팅층은 균일한 성장을 하였으며, 이는 미세 결정립이 플라즈마 전해 산화 코팅 시 코팅층 성장에 많은 영향을 주는것을 확인하였다.

#### 참고문헌

- [1] W. LUO, L. L. ZHU, X. J. ZHENG, 2009, Grain Size Effect on Electrical Conductivity and Giant Magnetoresistance of Bulk Magnetic Polycrystals, CHIN. PHYS. LETT, VoL. 26, pp.1~4.
- [2] Z. Hong, W. Ying, Z. Jiusing, K. Chunjiang, Y. Ming, Z. Shaoxing, 2013, Grain size-dependent electrical resistivity of bulk nanocrystalline Gd metals, PROG NAT SCI-MATER, VoL. 23, pp. 18~22.
- [3] W. Wu, S. H. Brongersma, M. Van Hove, K. Maex, 2004, Influence of surface and grain-boundary scattering on the resistivity of copper in reduced dimensions, APPL PHYS LETT, VoL. 84, pp. 12~15.

#### \* 그림 및 식 포함 2 pages



# 스웨이징 공정에서 이종복합 구성재료에 따른 변형특성

윤덕재<sup>1</sup> · 김응주<sup>1, #</sup>

## Deformation Characteristic of Clad Bar in Swaging Process

Duk Jae Yoon and Eung-Zu Kim

### Abstract

Experimental investigation on swaging process for bi-metal composite clad bars was performed and effects of different combination of tube and core on the deformation behavior were studied. The relative strength difference between the tube and core material had remarkable effect on deformation shift between the clad and core. The incremental process showed suitability as an initial stage forming process for composite cladding wire production.

**Key Words** : Swaging Process, Clad Bar, Bi-Metal Composite, Incremental Forming, Oxygen Free Copper, Niobium, Tin

### 1. 서론

이종 복합 클래드 소재는 두 종류 이상의 특성이 다른 금속을 적층하여 사용하는 것으로 단일 금속 소재만으로는 얻기 어려운 물리적 특성을 확보하게 된다. 그러나 이종 복합 선재의 제조 공정에 있어서 두 금속이 완전하게 접합되지 않은 상태에서 기존의 단순 인발이나, 직접 압출과 같이 적층 소재를 당기거나, 미는 방식으로 성형할 경우 이종 소재간의 다른 변형거동으로 인하여 성형공정상 문제가 발생하게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 단조 성형과 같이 반경 방향으로 두드림과 동시에 축 방향으로 밀어내는 방식이 가능한 스웨이징 공정을 적용하고자 한다. 스웨이징 공정은 점진 성형의 대표적 공정으로 스프인들과 롤러의 상대 운동으로 인한 분할 금형의 반경 방향 왕복운동을 이용하게 된다.

본 연구에서는 스웨이징 공정에서 이종 복합 소재의 구성에 따른 변형특성을 파악하기 위해 무산소 동(Oxygen Free Copper) 튜브에 기계적 성질이 상이한 세가지 소재 Steel(SM10C), Nb와 Sn를 코어로 조합한 봉재를 대상으로 성형 공정 실험을 수행하고 분석을 실시하였다.

### 2. 실험

스웨이징 성형 실험 시에 스웨이징 금형회전속도는 220rpm, 금형 진입 각도 15°, 25°, 성형속도 1, 5, 10mm/s의 조건으로 튜브 직경 10mm, 코어 9mm인 소재를 상온에서 단면 감소를 36%가 되도록 무윤활 조건으로 성형실험을 반복적으로 수행하였다. 성형 소재로서 무산소동의 튜브에 SM10C, Nb, Sn 코어를 삽입한 형태의 이종 복합 클래드 봉재를 이용하였다. 스웨이징 시험은 한국생산기술연구원 보유설비인 15kW급의 장비를 활용하였다. 스웨이징 실험결과를 Fig. 1에 나타내었다.

1. 한국생산기술연구원

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

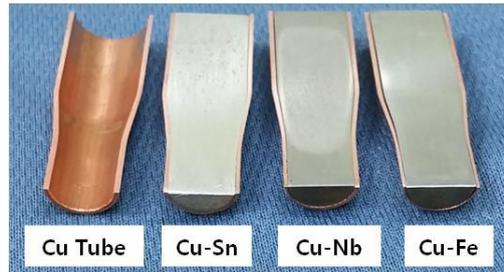


Fig. 1 Sectional view of Cu clad bar and tube after swaging experiments

### 3. 결과 및 고찰

스웨이징 성형 후의 내부 코어의 소재 즉 물성에 따른 무산소동 튜브의 두께변화와 경도분포를 두께방향으로 측정하여 소재의 변형특성을 파악하고자 하였다. 또한 스웨이징의 성형속도 및 금형 진입각도에 따른 두께 및 경도분포도 조사하였다.

이종복합재의 구성재료에 따른 튜브 소재의 두께변화를 Fig. 2에서 보여주고 있다. 여기서 코어 없이 구리 튜브만 성형할 때에는 튜브 두께가 두꺼워지는 반면, 코어 재료가 경도가 큰 재료일수록 튜브의 두께가 얇아지는 경향을 보이고 있다. 또한 스웨이징 금형 진입각도가 클수록 두께가 얇아지는 경향을 보여주고 있다.

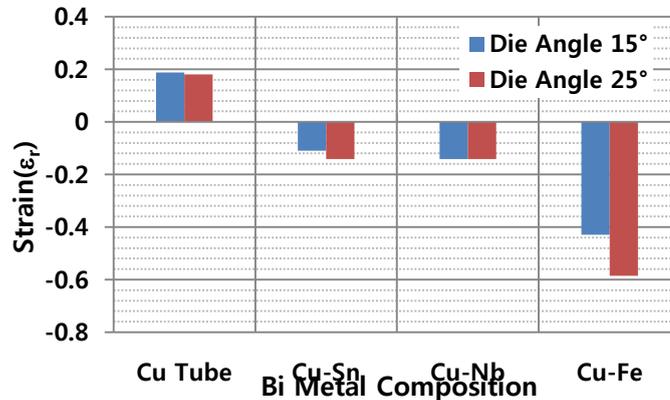


Fig. 2 Comparison of thickness directional strains in Cu tube according to different metal core.

### 4. 결론

본 논문에서는 클래드 봉재의 스웨이징 공정에 대한 실험적 연구를 바탕으로 이종복합소재의 재료 구성에 따른 변형특성을 고찰하여 보았다. 이질적 소재 조합체에 반경 방향과 축 방향으로 동시에 압축 모드의 변형을 점진적으로 가함으로써, 스웨이징 공정이 이종복합 클래드 선재의 장선화 초기 단계에 효과적으로 활용될 수 있음을 확인하였다.

### 참고문헌

1. S. J. Lim, D. J. Yoon, K. H. Na, 1998, The Forming Characteristic of Rotary Swaging Process, Trans. Mater. Process, Vol. 7, No. 5, pp. 432~438.
2. M. C. Kim, J. G. Eom, S. J. Lim, H. J. Choi, M. S. Joun, Finite Element Analysis of Tube Swaging, Trans. Mater. Process, Vol. 21, No. 3, pp. 160~163.

## 이종 복합 클레드 봉재 스웨이징 공정 해석

김응주<sup>1</sup> · 윤덕재<sup>1, #</sup>

### Finite Element Analysis for Bi-Metal Composite Clad Bar in Swaging Process

Eung-Zu Kim, and Duk Jae Yoon

#### Abstract

Finite element analysis of swaging process for bi-metal composite clad bars was performed and effects of different combination of tube and core on the deformation behavior were studied. Practical equivalent two dimensional analysis model was contrived and applied to investigate the incremental forming process. The relative strength difference between the tube and core material had remarkable effect on deformation shift between the clad and core. The incremental process showed suitability as an initial stage forming process for composite cladding wire production.

**Key Words** : Finite Element Analysis, Equivalent Model, Swaging Process, Clad Bar, Bi-Metal Composite, Incremental Forming

단일 소재로는 획득하기 어려운 기계적, 전기 화학적 물성을 구현하기 위한 방법으로써 복합 소재 Cladding은 효율적일 뿐만 아니라 매우 경제적인 해법을 제공할 수 있다. 전력선의 경량화 및 경제성 확보를 위한 Cu-Al clad 선재 개발 시도는 비근한 예 중의 하나이나, Cladding을 통한 복합소재의 활용은 이러한 물리적 혼합 성능을 얻기 위한 수단으로 그치지 않고 Cu-Nb<sub>3</sub>Sn과 같은 저온 초전도 선재의 전구체를 가공하는데도 활용할 수 있는 등 그 적용 범위를 한정 짓기 어렵다. 그러나 이종 복합 클레드 소재는 특성이 전혀 다른 금속을 조합한 뒤 성형하는 과정을 거치기에, 두 금속이 완전하게 접합되지 않은 상태에서 기존의 단순 인발이나, 직접 압출과 같이 적층 소재를 당기거나, 미는 방식으로 성형할 경우 이종 소재간의 다른 변형거동으로 인하여 성형공정상 문제가 발생하게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 반경 방향으로 두 드림과 동시에 축 방향으로 밀어내는 성형이 가능한 스웨이징 공정을 초기에 효율적으로 적용할 수 있다. 스웨이징 공정은 회전 스피들과 롤러의 상대 운동으로 인한 분할 금형의 반경 방향 왕복운동을 성형에 이용하는 대표적인 점진성형공정이다.

본 연구에서는 스웨이징 공정에서 이종 복합 소재의 구성에 따른 변형특성을 파악하기 위해 튜브 소재와 변형저항비가 다른 소재들을 코어로 조합한 봉재에 대하여 성형 공정 해석을 수행하고, 그 결과를 고찰하였다. 실용적인 전산원용공정설계를 위해 간략화된 상당 2D 모델링 기법을 고안하고 이를 실험 결과와 비교 검증한 뒤 활용하였다. 성형공정 해석 결과의 일부를 Fig. 1 과 Fig. 2에 나타내었다.

1. 한국생산기술연구원

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

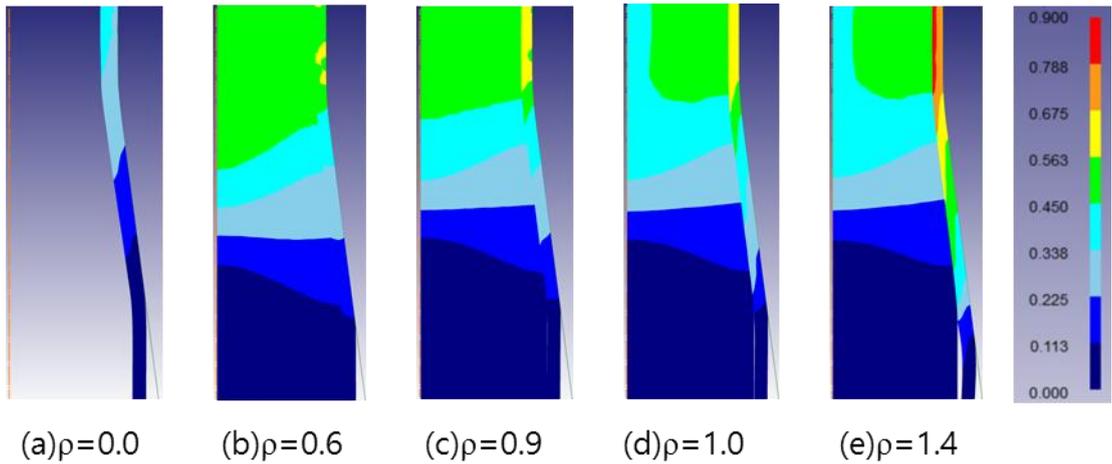


Fig. 1 Effective strain distributions of clad bar swaging that have different flow stress ratio ( $\rho = \bar{\sigma}_{core}/\bar{\sigma}_{clad}$ )

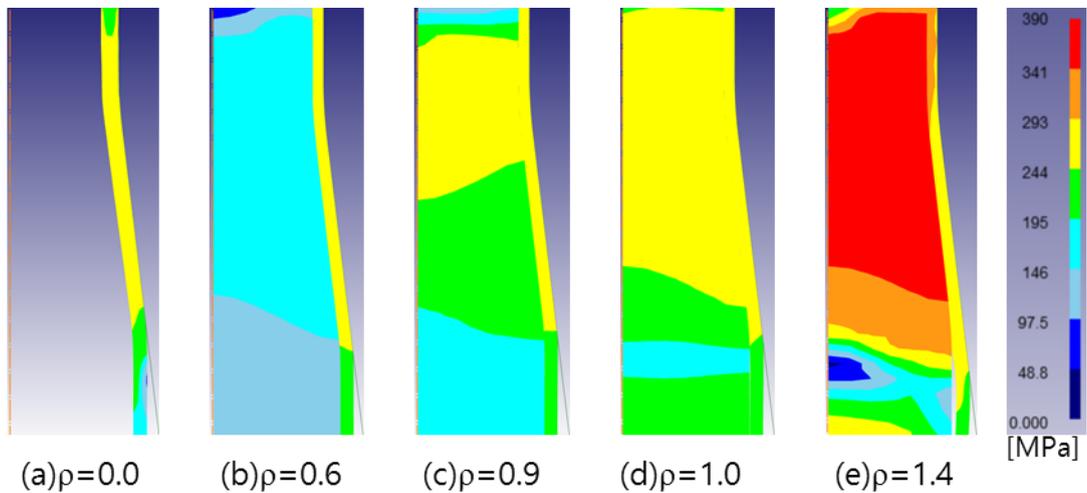


Fig. 2 Effective stress distributions of clad bar swaging that have different flow stress ratio ( $\rho = \bar{\sigma}_{core}/\bar{\sigma}_{clad}$ )

### 참고문헌

1. S. J. Lim, D. J. Yoon, K. H. Na, 1998, The Forming Characteristic of Rotary Swaging Process, Trans. Mater. Process, Vol. 7, No. 5, pp. 432~438.
2. M. C. Kim, J. G. Eom, S. J. Lim, H. J. Choi, M. S. Joun, 2012, Finite Element Analysis of Tube Swaging, Trans. Mater. Process, Vol. 21, No. 3, pp. 160~163.
3. T. Altan, S. I. Oh, and H. L. Gegel, 1983, *Metal Forming: Fundamentals and Applications*, American Society for Metals, Metals Park

# 이속압연을 이용한 알루미늄 6061 합금의 기계적 물성향상

양해웅<sup>1</sup> · 위디안타라이푸투<sup>1</sup> · 파티마시티<sup>1</sup> · 고영건<sup>1#</sup>

## Improvement of Mechanical properties in Al 6061 Alloy Sheets Severely Deformed via Differential Speed Rolling

H. W. Yang, I. P. Widiyantara, S. Fatimah, Y. G. Ko<sup>#</sup>

### Abstract

In the present work, changes in the microstructure measured by Electron Back Scattered Diffraction (EBSD) and mechanical properties of Al-Mg-Si alloy sheets fabricated by differential speed rolling (DSR) process with respect to the speed ratio was reported. The samples were subjected to two passes DSR process using speed ratios of 1:1, and 1:4 for lower and upper roll, respectively, while the velocity of the lower roll was fixed at  $\approx 5$  RPM. After four passes of DSR at 1:4, ultrafine grained structure consisted of grains with average size of  $\sim 0.3$   $\mu\text{m}$  was obtained. From the microhardness measurements, the microhardness values and their uniformity were improved with increasing the speed ratio.

**Key Words** : Al-Mg-Si alloy; differential speed rolling; microstructure; mechanical properties; electron back scattered diffraction (EBSD)

### 1. 서론

In the present work, changes in the microstructure measured by Electron Back Scattered Diffraction (EBSD) and mechanical properties of Al-Mg-Si alloy sheets fabricated by differential speed rolling (DSR) process with respect to the speed ratio was reported.

### 2. 실험방법

The material used in this work was a Al-Mg-Si alloy sheet with a chemical composition of 0.9 Mg, 0.7 Si, 0.2 Cu, 0.12 Mn, 0.19 Cr, and the balance aluminum in wt.%. The as-received microstructure was homogenized at 823 K for 3 hours followed by air cooling, resulting in a coarse grained microstructure consisting of equiaxed grains of  $\sim 40$   $\mu\text{m}$  in diameter. The samples were subjected to two passes DSR process using speed ratios of 1:1, and 1:4 for lower and upper roll, respectively, while the velocity of the lower roll was fixed at  $\approx 5$  RPM.

---

1. 영남대학교 신소재공학부

# 교신저자: 영남대학교 신소재공학부, E-mail: younggun@ynu.ac.kr

### 3. 결과 및 고찰

After two passes of DSR at 1:4, ultrafine grained structure consisted of grains with average size of  $\sim 0.3 \mu\text{m}$  was obtained. From the microhardness measurements, the microhardness values and their uniformity were improved with increasing the speed ratio.

## Cu-Nb-NbTi로 결합된 이종소재의 인발가공 특성 연구

김효성<sup>1</sup> · 이광진<sup>1</sup> · 임재덕<sup>1</sup> · 황덕영<sup>#</sup>

### Study for drawing process properties of different materials combined into a Cu-Nb-NbTi

H. S. Kim, K. J. Lee, J. D. Im, D. Y. Hwang

#### Abstract

상용화된 LTS 로 NbTi 와 Nb3Sn 가 있는데, NbTi 초전도체는 저온 초전도체(LTS)로서 임계온도 9.4K 이하 극저온에서 초전도 특성을 나타낸다. NbTi 초전도 선재의 사용 분야는 의료용 MRI, 핵융합에너지, 대형가속기, 분석용 NMR, 모터, 발전기 등에 활용되고 있다. 국내의 NbTi 선재 생산 기술은 경쟁사와 유사한 특성을 구현할 수 있는 수준까지 도달하였으나, 선재 제조 공정에서 Cu/Sc 면적 비율에 따른 스웨이징 및 인발 가공시 피복 손상 문제점으로 인해 장선화에 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 다이스 설계 및 화학적/물리적 후속 공정 적용 연구가 요구된다.

Cu-Nb-NbTi 로 결합된 이종소재의 장선화 제조에 영향을 미치는 인자들은 여러 가지가 있지만 본 연구에서는 이종소재 제조 공정 중 모노 및 멀티 이종소재의 스웨이징 및 인발 가공간 Cu/Sc 면적 비율에 따라 발생하는 가공 특성에 대해 연구하였다.

실험결과, 스웨이징 및 인발 가공간 Cu/Sc 면적 비율이 낮을 경우, 내부 NbTi 코어와 피복부의 소재 물성 차이로 인해 피복부 감면률이 상대적으로 높으며, 또한 이종 소재간 계면 접합이 이루어 지지 않아 피복부만 손상되는 문제점이 발생하였다. 이와 반대로 Cu/Sc 면적 비율이 높을 경우 누적 감면률 증가에 따른 계면 접합 및 인발 가공 개선이 가능하나 스웨이징 가공간 피복부 손상 문제에 대한 문제점이 발생하였다.

따라서 Cu/Sc 면적 비율이 낮은 설계에서 스웨이징 및 인발 가공 문제점을 개선하기 위해 다이스 설계 검토, 건드릴 타입을 활용한 Cu bar 가공 및 피복부 에칭 등과 같은 물리적/화학적 후속공정 적용 실험을 통해 스웨이징 및 인발 가공간 발생하는 문제점 개선 실험을 진행 할 예정이다.

**Key Words** : NbTi, superconducting wire, swaging process, drawing process, damage of sheath

1. Kiswire Advanced Technology Ltd.[KAT]

# 교신저자: Kiswire Advanced Technology Ltd.[KAT],

E-mail: dyhwang74@kiswire.com

## AFDEX Simulation을 이용한 단조금형 구조해석

민두식 · 김광민 · 박휘동 · 김구락 · 박상균 · 황태민<sup>#</sup>

### Structural Analysis of Forging Die For AFDEX Simulation

D. S. Min, K. M. Kim, H. D. Park, K. R. Kim, S. K. Park, T. M. Hwang<sup>#</sup>

#### Abstract

냉간단조시 높은 하중의 성형을 필요로 하는 제품은 금형의 수명에 많은 저하요인을 야기시킨다. 따라서 높은 하중의 성형조건을 견뎌내는 금형을 제작하기 위해서는 금형의 구조의 개선을 위한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 당사의 개발품인 Tube Yoke의 금형에서 발생하는 파손현상의 원인을 AFDEX 시뮬레이션을 통해 해석하고자 한다. 먼저 금형에 발생하는 응력을 분석하기 위하여 금형 구조해석을 진행하여 금형에 발생하는 면압에 대한 결과치와 압축응력 및 인장응력의 결과치를 분석하고자 한다. 또한 분석된 결과를 토대로 최대 인장응력 발생 시 성형공정을 추적하여 파손 유형에 대한 결론을 도출하고자 한다.

**Key Words** : 냉간단조, 포머단조, 소성가공, AFDEX, 금형구조해석

---

1. 주식회사 ㈜성진포머  
2. 기술연구소 개발팀  
# 교신저자: ㈜성진포머 기술연구소, E-mail:tmhwang@sjfoma.com

# 요소밀도 최적화 기법을 이용한 정밀단조공정 해석

엄재근<sup>1</sup> · 이민철<sup>1</sup> · 황태민<sup>2</sup> · 전만수<sup>#</sup>

## Precision forging simulation using a mesh density optimization scheme

J. G. Eom, M. C. Lee, T. M. Hwang, M. S. Joun

### Abstract

Precision forging simulations based on optimized mesh density are introduced with emphasis on some special functions of mesh density control. An axisymmetric self-piercing riveting process and a three-dimensional ball yoke forging process are studied to reveal the superiority of the mesh quality of the meshers employed by AFDEX.

**Key Words** : Mesh Density (요소밀도), Optimization (최적화), Precision forging (정밀단조)

### 1. 서론

요소망의 밀도 제어 기능과 관련 요소망생성 기술은 단조 시뮬레이션에서 가장 중요한 문제이며, 소성가공 시뮬레이터를 지탱하는 핵심 기술 중의 하나이다.

AFDEX의 경우, 기본적으로 소재-금형 접촉면, 소재의 곡률, 변형을 분포, 온도 구배 등을 고려하여 요소망의 밀도를 자동 제어하고 있다[1]. 그러나 특히 판단조공정 해석, 피어싱공정 해석, 온도해석, 금형의 구조해석 등을 실시하는 목적으로 요소망 밀도를 자동적으로 제어하는데는 한계가 따른다. 그리고 금형의 특정 부위마다 마찰조건이 다를 수가 있다. 즉, 재료가 연속된 하나의 금형이지만, 표면거칠기가 다를 경우, 부위별로 마찰조건이 달라진다. 이 경우에도 단조공정 중 특정 부위를 정의하여 조건 설정을 다르게 해야 한다.

이 연구에서는 AFDEX가 채택하고 있는 요소망 밀도 부여 기법을 서술하고 그 특징 및 유용성 여부를 검토한다.

### 2. 요소밀도 분포

#### 2.1 2차원 해석

AFDEX는 2차원의 경우, 수치적 안정성이 우수한 사면체요소를 사용하고 있다. 사면체 요소망은 삼각형요소에 비하여 자동생성에 제약이 따르는 문제가 있다. 즉, 요소망을 밀도 제어에 한계가 있다. AFDEX에서는 다양한 방식으로 요소밀도 부여 구간을 정의하며, 밀도는 정수로 정의되며, 표면 선분의 평균길이를 이 정수값으로 나눈 길이가 요소망생성에 사용될 길이 또는 가중치로 계산된다.

AFDEX 2D의 요소밀도 부여 기능을 이용하여 셀프피어싱 리벳팅 공정을 해석하였다. 셀프피어싱 리벳팅에서는 리벳의 선단부에서의 거동 특성이 중요하다. 따라서 이 선단부를 중심으로 하는 원에 의해서 정의되는 영역을 조밀 구간으로 정의하였고, 그 중심은 소재(리벳도 소재로 취급됨)와 함께 이동한다.

Fig. 1은 셀프피어싱 리벳팅 공정으로 이 공정의 해석에서 상대적으로 고강도 영역의 예리한 부분(리벳의 선단부로 찢는 역할을 하는)을 중심으로 한 조밀요소망이 필요하다. Fig. 1에서 보는 바와 같이, 잦은 요소망의 재

1. ㈜엠에프알씨 기술연구소

2. ㈜성진포머 기술연구소

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

구성에도 불구하고 선단부의 형상이 유지되고 있음을 확인할 수 있다. 이 문제에서 이 선단부의 정확한 표현은 매우 중요하다.

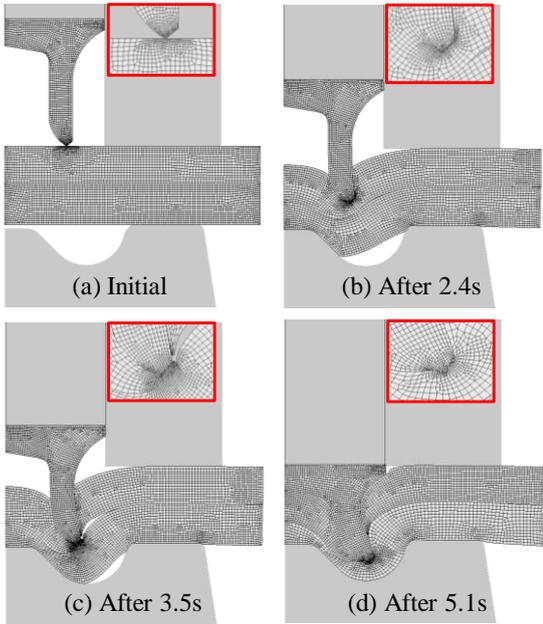


Fig. 1 셀프피어싱 리벳팅 공정의 정밀해석

### 2.2 3차원 해석

3차원은 기본적으로 다양한 형상의 요소밀도 부여 방법이 필요하다. 현재 AFDEX는 현재 총 23개의 요소밀도 부여 방법이 제공된다. 이 중에서 가장 널리 사용되는 형상을 Fig. 2에 나타내었다.

