

2015 년 도 춘 계 학 술 대 회 논 문 집

- ◎ 일시 : 2015 년 5 월 21 일(목)~22 일(금)
- ◎ 장소 : 부산 벡스코 제 2 전시장
- ◎ 주최 : 한국소성가공학회
- ◎ 후원 : 한국과학기술단체총연합회

제 1 발표회장

2015. 5. 21(목)

☞ 제2전시장 125호

◎ 특별세션 - 가변 단면 튜브 적용 경량화를 30%이상의 770mm급 일체형 장구동축 복합성형기술 개발

(13:00~15:00)

좌 장 : 강성훈(KIMS)

13:00~13:20	가변단면 관재의 휨 저감을 위한 압연 공정 유한요소 해석	이호원*, 이두규, 임형철, 오영석, 강성훈(KIMS)
13:20~13:40	유한요소해석을 통한 가변단면튜브 스웨이징 공정변수에 따른 후속화율 예측	이종섭*, 임성주, 이상목(생기원), 강성훈(KIMS)
13:40~14:00	TRB 소재를 적용한 가변단면튜브 성형 공정 개발	조국래*, 최수영, 정운성, 박상언, 이문용(성우하이텍)
14:00~14:20	콤팩트 조인트와 중공축 개발	신승만*(한국코프랜지)
14:20~14:40	관재의 하이브리드 용접부 미세구조 분석	손승우*, 이종훈(울산과학기술대)
14:40~15:00	유한요소 기법을 이용한 하이브리드 용접 해석	양조예*, 이영석(중앙대)
15:00~15:10	Coffee Break	
15:10~16:00	- 특별강연 : 이동수 박사(도산서원 선비수련원) 인간완성의 길 홍익철학	제2전시장 125호
16:00~16:20	Coffee Break	

(16:20~17:20)

좌 장 : 이근안(생기원)

16:20~16:40	Al-Mg-Si-Cu 합금을 적용한 차동기어 커머 온간단조 공정 설계에 관한 연구	이상익*, 이정환(KIMS), 윤종현(한양대)
16:40~17:00	크랭크 쓰로우 굽힘 공정의 편심 제어에 관한 연구	송민철*, 이용욱(현대중공업), 문영훈(부산대)
17:00~17:20	제어냉각 장치를 이용한 엔진피스톤 열간단조 공정에 관한 연구	최동환*, 이상익, 이정환(KIMS), 천도욱(세원금속㈜)
17:20~18:00	Coffee Break	
18:00~18:30	[개회식 및 임시총회](사회: 총무이사) - 춘계학술대회 개회식 - 제14회 논문상 수상식 - 제12회 기술상 수상식 - 제4회 신진학술상 수상식 - 진합 학술상 수상식 - 2014년도 결산승인 - 기타 토의 사항	제2전시장 125호
18:30~	만 찬	제2전시장 325호

제 2 발표회장

2015. 5. 21(목)

제2전

◎ 특별세션－ 설계기반 미래성형기술 (1)			좌 장 : 구태완(부산대)
(13:00~14:40)			
13:00~13:20	AA1070 알루미늄 합금 사각 케이스의 충격압출 공정에서 마찰과 금형간 간격이 미치는 영향	조민기*, 문영훈, 김지훈(부산대), 안은솔, 박인옥(생기원), 송익성, 김화영(주일광캐테크), 김대용(KIMS)	
13:20~13:40	가변 단면을 가지는 비대칭 얇은 판 부품의 액압 성형 연구	강형석*, 주병돈, 이 민, 황태우, 문영훈(부산대)	
13:40~14:00	유한요소해석을 이용한 Hollow Partition Turbine Blade 성형 공정 연구	박기범*, 강범수, 구태완(부산대)	
14:00~14:20	리튬 이온 전지의 Safety vent 제조 공정에 관한 연구	김정훈*, 김병민(부산대), 이경훈(PNU-IFAM 국제공동연구소), 임영진(주영하이테크)	
14:20~14:40	Tailor rolled blank의 핫스탬핑 공정에서 천이구간 물성 확보를 위한 직접 냉각 방식의 적용	김재홍*, 최시내, 고대철, 김병민(부산대)	
14:40~15:10	Coffee Break		
15:10~16:00	- 특별강연 : 이동수 박사(도산서원 선비수련원) 인간완성의 길 홍익철학	제2전시장 125호	
16:00~16:20	Coffee Break		
◎ 특별세션－ 설계기반 미래성형기술 (2)			
(16:20~18:00)			
좌 장 : 송우진(부산대)			
16:20~16:40	다이 오프셋법을 이용한 크로스 롤러 가이드 이형인발의 다이스 설계	박정현*, 김병민(부산대), 이경훈(PNU-IFAM 국제공동연구소)	
16:40~17:00	핫스탬핑 제품의 트리밍 공정에서 경사각이 전단면에 미치는 영향	신준호*, 김병민, 고대철(부산대), 서판기, 차승훈(주신영),	
17:00~17:20	3차원 미세조직에 기반한 이상 조직강의 R 값 예측	하진진*, Frédéric Barlat(포항공대), 김지훈(부산대), 이명규(고려대)	
17:20~17:40	자동차 시트 리클라이너의 고정밀 기어 제조공정	강길석*, 김병민, 고대철(부산대), 장명진(주다스)	
17:40~18:00	고속공구강 H13소재의 내마모성과 미세조직에 미치는 레이저 열처리의 영향	최성원*, 오명환, 강정윤(부산대), 이광현(KIMM)	
18:00~18:30	[개회식 및 임시총회](사회: 총무이사) - 춘계학술대회 개회식 - 제14회 논문상 수상식 - 제12회 기술상 수상식 - 제4회 신진학술상 수상식 - 진함 학술상 수상식 - 2014년도 결산승인 - 기타 토의 사항	제2전시장 125호	
18:30~	만 찬	제2전시장 325호	

제 3 발표회장

2015. 5. 21(목)

☞ 제2전시장 123호

◎ 특별세션－ 철강공정 시뮬레이션 (13:00~14:40)			좌 장 : 서재형(POSCO)
13:00~13:20	후판압연 선단부 굽힘변형 FEM 해석 및 분석결과	서재형*, 고성현, 이필중, 천명식(POSCO)	
13:20~13:40	교정공정의 FEM 해석을 통한 형상 개선 및 한계	고성현*, 서재형, 이필중, 천명식(POSCO)	
13:40~14:00	고로 내 Copper stove의 냉각배관 손상 전후 열적 평가	이도륜*, 최태화, 천명식(POSCO)	
14:00~14:20	절단기용 원형톱의 동특성 해석	임승호*, 이성진, 문창호(POSCO)	
14:20~14:40	선재 권취공정에서 Laying Head 파이프 마모량 유한요소 해석	이종빈*, 천명식(POSCO)	
14:40~15:10	Coffee Break		
15:10~16:00	- 특별강연 : 이동수 박사(도산서원 선비수련원) 인간관성의 길 홍익철학	제2전시장 125호	
16:00~16:20	Coffee Break		
(16:20~17:40)			좌 장 : 김홍규(국민대)
16:20~16:40	블룸 압연공정 중 내부 기공압착의 유한요소해석	엄재근*, 김민철(주엠에프알씨), 손일현(POSCO), 진만수(경상대)	
16:40~17:00	0.2~0.3T _m 온도 구간에서의 공석강 냉간 신선재의 소성 변형 율속 기구	최병호*, 박경태(한밭대)	
17:00~17:20	품질 향상을 위한 냉간 인발 다이스 설계	이승훈*, 유국중, 박재중(현대종합특수강)	
17:20~17:40	신선 와이어 잔류응력 평가	이상곤*, 정명식, 이재욱, 김다혜, 조용재, 황선광, 이인규(생기원), 김병민(부산대)	
17:40~18:00	Coffee Break		
18:00~18:30	[개회식 및 임시총회](사회: 총무이사) - 춘계학술대회 개회식 - 제14회 논문상 수상식 - 제12회 기술상 수상식 - 제4회 신진학술상 수상식 - 진합 학술상 수상식 - 2014년도 결산승인 - 기타 토의 사항	제2전시장 125호	
18:30~	만 찬	제2전시장 325호	

제 4 발표회장

2015. 5. 21(목)

☞ 제2전시장 122호

(13:00~14:40)		좌 장 : 김세호(대구대)
13:00~13:20	전기단자 돌기 성형공정의 결정소성 유한요소해석	손정환*, 심정길, 금영탁(한양대)
13:20~13:40	VPSC 다결정 모델 연계 강소성 유한요소해석	강경필*, 이경훈(취솔투션랩), 김용환(충남대), 신광선(서울대)
13:40~14:00	4각 딥드로잉 클래드판재 성형공정의 탄소성 유한요소 해석	전만수*(경상대), 이민철, 이장호(㈜엠에프알씨), 홍석무(공주대), 황지훈, 심재원(삼성전자(주)), 정완진(서울과기대)
14:00~14:20	체적요소를 이용한 사각컵 딥드로잉 공정의 탄소성 유한요소 해석	정석환*(㈜엠에프알씨), 정완진(서울과기대), 전만수(경상대)
14:20~14:40	유한요소법을 이용한 치과용 투명교정장치 교정력 평가	이종길*, 안기호(한국산업기술대)
14:40~15:10	Coffee Break	
15:10~16:00	- 특별강연 : 이동수 박사(도산서원 선비수련원) 인간완성의 길 홍익철학	제2전시장 125호
16:00~16:20	Coffee Break	
(16:20~17:40)		좌 장 : 하태권(강릉원주대)
16:20~16:40	보스-리브 시험법을 통한 윤활제의 마찰 특성 연구	이두규*, 이호원, 오영석, 강성훈(KIMS)
16:40~17:00	보스-리브 시험에서 소재 표면조도에 따른 마찰 특성 변화에 관한 연구	이두규*, 이호원, 오영석, 강성훈(KIMS)
17:00~17:20	구상화 열처리된 고탄소강의 페라이트 기지 조직이 미끄럼 마멸 거동에 미치는 영향	허하리*, 권혁우, 김명곤, 김용석(국민대)
17:20~17:40	마그네슘 합금에 대한 DLC 코팅의 온도에 따른 마찰기구 해석	권혁우*, 김명곤, 허하리, 김용석(국민대)
17:40~18:00	Coffee Break	
18:00~18:30	[개회식 및 임시총회](사회: 총무이사) - 춘계학술대회 개회식 - 제14회 논문상 수상식 - 제12회 기술상 수상식 - 제4회 신진학술상 수상식 - 진합 학술상 수상식 - 2014년도 결산승인 - 기타 토의 사항	제2전시장 125호
18:30~	만 찬	제2전시장 325호

제 5 발표회장 - 포스터 발표

2015. 5. 21(목)

☞ 제2전시장 1층 4C홀

(14:00~17:00)

좌 장 : 박경태(한밭대), 이기안(안동대), 최정묵(쑤진합)

발표순번은 발표자가 등록시 배정됩니다. (발표당일 접수대에서 확인)	A study on mechanical properties of nitrided 2205dual phase stainless steel	Jamshid Shukurdjjanov*, 김인수(금오공대)
	STD61계열 금형강의 열처리 시 매질 별 탄소성 변형 연구	강경필*, 곽은정(㈜솔루션랩), 유정묵(DCI 열처리), 김병구(두산중공업), 노태열(삼락열처리)
	AISI M2 파우더를 이용한 레이저 메탈 디포지션 트랙팅성 평가	강대민*(부경대), 김원혁, 정병훈(NKS Co., Ltd), 오명환, 최성원(부산대)
	고온 마모 실험 장비의 개발 및 강종 별 마모 특성 분석	강한샘*, 이영석(중앙대)
	Moldflow를 이용한 19mm 구경 BTA drill head의 금속 분말 사출 성형 해석	강호영*, 송영근, 이주현, 신현학, 최승민((재)경북그린카부품진흥원)
	차량용 소형부품 프레스 금형설계 및 시제품 제작 : 대학 연구동아리 주제연구	곽정환*, 김의환, 이병훈, 김지훈, 이정흙, 김세호(대구대)
	선형 가변 대칭 U형 단면의 롤 포밍 공정 개발	김광희*(부경대), 심현보(영남대)
	AA6K21/AA7075/AA6K21 복합판재의 이방성 및 파괴거동 분석	김민성*, 김은영, 최시훈 (순천대), 김수현, 김형(KIMS)
	알루미늄합금박판의 복합형상에 대한 성형한계	김민우*, 예상돈, 허관도(동의대)
	Window regulator 성형 공정을 이용한 E-form Mg Alloy Sheet의 성형성 평가	김성욱*, 이영선, 송용현(KIMS)
	초기소재 형상 및 위치가 고정 스크롤 알루미늄 열간단조 금형 수명에 미치는 영향 분석	김영신*, 정승원, 전만수(경상대), 임재곤, 우영부, 박준열(주 세방금속기술)
	알루미늄 합금 판재의 극점도와 소성변형비 변화	김인수* , 남수권, 보보무로드, 이상현, 김민준, 김민지(금오공대)
	용종제거용 스네어의 회전 제어력 향상을 위한 NiTi 코어드 와이어(cored-wire) 개발	김정환*(한밭대), 김성웅(KIMS), 김복동, 오윤석(㈜지스코프)
	블룸 압연공정 중 외부 기공의 압착에 의한 열연코일 결함 길이의 근사적 예측	남찬희*, 전만수(경상대), 엄재근(주엠에프알씨), 이민철(유나시스), 손일현(POSCO)
	AFDEX 시뮬레이션을 통한 단조공정 소재의 결함 원인 분석	민두식*, 김광민, 김정현, 황태민(주성진포머)
	구면부 Piercing부 결함의 시뮬레이션 분석	민두식*, 김광민, 김정현, 황태민(주성진포머)
	플라스틱 소재의 기계가공성 예측을 위한 물성평가 연구	박규남*, 오동권, 이광주, 임성한, 민동균(한국기술교육대)
	친환경 무게추 개발을 위한 다단 딥 드로잉 공정 설계	박민철*, 이정민, 김형익, 이광휘, 이찬주(생기원), 강해권(주에이치케이기업)
	대형 트랙링크의 고주파 열처리 공정설계	박민철*, 이정민, 김형익, 이찬주(생기원), 구성모, 이정훈(에이스트랙주)
	금속분말 이중성형공법을 이용한Oil-less Bearing일체형 Gear의제조	박보규*(한국섬유기계연구원), 정재현(대광소결 금속주식회사), 조규상(동양대)
	정밀 복합 치형 냉간 Sizing 금형 형상에 관한 연구	박세제*, 김병철, 고대철, 김병민(부산대), 김동환(한국국제대)
	항공용 티타늄 스프링의 정밀 벤딩 공법 개발	박세제*, 고필성, 김영환(부산대), 김동환(한국국제대)
	가변물성형을 이용한 가변단면을 갖는 프로파일의 변형 길이 분석에 관한 연구	박종철*, 양동열(KAIST), 차명환, 김돈건, 남재복(POSCO)
	초기 변형된 마그네슘 집합조직의 성형성에 관한 연구	배병범*, 이영선, 김세종, 윤은유(KIMS)
	사각 단면을 가지는 파이프의 다단 롤 벤딩 공정 설계	백경윤*, 손종윤, 이은미(전남대), 심도식(생기원)
	콤바인용 픽업투쓰의 유한요소해석	서창희*, 김진록, 권태하(대구기계부품연구원), 송준국, 주민수(신안통상)

이미지 필터를 적용한 투명 치아 교정 장치 성형용 프리폼 설계	손원식*, 정웅기, 임성한(한국기술교육대)
유한요소법을 이용한 파이프 인발 공정시 크랙 발생 저감을 위한 최적화 설계	송용현*, 이영선(KIMS), 임정숙(Forge Master Korea), 김덕령(창원세아특수강)
브레이딩 공법이 적용된 프로펠러샤프트의 물성평가와 전산해석	신동우*, 이재호, 권일준(다이텍연구원), 전진성(티포엘)
1500MPa급 핫스탬핑 강판의 연화열처리에 관한 기계적 특성 평가	심우정*, 박용호(주 새한산업), 전형준, 송명환(주명진테크), 김경보(현대자동차주)
밀정수를 고려한 형상압연 공정의 유한요소해석	엄재근*(주엠에프알씨), 손일현(POSCO), 전만수(경상대)
크랭크샤프트 단조 공정 중 금형마모의 유한요소해석	엄재근*, 이민철, 이장호(주엠에프알씨), 최영길(삼우정공), 김동환(한국국제대), 전만수(경상대)
마이크로 프로브 핀의 인장 물성 측정	오동권*, 최준혁, 임성한, 민동균, 이광주(한국기술교육대)
가변물성형시 성형각에 따른 버클링 특성분석	우영윤*, 이 민, 강형석, 황태우, 문영훈(부산대)
스마트폰 앱을 이용한 각도 가공용 지그 개발	원시태*, 김주민, 김완섭(서울과기대), 유준중(주메인), 유종근(뉴테크)
접이식 컨테이너를 위한 토션바의 소성변형 거동 연구	윤상현*, 이용신(국민대)
강소성 caliber rolling 공정으로 제조된 아·과공석강의 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 후열처리 영향	윤신천*, 이기안(안동대), 김현진, 배철민(POSCO)
직접 레이저 용융공정을 위한 기계적 합금된 분말 특성 분석	이 민*, 길태동, 지원중, 오일영, 문영훈(부산대)
유한요소법을 이용한 알루미늄 합금박판의 복합 형상 성형 공정 설계	이기훈*, 예상돈, 허관도(동의대)
장방형 평판 플랜지의 재료 회수율 향상을 위한 열간단조 공정변수 최적화	이무석*(주상진금속), 임성식, 윤덕재, 최호준, 신영철, 박선웅, 김동주, 임성주(생기원)
LM Guide Block의 열간단조공정설계	이성원*, 조원후, 이정민(생기원), 이신호(센트랄)
보일러 튜브용 무게목강관 제조공정 전산모사 연구	이승열*, 강경필, 궤은정(주솔루션랩), 박영준, 조태선(주일진제강)
파형 강판의 롤 밴딩 성형 시 임계좌굴변형률을 고려한 성형 스텝 설계에 관한 고찰	이은미*, 손종윤(전남대), 심도식(생기원), 강법성, 강민중(삼우 ECO)
자동차 미션용 피니언샤프트의 열간단조공정설계	이정민*, 이성원, 조원후(생기원), 이신호(센트랄)
풍력발전용 메인샤프트의 켄칭 후 변형량에 관한 연구	전용배*, 장아영, 정상인, 박상덕(현진소재주), 권경재, 강신완(용현BM주), 권용철((재)경남테크노파크)
형상변수에 따른 로타샤프트 디스크부의 열간단조공정에 대한 연구	전종원*, 조종래(해양대), 정호승(부산대 불스-로이스대학교기술센터), 최성규(주케이에스피)
고수율과 고생산성을 고려한 역구배 제품의 알루미늄 냉간단조 공정설계의 최적화	정승원*, 진호태, 전만수(경상대), 최상도(온일금속)
고탄소강의 베이나이트 상변태 거동 및 신선 특성 분석	정신용*, 박정훈, 안강석, 남원중(국민대)
플라스틱 소재 대상 버 최소화 마이크로 가공 연구	정웅기*, 임성한, 민동균(한국기술교육대)
유압프레스를 이용한 Thermoplastic CFRP Plate 제작	정의철*, 김종선, 이성희(생기원), 윤경환(단국대)
자동차 샤프트 연결 허브의 고정밀 열간단조 공정개발	조원후*, 이성원, 이정민(생기원), 이신호(센트랄)
냉열간 정밀 단조기술을 적용한 자동차 엔진 마운팅 부품 개발	탁윤학*, 박동환, 이미란(경북하이브리드부품연구원), 한성철(한성산업)
열교환기의 하이드로포밍 공정 적용을 위한 알루미늄 관재의 자유 팽창 유한요소해석과 실험적검증	한덕현*, 안병민(아주대), 김진홍(IAE고등기술연구원)
과공정 Al-Si 압출재의 미세조직, 인장 및 고주기 피로 변형 거동	함기수*, 백민석, 이기안(안동대), 성시영, 김진평(자동차부품연구원)
자동차 시트 사이드 쿠션 패널의 비대칭 딥드로잉 프로 그레스브 성형을 위한 스트립 브릿지 설계	홍일성*, 정창식, 이덕영(주금강)

제 1 발표회장

2015. 5. 22(금)

☞ 제2전시장 125호

(09:00~10:20)		좌 장 : 김현수(용암금속)
09:00~09:20	열간 단조 공정을 위한 마찰 시험법의 적합성에 관한 연구	도영호*, 송민철(현대중공업)
09:20~09:40	열간 압연에서 마찰계수와 접촉 열 전달 계수가 단면 형상에 미치는 영향 연구	강한샘*, 이영석(중앙대)
09:40~10:00	가이드 롤의 모델링 및 이를 이용한 링롤링 공정의 해석	진호태*, 전만수(경상대), 김경률(한호산업㈜), 김응주(생기원), 최무호(All Bearing Belover's Academy)
10:00~10:20	보론강 판재 시편의 가열-급냉 공정에서의 열변형 해석 및 실험	권태하*, 서창희(대구기계부품연구원), 최현열, 안우현, 하동수, 문원식(㈜화신정공)
10:20~10:40	Coffee Break	
(10:40~11:40)		좌 장 : 문호근(용현BM㈜)
10:40~11:00	자동차 부품의 용접 열변형 예측 및 비교	이승규*, 김현영(강원대), 최현준, 박종규(화신)
11:00~11:20	입열량을 통한 고강도강의 점용접 강도 및 연신율 분석	박승연*, 이현철, 김민근, 이경민, 송종호(자동차부품연구원), 최현범, 김병호(㈜호원)
11:20~11:40	핫프레스 금형 냉각채널 유동해석과 설계개선	한영현*, 이경훈(㈜솔루션랩), 서창희(대구기계부품연구원), 이재진,임용희(신화)
11:40~	점 심	제2전시장 325호

제 2 발표회장

2015. 5. 22(금)

☞ 제2전시장 124호

◎ 특별세션－ 설계기반 미래성형기술 (3)		
(09:00~10:40)		좌 장 : 구태완(부산대)
09:00~09:20	흡킨슨 바 기법을 이용한 충격 시험에서 Al6061-T6의 동적 변형 거동에 관한 연구	안우진*, 우민아, 노학곤, 김 정(부산대)
09:20~09:40	질소가스를 이용한 Ti-6Al-4V의 레이저 표면 질화처리	황태우*, 김재현, 우영윤, 길태동, 문영훈(부산대)
09:40~10:00	핫 프레스용 첨단고강도강의 동종 및 이종 레이저 용접 부 미세조직과 인장성질에 미치는 핫스탬핑의 영향	오명환*, 강정윤(부산대)
10:00~10:20	인공신경망을 이용한 금형 국부 가열 핫스탬핑 제품의 스프링백 예측	최시내*, 김재홍, 고대철, 김병민(부산대)
10:20~10:40	CFRP와 금속판재의 하이브리드 접합 공정 개발	이정민*, 김병민, 고대철(부산대), 이경훈(부산대학교 PNU-IFAM JRC), 안민수, 서판기(㈜신영)
10:40~11:40	Coffee Break	
11:40~	점 심	제2전시장 325호

제 3 발표회장

2015. 5. 22(금)

☞ 제2전시장 123호

(09:00~10:20)		좌 장 : 김동환(한국국제대)
09:00~09:20	초합금 디스크 부품의 열처리 잔류응력 예측을 위한 전산모사 연구	곽은정*, 강경필(㈜솔루션랩), 홍성석(국방과학연구소), 우완측(한국원자력연구원)
09:20~09:40	고온용 수직형 복사관(Radiant tube)의 크립(creep) 수명 예측	이영호*, 이수호, 이영석(중앙대학교)
09:40~10:00	고강도 열연강재의 물성 평가 및 성형성 예측	김원재*, 이철환, 김현기, 고영우, 정관수(서울대)
10:00~10:20	변태 소성 현상을 고려한 자동차 기어의 침탄 열처리 전산 모사	김동완*, 한홍남(서울대), 이원범, 조균택(생기원)
10:20~10:40	Coffee Break	
(10:40~12:00)		좌 장 : 조종래(한국해양대)
10:40~11:00	펄스 전류 인가에 따른 마그네슘 AZ31B 판재의 기계적 거동에 관한 연구	허용찬*, 김대용, 이진우, 김세종(KIMS), 문영훈(부산대)
11:00~11:20	초고장력 강판의 형상 동결성 향상을 위한 자동차 시트 레일 부품 개발	박동환*, 탁윤학, 이미란(경북하이브리드부품연구원), 신동초(㈜동구기업)
11:20~11:40	3점 굽힘 실험에서 강화 피라미드형 코어를 가지는 샌드위치 소재에 대한 파손 모드에 관한 연구	이성욱*, 양동열(KAIST)
11:40~12:00	실시간 증성자회절 및 유한요소해석을 통한 잔류응력이 파괴인성에 미치는 영향 고찰	김동규*, 우완측(한국원자력연구원), 안규백(POSCO)
12:00~	점 심	제2전시장 325호

제 4 발표회장

2015. 5. 22(금)

☞ 제2전시장 122호

(09:00~10:20)		좌 장 : 최시훈(순천대)
09:00~09:20	열간프레스성형 시 금형온도에 따른 플랜지부 강도의 실험적·해석적 연구	송가형*, 김동훈, 김형중(강원대), 김흥규(국민대), 차백순(생기원)
09:20~09:40	클래드재료 후판단조 공정 중 발생한 파단 원인 규명	홍석무*(공주대), 황지훈, 심재원(삼성전자㈜), 정완진(서울과기대), 전만수(경상대)
09:40~10:00	금형형상이 AI 사각 컵 충격압출품의 이어링에 미치는 영향	임재혁*, 최석우, 이종섭(생기원), 신정학(㈜케이원전자)
10:00~10:20	Gas Blow Forming 공법을 적용한 스틸튜브재 확관성형 공정에 관한 연구	김동옥*, 정경근(자동차부품연구원), 이상일, 김정섭, 황한영(서진산업)
10:20~10:40	Coffee Break	
(10:40~11:40)		좌 장 : 이호원(KIMS)
10:40~11:00	자동 금형보정 기능을 활용한 초고강도강 자동차부품용 프레스금형 보정	이정흠*, 김세호(대구대), 하강호(㈜영진)
11:00~11:20	스탬핑 잔류응력을 고려한 해밍 결함의 예측	서오석*, 홍병화, 김현영(강원대), 이준철, 이철홍(현대 자동차)
11:20~11:40	대면적 초소수성 금속 표면의 성형 및 결빙특성 고찰	정명기*, 김태경, 김호관, 신훈, 이진형, 이정신, 이준상, 강신일(연세대)
11:40~12:00	선택적 레이저 용융 공정으로 제작된 AlSi10Mg 합금의 일축인장시 미소역학적 변형거동에 관한 연구	김은영*, 황지현, 신지환, 최시훈(순천대)
12:00~	점 심	제2전시장 325호

— 목 차 —

1. 특별강연

- 인간완성의 길 홍익철학
..... 이동수 박사(도산서원 선비수련원) / 19

2. 특별세션—가변 단면 튜브 적용 경량화를 30%이상의 770mm급 일체형 장구동축 복합성형 기술 개발 (제 1 발표회장)

- 가변단면 판재의 휨 저감을 위한 압연 공정 유한요소해석
..... 이호원*, 이두규, 임형철, 오영석, 강성훈 / 23
- 유한요소해석을 통한 가변단면튜브 스웨이징 공정변수에 따른 후유화율 예측
..... 이종섭*, 임성주, 이상목, 강성훈 / 24
- TRB 소재를 적용한 가변단면튜브 성형 공정 개발
..... 조국래*, 최수영, 정윤성, 박상언, 이문용 / 26
- 콤팩트 조인트와 중공축 개발
..... 신승만* / 27
- 판재의 하이브리드 용접부 미세구조 분석
..... 손승우*, 이종훈 / 28
- 유한요소 기법을 이용한 하이브리드 용접 해석
..... 양조예*, 이영석 / 29

3. 특별세션 - 설계기반 미래성형기술 (제 2 발표회장)

- AA1070 알루미늄 합금 사각 케이스의 충격압출 공정에서 마찰과 금형간 간격이 미치는 영향
..... 조민기*, 문영훈, 김지훈, 안은솔, 박인욱, 송익성, 김화영, 김대용 / 33
- 가변 단면을 가지는 비대칭 얇은 판 부품의 액압 성형 연구
..... 강형석*, 주병돈, 이 민, 황태우, 문영훈 / 37
- 유한요소해석을 이용한 Hollow Partition Turbine Blade 성형 공정 연구
..... 박기범*, 강범수, 구태완 / 41
- 리튬 이온 전지의 Safety vent 제조 공정에 관한 연구
..... 김정훈*, 김병민, 이경훈, 임영진 / 42
- Tailor rolled blank의 핫스탬핑 공정에서 천이구간 물성 확보를 위한 직접 냉각 방식의 적용
..... 김재홍*, 최시내, 고대철, 김병민 / 43
- 다이 오프셋법을 이용한 크로스 롤러 가이드 이형인발의 다이스 설계
..... 박정현*, 김병민, 이경훈 / 44
- 핫스탬핑 제품의 트리밍 공정에서 경사각이 전단면에 미치는 영향
..... 신준호*, 김병민, 고대철, 서판기, 차승훈 / 45

• 3 차원 미세조직에 기반한 이상 조직강의 R 값 예측	하진진*, Frédéric Barlat, 김지훈, 이명규 / 47
• 자동차 시트 리클라이너의 고정밀 기어 제조공정	강길석*, 김병민, 고대철, 장명진 / 48
• 고속공구강 H13 소재의 내마모성과 미세조직에 미치는 레이저 열처리의 영향	최성원*, 오명환, 강정윤, 이광현 / 49
• 흡킨슨 바 기법을 이용한 충격 시험에서 Al6061-T6 의 동적 변형 거동에 관한 연구	안우진*, 우민아, 노학곤, 김 정 / 50
• 질소가스를 이용한 Ti-6Al-4V의 레이저 표면 질화처리	황태우*, 김재현, 우영윤, 길태동, 문영훈 / 51
• 핫 프레스용 첨단고강도강의 동종 및 이종 레이저 용접부 미세조직과 인장성질에 미치는 핫스탬핑의 영향	오명환*, 강정윤 / 55
• 인공신경망을 이용한 금형 국부 가열 핫스탬핑 제품의 스프링백 예측	최시내*, 김재홍, 고대철, 김병민 / 56
• CFRP와 금속판재의 하이브리드 접합 공정 개발	이정민*, 김병민, 고대철, 이경훈, 안민수, 서관기 / 58

4. 특별세션 – 철강공정 시뮬레이션 (제 3 발표회장)

• 후판압연 선단부 굽힘변형 FEM 해석 및 분석결과	서재형*, 고성현, 이필중, 천명식 / 61
• 교정공정의 FEM 해석을 통한 형상 개선 및 한계	고성현*, 서재형, 이필중, 천명식 / 64
• 고로 내 Copper stove의 냉각배관 손상 전후 열적 평가	이도륜*, 최태화, 천명식 / 68
• 절단기용 원형톱의 동특성 해석	임승호*, 이성진, 문창호 / 74
• 선재 권취공정에서 Laying Head 파이프 마모량 유한요소해석	이종빈*, 천명식 / 77

5. 일반 논문 발표 (제 1 발표회장)

• Al-Mg-Si-Cu 합금을 적용한 차동기어 커버 온간단조 공정 설계에 관한 연구	이상익*, 이정환, 윤종현 / 83
• 크랭크 스로우 굽힘 공정의 편심 제어에 관한 연구	송민철*, 이용욱, 문영훈 / 84
• 제어냉각 장치를 이용한 엔진피스톤 열간단조 공정에 관한 연구	최동환*, 이상익, 이정환, 천도욱 / 88
• 열간 단조 공정을 위한 마찰 시험법의 적합성에 관한 연구	도영호*, 송민철 / 89

- 열간 압연에서 마찰계수와 접촉 열 전달 계수가 단면 형상에 미치는 영향 연구
.....강한샘*, 이영석 / 93
- 가이드 롤의 모델링 및 이를 이용한 링롤링 공정의 해석
.....진호태*, 전만수, 김경률, 김응주, 최무호 / 94
- 보론강 판재 시편의 가열-급냉 공정에서의 열변형 해석 및 실험
.....권태하*, 서창희, 최현열, 안우현, 하동수, 문원식 / 98
- 자동차 부품의 용접 열변형 예측 및 비교
.....이승규*, 김현영, 최현준, 박종규 / 99
- 입열량을 통한 고강도강의 점용접 강도 및 연신율 분석
.....박승연*, 이현철, 김민근, 이경민, 송종호, 최현범, 김병호 / 100
- 핫프레스 금형 냉각채널 유동해석과 설계개선
.....한영현*, 이경훈, 서창희, 이재진, 임용희 / 101

6. 일반 논문 발표 (제 3 발표회장)

- 블룸 압연공정 중 내부 기공압착의 유한요소해석
.....엄재근*, 김민철, 손일현, 전만수 / 107
- 0.2~0.3Tm 온도 구간에서의 공석강 냉간 신선재의 소성변형 율속 기구
.....최병호*, 박경태 / 111
- 품질 향상을 위한 냉간 인발 다이스 설계
.....이승훈*, 유국종, 박재중 / 112
- 신선 와이어 잔류응력 평가
.....이상곤*, 정명식, 이재욱, 김다혜, 조용재, 황선광, 이인규, 김병민 / 113
- 초합금 디스크 부품의 열처리 잔류응력 예측을 위한 전산모사 연구
.....곽은정*, 강경필, 홍성석, 우완측 / 114
- 고온용 수직형 복사관(Radiant tube)의 크립(creep) 수명 예측
.....이영호*, 이수호, 이영석 / 118
- 고강도 열연강재의 물성 평가 및 성형성 예측
.....김원재*, 이철환, 김현기, 고영우, 정관수 / 119
- 변태 소성 현상을 고려한 자동차 기어의 침탄 열처리 전산 모사
.....김동완*, 한홍남, 이원범, 조균택 / 123
- 펄스 전류 인가에 따른 마그네슘 AZ31B 판재의 기계적 거동에 관한 연구
.....허용찬*, 김대용, 이진우, 김세종, 문영훈 / 124
- 초고장력 강관의 형상 동결성 향상을 위한 자동차 시트 레일 부품 개발
.....박동환*, 탁윤학, 이미란, 신동초 / 125
- 3 점 굽힘 실험에서 강화 피라미드형 코어를 가지는 샌드위치 소재에 대한 파손 모드에 관한 연구
.....이성욱*, 양동열 / 127
- 실시간 중성자화절 및 유한요소해석을 통한 잔류응력이 파괴인성에 미치는 영향 고찰
.....김동규*, 우완측, 안규백 / 131

7. 일반 논문 발표 (제 4 발표회장)

- 전기단자 돌기 성형공정의 결정소성 유한요소해석
.....손정환*, 심정길, 금영탁 / 135
- VPSC 다결정 모델 연계 강소성 유한요소해석
.....강경필*, 이경훈, 김용환, 신광선 / 139
- 4 각 딥드로잉 클래드판재 성형공정의 탄소성 유한요소해석
.....전만수*, 이민철, 이장호, 홍석무, 황지훈, 심재원, 정완진 / 143
- 체적요소를 이용한 사각컵 딥드로잉 공정의 탄소성 유한요소 해석
.....정석환*, 정완진, 전만수 / 147
- 유한요소법을 이용한 치과용 투명교정장치의 교정력 평가
.....이종길*, 안기호 / 150
- 보스-리브 시험법을 통한 윤활제의 마찰 특성 연구
.....이두규*, 이호원, 오영석, 강성훈 / 153
- 보스-리브 시험에서 소재 표면조도에 따른 마찰 특성 변화에 관한 연구
.....이두규*, 이호원, 오영석, 강성훈 / 154
- 구상화 열처리된 고탄소강의 페라이트 기지 조직이 미끄럼 마멸 거동에 미치는 영향
.....허하리*, 권혁우, 김명곤, 김용석 / 155
- 마그네슘 합금에 대한 DLC 코팅의 온도에 따른 마찰기구 해석
.....권혁우*, 김명곤, 허하리, 김용석 / 159
- 열간프레스성형 시 금형온도에 따른 플랜지부 강도의 실험적·해석적 연구
.....송가형*, 김동훈, 김형중, 김홍규, 차백순 / 163
- 클래드재료 후판단조 공정 중 발생한 파단 원인 규명
.....홍석무*, 황지훈, 심재원, 정완진, 전만수 / 165
- 금형형상이 AI 사각 컵 충격압출품의 이어링에 미치는 영향
.....임재혁*, 최석우, 이종섭, 신정학 / 169
- Gas Blow Forming 공법을 적용한 스틸튜브재 확장성형 공정에 관한 연구
.....김동욱*, 정경근, 이상일, 김정섭, 황한영 / 170
- 자동 금형보정 기능을 활용한 초고강도강 자동차부품용 프레스금형 보정
.....이정흠*, 김세호, 하강호 / 174
- 스탬핑 잔류응력을 고려한 해밍 결함의 예측
.....서오석*, 홍병화, 김현영, 이준철, 이철홍 / 175
- 대면적 초소수성 금속 표면의 성형 및 결빙특성 고찰
.....정명기*, 김태경, 김호관, 신룡, 이진형, 이정신, 이준상, 강신일 / 176
- 선택적 레이저 용융 공정으로 제작된 AlSi10Mg합금의 일축인장시 미소역학적 변형거동에 관한 연구
.....김은영*, 황지현, 신지환, 최시훈 / 178

8. 포스터 발표 (제 5 발표회장)

- A study on mechanical properties of nitrided 2205dual phase stainless steel
.....Jamshid Shukurdjanov*, 김인수 / 181

• STD61 계열 금형강의 열처리 시 매질 별 탄소성 변형 연구	강경필*, 곽은정, 유정목, 김병구, 노태열 / 182
• AISI M2 파우더를 이용한 레이저 메탈 디포지션 트랙팅성평가	강대민*, 김원혁, 정병훈, 오명환, 최성원 / 184
• 고온 마모 실험 장비의 개발 및 강종 별 마모 특성 분석	강한샘*, 이영석 / 186
• Moldflow를 이용한 19mm 구경 BTA drill head의 금속 분말 사출 성형 해석	강호영*, 송영근, 이주현, 신현학, 최승민 / 187
• 차량용 소형부품 프레스 금형설계 및 시제품 제작 : 대학 연구동아리 주제연구	곽정환*, 김의환, 이병훈, 김지훈, 이정흙, 김세호 / 191
• 선형 가변 대칭 U형 단면의 롤 포밍 공정 개발	김광희*, 심현보 / 195
• AA6K21/AA7075/AA6K21 복합판재의 이방성 및 파괴거동 분석	김민성*, 김은영, 최시훈, 김수현, 김 형 / 199
• 알루미늄합금박판의 복합형상에 대한 성형한계	김민우*, 예상돈, 허관도 / 200
• Window regulator 성형 공정을 이용한 E-form Mg Alloy Sheet의 성형성 평가	김성욱*, 이영선, 송용현 / 203
• 초기소재 형상 및 위치가 고정 스크롤 알루미늄 열간단조 금형 수명에 미치는 영향 분석	김영신*, 정승원, 전만수, 임재곤, 우영부, 박준열 / 204
• 알루미늄 합금 판재의 극점도와 소성변형비 변화	김인수*, 남수권, 보보무로드, 이상현, 김민준, 김민지 / 208
• 용중제거용 스네어의 회전 제어력 향상을 위한 NiTi 코어드 와이어(cored-wire) 개발	김정환*, 김성웅, 김복동, 오윤석 / 209
• 블룸 압연공정 중 외부 기공의 압착에 의한 열연코일 결함 길이의 근사적 예측	남찬희*, 전만수, 엄재근, 이민철, 손일현 / 217
• AFDEX 시뮬레이션을 통한 단조공정 소재의 결함 원인분석	민두식*, 김광민, 김정현, 황태민 / 221
• 구면부 Piercing부 결함의 시뮬레이션 분석	민두식*, 김광민, 김정현, 황태민 / 224
• 플라스틱 소재의 기계가공성 예측을 위한 물성평가 연구	박규남*, 오동권, 이광주, 임성한, 민동균 / 226
• 친환경 무게추 개발을 위한 다단 딥 드로잉 공정 설계	박민철*, 이정민, 김형익, 이광휘, 이찬주, 강해권 / 230
• 대형 트랙링크의 고주파 열처리 공정설계	박민철*, 이정민, 김형익, 이찬주, 구성모, 이정훈 / 232
• 금속분말 이중성형공법을 이용한Oil-less Bearing일체형 Gear의 제조	박보규*정재현, 조규상 / 234
• 정밀 복합 치형 냉간 Sizing 금형 형상에 관한 연구	박세제*, 김병철, 고대철, 김병민, 김동환 / 236

• 항공용 티타늄 스프링의 정밀 벤딩 공법 개발	박세제*, 고필성, 김영환, 김동환 / 237
• 가변률성형을 이용한 가변단면을 갖는 프로파일의 변형길이 분석에 관한 연구	박종철*, 양동열, 차명환, 김돈건, 남재복 / 238
• 초기 변형된 마그네슘 집합조직의 성형성에 관한 연구	배병범*, 이영선, 김세종, 윤은유 / 242
• 사각 단면을 가지는 파이프의 다단 롤 벤딩 공정 설계	백정윤*, 손종윤, 이은미, 심도식 / 243
• 콤팩트용 픽업투쓰의 유한요소해석	서창희*, 김진록, 권태하, 송준국, 주민수 / 244
• 이미지 필터를 적용한 투명 치아 교정 장치 성형용 프리폼 설계	손원식*, 정웅기, 임성한 / 245
• 유한요소법을 이용한 파이프 인발 공정시 크랙 발생 저감을 위한 최적화 설계	송용현*, 이영선, 임정숙, 김덕령 / 247
• 브레이딩 공법이 적용된 프로펠러샤프트의 물성평가와 전산해석	신동우*, 이재호, 권일준, 천진성 / 248
• 1500MPa급 핫스탬핑 강판의 연화열처리에 관한 기계적 특성 평가	심우정*, 박용호, 전형준, 송명환, 김경보 / 252
• 밀정수를 고려한 형상압연 공정의 유한요소해석	엄재근*, 손일현, 전만수 / 256
• 크랭크샤프트 단조 공정 중 금형마모의 유한요소해석	엄재근*, 이민철, 이장호, 최영길, 김동환, 전만수 / 259
• 마이크로 프로브 핀의 인장 물성 측정	오동권*, 최준혁, 임성한, 민동균, 이광주 / 263
• 가변률성형시 성형각에 따른 버클링 특성분석	우영윤*, 이 민, 강형석, 황태우, 문영훈 / 265
• 스마트폰 앱을 이용한 각도 가공용 지그 개발	원시태*, 김주민, 김완섭, 유준중, 유종근 / 269
• 접이식 컨테이너를 위한 토션바의 소성변형 거동 연구	윤상현*, 이용신 / 272
• 강소성 caliber rolling 공정으로 제조된 아·과공석강의 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 후열처리 영향	윤신천*, 이기안, 김현진, 배철민 / 273
• 직접 레이저 용융공정을 위한 기계적 합금된 분말 특성분석	이 민*, 길태동, 지원중, 오일영, 문영훈 / 276
• 유한요소법을 이용한 알루미늄 합금박판의 복합 형상 성형 공정 설계	이기훈*, 예상돈, 허관도 / 277
• 장방형 평판 플랜지의 재료 회수율 향상을 위한 열간단조 공정변수 최적화	이무석*, 임성식, 윤덕재, 최호준, 신영철, 박선웅, 김동주, 임성주 / 280
• LM Guide Block의 열간단조공정설계	이성원*, 조원후, 이정민, 이신호 / 281

- 보일러 튜브용 무게목강관 제조공정 전산모사 연구
..... 이승열*, 강경필, 곽은정, 박영준, 조태선 / 285
- 파형 강관의 롤 벤딩 성형 시 임계좌굴변형률을 고려한 성형 스텝 설계에 관한 고찰
..... 이은미*, 손종윤, 심도식, 강법성, 강민중 / 287
- 자동차 미션용 피니언샤프트의 열간단조공정설계
..... 이정민*, 이성원, 조원후, 이신호 / 288
- 풍력발전용 메인샤프트의 퀘칭 후 변형량에 관한 연구
..... 전용배*, 장아영, 정상인, 박상덕, 권정재, 강신완, 권용철 / 291
- 형상변수에 따른 로타샤프트 디스크부의 열간단조공정에 대한 연구
..... 전종원*, 조종래, 정호승, 최성규 / 292
- 고수율과 고생산성을 고려한 역구배 제품의 알루미늄 냉간단조 공정설계의 최적화
..... 정승원*, 진호태, 전만수, 최상도 / 295
- 고탄소강의 베이나이트 상변태 거동 및 신선 특성 분석
..... 정신웅*, 박정훈, 안강석, 남원종 / 298
- 플라스틱 소재 대상 버 최소화 마이크로 가공 연구
..... 정용기*, 임성한, 민동균 / 299
- 유압프레스를 이용한 Thermoplastic CFRP Plate 제작
..... 정의철*, 김종선, 이성희, 윤경환 / 301
- 자동차 샤프트 연결 허브의 고정밀 열간단조 공정개발
..... 조원후*, 이성원, 이정민, 이신호 / 304
- 냉열간 정밀 단조기술을 적용한 자동차 엔진 마운팅 부품 개발
..... 탁윤학*, 박동환, 이미란, 한성철 / 307
- 열교환기의 하이드로포밍 공정 적용을 위한 알루미늄 관재의 자유 팽창 유한요소해석과 실험적검증
..... 한덕현*, 안병민, 김건홍 / 309
- 과공정 Al-Si 압출재의 미세조직, 인장 및 고주기 피로 변형 거동
..... 함기수*, 백민석, 이기안, 성시영, 김진평 / 310
- 자동차 시트 사이드 쿠션 패널의 비대칭 딥드로잉 프로그레시브 성형을 위한 스트립 브릿지 설계
..... 홍일성*, 정창식, 이덕영 / 313

“이 발표논문집은 2015년도 정부재원으로 한국과학기술단체총연합회의 지원을 받아 발간되었음”

가변단면 판재의 휨 저감을 위한 압연 공정 유한요소해석

이호원¹ · 이두규¹ · 임형철¹ · 오영석¹ · 강성훈[#]

Finite Element Analysis for reducing bending of Variable Thickness Plate during rolling process

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

Abstract

In this study, finite element analyses were conducted to study the bending of a variable thickness plate during rolling. The variable thickness plate has a different thickness. Therefore, the roll with non-circular profile was used in the upper although normal circular roll was used in lower. Due to assymetry in deformation of upper and lower part of plate, bending of variable thickness plate is inevitable. Therefore, the method for reducing this bending was investigated numerically.

Key Words : Variable Thickness Plate, Rolling, Finite Element Analysis,

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소 변형제어연구실

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

유한요소해석을 통한 가변단면튜브 스웨이징 공정변수에 따른 후육화를 예측

이종섭¹ · 임성주¹ · 강성훈² · 이상목[#]

Thickness prediction of variable cross-section tube with respect to swaging process parameters by FEA

J. Lee, 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 thickness variation of variable cross-section tubes after the swaging process has been studied using finite element analysis. The variation of the final tube thickness and the ratio between thickness strain and axial strain are investigated with respect to the process parameters such as initial tube thickness, die taper angle and diameter reduction. The result shows that lower taper angle has positive effect on the tube thickness increases.

Key Words : tube thickness variation, FEA, swaging, variable cross-section tube, process parameter

1. 서 론

차량 경량화를 위한 중공형 구동축(drive shaft)은 1990년 중반부터 다양한 공법을 통한 제조방법이 연구되어 왔으며[1], 2000년 중반부터 BMW, AUDI등 해외 선진 사에서 적용이 되고 있다. 해외 선진 부품업체의 경우, seamless tube를 적용하거나, 압출 등을 이용하여 튜브 원소재를 성형 후, 마찰교반용접 등을 적용하여 최종 중공축을 제조하고 있으나, 제조단가 상승 및 피로 성능 저하 등의 문제가 제기 되고 있어, 이를 극복하기 위한 원천기술이 요구되고 있는 실정이다. 최근에는 길이방향으로 두께가 변화하는 가변단면 튜브를 활용하여 중공형 구동축을 제조하고자 하는 기술개발이 진행되고 있다.

구동축의 경우, 등속조인트가 결합되는 stub

shaft의 후육화가 내구성능 만족을 위해서 매우 중요하다. 마찰교반용접을 통하여 중실형 stub shaft와 중공형 튜브를 결합한 제품의 경우, 구동 중 강한 토크로 인하여 내구수명이 저하되는 문제가 발생하고 있다. 가변단면튜브의 경우, 두께가 두꺼운 부위에 스웨이징 공정[2]을 적용하여 stub 부위를 성형함으로써, 일체형 중공축을 효과적으로 제조할 수 있다.

가변단면튜브 후육부의 초기 두께는 중공축의 stub부의 중실률을 결정하게 되는 주요 변수이다. 중공축의 내구 성능을 만족하기 위해서는 스웨이징 공정의 후육화 정도를 반영하여, 가변단면 튜브 후육부의 최소 두께를 확보하여야 한다.

본 연구에서는 가변단면 튜브 제조공정 설계를 위해 스웨이징 공정변수에 따른 가변단면 튜브의 후육화 경향 분석을 수행하였다. 이를 위해서 금형 형상 및 축관틀 등의 공정변수를 변화시켜가며 스웨이징 공정의 유한요소해석을 통해 후육화 정도를 평가하였다.

1. 한국생산기술연구원 뿌리기술연구소

2. 재료연구소

교신저자: 한국생산기술원 뿌리기술연구소,

E-mail:sanmokl@kitech.re.kr

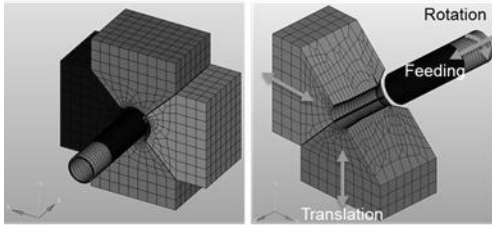


Fig. 1 FE model of swaging analysis

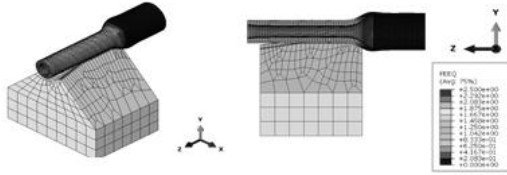


Fig. 2 Deformed shapes and effective plastic strain distribution

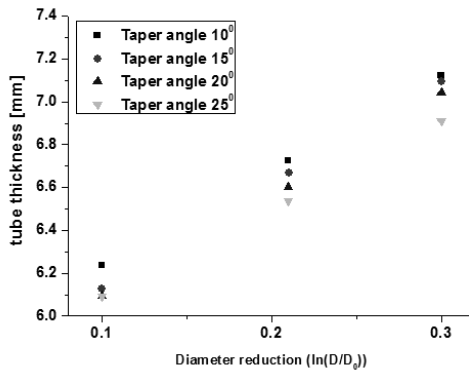


Fig. 3 Thickness variation w. r. t. taper angle and diameter reduction

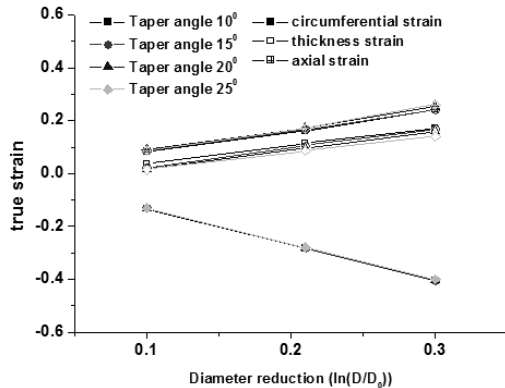


Fig. 4 logarithmic strain w. r. t. taper angle and diameter reduction

Table 1 FE analysis conditions

Classification	Spec.
FE analysis solver	ABAQUS/explicit
Initial tube diameter [mm]	43
Final tube diameter [mm]	28
Forming rate [mm/rev]	1.0
Punch stroke [mm]	1.4

2. 스웨이징 공정 해석

4개의 펀치를 가지는 feed-in 방식의 스웨이징 공정으로 초기 직경 43mm의 튜브를 최종 직경 28mm로 축관 하였다. 소재는 6.0 mm ST35MnB 소재의 물성을 적용하였다. Fig. 1은 FE 모델이며, 주요 해석조건을 Table 1에 정리하였다.

3. 해석결과 및 결론

Fig. 2는 스웨이징 공정 후, 튜브의 변형형상 및 유효소성변형률 분포를 나타낸 것이다. 축관을 및 금형각도(taper angle)에 따른 성형 후 후육부 두께 및 진변형률을 Fig. 3과 Fig. 4에 정리하였다. 축관율이 증가함에 따라, 두께는 증가하나 금형각이 클수록 후육화율은 감소한다. 이는 Fig. 4의 두께방향 변형률과 길이방향의 변형률 편차가 금형각이 클수록 증가하는 것으로도 확인된다. 따라서, 큰 금형각 일수록 축관 과정에서 튜브 두께가 증가하기 보다는 길이방향으로 더 늘어나는 경향을 보임을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 산업통산자원부 “산업기술혁신사업”의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] P. Amborn, S. K. Ghosh, I. K. Leadbetter, 1997, Modern side-shafts for passenger cars: manufacturing processes II – Monoblock tube shafts, J. Mater. Proc. Tech., Vol. 63, pp. 225-232.
- [2] S. J. Lim et al., 2009, Forming characteristics of tubular product through the rotary swaging process, J. Mater. Proc. Tech., Vol. 209, pp. 283-288.

TRB 소재를 적용한 가변단면튜브 성형 공정 개발

조국래¹ · 최수영¹ · 정윤성¹ · 박상언¹ · 이문용[#]

Development of Variable Cross-Section Tube(TRT) Forming Process for Applied to the TRB Material

K. R. Cho, S. Y. Choi, Y. S. Chung, S. E. Park, M. Y. Lee

Abstract

In automotive industry, light weight is continually required to improve fuel efficiency. To satisfy customer needs, They've continually developed automotive technology with integration driving module and miniaturization. In this study, we reinforce stiffness of torsion-bending for driving module part by development of integration tube part of process using TRB materials with various length and thickness. Through the FEM, we customize roll forming process to handle change of thickness of TRB materials. Using it we manufacture and analysis roll- forming process.

Key Words : Roll Forming (롤 포밍), Sheet Roll Forming (시트 롤 포밍), Tailor Rolled Tube (가변단면튜브), TRB Material (TRB 판재), Light Weight (경량화)

1.성우하이텍 기술연구소

교신저자: 성우하이텍 기술연구소, E-mail:mylee@swhitech.com

컴팩트 조인트와 중공축 개발

신승만

Development of Compact Joint and Tubular Shaft

Seungman. Shin

Abstract

전륜 구동축(H/Shaft)은 엔진의 동력을 트랜스 미션을 통하여 바퀴 측으로 전달하는 동시에 완충 역할을 위해 바퀴 측의 움직임을 조절해 주는 기능을 하는 부품이다. 따라서 차량의 회전진행 방향 및 주행상 발생하는 차량 제반 자체 변위를 흡수하는 동시에 트랜스 미션으로부터 전달된 동력을 일정한 각도 내에서 동력손실 및 소음 없이 등속성을 유지하면서 휠 측으로 전달해야 한다. 고유가 시대에 경쟁력 있는 차량 개발을 위하여 부품경량화를 통한 연비 향상과 원가절감이 중요한 화두가 되고 있으며, 부품의 최적화를 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 이중에서도 샤시 부품의 최적설계와 경량화는 매우 중요한 분야이다. 일반적으로 10%의 차체 중량 감소는 8~10% 정도의 연비향상효과가 있다고 한다. 그러나 구동부품 중 스프링 아래쪽의 경량화는 위쪽의 10배의 효과가 있다고 한다. 즉, 스프링 아래쪽에 있는 구동부품인 구동축의 경량화는 타 부품에 비해 연비 향상 효과가 배로 많다는 것을 의미한다. 본 논문에서는 구동축의 경량화를 위해 최적설계를 통한 컴팩트 조인트와 RH Shaft를 중공으로 개발 평가하여 개선점을 도출하고 향후 설계에 반영하고자 한다.

Key Words : H/Shaft(구동축), Tubular Shaft(중공축), Compact Joint(컴팩트 조인트)

판재의 하이브리드 용접부 미세구조 분석

손승우¹ · 이종훈[#]

Analysis on the Weld Joint of Steel Plate by Laser-Arc Hybrid Welding

S. Son, Z. Lee

Abstract

Laser-arc hybrid welding has both advantages in welding speed and penetration depth. 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 investigates the microstructure of weld joints by laser-arc hybrid welding. The X-ray diffraction and energy dispersive spectroscopy were conducted to analyze the phase composition. Additionally, transmission electron microscopy was performed to characterize the microstructure of joints. Finally, the effects of hybrid welding parameters were investigated to find suitable conditions for stable welding process.

Key Words: Laser-Arc Hybrid Welding, Microstructure Analysis, Transmission Electron Microscopy

1. 울산과학기술대학교 신소재공학부
교신저자: 울산과학기술대학교 신소재공학부,
E-mail: zhlee@unist.ac.kr

유한요소 기법을 이용한 하이브리드 용접 해석

양조예¹ · 이영석[#]

Simulation of Laser-hybrid welding using the Finite Element Method

Z. R. Yang, Y. S. Lee

Abstract

본 연구는 유한요소 해석 기법을 이용하여 레이저 하이브리드 용접 해석 모델을 개발하였다. 평판 막대 기 형태로 단일 패스 용접방식을 선택해서 해석 모델을 만들었다. 기존 아크 용접과 레이저용접 열원 모델을 바탕으로 하이브리드 열원모델을 개발하였다. 유한요소 해석 프로그램인 ABAQUS 서브루틴을 사용하여 수식을 해석 모델에 적용하였다. 이를 통해 하이브리드 용접 온도 계산을 이루어지고 응력해석을 수행하였다. 또한 하이브리드 용접이동방식(레이저 선행, 아크 선행)과 열원 이동 속도를 변화시키면서 용접 온도와 잔류응력 분포를 예측했다. 용접부 온도는 레이저 선행의 최대 온도가 아크 선행보다 높게 나타났다. 같은 입열량일 때 용접속도가 10mm/s를 증가하면 최대온도가 300°C를 떨어진다. 잔류응력분포는 아크 선행인 경우 Longitudinal stress가 레이저 선행보다 크게 나타났다. 아크 선행의 Longitudinal stress 최대 값이 열원 이동속도에 따라 영향이 받지만 레이저 선행인 경우 영향을 받지 않는다.

Key Words : Laser-hybrid welding(레이저 하이브리드 용접), Residual stress(잔류응력), Finite Element Method(유한요소법)

1. 중앙대학교 기계공학부

교신저자: 중앙대학교 기계공학부, E-mail:ysl@cau.ac.kr

AA1070 알루미늄 합금 사각 케이스의 충격압출 공정에서 마찰과 금형간 간격이 미치는 영향

조민기¹ · 안은솔² · 박인욱² · 송익성³ · 김화영³ · 김대용⁴ · 문영훈¹ · 김지훈^{1#}

Effect of friction and clearance on rectangular case deformation during impact extrusion of AA1070 aluminum alloys

M. K. Jo, E. An, I. W. Park, I. S. Song, H. Y. Kim, D. Kim, Y. H. Moon, J. H. Kim

Abstract

Impact extrusion processes are economical and productive processes that can replace multistage deep drawing processes. It can be used to manufacture cups with a complex section as well as circular or rectangular cups. For impact extrusion processes, commercial purity aluminum(AA1070) is studied to anticipate flow stress at high temperature and strain rate by using Hansel-Spittel rheology. In this work, the impact extrusion process was analyzed numerically to study the effects of process parameters such as friction, clearance between punch and die, thickness of billet and curvature radius of die, etc. Three-dimensional finite element analysis was used to predict z-axis load & stress of die, and shapes of deformed rectangular aluminum alloys.

Key Words : Impact extrusion, Deep rectangular case, Friction, Clearance, Finite element analysis

1. 서 론

자동차 배출가스에 의한 공해문제가 국제적 문제로 부각되면서 친환경 자동차 개발에 박차가 가해지고 있다. 이러한 친환경 자동차에서 엔진을 제어하는 ECU(Engine Control Unit) 기술 개발은 상당한 수준에 도달해 있지만, ECU를 저장하는 저장용기의 생산, 설계 기술 및 패키징 기술 개발은 미흡한 현실이다. 외부에 의한 케이스 충격, 습기 유입 등으로 급발진 사고와 같은 전기 계통에 심각한 문제를 줄 수도 있게 된다. 이처럼 자동차 제어에 영향을 줄 수 있는 ECU 케이스 제작을 위한 기술 개발은 필수적이다.

사각 케이스 형상을 만드는 방법에는 딥드로잉 기술과 충격압출 기술이 있다. 사각 딥드로

잉 기술은 친환경 자동차용 전지 케이스를 제작하는데 사용되는 등 활용이 많아지고 있지만, [1] 현재의 사각 딥드로잉 제조는 다단계에 기반하고 있으며, 다단계 공정을 거치는 복잡한 제조 과정과 이를 위한 막대한 투자비 지출로 인한 가격 경쟁력 약화가 단점이다. [2]

충격압출 성형 기술은 이러한 단점들을 극복할 수 있는 방법 중 하나다. 충격압출 공정의 경우 다단계 딥드로잉에 비해 공정 수를 줄일 수 있어 고속생산이 가능하며, 금형 제작비용 및 자동화 설비투자 비용이 낮고, 정확한 치수의 성형가공으로 트리밍을 작게 할 수 있어 가격 경쟁력 측면에서 획기적이다. [3]

본 연구에서는 사각형상의 충격 압출 공정에서 여러 가지 공정 변수들이 공정과 제품에 어떤 영향을 미치는지 유한요소해석을 통해 알아 보았다. 소재의 물성은 고온 인장시험을 통해서 측정하여 유한요소해석에 사용하였다.

1. 부산대학교 기계공학부

2. 한국생산기술연구원 동남지역본부

3. ㈜ 일광컨테크

4. 재료연구소

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

2. 충격압출 해석

2.1 유한요소 모델 및 해석 조건

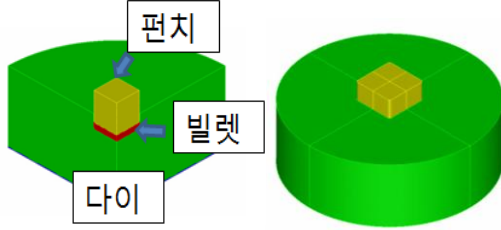


Fig. 1 Finite element analysis basic model

빌렛, 펀치, 다이가 기본적인 구성을 이루고 있으며, 빌렛에 길이 1 mm의 사면체 요소(element) 4,198개, 펀치에 2 mm의 요소 5,100개, 다이에 7 mm의 요소 4,264개를 사용하였다. 소재와 금형의 초기 온도는 20 ℃로 설정하고, 금형과 소재 사이의 열전달 계수는 10 kW/m·K로 가정하였다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 사각형상은 대칭(symmetry)의 형태를 가지므로 1/4로 나누어 해석을 진행하였다.

펀치와 다이는 200 GPa의 탄성계수를 가지는 탄성체(deformable body)로 빌렛에 가해지는 힘에 따라 금형 또한 탄성 변형을 하게 된다. 재료 물성은 AA1070을 사용하였다. 변형 해석 과정에서 각 요소의 과도한 변형을 억제하기 위해 FORGE2011™에서 제공하는 Remeshing on Deformation 기능을 적용하였다.

Table 1 Basic process conditions

Friction coefficient(μ)	0.05
Shear limit(m)	0.1
Clearance	0.68 mm
Aspect ratio (Length)	1:1 (31.84 / 31.84 mm)
Thickness	8 mm
Punch velocity	350 mm/s
Punch stroke	7 mm

본 연구에서는 마찰, 펀치와 다이 간 간격(clearance)이 공정과 제품에 미치는 영향을 분석하였다. 유한요소해석에서 사용한 마찰식은 아래와 같다.

$$\tau = \mu \sigma_n \quad \text{if } \mu \sigma_n \leq \frac{\sigma_f}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

$$\tau = m \frac{\sigma_f}{\sqrt{3}} \quad \text{if } \mu \sigma_n \geq m \frac{\sigma_f}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

여기서 τ 는 전단응력(shear stress), σ_n 은 수직응력, μ 는 마찰 계수(friction coefficient), m 은 전단 한계(shear limit)를 나타낸다. 유한요소해석에 사용한 기본 공정 조건은 Table 1과 같다.

2.2 마찰조건에 따른 유한요소 해석

2.2.1 해석 조건 설정

모든 공정에서 소재와 금형간의 마찰은 (1), (2)식의 쿨롬 마찰 법칙(Coulomb friction law)을 사용하였고, 쿨롬 마찰력은 마찰 계수(μ)값과 전단 한계(m)에 의해 결정된다.

충격압출 공정에서 마찰 계수 및 전단 한계가 응력, 변형률, 하중에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Table 2 와 같이 수치를 조정하여 유한요소해석을 진행하였다.

Table 2 Friction conditions

Case	μ	m
F1	0.05	0.1
F2	0.05	0.3
F3	0.2	0.1
F4	0.2	0.3

2.2.2 마찰조건에 따른 영향도 분석

Fig. 2에서 모든 조건에서 소재의 평균 유효 변형률의 경우, 시간이 흐를수록 계속해서 증가하였다. m 값이 같은 F1 조건과 F3 조건은 평균 유효 변형률에서 큰 차이가 없다. 그러나 m 값의

변화가 있는 F1, F2와 F3, F4 조건을 비교했을 때 펀치가 4.2 mm 내려간 시점부터 차이를 보이고 있다.

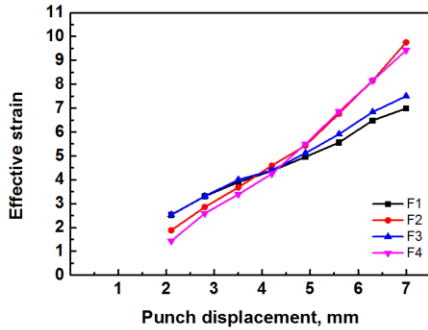


Fig. 2 Effective strain of billet depending on friction factor

이러한 차이점은 성형하중에서도 확인할 수가 있다. Fig. 3 은 각 조건에 대한 펀치에 걸리는 하중이다. 마찬가지로 m 값이 같은 F1 조건과 F3 조건은 하중에서 큰 차이가 없으며, m 값이 다를 때 큰 차이를 보인다.

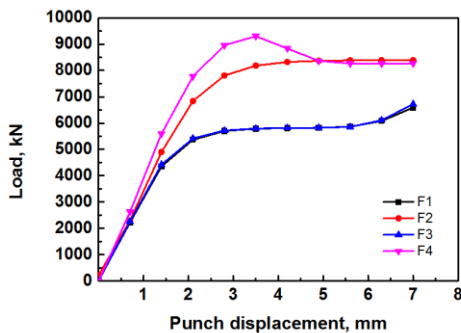


Fig. 3 Load of punch depending on friction factor

2.3 다이/펀치 간 간격(clearance)에 따른 유한요소 해석

2.3.1 해석 조건 설정

각 면에 대한 간격을 Table 3과 같이 설정하였으며, 각 조건들이 변형률, 성형하중, 높이변화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 유한요소 해석을 진행하였다.

Table 3 Clearance conditions

Case	Clearance(mm)
	a / b
C1	0.68 / 0.68
C2	0.68 / 0.76
C3	0.68 / 0.84
C4	0.68 / 1.00

2.3.2 다이/펀치 간 간격(clearance)에 따른 영향도 분석

Fig. 4는 간격별 높이를 도시한 것이고, Fig. 5는 조건별 최종 성형 형상을 나타낸 것이다. C1 조건과 C2 조건을 비교하면 재료의 유동이 넓은 간격으로 이동하기 때문에 a 부분에서 높이가 낮아지고, b 부분에서 높이가 높아진다. 하지만 C2 조건과 C3 조건을 비교해 보면 b 부분의 높이도 또한 낮아지는 것을 볼 수 있는데, 이는 유입되는 부피는 한정되어 있지만 간격이 넓어지면서 높이가 상대적으로 낮아지는 것으로 예상된다. C4 조건에서도 이러한 현상을 확인할 수 있다. 성형 하중에 있어서 간격 차이가 커질수록 낮은 값을 나타냈으며 이를 Fig. 6에서 확인할 수 있다.

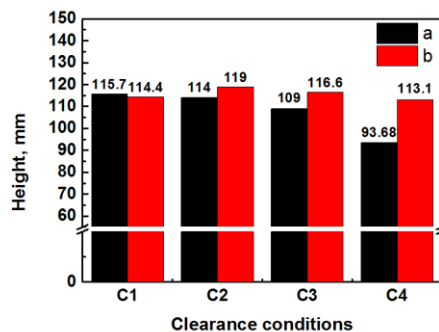


Fig. 4 Height depending on clearance

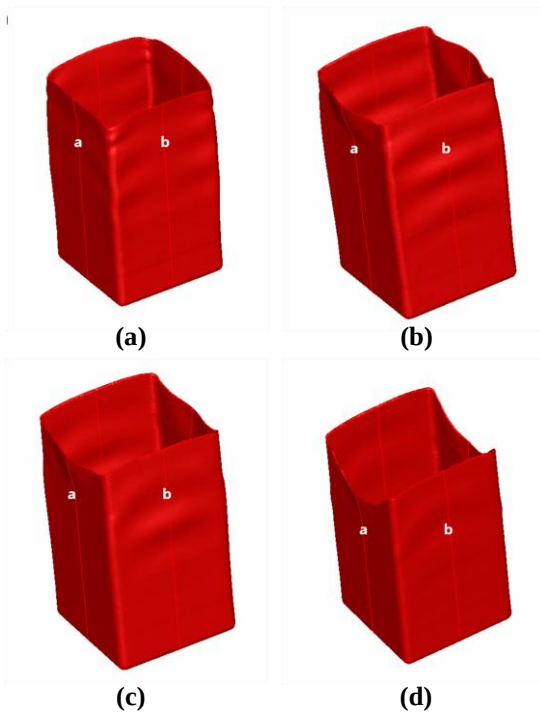


Fig. 5 Deformed shapes depending on clearance for cases (a) C1, (b) C2, (c) C3, and (d) C4

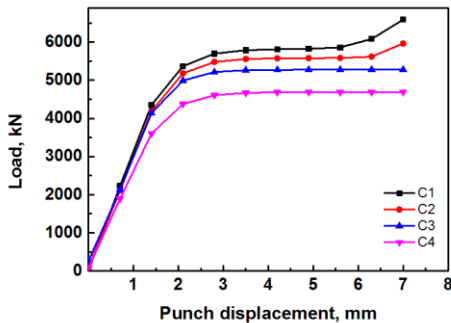


Fig. 6 Load of punch depending on clearance

3. 결 론

본 연구에서는 AA1070 알루미늄 사각형상에 대한 충격압출 공정 유한요소 성형해석을 수행하였다. 해석 프로그램은 FORGE2011™을 사용하였고, 마찰, 펀치/다이 간 간격을 바꿈으로써 재료의 유효 변형률, 성형형상, 성형하중을 예측하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결과들을 요약

하면 다음과 같다.

(1) 소재와 금형 간의 전단 한계를 증가시켰을 때 재료의 변형률과 성형하중이 크게 증가함을 확인할 수 있었다. 그에 반해 마찰 계수를 증가시켰을 때 재료의 변형률, 성형하중이 증가하긴 하였지만 그 효과는 전단 한계의 증가 효과보다 미미하였다.

(2) 간격차이가 커질수록 변형률 및 성형하중이 줄어들었으며, 최종 형상에서는 간격이 넓은 면으로 재료의 유동이 쉬워져 간격이 좁은 면과의 높이차이가 생기는 것을 확인하였다. 그러나 간격차이가 커지면서 계속해서 최종 높이가 증가하지는 않았는데, 이는 간격이 증가함에 따라 유입되는 부피가 한정되기 때문에 높이에서 손실이 있는 것으로 보인다.

후 기

이 논문은 2014년 산업통상자원부 재원의 첨단하이브리드 가공기술 고도화 및 실용화 사업(M0000529) 및 한국연구재단 선도연구센터(ERC) (#2012R1A5A1048294)의 지원을 받아 수행된 연구이며 이에 감사 드립니다.

REFERENCES

- [1] 정상원, 박승희, 김성훈, 조규중, 2003, 직사각형 용기의 후방 충격압출 성형에 대한 마찰의 민감도 해석, 한국소성가공학회지, 제12권, 제8호, pp. 693~701
- [2] S. H. Kim, S. W. Chung, S. Padmanaban, 2006, Investigation of lubrication effect on the backward extrusion of thin-walled rectangular aluminum case with large aspect ratio, J. Mater. Process. Technol., Vol. 180, No. 1-3, pp. 185~192.
- [3] 정상원, 정용호, 김규하, 조규중, 2002, 후방 충격압출 공정개선을 위한 유한요소 해석 기법 연구, 한국정밀공학회, 제10권, pp. 641~645

가변 단면을 가지는 비대칭 얇은 관 부품의 액압 성형 연구

강형석¹ · 주병돈¹ · 이민¹ · 황태우¹ · 문영훈[#]

Hydroforming of non-axisymmetric thin-wall tubular component with variable cross sections

H. S. Kang, B. D. Joo, M. Li, T. W. Hwang, Y. H. Moon

ABSTRACT

Hydroforming of non-axisymmetric thin-wall tubular component with variable cross sections was analyzed. In order to solve sealing problem occurred due to thin and non-axisymmetric shape, punch available on hydroforming experiment with thin tube was suggested. Lead patch was attached to the punch to solve sealing problem occurred due to the stress gradient on the non-axisymmetric shape. FEM and experiments have also been performed to analyze these sealing problems associated with the punch shape and non-axisymmetric shape. Finally, lead patch is attached at tube surface where intensive local strain concentration would occur to enhance hydroformability. These methods were successfully used to fabricate non-axisymmetric thin-wall tubular component with variable cross sections that had previously failed during traditional hydroforming processing.

Key Words : Hydroforming, Thin-wall tubular component, Non-axisymmetric shape, Sealing problem, Punch, Stress gradient, Local strain concentration

1. 서 론

액압성형 공정은 경량화 부품에 대한 수요가 증가함에 따라 자동차 부품 분야에서 경량화를 위한 신 가공 공정 기술로서 폭넓게 이용되고 적용 범위를 넓혀가고 있는 소성가공 기술이다 [1,2]. 액압성형 공정 기술은 부품경량화 이외에도 기존공정을 대체하는 동시에 공정을 간소화하여 부품의 일체화를 구현할 수 있다. 이와 같은 부품의 일체화는 무게 감소와 더불어 강도의 향상을 만족시킬 수 있기 때문에 원자재 절감 등의 효과도 아울러 기대할 수 있다[3]. 자동차의 충돌 시 충격 흡수를 위한 부품은 여러 가지가 있다. 고속 충돌 시 운전자의 생명을 지키기 위한 고강도의 부품부터 저속 충돌에는 차체의 변형만을 막기 위한 부품들이 있다. 저속 충돌에 사용되는 여러 부품 중 범퍼는 국내 규정으

로 시속 2.5mile 에서 충격을 흡수하면서 파괴가 일어나 차체의 변형을 막을 수 있게 설계되어 있다. 범퍼는 범퍼빔(bumper beam), 범퍼스테이(bumper stay), 스테이플레이트(stay plate), 프론트 사이드멤버(front side member) 등으로 구성되어 있다.

본 연구는 충돌 시 변형에 의한 충격 흡수로, 범퍼 빔을 비롯한 다른 부품들의 변형을 방지하기 위해 쓰이는 부품인 범퍼스테이의 성형에 관한 것이다. 현재의 범퍼스테이는 스탬핑(stamping)과 스팟(spot)용접으로 이루어진 다공정 접합 방식으로 생산되고 있다. 이에 본 연구에서는 액압성형 공정을 이용하여 범퍼스테이 성형 시 발생하는 문제점을 분석 및 개선하였으며, 성형 가능한 최적 성형 조건을 분석하고 공정 변수의 조작으로 인한 영향도를 분석하였다.

1. 부산대학교 정밀기계공학과

교신저자: 부산대학교 정밀기계공학과 / 정밀정형 및 금형
가공 연구소, E-mail: yhmoon@pusan.ac.kr

2. 연구 내용

2.1 펀치 설계

관재 액압성형 공정은 튜브형상의 원소재를 금형에 장착한 후 튜브 내부의 높은 액압과 축방향의 피딩을 부여하여 원하는 형상으로 성형하는 기술이다.

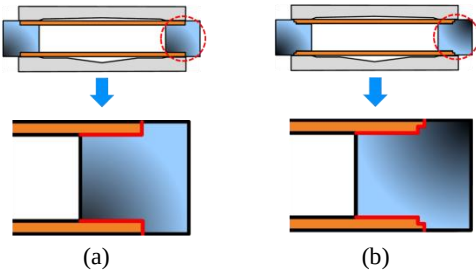


Fig. 1 Schematic drawings of cross section of punch;
(a) one step punch, (b) two step punch

얇은 튜브에 높은 내부 액압을 부여하기 위해서는 유체가 새어나가지 않게 실링 효과를 향상시키는 것이 중요하다. 기존의 액압 성형 실험에서는, 실링 효과를 향상시키기 위해 Fig. 1 (b)와 같이 다단 펀치를 주로 사용하여왔다. 다단 펀치를 사용할 경우, Fig. 1 (b)와 같이 단면 접촉뿐만 아니라 측면 접촉이 발생하게 되고, 소재 또한 단이 형성되어 실링 효과를 향상시켜주고 있다. 하지만 두께가 얇은 소재의 경우 하중을 견디는 힘 부족으로 파이프 끝단부에 결함이 발생 할 것이라 판단하여 유한요소해석과 실험을 실시하여 펀치 형상에 따른 결함발생 유무를 분석하였다.

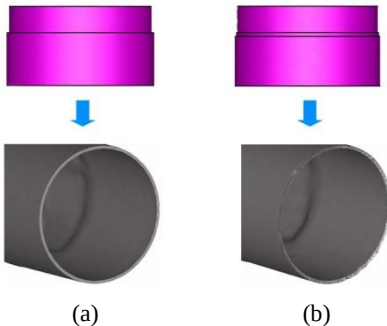


Fig. 2 FE analysis result according to punch shape;
(a) one step punch, (b) two step punch

Fig. 2 와 Fig. 3 의 유한요소해석과 실험 결과

를 통해 1단 펀치를 사용하였을 경우에는 결함이 발생하지 않은 모습을 볼 수 있다. 이와 반대로 2단 펀치를 사용 하였을 경우에는 결함이 발생하였고, 결함이 발생한 곳에서 유체가 새어나갈 것이라 판단하였다. 2단 펀치에서 결함이 발생하는 이유는 튜브 끝단부가 펀치와 접촉하는 단면적 감소로 인해 하중을 견디는 힘이 부족하였고, 그로 인해 항복 현상이 발생하였기 때문이다.

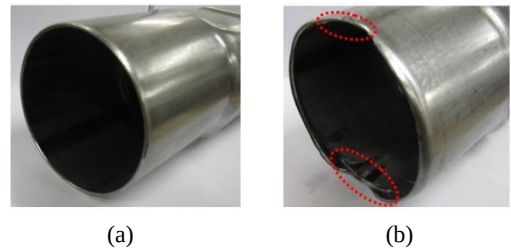


Fig. 3 Experiment result according to punch shape;
(a) one step punch, (b) two step punch

이를 통해 1.4mm 처럼 얇은 튜브를 액압 성형 할 경우, 1단 펀치가 2단 펀치에 비해 실링 효과가 우수하다는 결론을 얻게 되었다.

2.2 leak prevention 분석

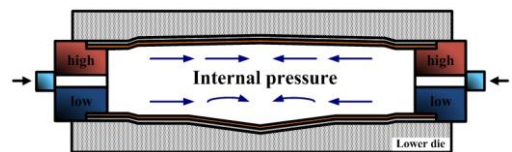


Fig. 4 Cross section of non-axisymmetric die

비대칭 형상에 의해 발생하는 실링 문제에 대해 분석을 수행하였다. Fig. 4 와 같이 비대칭 형상으로 인해 펀치에 응력 구배가 발생할 것이고, 응력이 낮은 펀치 구간으로 유체가 새어나갈 것이라 판단하여 유한요소해석을 수행하였다. Fig. 5 에 나타난 것처럼 펀치에서 응력 구배가 발생한 것을 볼 수 있다. $0^\circ \sim +180^\circ$ 영역에서 평균적으로 189.4 MPa 의 응력이 발생하였으며, $0^\circ \sim -180^\circ$ 영역에서는 210.8 MPa 의 응력이 발생하여 두 구간에서 대략 21 MPa 의 응력 구배가 발생한 것을 Fig. 6 의 결과를 통해 확인할 수 있다.