Type Subtype	Sphere	Capsule	Pipe
Shape			
Type Subtype	Box	Plane	Torus
Shape			

Fig. 2 전형적인 요소망 밀도 부여 형상

Fig. 3은 튜브 볼 요크 단조공정의 해석 중의 요소망을 나타내며, 비교적 변형 형상이 복잡하면서 정밀해석이 요구되는 사례이다. 이 예제의 해석 목적은 금형의 강도 및 소재의 스프링백 등을 예측하는 데 있다. 따라서 비교적 상세한 해석이 필요하지만, 상하에 소성영역이 분포하고 있고, 대칭면이 2개밖에 없어, 요소 수의 한계가 따른다. 따라서 국부 요소망 밀도 제어 기법의 사용이 불가피하다. Fig. 3은 해석 중의 금형과 소재에 부과한 요소망 밀도의 분포를 나타내고 있다.

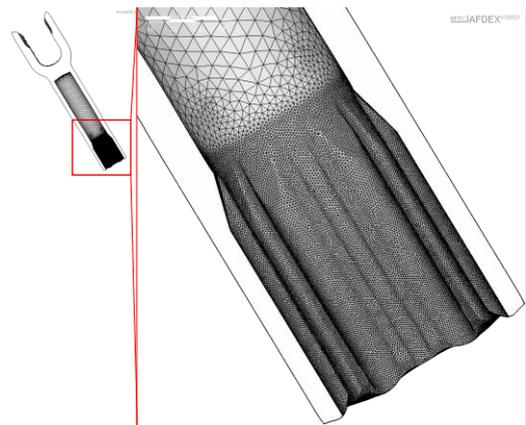


Fig. 3 튜브 볼 요크 단조공정 중의 요소망

### 3. 결론

이 논문에서는 AFDEX의 특수 요소망밀도 제어 기법 및 기능을 소개하였고, 그 기능의 중요성을 전형적인 예제, 즉 셀프피어싱 리벳팅 공정 (2D)과 튜브 볼 요크 단조공정 (3D)의 적용 사례를 통하여 강조하였다.

#### 후가

본 연구는 중소기업청의 WC300프로젝트 기술개발지원사업(과제번호: S2415560)의 지원을 받아 수행된 연구임.

#### 참고문헌

- [1] M. S. Joun, M. C. Kim and J. G. Eom, 2011, Intelligent Metal-Forming Simulation, ASME MSEC-50128, Corvallis, Oregon, USA.

## 신선가공한 펄라이트 강선에서 신선 가공량 및 열처리 조건이 비틀림 특성에 미치는 영향

안강석<sup>1</sup> · 박정훈<sup>1</sup> · 김진호<sup>2</sup> · 정진영<sup>2</sup> · 남원종<sup>1,#</sup>

### The Effects of Drawing Strain and Annealing Condition on Torsion Properties of Cold Drawn Steel Wires

K. S. An, J. H. Park, J. H. Kim, J. Y. Jung, W. J. Nam

#### Abstract

The effects of drawing strains and post-deformation annealing conditions on mechanical properties, especially on twist number, in cold drawn steel wires were investigated. As the annealing time increased, the tensile strength continuously decreased due to the spheroidization of lamellar cementite and recovery of lamellar ferrite, while twist number usually decreased and then continuously increased. During annealing for a long time, twist number of steels containing relatively low ture strain decreased, whereas steels containing high ture strain increased. This was attributed to variation of the lamellar cementite form in steels annealed for a long time.

**Key Words** : twist number; drawing strains; annealing conditions; spheroidization; lamellar cementite

---

1. 국민대학교 신소재공학부  
2. 고려제강 기술개발연구원  
# 교신저자: 국민대학교 신소재공학부,  
E-mail: wjnam@kookmin.ac.kr

# WIC NbTi 초전도 선재용 Cu channel 제조 특성에 영향을 미치는 인발 다이스 형상 설계

이광진<sup>1</sup> · 지세인<sup>2</sup> · 홍리석<sup>2</sup> · 황덕영<sup>1</sup> · 임재덕<sup>#</sup>

## Drawing die design having an effect on the properties of Cu channel manufacturing for WIC NbTi superconducting wire

K. J. Lee, S. I. Ji, L. S. Hong, D. Y. Hwang, J. D. Im

### Abstract

초전도 선재는 작동온도에 따라, 저온초전도(LTS, Low Temperature Superconductivity) 선재와 고온초전도(HTS, High Temperature Superconductivity) 선재로 구분된다. 현재 상용화된 저온 초전도 선재로는 NbTi 와 Nb<sub>3</sub>Sn 가 있는데, NbTi 초전도체는 임계온도 9.4K 이하 극저온에서 초전도 특성을 나타내고 가공성이 좋고 변형에 강하기 때문에 가장 많이 사용되어 왔다. NbTi 초전도 선재의 사용 분야는 의료용 MRI, 핵융합에너지, 대형가속기, 분석용 NMR, 모터, 발전기 등에 활용되고 있다. 특히 MRI 용 NbTi 선재가 일반적으로 상용화되어 있다.

MRI 용 NbTi 선재는 마그넷 운전중 퀘칭시 열적 안정성이 높은 Core Wire 와 Cu channel 이 결합된 WIC (Wire In Channel)형 선재로 적용된다. Core Wire 는 Mono 필라멘트 수 십 개가 삽입되어 높은 임계전류를 나타내고, Cu channel 을 결합함으로써 초전도 마그넷 설계 시 Cu/non Cu Ratio 를 자유롭게 제어할 수 있어 마그넷 설계를 용이하게 한다. 또한 WIC NbTi 는 사각선재이기 때문에 마그넷 보빈에 권선할 때 와이어 권선이 쉽고, 와이어의 이동이 쉽게 일어나지 않아 마그넷 운전시 퀘칭 발생의 위험성을 줄일 수 있다. 이때 Cu channel 의 치수 정밀도가 중요한데, 대부분의 Cu channel 제조 업체에서는 Cu channel 을 압연 공정으로 제조하고 있으나, 이는 설비 가격 및 제조비용이 높고, 치수 정밀도가 낮은 단점이 있다.

형상인발 공정은 단면형상이 일정한 길이가 긴 profile을 제조하기 위한 대표적인 소성가공 공정으로 정형가공(net shaping)이 가능하며, 상대적으로 소재 손실량이 적고 대량 생산이 가능하다. 요구 품질을 가진 profile 제조를 위해서는 적합한 다단 형상 인발 공정 설계가 매우 중요하며, 인발 다이스 설계를 위해서는 패스당 단면감소율 및 형상 변화에 대한 단면 설계가 중요하다.

본 연구에서는 형상 인발 공정을 적용한 Cu channel 제조방법에 대한 연구를 수행하였다. 전기장 해석(EFA, Electric Field Analysis)을 이용하여 다이스 패스 및 단면 형상을 설계하였고, 상용 코드인 DEFORM 3D 를 이용한 유한요소해석을 통해 설계검증을 수행하였다. 그리고 설계한 다이스를 적용하여 인발공정에 의한 Cu channel 을 제조하였다. Cu channel 을 제조하기 위해 적용한 소재는 무산소동(99.9%)을 적용하였다.

**Key Words:** NbTi, superconducting wire, WIC, Cu channel, drawing, Cu/non Cu, Electric Field Analysis, DEFORM 3D

1. Kiswire Advanced Technology Ltd.[KAT]

2. Kiswire R&D Center

# 교신저자: Kiswire Advanced Technology Ltd.[KAT], E-mail: jdim@kiswire.com

## Twin Roll Strip Casting 공정으로 제조된 Al-5wt.%Mg 합금의 미세조직, 인장 및 피로 특성

허준영<sup>1</sup> · 백민석<sup>1</sup> · 어광준<sup>2</sup> · 임영목<sup>2</sup> · 이기안<sup>1#</sup>

### Microstructure, Tensile and Fatigue Properties of Al-5wt.%Mg Alloy Manufactured by Twin Roll Strip Casting Process

J. Y. Heo, M.S. Baek, K. J. Euh, Y. M. Rhyim, K. A. Lee

#### Abstract

본 연구는 Twin Roll Strip Casting(TRC, 쌍롤 박판 주조) 공정으로 제조된 Al-5%Mg 합금의 인장 및 피로 특성에 대하여 조사하였다. 이와 함께 합금의 미세조직 및 특성에 미치는 열처리의 영향에 대해서도 알아보았다. TRC 공정은 용탕에서부터 직접 판재를 생산할 수 있는 공정으로, 기존 공정의 중간 열처리와 압연이 생략될 수 있어 경제적 장점이 있고 또한 상대적으로 높은 주조 속도를 유지할 수 있으므로 편석이 억제되고, 결정립 크기가 감소하며 주조 조직이 균일해지는 장점 또한 가질 수 있다. 본 연구에서 TRC 공정을 이용하여 두께 8mm, 폭 400mm 의 Al-5wt.%Mg 합금 스트립을 제조, 사용하였다. F 합금(as strip cast)에서는 급냉 응고 조직으로 여러 상들이 뭉쳐서 관찰되었다. 이러한 조직은 O 열처리 이후 상대적으로 균일하고 미세하게 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 열처리 전 F 소재와 열처리 후 O 소재의 XRD 및 EPMA 분석 결과 Al 기지에  $Al_6(Mn,Fe)$   $Mg_2Si$  및  $Mg_2Al_3$  상들이 관찰되었다. 기계적 특성 평가를 위하여 F 소재와 O 소재의 상온 인장 시험을 수행하였다. F 소재의 항복 강도는 177.7MPa, 최대 인장 강도는 286.1MPa 그리고 연신율은 11.1% 로 얻어졌다. 열처리 후 O 소재의 항복 강도는 F 소재보다 10 MPa 낮아졌고 최대 인장 강도는 15MPa 높아졌으며 연신율을 또한 24.6% 로 증가하였다. 고주기 피로 시험은 INSTRON 8501 장비를 이용해 stress ratio(R) = 0.1, frequency(F) = 10Hz로 상온에서 수행하였다. 피로 시험 결과 열처리 후 O 소재가 열처리 전 F 소재보다 피로 특성이 우수하게 나타났다. 상기 결과들과 인장 및 피로 파단면 관찰을 통해 TRC 공정으로 제조된 Al-5%Mg 합금의 변형 기구를 미세조직과 연계하여 고찰해보았다. [본 연구는 산업통상자원부의 금속소재종합솔루션센터 구축사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.]

**Key Words** : Twin roll Strip Casting, Al-5wt.%Mg, Heat treatment, High cycle fatigue, Tensile

1. 국립 안동대학교 신소재공학부

2. 한국 기계연구원 부설 재료연구소

# Corresponding Author : Kee-Ahn Lee, Andong Natl. Univ., E-mail: keeahn@andong.ac.kr

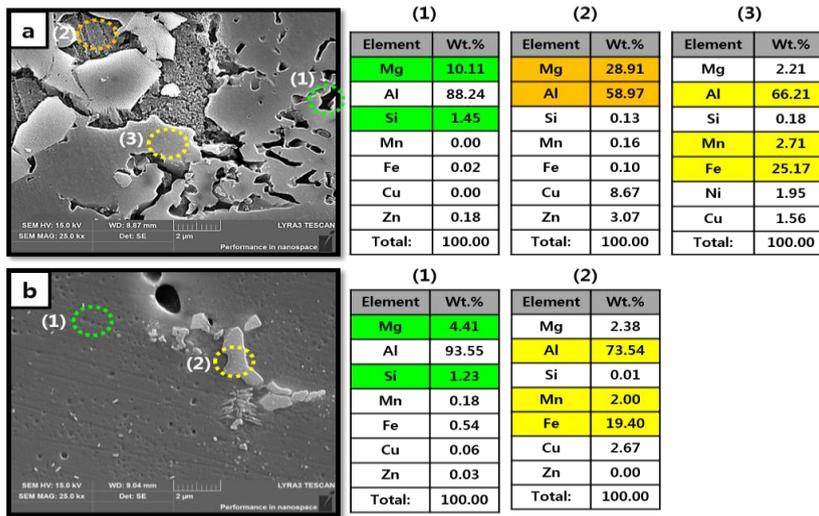


Fig. 1 Results of FE-SEM with; (a) Schematic diagram of F alloy, (b) Schematic diagram O alloy.

Table 1 Tensile properties of Twin Roll Strip Cast Al-5%Mg alloys

	Y.S.[MPa]	U.T.S.[MPa]	El.[%]
F alloy	177.7	286.1	11.1
O alloy	167.7	301.5	24.6

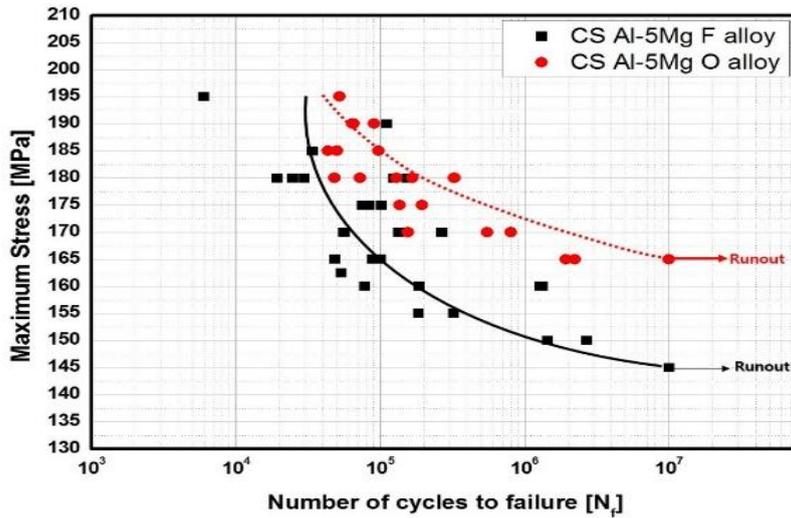


Fig. 2 Results of high-cycle fatigue test

## 순철의 미끄럼마멸 시험 중 형성된 고경도 변형층 분석

구본우<sup>1</sup> · 권혁우<sup>2</sup> · 김영규<sup>3</sup> · 김용석<sup>#</sup>

### Analysis of the deformation layer formed during a sliding wear test of the pure iron in an Ar atmosphere

B. W. Gu, H. W. Kwon, Y. K. Kim, Y.-S. Kim

#### Abstract

During the sliding wear of a ferrous metal, a subsurface layer is formed, which has different properties from those of the original wearing metal. Since the wear occurs at the layer and material properties in the layer are different from the underlying body, it is important to understand how the wear rate varies with the character of the layer. In our previous work, a subsurface layer with very high hardness was observed from a sliding test of a pure iron specimen against an alumina ball in an Ar atmosphere. The character of the layer was supposed to vary depending on sliding-wear test conditions and environmental conditions. However, the formation mechanism of the layer was not known. This study was conducted to investigate the formation mechanism of the highly deformed, high-hardness layer in the pure iron under the Ar environment. Sliding wear tests of the pure iron were carried out in an Ar atmosphere at various sliding speeds and distances. After the sliding wear test, worn surfaces, debris and cross sections were analyzed by SEM, TEM. Wear rates of the specimens tested at different speeds and distances were analyzed considering the effects of the severely deformed subsurface layer with different thickness and distribution.

**Key Words:** Sliding wear, Pure iron, Counterpart, Subsurface layer, Environment.

철강 재료는 그 가공조건, 조성, 열처리에 따라 다양한 미세조직을 보이고, 미세조직은 철강의 미끄럼 마멸 특성에 많은 영향을 미친다. 철강 재료의 미끄럼 마멸 특성에 미치는 미세조직의 영향은 일반적으로 그 기계적 특성 차이를 통해 나타난다[1]. 그러나 미끄럼마멸 시험 중에 형성되는 마멸면 표면변형층(이하 표층으로 표기함)의 미세조직은 초기 조직과 크게 달라, 미끄럼 마멸속도의 변화를 단순한 기계적 특성으로 설명하기 어렵게 한다. 따라서 표층의 형성 기구와 이들이 마멸속도에 미치는 영향을 이해하는 것이 매우 중요하다. 표층의 형성 기구에는 마찰상대 재질, 시험하중 그리고 미끄럼속도 등의 미끄럼마멸 시험조건과 습도, 온도, 그리고 gas 분위기 등의 시험 환경이 영향을 미친다[2]. Gu 등은 순철의 미끄럼 마멸시험을 steel ball 과 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ball을 상대로 일반 대기 중과 Ar gas 분위기에서 행하고, 각 조건에서 형성된 표층의 차이를 보고하였다[3]. 보고된 연구에서 가장 주목할 만한 결과는 Ar gas 분위기에서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ball을 상대로 미끄럼마멸된 순철 시편의 표면에 형성된 고경도 변형층이었다. 고경도 변형층은 그 경도가 890 HV<sub>0.3</sub>로, 하중 100 N, 미끄럼속도 0.1 m/sec, 미끄럼거리 300 m의 조건에서 70 μm 두께로 형성되었다(그림 1(a)). 본 연구에서는 선행 연구에서 관찰된 고경도 변형층

1. 국민대학교

# Corresponding Author: Kookmin University

E-mail: ykim@kookmin.ac.kr

의 형성기구와 이 층이 미끄럼 마멸거동에 미치는 영향을 좀 더 고찰하였다.

선행 연구와 동일하게 본 연구에서는 ferrite 단상조직을 갖는 순철을 사용하였다. 구입된 순철 판재로부터 28 mmx 28 mmx 8 mm 크기의 판상 시편을 가공하였고, 가공된 시편의 표면을 SiC 연마지로 연마 후, 입도 3  $\mu\text{m}$  다이아몬드 suspension으로 polishing 한 후, ball-on-plate 마멸시험기를 이용하여 상온에서 시험하였다. 마찰 상대재로 세라믹 소재 alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ball 을 사용하였고, 시험 하중은 100 N, 미끄럼 속도는 0.1 m/s로 하였고, 미끄럼거리를 변화시켜 미끄럼거리에 따른 표층의 변화를 비교 분석하였다. 시험 분위기는 산화를 억제하기 위해 Ar 분위기를 사용하였다.

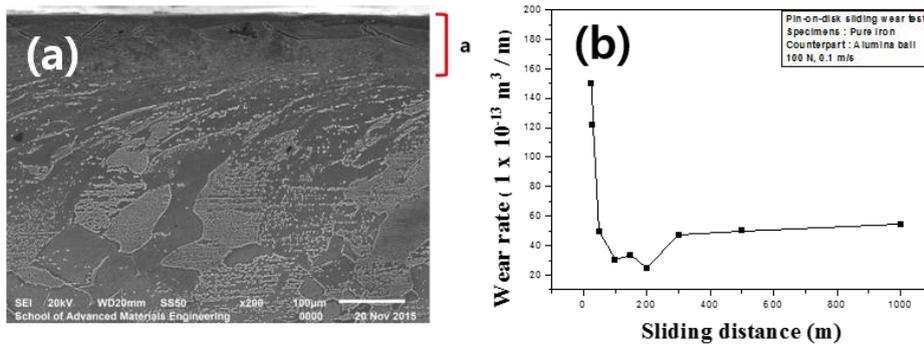


Fig.1 (a) The cross section of the pure iron specimen tested against an alumina ball in an Ar atmosphere and (b) The variation of the wear rate of the pure iron specimen as a function of sliding distance (applied load: 100 N, sliding speed: 0.1 m/sec, Ar atmosphere).

그림 1(a)에 a로 표시된 고경도 변형층의 형성과정을 분석하기 위해 순철 시편의 미끄럼마멸 시험에서 미끄럼거리를 달리 수행하여, 거리에 따른 마멸속도의 변화를 그림 1(b)에 나타내었다. 25 m 에서 50 m 까지는 마멸속도가 감소하였고 50 m 에서 300 m 까지는 불규칙한 마멸 속도 그리고 300 m 이후 구간에서는 일정한 마멸 속도가 관찰되었다. 약 25 m의 미끄럼 마멸 거리에서 형성된 표층에서는 고경도 변형층이 관찰되지 않았고, 전단 변형층만이 약 50  $\mu\text{m}$  두께로 형성되었다. 미끄럼거리가 증가 함에 따라 전단 변형층의 두께가 증가하였고, 미끄럼거리 50 m에서 관찰된 표층에서 경도 800  $\text{HV}_{0.3}$ 의 고경도 변형층이 국부적으로 관찰 되었다. 고경도 변형층은 미끄럼 거리가 증가함에 따라 점점 성장하여 200 m의 미끄럼 거리에서는 마멸 표층 전체에 하나의 층을 이루었다. 고경도 변형층의 두께는 미끄럼 거리 300 m 지점에서 70  $\mu\text{m}$ 로 관찰된 이후 거리 증가에 따라 더 이상 증가하지 않고 일정하게 유지되었다. 고경도 변형층은 변형에너지가 충분히 축적된 영역에서 국부적으로 형성되기 시작하여 성장하고, 합쳐져 하나의 층을 이루게 되는 것으로 분석되었다.

#### 참고문헌

- [1] N. Jin, 1997, Effect of microstructure on rolling, sliding wear of low carbon bainitic steels, *Wear* 202, pp. 202~207
- [2] D. A. Rigney, 1997, Comments on the sliding wear of metals, *Tribol. Int.*, Vol. 30, No 5, pp.361~367
- [3] B. W. Gu, H.W. Gwon, Y.-S. Kim, 2016, The influence of the counterpart on the sliding-wear rate variation in a pure iron, *KSTP Spring conference*, pp. 146~149.

## Nitriding한 2상 스테인리스강의 내부식 특성

이철우<sup>1</sup>, 김인수<sup>1,#</sup>

### Abstract

최근에 질산나트륨( $\text{NaNO}_3$ )과 질산칼륨( $\text{KNO}_3$ )염욕에 의하여 질소원자가 철 또는 철 합금에 침입형으로 확산시키는 질화하는 방법이 알려 졌다.

본 연구에서는 2상스테인리스 강은 철 합금이나 내부식 특성이 높은 재료를 사용하였다.

그러나 보다 더 높은 내부식성 향상을 위하여 이러한 2상스테인리스 강을 질화 할 수 있는지 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 2상스테인리스 강(두께 = 1.0 mm)을 질산나트륨( $\text{NaNO}_3$ ) 과 질산칼륨( $\text{KNO}_3$ ) 염욕으로 질화하여 내부식성의 변화를 알아보았다.

내부식성은 potentiostat 를 사용하였으며 같은 재료를 질화 조건에 따른 내부식성의 변화를 비교하였다.

**Key Words** : Salt bath Nitriding; Dual phase stainless steel; Corrosion resistance

---

1. 금오공과대학교 신소재공학부.

# 교신저자

## 열처리 조건에 따른 필거 맨드렐 소재의 기계적 특성 연구

박민영<sup>#</sup> · 이덕희<sup>1</sup> · 박기범<sup>1</sup> · 최용신<sup>1</sup> · 이영희<sup>1</sup>

### A Study on Mechanical Properties of Pilger Mandrel Material under Different Heat-Treatment Conditions

M. Y. Park, D. H. Lee, K. B. Park, Y. S. Choi, Y. H. Lee

#### Abstract

KEPCO Nuclear Fuel Company's (KEPCO NF) tube manufacturing facility, Techno Special Alloy (TSA) Plant, has started cold pilgering operation since 2009. It is obvious that the cold pilgering process is one of the key processes controlling the quality and the characteristics of the tubes manufactured, i.e. nuclear zirconium alloy tube in KEPCO NF. Cold pilgering is a rolling process for forming metal tubes in which diameter and wall thickness are reduced in a number of forming steps, using ring dies at outside of the tube and a curved mandrel at inside to reduce tube cross sections by up to 90 percent. The OD size of tube is reduced by a pair of dies, and ID size and wall thickness is controlled simultaneously by mandrel. During the cold pilgering process, both tools are the critical components for providing qualified tube. Development of pilger die and mandrel has been a significant importance in the zirconium tube manufacturing and a major goal of KEPCO NF. The objective of this study is to enhance life time of localized pilger mandrel which is one of the key tool for manufacturing Zr alloy tubes. Therefore, a comparison of the mechanical properties to study effects on life time of pilger mandrel under different heat-treatment conditions.

지르코늄합금 튜브는 원자력발전소 내에 핵연료 피복관 및 구조재로 가장 많이 사용되는 핵연료 재료로서 경수로형 및 중수로형 원자력 발전소에 공급되는 핵연료에 모두 사용되고 있는 핵심부품이다. 일반적으로 무심환형 튜브를 냉간 성형하기 위해서는 상업용으로 인발공정과 필거링공정을 적용하고 있으나, 원자로 내에서 사용되는 지르코늄합금 튜브는 노내 가동 특성상 집합조직 방향성을 제어해야 하는 이유로 인해 압연방향과 수직인 방향, 즉 반경방향으로 충분한 압축변형이 필수적으로 요구되며, 이는 특수하게 설계된 한 쌍의 다이와 맨드렐을 사용하는 냉간 필거링 기술에 의해 가능하다. 냉간 필거링(Cold Pilgering) 성형법은 엄격한 치수제어와 내부 집합조직 제어가 필요한 지르코늄합금 튜브 제조를 위한 필수 핵심공정이며 튜브 품질의 90%를 결정하는 중요한 공정이다. 중요한 공정변수로 공급 속도(Feed Rate), 튜브 회전각(Turning Angle), 가공속도(Stroke Rate), 단면수축율(Reduction in Area), Q Factor(Ratio of WT to OD Reduction) 이러한 공정변수는 냉간 필거링 장비의 특성과 필거 다이 및 맨드렐의 설계에 좌우된다. 본 연구에서는 전량 수입에 의존하는 핵연료 튜브 제조 핵심틀인 필거 맨드렐 국산화를 목적으로, 국산화 제작된 맨드렐 소재의 특성을 고려하여 최적 열처리 조건(시간, 온도, 횟수)을 설정하고, 각 시제품 소재에 대한 경도, 인성 및 미세조직을 비교 분석하여 제품 수명에 미치는 영향을 연구하였다.

**Key Words** : Cold Pilgering(냉간 필거링), Zr-Based Alloy(지르코늄 합금), Pilger Mandrel(필거 맨드렐), Metal Heat-treatment(금속 열처리)

1. 한전원자력연료주식회사(KEPCO Nuclear Fuel Co., Ltd.)

# 교신저자: KEPCO Nuclear Fuel Co., Ltd., mypark@knfc.co.kr

# 냉간 성형을 위한 구상화 D6AC강의 기계적 물성 연구

손영일<sup>1</sup> · 이석재<sup>#</sup>

## Mechanical Properties of Spheroidized D6AC Steel for Cold Forming

Y. I. Son, S. J. Lee

### Abstract

We investigated the influence of heat treatment condition on the mechanical properties of D6AC steel for the purpose of improving cold formability. The isothermal holding time for austenitization and spheroidization was varied to control the grain size and precipitation kinetics of various carbides. The change of the grain size and the precipitation kinetics were observed by means of optical microscope and Transmission electron microscopy. We found that the tensile strength and hardness were decreased as increasing the holding time whereas the total elongation was improved for a longer heat treatment condition.

**Key Words** : Austenitization, Spheroidization, Precipitation, Mechanical Properties, D6AC

### 1. 서론

D6AC강은 중탄소, 저합금, 고강도강으로 인장 강도 대비 항복 강도의 비가 높고 우수한 연성을 보이며, 우주항공 분야에서 널리 사용되는 철강 소재이다. D6AC 소재는 고온에서 단조 성형이 용이하고 용접도 가능하다. 하지만 D6AC강은 비슷한 합금 조성을 가지는 저합금강인 AISI4340강이나 AISI4140강보다 탄화물 형성원소인 V이 다량 첨가되어 있어 플로우 포밍(flow forming)과 같은 공정을 적용하기 위해서는 냉간 성형성에 대한 연구가 필요하다. 하지만 현재 까지 D6AC강과 관련하여 보고된 연구 논문들은 주로 피로파괴 특성에 관한 내용이 주를 이루고 있다. 냉간 성형성을 향상시키기 위해서는 시멘타이트의 구상화가 필요하며 일반적인 저합금강인 AISI9260강이나 AISI4120강의 경우 구상화와 관련된 연구들이 많이 보고되고 있다. 최근 D6AC강의 구상화와 관련된 연구가 보고되었으나 구상화 처리 시간에 따른 물성 변화에만 한정되었다. 따라서 본 연구에서는 D6AC강의 냉간 성형성을 향상을 목적으로 구상화 처리 조건 외에 오스테나이트화 처리 조건의 영향 및 그에 따른 V 탄화물 거동이 최종 구상화 처리된 D6AC강의 기계적 물성에 미치는 특성에 대해 연구하였다.

### 2. 실험방법

열간 압연된 D6AC 시편을 진공 가열로에서 어닐링 처리하였다. 어닐링 온도는 1000°C이고 유지 시간은 1시간이었다. 해당 강종의 VC 용해 온도는 열역학 계산과 solubility product식을 통해 계산 결과 약 892°C와 918°C로 어닐링 조건은 탄화물들이 모두 용해되는데 충분하였다. 어닐링 후 노냉을 실시하여 냉각 중 탄화물을 재석출시켰다. 상온까지 냉각된 시편을 다시 1000°C로 가열하여 10분부터 최대 120분까지 등온유지 후 수냉을 실시하였다. OM관찰을 통

1. 국방과학연구소

# 교신저자: 전북대학교, seokjaelee@jbnu.ac.kr

해 수냉된 시편의 미세조직과 결정립 크기의 변화를 측정하였다. TEM분석을 통해 오스테나이트화 온도에 따른 시편내 석출물들을 관찰하였다. 재가열된 시편을 700°C에서 최대 10시간까지 구상화 처리를 실시하였다. 구상화 처리된 시편들에 대해 상온 인장시험과 경도측정을 실시하였고 기계적 물성의 변화를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

어닐링 후 재가열하여 10분 유지한 시편의 경우 50 $\mu\text{m}$  이하의 결정립 크기를 보였으나 유지 시간이 늘어나면서 60분까지 재가열한 시편은 150 $\mu\text{m}$  이상의 조대한 결정립 성장이 관찰되었다. 노냉한 시편들에서는 TEM 관찰 결과 다수의 V이 첨가된 복합탄화물들이 존재함을 확인하였다. 재가열한 시편의 경우 유지 시간이 증가함에 따라 Mo, Cr의 단독 탄화물들은 용해가 되었고 복합탄화물들은 계속해서 존재함을 확인하였다. 인장시험 결과 오스테나이트화 유지 시간이 증가할수록 모든 구상화 처리 시간 조건에 대해서 인장강도와 경도는 점차적으로 감소하였다. 동일 오스테나이트화 처리 조건에서는 구상화처리 시간이 길어질수록 인장강도와 경도의 저하가 관찰되었다. 연신율은 인장강도와 반비례 경향을 나타냈다.

### 4. 결론

본 연구에서는 D6AC강의 냉간 성형성을 향상을 목적으로 오스테나이트화 처리 조건과 구상화 처리 조건의 변화를 통해 석출물의 특성과 기계적 물성의 변화를 관찰하였다. 열처리를 통한 결정립 크기의 변화와 탄화물의 석출 거동이 강도와 연신율에 미치는 관계에 관해 조사하였으며 이를 통해 D6AC강의 우수한 냉간 성형성을 확보하는데 도움이 되었다.

#### 참고문헌

- [1] G. Golański, P. Wiczorek, Precipitation of carbides in Cr-Mo-V cast steel after service and regenerative heat treatment, Arch. of Foundry Eng., 9 (2009) 97.
- [2] Y.W. Lee, Y.I. Son, S.J. Lee, Microstructure and mechanical properties of spheroidized D6AC steel, Mater. Sci. Eng. A, 585 (2013) 94.

# 응력삼축비에 따른 고 Mn 오스테나이트강 판재 인장파괴 거동

예정원<sup>1</sup> · 전기훈<sup>1</sup> · 정기채<sup>1</sup> · 노경민<sup>2</sup> · 이창선<sup>2</sup> · 박경태<sup>1#</sup>

## Tensile Fracture Behavior of High Austenitic Steel Plate Under Different Stress Triaxialities

J. W. Yeh, K. H. Chun, K. C. Chung, K. M. Noh, C. S. Lee, K.-T. Park

### Abstract

The tensile fracture behavior of a high Mn steel under different stress triaxialities was examined by conducting a series of tensile tests on the flat notched specimens having the initial stress triaxiality range of 0.33 ~ 0.75. The fracture strain drastically decreased as the stress triaxiality increased. Regardless of the stress triaxiality, all specimens exhibited dimpled fracture surface. However, the depth of dimples at the center of the specimen became shallower as the stress triaxiality increased, indicating less plastic deformability. At the edge of the specimen, the void-shearing fracture mode became more pronounced as the stress triaxiality increased. The fracture mode was found to be more influenced by the distribution of the stress triaxiality across the specimen width rather than the local stress triaxiality value.

**Key Words** : High Mn steel, Tensile fracture, Stress triaxiality, Fractography

### 1. 서론

에너지 자원 시추용 확장 강관(expandable pipe)소재로서 기존 소재인 저탄소강을 성형성이 우수한 고 Mn강으로 대체하고자 하는 연구가 진행되고 있다. 확장 공정은 삼축 응력 공정으로 [1], 삼축응력 상태에서 고 Mn강의 소성변형 및 파괴 거동을 이해하는 것이 중요하므로, 본 연구에서는 고 Mn강의 인장 파괴 거동에 미치는 응력삼축비 영향을 분석하였다.

### 2. 실험방법

고 Mn강 (Fe-15Mn-0.6C-2Al) 열연판재로부터 아래 식에 따라 시편 중앙부의 응력삼축비( $\eta$ )가 0.33~0.74가 되도록 노치 반경을 달리하여 [2] 노치인장시편을 가공한 후 인장실험을 행하였다.

$$\eta = \frac{1}{3} + \ln \left[ 1 + \frac{a}{2R} \left( 1 - \frac{y^2}{a^2} \right) \right]$$

위 식에서  $R$ 은 노치반경,  $2a$ 는 노치 너비,  $y$ 는 시편 중앙부로부터의 거리이다. 부위 별 인장파괴면은 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

인장실험 결과 파단 연신율은  $\eta = 0.33$ 의 무노치 시편의 경우 ~65%에서  $\eta = 0.74$ 를 갖는

1. 한밭대학교 신소재공학과

2. POSCO 기술연구원 POSCOA project team

# 교신저자: 한밭대학교 신소재공학과, ktpark@hanbat.ac.kr

노치 시편의 경우 ~8%로 급격히 감소하였다. 그림 1 에 두 경우 파괴면의 중앙부와 가장자리 사진을 나타내었다. 시편 너비 방향으로  $\eta$  값이 0.33 으로 일정한 무노치 시편의 경우 파괴면은 부위에 관계없이 비교적 균일한 크기의 미세한 dimple 이 관찰되었다. 그러나, 확대 사진에서 보이는 바와 같이 가장 자리의 dimple 은 shear-tearing 에 의해 경사진 형태를 나타내었다. 반면  $\eta = 0.74$  노치 시편의 경우 중앙부는 등축의 dimple 이 관찰되었으나, 가장자리는 심하게 경사진 dimple 이 관찰되었다. 또한 중앙부의 dimple 크기는 무노치 시편 중앙부에 비해 불균일 하였다. 인장 파괴의 경우 응력삼축비가 낮을수록 void 연결에 의한 dimple 파괴보다는 shear-tearing 에 의한 파괴가 지배인 것으로 알려져 있다 [3]. 위 식에 따르면 가장자리의 경우 노치에 관계없이  $\eta = 0.33$  의 값을 나타낸다. 그러나, 본 실험 결과 노치 시편의 가장자리의 dimple 이 무노치 시편의 가장자리 dimple 에 비해 심한 전단 변형을 받으며, 이에 의해 파괴연신율이 급격히 감소하는 것으로 볼 수 있다. 즉, 파괴 모드에 따른 파괴 연신율은 국부적 응력삼축비보다는 시편 전체의 응력삼축비 분포에 더 큰 영향을 받는다.

#### 4. 결론

고 Mn 오스테나이트 판재는 전반적으로 dimple 연성 파괴 거동을 나타내나, dimple 형상은 응력삼축비 증가에 따라 void 연결에 의한 등축 형상에서 shear-tearing 에 의해 경사진 형상으로 변화하였다. 이러한 dimple 형상 변화는 비록 국부적 응력삼축비가 유사하더라도, 시편 전체의 응력삼축비 차이가 클수록 더욱 심하게 나타났으며, 이는 응력삼축비 증가에 따른 파괴 연신율의 급격한 감소의 주요 원인이 된다.

본 연구는 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업(10048787)의 지원으로 수행되었습니다.

#### REFERENCES

- [1] O.S. Al-Abri, T. Pervez, Int. J. Solids Struct., 50 (1985) p.2980
- [2] D. Anderson, S. Winkler, , M. J. Worswick, Mater. Design., 60 (2014) p.19
- [3] Y. Bao, T. Wierzbicki, Int. J. Mech. Sci., 46 (2004) p.81

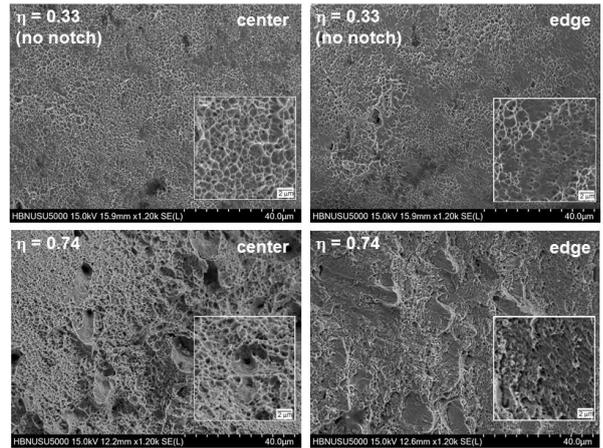


Fig. 1 SEM micrographs of the center and edge areas of the fracture surfaces of the high Mn steels with  $\eta = 0.33$  and 0.74

# 초고강도 핫스탬핑 소재의 연화열처리에 관한 공정 및 기계적 특성평가

심우정<sup>1</sup> · 최영림<sup>1</sup> · 전형준<sup>2</sup> · 박광수<sup>3</sup>

## Evaluation of Mechanical Characteristic for Local Softening using High Frequency Induction Heat Treatment Process for Ultra high strength Hot-Stamping Steel

Woo Jeong Sim, Young Rim Choi, Hyeong Jun Jeon, Kwang Soo Park

### Abstract

Ultra-High strength steel is rapidly being applied in the automotive industry as safety regulation and environmental regulation have been tightened controls. So, The of Hot-Stamping steel what has two advantages has been on the rise. The First strength is that Hot-Stamping steel is obtained formability by processing at high temperature. And the second is the reducing weight due to spring-back and thickness reduction. However, Hot-Stamping steel has one drawback which is caused brittle fracture upon impact. So researchers are using a method of changing the material or the material properties locally through a partial quenching to make up for drawback. But, these two ways have problems of weld zone and schedule-cost. In this study, we use the local heat treatment process using a induction heating capable of applying the heat treatment region and reducing of processing time. The experiment was conducted as a method for heating-time when the induction heating. And then the temperature and the hardness applied to the material were measured. Is this way, we studies the affect of hot-stamping steel with induction-heating.

**Key Words** : Hot-Stamping Steel(핫스탬핑강판), Induction-Heating (고주파 열처리), Local Softening(국부연화)

### 1. 서론

최근 자동차 산업에서는 연비 및 환경 규제 강화로 차량의 중량을 줄이는 동시에 충돌 시 승객의 안전성 확보라는 두 가지 목적을 달성하기 위해 1000MPa급 이상의 초고강도 소재를 이용한 자동차 차체 부품 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다. 하지만 소재의 강도가 증가할수록 탄성회복(Spring-Back)으로 인해 치수정밀도의 확보가 어렵고 낮은 연신율로 성형성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이러한

단점을 보완하기 위해 1977년 스웨덴 플란자社에서 개발한 핫스탬핑 기술을 적용하여 사용되고 있다. 핫스탬핑 기술이란 보론 첨가 강 소재(22MnB5)를 재결정온도인 900℃ 이상의 고온으로 가열 후 금형을 이용하여 성형함과 동시에 냉각함으로써 제품의 강도를 1500MPa이상으로 향상시키는 기술이다. 하지만 핫스탬핑 기술을 적용한 소재에서는 취성 파단이 발생하는 문제점을 가지고 있다.

이 문제점을 보완하기 위하여 여러 기술들이 연구가 되어 TWB방식이나 금형 파설 퀴칭 등이 사용되고 있으나 도금층 모재 유입에 따른 용접부 취약이나 부위별 다른 냉각 구조를 가지는 금형을 제작해야 함으로 금형 제작비용 상승에

1. (주)새한산업  
2. (주)명진테크  
3. (재)포항산업과학연구원

대한 문제점을 가지고 있다. 국부연화방식으로 레이저를 열원으로 하는 기술이 개발되었지만 열처리속도가 과다하다는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 핫스탬핑 기술 적용으로 발생된 소재의 취성 파단을 보완하기 위해 소재를 국부적으로 연화시키는 후처리 기술을 적용하여 연성을 확보하는 방안으로 시험을 실시하였다. 열처리 방법은 고주파 유도가열을 사용하였다.

고주파 유도가열은 고주파 전류가 흐르는 코일 속에 위치하는 도전체의 자기장에 의한 와전류 손실(Eddy Current Loss)과 히스테리시스 손실(Hysteresis Loss)의 저항에 의해서 급속히 열이 발생하는 원리로 인가 주파수, 고주파 전력, 코일과 도전체와의 거리로 인해 가열 정도 및 표피효과 정도가 변화하는 특성을 가지고 있다.

또한 코일 설계에 따라 국부가열과 단기&급속가열을 실시할 수 있는 장점이 있다.[1-4]

따라서 본 연구에서는 고주파 유도가열에 사용되는 워크 코일에 형상에 따른 특성을 해석 및 실험을 통해 확인하였고, 가열 시간을 변수로 하여 가열속도 및 냉각 속도, 온도를 측정하였으며 가열에 의한 소재 물성변화를 확인하기 위하여 경도를 측정하였다.

# 3D-printing Selective Laser Melting 공정으로 제조된 SUS 316L 소재의 미세조직, 인장 및 충격 인성 특성

함기수<sup>1</sup>, 강병훈<sup>1</sup>, 박순홍<sup>2</sup>, 이기안<sup>1#</sup>

## Microstructure, Tensile and Impact Toughness Properties of SUS316L Material Manufactured by 3D-printing Selective Laser Melting Process

G. S. Ham, B. H. Kang, S. H. Park, K. A. Lee

### Abstract

본 연구에서는 3D printing 공정 중 powder bed 방식인 SLM(selective laser melting type) 공정을 이용하여 SUS 316L 합금을 제조하였다. 금속 3D printing 공정은 laser 열원을 이용하여 powder를 용융시킨 후 빠른 냉각속도를 부여하는 공정으로써 빠른 냉각속도에 기인한 잔류 응력이 기계적 특성에 악영향을 미친다고 알려져 있다. 제조된 합금의 잔류 응력 제거를 위해 stress relieving 열처리를 수행하였으며, 이에 따른 미세조직, 인장 및 충격인성 특성을 조사하였다. 3D printing SUS 316L 소재의 미세조직을 확인하기 위해 OM, SEM, XRD 분석을 수행하였으며, 기계적 특성을 확인하기 위해 경도, 상온 인장 및 충격 인성 실험을 수행하였다. 미세조직 관찰 결과, as fabricated 소재에서 molten pool이 존재하는 것을 관찰 할 수 있었으며, 열처리를 수행하였음에도 불구하고 molten pool 조직은 사라지지 않았다. 또한 두 소재(열처리 전, 후) 모두 결정립이 building direction 방향으로 성장한 것을 확인 할 수 있었다. 경도의 경우 열처리를 수행함에 따라 경도 값이 소폭 감소하였으며, 값의 deviation 역시 큰 폭으로 감소하였다. 인장 시험 결과, 열처리를 수행함에 따라 항복 강도는 감소하였지만 인장 강도와 연신율은 증가하였다. Charpy 충격 시험을 통해 열처리 전 합금이 46.5J, 열처리 후 합금이 60.75J 충격인성 값을 얻었다. 즉 열처리를 수행함에 따라 충격 인성 특성이 향상된 것으로 나타났다. 이상의 실험 결과와 함께 파단면 분석을 기반으로 3D-printing selective laser melting 공정으로 제조된 SUS 316L 소재의 변형 거동을 미세조직과 연계하여 고찰해보았다.

**Key Words** : 3D printing, Selective laser melting, SUS 316L, Tensile, Impact Toughness, Heat Treatment

1. 국립 안동대학교 신소재공학부

2. 포항산업과학연구원

# 교신저자: 국립 안동대학교 신소재공학부 이기안, E-mail: Keeahn@andong.ac.kr

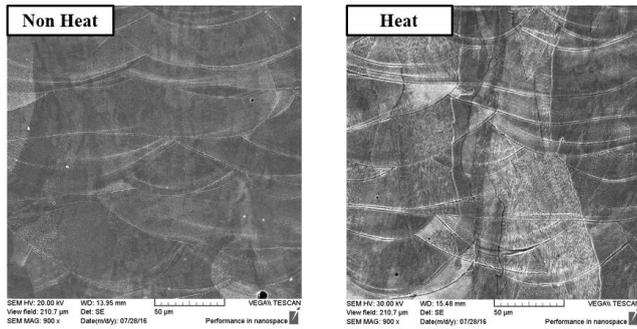
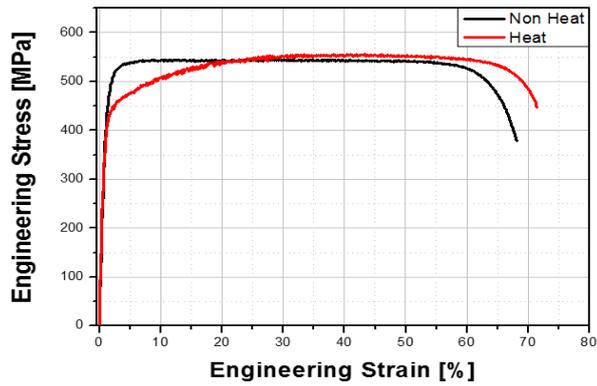
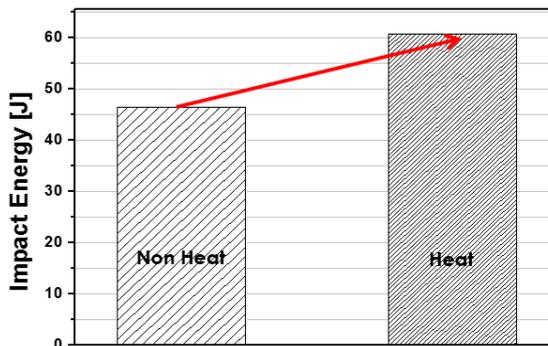


Fig. 1 SEM microstructures of SLM SUS 316L materials (a) as-fabricated, and (b) Heat treated.



(a)



(b)

Fig. 2 (a) Tensile, and (b) impact toughness results of SLM SUS 316L materials.

# 전기저항 가열금형에 의하여 중첩된 알루미늄 금속판재의 점접합특성

김태현<sup>1</sup> · 진인태<sup>#</sup>

## Spot Bonding Characteristics of Overlapped Aluminum Plates with Electric Resistance Heated Dies

T. H. Kim<sup>1</sup>, I. T. Jin<sup>#</sup>

### Abstract

In this paper, a new spot bonding process with electric resistance heated dies is suggested for the bonding of aluminum metals. Two heating methods are applied to this bonding process of two overlapped aluminum metal plates, one of them is heating by conduction of electric resistance heated steel dies, and another is heating by electric resistance between contacted surfaces of two plates by current induced to copper dies. This bonding process has welding variables such as each current induced in heated steel dies and in copper dies, and inner and outer contact diameters of heated steel dies, and shape of copper dies. Experiments should be demanded in order to get possible condition of bonding. And, it was known that the bonding strength could be reached to the needed value on industry fields.

**Key Words:** Bonding, Heating, Aluminum Plates, Electric Resistance, Steel Dies, Copper dies, Spot.

## 1. 서 론

소성가공공정에 있어서 피가공재의 소성유동을 제어하기 위하여 피가공재에 열을 공급한 상태에서 가공하는 경우가 있다. 이러한 열의 공급을 지속적으로 유지하기 위하여 금형에 열을 가한 상태에서 전도열에 의한 소성가공물의 온도를 유지하는 데 열간금형을 사용하기도 한다.

소성가공물이 되는 피가공재가 두 개 이상을 경우 열간금형을 이용하여 두 개의 피가공재의 접합과 동시에 소성가공하게 되면 특성이 우수한 복합재의 소성가공이 가능해질 수 있다.

따라서 본 연구는 두 장의 알루미늄 금속판재에 열간금형에 의한 피가공재에 열을 공급하고 두 장의 소성가공물이 접합과 동시에 소성가공 되기 전 두 장의 금속판재의 접합성을 평가 하고자 하였다.

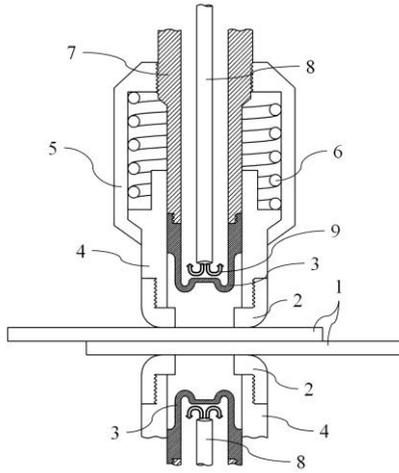
## 2. 전기저항 가열금형 접합의 개요

Fig. 1 의 그림에서 같이 두 장의 중첩된 알루미늄 금속판재(1)에 접촉할 구리금형(3)에 이를 둘러싸고 있는 원통형 철계 가열금형(2)을 부착한 것이 특징이다.