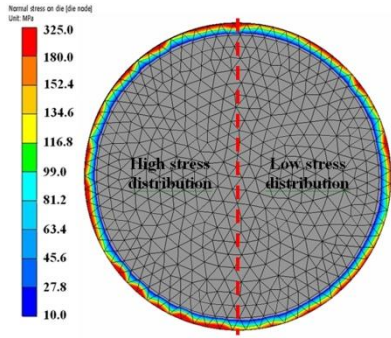


Fig. 5 FE analysis result on punch

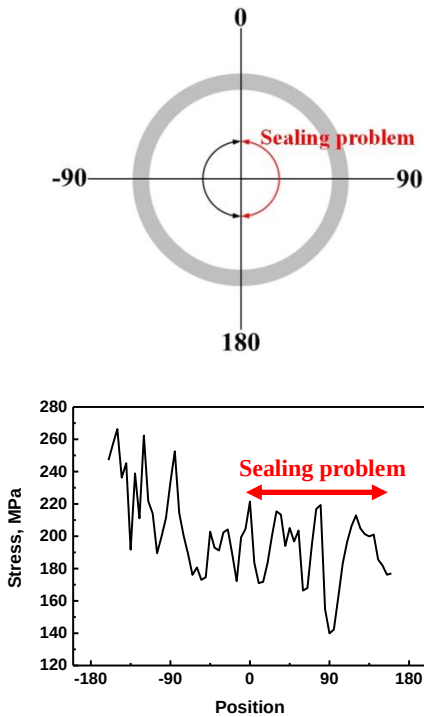


Fig. 6 Stress distribution on punch of non-axisymmetric die

즉, 응력이 낮은 펀치 구역인 $0^\circ \sim +180^\circ$ 영역에서 실링 문제가 발생한 것이다. 응력 구배 때문에 발생하는 실링 문제를 해결하기 위해 납 패치를 Fig. 7 과 같이 펀치에 부착하였다. 납 패치가 응력이 낮은 펀치 구간으로 새어 나가는 유체를 막아줄 것이라 판단하였고, 실링 문제의 개선 여부를 확인하기 위해 실험을 수행하였다.

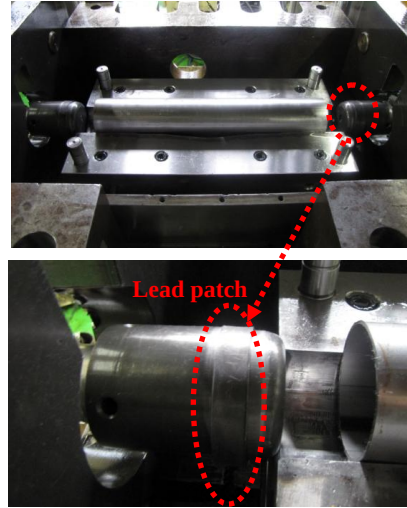


Fig. 7 Punch with lead patch

Fig. 8 는 납 패치 부착 유무에 따른 내부 액압을 비교한 그래프이다. 납 패치를 펀치에 부착한 경우, 대략 10 MPa 정도의 내부 액압 상승이 발생한 것을 확인 할 수 있다. 이를 통해, 펀치에 납 패치를 부착하는 것은 비대칭 형상에서 발생하는 실링 문제를 해결해 줄 수 있다는 결론을 얻을 수 있다.

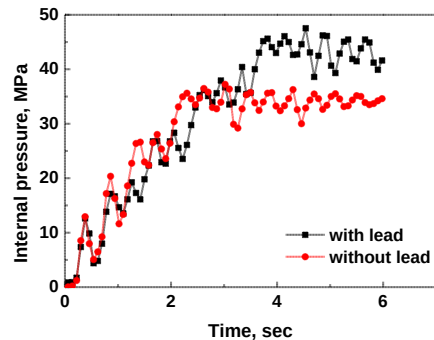


Fig. 8 Comparison of internal fluid pressure between punch with lead patch and without lead patch

2.3 국부적 변형 집중 저감을 통한 액압 성형성 개선

위의 방법으로는 성형성이 개선되지 않아, Fig. 9 와 같이 납 패치를 부착하여 국부적으로 변형 집중을 분산시켜 성형성을 개선시키고자 하였다.

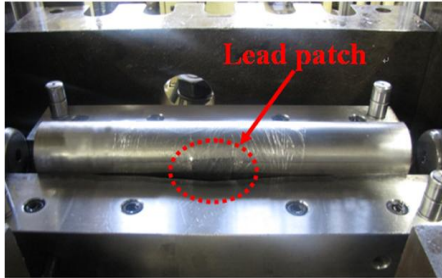


Fig. 9 Lead patch attached at local strain concentrated position



Fig. 10 Hydroforming test process



Fig. 11 Hydroformed final shape after cutting

변형 집중부위에 일정 두께의 납 판을 미리 부착시킨 상태에서 1차 액압성형을 하면 납 판이 부착된 부분에서 확관이 되지 않으면서 튜브 변형이 억제되게 된다. 반면 납 판과 인접된 주변부로 변형이 분산되게 되는데 이렇게 1차 확관된 튜브에서 납을 제거 한 후 2차 액압성형을

하면 Fig. 10 에 보인 바와 같이 성형성이 개선된 양호한 액압성형품을 얻을 수 있다. 이러한 결과는 예상 변형 집중 부에 미리 변형을 분산시킨 후 액압성형을 하게 되면 높은 성형성 개선 효과를 얻을 수 있음을 잘 보여준다. Fig. 11 에 튜브를 절단, 제거한 후 얻어진 범퍼스테이 최종 제품을 나타내었다.

3. 결 론

유한요소해석과 실험을 통해 가변 단면을 가지는 비대칭 얇은 관 부품에 대한 액압성형 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

(1) 1.4mm 처럼 얇은 튜브를 액압성형 할 경우, 1단 펀치가 2단 펀치에 비해 실링 효과가 우수하다는 결론을 얻게 되었다.

(2) 비대칭 형상으로 인해 펀치에 발생하는 응력 구배가 실링 문제의 원인이 되었으며, 펀치에 납 패치 부착이 비대칭 형상으로 인해 발생하는 실링 문제를 개선시켜주었다는 결론을 얻게 되었다.

(3) 납 패치 부착을 통한 국부적 변형 집중 저감을 통해 액압성형성을 개선하였다.

후기

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012R1A5A1048294).

참고문헌

- [1] H. L. Xing, A. Makinouchi, 2001, Numerical analysis and design for tubular hydroforming, J. Mech. Sci., Vol. 43, pp. 1009~1026.
- [2] M. Koc, T. Altan, 2002, Prediction of forming limits and parameters in the tube hydroforming process, Int. J. Mach. Tools Manuf., Vol. 42, pp. 123~138.
- [3] H. K. Park, H. K. Yi, C. J. Van Tyne, Y. H. Moon, 2009, Strain hardening behavior during manufacturing of tube shapes by hydroforming, Met. Mater. Int., Vol.15, pp. 897~902

유한요소해석을 이용한 Hollow Partition Turbine Blade 성형 공정 연구

박기범¹ · 강범수¹ · 구태완[#]

Hollow Partition Turbine Blade of Forming Process Using Finite Element Analysis

K. D. Hong, K. D. Kim, K. D. Lee(Times New Roman 10pt)

Abstract

This study deals with thick plate forming process to manufacturing a hollow partition turbine blade. The hollow partition turbine blade of turbine diaphragm consist of upper and lower plates, and the upper plate is considered in this study. SUS409L plate with thickness of 5.00mm in used in this study, and uni-axial tensile tests are performed to evaluste the mechanical properties including normal anisotropic characteristics. With the consideration of the normal anisotropic behavior and blank direction, three initial blank are obtained. Thereafter, the forming surface of the punch and die are designed according to the target configuration of the upper plate And then, the flange angles of the tools are varied to investigate effects on the deformation quality and formability. Numerical simulation using ABAQUS Explicit are carried out, and a series of parametric predictions with regard to the deformed configuration at the flange region are also performed. From the results of the deformed blank In addition, according to the blank direction and its related normal anisotropic properties, the deformation behaviors in terms of the obtained configuration, as well as the stress and the strain distributions, are investigated to different pattern

Key Words : Turbine Diaphragm, Hollow-type Stator, Thick Plate Forming, Forming Process, Finite Element Analysis

Acknowledgement

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2012R1A5A1048294). 또한 2012년도 한국에너지기술평가원(KEPTEP)의 에너지인력양성지원사업 (No.20124030200020)에 의해 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

1. 부산대학교 항공우주공학과

교신저자: 부산대학교 설계기반미래성형기술센터,

E-mail:longtw@pusan.ac.kr

리튬 이온 전지의 Safety vent 제조 공정에 관한 연구

김정훈¹ · 이경훈² · 임영진³ · 김병민[#]

Study on Manufacturing Process for Safety vent of lithium ion battery

J. H. Kim, K. H. Lee, Y. J. Lim, B. M. Kim

Abstract

A safety vent has been considered as one of safety components in lithium ion battery. The safety vent which controls the increased inner pressure of the batteries uses to protect its user from unpredictable explosions. The cap plate having safety vent is manufactured generally by welding each components. In this study, a manufacturing process for prismatic lithium ion batteries is newly proposed to reduce process time in comparison with the conventional process. The safety vent is deformed through a backward extrusion and coining process with annealed sheet material of 1050-H14 aluminum alloy. The ductile fracture criterion is adopted to predict rupture of safety vent. Finite element simulation was carried out both forming process and prediction of rupture pressure for the safety vent. Finally, a rupture test is preformed to measure the rupture pressure of safety vent and the results were satisfied with the required pressure within $8.5 \pm 0.5 \text{ kgf/cm}^2$. Results indicate that manufacturing process proposed in this study could be used widely to enhance the efficiency of production.

Key Words : Lithium ion battery, Backward extrusion, Coining, Safety device, Rupture pressure

후 기

이 논문은 중소기업청의 기술혁신개발사업 지원을 받아 수행된 연구임.

1. 부산대 대학원 정밀가공시스템 전공

2. PNU-IFAM 국제공동연구소

3. (주)영하이테크

교신저자: 부산대학교 기계공학부,

E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

Tailor rolled blank의 핫스탬핑 공정에서 천이구간 물성 확보를 위한 직접 냉각 방식의 적용

김재홍¹ · 최시내¹ · 고대철² · 김병민[#]

Application of direct cooling for ensuring material properties on transition zone in hot stamping of tailor rolled blank

J. H. Kim, C. N. Choi, D. C. Ko, B. M. Kim

Abstract

This paper aims to apply direct cooling method for ensuring material properties on transition zone in hot stamping process of tailor rolled blank(TRB). The contact between blank and tool affects cooling rate and material properties of the hot stamped part. In case of TRB, the material property in transition zone is difficult to ensure because TRB has thickness difference via a rolling process. Therefore, direct cooling method was employed to improve cooling rate and material properties of TRB. Before direct cooling was applied to hot stamping tool, simplified test was carried out to determine condition of direct cooling such as flow rate, injection distance and position of nozzle. The hot stamping tool with direct cooling device was fabricated considering result of simplified test. For the verification of suggested cooling method, hot stamping experiment of TRB was carried out and the hardness of hot stamped part was measured. The experimental result shows that the hardness of hot stamped part by direct cooling was improved as much as 7.32% compared with that of conventional hot stamped part.

Key Words : Hot stamping(핫스탬핑), Tailor rolled blank(가변 압연 판재), Direct cooling(직접 냉각), Cooling rate(냉각 속도), Material property(재료 물성)

후 기

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

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

다이 오프셋법을 이용한 크로스 롤러 가이드 이형인발의 다이 설계

박정현¹ · 이경훈² · 김병민[#]

Die Design of Cross Roller Guide in the Shape Drawing using Die Offset Method

J. H. Park, K. H. Lee, B. M. Kim

Abstract

The multi-stage shaped drawing process is used to produce long product with a smooth surface. Design method for cross-sectional shapes of an intermediate die is important to manufacture products with a high dimensional accuracy in the process. In this study, the new method is suggested in multi-stage shaped drawing process. The proposed new method, die offset method provides a uniform and steady metal flow at each divided section in reduction zone. Therefore, Die design is carried out by cross-sectional shape and size of final product without additional FE-analysis. The method is applied to design the multi-stage shaped drawing process for producing a cross roller guide. Finally, FE-analysis has been conducted to validate the effectiveness of the suggested design method in multi-stage shaped drawing process. From the results of the FE-analysis, the validation of the method was confirmed to manufacture a sound product.

Key Words : Shaped drawing(형상인발), Cross-sectional shape of intermediate die(중간 다이 설계), Die design(다이 설계), Cross roller guide(크로스 롤러 가이드), Die offset(다이 오프셋)

후 기

본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원의 부품소재기술개발사업의 일환으로 수행하였음.
[10042740, 중량 40% 저감 중공형 LM-Light Rail 개발]

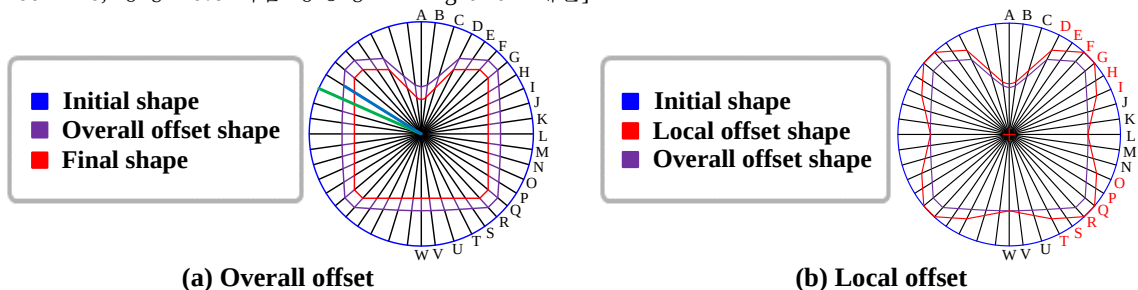


Fig. 1 Die offset method for corner filling

1. 부산대학교 기계공학부 정밀가공시스템 전공

2. PNU-IFAM 국제공동연구소

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

핫스탬핑 제품의 트리밍 공정에서 경사각이 전단면에 미치는 영향

신준호¹ · 서판기² · 차승훈² · 김병민³ · 고대철[#]

Effect of Inclined Angle on Sheared Edge in Trimming of Hot Stamped Part

J. H. Sin, P. G. Seo, S. H. Cha, B. M. Kim, D. C. Ko

Abstract

Hot stamping process is widely used in the automotive industry to improve crash performance and decrease the weight of the vehicle. The hot stamped parts are conventionally trimmed by laser trimming process to manufacture a complete product. The laser trimming process has unsolved problems such as high price and low productivity. Therefore mechanical trimming using hot half-trimming process was suggested to trimming of hot stamped part for improving productivity. In this study, the effect of inclined angle on the sheared edge of trimmed part in mechanical trimming using hot half-trimming process was investigated by FE-analysis and the results were compared with by experiment.

Key Words : Hot stamping(핫스탬핑), Mechanical trimming(기계식 트리밍), Hot half-trimming(열간 하프트리밍), Inclined angle(경사각), Clearance(간극)

1. 서 론

최근 자동차 산업에서는 차체 경량화를 통한 연비 향상과 충돌안전성을 만족시키기 위하여 1.5Gpa이상의 인장강도를 가지는 핫스탬핑(Hot stamping) 부품이 차체에 적용되고 있다. 그러나 핫스탬핑 부품은 높은 강도를 가지기 때문에 고 비용, 저생산성의 레이저 트리밍(Laser trimming)을 적용하여 최종 제품으로 제작되고 있다. 최근에는 생산성 향상과 비용 저감을 위해 레이저 트리밍을 프레스 트리밍(Press trimming)으로 대체하기 위한 연구가 진행되고 있다[1]. 본 연구의 저자는 열간 성형과 동시에 전단부를 절반이상 트리밍하여 발생하는 노치(Notch)를 냉간 프레스 트리밍 시, 응력 집중원으로 이용함으로써,

트리밍 하중 저감에 따른 금형의 치핑(Chipping) 및 마모(Wear)를 저감시켜 금형 수명의 향상과 우수한 전단면을 얻을 수 있는 열간 하프트리밍(Hot half-trimming)을 이용한 기계적 트리밍 공법을 제시하였다[2]. 센터필러(Center pillar)성형 시, 제품의 형상에 따른 금형의 경사각(Inclined angle)이 -10° 에서 $+15^{\circ}$ 로 가변적이다. 이러한 경사각들은 전단면의 특성을 변화시킬 수 있다.

본 연구에서는 열간 하프트리밍(Hot half-trimming)을 이용한 기계적 트리밍 시, 제품의 형상에 따른 경사각이 전단면에 미치는 영향을 조사하였다. 그리고 경사각에 따른 전단면과 전단하중을 평가하기 위하여 유한요소해석을 수행하였다. 또한 유한요소해석 결과를 검증하기 위하여 열간 하프트리밍을 이용한 기계적 트리밍 실험을 수행하였으며, 이를 통해 버(Burr)의 크기가 0.05mm이내를 만족하는 전단면을 확보할 수 있는 공정 조건을 도출하였다.

1. 부산대학교 설계기반미래성형기술센터(ERC/ITAF)

2. (주) 신영

3. 부산대학교 기계공학부

교신저자: 부산대학교 부품소재산업협력연구소

E-mail: dcko@pusan.ac.kr

후 기

이 논문은 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No.2014R1A5A-1048294) 및 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 지역특화산업육성사업으로 수행된 연구 결과임.

참 고 문 헌

- [1] H. W. So, D. Faßmann, H. Hoffmann, R. Golle, M. Schaper, 2011, An investigation of the blanking process of the quenchable boron alloyed steel, J. Mater. Process. Technol.
- [2] H. S. Choi, B. M. Kim, D. C. Ko, 2014, Application of mechanical trimming to hot stamped 22MnB5 parts for energy saving, Int. J. Prec. Eng. Manuf., Vol. 15, pp. 1087~109

3차원 미세조직에 기반한 이상 조직강의 R 값 예측

Jinjin Ha¹, Ji Hoon Kim², Myoung-gyu Lee³, Frédéric Barlat^{1*}

¹Graduate Institute of Ferrous Technology (GIFT), Pohang University of Science and Technology (POSTECH), 77 Cheongam-Ro, Nam-gu, Pohang, Gyeong-buk 790-784, Republic of Korea.

²Mechanical Engineering Department, Pusan National University, 2 Busandaehak-Ro 63beon-gil, Pusan, 609-735, Republic of Korea.

³Dept. of Materials Science and Engineering, Korea University, 145 Anam-Ro, Seongbuk-Gu, Seoul, 136-701, Republic of Korea.

*Corresponding authors

E-mail: f.barlat@postech.ac.kr

Abstract

A microstructure-based FE simulation was conducted to predict r-value of dual-phase (DP) steel. The representative volume elements (RVEs) concept was adopted for the realistic image-based FE model. This was obtained from deconstructed approach by serial sectioning (mechanical polishing) of material then 2D data was converted into full 3D model. The developed model was applied to analyze microstructure effect on r-value and stress-strain distribution change under non-linear strain path. The FE simulated used anisotropic hardening model to give an anisotropic characteristics to mechanical behavior, and the results were compared with ones using isotropic, or HAH model. Effective mechanical properties of single phases followed the empirical equation defined by chemical composition and, according to this data, constitutive material parameters were determined by best-fit.

Key words: Micro-scale, Representative volume element, Dislocation density model, DP steel, Formability, Finite element simulation

자동차 시트 리클라이너의 고정밀 기어 제조공정

강길석¹ · 장명진² · 김병민¹ · 고대철[#]

Manufacturing Process for High Precision Gear of Automotive Seat Recliner

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

Abstract

A gear part which is a main component of an automotive seat recliner is generally manufactured by fine blanking press. However, the use of mechanical press has been increasing in manufacture of gear part because of low productivity of fine blanking press. In this study, new forming process is suggested to manufacture the gear part with high dimensional accuracy by using mechanical press. The effect of vee-ring indenter and the restriction of blank edge on the dimensional accuracy are investigated by FE-analysis. As a result of FE-analysis, the dimensional accuracy was improved with the restriction of blank edge with regardless of vee-ring indenter. After application to manufacturing of the gear part using mechanical press, the measured dimensional characteristic was compared with the required specification of final product. The experimental and analytical results show that the suggested forming process can replace fine blanking with aspect of dimensional accuracy and productivity.

Key Words : Seat recliner(시트 리클라이너), Mechanical press(기계식 프레스), Fine blanking(파인블랭킹), FE-analysis(유한요소해석)

후 기

이 논문은 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No.2014R1A5A1048294)으로 수행된 연구 결과임.

1. 부산대학교 설계기반미래성형기술센터(ERC/ITAF)

2. (주) 다스 금형팀

교신저자: 부산대학교 부품소재산업협력연구소,

E-mail: dcko@pusan.ac.kr

고속공구강 H13소재의 내마모성과 미세조직에 미치는 레이저 열처리의 영향

최성원¹·오명환¹·이광현²·강정윤[#]

Effect of Laser Surface Hardening on Wear Resistance and Microstructure of High Speed Steel H13

Seong-Won Choi¹, Myeong-Hwan Oh¹, Kwang-Hyun Lee², Chung-Yun Kang¹

Abstract

자동차 산업에서 승객과 보행자의 안전규제 강화에 따른 차체의 고강도화 및 CO₂ 가스 배출 저감을 위한 차체의 경량화가 요구됨에 따라 첨단고강도강의 적용이 급격히 증가하고 있다. 하지만 이러한 첨단고강도강 부품은 강제 자체의 강도가 높아짐에 따라 트리밍(Trimming) 작업시 트리밍 하중증가로 인한 금형의 마모, 금형의 소성변형, 치핑(Chipping)등이 발생하여 금형의 수명이 저하되고 절단강재의 절단면에 버(Burr)가 발생하여 후처리 공정에 큰 문제점이 발생되고 있다.

이러한 트리밍 금형의 수명과 품질 향상을 시키기 위해 금형강 소재 전체에 고가의 합금원소를 첨가하여 고경도를 만드는 방법과 금형 표면을 코팅하여 특성을 향상시키는 방법이 연구되고 있다. 금형강 소재 개발의 경우 합금원소인 Mo, W, Cr, V 등을 첨가하여 고성능의 금형강을 개발하는 연구가 진행 중에 있지만 고가의 합금원소가 첨가됨에 따른 생산단가가 상승하는 문제가 발생하고 있다. 금형 표면을 개선하기 위해 CVD, PVD, 질화처리와 같은 표면 코팅 층을 형성하는 공정의 경우 코팅 층의 두께가 얇아 금형 표면 특성향상이 제한적이다. 현재 코팅층 두께를 증가시키기 위해 금형강 표면에 레이저 열원을 이용하여 금속분말을 용융시켜 적층시키는 레이저 클래딩(Laser Cladding) 공정에 제안되고 있지만 코팅층의 박리 문제가 발생하고 있다.

따라서 본 연구의 목적은 트리밍용 금형강의 수명을 향상시키기 위한 방안으로 레이저 열원을 이용하여 금형표면을 개질하는 Laser Hardening Process를 개발 하고자 한다.

연구에 사용된 강재는 두께 15mm의 H13(SKD61)을 사용하였으며, 레이저 열원은 Nd:YAG를 사용하였으며 레이저 속도와 이행거리는 각각 0.2m/sec, 800um로 고정하고 레이저 출력을 2.0~4.0kW로 변화시켜 Laser Hardening 공정을 진행하였다.

그 결과 열처리한 H13소재에 비해 Laser Hardening Process를 적용한 소재의 경도값이 크게 증가하였으며 내마모성 또한 크게 증가하였다. Laser Hardening 처리시 레이저 출력이 증가함에 따라 모재의 용융이 증가하여 경화층 깊이(Hardening Depth)가 증가하지만 입열량의 증가에 따른 냉각속도 감소로 인해 경도는 감소한다.

따라서 본 연구에서는 열처리한 H13소재와 Laser Hardening Process를 적용한 소재와의 미세조직 차이를 체계적으로 검토하였다.

Key Words: Laser Hardening, Trimming, Hardness, Microstructure

1. 부산대학교 재료공학부

2. 한국기계연구원

교신저자: 부산대학교 재료공학부

홉킨슨 바 기법을 이용한 충격 시험에서 Al6061-T6의 동적 변형 거동에 관한 연구

안우진¹ · 우민아¹ · 노학곤¹ · 김정[#]

Study of Dynamic Deformation Behavior of Al6061-T6 under Impact Test Using Split Hopkinson Pressure Bar technique

W. J. An, M. A. Woo, J. Kim

Abstract

In metal forming process which has been applied to deforming the metal sheets, materials are effected by diverse type of force such as impact. In the high-speed forming process like Electromagnetic forming method, it is require to consider about effectiveness of dynamic deformation behavior of specimens' material. In pursuance of consider the impacts and applications high rates of strain, material properties is taken account of the strain rate applied to the industrial structure. The Split Hopkinson pressure bar (SHPB) test is one of the adequate method for getting the material properties under high strain rates. In this paper, the processing of designing and manufacturing of SHPB and obtaining stress-strain curve of material properties of Aluminum alloy; Al6061-T6 is demonstrated.

Key Words : Split hopkinson pressure bar, Mechanical property, High strain rates, Stress-strain curve.

이 논문은 2014년도 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
Corresponding Author : Pusan National University, E-mail : greatkj @pusan.ac.kr

질소가스를 이용한 Ti-6Al-4V의 레이저 표면 질화처리

황태우¹·김재현¹·우영윤¹·길태동¹·문영훈[#]

laser surface nitriding of Ti-6Al-4V alloy by using nitrogen gas.

T. W. Hwang¹, J. H. Kim¹, Y. Y. Woo¹, T. D. Kil¹, Y. H. Moon[#]

Abstract

Surface nitriding of Ti-6Al-4V can be achieved by laser melting in a flow of nitrogen gas, and high surface hardness values could be obtained. In this study, the effect of process parameters on surface nitriding of a Ti-6Al-4V alloy has been investigated to achieve higher surface hardness without process-induced cracks. The effects of process parameters were experimentally studied and process window is provided on the basis of microstructure, microhardness, and cracking of the nitride layers. It is shown that hardened layers having various depth and hardness can be obtained by controlling the processing parameters. High scanning speed coupled with lower nitrogen flow rate results in crack-free layer at the expense of both a lower hardness and a shallower melt depth.

Key Words : Ti-6Al-4V alloy, laser surface nitriding, nitrogen flow rate, cracking, hardness

1. 서 론

티타늄 및 티타늄 합금은 비강도성이 높고 생체 호환성 및 내식성 등이 우수한 특성으로 인해 광범위하게 다양한 산업 분야에서 사용된다.[1-3] 가장 보편적으로 사용되는 Ti-6Al-4V 합금은 중량비 고강도이며 내식성 및 부식에 대한 저항이 우수하다. 그러나, 상대적으로 표면에 대한 내마모성이 약해 산업에 적용되는 것이 제한적이다. 잘 알려진 바와 같이, 티타늄 및 티타늄 합금 표면에 TiN 형성은 마모와 부식 성능을 향상시키는 일반적인 방법이다.[4] 화학 증착(CVD), 플라즈마 질화 및 물리증착(PVD)에 의해 고체 질화 하는 방법과 그 외에도, 과거에 많은 연구자들은 표면 특성을 향상시키기 위한 티타늄 합금의 레이저 질화를 시도했다. 레이저 표면 질화는 주석 입자가 응고 중에 석출하는 레이저 빔에 의해 발생하는 용융 풀 내로 질소 가스의 공급을 포함하는 공정이다. 레이저 가공 조건 및 질소 유량 등에 크게 의존하여 티탄 합

금 층으로 확산한다. 가스의 유량은 Ti-6Al-4V 합금의 미세 구조물과 경도에 영향을 주는 효과가 있다.[5] 이것의 미세 구조는 돌기로써 질소가스 유량과 레이저 에너지가 증가함으로써 농도와 밀도가 증가한다. TiN 돌기의 형상은 레이저 질화 처리 후 Ti-6Al-4V 합금 매트릭스와 함께 분석했다.[6] 이 연구는 질화처리 공정에서 질소의 유량 조절에 따른 돌기의 형상을 제어할 수 있다. 티타늄 합금의 레이저 질화 처리에 따른 주요 프로세스 유도 균열의 형성이다.[7] 이것은 극적으로 부품의 피로 수명을 저하시키기 때문에 균열이 하나의 큰 문제로 나타나고 있다. 균열 없는 질화층을 얻기 위한 방법으로 샘플 예비가열 또는 아르곤과 질소 가스를 희석하여 얻을 수 있다.[8-13], 그러나 경도가 저하되고 용융 깊이가 얕아 진다. 이와 관련, 균열의 발생을 방지하고 결함 없는 표면 경화층을 형성하는 레이저 공정 매개 변수를 최적화하는 것이 필수적이다. 그러므로, 본 연구에서는 Ti-6Al-4V 합금 표면질화 공정 매개 변수인 레이저 파워, 주사 속도에 따른 균열 감수성, 질화 깊이 및 경도에 대한 연구를 수행하였다. 분석결과를 통해 신뢰성 있는 실험을 수행한 프로세스 윈도우

1. 부산대학교 정밀기계공학과

교신저자: 부산대학교 정밀기계공학과 / 정밀정형 및 금형 가공 연구소, E-mail: yhmoon@pusan.ac.kr

우를 통하여 유도 균열이 아니라도 더 높은 표면 경도를 달성하기 위한 질화처리 공정이 제안되었다.

2. 실험

2.1 실험장치 및 소재

본 연구에서 사용한 레이저 표면 질화 처리 공정의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 레이저는 IPG사의 파이버(fiber) 레이저 YLR-200을 사용하였다. 최대출력 200W, 파장 $1.07\mu\text{m}$, 빔 직경 $80\mu\text{m}$ 등의 특징을 가지고 있다.

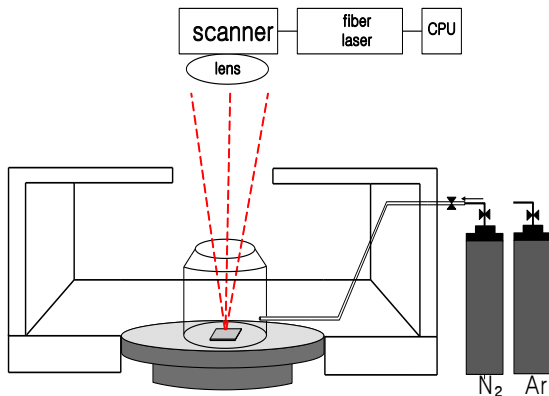


Fig. 1 Schematic drawing of direct laser hardening system

질소가스와 아르곤 가스를 차폐가스로 사용하고 있으며 유리로 된 용기에 질소가스를 차폐하여 질화처리 실험을 수행하였다. Fig. 2 는 다중 트랙 레이저 질화 처리의 개략도를 나타내었다.

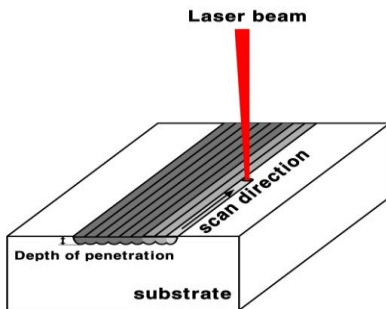


Fig. 2 Schematic of multi-tracks laser nitriding process

2.1.1 실험 방법

레이저 질화처리 실험의 공정변수를 Table 1 에 나타내었다. 질소가스를 차폐가스로 이용하여 실험하였고 레이저 공정변수의 효과를 분석하기 위해 균열발생 및 질화층 깊이, 경도를 측정하였다.

Table 1 Experimental conditions for the laser surface nitriding

Nitrogen flow rate(l/min)	Laser power (W)	Scan rate (mm/s)
15, 20, 30, 40	150	37 ~ 440

3. 결과 및 고찰

3.1 균열에 대한 분석

Fig. 3 (a)는 레이저 주사속도가 37mm/s 로 표면 균열이 보이며 Fig. 3 (b)는 146mm/s 로 균열이 감소한 것을 볼 수 있으며 Fig. 3 (c)는 440mm/s 의 주사속도에서는 균열이 없는 깨끗한 표면 질화층을 볼 수 있다. 레이저 주사속도가 빠를수록 균열이 감소하는 것을 확인 할 수 있다.

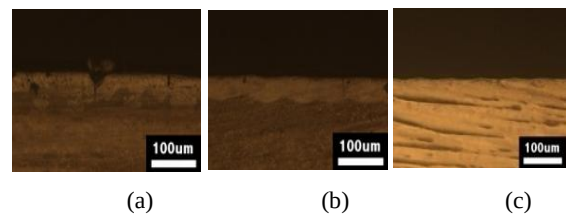


Fig. 3 Cross-sectional view of cracked layers in laser hardened surface at nitrogen containing atmosphere: Scanning rate of (a) 37, (b) 146 and (c) 440 mm/sec

3.1.1 질화층 깊이 분석

질화층의 깊이는 질소의 flow rate 양과 레이저 scan speed와 밀접한 관계가 있다. Fig. 4 (a)는 레이저 주사속도가 37mm/s로 질화층이 깊고 Fig. 4 (b)는 주사속도가 146mm/s 이며 속도가 증가함으로써 질화층의 깊이가 반으로 감소한 것을 볼 수 있다. Fig. 4 (c)는 440mm/s로 주사속도가 증가함으로써 질화층의 깊이가 감소한다는 것을 알 수 있다.

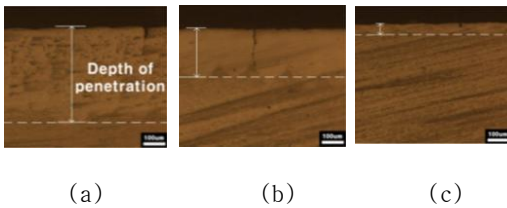


Fig. 4 Process-induced surface cracks in nitrided layer at nitrogen flow rate of 40l/min: Scanning rate of (a) 37 mm/sec, (b) 146 mm/sec and (c) 440 mm/sec

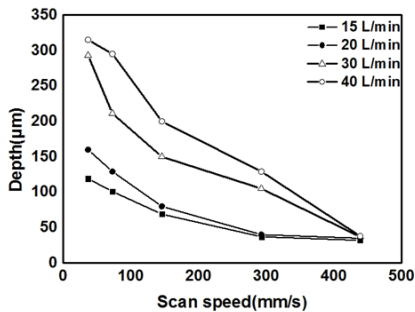


Fig. 5 Comparison of penetration depth at various nitrogen flow rate

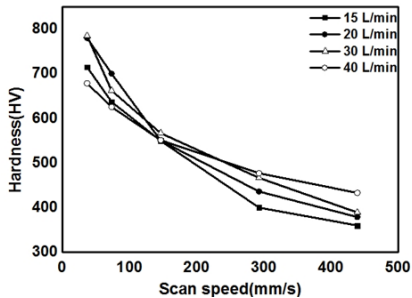


Fig. 6 Comparison of hardness at various nitrogen flow rate

레이저 스캔 스피드와 질화층의 관계를 Fig. 5를 통해 알 수 있다. Fig. 6는 레이저 주사속도와 경도와의 관계를 확인 할 수 있으며

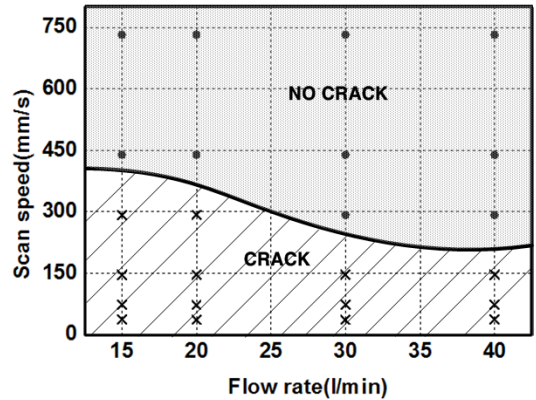


Fig. 7 Process window of laser nitriding for 150W laser power

질화처리의 질소의 유량과 속도와의 관계에 따른 표면 균열의 유무를 Fig. 7 process window를 통해서 확인 할 수 있다.

4. 결론

레이저 질화처리 공정에서 각 레이저 공정변수들 사이에 상호 연관성이 있음을 확인하였고 표면의 균열을 줄이기 위한 방법으로 프로세스 윈도우를 참조하면 실현 가능한 No Crack의 질화처리 조건을 얻을 수 있다.

후 기

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012R1A5A1048294).

참 고 문 헌

- [1] P.J.Blau, H.M.Meyer, 2003, Characteristics of wear particles produced during friction tests of conventional and unconventional disc brake materials, *Wear*, Vol.255, pp.1261-1269
- [2] M.H.Cho, S.J.Kim, R.H.Basch, J.W.Flash,H.Jang, Tribological study of gray cast iron with automotive brake linings: The effect of rotor microstructure, *Tribology International*, Vol. 36, pp. 537~545
- [3] S.Y.Zhang, S.S.Feng, 2011, Friction and wear performances of brake material dry sliding against a composite with a semi-interpenetrating network structure of ceramics and Al-alloy, *Tribology International*, Vol. 44, pp.248~257.
- [4] A.Zhecheva, W.Sha, S.Malinov, M.Long, 2005, Enhancing the microstructure and properties of titanium alloys through nitriding and other surface engineering methods, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 200, pp.2192~2207.
- [5] J.Kasper, J.Bretschneider, S.Jacob, S.Bonß, B.Winderlich, B.Brenner, 2007, Microstructure, hardness and cavitation behavior of Ti-6Al-4V laser nitride under different gas atmospheres, *Surface engineering*, Vol.23,pp.99~106.
- [6] H.C.Man, N.Q.Zhao, Z.D.Cui, 2005, Surface morphology of a laser surface nitrided and etched Ti-6Al-4V alloy, *Surface and Coatings Technology*, Vol.192, pp.341~346.
- [7] S.Mridha, T.N.Baker, 1998, Effects of nitrogen gas flow rates on the microstructure and properties of laser-nitrided IMI318 titanium alloy (Ti-4V-6Al), *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.77,pp.115~121.
- [8] V.M.Weerasinghe, D.R.F.West, J.D.Damborenea, 1996, Laser surface nitriding of titanium and a titanium alloy, *Journal of materials processing technology*, Vol.58, pp.79~86
- [9] M.S.Selamat, V.M.Weerasinghe, D.R.F.West, J.D.Damborenea, 2001, Study of the surface layer formed by the laser processing of Ti-6Al-4V alloy in a dilute nitrogen environment, *Journal of materials processing technology*, Vol.113, pp.509~515.
- [10] S.Mridha, T.N.Baker, 1994, Crack-free hard surfaces produced by laser nitriding of commercial purity titanium, *Materials Science and Engineering: A*, Vol.188,pp.229~239.
- [11] J.H.Abboud, A.F.Fidel,K.Y.Benyounis, Surface nitriding of Ti-6Al-4V alloy with a high power CO₂ laser, *Optics & Laser Technology*, Vol.40,pp.405~414.
- [12] M.S.Selamat, T.N.Baker, L.M.Watson, 2001, Study of the surface layer formed by the laser processing of Ti-6Al-4V alloy in a dilute nitrogen environment, *Journal of materials processing technology*, Vol.113,pp.509~515.
- [13] Z.Sun, I.Annergren, D.Pan,T.A.Mai, 2003, Effect of laser surface remelting on the corrosion behavior of commercially pure titanium sheet, *Materials Science and Engineering: A*, Vol.345,pp.293~300.

핫 프레스용 첨단고강도강의 동종 및 이종 레이저 용접부 미세조직과 인장성질에 미치는 핫스탬핑의 영향

오명환¹, 강정윤^{2#}

Effect of Hot Stamping on Microstructure and Tensile Property in LBW and TWB Laser Joints of Advanced High Strength Steel

Myeong-Hwan¹, Chung-Yun Kang^{2#}

Abstract

최근 자동차 산업에서 안전규제법 강화와 CO₂ 가스 배출 감소 및 연비향상을 위하여 차체의 경량화가 필수적으로 요구되고 있으며, 이러한 자동차 차체의 경량화와 고강도화 추세에 따라 첨단고강도강(Advanced High Strength Steel, AHSS)의 적용이 급격히 증가하고 있다. 하지만 첨단고강도강의 경우 가공 및 성형시 Forming Force가 크기 때문에 복잡한 형상의 가공이 어려운 단점이 있다. 이러한 첨단고강도강의 성형성 문제를 해결하기 위해 고온에서 성형과 동시에 빠른 냉각을 하여 고강도와 성형성을 모두 확보할 수 있는 핫스탬핑(Hot-Stamping) 공정이 개발되었다. 또한 자동차 제작공정의 복잡화와 세분화로 인해 하나의 부품에 여러 강종을 용접하여 세분화하는 TWB(Tailor Welded Blank)용접도 많이 적용되고 있다.

최근에는 레이저 TWB 용접과 핫스탬핑 공정을 복합적으로 적용하기 위한 연구가 진행 중에 있다. 한편 Al-Si 용융 도금된 보론강을 레이저 용접 후, 핫스탬핑 할 경우, 도금층 성분이 용융부에 혼입되어 충격 특성을 저하시킨다고 보고하고 있다.

따라서 본 연구에서는 Al-Si 용융 도금된 보론강과 500MPa급 첨단고강도강의 동종 및 이종 레이저 용접 후 Hot-Stamping 공정에 따른 미세조직과 기계적 성질에 대해 체계적으로 검토하고자 한다.

본 연구에 사용된 강재는 Al-Si 용융 도금된 두께 1.2mm의 보론 강과 Al-Si 도금된 두께 1.6mm인 500MPa급 첨단고강도강을 사용하였으며, 용접은 CO₂레이저를 이용하요 용접을 실시하였다. 용접조건은 출력 7.6kW, 레이저속도는 6m/min 조건으로 용접을 실시하였으며, 용접재의 핫스탬핑은 보론강이 풀 오스테나이트가 되는 950도에서 5분간 유지 후 850도에서 급형냉각을 하였다.

Key Words: Advanced high strength steel, Laser welding, Hot-stamping, Microstructure, Tensile property

1. 부산대학교 융합학부

2. 부산대학교 재료공학부

교신저자: 부산대학교 재료공학부

인공신경망을 이용한 금형 국부 가열 핫스탬핑 제품의 스프링백 예측

최시내¹ · 김재홍¹ · 고대철² · 김병민[#]

Springback prediction in hot stamped product by locally heated tool based on ANN

C. N. Choi, J. H. Kim, D. C. Ko, B. M. Kim

Abstract

In case of a die local heating process, the product has a great variety of cooling history which leads to generate severe springback because of contacting between blank and heated die. In this study, springback in die local heating process is predicted through the artificial neural network (ANN). The nomogram is constructed with result of ANN based on FEM which considering process parameters such as thickness of blank and temperature of die is performed to obtain the training data of neural network. In order to verify springback prediction by nomogram, hot stamping experiment was performed and springback of part in die local heating process was measured. The experimental and analytical result showed that the predicted springback by suggested method is in good agreement with experimentally measured ones with an error rate of 0.2%.

Key Words : Tailored property, Hot stamping, Die local heating, Springback, Artificial neural network (ANN)

1. 서 론

핫스탬핑(Hot stamping) 공법은 차량 연비 향상을 목적으로 다양한 제품에 적용되고 있으며, 핫스탬핑 공정을 통하여 제품을 제작할 경우 1.5GPa 이상의 강도를 확보할 수 있다[1]. 하지만 높은 강도로 인하여 차량 충돌 안전성능에는 취약한 특성을 가진다. 이를 해결하기 위해 한 제품 내에서 이종 물성(Tailored property) 구현을 위한 Partial quenching 공법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Partial quenching 공법 중 금형 국부 가열 공정은 가열된 금형으로 소재의 냉각 이력을 제어하여 이종 물성을 구현하는 공법이다. 금형 국부

가열 공정은 물성 변화가 필요한 부분에 대하여 제품 형상의 제약 없이 적용이 가능하다. 또한 금형의 가열 온도, 켄칭 시간 및 소재 두께와 같은 공정 변수를 조절하여 제품 강도를 제어할 수 있는 장점이 있다. 하지만 금형 국부 가열 공정 시 마르텐사이트(Martensite)이외의 연질상이 생성되고, 이에 따라 부피불일치(Volume mismatch)현상이 발생하게 된다[2]. 그 결과 일반적인 핫스탬핑 공정에 비하여 최종 제품의 스프링백양이 증가하기 때문에 정밀한 스프링백 예측 방법이 필요하다.

Kang [3]등은 핫스탬핑 공정에서 상변태를 고려하여 유한요소해석을 수행하여 스프링백에 대한 평가를 진행하였으며, Lee [2]등은 Greenwood-Johnson 모델에 상 변태 소성 이론을 적용하여 스프링백을 예측하였다. 이와 같은 방법을 적용하여 스프링백을 예측할 경우 예측 정밀도는 우수하나 해석을 위한 초기 재료 물성 확보

1. 부산대학교 정밀가공시스템 전공

2. 부산대학교 ERC/ITAF

Corresponding Author: School of Mechanical Engineering
Pusan Nat'l Univ. E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

가 난해한 단점이 있다. 그리고 금형 국부 가열 공정의 경우 공정 변수에 의하여 상변태 및 냉각 이력이 변하기 때문에 이에 따른 스프링백의 평가가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 인공신경망 이론을 이용하여 금형 국부 가열 핫스탬핑 공정이 적용된 제품의 스프링백을 예측하였다. 스프링백의 평가는 Hat 형상에 대해 수행되었으며, 소재 두께 및 금형 온도를 공정 변수로 선정하였다. 먼저 인공신경망 학습에 필요한 데이터(Training data)를 구축하기 위해 공정 변수에 따른 유한요소해석을 수행하였다. 그리고 유한요소해석 결과를 인공신경망 이론에 적용하여 제품의 스프링백을 예측할 수 있는 노모그램(Nomogram)을 작성하였다. 마지막으로 본 연구에서 제시한 스프링백 예측방법을 검증하기 위해 금형 국부 가열 핫스탬핑 실험을 수행하여 예측 결과와 실험 결과를 비교하였다.

후 기

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

참 고 문 헌

- [1] 복현호, 이명규, 김동진, 남재복, 2013, 열간프레스성형의 전산모사법 기술동향, 소성가공, 제22권, 제7호, pp. 419~427
- [2] M. G. Lee, S. J. Kim, H. N. Han, 2009, Finite element investigations for the role of transformation plasticity on springback in hot press forming process, Computational Material Science, Vol. 47, pp. 556~567
- [3] 강경필, 이경훈, 2008, 상변태를 고려한 핫스레스포밍 공정의 유한요소해석, 한국소성가공학회 추계학술대회논문집, pp. 226~229
- [4] 안재홍, 고대철, 이찬주, 김병민, 2008, 실험계획법 및 인공신경망을 이용한 굽힘 공정의 스프링백 예측, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 171~176

CFRP와 금속판재의 하이브리드 접합 공정 개발

이정민¹ · 이경훈² · 안민수³ · 서판기³ · 김병민⁴ · 고대철[#]

Development of Hybrid Joining Process for CFRP and Sheet Metal

J. M. Lee, K. H. Lee, M. S. Ahn, P. K. Seo, B. M. Kim, D. C. Ko

Abstract

Recently, many manufacturers of car parts have shown interest in the development of CFRP parts for the light-weight vehicle. Thus, the increasing use of multi-materials has led to the development of joining process between CFRP and traditional metals because the welding was impossible. In recent years, hybrid joining process has been shown an increasing interest to combine the advantages of the adhesive bonding and mechanical joining(hole-clinching, self piercing rivet, etc.). The aim of this study is to develop hybrid joining of adhesive-mechanical joining to enhance bonding strength and energy absorption. The experimental investigation for adhesive bonding and mechanical joining were carried out by lap shear test for CFRP and SPRC440. Finally, hybrid joining specimens fabricated by adhesive-hole clinching and adhesive bonding-SPR were evaluated for the validation of hybrid joining process.

Key Words : CFRP(탄소섬유 강화 플라스틱), Adhesive bonding (접착제 접합), Hole-clinching(홀클린칭), Self piercing rivet(셀프 피어싱 리벳), Hybrid joining(하이브리드 접합)

1. 서 론

최근 CFRP의 단가 저감 및 생산공정이 개발됨에 따라 차체부품 적용에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이에 따라 기존 금속 소재와 CFRP간의 접합문제가 대두되고 있다. 기존 금속의 경우, 점 용접(Spot welding)을 통해 접합이 수행되었지만, CFRP와 금속은 용접이 불가능하기 때문에 기계적 성능이 우수한 접착제를 사용하여 접합이 이루어지고 있다. 하지만 점 용접에 비해 강도 및 에너지 흡수율이 낮아 이를 대체할 수 있는 접합 공정의 개발이 요구된다.

최근에는 강도와 에너지 흡수율을 향상시키기 위해 접착제와 기계적 접합을 동시에 수행하는 하이브리드 접합(Hybrid joining)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 하이브리드 접합은 강

도가 높은 접착제 접합과 에너지 흡수율이 높은 기계적 접합의 장점을 이용하여 용접과 유사한 강도 및 에너지 흡수율을 가지는 공법이다.

본 연구에서는 CFRP와 SPRC440간의 하이브리드 접합공정을 설계하였다. 우선 기존 접합공정의 특성을 파악하기 위해 접착제 접합, 홀 클린칭 및 Self piercing rivet(SPR) 시험편의 전단강도 시험을 수행하였으며, 이를 통해 강도 및 에너지 흡수율을 평가하였다. 평가된 결과를 이용하여 강도 및 에너지 흡수율을 향상시킨 하이브리드 접합 공정을 개발하였다.

후 기

본 연구는 2012 년 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원(한국연구재단-2012R1A5A1048294) 및 산업통상자원부, 한국산업기술진흥원, 대경지역사업평가원의 광역경제권 선도산업 육성사업으로 수행된 연구결과입니다.

1. 부산대학교 정밀가공시스템공학과

2. 부산대학교 PNU-IFAM JRC

3. ㈜신영

4. 부산대학교 기계공학부

교신저자: 부산대학교 ERC/ITAF

E-mail: dcko@pusan.ac.kr

후판압연 선단부 굽힘변형 FEM 해석 및 분석결과

서재형¹ · 고성현¹ · 이필종¹ · 천명식[#]

Finite Element Anaysis of Front End Deformation in Heavy Plate Rolling

J. H. Seo, S. H. Ko, P. J. Lee, M. S. Chun

Abstract

Turn down warping is a kind of shape defect of plate front end that occurs in plate rolling process. Once turn down warping happens, finally it becomes defective products although performing a rolling pass of several times. Therefore, it is important to prevent the occurrence of turn down warping but it is difficult to predict the turn down warping using the existing theory that is consist of relationship of plate curvature and shape ratio. Considering this problem, this study proposed the numerical process design by finite element analysis was performed with MARC. Numerical analysis model consider the plate rolling process parameters such as roll diameter, plate dimension, rolling speed. The prediction error between numerical analysis and measured turn down warping data is less than 5mm and standard deviation is less then 1mm. The results show that the proposed numerical model can successfully predict turn down warping of a plate front end in the various plate rolling conditions.

Key Words : Finite Element Analysis, Turn Down Warping, Cutting Force , Fromt End, Shape Ratio, Plate Rolling

1. 서 론

후판압연시 비대칭 공정요인에 의해 판 선단부에 down bending이 발생하고 feed roll과 충돌하면서 판선단부에 굽힘변형이 발생한다. 이 굽힘변형을 turn down warping 이라하고 이 과정을 Fig.1에 나타낸다. 일단, 판 선단부에 turn down warping이 발생하면 down bending부가 진행하면서 feed roll과 충돌하여 feed roll을 파손시킬 수 있고 판선단부에 변형이 누적되어 여러번의 압연을 수행해도 변형이 잔류하여 후속공정을 통해 추가적인 평탄화 작업을 수행해야 한다. Fig.2에서 plate making process의 lay out을 나타내며 on line process의 hot leveling후에도 turn down warping이 평탄해지지 않으면 off line process의 cold leveler와 press leveler를 이용하여 추가적인 평탄화 작업을 수행해야 하고 이후에도 판선단부가 평탄해지지 않으면 최종적으로 불량품으로 처리된다. 따라서, 압연시 turn down warping을 예측하는 실질적인 모델이 필요하지만 기존의 연구들은 speed mismatch 조건에서 평균두께 h_m 과 투영접촉길이 l_d 의 비율로 구성된 shape ratio를 이용하여 down bending의 예측모델^[1-5]을 제안하고 있고 실질적 예측모델은 부족한 상태이다. 실제 압연에서는 상부와 하부 work roll speed가 동일하여 기존 연구에서 제안하는 speed mismatch 조건에서의 down bending의 예측모델을 이용하여 turn down warping을 예측하는 것은 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 numerical model을 이용한 turn down warping의 예측을 제안한다. 또한, speed match 상태에서 발생하는 turn down warping의 발생을 측정하고 측정 데이터를 추종하는 numeric model을 구성하여 simulation 을 수행하여 정합성을 비교한다.

1. POSCO 기술연구원

교신저자: POSCO 기술연구원, E-mail: forttran@posco.com

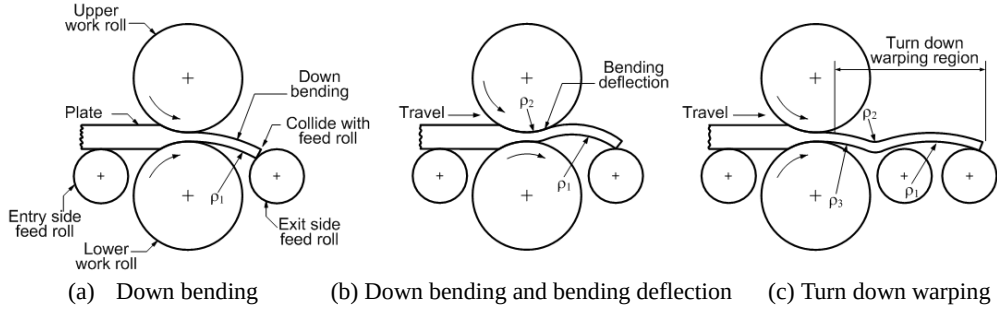


Fig.1 Undesirable down bending and turn down warping in hot rolling

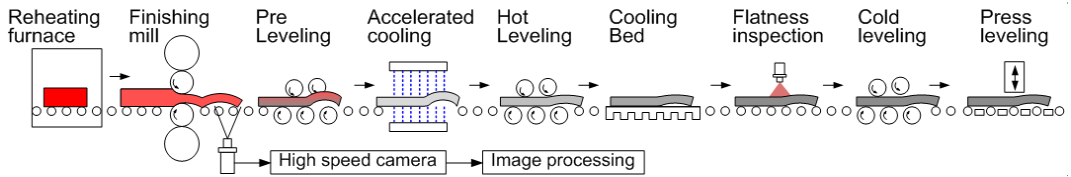


Fig.2 On line process and off line process in plate making process

2. Turn down warping예측을 위한 유한요소 해석모델

본 연구에서는 Finite Element Package MARC를 도입하여 압연시 speed match 조건에서 turn down warping의 발생을 시뮬레이션하고 측정한 turn down warping의 profile과 해석결과의 profile을 비교하여 해석모델의 정확성을 확인하고 해석모델을 통한 turn down warping을 예측하기 위한 것이다.

Fig.3에 본 연구에서 사용한 유한요소 해석모델에서의 판의 mesh 구성을 나타낸다. 두께방향 분할수는 10개로 두께방향 중심으로부터 대칭이 되도록 하였고 두께방향 단위 mesh의 높이를 j 로 하였을 때 상부와 하부의 work roll과 접촉하는 부분의 mesh의 높이를 $j/2$ 로 하였다. 길이방향 단위 mesh의 폭을 i 로 하였을 때 판선단부로부터 단위 mesh의 폭을 $i/2$ 로 하였다. 이것은 시뮬레이션 수행시에 판선단부가 roll bite에 안정적으로 들어갈 수 있도록 하기 위한 것이다.

해석모델의 work roll은 rigid body이며 상부와 하부 work roll 직경과 입측과 출측 feed roll 직경은 동일하다. 판 전면과 후면에서의 tension은 고려하지 않으며 gravity에 의한 자중을 고려한다. Speed match 조건이므로 상부와 하부 work roll 속도와 마찰계수는 동일하다. Feed roll 속도는 압연속도와 연계된다.

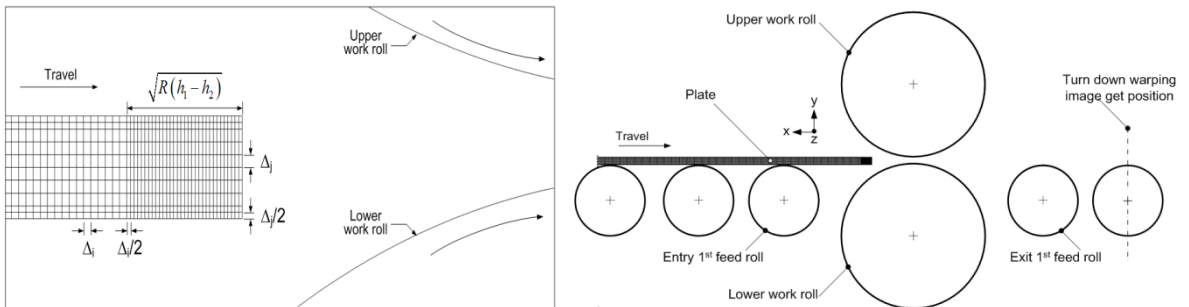


Fig.3 Finite element analysis model and mesh formation of thickness direction and length direction

3. 해석결과와 측정데이터의 비교

Fig.4에서 입측두께 40mm, 압연속도 4m/sec, 압하율 20%인 조건에서의 해석모델의 결과와 측정한 turn down warping과의 비교를 나타낸다. 해석결과와 측정결과 간에 다소의 차이는 있지만 해석모델이 측정데이터를 양호하게 추종하고 있으며 측정과 해석의 평균오차는 5mm 이하이고 표준편차는 1mm 이하이다.

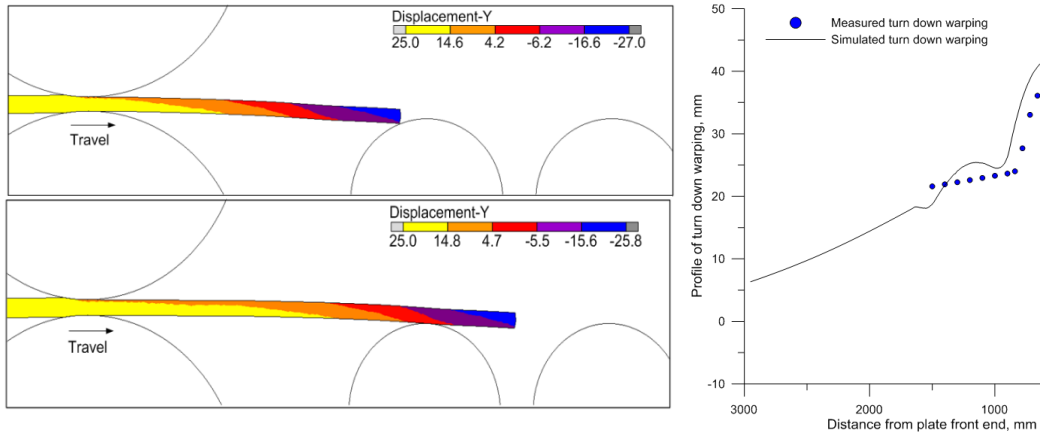


Fig.4 Finite element analysis result and comparison of measured turn down warping and simulation result in rolling speed 4m/sec, entry thickness 40mm, reduction 20%

4. 결 론

본 연구에서는 압연시 판선단부 변형을 측정하고 유한요소 해석모델을 구성하여 speed match 조건에서 turn down warping 발생의 예측을 위한 연구를 수행하였고 이를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 압연출측에서 실제 turn down warping을 측정하고 측정결과를 양호하게 추종하는 유한요소 해석모델을 구성하여 측정결과와 해석결과를 비교한 결과 다소의 차이는 있지만 해석모델이 양호하게 turn down warping의 profile을 예측하는 것으로 판단하였고 turn down warping 측정결과와 해석결과와의 평균오차는 5mm 이하이고 표준편차는 1mm 이하이다.

참 고 문 헌

- [1] M. Philipp, W. Schwenzfeier, F. D. Fischer, R. Wödlinger, C. Fischer, 2007, Front end bending in plate rolling influenced by circumferential speed mismatch and geometry, Journal of Materials Processing Technology, 184, pp. 224~232.
- [2] R.Shivpuri, P.C.Chou, C.W.Lau, 1988, Finite Element Investigation of Curling in Non-Symmetry Rolling of Stock, International Journal of Mechanical Sciences. Vol. 30, No. 9, pp. 625~635.
- [3] Yoshii M., Ohmori K., Seto T., Nikaido H., Nishizaki H. Inoue M.,1991, Analysis of Warping Phenomenon in Plate Rolling, ISIJ International, Vol. 31, No. 9, pp. 973~978.
- [4] Y. H. Ji, J. J.Park, 2009, Development of severe plastic deformation by various asymmetric rolling process, Material Science and Engineering A, 499, pp. 14~17.
- [5] A. Kawalek, 2004, Forming of band curvature in asymmetrical rolling process, Journal of Materials Processing Technology, 155-156, pp. 2033~2038.

교정공정의 FEM 해석을 통한 형상 개선 및 한계

고성현[#] · 서재형¹ · 이필종¹ · 천명식¹

Improvement of Shape Defect by FEM Analysis in the Levelling Process and the Limitation

S. H. Ko, J. H. Seo, P. J. Lee, M. S. Chun

Abstract

In order to remove the shape defect of plate, the levelling process is import in the online plate rolling process. In the levelling process, the process condition is related with the performance of leveller to improve the flatness of plate. In this paper, we carried out the simulation the levelling process with various roll gap to find out the best condition. However, there is the limitation of levelling process to remove the shape imperfections of plate. Due to the arrangement of work roll of leveller, the plastic deformation cannot be occurred from the end of plate to the distance with the half length of work roll pitch.

In the FEM analysis, It is to almost impossible to describe the initial condition of plate before levelling. So, the accuracy of the FEM analysis for the levelling could be poor.

Key Words : Shape Defect, Levelling process, FEM,

1. 서 론

후판제품을 위한 열간 압연 온라인 공정중에는 형상개선을 위한 열간교정 공정이 있다. 고객사가 요청하는 제품의 평탄도를 만족하기 위하여 온라인 공정에서 평탄도를 확보하여야 부가적인 공정없이 생산이 가능하다. 고객의 요구에 대한 온라인에서 평탄도를 확보하는 최종 공정인 열간교정에서 최적 조건을 도출하는 것이 중요하다. 열간교정 조건은 이론식으로 도출이 가능하나 현재 교정이론은 2차원 모델이 주로 이루어 있어 한계가 있다. 따라서 FEM 해석을 통해 이론을 보완하여 최종 조건을 도출하는 것이 필요하다.

많은 연구자들이 교정 공정에 대하여 수치해석 및 실험으로 모사를 하여 연구를 수행하고 있다. Zhifang Liu[1]는 FEM 해석과 수학적 모델을 개발하여 교정공정을 모사하여 최종 형상을 최소화하고 잔류응력을 예측하는 연구를 수행하였으며, Li Cui[2]는 후판재의 교정공정에 대한 수학적 모델을 도출하여 교정현상을 설명하고자 소성변형률을 분석하여 상관관계를 설명하였다.

이러한 연구들은 설비적인 관점에서의 한계나 해석적인 접근에서의 한계등에 대한 언급은 없으며, 교정 공정 모사에 중점을 두고 있다. 본 논문에서는 형상개선을 위한 교정조건 도출에 대한 내용과 형상 개선 시 교정공정에서의 한계에 대하여 설명하고자 한다.

1. POSCO 기술연구원

교신저자: POSCO 기술연구원, E-mail: shko@posco.com

2. 교정공정에서 형상개선

2.1 교정공정

교정공정은 상하 여러 개의 롤들이 배열되어 굽힘 소성변형에 의하여 형상을 개선하는 공정으로 입측 롤궤를 주 공정조건으로 하며, 입측 롤궤에 따라 형상 개선 효과가 달리 나타난다. 아래 식(1)은 입측 롤궤를 정하는 수식으로 Fig.1에서 설명하고 있는 입측압하량에 대한 계산식이다. 아래 수식에서는 소재, 설비조건이 정해지고, 입측 형상에 따른 단면소성변형률이 정하여 입측 압하량을 도출할 수 있다.

$$\delta = \frac{L^2 \times YS}{12 \times t \times E \times (1 - YR)} \quad (1)$$

여기서, L은 롤간 Pitch, YS는 항복강도, t는 두께, E는 영률, YR은 단면소성변형률

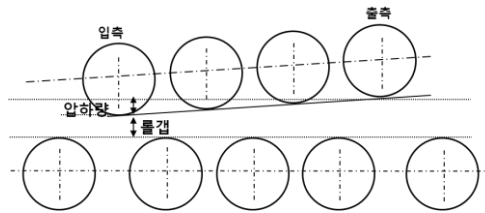


Fig. 1 Schematic Diagram of Levelling Process

2.2 FEM을 이용한 교정공정 해석

2.1절에서 설명했듯이 입측 롤궤(=두께-압하량)가 교정공정에서 주요 조건이며, 입측 롤궤에 따라 교정 효율이 결정된다. 이러한 입측 교정조건은 식(1)에서 도출이 가능하나 여러가지 입측형상에 대하여 평탄도 개선하기 위한 최적의 입측 롤궤 조건 도출이 필요하다. FEM해석을 통하여 입측형상에 따라 롤궤 조건을 변경하면서 교정후 형상을 판단하여 교정 조건을 도출이 가능하다. Fig.2는 여러가지 입측 조건에 따른 교정전후의 형상 개선에 대한 그래프를 보여주고 있다. FEM 2D 해석으로 선단부는 Flat한 형상이며, 중후단부는 Wave형상으로 모델링하여 롤궤에 따라 형상 개선 효과를 확인하였다. Flat 형상의 경우 롤궤가 3mm의 경우 최적의 형상 개선을 보여주고 있으며, wave의 경우, 6.5mm 롤궤일 경우 형상 개선이 가장 잘 되고 있음을 알 수 있다.

이 결과에서 보듯이 형상개선을 위해서는 입측 형상에 따라 교정조건을 달리 해야 됨을 알 수 있다.

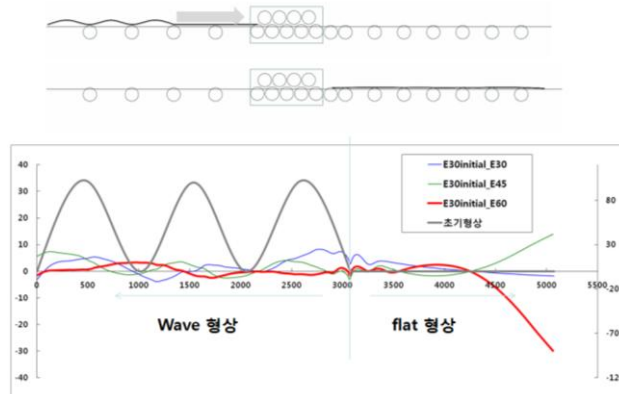


Fig. 2 Result of FEM analysis in the Levelling Process with various condition

3. 교정공정의 한계

3.1 설비적 한계

2절에서는 형상 개선을 위한 교정 공정조건에 대하여 설명하였으나, 교정공정에서 모든 형상에 대하여 형상 개선이 가능한 것은 아니다. 교정 공정 조건은 상하 비대칭의 다수의 롤들이 배치되어 3점 굽힘에 의한 소성변형으로 형상 개선이 가능토록 한다. 그러나, Fig.3에서 보듯이 선단부 및 미단부의 끝부분에서의 형상 개선은 교정 설비의 롤배치에 의한 한계로 어렵다.

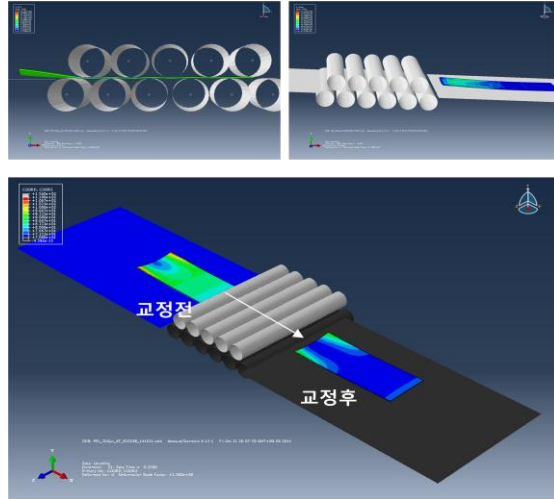


Fig. 3 Result image of 3D FEM analysis in the Levelling Process

교정 공정은 3점굽힘에 의한 소성변형이기 때문에 3점굽힘이 가능한 길이인 롤간 피치의 반 이상의 길이가 되어야 소성변형이 가능하다. 따라서 소재의 선단부 및 미단부의 일부분에 대하여는 3점굽힘에 의한 소성변형이 되지 않기 때문에 형상개선이 불가능하여 다른 방법을 이용하여 형상개선을 해야 하며, 전 공정에서 형상불량을 최소화 하는 것이 필요하다.

3.2 교정공정 FEM 해석시 고려사항

공정 조건 도출이 필요한 경우 FEM 해석을 통하여 여러가지 공정조건들에 대한 공정후 결과를 분석하여 최적의 공정 조건을 도출한다. 교정공정에서도 앞서 설명했듯이 FEM 해석을 통하여 이론적 수식을 검증하고, 입측 형상에 따라 조건을 변화시키면서 교정공정전후의 형상을 분석하여 최적의 교정 공정을 도출 할 수 있다. 후판 공정 특성상 3차원 형상 불량이 많으며, 소재의 두께 대비 폭, 길이가 매우 길기 때문에 FEM 해석 모델 구성시 해석 시간을 고려해야 하며, 해석시간을 줄일 수 있는 방법은 FEM Mesh 크기를 크게하는 것이다. 이러한 경우 해석 정도의 저하가 발생 할 수 있기 때문에 해석시간과 정도에 대한 적절한 선택이 필요하다. 또한 입측 소재의 형상은 측정할 수 있으나, 소재 내부에 존재하는 응력분포등 내부에 존재하는 물성에 대한 정보를 측정이 불가능하기 때문에 초기 소재조건을 모델링하는 것은 불가능하다. 따라서 FEM 해석으로도 정확한 공정 모사에는 한계가 존재한다. 이러한 FEM 해석의 한계를 인식하고 이론과 해석, 그리고 실험적인 접근방법을 이용하여 형상개선을 위한 조건 도출을 해야 한다.

4. 결 론

본 연구에서는 후판공정에서의 교정공정에 대하여 최적 조건도출에 이용한 FEM 방법과 설비적 한계, FEM 해석시 고려사항에 대하여 살펴보았다.

(1) 교정공정의 조업조건은 이론적으로 도출이 가능하나, 입측형상에 대하여 최적 조건이 필요하기 때

문에 FEM 해석을 통하여 교정후 형상분석을 통하여 최적의 공정조건이 가능이 가능하다.

(2) 형상 개선을 위하여 교정공정을 수행하지만 교정설비의 구조적 한계로 선/미단부의 일정 길이에 대한 형상 개선은 불가능하며, 이를 개선하기 위한 다른 방법이 필요하다.

(3) 교정공정의 대상재는 후판소재로 두께대비 폭/길이의 형상비가 매우 크고, 또한 작업물들의 개수가 많기 때문에 FEM해석시 많은 시간이 소요된다. 따라서 해석시간과 해석정도를 고려한 최적의 해석 조건 수립이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Zhifang Liu, Yongqin Wang, Xingchun Yan, 2012, A new model for the plate leveling process based on curvature integration method, Int. J. Mech. Sci., Vol. 54, pp. 213~224.
- [2] Li Cui, Xianlei Hu, Xianghua Liu, 2011, Research on Mechanical Model of Leveling Process for Plate Mill, Advanced Materials Research, Vol.148-149, pp.368-371.

고로 내 Copper stove의 냉각배관 손상 전후 열적 평가

이도륜^{1, #} · 최태화¹ · 천명식¹

Heat Transfer Analysis of Blast Furnace Copper Cooling Stave

D. R. LEE, T. H. Choi, M. S. Chun

Abstract

Blast Furnace with Copper Stave is widely used in the world steel industry. All furnace using copper stave are worn out rapidly after operating. This phenomenon made failure of cooling system in furnace. And, because of failure of cooling system, lots of thermal problems occur. So, in this article, we propose the method of evaluating thermal phenomenon in cooling system. And, with the sample, we verify the proposed method and evaluate 3 cases(;before/after failure and after repairment of stave cooling pipe) of thermal phenomenon in cooling system.

Key Words : Copper Stave (구리 스테이브), Heat Transfer (열전달), Blast Furnace(고로), Repairment(보수)

1. 서 론

고로는 1200도 이상의 고온 가스와 철광석 코크스등의 연원료를 반응시켜 철을 용융시키는 설비이다. 용융시키는 과정에서 용탕내의 온도는 1500도 이상을 유지하는 위치도 있으며, 500도 미만의 온도를 유지하는 부분도 있다. 이러한 고온을 견디기 위하여 Fig.1 과 같은 형상을 가진 고로에는 방화벽 역할을 하는 내화물과 냉각시스템을 복합적으로 갖추고 있으며, 이 내화물과 냉각시스템은 고로 설비를 유지하기 위하여 아주 중요하다.

세계적으로 고로 내화물과 냉각시스템을 어떻게 구성할 것이냐 또는 어떻게 평가할 것이냐에 대하여 많은 연구가 있어왔으며, 다양하게 시행해왔다.[1-5]

특히, 냉각시스템 종류로는 Stave, 냉각반 등을 사용한 바 있으며, Stave의 종류도 주철, Copper등 다양한 재질로 시도 되었고, Copper도 합금계열, 순동계열, 압연동, 주조동 등 다양한 시도가 있어왔다.

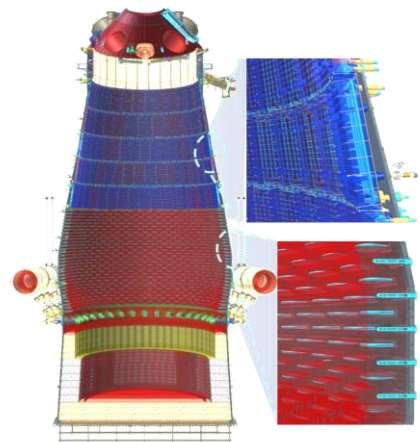


Fig. 1 일반적 고로 형상

또한, Stave내 냉각라인에 있어서도 라인을 따로 설치하는 경우, 홀만 파는 경우, Oval, Oval-long, 원형 홀 등 다양한 시도가 시행된 바 있으며, 냉각반도 Cigar, 판형, 다채널 등의 다양한 시도가 있어왔다.

1. POSCO 기술연구원 엔지니어링솔루션센터

교신저자: POSCO 기술연구원 엔지니어링솔루션센터,

E-mail: david2do@posco.co.kr

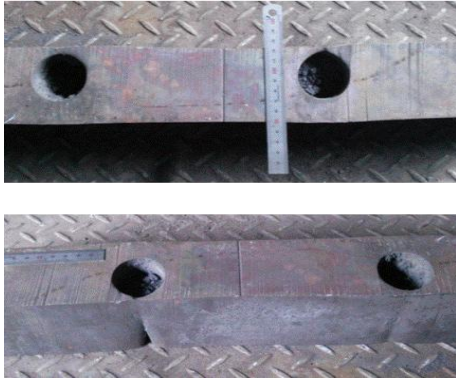


Fig. 2 파손된 고로 냉각라인 사진

하지만, 이러한 여러시도에도 불구하고 아직도 세계적으로 영구적으로 갈 수 있는 고로는 없으며, 내화물 두께가 약한 곳에 마모가 일어나고 나면 냉각설비마저 마모되어, Fig.2 과 같이 파손이 발생하게 된다. 냉각설비의 파손은 열적 부하를 증대시키고, 적열은 냉각설비뿐만 아니라 고로 철판에까지 영향을 끼쳐 철판좌굴이나 철판 균열등의 현상을 발생시키게됨으로써 설비 가동을 중단하게 만든다. 그러므로 내화물의 마모가 일어나지 않기 위하여 고로내벽에 내화물 보관을 해주는 작업을 하기도 하고, 또는, 냉각배관이 파손이 발생했을 때 이를 보수하여 사용하기도 한다.

본 논문은 고로내 냉각설비 중 Copper Stave에 대하여 파손전, 후 및 1가지 보수방법을 수행하였을 때 열적평가를 할 수 있는 방법을 제시하고, 냉각배관 보수가 어떤 의미를 가지는지 논의해 보려고 한다.

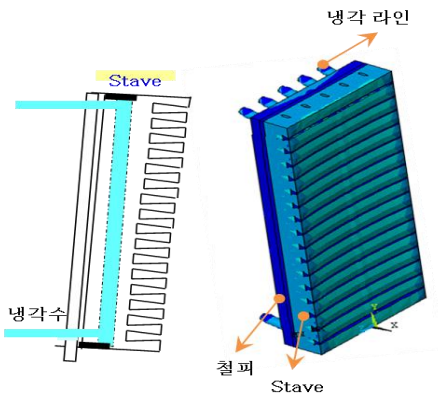


Fig. 3 고로 내 Stave의 형상

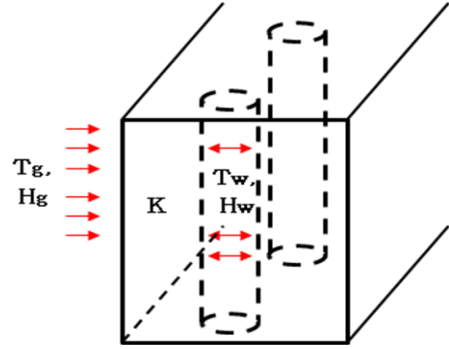


Fig. 4 고로 Stave 내 열전달 Mechanism

2. 이론

2.1 고로 내 Stave 열전달 Mechanism

고로 내 Stave의 형상은 Fig.3와 같으며, 열전달 Mechanism은 Fig.4와 같이 간략하게 가정할 수 있다. 여기서 T_g 는 가스 온도, H_g 는 가스포함 복합 열전달 대류계수를 의미하며, T_w 는 배관내 냉각수의 온도, H_w 는 배관내 냉각수의 대류열전달계수를 의미한다. 고로내부의 열전달은 실제로 복사, 전도, 강제대류 등의 복잡한 현상이 일어나지만, Z.Qian의 논문을[2] 참고하였을 때 Fig.5와 같이 고로내 가스의 온도에 따른 간략한 열전달계수로 변환하여 사용할 수 있다.

그리고 고로 냉각배관에 대한 열전달 계수는 일반적인 유체열전달계수 식을 사용하여 계산이 가능하다.

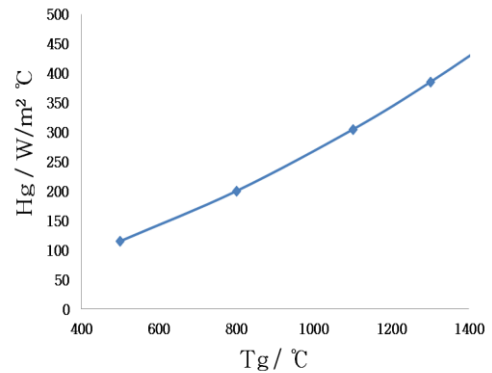


Fig. 5 고로 내 Gas 온도와 열전달계수[2]

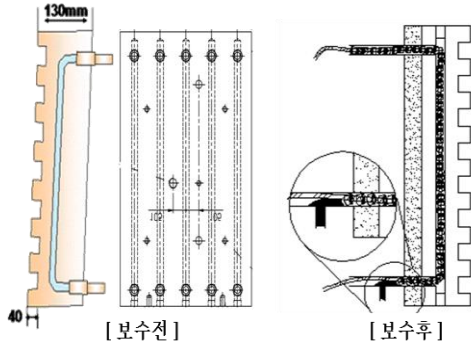


Fig. 6 Stave 보수 전/후 컨셉

본 논문에서는 관 내부에서의 유체의 흐름에 대한 레이놀즈 수 식(1)에 따라 냉각배관 내의 유체가 난류인지 층류인지를 판별하게 된다.

$$NRe = Du\rho/\mu \quad \dots (1)$$

여기서 μ , ρ , u , NRe , D 는 각각 유체의 동점성계수, 밀도, 속도, 레이놀즈 수, 유로의 직경을 의미한다. 그리고 식(1)에 따라 일반적 Stave의 유속에서는 난류이므로, 해당식인 Dittus-Boelter의 수식을 사용하여 계산하였으며, 그 수식은 아래의 식(2)와 같다.

$$hD/K = 0.023(NRe)^{0.8}(Pr)^n \quad \dots (2)$$

여기서 h , K 는 각각 열전달계수, 열전도도이고, n 은 냉각시 0.3, 가열시 0.4가 되는 지수이다. 여기서 Pr 은 프란틀 상수이며, 이 수는 아래의 식(3)에 의해서 결정된다.

$$Pr = \mu C_p / K \quad \dots (3)$$

여기서 C_p 는 비열을 의미하며, 위 (1)~(3)의 식들을 통하여 Hw 를 계산할 수 있고, Hg 의 경우 Fig.5로부터 참조하여 사용할 수 있으므로, 조업의 온도조건을 바탕으로 수치해석 기반의 합당한 Stave 열적평가를 수행할 수 있다.

3. 수치해석

3.1 파손전/후 및 보수후 모델링

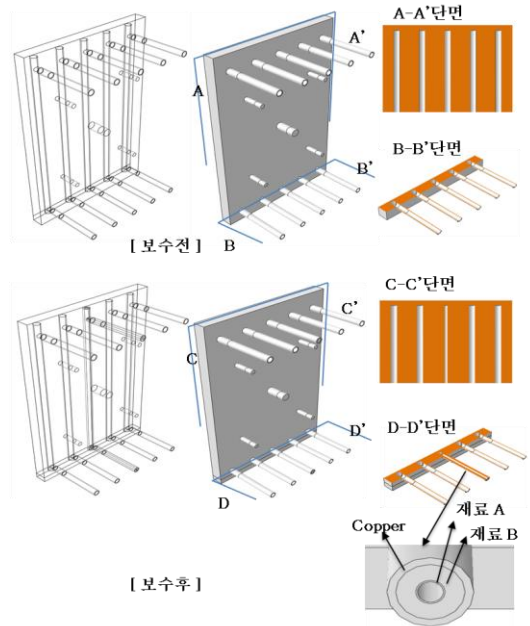


Fig. 7 Stave 보수 전/후 모델링

일반적으로 사용되는 고로내 Stave 중 임의의 Stave형상을 해석대상으로 선정하고 파손전/후 및 보수후에 대하여 모델링을 수행하였다. 보수후의 경우에는 여러가지 보수법이 있으나, 한가지 경우의 보수법과 임의로 지정한 보수재에 한하여 모델링을 수행하였다. 보수전/후의 컨셉 및 모델링은 Fig. 6, 7과 같다.

보수의 컨셉을 좀 더 상세하게 설명하면, 파손된 관 내에 임의의 관을 하나 넣어 보완재로 압입하는 방식이다. 본 모델링은 Abaqus 13.1 버전을 사용하였으며, Abaqus-CAE에서 3D로 모델링하였다. 해석을 함에 있어 재료간의 접촉은 Perfect contact을 가정하였으며, 보수전의 경우 냉각관 앞에 Copper재질의 Stave가 임의로 지정된 10mm 남은 상황을 가정하여 해석을 수행하였으며, 파손후의 경우 1개의 냉각관에 냉각수가 흐르지 않는 상황만 가정하여 설정하였다. 그리고 보수후의 경우는 Fig. 6, 7에서 보듯이 Copper재질의 냉각관 안에 임의로 선정된 재질A의 금속과 재질B의 보수재로 가정한 상태로 해석하였다.

각각의 임의로 선정한 재료의 물성과 일반적 Copper Stave의 온도에 따른 물성을 따르고 재료 A, 재료 B 또한 마찬가지로 일반적으로 알려진 물성을 따랐다.

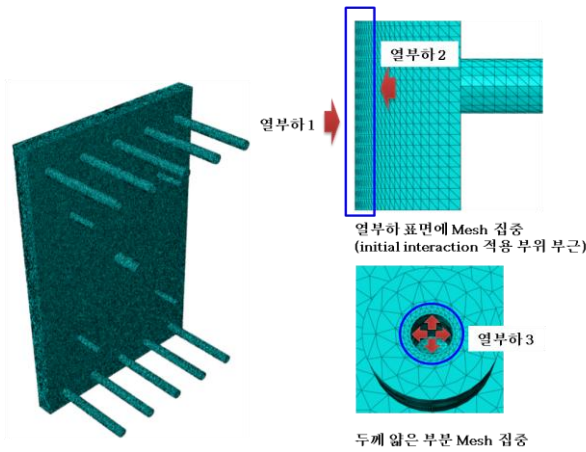


Fig. 8 Stave 보수 전/후 모델 Mesh

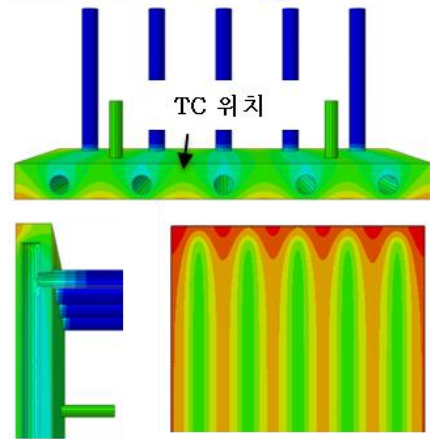
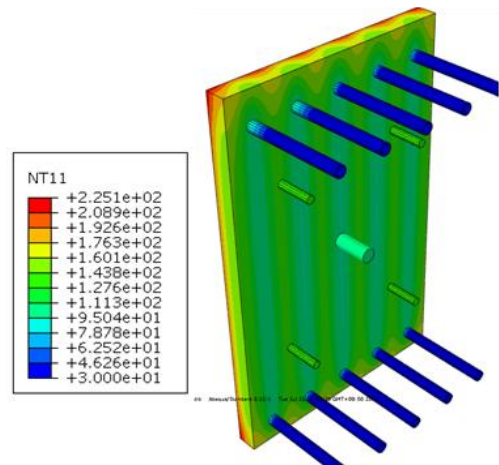
열전달계수의 조건은 고로내부의 경우 Fig.5의 그래프 값을 참조하여 가스의 온도 1200℃ 기준으로 적용하였으며, 보수전/후의 냉각관 열전달 계수 조건은 앞의 이론식으로부터 구한 값을 사용하였다.

보수전 / 보수후 냉각관에 적용된 계산 값과 고로내 표면에 1200℃ 가스에 의한 값은 Table 1과 같다.

상세한 해석을 위하여 Mesh는 Fig.8과 같이 tet 요소를 100만개~170만개 사용하였으며, 열부하를 받는 부분에 Mesh를 높게 적용하여 해석의 정확성을 높였다. 경계조건은 Stave의 상, 하단 및 좌,우면에서 대칭조건을 적용하였으며, 열부하조건은 초기온도 30℃에서 시작하여 앞에서 설명한 1200℃ 가스조건을 고로 내 표면에 주고 Table 1의 냉각관 열부하조건을 주었으며, 열부하 조건이 부여된 모습은 Fig.8에서 볼 수 있으나, 보수전/후의 열부하 조건을 다 표현하지는 않았고, 본 예는 보수후의 열부하 조건 표현 예이다.

Table 1 열전달 계수

고로 내부 가스		보수전 냉각배관		보수후 냉각배관	
Hg (W/m ² ℃)	Tg (℃)	Hw (W/m ² ℃)	Tw (℃)	Hw ₂ (W/m ² ℃)	Tw ₂ (℃)
370	1200	6440	30	7500	30



[파손전 Stave 온도 분포]

Fig. 9 파손 전 Stave 온도 분포 결과

3.2 파손 전/후 및 보수 후 열적 평가

본 해석은 파손전 Stave에 대하여 Thermal 해석을 수행하였으며, Steady-State로 진행하였다. 결과 값은 온도로 NT11(Nodal Temperature)로 표현된다.

파손전 Stave에 대한 온도 분포 해석결과는 Fig. 9와 같으며, 여기서 Tc위치라고 적힌 부분은 조업에서 Thermo-couple이 설치되어 온도를 측정할 수 있는 포인트이며, 해석 대상으로 정한 상황과 같은 경우에 대하여 임의의 고로 높이 방향 위치에서 조업에서 측정되는 온도 결과 값과 유사한 값을 보였으므로 본 해석결과의 타당성을 증명할 수 있다.

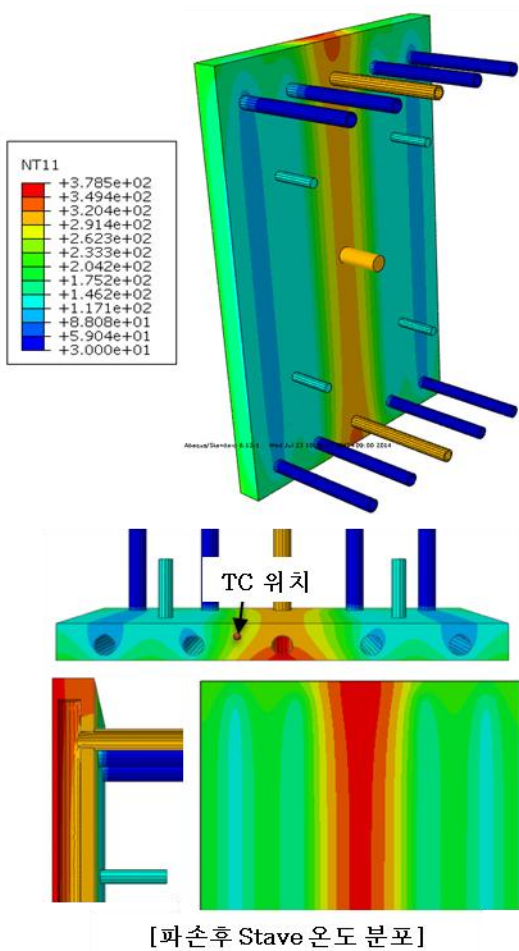


Fig. 10 파손 후 Stave 온도 분포 결과

이를 바탕으로 고로 내 Stave냉각배관 파손 후/보수 후의 경우에 대하여 Steady-State Thermal 해석을 수행하였으며, 그 결과는 Fig.10, 11와 같다.

냉각배관 1개 파손후 Tc점에서의 온도는 265 ℃의 값을 나타내며, 표면온도는 최대 378 ℃ 정도의 분포를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이는 파손전에 비하여 표면온도가 150 ℃ 이상 올라간 상황이며, 일반적 구리의 특성상 상당한 강도저하가 예상되며, 열부하로 인한 마모 심화가 예상된다. 또한, 냉각배관 파손시 파손라인내 냉각을 잠그기 때문에 유압이 없고, 온도 편차가 커지는 관계로 열변형이 심화될 것으로 예상된다.

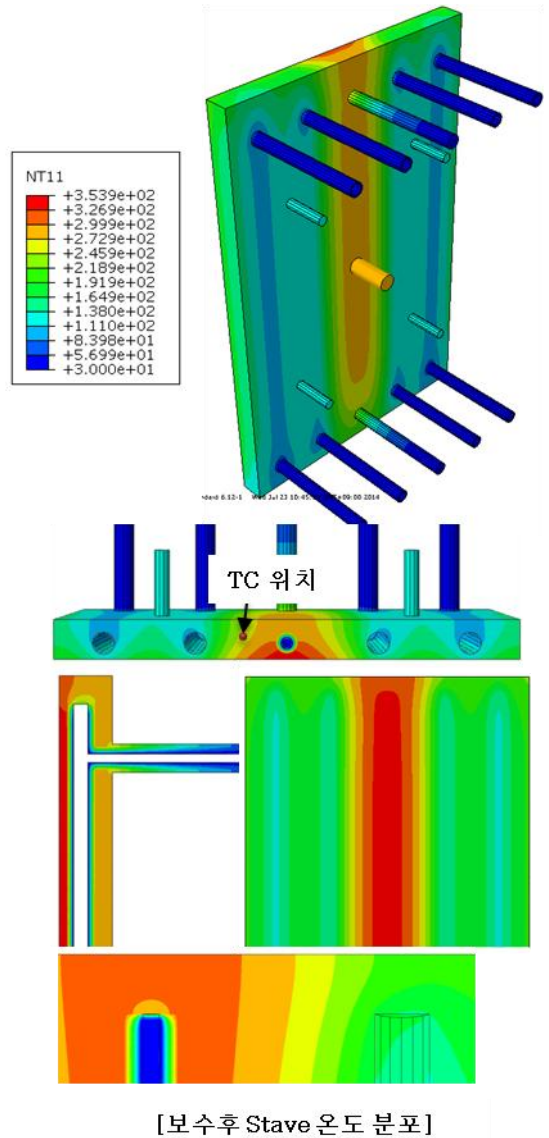


Fig. 11 보수 후 Stave 온도 분포 결과

파손 냉각에 대하여 보수한 결과를 살펴보면 표면 최대온도 354 ℃, Tc 부근 온도의 경우 245 ℃로 보수전보다는 20 ℃ 이상 열부하를 줄일 수 있으나 파손전에 비해서는 상당한 열부하를 받는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 열부하지점의 마모심화가 예상된다.

하지만, 열변형관점에서 보수배관에 냉각수 압력 및 보수배관 구성을 통한 지지해주는 구조

가 생성됨으로써 열변형의 관점에서 파손전보다 조금 더 강한 구조가 될 것이 예상된다. 그러므로 본 경우에 대한 고로 Stave 냉각라인의 보수는 온도 측면에서는 효과가 적으로 구조적인 측면에서 조금의 효과를 가지는 것으로 예상할 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 고로 냉각설비의 열적평가를 하기 위한 기초연구로써, 대류열전달계수를 기존의 논문과 일반적 관내 유체의 수식을 이용하여 계산하고, 이를 이용하여 수치해석기법을 사용한 온도해석 방법을 제안하였다. 현업의 온도조건을 파손전 냉각설비의 해석이 타당함을 보임으로써 이 방법을 고로에 유용하게 적용시킬 수 있음을 검증하였고, 이를 바탕으로 파손후, 한 가지 보수 방법에 대한 온도해석을 수행하여 각 경우에 대한 열적평가를 수행하였다.

본 연구를 통하여 냉각배관 파손시 열적부하가 커진다는 것을 확인할 수 있었으며, 한 가지 보수방법에 대하여 열부하 측면에서는 큰 이득을 얻지 못한다는 것을 확인할 수 있었지만, 구조적인 관점에서는 열변형에 좀 더 좋은 결과를 보일 수 있다는 것을 예상할 수 있었다. 그리고 본 논문의 방법을 사용하여 고로내 위치별 여러 냉각 설비에 대하여 열적평가를 하는 것이 가능하다고 예상된다.

이후 연구를 통하여 응력적인 관점에서 좀 더 확인할 필요가 있겠으며, 마모의 관점에서도 더 연구가 필요할 것이라 예상된다. 또한, 내부 열전달 계수에 대한 여러가지 경우에 따른 분석과 이론연구가 더 필요하다고 예상된다.

후 기

본 논문은 POSCO 재원으로 작성된 논문입니다.

참 고 문 헌

- [1] Tianjun Yang, Susen Cheng, Haibin Zuo, 2002, Designing the Lower Shaft and the Hearth Bottom of Long Campaign Life Blast Furnance, International BF Lower zone Symposium, Wollongong 2002.
- [2] Z. Qian, Z. H. Du, L. J. Wu, 2007, Heat Transfer analysis of blast furnace cast steel cooling stave, Ironmaking and steelmaking 2007, Vol.34, No.5.
- [3] X. Gao, 2000, Temperature Field Computation of Blast Furnace Wall, Masters Thesis, University of Science and Technology, Beijing.
- [4] W. Yang, 1999, Finite Element Analysis of Temperature Field of Blast Furnace Stave, Masters Thesis, University of Science and Technology, Beijing.
- [5] H. Zuo, 2002, Heat Transfer Analysis of Hearth Bottom of Blast Furnace, Masters Thesis, University of Science and Technology, Beijing

절단기용 원형톱의 동특성 해석

임승호^{#,1} · 이성진¹ · 문창호¹

Dynamic Characteristics Identification of Circular Saw

S. Lim, S. J. Lee, C. -H. Moon

Abstract

Circular saw is fundamental device in steel-making and rolling plant for cutting and conditioning metals. However, it requires the robustness to shock and vibration which makes non-uniform surface and decreases replacement cycle of tool tips. This research explores the dynamic characteristics of circular saw through numerical analysis considering rotating effect. Based on calculated dynamic characteristics, we obtain available rotating speed. In addition, anti-vibration pad is designed for suppression of out-of-plane vibration.

Key Words : Circular saw, Natural frequency, Rotating circular plate, Anti-vibration pad

1. 서 론

제철 산업에 있어 반제품의 절단 및 정정 처리 공정은 최종 제품의 품질과 직결될 뿐만 아니라, 제품의 실수율과 직결되므로 고도의 설비 개발과 조업 기술이 필요하다. 특히 소재가 두껍고 경한 재질을 범용 산소 절단 토치로 절단할 경우, 절단면의 품질 열화를 일으키고 유해한 증기를 발생하며, 절단 손실을 일으켜 기계적인 절단 방식이 사용되고 있다. 그러나 회전하는 원형톱을 이용한 절단 방식은 원형톱의 동특성에 따라 과도한 진동이 발생하여 피절삭면의 품질뿐만 아니라 톱날의 수명에도 큰 영향을 미친다[1]. 이에 따라 원형톱의 동특성에 대한 면밀한 분석을 통해 공진 이력 설계를 실시하고 운전 조건을 도출할 필요성이 있다. 본 연구에서는 원형톱의 회전 효과를 고려하여 고유진동수를 추출하고 톱날의 주기적인 가진에 의한 강제 진동응답을 분석한다. 계산된 고유진동수에 의하여 원형톱의 기하형상에 대한 설계를 평가하며, 절삭 운전 시 절삭속도를 도출한다. 이와 더불어 진동 저감을 위하여 진동패드를 설치할 경우 진동응답을 유한요소해석을 통해 도출하고 효율성을 판단한다.

2. 원형톱의 고유진동 해석

2.1 이론 해석 모델

Fig. 1 은 회전 디스크의 기하 파라미터 및 미소요소에 대한 응력, 전단력, 모멘트를 나타낸다. 운동 방정식은 미소요소의 횡력과 관성력의 평형으로부터 유도된다. 횡력으로 작용하는 전단력은 모멘트 평형을 이용해서 모멘트에 관해 정리되고, 곡률을 이용해서 횡변위의 편미분으로 정리된다. 결국 전단력이 소거되어 횡변위의 편미분 방정식(1)으로 정리된다[2].

1. 포스코 기술연구원

교신저자: 포스코 기술연구원, E-mail: hoya825@posco.com

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \sigma_r \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sigma_\theta \frac{\partial w}{r \partial \theta} \right) - \frac{D}{h} \nabla^4 w + \frac{f_w}{h} = \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (1)$$

$$w_{mn}(r, \theta) = R_{mn}(r) e^{in\theta} \quad (2)$$

$$\omega_{mn}^f = \omega_{mn} + n\Omega, \quad \omega_{mn}^b = \omega_{mn} - n\Omega \quad (3)$$

자유진동이라 가정하고 반경(r) 및 원주방향 각도(θ)에 대해 변수분리하면 식(2)와 같고, 여기서 m, n 은 각각 절원 및 절직경의 수를 나타낸다. 특성 방정식을 외팔보와 원추곡선으로 근사화하여 고유진동수를 구하였으며, 정지좌표계(관측자 즉 피절삭물)에서의 고유주파수는 원주방향으로 식(3)과 같이 전/후방으로 진행되는 모드 분리현상이 발생된다[3].

2.2 해석 결과

회전 속도에 따른 원형톱의 고유 주파수의 변화를 Fig. 2 와 같이 캠벨다이아그램으로 나타내었다. 절직경이 있는 모드는 회전 속도가 증가함에 따라 전/후방으로 모드가 분리 됨을 알 수 있으며, 상용 유한요소 해석 모델의 결과와 유사함을 알 수 있다. 회전 속도(f_{rot})에 따른 가진 주파수(f_{mesh})는 원형톱에 용접되어 있는 초경톱날의 개수(N)에 동기화되어 있으며, 다음과 같이 계산되어진다.

$$f_{mesh} = N \times f_{rot} \quad (4)$$

이에 따라 mode(0,1), mode(0,2) 및 mode(0,0)이 가진주파수와 근접하여 있는 운전 불가영역 I 과 mode(0,3)과 가진주파수가 근접하여 있는 운전 불가영역 II 이 발생하여 해당 속도와는 이격시켜 운전하여야 하며, 운전 부하를 고려하여 운전 가능영역이 Fig. 2 와 같이 도출되어 진다.

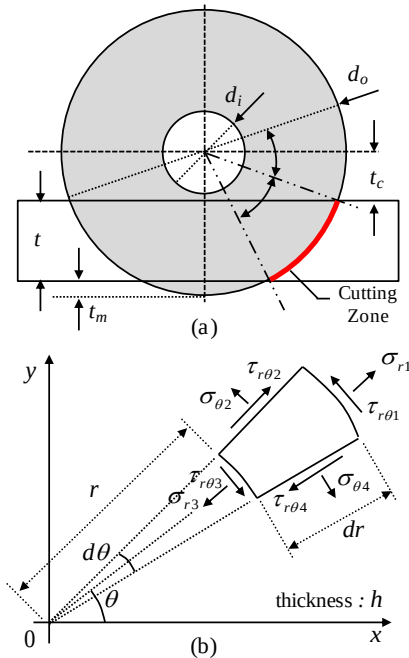


Fig. 1 Configuration of circular saw (a) and infinitesimal elements of circular plate (b)

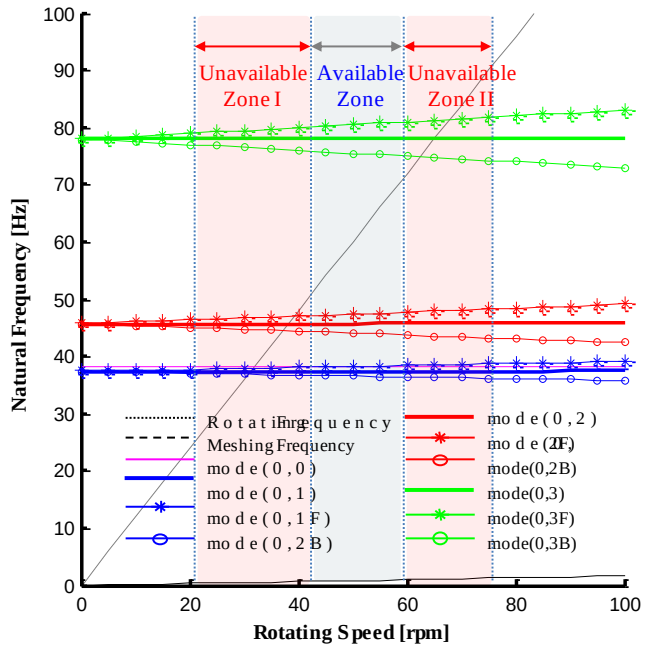


Fig. 2 Campbell diagram of rotating circular saw

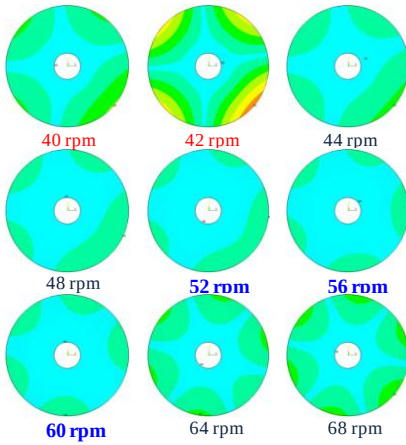


Fig. 3 Dynamic behavior of circular saw with respect to rotating speed

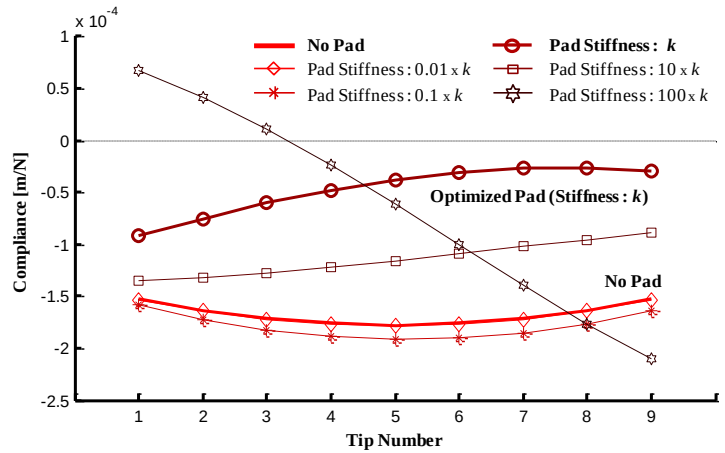


Fig. 4 Compliance with respect to stiffness of anti-vibration pad

3. 원형톱의 강제 진동해석

원형톱은 소재에 부분적으로 접촉하여 절삭하며, 소재의 주기적인 소성 변형-파단으로 인한 절삭 반력에 의하여 진동이 발생된다. 절삭 반력은 피절삭재의 물성 및 절단 속도에 따라 달라지므로 본 논문에서는 단위 가진력에 대한 변위인 전달함수(Compliance)를 가지고 진동 응답을 평가한다. 이 때 톱날 개수(N)에 동기화된 주파수(f_{mesh})로 가진이 발생된다고 가정하고 조화응답을 계산한다. 더불어 원형톱날의 진동 저감을 위해 탄성지지된 진동패드를 설치하여 진동패드의 유무에 따른 진동응답을 비교한다.

Fig. 3 은 회전 속도 증가에 따른 진동 거동을 나타낸다. 운전 영역에서 회전속도 증가에 따라 mode(0,2)에서 mode(0,3)으로 진동 패턴이 바뀌게 되며 운전불가 영역 I, II 에 가까워 질수록 전체적인 진동응답이 증가함을 확인할 수 있다. 더불어 Fig. 4 와 같이 진동패드의 강성에 따라 최적의 진동 저감 응답을 얻을 수 있으며, 설계된 진동패드에 의하여 약 70%의 전달률(Compliance)을 저감할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

회전하는 원형 톱의 진동은 톱날의 수명 감소 및 절단면 품질을 저하하므로 진동량을 최소화하는 설계가 필요하며 이에 따라 운전 속도를 계산하고 진동 저감을 위한 별도의 진동패드를 설치하였다. 이에 따라 약 70%의 진동 전달률을 저감할 수 있다. 향후 다수의 진동패드를 설치하여 원형톱의 진동을 최소화하고, 소재 진동 및 절단장치의 동특성이 미치는 영향을 포함하여 시스템 레벨의 진동 저감책을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 김동욱, 김종식, 박병호, 손지하, 이진현, 2012, 원형톱 기계의 동특성 해석, 대한기계학회 2012년도 추계 학술대회 논문집, pp. 2253~2257.
- [2] 임승호, 박노철, 박영필, 황효균, 서정교, 유승현, 최인호, 민병훈, 2008, 회전 효과를 고려한 광디스크 드라이브의 충격해석, 한국소음진동공학회 2008년 춘계학술대회논문집, pp. 612~615.
- [3] R. O. Dodson, Jr. and W. Eversman, 1977, Free vibration of a centrally clamped spinning circular disk, AIAA J., Vol. 7, No. 10, pp. 2010~2012.

선재 권취공정에서 Laying Head 파이프 마모량 유한요소해석

이종빈^{1#} · 천명식²

Finite Element Analysis of Pipe Wear during Laying Head Coiling

Jong-Bin Lee, Myung-Sik Chun

Abstract

A laying head is used to form a hot rolled rod into a helical ring in the Stelmor cooling system. Due to contact between the laying pipe & the hot rod, the frictional wear on a pipe and the scratches on a rod are occurred. The dimensions of laying pipe (L/D ratio) is very important to reduce wear & scratches during Laying Head coiling. Two types of laying pipes which have different L/D ratio are analyzed by Finite element method to reduce the frictional wear on a pipe and scratches on a rod. The wear of laying pipe is measured to show the validity of this simulation. The simulated results of the laying pipe wear are compared with the experimental results and the calculated results agree well with the measured results.

Key Words : Finite Element Analysis, Laying Head, Wear, Archard's wear law, L/D ratio, Wire Rod

1. 서 론

선재 권취기의 가장 대표적인 형태의 하나인 Stelmor 냉각에서 열간 압연된 선재를 나선형으로 권취하기 위해서 Laying Head를 사용한다. Laying Head 권취 공정에서 고속으로 이동하는 소재와 Laying Head 파이프 사이의 접촉에 의해서 Laying Head 파이프에 마모가 발생한다. 이렇게 발생된 마모는 다시 이 파이프 내부를 통과하는 선재와 접촉하며 선재 표면에 Scratch를 유발한다. 이러한 Scratch의 양은 Laying Head 파이프의 마모량과 마모 위치에 따라서 달라진다. Laying Head 파이프의 마모량 및 마모 위치는 선재의 속도와 Laying Head 파이프의 치수에 의해서 결정된다. 보통 Laying Head의 치수는 Laying Head 파이프의 길이와 직경의 비인 L/D비로 결정된다. (Fig. 1 참고)

본 연구에서는 치수(L/D비)가 다른 두개의 Laying Head 파이프 (Type A, Type B)를 유한요소법을 이용하여 해석했다. Type A는 기존에 사용하고 있는 Laying Head로 본 해석 방법의 타당성을 검증하기 위해서 유한요소해석 결과를 실제 Laying Head 파이프의 마모측정 결과와 비교하였다. 마모해석을 위하여 Archard의 마모식이 이용되었고 정확한 마모계수를 결정하기 위해서 측정된 마모 깊이와 유한요소해석 결과인 접촉하중과 접촉길이를 이용하였다. Type A에 대해서 Laying Head 입측의 핀치 롤의 위치를 이동하여 유한요소해석을 실시하였다. 그리고 마모에 대한 Laying Head 치수의 영향을 검토하기 위해서 Laying Head 제작업체의 선재 표면 Scratch 개산안으로 제시된 Type B에 대해서도 유한요소해석을 실시하였고 해석된 결과를 Type A의 마모 위치 및 마모량과 비교하였다.

1. POSCO 기술연구원

2. POSCO 기술연구원

교신저자: POSCO 기술연구원, E-mail: misterbean@posco.com

2. 유한요소해석 모델

본 연구에서는 상용 FEM Package인 MARC를 이용하여 선재 권취 공정인 Laying Head 파이프의 치수 변경에 따른 파이프의 마모량 및 마모 위치를 해석하였다. Fig. 1과 같이 보통 Laying Head의 치수는 Laying Head 파이프의 길이와 직경의 비인 L/D비로 결정된다. 설계 시의 속도 보다 조업 시 저속 압연을 실시하면서 설계시 L/D비인 Type A를 대신해서 Type B(<Type A)가 제안된다. 기존의 L/D비를 사용한 Type A와 개선안으로 제시된 Type B를 대상으로 유한요소해석을 실시하여 마모에 관한 L/D비의 영향을 검토하였다. Type A의 경우는 핀치 롤의 위치를 이동해서 핀치 롤의 위치에 따른 마모량과 마모 위치도 검토하였다. 구체적인 해석 조건은 Table 1과 같다. 유한요소해석 모델은 Fig. 2와 같이 파이프, 핀치롤, 가이드 튜브로 구성되어 있다. 소재는 가이드 튜브를 통과해서 핀치롤을 지나 Laying Head 파이프로 들어간다. 소재의 후단부에 일정한 속도를 주어 소재가 이동하게 하였다. 파이프, 핀치롤, 가이드 튜브는 Rigid Body, 소재는 변형체로 모델링 하였다. 소재는 3D 육면체 요소를 사용하였으며 총 요소수는 144,000이다. 마모량을 계산하기 위하여 다음과 같은 Archard의 마모식^[1]을 이용 하였다. 여기서 W 는 마모율, F 는 접촉력, P_m 은 접촉압력, K 는 마모계수 이다.

$$W = \frac{K}{3p_m} F \quad (1)$$

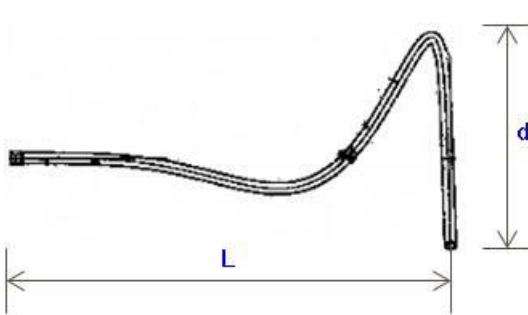


Fig. 1 L/D Ratio

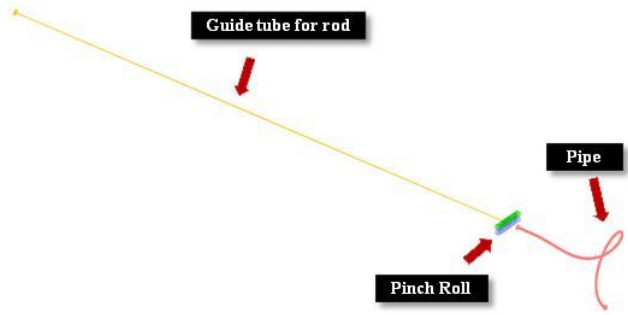


Fig. 2 Modeling of Laying Head Pipe

Table 1 Conditions of laying head

L/D ratio	Rod size	Rod speed	Angular speed	Distance to Pinch roll	Ref.
Type A	Φ5.5 mm	80 m/s	148.8 rad/s	1000mm	Present L/D
Type B	Φ5.5 mm	80 m/s	148.8 rad/s	1000mm	Proposed L/D
Type A	Φ5.5 mm	80 m/s	148.8 rad/s	500mm	

3. 마모측정

본 해석의 타당성을 검토하기 위해서 Type A에 대해서 355ton 압연 후 마모를 측정하고 유한요소해석 결과와 비교하였다. Fig. 3과 같이 파이프를 37개의 구간으로 나누어 절단한 후 각 구간의 마모량을 광학현미경을 이용하여 측정하였다. 유한요소해석 결과도 Fig. 4와 같이 37개의 구간으로 나눈 후 각 구간의 계산결과와 측정결과 마모량을 비교하였다.



Fig. 3 Segment of laying pipe (Experiment)

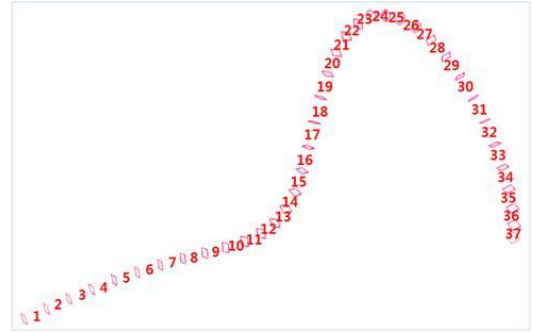


Fig. 4 Segment of laying pipe (modeling)

4. 결과 및 결론

Fig. 5는 Type A에 대한 계산된 마모량과 측정된 마모량의 비교 그림이다. 첫 번째 마모의 Pick가 보이는 지점은 계산에서는 10구간, 측정결과는 14구간으로 조금 차이가 보인다. 두 번째 Pick는 두 경우 모두 23구간으로 동일한 결과를 보인다. 광학 현미경 관찰의 한계로 계산에서는 마모가 발생하나 측정에서는 0으로 나타나는 것으로 판단된다. 첫 번째 마모 Pick에서 조금 차이를 보이나 대체적으로 계산과 측정 결과가 잘 일치하는 것으로 판단된다. Fig. 6은 Type A와 Type B에 대한 계산 결과이다. 계산 결과 마모량 그래프의 면적을 비교한 결과 저속 작업시 상대적으로 작은 값을 가지는 Type B의 마모량 면적이 상대적으로 작은 값을 보였다. 따라서 압연 속도가 감소할 경우 Laying Head 파이프의 L/D비도 함께 줄어들어야 파이프의 마모를 줄일 수 있다는 것을 확인했다.

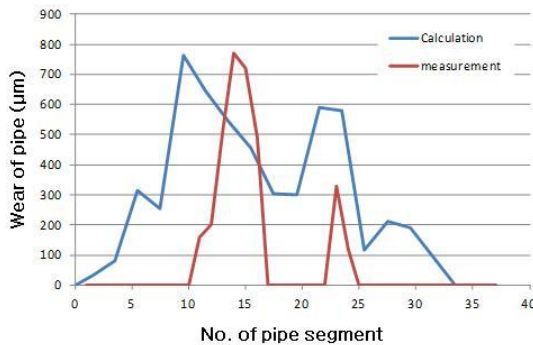


Fig. 5 Wear of Pipe (Type A)

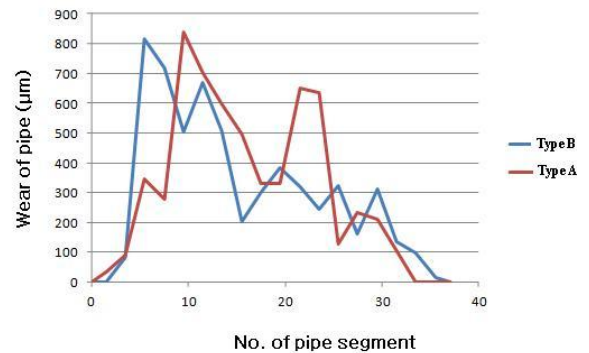


Fig. 6 Wear of Pipe (Calculated Results, Type A, Type B)

참 고 문 헌

- [1] Archard, J.F. (1980) Wear theory and mechanisms. In: M.B. Peterson, W.O. Winer (eds.). Wear Control Handbook. ASME.

Al-Mg-Si-Cu 합금을 적용한 차동기어 커버 온간단조 공정 설계에 관한 연구

이상익¹ · 이정환¹ · 윤종현^{2#}

A study on process design on warm forging of differential gear cover with Al-Mg-Si-Cu alloy

S. I. Lee, J. H. Lee, J. H. Yoon

Abstract

In recent years, aluminum and magnesium have used a lot of interest as light materials for manufacturing automobile parts, because enhances energy conservation and reduces fuel consumption in the automobile industry. In this paper, we replace ductile cast iron with light weight materials on the differential cover. High strength Al-Mg-Si-Cu alloys has been applied to the warm forging process and T6 heat treatment. The defects on the as-forged have been analyzed with microstructures. Comparison of weight for ductile cast iron and as-forged. The Al differential cover reduced the weight about 51% with ductile cast iron.

Key Words : Differential case cover, Al-Mg-Si-Cu alloy, Warm-forging, Finite element method, Mechanical property.

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

2. 한양대학교 기계공학부

Corresponding Author : Hanyang University,

E-mail: yooncsmd@gmail.com

크랭크 쓰로우 굽힘 공정의 편심 제어에 관한 연구

송민철^{1#} · 이용욱¹ · 문영훈²

A Study on the Asymmetry Control of Crank Throw in Bending Process

M. C. Song, Y. U. Lee, Y. H. Moon

Abstract

The core process in the open die forging for a large crank throw is to bend the preform into the “V” shape blank. The preform could be bended asymmetrically due to its asymmetrical shape, uneven temperature distribution and the misalignment between preform and die. Since the asymmetrically bended blank is very difficult to correct, the proper control method shall be required to prevent it. The purpose of this study is to develop the asymmetry control method in the bending process of preform. Numerical simulation results show that the principal factor controlling asymmetrical forged product is identified as the uneven configuration of preform. The floating die was applied to the bending device to control the asymmetry of preform during bending. The validity of the suggested method was verified by the lab scale experiments.

Key Words : Crank Throw, Bending, Asymmetry, Blank, Floating Die

1. 서 론

대형 선박의 추진용 디젤 엔진의 크랭크 샤프트는 크랭크 쓰로우, 저널, 샤프트 플랜지 등의 각 부품을 각각 단조하여 열박음 조립하는 방식으로 제작된다[1]. 크랭크 샤프트를 구성하는 부품중에서 가장 수요가 많은 부품인 크랭크 쓰로우는 Fig. 1과 같은 자유단조 공정을 거쳐서 제작되며 핵심 공정은 블랭크를 3점 굽힘 방식을 이용하여 “V”형태로 굽히는 굽힘 공정이다. 이러한 굽힘 공정에 있어서 Fig. 2와 같이 공정 조건에 따라 비대칭 형태 즉, 블랭크의 편심이 발생할 수 있다. 비대칭 형태는 후속 공정에서 교정이 매우 어렵기 때문에 불량률의 원인이 될 수 있다.

굽힘 공정의 비대칭 유발 원인은 블랭크의 비대칭 형상 및 온도 분포, 블랭크와 금형 간의 정렬 편차이다. 상기 비대칭 유발 원인은 정밀한 치수 제어가 어려운 자유 단조 공정의 특성과 현장 설비의 한계에서 비롯된 것으로

완벽한 제어가 어렵다. 따라서 블랭크의 비대칭 유발 원인에 상관없이 대칭 형태의 굽힘 형상을 얻을 수 있는 방법이 필요하다. 이러한 크랭크 쓰로우 자유 단조 공정의 문제점을 해결하기 위한 연구는 사례가 많지 않으며 주로 크랭크 쓰로우 편부의 형상을 원형인 정사각치수에 가깝게 단조하기 위한 연구가 대부분이다. Mingyue 등[2]은 크랭크 쓰로우 편부의 소재를 절감하고자 유한요소해석을 이용하여 V형 블랭크를 설계하고 축소형 시험을 통하여 타당성을 검증하였다. 그러나 제시한 크랭크 쓰로우 단조품의 편부 형상은 원형과는 상당한 거리가 있으며 굽힘 과정의 비대칭 문제가 고려되지 않았다.

따라서 본 연구의 목적은 크랭크 쓰로우 자유 단조 공정의 굽힘시 발생할 수 있는 비대칭 형상 즉 편심 방지 방안을 도출하는 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 부유식 금형(Floating Die)을 이용한 굽힘 장치를 제안하였다. 제안된 굽힘 장치는 유한요소해석과 축소형 실험을 통하여 편심 방지에 대한 타당성을 검증하였다.

1. 현대중공업

2. 부산대학교 기계공학과

교신저자: 현대중공업, E-mail:kalsong@hhi.co.kr

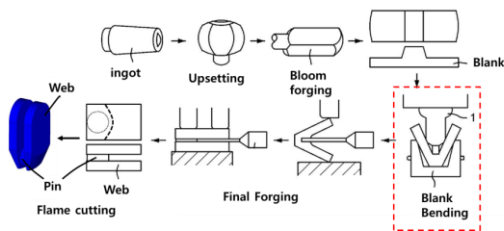


Fig. 1 Open die forging process for the crank throw

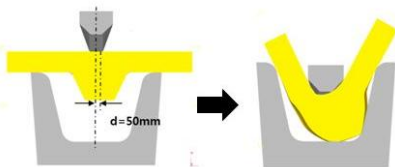


Fig. 2 Asymmetric bended shape due to the misalignment between die and blank

2. 편심 방지를 위한 굽힘 장치 설계

본 연구의 대상인 자유 단조 공정은 고온의 중량물을 다루는 공정으로 편심 방지를 위한 굽힘 장치를 실제 현장에 적용하기 위해서는 여러 요구사항들이 있다. 첫번째는 언급한 자유 단조 공정의 비대칭 유발 인자 및 작업자의 기량에 상관없이 일정한 표준 작업이 가능하도록 하는 것이다. 두번째는 굽힘 공정 전후의 공정에 있어서 사용되는 금형이 다르기 때문에 프레스 작업공간 내에서 장치의 설치와 제거가 용이해야 한다. 세번째는 고온 환경에 대한 내구성으로 장치의 구동에 위해서 전기나 유압이 동력으로 필요한 경우 고장의 위험이 높으므로 가능한 외부 동력 없이 기계적인 구동에 의해서만 작동되도록 해야 한다.

본 연구에서는 실제 현장의 적용을 위해서 상기 요구 사항을 반영하여 Fig. 3과 같이 부유식 금형을 이용한 굽힘 장치를 제안하고 특허를 출원하였다(출원번호 2014-0149601)[3].

제안된 장치는 굽힘 과정에서 부유식 금형으로 블랭크 중앙의 핀부를 구속함으로써 굽힘 과정에서 편심을 방지하는 것이다. 이러한 거동을 위해서는 초기 상태에서 부유식 금형이 공중에 부양되어 있어야 하고 굽힘 과정에서 소재와 금형 간의 밀착이 유지되어야 한다.

본 연구에서는 이를 위하여 외부에 Weight로 명명한 중량물을 부유식 금형과 연결하였다.

Weight의 무게는 부유식 금형보다 커서 초기 상태에서 부유식 금형은 공중에 떠 있는 상태 있을 수 있다. 굽힘이 완료되고 소재가 제거되면 부유식 금형과 Weight의 무게 차이로 인하여 외부 동력 없이 다시 초기 상태로 복귀된다. 부유식 금형의 거동에 전기나 유압을 동력으로 하지 않기 때문에 설치와 제거가 용이하고 오직 기계적인 구동에 의하여 작동되므로 고온 환경에 대한 내구성 확보도 가능하다.

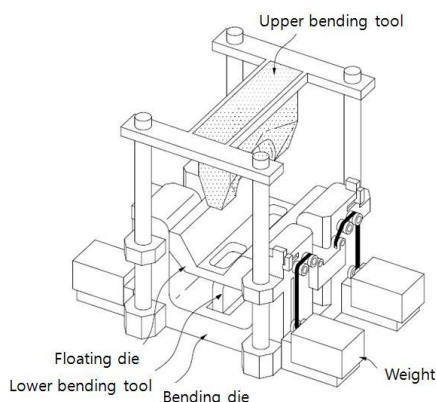


Fig. 3 Schematic drawing of crank throw bending device

3. 성형 해석

제안된 굽힘 장치의 타당성 검증을 위하여 블랭크 웹의 좌우 길이가 100mm정도 차이가 나는 비대칭 형상에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 해석 모델은 Fig. 4와 같이 블랭크의 좌우 길이 방향(X방향)으로는 비대칭이며 폭 방향으로는 대칭 형태인 1/2모델이다. 소재를 제외한 금형은 강체로 가정하였으며 상부 굽힘틀(upper bending tool)의 압하 속도는 30mm/sec로 일정하게 유지하였다. 굽힘 과정에서 부유식 금형에는 상부 방향(+Y방향)으로 부유식 금형과 Weight의 무게 차에 해당하는 하중을 추가하였다. 소재의 재질은 AISI1045에 해당하는 탄소강이며 열전달을 고려한 성형해석이 수행되었다.

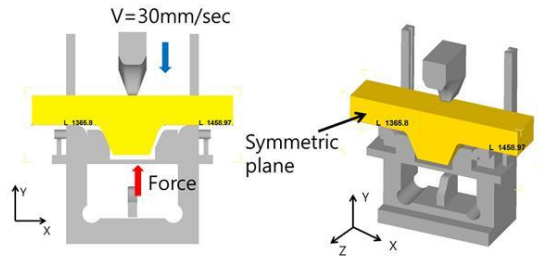


Fig. 4 FE model for the bending procedure using bending device

Fig. 5는 블랭크의 굽힘부터 마무리 단조까지 일련의 과정에 대한 성형 해석 결과이다. Fig. 5의 (a)와 같이 블랭크의 형상이 비대칭이므로 블랭크 핀부와 부유식 금형의 경사면의 간격이 좌우가 다를 수 있다. Fig. 5의 (b)는 상부 굽힘 공구로 가압 직후 상태로써 부유식 금형의 경사면과 소재가 밀착되었음을 알 수 있다. 이는 초기 소재의 위치와 금형의 중심이 다소 차이가 있더라도 부유식 금형의 경사면을 따라 소재의 정렬이 가능함을 의미한다. Fig. 5의 (c)와 같이 굽힘 과정에서 부유식 금형은 블랭크 핀부를 구속한 상태에서 하강함으로 편심을 방지 할 수 있어서 굽힘 완료시 Fig. 5의 (d)와 같이 거의 대칭에 가까운 형상으로 얻을 수 있다. 전술한 바와 같이 초기 블랭크의 좌우 웹길이가 100mm 가량 차이가 나지만 거의 대칭 형태의 단조품 형상을 얻을 수 있었다.

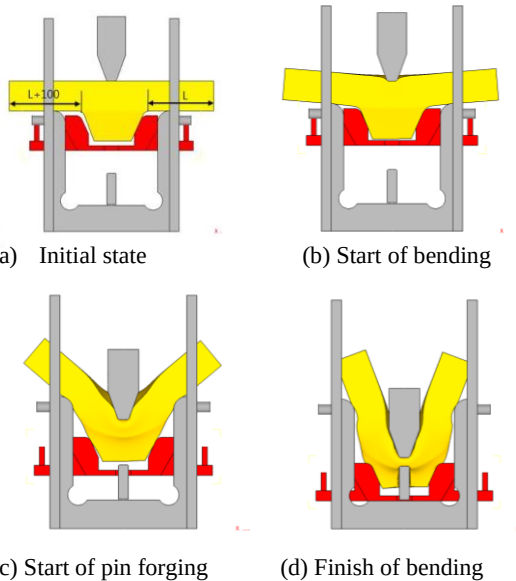


Fig. 5 FE model for the bending procedure using bending device

4. 축소형 실험

고온의 탄소강과 상온에서 유사한 유동 응력특성을 갖는 납을 이용한 축소형 시험을 수행하였다. Fig. 6은 납으로 제작된 시편의 형상으로 정렬 편차 영향 평가를 위한 대칭 타입과 소재의 비대칭 형상 영향 평가를 위한 비대칭 타입을 각각 제작하였다.

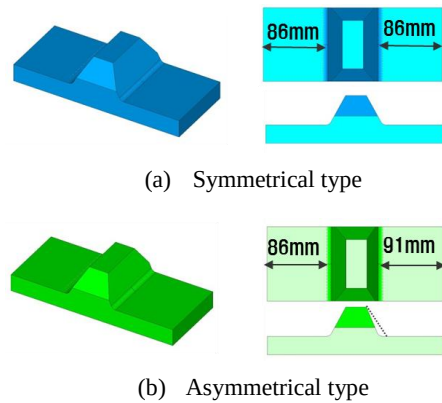
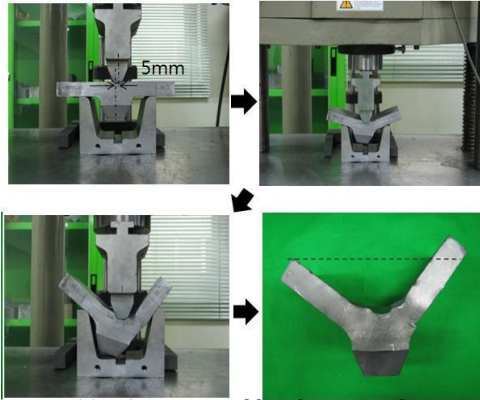
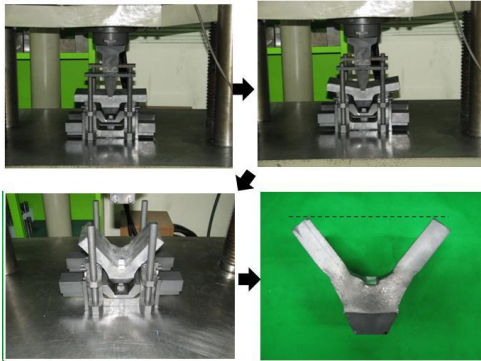


Fig. 6 Shape and main dimensions of blank used in lab scale test

Fig. 7은 대칭 타입 시편에 대하여 소재와 금형간의 정렬 편차가 5mm정도 있는 경우 기존 굽힘 공정과 굽힘 장치를 이용한 공정의 실험 결과를 비교한 것이다. Fig. 7의 (a)와 같이 기존 굽힘 공정의 경우 시편의 중심은 금형 중심 대비 좌측으로 편심되어 있는 상태로서 우측 웹에 작용하는 굽힘 모멘트가 상대적으로 커서 먼저 굽힘이 발생하게 되고 결국 소재는 좌측으로 편심되나 Fig. 7의 (b)와 같이 본 연구에서 제안한 굽힘 장치를 이용한 경우 거의 대칭적인 굽힘 형상을 얻을 수 있었다.



(a) Conventional bending procedure



(b) Suggested bending procedure

Fig. 7 Shape comparison of bended blank

Fig. 8은 비대칭 타입 시편을 이용한 시험 결과로서 굽힘 단조 후 후속 공정인 최종 마무리 단조까지 수행한 결과이다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 비대칭 형상에도 불구하고 거의 대칭적인 형상을 얻을 수 있었다.

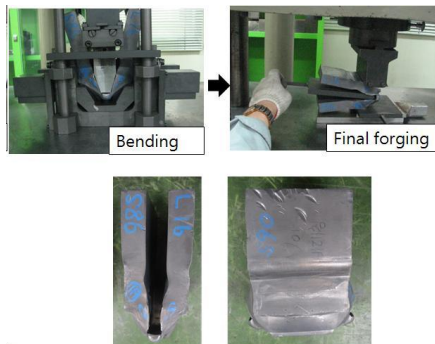


Fig. 8 Lab scale test result using asymmetrical blank

4. 결 론

본 연구에서는 크랭크 스로우 굽힘 공정의 편심 방식을 위하여 부유식 금형을 이용한 굽힘장치를 제안하고 성형 해석 및 축소형 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 성형해석결과 굽힘 장치는 비대칭 형상에 관계없이 대칭 형태의 굽힘 형상을 얻을 수 있었다.
- (2) 축소형 실험 결과 정렬 편차 및 소재의 비대칭 형상에 관계 없이 대칭적인 형상을 확보할 수 있어서 굽힘 장치의 편심 방지 효과에 대한 타당성을 확인 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] M.Y. Sun, S.P. Lu, D.Z. Li, Y.Y. Li, X.G. Lang, S.Q. Wang, 2010, "Three-dimensional Finite Element Method Simulation and Optimization of Shrink Fitting Process for a Large Marine Crankshaft", Materials and Design, Vol. 31, pp.4155-4164.
- [2] S. Mingyue, L. Shanping, L. Dianzhong, L. Yiyi, 2007, "Optimization of Bending Process of Large Marine Crank Throw by Computer Simulation", Materials Science Forum, Vol. 561-565, pp.1949-1952.
- [3] 송민철, 이용욱, 김대순, 권일근, 도영호, 2014, "부유식 금형을 이용한 대형 단조품 굽힘 장치", 한국 특허, 출원번호 2014-0149601.

제어냉각 장치를 이용한 엔진피스톤 열간단조 공정에 관한 연구

최동환¹ · 이상익¹ · 천도욱² · 이정환[#]

A Study on the engine piston hot forging process using a control cooling device

D. H. Choi, S. I. Lee, D. W. Cheon, J.H. Lee

Abstract

Piston engine is an essential component in automobile. Since engine piston is used under the environment of high temperature and high pressure, high strength and high durability are required for the piston manufacturing. In addition, cost reduction has also been an important issue. In the conventional process, additional heat treatment after hot forging is necessary to ensure mechanical properties of the piston for Heavy-Duty engine. Thus, necessity of developing new manufacturing method is increasing to reduce producing cost by reducing manufacturing time and consuming energy. In this study, by the control cooling device used materials, the existing of the materials used, the test specimen piston produced by each material was taken to the tensile test, hardness measurement, the microstructure is, after the physical properties secured through compression test on the basis of the modified material was performed finite element analysis, and analyzed for moldability and die stress.

Key Words : Control Cooling , Hot Forging, Piston, Mechanical Properties, Finite Elements Method(FEM)

1. KIMS

2. 세원금속㈜

교신저자: KIMS, E-Mail : ljh1239@kims.re.kr

열간 단조 공정을 위한 마찰 시험법의 적합성에 관한 연구

도영호^{1#} · 송민철²

A Study on Compatibility of Friction Test Methods for the Hot Forging Process

Y. H. DO, M. C. Song

Abstract

The various evaluation methods of friction factor in cold bulk forging were suggested by many researchers, since the friction would be a major factor to estimate a forging load in net-shape forging process. The purpose of this study is the evaluation of the applicability of conventional friction tests for the measurement of friction factor in the hot forging. The investigated friction tests in this study are ring compression test, boss-rib test and double cup test. For these friction tests, The calibration curves of isothermal and non-isothermal case were compared by numerical simulations. From these results, It was found that calibration curve of friction is dependent on the thermal conductance resistance of tested material. In conclusion, The calibration curves considering temperature distribution is needed to apply the conventional friction test to the evaluation of friction factor in the hot forging.

Key Words : Friction factor, Heat transfer coefficient, Hot Forging, Flow stress,

1. 서 론

형단조 공정에 있어서 마찰은 성형 하중에 영향을 미치는 주요한 인자라 할 수 있다. 이러한 이유로 여러 연구자들에 의하여 다양한 마찰계수(friction factor) 시험법이 제안되어 왔다.

링압축 시험의 경우 가장 보편적인 마찰 인자 시험법이나 응력 상태가 복잡한 경우 오차가 크게 발생하는 것으로 알려져 있다[1]. 이러한 단점을 보완하고자 많은 시험법이 제안되었으며, 대표적으로 스파이크 시험, 후방압출 시험, 텅시험 등이 있다[2~8].

최근에는 유동응력에 무관하게 보정선도를 도출해낼 수 있으며, 마찰계수에 민감하고 선형의 보정선도 도출이 가능한 보스-리브 시험법이 제안된 바 있다[9]. 이러한 기존 마찰 인자 시험법은 주로 냉간 단조 공정의 마찰 인자를 평가하는데 사용되며 시험 과정에서 소재의 온도 편차를 고려하지 않는다. 그러나

열간 단조 공정의 마찰 인자를 평가하고자 하는 경우 소재와 금형의 접촉면에서 급격한 냉각이 발생하기 때문에 소재의 온도 편차를 고려할 필요가 있다. 본 연구의 목적은 열간 단조 공정의 마찰 인자 평가를 위하여 기존 마찰 인자 시험법의 적용 가능성을 검토하는 것이다. 이를 위하여 주요한 마찰 시험에 대하여 성형 해석을 수행하여 접촉면의 열전달 고려 유무에 따른 마찰 인자 보정 선도의 변화를 비교하였다.

2. 유한요소 해석 조건

기존 마찰 시험법의 경우 온도 분포를 고려하지 않기 때문에 등온으로 가정하였다. 열간 상태에서 기존 마찰 시험법을 적용하는 경우 금형과 소재간 접촉 열전달을 고려하였다. 접촉 열전달 계수는 다시 5 N/sec/mm/°C, 11 N/sec/mm/°C로 달리하여 계면의 냉각 정도가 마찰 인자에 미치는 영향을 평가 하고자 하였다. 소재의 초기 온도는 1250°C로 가정하였으며, 재질은 AISI 1045급의 탄소강이다.

1. 현대중공업 중앙기술원

2. 현대중공업 중앙기술원

교신저자: 현대중공업 중앙기술원, do610@hhi.co.kr

Fig. 1에서 Fig.3은 본 연구에서 사용된 기준 마찰 시험법에 대한 해석모델로 링압축 시험법, 보스리브 시험법, 더블컵 시험법이다. 각 모델은 축대칭 모델이다.

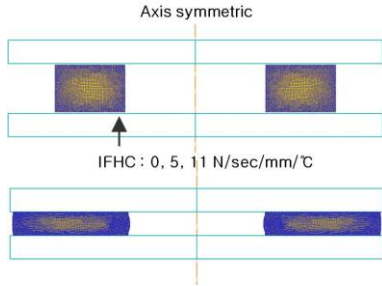


Fig. 1 Schematic diagram of ring compression test

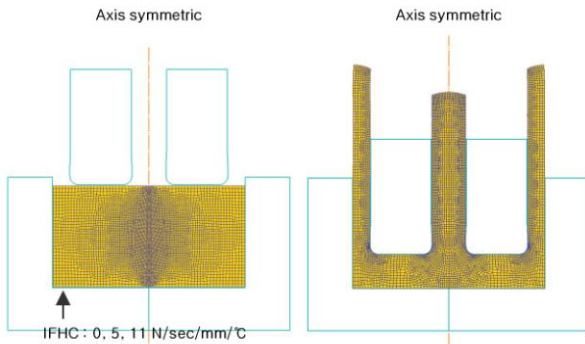


Fig. 2 Schematic diagram of boss-rib test

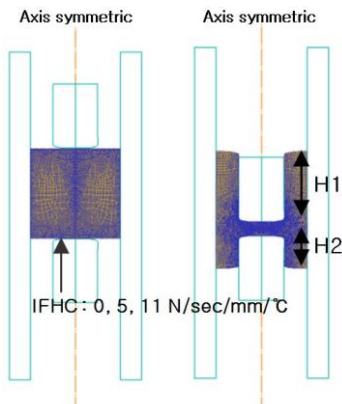


Fig.3 Schematic diagram of double cup test

3. 마찰 시험에 대한 해석결과

3.1 링압축시험

링압축 시험은 Fig.1과 같이 링의 내경, 외경, 높이가 일정비(6:3:2)를 가지는 링을 압축 후 높이와 내경 변화를 측정하고 이를 이미 수치 해석적으로 결정된 보정 선도와 비교함으로써 소재와 금형 간의 마찰 인자를 측정하는 방법이다. 이를 통하여 Fig. 4와 같은 보정 선도를 얻을 수 있으며 이러한 보정 선도는 재료의 유동응력에 무관하게 사용될 수 있다고 알려져 있다.

먼저 Fig. 4는 1250℃의 등온 해석과 접촉 열전달(IFHC : 5N/sec/mm/°C)을 고려한 해석의 보정 선도를 보여준다. 링압축 시험의 경우 재료의 유동응력에 무관하게 보정 선도를 이용하여 마찰력을 측정할 수 있다고 알려져 있으나 Fig. 4와 같이 등온과 접촉 열전달 고려 시의 보정 선도가 달라서 열간 조건에서는 열전달을 고려한 보정 선도가 필요하다.

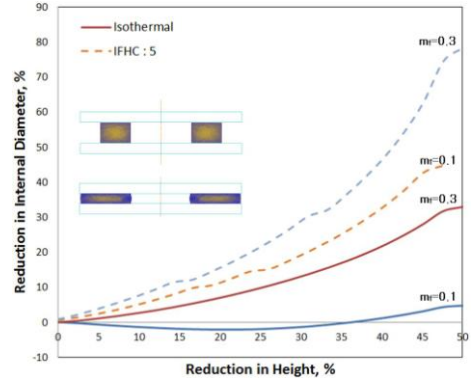


Fig. 4 Comparison of the calibration curves from the isothermal and non-isothermal analysis in ring compression test

추가적으로 링압축 시험 시 접촉 열전달 계수(IFHC)에 따른 마찰 인자의 민감도를 알아보기 위한 해석을 수행하였다. Fig. 5는 열전달 계수에 따른 마찰 인자의 보정 선도를 보여준다. Fig. 5에서 볼 수 있듯이 마찰 인자가 높은 조건에서는 보정 선도가 겹쳐져서 구별이 어려우므로 마찰 인자가 큰 경우 정확한 평가가 어렵다. 이러한 결과로부터 링압축 시험에

있어서 온도 분포를 고려하지 않은 기존 시험법의 보정 선도를 열간 시험에 그대로 적용할 수 없다는 것을 알 수 있다.

그러므로 이러한 마찰 인자를 정확하게 평가하기 위해서는 소재의 온도 분포에 큰 영향을 미치는 접촉 열전달 계수에 대한 평가가 필요하다

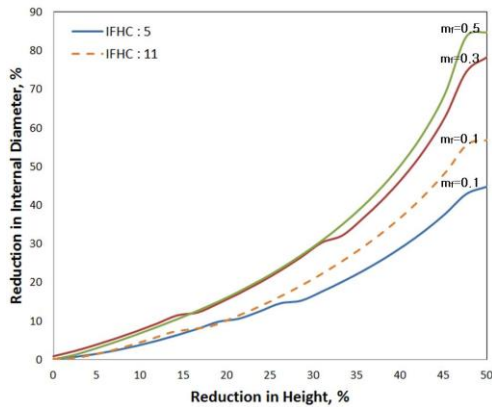


Fig. 5 Comparison of the calibration curves from the isothermal and non-isothermal analysis in ring compression test

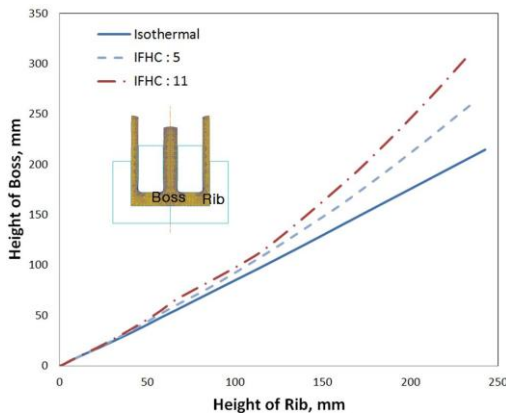


Fig. 6 Comparison of the calibration curves from the isothermal and non-isothermal analysis in boss-rib test(m=0.1)

3.2 보스-리브 시험법

보스-리브 시험법은 Fig. 2와 같이 실린더

형태의 시편을 중공형 펀치로 가압하고 이때 금형 내부(보스), 외부(리브)의 돌출부 높이의 비로 마찰 인자를 측정하는 기법이다. 본 시험법은 보스, 리브의 높이가 선형적으로 변하며 마찰 인자에 민감한 보정 선도를 얻을 수 있다.

링압축 시험과 같이 열간 조건에서의 본 시험법의 타당성을 검증하기 위하여 등온과 접촉 열전달 고려시의 해석결과를 비교하였다. Fig. 6은 마찰 인자가 0.1인 경우 접촉 열전달 고려(5, 11N/sec/mm/°C) 모델과 등온 모델의 보정 선도를 비교한 것이다. 보스-리브 시험법 또한 링압축 시험과 마찬가지로 유동응력에 무관하게 보정 선도를 이용하여 마찰력을 측정할 수 있다고 알려져 있다. 하지만 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 접촉면의 냉각으로 인하여 각 열전달 조건에 따른 보정 선도가 필요하다.

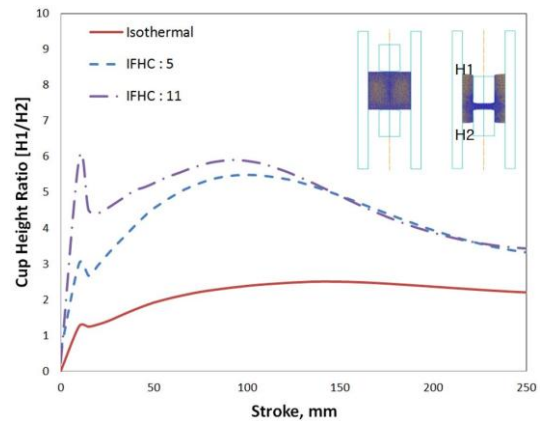


Fig. 7 Comparison of the calibration curves from the isothermal and non-isothermal analysis in double cup test(m=0.1)

3.3 더블컵 시험법

더블컵 시험법은 Fig. 3과 같이 실린더 형태의 시편을 상, 하단의 환봉으로 가압하여 마찰 인자를 측정하는 방법이다. 이때 보정 선도는 스트로크와 상부 돌출부와 하부 돌출부 높이의 비(H1/H2)로 나타낸다. Fig. 7은 접촉 열전달 계수(IFHC)의 변화에 따른 더블컵 시험법의 보정 선도이다. 본 시험법의 경우에도 접촉 열전달 계수에 보정 선도가 민감한 변화를 보였다.

4. 결론

본 연구에서는 온도 편차를 고려하지 않은 기존 마찰 인자 시험법을 열간 단조 공정의 마찰 인자 평가에 적용하기 위하여 링압축 시험, 보스-리브 시험, 더블컵 시험 등 기존의 주요 마찰 인자 측정 시험에 대한 유한요소해석을 수행하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 등온 및 접촉 열전달을 고려한 해석을 이용하여 도출한 보정 선도를 비교한 결과, 모든 시험법에서 접촉면의 온도 변화에 따라 보정 선도가 달라짐을 확인 할 수 있었다.
- (2) 기존 마찰 시험법을 열간 시험에 적용하기 위해서는 접촉면의 온도 분포에 대한 정확한 평가가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] P. Hartley, C. T. N. Sturges, G. W. Rowe, 1979, friction in finite-element analyses of metal forming Processes, Int. J. Mech. Sci., Vol. 21, pp. 301~311.
- [2] 강종훈, 고병호, 제진수, 강성수, 2005, 온간단조 윤활제의 윤활 및 냉각특성, 한국소성가공학회지, 제 14 권, 제 7 호, pp. 61~623
- [3] W. L. Xu, K. P. Rao, 1997, Analysis of the deformation characteristics of spike-forging process through FE simulations and experiments, J. Mater. Process. Technol., Vol. 70, pp. 122~128.
- [4] G. Shen, A. Vedhanayagam, E. Kropp, T. Altan, 1992, A method for evaluating friction using backward extrusion-type forming, J. Mater. Process. Technol., Vol. 33, pp. 109~123.
- [5] T. Nishimura, T. Sato, Y. Tada, 1995, A method for the evaluation of lubrication using injection upsetting, J. Mater. Process. Technol., Vol. 53, pp. 712~725.
- [6] T. Schrader, M. Shirgaokar, T. Altan, 2007, A critical evaluation of the double cup extrusion test for selection of cold forging lubricants, J. Mater. Process. Technol., Vol. 189, pp. 36~44.
- [7] S. H. Kang, Y. T. Im, 2002, Finite Element Analysis of the Effect of Centering Groove on Tip Test, Trans. Kor. Soc. Mech. Eng. A, Vol. 26, No. 7, pp. 1340~1347.
- [8] S. H. Kang, J.H. Lee, J.S. Cheon, Y.T. Im, 2004, The effect of strain-hardening on frictional behavior in tip test, Int. J. Mech. Sci, vol. 46, pp. 855~869.
- [9] 윤여웅, 강성훈, 이영선, 김병민, 2009, 보스-리브 시험 시 마찰보정선도에 대한 편차형상 및 유동응력의 영향, 한국소성가공학회지, 제 18권, 제 8호, pp. 600~645.

열간 압연에서 마찰계수와 접촉 열 전달 계수가 단면 형상에 미치는 영향 연구

강한샘¹ · 이영석[#]

Study on Effects of friction coefficient and a heat transfer coefficient on cross-section shape in the hot flat rolling

H. S. Kang, Y. Lee

Key Words: Plate rolling (후판 압연), Finite Element Analysis (유한 요소 해석), Friction coefficient (마찰계수), Width Spread (폭 퍼짐), Heat Transfer Coefficient (열 전달 계수)

Abstract

It is necessary to be aware of the friction coefficient value in order to more accurately predict the cross-sectional shape of the material. Cross-section shape need to be considered even with large temperature and rolling reduction since it affects also the temperature and the reduction rate of the material. In particular, the higher the reduction rate becomes larger the effect of the contact heat transfer coefficient. Therefore, Conducted a simulation by finite element simulation of the actual rolling process through the finite element program ABAQUS.

In this study, the reduction rate(20%, 30%, 40%) for the alloy SCM43, the temperature (900 °C, 1000 °C, 1100 °C, 1200 °C) was obtained from the experimental cross-section. In this study, we get the experimental cross section shape for the alloy steel SCM435 to some of reduction ratio(20%, 30%, 40%) and temperature(900°C, 1000°C, 1100°C, 1200°C). And, compare the experimental cross-sectional shape with cross-section shape simulated at ABAQUS.

압연공정을 마친 소재의 단면 형상을 예측하기 위해서는 보다 정확한 마찰계수 값을 알고 있어야 할 필요가 있다. 뿐만이 아니라 단면 형상은 소재의 온도와 압하율에도 크게 영향을 받기 때문에 온도와 압하율 또한 함께 고려되어야 할 필요가 있다. 특히 압하율이 높아질수록 압연 물과 소재가 접촉하는 면적이 넓어지기 때문에 접촉 열 전달계수의 영향이 커진다. 따라서, 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS 를 통해 실제 압연 공정을 모사한 유한요소 모사를 실시하여 마찰계수와 열 전달계수에 따른 계산 단면 형상 Data 를 취득한다.

본 연구에서는 합금강 SCM43 에 대해 압하율(20%, 30%, 40%), 온도(900°C, 1000°C, 1100°C, 1200°C) 조건으로 구분하여 실시된 판 압연 실험으로 실험 단면 형상을 취득하였다. 그리고 압연 실험 결과로 얻어진 실험 단면 형상을 유한 요소 해석의 결과로 얻어낸 계산 단면 형상을 비교하여, 마찰계수와 열 전달계수가 각각 단면 형상에 미치는 영향을 비교 및 분석하고자 한다.

1. 중앙대학교 기계공학부

교신저자: 중앙대학교 기계공학부,

E-mail: ysl@cau.ac.kr

가이드 롤의 모델링 및 이를 이용한 링롤링 공정의 해석

진호태¹ · 김경률² · 김응주³ · 최무호⁴ · 전만수[#]

Modelling of guide roll and its applicartion to simulatimg ring rolling

H. T. Jin, K. R. Kim, E. J. Kim, M. H. Choi, M. S. Joun

Abstract

In this paper, a ring rolling simulation technique based on full three-dimensional model discretized by tetrahedral elements with emphasis on a new guide roll model is presented. The new guide roll model is devised to reflect spring-like behaviors in real situations. The technique is assisted by a powerful mesh system specialized optimally for ring rolling simulation and parallel processing technique to reduce computational time and applied to an artificial profile ring rolling process modified from a real ring rolling process.

Key Words : Ring Rolling (링롤링), Guide Roll Modelling(가이드 롤 모델링), Finite Element Method(유한요소법)

1. 서 론

링롤링 공정의 해석기술은 여러가지의 난해한 점이 있다. 첫째는 장 스트로크로 인하여 계산시간이 많이 소요된다는 점이다. 이러한 문제의 해결을 위한 극단적인 방법으로 이원요소기법(dual mesh approach[1-5])이 비교적 적용성이 높은 것으로 평가되어 왔다. 이원요소망기법은 대체적으로 사각 링롤링(flat ring rolling) 공정의 해석 목적으로 널리 사용되었다. 그러나 중량 기준으로 링롤링의 상당 부분을 차지하는 사각 링롤링 공정의 경우, 설계변수가 한정되어 있고 상대적으로 평이한 측면이 있다. 특히 대칭면이 존재하는 문제의 경우, 공정이 안정적이기 때문에 공학해석 기술의 필요성이 높지 않다. 이런 이유로 풍력발전기용 플랜지와 같은 사각 링롤링 공정의 해석결과는 형상 링롤링(profile ring rolling) 공정의 해석결과에 비하

여 유용한 정보를 제공하는데 있어 한계가 있다.

결론적으로 이원요소망기법은 형상이 복잡한 문제에 대한 적용성이 떨어지는 문제가 있다. 최근 저자들은 이러한 문제의 해결을 위하여 방향성을 지닌 사면체요소의 사용과 병렬처리 기법을 대안으로 제시하였다[6]. 이 방법은 최근 단조와 연계된 중형 부품에 대한 형상 링롤링의 수요 증가에 대응하는데 적절한 방법으로 평가되고 있다.

한편, 직접 변형을 초래하지는 않지만, 링의 흔들림을 통제하는 가이드 롤의 모델링도 난제 중의 하나이다. 이원요소기법에서는 가이드 롤의 고려하는데 많은 어려움이 따랐다[7]. 전체를 사면체로 모델링함으로써 이러한 문제의 근원적 해소가 가능하다. 물론 아이들링하는 가이드 롤의 특성을 고려한 적절한 모델링이 필수적이다.

따라서 이 논문에서는 가이드롤의 모델링을 제시하며, 적용 예제를 통하여 적용 가능성을 검증하고자 한다.

1. 경상대학교 대학원 기계공학과

2. 한호산업㈜

3. 한국생산기술연구원

4. All Bearing Belover's Academy

교신저자: 경상대학교 기계공학부/공학연구원

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

2. 가이드롤의 모델링

소성가공 공정의 해석에서 링롤링에서 가이드 롤과 같이 동력원이 아닌 금형 및 도구의 처리가 용이하지 않다. 속도가 미지수이기 때문이다. 이 속도를 계산하기 위하여 수차례의 반복계산이 불가피하며, 대체적으로 이러한 금형이나 도구를 사용하는 공정은 고 계산시간에 노출되어 있으므로 난제 중의 하나로 남아 있다.

링롤링의 경우, 맨드렐도 이러한 아이들링 금형에 속하지만, 비교적 안정적인 운동을 하므로 비교적 현실에 가까운 속도 예측이 가능하다. 그러나 가이드 롤의 경우, 흔들리는 소재의 흔들림을 방지하는 역할을 하기 때문에 어려움이 따른다. 실제의 경우, 이러한 흔들림을 방지하는 기능, 즉 강제적인 속도 구속조건을 통하여 인위적으로 해소하는 극단적인 방법이 동원되기도 한다.

이 논문에서는 전술한 문제의 해소를 위하여 Fig. 1에서 보는 바와 같은 가이드 롤 모델을 제시한다.

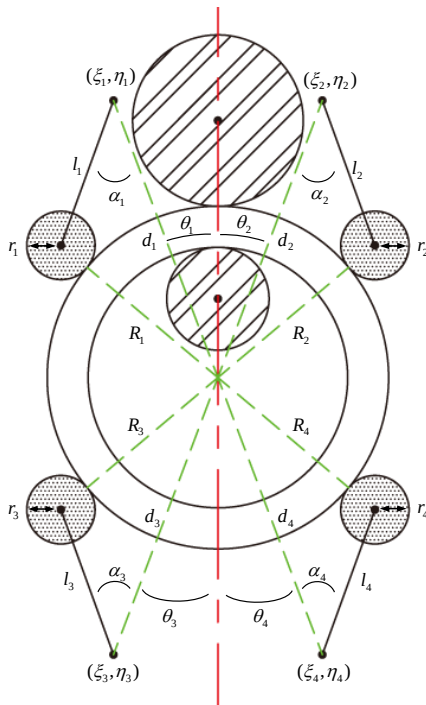


Fig. 1 Guide rolls model

이 가이드 모델에서 롤은 사용자가 요구한 위치를 유지하는 대신 다른 롤과는 달리 소재의 침투를 허용하는 것이 특징이다. 그 침투량에 따라 소재를 밀어내는 양을 다르게 함으로써 역학적 안정성과 가이드 롤로써의 역할을 동시에 만족하도록 한다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 가이드 롤의 중심은 소재의 무게중심과 외경, 피봇 점(pivot point)의 좌표, 팔 길이 등으로 정의된다.

가이드 롤 모델의 타당성 및 역할을 조사하기 가이드 롤을 사용하지 않은 경우와 가이드 롤을 사용한 경우에 대한 해석을 수행하였다. 이 해석에 사용된 조건은 다음과 같다.

-소재의 유동응력: 참고문헌 [5]와 동일

-워크롤 및 맨드렐과 소재 간 마찰계수: 0.0

-워크롤의 회전수: 81 rpm

-초기소재의 내외경 및 높이:

O.D.= 122.4 mm, I.D.= 75.0 mm, h = 60.0 mm

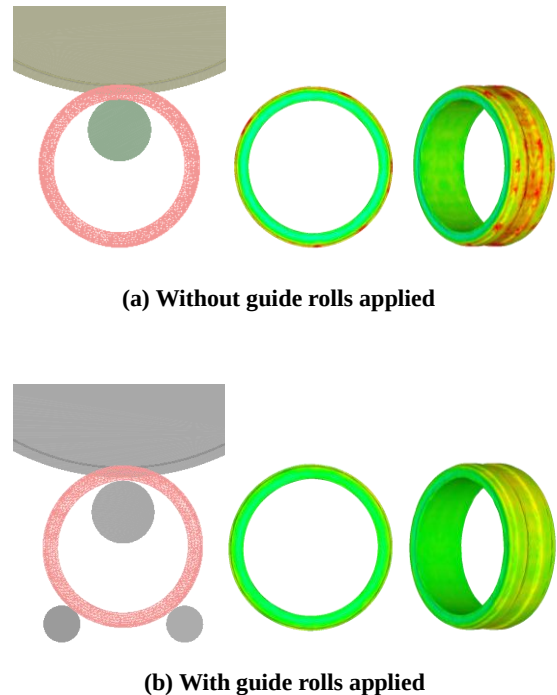


Fig. 2 Comparison of finite element predictions at 4.5 s (Effective strain)

Fig. 2와 Fig. 3에 가이드 롤을 미적용했을 때와 적용했을 때의 공정에 대한 해석결과를 나타내고 있다. 이 결과에서 보는 바와 같이 가이드 롤의 적용에 따라 유효변형률의 분포 측면에서 비교적 큰 차이가 발생하였다. 그 원인을 확인하기 위하여 해석결과에서 롤의 무게중심의 변화를 매 해석스텝마다 추적을 하였으며, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 가이드 롤을 사용했을 때의 해석결과가 가이드 롤을 사용하지 않았을 때의 해석결과에 비하여 무게중심의 변화가 매우 부드러움을 알 수 있다.

여기서 강조하고자 하는 점은 실공정에서 가이드 롤의 사용 유무와 이 논문에서 주장하는 것은 다르다는 점이다. 링롤링 공정에서 롤바이트에 접촉하는 절점의 수가 한정될 수밖에 없기 때문에 수치적 문제로 Fig. 2와 Fig. 3의 수치적 불안정성 또는 불균일성은 불가피하다는 점이다. 전술한 결과는 이 논문에서 제시한 가이드 롤 모델의 타당성을 입증해 주기에 충분하다고 사료된다.

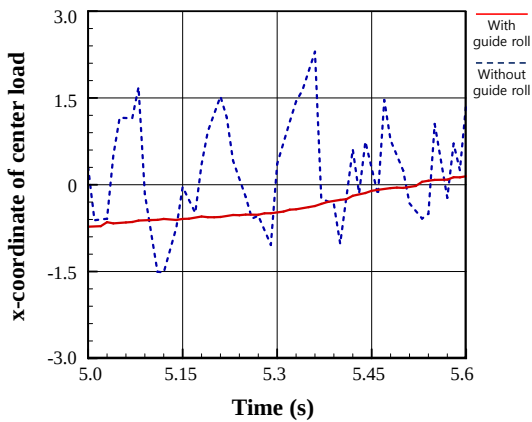


Fig. 3 Variation of x-coordinate of mass center of the workpiece with time

Fig. 4와 Fig. 5는 가이드 롤을 적용한 경우의 공정 중 소성변형 이력을 나타낸 것이다. Fig. 5는 가이드 롤의 운동을 강조하여 나타낸 것이다. 이 그림 상에서 다른 색깔로 구분된 영역은 가이드 롤의 영향권 내의 소재를 나타낸다. 이 영역은 실제의 상황보다 다소 클 수가 있다. 전술한 바와 같이 인위적인 침투를 허용한 것으로 실제적 상황에서는 가이드 롤이 후진하는 것을 반영하는 결과이다.