일차적으로 가열금형이 금속판재와 먼저 접촉한 후 예비열을 공급하기 위하여 구리금형의 선단보다 돌출한 상태에서 스프링으로 지지되어 있는 것이 특징이다.

1. (주)성우하이텍 기술연구소

# 교신저자: 부경대학교 기계공학과, Pukyong National University, Mechanical Engineering, E-mail: jint@pknu.ac.kr



**Fig. 1 Spot bonding dies structure with electric resistance heated steel dies and copper dies**

전기저항 가열금형에 의한 점접합의 접합과정은 Fig. 2 와같이 총 다섯 단계로 이루어진다.

먼저 Fig. 2 의 (a)는 접합하고자 하는 두 장의 판재를 안착 시킨 다음 Fig. 2 의 (b)와 같이 두 장의 판재를 가열금형으로 눌러 전도열을 미리 공급하도록 한다.

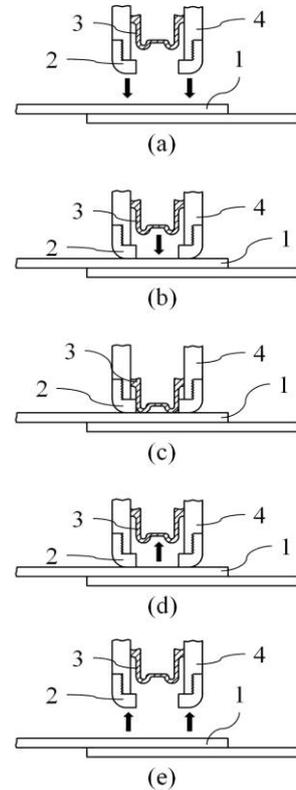
Fig. 2 의 (c)와 같이 전도열이 공급되고 있는 과정 중에 구리금형이 접합소재에 접촉되도록 하고 이어서 구리금형에 전류를 통전하여 판재 사이의 접합계면에서 발생하는 전기저항 접촉저항 가열을 이용하여 접합부에 열을 집중시키면서 접합 계면부를 집중가열한다.

이와 같이 철계금속의 가열금형에 의한 전도가열과 구리금형에 의한 접합계면에서의 소재간의 접촉저항에 의한 가열로 접합계면이 용융되고 접합되도록 하는 것이 전기저항 가열금형에 의한 점접합의 특징이다.

이어서 Fig. 2 의 (d)와 같이 구리금형이 먼저 후퇴 하게 되고 이어서 Fig. 2 의 (e)처럼 가열금형이 원위치로 후퇴하게 되면 전기저항

가열금형 점접합 공정이 끝나게 된다.

점접합 후 접합된 소재의 표면에는 가열금형에 의한 원통형 가압 흔적과 미세한 구리금형 가압 압흔만이 발생하게 되며 이 두 압흔의 형상과 가해지는 전류의 크기에 따라 용접강도의 크기가 달라지는 것이 특징이다.



**Fig. 2 Process step of electric resistance heated spot bonding process : (a) overlapped plates, (b) pressing and heating by heated dies, (c) applying of current and heating by copper electrode, (d) separation of copper electrode, (e) separation of heated dies, 1:plates 2:heated steel dies 3:copper dies 4: copper support of steel dies**

# 조선해양플랜트용 T-bar의 용접해석 및 열변형 예측

원찬희<sup>1</sup> · 이정환<sup>2</sup> · 이상익<sup>2</sup> · 공경열<sup>3</sup> · 윤종현<sup>1#</sup>

## Thermal deformation analysis in T-bar welding process in offshore plants

C. H. Won, J. H. Lee, S. I. Lee, K. Y. Gong, J. H. Yoon

### Abstract

Section steels such as T-bar have been widely applied to structural frame in ship construction, which are produced by fillet welding two flat thick sheets. During the welding process for T-bar, dimensional accuracy problem is frequently issued since the thermal stress and thermal deformation occur along the axial direction. In these reason, it is required to predict thermal deformation of the welded T-bar according to welding conditions since these database are able to be utilized in calibration process for generating curved T-bar with arbitrary curvature. In this research, welding experiments and FE analyses of T-bar have been compared with each other in terms of deformed shape and temperature distribution.

**Key Words** : T-bar, Offshore plants, Welding analysis, Thermal deformation

### 1. 서론

최근 해양플랜트산업의 악화로 상선 건조에 산업이 집중하고 있어 상선 건조 시 필요한 형강재에 대한 수요량이 증가하고 있는 추세이다. 그러나 형강재의 경우 대부분이 다품종소량생의 주문생산방식으로[1], 수작업 생산이 요구되고 있어 직무기피 현상과 작업연령 고령화로 생산성 악화가 심화되고 있어 이를 해결하기 위한 형강재 생산자동화에 대한 요구가 증대되고 있다.

T 형강재(T-bar)는 선박 골격구조에 주로 적용되는 형강재 중 하나로, 후판에서 절단된 판재를 필렛(Fillet) 용접공정을 거쳐 생산된다. 하지만, 용접공정 중 용접열에 의한 후판의 열변형으로 치수정밀도 문제가 발생하여[2], 추가적인 교정공정이 수행된다. T-bar의 생산설비 자동화와 치수정밀도 문제를 해결을 위해서는 형강재의 용접조건에 따른 열변형 예측기술이 요구된다.

본 연구에서는 조선해양플랜트용 T-bar의 열변형을 예측하기 위해 유한요소해석을 진행하였으며, 동일조건에서의 용접 실험을 실시하여 변형된 형상과 온도분포를 비교하였다.

### 2. 실험방법

본 연구에서는 용접 후 T-bar의 열변형 형상을 예측하기 위하여 두께 12mm, 16mm의 AH32 소재를 조합한 T-bar의 용접열에 의한 열변형을 용접해석과 실험을 비교하여 평가하였다. 용접 중 발생하는 아르곤 가스 배출을 고려하여 용접장치를 150mm 이격거리를 주었으며, 4m

1. 한양대학교 ERICA 기계공학과  
2. 한국기계연구원 부설 재료연구소  
3. ㈜기특산업

# 교신저자: 한양대학교 ERICA 기계공학과, E-mail: yooncsmd@gmail.com

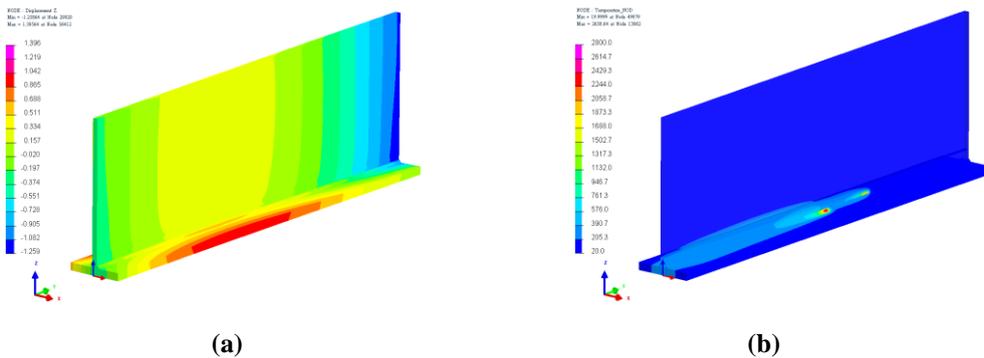
길이의 소재를 양 측면에 필렛 용접을 동시 진행하였다. 동일한 전류(250A), 전압(33V)의 실험 조건으로 3가지 용접속도(270, 300, 330mm/min)에 대한 용접실험을 수행하였으며, 용접해석과 비교를 위해 상온에서 공랭 후 1 m 크기로 절단하였다.

열변형 예측을 위한 용접해석은 SYSWELD v11.5을 사용하였으며, 용접실험과 동일한 형상, 용접장치의 이격거리를 적용하였다. 용접실험에서 측정된 전류, 전압을 이용하여 3가지 속도변수에 대해 용접 입열량을 적용하여 1 m 길이의 용접해석을 진행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 1에 용접해석 결과를 나타낸다. 아치형상으로 열변형 하였으며, 단면에서 바닥부 끝단은 z축으로 최대 1.396 mm 변형되었다(Fig. 1(a)).

Fig. 1(b)는 500 mm 용접 진행 시의 온도분포를 보여주며, 용접 후 열영향부의 수렴된 온도는 291°C로 측정되었으며, 270 mm/min의 속도에서 높은 열용량으로 온도가 가장 높았다. 용접부위 및 주변의 온도 측정 결과 약 9.1% 차이가 있다.



**Fig. 1** Welding analysis results (a) shape distortion (z direction) at t=3600 sec; (b) Temperature distribution at t= 130 sec;

### 4. 결론

본 연구에서는 T-bar의 용접열에 의한 열변형을 예측하기 위해 용접해석 및 실험을 수행하였다. 열변형 형상은 아치형태와 바닥부 끝의 들림 형상이 복합적으로 나타났다. 용접속도에 따른 입열량의 차이로 온도, 잔류응력의 영향이 크게 나타났으며, 용접 입열량은 형상예측에 큰 요인으로 판단된다. 용접 입열량의 효과, 소재두께 등에 따른 열변형 영향은 추가적인 용접해석과 실험을 통하여 검증하고자 한다.

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 경제협력권산업 육성사업(사업과제명: 조선해양플랜트용 T-bar 및 Angle과 같은 형강류 제조를 위한 융복합형(IT+소성가공+자동화)핵심기술 개발, 과제번호 R0004926)으로 수행된 연구결과입니다.

### 참고문헌

- [1] 이제명, 백점기, 강성원, 김명현, 2000, 유한요소해석 후처리 기법을 이용한 용접부의 건전성 평가, 한국해양공학회지, 제14권, 제4호, pp. 32 ~ 36.
- [2] 강성구, 양종수, 2012, 용접 변형 연구 동향, 대한용접접합학회지, 제30권, 제2호, pp. 141 ~ 146.

# 펄스 전류 인가에 따른 초고강도강의 스프링백 특성 평가

곽수현<sup>1,2</sup> · 장인제<sup>1,3</sup> · 김용배<sup>1</sup> · 송정한<sup>1#</sup> · 배기현<sup>4</sup>

## Investigation of Influence of Direct-Current Pulses on Springback during V-bending of Ultra-High-Strength Steels

S. H. Gwak, I. J. Jang, Y. B. Kim, J. H. Song and G. H. Bae

### Abstract

최근 자동차 연비향상과 충돌안전성 강화 등의 요구사항을 만족시키기 위한 대응책으로 국내의 자동차 업체에서는 기가급 초고강도강판 적용 비율을 지속적으로 증가시키고 있다. 그러나 초고강도강의 프레스 성형은 성형하중과 스프링백의 증가 성형성의 저하와 이에 수반되는 금형수명 저하 등의 문제가 있으며 특히 성형 완료 후 발생하는 스프링백이 가장 큰 문제로 대두되고 있다. 본 논문에서는 초고강도강의 성형 공정에 있어서 펄스 전류 인가를 통한 스프링백 저감 효과를 평가하기 위해 TRIP1180과 MS1470의 통전 시험을 실시하였다. V-bending을 통한 굽힘 변형을 실시하였으며, 변형 후 loading 상태에서 펄스 전류를 인가하였다. 무통전 시편과 비교하여 스프링백 저감 정도를 평가하였으며 온도에 따른 스프링백 정도를 평가하기 위해 FLIR camera와 K-type thermocouple을 동시에 이용하여 온도 변화를 측정하였다. 실험 후, 광학현미경을 통해 미세조직을 관찰하였으며 마이크로 비커스 경도기를 이용하여 경도를 측정하였다. 그 결과 인가 조건 변화에 따라 electric energy와 스프링백 정도와의 연관관계를 확인하였으며, 조직과 경도비교 등을 통하여 기계적 물성의 악화 없이 일정 수준까지의 스프링백 저감이 가능함을 확인하였다.

**Key Words** : Springback(스프링백), Direct-current Pulse(펄스전류), Ultra-High Strength Steel(초고강도강), V-bending test(V-굽힘시험)

### 후 기

본 논문은 포스코 기술연구소와 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업, 에너지기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

---

1. 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소  
2. 고려대학교 신소재공학부  
3. 인하대학교 기계공학부  
4. POSCO 철강솔루션마케팅실  
# 교신저자: 한국생산기술연구원, E-mail: jhsong@kitech.re.kr

## 고강도강 루프레일 부재의 드로우 금형 자동보정

권태성<sup>1</sup> · 신정희<sup>1</sup> ·곽정환<sup>2</sup> · 김세호<sup>#</sup> · 이종원<sup>3</sup> · 하강호<sup>3</sup>

### Automatic Compensation of the Draw Die for the Roof Rail with High Strength Steel

T. S. Kwon, J. H. Shin, J. H. Kwak, S. H. Kim, J. W. Lee, G. H. Ha

#### Abstract

환경 규제 및 경량화, 충돌 법규 강화에 따라 신개발 차량의 경우 고강도강 사용이 급격하게 증가하고 있다. 소재의 강도가 높아짐에 따라 탄성 복원량이 증가하여 스프링백 등 성형 불량 이 나타나고 있으며 이러한 문제를 해결하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 인장강도 780MPa급 고강도강으로 성형되는 루프레일(Roof Rail) 부재의 드로우 공정 성형해석 및 금형보정을 수행하였다. 금형보정은 상용 유한요소 프로그램인 PAM-STAMP의 자동보정 기능을 활용하였다. 총 4공정으로 이루어지는 부재 성형공정 중 보정이 필요한 드로우 금형을 대상으로 하여 초도금형 성형해석, 블랭크 및 트림 외곽선 최적화, 금형자동보정의 순서로 실시하였다. 보정은 전개한 블랭크, 전개한 블랭크와 금형변형을 고려하기 위한 하사점 부근 미성형 조건을 부과한 경우, 초도 설계된 블랭크, 초도 설계 블랭크의 라운드부를 미소 수정한 경우 등 4가지의 블랭크 형상을 대상으로 수행하였다. 초기 블랭크를 그대로 사용하는 경우에서 성형해석 결과 스프링백 양이 최대 0.05mm, 최소 -0.815mm로 가장 좋은 보정 결과가 도출되었다. 자동보정 시 금형의 형상을 파악한 결과 플랜지부의 각도가 가장 크게 하향 보정된 것으로 분석되어 단면에서의 스프링백 현상을 최소화하기 위한 방향으로 보정이 이루어진 것을 확인할 수 있었다. 제품부는 중앙부가 상향 보정되었고 끝부가 하향 보정되는 결과가 도출되었다. 본 논문에서 적용된 기법을 활용할 경우 양산용 고강도강 드로우 금형의 초도금형 설계 방향 설정 및 추후 시험성형 시 금형보정의 횟수를 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

**Key Words** : High Strength Steel, Draw Die, Automatic Tool Compensation, Springback

#### 후 기

본 논문은 교육부에서 지원하는 지방대학특성화사업(CK-I)의 지원으로 대구대 지역밀착형 뿌리산업 선도인력 양성사업단의 프로그램으로 수행된 결과입니다.

---

1. 대구대학교 기계공학부  
2. 대구대학교 대학원 기계공학과  
3. ㈜영진 기술연구소  
# 교신저자: 대구대학교 기계공학부, E-mail:mvksh@daegu.ac.kr

# U-드로우 굽힘공정에서의 마찰 및 비드가 스프링백에 미치는 영향 분석

권용석<sup>1</sup> · 배한원<sup>1</sup> · 강병욱<sup>1</sup> ·곽정환<sup>2</sup> · 김세호<sup>#</sup> · 박진우<sup>3</sup> · 김용식<sup>3</sup> · 박종규<sup>4</sup>

## Effects of the Friction and Draw-bead Shape on the Springback Amount in the U-draw Bending Process

Y. S. Kwon, H. W. Bae, B. W. Kang, J. H. Kwak, S. H. Kim, J. W. Park, Y. S. Kim, J. K. Park

### Abstract

최근 자동차 산업에서 고강도 강판과 알루미늄 등 경량 고강도 소재를 적용한 차량 부품 성형 시 스프링백에 의한 치수 정밀도 저하로 인해 조립 및 양산과정에 문제가 발생하고 있다. 특히 드로우 공법을 사용하는 경우의 스프링백 경향은 재료 물성 뿐만 아니라 금형과 블랭크 사이의 접촉 및 윤활상태와 비드 형상 등에 큰 영향을 받게 된다.

본 논문에서는 인장강도 780MPa 급 소재를 적용한 U-드로우 벤딩 성형공정을 대상으로 마찰 및 비드가 스프링백에 미치는 영향을 정량적으로 비교 분석하였다. 분석을 위하여 상용 유한요소프로그램인 PAM-STAMP 를 활용한 성형공정해석을 수행하였다. 비드의 형상변수를 비드 어깨부 반경(R), 비드 방향(양-음 방향), 비드 높이(H)로 정의하였으며, 쿨롱 마찰계수를 공정변수로 지정하여 각 변수가 스프링백 양에 미치는 영향을 도출하였다. 금형제작 현장에서 활용하는 금형 공정변수 및 보정방법에 따라 비드의 영향을 고찰하였다. 먼저 비드 어깨부 반경을 고정하고 마찰 계수, 비드 방향, 비드 높이를 변화시켜 영향을 분석하였으며, 다음으로 비드 높이를 고정하고 마찰 계수, 비드 방향, 비드 어깨부 반경의 영향을 분석하였다. 결과로 마찰 계수와 비드 높이가 높을수록, 비드 어깨부 반경이 작을수록 스프링백 양이 감소하였다. 비드 방향은 양방향의 경우가 음방향의 경우보다 스프링백 양이 작게 예측되었다.

비드 및 마찰계수 등 공정변수의 영향분석을 위하여 실험계획법(DOE)을 사용하였다. 설계변수로 마찰 계수, 비드 높이, 비드 어깨부 반경값 등 3 요인, 4 수준으로 직교 배열표를 작성하고 Taguchi 기법과 반응 표면법에 의한 정량분석을 실시하였다. 마찰 계수와 비드 높이가 높을 때, 비드 어깨부 반경이 작을 때의 최소의 스프링백 값이 예측되었다. 마찰 계수, 비드 어깨부 반경, 비드 높이 순으로 유의성을 보였다.

**Key Words** : High Strength Steel, Springback, Coulomb Friction Coefficient, Bead Shape, Design of Experiment

### 후 기

본 논문은 교육부에서 지원하는 지방대학특성화사업(CK-I)의 지원으로 대구대 지역밀착형 뿌리산업 선도인력 양성사업단의 프로그램으로 수행된 결과입니다.

---

1. 대구대학교 기계공학부  
2. 대구대학교 대학원 기계공학과  
3. ㈜화신테크 기술연구소  
4. ㈜화신 기술연구소  
# 교신저자: 대구대학교 기계공학부, E-mail : mvksh@daegu.ac.kr

# 헤드램프 반사판 성형금형 설계 및 시제품 제작 : 대학 연구동아리 종합설계

권용석<sup>1</sup> · 손민규<sup>1</sup> · 김세호<sup>#</sup>

## Design and Fabrication of the Press Die and the Prototype for a Headlamp Reflector

Y. S. Kwon, M. K. Son, S. H. Kim

### Abstract

본 논문에서는 헤드라이트 금속 반사판 제작을 위한 드로잉 금형의 설계 및 제조 과정을 요약하였다. 제품을 성형하기 위한 정량적 목표를 양산부품 납품기준으로 타 제품과 조립되는 플랜지부 형상오차  $\pm 0.5\text{mm}$ , 제품의 두께 감소율 20% 이내, 주름발생 등 표면 결함 여부 등으로 선정하였다. 초기 블랭크 크기와 블랭크 홀딩력을 결정하기 위하여 상용 유한요소 프로그램인 Auto-Form을 활용한 성형 해석 공정을 수행하였다. 역 전개를 통해 최소 블랭크 크기를 결정하였으며, 성형해석을 실시하여 적절한 블랭크 크기와 블랭크 홀딩력을 결정하였다. 시제품을 제작하기 위하여 성형해석에서 얻은 설계변수값을 반영하고 표준 금형설계집을 참조하여 금형 부속품의 사양을 결정하고 3차원 도면을 작성하였다. 설계에 따라 홀가공, 형상가공, 열처리, 와이어컷팅, 연삭 및 부속품 조립을 실시하여 드로잉 금형을 제작하였으며, 제작된 금형을 활용하여 기계식 프레스에서 시제품을 성형하였다. 성형된 시제품을 3차원 측정된 결과 평면도 공차  $0.007\text{mm}$ , 진원도 공차  $0.042\text{mm}$ 로 측정되었으며, 플랜지부도 허용공차를 만족하였다. 두께감소 최대값은 0.05%로 설계 목표를 만족하였으며, 구면의 주름 등 성형불량은 발생하지 않은 것을 확인할 수 있었다.

**Key Words** : Headlamp Reflector, Drawing Tool Design, Prototype

### 후 기

본 논문은 교육부에서 지원하는 지방대학특성화사업(CK-I)의 지원으로 대구대 지역밀착형 뿌리산업 선도인력 양성사업단의 프로그램으로 수행된 결과입니다.

---

1. 대구대학교 기계공학부

# 교신저자: 대구대학교 기계공학부, Email:mvhsh@daegu.ac.kr

## 저항가열 핫스탬핑 성형을 위한 보론강의 Joule Heating 특성 평가

김용배<sup>1</sup> · 장인제<sup>1,3</sup> · 곽수현<sup>1,2</sup> · 송정한<sup>1#</sup> · 임정식<sup>4</sup> · 서종덕<sup>4</sup>

### Evaluation of Joule Heating Characteristics of 22MnB5 Boron Steel for Hot Stamping Processes

Y. B. Kim, I. J. Jang, S. H. Gwak, J. H. Song, J. S. Lim and J. D. Seo

#### Abstract

최근 자동차 연비향상과 충돌안전성 강화 등의 요구사항을 만족시키기 위한 대응책으로 국내외 자동차 업체에서는 기가급 초고강도강판 적용 비율을 지속적으로 증가시키고 있다. 그러나 초고강도강의 프레스 성형은 성형하중과 스프링백의 증가 성형성의 저하와 이에 수반되는 금형수명 저하 등의 문제가 되고 있어 핫스탬핑 공정이 널리 이용되고 있다. 이러한 핫스탬핑 공정은 경화능이 우수한 Boron 강을 고온(약 900℃)에서 가열 후 열간 성형 및 급속냉각을 동시에 시행하여야 하기 때문에 가열장비의 대형화 및 과도한 공간이 요구되는 문제점이 있다. 최근에는 기존 분위기 가열로를 전극으로 교체하여 직접 가열하는 연구가 진행되고 있다. Joule Heating의 경우 전극에 소재를 안착하고 전류를 인가하여 직접 가열하기 때문에 기존의 가열 기술인 전기로(Furnace)나 유도가열(Induction heating)과 비교하여 빠른 시간에 효율적으로 소재를 가열할 수 있다는 장점이 있는 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 22MnB5 보론강판에 대하여 전류 인가에 따른 가열특성을 평가하고 이를 토대로 실부품의 저항가열 핫스탬핑 성형공정에 적용하였다. Non Coated, Al-Si Coated, Zn Coated 보론강을 각각 시편단위 Joule Heating 공정 후 강도 측정과 현미경 통해 표면 관찰을 진행하였다. Zn coated의 경우 미세 크랙이 관찰되며 강도도 떨어지는 것으로 확인되었고, 나머지 두 소재는 안정적인 산화층을 형성하였으며, 1.5GPa 이상의 강도를 나타내었다. 최대 60,000A 급 저항 가열 장치를 이용하여 1/3 크기의 Side sill 제품의 저항가열 핫스탬핑 성형시험을 수행하고 그 적용 가능성을 평가하였다.

**Key Words** : 22MnB5, Joule Heating, Hot Stamping, Direct Current Pulse

#### 후 기

본 논문은 산업통상자원부 에너지기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

---

1. 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소  
2. 고려대학교 신소재공학부  
3. 인하대학교 기계공학부  
4. (주)신영 기술연구소  
# 교신저자: 한국생산기술연구원, E-mail: jhsong@kitech.re.kr

## Si 강판의 비대칭 압연 집합조직 변화

남수권<sup>1</sup>, 이철우<sup>1</sup>, 이동녕<sup>2</sup>, 김인수<sup>1</sup>

### Abstract

1934 년에 Goss 는 최초로 전기강판에서 {110}<001>집합조직(Goss 집합조직)을 개발하여 가진 연자성 재료로 사용하였다.

현재까지 Goss 집합조직을 갖는 방향성 전기강판은 제조방법이 매우 복잡하여 세계에서 10 여 개의 업체에서 독점 생산하고 있다.

그러나 이와 같은 제조 방법은 에너지 소비가 높고 공정이 복잡한 단점을 가지고 있다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 비대칭 압연을 이용하여 새로운 방법을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 상온과 열간에서 비대칭 압연을 이용하여 강판과 전기강판을 전단변형하고 {110}<001> 집합조직이 잘 형성되는지 연구하였다.

이렇게 하여 얻어진 강판과 전기강판은 XRD 와 EBSD 를 이용하여 집합조직을 측정하였다.