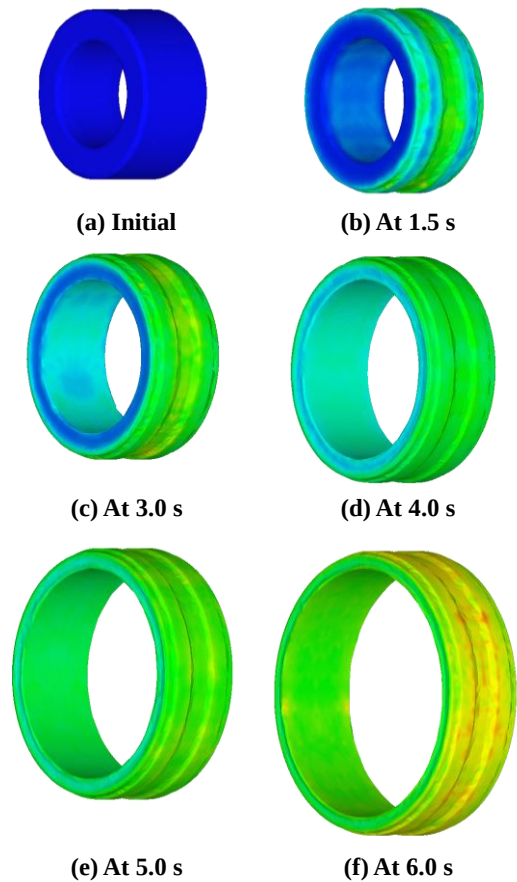


Fig. 4 History of deformation when guide rolls are applied (Effective strain)

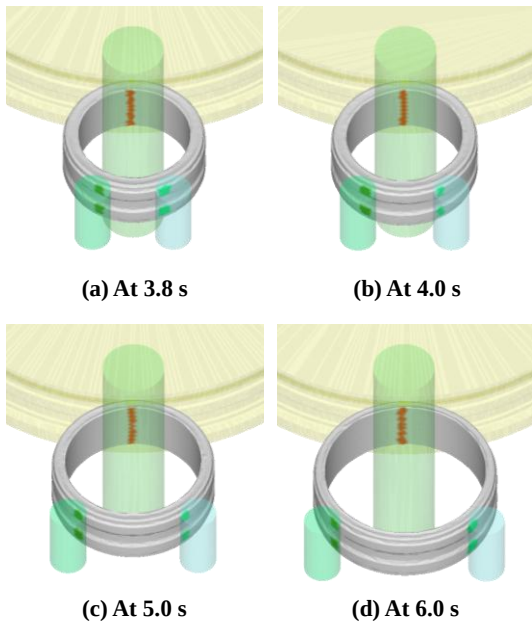


Fig. 5 History of deformation with emphasis on effective region of guide rolls

3. 결 론

이 논문에서는 링롤링 공정의 해석에서 난제 중의 하나인 가이드롤의 모델링 기술을 제시하였다. 이 모델에서는 가이드롤의 위치는 사용자의 요구대로 결정이 되는 반면, 실공정에서 가이드롤의 전후진 현상은 소재의 가이드롤 침투 허용으로 처리하였다. 물론 침투 깊이에 따라 부과되는 하중의 차이가 발생하도록 함으로써 일종의 스프링 작용을 하도록 하였다.

제안된 가이드롤 모델은 가상의 공정(실공정에서 가이드롤만 추가함)에 성공적으로 적용되었으며, 적용 가능성을 보여 주었다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 산학협력기술개발사업과 BK plus 21사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] M. S. Joun, H. K. Moon, J. M. Park, J. H. Chung, C. N. Park, 2001, Three dimensional rigid-plastic finite element analysis of a ring rolling process, Int. J. Mech. Tools and Manu., Vol. 40, pp. 81~93.
- [2] Y. S. Ko, H. J. Yoon, N. S. Kim, 2002, Prediction of spread and contact region in ring rolling process using rigid-plastic finite element method, KSME(A), Vol. 26, pp. 2670~2677.
- [3] S. W. Koo, J. C. Lee, S. J. Yoon, N. S. Kim, 2003, Analysis of aluminum ring rolling process using thermo-rigid-plastic finite element, KSME(A), Vol. 27, pp. 815~822.
- [4] H. K. Moon, M. S. Joun, J. H. Chung, C. N. Park, 2004, Prediction of defect formation in ring rolling by the three-dimensional rigid-plastic finite element method, KSME(A), Vol. 28, pp. 1492~1449.
- [5] B. S. Kim, H. K. Moon, E. Z. Kim, M. H. Choi, M. S. Joun, 2013, A dual-mesh approach to ring-rolling simulations with emphasis on remeshing, J. Manu. Proc., Vol. 15, No. 4, pp. 635~643.
- [6] M. H. Choi, S.W. Jeong, B. S. Kim, K. H. Kim, M. S. Joun, 2014, Finite element analysis of a ring rolling process using a full three-dimensional model of tetrahedral elements, KSTP spring conference, pp. 69~72
- [7] B. S. Kim, E. J. Kim, K. R. Kim, M. H. Choi, M. S. Joun, 2013, Finite element analysis of warm or hot ring rolling process for small and medium size rings with profile in the inner or outer diameter, KSTP Autumn conference, pp. 322~325

보론강 판재 시편의 가열-급냉 공정에서의 열변형 해석 및 실험

권태하¹ · 서창희[#] · 최현열² · 안우현² · 하동수² · 문원식²

Thermo-mechanical Simulation and Experiment of Boron Steel Sheet during Heating and Rapid Cooling

T. H. Kwon, C. H. Suh, H. Y. Choi, W. H. An, D. S. Ha, W. S. Moon

Abstract

Water quenching is one method of cooling after hot forming, which is presently being used for the manufacturing of automobile parts. The formed parts at room temperature are heated and then cooled rapidly in a water bath to produce high strength. The formed parts may undergo excessive thermal distortion during the water quench. In order to predict the distortion during water quenching, a coupled thermo-mechanical simulation is needed. In the current study, the simulation of heating and cooling of boron steel sheet was performed. The material properties for the simulation were calculated from JMatPro, and the convective heat transfer coefficient was obtained from experimental tests. The results show that the thermal distortion and the residual stresses are well predicted by the coupled simulation.

Key Words : Boron steel sheet(보론강 판재), Heating(가열), Rapid cooling(급냉), Thermal distortion(열변형)

1. 대구기계부품연구원

2. ㈜화신정공

교신저자: 대구기계부품연구원, E-mail:suhch@dmi.re.kr

자동차 부품의 용접 열변형 예측 및 비교

이승규¹ · 최현준² · 박종규² · 김현영[#]

A comparison and Prediction for Welding of Automotive Parts

S.K. Lee, H.J. Choi, J. K. Park, H. Y. Kim

Abstract

산업 현장에서 재료를 접합하는 방법으로 용접, 볼팅, 압접 등을 사용하고 있다. 용접은 고온의 열을 가하고 냉각시켜 두 물체를 접합하는 방법이다. 이 과정을 겪으면서 잔류응력(residual stress) 및 열변형(thermal stress)을 동반하게 된다. 잔류 응력은 내구성 저하로 구조적 안전성에 대한 문제가 발생하며, 열변형은 치수오차로 인해 초기 결함이 될 수 있다. 이 문제점을 해결하기 위해서는 용접 순서(welding sequence), 열용량(heat input), 지그 위치(clamping), 등을 수정하여 용접을 실시하는 방법과 용접 후에 열처리를 통하여 잔류응력을 해소 시키는 방법이 있다. 하지만 용접 순서, 열용량, 지그 위치 등을 수정 하여 용접을 여러 번 시도하기에는 많은 비용과 시간을 필요로 한다. 따라서 초기 설계 단계에서 컴퓨터를 이용한 예측을 통하여 실제 용접에 접목 시키는 방법을 주로 사용하고 있다. 그 중 상용 용접 프로그램인 SYSWELD, Weld Planner를 이용하여 용접 열변형을 예측하여 실제 모델과 비교하였다. 본 연구는 ARC 용접을 이용한 실제 모델과 용접 모사해석을 실시 하여 두 프로그램과 실제 용접과 비교하여 앞으로의 심층적으로 보아야 할 부분과 차후 연구 내용을 제시 하고자 한다. 용접 모사해석은 실제 용접과 동일한 조건(지그 위치, 냉각조건, 열용량, 용접순서)을 이용하여 진행 하였으며, 두 프로그램간의 FEM간의 신뢰성 확보를 위해 겹치기 이음(lap joint) 모델을 사용하여 두 프로그램의 열변형 예측 값을 비교 후 최적의 FEM을 사용하였다. 실제 모델과의 비교를 위해 결착 점(hard point)을 정하여 모사 해석한 모델과 비교하였다.

후 기

이 논문은 2015년도 한국연구재단 BK21플러스 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(강원대학교, No. 22A20130012864)

Key Words : ARC Welding(ARC 용접), Thermal Deformation(열변형), 겹치기 이음(lap joint), 수치 해석(numerical simulation)

1. 강원대학교 기계의용공학과

2. Hawsin

교신저자: 강원대학교 기계의용공학과

E-mail: khy@kangwon.ac.kr

입열량을 통한 고강도강의 점용접 강도 및 연신을 분석

박승연¹ · 이현철^{1*} · 김민근¹ · 이경민¹ · 최현범² · 김병호² · 송종호¹

Analysis of Spot-welding Strength and Elongation for High-Strength Steel through Heat Input

S. Y. Park, H. C. Lee*, M. G. Kim, G. M. Lee, H. B. Choi, B. H. Kim, J. H. Song

초록

자동차에서 배출되는 유해가스로 인한 환경오염과 화석연료의 고갈로 친환경 자동차 개발이 주목 받고 있다. 친환경 자동차 개발을 위한 방법으로 경량화를 통한 자동차 연비 향상이 주목 받고 있으며, 차체에 고강도강을 적용한 경량화 사례가 증가하고 있다. 이에 따라 다양한 접합방법이 검토 되고 있는데, 본 연구에서는 대표적인 접합방법 중 하나인 점용접을 적용한 고강도강의 용접 강도 및 신율 패턴을 인장시험을 통하여 분석하였다. 용접 주요 변수인 통전시간과 전류로부터 입열량을 계산하고 계산된 입열량과 용접 강도 및 연신율과 관계를 고찰하였다. 결과적으로 입열량에 따른 용접강도 및 연신율 변화를 예측하는 모델을 제안하였으며, 제안된 모델은 기존 실험계획법에 기반한 회귀방정식에 비하여 정확도 면에서 더 우수한 결과를 보임을 확인할 수 있었다.

Abstract

Because of environmental pollution by vehicle exhaust gas and eventual oil depletion, development of green car becomes more critical. One of major approach for improving fuel efficiency is mass reduction by applying high-strength steel and application of high-strength steel is getting increased. Accordingly, various assembling method were studied. In this study, joint strength and ductility of spot-welding which is major welding method for high-strength steel were analyzed through tensile test. The heat input was calculated from electric current and duration and the relationship between the heat input and joint strength and ductility was investigated. Finally, prediction model based on the heat input was suggested and the model shows more precise prediction than general regression equation model based on design of experiments.

Key Words : Spot Welding, Joint Strength, Ductility, Heat Input, High-Strength Steel

1. 자동차부품연구원 소재융합연구센터

2. ㈜호원

이현철: 자동차부품연구원, E-mail: hclee@katech.re.kr

핫프레스 금형 냉각채널 유동해석과 설계개선

한영현^{1#} · 이경훈¹ · 서창희² · 이재진³ · 임용희³

CFD Simulation and Design Improvement of Cooling Channels of Hot Press Forming Die

Y. H. Han, K. Lee, C.H. Suh, J.J. Lee, Y.H. Lim

Abstract

An approach of design improvement for uniform cooling of cooling channels of hot press forming (HPF) dies is presented. The approach is based on CFD simulation and analysis of relative velocity of sectional velocity profiles. Potential problematic regions in cooling channels that can potentially cause irregular cooling can be quickly identified merely through velocity simulation of cooling channels. Two types of widely-used HPF dies that are really used in shop flows are investigated and suggestions of design improvements for them are illustrated with some examples.

Key Words : Hot Press Forming (HPF), Cooling Systems, Velocity, Gun-drill type, Pocket-type , channel design improvement

1. 서 론

최근 자동차산업에서 경량화, 고강도화의 추세로 점점 핫프레스 포밍으로 성형한 부품의 사용이 늘어나고 있다. 핫프레스 포밍은 고강도 철강 소재를 약 900℃정도로 가열한 후 금형을 사용하여 성형하는 동시에 소재를 냉각시켜 초고강도 특성을 얻는 공법이다. 핫프레스 포밍 기술의 핵심은 금형을 사용한 성형과 냉각분야이다. 특히, 이 성형 공정에서 가장 시간을 차지하는 부분이 냉각시간이다. 예를 들면, 성형은 약 1초 내외로 완료되지만, 성형 후 금형 및 소재의 냉각에 보통 7~10초 정도 소요된다. 또한, 성형 후 변형 저감을 위해서는 균일한 냉각을 통하여 제품의 치수정밀도를 확보해야 한다. 따라서, 제품을 성형하면서 짧은 시간 내에 균일한 냉각이 이루어지는 것이 가장 중요하다.

이런 목적을 위해서 본 연구에서는 기존 설계된 냉각채널에 대해 CFD 유동해석을 수행하여

냉각 채널 설계에서 문제점을 파악하고, 금형과 소재의 균일한 냉각 성능을 확보할 수 있는 설계 개선 방안을 제시한다.

2. 연구 내용과 방법

냉각 채널의 냉각 성능을 가장 잘 파악하기 위해서는 냉각채널의 냉각수와 소재, 금형의 열전달을 동시에 해석하여 실제 소재의 냉각되는 온도를 시뮬레이션해 보는 것이 좋다. 하지만, 이 방법의 단점은 냉각수, 소재, 금형 등 3가지 상을 포함하여 3-Phase 해석을 실시해야 하므로 해석 시간이 오래 걸려 빠른 시간에 결과를 얻어 실제 설계에 적용하기 힘들다는 단점이 있다.

일반적으로, 냉각수의 유속이 빠르면 대류 열전달 계수가 커져서 신속한 냉각이 가능하다. 본 연구에서는 이 일반적 원리에 근거하여 금형 채널의 냉각수의 상대적 유속 분석을 통하여 냉각 성능을 평가하고 유속이 저하되는 곳을 찾아 문제점의 원인 분석 및 채널 형상 수정 등의 개선안을 도출하는 방법을 제안하였다.

1. ㈜솔루션랩, 2. 대구기계부품연구원

3. 신화

교신저자: ㈜솔루션랩, E-mail:yhhan@solution-lab.co.kr

3. 건드릴 타입 냉각 채널 해석

3.1 해석 모델

건드릴 타입의 냉각채널이 Fig. 1에 나타나있다. 금형 블록의 내부에 금형 표면을 따라 직선형으로 냉각채널이 구성되어 있다.

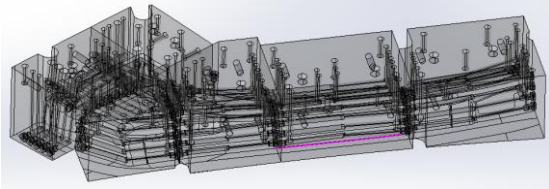


Fig. 1 Hot press die and cooling channels

이 금형에서 내부 냉각 채널 부분을 추출하여 유동 해석 모델을 구성하면 Fig. 2와 같다.

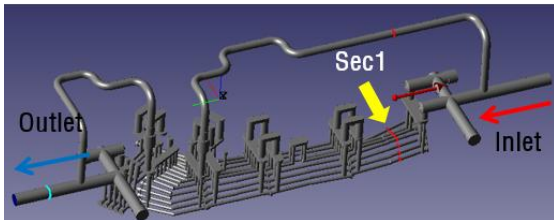


Fig. 2 Gundrill-type cooling channels

해석 모델 및 경계조건은 Fig 3에 나타나 있다.

◆ 입구: 3.3 bar	◆ 출구: 1 bar
◆ 수학 모델: 뉴우턴 유체, 난류 (standard k-ε mode)	

Fig. 3 Boundary conditions and simulation model

CFD 소프트웨어는 FlowVision을 사용하였다. 해석용 메쉬는 초기 그리드만 지정하면 유동 해석 소프트웨어에서 자동으로 생성되는데, Fig. 4에 자동 생성된 해석 메쉬가 나타나 있다. 약 51만개의 메쉬가 해석에 사용되었는데, 메쉬 자동 생성 시간은 약 1분 정도 소요되었다. 해석 시간은 Intel Core i7-2600 3.4GHz, 64bit 장비에서 완전 수렴까지는 약 12 시간 소요되었다. 하지만, 본 연구에서와 같이 상대적 속도를 비교하는 목적이면 30분~1시간 정도의 해석이면

채널 간 상대적 속도 분포가 완전히 드러나기 때문에 완전 수렴까지 기다릴 필요는 없다.

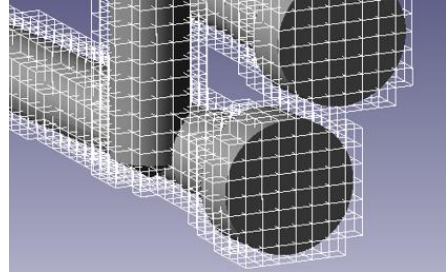


Fig. 4 Automatically-generated meshes

3.2 해석 결과 및 설계 개선

시뮬레이션을 실시하여 부분 수렴 또는 완전 수렴한 후에 원하는 단면의 속도 분포를 조사하면, 냉각 성능에 문제가 되는 부분을 파악하여 원인 분석을 하고 개선안을 도출할 수 있다.

Fig. 2의 Sec1에서의 단면속도 분포가 Fig. 5에 나타나 있다. 여기에서 영역 A와 B의 속도가 상대적으로 낮게 나오는 것을 알 수 있다.

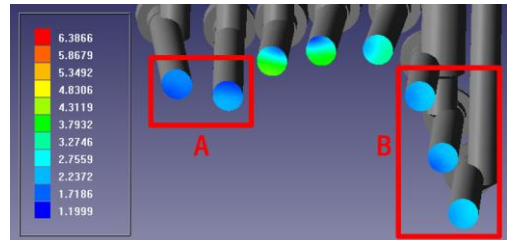


Fig. 5 Velocity plot of Sec1 (sectional view)

먼저, 영역 A 전후의 채널 형상이 Fig. 6에 나타나 있다. 이를 살펴 보면 영역 A의 출구 쪽에 해당하는 영역 a에서 2개의 채널이 합쳐지는 형상이라 유동 저항이 발생하여 유속이 저하됨을 추론할 수 있다. 따라서, 냉각수의 원활한 유동을 위해서는 출구부의 채널의 직경을 크게 할 필요가 있다.

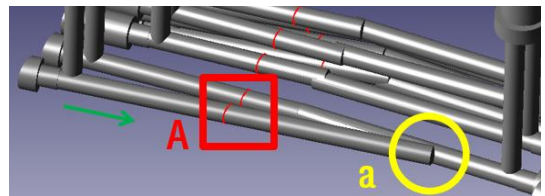


Fig. 6 Cooling channels around region A

다음으로, 영역 B 전후의 채널 형상이 Fig. 7에 나타나 있다. 영역 B의 입구 쪽에 해당하는 영역 b1에서 2개의 채널로 분기되는 형상이라 공급 유량이 적어져서 유속이 저하됨을 추론할 수 있다. 또한, 영역 B의 출구 쪽에 해당하는 영역 b2에서 2개의 채널이 합쳐지는 형상이라 유동 저항이 발생하여 유속이 저하된다. 위의 2가지 요인이 복합적으로 작용하여 영역 B에서 유속이 현저히 저하됨을 알 수 있다. 현재 설계에서도 영역 b1과 b2의 채널 직경이 주위보다 좀더 크게 설계되어 있지만, 복합적인 요인에 의해 유속 저하가 발생하므로 채널 직경을 더 크게 설계할 필요가 있다.

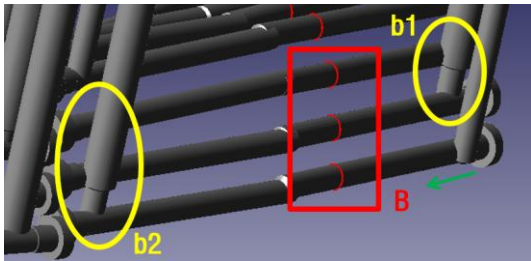


Fig. 7 Cooling channels around region B

4. 포켓 타입 냉각 채널 해석

4.1 해석 모델

포켓 타입의 냉각채널이 Fig. 8에 나타나 있다. 금형 블록의 내부에 금형 표면을 따라 곡선형으로 냉각채널이 구성되어 있어, 제품의 형상이 복잡한 곡면으로 이루어진 경우에 많이 사용된다.

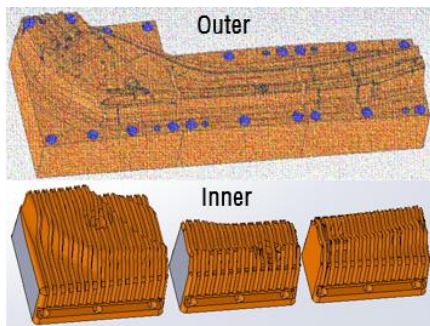


Fig. 8 Pocket-type hot-press die

이 금형에서 냉각수가 흐르는 내부 채널의 형상을 추출하여 Fig. 9와 같이 유동해석 모델을 구성하였다. 해석용 메쉬는 약 71만 개인데, FlowVision에서 자동 생성하는데 약 4분 정도 소요되었다. 경계 조건과 해석 조건은 앞서 설명한 건드릴 타입과 동일하다.

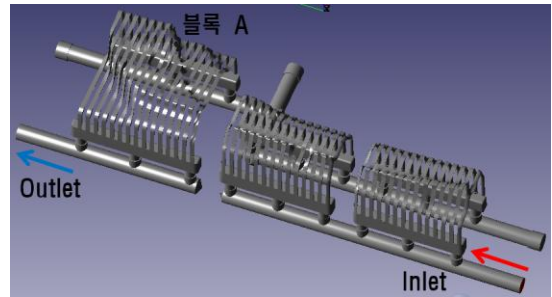


Fig. 9 Pocket-type cooling channels

4.2 해석 결과 및 설계 개선

Fig. 9에서 블록A의 단면속도 분포가 Fig. 10에 나타나 있다. 여기에서 채널 A-8에서 냉각수의 속도가 상대적으로 낮게 나오는 것을 알 수 있다.

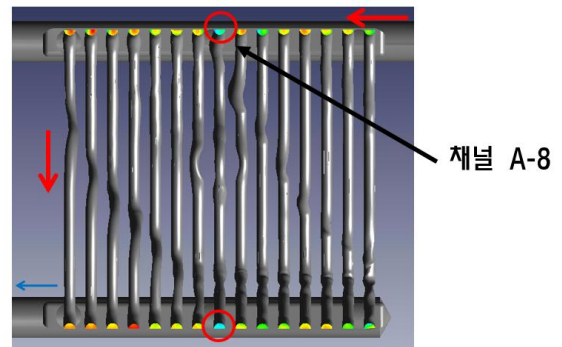


Fig. 10 Velocity plot of Block A (sectional view)

채널 A-8을 따라 형상을 잘 살펴 보면 Fig. 11에 원형으로 표시된 부분에서 급격히 채널의 단면 면적이 감소하는 것을 알 수 있다. 이 부분에서 유속은 빨라지지만, 채널 전체를 놓고 볼 때는 유동 저항을 발생시켜 전체 평균 유속을 저하시키는 역할을 한다. 따라서, 냉각수의 원활한 유동을 위해서는 전체 채널의 단면적이 균일해지도록 각 채널의 포켓을 가공하는 것이 좋다.

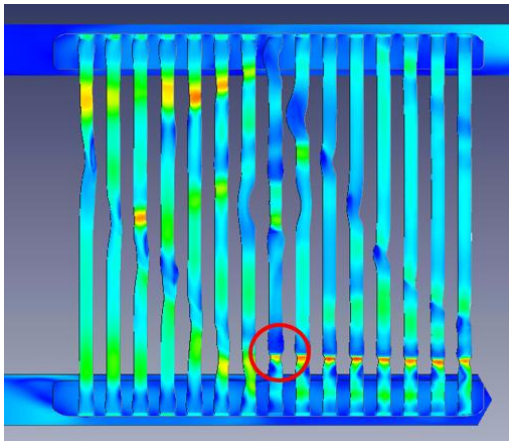


Fig. 11 Velocity plot of Block A (surface velocity)

냉각채널의 속도 분포로부터 냉각 성능을 추론하는 것이 실제 금형과 냉각채널을 함께 고려한 다상 해석의 결과와 어떤 연관 관계가 있는지 간단히 다음과 같이 고찰해 보았다.

Fig 12는 냉각채널만의 유동해석을 통해 얻은 냉각수의 속도 분포이다. 이 그림에서 비교해보면 블록 A에서 냉각수의 속도가 다른 두 블록보다 상대적으로 빠른 것을 알 수 있는데, 유속과 열전달 계수의 관계에서 유추해 보면 블록 A에서의 열전달이 더 잘되어 금형이 더 빨리 냉각될 것이라고 추론할 수 있다.

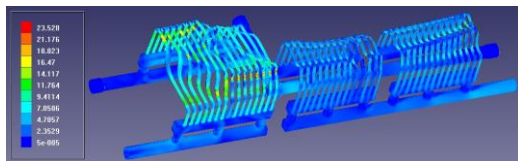


Fig. 12 Velocity plot (surface velocity)

Fig. 13은 금형과 냉각채널을 함께 고려하여 시뮬레이션한 경우이다. 편의상 금형의 초기 온도는 500도로 하였고, 냉각수를 10초 동안 유입시켰을 때의 금형의 온도 분포도이다. 여기에서 블록 A의 표면 온도가 더 낮은 것을 알 수 있다.

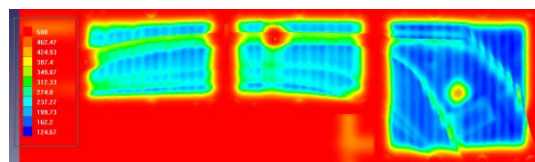


Fig. 12 Surface temperature plot

4. 결 론

본 연구에서는 CFD 시뮬레이션 기법을 이용하여 금형의 냉각 채널의 유동해석을 실시하고 금형 및 소재의 균일한 냉각을 위한 문제점 파악 및 냉각 채널 형상 수정 등 설계 개선을 할 수 있는 방법을 제시하였다.

복잡한 금형 채널을 설계자가 직접 보면서 설계의 문제점을 파악하는 것은 숙련된 설계자라도 쉽지 않은 이이다. 특히, 건드릴 타입의 경우는 채널이 서로 교차하며 합쳐지고 분리되는 곳이 많이 서로 간의 영향을 설계자가 직관적으로 평가하는 것은 거의 불가능하다.

금형, 소재 및 냉각수를 모두 포함하여 열전달과 유동해석을 동시에 진행하는 다상해석은 시간이 너무 많이 걸리기 때문에 실제 설계 단계에서 적용하기에는 한계가 있다. 본 연구에서 제시한 방법을 사용한다면 빠른 시간 내에 유동해석을 수행하고 그 결과를 분석하여 실제 설계에 반영할 수 있다는 장점이 있다.

추후에는 논문에서 제시된 설계 개선안들에 대해 추가해석을 실시하여 실제 냉각수의 유속 저하가 개선됨을 확인할 예정이다. 또한, 설계 개선과 냉각 성능의 개선 사항들을 축적하여 추후 냉각 채널 설계의 가이드라인을 구축할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] H. K. Versteeg, W. Malalasekera, 2007, An Introduction to Computational Fluid Dynamics.
- [2] 김현수, 정휘권, 한병윤, 박형구, 2012, 사출금형의 병렬 냉각 채널 설계, 한국전산유체공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 471~474.
- [3] 박창현, 박정민, 최재혁, 이병옥, 최동훈, 2012, 사출금형의 균일 냉각을 위한 냉각회로의 다중목적함수 최적설계, 한국기계학회 논문집, 제20권, 제1호, pp. 124~130.
- [4] 이승열, 이경훈, 임용희, 정우창, 2012, 핫프레스 포밍 금형 냉각능력 평가, 한국자동차공학회 학술대회, pp. 2104~2108.

블룸 압연공정 중 내부 기공압착의 유한요소해석

엄재근¹ · 김민철¹ · 손일현² · 전만수[#]

Finite Element Analysis of Internal Pore Closing in Rolling Bloom

J. G. Eom, M. C. Kim, I. H. Son, M. S. Joun

Abstract

In this paper, three-dimensional finite element approach of simulating the closing phenomena of tiny pore defect inside the initial bloom, which were supposed to be formed during continuous casting process of the base material. The initial spherical shape of cavity is traced. Because of smallness of the cavity compared to the size of bloom, a special local meshing or remeshing capability is applied. It has been found that the pore closing speed is quite slow and the effective strain at the pore closing is relatively high, which is supposedly due to relative low hydrostatic pressure in rolling.

Key Words : English Key Word: Internal Cavity(내부기공), Blooming Rolling(블룸 압연), Spherical Shape Cavity(구형 기공), Pore Closing(기공 닫힘)

1. 서 론

소성가공의 목적은 양질의 기초소재의 생산과 부품의 생산으로 나누어 볼 수 있다. 이러한 활동이 하나의 회사에서 이루어지기도 하지만, 대체적으로 분리되어 있다. 기초소재의 제조 과정에서 품질을 좌우하는 주요 요소 중의 하나가 내외부 결함의 정도이다. 소재가 가져야 하는 기계적 및 재료학적 성질은 기본이고, 치수뿐만 아니라 부품 제조 과정에서의 무결함의 발생 및 사용 중의 내구성 등에 대한 요구 강도가 높아지고 있다.

기초 소재의 생산 과정에서 내부 기공의 개제 가능성을 완전히 없앨 수가 없다. 잉곳(Ingot), 블룸(Bloom), 슬라브(Slab) 등의 대형 원소재의 생산에서 불가피하게 개입될 수 있는 내부 기공은 후속된 압연 공정 또는 업세팅(Upsetting) 및

코깅(Cogging) 공정에서 압착되는 것으로 알려져 있다. 내부 기공은 품질을 좌우하는 요소이므로 내부 기공의 압착 현상의 이해는 매우 중요하다.

그러나 실험과 이론해석의 한계성으로 인하여 이에 관한 연구는 원활하지 않다. Lee 등은 기공 압착해석 목적에 적합한 요소망재구성 기법 [1]을 활용하여 업세팅 공정 중 기공의 압착과정을 해석하였으며, 이 기법은 반경단조 및 코깅공정의 기공압착 공정의 해석 목적으로 적용되었다 [2]. 선행연구 결과, 업세팅공정, 코깅공정, 반경단조공정 모두 기공압착에 따른 정수압의 큰 변화가 발생함으로 확인하였고, 위치에 따라 차이는 있지만, 기공압착에 필요한 임계변형률이 존재함을 확인하였다.

이 연구에서는 대형 블룸 압연공정 중 내부의 미소 기공의 압착 과정을 국부 요소망 기술을 이용하여 해석을 실시함으로써 실험으로 밝히기가 불가능한 미소 기공 압착 현상의 이해를 돕고자 한다.

1. ㈜에프알씨

2. POSCO연구소 선제연구그룹

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

2. 본 론

Fig. 1은 이 연구의 대상인 bloom 압연공정의 롤(Roll)을 나타내고 있으며 롤의 중심부 직경은 1340 mm이다. Table 1은 두 개의 패스(Pass)에 대한 정보를 나타내고 있다. Fig. 2는 소재의 형상과 초기의 내부 기공의 위치 및 크기를 나타내었다. 결함은 직경이 0.1 mm인 구형상으로 결함의 중심 위치는 표면으로부터 10.0 mm깊이에 있다. bloom의 크기가 700 x 200 x 250 mm이며 형상 크기의 차이가 매우 크기 때문에 국부 극단 요소조밀화 기법의 적용이 불가피하다. 이 연구에서 Fig. 3에서 보는 바와 같은 국부 극단 요소조밀화 기법을 적용한 결과를 나타내었다.

bloom 압연 공정은 두 개의 패스로 구성되어 있는 패스스케줄은 순방향 압연 패스 이후의 역방향 압연 패스로 구성된다. 각 패스에서의 단면감소율을 Table 1에 나타내고 있다. 등온해석 조건으로 해석을 실시하였다.

소재의 유동응력은 Fig. 4에 나타내었다. 사용된 공정 조건은 다음과 같다.

-쿨롱마찰계수: $\mu = 0.3$

-롤의 회전속도: 35 rpm

Fig. 5와 Fig. 6에 각각 패스 1과 2의 결함 변형 이력을 나타내었다. 그림에서 x-방향은 압연진행 방향이며, 압하력이 작용하는 방향을 y-으로 정하였다.

Table 2와 Table 3에 시간이 경과함에 따른 결함의 형상의 변형 이력을 x, y, z방향의 길이로 나타내고 있다. Table 2는 패스 1의 정보를 나타내고 있으며 Table 3은 패스 2의 정보 나타내고 있다.

표면 결함과는 달리 내부 형상의 변화가 상대적으로 작게 나타났다[3]. 그리고 결함이 사라지는 시점에서의 변형률은 약 0.8에 이르렀다. 정수압의 크기는 유동응력에 비하여 약 1.2배이다. 이것은 타 공정에 비하여 다소 작은 수치이다[1, 2].

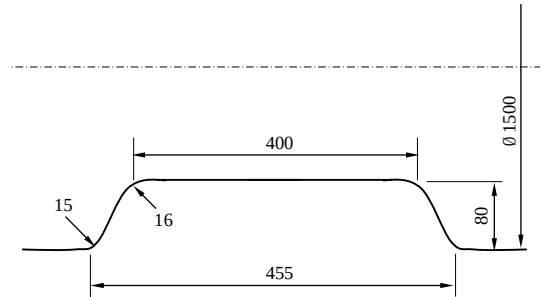


Fig. 1 Roll geometry

Table 1. Process information

	Gap [mm]	Height of workpiece [mm]	Width of workpiece [mm]	Reduction of area [%]
Pass 1	258	418	418.9	12.4
Pass 2	172	332	438.6	16.8

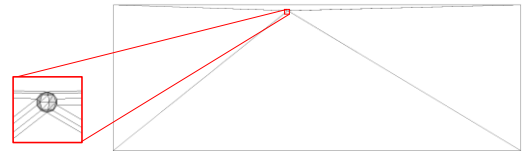


Fig. 2 Bloom and an internal spherical cavity.

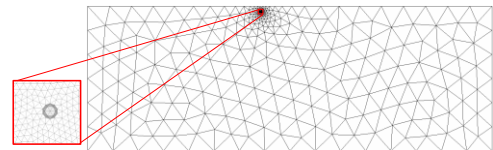


Fig. 3 A typical mesh system used for simulating the cavity closing phenomena

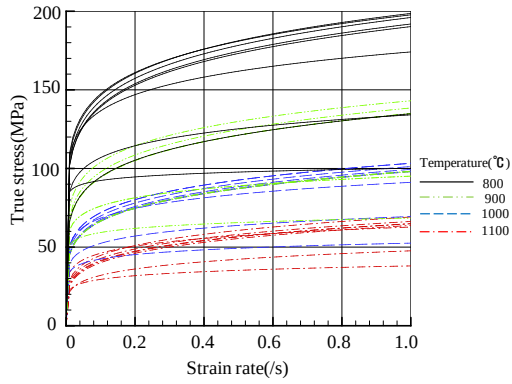


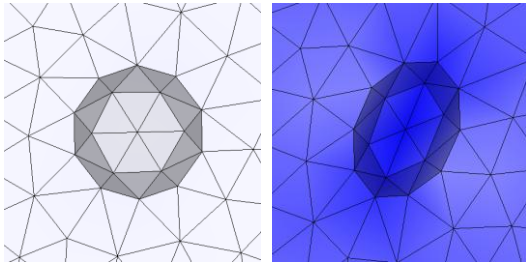
Fig. 4 Flow stress of the material used

Table 2. Variation of major geometries in Pass 1

t	0.185	0.217	0.249	0.277	0.307	0.345
Dx	0.094	0.078	0.082	0.085	0.090	0.093
Dy	0.100	0.100	0.080	0.070	0.064	0.062
Dz	0.095	0.090	0.085	0.087	0.087	0.088

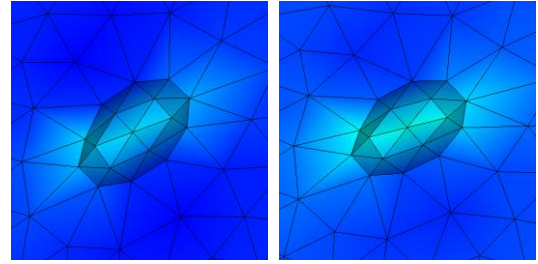
Table 3. Variation of major geometries in Pass 2

t	0.854	0.878	0.903	0.931	0.979
Dx	0.095	0.094	0.108	0.113	0.114
Dy	0.061	0.061	0.035	0.023	0.019
Dz	0.088	0.087	0.085	0.052	0.051



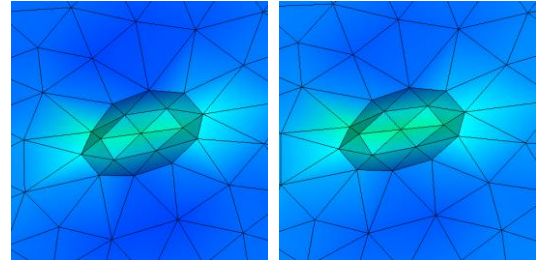
(a) $t = 0.185$ s

(b) $t = 0.217$ s



(c) $t = 0.249$ s

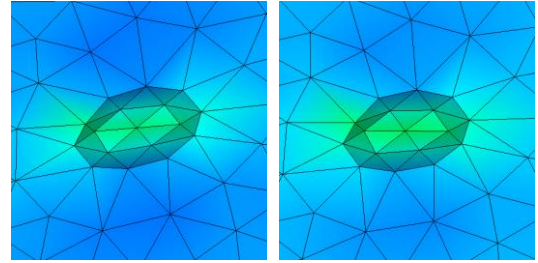
(d) $t = 0.277$ s



(e) $t = 0.307$ s

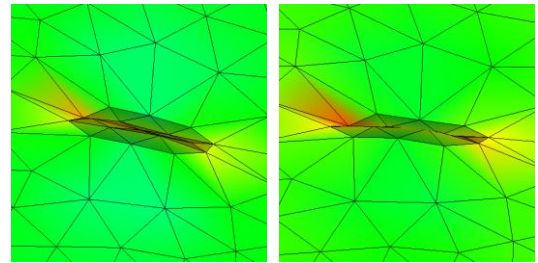
(f) $t = 0.345$ s

Fig. 5 History of deformation of the cavity in Pass 1



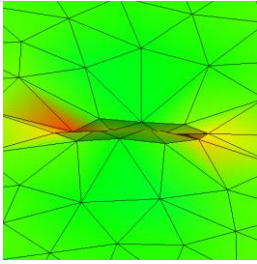
(a) $t = 0.854$ s

(b) $t = 0.878$ s



(c) $t = 0.903$ s

(d) $t = 0.931$ s



(e) $t = 0.979$ s

Fig. 6 History of deformation of the cavity in Pass 2

3. 결 론

이 논문에서는 블룸 제조과정 중 발생하는 내부 공극의 변형과정을 해석하였다. 이 해석을 위하여 극한 요소망생성 기법을 적용하였다.

압연공정에서 정수압의 크기는 타 공정에 비하여 다소 작다. 공정의 특성상 압축력을 이용하여 길이 방향의 변형을 야기시키기 때문이다. 이러한 이유로 기공 압착에 소요되는 시간과 유효변형률이 비교적 크게 나타났다.

후 기

본 연구는 POSCO와 BK PLUS사업의 지원을 받아 수행한 연구임.

참 고 문 헌

- [1] M. C. Lee, J. H. Cho, I. S. Choi, S. M. Jang, M. S. Joun, 2008, Finite element simulation of a pore closing process during upsetting in open die forging, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., pp. 79~83.
- [2] S. H. Kim, M. C. Lee, S. M. Jang, J. G. Eom, M. S. Joun, 2010, Comparative study on pore closing in open die forging by conventional forging press and radial forging machine, Trans. Mater. Process., Vol. 19, pp. 399~404.
- [3] C. H. Nam, H. T. Jin, I. H. Son, M. S. Joun, 2014, Deformation history tracking of a pinhole defect in rolling, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., pp. 117~120.

0.2~0.3T_m 온도 구간에서의 공석강 냉간 신선재의 소성변형 율속 기구

최병호¹ · 박경태¹

Rate-controlling mechanism of plastic deformation behavior of a cold-drawn pearlitic steel in temperature range of 0.2 to 0.3T_m

B. H. Choi, K. T. Park

Abstract

공석강 냉간 신선재는 전력 송전 cable 을 지탱하는 강화재 역할을 한다. 기존 송전 cable 의 사용온도는 대기복사, 기후 변화, 송전 저항열 등에 의해 약 150 C 에 이르며, 최근 송전량이 증가함에 따라 cable 의 온도는 약 250 C 까지 증가할 것으로 예측된다. 하지만, 이와 같은 낮은 온도범위에서 공석강 냉간 신선재의 소성변형에 대한 연구는 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 0.2~0.3T_m 온도범위에서 공석강 냉간 신선재의 소성변형 율속 기구에 대해 조사하고자 하였다. 미세조직 제어를 위해 1000 C 에서 10 분 austenizing 후 550 C 의 염욕에서 10 분동안 등온변태 처리한 시편에 대해 13mm 에서 7.68mm($\epsilon=1.05$)까지 pass 당 20%의 단면 감소율로 냉간 신선하였다. 공석강 신선재의 소성변형 거동을 알아보기 위해 200, 225, 250 C 온도에서 일정 하중 하에서 $10^{-9} \sim 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 의 변형속도로 인장 creep 실험을 행하였다. 소성변형 율속 기구는 power law creep 과 열적 활성화 소성변형 모델들을 적용하여 분석하였다. Power law creep 을 이용하여 분석한 소성변형 율속 기구는 잘 알려진 소성변형 기구보다 높은 활성화에너지 값으로 인해 적용이 어려웠다. 열적 활성화 소성변형 모델 중 lattice resistance control 모델을 이용하여 계산된 0 K 유동응력은 pure α -iron 과 비교하여 거의 유사하였고, 활성화에너지 값은 kink 핵생성에 요구되는 활성화에너지 값보다 높게 나타났다. 이는 cementite 효과를 설명할 수 없어서 적용이 어려운 것으로 판단되었다. 반면, obstacle control 모델을 이용하여 계산된 활성화에너지 값은 전위숲 극복에 요구되는 활성화에너지 값과 거의 유사하였고, 0 K 유동응력은 pure α -iron 과 비교하여 1 order 높게 나타내었으며, 이는 cementite 효과로 인한 것으로 판단되었다. 따라서 저온에서의 소성변형 모델은 obstacle control 모델이 적합한 것으로 판단되었다.

Key Words : Eutectoid steel, Cold-drawn, Deformation, Creep, Constitutive equation

1. 한밭대학교 신소재공학부

교신저자: 한밭대학교 신소재공학부,

E-mail: ktpark@hanbat.ac.kr

품질 향상을 위한 냉간 인발 다이스 설계

이승훈^{1#} 유국종¹ 박재종¹

A design of cold drawing Dies for improved quality

S. H. Lee, K. J. Yoo , J. J. Park,

Abstract

This paper presents on the influence of drawing dies (especially semi-die angle and total length of WC tip) in drawn bar on residual stresses were investigated using FE-analysis. In this study, semi-die angle and length of WC tip reduction have a significant effect on the residual stresses at the surface of drawn bar. In this study, long length dies was applied in comparison with the previous. As a result, could change the conditions of the dies internal geometry design easily. (Changing conditions are as follows - Semi-die angle and Approach length. It can be reduce Δ -parameter value) Low semi-die angle and long approach length of drawing dies operation reduces surface residual stresses after drawing Furthermore it was confirmed that the increasing of wear life tool also.

Key Words : Δ -parameter, Drawing dies, WC, Residual stresses, Semi-die angle , Approach length

1. 현대중합특수강

신선 와이어 잔류응력 평가

이상곤^{1,#} · 정명식¹ · 이재욱¹ · 김다혜¹ · 조용재¹ · 황선광¹ · 이인규¹ · 김병민²

Evaluation of Residual Stress of Drawn Wire

S. K. Lee, M. S. Jeong, J. W. Lee, D. H. Kim, Y. J. Cho, S. K. Whang, I. K. Lee, B. M. Kim

Abstract

신선 공정은 연속으로 배치된 여러 개의 다이를 통과 시켜 직경이 작은 와이어를 제조하는 대표적인 소성가공 공정이다. 신선 시 와이어의 변형량 불균일 및 온도 등의 영향으로 와이어에는 잔류응력이 발생한다. 일반적으로 압축잔류응력의 경우 기계적 성질을 향상시키는 효과가 있지만 인장잔류응력의 경우 탄성한계 감소, 항복 및 강도 저하, 내구성 저하 등 기계적 성질에 악영향을 미치게 된다. 특히, 신선된 와이어의 표면에 발생하는 인장잔류응력은 제품 품질에 악영향을 미치기 때문에 잔류응력 완화가 매우 중요하다.

본 연구에서는 유한요소해석을 이용하여 고탄소강 신선 와이어의 잔류응력을 예측하였다. 유한요소해석을 통해 주요공정변수가 잔류응력에 미치는 영향을 평가하였으며, 잔류응력 완화 방안을 제안하였다. 잔류응력은 신선 소재의 물성치에 많은 영향을 받는다. 본 연구에서는 잔류응력 발생 메커니즘과 소재의 유효응력-변형률 관계를 이용하여 와이어 잔류응력 예측 모델을 제안하였다.

또한, 고속 신선공정의 경우 선재와 다이의 마찰에 의한 발생열도 잔류응력에 영향을 미친다. 마찰열 잔류응력에 미치는 영향을 평가하기 위하여 유한요소해석을 수행하였으며, 마찰 발열을 고려한 잔류응력 예측 모델을 제안하였다. 제안된 모델의 타당성은 실험 및 잔류응력 측정을 통해 평가하였다.

1. 한국생산기술연구원 극한제조기술그룹

2. 부산대학교 기계공학부

교신저자: 한국생산기술연구원 극한제조기술그룹, E-mail: sklee@kitech.re.kr

초합금 디스크 부품의 열처리 잔류응력 예측을 위한 전산모사 연구

곽은정^{1#} · 강경필¹ · 홍성석² · 우완측³

Study on Numerical Simulation of Heat Treatment for the Estimation of Residual Stress in Turbine Disk of Superalloy

Eun-jeong Kwak · Gyeong-pil Kang · S. S. Hong · Wan-Chuck Woo

Abstract

The turbine disk is exposed to a high temperature and high pressure environment. The residual stress needs to be controlled below certain level to ensure the high reliability during the service. The residual stress is developed mostly during the heat treatment of quenching and aging. The numerical simulation of heat treatment process can be a useful tool to optimize the material property and process condition. In this study, the heat transfer coefficients of each medium, air and oil, are obtained by experiment coupled with optimization technique and the material properties are obtained by JMatPro which calculates the high temperature material properties. The numerical simulation is performed and the estimated residual stress distribution in each heat treatment stage is shown

Key Words : Heat Treatment, Finite Elements Method, Quenching, Heat Transfer Coefficient, Nickel alloy, Aging

1. 서 론

터빈디스크는 고속 회전, 고온, 고압 등의 극한 응력을 받는 엔진 부품으로 고온 강도, 고 인성, 산화 및 내식성 등이 우수한 니켈 합금 소재를 이용한다. 터빈디스크 제품의 경우 가혹한 운용 환경에 대한 안정성이 평가되어야 하는데, 제품 내 남아 있는 잔류응력은 피로, 파손 등의 수명 뿐 만 아니라 부식에도 영향을 미치는 주요 인자이다. 이번 연구에서는 니켈 합금 분말을 열간 정수압 소결법[hot isostatic pressing]을 이용하여 제품을 성형한 후 열처리에 의한 잔류응력을 예측하기 위해 전산모사 기법을 이용하고자 한다. 열처리 전산모사를 위해서는 소재의 물성 뿐 만 아니라 열처리 공정중의 열전달 계수가 확보되어야 한다. 1차적으로 염욕로와 공냉의 열처리 조건하에서의 열전달 계수를 예측하고, 이를 이용하여 실제 제품의 열처리 후의 잔류응력을 예측하고자 한다.

2. 전산모사

2.1 열전달 계수 역추적

Φ100mm×110mm 환봉 형상의 니켈 초합금의 2개의 매질에 따른 열처리시 열전달 계수를 예측하였다.

1. ㈜솔루션랩

2. 국방과학연구소

3. 한국원자력연구원

교신저자: ㈜솔루션랩, E-mail: ejkwak@solution-lab.co.kr

염욕로와 공냉의 2가지 열처리 공정에 따른 제품의 온도변화를 측정된 데이터와 물성을 기반으로 상용프로그램인 DEFORM v11.0.2의 열전달계수 역추적 템플릿을 이용하여 반복적인 열처리 해석을 수행함으로써 실험데이터와 해석 결과의 오차를 최소화하는 열전달 계수를 예측할 수 있다.

2.1.1 염욕로 열처리시 열전달 계수 예측

염욕로 열처리 공정은 가열로에서 가열하고, 그물망 위에 소재를 올려 염욕로에서 담궈 소재를 냉각시킨다. 해석 모델은 아래 Fig. 1 (a)에서와 같이 2차원 축대칭 모델을 적용하였고, (b)와 같이 소재의 상부면과 옆면/ 바닥면을 구분하여 2개의 열전달면으로 정의하였다. (c) 염욕로 쿨링 시 소재의 위치에 따른 실험과 해석시 온도변화를 위치별로 비교하여 나타내었다.

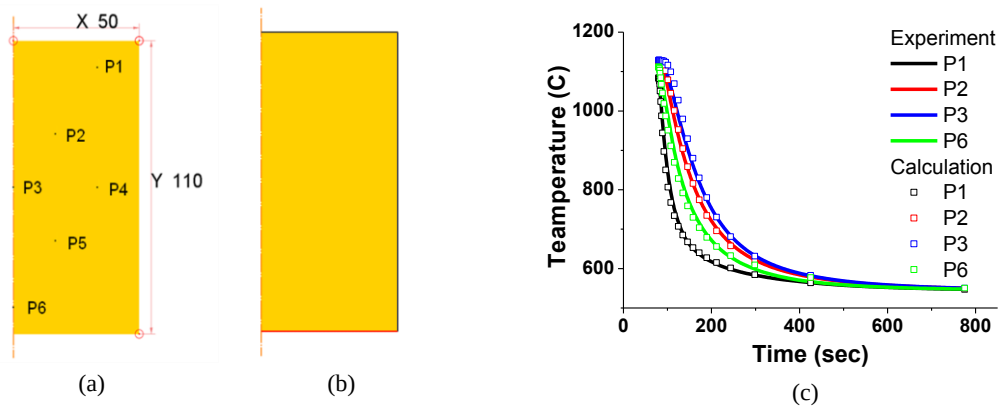


Fig.1 (a) Dimension of 2D model and location of thermocouple (b) Heat exchange plane with environment (plane 1-top and side of sample (black line)/ plane 2-bottom of sample (red line) (c) comparison of temperature during salt quenching with experiment and calculation.

2.1.2 공냉시 열전달 계수 예측

염욕로 열처리에서와 같은 크기의 소재를 가열로에서 1130도로 가열하여 상온(20도)에서 공냉시 열전달 계수를 예측한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 열전달 계수는 상부면과 옆면/ 하부면으로 2개의 열전달면에 따라 열전달 계수를 예측하였다.

2.1.3 열전달 계수 예측 결과

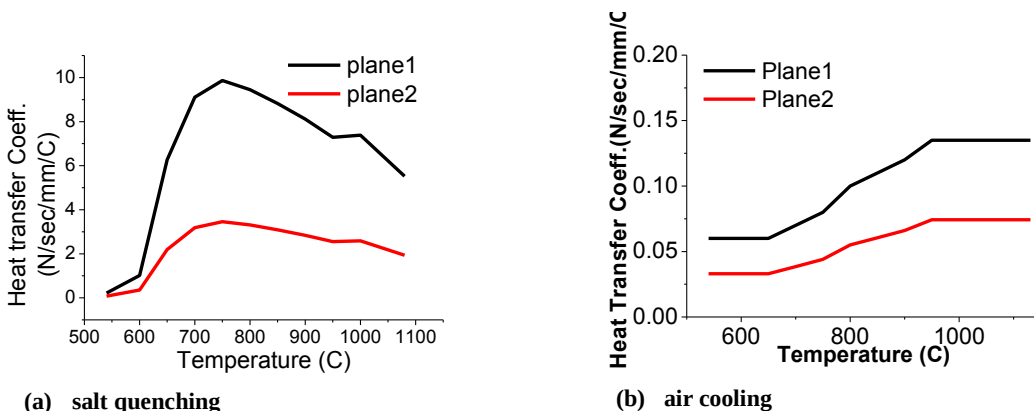


Fig. 2 Heat transfer coefficient in different mediums.

소재를 균일하게 냉각시키기 위해 염욕로에 소재를 담궈 열처리를 진행하나 소재가 망위에 올려져 담궈지기 때문에 실질적으로는 소재의 윗면과 옆면에 비해 망위에 올려진 바닥면에서의 열전달은 35% 정도로 상대적으로 작은 것을 알 수 있다.

2.2 니켈 디스크 잔류응력 예측

디스크 소재는 일반적으로 2단계의 열처리 공정을 거치는데, 1단계인 용체화 처리 과정에서는 이전의 잔류응력이 소멸하게 된다. 이후 켄칭 공정에서는 급격한 온도 기울기에 의해 열응력에 의한 잔류응력이 잔존하며, 시효 열처리 과정에서 석출상이 생성되고 잔류 응력이 완화된다. 열처리 공정에 필요한 물성은 유동응력선도, 탄성계수, 열전도도, 프와송비, 열팽창계수, 열용량, 크립 물성 등 매우 다양하다. 석출상의 생성 등에 대한 속도론도 고려해야 할 필요가 있다. 이번 연구에서는 열역학 기반 고온물성 계산 상용 소프트웨어인 JMatPRO 8.0을 이용하였고, 문헌을 참조하여[1] 유동응력선도를 계산하였다. 크립 물성을 문헌을 참조하여[2], 특정 온도에서의 크립 속도 값을 계산하여 적용하였다.

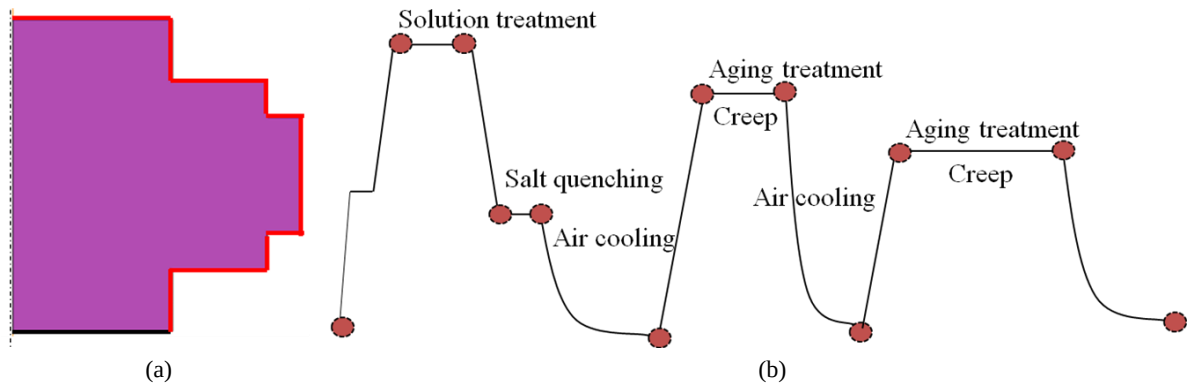
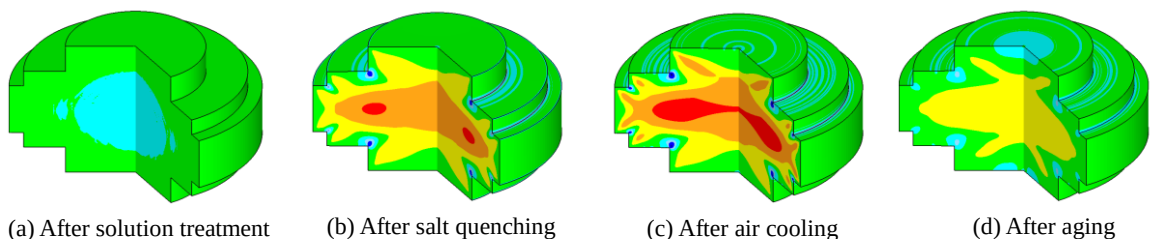


Fig.3 (a) illustration of Ni-disk shape(2D model) and heat exchange with environment plane1(red line) and plane2 (black line) (b) cycle of heat treatment

열처리시 디스크 형상은 **Fig. 3 (a)**에 나타내었고, 기존 열전달 계수 역추적에서와 같이 열전달 면은 상부면과 옆면/ 하부면으로 2개의 열전달면을 구분하여 적용하여, 2차원 축대칭 모델을 이용하여 전산모사 하였다. 니켈 초합금 디스크의 열처리 공정 프로세스는 **Fig. 3 (b)**와 같이 용체화 열처리 후 염욕로에서 켄칭하고 상온까지 공냉을 시행한다. 이후 크립을 고려한 1차 시효처리 후 공냉에 이어 2차 시효처리하고 상온까지 공냉 한다.

상용프로그램인 DEFORM v11.0.2를 이용하여 디스크 열처리 시 열처리 공정에 따른 소재 내부의 최대 주응력 분포를 **Fig. 4**에 나타내었다. 용체화 처리 후에는 예상한 바와 같이 잔류응력이 거의 없고, 온도 변화가 많은 염욕로에서 켄칭 시에 잔류응력이 많이 발생하는 것을 확인하였다. 이후 상온까지 공냉 시에 그 값이 더 커지고 시효 처리 시에는 잔류응력이 줄어드는 것을 볼 수 있다.



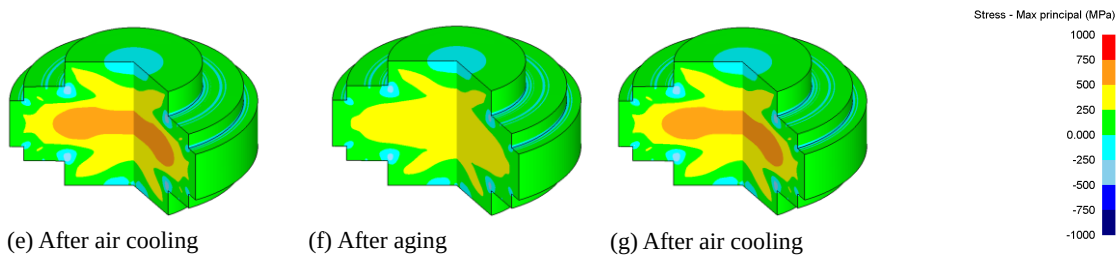


Fig. 4 Distribution of maximum principle stress

3. 결 론

본 연구를 통해 열처리시 잔류응력 변화를 예측하기 위해 열처리 조건에 따른 열전달 계수를 역추적하였고, 이를 바탕으로 실제품 디스크에 적용하여 잔류응력 분포를 관찰할 수 있었다. 니켈 초합금의 특성상 실험적으로 제품을 잘라서 관찰하기에는 비용적 측면에 한계가 있어, 비파괴 중성자 측정법을 이용하여 제품의 잔류응력을 측정할 예정에 있다. 전산 모사 해석 결과를 바탕으로 이후 진행될 비파괴 중성자를 이용한 잔류응력 측정시 주요 측정 부위를 선정할 수 있게 되었다.

후기

본 연구는 국방과학 연구소의 “디스크 소재 잔류 응력 평가 및 예측 과제”의 연구결과이다.

참 고 문 헌

- [1] Yanlin Yun, Wei-Tsu Wu, Shesh Srivatsa, S. Lee Semiatin, John Gayda, 2004, Modeling Machining Distortion of Aircraft-Engine Disk Forgings, Presented at the 9th international conference on Numerical Methods in industrial Forming Process NUMIFORM 2004
- [2] Jun Xie, Su-gui Tian, Xiao-Ming Zhou, 2013, Creep Properties and Deformation Mechanisms of a FGH95 Ni- based Superalloy, Journal of materials engineering and performance, vol 22, N7

고온용 수직형 복사관(Radiant tube)의 크립(creep) 수명 예측

이영호¹ · 이수호² · 이영석

Creep life prediction of vertical radiant tube for high temperature

Youngho Lee, Sooho Lee, Youngseog Lee

Abstract

Temperature of vertical radiant tube is raised by combustion until 1000 celsius in furnace. This study apply to FEA analysis that creep life prediction of vertical radiant tube used by this environment. Combustion analysis was processed by commercial finite element program, ANSYS14.0. Temperature, which is distributed unevenly the circumference/longitudinal direction in radiant tube, was calculated by combustion analysis. Coupled analysis of thermal-structure was processed by commercial finite element program, ABAQUS6.12. Thermal stress and deformation of vertical radiant tube were analysed by coupled analysis. Finally creep life prediction was processed by analysis of creep behavior. This study was accomplished creep life prediction used by Larson-Miller Parameter.

수직형 복사관은 로 내부에서 연소를 통해 1000°C 까지 상승한다. 본 연구는 이러한 고온의 사용환경에서 사용되는 수직형 복사관의 크립 수명 예측을 위해 FEA 해석을 하였다. 상용유한요소프로그램 ANSYS14.0을 사용하여 연소해석을 수행하였다. 연소해석을 통해 복사관이 가열될 때 복사관 내부에서 원주/길이 방향으로 불균일하게 분포되는 온도를 계산하였다. 그 다음 상용유한요소프로그램 ABAQUS6.12를 사용하여 열과 구조물의 연성해석을 수행하였다. 연성해석으로 수직형 복사관의 열변형과 열응력을 계산하였다. 최종적으로 크립 거동 해석을 통해 수명예측을 수행하였다. 본 연구는 Larson-Miller Parameter 를 사용하여 수명예측을 하였다.

Key Words : Radiant tube(복사관), Finite Element Analysis(유한요소해석), Thermal Analysis(열해석), Combustion Analysis(연소해석), Fluid Structure Interaction(FSI,), Larson-Miller Parameter

1. 중앙대학교 기계공학부

고강도 열연강재의 물성 평가 및 성형성 예측

김원재¹ · 이철환¹ · 김현기¹ · 고영우¹ · 정관수^{1#}

Material Characterization and Formability Prediction of Advanced High Strength Hot-rolled Steel Sheets

Wonjae Kim, Chulhwan Lee, Hyunki Kim, Youngwoo Koh and Kwansoo Chung

Abstract

In the industrial sheet metal forming, the numerical forming analysis to predict forming failure is commonly utilized to optimize the forming process. In particular, for rather thin cold-rolled automotive sheets which more often than not fail with strain localization, the analysis is conducted using shell elements under the plane stress condition. As for the failure criterion, the strain-based forming limit diagram (FLD) is measured and the measured data is converted into various formulae for numerical applications, which might be insensitive to deformation path history such as the criteria based on failure stress or effective failure strain. In this work, a numerical analysis procedure was newly developed for rather thick hot-rolled advanced high strength sheets in automotive applications, utilizing continuum elements. The procedure involves the numerical inverse method to characterize hardening behavior with its ultimate deterioration before failure as well as to evaluate failure behavior, based on simple tension and hemispherical dome stretch tests. To predict failure, the new method directly evaluated strain localization for (critical) material elements without referring to the forming limit diagram. The new procedure was applied for hot-rolled HB780 sheet and analysis results were experimentally validated.

Key Words: Advanced high strength hot-rolled steel sheet, Sheet formability analysis, Materials characterization

1. 서 론

산업 현장에서 금속 판재의 성형 시, 성형 과정에서 발생하는 파괴 거동의 분석은 품질 높은 제품의 생산과 생산비를 낮추는데 매우 중요한 역할을 한다. 금속에서 발생하는 파괴는 주로 변형률 집중을 동반한 파괴(failure with strain localization)와 동반하지 않은 파괴(failure without strain localization)로 나눌 수 있다. 주로 성형 해석 시 해석의 간편성과 해석시간의 단축을 위하여 평면응력 상태를 가정한 쉘(shell)요소를 사용한 유한요소 해석을 수행하고 있으며, 시험으로는 Keeler and Backhofon[1]에 의해 고안된 성형 한계도가 많이 사용되고 있다. 이와 같은 성형 해석 기법은 기존의 두께가 얇은 판재에서는 성

형성을 정확하게 예측할 수 있지만, 최근 자동차용 부품으로 널리 사용되고 있는 두께가 두꺼운 초고강도 열연강재에 대해서는 정밀한 성형성 예측을 보여주지 못하고 있다. 하지만 변형률 집중을 동반한 파괴의 경우 이는 경계값 문제에 대한 결과로서 재료의 물성을 정확히 측정한다면 이는 예측 가능한 것으로 알려져 있다 [2,3]. 본 연구에서는 초고강도 열연강재인 HB780(두께 2.9mm)에 대한 변형률 집중을 동반한 파괴 거동의 예측을 위하여 변형률 속도 민감도, 비이차 등방성 또는 이차 비등방성 항복 함수 및 inverse calibration 방법을 통하여 균일연신 구간 이후의 연화거동을 물성화하였다. 얻어진 물성을 바탕으로 개발된 성형성 예측 모델을 활용하여 일축인장, 반구 돔 장출 시험의 유한요소 해석을 수행하였고, 시험결과와의 비교를 통하여 새로 제안된 성형성 예측 모델의 적용성을 확인하였다. 예측 모델과 기존의 쉘(shell)

1. 서울대학교 재료공학부
교신저자: 서울대학교 재료공학부,
E-mail: kchung@snu.ac.kr

요소 및 성형한계도를 활용한 모델의 성형성 예측 정밀도의 비교를 위하여 원형 컵 드로잉시험과 이에 대한 유한요소 해석을 진행하였고 이를 통해 새로이 개발된 모델의 정밀도가 기존 모델에 비해 우수함을 확인하였다.

2. 고강도 열연강재의 물성 평가

본 연구에서는 고강도 열연강재인 HB780 (2.9mm)에 대한 물성 평가를 진행하였다.

2.1 일축인장 시험

균일연신 구간 내의 물성을 평가하기 위하여, 일축인장 시험을 수행하였다. ASTM E8M 표준 시편을 와이어 커팅 가공 방법을 이용하여 제작하였다. 또한, 비등방성과 변형률 속도 민감도를 고려하기 위하여 일축인장 시편을 압연방향 별 0°, 45°, 90° 방향으로 추출하였으며, 또한 변형률 속도 약 0.001, 0.01, 0.1 그리고 1.0/s로 시험을 수행하였다. Fig. 1에 각각의 방향 별 일축인장 시험을 수행한 결과를 나타내었다.

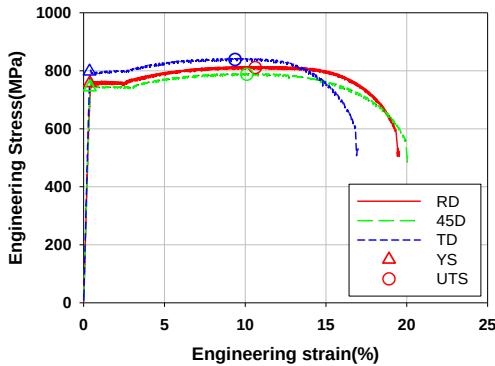


Fig. 1 Engineering stress-strain curve of HB780

또한 시험을 통하여 측정된 탄성계수(E), 항복응력(YS), 극한인장강도(UTS), 균일연신율, 최대연신율, r-value 값 등을 각 방향 별로 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Mechanical properties of HB780

	E (MPa)	YS (MPa)	UTS (MPa)	Elongation		r-value
				Uni.	Tot.	
0°	196.4	757.4	815.9	10.89	19.46	0.72
45°	190.5	743.4	787.3	10.10	19.58	1.22

90°	212.3	798.1	840.9	9.47	17.31	0.79
-----	-------	-------	-------	------	-------	------

2.2. 항복함수

본 논문에서는 Hill 1948 그리고 Hosford 항복함수를 사용하였다. Hosford 항복함수는 항복함수의 모양과 관련 있는 M-value, 즉 비이차 항복함수 지수의 영향을 파악하기 위하여 사용하였다. 또한 Hill1948 항복함수는 비등방성이 변형률 집중을 동반한 파단에 미치는 영향을 알아보기 위하여 사용하였다. Hill[4]에 의해 제안된 이차 비등방성 항복함수는 아래와 같이 정의 된다.

$$F(\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + G(\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + H(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + 2L\sigma_{yz}^2 + 2M\sigma_{zx}^2 + 2N\sigma_{xy}^2 = \bar{\sigma}^2$$

위에서 x, y, z는 각각 압연방향 별 0°, 90° 방향, 그리고 두께 방향을 의미한다. 각각의 비등방성 계수인 F, G, H, L, M은 r-value에 의해 결정되었으며 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Hill1948 anisotropy coefficients of HB780

F	G	H	L	M	N
0.5301	0.5795	0.4205	1.5	1.5	1.9059

또한, 비이차 항복함수인 Hosford[5] 항복함수는 아래와 같이 정의 된다.

$$|\sigma_1 - \sigma_2|^M + |\sigma_3 - \sigma_1|^M + |\sigma_2 - \sigma_3|^M = 2\bar{\sigma}^M$$

2.3. 균일연신 구간 이후의 거동

균일연신 구간 이후부터 거시 균열 이전까지의 경화 거동을 구하는 가장 일반적인 방법은 균일연신 구간에서 구한 경화 곡선을 외삽(extrapolation) 하는 것이다. 하지만 이러한 현상은 균일연신 구간 이후 연화현상을 정확히 표현하는데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 일축인장 시험 결과에 대한 유한요소 해석을 반복적으로 수행하는 inverse calibration 방법을 사용하여 거시균열 시점까지 일치하는 경화 곡선을 구하였다. Fig. 2은 inverse calibration을 통하여 얻은 경화 곡선으로 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 시험을 통하여 얻은 공칭응력-공칭변형률 곡선과 일치하는 것을 확인할 수 있다.

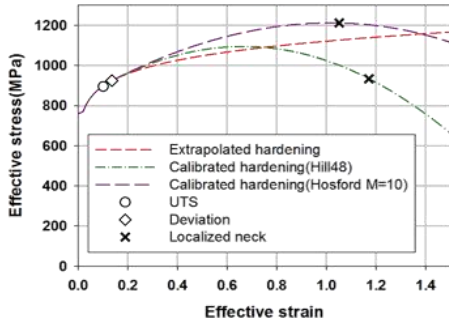


Fig. 2 Comparison of effective stress-effective strain curves of HB780

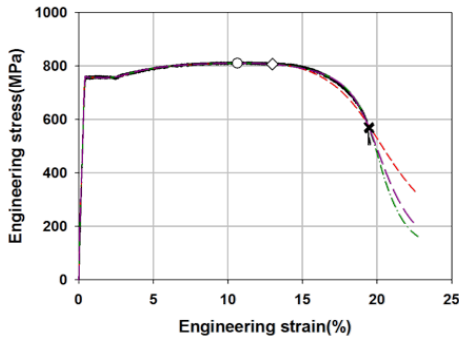


Fig. 3 Comparison of engineering stress-engineering strain curves of HB780

2.4. FLD 실험

각각의 변형 모드에 따른 변형률 집중을 동반한 파괴 혹은 변형률 집중을 동반하지 않은 파괴현상을 관찰, 구분하고 성형한계도를 작성하기 위하여 프레스를 이용한 돔 장출 시험을 수행하였다. 강재에 대하여 작성된 성형한계도는 Fig. 4에 나타내었다.

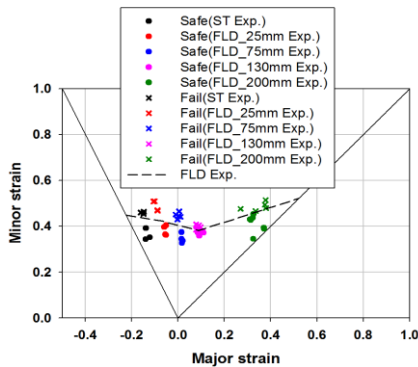
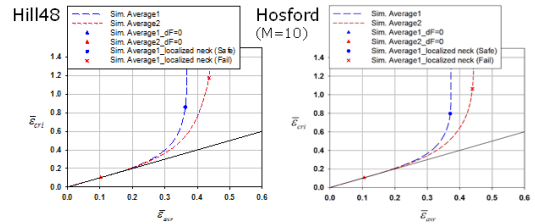


Fig. 4 Forming limit diagram

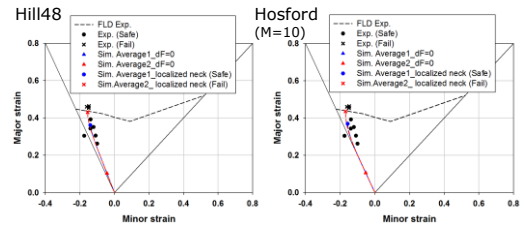
3. 파괴 거동 예측 및 검증

3.1 일축인장 유한요소 해석 및 예측

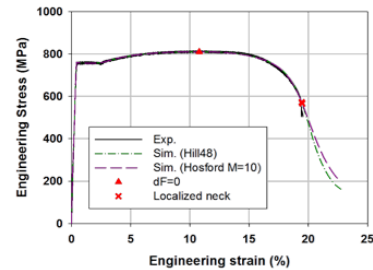
해석을 위해 상용 유한요소 해석 프로그램인 ABAQUS/Explicit을 사용하였고 8 node solid 요소를 사용하였다. 요소의 크기는 11개 layers를 사용하고 이에 따라 $0.2636 \times 0.2636 \times 0.2636\text{mm}$ 크기의 요소를 사용하였다. 이 과정에서 등이축인장 모드에서 변형률 집중을 동반한 파괴거동을 보이는 HB780의 경우 비이차식 항복함수를 사용하는 것이 더 정확한 성형성 예측 능력을 보이기 때문에 [2,3] Hill1948 항복함수와 더불어 Hosford 항복함수를 사용하였다. 변형률 집중을 동반한 파괴 거동을 판단하기 위하여 가장 변형이 심한 요소 (critical element)와 주위의 요소부터 구해진 average grid의 변형률 증분의 비율이 40이상인 지점을 변형률 집중이 일어나는 지점으로 판단하였다. Fig. 5에서 나타난 것처럼 시험결과와 거의 일치하는 모습을 보였다.



(a) Effective plastic ratio



(b) Strain-based FLD obtained from simulation



(c) Engineering stress-strain curve

Fig. 5 Simulation result of simple tension test

3.2 FLD 시험 유한요소 해석 및 예측

해석을 위해 사용한 Blank holding force는 450kN과 펀치 속도는 20mm/min이다. 블랭크/다이는 0.8, 블랭크/홀더, 블랭크/펀치에서는 각각 0.8, 0.1 마찰계수를 사용하였다. FLD 25, 75, 130, 200mm에 대하여 해석을 진행하였으며 Fig. 6는 FLD200mm에 대한 결과를 나타내며 등이축인 경우에는 비이차 등방성을 사용하는 것이 더 높은 정밀도를 보이는 것을 확인 할 수 있다.

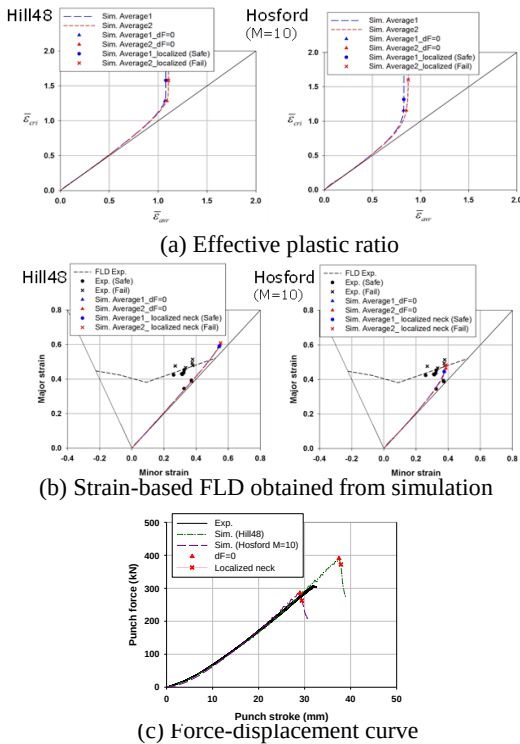


Fig. 6 Simulation result of FLD200mm

3.3 원형 컵 드로잉 시험을 통한 검증

제안된 변형률 집중을 동반한 파괴 거동 예측 모델의 검증을 위하여 컵 드로잉에 대한 시험 및 유한요소해석을 진행하였다. 컵 드로잉 시험은 프레스를 이용, 펀치속도는 108mm/min이고 blank holding force는 50kN이다. 원형 시편은 102.5~110mm 내 2.5mm씩 와이어 커팅으로 준비하였다. Fig. 7은 쉘요소와 솔리드요소의 컵 드로잉 해석 결과를 나타내며 열연강재의 성형성 평가 시 솔리드 요소를 이용한 해석이 정확하게 예측 하는 것을 확인할 수 있다. (지름 105mm에 파단이 발생함)

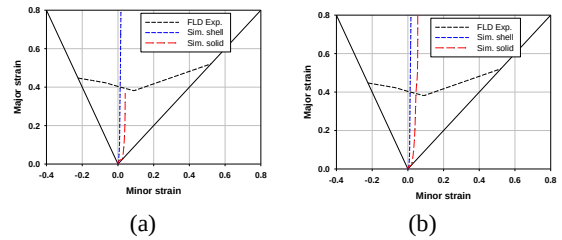


Fig. 7 Maximum deformation element of cup drawing result (a) diameter 102.5mm (b) diameter 105mm

4. 결 론

본 연구에서는 고강도 열연강재의 물성 평가 및 성형성 예측을 통하여 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 기존 성형한계도를 사용하는 대신에 변형률이 집중되는 현상을 유한요소법을 통한 전산 모사 해석으로 파괴 거동을 예측하였다.
- (2) 솔리드 모델의 해석결과를 시험결과와 비교하여 변형률 집중을 동반한 파괴 거동 예측에 대한 정밀도를 검증하였다.

후 기

본 연구는 POSCO의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Chung K., Kim H, Lee C., Forming limit criterion for ductile anisotropic sheets as a material property and its deformation path insensitivity, Part I, Int. J. Plast., 2014, 58, 3-34.
- [2] Chung K., Lee C., Kim H, Forming limit criterion for ductile anisotropic sheets as a material property and its deformation path insensitivity, Part II, Int. J. Plast., 2014, 58, 35-65.
- [3] Keeler S. P., Backhofen W.A., 1963. Plastic instability and fracture in sheet stretched over rigid punch, ASM Trans, Q, 56, 25-48.
- [4] Hill R., 1948, A theory of the yielding and plastic flow of anisotropic metals, Proc. R. Soc. Lond. Ser. A193, 281-297.
- [5] Hosford W. F, 1972, A generalized isotropic yield function, J. Appl. Mech., V. 39, 607-609.

변태 소성 현상을 고려한 자동차 기어의 침탄 열처리 전산 모사

김동완¹ · 이원범² · 조균택² · 한흥남^{1#}

A finite element simulation considering transformation plasticity for carburizing heat treatment of automotive gear ring

Dong-Wan Kim¹, Won-Beom Lee², Kyun Taek Cho² and Heung Nam Han^{1*}

Abstract

침탄 열처리 공정 중의 열 변형, 온도 이력, 탄소 확산, 상변태와 경도 변화를 예측하기 위한 유한 요소 해석 모델을 개발하여, 실제 침탄 열처리 공정을 거쳐 생산중인 자동차 원형 기어에 적용하는 연구를 수행 하였다. 침탄 공정에 의한 기어의 탄소 농도 변화는 확산 방정식 풀이를 통한 유한 요소 해석을 이용하여 해석 하였다. 열처리 도중 발생하는 상변태 현상은 딜라토미터 실험을 통해 측정 되었으며, 이를 확산과 비확산 상변태 시의 변태 소성 현상을 고려하여 유한 요소 해석에 적합한 형태로 모델화 하였다. 개발된 침탄 모델, 상변태 모델, 변태 소성 모델, 온도 해석 모델, 변형 해석 모델을 통합하여 기어의 침탄-상변태-변태소성-열-응력이 모두 고려된 유한요소 해석을 실시하였으며, 사례 연구를 통하여, 각 조건 변화에 따른 기어의 열변형 현상 및 경도, 미세 조직 등을 분석하여, 실측값과 비교 하였다.

Keywords: Carburizing; Phase transformation; Transformation plasticity; Heat treatment; Annulus gear

1. 서울 대학교 재료공학부

2. 한국 생산 기술 연구원

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

펄스 전류 인가에 따른 마그네슘 AZ31B 판재의 기계적 거동에 관한 연구

허용찬^{1,2} · 김대용[#] · 이진우¹ · 김세종¹ · 문영훈²

Investigation of mechanical behavior of AZ31B Mg alloy under a pulse electric current

Y. C. Her, D. Kim, J. Lee, S. J. Kim, Y. H. Moon

Abstract

In this study, the mechanical behavior of AZ31B Mg alloy sheets under a pulse electric current was investigated by uniaxial tension and compression experiments. The electric pulse with constant amplitude of electric current was periodically applied to the specimen simultaneously with measurement of the temperature. The experimental results for both tension and compression cases showed that the flow stress was rapidly reduced when the current was initiated while it increased after eliminating the electric current. It was also observed that the material was rapidly heated during supplying an electric current and it was cooled down after removing an electric current. Furthermore, Joule heating effect induced by the electric current was studied to take into account of flow stress reduction phenomenon.