실험결과 {110}<001> 집합조직이 잘 발달되는 것을 확인하였다.

**Key Words :** Si 전기강판, 비대칭 압연, 전단변형, GOSS 집합조직, 자성특성

---

1. 금오공과대학교 신소재공학부.

2. 서울대학교 재료공학부

# 교신저자

## Al 합금 판재의 열간 비대칭 압연과 성형성 변화

남수권<sup>1</sup>, 이철우<sup>1</sup>, 김인수<sup>1,#</sup>

### Formability change of hot asymmetrically rolled Al alloy sheets

#### Abstract

AA5000, 6000 계열 알루미늄 합금은 비중이 낮아 경량소재로 사용되고 있다. 그러나 AA5000, 6000 계열 알루미늄 합금은 완전 어닐링한 후에 입방 집합조직이 잘 발달되어 판재 성형성이 매우 낮다. 이 문제를 해결하기 위하여 AA5000, 6000 계열 알루미늄 합금의 집합조직을 변화시키는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 AA5000, 6000 계열 알루미늄 합금의 성형성을 향상시키기 위하여 열간 비대칭 압연 방법을 도입하였다.

AA5000, 6000 계열 알루미늄 합금 판재를 우선 열간 비대칭 압연을 하여 전단변형을 하였다. AA5000, 6000 계열 알루미늄 합금을 열간 비대칭 압연 후  $\alpha$ ,  $\gamma$  fiber 등의 집합조직 발달 과정을 비교하여 보았다.

전 두께 층의 XRD 측정 데이터를 이용하여 AA5000, 6000 계열 알루미늄 합금의 극점도를 측정하고 방위분포함수(ODF)로 전개하여 보았다.

AA5000, 6000 계열 알루미늄 합금의 방위분포 함수로부터 소성변형비를 계산하고 열간 비대칭 조건에 의한 집합조직의 변화와 소성변형비 변화를 비교하였다.

**Key Words** : AA5000, 6000 SERIES Al alloy sheet, Hot Asymmetric rolling, pole figure, ODF, Texture, Formability

---

1. 금오공과대학교 신소재공학부.

# 교신저자

# 유한 요소 해석을 이용한 1.5GPa급 사이드아우터의 일체형 핫스탬핑 성형 공정 설계

박승연<sup>1</sup> · 이현철<sup>1#</sup> · 유상제<sup>2</sup> · 송중호<sup>1</sup>

## Process Design for Integrated Hot-stamping of 1.5 GPa Strength Side Outer with the Finite Element Analysis

S. Y. Park, H. C. Lee, S. J. Yoo, J. H. Song

### Abstract

현재 범세계적으로 연비규정 강화와 배기가스 배출 저감에 관련된 각종 규제들이 강화되고 있다. 또한 운전자 및 승객 보호를 목적으로 충돌법규의 강화가 지속적으로 이루어지고 있다. 이에 따라서 기존 스틸 소재의 기계적 성질을 향상시켜 높은 강도를 가지는 고강도, 초고강도강 소재의 적용이 확대 되고 있는 추세이다. 핫스탬핑(Hot-Stamping) 기술은 1.5GPa급 인장강도를 가지면서 낮은 연신율을 보완할 수 있으며, 경량화와 동시에 강도를 만족시킬 수 있는 기술이다. 사이드 아우터는 측면 충돌시 승객을 보호하는 역할로 강성 및 내충격성이 요구되는 부품이다. 본 연구에서는 일체화된 부품 성형을 통해 기존 여러 부품에서 부품수 감소와 더불어 효율적으로 경량화 및 강성을 확보하기 위한 연구를 진행하였다. 유한 요소 해석을 이용하여 사이드 아우터의 일체형 핫스탬핑 성형 공정 해석을 진행하였으며, 홀더(Holder) 및 패드(Sub-Pad)를 추가함으로써 제품의 성형성을 향상시키는 공정을 설계하였다. 성형 공정별 성형 특성 분석을 통한 제품 성형성 및 공정 조건을 제안하였다.

**Key Words** : Hot-Stamping, Finite Element Analysis, Side Outer, High-Strength Steel

## 1. 서론

차량의 경량화 및 고강도화가 요구됨에 따라 스틸 소재의 기계적 성질을 향상시켜 고강도화를 할 수 있는 핫스탬핑 등의 기술들이 확대되고 있는 추세이다. 이에 따라 측면충돌 시 운전자의 안전에 직접적인 영향을 미치는 사이드 아우터에도 고강도강 성형 기술에 대한 요구가 확대되고 있다. 본 논문에서는 핫스탬핑 성형기술을 적용한 일체형 사이드 아우터를 개발함으로써 기존 여러 부품을 일체화된 부품으로 성형하기 위한 공정 개선에 대한 연구와 제품의 성형

에 미치는 인자들은 선정하여 핫스탬핑 공정 설계를 진행하였다.

## 2. 실험방법

사이드 아우터의 핫스탬핑 공정에 적용되는 소재는 SABC1470 1.2t이며, 소재의 고온 성형특성 분석을 위하여 온도 변화해석을 통해 소재의 성형 특성을 분석하였다. 소재의 초기온도는 950℃, 금형의 초기온도는 20℃로 해석을 진행하였다.

성형에 따른 제품의 주름 및 크랙 등의 성형 특성을 보완하기 위한 방법으로 홀더(Holder) 및 패드(Sub-PAD)를 추가하여 성형에 미치는 영향을 확인하였다. 홀더 및 패드의 가압력의 변화에 따른 성형성 평가

1. 자동차부품연구원 소재융합연구센터

2. 현성테크노

# 교신저자: 자동차부품연구원, E-mail: hclee@katech.re.kr

를 수행하였으며, 성형해석은 LS-DYNA를 이용하였다.

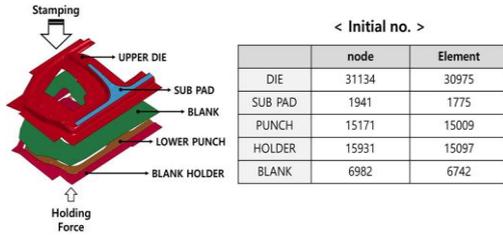


Fig. 1 Die modeling for Hot-stamping of Side outer

### 3. 결과 및 고찰

일체형 사이드 아우터의 성형 해석 결과 소재의 주름 및 크랙이 발생하는 것을 예측할 수 있었으며, 성형시 발생한 주름을 해결하기 위한 방법으로 홀더 및 패드를 적용하였다.

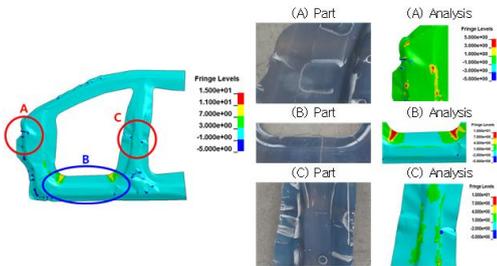


Fig. 2 Side Outer Shape of Hot-stamping

부품의 접힘 개선을 위하여 홀더에 홀딩력을 5, 7.5, 10 ton 으로 부여하여 공정해석을 진행하였다. 홀딩력의 증가로 인하여 주름 및 성형성이 개선되었지만 두께감소 증가에 따라 부품에 크랙이 발생함을 예측할 수 있었다. 따라서 본 공정의 적정 홀딩력을 7.5 ton으로 선정하여 공정분석을 진행하였다.

홀더 추가 공정해석 결과 소재의 접힘 발생을 해결할 수 있었으나, 부품의 센터 하부에 주름이 발생함을 예측할 수 있었다. 이를 보완하기 위한 방법으로 패드(Sub-Pad)를 추가 하여 공정을 분석하였다. 패

드 가압력은 프레스의 용량을 고려하여 4, 6, 8 ton으로 선정하여 해석을 진행하였다.

해석결과 하부의 주름의 개선효과를 보였으나 가압력의 증가에 빠른 효과는 미비한 것을 확인할 수 있었다.



Fig. 3 Final Shape of Hot-stamping using Holder and Pad

### 4. 결론

본 논문에서는 성형해석을 이용하여 핫스탬핑 기술을 적용한 일체형 사이드 아우터의 성형 공정을 설계하고, 부품 성형의 성형성을 향상시키기 위한 공정을 도출하였다. 적절한 홀더 및 패드 가압을 통한 일체형 핫스탬핑 기술을 확보할 수 있었다.

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술포진지원이 지원하는 경제협력권산업 육성 사업으로 수행된 연구결과입니다. (A0128 00158)

# 다단 스탬핑 공법을 적용한 차량용 자동변속기 부품 성형 방법에 대한 연구

박은수<sup>1#</sup> · 이성민<sup>1</sup> · 이원일<sup>1</sup> · 차달준<sup>1</sup>

## Study on the forming technology of the automatic transmission parts by using cold stamping method

E. S. Park, S. M. Lee, W. I. Lee, D. J. Cha

### Abstract

In this study, process of drawing method is applied by manufacturing technology of the hub clutch. By using DEFORM-2D software, numerical simulation is performed for optimization of the process parameters such as displacement and press load. And numerical analysis for manufacturing the preformed component for the hub clutch is carried out to confirm the determined parameters. From the results, the forming process of the part with complex shape can be separated into many forming steps. In order to determine the steps, the forming loads for manufacturing the component can also be calculated and the proper press capacity is determined. The experimental results of the forging process validate the numerical simulation reasonably well. The preformed component for the drum clutch is manufactured successfully.

**Key Words** : Automatic Transmission Parts, Stamping, Numerical simulation

### 1. 서론

내연 기관 자동차용 자동변속기의 내부 동력 전달 부품중, Clutch 류 부품들은 동력전달을 위해 스플라인이라고 불리는 사다리꼴 모양의 치형을 가지고 있으며, 이 치형은 마찰판 이나 Shaft 등과 결합하여 동력전달 역할을 한다.

자동변속기가 고단화 될수록, 부품의 형상은 복잡해 지는데, 이를 만족시키기 위해 보통 용접품의 형태로 구현한다 (Fig1)

본 연구는, 부품 신뢰성 향상 및 제조 원가 절감을 위해, 기존 용접공정으로 제작한 부품을 다단 Stamping 공정 적용, 성형을 통해 일체화 시킨 내용에 대한 실험 결과이다.



Fig. 1 Hub clutch ( Welding part )

1. 경창산업

# 교신저자: 경창산업, E-mail: parkes@kc.co.kr

## 2. 실험방법

기존 두개의 부품의 결합으로 이루어진 형상에 대한 일체화 성형인 만큼, 제조 공정이 복잡 한데, 다수의 다단 Stamping 으로 Drawing 을 한후, Piercing 공정을 거치고, 두번의 증육 공정을 거쳐 Preform 을 완성하고, 이후 기계 가공으로 제품을 구현하였다. (Fig.2)

투입 소재는 SAPH440이며 기계적 성질은 table 1과 같다. 제품의 성형공정에서 성형력 배분이 까다로워 FEM을 적용하여 실험을 진행하였으며, FEM 결과와 성형 결과를 비교 하였다. (Fig.3)

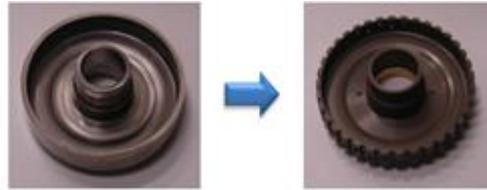


Fig. 2 Drawing Part & Final Machining

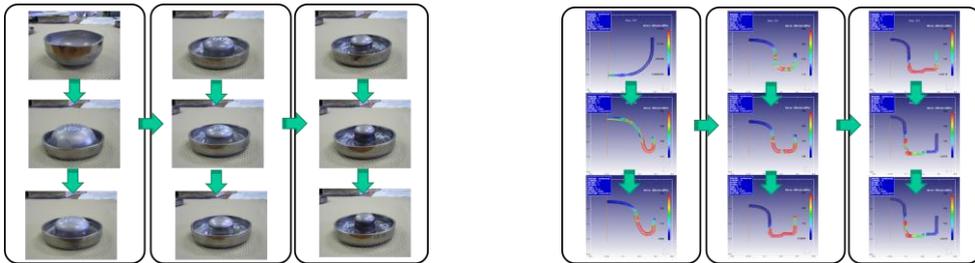


Fig. 3 Drawing Part & FEM DATA

Table 1. Mechanical properties of the SAPH440 (JIS G3113 used in automobile structure)

Grade	Tensile strength (Mpa)	Yield strength (Mpa)	Elongation (%)
SAPH440	553	301	33

## 3. 결과 및 고찰

기존 용접공정을 이용하여 제조 되던 Hub Clutch 제품을 다단 Stamping적용 일체화 성형을 통해, 제조 원가 절감 및 부품 신뢰성 향상을 구현하였다.

또한 FEM 해석 데이터와 실제 실험결과를 비교 하였고 그 결과 FEM 시뮬레이션 데이터는 충분히 실제 현장에서 사용이 가능할 정도의 신뢰성을 보였다.

## 4. 결론

본 연구에서는 자동변속기 Clutch 부품의 다단 Stamping 공정 적용에 대해 고찰하였다. 유한요소해석 결과와 실험에서 얻은 data 의 비교를 통해, 해석의 유효함을 확인하였다.

### 참고문헌

- [1] M. Merklein, J. Koch, S. Opel, T. Schneider: Fundamental investigations on the material flow at combined sheet and bulk metal forming processes, CIRP Annals-Manufacturing Technology, 60 (2011), 283-286.
- [2] T. Nakano: Modern applications of complex forming and multi-action forming in cold forging, Journal of Materials Processing Technology, 46(1994), 201-226

# 핫스탬핑 소재인 SABC1470의 열처리 및 냉각 조건에 따른 기계적 물성 거동 분석

이동훈<sup>1\*</sup> · 박시준<sup>1</sup> · 이현철<sup>1</sup> · 송종호<sup>1</sup> · 유상제<sup>2</sup>

## Analysis of Mechanical Properties of SABC1470 for Hot Stamping Process according to Heating and Cooling Condition

D. H. Lee, S. J. Park, H. C. Lee, J. H. Song, S. J. Yoo

### Abstract

환경 규제 및 연비 규제 강화에 대응하기 위한 자동차 관련 다양한 연구가 진행되고 있으며 경량화는 연비 향상을 위한 핵심 기술로 인식되고 있다. 차체부품의 경량화에 있어 고강도 강 적용을 통한 비강도 개선이 많이 이루어지고 있으며 고강도화에 따른 난성형 문제를 극복하기 위하여 핫스탬핑 공법의 적용이 증가하고 있다. 핫스탬핑이란 소재를 재결정 온도 이상으로 승온시킨 후 스탬핑과 동시에 급형 내 급냉을 통하여 부품을 성형하는 기법으로 급형에 의한 냉각 조건에 따라 소재 기계적 성질이 다양하게 나타나는 특징을 보인다. 본 연구에서는 핫스탬핑용 소재인 SABC1470 소재의 열처리 온도와 냉각 조건을 달리하여 조건별 기계적 물성 거동을 분석하였으며 미세조직 분석을 통하여 강도 변화에 따른 조직 특성을 분석 하였다.

**Key Words:** Hot Stamping, SABC1470, mechanical properties, Vickers Hardness, Tensile Strength

## 1. 서론

자동차 배기가스 규제 및 연비 규제 강화로 자동차 분야에서 환경규제에 대하여 대응하기 위한 다양한 공법과 소재에 대한 연구가 진행되고 있다. 연구 개발되고 있는 방안 중 기간 대비 효율이 높은 자동차 차체의 경량화에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다[1]. 스웨덴의 SAAB Hardtech사에서 개발한 핫스탬핑 공법은 1975년에 개발된 이후로 현재까지 다양한 자동차 부품에 대하여 개발 적용되고 있다. 핫스탬핑 공법은 강판을 상변태 온도 이상으로 승온시킨 후 급형에서 성형과 동시에 급속 냉각

시켜 martensite 조직을 생성시켜 강도를 증가시키는 방법으로 고강도를 요구하는 차체의 외장부품에 많이 사용 중이다. 핫스탬핑 공법은 판재의 두께, 재료의 성분비, 성형온도 등에 따라 물성의 차이를 보이는 것으로 알려져 있다[2].

본 연구에서는 초기 열처리 온도가 핫스탬핑 소재에 미치는 영향과 냉각 방식의 차이에 따른 기계적 물성 거동 분석을 통하여 SABC1470에 대한 요구 물성을 만족할 수 있는 최적 조건에 대한 연구를 하였다.

## 2. 실험방법

열처리 및 냉각 조건별 시편을 제작하기 위하여 연구에서 사용한 장비와 조건을 표 1에 나타내었다. 고온 열처리를 위하여 온

1. 자동차부품연구원  
2. (주) 현성테크노  
# 교신저자: 자동차부품연구원, E-mail: dhlee1@katech.re.kr

도 조절이 가능한 가열로를 사용하여 열처리 하였고, 열처리를 마친 시편은 냉각 방법을 공냉, 수냉, 급형 내 냉각으로 구분하여 냉각을 시켰으며, 냉각 후 시편에 대하여 만능재료시험기를 이용하여 인장강도를 측정하였다. 시편의 경도를 측정하기 위하여 Vickers 경도기를 사용하여 경도(HV 5.0)를 구하였다. 또한, 아크릴 수지를 이용하여 시편을 고정 한 후 표면 연마 후에 시편의 미세조직을 관찰하였다.

표. 1 시편 제조용 가열로와 열처리 및 냉각 방식

가열로 종류	시편 열처리 온도 (°C)	시편 냉각 방식
	600, 800, 900	공냉 수냉
	950	공냉 내 냉각 수냉

### 3. 결과 및 고찰

열처리 및 냉각 조건에 따른 시편의 기계적 물성 측정결과를 표 2에 정리하였다. 핫스탬핑 소재 SABC1470-1의 경우에는 열처리 전 565.9MPa의 강도를 보였으며, 600도 열처리 및 800도 열처리 후 공냉 시에는 강도 변화가 없었다. 900도 열처리 후 공냉 시편은 강도가 열처리 전보다 강도가 상승하였는데, austenite 조직에서 미세한 pearlite 조직으로 변태되어 생긴 현상이다. 800도 열처리 후 수냉 시편과 900도 수냉 시편의 경우, 공냉 시편 대비 인장강도가 증가하였다. 이는 급랭으로 인한 결정립 미세화에 의한 현상과 austenite 조직에서 martensite 조직의 상변태가 일어나서 생긴 현상이다.

SABC1470-2의 경우에는 수냉 시 인장강도가 1748MPa로 측정이 되었고, 급형 내에서 냉각 시에는 시편에서 급형으로 열전달이 일어나 시편의 냉각속도가 빨라져

1559MPa의 인장강도를 보이는 것을 확인하였다.

표. 2 열처리 및 냉각 조건에 따른 시편의 기계적 물성 측정 결과

구분	인장강도 (MPa)	경도(HV 5.0)					
		1.0	2.0	3.0	평균		
SABC 1470 - 1	열처리 전 시편	565.9	153.8	167.8	160.3	160.6	
	600	수냉	549.0	173.0	166.8	161.9	167.2
		공냉	506.6	159.9	157.9	159.3	159.0
	800	수냉	1171.6	384.6	433.4	407.9	408.6
		공냉	562.3	179.9	170.0	167.1	172.3
	900	수냉	1613.7	542.3	526.1	530.1	532.8
공냉		665.5	286.1	293.4	291.0	290.2	
SABC 1470 - 2	수냉	1748.1	586.3	572.6	568.1	575.7	
	급형 내 냉각	1559.2	490.4	497.6	499.4	495.8	
	공냉	767.9	248.9	252.1	251.2	250.7	

### 4. 결론

핫스탬핑 소재인 SABC1470의 열처리 및 냉각 조건에 따른 기계적 물성 과 미세조직의 변화를 관찰해 보았다.

핫스탬핑 소재는 냉각 속도 및 시편의 초기 열처리 조건에 따라 경도, 인장강도와 같은 기계적 물성이 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다.

핫스탬핑 소재의 고강도 물성을 구현하기 위해서는 800도를 초과한 온도에서 열처리와 급냉을 시킬 수 있는 급형 혹은 수냉을 모사할 수 있는 냉각 방식을 적용한 공법을 적용하여야 한다.

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술평화지원이 지원하는 경제협력권산업 육성 사업으로 수행된 연구결과입니다. (A012800158)

### 참고문헌

1. S. H. Hwang, K. W. Nam, 대한기계학회 논문집 A권 36(3), 319(2012)
2. N. H. Kim, K. Y. Kwon, C. G. Kang, 대한기계학회 춘추학술대회, 78(2009)

# 벌지컵 프로그레시브 공정의 AFDEX 탄소성 유한요소해석

조성민<sup>1</sup> · 정규석<sup>2</sup> · 조재민<sup>2</sup> · 정완진<sup>#</sup>

## Elasto-Plastic Finite Element Analysis of Bulge Cup Progressive Process by AFDEX

S. M. Cho, K. S. Jung, J. M. Cho, W. J. Chung

### Abstract

본 연구에서는 금속성형전용 유한요소해석 프로그램인 AFDEX를 활용하여 벌지컵 프로그레시브 공정의 탄소성 유한요소해석을 수행하였다. 공정도는 제 4회 학생 금형그랑프리 출품작을 참조하여 설계하였다. 먼저 1~4차 딥드로잉 공정을 진행한 후, 5차공정에서 벌징 성형공정을 수행하였다. 유한요소해석은 AFDEX V16 3D를 사용하였다. 해석결과와 공정도의 형상을 비교하여 AFDEX의 프로그레시브 공정에의 적용 가능성과 그 차이를 알아보려고 한다.

**Key Words** : Elasto-plastic FEM(탄소성 유한요소해석), Progressive Process(프로그레시브 공정)

### 1. 서론

본 논문에서는 금속성형전용 유한요소해석 프로그램인 AFDEX V16 3D의 탄소성 해석기능을 활용하여 제 4회 학생 금형 그랑프리의 문제[1]로 제시된 벌지컵 프로그레시브 공정을 시뮬레이션 하였다. 공정도는 아래와 같다.

### 2. 유한요소해석

#### 3.1 해석 모델 및 조건

Table 1은 AISL1008의 물성치를 나타낸 표이다. 본 연구에서는 AISL1008 ø30mm, t=0.5mm 원형블랭크의 1/12 대칭모델을 사용하였다. 금형은 강체로 설정하고, 편치 속도는 -1mm/s로 일정하게 설정하였다. 마찰은 쿨롱마찰( $\mu=0.05$ )로 설정하였다.

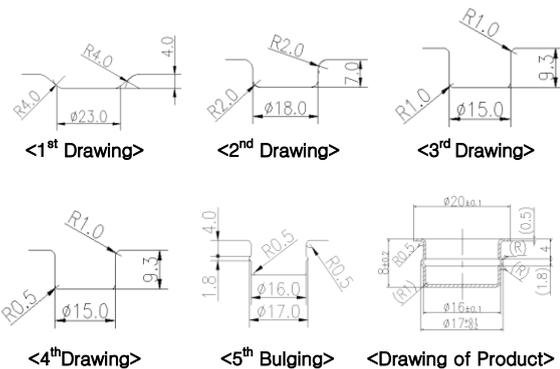


Fig. 1 Process Layout

Material Properties		Values
Young's modulus [GPa]		199.95
Poisson's ratio		0.29
Flow stress curve	$Y_0$ [MPa]	215
	a	0.24694
	b	0.01076

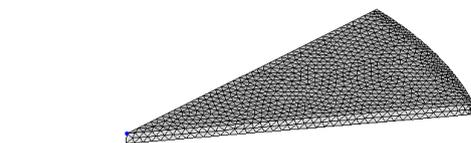


Fig. 2 Blank for analysis

1. 서울과학기술대학교 대학원 제품설계금형공학과  
 2. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과  
 # 교신저자: 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과,  
 E-mail:wjchung@seoultech.ac.kr

### 3.2 유한요소해석 결과

Fig.3 및 Table 2 는 2~4차 공정의 해석 결과를 제품의 밑면 지름(D)과 코너 반경(R), 높이(H)를 측정하여 공정도와 비교한 결과이다. 2차 드로잉에서의 D,R,H는 공정도와 거의 유사하게 측정되었다. 3차드로잉에서 D는 약 0.11mm, R은 0.02mm의 차이를 보였고, 4차 드로잉에서 D는 약 0.13mm, R은 0.02mm의 차이를 보였다.

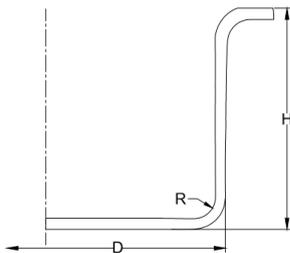


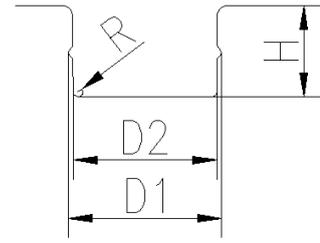
Fig. 3 Deformed shape at 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup>, 4<sup>th</sup> stage

Table 2 Deformed shape at 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup>, 4<sup>th</sup> stage

	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>
D	18.07	14.89	15.13
H	7.00	9.30	9.31
R	2.01	0.98	0.48

unit : mm

Fig.4 및 Table 3은 5차 별징이 끝난 후에 최종 제품 형상과 해석결과를 비교한 자료이다. D1은 약 0.2mm, D2는 약 0.1mm, H1 은 0.2mm, H2는 0.1mm의 차이를 보였다. 따라서, 해석결과가 공정도와 매우 유사함을 알 수 있다. Fig.4의 (b)와 (c)는 각각 해석결과와 최종 제품형상을 나타낸 그림이다. 플렌지 부분에서 형상의 차이를 확인 할 수 있는데 이는 3D 해석모델을 사용하였기 때문에 드로잉공정 해석 시 주름이 발생하고 최종 별징공정에서 바인더를 이용해 플렌지 부분을 압축했기 때문이다.