Key Words: AZ31B Mg alloy, Pulsed electric current, Electrically-assisted forming, Joule heating

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

2. 부산대학교 정밀시스템가공 전공

교신저자: 재료연구소, E-mail:daeyong@kims.re.kr

초고장력 강판의 형상 동결성 향상을 위한 자동차 시트 레일 부품 개발

박동환^{1#} · 탁윤학¹ · 이미란¹ · 신동초²

Development of Automotive Seat Rail Parts for Improving Shape Fixability of Ultra High Strength Steel Sheet

D. H. Park, Y. H. Tak, M. L. Lee, D. C. Shin

Abstract

This paper aims to ensure the spring back prevention technique for improving the shape fixability by using the ultra high strength steel sheet more than 80kg class to develop the lightweight Seat Rail parts. The ultra high strength steel gives potential for considerable weight reduction and a cost-effective way to produce energy efficient vehicles. The influence of spring back of seat rail parts on shape fixability in forming processes was investigated.

Key Words : Automotive Seat Rail, Shape Fixability, Ultra High Strength Steel Sheet, Spring Back, Lightweight Parts

1. 서 론

판재 성형 공정을 수행하였을 때 성형 제품의 형상이 금형의 형상에 가깝게 유지되는 정도를 그 판재의 형상 동결성이라고 한다. 형상 동결성은 모든 판재 성형에 있어서 피할 수 없는 현상으로 여러 가지 복합적인 영향을 받는다. 실제 판재성형 공정에서 가장 큰 문제점은 파단 발생과 스프링 백이다. 이러한 문제점들은 적절한 금형설계와 공정변수의 조절을 통해 해결될 수 있다. 특히, 스프링 백 예측은 판재성형 공정에서 성형 후 원하는 제품 형상을 얻기 위해 가장 중요한 사항이라고 할 수 있다. 스프링 백은 프레스 성형 시 탄성회복으로 인한 부분적 형상 변형으로 성형품의 기하학적인 형상변수, 재료 및 공정 변수 등에 영향을 받는다. 공정변수는 경험, 시행착오 등에 의하여 결정되고 있는 경우가 많으며, 형상 및 재료변수의 경우에도 변형 형상, 굽힘강도, 항복강도, 탄성계수, 재료 두

께 등이 복합적으로 영향을 미치고 있어 정확한 스프링 백의 예측이 어려운 실정이다.

일반적으로 차량이 충돌하여 운전석이 이탈할 때, 가장 먼저 시트레일이 이탈되어 인명 피해를 일으키게 된다. 따라서 차체 경량화 측면에서 소재 두께를 감소시켜 차체의 중량을 줄이고, 안정성 측면에서 강도향상을 위해 초고장력 강판을 적용한다. 본 연구는 80kg급 이상의 초고장력 강판을 사용하여 형상 동결성 향상을 위한 스프링 백 방지 기술을 확보하여 경량 Seat Rail 부품을 개발하였다. Fig. 1은 자동차 시트와 시트 레일 부품을 보여주고 있다.

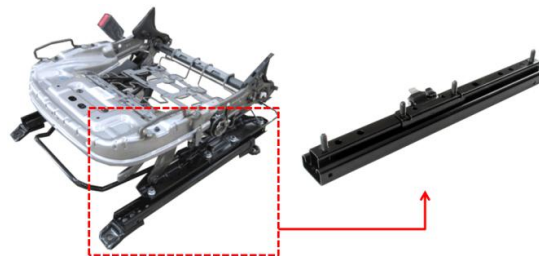


Fig. 1 Automotive seat and sear rail parts

1. 경북하이브리드부품연구원

2. (주)동구기업

교신저자: 경북하이브리드부품연구원

E-mail : pdh@ghi.re.kr

2. 성형해석

본 연구의 대상은 Fig. 4와 같이 자동차 시트용 어퍼 시트레일 부품으로 총 9공정으로 금형 공정설계를 진행하였다. Fig. 2는 DP980 소재의 응력 변형률 선도를 나타내고, Fig. 3은 4공정 벤딩의 성형해석 결과를 보여준다. 성형해석은 2공정에서 7공정까지 Bending 공정을 대상으로 성형해석을 수행하였다. 해석 결과 2공정 45도 Bending에서는 끝단부에서 2.4도 스프링 고(spring go) 현상이 발생되며, 중앙부에서 볼록 현상이 발생된다. 4공정 90도 Bending에서는 편치 머리부에서 2도 정도 스프링 고(spring go) 현상이 발생되나, 플랜지부에서 1도 정도 스프링 백이 발생된다. 5공정, 6공정, 7공정에서는 편치 머리부에서 공정이 진행됨에 따라 정형이 되어가고 결국에는 스프링 고가 2도 나타나며, 플랜지부에서는 1도 스프링 고 현상이 나타난다.

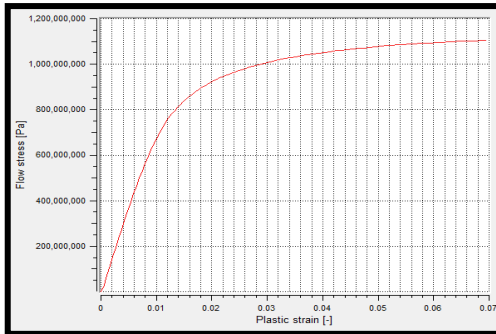


Fig. 2 Strain-stress curve of DP980 material

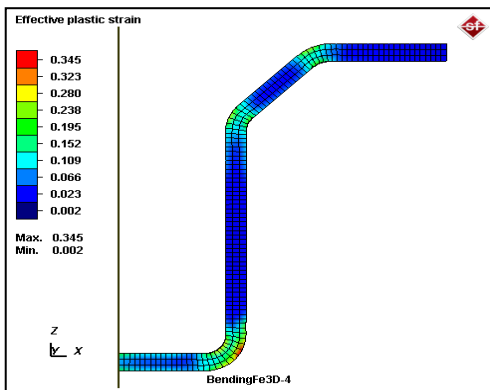


Fig. 3 Simulation result of upper seat rail(4 stage)

bending)

3. 실험 결과 및 고찰

자동차 시트용 어퍼 시트레일 금형 제작은 총 9공정으로 1공정 블랭킹, 2공정 벤딩에서 7공정 벤딩, 8공정 엠보싱, 9공정 리스트라이킹으로 구성하였다. 시제품 생산은 600톤 프레스에서 두께 1.6mm의 DP980 박판 소재를 이용하였다. 벤딩 공정의 성형해석과 실험 결과가 거의 유사함을 확인할 수 있었다.



Fig. 4 Upper seat rail product

4. 결 론

본 연구는 100kg급의 초고장력 강판을 사용하여 형상 동결성 향상을 위한 스프링 백 성형해석과 실험을 통하여 경량 Seat Rail 부품을 개발하였다. 초고강도 강판 성형 기술로 형상 정밀도 향상, 금형 수명 향상 등이 가능하여 기술 경제적 효과가 기대된다.

5. 참고문헌

- [1] 한수식, 박기철, 남재복, 1999, 판재 프레스 성형 제품의 형상동결성 연구, 한국소성가공학회지 제8권 제1호, pp. 38~46.
- [2] 정대근, 김세호, 김민석, 이태길, 김홍규, 2013, 스프링백 모드분류를 통한 박판 S-rail 성형 공정의 형상정밀도 고찰, 한국소성가공학회지 제22권 제8호, pp. 477~485.

3 점 굽힘 실험에서 강화 피라미드형 코어를 가지는 샌드위치 소재에 대한 파손 모드에 관한 연구

이성욱¹ · 양동열[#]

A Study on the Collapse Modes for the Reinforced Pyramidal Core of a Sandwich Panel under 3-point Bending

S. U. Lee, D. Y. Yang

Abstract

Construction of sandwich materials involves a composite material structure of light weight, high strength and good dynamic properties. In recent days, demands for materials with high strength and light weight are ever increasing. In this study, a micro sandwich structure named as “shaped-sheet pyramidal truss core” is proposed to improve the mechanical strength by changing the cross-sectional shape at the central portion of the core. In the sandwich with the reinforced pyramidal truss core, elastic buckling and yielding of the reinforced core, elastic wrinkling and yielding of the face sheets of the sandwich, and the plastic buckling of the reinforced core and plastic wrinkling of the face sheet after yielding have been identified as the six competing modes of failure. Analytical expressions for the bending and compressive collapse strengths in each of these modes are derived and used to construct collapse mechanism maps for the sandwich panel with the reinforced core. The structural efficiency was affected by the ratio of thickness of face sheet (t_f/l) and the length of the core's base (L_c/l). The maps are useful for selecting the geometries of the sandwich panel with the reinforced pyramidal truss core that maximize the collapse strength for a given relative density.

Key Words : Reinforced pyramidal core, 3-point bending test, Collapse mechanism map, plastic buckling

1. 서 론

최근에 환경오염문제 및 석유자원 고갈의 문제로 인하여, 소재의 경량화에 많은 관심을 가지게 되었다. 그 대표적인 경량화 소재 중에 하나가 샌드위치 소재이다. 일반적으로 샌드위치 소재는 상하 외판재와 내부 코어로 구성되어 있다. 외판재는 샌드위치 소재의 주요 강성을 지지하며, 두 외판재의 간격에 따라 구조 강성값은 변화한다. 내부 코어는 다공성 및 경량화 소재로 상하 외판재의 간격을 유지하면서 하중을 전달하는 역할을 한다. 이런 특성으로 인해 샌드위치 소재는 동일 무게 솔리드 소재에 비해 우수한 기계적 특성을

보여주고 있다. 또한, 샌드위치 내부 코어의 형태에 따라 다양한 기계적 물성을 보여준다.[1] 대표적으로 사용되는 피라미드형 코어의 경우, 기존에는 주조 및 절삭을 이용하여 제작하였다. 제작공정의 효율성을 향상시키기 위하여 금속 박판재를 단순 굽힘 성형 후 적층/접합하여 피라미드형 코어를 가지는 샌드위치를 제작하였다.[2-3] 상기 방법을 통해서도 소재 손실 없이 피라미드 코어를 생산할 수 있다는 장점을 가지고 있지만 내부 코어 형상이 직사각형이라 동일 단면적의 정사각형 부재(기존 피라미드 트러스 코어)에 비해 구조적으로 좌굴이 쉽게 일어나게 된다. 내부 코어의 강도를 강화하기 위하여 내부 코어의 부재를 중공형 튜브로 대체함으로써 샌드위치 구조 강도를 향상시키고자 하는 연구도 진행이 되었다.[4-6] 피라미드형 내부 코어를 가지는 샌드위치 판재의 생산

1. 한국과학기술원 기계공학부

교신저자: 한국과학기술원 기계공학부, dyayang@kaist.ac.kr

성 및 구조 강도 향상을 위하여 금속 박판재에서 단위 코어로 굽힘 성형할 때 단면에 형상을 같이 성형하여 내부코어의 관성 모멘트를 향상시키는 연구도 존재하였다.[7-8] 본 연구에서는 강화된 피라미드형 내부구조재를 가지는 샌드위치 판재의 3점 굽힘시 발생하는 파괴 모드를 고찰하고, 이를 토대로 파손도를 그려 샌드위치 소재의 설계 기준을 정의하고자 한다.

2. 강화 피라미드형 코어의 3점 굽힘 변형

2.1 강화용 피라미드 형상

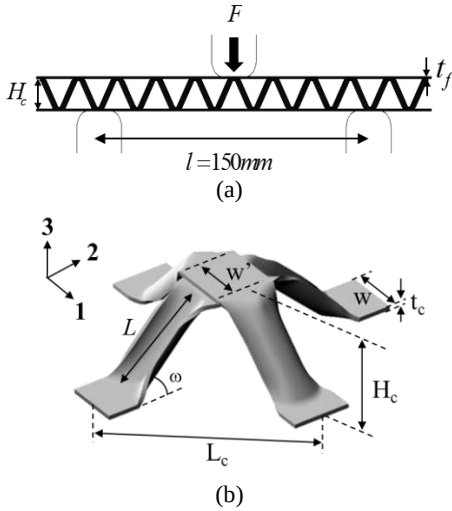


Fig. 1 (a) Schematic of 3-point bending test (b) Illustration for reinforced pyramidal core structures.

3점 굽힘 실험시 주요 설계인자는 Fig. 1과 같이, 외판재의 두께(t_f), 경간 거리(l), 내부 코어 밀변의 길이(L_c), 내부 코어의 폭(w) 및 두께(t_c) 그리고 내부 코어 각(ω)이 있다. 접촉부의 폭은(w') 적층을 용이하기 위하여 내부 코어의 폭(w) 보다 20% 큰 값으로 정의하였다. 강화형 내부코어의 단면형상은 반원형상이다. 표면판재를 고려한 샌드위치 소재의 상대밀도는 아래 식(1)과 같이 정의되어진다.

$$\bar{\rho} \approx \frac{L_c^2 \times 2t_f + 2t_c w' (2L_c)}{L_c^2 \times (2t_f + H_c)} \quad (1)$$

2.2 3점 굽힘 실험에서 파손 모드

3점 굽힘 실험에서 나타나는 대표적인 파손 모드는 Fig. 2 에서와 같이 4가지 모드(표면판재 항복_FY, 표면판재 주름_FW, 내부코어 항복_CY, 내부코어 좌굴_CB)로 구성된다.[9]

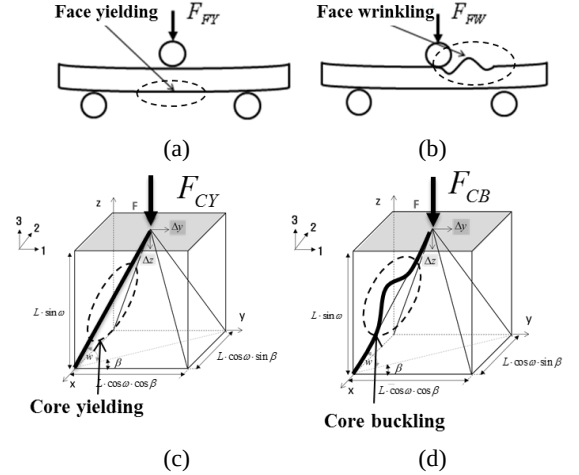


Fig. 2 Possible failure modes for reinforced pyramidal core in 3-point bending test (a) Face Yielding, (b) Face Wrinkling, (c) Core Yielding, (d) Core Buckling.

외판재에서 발생하는 파손모드는 3점 굽힘시 발생하는 모멘트의 평형을 기준으로 외판재의 항복 및 좌굴(주름)에 관한 식(2)와 식(3)으로 정의된다. 내부 코어에 발생하는 파손모드는 코어 중앙에 부여된 힘의 평형으로부터 내부코어의 항복 및 좌굴에 관한 식(4)와 식(5)으로 정의된다. 내부 코어의 좌굴식(5)에서는 변화하는 단면형상에 대한 관성모멘트를 계산하기 위하여 유효 관성모멘트를 이용하였다.

$$\frac{\sigma_p}{\sigma_y} \leq \frac{4t_f H_c}{L_c l} \quad (FY) \quad (2)$$

$$\frac{\sigma_p}{\sigma_y} \leq \frac{k_w^2}{(1-v^2)} \frac{1}{3} \frac{H_c}{\epsilon_{y,w}} \frac{\pi^2}{L_c^3 l} t_f^3 \quad (FW) \quad (3)$$

$$\frac{\sigma_p}{\sigma_y} \leq \frac{4wt_c \sin \omega}{L_c^2} \quad (CY) \quad (4)$$

$$\frac{\sigma_p}{\sigma_y} \leq \frac{k^2 \pi^2}{L^2} \frac{4 \sin \omega}{L_c^2 \epsilon_y} I_{eff} \quad (CB) \quad (5)$$

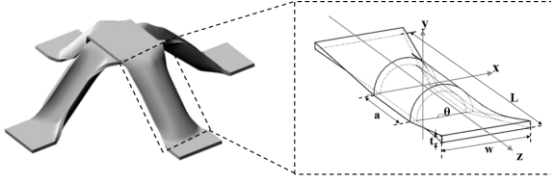


Fig. 3 Sketch of the unit strut of the reinforced pyramidal truss core.

Fig. 3 은 강화형 코어의 변화하는 단면 형상을 나타내며, 코어의 단위 부재는 단면형상이 일정한 구간과 단면형상이 변화하는 천이구간으로 구성되어 있다. 에너지법을 이용하여 강화 피라미드형 코어의 유효 관성모멘트는 식(6)과 같이 계산할 수 있다.

$$I_{eff} = \frac{4}{L} \left[I \int_0^{a/2} \cos^2 \left(\frac{\pi}{L} z \right) dz + \int_{a/2}^{L/2} I(z) \cos^2 \left(\frac{\pi}{L} z \right) dz \right] \quad (6)$$

$$I(z) = \begin{cases} I_{constant} & (0 \leq z \leq a/2) \\ I(z) & (a/2 \leq z \leq L/2) \end{cases}$$

3. 3점 굽힘 실험에서의 파손도

3.1. 탄성 좌굴을 고려한 파손도

3점 굽힘 실험시 설계인자 중 경간거리(l)는 ASTM C393규격에 맞추어서 150mm로 정하고 내부 코어각(ω)은 45° 로 정의하며, 내부 구조재의 폭(w)과 두께(t_c)는 4mm, 0.3mm로 각각 정의하였다. 설계인자 영향력 분석에서 크기에 따른 효과를 무시하기 위하여 경간거리로 나눈 무차원 변수로 설계인자를 재정의 하였다. 이를 통해 Fig. 4와 같이 3점 굽힘의 파손도는 외판재 두께(t_f/l)와 내부코어의 밀변 길이(L_c/l)에 대한 함수로 표현이 가능하다. 주요 파손 모드는 표면판재 항복(FY)과 주름(FW) 및 내부코어의 항복(CY)이다. 파손 모드 변화와 관련된 구조적 특성을 파악하기 위해 정규화된 응력 분포(σ_p/σ_y) 및 상대 밀도($\bar{\rho}$)값을 파손도에 추가하였다. 주어진 상대밀도에서 굽힘 하중값을 최대화 하는 최적 설계값은 두 파손모드가 만나는 경계상에 존재한다. Fig. 4에 나와 있는 화살표는 최적 설계의 경로를 보여준다.

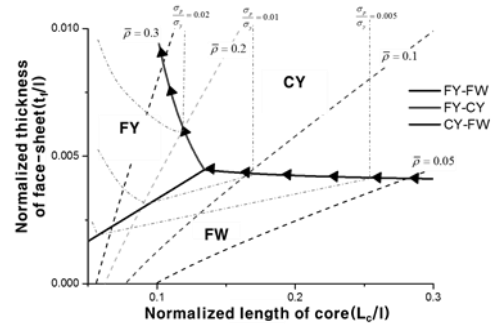


Fig. 4 Collapse mechanism map of reinforced pyramidal truss core (FY = Face Yielding, FW= Face Wrinkling, CY = Core Yielding).

3.2. 소성 좌굴을 고려한 파손도

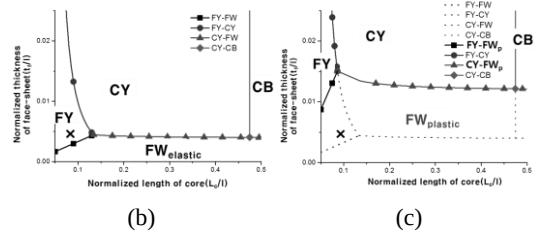
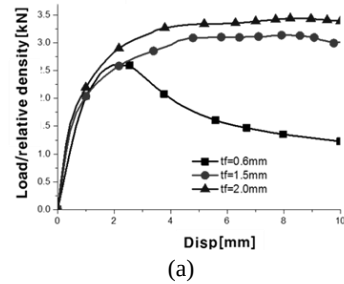


Fig. 5 (a) FEM results of 3-point bending test according to thickness of face-sheet (b) Failure map before plastic buckling (c) Failure map considering the plastic buckling (x mark point : $H_c=5.6\text{mm}$, $t_f=0.6\text{mm}$).

Fig. 5(a) 는 내부코어의 높이(H_c)가 5.6mm인 경우의 강화형 샌드위치 소재의 3점 굽힘 FE 해석 값을 도시한 것으로 외판재의 두께값($t_f=0.6\text{mm}$, 1.5mm, 2.0mm)에 따른 변위-하중/상대밀도 곡선을 보여준다. 외판재 두께값이 0.6mm인 경우에 기존 탄성 파손도, Fig. 5(b)에 대입하여 보면 외판재의 항복(FY) 파손모드를 보인다. 그러나 3점 굽힘 해

석 결과에서는 하중 곡선은 변위에 따라 급격히 감소하는 좌굴 현상을 보여준다.

Fig. 5(b)의 파손도를 도시하는 데 사용된 식 (3), (5)은 탄성계수를 기준으로 정의되었다. 일반적으로 소재의 항복 이후에는 소재의 강성이 감소하여 작은 힘에서도 좌굴이 일어나기 쉬어진다. Gere[10]는 항복 이후에는 탄성계수값을 접선 탄성계수(E_t)나 감소 탄소계수(E_r)값으로 전환하여 좌굴에 대한 임계 하중값을 재정의 하였다. 이와 마찬가지로 외판재의 항복 이후에는 외판재의 좌굴에 대한 수식도 재정의될 필요가 있다. Fig. 5(c)는 외판재의 항복 이후에 감소 탄성계수(E_r) 값을 적용하여 재정의된 파손도이다. 이를 통해 살펴보면 외판재 두께 $t_f=0.6$ mm 인 경우, 파손 모드가 외판재의 주름(좌굴)에 의한 것이라는 것을 보여준다.

4. 결 론

본 연구에서는 3점 굽힘에서 강화형 피라미드 코어의 파손모드에 따른 설계 특성 연구를 수행하였다. 각 설계인자에 따른 3점 굽힘 변형 모드 및 하중 특성을 확인하였다.

(1) 3점 굽힘에서 주요 파손 모드는 외판재의 항복(FY)/좌굴 모드(FW)와 내부 코어의 항복(CY)/좌굴 모드(CB)로 정의 되어진다.

(2) 주어진 상대밀도에서 굽힘 하중값을 최대로 하는 최적 설계값은 파손모드가 만나는 경계상에 존재한다.

(3) 소재의 항복 이후에는 좌굴식 내부에 이용되는 탄성계수를 감소 탄성계수 값으로 변경하여 파손도를 재도시화 하였다. 이를 통해 항복 이후에는 좌굴에 의한 파손 영역이 증가하는 것을 알 수가 있다.

참 고 문 헌

- [1] L.J. Gibson, and M.F. Ashby, 1999, Cellular Solids: Structure and Properties, Cambridge University Press.
- [2] H. Ray, 1997, US Patent 5,609,942, Panel having cross-corrugated sandwich construction, 11 March.
- [3] H. Ray, 1993, Investigation of advanced lightweight sandwich structural concept, Report NAWCADWAR-93064-60, Naval Air Warfare Center.
- [4] D.T. Queheillalt and H.N.G. Wadley, 2005, Cellular metal lattices with hollow trusses, Acta Materialia, Vol. 53(2), pp. 303-313.
- [5] D.T. Queheillalt and H.N.G. Wadley, 2005, Pyramidal lattice truss structures with hollow trusses. Materials Science and Engineering: A, Vol. 397(1-2), pp. 132-137.
- [6] J. Xiong, L. Ma, L. Wu, M. Li, et al., 2011, Mechanical behavior of sandwich panels with hollow Al-Si tubes core construction, Materials & Design. Vol. 32(2), pp. 592-597.
- [7] S.U. Lee, D.Y. Seong and D.Y. Yang, 2011, Compressive behaviors of a sandwich plate with structurally stiffened pyramidal truss cores. ICTP 2011; Aachen, Germany, pp. 1096-1101.
- [8] S.U. Lee and D.Y. Yang, 2014. Buckling design of stiffened inner core based on bifurcation analysis. Thin-Walled Structures, Vol. 85, pp. 291-300.
- [9] V.S. Deshpande and N.A. Fleck, 2001, Collapse of truss core sandwich beams in 3-point bending, International Journal of Solids and Structures, Vol. 38(36-37), pp. 6275-6305.
- [10] James M. Gere, 2004. Mechanics of materials, 6nd Edition, Nelson Thomson Learning.

실시간 중성자회절 및 유한요소해석을 통한 잔류응력이 파괴인성에 미치는 영향 고찰

김동규¹ · 우완측¹ · 안규백²

The Effect of Residual Stress on the Fracture Toughness: In-situ Neutron Diffraction and Finite Element Analysis

Dong-Kyu Kim¹, Wan-Chuck Woo¹, and Gyu-Baek An²

¹ Neutron Science Division, Korea Atomic Energy Research Institute

² Technical Research Laboratories, Pohang Iron and Steel Company

Abstract

It is well known that residual stresses generated during the manufacturing process have considerable impact on the structural integrity under the external loading. In the present study, the effect of the residual stress on the crack initiation and propagation is investigated based on the *in-situ* neutron diffraction and elasto-plastic finite element analysis (FEA). Firstly, artificial residual stresses are enforced at the fatigue crack edge of the compact tension (CT) specimen by local out-of-plane compression. Depending on the location of the applied loading, it exhibits either compressive or tensile residual stress distribution in the vicinity of the crack edge. Secondly, the CT specimen is subject to the tensile loading under mode I. Comparisons between the *in-situ* neutron diffraction and the FEA were made in terms of the redistribution of stress and strain near the crack edge. It revealed that the compressive residual stresses were beneficial to increasing the fracture toughness and accordingly to arresting the crack propagation.

Key Words: Residual stress, Fracture toughness, *in-situ* Neutron diffraction, FEA

¹한국원자력연구원 중성자과학연구부

²포스코기술연구원 집합연구그룹

전기단자 돌기 성형공정의 결정소성 유한요소해석

손정한¹ · 심정길² · 금영탁[#]

Crystal Plastic Finite Element Analysis of Bump Forming Process for Electric Terminal

J. H. Son, J. K. Sim, Y. T. Keum

Abstract

In this study, a bump forming process of electronic terminal was simulated by employing the finite element analysis based on crystal plasticity. In order to find the best fitted micro-material properties of the specimen, the stress-strain curves constructed by simulating the tensile test with various micro-material property set were compared with that obtained by the experiment. The height of bump was compared among crystal plastic finite element analysis, conventional macro-plastic finite element analysis and experiment. The comparison reveals that the bump forming process simulation using crystal plastic FEA can improve about 11%, compared to conventional macro-plastic FEA.

Key Words : Crystal Plastic Finite Element Analysis (결정소성 유한요소해석), Sheet Metal Forming(박판성형), Pole Figure(극점도), Texture(집합 조직)

1. 서 론

다결정체로 이루어진 금속이 압연 공정을 통해 소성 변형을 받게 되면 일정한 방향으로 집합조직(Texture)을 형성한다. 이러한 집합조직들은 미시적 관점에서 이방성을 야기시켜 금속을 가공하거나 제품을 성형할 때 중요한 영향을 미치게 된다. 압연 박판의 성형 해석을 위한 다결정 금속의 거시적인 거동의 경우 여러 가지 현상학적 모델들이 많이 개발되어 이미 산업계에서 활용되고 있다[1]. 특히 Hill[2]의 모델은 광범위하게 금속판재성형의 모델링에 활용되어 왔다. 하지만 미시적인 거동의 경우 박판의 실제 성형 해석에 활용되기 위해서는 수치적 방법의 정확성이나 효율적 측면에서 더 많은 개선이 요구되고 있다[2]. 최근 제품을 소형화하기 위하여 전기단자의 박판 두께가 얇아지고 단자 사이의 간격이 좁아지고 있고 성형을 위해 마이크로 스

케일의 공정 연구가 증가하고 있다[3]. 전기단자에서 대표적인 마이크로 스케일 공정은 돌기부 성형이다. 하지만 성형공정이 난해하여 정밀한 형상 구현이 어렵다. 형상의 왜곡은 단자의 접촉 불량 등 품질문제를 일으키므로 돌기부의 정밀 성형을 위한 해석적 예측이 필요하다.

본 연구에서는 인칭동 박판의 집합조직을 측정하여 미시적 물성을 구하고, 결정소성 유한요소해석을 이용하여 단자의 돌기부 성형공정을 전산 모사하여, 성형된 돌기의 높이를 매크로소성 유한요소해석 결과와 비교하였다.

2. 결정소성학

2.1 구성방정식

다결정 금속의 응력과 변형률 사이의 관계는 다음과 같이 표현될 수 있다[4].

1. 한양대학교 일반대학원 자동차 공학과
2. 한양대학교 일반대학원 자동차 공학과
한양대학교 기계공학부, E-mail: ytkeum@hanyang.ac.kr

$$\mathbf{T}^e = \mathbf{C} : \mathbf{E}^e \quad (1)$$

여기서 $\mathbf{C}$ 는 4차 탄성강성텐서이고, f.c.c. 단결정의 재료의 경우 C_{11}, C_{12}, C_{44} 세 개의 성분으로 정의된다. Green-Lagrange 변형률 텐서는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\mathbf{E}^e = \frac{1}{2}(\mathbf{F}^{eT} \mathbf{F}^e - \mathbf{I}) \quad (2)$$

이에 대응되는 중간 형상에서의 2차 Piola-Kirchhoff 응력 텐서는 다음과 같이 정의된다.

$$\mathbf{T}^e = \mathbf{J}^e \mathbf{F}^{e-1} \boldsymbol{\sigma} \mathbf{F}^{e-T}, \mathbf{J}^e = \det \mathbf{F}^e \quad (3)$$

여기서 $\boldsymbol{\sigma}$ 은 대칭 Cauchy 응력텐서이다.

2.2 변형경화

슬립시스템의 변형경화변수 g^α 의 발전식은 다음과 같이 쓸 수 있다[4][5].

$$\dot{g}^\alpha = \sum_{\beta} h^{\alpha\beta} \dot{\gamma}^\beta \quad (4)$$

여기서 $h^{\alpha\beta}$ 는 β 슬립계에 의한 α 슬립계의 변형경화비를 나타내며 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$h^{\alpha\beta} = q^{\alpha\beta} h^{(\beta)}(\tau^\beta, g^\beta) \quad (5)$$

$$q^{\alpha\beta} = q + (1-q)\delta^{\alpha\beta} \quad (6)$$

여기서, q 는 자기경화에 대한 잠재경화의 비를 나타내는 경화지수이다. 단일 슬립에 의한 경화함수는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$h^{(\beta)} = h_0 \left(1 - \frac{s^\beta}{s_s} \right)^a \quad (7)$$

여기서 $\{h_0, a, s_s\}$ 는 모든 슬립시스템에서 동일하다고 가정하는 재료 상수이다.

3. 결정소성 유한요소해석

3.1 결정소성 모델의 시간 적분

본 논문에서는 Anand와 Kothari[6]가 제안한 SVD(singular value decomposition)법과 McGinty와 McDowell[7]이 제안한 슬립계 결정방법을 조합하여 사용하였다. 유한요소계산의 시간증분마다

792개의 해를 각각 계산하여 반복법을 통해 활성화되는 슬립계를 결정하였다. 그리고 각 증분에서 가장 빠르게 활성화되는 슬립계를 선택하였다.

3.2 인장시험 해석

미시 물성 데이터를 확보하기 위하여 결정소성 유한요소해석을 이용하여 인장 시험을 전산 모사하였다. 해석에 사용된 시편은 실제 규격과 같은 ASTM E8M Subsize 모델이다. 표점 거리 부분의 각 변이 0.6mm 인 800개의 3차원 8절점 강소성(rigid-plasticity)요소로 구성하였다. Fig. 1에 실제 인장시험에 사용된 시편 규격과 전산 모사를 위한 유한요소 모델을 나타내었다.

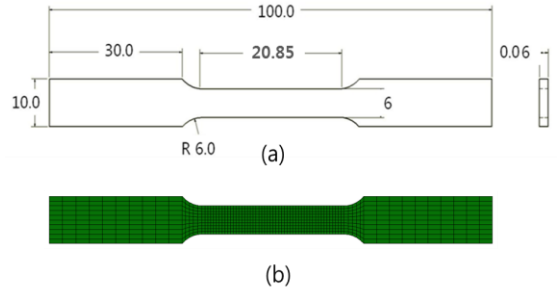


Fig. 1 (a)specimen and (b)FE model of tensile test specimen.

시편의 좌측 끝단부 절점들에 대해 모든 방향에 대해 구속시키고 우측 끝단 부의 절점들을 인장시켰다. 실제 인장 시험과 동일하게 500mm/min의 속도를 경계조건으로 입력하였다. 입력 데이터로 사용된 박판의 결정방위는 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2 (a)는 SEM-EBSD를 이용하여 측정한 인청동 박판의 결정방위를 극점도로 나타낸 것이고, Fig. 2 (b)는 Kalidindi와 Anand[8]가 무산소동(OFH copper)을 평면변형 압축하여 결정방위를 극점도로 나타낸 것이다. 인청동 박판의 극점도 분포가 Fig. 2 (b)와 유사한 분포로 일반적인 압연 조직을 보여주므로 측정데이터를 신뢰할 수 있다. 인청동 박판의 측정 데이터를 Bunge[9]가 제안한 오일러각 함수로 변환하여 입력 데이터로 사용하였다.

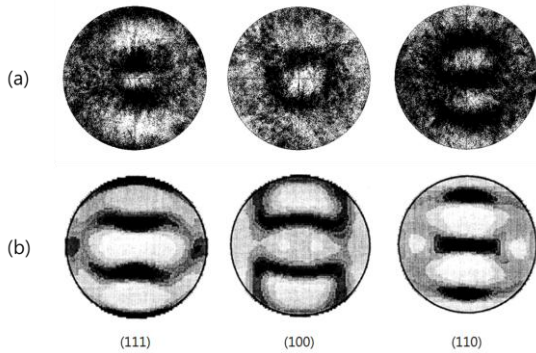


Fig. 2 Pole figures of (a)phosphor bronze sheet and (b)OFHC copper sheet

Fig. 3은 실제 인장 시험과 인장 시험 전산 모사 후 시편의 형상이다. 응력-변형률 선도는 Fig. 4에 나타내었다. 전산모사를 통해 출력된 응력-변형률 선도를 실제 인장시험 응력-변형률 선도와 비교하고, 미시 물성 파라메타를 조절하여 실제 데이터에 근접하게 하였다. 인장 시험 해석을 통해 얻어진 미시물성 데이터는 Table. 1과 같다.

Table 1. Micro material properties of the specimen

C11	Elastic modulus-X	170GPa
C12	Elastic modulus-Y	124GPa
C44	Elastic modulus-Z	75GPa
GDOT0	Reference shearing rate	0.001/sec
AM	Power law	0.012
S0	Initial val. of the def. resis.	362MPa
AH0	Value of the initial hardening rate	350MPa
SSAT	Saturation value for the def. resis.	960MPa
RHARD	Exponent in hardening equation	2.25
QL	Latent hardening parameter	1.4
TEXCAL TIME	Set equal to the time at which you wish to first calculate the texture	0.2
TEXFREQ	Set equal to the time increment	1

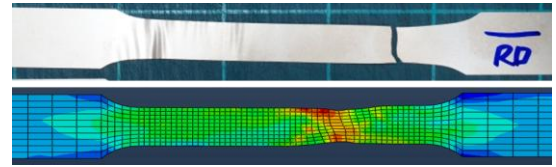


Fig. 3 Comparison of ruptured specimen between experiment and simulation.

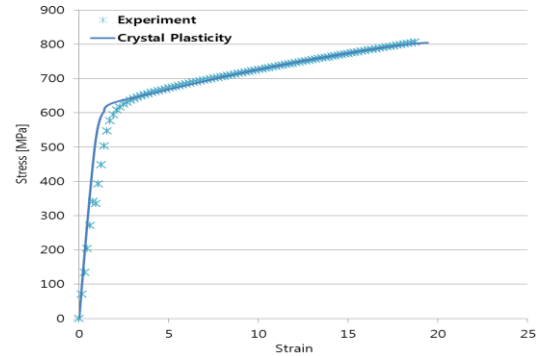


Fig. 4 Comparison of stress-strain curve at $v=500\text{mm/min}$ between experiment and simulation.

3.3 돌기부 성형 해석

전기단자의 돌기 성형공정을 전산모사하기 위해 결정소성 유한요소해석과 마크로소성 유한요소해석을 이용하고 해석 후 성형된 높이를 비교하였다.

3.3.1 유한요소 모델링

Fig. 5는 돌기 성형공정을 전산모사하기 위한 유한요소 모델이다. 박판과 스트리퍼, 다이로 구성하였으며 박판은 3차원 8절점의 솔리드 요소로, 스트리퍼와 다이는 쉘로 모델링하였다. 박판은 2340개의 강소성 요소로 분할하고, 스트리퍼와 다이는 강체로 가정하였다.

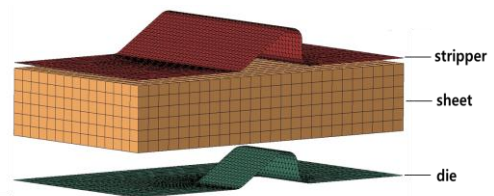


Fig. 5 FE model for simulating the embossing process.

3.3.2 해석 조건

스트리퍼가 500mm/min의 속도로 0.042mm하강하여 0.06mm 두께의 박판을 성형하게 하였다. 다이에 의해 박판이 성형되며 완전히 하강하면 스트리퍼와 다이에 의해 고정되도록 하였다. 스트리퍼, 다이, 박판 사이의 마찰은 무시하였다. Table 1에 나타난 미시물성 데이터와 Table 2에 나타난 거시물성 데이터를 사용하여 각각 유한요소해석하였다.

Table 2. Macro material properties of the specimen

Yield strength	620MPa
Tensile strength	804MPa
Young's modulus	110GPa
Poisson's ratio	0.34
Density	8.8g/cc

3.3.3 해석 결과

결정소성 유한요소해석(CPFEA) 결과, 성형된 판재의 돌기 높이가 실제 측정치(Experiment)와 1.6% 오차를 보였다. 반면 마크로소성 유한요소해석(MPFEA) 결과, 돌기의 높이가 실제 측정치와 12.3% 오차를 보였다(Table 3 참조).

Table 3. Comparison of deformed bump among CPFEA, MPFEA and Experiment

	CPFEA	MPFEA	Experiment
Height [μm]	19.5880	17.4512	19.8968
Error [%]	1.6	12.3	0

4. 결 론

전기단자 돌기 성형공정의 전산모사를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) SEM-EBSD를 이용하여 인칭동 박판의 결정방위분포를 측정하고 이를 변환하여 결정소성 유한요소해석에 적용하였다.

(2) 인장 시험 전산 모사를 통하여 인칭동 시편의 미시물성을 도출하였다.

(3) 결정소성 유한요소해석이 마크로소성 유한요소해석보다 성형된 전기단자 돌기 높이를 약 11% 정확히 예측함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Jung, W. J. Yoon, J. H and Cuitino, A., 2006, Study on Phenomenological and Crystal Plasticity Models to Predict Anisotropic Behaviors for Aluminum Alloy Sheets, Trans. Mater. Process., Vol. 15, No. 8, pp574~580.
- [2] Hill, R. and Rice, J.R., 1972, Constitutive Analysis of Elastic-Plastic Crystals at Arbitrary Strain, J. Mech.Phys. Solids, Vol. 20, pp.401~413.
- [3] H. K. Song, J. K. Shim and Y. T. Keum, 2014, Optimization of Spring Layout for Minimizing Twist of Sheet Metal Pins in Progressive Shearing, Trans. Mater. Process., Vol. 23, No. 8, pp501~506.
- [4] Kalidindi, S.R., Bronkhorst, C.A. and Anand, L.,1992, Crystallographic Texture Evolution in Bulk Deformation Processing of FCC Metals, J. Mech. Phys. Solids, Vol. 40, pp. 537~569.
- [5] Peirce, D., Asaro, R.J. and Needleman, A., 1982, An analysis of Nonuniform and Localized Deformation in Ductile Single Crystals, Acta Metall. Vol. 30, pp. 1087~1119.
- [6] Anand, L. and Kothari, M., 1996, A Computational Procedure for Rate-Independent Crystal Plasticity, J. Mech. Phys. Solids, Vol. 44, No. 4, pp. 525~558.
- [7] McGinty, R.D. and McDowell, D.L., 2006, "A Semi-Implicit Integration Scheme for Rate Independent Finite Crystal Plasticity," Int. J. Plasticity, Vol. 22, pp. 996~1025.
- [8] Kalidindi, S.R., Bronkhorst, C.A. and Anand, L., 1992, "Crystallographic Texture Evolution in Bulk Deformation Processing of FCC Metals," J. Mech. Phys. Solids, Vol. 40, pp. 536~569.
- [9] H.J. Bunge, 1982, Texture analysis in materials science : mathematical methods. butterworths,

VPSC 다결정 모델 연계 강소성 유한요소해석

강경필^{1#} · 이경훈¹ · 김용환² · 신광선³

Rigid Plastic FE Analysis coupled with VPSC Polycrystal Model

Gyeongpil Kang, Kyunghoon Lee, Yonghwan Kim, Kwangseon Shin

Abstract

The asymmetric material behavior during tension/compression of magnesium alloy make it unsuitable for the typical continuum based FE analysis to be used in the simulation of the magnesium alloy forming process. In this research, we designed a methodology to use crystal plasticity model as a constitutive equation. To predict the behavior of magnesium alloy in multi-scale level, we implemented VPSC model into rigid plastic FE code which is suitable for the simulation of large deformation process such as rolling, forging and extrusion. Application results are shown for the extrusion and rolling process of pure magnesium.

Key Words : Polycrystal Model(다결정 모델), VPSC(Visco Plastic Self Consistent), FEM,(유한요소법), Texture Evolution(집합조직 발달), Crystal Plasticity(결정 소성학), Multiscale(멀티스케일)

1. 서 론

소성가공/열처리 중에 발생하는 미세조직의 변화는 물성을 변경하며, 이 물성의 변화는 예를 들어 프레스 하중의 증가에 의한 성형속도 감소, 잠열의 발생에 의한 온도의 변화 등 공정에 영향을 미치게 된다. 다시 이러한 공정 변수의 변화는 미세조직의 변화를 가져오는 등 공정-미세조직-물성은 순환적인 고리를 형성하며 지속적으로 상호 작용하게 된다. 한편 소성가공 해석에 있어, 연속체역학에 기반한 유한요소해석의 경우에는 물성이라는 것은 일방적으로 인장/압축 시험 등을 통한 데이터를 정의하여 입력하게 된다. 일반적으로 압축/인장 곡선이 동일한 경우에는 문제되지 않으나, 마그네슘 합금과 같이 상온에서 뚜렷이 보여지는 인장/압축거동의 차이(asymmetry)는 기존 유한요소해석법의 적용 한계를 가지고 온다고 볼 수 있다. 이러한 한계를 극복하려고 근래에는 결정 소성학에 기반하여 미세조직 단계에서의 거동과 거시범위의 물성변화를 연계하려는 멀티스케일 해석이 관심을 받고 있다. 즉, 미세조직 단계에서의 재료거동을 통해 거시범위 해석에 있어 필요한 물성을 생성하여 실시간적으로 물성변화를 반영하는 것이다.

Tomé 등은 지난 20여년간 VPSC모델을 개선시켜, 미세조직 단계에서의 집합조직의 발달과정과 거시적 거동을 연결하는데 있어 성과를 보였다. 그들은 또한 Abaqus와 연계하여 VPSC 모델과 결합한 멀티스케일 해석을 가능케 하였다[1]. 강소성 유한요소해석은 압연/압출 등의 대변형 문제에 있어, 탄소성 해석보다 수렴성, 계산시간 등에 있어 많은 장점을 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 강소성 유한요소해석 코드인 DEFORM과 VPSC 모델의 연계를 도모하였으며, 그 연계 과정과 압출/압연공정에 적용한 해석 결과를 소개한다.

1. ㈜솔루션랩

2. 충남대학교 기계설계공학과

3. 서울대학교 재료공학부

교신저자: ㈜솔루션랩, E-mail:kkpil@solution-lab.co.kr

2. 멀티스케일 해석 프로세스 구현

2.1 VPSC 모델 소개

다결정 모델(Polycrystal Model)은 미세조직과 거시범위에서의 거동을 연결하는 모델로서, 단결정에서의 변형거동에 대한 물성값을 가지고, 집합조직에서의 변형율-응력선도를 도출하게 된다. 그 중 하나인 VPSC(Visco Plastic Self Consistent)모델은 각 결정립과 그 결정립을 둘러싼 균질 등가 매질 HEM(Homogenous Equivalent Medium)으로 구성되며, 여기에서 각 결정립은 비균질체(inhomogeneity)로 가정되고, HEM은 각 결정립의 거동을 평균화한 매질이다. HEM의 연성(Compliance)이 결정되는 방식은 각 결정립 연성과의 상호관계에 의해 각 결정립에서의 응력평균과 변형율속도 평균이 HEM과 허용 오차 범위안에 위치할 때까지 반복적인 계산이 이루어지며, 자기 일관성(self-consistency) 있는 값으로 결정된다[2]. Fig. 1은 VPSC모델의 개념도를 보여주고 있다.

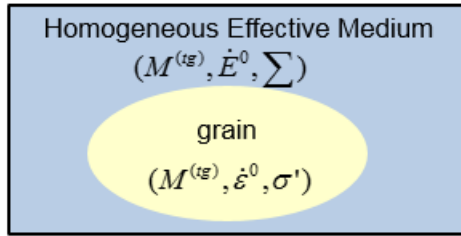


Fig. 1 Schematic Representation of VPSC Model

2.2. 미세 조직 단계에서의 물성 확보

VPSC 모델에서 요구하는 물성은 각 슬립/쌍정 모드에 대한 임계 변형저항(Critical resolved shear stress)과 관련한 파라미터들이다. 식 1에는 CRSS값의 수식을 보였는데, 여기에서 Γ 는 축적된 변형율을 뜻한다. 이러한 파라미터는 인장/압축시편의 응력-변형율 선도를 가지고 구하는데, 시행착오를 줄이고 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위해 유전자알고리즘을 적용한 프로그램(VPSC-GA)이 개발되었다. 이 프로그램은 시편의 초기 집합조직과 인장/압축 시험결과, CRSS 파라미터의 상하한치를 입력함으로써, 실험결과와 일치하는 CRSS파라미터를 결정하게 된다. 표 1의 데이터는 이 프로그램을 통해 계산된 순수마그네슘에 대한 상온에서의 CRSS 파라미터이다[3]. 상온에서는 기저면 슬립(Basal slip)과 인장쌍정(Tensile Twin)의 변형저항값이 낮은 수준이므로 주변형기구가 될 것이다.

$$\tau_c^s = \tau_0^s + (\tau_1^s + \theta_1^s \Gamma) [1 - \exp(-\theta_0^s \Gamma / \tau_1^s)] \quad \text{식(1)}$$

Table 1 CRSS parameters of pure magnesium at room temperature

Mode	τ_0	τ_1	θ_0	θ_1	h^{ss}
Basal	0.740	0.703	415.530	100.040	1
Prismatic <a>	37.731	23.458	664.490	197.390	1
Prismatic <c+a>	54.990	48.896	996.950	173.720	1
Tensile Twin	1.710	1.084	45.575	20.508	1
Compressive Twin	93.521	36.258	1353.700	180.230	1

2.3. VPSC 모델과 강소성 유한요소해석과의 연계

VPSC모델과 강소성 유한요소해석과의 연계는 DEFORM-3D®의 USTIFF 서브루틴을 사용하였다. 여기에 서는 각 요소에서의 속도 구배값(Velocity Gradient)을 가지고, VPSC모델을 통해 계산된 편차응력과 변형률 속도에 대한 그 미분값을 가지고 요소단위에서의 강성행렬과 하중행렬을 계산한다. 이러한 절차는 수렴된 속도장이 나타날 때까지 반복적으로 계산하게 된다. 그 개요도는 Fig. 1에 나타내었다.

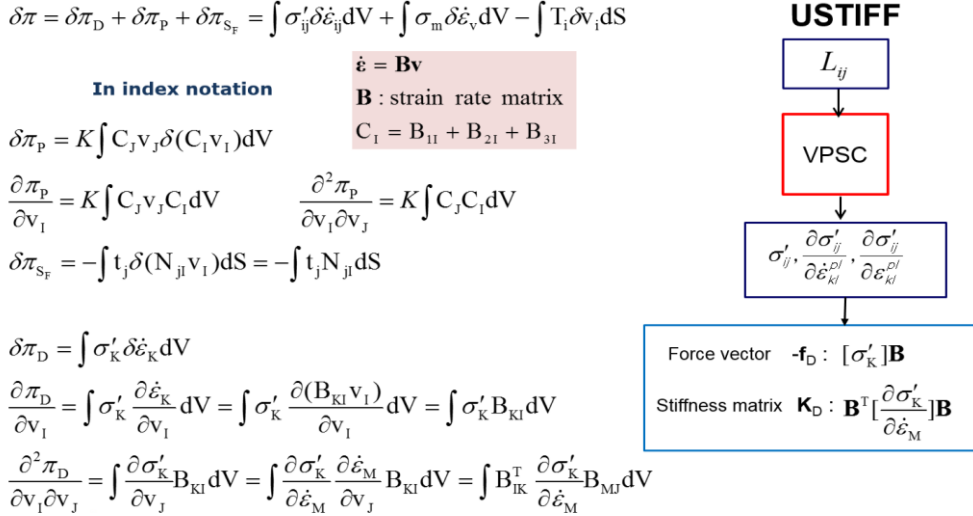


Fig. 2 Implementation Scheme of VPSC Model into Rigid Plastic FE Code

3. 멀티스케일 해석결과

3.1 마그네슘 압출공정에의 적용

순수 마그네슘에 대한 압출거동을 해석하였다. 해석 모델은 단면적 감소율이 44%인 압출공정으로 구성하였다. 초기 임의방향성을 가지는 집합조직은 압출이 진행됨에 따라 육방최밀격자(hcp)의 c축이 압축방향으로 정렬되고 있음을 Fig. 3의 해석결과로 확인할 수 있다.

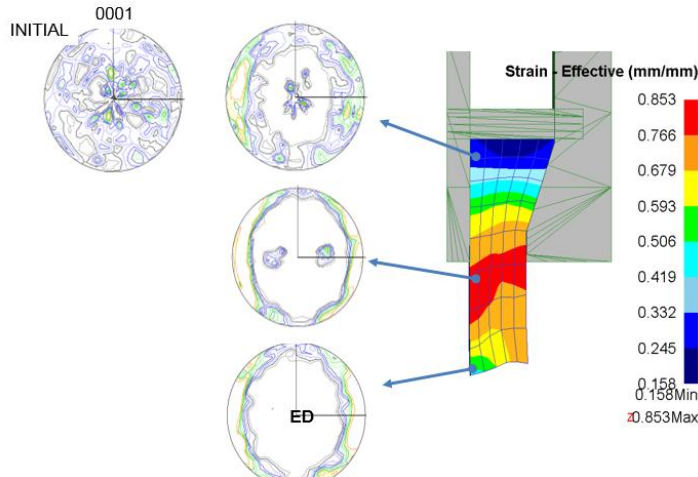


Fig. 3 Evolution of texture in extrusion process of pure magnesium

3.2 마그네슘 압연 공정에의 적용

압연공정해석에서는 초기압연 단계에서 기저면 슬립과 인장쌍정에 의해 압축방향으로 c축이 정렬되므로 Fig. 4와 같이 중심부로 모이는 경향을 보이고 있다. 이후 압연이 진행될수록 다른 모드의 변형모드가 혼재되어 나타나게 된다.

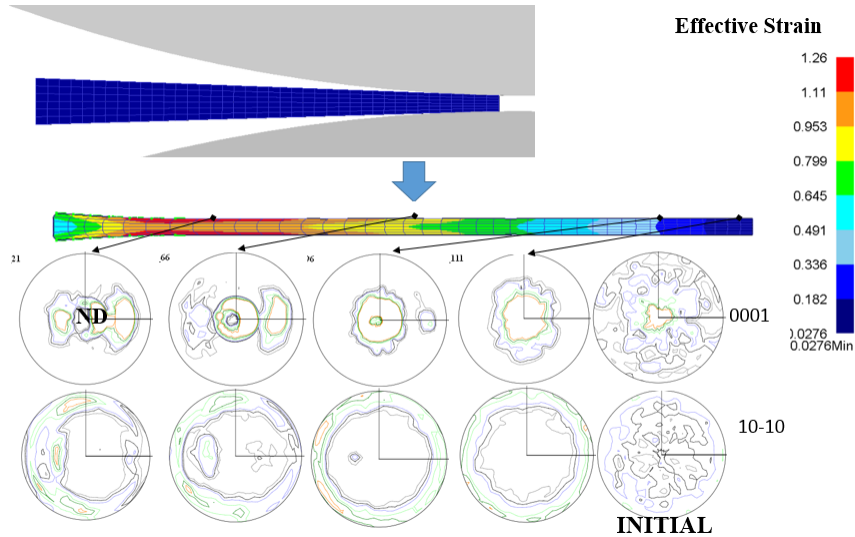


Fig. 4 Evolution of texture in rolling process of pure magnesium

4. 결 론

집합조직의 발달에 따라 변하는 변형저항을 반영하여 거시범위 해석이 가능한 유한요소해석 프로세스를 개발하였다. 집합조직 각 변형모드의 임계저항값을 유전자 알고리즘에 의해 구하고, VPSC 집합조직 모델을 강소성 유한요소해석에서 고려할 수 있도록 구성방정식을 변형하였으며, 압출과 압연공정에 대한 해석을 통해 적용가능성을 검토하였다. 향후 실험결과와의 비교를 통해 VPSC 모델의 적용 가능범위를 검증하는 연구가 추가 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] J. Segurado, R.A. Lebensohn, J.Llorca, C.N. Tome, 2012, Multiscale modeling of plasticity based on embedding the viscoplastic self-consistent formulation in implicit finite elements, *Int. J. Plasticity* **28**, pp.124~140.
- [2] R.A. Lebensohn, C.N. Tome, 1993, A Self-Consistent Anisotropic Approach for The Simulation of Plastic Deformation and Texture Development of Polycrystals, *Acta Metall Mater.* **41**, pp. 2611~2624.
- [3] 변명철, 2013, Plastic Deformation Behavior of Magnesium Single Crystals, 박사학위 논문, 서울대학교, p58

4각 딥드로잉 클래드판재 성형공정의 탄소성 유한요소해석

이민철¹ · 홍석무² · 황지훈³ · 심재원³ · 이장호¹ · 정완진⁴ · 전만수[#]

Elastoplastic finite element analysis of rectangle deep drawing process of clad-sheet

M. C. Lee, S. M. Hong, J. H. Hwang, J. W. Sim, J. H. Lee, W. J. Chung, M. S. Joun

Abstract

In this paper, three-dimensional elastoplastic finite element approach to simulating a clad-metal sheet metal forming process is presented. The approach is based on a layered finite element mesh system with tetrahedral elements and a force imposing die to deal with blanking holder force. The predictions are compared with experiments, revealing that they are in a good agreement with each other.

Key Words : Clad-Metal Sheet Forming(클래드재 판재성형), Three-Dimensional Elastoplastic Finite Element Analysis(3차원 탄소성 유한요소해석), Layered Finite Element Mesh System(적층 유한요소망)

1. 서 론

판재성형공정의 해석은 전통적으로 쉘 요소와 양해법에 의존하여 발전되었다. 그러나 이 방법은 해의 정확도의 문제와 극부적인 밴딩 영역에서의 해의 신뢰성 문제가 제기되어 왔다. 특히 최근의 판단조 공정의 부상과 함께 체적요소의 사용에 관한 연구가 다방면에서 이루어지고 있다.

형상비가 상대적으로 작은 판재성형 해석 목적으로 체적소성가공 공정해석 기술의 적용이 시도되었다 [1- 3].

체적소성가공 공정해석 기술을 판재성형가공 공정해석 문제에 적용하는데 있어서 다접촉 문제, 요소망 생성 및 재구성 문제, 계산 시간 문제 등의 해결이 난제이지만, 이러한 문제들이 점진적으로 개선되고 있다. 그리고 작은 모서리

반경을 가진 두꺼운 판재성형이나 판단조 공정을 시뮬레이션 할 때 기존의 쉘 요소들은 매우 취약하다 [4-6]. 따라서 육면체 또는 사면체 요소를 포함하는 체적 요소를 이용한 판재소성가공 공정의 해석은 하나의 시대적 흐름으로 자리 잡게 될 것이다.

최근 저자들의 연구그룹에서도 음해법에 근거한 탄소성 유한요소법 [7], 적층판 요소망생성 [8], 하중 부과 금형 처리 [9] 등의 기술이 개발되어 이러한 시대적 흐름에 부응할 수 있는 여건이 성숙되어 가고 있다.

이 연구에서는 비교적 난제에 속하는 클래드 박판재의 3차원 탄소성 유한요소해석을 실시한다.

2. 클래드 판재 성형공정의 3차원 탄소성 유한요소해석

클래드 판재 성형공정의 해석을 위해서는 중형비가 약 100배 이상의 차이를 가지는 사면체 요소망 층을 두께방향으로 생성해야 한다.

1. ㈜에프알씨 기술연구소
2. 공주대학교 금형설계공학과
3. 삼성전자㈜
4. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과
교신저자: 경성대학교 기계공학부,
E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

이 방법은 기존의 자동요소망 생성기법으로는 생성이 불가능하거나 고 품질의 요소망을 생성할 수 없으므로 요소망 생성관점에는 고 난위도의 문제에 속한다.

이 연구에서는 기초 삼각형 요소망을 생성한 후, 두께방향으로 사용자가 입력한 층수만큼 프리즘 요소망 층을 생성하고, 최종적으로 프리즘 요소망을 사면체 요소망으로 변환하였다. Fig. 1은 사면체 요소층을 생성하는 개념을 나타내고 있다. 먼저, 삼차원 표면 삼각형 요소망 생성기법으로 만든 기초 삼각형 망을 두께방향으로 옵션하여 프리즘 요소망을 생성한다. 최종적으로 생성한 프리즘 요소망을 사면체 요소망으로 변환시 공유하는 내부면을 일치시키기 위해서 Dompierre 등이 제안한 방법을 사용하였다. 이 방법은 위상정보를 필요로 하지 않으면서, 프리즘요소망을 사면체 요소망으로 완벽하게 변환해주는 방법이다[10].

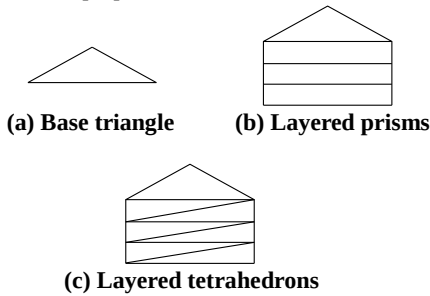


Fig. 1 Concept of generation of layered mesh system

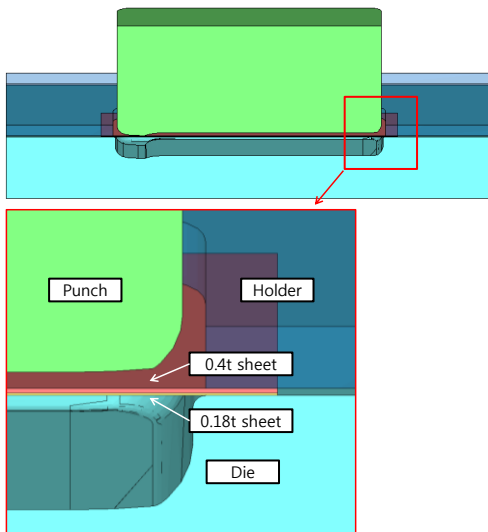


Fig. 2 Clad-metal sheet forming process to be studied

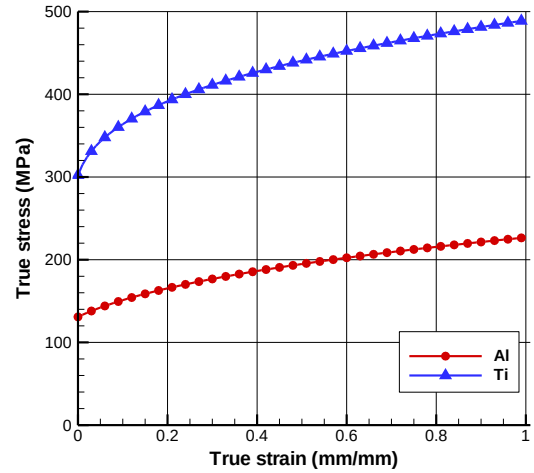
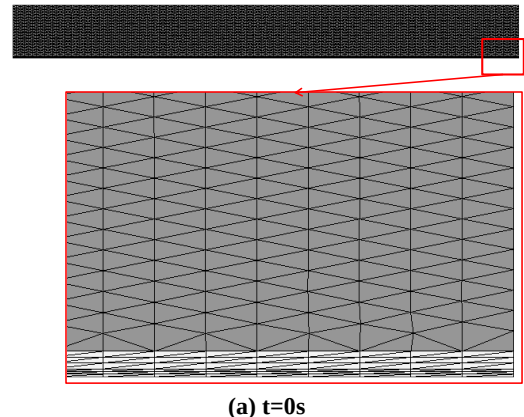


Fig. 3 Flow stress

이 논문에서 적용한 클래드 판재성형 공정은 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 사용한 클래드 판재는 Fig. 2의 두께 0.4mm의 알루미늄 모재에 0.18mm의 티타늄이 접합된 것이다. 클래드 판재의 유동응력은 Fig 3에 나타내었다. 그리고 금형-소재 사이의 쿨롱마찰계수는 0.12로 가정하였다.

대칭성을 이용하여 전체의 해석 영역의 1/2를 해석 대상으로 간주하였고, 전체의 층 수는 6층으로 하고, Fig. 3(a)에서 보는 바와 같이 모재를 3층으로 분할하였다. 총 요소의 수는 150000개이다. 블랭크 홀딩력은 25kN이며, 이것은 하중부과금형 기법[9]으로 처리되었다. 재료의 속도 의존도는 무시되었으며, 그 결과, 펀치의 하강 속도를 1mm/s로 가정하였다.



(a) t=0s

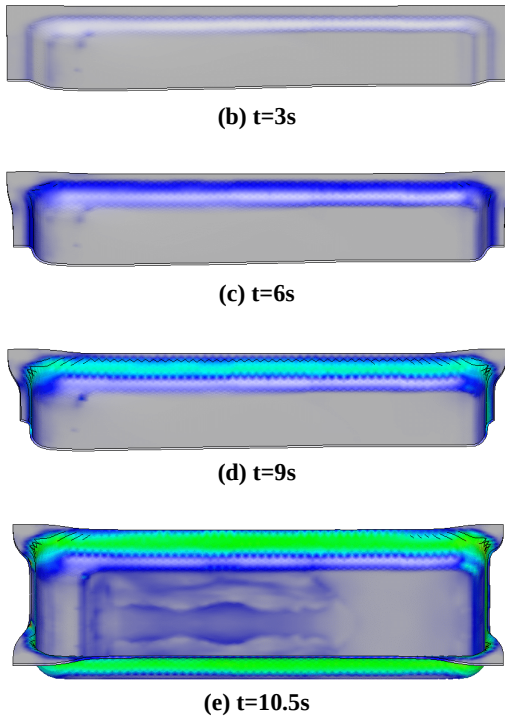


Fig. 4 Predicted history of deformation

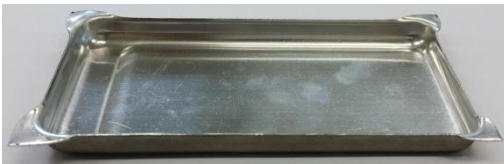


Fig. 5 Experiment

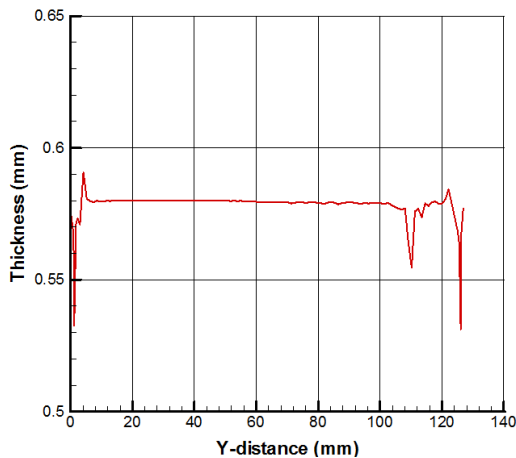


Fig. 6 Thickness variation along the plane of symmetry

Fig. 4는 해석결과로서 획득된 변형의 이력을 나타내고 있다. 최종적인 형상은 Fig. 5의 실험결과와 유사하게 나타났다. 장폭과 단폭의 측정결과는 126.9mm와 67.9mm이며, 예측결과는 126.7mm와 68.3 mm이다.

Fig. 6은 대칭면에서의 두께 변화를 나타내고 있다.

4. 결 론

이 논문에서는 사면체요소를 이용한 클래드 박판 판재성형공정 탄소성유한요소해석 기법을 제시하였으며, 공정 적용을 통하여 타당성을 검증하였다.

체적소성가공 해석기법의 판재성형 공정 적용은 가속될 것이다. 클래드 판재의 경우, 체적소성의 사용이 더욱 절실한 분야이다. 이 논문에서 그 가능성을 보여 주었다.

후 기

본 연구는 삼성전자의 지원 및 2014년도 중소기업청의 혁신기업기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(S2227173).

참 고 문 헌

- [1] M. L. Wenner, 2005, Overview-Simulation of Sheet Metal Forming, Proc. of NUMISHEET 2005, AIP Conference Proceedings, Vol. 778, pp. 3~7.
- [2] S. H. Sim, M. C. Lee, W. J. Chung, M. S. Joun, 2011, Finite element analyses of square-cup deep drawing process using tetrahedral MINI-elements, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., Changwon, Korea, pp. 374~378.
- [3] M. C. Lee, W. J. Chung, J. G. Eom, J. S. Kim, K. S. Kim, M. S. Joun, 2010, Rigid-Plastic Finite Element Analysis of a Cold Plate Forging Process Using Tetrahedral Elements, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., Deagu, Korea, pp. 244~247.
- [4] K. Roll, T. Lemke, Wiegand, K, 2005, Possibility and Strategies for Simulations and Compensation for Springback, Proc. of NUMISHEET 2005, AIP Conference Proceedings, Vol. 778, pp. 295~302.

- [5] J. W. Cho, D. Y. Yang, W. J. Chung, 2002, A Simplified Approach for Incorporating Thickness Stress in the Analysis of Sheet Metal Forming using Shell Elements, *Int. J. Numer. Methods Eng.*, Vol. 53, pp. 2311~2327.
- [6] R. P. R. Cardoso, J. W. Yoon, 2005, One Point Quadrature Shell Element with Through-Thickness Stretch, *Comput. Meth. Appl. Mech. Eng.*, Vol. 191, pp. 5177~5206.
- [7] W. J. Chung, M. S. Joun, 2014, Elastoplastic finite element method using three-dimensional tetrahedral MINI-element, KSTP Autumn conference, pp. 224~227.
- [8] M. C. Lee, 2014, Layered tetrahedral mesh generation, MFCAE 2014.
- [9] S. W. Jeong, S. W. Lee, M. S. Joun, 2013, Finite element analysis of fine blanking process using force prescribed die, KSTP Autumn conference, pp. 263~266.
- [10] J. Dompierre, P. Labbe, M-G Vallet and R. Camarero, 1999, How to subdivide pyramids, prisms and hexahedra into tetrahedral, *Proceedings of 8th International Meshing Roundtable*, South Lake Tahoe, CA, U.S.A., pp.195-204.

체적요소를 이용한 사각컵 딥드로잉 공정의 탄소성 유한요소 해석

정석환¹ · 정완진² · 전만수[#]

Elastoplastic finite element analyses of a square-cup deep drawing process using solid elements

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

Abstract

In this paper, an approach of applying the elastoplastic analysis technology to sheet metal forming process using tetrahedral elements instead is presented. The approach is applied to the square-cup deep drawing process, that is, the international bench-marking process in NUMISHEET 93. The present predictions are compared with the experimental results and those obtained using shell elements found from the related literature. Effect of the number of layers in the thickness direction is evaluated comparing the predictions with experiments. It has been revealed that finite element predictions using proper layered solid elements are more accurate than those obtained by shell elements.

Key Words : Sheet Metal Forming (판재성형), Elastoplastic Finite Element Analysis (탄소성 유한요소해석), Tetrahedral MINI-Element (사면체 MINI 요소), Multi-Layered Mesh System (다층 요소망)

1. 서 론

일반적으로 자동차나 가전제품의 외관으로 사용되는 제품은 얇은 판재를 이용한 프레스 성형 공법으로 생산되며, 고강도 외판재 적용 등을 위한 신소재 적용 및 금형 설계 등을 위해서 유한 요소 해석이 성공적으로 적용되어 왔다. 박판 성형 공정은 소재의 두께가 얇고 성형 중 소재의 두께 방향 변형이 크지 않은 특성을 활용하여 유한요소 해석시 계산 시간 단축 및 격자 생성 용이성 등의 장점으로 인해 체적 요소가 아닌 쉘 요소를 적용하는 것이 일반적이다. 이러한 쉘 요소를 기반으로 한 판재성형해석 프로그램들은 다양한 성형 공법에 있어서 만족할 만한 결과를 제공하고 있다 [1].

그러나, 판재가 두껍거나 작은 곡률 반경을 가진 형상의 경우에는 쉘 요소를 사용하는 경우

해의 정확도가 떨어지는 문제가 발생한다 [2,3]. 특히, 근래 들어 박판 성형 공법과 단조 공법을 접목한 형태인 판단조 공정의 적용이 늘어나는 실정에 반해 정밀한 해석이 가능한 CAE 소프트웨어가 부재하여 현재까지도 경험에 의한 공정 설계가 이루어지고 있다.

따라서, 이러한 쉘 요소의 한계를 극복하기 위한 방안에 대해서 지속적인 연구가 이루어져 왔으며 [4~9], MINI 요소를 이용한 사면체의 활용이 궁극적인 해결 방안으로 제시되고 있다. 본 연구에서는 MINI 요소를 활용한 탄소성 해석 기법 [10], 강소성 판재 해석시 사용된 바인더 하중 부과기법 및 층구조 요소 격자 구성 기법을 [11]을 접목하여, 탄소성 판재 성형 해석 기법을 제시하였으며, NUMISHEET 93에서 벤치마크 공정으로 사용된 예제에 대한 해석 결과를 비교 검증하였다.

1. 주식회사 엠에프알씨

2. 서울과학기술대학교 제품설계 금형공학과

교신저자: 경상대 기계공학부/공학연구원

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

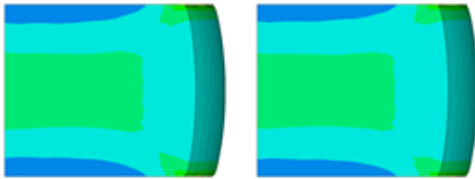
2. 이론

2.1 MINI 요소를 이용한 탄소성 해석

본 논문에서 판재의 성형 거동을 해석하기 위해 Chung 등 [10]이 제안한 MINI 요소를 이용한 탄소성 해석 기법이 사용되었다.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_0 - \mathbf{h}_{ub} \mathbf{h}_{bb}^{-1} \mathbf{h}_{ub}^T & \mathbf{h}_{up} - \mathbf{h}_{ub} \mathbf{h}_{bb}^{-1} \mathbf{h}_{bp}^T \\ \mathbf{h}_{up}^T - \mathbf{h}_{bp}^T \mathbf{h}_{bb}^{-1} \mathbf{h}_{ub}^T & \mathbf{V} - \mathbf{h}_{bp}^T \mathbf{h}_{bb}^{-1} \mathbf{h}_{bp} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \mathbf{U} \\ \Delta \mathbf{P} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{f}^{ext} \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \mathbf{f}^{int} \\ \mathbf{f}^p \end{pmatrix} \quad (1)$$

Fig. 1은 식 (1)에서 사용된 탄소성 해석을 위한 사면체 MINI 요소의 정확성을 검증하기 위해 기검증된 강소성 MINI 요소가 적용된 AFDEX3D/Rigid 결과와 비교한 그림으로 서로 잘 일치함을 확인할 수 있다.



(a) Elastoplastic (b) Rigid-plastic
Fig. 1 Comparison of effective strain between elastoplastic and rigid-plastic analyses

2.2 바인더 하중 부과 기법

박판 성형시 소재의 인장 정도를 제어하기 위해 소재를 잡아 주는 역할을 하는 바인더 금형의 경우 소재를 눌러 주는 하중 제어 방식이 채택된다. 유한 요소 해석시 이러한 바인더 금형의 하중을 제어하기 위해 하중부과 기법이 적용되었다. 바인더 금형의 경우 매우 작은 값의 일정 거리만큼 소재를 침투하도록 허용하였으며, 침투된 영역에 침투한 부피의 함수로 인위적 표면력을 부과하였다. 물론 전체의 바인더 부과하중을 주어진 값과 일치하도록 하기 위하여 매 해석스텝마다 인위적 표면력의 크기를 조절하였다. 본 논문에서는 침투허용 깊이를 0.1 mm로 가정하였다

3. 해석 결과 검증

탄소성 체적 요소를 이용한 판재 성형 해석 기법을 검증하기 위해서 Fig. 2에서와 같이 NUMISHEET 93 [12]에서 국제 벤치마크 테스트용으로 사용된 사각컵 딥드로인 공정에 대해서

해석을 수행하였다. 소재는 150×150×0.78mm의 정사각형 판재이다. 사용된 강의 유동응력식은 $\bar{\sigma} = 566(0.007 + \bar{\epsilon})^{0.259}$ MPa이고 항복강도는 167.0 MPa이다. 블랭크 홀딩력은 19.6 kN이고 소재 사이의 마찰계수는 0.1이다. 펀치속도는 소재가 비점성으로 해에 영향을 주지 않으므로 1 mm/s로 두었다.

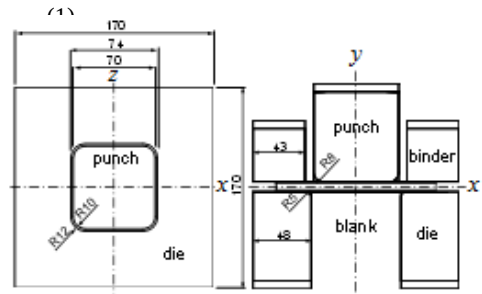


Fig. 2 Definition of the square-cup deep drawing process

해석 결과의 정확도를 비교하기 위해서 판재의 변형 형상을 측정하기 위해 Fig. 3에서와 같이 DX, DY, DD를 정의하였으며, 참고 문헌[4]에서 보인 실험치 및 MTLFRM, LS-DYNA3D, PAM-STAMP 등의 shell 요소 및 solid-shell 요소 결과와 비교하였다. 탄소성 체적 요소의 경우는 두께 방향의 적층 요소수에 따른 영향도 고려하였다.

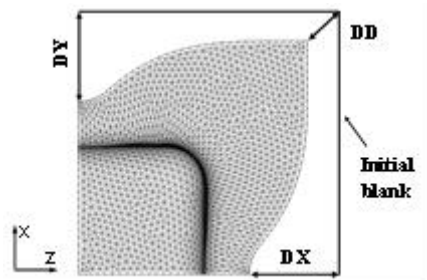


Fig. 3 Definition of the measuring

Table 1의 결과에서 볼 때, 본 논문에서 사용한 탄소성 체적 요소의 경우 요소의 적층 수에 따라서 해석 결과가 영향을 받는 것을 알 수 있다. 실험 데이터와 비교 시 최소한 2개 이상의 적층 요소를 사용했을 때 해석 결과가 신뢰성이 있음을 알 수 있다. 적층 수가 많아지는 경우 요소의 형상비를 악화시켜 해석의 정확도가 저하되

는 현상을 확인할 수 있다. 전체적으로 일반적인 쉘 요소의 해석 결과와 비교했을 때, 적절한 적층 요소를 사용하는 경우 충분히 정확한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

Table 1 Comparison of our predictions with the experiments and other predictions

Comparison		DX, DY(mm)	DD(mm)
Experiment results		27.95	15.36
Elastoplastic Tetrahedral MINI Element	1 Layer	26.50	14.63
	2 Layers	27.70	15.29
	3 Layers	27.73	15.32
	4 Layers	27.60	15.27
Solid-shell (Xu et al. [4])		27.17	14.79
MTLFRM (shell) [4]		28.90	16.20
LS-DYNA3D (shell) [4]		30.03	16.43
PAM-STAMP (shell) [4]		28.43	15.46

4. 결론

본 논문에서는 판재 성형 해석에 있어 탄소성 체적요소의 적용 가능성에 대해서 검토하였으며, 2개 이상의 적층 구조를 갖는 요소망을 사용하는 경우 실험치와 유사한 결과를 도출하였다. 본 논문의 결과는 소재가 등방성 소재로 가정하고 구한 해석 결과인데, 보다 정확한 비교를 위해 향후 압연 방향에 따른 소재의 이방성 특성을 고려할 예정이다.

후 기

이 논문은 2014년도 중소기업청의 혁신기업기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (S2227173).

참 고 문 헌

- [1] M. L. Wenner, 2005, Overview-Simulation of Sheet Metal Forming, Proc. of NUMISHEET 2005, AIP Conference Proceedings, Vol. 778, pp. 3~7.
- [2] J. W. Cho, D. Y. Yang, W. J. Chung, 2002, A Simplified Approach for Incorporating Thickness Stress in the Analysis of Sheet Metal Forming using Shell Elements, Int. J. Numer. Methods Eng., Vol. 53, pp. 2311~2327.
- [3] R. P. R. Cardoso, J. W. Yoon, 2005, One Point Quadrature Shell Element with Through-Thickness Stretch, Comput. Meth. Appl. Mech. Eng., Vol. 191, pp. 5177~5206.
- [4] H. J. Xu, Y. Q. Liu, Z.B. Zhang, T. Du, 2010, Solid-Shell Finite Element Method for Progressive Die Forming Simulation, Proc. of Metal Forming 2010, pp. 721~724.
- [5] M. P. L. Parente, R. A. Fontes Valente, R. M. Natal Jorge, R. P. R. Cardoso, R. J. Alves de Sousa, 2006, Sheet Metal Forming Simulation Using EAS Solid-Shell Elements, Finite Elem. Anal. Des., Vol. 42, pp. 1137~1149.
- [6] L. F. Menezes, C. Teodosiu, 2000, Three-Dimensional Numerical Simulation of The Deep-Drawing Process Using Solid Finite Elements, J. Mater. Process. Technol., Vol. 97, pp. 100~106.
- [7] M. C. Lee, W. J. Chung, J. G. Eom, J. S. Kim, K. S. Kim, M. S. Joun, 2010, Rigid-Plastic Finite Element Analysis of a Cold Plate Forging Process Using Tetrahedral Elements, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., Deagu, Korea, pp. 244-247.
- [8] M. C. Lee, M. S. Joun, J. K. Lee, 2007, Adaptive Tetrahedral Element Generation and Refinement to Improve the Quality of Bulk Metal Forming Simulation.” Finite Elem. Anal. Des., 43, pp. 788~802.
- [9] S. H. Sim, M. C. Lee, W. J. Chung, M. S. Joun, 2011, Finite element analyses of square-cup deep drawing process using tetrahedral MINI-elements, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., Changwon, Korea, pp. 374~378.
- [10] W. J. Chung, M. S. Joun, 2014, Elastoplastic finite element method using three-dimensional tetrahedral MINI-element, KSTP Autumn conference, pp. 224~227.
- [11] S. W. Lee, H. Y. Ryu, W. J. Chung, M. S. Joun, 2013, Finite element analyses of a square-cup deep drawing process using solid element and binder force treatment scheme, KSTP Spring conference, pp. 288~291.
- [12] J. Dankert, 1995. Experimental Investigation of a Square-Cup Deep-Drawing Process, J. Mater. Process. Technol., Vol. 50, pp. 375~384.

유한요소법을 이용한 치과용 투명교정장치의 교정력 평가

안기호¹·이종길^{1#}

Estimation of Orthodontic Forces between Invisible Orthodontic Aligner and Teeth using FEM

G. Ahn, J. K. Lee

Abstract

Orthodontic aligner is a device used to produce orthodontic tooth movement. The challenge in designing an orthodontic aligner is to produce an optimal magnitude and distribution of the orthodontic forces between the aligner and teeth. In this study, the performances of several orthodontic aligners were evaluated by FE analysis. The orthodontic aligners of non-uniform thickness seem to be promising candidates for effective orthodontic force control

Key Words : Orthodontic Aligner, Orthodontic Force, Tooth, FEM

1. 서 론

치과용 투명교정장치는 착탈이 가능한 치아 교정 장치로 심미적 요인과 편의성으로 인해 최근 사용이 증대되고 있다. 그러나 와이어를 통한 기존의 치아 교정 방법에 비하여, 치아에 가할 수 있는 교정력의 조절이 용이하지 않아 적용에 있어 한계를 가지고 있다.

이러한 한계를 극복하기 위하여 치과용 투명교정장치의 소재, 두께 및 형상 조절을 통하여 가할 수 있는 교정력의 크기와 방향을 예측하거나 측정하기 위한 연구들이 다양하게 진행되고 있다.[1-3]

본 연구에서는 상용 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS[4]를 이용하여 투명교정장치를 이용한 치아의 교정 과정을 해석하였다. 해석을 통해 투명교정장치의 두께 변화에 따른 교정력의 변화를 분석하고, 불균일 두께를 가지는 투명교정장치의 유용성을 검증하였다.

2.1 유한요소 모델의 구성

해석 모델은 Fig. 1 과 같은 표준 치형 모델을 이용하여 구성하였으며, 특정 치아를 인위적으로 이동시키거나 회전시켜 교정대상으로 삼도록 하였다. 치아는 잇몸 밖의 부분만 모델링 하였으며, 치근부분은 6자유도 스프링으로 고정하였다. 스프링 상수는 40N/mm, 28800Nmm/rad으로 하였다.[5]

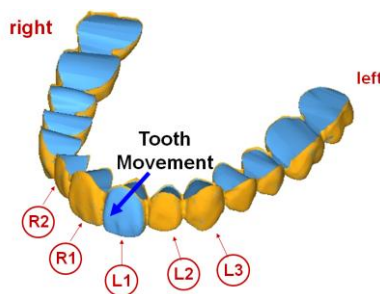


Fig. 1 Invisible orthodontic aligner model

2. 유한요소해석

1. 한국산업기술대학교

교신저자: 한국산업기술대학교, E-mail: ljk@kpu.ac.kr

투명교정장치의 유한요소 모델은 4절점 셀(shell) 요소를 이용하여 구성하였으며, 요소의 크기는 한 변을 기준으로 약 0.2~0.3mm 수준으로 하였고, 요소의 수는 45,296개를 사용하였다. 투명교정장치의 물성 모델은 선형 탄성인 것으로 가정하였으며, 탄성계수는 3GPa를 사용하였다.

2.2 해석 조건의 설정

투명교정장치의 부분적 두께 변화에 따른 교정력의 변화를 살펴보기 위하여 두께 변화 영역은 대상치아(두께증가 1곳), 대상치아 및 인접치아 2개(두께증가 3곳), 대상치아 및 인접치아 4개(두께증가 5곳)의 세 영역에 대하여 두께를 0.50mm(기준 두께), 0.75mm, 1.00mm로 변화시키며 해석을 수행하였다. 두께를 변화시키지 않은 다른 모든 부분의 투명디바이스 두께는 0.50mm로 하였다.

치아의 교정 대상 치아의 위치는 치아 전방으로 0.1mm만큼 이동한 경우와 치근의 회전중심을 중심으로 0.00625rad회전 시킨 경우를 가정하였다.

3. 해석결과

해석은 상용프로그램인 ANSYS를 이용하여 수행하였으며, 치아 0.1mm 이동 모델에 대하여 예측한 교정장치 두께 변화에 따른 교정력의 변화는 다음과 같다.

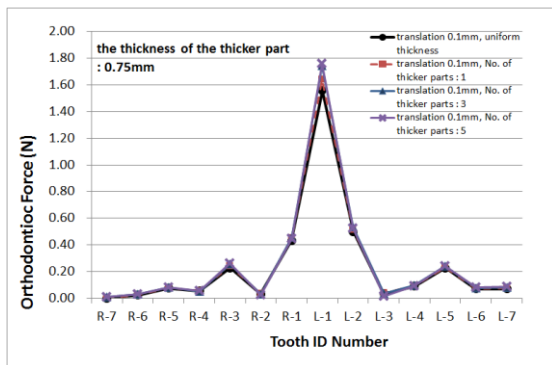


Fig. 2 Comparison of the predicted orthodontic forces (the thickness of orthodontic aligner: 0.5mm + 0.75mm)

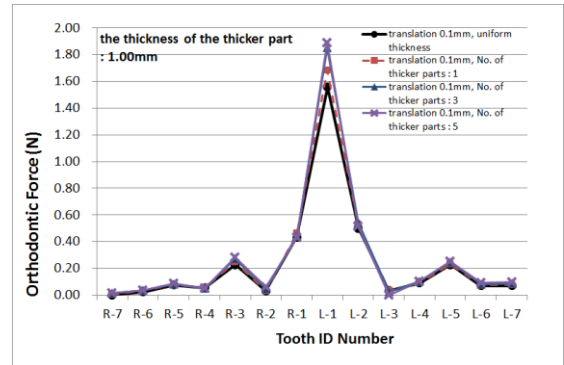


Fig. 3 Comparison of the predicted orthodontic forces (the thickness of orthodontic aligner: 0.5mm + 1.00mm)

투명 교정장치의 두께 증가 부위를 대상치아 한 곳으로만 제한한 경우는 균일 두께 모델 대비 교정력의 증가가 미미하였으며, 대상치아 및 이웃치아 부분까지 두께 증가부를 확장한 경우 분명한 교정력의 증가가 나타났다.

투명 교정장치와 치아의 접촉압력은 대상치아의 경우 전면에 주로 분포하였으며, 이웃 치아의 경우 후면 상부에 집중되는 양상을 보였다.

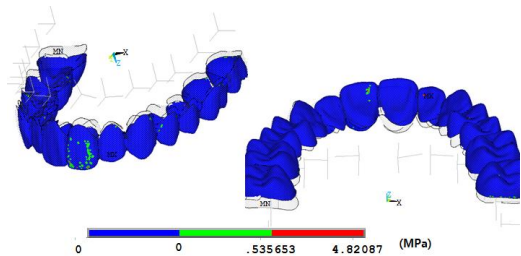


Fig. 3 Predicted contact pressure distribution (tooth translation: 0.1mm, the thickness of the thicker part of aligner: 0.75mm, the range of the thicker part of aligner: three teeth)

치아 회전(rotation)과 치아 이동(translation)의 문제에 대한 교정 양상의 차이를 살펴보기 위하여 치아를 0.0625rad 회전 시킨 모델을 구성하고, 상기 0.1mm 치아 이동의 경우와 동일한 모델을 구성하여 투명교정이 두께 변화에 따른 교정력의 변화를 분석하였다.

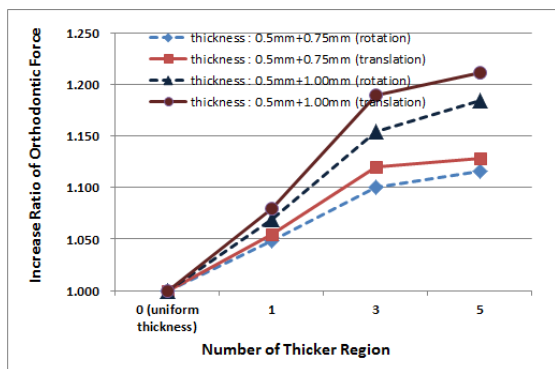


Fig. 4 Predicted increase of orthodontic forces

치아 회전 모델에 대한 교정력 해석의 결과도 치아 이동 모델의 경우와 마찬가지로 교정디바이스의 두께 증가에 따라 교정력이 증가하는 것으로 나타났다. 다만 두께 증가 영역의 수에 따른 교정력 증가 비율 증가 경향은 이동 모델에 비하여 다소 완만한 것으로 예측되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 치과 교정용 투명 교정장치의 두께 변화에 따른 교정능력의 변화를 예측하기 위한 해석을 수행하고, 두께 변화를 통한 교정력 조절 가능성을 확인하였으며, 결론은 다음과 같다.

- (1) 투명 교정장치의 부분적 두께 변화를 통하여 교정력을 조절할 수 있음을 확인하였으며, 본 연구의 모델에서는 약 10~20% 정도의 교정력 향상이 가능한 것으로 나타났다.
- (2) 치과용 투명 교정장치 교정력의 효과적인 증가를 위해서는 교정장치 두께를 교정대상치아에 해당하는 부분뿐 만 아니라 인근치아 대응 부분까지 확대하여야 함을 알 수 있었다.
- (3) 투명 교정장치에 의한 치아 교정 시, 교정압력은 대상치아의 경우에는 치아 전면 끝단에 분포하며, 이웃 치아의 경우에는 치아 후면의 끝단에 분포하는 것으로 나타났다. 따라서 치아 교정 시, 교정압력의 분포양상을 고려하여 교정 중 발생하는 치아의 회전과 이

동을 동시에 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

- (4) 치과용 투명 교정장치의 부분적 두께변화를 통하여 교정력의 조절이 가능할 것으로 보이며, 이를 이용하여 향후 치아의 효과적 교정이 가능한 투명 교정장치의 개발이 가능할 것으로 예상된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 제조기반 산업핵심 기술개발사업인 “SLS 기반 하이브리드 3D 프린팅 기술을 이용한 개인 맞춤형 메디컬 디바이스 (치아교정장치 및 임플란트)의 디지털 쾌속 금형기술 개발”과제의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Wolfram Hahn, et al. , Initial Forces and Moments Delivered by Removable Thermoplastic Appliances during Rotation of an Upper Central Incisor, Angle Orthodontist, 2010, Vol. 80, No2,pp. 239-246.
- [2] Mareike Simon, et al., Treatment outcome and efficacy of an aligner technique-regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization, BMC Oral Health, 2014, Vol. 14:68, pp. 1-7
- [3] Wolfram Hahn, et al. , Influence of thermoplastic appliance thickness on the magnitude of force delivered to a maxillary central incisor during tipping, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2009,pp.12.e1-12.e7
- [4] ANSYS, user manual
- [5] Julian Boldt, et. al., Measurement of tooth and implant mobility under physiological loading conditions, Annals of Anatomy, 2012, Vol. 194, pp.185-189
- [6] M. Drolshagen, et al., Development of a novel intraoral measurement device to determine the biomechanical characteristics of the human periodontal ligament, 2011, J. of Biomechanics, Vol. 44, pp.2136-2143

보스-리브 시험법을 통한 윤활제의 마찰 특성 연구

이두규¹ · 이호원¹ · 오영석¹ · 강성훈^{1#}

Evaluation of lubrication characteristic using boss-rib test method

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

Abstract

Since the lubrication characteristic at the tool-workpiece interface plays important role in metal forming process, the quantitative evaluation of lubricant is essential for successful production. The boss and rib test based on backward extrusion process is friction testing method that emulates frictional phenomena on actual cold forming condition. In this study, the boss and rib test was carried out for various lubricant and materials in order to investigate the characteristic of lubricant in cold forming process. For experiments, commercial aluminum alloys of 2024, 6061 and pure copper were chosen as specimen materials. In addition, solid, semi-fluid, and fluid type of lubricants (MoS_2 , grease, WD-40) were chosen as lubricant. As a result, the shear friction factor of various lubrication conditions were determined by using experiment results and calibration curves from finite element simulation. The validity of shear friction factors result were confirmed with experiment load-stroke curves and simulation results.

Key Words : Boss and rib test, Backward extrusion, Friction testing method, Lubrication characteristic

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소

E-mail:kangsh@kims.re.kr

보스-리브 시험에서 소재 표면조도에 따른 마찰 특성 변화에 관한 연구

이두규¹ · 이호원¹ · 오영석¹ · 강성훈^{1#}

Effect of specimen surface roughness on friction characteristic in boss-rib test method

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

Abstract

Relative surface roughness between tool-workpiece interface influence to friction characteristic. In this study, boss and rib test was carried out for roughness controlled specimen in order to investigate effect of surface roughness on friction factor. For experiments, surface of specimens were controlled in two conditions (wire cut, finely mechanical polished) and characterized in terms of roughness parameter R_a , R_z using surface roughness tester. Lubrication was varied with three types of Grease, WD-40, MoS_2 . On the case of finely polished specimen, the shear friction factor of grease(Semi-fluid type) and WD-40(Fluid type) were increased. However, the case of MoS_2 (Solid type) shows same shear friction factor as rough surface condition. In order to understand the surface roughness independent frictional characteristic on solid type lubricant, surface condition of expanded surface were estimated using stereoscopic microscope and surface roughness tester.

Key Words : Boss and rib test, Surface roughness, Friction measurement, lubrication

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소

E-mail:kangsh@kims.re.kr

구상화 열처리된 고탄소강의 페라이트 기지 조직이 미끄럼 마멸 거동에 미치는 영향

허하리¹ · 권혁우¹ · 김명곤¹ · 김용석[#]

The effect of matrix ferrite microstructure on the sliding wear behavior of spheroidized high carbon steel

H. L. Hur, H. Gown, M. G. Kim, Y. -S. Kim

Abstract

This study was conducted to elucidate the effect of matrix ferrite microstructure on sliding wear behavior of spheroidized high carbon (1 wt. % C) steel. The high carbon steel was primarily heat treated to obtain full pearlite and martensite microstructure before the spheroidization. Spheroidizing heat treatment was performed on the full pearlite steel and tempering was performed on the martensite steel to get spheroidized cementite in ferrite matrix in both full pearlite and martensite microstructure. Sliding wear tests were carried out using pin-on-disk wear tester with the steel as a disk specimen. An alumina (Al₂O₃) ball was used as a pin counterpart. After the spheroidizing heat treatment and the tempering, both pearlite and martensite exhibited similar microstructure of spheroidized cementite in ferrite matrix. Spheroidized pearlite specimens showed lower hardness than the tempered martensite, but wear resistance of the spheroidized pearlite was superior to that of the tempered martensite.

Key Words : Sliding wear, High carbon steel, Spheroidizing, Tempering, Matrix ferrite

1. 서 론

베어링과 같이 반복적이고 높은 하중을 받는 기계요소에는 우수한 마멸저항성으로 이러한 환경을 견뎌낼 수 있는 고탄소강 소재가 주로 사용되고, 이에 따라 고탄소강의 마멸에 대한 연구들이 진행되어 왔다 [1, 2]. 우수한 마멸저항성 외에도 고탄소강의 용이한 가공을 위해 인성과 연성은 또한 중요한 요소이며, 탄소강의 인성과 연성은 주로 미세조직 내의 시멘타이트를 구상화하여 얻을 수 있다 [3]. 미세조직 내의 시멘타이트를 구상화하면 경도가 감소하고, 이는 Achard 식 [4]에 의해 마멸저항성이 감소로 이어질 수 있다. 그러나 재료의 초기경도만으로는 마멸거동을 효과적으로 설명할 수 없고 [5], 경

도 외에도 합금원소, 미세조직, 가공경화수용력, 피로특성과 같은 여러 인자들이 미끄럼마멸 거동에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 [6]. 그러므로 높은 내마멸성을 갖는 재료를 개발할 때, 시멘타이트의 구상화와 같은 미세조직의 변화가 마멸저항성에 미치는 영향은 신중히 연구 검토되어야 한다.

본 연구에서는 100 % 펄라이트 조직과 마르텐사이트 초기 조직을 갖는 고탄소강을 각각 구상화 열처리하여, 구상화 시멘타이트 조직의 마멸 거동에 미치는 페라이트 기지 조직의 영향을 알아 보았다. 서로 다른 초기 미세조직을 구상화 열처리한 최종 조직은 시멘타이트의 크기와 형태가 유사하였으나, 이들의 마멸거동은 차이를 나타내었다. 마멸면 직하의 단면 관찰과 마멸면 직하 깊이로 따른 단면 경도 측정을 통해 이들 구상조직의 마멸거동의 차이는 페라이트 기지조직에 원인이 있음을 밝혔다.

1. 국민대학교 신소재공학부

교신저자: 국민대학교 신소재공학부,

E-mail: ykim@kookmin.ac.kr

Table 1 Chemical composition of the tested steel

(wt. %)

C	Mn	Si	P	Cr
1.0	0.31	0.26	0.014	2.17

Table 2 Heat treatment condition and microstructure

Specimen Symbol	Heat treatment Condition	Microstructure	Hardness (HV ₁)
P	1050 °C for 30 min, 650 °C for 30 min, W.Q.	Lamellar Pearlite	362.6
SP	After P treatment, holding at 700 °C for 100 h, F.C.	Speroidized Pearlite	225.3
M	Holding at 840 °C for 1 h, O.Q.	Martensite	904.2
TM	After M treatment, holding at 650 °C for 3 h, W.Q.	Tempered Martensite	285.7

2. 실험방법

2.1 시편준비

본 연구에 사용된 강의 화학조성을 표 1에 나타내었고, 열처리조건과 그에 따른 미세조직, 경도를 표 2에 나타내었다. 두께 1 cm로 절단한 봉상의 1 wt. % C 탄소강을 표 2의 조건으로 열처리하여 100 % 펄라이트 조직과 마르텐사이트 조직을 얻었다. 이러한 초기조직을 가진 시편들을 각각 구상화 열처리와 템퍼링하여 SP 시편과 TM 시편을 얻었다. 미세조직은 5 % 나이탈 용액으로 에칭한 후 FE-SEM으로 관찰하였고, 경도는 micro Vickers 경도계를 이용하여 1 kg 하중으로 측정하였다. 미끄럼 마멸시험 후 마멸면 직하의 단면을 SEM으로 관찰하였다. 깊이를 변수로 한 마멸면 직하의 경도를 측정하여 가공경화능을 알아보았다.

2.2 미끄럼마멸시험

본 연구에 사용한 pin-on-disk 미끄럼 마멸시험기의 모식도를 그림 1에 나타내었다. 1 wt. % C 탄소강 시편을 디스크(disk)로, 알루미늄(Al_2O_3) 볼을 상대재로 하여 미끄럼 마멸시험을 수행하였다. 마멸시험은 습도 $40 \pm 2\%$ 의 상온 대기중에서 미끄럼 거리 300m, 적용 하중 100 N, 미끄럼속도 0.1 m/s, 마멸 트랙 반경 9 mm의 조건으로 수행하였다. 마멸 시험 전후 시편의 무게변화를 정밀도 10^{-5} g의 전자저울로 측정하고 측정된 시편의 무게 변화량을 시편의 밀도와 미끄럼 거리로 나누어, 거리에 따른 부피 변화로 미끄럼 마멸속도를 산출하였다.

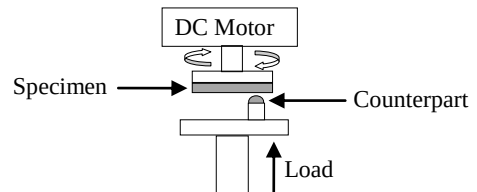


Fig. 1 A schematic diagram of the high-stress dry sliding pin-on-disk wear tester

3. 결과 및 고찰

3.1 미세조직과 경도

그림 2는 각각의 조건으로 열처리된 시편들의 미세조직을 보인다. 100 % 펄라이트 조직의 P 시편을 구상화 열처리한 SP 시편은 층상의 시멘타이트들이 구상으로 변한 모습을 보인다. 마르텐사이트 조직인 M 시편을 템퍼링한 TM 시편 또한 템퍼링 과정에서 구상의 시멘타이트 조직이 석출된 모습을 보인다. SP 시편과 TM 시편은 펄라이트 기지 내에 구상의 시멘타이트들이 자리하고 있는 비슷한 모습을 보이며, 구상 시멘타이트의 크기 또한 두 조직에서 서로 유사하였지만 시멘타이트의 부피분율은 SP 시편이 37.3 %로 25.8 %인 TM 시편보다 높았다. 미소 비커스 경도는 SP 시편에 비해 TM 시편이 더 높았다.

3.2 미끄럼마멸속도

경도에 대비한 마멸속도를 그림 3에 나타내었다. 타 시편들에 비해 경도가 월등히 높은 M 시편이 가장 낮은 마멸속도를 보였다. 층상의 100 % 펄라이트 조직인 P 시편은 M 시편에 비해 상대적으로 경도가 크게 낮음에도 불구하고 매우 낮

은 마멸속도를 나타내었다. 유사한 미세조직을 지닌 SP 시편과 TM 시편에서는, SP 시편이 경도가 더 낮음에도 TM 시편과 비슷한 마멸속도를 보였다.

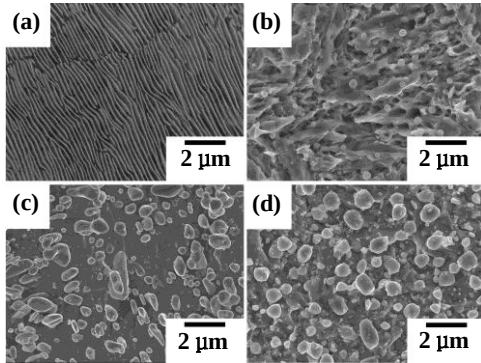


Fig. 2 FE-SEM micrographs of the heat-treated 1 wt. % C steel specimens: (a) P, (b) M, (c) SP, and (d) TM.

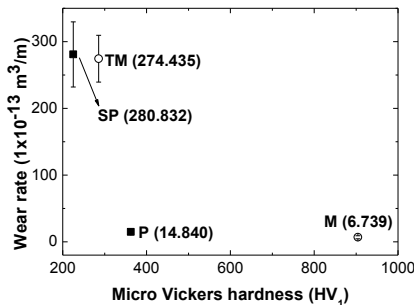


Fig. 3 Dry sliding wear rate of the 1 wt. % C steel specimens with different microstructure.

3.3 마멸 단면

그림 4는 각 시편들의 마멸면 직하 단면을 SEM으로 관찰한 결과이다. 흰 동그라미로 표시된 부분에 짙은 검은색으로 나타난 것들은 마멸 중 마멸면 아래에 형성된 균열이다. SP 시편(그림 4 (a))의 균열은 구상의 시멘타이트 주변에 작은 점들로 형성되었지만, TM 시편(그림 4 (b))의 균열은 기지 페라이트 조직을 따라 길게 성장한 모습을 보인다. 이것으로 SP와 TM 두 시편의 기지 페라이트 조직에 차이가 있고, TM 시편의 기지 페라이트에 균열의 성장이 더 잘 일어남을 알 수 있다.

또한 SP 시편(그림 4 (a))은 마멸면 아래 변형층이 관찰되지만 TM 시편(그림 4 (b))은 변형층이 잘 관찰되지 않는다. 이 결과는 외부에서 가

해진 에너지가 TM 시편에 비해 SP 시편에서 변형에 좀 더 쓰인 것을 시사한다. 이는 SP 시편에 비해 TM 시편에서 마멸 입자 형성에 더 많은 에너지가 쓰인 것을 보이고, TM 시편이 SP 시편 보다 높은 경도에 비해 마멸저항성이 낮은 것을 설명한다.

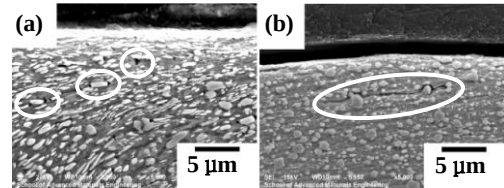


Fig. 4 SEM micrographs of worn-surface cross sections of the tested SP (a) and TM (b) specimens.

3.4 마멸 초기의 마멸입자와 마멸면

SP 시편과 TM 시편의 마멸시험 초기의 마멸 거동을 알아보기 위해 미끄럼 거리를 5 m로 하여 시험 후 얻어진 마멸입자와 마멸면을 SEM으로 관찰하여 그림 5에 나타내었다.

SP 시편(그림 5 (a))은 마멸 초기에 작은 입자들이 생성되지만 TM 시편(그림 5 (b))은 큰 입자들이 생성된다. 마멸초기의 마멸면을 관찰한 결과, TM 시편(그림 5 (d))의 마멸면의 패인 곳에서는 별다른 흔적이 관찰되지 않는 것과 달리 SP 시편(그림 5 (c))의 마멸면의 패인 곳에서는 미끄럼 흔적이 관찰되어 그 부분이 여러 번의 미끄럼을 거치는 동안 마멸되지 않고 남았음을 알 수 있으며, 이 또한 SP 시편보다 TM 시편이 마멸입자 형성에 더 많은 에너지를 소비한다는 것을 뒷받침한다.

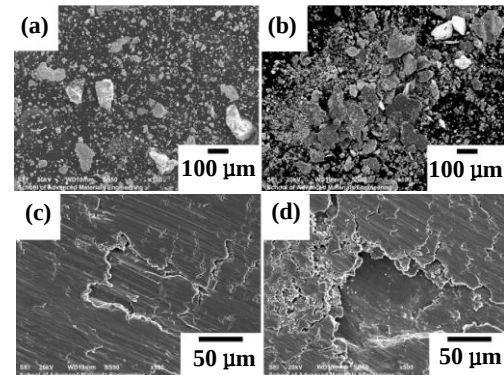


Fig. 5 SEM micrographs of wear particles of the 5 m tested SP (a) and TM (b) specimens, worn surface of the 5 m tested SP (c) and TM (d) specimens.

3.5 가공경화능

재료의 미끄럼 마멸 거동에 영향을 미치는 인자 중 하나인 가공경화능을 분석하기 위해 마멸 트랙 단면의 깊이에 따른 경도를 측정하였다 [7]. 그림 5는 SP 시편과 TM 시편의 마멸면 직하의 경도를 깊이를 변수로 측정한 결과이다. 각 시편의 마멸시험 전의 초기 경도를 그림 내에 직선으로 함께 나타내었다.

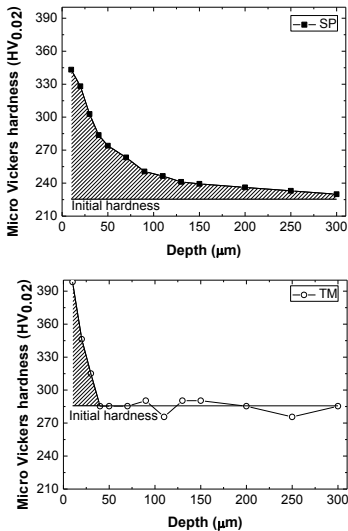


Fig. 7 Micro Vickers hardness of the tested SP and TM specimens as a function of depth from the worn surface.

그림 5에서 경도변화 곡선과 초기경도 직선 사이의 빗금 친 면적은 J/m^3 ($HV = N/mm^2$, $N = J/m$, $\therefore HV \cdot \mu m = J/m^3$)의 단위를 갖고, 마멸 중 마멸면 단위부피 당 축적된 에너지를 나타낸다. SP 시편의 빗금 친 면적이 더 넓으므로 TM 시편보다 SP 시편의 마멸면 직하에 더 많은 에너지가 마멸 중에 축적되었음을 보인다. 이는 마멸에 쓰인 에너지는 TM 시편이 SP 시편 보다 더 크고 그러므로 더 높은 경도를 갖는 TM 시편이 SP 시편과 비슷한 마멸속도를 보인 것으로 해석할 수 있다.

4. 결 론

100 % 펄라이트와 마르텐사이트 조직을 각각 구상화 열처리하여 서로 다른 초기 미세조직에 따른 구상화 시멘타이트 조직의 마멸거동을 비교하였다.

(1) 템퍼드 마르텐사이트 조직이 구상화 펄라이트 조직보다 높은 경도를 갖지만 구상화 펄라이트 조직과 비슷한 마멸속도를 보였다.

(2) 마멸면 직하의 단면 관찰과 마멸 초기의 마멸입자와 마멸면의 관찰을 통해 템퍼드 마르텐사이트 조직의 기지 페라이트가 구상화 펄라이트의 기지 페라이트 보다 큰 취성을 갖고 이로 인하여 높은 경도에 비해 낮은 마멸저항성을 보였음을 알 수 있다.

(3) 깊이에 따른 마멸단면의 경도 측정으로 구상화 펄라이트 조직이 마멸 중에 마멸면의 변형과 가공경화에 더 많은 에너지를 소모하여, 템퍼드 마르텐사이트 조직에 비해 상대적으로 마멸저항성이 더 우수함을 밝혔다.

참 고 문 헌

- [1] H. K. D. H. Bhadeshia, 2012, Steels for Bearings, Prog. Mater Sci, Vol. 57, No. 2, pp. 268~435
- [2] Y. Wang, T. Lei, J. Liu, 1999, Tribo-metallographic Behavior of High Carbon Steels in Dry Sliding II. Microstructure and Wear, Wear, Vol. 231, No. 1, pp. 12~19
- [3] Ata Kamyabi-Gol, Meisam Sheikh-Amiri, 2010, Spheroidizing Kinetics and Optimization of Heat Treatment Parameters in CK60 Steel Using Taguchi Robust Design, J. Iron. Steel Res. Int, Vol. 17(4), No. 4, pp.45~52
- [4] I. M. Hutchings, 1992, Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials, Edward Arnold, pp. 133~134
- [5] K. K. Ray, V. Tppo, S. B. Singh, 2006, Influence of Pre-strain on the Wear Resistance of a Plain Carbon Steel, Mater. Sci. Eng. A, Vol. 420, No. 1-2, pp. 333~341
- [6] A. Sundström, J. Rendón, M. Olsson, 2001, Wear Behavior of Some Low Alloyed Steels under Combined Impact/abrasion Contact Conditions, Wear, Vol. 250, No. 1-12, pp. 744~754
- [7] J. H. Kim, K. H. Ko, S. D. Noh, G. G. Kim, S. J. Kim, 2009, The Effect of Boron on the Abrasive Wear Behavior of Austenitic Fe-based Hard Facing Alloys, Wear, Vol. 267, No. 9-10, pp. 1415~1419

마그네슘 합금에 대한 DLC 코팅의 온도에 따른 마찰기구 해석

권혁우¹ · 김명곤¹ · 허하리¹ · 김용석[#]

Investigation of tribological mechanism of DLC coating against magnesium alloy at various temperatures

H. Gwon, M.G. Kim, H.L. Hur and Y.-S. Kim

Abstract

The sheet-forming of Mg alloys is carried out at elevated temperature (250 °C) due to their low formability at room temperature. The high-temperature process results in a typical surface damage, the galling. In this investigation, tribological characteristics of DLC coating which had been widely used for low-friction processes against AZ31 Mg alloy were investigated. Dry sliding friction and galling characteristics of AZ31 Mg alloy disks which were slid against uncoated and DLC-coated STD-61 steel pin were evaluated using a reciprocating sliding tribometer at room temperature and 250 °C. To represent a real sliding during the sheet metal forming process, single-stroke tests were adapted (10 mm of stroke length) rather than a reciprocating long sliding-distance test. The DLC coating suppressed adhesion between the alloy and the tool steel at room temperature, which kept the friction coefficient low. However, at 250 °C, severe adhesion occurred between the two surfaces, which increased the friction coefficient and the galling.

Key Words: Mg alloy, sheet forming, friction, galling, DLC

1. 서 론

마그네슘 합금은 결정구조가 HCP 구조인 때문에 상온 성형성이 매우 열악하여, 200~300도의 높은 온도에서 판재 성형이 이루어진다. 이 같은 온간 또는 고온 성형에 따라 마그네슘 합금 판재와 금형 사이에서 sticking, adhesion, galling 등이 발생하고, 이들은 마그네슘 합금 판재의 표면 품질 저하, 금형의 수명 단축, 생산성 저하 등의 많은 문제를 야기한다. 특히 마그네슘 판재로부터 금형으로의 금속 천이 현상을 포함하는 galling은, 금형으로 천이된 입자가 후속 성형 시 판재를 추가적으로 손상하여, 판재 연속성형에 가장 큰 장애가 되고 있다. 판재 성형

중 발생하는 sticking, galling 문제를 해결하기 위한 방법으로는 고체 또는 액체 윤활제를 사용하는 것과 금형 표면에 마찰계수가 낮은 피막을 코팅하여 이형성을 확보하는 방법들이 제시되고 있다. 저마찰 코팅재로서 가장 많이 활용되고 있는 것 중 하나가 DLC (Diamond-like-Carbon) 코팅이다. DLC 코팅을 이용하여 금속재료의 마찰특성을 향상하는 연구가 많은 연구자들에 의해 이루어져왔으나[1-5] 대부분 고강도 steel이나 Al 합금을 상대로 한 연구에 집중되어 있고, 마그네슘 합금을 상대로 한 DLC 코팅의 마찰특성 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 Mg 판재 성형에 있어서 DLC 코팅의 사용 가능성을 확인하기 위하여 마그네슘 합금을 상대로 한 DLC 코팅된 금형재의 마찰특성을 상온과 고온에서 분석하였다.

1. 국민대학교 신소재 공학부

교신저자: 국민대학교 신소재공학부,

E-mail: ykim@kookmin.ac.kr

2. 실험 방법

2.1 시험 소재

시험 소재로 AZ31 마그네슘 합금 판재와 STD-61 합금(마찰 상대재, 열간 금형소재)을 사용하였다. AZ31 합금 판재로부터 두께 4 mm, 가로 25 mm, 세로 75 mm의 시편을 가공하였다. AZ31 합금 판재 시편을 350 °C에서 1 시간 동안 열처리 후 공냉하여, 60.3 HV 경도를 갖게 하였다. STD-61 합금은 1050 °C에서 1 시간 동안 열처리 후 공냉하여 55 HRC 의 경도를 갖게 하였다. 미끄럼 상대재인 STD-61 합금 시편은 가로와 세로 각각 1 mm, 두께 6 mm 로 가공되었다. AZ31B 마그네슘 합금 판재와 금형 상대재를 연마하여 마찰 시험 전 초기 표면 조도(Ra)를 0.02 μm 이하로 고정시켰다.

연마된 STD-61 금형강 표면에 DLC 코팅을 증착하였다 (주 J&L Tech). DLC 코팅의 경도와 표면 조도 (Ra)는 각각 14.98 GPa, 0.01 μm 로 측정되었다. 그림 1에 DLC 코팅된 STD-61 합금의 단면을 SEM으로 관찰한 사진을 나타내었다. DLC 코팅층의 두께는 약 2 μm 였다.

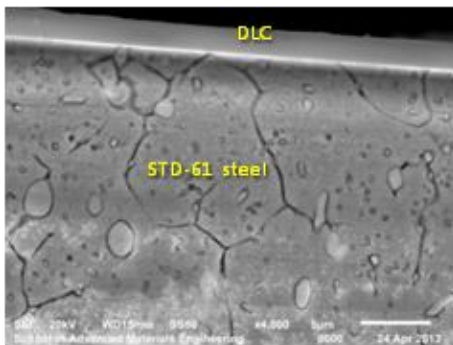


Fig 1. SEM micrograph of the DLC coating layer on the STD-61 tool steel.

2.2 미끄럼 마찰 시험

AZ31 Mg 합금 판재의 galling 기구를 분석하기 위한 마찰시험은 Flat surface-on-disk 미끄럼 왕복동 마찰시험기[6]를 사용하여 수행하였다 (그림 2). 금속간 접촉(metal-to-metal)이 발생하였을 때의 galling 현상을 모사하기 위하여 1 stroke (10 mm)의 짧은 거리에서 마찰 시험을 행하였다. 미

끄럼 마찰 시험 전 AZ31B 판재 시편과 STD-61 금형 강 시편은 모두 아세톤과 에탄올로 초음파 세척, 건조되었다. 미끄럼 마찰 시험은 고정된 AZ31B 합금 판재 시편 (flat surface) 위에 STD-61 합금 시편(disk)을 올려놓고 수직하중을 가한 상태에서 직선 운동하는 방식으로 수행되었다. 건식과 윤활조건 모두에서, 시험 중 습도를 $35 \pm 5\%$ 로 유지하였고 미끄럼 거리는 10 mm, 미끄럼 속도는 0.2 mm/s, 수직하중을 400 N 으로 일정하게 하였다. 시험 온도를 상온에서 250 °C로 달리하여 시험하여 미끄럼 마찰 시험 후 기록된 마찰력 및 마찰계수의 변화를 관찰 하였다.

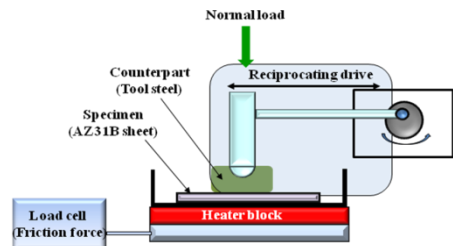


Fig. 2 A schematic diagram of the reciprocating sliding tester used in the present study.

2.3 Galling 특성 분석

미끄럼 마찰 시험 후 2차원 표면조도 분석을 통하여 AZ31B 마그네슘 합금 판재의 마찰면 형상을 분석하였다. 또한 AZ31B 마그네슘 합금 판재와 금형 소재 표면의 마찰부 미세조직을 광학현미경, SEM, FE-SEM으로 관찰하고 EDS 분석을 행하였다.

3. 실험 결과

상온에서 AZ31 마그네슘 합금의 1 stroke 마찰 시험을 무코팅(bare) STD-61 금형강 시편과 DLC 코팅된 STD-61 금형강 시편에 대하여 행하고, 시험 중 미끄럼거리에 따라 변화한 마찰계수를 그림 3에 나타내었다. 코팅되지 않은 STD-61 금형강에 대해 시험된 경우, 마찰시험 초기 (미끄럼거리 약 0~1.6 mm)에 마찰계수가 급격히 증가하여 0.8에 이르고 이후 순간적으로 감소하여 0.4의 마찰계수를 나타내었다. 이후 미끄럼 거리가 증가함에 따라 마찰계수가 증가하고 감소하는 거동이 반복 (stick-slip 현상)되었다. 이와 달

리 DLC 코팅된 금형강으로 시험된 경우에는 마찰계수가 약 0.25~0.27 의 값으로 비교적 낮게 일정하게 유지되는 모습을 보였다.

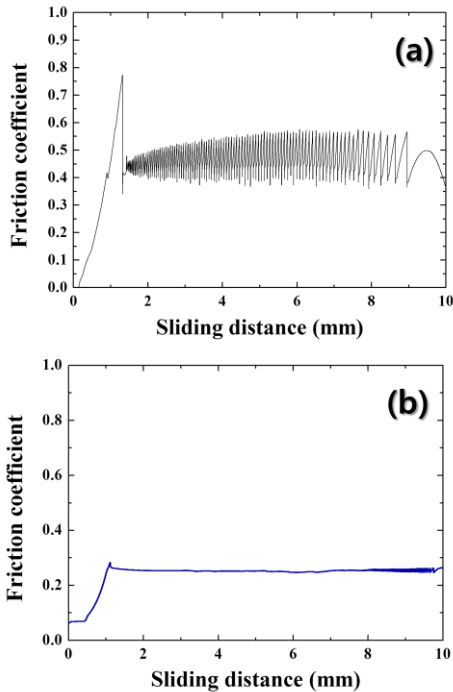


Fig. 3 Variation of friction coefficient as a function of sliding distances during sliding of the AZ31B Mg alloy against the STD-61 tool steel: (a) uncoated, (b) DLC coated.

그림 4는 상온에서 마찰 시험 후 코팅되지 않은 STD-61 금형강과 DLC 코팅의 표면을 실체현미경으로 관찰한 사진이다. 코팅되지 않은 STD-61 금형강 표면에는 많은 양의 마그네슘이 눌러 붙어 있는 것이 관찰되었으나 DLC 코팅의 표면에서는 마그네슘 합금의 찌가 관찰되지 않았다.

그림 5는 250 ℃ 에서 AZ31 마그네슘 합금과 코팅되지 않은 STD-61 금형강 시편과 DLC 코팅된 STD-61 금형강 시편 간의 1 stroke 마찰시험 결과를 미끄럼거리에 대한 변화로 나타낸 결과이다. 상온에서의 결과와 달리 250 ℃에서는 DLC 코팅의 마찰계수가 매우 높고 stick-slip 현상이 심하게 나타난 것을 알 수 있다. 또한 시험 후 디스크 표면을 실체현미경으로 관찰한 사

진을 그림 6에 나타내었는데, 코팅되지 않은 STD-61 금형강 뿐만 아니라 DLC 코팅 표면에도 마그네슘의 찌가 매우 심하게 발생한 것이 확인되었다.

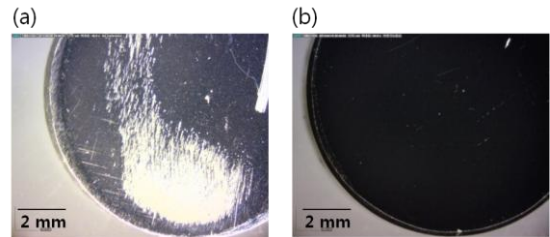


Fig 4. Stereo optical micrographs of STD-61 tool steel disks slid against AZ31 Mg for 10 mm at room temperature: (a) uncoated disk showing transferred Mg alloy, (b) DLC coated disk showing no transferred Mg alloy.

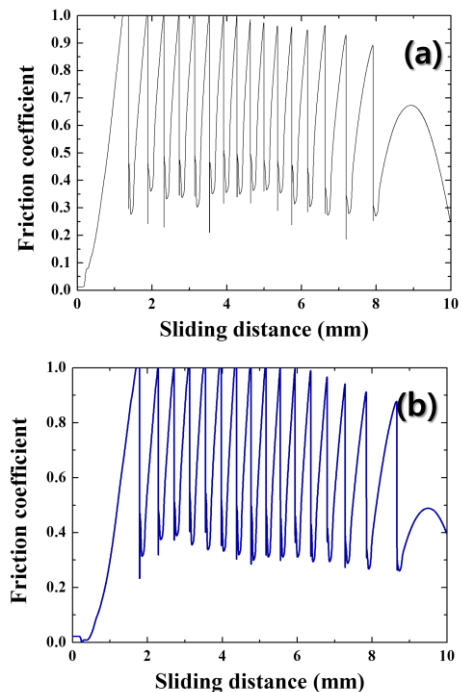


Fig. 5 Variation of friction coefficient as a function of sliding distances (1-stroke test, 400 N, 0.2 mm/s, 250 ℃): (a) AZ31 Mg disk against uncoated STD-61 steel pin, (b) AZ31 Mg disk against DLC coated STD-61 steel pin.

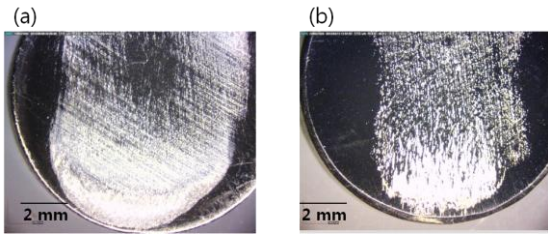


Fig 6. Stereo optical micrographs of STD-61 tool steel disks slid against AZ31 Mg for 10 mm at 250 °C: (a) uncoated disk, (b) DLC coated disk.

4. 결 론

AZ31 마그네슘 합금과 DLC 코팅된 STD-61 공구강의 마찰특성을 상온과 250 °C에서 미끄럼 마찰 시험을 통해 분석하고, 다음과 같은 결과를 얻었다

(1) 상온에서 DLC 코팅층은 마그네슘 합금의 STD-61 공구강으로의 전이를 효과적으로 저지하여, 미끄럼 마찰 시 낮고 안정된 마찰계수가 측정되었다. 코팅되지 않은 금형의 경우 마그네슘의 전이가 발생하여 마찰계수가 높고 stick-slip 현상이 관찰되었다.

(2) 250 °C에서 DLC 코팅은 마그네슘 합금의 윤착을 저지하지 못하였고, DLC 코팅 유무와 상관없이 마찰 시험 중 매우 높은 마찰계수와 심한 stick-slip 현상이 관찰되었다.

(3) 상온과 250 °C에서 DLC 코팅의 마찰특성 변화는 DLC 코팅층 내의 수소 농도 변화와 관련된 것으로 확인되었다.

후 기

본 논문은 지식경제부의 WPM (World Premier Materials) 사업을 수행하는 수송기기용 초경량 Mg 소재 사업단의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] B. Sersomroeng, V. Premanond, P. Kaewtatip, A. Khantachawana, N. Koga, S. Watanabe, 2010, Anti-adhesion performance of various nitride and DLC films against high strength steel in metal forming operation, *Diamond and Related Materials*, Vol. 19, pp. 833-836.
- [2] G. Reisel, B. Wielage, S. Steinhäuser, H. Hartwig, 2003, DLC for tools protection in warm massive forming, *Diamond and Related Materials*, Vol. 12, pp. 1024-1029.
- [3] A.A. Gharam, M.J. Lukitsch, M.P. Balogh, A.T. Alpas, 2010, High temperature tribological behavior of carbon based (B₄C and DLC) coatings in sliding contact with aluminum, *Thin Solid Films*, Vol. 519, pp. 1611-1617.
- [4] A. Wank, G. reisel, B. Wielage, 2006, Behavior of DLC coatings in lubricant free cold massive forming of aluminum, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 201, pp. 822-827.
- [5] M. Murakawa, N. Koga, T. Kumagai, 1995, Deep-drawing of aluminum sheets without lubricant by use of diamond-like carbon coated dies, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 76-77, pp. 553-558.
- [6] M.D. Hanna, 2009, Tribological evaluation of aluminum and magnesium sheet forming at high temperatures, *Wear*, Vol. 267, pp. 1045-1050.

열간프레스성형 시 금형온도에 따른 플랜지부 강도의 실험적·해석적 연구

송가형¹ · 김동훈¹ · 김흥규² · 차백순³ · 김형중[#]

Experimental and Analytical Study on the Strength of Flange Part Affected by the Die Temperature in HPF Process

G. H. Song, D. H. Kim, H. K. Kim, B. S. Cha, H. J. Kim

Abstract

Hot press forming (HPF) process of high strength steel (HSS) sheet is mainly used to produce vehicle body parts like door pillars that are required to have very high strength-to-weight ratio. This process is also the best method to solve the low formability problem of HSS sheet at room temperature. If the whole part including flange area that is to be removed has too high strength by the die quenching effect in the HPF process, it will be very hard and costly to trim the flange part away in the subsequent process. This study shows that it is possible to have the strength of the flange area stay not too high by a selective control of die temperature. Finite element analysis of the HPF process is performed under the same conditions as in the experiment, and the results are compared with the experimental data.

Key Words : HPF(열간프레스성형), Die Quenching(금형내 담금질), FEA(유한요소해석), Center Pillar(센터필러)

1. 서 론

열간프레스성형은 소재 강판을 900°C 이상의 고온으로 가열한 후 프레스로 성형과 동시에 금형 내부에서 급속 냉각함으로써 초고강도 제품을 만들어내는 신기술이다. 이 가공법은 고강도 강판의 낮은 성형성을 해결함과 동시에 금형내 담금질 효과로 성형 후 강도를 2 배 이상 높일 수 있어 자동차의 차체 패널, 필라, 루프, 플로어사이드멤버 등 고강도를 요구하는 부품에 주로 적용된다. 그러나 성형 후 트리밍, 피어싱 등 후속공정에서 제거해야 할 전단부(플랜지) 또한 제품부와 같은 정도로 강도가 크기 때문에 많은 비용과 시간을 소비하고 있다.

본 연구에서는 이 문제를 해결하기 위해 제품부와 접촉하는 금형은 냉각하여 담금질 효과로 강도를 극대화하는 동시에, 플랜지부와 접촉하

는 금형은 적절히 가열함으로써 강도 상승을 억제할 수 있도록 온도제어가 가능한 금형세트를 사용하였다(Fig. 1). 자동차 센터필라 하단부를 모사한 축소 모델에 대하여 성형 전·후 제품부와 전단부의 기계적 성질 변화를 조사하기 위해 성형 직후 단한 금형 내에서의 냉각시간(holding time)과 금형(다이와 블랭크홀더) 가열온도에 따라 다양한 공정조건으로 실험을 수행하였다. 성형 종료 후 제품부와 전단부에서 각각 시편을 채취하여 인장시험 등 물성시험을 실시하였다. 또한, 동일한 공정조건 하에서 DEFORM-3D[1]를 사용한 유한요소해석을 수행하고, 그 결과를 실험데이터와 비교하였다.



Fig. 1 Die set for HPF of center pillar model

1. 강원대학교 대학원 융합시스템공학과
2. 국민대학교 자동차공학과
3. 한국생산기술연구원
교신저자: 강원대학교 기계의용공학과,
E-mail:khjong@kangwon.ac.kr

2. 인장시험

성공적으로 성형이 완료된 공정조건들에 대하여 제품부의 편평한 윗면(‘Top’) 부분과 제품 가장자리(‘Flange’) 부분으로 나누어 성형 전후 재료의 물성변화를 조사하였다. 시편 규격은 ‘ASTM E8 sub-size’에 따랐다. Fig. 2에서 제품부는 다이와 블랭크홀더의 가열온도에 상관없이 높은 강도가 유지되고 플랜지부는 가열온도가 높을수록 강도가 작아지는 것을 알 수 있다. Fig. 3은 다이와 블랭크홀더를 400°C로 가열했을 때 홀딩 시간에 상관없이 플랜지부의 강도가 제품부의 절반 이하로 유지되는 결과를 보여준다.

3. 유한요소해석

유한요소해석은 다이와 블랭크홀더 모두 400°C로 가열한 공정조건으로 수행하였다. 소재의 고온 물성은 JMatPro[2]로부터 얻은 데이터를 사용하였다. 제품부는 냉각하고 플랜지부는 가열하는 효과를 확실히 주기 위해 다이와 블랭크홀더를 각각 두 영역으로 분할 모델링하고 냉각 부분은 20°C, 가열 부분은 400°C로 온도를 적용하였다. Fig. 4는 유한요소해석의 결과와 실제 제품의 사진이다. 홀딩 후에도 플랜지부의 온도가 400°C로 유지되어 급냉에 따른 Martensite로의 상변태가 억제되므로 강도가 크게 증가하지 않음을 확인할 수 있다. 측정의 어려움 때문에 해석과 실험의 구체적인 결과를 비교하기는 어렵지만, 성형해석 후 소재 가장자리 윤곽선은 실제 제품에서와 거의 유사한 것으로 나타났다.

4. 결 론

센터필라 축소 모델의 열간프레스성형을 위한 금형 제작과 실험, 그리고 전 공정에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 다이와 블랭크홀더를 모두 400°C로 가열한 조건에서 플랜지부의 강도를 제품부의 1/2 수준으로 유지할 수 있음을 실험과 유한요소해석으로 확인하였다. 추가적으로 냉각 및 변태 과정에서 발생하는 열처리 조직이나 성형 후 경도 등에 대한 해석적 예측을 위해서는 소재의 정확한 열간 물성 데이터의 확보와 TTT 선도에 의한 분석이 필요하다.

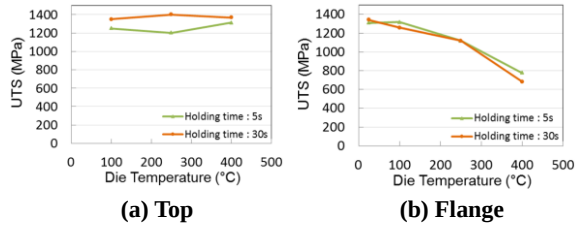


Fig. 2 Effect of die temperature on tensile strength

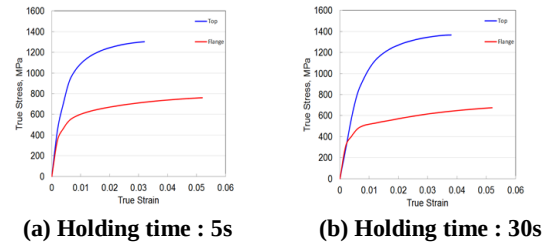


Fig. 3 Stress-strain curves of ‘Top’ and ‘Flange’

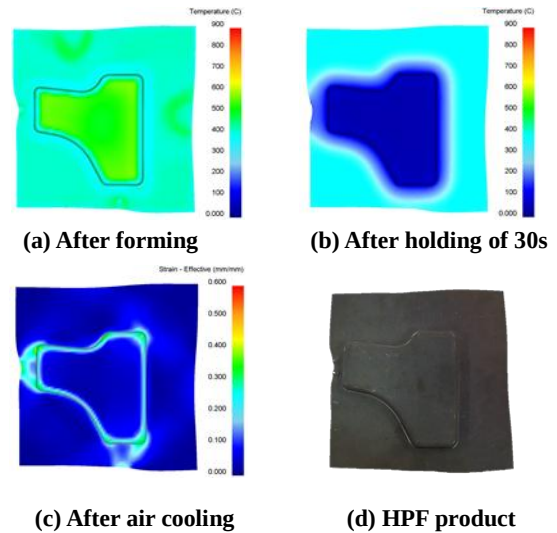


Fig. 4 Results of the FEA and photo of a product

후 기

이 논문은 산업원천기술개발사업의 지원으로 수행된 연구임(과제번호 : KM130102, 10033520).

참 고 문 헌

- [1] DEFORM-3D, <http://www.deform.com>
- [2] JMatPro, <http://www.senteseoftware.co.uk>

클래드재료 후판단조 공정 중 발생한 파단 원인 규명

홍석무¹ · 황지훈² · 심재원² · 정완진³ · 전만수[#]

Causes of fracture occurring in plate forging of clad plate

S. M. Hong, J. H. Hwang, J. W. Sim, W. J. Chung, M. S. Joun

Abstract

In this paper, a three-dimensional elastoplastic finite element analysis is conducted to reveal the fracture occurring in plate forging of a clad plate. Formability limit diagram (FLD) technique is applied in the clad material which is thin enough for FLD technique to be applied. To obtain reliable predictions, special layered finite element mesh system is employed. The predictions are compared with experiments, showing that they are in good agreement with each other.

Key Words : Plate Forging(판단조), Three-Dimensional Elastoplastic Finite Element Analysis(3차원 탄소성 유한요소 해석), Clad Plate(클래드 판재), Fracture(파단), Formability Limit Diagram(성형한계도)

1. 서 론

클래드 판재는 복합판재의 특수한 형태이며, 제조 시에 계면에서의 결합력의 유지와 성형성의 부여가 매우 중요시되고 있다. 누적압연접합 공정(Accumulative roll bonding process)을 거친 소재는 큰 변형을 겪게 되며[1], 후속된 열처리 공정도 다소 제한적일 수밖에 없기 때문에 최종성형공정에 많은 제약을 가한다[2]. 그리고 기지재(Base plate)와 복합재(Clad material)의 두께 비도 후속공정의 특성에 매우 큰 영향을 미친다[3]. 따라서 성공적인 복합판재의 응용은 복합판재의 특성과 함께 응용공정에 관한 종합적 분석이 필요하다.

전술한 이유로 클래드 판재를 성공적으로 적용하기 위해서는 성형공정의 최적화가 필수적이다. 많은 연구자들이 유한요소법과 연계한 적용 연구를 실시하였다. 클래드 판재의 형상적 특성으로 3차원 해석을 실시하는 데는 수치적 문제가

따른다. 특히 연구자들의 관심사가 계면 및 합금재의 변형 특성에 있으므로 이를 반영하기 위해서는 요소망생성의 한계로 인하여 3차원 해석이 용이하지 않다. 이런 이유로 대부분 연구자들이 2차원 연구에 머물러 있었다. 최근 이 연구의 선행연구로 실시된 연구에서도 2차원 해석 모델이 제시되었다[4].

이 연구에서는 클래드 판재 전체의 3차원 탄소성 유한요소해석을 실시하고 그 결과의 타당성을 실험결과와의 비교를 통하여 검증하고자 한다.

2. 클래드 판재 판단조 공정의 3차원 탄소성 유한요소해석

이 논문에서 사용한 클래드 판재는 Fig. 1의 판단조 시제품에 사용된 것으로, 두께 3.4mm의 모재에 0.6mm의 복합재가 접합된 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 직사각형 딥드로링 과정에서 복합재의 모서리 파단이 발생하였다. 이 논문에서는 이 모서리 파단의 원인을 규명하는 것을 목적으로 한다.

1. 공주대학교 금형설계공학과

2. 삼성전자㈜

3. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

교신저자: 경상대학교 기계공학부,

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

모재와 복합재의 유동응력은 Fig 2에 나타내었다. 금형-소재 사이의 쿨롱마찰계수는 0.06으로 가정하였다. 2차원 연구에 의존한 선행연구 [4]와는 달리 손상도 대신 FLD 기법을 사용하여 파단여부를 결정하였다.



Fig. 1 Experiments of the clad plate forging with torn corner

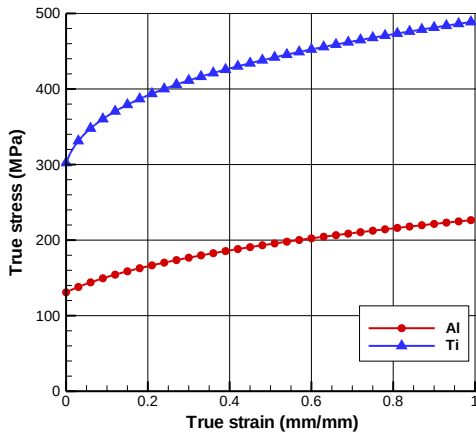
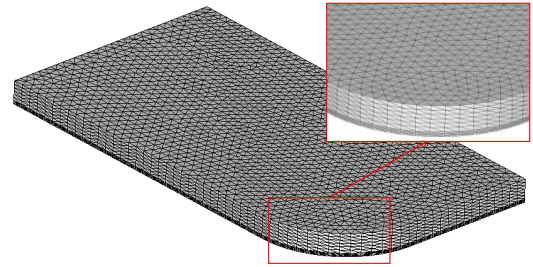


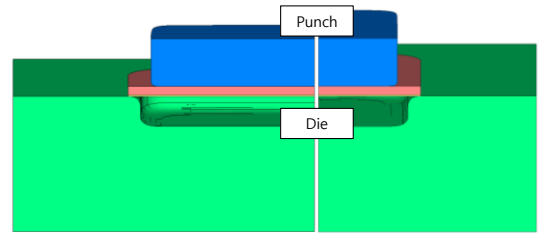
Fig. 2 Flow stress

두께 방향의 영향을 반영하기 위하여 유한요소모델은 클래드 재료의 성형해석에 적합한 층요소 기법을 사용하였으며, Fig. 3에서 보는 바와 같다. 해석 중 발생하는 요소망재구성의 부정적 영향, 즉 수치적 순화와 난해함을 감안하여 초기 요소망의 품질 향상을 고려하였으며, 각종 수치적 오류 발생 요소를 제거하였다.

이 연구에 사용된 FLD 곡선은 Fig. 4에서 보는 바와 같다 [5]. 이 선도의 상단은 불안정적이며, 하단은 안정적이다. 최소변형률에 대한 한계 최대변형률을 기준으로 하여 최대변형률의 백분율을 FLD 지수로 정의하였다.



(a) Finite element mesh system of the initial workpiece



(b) Dies employed

Fig. 3 Finite analysis model

Fig. 5는 최종 순간의 FLD 분포 선도를 나타내며, Fig. 6은 FLD 분포도를 나타낸다. 그리고 Fig. 7에 100%를 초과하는 FLD 지수의 분포와 그 변화 과정을 나타내었다. 0.45초 경과 시에는 모서리 부분에서 결함이 발생하지 않았지만, 1.0초에 이르면, 100%를 넘는 FLD 지수가 나타나고 있다. 최종 행정에서의 100% 초과 FLD 지수 지역과 Fig. 8의 실험에서 나타난 파단 부위는 공학적으로 일치한다.

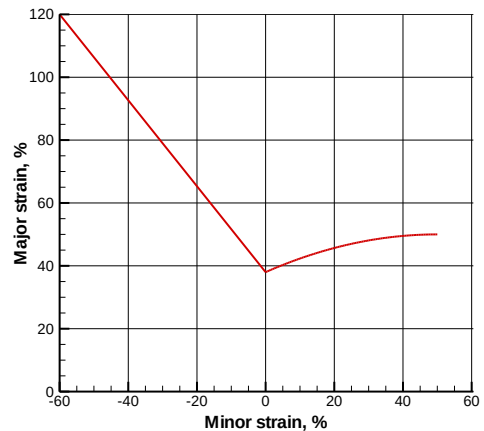
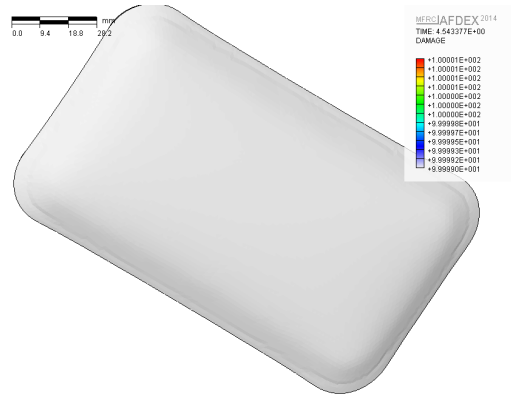


Fig. 4 FLD diagram employed in this study [5]



Fig. 5 FLD distribution at the final stroke



(b) $t=0.45s$

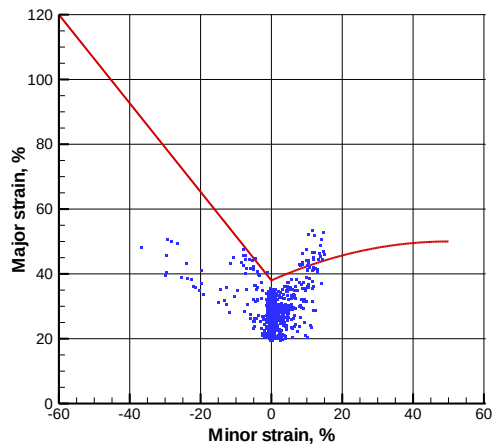
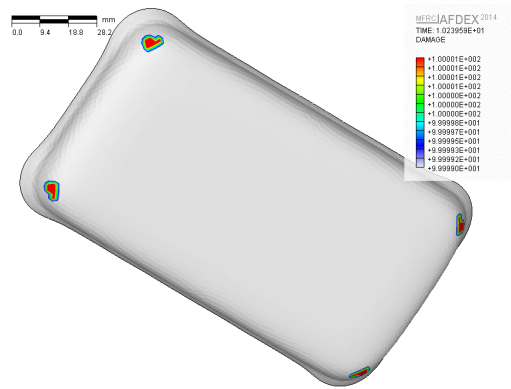
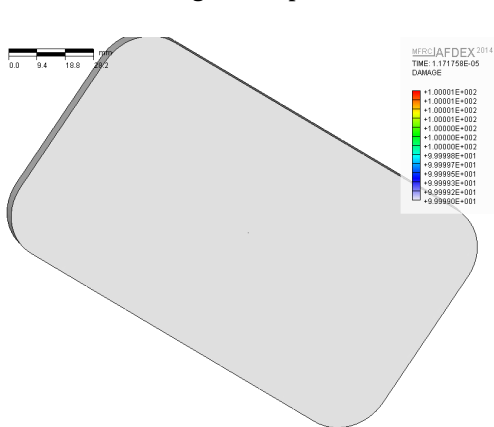


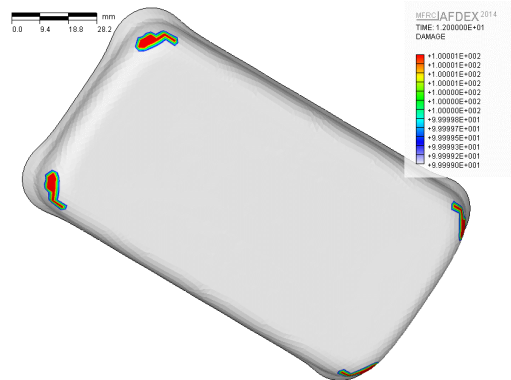
Fig. 6 FLD plot



(c) $t=1.0s$



(a) $t=0s$



(d) $t=1.2s$

Fig. 7 Variation of distribution FLD index with the stroke



Fig. 8 Experiment

4. 결 론

이 논문에서는 직사각형 클래드 판재 판단조공정의 해석을 위하여 3차원 탄소성 유한해석법이 적용되었다.

클래드 판재의 형상적 특성을 감안하여 층요소를 사용하였으며, 특히 클래드 재료의 과단예측을 위하여 FLD 기법이 적용되었다.

해석결과는 실험결과와 비교되었으며, 해석결과의 타당성이 입증되었다.

후 기

본 연구는 삼성전자의 지원 및 2014년도 중소기업청의 혁신기업기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(S2227173).

참 고 문 헌

- [1] Y. Saito, H. Utsunomiya, N. Tsuji, T. Sakai, 1999, Novel ultra-high straining process for bulk materials—development of the accumulative roll-bonding (ARB) process, ACTA Mater., Vol. 47, pp.579-583.
- [2] H.Danesh Manesh, A.Karimi Taheri, 2003, Bond strength and formability of an aluminum-clad steel sheet, Journal of Alloys and Compounds, Vol.361, pp.138-143.
- [3] W. Jiang, B. Yang, J. M. Gong, S. T. Tu, 2011, Effects of clad and base metal thickness on residual stress in the repair weld of a stainless steel clad plate, J. Pressure Vessel Technol., Vol. 133(6), 061401(9 pages).
- [4] M. S. Joun, J. H. Lee, M. C. Kim, J. H. Hwang, J. W. Sim, S. M. Hong, 2014, Two-dimensional finite element analysis of clad plate forging process, KSTP Autumn conference, pp. 134~137.
- [5] Donald R. Askeland, 2002, The science and engineering of materials 4th edition, Cengage learning.

금형형상이 Al 사각 컵 충격압출품의 이어링에 미치는 영향

임재혁¹ · 최석우¹ · 신정학² · 이종섭[#]

The Effects of Die Design on Earring of Al Square Cup Impact Extruded

J. H. Lim¹, S. W. Choi¹, J. H. Shin², J. Lee[#]

Abstract

In this paper, the effects of die design on earring of Al square cup manufactured by impact extrusion process are studied. The earring tends to happen to products with high friction and aspect ratio, which make metal flow limited. In case that earring becomes high, the height of final cup can be decreased because material volume should be eliminated as much height of earring in trimming process. For that reasons, the analysis was carried out with commercial FEM S/W DEFORM 3D on die design such as die land length and die bottom corner radius to understand metal flow and then compared with experiments.

Key Words : Impact extrusion process, Earring, Die design

1. 한국생산기술연구원 성형기술연구실용화그룹

2. ㈜케이원전자 기술개발연구소

한국생산기술연구원 성형기술연구실용화그룹

E-mail: jslee@kitech.re.kr

Gas Blow Forming 공법을 적용한 스틸튜브재 확관성형 공정에 관한 연구

정경근¹ · 김동욱^{1#} · 이상일² · 김정섭² · 황한영²

The study of steel tube forming with gas blow forming process

D. O. Kim, K. G. Kim, S. I. Lee, J. S. Kim, H. Y. Hwang

Abstract

Due to the high demanding for fuel efficiency and more strict regulation for CO₂ emission, automotive companies have focused their R&D activities onto the reduction of body and chassis components by using high strength steel. Some of the companies have used gas blow forming process for aluminum extrusion parts since it can be formed under the 500 °C. However, its commercialization has been limited due to the high cost of aluminum alloys and relatively low strength compared to that of steel. Thus, in this research, steel tube has been gas blow formed under high temperature for a chassis application, and optimized design and process parameters have been studied. Tube bending and bulge forming simulation has been carried out, and it was compared to the experimental results.

Key Words : Gas Blow Forming, Steel Tube, Bulge Forming, High Strength

1. 서 론

세계적인 자동차 배기가스 및 연비규제 강화 추세로 인해 완성차 및 부품업체에서는 차체 및 샤시부품의 경량화를 통해 자동차 중량 절감을 이루고자 하는 노력이 갈수록 치열해지고 있다. 특히 Gas blow forming 공법은 일부 부품 업계에서 서브프레임 등의 샤시 부품 경량화를 위해 알루미늄 압출재를 사용하여 Gas blow forming을 일부 적용한 사례가 있으나, 높은 소재비 및 알루미늄 소재의 강도 한계 등으로 인해 크게 확대되지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 스틸튜브재를 고온에서 Gas blow forming 공정의 적용성을 검토하였고, 이를 통해 향후 초고강도 특성을 갖는 튜브형상의 샤시부품 개발을 위한 기초적인 자료로 활용하고자 하였다. 연구결과에서는 스틸 튜브재 성형해석을 통해 적절한 직경도출, 품질불량 제거를 위한 금형수정을 위한 방안을 찾고자 하였고, 실제 실험을 통해 이를 검증하고자 하였다.

2. 실험방법

성형해석은 상용소프트웨어인 ANSYS-LS DYNAs를 사용하였으며, 성형해석을 위한 모델링 및 메쉬작업은 ANSYS WORKBENCH, Solving은 LS DYNAs로 비선형 해석을 수행하였다. 실험은 소재가열을 위해 최대 1100 °C까지 가열이 가능한 Furnace, 최대 30MPa까지 증압할 수 있는 Gas Supply, 1000톤 유압 서보프레스로 성형을 실시하였다. 성형공정은 1차로 튜브재가 상부금형이 하강하면서 벤딩성형이 되고 2차로 Feeding punch가 진입하여 Sealing을 실시한 후 고압의 질소가스를 공급하는 방식으로 진행하였다.

1. 자동차부품연구원 금속성형시스템연구팀

2. 서진산업 기술연구소

교신저자: 자동차부품연구원, dokim@katech.re.kr

3. 실험결과 및 고찰

3.1 튜브재 벤딩 기초성형해석

Gas blow forming을 통한 부품 제작 시, 확관을 및 최대 성형성의 한계로 인해 파단 및 미성형 문제 발생하고, Gas blow forming 전 튜브재 벤딩 성형시, 소재 여유부 발생으로 인한 주름결함 문제가 있다. 따라서 이를 사전에 방지하기 위해, Gas blow forming 공정 전 튜브재 벤딩 성형해석을 실시하여 변형거동을 분석하였다. 특히 적절한 튜브재 직경을 선정하기 위해, 실제 서브프레임 제품의 설계 도면 기준으로 단면이 가장 작은 부위를 기준으로, 샘플용 사각금형 모델을 사용하여 성형 해석을 진행하였다. Fig. 1에 나타나 있듯이 원형 튜브재의 직경을 50mm와 52mm 두 종류로 벤딩 성형 시, 50mm 튜브재의 경우 직경이 너무 작아 측면부에 여유가 있으며, 52mm 튜브재의 경우 측면부에 여유부가 발생하지 않았고, 상단부에도 큰 절곡 변형은 발생하지 않았다. 그러나, 두 경우 모두, 모서리부에서의 변형량이 크지 않아 Gas blow forming이 진행되면 모서리부에서 튜브재가 과도하게 성형되어 Thinning에 의한 파단발생 가능성이 높을 것으로 예측되었다.

Fig. 2(a)는 튜브재 직경을 63mm 까지 증가시키고 금형 파팅라인에서 Flash 발생이 예상되는 문제가 있어 금형파팅 라인을 상단부로 옮겼을 때 벤딩 성형해석 시 변형 거동을 나타내고 있다. 파팅라인에서 소재의 Flash 현상이 발생하지 않았고, 모서리부에서 튜브재의 변형이 바람직하게 이루어졌으나 금형 상하단 중앙부에서 소재의 여유부 발생으로 주름결함이 발생하였다. 이러한 주름결함은 Gas blow forming 후에도 남아있어 제품불량을 유발할 수 있다. 따라서 Fig. 2(b)는 튜브재 직경을 60mm로 감소시키고 금형파팅라인을 비대칭으로 설계한 후 벤딩 성형시 거동을 나타내고 있다. 금형 상하단 중앙부에서 큰 주름결함이 발생하지 않았으며, 각 모서리부에서도 튜브재의 변형으로 인해 바람직하게 성형이 이루어짐을 알 수 있었다.

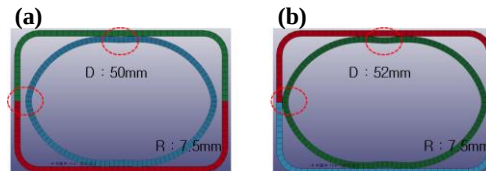


Fig. 1 Tube bending simulation with the radius of (a) 50mm and (b) 52mm

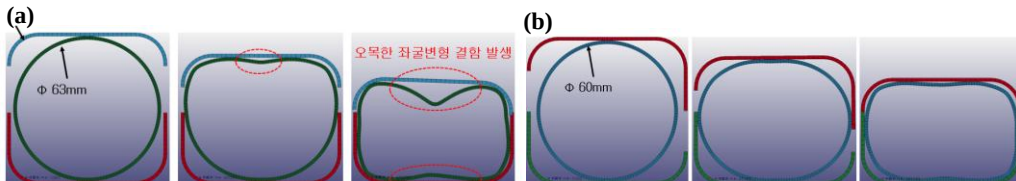


Fig. 2 Tube bending simulation with radius of (a) 63mm with symmetrical parting line and (b) 60mm with asymmetrical parting line

3.2 제품 3D 성형해석

Fig. 3(a)는 성형을 위한 제품 금형 및 튜브재 모델을 나타내고 있다. 1차적으로는 상부금형이 하강하여 튜브재 벤딩성형을 실시하고, 2차로 튜브 양쪽 끝단에 Feeding punch가 진입하여 Sealing을 실시하고 고

압의 Gas 압력을 가하는 공정으로, 해석조건은 1.8mm 두께 튜브재의 850℃ 고온소재물성을 사용하고, 벤딩 후 압력은 25MPa까지 가압하는 것으로 설정을 하였다. 해석결과 Fig. 3(b)에 나타나 있듯이, 1차 벤딩 성형 시 주름 발생하였으며, 특히 주름은 제품 상부면 A부위에서 오목주름이 발생하였다. 따라서, 벤딩 성형 시 주름 발생결함을 방지하기 위해 Fig. 4(a)에 나타나 있듯이 주름이 발생하는 부위에 특정한 형태의 포밍 형상을 추가하여 금형모델 수정을 실시하였으며, 이를 통해 재차 성형해석을 실시하였다. Fig. 4(b)에 나타나 있듯이 제품 상부면 A부위에서는 주름이 거의 제거되었음을 알 수 있다.

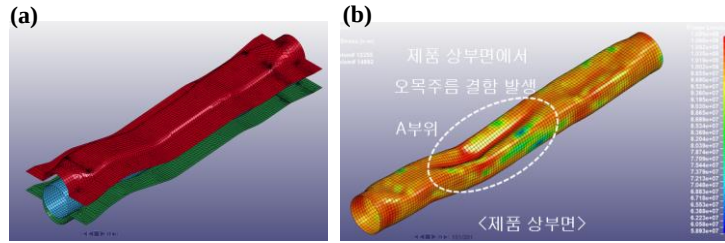


Fig. 3 (a) 3D model of gas forming die and tube (b) Bending simulation result

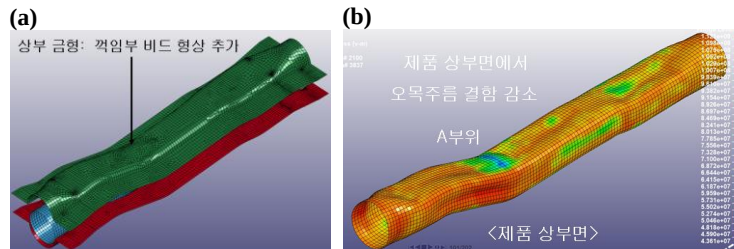


Fig. 4 (a) Revised 3D model of gas forming die and tube (b) Bending simulation result

제품 Gas blow forming 해석 결과 25MPa에서 성형에 의한 주름 결함 발생이 없는 것으로 나타났으며, 최대 환관부에서 약 85.3%의 Thinning 발생하여 본 부위에서 파단 발생 가능성이 높은 것으로 예측되었다. 따라서, 제품 설계를 변경하여 최대 환관이 발생하는 부위에서 설계를 변경하여 변형이 양쪽으로 나누어 이루어지도록 하였으며 이를 통해 Thinning을 최소화 하였고, 성형해석 결과 최대 Thinning이 약 57%로 감소한 것을 알 수 있었다.

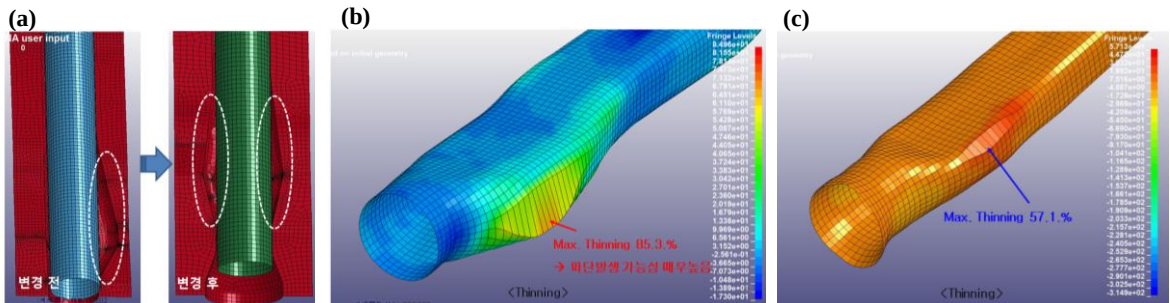


Fig. 5 (a) 3D model of gas forming die and tube before and after revision (b) simulation result before die revision, (c) simulation result after die revision

3.3 성형공정

Fig. 6(a)는 Gas blow forming 실험 결과 최대 환관부에서 Thinning에 의한 파단결함 발생한 것을 알 수 있다. 즉 한쪽 측면만이 과다하게 변형이 발생되어 Thinning에 의한 파단이 발생하였으며, 이러한 금형을 성형해석에서 금형설계를 수정한 바와 같이 제품 양쪽으로 변형이 나누어 발생할 수 있도록 Fig. 6(b)처럼 금형수정을 실시하여 재성형을 실시하였고 파단발생은 일어나지 않음을 알 수 있었다.

Thinning 분석 결과 파단발생이 없는 제품에서 최대 Thinning 부위는 1.0mm로 초기 튜브재의 두께인 1.8mm 대비 약 44.4%가 발생하였다. 해석결과와의 최대 Thinning 오차는 실제 공정 시 소재 온도조건, 금형과 소재와의 마찰조건 차이 등에 의한 것으로 예상된다. 제품 경도측정 시 최대경도는 약 431.7HV로 나타났으며, 미세조직 분석결과 제품 성형 후 급냉에 의한 침상조직의 마르텐사이트 변태에 의해 소재 강도가 상승한 것으로 판단된다.

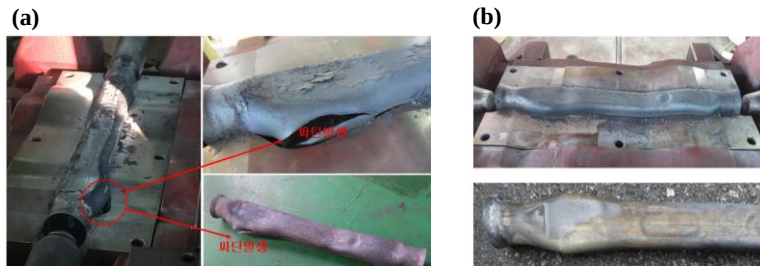


Fig. 6 (a) gas blow forming result before die revision and (b) after die revision

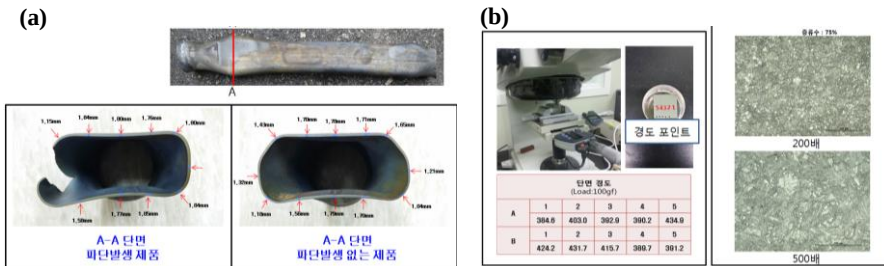


Fig. 7 (a) Thinning result before and after die revision (b) Vickers hardness result with microstructure

4. 결 론

본 연구에서는 스틸튜브재를 고온에서 Gas blow forming 공정의 적용성을 검토하였고, 이를 통해 향후 초고강도 특성을 갖는 튜브형상의 사시부품 개발을 위한 기초적인 자료로 활용하고자 하였으며, 기초연구 결과 적절한 튜브재 직경, 금형설계, 공정조건 등이 제품 품질에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 적절한 냉각조건과 함께 높은 강도의 부품을 제조할 수 있는 가능성이 있음을 알 수 있었다. 향후 Thinning을 감소시키기 위한 연구를 진행할 경우 우수한 강도 및 내구특성을 갖는 제품을 제작할 수 있으리라 사료된다.

후 기

본 연구결과는 ㈜서진산업의 연구용역사업에 의한 결과로써, 함께 연구를 수행한 ㈜탈리스테크, ㈜아산기술연구소 연구원들에게도 감사드린다.

자동 금형보정 기능을 활용한 초고강도강 자동차부품용 프레스금형 보정

이정흠¹ · 김세호[#] · 하강호²

Tool compensation for the Automotive Product with UHSS by a Die Compensation Module

J. H. Lee, S. H. Kim, K. H. Ha

Abstract

The recent advances in utilizing UHSS in auto-industry have increased to satisfy the requirements for impact stability and weight reduction of automotive. There are still under challenge in order to overcome the troubles during the forming process such as formability and springback. A new approach is applied in this paper to satisfy the specification for the shape accuracy of the press-formed part with an automatic die compensation module combining with finite element stamping analysis. The target part is the roof rail center with the UHSS having UTS of 980MPa. The initial blank line is obtained by the inverse analysis and forming defects such as tearing and wrinkling are figured out by the finite element stamping analysis from the information of the initial tool shape. The blanking line is optimized to meet the shape requirement of the final product with the stamping analysis and die compensation is carried out with the information of the springback amount in each process. The specification of the shape accuracy is successfully achieved by the proposed die compensation scheme with the finite element stamping analysis.