(a) 2D CAD model



(b) Final deformed shape



(c) Product

Fig. 4 Comparison of shape at final stage

Table 3 Comparison of shape at final stage

	D1	D2	H	R
해 석	16.8	15.9	8.0	0.5
실 험	17.0	16.0	8.0	0.5

unit : mm

### 3. 결론

본 연구에서는 AFDEX V16을 활용하여 별지킵 프로그래시브 공정의 탄소성 유한요소해석을 수행하였다. 각 공정별 해석결과가 제품 형상과 유사함을 확인하였고, AFDEX의 바인더 변위이동 기능을 활용한 원형컵의 별징 성형공정 해석이 가능함을 확인하였다.

#### 후 기

이 논문은 2014년도 중소기업청의 혁신기술개발사업의 지원을 받아 수행되었음. (S2227173)

#### 참 고 문 헌

- [1] W. J. Chung, K. B. Hwang, J. M. Choi, J. C. Ko, H. K.Jung, K. Heo, 2012, 第4回 学生金型グランプリ資料集

# 직접 냉각 방식 적용 핫스탬핑 금형의 상변태 해석

차승훈<sup>1</sup> · 소범식<sup>1</sup> · 서종덕<sup>2</sup> · 임창용<sup>2</sup> · 임정식<sup>2</sup>

## Phase transformation analysis of hot stamping die with direct cooling

S. H. Cha, B. S. So, J. D. Seo, C. Y. Lim, J. S. Lim

### Abstract

In order to have good formability and low spring-back, hot stamping has widely in automotive industry to manufacture autobody with AHSS(Advanced High Strength Steel). But it is difficult to retain required strength at the side area of product. This study has applied to direct cooling system partially. The cooling efficiency compared with indirect cooling system has evaluated to preform phase transformation analysis by PAM-STAMP. The direct cooling system has been seen to increase more than 1.5 times with comparison of indirect cooling system.

**Key Words** : Hot Stamping, Direct Cooling, Phase Transformation Analysis, Strength, Cooling Efficiency

### 1. 서론

자동차 경량화 및 충돌 특성을 동시에 만족하기 위하여 최근 많은 자동차 업계에서는 종량 대비 강도가 높은 초고강도 강재가 확대 적용되고 있다. 그러나 초고강도 강재는 성형성 및 이를 프레스 가공하기 위하여 적용된 금형의 수명 저하 문제로 확대 적용은 한계가 있다. 이에 대응하는 기술로서 핫스탬핑 공정은 성형성이 우수하며 스프링백을 최소한으로 줄일 수 있다는 장점으로 전 세계적으로 확대 적용되고 있다. 핫스탬핑 공정은 판재를 900℃ 이상 가열한 이후 금형에서 제품을 급냉시켜 1.5GPa급 초고강도 제품을 제작하는 공정으로 고온 오스테나이트 조직에서 확산변태를 거치지 않고 마르텐사이트 조직으로 이루어지기 때문에 빠른 냉각 속도가 필수적이다[1].

하지만 차체 부품 대부분은 측벽부 경사각이 직각에 가까워 측벽부 접촉 압력 저하로 기존 간접 냉각만으로는 차체 부품의 강도 확보가 어려운 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 측벽부 강도 확보를 위해서 부분적으로 직접 냉각 방식을 적용하였고, 이에 따른 냉각 특성을 평가하기 위하여 핫스탬핑 공정의 상변태 해석을 수행하여 간접 방식과 비교하였다.

### 2. 실험방법

핫스탬핑 상변태 해석 모델은 펀치, 상형 및 패드로 구성되어 있고, 공법은 3Piece Form type을 적용하였다. 상변태 해석 조건은 이송 시간 6초, 냉각 시간 15초 및 패딩력 100KN를 적용 하였다. 상변태 해석은 보른강 CCT 곡선에서 각 질점에 대한 시간에 따른 온도 변화로 예측되며, 900℃ 이상 온도에서 오스테나이트 조직으로 변태 이후 냉각 속도 30℃/sec 이상에 마르텐사이트 조직으로 변태되는 것을 확인할 수 있다.

1. (재)경북테크노파크 그린카부품기술연구소

2. ㈜신영 기술연구소

핫스탬핑 성형은 소재와 금형간의 열전달에 의해 성형성 및 제품 경도에 큰 영향을 끼치며, 소재에 전달되는 프레스 압력이 증가할수록 열전달 계수는 커지고, 소재와 금형 사이의 간격이 커질수록 열전달 계수는 작아진다. 따라서 이를 반영한 해석이 요구되며 PAM-STAMP에서 제공되는 그래프를 반영하여 해석을 수행하였다.

본 논문에서 적용한 직접 냉각 방식은 상기에서 언급한 열전달 계수로는 모사하기 어려우며 실험을 통해 도출된 열전달 계수를 활용하여 직접 냉각 방식 적용에 따른 열전달 계수를 직접 냉각이 적용된 측벽부 금형에 부분 적용하여 해석을 수행하였다[2]. 측벽부에 적용된 열전달 계수는 GAP에 따른 열전달 계수 값에서 실험을 통해 산출된  $3\text{kW/m}^2\text{K}$ 를 적용하였다. 열전달 계수를 다르게 삽입하기 위하여 해석 모델은 간접 냉각 금형과 직접 냉각 금형을 분리하여 GAP에 따른 열전달계수를 각각 적용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

아래 그림은 간접 냉각 방식의 상변태 해석 결과를 나타내었다. 두께 변형률은 전영역에서 15% 이내이므로 성형성은 문제 없는 것을 확인할 수 있었다. 온도 및 경도 결과에서 간접 냉각 방식의 경우 측벽부 압력 부족으로 경도 값이 저하 되는 것을 확인할 수 있었고, 10s 이상의 냉각 시간에서 원하는 경도 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

아래 그림은 직접 냉각 방식 적용에 따른 상변태 해석 결과를 나타내었다. 두께 변형률은 전영역에서 15%이내이므로 성형성은 문제없는 것을 확인할 수 있었다. 온도 및 경도 결과에서와 같이 간접 냉각 방식에서 문제가 되었던 측벽부 강도 감소가 해결되는 것을 확인할 수 있었다.

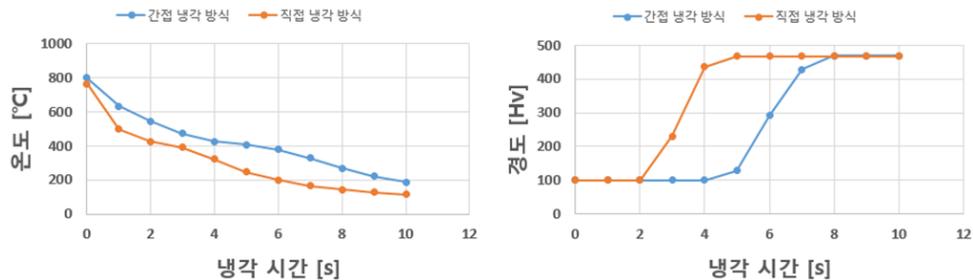


그림 1. 간접 냉각 방식과 직접 냉각 방식 냉각 특성 비교

### 4. 결론

본 논문에서는 측벽부 강도 향상을 위해 부분적으로 직접 냉각 방식을 적용하였으며, 직접 냉각 방식 적용을 위해 해석 모델을 설정하였고, 핫스탬핑 상변태 해석을 통해 간접 냉각 방식 대비 냉각 시간 1초 이상 단축되는 것을 확인할 있었고, 또한 측벽부 강도 감소 문제를 해결할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 향후에 실험을 통해 해석 결과를 검증할 것이다.

#### 후기

본 연구는 산업통상자원부 에너지효율향상기술개발 “Joule Heating 기술을 이요한 기존대비 에너지 효율 60% 향상된 열간 프레스 성형 공정 기술 개발” 과제 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] 김병훈, 한정민, 이영국, 강경필, 2012, 자동차용 열간금형강의 소재 제조기술, Vol. 25, No. 5, pp. 12~23.
- [2] 김재홍, 고대훈, 서판기, 2014, 핫스탬핑 공정에서 Tailored Rolled Blank 의 성형 특성을 고려한 성형한계 예측, Vol. 23, No. 6, pp. 351~356.

## 선박용 파형격벽 성형을 위한 스트로크 예측에 관한 연구

최동환<sup>1</sup> · 이상익<sup>1</sup> · 이진우<sup>1</sup> · 이정환<sup>#</sup>

### Study on the forming stroke prediction for corrugated bulkheads of ships

D. H. Choi, S. I. Lee, J. W. Lee, J. H. Lee

#### Abstract

Bulk Carrier의 화물창 제작에 사용되는 파형격벽은 보강재를 생략 할 수 있어 강도증가 및 선박의 무게를 경량화 시킬 수 있다. 파형격벽은 대형 후판을 이용하여 프레스 성형으로 제조되고 있다. 파형격벽 성형시 곡률과 스프링백에 대한 치수정밀도를 만족하기 위해 다수의 스트로크 작업을 통해 제조된다. 현재의 작업자의 노하우에 따라 성형되는 후판은 장시간이 소요되고 있어 낮은 생산성을 나타내고 있다. 본 논문에서는 파형격벽 후판 성형 생산성을 향상 시키기 위해 요구되는 곡률과 스프링백에 대한 치수정밀도를 예측하기 위해 다양한 곡률에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소해석을 통해 후판 성형을 위한 스트로크를 data base 화로 실제 후판성형에 적용하여 비교 분석하였으며, 요구되는 곡률과 치수정밀도가 우수한 것을 알 수 있었다. 따라서 후판성형을 위한 스트로크 DB화로 생산성 80%를 향상 시킬 수 있었다.

**Key Words** : Marine shipbuilding industry, Bending, Spring back, FEA, Plate forming, Stroke, Corrugation

---

1.재료연구소

# 교신저자: 재료연구소,ljh1239@kims.re.kr

# 정밀 고온/고압 챔버를 이용한 폴리카보네이트 열접합

박동진<sup>1</sup> · 박태현<sup>#</sup>

## Polycarbonate Thermal Bonding System Using Precise High Temperature/Pressure Chamber

D. J. Park, T. H. Park

### Abstract

본 논문에서는 유체의 끓는점을 이용한 폴리카보네이트 열접합 방법을 제시한다. 고온/고압 챔버 내부의 일정한 압력유지를 통해 유체의 정밀한 온도제어( $\pm 0.3^\circ\text{C}$ )를 했으며, 유체의 압력을 사용하므로 샘플 표면에 동일하게 가압할 수 있다. 본 시스템을 이용해 열접합 한 폴리카보네이트는 채널의 붕괴나 변형 없이 접합을 했다. 챔버의 허용압력은 330kPa, 허용온도는  $150^\circ\text{C}$ 로 폴리카보네이트 뿐만 아니라 유리전이온도가  $150^\circ\text{C}$  이하인 다양한 폴리머 열접합에 사용할 수 있다. 또한, 유체를 사용하므로 곡면이나 3D형상을 가진 샘플의 접합에도 사용할 수 있다.

**Key Words** : Polymer Thermal Bonding, Polymer Sealing, Polycarbonate Thermal Bonding

### 1. 서론

바이오 기술(Bio Technology)의 발전에 따라 미세유체 장치(Microfluidic Devices)의 활용도가 증가하고 있으며, 미세유체 장치는 의료, 환경, 화학 분야 등 다양한 분야에서 진단 및 분석 장치 등으로 사용되고 있다. 재질은 Silicone, PDMS(Polydimethylsiloxane), PMMA(Poly-methyl Methacrylate), PC, COP(Cyclic Olefin Polymer)를 많이 사용한다. 이중 Silicone과 PDMS는 비교적 제작시간이 오래 걸리며 대량생산의 한계점 등이 있다. PMMA, PC, COP와같은 폴리머(Polymer) 재질의 미세유체 장치는 상대적으로 제작시간이 짧고 대량생산이 가능하다. 또한, 미세유체 장치의 용도에 따라 다양한 재질의 폴리머를 이용할 수 있다. 폴리머 미세유체 장치는 채널에서의 누수 및 외부로부터 오염을 막기 위한 실링(Sealing) 공정이 필수적이다. 실링에는 다양한 방법이 있으나 접착제, 솔벤트

(Solvent) 및 라미네이트 필름(Laminate Film)을 이용하는 방법은 이종물질의 사용으로 채널을 오염시킬 수 있으며, 순수성을 필요로 하는 미세유체장치의 접합에는 적합하지 못하다. 열접합 방법은 이종물질을 사용하지 않아 미세유체장치의 접합에 적합하다. 기존의 열접합은 강제순환식오븐을 사용했으며 샘플의 표면에 원하는 압력을 일정하게 가압하기 어렵고, 정밀한 온도제어가 어려우며, 샘플 형상의 제약을 받는다는 단점이 있다. 본 논문에서는 유체를 이용한 열접합 방법으로 샘플 형상의 제약을 받지 않고 샘플의 표면을 일정한 압력으로 가압할 수 있는 고온/고압 챔버를 이용한 열접합 시스템을 소개한다.

### 2. 폴리카보네이트 열접합 시스템

기존에 사용했던 열접합 시스템은 허용온도는  $120^\circ\text{C}$ , 허용압력은 35kPa로 유리전이온도가  $110^\circ\text{C}$ 인 PMMA만 접합할 수 있었다. 폴리카보네이트 열접합 시스템 허용압력 330kPa, 허용온도는  $150^\circ\text{C}$ 로 폴리카보네

1. 경남대학교 첨단공학과

# 교신저자: 경남대학교 기계공학부,

E-mail: taehyun@kyungnam.ac.kr

이트 뿐만 아니라 유리전이온도(Glass Transition Temperature)가 150°C 이하인 폴리머의 열접합에 사용할 수 있도록 제작되었고, 챔버 내부의 압력조절로 정밀한 온도제어( $\pm 0.3^\circ\text{C}$ )가 가능하다. Fig.1은 폴리 카보네이트 열접합 시스템을 보여주고 있다. 챔버 내부의 유체를 히터를 통해 가열하고 압력 레귤레이터를 통해 정밀한 압력과 온도제어가 가능하다. Moveable Part는 실리콘 재질의 멤브레인(Membrane)을 사용하여 챔버 내부의 유체와 독립된 공간을 형성해 샘플을 접합할 수 있게 했다. 샘플이 위치한 멤브레인 내부는 압축기를 사용하여 챔버보다 낮은 압력을 형성했으며, 샘플의 표면에 가압되는 압력을 제어했다. 열전대와 압력센서를 사용하여 챔버 내부의 온도와 압력을 Data Logger에 표시했다.



Fig. 1 Polycarbonate Thermal Bonding System

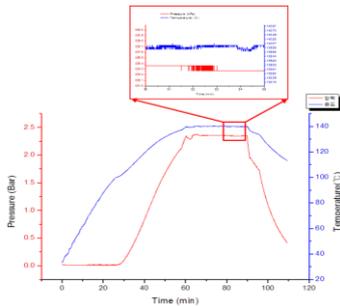


Fig. 2 Time vs. Pressure and Temperature

### 3. 결론

Fig.2는 챔버 내부에서 시간에 따른 온도와 압력 그래프이다. 온도는  $140\pm 0.3^\circ\text{C}$ 로 정밀하게 제어 되었다. Table1은 폴리 카보네이트

열접합 조건이며, 챔버의 압력과 Moveable Part사이의 압력차는 10~20 kPa로 유지했다. Fig.3은 본 폴리 카보네이트 열접합 시스템을 이용해 열접합 한 폴리 카보네이트 샘플의 단면 형상이며, 채널의 변형 없이 열접합이 이루어졌다. 폴리 카보네이트의 유리전이온도인 140°C에서 15분간 접합을 진행했으며 정밀한 온도제어( $0.3^\circ\text{C}$ )가 이루어진 것을 볼 수 있다. 본 시스템은 유체를 사용하므로 곡면이나 3D 형상을 가진 샘플의 열접합에도 응용 될 수 있으며, 대량생산이 가능할 것이다.

Table 1 Polycarbonate Thermal Bonding Condition

Chamber pressure	$235 \pm 2\text{kPa}$
Chamber Temperature	$140\pm 0.3^\circ\text{C}$
Moveable Part Pressure	220 kPa
Bonding Time	15 min

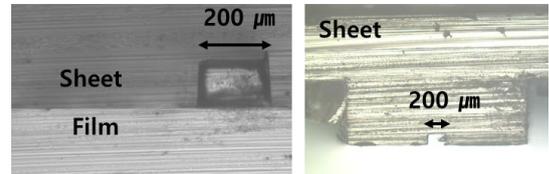


Fig. 3 Polycarbonate Cross Section

### 후기

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (NRF-2014R1A1A1038283 & NRF-2016R1C1B2014368)

### 참고문헌

1. Taehyun Park, In-Hyouk Song, Daniel S.Park, Byoung Hee You, Michael C. Murphy.” Thermoplastic fusion bonding using a pressure-assisted boiling point control system”, Lap on a chip, Vo1. 12, No.16, pp. 2799-2802, 2012.

# 열가소성 플라스틱 소재의 온도 변화율에 따른 열 처짐 현상 연구

이호영<sup>1</sup>, #임성한<sup>1</sup>, 송경섭<sup>2</sup>, 배정관<sup>2</sup>

## Study of heat deflection phenomenon according to the temperature change rate of the thermoplastic plastic material

\*H. Y. Lee<sup>1</sup>, #S. H. Rhim<sup>1</sup>, K. S. Song<sup>2</sup>, J. K. Bae<sup>2</sup>

### Abstract

투명치아교정장치 제작 시 사용되는 열가소성 소재는 유리전이온도 이상으로 가열 시 열 처짐이 발생한다. 이러한 열 처짐이 가압 전 시트의 초기 형상을 결정하고, 따라서 투명치아교정장치의 전반적인 두께 분포에도 영향을 줄 것이다. 본 연구에서는 시트 가열 상황에 따른 열 처짐 현상을 살펴보고 가열 상황의 변수는 시트의 온도 변화율로 설정하였다. 연구 결과 온도 변화율이 낮을수록 시트의 처짐 현상은 도드라졌고 시트의 두께 분포에도 영향을 주었다.

**Key Words** : Thermoplastic plastics, Thermal deflection, FEA

### 1. 서론

치아교정 방법 중 심미적인 이유로 투명치아교정장치의 사용이 늘어가고 있는 추세이다. 교정 장치의 경우 열가소성 플라스틱의 소재 시트를 할로겐 히터를 이용하여 가열 후 유리전이온도 이상이 될 때 공압을 이용한 블로 몰딩(blow molding) 방식으로 제작이 된다. 제작 과정 중 시트를 가열하는 동안 시트의 점성이 낮아지게 되고 그 결과 자중에 의해 처짐이 발생한다. 이 처짐은 제작되기 직전의 시트의 초기 형상을 결정하며 따라서 제작되는 교정장치의 두께 분포에 영향이 있을 것으로 판단된다. 본 연구는 시트의 온도 변화율에 따른 시트의 처짐 경향성을 분석하는 것을 목표로 한다. 분석 방법으로 유한요소해석을 이용하였고 온도 변화율에 대해서는 3가지의 경우를 선정하여 처짐 특성을 비교하였다.

### 2. 실험방법

유한요소해석을 진행하기 위해 온도 변화 곡선을 3가지로 분리하였다. 온도 상승 형상은 동일하나 가열 시간이 50초, 100초, 150초일 때로 구분하여 진행하였다. 그래프는 Fig. 1에 표기하였다. 해석은 상용 프로그램 ANSYS Polyflow를 사용하였다. 사용한 시트는 PETG 소재의 1mm 두께를 갖는 원형 시트였고 지름은 125mm였다. 시트의 처짐 특성은 크게 2가지며 첫 번째는 시트 중앙부의 y축 처짐, 두 번째는 시트 중앙부의 두께를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

시트의 처짐의 경우 온도 변화율이 낮을수록 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이는 시트의 처짐이 어느 온도 이상부터 본격적으로 일어나기 시작하는데, 그 온도 구간이 나타나는 시간이 긴 case 3에서 가장 큰 처짐이 발생하였다. 또한 시트의 두께의 경우 처짐이 가장 크게 발생한 case 3에서 가장 얇게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 시트가

1. 단국대학교 기계공학과  
2. 에스브이에스㈜ 기술연구소  
# 교신저자: 단국대학교 기계공학과, shrhim@dankook.ac.kr

처짐이 발생할 때 시트가 흘러내리는 형식이 아니라 점성이 낮아져 자중을 버티는 힘이 약해져 처지는 것으로 확인이 된다.

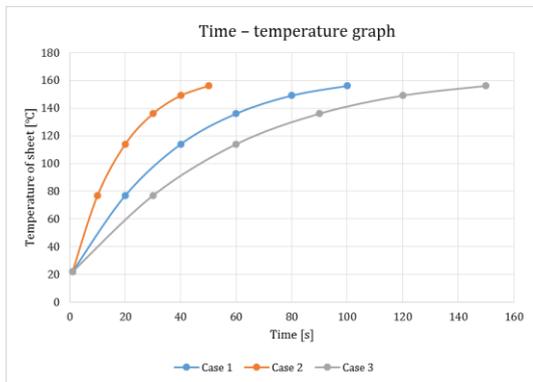


Fig 1. Time – Temperature graph for each case

Table 1. The thickness distribution of the sheet

	Case 1	Case 2	Case 3
Thickness [mm]	0.9307	0.8919	0.8598

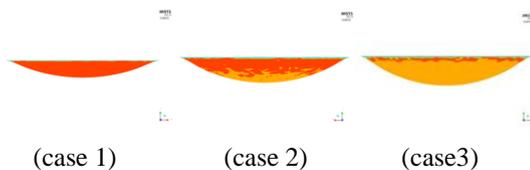


Fig 2. Thermal deflection image of each case

#### 4. 결론

열가소성 소재의 가열 시 발생하는 처짐에 대하여 해석적인 연구를 진행하였다. 연구 결과 시트의 온도 변화율에 따른 시트의 처짐 특성은 변화가 있었으며 변화율이 낮아짐에 따라 처짐 크기는 증가하고 시트 중앙 부의 두께 열가소성 소재의 가열 시 발생하는 처짐에 대하여 해석적인 연구를 진행하였다. 연구 결과 시트의 온도 변화율에 따른 시트의 처짐 특성은 변화가 있었으며 변화율이 낮아짐에 따라 처짐 크기는 증가하고 시트 중앙 부의 두께 얇아지는 경향을 보인다.

#### 참고문헌

1. 손원식, 정웅기, 임성한, “이미지 필터를 적용한 투명 치아 교정 장치 성형용 프리폼 설계,” 한국소성가공학회지
2. 손원식, 이호영, 임성한, 송경섭, 배정관”전치부 경사 이동에 따른 투명 교정 장치 두께 변화”, 한국정밀공학회

# 열간 성형 공정의 가열시간 따른 투명교정장치 두께 균일도

이호영<sup>1</sup>, #임성한<sup>1</sup>, 송경섭<sup>2</sup>, 배정관<sup>2</sup>

## Thickness uniformity of transparent orthodontic devices according to heating time of the thermal forming process

\*H. Y. Lee<sup>1</sup>, #S. H. Rhim<sup>1</sup>, K. S. Song<sup>2</sup>, J. K. Bae<sup>2</sup>

### Abstract

Transparent orthodontic devices is fabricated of a transparent plastic sheet by using the thermal forming on a model that reproduces the condition of the patient mouth. At this time, as the dental material properties, the thickness of transparent orthodontic device change depending on the shape or position of the tooth. In this study, we measured thickness uniformity of transparent orthodontic devices of each tooth position by changing the heating time in hot-forming process. In the case of anterior teeth, the more heating time increase, the better thickness uniformity be. However, In the case of posterior teeth, as the heating time increase, thickness uniformity has minimal change.

Therefore, It is possible to predict the thickness uniformity in accordance with process of making transparent orthodontic devices of patient's orthodontic treatment.

**Key Words** : Thermal forming process, Transparent orthodontic devices, Heating time

### 1. 서론

투명 교정 장치(이하 교정 장치)는 치아 교정 장치의 한 종류로 심미성이 뛰어나고, 구강내 착탈이 가능해 칫솔질 같은 구강 관리도 편리해 최근에 많이 선호되고 있다.

교정 장치는 교정 단계에 따라 디지털로 디자인한 환자의 치열을 금형으로 만들어 폴리머 기반의 투명 소재를 열간 성형(thermal forming process)하여 제작 한다.

그러나 폴리머 기반의 투명 소재의 특성상 열간 가압 성형 공정에 따라 교정 장치의 두께 차이가 발생되고 이는 교정 장치의 기능이 저하되는 문제점이 제기되고 있다.