Key Words : UHSS, Tool Compensation, Springback

1. 대구대학교 대학원 기계공학과

2. ㈜영진 기술연구소

Corresponding Author : School of Mechanical and Automotive Engineering, Daegu University, E-mail: mvksh@daegu.ac.kr

스탬핑 잔류응력을 고려한 헤밍 결함의 예측

서오석¹ · 홍병화¹ · 김현영[#] · 이준철² · 이철홍²

Numerical Prediction of the Hemming Defects Considering Residual Stress in Stamping Process

O. S. Seo, B. H. Hong, H. Y. Kim, J. C. Lee, C. H. Rhie

Abstract

자동차의 도어(door)나 후드(hood), 트렁크 리드(trunk lid)와 같이 승객에게 노출되어 있는 차체 부품은 절단면에서 발생하는 버(bur)나 날카로운 부분으로부터 안전을 유지할 수 있도록 헤밍 공정이 적용된다. 헤밍이란 한 개의 외판(outer panel) 끝을 접어서 마무리 공정으로 사용하거나, 외판과 내판(inner panel)의 두개 판재를 접합하는데 사용된다. 헤밍은 성형공정의 제일 마지막 단계로서 자동차 패널 차체의 정밀도는 드로잉(drawing) 공정에서 결정되지만 실제 완성차의 외판 품질은 후속공정인 헤밍 공정에서 결정되기 때문에 제품의 상품성을 좌우하게 된다. 하지만 헤밍 시 판재는 두께 내에서 인장과 압축력이 동시에 발생하게 되고 인장과 압축력은 굽힘 후의 탄성회복(springback)을 일으키는데 이러한 현상으로 제품의 치수 정밀도가 저하되며 외판의 미세굴곡을 발생시키는 원인이 된다. 따라서 외판의 바깥쪽 표면에서 끝 부분이 아래로 처지는 턴다운(turn-down), 위로 오목하게 들어가는 워프(warp), 플랜지 위치로부터 안쪽으로 밀려 들어가는 롤인(roll-in)등의 여러 결함들이 나타난다. 2000년대 초반부터 이를 개선하기 위해 유한요소 해석을 이용한 연구가 많이 수행되었지만 2차원 유한요소모델을 이용한 연구가 대부분이며 3차원 유한요소 해석의 경우에도 도어나 후드 등 부품 전체 모델에 대한 연구는 미흡하며 주로 단순 모델을 이용한 해석이 대부분이다. 본 연구에서는 3차원 유한요소해석을 이용하여 자동차 도어 전체 모델과 부분 모델 헤밍 해석을 비교하였다. 해석 시간 및 모델링 방안을 제시하고 응력 분포와 단차를 확인하였다. 단차란 헤밍 후 외판의 끝부분이 위로 들리고, 아래로 처지는 결함을 말하며 연속 공정에 의해 발생하는 헤밍부의 복잡한 잔류응력(residual stress)과 탄성회복, 그리고 플랜지 길이 및 다이 반경 등 제품의 기하학적 형상이 주요 원인인 것으로 알려져 있다. 또한 도어의 외판 성형해석(stamping analysis) 후 잔류응력을 고려한 전체 모델 헤밍 해석을 진행하였고 잔류응력을 고려하지 않은 외판 헤밍 해석과 비교하여 결과를 평가하였다.

후 기

이 논문은 2015년도 한국연구재단 BK21플러스 사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (강원대학교, No. 22A20130012864)

Key Words : Hemming process (헤밍 공정), Height difference (단차), Stamping (성형), Residual stress (잔류응력), Finite element analysis (유한요소해석)

1. 강원대학교 기계의용공학과

2. 현대 자동차

교신저자: 강원대학교 기계의용공학과,

E-mail: khy@kangwon.ac.kr

대면적 초소수성 금속 표면의 성형 및 결빙특성 고찰

정명기¹, 김태경¹, 김호관¹, 신통¹, 이진형¹, 이정신¹, 이준상¹, 강신일^{1#}

Fabrication and investigation of large area metal superhydrophobic surface with anti-icing property

M. Jung, T. Kim, H. Kim, R. Shin, J. Lee, J. Lee, J. Lee, S. Kang

Abstract

Recently, the development of durable hydrophobic surfaces has received much attention, with anti-icing applications in harsh environments. In this paper, a design methodology to determine the optimal microstructures to achieve superhydrophobicity was proposed. Moreover, a top-down fabrication method to form large area metal superhydrophobic surface was presented. The superhydrophobic surface was formed of nickel, which has a large hardness and corrosion resistance, making it suitable for use in harsh external conditions. We measured the contact angle and contact angle hysteresis of diverse metal surfaces were measured (i.e., a bare surface, a random nanostructured surface, an engineered nanostructured surface, and an engineered hierarchical structured surface), and the anti-icing properties of these metal surfaces were investigated.

Key Words : Anti-icing, large area metal superhydrophobic surface, continuous metal-to-metal replication, top-down fabrication methods

1. 서 론

최근 항공기, 터빈, 송전선, 선박, 해양 구조물, 열 교환기 등 구조물 상에 발생하는 결빙은 항력을 증가시키고 사고의 원인이 되는 등의 문제를 발생시키며, 이러한 문제를 극복하기 위하여 다양한 대응 방안이 연구되어 왔다[1]. 따라서 anti-icing 표면에 대한 연구의 필요성이 증대되었으며, 생체모사 구조를 구현하고 제작된 표면의 소수성 및 결빙방지 특성을 검증하는 연구가 수행되었다. 그러나 이러한 표면은 최적화를 통해 보다 우수한 특성을 보일 수 있는 여지가 존재한다. 또한 harsh condition에서 표면의 소수성 및 anti-icing property가 저하될 수 있다는 문제점이 제기되어 bottom-up 방식으로 금속 기반의 결빙방지 표면을 제작하는 연구가 진행되었으나 균일한 패턴 형상 및 최적의 소수성을 보장하지

못한다[2]. 본 연구에서는 최적 소수성을 보이는 구조를 설계하는 수치해석 기반의 방법론을 제시하고 설계된 구조를 top-down 방식의 PRC electro-chemical deposition 공정을 사용하여 니켈 재질로 구현하였다. 또한 소수성 측정 및 결빙 실험을 통하여 제작된 금속 표면이 우수한 소수성, anti-icing property를 보유함을 검증하였다.

2. 대면적 금속 소수성 표면 설계 및 제작

2.1 소수성 패턴 설계

본 연구에서 설계한 계층구조 소수성 패턴은 폭 12 μ m, 높이 24 μ m의 사각 pillar 형태의 primary structure와, 폭, 높이, 피치 4 μ m의 사각 pillar 형태의 secondary structure를 갖도록 설계되었다. 최적화를 위하여 primary structure의 피치를 60, 72, 84, 108 μ m로 변화시켜가며 lattice Boltzmann method 기반 수치해석을 시행하였으며 Cassie state를 보이며 173°의 가장 큰 contact angle을 나타내는 72 μ m의 피치를 설계에 반영하였다.

1. 연세대학교 기계공학부

교신저자: 연세대학교 기계공학부,

E-mail: snlkang@yonsei.ac.kr

2.2 대면적 금속 초소수성 표면 제작

설계된 구조를 제작하기 위하여 Si기판에 photolithography 및 DRIE공정을 사용하여 마스터 패턴을 제작하고, UV-imprinting공정으로 폴리머 마스터를 제작, nickel seed layer 증착 후 PRC electrochemical deposition공정으로 metal stamp를 제작하였다. 이를 step-and-repeat UV imprinting공정에 적용하여 대면적 폴리머 마스터를 제작하였으며 seed layer 증착 및 PRC electrochemical deposition공정으로 대면적 metal stamp를 제작하였다. 제작된 대면적 metal stamp상에 passivation공정을 통하여 산화층을 형성하고 metal-to-metal복제 공정을 통하여 대면적 metal master를 제작 후, metal master를 연속 metal-to-metal 복제 공정에 적용함으로 105mm×610mm의 면적에 패턴이 형성된 metal surface를 제작하였다.

3. 소수성, 결빙특성 실험 결과 및 고찰

3.1 소수성 평가

제작된 계층구조 표면의 특성을 평가하기 위하여, 금속 bare 표면, random 나노구조가 제작된 금속 표면, engineered 나노구조가 제작된 금속 표면과 함께 contact angle(CA), contact angle hysteresis(CAH)와 빙결방지 성능을 측정하고 평가하였다. 각 표면은 측정 전 FOTS SAMs 처리되었으며, 측정 결과는 Table 1에 나타내었다. 실험을 통하여 본 연구에서 제작한 계층구조 표면이 우수한 소수성을 가지고 있음을 확인하였다.

Table 1 Comparison of contact angle and contact angle hysteresis of the various metal surfaces

	CA	CAH
Bare 표면	105.61±4.18°	67.89±1.57°
Random 나노구조 표면	123.00±5.73°	36.79±7.98°
Engineered 나노구조 표면	127.20±4.06°	23.77±3.81°
계층구조 표면	159.35±1.02°	1.11±0.37°

3.2 결빙특성 평가

상기 금속표면을 대상으로 저온챔버 내에서 빙결 실험을 진행하였다. 저온챔버 온도는 -10±1℃, 상대습도는 90%이상, 표면 온도는 -20±1℃로 유지되었다. 금속 표면은 지면으로부터 50° 각도로 고정되었으며, 90분 동안 영상을

기록하고 ImageJ를 통해 빙결면적을 계산하였다. 실험 결과 Table 2와 같이 본 연구에서 제작한 계층구조가 초기 빙결 형성 뿐 아니라 빙결 성장을 현저하게 지연시킴을 확인하였다.

Table 2 Areal fraction of the surface covered by ice as a function of time (단위: %)

Time (min)	Bare표면	Random 나노구조 표면	Engineered 나노구조 표면	계층구조 표면
10	84.5	15.0	11.1	6.6
30	96.8	55.8	24.5	26.5
50	98.9	97.1	56.7	46.8
70	99.5	98.0	68.9	53.5
90	99.9	99.1	85.0	62.3

4. 결론

본 연구에서는 계층구조의 소수성 표면을 설계하고 대면적 금속 표면을 구현하여 그 결빙방지 특성을 검증하였다. 초소수성 표면을 설계하기 위하여 최적의 초소수성을 확보하기 위한 방법론을 제시하였으며, 연속 성형 공정을 통해 우수한 물성을 가진 금속 재질을 사용하여 대면적 패턴을 구현하였다. 제작된 표면의 특성을 평가하기 위하여 소수성 특성 및 anti-icing특성을 다양한 금속 표면과 비교하였으며, 본 연구에서 제작된 금속 표면이 우수한 소수성과 결빙방지 특성을 가지고 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 2012 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단-나노·소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (2012M3A7B4035326)

참 고 문 헌

- [1] S.A. Kulinich and M. Farzaneh, 2009, Ice adhesion on super-hydrophobic surfaces, Appl. Surf. Sci., Vol. 255, pp. 8153-8157.
- [2] D. Mijatovic, J. C. T. Eijkel and A. van den Berg, 2005, Technologies for nanofluidic systems: top-down vs. bottom-up—a review, Lab Chip, Vol. 5, pp. 492-500.

선택적 레이저 용융 공정으로 제작된 AlSi10Mg합금의 일축인장시 미소역학적 변형거동에 관한 연구

김은영¹, 황지현¹, 신지환¹, 최시훈¹

Abstract

본 연구에서는 선택적 레이저 용융(selective laser melting, SLM)공정으로 제조된 AlSi10Mg합금의 일축인장시 미소역학적 변형거동에 미치는 미세조직의 영향을 고찰하였다. 실험적인 측면에서는 EBSD(electron back-scattered diffraction)분석과 일축인장이 결합된 Ex-situ 기술을 이용하여 AlSi10Mg합금의 일축 인장시 미소역학적 변형거동을 분석하였다. EDS 및 SEM 이미지를 이용하여 초기 미세조직에 발달하는 용융지(melt pool)와 열영향부(heat affected zone)를 구분하였으며, KAM(kernal average misorientation)을 이용하여 일축인장시 미세조직에 발생하는 변형의 불균일성을 분석하였다. 이론적인 측면에서는 실제 초기 미세조직을 유한요소메쉬에 직접 맵핑한 후, 결정학적 방위에 기초한 CPFEM(crystal plasticity finite element method)을 이용하여 일축인장시 AlSi10Mg합금의 미소역학적 거동에 대한 Meso-scale모델링을 수행하였다. SLM공정으로 제조된 다양한 합금계에 대한 미소역학적 변형 거동에 대한 이해를 바탕으로, 향후 구조 안정성이 확보된 제품 개발에 도움이 될 것으로 기대된다.

Keywords : AlSi10Mg, Selective Laser Melting, EBSD, Microstructure, Kernal Average Misorientation

1. 순천대학교 대학원 인쇄전자공학과

A study on mechanical properties of nitrided 2205 dual phase stainless steel

Jamshid Shukurdjanov, Insoo Kim*

**Department of Advanced Materials Science and Engineering, Kumoh National Institute of Technology,
Gyeounbuk, Korea 730-701**

***Corresponding author: iskim@kumoh.ac.kr**

Abstract

Liquid salt bath nitriding is simple and quick processing method. The duplex stainless steel sheets were nitrided by salt bath nitriding method. KNO₃ salt was used as a nitriding source from 500°C to 650°C for 1 to 8 hours, respectively. After the salt bath nitriding of duplex stainless steels, the changes of mechanical properties were investigated by micro-hardness and tensile test. The micro-hardness of nitride duplex stainless steel is increased about 30% than initial sample. The UTS of nitride duplex stainless steel is increased about 10% than initial sample. But the elongation of nitride duplex stainless steel is decreased about 10% than initial sample.

Key Words : Key words : Salt bath nitriding; KNO₃; Hardness

STD61계열 금형강의 열처리 시 매질 별 탄소성 변형 연구

곽은정^{1#} · 강경필¹ · 유정목² · 김병구³ · 노태열⁴

A study of elasto-plastic deformation on Heat Treatment for the Tool Steel of Advanced STD61 in Different Mediums

Eun-jeong Kwak · Gyeong-pil Kang · Jeong-mok Yu · byong-koo Kim · Tae-yeol Roh

Abstract

The demand for the improved tool steel is increasing as the manufacturing process becomes severe such as hot press forming, high pressure die casting and cold forming of UHSS. The design of heat treatment process is one of the key technology to meet the need for the high toughness, high temperature strength, wear-resistance and minimized thermal distortion. The application of finite element method in heat treatment simulation can reduce the trial and error in determining the heat treatment condition. In this study, the process to obtain the heat transfer coefficient of oil bath and vacuum heat treatment furnace is presented. And we compared results of elasto-plastic deformation of tool steel in different mediums.

Key Words : Heat Treatment, Finite Elements Method, Quenching, Heat Transfer Coefficient, Tool Steel

1. 서 론

금형은 타 산업의 발전에도 중요한 영향을 미치는 기반산업으로 자동차, 가전, IT 산업 등을 포함하여 전·후방 연관산업의 발전에도 직접적인 영향을 미치는 중요한 산업분야이다[1]. 자동차 산업에 적용이 급격히 늘어나는 핫프레스포밍(Hot Press Forming), 다이 캐스팅(Die casting), 초고장력 강판의 냉간 프레스 성형 등과 같이 성형조건이 가혹한 공정에 적용할 수 있는 금형 소재의 수요가 증가하고 있다. 열간 성형용 공구강은 인성, 고온강도, 내마모성 등이 우수하고, 열처리 변형을 최소화하여야 한다. 이번 연구에서는 열처리 조건에 따른 금형 소재 내부의 열 분포 및 응력 변화에 따른 제품의 변형예측에 전산모사 기법을 활용하고자 한다.

2. 전산모사

2.1 물성 확보

이번 연구에서 적용하는 소재는 STD61 열간 금형강보다 열전도 특성이 향상된 신규 합금으로 이전연구에서[2]에서와 같이 각 상별 온도에 따른 탄성물성(탄성계수, 프와송비, 열팽창계수), 소성 물성(유동응력), 열 물성(열전도도, 열용량)과 상변태 속도론에 관련된 TTT선도, 마르텐사이트 변태정보, 그 외에도 잠열, 체적변화, 변태소성계수 등을 열역학 기반 고온 물성계산 소프트웨어인 JMatPro를 이용하여 계산 및 보정

1. ㈜솔루션랩
2. DCI 열처리
3. 두산중공업
4. 삼락열처리

교신저자: ㈜솔루션랩, E-mail: ejkwak@solution-lab.co.kr

을 통해 확보하였다.

2.2 열전달 계수 예측

상변태를 고려한 열처리의 전산모사를 위해서는 소재의 물성과 매질과 열처리 조건에 따라 달라지는 공정변수인 열전달 계수를 확보 하여야 한다. 열처리시 매질 및 소재 각부위별 시간에 따른 온도변화를 측정하고, 상용프로그램인 DEFORM v11.0.2의 열전달 계수 역추적 템플릿을 이용하여 열처리해석을 반복적으로 수행하여 실험 결과와 해석 결과값의 차이를 최소화하는 열전달 계수를 도출할 수 있다[3]. 이번 연구에서는 진공 열처리로와 유냉 열처리시 열전달 계수를 산출하였다.

2.3 금형강 열처리에 따른 탄소성 변형 전산모사

대략 690mmx520mmx230mm 크기의 STD61계열 금형에 대한 매질별 열처리 전산모사를 수행하였다. 진공 열처리로와 유냉 열처리를 적용하는 경우 소재 내부의 온도 분포, 상분율, 응력 분포, 변형 등의 결과를 전산모사를 통하여 예측하였다.

3. 결 론

열처리 조건에 따른 소재의 상변화를 고려하여 열처리 매질별 열전달 계수를 예측하였다. 이를 기반으로 새로이 개발된 강종으로 만든 제품의 매질 및 열처리 조건에 따른 제품의 온도, 응력분포, 변형, 상분율 등을 예측할 수 있다.

후 기

본 연구는 산업융합원천기술개발 사업의 일환으로 수행된 “ 1.5GPa급 자동차 부품 성형용 장수명 금형 소재 및 후가공 기술 개발과제(10040066)”의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] 한국 금속재료연구조합, 2011, 1.5GPa급 자동차 부품 성형용 장수명 금형 소재 및 후가공 기술개발, 산업융합원천기술개발사업 협약서, p49
- [2] 강경필, 박은정, 이승열, 유정목, 김병훈, 2013, Mod.STD61 열간 금형강의 열처리 전산모사, 한국 소성가공학회 2013년 춘계 학술대회 논문집, p273~276
- [3] 강경필, 박은정, 유정목, 김병구, 노태열, 2014, STD61 계열 금형강의 매질별 열처리 전산모사, 한국소성가공학회 2014년 춘계 학술대회 논문집, p250~251

AISI M2 파우더를 이용한 레이저 메탈 디포지션 트랙 특성 평가

김원혁¹ · 정병훈¹ · 오명환² · 최성원² · 강대민[#]

Track characteristics in Laser metal deposition using AISI M2 powder

W. H. Kim¹, B. H. Jung¹, M. H. Oh², S. W. Choi², D. M. Kang[#]

Abstract

AISI M2 powder was selected primarily through various reference paper in order to estimate the track. Among the laser metal deposition parameters, laser power was studied to improve the deposition efficiency in the laser metal deposition using a diode pumped disk laser. SKD61 hot work steel plate and AISI M2 powder were used as a substrate and powder for laser metal deposition, respectively. Fixed parameters are CTWD, focal position, travel speed, powder feed rate, etc. Experiments for the laser metal deposition were carried out by changing laser power.

Key Words : AISI M2 powder (철계파우더), SKD61(열간금형강), Laser Metal Deposition(레이저메탈디포지션), Track(트랙)

1. 서 론

현재 상용화된 금속의 여러 복합표면개질 방법은 고진공 상태에서 표면처리가 이루어지기 때문에 생산성이 저하되는 문제가 있고, 또한 파손위치에 대한 국부적인 수리에 한계가 있다. 이에 레이저에 의한 표면처리는 새로운 표면처리기술로서 급속히 개발 및 도입되고 있는 실정이다. 가공용 레이저로써 1970년대부터 주로 절단, 구멍뚫기 등의 용도에 이용되었지만, 최근 레이저 클래딩을 이용한 표면처리법은 레이저 합금화와는 달리 용가재의 성질을 잘 살릴 수 있고, 모재의 변형을 줄일 수 있어 종래의 금속 표면처리방법에 비해 열영향부의 정밀 제어가 용이하여 여러 가지 뛰어난 장점이 있다[1-3].

본 연구에서는 이러한 AISI M2 파우더를 활용하여 레이저 메탈 디포지션(이하 LMD라 칭함) 적용 시의 트랙특성 분석을 행하고자 한다.

2. 실험

2.1 파우더 조성

실험에 사용된 모재와 파우더의 화학조성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of the SKD61 and AISI M2 (wt.%)

Material	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	Cu	W
SKD61	0.32	0.20	0.80	4.75	0.30	1.10	0.80	0.25	-
AISIM2	0.97	0.20	0.20	4.11	-	4.90	1.80	-	6.30

AISI M2 파우더의 입자 크기는 평균 28.65um 수준이며, 최대 입자크기는 약 150um이다.

1. NKS, Co., Ltd

2. 부산대학교 금속재료공학부

교신저자: 부경대학교 기계공학과, dmkgang@pknu.ac.kr

2.2 실험장치

Fig. 1은 LMD 실험을 위한 레이저 메탈 디포지션 장치의 개략도로서 레이저 용접헤드, 파우더 공급장치, 파우더 노즐로 구성되어 있다. 레이저 발전기는 독일 Trumpf의 TruDisk 4001 모델을 사용하였고, 레이저빔 직경은 이론적으로 1mm 정도가 되도록 파우더 노즐 팁과 모재 표면과의 거리인 작업거리를 유지하여 실험을 행하였다. Table 2는 실험에 사용된 LMD 조건을 나타낸 것이다.

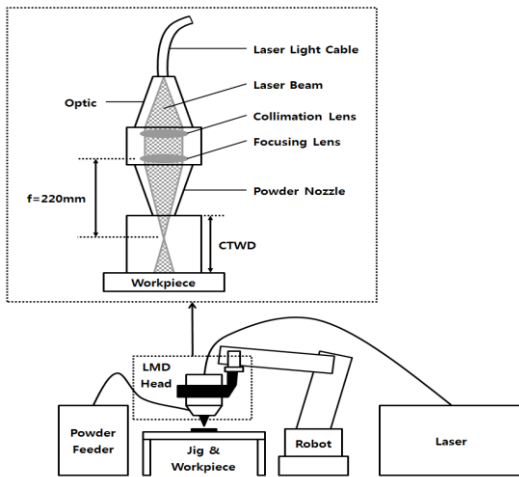


Fig. 1 Block diagram of multi-modal chatter model of a high speed machining center

Table 2 Experiment condition of laser metal deposition

Parameter	Unit	Range
Laser power	kW	0.5-1.6
Tilt angle of LMD head	degree	0
Travel speed of LMD	m/min	12
Power feed rate	g/min	8
Track pitch	um	500
Track distance	mm	100
Track pass	pass	30

3. 실험결과 및 고찰

LMD 실험에서 레이저 출력에 따른 트랙두께 측정방법은 시험편 전체에서 측정 가능한 트랙

을 10um 간격으로 측정하여 분석하였다. Fig. 2는 레이저 출력에 따른 LMD 트랙두께 및 편차와의 관계를 나타낸 것으로서 전반적으로 레이저 출력 1.6kW 조건이 1.4kW 대비 LMD 트랙 깊이가 크게 나타남을 알 수 있다.

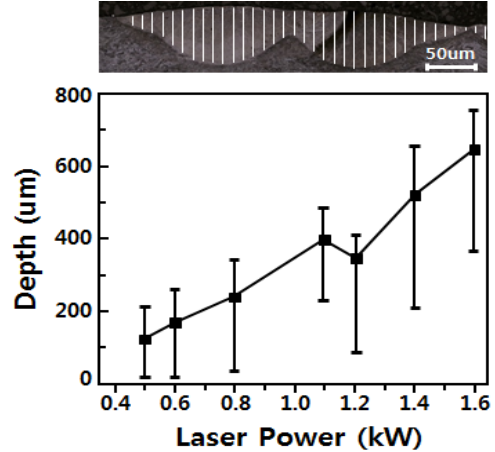


Fig. 2 The relationship between track depth and laser power

후 기

이 논문은 2014년도 산학공동기술혁신사업에 의하여 지원되었음.

참 고 문 헌

- [1] H. Gedda, 2000, Laser surface cladding a literature survey, Technical Report.
- [2] Namhyun Kang and Yeongon Yoo, 2007, Laser cladding Technology in Overlay Welding, Journal of KWJS, Vol. 25, No.1, pp. 7-8.
- [3] Shu-Qi Wang, Kang-Min Chen, et. al., 2006, Effect of Alloying Element on Thermal Wear of Cast Hot-Forging Die Steels, Journal of Iron & Steel Research, Vol. 13, No.5, pp.53-59.

고온 마모 실험 장비의 개발 및 강종 별 마모 특성 분석

강한샘¹ · 이영석[#]

Development of high-temperature wear test equipment and wear analysis on variation of steel grade

H. S. Kang, Y. Lee

Key Words: Pin-on-Disk, Wear testing (마모 실험), Wear Characteristics(마모 특성)

Abstract

We had to improve the existing experimental equipment created a new experimental equipment to wear test at high temperature. And, determine using the experimental equipment of a wear coefficient as each steel (spring steel, high carbon steel, low carbon steel) rolling. This experimental equipment consists of Induction coil, servo motor and cooler. And, precise temperature control is possible via an infrared sensor. Complete the wear test specimen from improved experimental equipment is taken wearing surface with microscope. Next, extracts the wear surface of the specimen with the coordinates border Data. And, after calculating the wear volume by using the acquired Data calculates the wear amount of each specimen. Finally, Identify the trend through the least squares method (Least Square Method).

우리는 기존의 고온 마모실험 장비 (최대 가열온도 600℃)를 개선하여 고온 마모실험 장비를 새로 만들어 800℃에서 마모실험을 할 수 있도록 하였다. 이 실험장비를 사용하여 3 개 강종 (스프링강, 고탄소강, 저탄소강) 이 DCI(ductile Cast Iron) 재질의 롤(roll)에 압연될 때 마모 계수를 구하였다. 실험장치는 크게 Disk의 가열을 위한 유도 코일과 Disk를 회전시키는 서보 모터, 냉각기로 구성이 된다. 소재 온도는 최대 800℃까지 상승 가능하며, 적외선 센서와의 연계를 통해 정밀한 온도 제어가 가능하다. 개발된 Pin-on-Disk 고온 마모 실험 장치를 활용하여 마모 실험을 마친 시편은 마모된 면의 표면을 광학현미경으로 촬영 한다. 그리고 각 시편의 마모 표면 테두리를 좌표 Data로 추출한다. 취득한 마모 표면의 좌표 Data를 활용하여 마모체적을 산출한 뒤 각 시편의 마모량을 계산한다. 실험장비를 통해 측정, 산출된 값들을 최소자승법 (Least Square Method)을 통해 그 추세를 파악함으로써 측정한 조건들 보다 높은 온도, 하중, 공정시간의 조건에서의 마모량과 그 경향을 예측을 하는 것이 가능하다.

1. 중앙대학교 기계공학부

교신저자: 중앙대학교 기계공학부,

E-mail: ysl@cau.ac.kr

Moldflow를 이용한 19mm 구경 BTA drill head의 금속 분말 사출 성형 해석

강호영^{1#}·송영근¹·이주현¹·신현학¹·최승민¹

Metal Injection Molding Analysis of 19mm Diameter BTA Drill Head using Moldflow

H. Y. Kang, Y. G. Song, J. H. Lee, H. H. Shin, S. M. Choi

Abstract

In this paper, grid generation and injection analysis were carried out by using Moldflow AMI which is a commercial forming analysis program to minimize resin short shot defect generated in metal injection molding according to 19mm diameter BTA drill head design. Molding condition suitable for process of target goods was set in moldflow, based on the result, gate location, weld line and packing time were set and flow characteristic, such as filling pattern, pressure distribution was measured by injection molding analysis. This paper is directed to improving quality of injection molding product by analyzing estimated volume contraction, air trap, weld line, sink mark, filling power and grow form and so on and considering the best result.

Key Words : Metal Injection Molding (금속분말 사출성형), Moldflow (몰드플로), BTA drill (BTA 드릴)

1. 서 론

최근 산업 분야에서는 고정밀, 생산성 향상을 위해 능률화된 절삭가공이 가능한 공작 기계와 공구를 요구하고 있다. 이러한 능률화된 절삭가공 기술 중, 심공 가공의 BTA 드릴 가공은 1942년 Beisner에 의하여 개발되었다.[1]

수지를 이용하여 다양한 형상의 제품을 제작하는 사출 성형은 자동차, 전자제품, 일상 생활용품 등과 같은 모든 산업의 부품 제작 방법 중에 하나이다.[2] 최근에는 형상과 치수정밀도 및 고온에서의 특성을 구현하면서 대량 생산 시, 경제성을 확보하는 방법으로 금속 분말 사출 성형(MIM: Metal Injection Molding)방법이 각광을 받고 있다. 사출 금형의 경우 다양한 구조의 다수 금형을 제작하는 것은 경제적 및 시간적 손실로

직결된다. 따라서, 사출 금형 설계 및 사출 성형 조건 최적화와 더불어 금형의 납기단축 및 성형품 품질 향상을 위하여 사출 성형 해석 기술이 연구개발 및 산업 현장에 폭넓게 적용되고 있다. 이러한 사출 성형 해석은 수지의 유동과 냉각 과정을 해석하는 것으로, 해석 결과로부터 제품 설계 또는 금형 설계단계에서 예상되는 문제점들과 그 원인을 예측하고, 다양한 대안을 적용한 해석을 통하여 제품 설계와 금형 설계를 최적화 하는데 목적이 있다.[3]

본 연구에서는 성형 공정 시 미성형 불량으로 주로 발생하는 19mm 구경 BTA drill head의 사출 금형 설계안을 검토하고, 사출 성형 조건을 Moldflow AMI에 설정하여 나타나는 결과를 바탕으로 게이트 위치, 웰드 라인, 보압 시간 등을 설정하였다. 최종적으로는 충전 패턴, 예상 체적 수축량, 에어 트랩, 웰드 라인 등을 분석함으로써 나타나는 결과를 최대한 고려하여 사출 성형 제품의 품질을 향상시키는데 그 목적이 있다.

1. (재)경북그린카부품진흥원

교신저자: (재)경북그린카부품진흥원, E-mail:hykang@gbitech.re.kr

2. 사출성형 해석 방법

본 연구에서는 Fig. 1 과 같이 사출 성형 해석을 수행하기 위해 19mm BTA drill head의 모델을 CATIA 5R2를 이용하여 설계하였으며, 이후 설계된 모델을 Fig. 2와 같이 사출 성형 해석 프로그램인 Moldflow AMI에 .stl 파일로 변환하여 입력 후 해석을 수행하기 위해 격자 및 러너 시스템을 구성하였다. 러너 시스템은 사출 해석을 수행하기 위해 제공된 사출 금형 설계 자료에 의거하여 스프루, 러너, 게이트 모델링을 배치하였으며, 부가적인 조건이 없으므로 모두 콜드 타입으로 러너를 구성하였다. 유한요소의 개수는 284,679개, 절점의 개수는 52,747개이다. 사출 성형 해석을 위한 조건은 Table 1에 나타내었다.

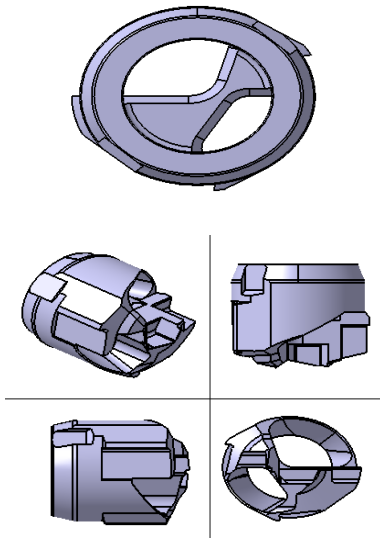


Fig. 1 19mm diameter BTA drill head model

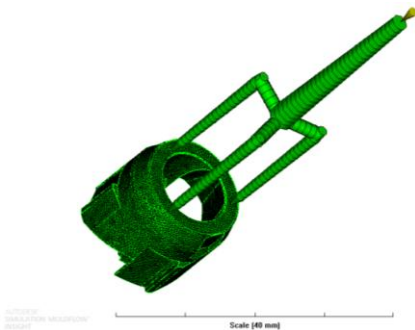


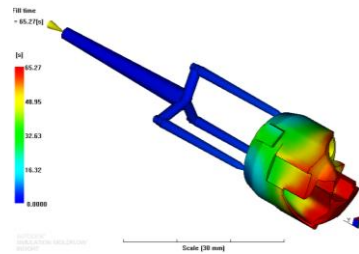
Fig. 2 Finite element model

Table 1 Injection molding conditions	
Nozzle temperature(℃)	145
Injection time(sec)	25
Cooling temperature(℃)	10
Cooling time(sec)	10
Cycle time(sec)	25
Cavity	2
Injection pressure(%/ton)	18/50

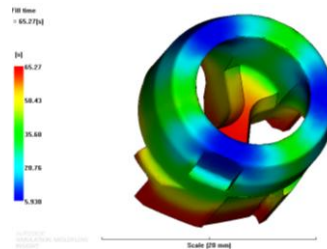
3. 사출성형 해석 결과 및 고찰

3.1 충전 패턴

충진 시간(Filling time)은 수지의 충전 패턴이 등고선상에 나타난 것으로 등고선의 간격에 따라 온도의 변화와 속도가 다르다는 것을 Fig. 3에서 확인 할 수 있다. 이러한 유동 선단이 서로 만나서 웰드 라인을 형성한다면, 두꺼워진 고화층으로 인해 웰드 라인의 강도가 커질 것으로 예상된다. 그리고 게이트 및 러너의 규격이 동일하게 적용되어 있지만, 결과는 수지의 충전 시점이 차이를 보이므로 이에 대한 개선이 필요한 것을 확인하였다.



(a) Side view

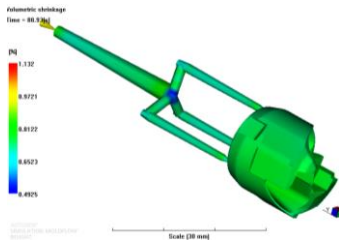


(b) Top view

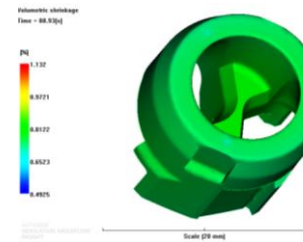
Fig. 3 Filling pattern

3.2 체적 수축량

Fig. 4는 성형 공정이 끝난 후 예측되는 체적 수축 분포를 보여주고 있다. 체적 수축량은 제품의 변형, 싱크 마크, 제품치수 등에도 영향을 미치며, 제품 영역에 따른 체적 수축량 편차는 제품 변형을 일으키는 가장 큰 원인이 된다. 성형 형상 및 두께에 의해서도 영향을 받는다. 체적 수축을 보완하기 위해서는 수지의 온도를 낮추고 충전 압력과 보압 시간을 충분히 준다면 해결할 수 있을 것으로 예상된다.



(a) Side view

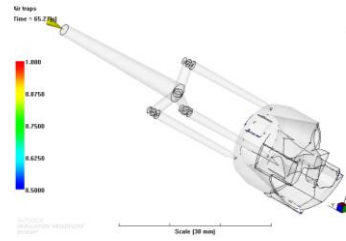


(b) Top view

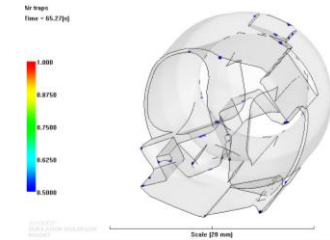
Fig. 4 Volumetric shrinkage

3.3 에어 트랩

Fig.5에는 금속 분말 사출 성형해석 결과 게이트 주변 및 사출물이 들어가는 부분에 Air trap이 예상되는 부분을 나타내었다. Air trap은 수지의 용융선단이 만나 밀폐된 공간을 형성함으로써 부분적으로 미성형이나 단열압축에 의해 타는 현상이 발생할 확률이 높은 부분으로 예상된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 게이트 중앙 부위에 복수개를 구성하고, 근본적으로는 Vent hole 위치를 분배하여 설정할 필요가 있다. 또한 복수개의 게이트 적용시 웰드라인에 유의해야 하며, 이를 위해 게이트 위치를 접히는 부분에 대한 게이트 선정 검토가 필요할 것으로 예상된다.



(a) Side view

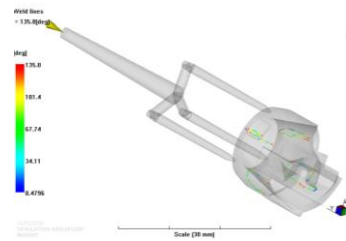


(b) Top view

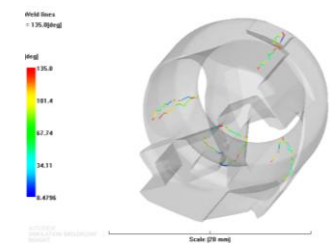
Fig. 5 Air trap

3.4 웰드 라인

성형 해석 결과 외관에 웰드 라인이 발생되는 부분을 Fig. 6에 나타내었다. 웰드 라인은 두 개 이상의 서로 다른 방향을 갖는 유동선단이 만나면서 형성되는 선으로 게이트 주변 및 Drill head 외관에 손상을 줄 가능성을 확인하였다.



(a) Side view



(b) Top view

Fig. 3 Weld line

4. 결 론

본 논문에서는 19mm BTA drill head의 금속 분말 사출 성형 해석을 수행하였다. 이를 통해 실제 사출 성형에서 발생할 수 있는 문제점을 확인하고, 실제 성형에 앞서 수지의 유동 특성을 알아보고 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 성형해석 결과로 두께가 얇은 부분 및 헤드 아래 부분의 사출을 보완해 줄 수 있는 적절한 Ram speed 및 위치, 충분한 보압 등이 필요한 것을 확인하였다.

(2) 게이트 및 러너의 규격이 동일하게 적용되어 있지만, 결과는 수지의 충전 시점이 차이를 보이는 것을 확인하였다.

(3) 사출 조건에 따른 사출 성형 해석을 통해 최적 조건을 예측하였다.

후 기

본 논문은 중소기업청 융복합기술개발사업(S2182641)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] J. Frazao, 1986, On the design and development of a new BTA tool to increase productivity and work piece accuracy in deep hole machining, the international Journal of Advanced Manufacturing Technology 1.4, 3-23.
- [2] B. H. Min and B. G. Kim, 2000, An analysis of injection molding process for the manufacturing of DC moter case, Proceeding of 2000 Spring Annual Meeting, 812 – 815.
- [3] K. Park, J. H. Park and S. R. Choi, 2002, Numerical analysis for injection molding of precision electronics part using three-dimensional solid elements, Transactions of Materials Processing, 11(5), 414-422.

차량용 소형부품 프레스 금형설계 및 시제품 제작 : 대학 연구동아리 주제연구

곽정환¹ · 김의환¹ · 이병훈¹ · 김지훈² · 이정흠² · 김세호[#]

Tool Design and Prototype Fabrication of an Automotive Part : An Example of Capstone Design

J. H. Kwak, E. H. Kim, B. H. Lee, J. H. Kim, J. H. Lee, S. H. Kim

Abstract

This study is the carried out as a capstone design project in order to learn the fundamental knowledge of the press forming process for an automotive part with the practical design of dies and process parameters. The product shape is obtained with the measurement of the oil filter case for the auto-mission. This study obtains basic process parameters such as the initial blank shape and the blank holding force with the inverse analysis. The incremental stamping analysis is applied to modify and confirm the tool design concept with the determined process parameters. Tools for stamping the product are fabricated with the modified design and the sound prototype is obtained from the try-out.

Key Words : Tool Design, Stamping analysis, Tool fabrication, Prototype

1. 서 론

박관 자동차 부품의 경우 대부분 프레스 금형에 의하여 양산되어 조립되는데 프레스성형 공정에서 금형제작 시 시행오차에 의한 제작지연 및 비용감소를 위하여 다양한 기법을 활용하고 있다. 부품을 양산하기 전 초기 금형설계안 및 공정변수를 이용하여 성형해석 등의 기법을 활용하여 금형제작 및 시험형과정을 합리화한다. 본 논문에서는 프레스금형 관련 대학교 연구동아리에서 수행되었던 박관 자동차부품을 성형하기 위한 프레스 금형 및 공정설계에 관련한 실제적인 실습내용을 소개하고자 한다.

본 논문에서는 대학 동아리 소속 학생들의 실무능력 향상을 위해서 자동차 부품을 선정하고 그 형상을 측정하여 제품데이터 및 금형 설계안을 제작하였다. 각종 유한요소 해석 기법을 이용

하여 초기 블랭크 형상 설계에 필요한 공정변수를 도출하였다. 이를 바탕으로 금형을 제작하고 시제품을 성공적으로 도출하였으며, 설계와 해석과정의 결과와 시험결과를 비교하여 사용된 설계과정의 타당성을 검증하였다.

2. 금형 및 공정설계

2.1 제품설계

본 논문의 대상은 자동변속기 오일필터 케이스로 형상 및 치수를 Fig. 1에 도시하였다. 대상부품 실측을 통하여 3차원 CAD 모델링 및 2차원 도면화를 하였다. 사용된 프로그램은 CATIA V5 R21와 AutoCAD 2015이다. 1단계 성형공정만으로 시제품을 얻기 위하여 제품 곡률부 반경을 증대시켰으며, 직벽부의 각도를 완만하게 조정하였다.

2.2 역해석 활용 공정변수 설계

성형을 위한 블랭크 형상과 블랭크 홀딩력을 얻기 위하여 역해석(Inverse Analysis)을 수행하였으

1. 대구대학교 기계·자동차공학부

2. 대구대학교 대학원 기계공학부

Corresponding Author : School of Mechanical and Automotive Engineering, Daegu University, E-mail: mvksh@daegu.ac.kr

며 사용된 프로그램은 Hyperform[1]이다. 3차원 CAD 모델링 및 2차원 도면을 Fig. 2에 도시하였고, 역해석에서 얻은 초기 블랭크 형상을 Fig. 3에 도시하였다. 블랭크 홀딩력에 따른 초기 블랭크 크기의 예측 값을 Table 1에 도시하였는데, 블랭크 홀딩력이 커짐에 따라 초기 블랭크의 크기는 점점 감소하는 것을 확인할 수 있었으나 그 차이는 미미했다. 이를 바탕으로 최대 압축시 2.4kN의 하중을 부과하는 코일스프링 TM35×50 8개를 이용하여 하사점에서 19.2kN의 홀딩력을 부과하였다.



Fig. 1 Shape and dimension of the auto mission oil filter

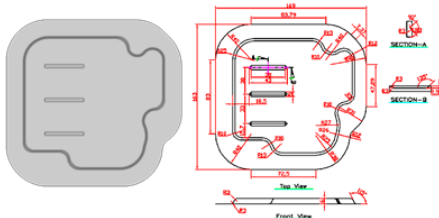


Fig. 2 Schematic drawing of the designed product

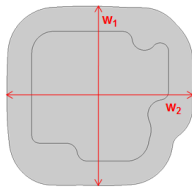


Fig. 3 Initial blank shape obtained from the inverse analysis

Table 1 Obtained size of the initial blank according to BHF from the inverse analysis

Blank Holding Force	w ₁ (mm)	w ₂ (mm)
1 ton	169.6	174.9
2 ton	169.5	174.7
5 ton	169.3	174.3
10 ton	169.0	173.3
30 ton	167.0	170.9

2.3 성형공정 해석

1차적으로 제품형상을 기준으로 하여 성형공정에 필요한 금형의 마스터 면을 제작하고, 설계된 금형안을 이용할 때 발생 가능한 파단과 주름 불량 문제를 확인하기 위해 성형해석을 수행하였다. 대상부품의 상부에 엠보싱 형상이 존재하므로, 이를 고려하여 폼-드로우(Form-Draw) 공정으로 설계하였다. 성형해석을 위한 금형 및 블랭크 형상과 성형 개략도를 각각 Fig. 4와 Fig. 5에 도시하였다. 성형해석은 상용 프로그램인 PAM-STAMP 2G V2012[2]를 사용하였다. 성형에 사용된 소재는 아연도금강판인 CR3이며 두께는 0.5mm이다 소재의 기계적 물성을 Table 2에 도시하였다. 금형과 블랭크 강을 무윤활 조건으로 가정하여 쿨롱 마찰계수는 0.12로 설정하였다. 성형속도는 1m/s를 부과하여 해석을 수행하였다.

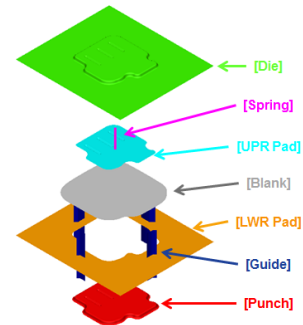


Fig. 4 Tool and blank setup for the stamping analysis

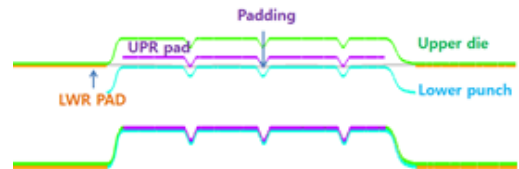


Fig. 5 Schematic forming process of the auto mission oil filter case

Table 2 Mechanical properties of the blank

Yield Strength	168 MPa
Tensile Strength	300 MPa
Lankford Value	$\bar{R}=1.65$

2.4 성형 해석 결과

성형해석의 결과로 두께 분포와 성형한계도상의 주변형률 분포를 Fig. 6과 Fig. 7에 각각 도시하였다. 최대 두께 감소는 엠보싱 곡률부에서 최대

31%로 나타났으나 성형한계도 상에서 파단은 예측되지 않아 상세 금형설계를 진행하였다.

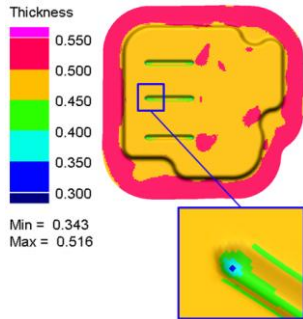


Fig. 6 Distribution of thickness from the stamping analysis

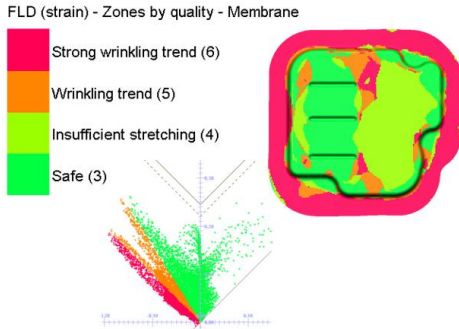


Fig. 7 Principal strain distribution on the FLD from the stamping analysis

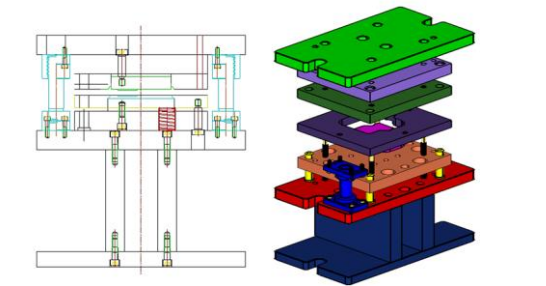


Fig. 8 Shape of the fabricated press tool

3. 금형 설계 및 제작

시험 성형에 사용될 금형의 3차원 구조를 설계 및 제작하였으며, 이를 Fig. 8에 도시하였다. 완성된 금형을 바탕으로 시험성형을 수행하였으며, 사용된 블랭크와 성형된 시제품을 Fig. 9에 도시하였다. 성형은 파단 및 주름의 경향 없이 성공적으로 수행되었다.

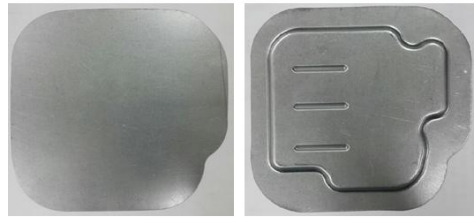
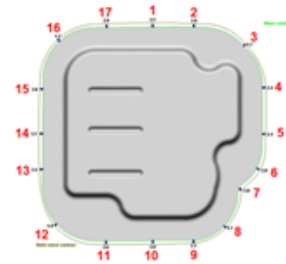
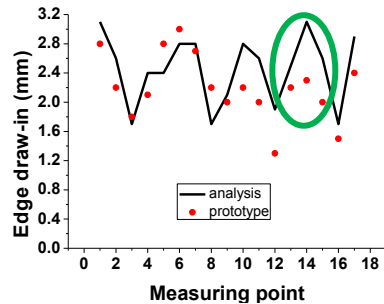


Fig. 9 Shape of the initial blank and the prototype



(a) measuring points



(b) edge draw-in amount

Fig. 10 Comparison of the edge draw-in amount between the experiment and the analysis

4. 성형해석 및 시제품 비교 분석

제2장에서 수행한 성형해석의 정밀도를 분석하기 위해 시제품과 성형해석 결과를 분석하였다. 소재의 외각선 유입량을 Fig. 10에 비교하였다. 전

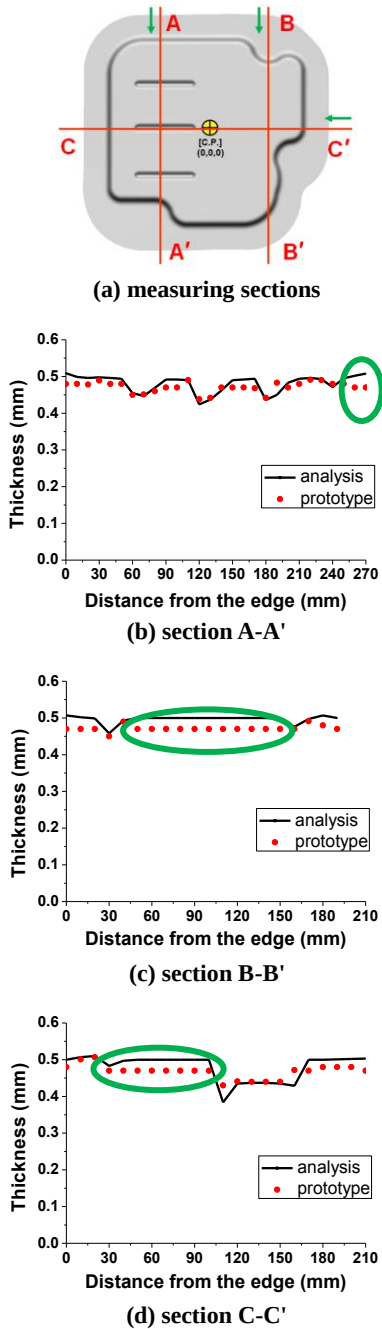


Fig. 11 Comparison of the blank thickness between the experiment and the analysis

체적인 경향은 유사하나 도시된 제품의 좌측 중앙부에서 최대 0.8mm의 오차가 발생함을 알 수 있다. 두께비교의 결과를 Fig. 11에 도시하였다. 엠보싱부와 라운드부의 두께변화 경향을 비교하기 위하여 3부분을 선정하고 단면에서 각각 약 20개의 점에서 두께를 측정하였다. 전체적인 경향은 유사하지만 반경부에서 약 0.03mm의 오차를 보임을 알 수 있다. 또한 평면부에서 일정한 값의 차이가 발생하였으나 이는 소재간 두께 편차에 의한 산포로 나타나는 것으로 확인되었다.

5. 결론

본 논문에서는 자동변속기 오일필터 케이스 제품을 실측하여 초기 블랭크 설계 및 성형해석을 수행하여 주요 공정변수와 금형 형상을 도출하였다. 이를 토대로 시험 금형을 제작하여 시제품을 제작하였으며, 금형제작 과정에서 기초 해석기법의 이해와 금형에 관한 전반적인 지식을 터득할 수 있었다.

후 기

본 연구는 교육부와 한국연구재단이 지원하는 지방대학 특성화사업(CK-I)의 일환으로 대구대학교 지역밀착형 뿌리산업 선도인력 양성사업단에서 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Altair Engineering, Introduction to HyperForm, Training Manual.
- [2] ESI Group, PAM-STAMP™, User's Manual, 2012.

선형 가변 대칭 U형 단면의 롤 포밍 공정 개발

김광희[#], 심현보¹

Development of a roll forming process of linearly variable symmetric U-type cross-section

K. H. Kim, H. B. Shim

Abstract

A new roll forming process that can produce automotive parts with linearly variable symmetric U-type cross-sections has been developed. The forming rolls have been designed by a 3D CAD system and have been analyzed by a 3D FEM Software. The designed forming rolls were machined by a 5-axis CNC milling machine and experimental roll forming operation has been carried out. The analytical and experimental results were satisfactory. It has been found that the developed roll forming process can be an efficient method to produce high strength steel automotive parts with variable cross-sections.

Key Words : roll forming(롤 포밍), variable cross-section(가변 단면), high strength steel strip(고강도 강판), automotive part(자동차 부품)

1. 서론

최근 자동차의 안전성 강화 및 중량 감소를 위하여 고강도 강판(high strength steel strip)으로 제작된 자동차 부품의 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 그러나 고강도 강판은 연신율이 낮고 강도와 경도가 높아 금형에 심한 마모와 파손을 자주 발생시켜 기존의 프레스 공정으로는 성형하기가 어려운 문제점이 있다.

롤 성형(roll forming) 공정은 점진적 성형(incremental forming)이 고속으로 이루어지므로 치수정밀도가 높고 롤의 마모가 매우 적어, 단면 형상이 일정하면서 길이가 상대적으로 긴 제품을 고속으로 매우 경제적으로 생산할 수 있는 공정으로 오래 전부터 알려져 왔으며 특히 초고강도 강판(ultra-high strength steel strip)까지 성형이 가능하므로 고강도 강판 자동차 차체 부품의 생산에 적합한 공정으로 기대할 수 있다.

그러나 대부분의 자동차 차체 부품의 형상은 길이 방향으로 단면 형상이 일정하지 않아서, 범퍼 빔(bumper beam)[1] 등의 일부 제품에 국한되어 적용되고 있으며, 자동차 개발 단계부터 롤 포밍을 적용할 목적으로 부품의 형상을 설계하지 않았을 경우 대부분 이 우수한 공정을 적용할 수 없다.

최근에 길이 방향으로 단면 형상이 일정하지 않은 제품을 롤 포밍하기 위한 초보적인 연구[2~4]가 시도되고 있으나 롤의 위치 및 속도를 공정 중에 실시간으로 제어해야 하는 매우 복잡한 고가의 장치가 필요하고 성형품에 많은 결함이 발생하여 아직 생산 현장에 적용하기에는 해결해야 할 문제가 많이 남아 있다.

1. 영남대학교 기계공학부

교신저자: 부경대학교 기계설계공학과, E-mail: khk@pknu.ac.kr

본 연구에서는 길이 방향으로 단면 형상이 변화하는 제품 형상에 맞추어 3차원적으로 제작된 포밍 롤을 이용하여 롤 포밍을 수행하는 새로운 방법을 개발하여 보다 많은 고강도 강판 자동차 차체 부품 생산에 롤 포밍 공정을 적용할 수 있도록 하고자 하였다. 첫 시도로 대칭 U형 단면 형상이 길이 방향으로 선형적으로 변화하는 제품을 성형할 수 있는 포밍 롤을 3차원 CAD 소프트웨어인 CATIA를 이용하여 설계하고 범용유한요소해석 소프트웨어인 MARC를 이용하여 공정을 3차원 탄소성유한요소법으로 해석하였으며, 5축 CNC밀링가공기를 이용하여 제작하여 롤 포밍기에 장착하여 롤 포밍 실험을 시행하여 이를 검증하였다.

2. 포밍 롤 설계

Fig. 1에 보인 것과 같이 길이가 800mm이고, 좌우 대칭인 U형 단면 형상의 폭이 105mm에서 85mm로 길이 방향으로 선형적으로 변화하는 제품을 생산할 수 있는 포밍 롤을 설계하였다.

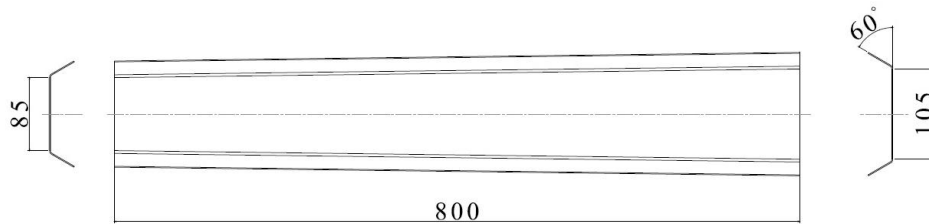


Fig. 1 The part with linearly variable symmetric U-type cross-section

제품의 단면 형상이 좌우 대칭이므로 오른쪽 반만 설계하였다. 단면에서의 굽힘각이 90° 에 가까운 제품일 경우에는 스프링백을 보상하기 위하여 90° 이상을 굽혀야 하며 이때는 롤의 간섭이 발생한다. 이를 피하기 위하여 단면의 가운데 부분의 직선 영역을 약간 굽혀주는 방법이 자주 사용되는 효과적인 방법이므로 본 제품의 경우에는 굽힘각은 60° 밖에 되지 않지만 Fig. 2와 같이 단면의 가운데 부분의 직선 영역을 비교적 큰 반경의 원호 형상으로 굽혀주도록 하였다. 제품 단면의 바닥부분을 원형으로 굽힘으로써 약간의 소성변형이 발생할 수 있을 것으로 예상되었으나 추가적인 단을 설치하여 다시 직선으로 교정하는 것은 매우 쉬운 작업이므로 본 연구에서는 해석 시간 및 롤 가공비 절약을 위하여 생략하였다.

단면 형상이 직선적으로 변화하므로 제품의 선단 및 후미의 단면 형상을 각각 균일 단면 제품의 플라워(flower) 작성 방법으로 각각 6단으로 작성한 후, 각각의 선단과 후미 형상을 선형으로 보간(interpolation)하여 제품의 형상을 생성하였다. 선단 및 후미의 단면 형상은 굽힘각이 각각 10° 씩 증가하도록 설계하였다.

Fig. 2의 flower를 이용하여 CATIA에서 설계된 최종 포밍 롤의 모습은 Fig. 3과 같다.

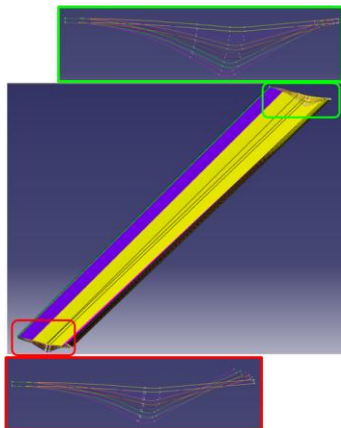


Fig. 2 The designed flower

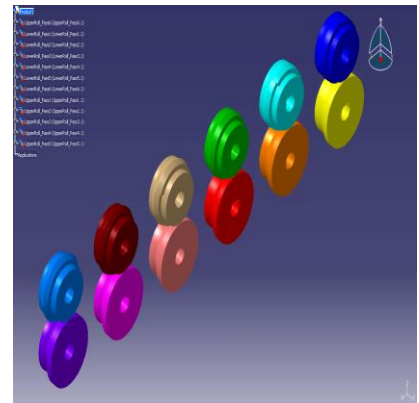


Fig. 3 The designed forming roll

3. 유한요소해석

Fig. 3의 포밍 롤에 대하여 MARC를 이용한 탄소성 유한요소 해석을 수행한 결과를 Fig. 4에 보였다.

4. 롤 포밍 실험

Fig. 3의 포밍 롤을 5축 CNC밀링가공기에서 제작하여 롤 포밍기에 장착한 후 롤 포밍 실험을 실시하는 모습을 Fig. 5에 보였다.

소재는 연강(SPCC 1.2t) 소재와 고강도강(SPFC 1180 1.2t) 소재 2종류를 레이저를 이용한 윤곽 절단으로 준비하였다. 제품이 연속적으로 붙어있는 실제 공정과 유사하도록 하기 위하여 제품을 2개 이상 생산할 수 있는 길이로 준비하려고 하였으나, 구할 수 있는 소재의 길이에 제한이 있어서 1개 반 정도의 길이로 준비되었다. 연강 소재는 롤의 조정 및 예비 실험용으로 사용하였다.

롤 포밍된 시편의 위쪽면은 3차원 스캐너로 측정하였고 Fig. 6에 유한요소해석 결과와 시편의 위쪽면과 직접 접촉하는 마지막 6번째 단의 위쪽 포밍 롤의 윤곽 형상과 비교하였으며 만족스러운 제품을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 또한 본 연구에서 사용한 유한요소해석 방법은 실험 결과와 비교적 잘 일치함을 알 수 있었으며 추후 수행될 제품 개발에 유용한 도구가 될 수 있음을 확인 하였다.

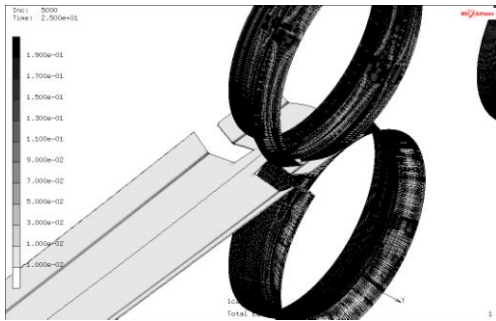


Fig. 4 Finite element analysis of the roll forming process



Fig. 5 Roll Forming experiment

5. 결 론

본 연구를 통하여 좌우 대칭인 U 형 단면 형상이 길이 방향으로 선형적으로 변화하는 고강도강 제품을 롤 포밍 공정을 통하여 성공적으로 생산할 수 있는 능력을 갖추게 되었다.

복잡한 비대칭 단면 형상 및 복잡한 단면 형상이 길이 방향으로 비선형적으로 변화하는 제품에 대한 추가적인 많은 연구를 수행하게 되면 많은 고강도강 자동차 부품의 생산에 롤 포밍 공정을 적용할 수 있는 능력을 갖추게 되어 비약적인 생산성 향상을 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] D. W. Jung, M. Y. Lee and K. H. Kim, 2003, A Study on the Production of the Back Beam for an Automotive Bumper by Roll Forming Process, J. of KSPE, Vol. 20, pp. 163~170.
- [2] A. Abee, S. Berner and A. Sedlmaier, 2008, Accuracy Improvement of Roll Formed Profiles with Variable Cross Sections, ICTP 2008, pp. 520~527.
- [3] J. Larranaga, L. Galdos, C. Garcia, R. Ortubay and G. Arrizabalaga, 2008, Flexible Roll Forming Process Reliability and Optimisation Methods, ICTP 2008, pp. 1795~1800.
- [4] H. Ona, R. Sho, T. Nagamachi and K. Hoshi, 2008, On Development of Flexible Cold Roll Forming Machine, ICTP

2008, pp. 2021~2025.

- [5] K. H. Kim, 2005, Elastic-Plastic Finite Element Analysis of the Roll Forming Process for an Automotive Part of High Strength Steel, Proc. of 2005 Autumn Conference and Annual Meeting on KSPE, pp. 480~483.
- [6] K. H. Kim and B. T. Kim, 2006, Finite Element Analysis of the Roll Forming Process using the Solid Elements, Proc. of KSMPE Autumn Conference 2006, pp. 151~154.
- [7] K. H. Kim and M. C. Yoon, 2006, Measurement of the Longitudinal Strain in the Roll Forming Process, Proc. of KSMPE Autumn Conference 2006, pp. 147~150

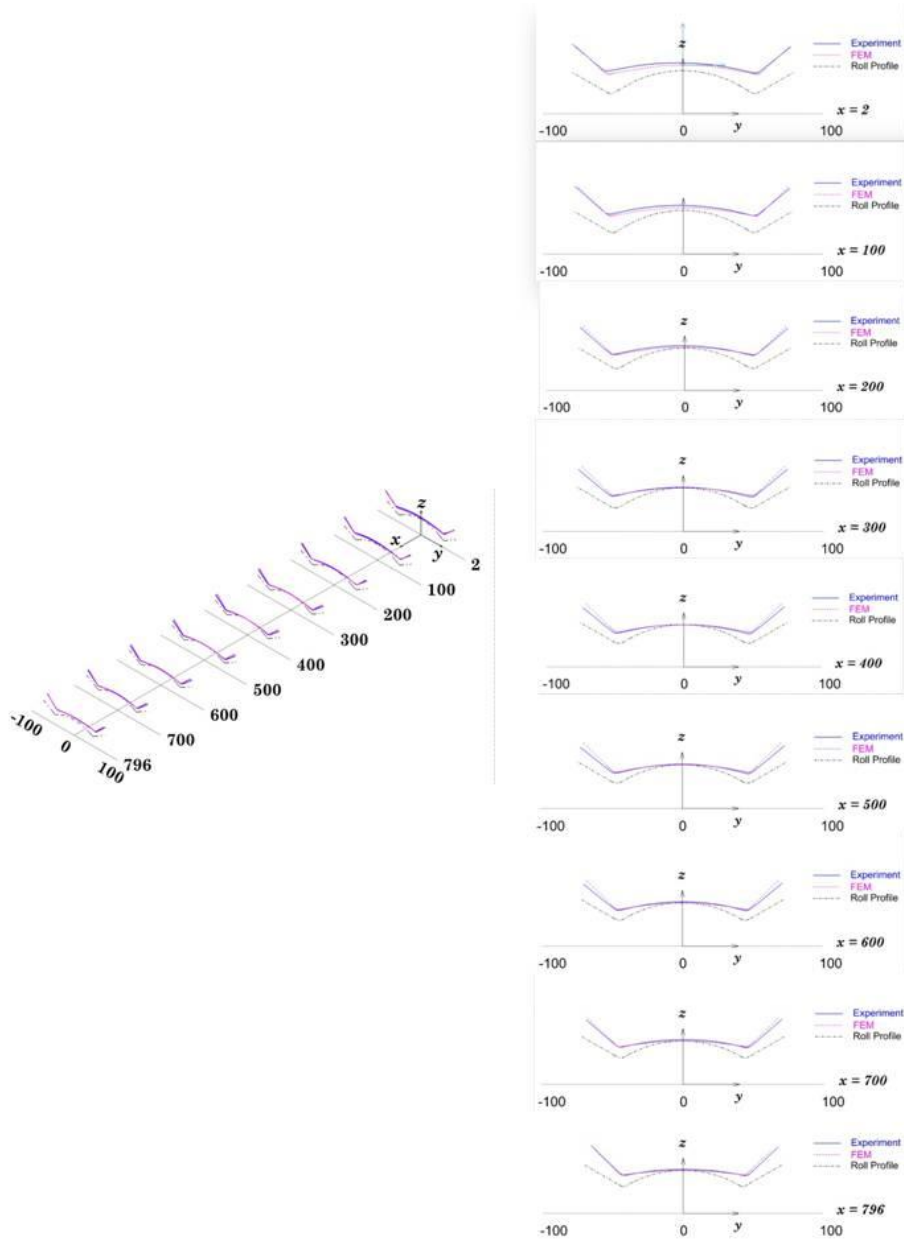


Fig. 6 Comparison of upper roll profile and cross-section of finite element analysis and experiment

AA6K21/AA7075/AA6K21 복합판재의 이방성 및 파괴거동 분석

김민성, 김은영, 김수현*, 김형욱*, 최시훈

순천대학교 대학원 인쇄전자공학과

*한국기계연구원 부설 재료연구소

Abstract

스트레치 성형(Stretch Forming) 시 AA6K21/AA7075/AA6K21판재에 발생하는 성형성 및 파괴거동을 이론적으로 분석하였다. XRD를 이용하여 AA6K21/AA7075/AA6K21판재의 초기 결정방위를 측정하였다. 연성과 파괴모델을 고려한 결정소성 유한요소법(Crystal Plasticity Finite Element Method, CPFEM)을 이용하여 스트레치 성형 시 블랭크의 폭 변화에 따라 발생하는 소성변형 및 연성파괴거동을 해석하였다. 이론적인 결과로부터 AA6K21와 AA7075로 구성된 복합 판재의 스트레치 성형 시 블랭크의 폭 변화에 따른 파괴거동을 이해할 수 있었다.

Key Words : Composite sheet, Stretch Forming, Anisotropy, CPFEM, Ductile Failure

알루미늄합금박판의 복합형상에 대한 성형한계

김민우¹ · 예상돈² · 허관도[#]

Forming Limit for the Complex Shape of the Aluminum Alloy Sheet Metal

M. W. Kim¹, S. D. Ye², K. D. Hur[#]

Abstract

Recently, to reduce the weight of the product, aluminum alloy sheet metal has been used widely. In this study, sheet metal forming process with a complex shape punch has been studied for Al3003 alloy sheet, and a finite element method was used for sheet metal forming analysis and a taguchi method was employed for the optimization analysis. Design variables and response values were selected roundness of die, draft taper and damage factor.

Key Words : Sheet metal forming, Complex shape, FEA, Taguchi method

1. 서 론

최근 알루미늄합금판금 소재의 활용으로 제품의 경량화와 안전성, 복합적인 곡면을 이용한 설계에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1]~[3] 알루미늄 박판 성형은 접합 방식의 공정으로 인한 경량화가 가능하며, 또한 여러공정을 필요한 부분을 한번의 성형가공을 통해 부품 강도의 향상과 재료의 효율성을 높이며 신뢰할 수 있는 생산 제품의 치수 정밀도를 요구한다.

본 연구에서는 알루미늄합금판금의 복합형상에 대한 성형성에 대하여 유한요소법을 사용하였다. 그결과들을 바탕으로 다구찌법을 사용하였다. 설계인자로 제품 모서리의 반경값과 빼기를 위한 편치의 경사각(Draft Taper)을 선정하였으며, 반응값으로는 손상도(Damage factor)를 선정하였다.

2. 본 론

2.1 알루미늄합금박판의 복합형상 성형의 공정

알루미늄합금박판의 복합형상 성형공정은 Fig.1과 같이 판재는 하부금형(Bottom die)에 놓여지며 판재를 가압하여 찢어짐과 구김현상을 줄여 성형성을 높여 주는 블랭크홀더(Blank holder), 축방향으로 하강하여 판재를 복합형상으로 성형하는 펀치(Punch)로 이루어져 있다.

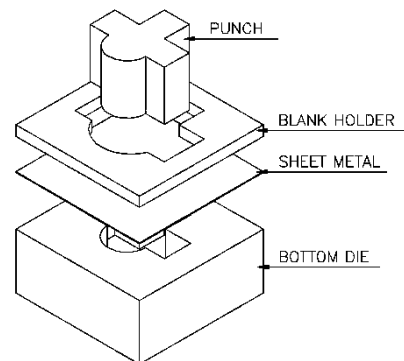


Fig. 1 Symmetric diagram of complex shape forming

성형해석을 위해 그 외에 펀치의 직선운동을 도와주는 가이드부쉬(Guide bush)를 비롯한 다른 금형에 관한 오차는 없다고 가정했다.

1. 동의대학교기계공학과 일반대학원
2. 동의대학교 기계공학과
교신저자: 동의대학교 기계공학과
E-mail : kdhur@deu.ac.kr

2.2 판재 성형공정의 해석방법

설계변수에 따라 유한요소해석을 사용하여 손상도를 계산하였으며 이를 토대로 다구찌법을 이용하여 성형성을 분석하였다. 성형성분석을 위해 설계인자 2개를 선정하고 Table.1과 같이 각각 3수준으로 선정하고 알루미늄판재는 두께 2mm, AL3003를 사용했으며, 펀치의 모서리반경 (A)와 펀치경사각(B)를 설계인자로 정하였다. 블랭크홀더의 홀딩력(Holding force)은 Siebel의 이론식으로 의해 18,000N으로 설정하였다.

Table.1 Control factors and levels for complex shaped sheet metal forming

		1	2	3
A [mm]	Round Factor	5	10	15
B [°]	Draft Angle	1	2	3

유한요소 해석을 위해 Table.2와 같은 직교배열표로 작성하였고, 손상도를 계산하였다. 반응값(Response value)인 데미지값(Damage factor)은 최대 주응력과 유효응력 비와 유효변형률 증분에 대한 함수이다.

Table.2 Control factors and levels for complex shaped sheet metal forming

	A [mm]	B [°]	Damage Factor	S/N Ratios
1	5	1	3.471	-4.8901
2	5	2	3.109	-4.8644
3	5	3	3.621	-4.7483
4	10	1	1.141	-4.723
5	10	2	1.536	-4.7125
6	10	3	0.771	-4.732
7	15	1	0.485	-4.5585
8	15	2	0.811	-4.6243
9	15	3	0.817	-4.6046

본 연구의 목적은 반경값과 펀치의경사각에 따른 성형한계를 찾는 것이므로, 데미지 값이 크면 성형한계에 가까워지므로 망소특성을 적용하여 Fig.4와 같이 S/N비를 계산하였다.

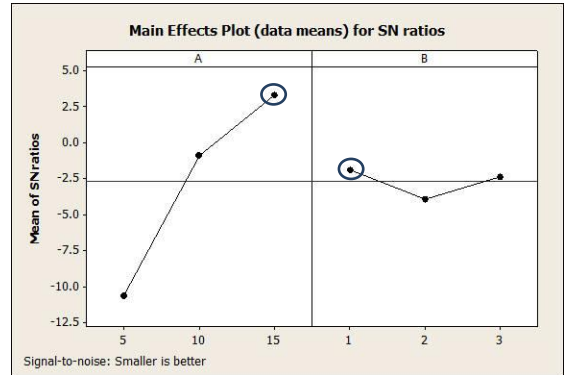


Fig.2 Main effects plot (data means) for SN ratios

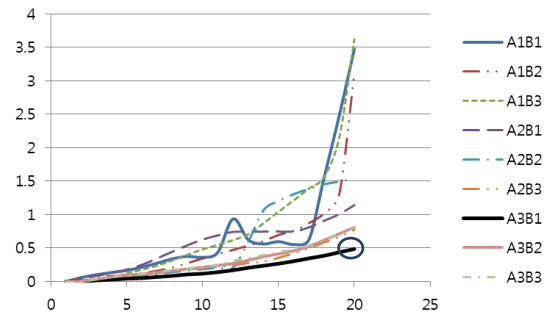


Fig.3 Contextual step-damage graph

반경(A)5~15 [mm] 범위내에서 반경(A)의 인자가 영향력을 크게 미치며, 펀치의 경사각(B)의 인자의 경우 반경(A)에 비해 상대적으로 큰영향을 미치지 않는다고 나타났다. 분석결과 Fig.3과 같이 설계인자들의 각각의 최적수준은 A3B1 (A : 15mm , B : 1°)에서 손상도0.485, SN비 -4.5585 dB로 나타났다

3. 결론

알루미늄합금박판의 복합형상에 대한 한계 성형성을 연구하기 위해 유한요소 해석을 수행하였으며, 그에 대한 결과 값을 다구찌법을 이용

하여 각인자의 수준에 대한 성형성을 분석하였다. 반경(A)가 5~15mm, 편치의 경사각(B)이 1~3° 의 범위에서는 각각 반경은 15mm 편치의 경사각은 1° 에서 성형성이 가장 좋다고 선정되었으며, 반경값과 편치의 경사각 인자값중 영향력이 큰 인자는 반경값으로 나타났다. 이에 비해 편치의 경사각은 반경값에 비해 성형성에 크게 영향력이 낮았다. 성형성이 가장 좋게 발생하는 A3B1의 손상도는 0.485이다.

참 고 문 헌

- [1] O.Noguchi, K. Takata 2008, Formability of aluminum sheet in Automobile Body , Transactions of Materials Processing, Vol.17, No.4, pp.233~239
- [2] W. J. Chung, J. H .Kim. J. G. Ryu, 2003, New Design of Cylindrical Cup Deep Drawing by Forming Analysis, Transactions of Materials Processing, Vol.12, No.7, pp. 647~653
- [3] J. S .Ha, K. D. Hur, S. D. Ye, 2013, Two stage cold extrusion process of steering shaft, J. Korean Soc. Precis. Eng, Vol. 10, pp. 949 ~ 940.

Window regulator 성형 공정을 이용한 E-form Mg Alloy Sheet의 성형성 평가

김성욱^{1#} · 이영선¹ · 송용현¹

The formability evaluation of E-form Mg alloy sheet using window regulator forming process.

Y. S. Lee, Y. H. Song, S. W. Kim[#]

Abstract

E-form magnesium alloy sheet is hard-to-form material which needs to evaluate formability and optimize process parameters. The present work has been undertaken with an objective to evaluate formability of E-form Mg alloy using transfer type of forming process. In order to optimize the process parameters before experimentally evaluating formability, a parametric finite element simulation has been implemented for die geometry, sheet thickness. The material property applied in simulations were ASTM E8M sheet at 250℃. From the FE simulation result, die set and specimen were fabricated. Finally, the temperature of specimens and dies were varied to investigate formability by observation of crack initiation. Heat source implied on experiments was heating cartridge for dies and halogen heater for specimen.

Key Words : Mg alloy sheet, Window regulator, Transfer type of forming , Incremental forming

1.KIMS 재료연구소

초기소재 형상 및 위치가 고정 스크롤 알루미늄 열간단조 금형 수명에 미치는 영향 분석

정승원¹ · 김영신² · 임재곤³ · 우영부³ · 박준열³ · 전만수[#]

Investigation into effect of initial geometry and position of workpiece on die stress in hot aluminum forging of a fixed scroll

S. W. Jeong, Y. S. Kim, Y. B. Woo, J. G. Lim, J. Y. Park, M. S. Joun

Abstract

In this paper, effect of initial material geometry and position on die stress is investigated using finite element analysis. Various geometries and positions of initial workpiece are considered to reveal their effect on the die stress, especially in the region where tensile stress is exerted, which is supposed to cause premature die fracture. It has been found that proper geometry of initial workpiece can increase die life much longer than expected because it can reduce the die stress in tension by about 34 percent only with radius of initial material reduced and its center fixed near the point where premature die fracture occurred. An optimized tilted material can also reduce the die stress in tension by about 25 percent compared with the flat material with same radius.

Key Words : Die Structural Analysis (금형 구조해석), Forging Simulation (단조 시뮬레이션), Fixed Scroll (고정 스크롤), Optimized Preform (최적 예비형상)

1. 서 론

차량용 에어컨은 자동차의 성능, 즉, 쾌적함, NVH 성능, 에너지 효율 등과 직결되어 있다. 따라서 엔진, ABS, 공기역학적 설계, 파워트레인 등과 함께 자동차 조립체로서 매우 중요한 위치를 점하고 있다. 에어컨의 성능은 쾌적함, 친환경성, 효율 등에 의하여 결정된다. 따라서 자동차 에어컨을 구성하는 응축기, 수액기, 증발기, 팽창기, 압축기 중에서 압축기가 차지하는 비중은 매우 크다. 압축기가 전체 구성품의 가격에서 차지하는 비중이 매우 높다.

압축기에는 왕복식(크랭크식, 사판식), 회전식(스크롤식, 스크류식, 워블플레이트식, 로터리베

인식) 등이 있다. 현재 사판식이 승용차용으로 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 스크롤식이 왕복식에 비하여 효율이 30% 이상 높고, 오일리스이면서 소음이 작은 이점이 있기 때문에 차세대 압축기로써 그 적용이 확대되고 있다.

스크롤(scroll)이란 소용돌이란 뜻이며, 스크롤 압축기는 기하학적으로 180°의 위상 차를 갖는 2개의 스크롤(고정 스크롤, 회전 스크롤) 형상의 부품을 상대적으로 운동시켜 밀폐공간(압축실)을 만들어 가스를 연속적으로 압축하는 것이다. 1905년 프랑스의 LEON CREUX가 스크롤 압축기의 개념을 처음 제시하였으나, 제작상의 어려움, 가스누설 대책 미비 등으로 실용화되지 못하다가, 최근 제작기술의 발달로 실용화되어, 소형냉동장치(냉장고, 소형 에어컨 등)에 주로 사용되고 있다[1,2]. 스크롤식 압축기는 여러 가지의 장점으로 타 방식이 개발되기 이전에는 점진

1. 경상대학교 기계공학과 일반대학원

2. 경상대학교 기계공학부 기계심화과정

3. ㈜ 세방금속기술

교신저자: 경상대학교 기계공학과 공학연구원

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

적으로 대부분의 차량으로 적용이 확대될 전망이다. 국내에서는 1996년도에 처음 개발된 이래, 스크롤식 압축기의 생산이 주로 산업용 목적으로 이루어졌다[3].

스크롤의 회전관성을 줄이고, 특히, 자동차의 경우 중량을 줄이는 목적으로 AI 합금이 주로 사용되고 있다. 스크롤은 강도와 내마모 특성이 요구되므로 재료로는 고강도 AI합금이 유리하며, 제조방법으로는 주조, 분말성형, 용접 등이 있으나, 열간단조 공법이 생산성, 강도 등의 다방면에서 유리하다[4].

그러나 스크롤의 독특한 형상으로 인하여 단조가 용이하지 않다는 단점이 있다. 스크롤의 열간단조 공법에 관한 연구는 Lee와 Lee[4]에 의하여 실시되었으나, 3D 유한요소해석법의 초기 적용 사례이므로 정성적으로 유의미한 결과를 제시하였다. Kim 등[5]은 회전스크롤의 배압단조 공정 중 발생한 금형 파손에 관한 연구를 실시하였으며, 개방형 배압 단조 공법에서 발생하는 랩(wrap) 하부에서 발생하는 금형 파손을 방지하기 위한 방안으로 밀폐형 배압 금형을 제안하였다. Jeong [6] 등은 이 연구의 선행연구로서 진행된 연구에서 고정 스크롤 알루미늄 열간단조에서 발생한 금형의 파손원인을 규명하였다.