본 연구에서는 전치부 우측 중절치(이하 11번)과 구치부 우측 대구치(이하 16번)를 대표 치아로 선정하여 가열 시간(sec.) 공정 범위에 따른 두께 균일도를 알아보고자 한다.

### 2. 실험방법

성형 실험에 사용된 플라스틱 시트는 1mm의 PETG 소재이고, 성형 결과(교정 장치의 두께)를 확인하기 위해 3D-D.S.M(3D-optical Dual Scanning Measurement Method) 방식의 3차원 스캐닝 기법을 사용하여 교정 장치의 측정 위치를 정하였고, 이때 아래와 같은 식으로 두께 균일도를 측정하였다.

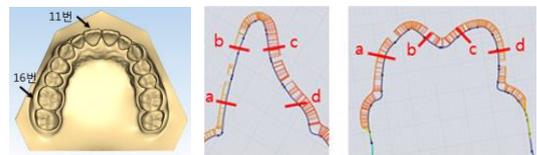


Fig 1. Thickness measurements position of the device

$$\delta = (|m-a|+|m-b|+|m-d|+|m-d|)/4$$

Fig 2. Thickness uniformity formula

1. 단국대학교 기계공학과  
2. 에스브이에스㈜ 기술연구소  
# 교신저자: 단국대학교 기계공학과, shrhim@dankook.ac.kr

열간 성형 공정기(이하 테스트베드)의 최대 압력 5bar, 가압 유지시간 20초로 두고 가열 시간을 70~90초 범위에서 매 10초 마다 성형을 진행한 후 교정 장치의 두께를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

a~d의 두께 균일도는 70초일 때 11번 0.29, 16번은 0.12, 80초일 때 11번 0.24, 16번은 0.12, 90초일 때 11번 0.24, 16번은 0.10, 100 초일 때 11번 0.19, 16번은 0.10 이다.

Table 1. anterior teeth thickness of formed devices (mm)

Sec.	a	b	c	d
70s	0.29	0.40	0.96	0.89
80s	0.36	0.52	0.99	0.86
90s	0.32	0.51	0.92	0.88
100s	0.45	0.51	0.89	0.82

Table 2. posterior teeth thickness of formed devices (mm)

Sec.	a	b	c	d
70s	0.60	0.92	0.95	0.79
80s	0.59	0.89	0.91	0.75
90s	0.64	0.83	0.90	0.70
100s	0.68	0.86	0.87	0.66

성형된 교정 장치의 11번(전치부)의 경우 70초에서 100초로 가열 시간이 증가할수록 두께 균일도가 좋아졌으나, 16번(구치부)의 경우 가열 시간에 따라 균일도의 영향이 미미했다. 이는 전치부와 구치부 치아의 교합면 형상 특성이 다르기 때문인 것으로 추정된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 투명 교정 장치의 두께 균일도에 영향을 미치는 가열 시간의 영향을 확인하였다.

이는 투명 교정 장치의 공정 과정에 따라 최종 교정 장치의 두께 균일도를 예측할 수 있고 때문에 앞으로 추가 연구가 필요한 부분이다.

#### 참고문헌

1. 손원식, 정웅기, 임성한, “이미지 필터를 적용한 투명 치아 교정 장치 성형용 프리폼 설계,” 한국소성가공학회지
2. 손원식, 이호영, 임성한, 송경섭, 배정관”전치부 경사 이동에 따른 투명 교정 장치 두께 변화”, 한국정밀공학회지

# 사출성형 CAE 프로그램을 활용한 자동차 ABS 변형 최소화를 위한 성형 조건 최적화

차경제<sup>1.#</sup> · 이은숙<sup>2</sup> · 황선광<sup>1</sup>, 정명식<sup>1</sup>

## Optimization of injection molding conditions for minimizing deformation of ABS plunger part using CAE program

K. D. Hong, K. D. Kim, K. D. Lee(Times New Roman 10pt)

### Abstract

Automotive lightweight is very important and active trends of the industry, due to the requirements of automotive industry development, energy saving and emission reduction. In order to realize the automotive lightweight, many studies have been conducted on how to replace the metal parts to high performance plastics, such as (super) engineering plastics. However, an injection molding process with high performance plastics is difficult to establish the molding conditions due to thermal properties of high performance plastics. In this study, we optimized the injection molding conditions for minimizing the warping deformation of automobile ABS plunger part by the CAE program. The Taguchi method was applied to efficiently optimize the parameters of injection molding conditions. Finally, the warping deformation was significantly improved under the optimized conditions

**Key Words** : Injection molding, warping deformation, ABS plunger part, CAE program

### 1. 서론 (돋움 12pt)

최근 자동차 연비 개선과 환경문제에 대응하고자 하는 경량화 추세에 따라 자동차 내 플라스틱 사용 비중이 증가하고 있다. 이에 따라 (슈퍼) 엔지니어링 플라스틱을 활용한 자동차 부품은 고성능 재료의 개발과 성형기의 고성능화에 따라 점점 고도화된 분야로 확대되고 있으며 금속 부품을 대체할 수 있는 소재로 각광 받고 있다. 하지만 성형가공의 어려움과 고가의 소재비용으로 인해 이를 활용한 부품개발에 있어서는 어려움이 있다. 본 연구에서는 슈퍼 엔지니어링 플라스틱을 활용한 Plunger 사출성형에 있어 유동해석을 통해 변형을 최소화 할 수 있는 성형 조건을 수립하고자 하였다.

### 2. Plunger 유동해석 개요

본 연구에서 해석하고자 하는 plunger는 Fig. 1과 같다. 성형품은 8 캐비티 금형으로 설계되어 있으며, 핫러너와 게이트를 포함한다. 제품의 형상은 6.8mm 높이에 4.25mm 지름을 가지며 수지는 Victrex 사의 PEEK (PolyEtherEtherKetone) 450G를 사용하였다. 유한요소 해석을 위하여 4 캐비티를 반쪽에 대해서 dual domain Mesh를 이용하여 분할하였으며, 약 19만개 요소를 이용하여 해석을 진행하였다.

1. 한국생산기술연구원 대경지역본부 극한제조기술그룹

2. 테림정공㈜

# 교신저자: 한국생산기술연구원 대경지역본부 극한제조기술그룹, E-mail:kjcha@kitech.re.kr

특히, 제품 상단의 SR부의 변형을 최소화 할 수 있는 성형조건을 찾기 위한 실험계획법을 수립하여 유동해석연구를 진행하였다. 실험계획법은 표2, 3과 같이 4인자 3수준으로 설정하였으며,  $L_9(3^4)$ 의 직교배열표를 사용하였다. 변형해석 후 성형품의 네 지점의 변형을 측정하여 결과를 분석하였다.

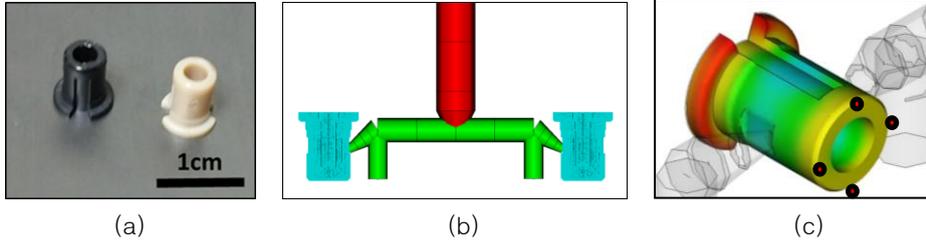


Figure. 1 (a) 자동차 ABS Plunger part, (b) Finite elements, (c) deflection measurement

Table 2. Design of parameters and levels / Table 3. Orthogonal array

Parameters	Level			Unit
	1	2	3	
Mold temperature ( $T_{Me}$ )	185	195	205	°C
Melt temperature ( $T_{Mo}$ )	370	385	400	°C
Packing time ( $P_t$ )	1	2	3	Sec
Packing pressure ( $P_p$ )	80	90	100	MPa

Simu. #	$T_{Mo}$	$T_{Me}$	$P_t$	$P_p$
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

### 3. Plunger 유동해석 결과

직교배열표를 따라 수행한 유동(변형)해석결과 #1: 44.9 $\mu$ m, #2: 36.0 $\mu$ m, #3: 38.7 $\mu$ m, #4: 34.5 $\mu$ m, #5: 39.2 $\mu$ m, #6: 53.1 $\mu$ m, #7: 35.8 $\mu$ m, #8: 47.8 $\mu$ m, #9: 48.3 $\mu$ m로 나타났다. 해석결과 값을 토대로 sensitivity analysis를 한 결과 위 조건에서는 보압, 수지온도, 몰드온도, 보압시간 순으로 변형에 큰 영향을 주었다. 또한, 변형은 몰드 온도와 수지는 낮을수록 감소하였으며, 보압과 보압시간은 커질수록 감소하는 경향을 확인할 수 있었다.

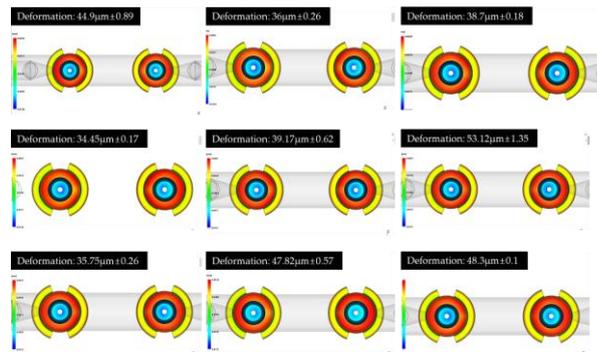


Figure 2. Warpage analysis result of plunger

### 4. 결론

본 논문에서는 기존의 단조공정을 통해 생산되면 plunger를 PEEK 소재를 활용한 사출성형공정으로 대체하기 위해 plunger의 상부 변형을 최소화하기 위한 성형조건을 실험계획법과 수립하였다. 성형해석 결과 보압, 수지온도, 몰드온도, 보압시간에 대한 변형 경향을 확인할 수 있었다.

## 집합조직 제어를 통한 마그네슘 판재의 성형성 향상

신민주<sup>1</sup>·김세종<sup>#</sup>·이영선<sup>1</sup>·배병범<sup>1</sup>·김대근<sup>1</sup>

### Stretch formability improvement of magnesium alloy sheet by texture control

M.J. Shin, S.J. Kim, Y.S. Lee, B.B. Bae, D.G. Kim

#### Abstract

마그네슘은 알루미늄의 2/3, 철강의 1/5로 현재 사용금속 중에서 가장 가벼운 재료이다. 탁월한 경량성과 주조성, 비강도, 가공성 등이 우수하여 여러 분야에서 기술 개발이 이루어지고 있는 소재로, 자동차 배기가스의 규제에 의해 차량 경량화가 가능한 마그네슘 소재가 자동차 부품 분야에서 주시되고 있다. 또한 수송기기 분야와 전자파 차폐 특성으로 IT 분야에서도 널리 쓰이는 소재이다. 본 연구는 HCP 구조의 낮은 성형성을 갖는 마그네슘 합금을 보완하기 위해 집합조직의 제어를 통하여 마그네슘 합금 판재의 성형성을 향상시키는 실험을 진행하였다. 이전 연구 결과 평면 방향으로 압축 시 압축률에 따른 무질서한 집합조직이 형성되는 것을 확인하였고 무질서한 집합조직이 성형성에 미치는 영향에 대해 알아보았다. 먼저, 마그네슘 판재를 평면 방향으로 압축한 후 열처리하여 집합조직의 변화를 관찰하였다. 그리고 각각 압축률이 다른 마그네슘 합금 판재를 온도 300℃에서 30분, 1시간 열처리하여 압축률과 가열 시간에 따른 영향을 관찰하였다. 기존 마그네슘 합금과 집합조직 제어를 통한 성형성 비교를 위해 2축 스트레치 시험을 하였으며, 그 결과 집합조직 제어를 통해 성형성 향상을 확인하였다.

**Key Words** : Magnesium sheet, Formability, Microstructure, Texture

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

# 교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소, E-mail: ksj1009@kims.re.kr

# 사각 컵드로잉을 이용한 Mg 합금의 형상구현한계 분석에 관한 연구

김대근<sup>1</sup> · 송용현<sup>1</sup> · 김세종<sup>1</sup> · 이영선<sup>#</sup>

## Geometric Limit Analysis of The Magnesium Alloy by Square Cup Drawing

D. G. Kim, Y. H. Song, S. J. Kim, Y. S. Lee

### Abstract

현재 자동차의 온실가스 및 배기가스 배출의 절감을 위하여 자동차 중량의 경량화가 이루어지고 있다. 이에 따라 알루미늄 등 경량 금속을 이용한 자동차 부품이 많이 개발되었으며, 현재는 Al 합금보다도 더 가벼운 Mg 합금을 이용한 부품 및 차체 개발이 이루어지고 있다. 그러나 Mg 합금의 낮은 형상구현한계로 인하여 더 다양한 부품에서 Mg 합금을 이용하기 힘든 상황이다. 이러한 문제점으로 인하여 포스코에서는 기존 Mg 합금의 낮은 성형성을 보완한 Mg 합금인 E-form 소재를 개발 하였으며, 이에 따라 E-form의 형상구현한계의 대한 데이터가 필요한 시점이다.

본 연구에는 E-form 소재의 형상구현한계를 알아보기 위하여 사각 컵드로잉 실험을 진행하였다. 실험은 초기 사각 컵드로잉 금형에서 다이코너 R값과 유격을 단계적으로 조정하였고, 각 단계별 금형을 이용하여 E-form 상온 및 온간 사각 컵드로잉을 실시하였다. 관제는 E-form 0.52t를 사용하였으며, 비교를 위해 Al1050 0.5t와 Al 5052 0.5t를 이용하여 추가로 상온 컵드로잉 실험을 하였다. 컵드로잉 모델의 크기는 가로 100mm, 세로 75mm이며, 블랭크는 가로 130mm, 세로 110mm의 규격으로 진행하였고, 형상구현한계치는 최대 드로잉 깊이 5mm까지 설정하였다.

**Key Words** : Magnesium Alloy, Square Cup Drawing, Clearance, Die corner radius, Draw-ability

---

1. KIMS

# 교신저자: KIMS, E-mail: lys1668@kims.re.kr

# 반응압출을 통한 내열성이 강화된 TPEE의 제조 및 응용

유 진<sup>1#</sup> · 권재관 · 김능현 · 이철한

## Preparation and application of enhanced thermal properties TPEE via reactive extrusion

J. Yoo, J. K. Kwon, N. H. Kim, C. H. Lee

### Abstract

플라스틱과 고무의 장점을 두루 갖는 열가소성 탄성체는 고유한 재료의 강점으로 인해 산업 전반에 걸쳐 그 쓰임새가 널리 퍼져나가는 추세로 많은 재료 과학자에게 각광받고 있는 실정이다. 본 논문에서는 열가소성 탄성체 중 특히 ether ester 계열의 열가소성 탄성체인 TPEE를 도입 반응압출을 통하여 열적 특성을 증가시켰다. 내열성이 강화된 TPEE는 블로우 몰딩을 통한 자동차 부품 산업 국산화에 크게 기여하며 기존 소재를 빠르게 대체해나갈 것으로 기대된다.

**Key Words** : TPEE, TPC-ET, reactive extrusion, CVJB, Bellows, air-duct, dust-cover

### 1. 서론

자동차 경량화와 고성능화에 따른 기존 소재의 열적 특성 기대치가 증가 추세에 있는 실정이다. 이러한 이슈들의 해결책으로 열가소성 탄성체 중 ether ester 계열의 TPEE를 통한 다양한 방법들이 시도되고 있는바 본 논문에서는 반응압출을 통하여 이러한 문제점의 해결책을 제시하고자한다.

### 2. 실험방법

반응압출 실험 변수를 크게 첨가제 량과 공정 변수 량으로 나누어 첨가제 량은 첨가제로 투입되는 종과 양, 공정변수 량은 스크류 조합, 이축압출기의 L/D, 투입원료와 압출기의 Q/S 등의 가공조건 변수를 각기 다르게 하여 실험을 진행하였다.

실험의 결과는 흐름용융지수, 내열테스트, 사출 시의 금형 침적이나 가스 발생량, 사출품 표면 등으로 다양하게 고찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

실험결과 isocyanate와 oxazole 계열의 첨가제를 과량이 아닌 정량투입하고 공정변수로써, 반응에 적절한 L/D를 갖는 이축압출기, Q/S 등의 실험조건을 통하여 반응압출에 유리한 실험 조건을 확립하였다.

1. 삼양사 화학연구소

# 유 진 : 삼양사 화학연구소, E-mail: jin.yoo@samyang.com

#### 4. 결론

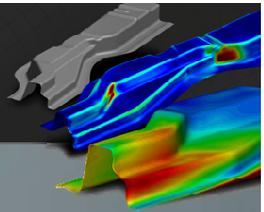
본 연구를 통하여 반응압출에 최적화된 실험조건을 확립하였으며, 이러한 실험을 통하여 얻어진 TPEE는 기존 대비 내열성이 크게 증가된 것을 확인하였다. 내열성이 증가된 TPEE는 자동차 엔진 다운사이징과 터보차저 등의 이슈가 있는 자동차 부품류 기존 소재를 빠르게 대체 및 국산화 할 수 있는 장점이 있다.

#### 참고문헌

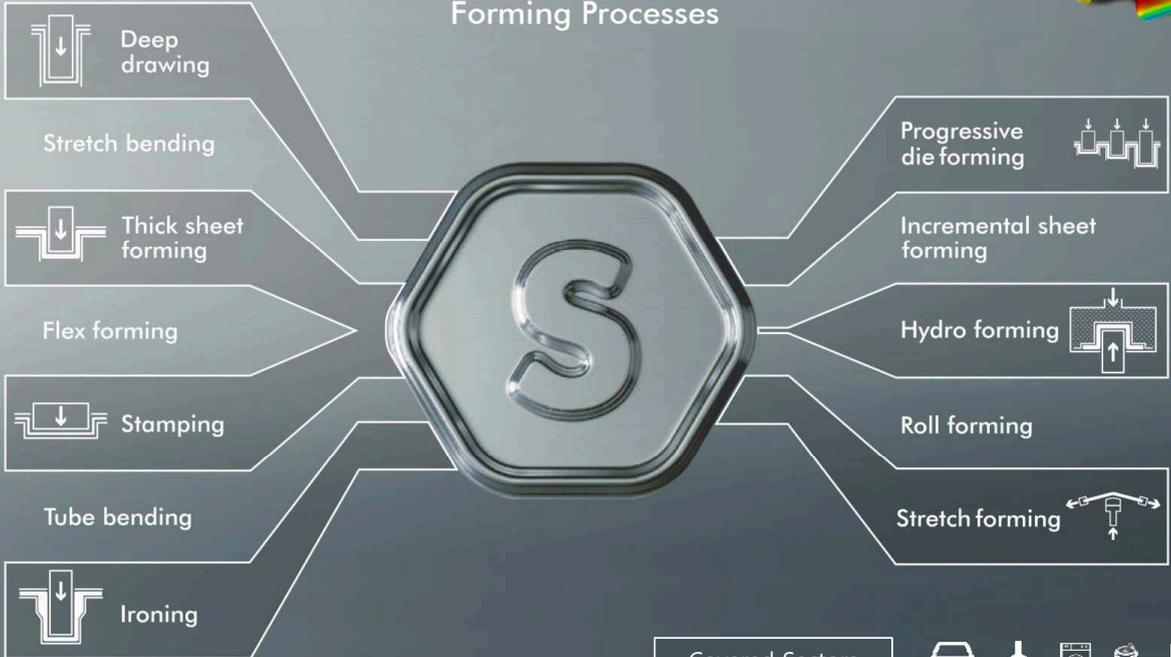
- W.E. Baker, 2001, Reactive polymer blending, Hansen, Munich, pp. 15~31  
G. Holden, 1996, Thermoplastic elastomers, Hansen, Munich, pp. 191~221  
J. Scheirs, 2003, Modern polyesters, John wiley and sons, Chichester, pp. 293~300

**한국소성가공학회  
2016 년도 추계학술대회**

- ◎ 조 직 위 원 장 : 박 경 태 부회장 (한밭대학교)
- ◎ 조 직 위 원 : 이 명 규 국제이사 (고려대학교)  
박 준 식 기술이사 (한밭대학교)



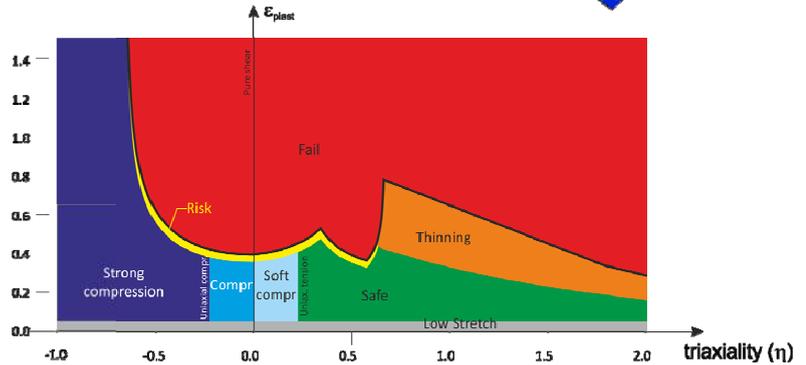
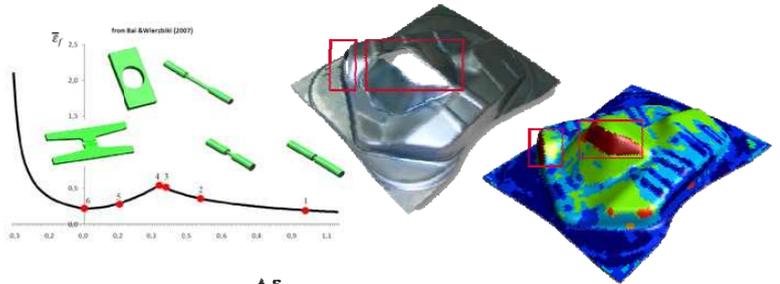
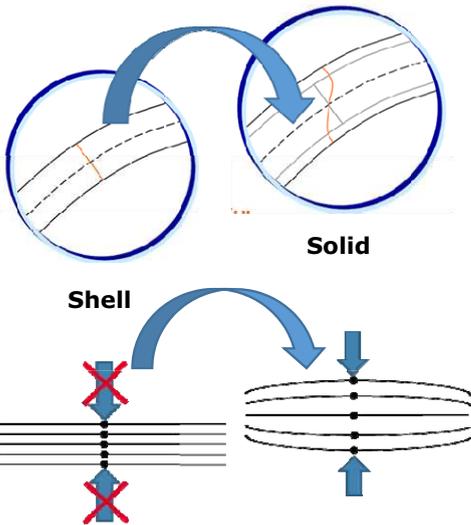
## Forming Processes



Covered Sectors

## 3D Solid 요소 기반의 성형해석

3축 방향 변형을 고려한 파단 예측



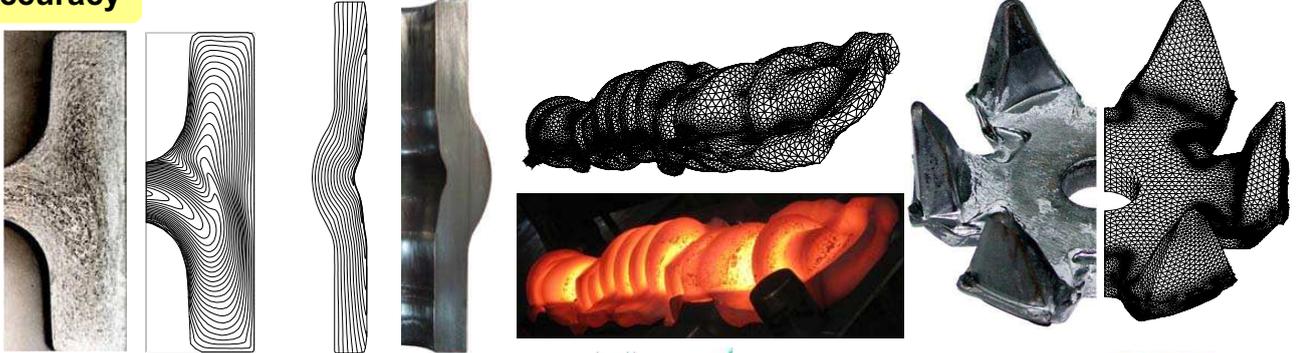
New 3D Failure Criteria, TFD(Triaxiality Failure Diagram)

# INTELLIGENT METAL FORMING SIMULATOR

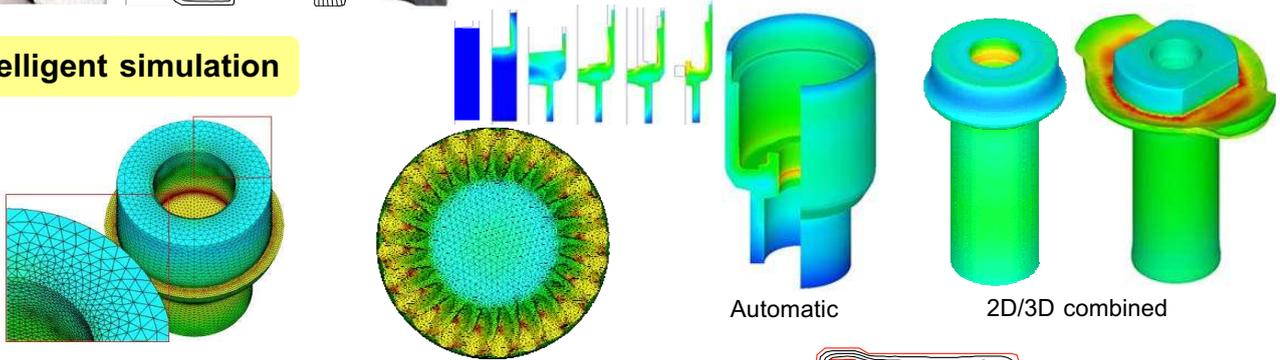
# AFDEX

Adviser for metal Forming process Design EXpert

## Accuracy



## Intelligent simulation



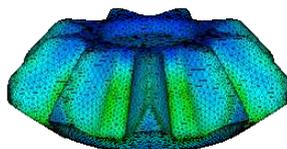
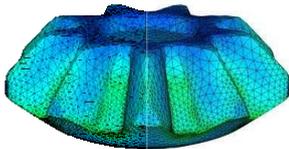
Automatic

2D/3D combined

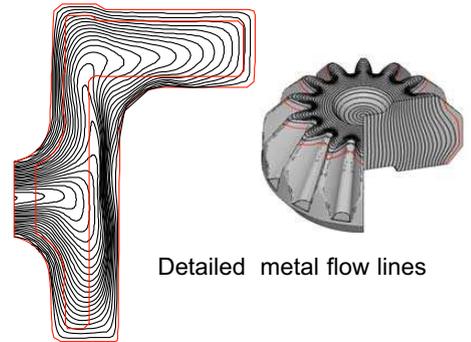
Intelligent remeshing

5000 tetrahedrons

20000 tetrahedrons



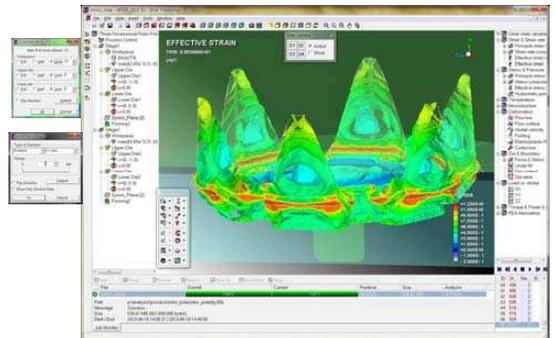
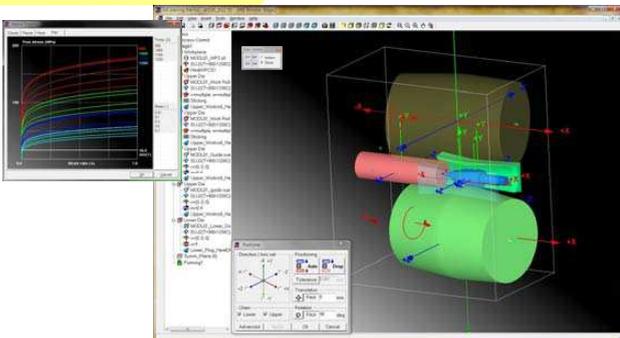
Steady results



Detailed metal flow lines

## User-friendliness

- The easiest Pre/Post Processor



Premium Quality!  
Lower Price!



## R&B Metallography Consumables



대전광역시 유성구 용산동 540  
Tel : 042-935-0490 [www.randb.co.kr](http://www.randb.co.kr)  
홈페이지에 방문하시면 여러가지 정보를 얻으실 수 있습니다.

**R&B**  
(주)알앤비

# Human Technology

우리는 **Global Top**을 향해 가고 있습니다.

우리는 작품을 만드는 예술가의 길을 가고 있습니다.

인간을 위한 미래형 자동차부품 개발

우리가 도전합니다.



## For the Best

- 1 성서 본사 전경 / Sungseo Head Office
- 2 진량공장 전경 / Jinyang Factory
- 3 냉간단조 부품 / Cold Forging Parts
- 4 자동·수동T/M 부품 / AT/MT Parts
- 5 엔진부품 / Engine Parts
- 6 뒷차축 부품 / Real Axle Parts
- 7 특수볼트 / Special Bolts
- 8 허브볼트 / Hub Bolts
- 9 연구개발실 / Research and Development

# 금속소재종합솔루션센터

www.metalsbank.com test-bed.kims.re.kr

## 개요

국산 소재의 사업화를 촉진하기 위하여 맞춤형 소재정보제공, 소재양산화검증, 부품화 적용 등 소재개발에서 실용화까지 전주기에 걸쳐 지원하는 국가차원의 종합지원 인프라



## 역할

소재정보은행과 Test-Bed의 운영 및 전산해석 지원을 통한 소재 상용화 개발의 종합적인 지원 거점으로서 소재기업이 최소의 비용과 시간으로 사업화에 성공할 수 있도록 지원하는 동반자

### 금속소재정보은행

- 수요자 맞춤형 금속소재정보 DB 구축 (정보 수집/가공/생성, 보급)
- 국제협력 네트워크 구축 (공동활용 국제협력망 구축, 기술협력)
- 맞춤형 금속소재 전문인력 양성 (현장인력 교육, e-learning)

### 전산해석 지원

- 금속소재 및 공정 설계 지원 (전산재료공학 기반 설계/해석 지원)
- 기업 전산해석 인력양성 지원 (전산해석인력 교육 지원)
- 기업 전산해석 기반구축 지원 (전산해석 인프라 구축 기술 지원)

### 금속소재 Test-Bed

- 금속소재 상용화 기반기술 지원 (Pilot Plant 규모 핵심설비 구축/활용)
- 준양산화 실증/공정개발 기술 지원 (PP 규모 양산화 실증)
- 기업 애로해소 지원 (현장애로기술 지원)

금속소재기업의 기술역량 강화를 통한 국가 소재경쟁력 제고

## 문의처

- 재료연구소 연구6동 3층 6301호 금속소재종합솔루션센터 사무국
- TEL : 055-280-3273 / FAX : 055-280-3279 / E-mail : metalsbak@kims.re.kr
- Homepage : www.metalsbank.com, test-bed.kims.re.kr

# Phosphate Coating & Lubricant

**냉간, 온간 단조 윤활처리 전문기업**

Specialized in cold and warm forging lubrication treatment

冷間・温間鍛造潤滑処理 専門メーカー

**금속표면처리제 제조판매**

Manufactures and sells metal surface treatment agents

金属表面処理剤 製造販売

**금속표면처리제 외주가공 전문**

Specialized in the outsourced work of metal surface treatment agents

金属表面処理 外注加工専門

**MoS<sub>2</sub> Coating, 인산염피막, 윤활처리**

MoS<sub>2</sub> coating, Phosphate coating, lubrication treatment

MoS<sub>2</sub> 코팅·リン酸塩皮膜・潤滑処理

**원소재절단, 열처리 일률적 가공 라인보유**

Owns the integrated processing line for the cutting of the raw materials and the heat treatment

原素材切断・熱処理の一貫加工ライン保有

 **(주)삼영화학**  
SAMYOUNG CHEMICAL CORP.

제1공장 : 인천시 남동구 고잔동 698-1 남동공단 127BL 2LOT

제2공장 : 충청남도 천안시 동남구 성남면 용원리 291-47

TEL : (032) 816-2497 (041) 621-2497

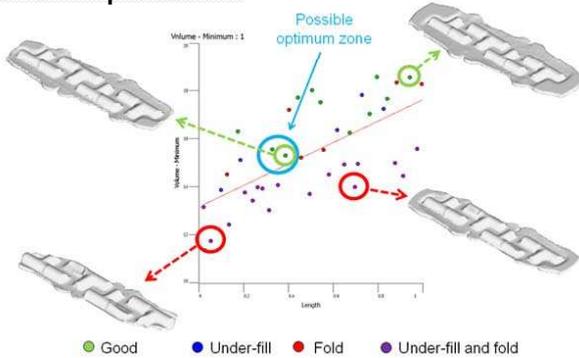
FAX : (032) 816-2444 (041) 621-2496

# 금속성형해석의 첨단 기술

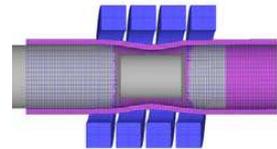


## The Applications of DEFORM System

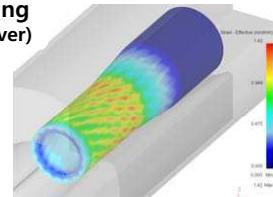
### DOE & Optimization



### EM Forming



### Rotary Swaging (w/ Explicit Solver)



>> 설계 변수 최적화 / ALE 압연 및 압출 / 기공 압착 / 고주파 가열 / 미세 조직 예측 / 병렬 계산 등

HomePage : <http://ssaul.net>  
 Tel. 02-2636-7580 Fax. 02-2636-6340  
 서울 금천구 가산동 SK트윈타워 B동 206호



 Cutting

다이아몬드 커팅M/C  
 정밀 자동 커팅M/C  
 대형 자동 커팅M/C



 Mounting

1 or 2 실린더 성형기  
 전자동 마운팅프레스  
 동시 4개 시편 몰딩



 Polishing

Single/Dual 폴리셔  
 초정밀 시편연마기  
 소형/대형 폴리셔



 U.T.M

인장/압축시험기  
 재료시험기, 피로시험기  
 경도기, 주문제작시험기



# THERCAST

SIMULATION OF CASTING PROCESSES

# FORGE

SIMULATION OF HOT AND COLD FORGING



[www.transvalor.com](http://www.transvalor.com)



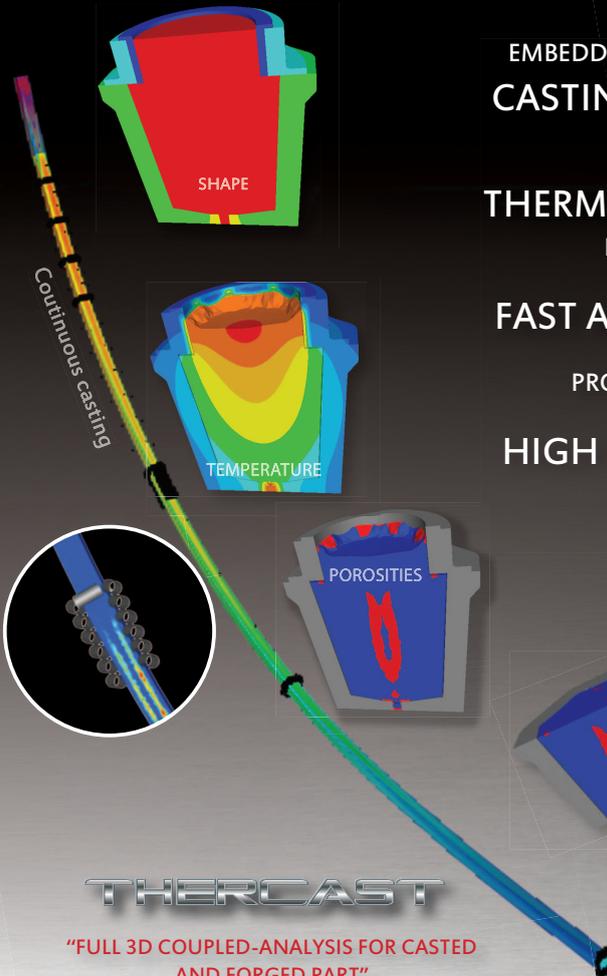
EMBEDDED TRANSITION FROM  
CASTING TO FORGING

UNIQUE  
THERMO-MECHANICAL  
FOUNDATION

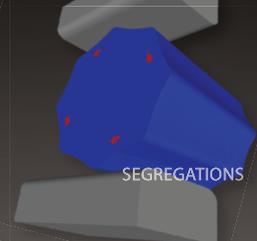
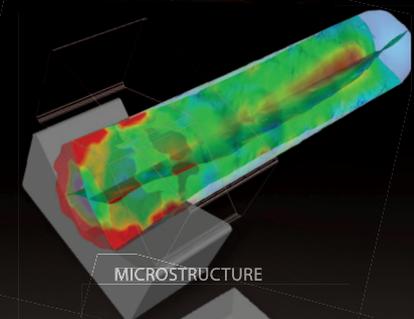
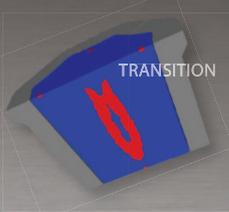
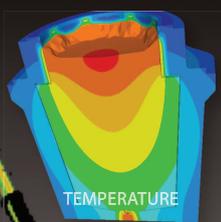
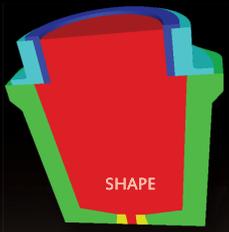
FAST AND EASY SETUP

PROVEN ACCURACY

HIGH PERFORMANCE  
AND  
SCALABILITY



Continuous casting



## THERCAST

## FORGE

"FULL 3D COUPLED-ANALYSIS FOR CASTED AND FORGED PART"

"THE REFERENCE SIMULATION TOOL FOR 2D AND 3D BULK METAL FORMING"

Steel mill / Heavy industry / Automotive /  
Electronic / Machine tool

Automotive / Heavy industry / Aerospace /  
Electronic / Fasteners / Defense

CONTINUOUS CASTING, INGOT CASTING / METAL CASTING,  
HIGH AND LOW PRESSURE CASTING / SAND CASTING, LOST  
FOAM CASTING / REPLICA CASTING / LOST WAX CASTING

HOT, WARM AND COLD FORGING / RING ROLLING, HOT-  
COLD SPINNING / OPEN DIE FORGING, MANDREL FORGING /  
MACHINING, INDUCTION HEATING, HEAT TREATMENT ANALYSIS



[www.forgemaster.co.kr](http://www.forgemaster.co.kr)

FORGE MASTER KOREA Co.,LTD.

1F-2Room, BUSINESS INCUBATOR CENTER, CHANGWON MOONSUNG UNIVERSITY  
91, CHUNHON-RO, UICHANG-GU, CHANGWON-SI, GYEONGSANGNAM-DO, KOREA  
TEL : 070-4496-4370, FAX : 055-277-4376  
MOBILE : 010-8865-1003, 010-3223-6411, MAIL : support@forgemaster.co.kr

# AutoForm HemPlanner

## HEMMING 프로세스의 효율적인 설계를 위한 소프트웨어

엔지니어가 쉽게 헤밍 프로세스를 정의하고 최적화할 수 있게 지원해 드립니다.  
소프트웨어의 사용으로 플랜지의 균열(SPLIT) 혹은 주름(WRINKLE),  
코너 부분의 소재 겹침(MATERIAL OVERLAPS) 혹은 소재 롤-인(MATERIAL ROLL-IN)과 같은  
이 과정과 관련된 결함을 확인할 수 있습니다.  
퀵 헤밍(제품 개발 초기 단계)과 고급 헤밍(드로잉과 포밍을 활용한 프로세스 엔지니어링)을 지원합니다.

### 제품의 주요 장점 :

- 품질과 비용 조건을 만족시키는 효율적인 헤밍 공정 계획
- 균열(splits), 주름(wrinkles), 소재 롤-인(roll-in)의 예측과 같은 전형적인 헤밍 결손의 빠른 확인
- 내부의 서로 다른 부서간 혹은 외부 OEM 및 납품업체와의 쉬운 데이터 교환

### 제품의 주요 특징 :

- 롤(roll) 및 일반적인 다이 헤밍 지원
- 퀵 헤밍 지원: 플랜지된 파트의 CAD geometry를 기반으로 한 다양한 헤밍 컨셉의 초기 평가 (드로잉 및 포밍 작업의 다이 레이아웃이 아직 없을 시)
- 고급 헤밍 지원: 드로잉 및 포밍작업을 반영한 헤밍 컨셉의 최종적인 검증
- Tool geometry 및 tool kinematics의 쉬운 정의



오토폼엔지니어링코리아(주)

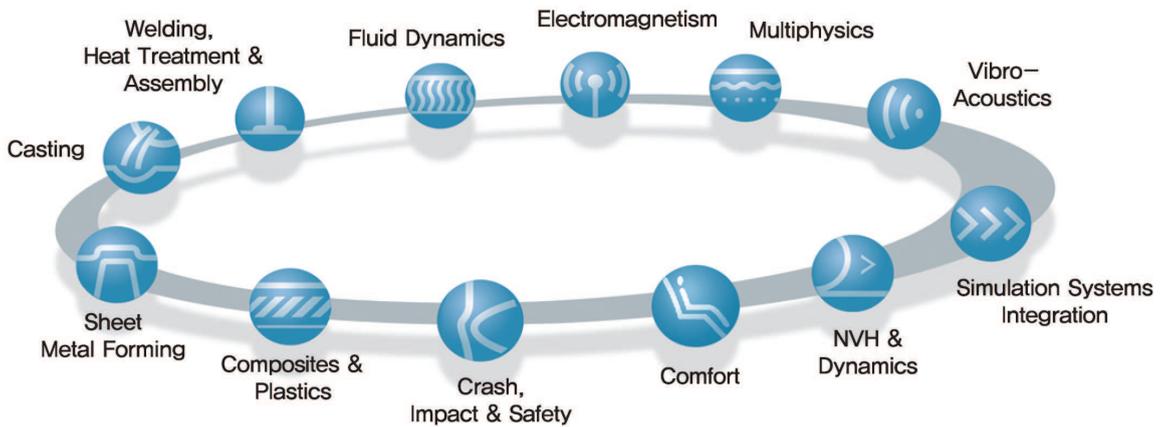
(우)153-783 서울시 금천구 가산디지털2로 184, 404호 (가산동, 벽산디지털밸리2차)

대표전화 02-2113-0770 | 팩스 02-869-5390 | 홈페이지 [www.autoform.com](http://www.autoform.com)



get it right<sup>®</sup>

# Innovate with Simulation-Based Design

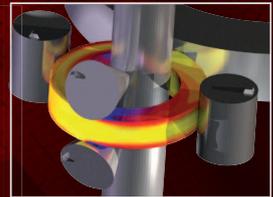
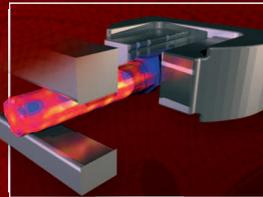
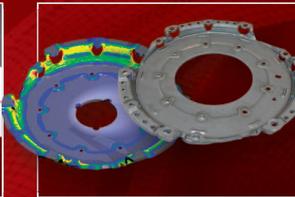
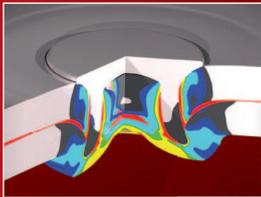
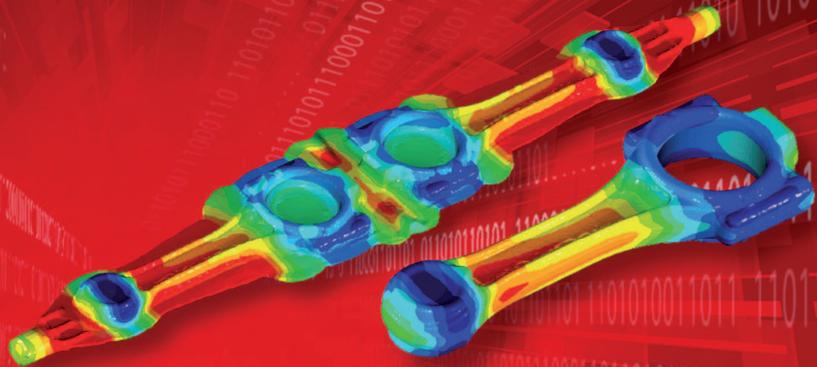


서울특별시 강서구 등촌3동 660-6 미성빌딩 5층  
한국이에스아이 주식회사  
Tel. 02-3660-4500 / Fax 02-3662-0084  
[www.esi.co.kr](http://www.esi.co.kr) / [www.esi-group.com](http://www.esi-group.com)

simufact.forming

# Knowing the outcome before you begin

## Simulation of Manufacturing Processes



Hot Forging · Cold Forming · Sheet Metal Forming · Ring Rolling · Mech. Joining · Open Die Forging · and more

Simufact.forming  
helps you optimize your  
forming processes:

- Ensure feasibility and process stability
- Reduce the number of trial runs
- Reduce material usage and rework
- Increase die life
- Develop new products more efficiently
- Document knowledge and expertise

Replace time-consuming  
tryouts with proven simulation  
methods and earn

- higher process profitability
- more quality and robustness

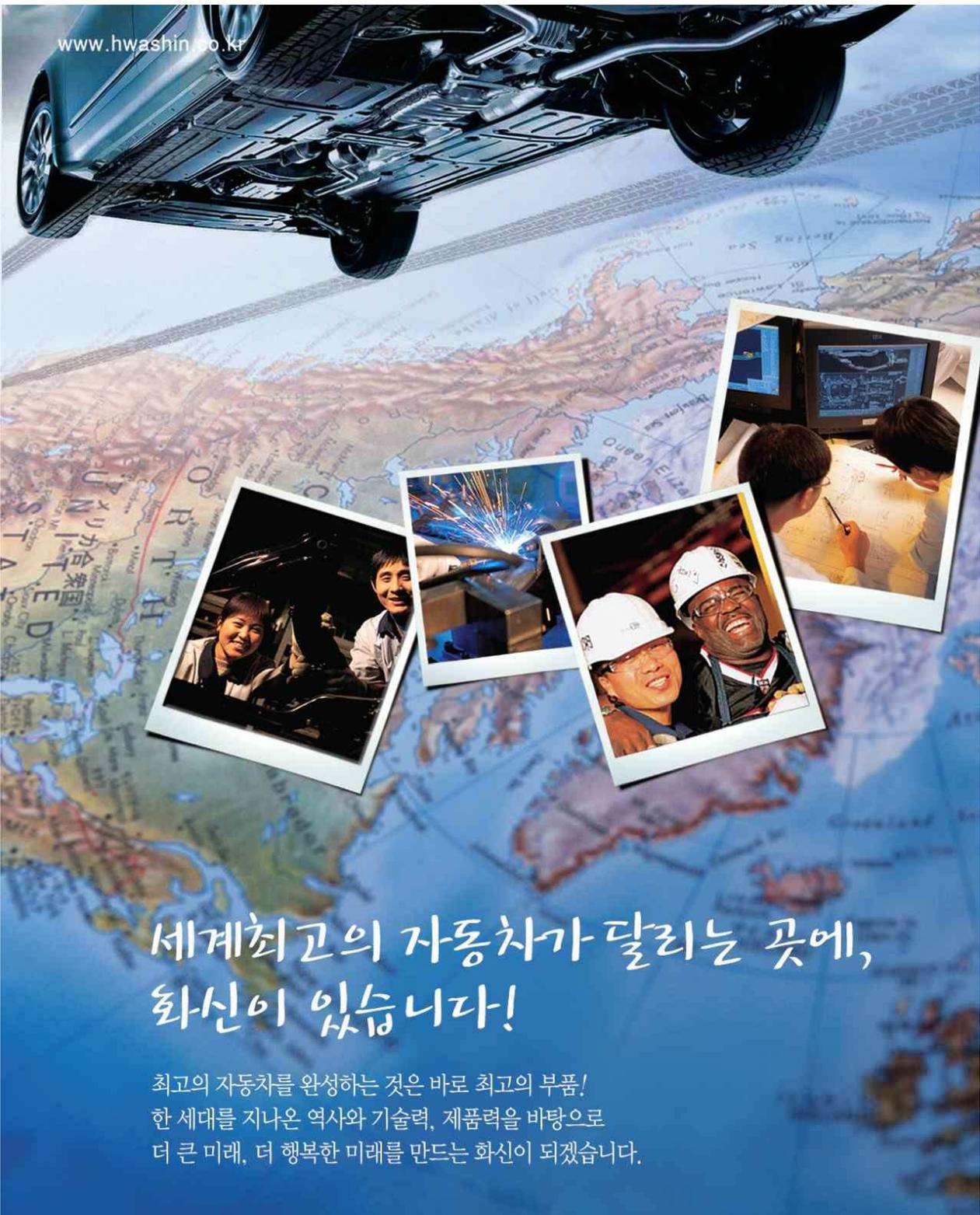


Read more benefits here:  
[www.simufact.com](http://www.simufact.com)

 **simufact**

Simulating Manufacturing

MSC Software Company



# 세계최고의 자동차가 달리는 곳에, 화신이 있습니다!

최고의 자동차를 완성하는 것은 바로 최고의 부품!  
한 세대를 지나온 역사와 기술력, 제품력을 바탕으로  
더 큰 미래, 더 행복한 미래를 만드는 화신이 되겠습니다.

21C 자동차부품산업의 글로벌 리더 -  **HWASHIN**

국내계열사 화신, 기술연구소(경북 영천) · 새화신(충남 예산) · 화신정공(경북 영천) 해외계열사 인도법인(첸나이) · 중국법인(베이징) · 미국법인(알라바마) · 브라질법인(싱파울로)

**MAIN PRODUCTS** | CHASSIS PARTS\_ SUBFRAME · LOWER ARM · CROSS MEMBER · REAR TORSION BEAM AXLE  
BODY PARTS\_ FENDER APRON · CENTER FLOOR · REAR FLOOR · COWL COMPL etc.