이 논문에서는 선행연구에서 규명한 파손 원인을 제거하기 위한 연구의 일환으로 소재의 형상변화가 최대 인장응력에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 소재 형상 및 위치의 영향

Fig. 1(a)은 이 논문에서 연구 대상으로 삼은 고정스크롤이다. 기본적으로 이 제품은 후방압출공정의 일종인 알루미늄 열간단조공법으로 제작되었다. Fig. 1(b)에서 보는 바와 같이 금형의 F 지점에서 파단이 발생하였으며, 그림의 우측 앞쪽의 돌출부가 바깥으로 굽어 있다. 이미 그 원인은 선행연구에서 밝힌 바 있다. 이 연구에서는 기본적으로 동일한 금형 형상 조건하에서 소재의 크기 및 위치의 영향을 분석하였다.

선행연구[6]에서 밝힌 바와 같이 금형의 파손 원인이 파손 부위의 내면에는 소재가 먼저 차고 바깥부분이 마지막에 차면서 미치는 힘에 의한 일종의 굽힘 변형을 받아 금형의 아래 부분에서 파손이 발생하였다



(a) Fixed scroll studied



(b) Die fractured

Fig. 1 Die and its fracture occurring in aluminum hot forging of a fixed scroll

2.1 경사진 소재의 영향

바깥 쪽의 원만한 살 채움을 유도하기 위한 경사진 소재를 시험하였다. 한쪽 면은 길이 방향과 수직이 되도록 하였고, 3-5도의 경사각을 가정하였다. 물론 중심축의 길이는 동일하도록 함으로써 전체의 부피는 변화가 없도록 하였다. Fig. 2는 경사각 θ 가 5도일 때의 소재 형상을 나타내고 있다.



Fig. 2 Initial geometry of workpiece with a tilted end by 5degrees

해석에 사용된 조건은 선행연구 [6]와 동일하다.

Fig. 3는 경사각 5도를 사용했을 때의 해석결과이며, 단류선을 강조하여 나타낸 것이다. Fig. 4는 이 때의 금형구조해석 결과이며, 최대 인장응력이 2849 MPa에 이른다. 이 수치는 소재 및 금형의 물성치, 성형 중의 금형의 변형 등의 영향으로 인하여 절대치는 다소 실제와 차이가 있을 수 있으나, 이 연구에서 동일한 조건하에서 실시한 해석에서 상대적인 의미는 충분히 있다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 초기에 우측으로 치우친 소재는 중심부의 단류선의 경사를 유발한다. 이것은 좌편의 공간을 채우는데 유리하게 하여 Fig. 4와 Fig. 5의 응력 변화를 초래한다. 경사각도가 클수록 최대 인장응력은 감소하며, 연구한 범위 내에서 경사각도에 따라 최대 약 25%의 감소가 발생하였다.

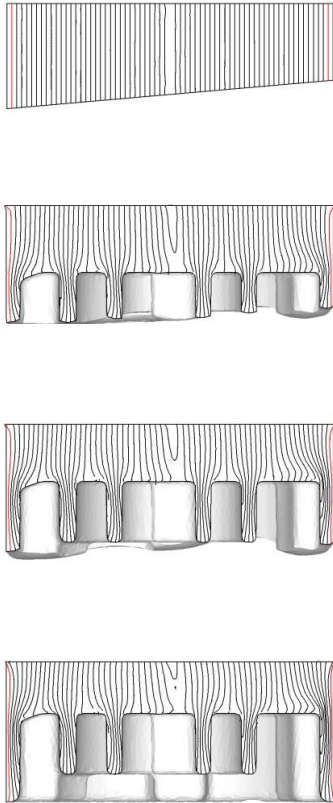


Fig. 3 Finite element predictions of the forging process with material in Fig. 2 ($\theta=5.0^\circ$)

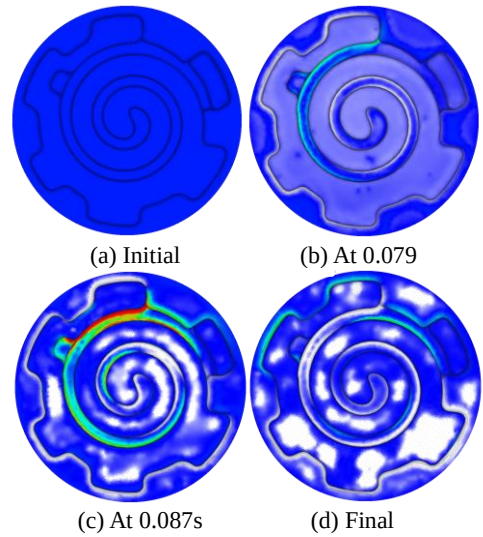


Fig. 4 Die stress associated with the FE predictions shown in Fig. 2

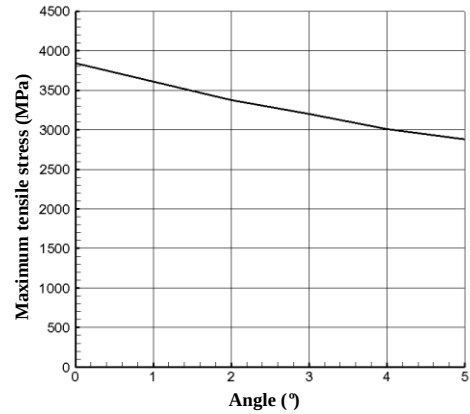


Fig. 5 Variation of maximum tensile stress with the tilted angle

2.2 소재의 반경의 영향

바깥 쪽의 원만한 살 채움을 유도하기 위한 다른 방법으로 반경이 약간 작은 소재를 사용하되, 소재의 초기 위치를 공정의 중심에서 약간 벗어나게 위치시키는 방안을 고려해 보았다. 물론 소재의 부피는 동일하도록 반경이 줄어드는 만큼 소재 높이를 증가시켰다. 소재의 초기 위치를 금형 파손 지점에 가깝도록 하였다. 물론 소재 초기 위치 그 자체도 영향을 크게 미칠 것으로 예상되지만, 이 연구에서는 위치를 전술한

바와 같이 고정시켰다.

Fig. 6는 해석결과를 나타내며, 변형률의 분포를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 편심의 영향이 나타나고 있다. 해석결과 반경이 56mm까지는 겹침 결함이 발생하지 않았으나, 그 이하에서는 겹침이 발생하였다. 반경의 변화에 따른 금형의 최대 인장응력을 Fig. 7에 나타내었다. 최대 34%의 최대인장응력 감소가 나타났다.

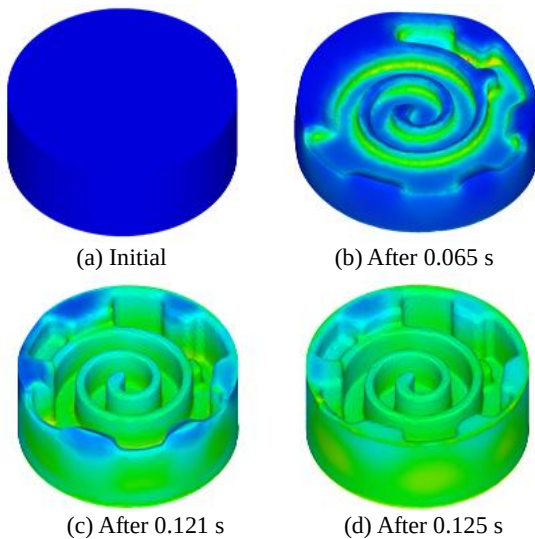


Fig. 6 Finite element predictions of the forging process using a workpiece with reduced radius

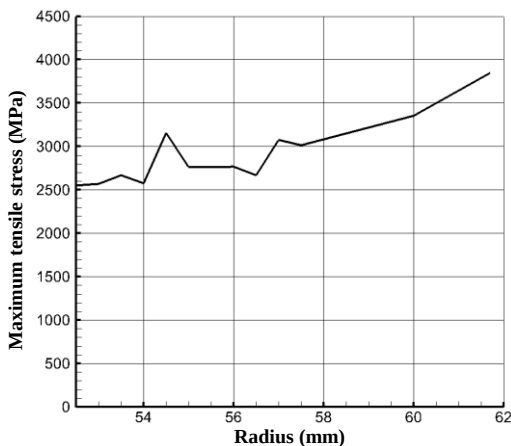


Fig. 7 Variation of maximum tensile stress with radius of material

3. 결 론

이 논문은 승용차용 스크롤의 알루미늄 열간 단조 금형 수명 향상을 위한 연구로서 소재의 형상 및 위치에 따른 영향을 분석하였다.

연구 결과, 소재의 형상 및 크기가 금형의 인장응력에 미치는 분명한 영향이 존재함이 밝혀졌으며, 금형 수명 향상에 유의미한 결과를 얻었다. 인장응력이 기준에 비하여 최대 약 34% 감소하는 결과를 얻었다. 이것은 금형의 파괴 측면에서는 훨씬 큰 효과를 낼 것으로 판단된다.

아직, 소재의 최적 위치 또는 방향에 관한 연구가 진행 중에 있다. 따라서 최적의 조건을 활용한다면, 금형의 잦은 파괴로 발생하는 산업적 문제의 해소하는데 도움이 될 것으로 기대된다

후 기

본 연구는 중소기업청의 산학연협력기술개발 사업과 한국산업기술평화원의 지역특화산업육성 기술개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] H. Kamino, T. Tamada, S. Katsumata, H. Hosono, M. Suzuki, 1997, Manufacturing technology of aluminum scrolls by hot forging, Light Metals, 47(2), 114-122(in Japanese).
- [2] H. Yoshimura, K. Tanaka, 2000, Precision forging of aluminum and steel, Journal of Material, 98(2), 196-204
- [3] K. H. Lee, Scroll compressors for air conditioning, 1998, Journal of Fluid Machinery, 1(1), 121-128.
- [4] Y. S. Lee, J. H. Lee, 2001, The forging die design of scroll rotor by using the 3-D FEM analysis, Spring conference of KSME 2001, 111-115.
- [5] Y. B. Kim, K. H. Jung, S. Lee, E. Kim, J. Lee, D. S. Choi, G. A. Lee, 2013, Development of a closed-die design with backpressure to forge rotating scrolls, Trans, Materials Process, 22(4), 183-188.
- [6] S. W. Jeong, W. B. Woo, J. G. Lim, M. S. Joun, 2014, Causes of die fracture occurring during hot aluminum forging of a fixed scroll, Proceedings of the Korean Society for Technology of Plasticity Conference, 162-165.

알루미늄 합금 판재의 극점도와 소성변형비 변화

남수권, 보보무로드, 이상현, 김민준, 김민지, 김인수*

금오공과대학교 신소재공학부. * 교신저자

Abstract

알루미늄 합금은 비중이 낮아 경량소재로 경량화 소재로 각광을 받고 있다. 그러나 단점으로 디프 드로잉 성형성이 매우 낮아 여러 차례에 걸쳐 성형을 해야 한다. 지금까지 알루미늄 합금 판재의 디프 드로잉 성형성의 척도인 소성변형비 향상을 위한 연구가 많이 행하여 졌으나 만족할 만한 결과를 얻지 못하고 있다. 본 연구에서는 알루미늄 합금 판재를 이용하여 실험하였다. 알루미늄 합금 판재를 비대칭 압연 변형으로 전단집합조직을 형성 시키고 어닐링하였다. 이 알루미늄 합금 판재 시편을 다시 두 번째로 비대칭 압연하고 어닐링하여 극점도를 측정 후 극점도의 변화를 알아 보았다. 또 측정한 극점도를 바탕으로 방위분포함수(ODF)를 얻고 소성변형비를 계산함으로써 집합조직과 소성변형비의 변화 과정을 비교 분석하여 보았다.

Key Words : Al alloy sheet, Asymmetry rolling, Pole figure, Plastic strain ratio

용종제거용 스네어의 회전 제어력 향상을 위한 NiTi 코어드 와이어(cored-wire) 개발

김정환¹ · 김성웅² · 김복동³ · 오윤석³

Development of NiTi cored wire with high torque transmissibility for Polypectomy Snare

J.H. Kim, S.W. Kim, B.D. Kim, Y.S. Oh

Abstract

Transmission of the rotation at the proximal end to the distal tip in real time is very important in determining the operability of medical devices such as guide-wires, catheters, and endoscopic accessories. Conventional stainless steel wire cannot meet the requirement issued from medical doctors. In present work, NiTi cored guide wire was developed for the application in polypectomy snare. NiTi wire was drawn down to have a diameter of 0.3 mm. Stainless steel wire with a diameter of 0.1mm was coiled two times around the NiTi wire. First, the stainless steel wire was coiled in clockwise direction. After finish the coiling completely, coiling was conducted again in counterclockwise direction. Through this coiling method, the developed NiTi cored wire could demonstrate very improved rotation tracking ability. The high maneuverability of the wire is expected to be widely used in medical sectors.

Key Words : Snare, NiTi, Shape memory, Cored wire, Polypectomy

1. 서 론

용종이란 내장 점막이 비정상적으로 자라 혹이 되어서 장의 안쪽으로 돌출되어 있는 상태를 말하며 “암”으로 발전할 가능성이 있는 종양성 용종과 가능성이 없는 비 종양성 용종으로 구분 된다. 특히 선 종성 종양은 대장암으로 진행되는 전단계로 반드시 용종 절제술로 제거해야 한다. 일반적으로 최소 침습성 수술은 종래의 개방형 수술과 비교할 때 통증을 감소시키고 비교적 빠른 회복시간을 제공하기 때문에 많이 시행되는 수술법으로 주로 내시경을 이용하여 수행된다. 내시경 수술중 환자의 인체 내의 작은 접근 구멍(구강 혹은 항문)을 통해 환자의 내부로 의료도구 및 부속품을 전개하여 의사가 원하는 환부에 위치시키고 조작하는 수술을 말한다. 이 때 조직을 잡은 후 절제하는 수술기구를 스네어라 한다. 기존 스네어의 가장 큰 문제점은 용종을 잡고 제거하는 역할을 수행하는 Innersys 파트를 원하는 방향으로 자유롭게 회전·조작할 수 없다는 데에 있다. 일반적으로 Innersys 를 통하여 올가미 부분을 회전시키기 위해서는 와이어코드에 비틀림력을 부가하여 올가미부의 방향을 제어하는 방식을 사용한다. 이 때 와이어코드의 길이가 증가함에 따라 와이어코드와 PTFE 재질의 Outersys 튜브 사이에 마찰저항이 증가하고 결과적으로 올가미부로 전달되는 비틀림이 가감되어 균일하지 못한 회전력을 올가미부에 전달하게 된다.

Innersys 의 회전각 제어가 어려워지면 올가미(snare) 부분을 용종의 돌기부분에 정확히 위치시키기 어려워진다. 이는 시술 시간이 증가와 효과적인 용종의 제거가 어려워지기 때문에 상기한 문제 해결에 대한

1. 김정환: 한밭대학교

2. 김성웅: 재료연구소

3. 김복동, 오윤석: ㈜지스코프

교신저자: 김정환, jh.kim@hanbat.ac.kr

요구가 매우 크다. 이를 해결하기 위해서는 Innersys 가 장내굴곡을 따라 전개되어 있는 내시경안에서 소성변형되지 않으면서도 수술집행자의 회전조작에 매우 정확히 반응하여야 한다. 그를 위해서는 Innersys 와 이어의 탄성과 회복성이 매우 높아야 하며 동시에 정확한 토크전달(torque transmission) 특성을 가져야 한다. 본 연구에서는 이 문제를 초탄성 특성을 보이는 NiTi 세선을 심선으로 그 주위를 스테인리스 극세선으로 감은 코어드 와이어를 사용하여 해결하고자 하였다. 이를 위해 직경 0.3mm NiTi 극세선을 제조하는 연구를 수행하였다.

2. 실험방법

Ti-55.5wt%Ni 의 조성을 가지는 0.8Φ급 NiTi 와이어를 이용하여 극세선 인발을 수행하였다. 인발의 과정은 DEFORM-2D/3D 유한요소해석 코드를 사용하여 계산하였다. 인발 전 와이어는 700℃에서 1 시간 어닐링 처리하여 가공성을 높이도록 하였다. 인발 후 극세선의 미세조직을 투과전자현미경 (JEM-2001F)로 관찰하였다. 그림.1 은 Ti-55.5wt%Ni 와이어의 암시야상 분석 결과로서 약 100nm 정도의 결정립 사이즈를 갖는 것을 확인하였다. 이러한 미세 결정립과 미세 입자가 소재의 연성과 강도를 높임을 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. NiTi합금 인발시 파단에 이르는 임계 damage 값

NiTi 합금의 0.3mm 급 세선 제조를 위한 인발공정 설계를 위해 유한요소 해석 및 실제 시험 가공을 시행해 보았다. 유한요소해석으로 DEFORM 2D/3D 를 이용했다. 성형온도는 상온이었으며 변형 속도는 0.1mm/sec 였다. 계면열전달계수는 11N/s/mm/℃로 하였고 마찰계수는 0.1, 0.3 두 조건을 사용하였다. 또한 NiTi 소재의 물성은 고온압축실험의 유동응력곡선과 상온인장시험 결과를 사용하였다. 인발공정의 유한요소해석에서 손상분포는 다음 Crockroft-Latham 기준을 이용하였다.

$$D_{crit} = \int_0^{\bar{\epsilon}_f} \left(\frac{\sigma_{max}}{\bar{\sigma}} \right) d\bar{\epsilon} \quad (1)$$

이 경우 D_{crit} 값을 구하는 것이 매우 중요하다. D_{crit} 값은 연성과파괴 이론에 기초한 것으로 인장변형상태에서 구하는 것이 가장 정확하다. 따라서, 본 접근에서는 실제 상온인장 시험 데이터를 활용해 D_{crit} 값을 구해보기로 하였다. 그림 2 는 NiTi 합금을 분당 1mm 의 속도로 인장한 실험데이터 결과에다 FEM 해석 결과를 중첩한 결과이다. 실제 실험에서는 변위량 11.3mm 에서 파단이 발생하였다. 파단 지점의 손상에너지량을 측정한 결과 0.424 로 나타났다. 즉, 본 NiTi 소재를 활용해 2 차성형을 할 경우 손상에너지량이 0.424 를 초과하는 조건의 경우 파단이 발생하는 것으로 나타났다.

3.2. NiTi합금 인발시 소재와 금형간의 마찰 영향 조사

본 단계에서는 소재직경 0.8mm 의 NiTi 를 이용하여 직경 0.3mm 로 인발하는 과정을 모사하였다. 해석 결과는 20mm 를 인발하는 공정을 진행하였으며 그 결과를 그림 3 에 나타내었다. 소재와 금형간의 마찰계수를 0.1 로 설정한 경우 대부분의 데미지는 표면부 보다는 내부에 높게 발생하는 것을 알 수 있었다. 그러나, 가장 높은 데미지 값은 금형과의 접촉부 보다는 출구 쪽에서 소재에 인장력을 가하는 부분에서 집중적으로 발생하였다. 그러나, 이 경우에도 최대 데미지량은 0.360 가량으로 파단에 이르는 0.424 보다는

낮아 안정적인 인발이 가능할 것으로 보인다. 한편, 소재와 금형간의 마찰계수를 0.3 으로 높은 경우는 확연히 다른 결과가 얻어졌다. 데미지 값의 분포양상 및 형태는 유사하였으나 인발금형 출구쪽의 소재 데미지량은 크게 높아졌다. 초기 변형순간에는 마찰계수 0.1 과 큰 차이가 없었으나 5mm 이상 인발 후에는 이미 0.497 로 한계 데미지 값인 0.424 를 초과하는 결과가 얻어졌다. 파단을 무시하고 해석을 수행한 경우 360 step 에서 1.95 로 마찰계수 0.1 의 경우 대비 5 배 이상의 높은 데미지 축적량이 계산되었다. 본 결과는 인발시 소재와 금형간의 마찰을 낮추기 위한 노력이 매우 중요함을 보여주고 있다. 일반적으로 인발에는 graphite, moly-sulphide, stearine 등이 사용되고 형태도 액상과 고상등으로 나뉘고 있다. 최적의 인발을 위해서는 마찰계수를 낮추기 위해서 최적 윤활제를 고려해야할 필요성이 제기됐다.

3.3. NiTi합금 인발시 소재와 금형간의 마찰 영향 조사

인발시 금형의 R 값 및 단면 수축율등은 인발에 있어서 매우 중요한 요소로 작용한다. 실제로 다양한 형상의 금형을 제작하는 것은 무리가 있기에 유한요소해석으로 금형의 영향을 조사해 보았다. 본 연구에서는 소재직경 0.8mm 의 NiTi 를 이용하여 직경 0.3mm 로 인발하는 과정을 모사하였다. 해석결과는 20mm 를 인발하는 공정을 진행하였으며 소재와 금형간의 마찰계수를 앞서 연구결과를 토대로 0.1 로 설정하였고 금형과 소재간의 각도는 40° 였다. 그림 4 에 나타내듯이 이 경우 소재 내부의 damage 값이 0.6 이상으로 매우 높게 나타났고 인발 중 소재에 걸리는 유효응력이 1300MPa 에 이르렀다. 인발공정의 특징은 출구에서 탄성상태의 소재에 가해진 인장력과 입구에서 탄성상태의 소재에 가해진 압축력에 의하여 금형과 소재의 접촉면에 전단변형력을 발생시키며 이 전단변형력과 탄성상태의 소재에 가해진 인장력에 의하여 소성변형이 발생한다는 점이다. 따라서, 후미에 항복이상의 응력이 걸리게 되면 조기 파단에 이르게 되므로 이를 피하는 방향으로 금형설계가 이루어져야 하는 것으로 나타났다.

그림 5 는 금형과 소재간의 각도를 20° 로 낮춘 경우의 해석결과이다. 이 때 최대 유효 응력은 1200MPa 로 낮아졌고 damage 값도 0.4 수준으로 임계 damage 값 이하로 낮아졌다. 본 결과는 마찰과 함께 금형의 형상 설계가 NiTi 인발 특성에 매우 중요한 영향을 미친다는 결과를 보여주고 있다. 따라서, 실제 성형에서는 다이스 각도를 20° 내외로 또 윤활제는 마찰계수를 0.1 이하로 낮출 수 있는 방향으로 최적설계를 진행해야 하는 것으로 나타났다.

3.4. NiTi합금의 실제 인발 수행

앞서 수행한 인발 공정 시뮬레이션을 토대로 NiTi 개발소재 인발을 수행하였다. 마찰계수를 낮추기 위해 고상의 소듐 스테이레이트 칼슘과 MoS2 코팅을 사용하였고 금형과 소재간의 각도는 30° 로 낮추어 내부응력 및 damage 를 감소시켰다. 앞서 언급한 바와 같이 0.8mm Ni-Ti 와이어를 0.3mm Ni-Ti 극세선으로 제조하기 위해서 상기 해석에서 제시된 인발공정 및 다이스각도 조건이 사용되었다. 인발은 상온에서 1 패스당 약 15% reduction rates 이하에서 수행하였고, 가공경화로 인한 소재의 경화로 인해 2~3 정도의 패스에서 어닐링처리를 수행한 후 지름을 줄이는 인발공정을 진행하였다. 4 패스까지 어닐링 없이 진행될 경우 와이어의 파단이 발생해 적당하지 않은 것으로 나타났다. 최종적으로 냉간가공량은 48.5%정도를 적용하였고, 어닐링(700℃이상)과 초단성 열처리(400℃~500℃)를 각각 수행하여 그림 6 에 나타낸 바와 같이 0.3mm Ni-Ti 합금 극세선을 제조하였다.

3.5. 기계적 특성 평가

제조된 직경 0.3mm Ti-56.5wt.%Ni NiTi 와이어를 소재를 이용해 인장시험을 수행해 보았다. 인장시험에서는 평균 연신율이 30%이고 인장강도는 1880MPa 로 높게 나타났다. 1 차 plateau 영역은 725MPa 근처이며 b 구간의 회복률은 1 차 plateau 영역의 변형값보다 큰 7.1% 정도였다. 비교재료 Ti-55.5wt.%Ni 조성의 외산 와이어를 인장하였다. 이 경우 1 차 plateau 영역은 547MPa 근처이며 b 구간의 회복률은 1 차 plateau 영역의 변형값과 유사한 5.4% 정도인 것으로 확인되었다. 그림 6 의 결과에서 NiTi 소재품의 기계적 특성이 외산 극세선 대비 우수한 기계적 성질을 갖는 것으로 확인되었다.

4. 결 론

Ti-55.5wt%Ni의 조성을 가지는 직경 0.3 Φ 급 NiTi 와이어 극세선을 제조하였다. 극세선 인발공정 최적화를 위하여 FEM해석을 하였고 적절한 윤활과 다이스 각도를 계산하였다. 제조된 0.3 Φ 급 NiTi 와이어 극세선의 1차 plateau 영역의 강도는 725MPa, 인장강도는 1880MPa로서 기존 외산 와이어에 비해서 높게 나타났다.

후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2014년도 산학협력력 기술개발사업(No. C0217880)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

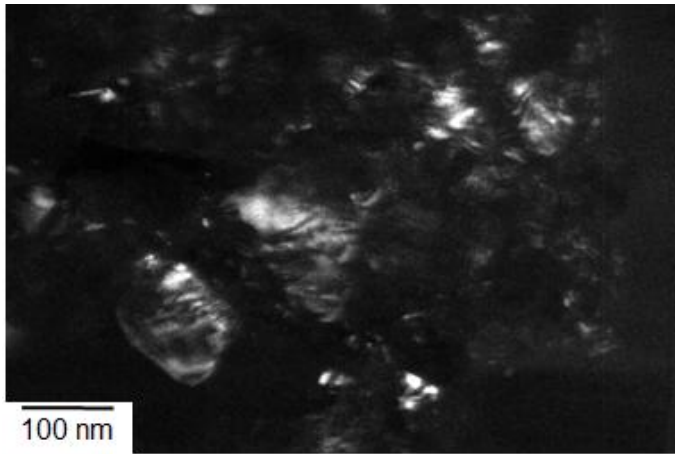


Fig. 1 Dark field TEM image of Ti-55.5wt%Ni wire

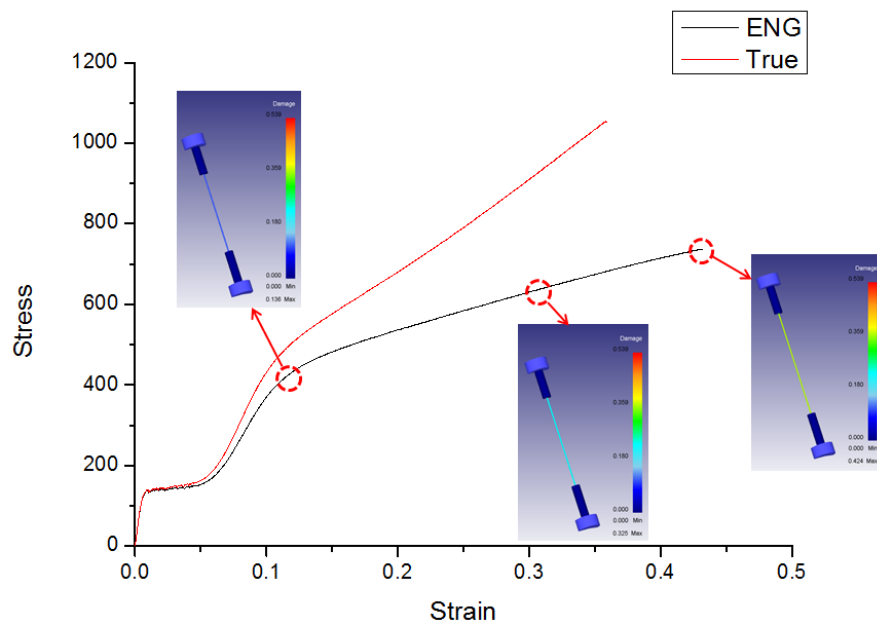
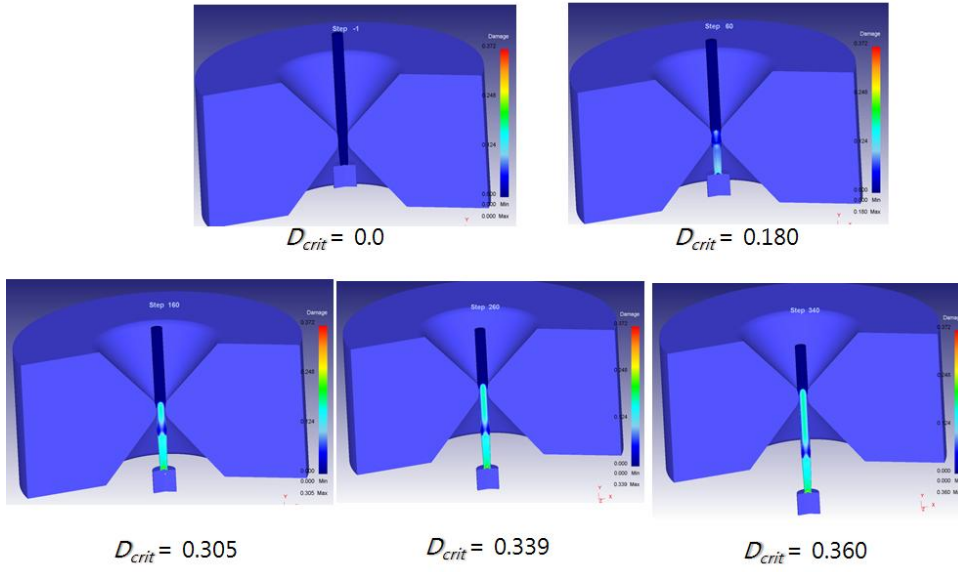


Fig. 2 Stress vs. strain curves of NiTi wire overlapped with FEM simulation results.

(a) Friction = 0.1



(b) Friction = 0.3

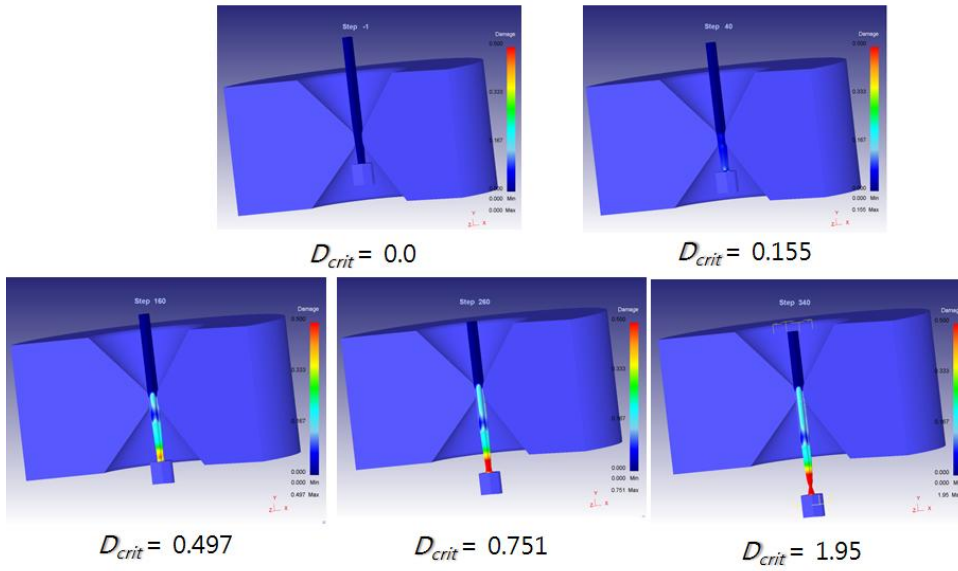
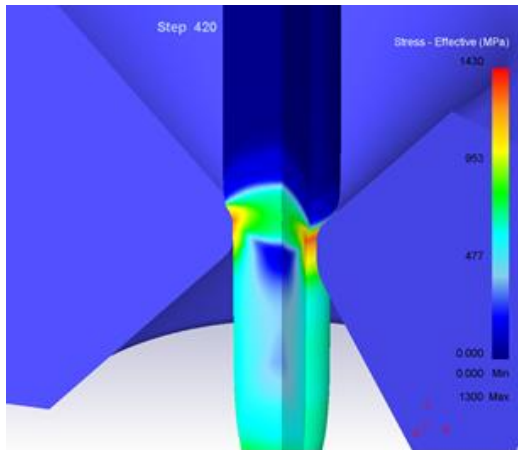
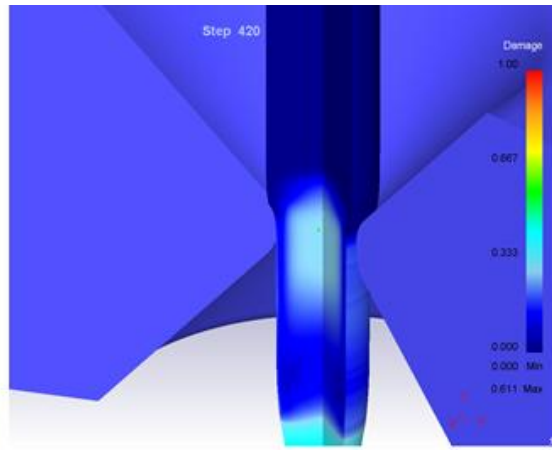


Fig. 3 Variation of D_{crit} value during drawing process according to friction coefficient.

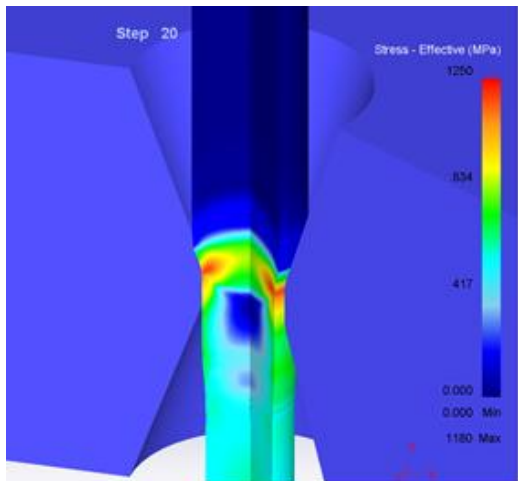


(a) stress

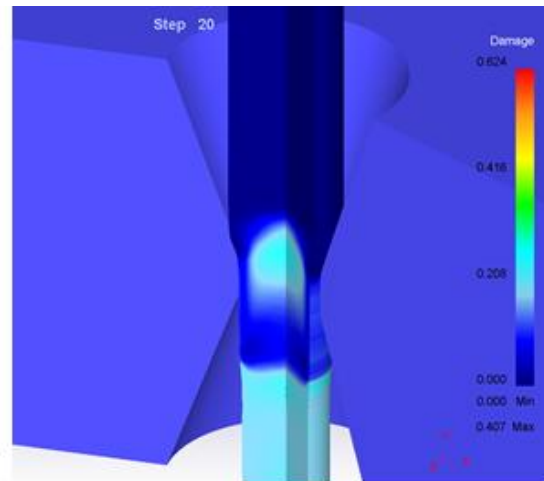


(b) damage

Fig. 4 Distribution of effective stress and damage value in the specimen during drawing with 40° die angle.



(a) stress



(b) damage

Fig. 5 Distribution of effective stress and damage value in the specimen during drawing with 20° die angle.



Fig. 6 NiTi wires with a diameter of 0.3mm.

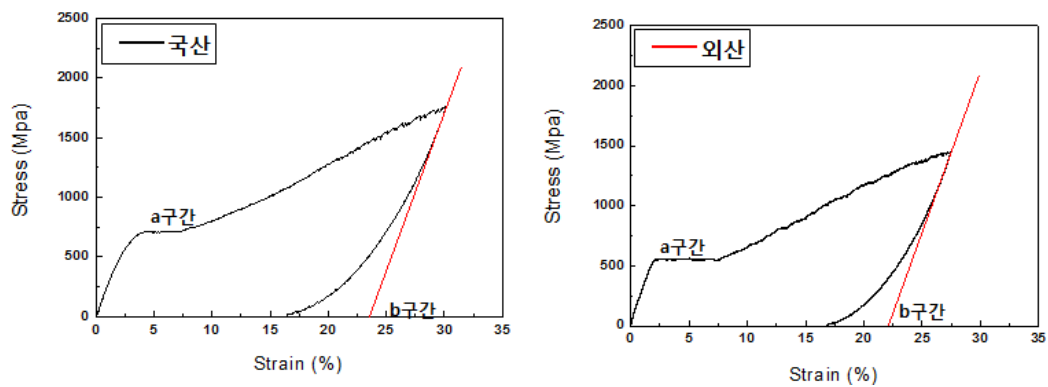


Fig. 7 Stress vs. strain curves of NiTi wires domestically produced and imported from foreign company.

블룸 압연공정 중 외부 기공의 압착에 의한 열연코일 결함 길이의 근사적 예측

남찬희¹ · 엄재근² · 이민철³ · 손일현⁴ · 전만수[#]

Approximate estimation of surface defect length of hot coil due to closing of surface pinhole defect in bloom rolling

C. H. Nam, J. G. Eom, M. C. Lee, I. H. Son, M. S. Joun

Abstract

In this paper, three-dimensional finite element approach of predicting the plastic deformation of tiny pinhole defects on the initial bloom surface, which are supposed to be formed during continuous casting process of the base material of bloom. The initial pinhole shapes of which plastic deformations are to be traced are assumed U-shape, based on the observation of pinholes found in the literature. The surface defect closing phenomena are simulated until the defects are almost closed and assumption of uniform contraction is utilized to estimate the surface line defect.

Key Words : Pinhole(핀홀), Surface Defect(표면결함), Blooming Rolling(블룸 압연), U-Shape Defect(U-형상 결함), Surface Crack Length(표면결함 길이)

1. 서 론

대부분의 기계부품용 봉재는 압연 공정을 거쳐서 생산되고 있다. 대량생산용 봉재의 압연용 기초소재는 연주공정을 거쳐 생산된다. 연주된 재료의 표면에는 각종 주조공정 결함이 존재할 수 있다. 이러한 결함은 대부분 후속된 압연공정에서 사라지지만, 일부는 잔류하여 후속공정 또는 제품에 남아 예기치 못한 문제를 발생시킬 수 있다.

과거와는 달리 정형생산의 요구가 점증하고 있기 때문에 소재회사에서도 무결함 원소재의 생산에 연구개발을 강화하고 있다. 원소재의 결함의 최종 제품의 결함으로 연결되며, 체결부품의 경우 사고로 연결될 수 있다. 따라서 선재의

경우, 표면결함의 허용 범위를 ASTM 규격으로 정하고 있다[1].

Fig. 1에서 보는 바와 같이 볼트와 같이 소재 회사에서 생산된 소재에다 기계가공공정을 추가하지 않는 경우, 원소재의 무결함 및 고품질은 매우 중요하다. 선재 소재를 이용한 제품에서 발견된 표면 크랙 결함에 압연 과정에서 함침된 것으로 판단되는 스케일이 존재한다고 보고되고 있다[2]. 이러한 스케일은 Fig. 2의 전형적인 핀홀에서 제거되지 않은 스케일로 판단된다.

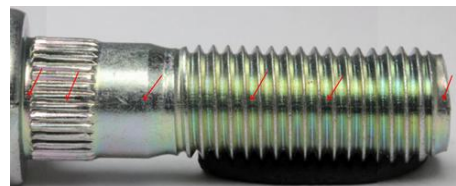


Fig. 1 Example of line defect carved on the surface of a bolt [2]

1. 경상대학교 일반대학원 기계공학부

2. ㈜엘에프알씨

3. 유나시스

4. POSCO연구소 선재연구그룹

교신저자: 경상대학교 기계공학부,

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr



Fig. 2 A typical U-shape pinhole with scale

따라서 핀홀을 비롯한 표면 결함이 소재의 소성변형에 미치는 영향을 이해하는 것은 소재의 고급화를 위한 공정개발에서 매우 중요하다. Shinohara와 Yoshida [3]와 Baek 등[4]은 표면결함의 변형에 관하여 연구하였다. Shinohara와 Yoshida [3]는 초기결함을 상세히 소개하였고 체계적인 접근 방법을 확립한 반면, 3차원 유한요소해석의 사용으로 인하여 연구 대상 결함의 크기에 대한 제약을 받았다. Baek 등[4]은 3차원 유한요소법을 이용하여 미소 결함의 거동 특성을 가시화시키는 연구 결과를 얻었지만, 구조요소를 사용함으로써 사용 요소망의 한계를 나타내었다. 최근 Nam 등[5]은 2차원 해석을 통하여 인발공정 및 압연공정에서 미소초기결함이 제품에 미치는 영향을 분석하였으며, 유의미한 결과를 얻었다.

이 논문에서는 3차원 형상압연 공정에서, 주요 결함인 핀홀을 U-형상의 미소표면흡집으로 가정하여, 표면흡집의 변형과정을 해석하였으며, 이 결과를 이용하여 결함의 길이 및 깊이를 예측하였다.

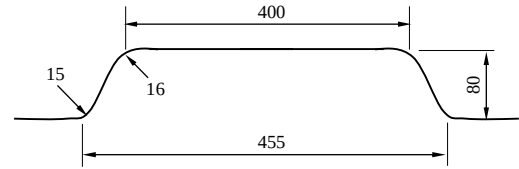
2. 본 론

대상 블룸 압연 공정도와 추적 대상의 핀홀의 실례를 Fig. 3에 나타내었다.

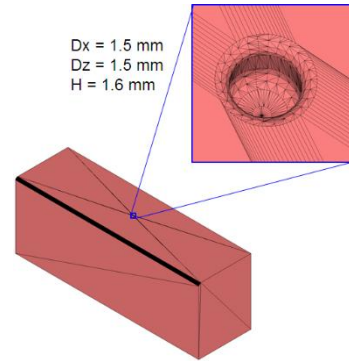
블룸 압연 공정은 두 개의 패스로 구성되어 있으며 패스스케줄은 순방향 압연 패스 이후의 역방향 압연 패스로 구성된다. 각 패스에서의 압하율을 각각 12.4%, 16.8%로 하였다. 등온해석 조건으로 해석을 실시하였다.

소재의 유동응력은 Fig. 4에서 나타내었다. 사용된 공정 조건은 다음과 같다.

- 쿨롱마찰계수: 0.3
- 롤의 회전속도: 35rpm



(a) Bloom rolling process



(b) Pinhole geometry with workpiece

Fig. 3 Geometry of U-shaft pinhole

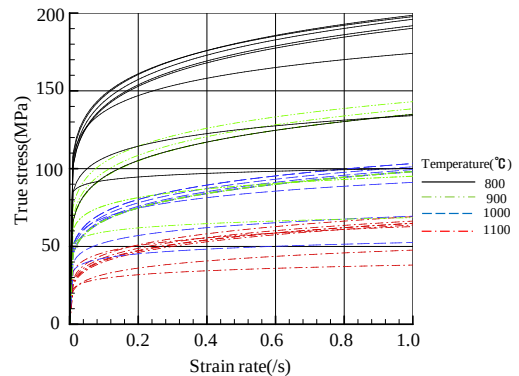


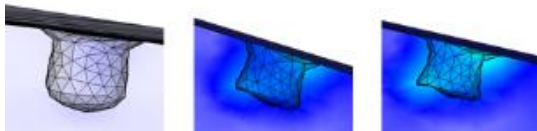
Fig. 4 Flow stress of the material used

Fig. 5와 Fig. 6에 U-형상 결함의 변형이력을 나타내었다. Fig. 5와 Fig. 6은 각각 패스 1과 패스 2의 해석결과이다. 그림에서 x-방향은 압연 진행 방향이며, 압하력이 작용하는 방향을 y-으로 정하였다. U-형상의 결함은 입구 주위에서 급격하게 줄어드는 양상을 보이다가 입구 부분을 통과하면서 변화속도가 매우 떨어진다. 대체적으로 2차원과는 달리 내부 형상의 변화가 상대

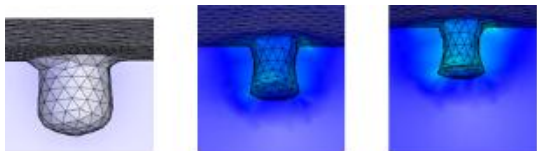
적으로 작게 나타났다[6].

Fig. 6 의 y-z 면에서 보는 바와 같이, 패스 2 의 개시와 함께, 주 변형구간을 벗어나면서 결함이 닫히기 시작하였고, 결함의 형상이 원에서 크게 벗어나기 때문에 결함의 압축에 따른 수축은 크게 줄어들 것으로 판단된다. 검침 형상의 난해함으로 요소망재구성 및 접촉처리 등에서 다소 어려움이 따른다. 따라서 2 단계에서 예측된 결과로부터 후속공정에서 결함의 형상 변화를 근사적으로 예측하였다.

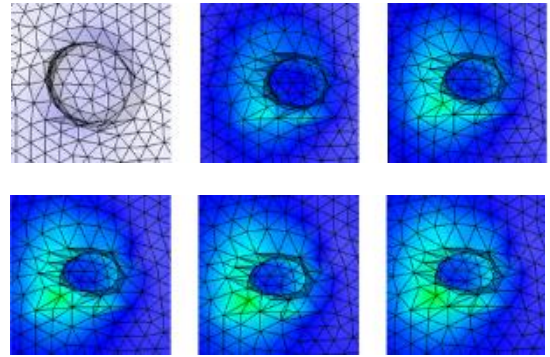
Table 1 과 Table 2 에 두 압연 공정 중 주요 형상 변수의 변화 과정을 나타내었다. Table 1 과 Table 2 에서 S 는 롤바이트(roll bite)로부터 압연 진행 방향의 역방향으로의 거리이다. 대체적으로 Dx 의 길이, 즉 결함의 x-방향의 변화는 크지 않지 않은 반면, Dz 가 크게 작아짐을 알 수 있다. 특히, 1 패스에서는 점진적으로 줄어들다가 2 패스에서 급격하게 줄어들음을 알 수 있다. 이것은 원형 형상에서 멀어짐으로 인하여 특정 방향으로 형상 변화가 가속되기 때문으로 판단된다.



(a) x-y plane

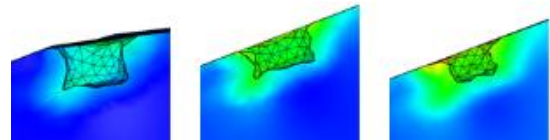


(b) z-y plane

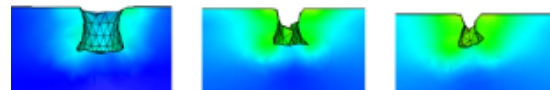


(c) z-x plane

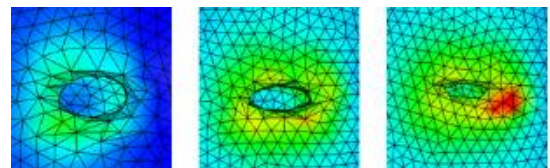
Fig. 5 History of deformation of U-shape defect in Pass 1

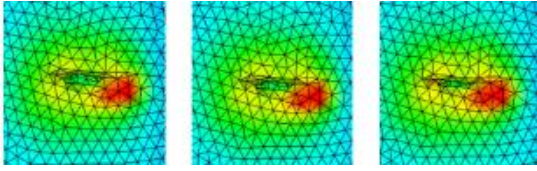


(a) x-y plane



(b) z-y plane





(c) z-x plane

Fig. 6 History of deformation of U-shape defect in Pass 2

Table 1. Variation of major geometries in Pass 1

S	200	160	120	80	40	0
Dx	1.56	1.12	1.01	1.01	1.01	1.04
Dz	1.52	0.92	0.77	0.75	0.68	0.69
H	1.20	0.80	0.83	0.89	0.97	1.02

Table 2. Variation of major geometries in Pass 2

S	200	195	190	185	180	175
Dx	1.21	1.12	0.88	0.75	0.74	0.72
Dz	0.76	0.47	0.23	0.16	0.13	0.08
H	0.87	0.37	0.25	0.38	0.38	0.39

그리고 일단 한 쪽 방향으로 꺾임이 발생하면, 사실상 역학적으로는 접힌 상태와 크게 다르지 않을 것이므로 1 단의 초기에 나타났던 자유표면으로 인한 급격한 수축현상은 무시가능한 수준으로 떨어질 것으로 판단된다.

만약 블록의 크기가 400 x 500 mm이고, 최종 코일의 단면적이 100mm일 경우, Pass 3부터 길이는 1370배 늘어난다. 따라서 면적은 1370배 줄어들고, 한 쪽 방향의 폭은 약 37배 줄어든다. 따라서 Table 4의 결함이 닫히는 순간의 결함 길이가 0.72mm이고, 결함의 깊이를 0.39mm로 간주하였을 때, 제품 상의 결함 길이는 약 990mm이며, 결함의 깊이는 약 0.01mm가 된다.

3. 결 론

이 논문에서는 블록 제조과정 중 발생하는 것으로 알려진 핀홀의 압연중 소성변형을 해석하였다. 소재보다 극도로 작은 핀홀을 강조한 3 차원 유한요소해석을 실시하였다.

2차원 해석[6]과는 달리, 3차원 해석에서는 초기에 점진적으로 원형 단면이 타원으로 변형이 발생하고, 타원도가 높아질수록 급격하게 공극의 수축은 감소하고 대신 접히는 변형 형태를 보였다. 그 결과 결함이 압연방향으로 긴 접힌 형태로 변화하고 후속공정에서 스케일을 내포한 표면결함으로 잔류하게 되는 것으로 나타났다. 초기 결함의 크기를 바탕으로 후속 공정에서의 단면 감수율을 고려하여 결함의 크기를 예측하였다.

후 기

본 연구는 POSCO와 BK PLUS사업의 지원을 받아 수행한 연구임.

참 고 문 헌

- [1] ASTM Committee F16.93, 2009. F2282-03: Standard Specification for Quality Assurance Requirements for Carbon and Alloy Steel Wire, Rods and Bars for Mechanical Fasteners. ASTM International.
- [2] 이유환, 2014, 원재료 표면 흠을 알아보자, 태양금속공업 사보, 3.
- [3] T. Shinohara, K. Yoshida, 2005, Deformation analysis of surface crack in rolling and wire drawing, JSME. INT. J. A-SOLID. MECH. MAT. E., Vol. 48, pp. 335~340.
- [4] H. M. Baek, Y. G. Jin, S. K. Hwang, Y. T. Im, I. H. Son, D. L. Lee, 2012, Numerical study on the evolution of surface defects in wire drawing, J. Mater. Process. Technol., Vol. 212, pp. 776-785.
- [5] C. H. Nam, I. K. Lee, J. K. Lee, M. S. Joun, 2014, Effect of Small Surface Defects in the Starting Material on Product Quality after Drawing, Tran. Mater. Proc., Vol. 23, pp. 159~163.
- [6] C. H. Nam, H. T. Jin, I. H. Son, M. S. Joun, 2014, Deformation history tracking of a pinhole defect in rolling, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., pp. 117~120.

AFDEX 시뮬레이션을 통한 단조공정 소재의 결함 원인분석

민두식¹ · 김광민¹ · 김정현¹ · 황태민[#]

Cause Analysis of Defect to AFDEX Simulation For Cold-Forging

D. S. Min, K. M. Kim, J. H. Kim, T. M. Hwang

Abstract

We want to develop an improvement for a significant defect in the cold-forging process. Our analysis showed damage critical point for AFDEX simulation program to SWCH45F. The results led to necessary changes of the mold structure which would ultimately reduce the concentration of stress in the hexagonal bolt part. The damage critical point was reduced by utilizing the AFDEX simulation result as well as the cold-forging test result. The entirety of this process has culminated in a proposed method for the modification of a mold, which would result in a far more effective mold.

Key Words : AFDEX, Cold-forging, Damage, SWCH45F

1. 서 론

냉간단단조는 치수정밀도와 표면조도가 매우 우수하며 자동화시스템으로 대량 생산할 수 있는 장점을 보유하고 있다. 또한 버(Burr)의 발생을 최소화하고 다단에 의해 완제품 형태에 매우 가까운 Near Net-Shape의 형태로까지 단조품을 성형해 낼 수 있기 때문에 최근 Issue되고 있는 저탄소 청정생산기반 뿌리산업의 선두주자로 자리매김하고 있다. 그러나 때로는 상온에서의 단조작업으로 높은 압력하에서 작업함으로써 금형 내부에 국부적인 응력발생으로 인해 금형의 수명확보에 어려움이 있고, 이를 개선하기 위한 많은 연구들이 이루어지고 있다. 금형의 수명확보는 크게 금형소재와 마찰 및 코팅소재, 그리고 구조적인 개선을 통한 개선으로 이루어지고 있다.

본 연구에서는 단조 Try Out(이하 T/O)에서 발생하는 결함을 개선하고자, 한 예로 육각나사형

식으로 되어있는 텐서너 바디의 단조T/O 결함부위를 유한요소해석(FEM)을 위한 SWCH45F의 손상임계점을 분석하고 그 결과를 바탕으로 육각부의 모서리에 집중되는 응력을 감소시키기 위해 금형구조를 변경하였다. 기존의 금형과 변경된 금형 모델을 사용하여 제품 형상 및 형상에 발생하는 손상임계점을 도출하여 시뮬레이션 측정치와 비교하였고 효과적인 금형수정방안을 제시하였다.

2. 금형설계 및 유한요소해석

2.1 금형설계방안

Fig. 1의 그림과 같이 육각부 나사의 끝단부 모서리의 Round부분(이하 “R부”)의 단조 결함의 Issue가 발생하는 부분으로서 기존 금형은 모서리 R이 0.3으로 설계되어 있었다. 모서리 R이 0.3일 때 육각부로 꺾어지는 시작점 부위에서 전방압출에 의한 터짐현상과 비슷한 결함이 발생하고 있다. 이러한 현상은 모서리의 R이 0.3으로 Round부위의 크기가 작아서 이

1. (주) 성진포머

교신저자: 황태민 : tmhwang@sjfoma.com

부위에 응력이 많이 집중되는것으로 판단하였고, 이것을 개선하고자 R부의 크기를 0.5와 0.8로 설정하여 제작하기로 하였다.

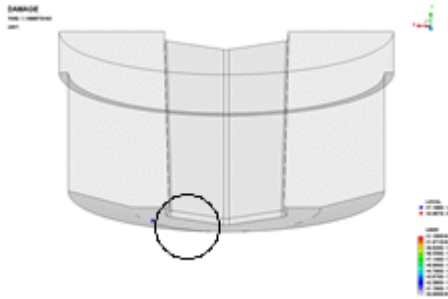


Fig. 1 Round Point in Mold system (R:0.3, 0.5, 0.8)

Young's modulus	210000	MPa
Poisson's ratio	0.3	
Density	7.78	g/cc
Coefficient of thermal expansion	1.2e-005	1/℃

Table. 1 Constants for elastic material

2.2 손상임계점 도출

AFDEX 시뮬레이션 프로그램을 이용한 텐서너 바디의 소재를 분석하기 위한 방법으로 손상 임계점을 도출하였다. 먼저 텐서너 바디의 소재는 SWCH45F로 설정하였고 손상임계점 값을 도출하기 위한 Input Data는 Table. 1과 같이 AFDEX Program 내 Default값을 사용하였다.

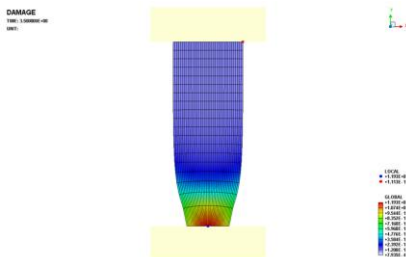


Fig. 2 Damage Distribution of SWCH45F for AFDEX

SWCH45F의 손상임계점 분석을 진행한 결과 소재인장률 28%, 해석소재의 손상임계점 DATA 값은 1.193으로 분석되었고 이 손상임계점 DATA를 육각부 나사에 적용하여 실험하기로 하였다.

3. 결 과

3.1 Case별 Test 해석 Distribution

소재의 인장시험 Simulation 해석 시 도출 된 손상임계점 Data값(1.193)에 비해 모서리 R부가 0.3일 때, 상기제품 성형 해석 시 도출 된 Data 값이 손상임계점을 상회하는 것으로 확인되었다. (Fig. 2, 3)

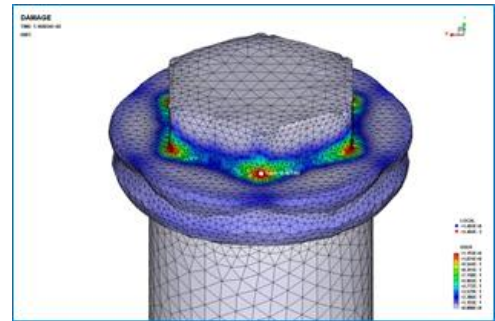


Fig. 2 Damage critical point of 5.5mm at Round 0.3 for AFDEX simulation program



Fig. 3 Damage critical point of 5.5mm at Round 0.3 for Forging Try out TEST

뿐만 아니라 모서리 R부가 가장 큰 0.8일 때 응력을 가장 적게 받고 그 값은 소재의 손상임계점 Data값이 가장 작게 나오는 것으로 확인되었다.

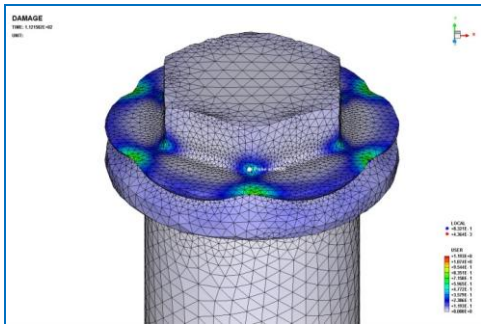


Fig. 4 Damage critical point of 5.5mm at Round 0.8 for AFDEX simulation program



Fig. 5 Damage critical point of 5.5mm at Round 0.8 for Forging Try out TEST

따라서 단조T/O 중 모서리부의 응력값은 직각일 때보다 Round 형상으로 되었을 때 응력이 덜 받게되며, Round 크기가 작을 때 보다 클 때 더 많은 응력을 받는 것으로 확인되었다. 실제 해당 제품은 T/O시 발생되었던 문제점을 simulation 비교분석을 통해 원인을 분석하여 도면이 변경되었으며 R부의 허용공차를 완화하게 되었다.

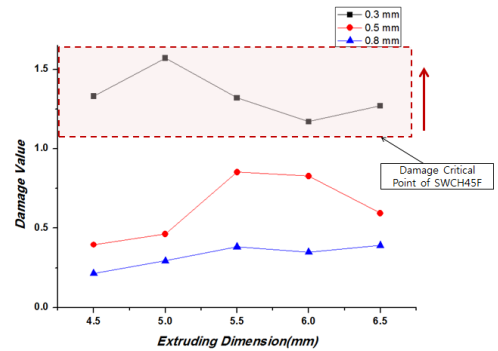


Fig. 6 Damage critical point Graph

4. 결 론

본 연구에서는 냉간 단조 공정에서 발생하는 소재결함 현상을 방지하기 위해 금형설계를 개선하여 유한요소해석법을 통해 결과를 정량적으로 비교 및 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 단조 T/O 중 모서리부의 응력값은 직각에 가까운 Round일 때 보다 형상으로 되었을 때 응력이 덜 받게되며, Round 크기가 작을 때 보다 클 때 더 많은 응력을 받는 것으로 확인하였다.

(2) AFDEX Simulation Program을 이용한 Damage 값이 냉간 단조 T/O시 소재의 결함이 생기는 응력값과 비교분석이 가능한 것으로 확인되었다.

후 기

본 연구는 중소기업청 기술혁신개발사업(과제번호 S2168858)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참 고 문 헌

- [1] 정택우외 4명, 2010, 냉간포머 단조공정시 응력 집중 방지를 위한 금형분할에 관한 연구, 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 249 ~ 250.

구면부 Piercing부 결함의 시뮬레이션 분석

민두식¹ · 김광민¹ · 김정현¹ · 황태민[#]

Simulation Analysis of Defect on Acquaintance Piercing Part

D. S. Min, K. M. Kim, J. H. Kim, T. M. Hwang

Abstract

In this study, we want to analysis an improvement for a defect in the cold-forging process. Our analysis showed improvement damage for simulation program to acquaintance piercing hole. The results led to necessary changes of the #4 Die-mold structure which would ultimately reduce the concentration of stress in acquaintance piercing hole. The damage critical point was reduced by utilizing the simulation result as well as the cold-forging test result. The entirety of this process has culminated in a proposed method for the modification of a mold, which would result in a far more effective mold.

Key Words : AFDEX, Cold-forging, Damage

1. 서 론

냉간단단조는 일반단조에 비해 표면조도의 우수성과 버(Burr)의 발생을 최소화한 단조에 의해 완제품 형태에 매우 가까운 Near Net-Shape의 형태로까지 단조품을 성형해 낼 수 있기 때문에 작고 정교한 제품을 제조할 수 있다. 그러나 상온에서 작업이 이루어지기 때문에 원소재상태에서 최초발생되었던 크랙이나 살터짐 현상을 극복하는데에는 한계가 있어왔다. 그래서 이와같은 현상을 개선하기 위한 많은 연구들이 이루어지고 있고, Simulation을 통한 분석등이 산업현장에서도 이루어지고 있다.

본 연구에서는 단조 Try Out(이하 T/O)에서 발생하는 결함을 개선하고자, 구면부 끝단의 살터짐 현상을 개선하기 위해 실제 T/O를 하여 결함 현상을 확인하고 Simulation을 통해 문제가 되는 공정을 확인하였다. 그리고 그 부분의 금형구조의 수정을 하여 같은 방법으로 Simulation 분석을 하였고, 개선 점을 찾은 후 또다시 T/O를 통해 현상을 파악하였다.

2. 금형설계 및 유한요소해석 결과

2.1 개선전 T/O

본 연구를 위한 T/O 테스트를 진행하기 앞서 단조공정도를 선작성하여 본 제품을 위한 전체 단조공정도를 작성하였다.

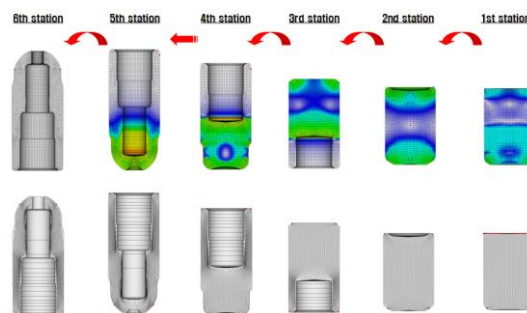


Fig. 1 Forging Flow

Fig. 1과 같이 본 연구를 위한 단조공정도를 작성하여 T/O테스트를 진행해 보니 Fig. 2와 같이 피어싱 공정에서 살터짐 현상이 발견되었다. 이와 같은 살터짐 현상은 사내의 경험으로 인해 판단하여 초기 Cutting 이후의 절단 파단면에서

1. (주) 성진포머

교신저자: 황태민 : tmhwang@sjfoma.com

생성된 결함흔적이 최종공정까지 이어진 것으로 파악하였다. 따라서 개선방안으로 첫째, 3번공정의 Punch Pin 역 Taper사용으로 4번공정 성형 시의 함몰을 보정하였다. 둘째, 4번 Die 바닥부 각도 및 모서리 R값을 수정하였다. (바닥각도 20°, 모서리 R1.5 → 15°, 모서리 R1.0)

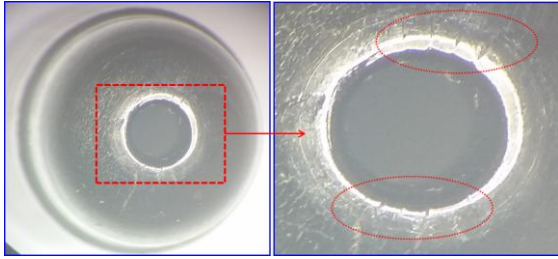


Fig. 2 Defect on acquaintance piercing part

2.2 개선 Simulation Analysis

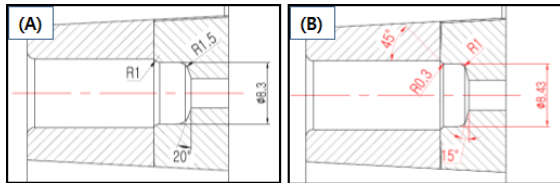


Fig. 3 (A) Before #4 Die Mold (B) After #4 Die Mold

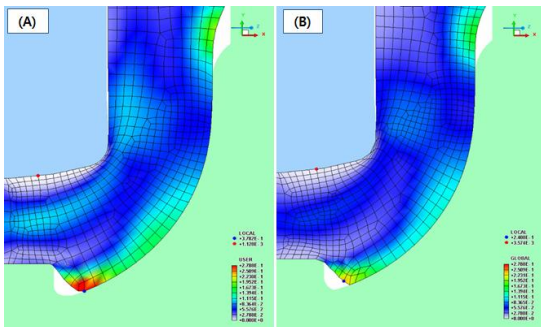


Fig. 4 (A) Analysis before improvement mold (max Damage critical value : 3.78, (B) Analysis after improvement mold (max Damage critical value :2.40)

앞서 예측한 소재의 결함을 해결하기 위해 4번공정의 Die부를 Fig. 3과 같이 수정하여 Simulation 테스트를 진행한 결과 4번 Die부의 수정으로 인해 6번 피어싱공정을 위한 자리면을 확보하는 5번공정에서의 소재 자리면 끝단부의 Damage값이 기존 3.78에 비해 2.40으로 확실히 줄어든 모습을 확인 할 수 있었다. [Fig. 3.4]

2.3 개선 T/O

Simulation 테스트 결과를 이용하여 개선하고자 하였던 치수를 적용하여 금형을 새로 제작하였고 개선을 위한 실제 T/O 테스트를 진행하였다.

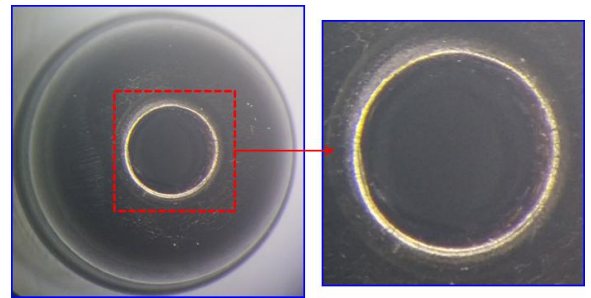


Fig. 5 Acquaintance piercing part after improve mold for simulation analysis

진행결과 Fig. 5와 같이 구면 Piercing 공정에 의한 Hole의 모습이 Burr나 더짐결함없이 깨끗하게 단조완료된 모습을 확인 할 수 있었다.

3. 결론

(1) 냉간단조로 극복하기 어려웠던 소재의 미세한 결함들을 simulation을 통해 분석한 현상과 악을 통해 구조적 개선을 하여 더짐현상을 개선함

(2) 그러나 Simulation상의 Flow의 영향에 따른 인장-압축응력 해석능력과 구조의 변화에 따른 이론적 유동영향에 대한 면밀한 연구가 필요함.

후 기

본 연구는 대구테크노파크의 차세대선도기술개발 사업과제의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

플라스틱 소재의 기계가공성 예측을 위한 물성평가 연구

박규남¹ · 오동권¹ · 이광주² · 임성한² · 민동균^{3#}

A Study of Mechanical Properties for Machinability Evaluation of Engineering Plastic

K. N. Park, D. K. Oh, K. J. Lee, S. H. Rhim, D. K. Min

(Received March 20, 2015)

Abstract

General machinability evaluation was done under various circumstances. It spent a lot of time to get an accurate evaluation results by doing lots of test. This research will find the influence on machinability from mechanical properties of material in order to minimize the cost of time. So we have been selecting the most compatible engineering plastic material to be used for the PCB test Module as the probe base. The hardness test, compression test and tension test were carried out to get the mechanical properties. The test method was observed by ASTM standard. But some test conditions followed different optional conditions for real processing conditions. Consequently, this study will propose for standardization which machinability evaluation can replace it from only mechanical properties.

Key Words : Machinability Evaluation, Mechanical Properties, Engineering Plastic

1. 서 론

본 연구에서는 엔지니어링 플라스틱에 대한 정밀 가공조건을 확립하고 기계적 물성을 측정하여 상호 관계를 통해 플라스틱 소재의 경도, 인장강도, 압축강도 등이 가공성에 주는 영향에 대해 찾아보고자 하였다. 일반적으로 플라스틱 소재는 절삭가공 시, 연질 피삭재에서 자주 발생하는 이물질(Burr) 이 가공 이후 남게 되는 현상이 발생 된다. 이런 문제는 불필요한 시간적, 경제적 비용을 추가적으로 발생시키므로 합리적인 절삭조건을 선정할 수 있어야 한다. 절삭조건에서는 회전속도와 이송속도를 고려해야 하는데 회전속도 N 은 식(1)에서와 같이 공구의 지름 D 와 보정계수 J , 절삭속도 V 에 영향을 받게 되며 V 는 소재에 재질에 따라서 결정된다. 마찬가지로 이송속도 f 는 식(2)에서와 같이 드릴 계수 B 와 처킹계수 C , 드릴의 지름 D , 비절삭저항 K , 구멍 깊이 H , 그리고 보정계수 M 에 영향을 받게 되며 여기서 K 는 소재의 재질에 따라 결정된다. 즉 소재의 물성평가를 통해서 자료를 생성하고 그 생성된 자료를 이용해야 합리적인 절삭조건을 선정할 수 있다는 예측을 하게 되었다. 따라서 본 실험에서는 소재 물성을 파악하고 데이터를 활용하여 가공성 향상과 이물질, 절삭저항에 대한 이해와 접근을 하기 위한 경도 시험, 인장/압축 시험을 수행하게 되었다.

아래 Table. 1은 본 실험에서 시편으로 이용할 엔지니어링 플라스틱의 물성 기준 값이다.

항목	비중	경도	인장강도 kg/cm^2	압축강도 kg/cm^2	압축 탄성율 kg/cm^2	비고
S1000(코폴리머 E1000)	1.35	R124 (로크웰)	700	1,465	2.3×10^4	고온에 강함

Table 1 Plastic Properties for Test

1. 한국기술교육대학교 대학원, 2. 한국기술교육대학교 기계공학부, 3. 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

Corresponding Author: Department of Mechatronics Engineering

KOREATECH, Email:dkmin@koreatech.ac.kr

$$N = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \cdot J(\text{rpm}) \quad \text{-----}(1)$$

$$f = \frac{10}{M} \cdot \frac{D^{0.75}}{K} \cdot B \cdot C \cdot H(\text{mm/rev}) \quad \text{-----}(2)$$

2. 시험 진행 및 결과

2.1 경도 시험

일반적인 플라스틱 경도 시험에 경우는 로크웰(RHR) 을 통한 측정을 진행하게 되는 경우가 많다. 그 이유로는 다른 경도시험의 경우 플라스틱은 측정 값이 너무 작아 범위에서 벗어나게 되는 경우가 대부분이기 때문이다. 하지만 로크웰(RHR)의 경우 측정범위가 한정되어 있어서 플라스틱이라고 할지라도 연질 재료에 경우는 측정이 불가하여 호환성이 적다. 따라서 일정부분 이상의 경도를 가진 S1000 소재에는 비커스 경도(HV)를 적용해 보기 위하여 마이크로 비커스 경도시험기를 이용하였다. 비커스경도의 측정은 측정 범위 이내 라면 모든 재료에 허용이 되며, 추후 다른 재료와의 경도를 비교함에 있어서도 호환성이 매우 높다. 이런 호환성을 활용하여 추후 다른 소재의 가공성 데이터를 확보하기 위해 비커스경도 측정을 진행하게 되었으며, 모든 측정방법과 측정기준은 ASTM E384-10 에 의거하여 진행하였다. 실험은 표면 거칠기 값 0.1 μm 이내에서 10회 이상 진행하였으며, Load는 50gf를 30초 동안 주었다. 편차 이내에서 벗어나는 값을 제외한 나머지 값으로 평균 경도 값을 구했고 그 결과를 Table. 2 에 나타냈다. Fig. 1에는 측정 된 입자에 상태를 보여주고 있다. 흔히 난삭재로 구분이 되고 있는 STS304에 경우 HV 200 이다. 17.2 는 비커스경도로 측정할 수 있는 범위에서 가장 작은 값에 포함이 되는 연질에 재료라는 것을 의미한다.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Result
수평 μm	76.5	76.3	74.1	77.0	72.8	72.3	73.5	73.2	75.0	75.2	74.59
수직 μm	75.2	75.9	75.2	76.3	74.3	71.9	72.1	74.3	72.1	74.4	74.17
HV											17.2

Table. 2 Measurement value of Vickers hardness

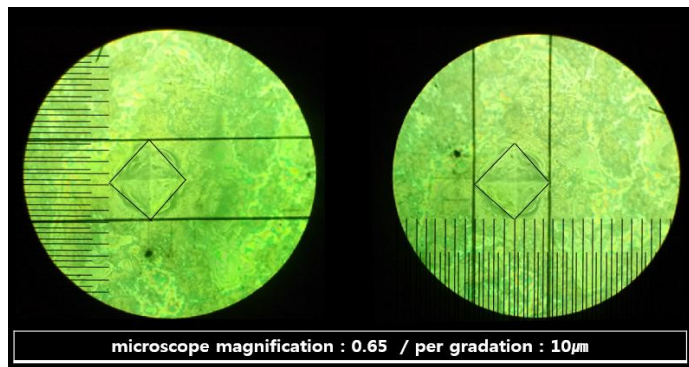


Fig. 1 Measurement view of Vickers hardness

2.2 인장 시험

인장 시험기는 MTS 사의 MTS810 장비를 이용하였다. 시험조건 및 방법과 시편의 규격 등은 ASTM D638의 코드기준을 적용하였다. 시편의 형태는 Fig. 2 에서와 같이 제작되었다. 시험방법으로는 상온, 100℃ 의 두 가지 온도조건을 부여하였으며, 속도는 각각 1mm/min, 10mm/min 의 두 가지 속도로 테스트를 진행하였다. 여기서 상온과 1mm/min 의 속도조건은 ASTM D638의 코드 기준을 적용한 것이며, 100℃ 와 10mm/min는 S1000 소재의 실제 가공조건과 환경으로 가공 시 공구의 속도와 이 소재가 사용 될 PCB 기판 플레이트의 사용온도 조건을 적용하게 된 것이다. 온도제어는 챔버 온도를 실험 온도까지 올린 후 시편의 온도가 챔버 내부의 온도와 같아지도록 30분을 유지한 후 실험을 진행하였다. 각 5회 실험을 실시하여 평균값을 구하였다. 얻은 결과값을 한눈에 보기 위해 데이터를 통해 응력-변형률 선도를 Fig. 3에 그려보았다. Fig. 3은 1mm/min 속도와 10mm/min 속도로 인장할 때, 실온 (RT) 과 100℃ 에서의 차이점을 나타낸 그래프이다. 결과적으로 일반적인 속도 변화로는 물리적인 영향을 크게 받지 않는다. 다만 100℃ 와 실온에서의 차이에 대한 결과를 항복응력에 대해서 검토해본 결과 약 4% 정도 응력 값이 낮아지고 변형률은 약 12% 정도 높아지는 것을 확인 할 수 있었다. 측정 된 인장강도는 약 635 kgf/cm² 이었다. STS304에 경우 약 545 kgf/cm² 이므로 측정 된 값은 STS304보다 인장강도가 17% 정도 높았다.

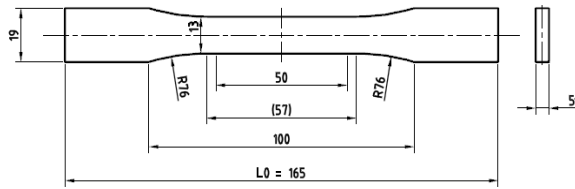


Fig. 2 ASTM D638 specimen for tensile test

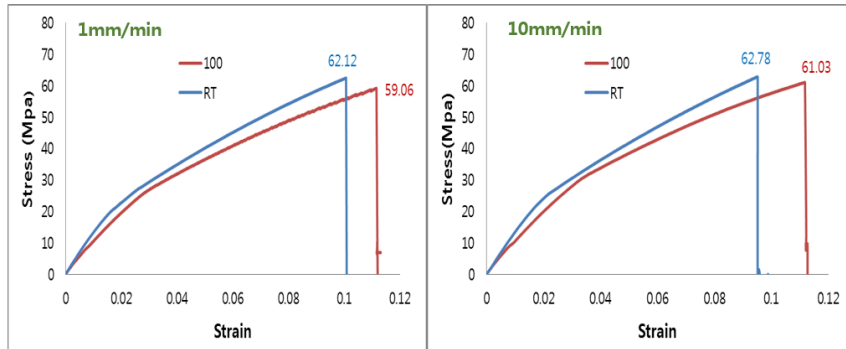


Fig. 3 Stress-Strain Curve of Tensile test

2.3 압축 시험

압축시험기는 인장시험기와 동일 한 장비인 MTS810을 이용하였다. 시험조건 및 방법과 시편의 규격은 ASTM D695 의 코드기준을 적용하였고 규격시편은 Fig. 4 에서와 같이 제작되었다. 일반적으로 플라스틱은 인장강도보다 압축강도가 높은 편이므로 압축시험에서 다양한 속도에 변화를 알아보기 위해 1mm/min, 10mm/min, 100mm/min 에 3가지 속도조건을 주어 그 변화되는 구간을 찾아보기로 했다. 각 5회에 실험을 실시하여 평균값을 구하였다. 인장시험과 마찬가지로 압축강도에 따른 결과를 한눈에 가시화 하기 위해 Fig. 5 에 응력-변형률 선도를 작성하였다. 결과는 1mm/min 일 때 124.068Mpa, 10mm/min 일 때 128.654Mpa, 100mm/min 일 때 130.741Mpa으로 최대응력인 항복점을 기준으로 압축속도가 커질수록 응력도 커지는 선형성을 확인하였다. 플라스틱은 구조적인 특징으로 인해 인장강도보다 압축강도가 높다. 이번 실험에 사용 된 S1000 소재의 경우 약 압축강도가 인장강도보다 2배 정도 높은 것으로 나타났다.

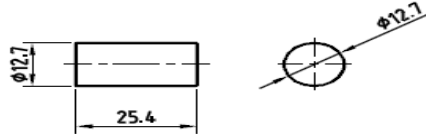


Fig. 4 ASTM D638 Specimen for Tensile test

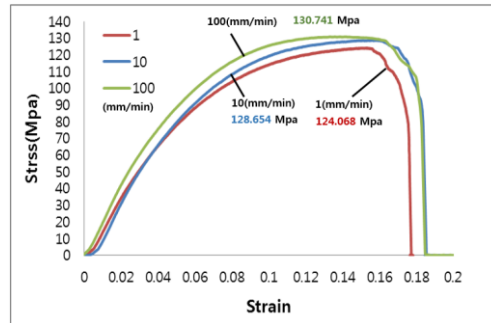


Fig. 5 Stress-Strain curve of Compression test

3. 결 론

본 연구에서는 플라스틱에 가공성 평가를 효과적으로 이끌어내기 위한 물성평가결과를 얻기 위해 경도 시험, 인장시험, 압축시험을 진행하게 되었다.

- (1) ASTM Standard 에 의거하여 진행한 모든 물성 평가의 오차가 물성 예측 기준치에서 10% 이내에 포함되었다. 따라서 본 연구에서 수행한 시험 방법은 추후 근거자료로 사용이 가능함을 나타낸다.
- (2) 비커스경도 HV 17.2를 얻었고, 이 값은 매우 연질의 소재임을 의미한다. 따라서 가공 시 피삭재로부터 발생하는 절삭저항은 매우 작을 것으로 예측되었다.
- (3) 비커스경도 HV 17.2가 로크웰경도R124와 유사한 등급으로 예측해 볼 수 있다.
- (4) 본 실험에서 측정 한 소재의 인장강도는 약 635 kgf/cm²로 STS304 보다도 약 17% 높은 인성을 보였다. 이것은 낮은 경도로써 가공은 용이하지만, 높은 인성으로 인해 소재가 쉽게 끊어지지 않고 이 물질(Burr)로 많이 남겨질 수 있음을 보였다.
- (5) 압축강도가 STS304보다 약 137% 높은 부분은 가공 이송속도 선정 시 반드시 고려해야 한다.

후 기

본 연구는 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업의 지원을 받아 수행하였습니다.

참 고 문 헌

- [1] M. W. Hong, 1990, Engineering Plastics Handbook, Gijeon Research Company, Seoul, pp. 208~212.
- [2] Y. S. Moon, 2000, A Study on the Chip Shape and Machinability of Drilling for the Difficulty-to-Drill Materials, Thesis, Korea University of Technology & Education, Cheonan, pp 3~4, pp 10~11, pp 24~25.
- [3] Y. J. Lee, 2004, The Effect of Ball End Mill Cutting Environments on High Speed machinability of Hardened Tool Steel, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf, pp239

친환경 무게추 개발을 위한 다단 딥 드로잉 공정 설계

박민철¹ · 이정민¹ · 김형익¹ · 이광휘¹ · 강해권² · 이찬주[#]

Multi-deep Drawing Process Design for Development of Eco-fishing Sinker

M. C. Park, M. J. Lee, H. I. Kim, G. H. Lee, H. G. Kang, C. J. Lee

Abstract

Multi-stage deep drawing is to increase or decrease the diameter of the material through a process of several times with a machining method for forming a cup shaped product. This study is the eco-fishing sinker target products as needed to solve environmental pollution problems. In the present study was carried out to a eco-fishing sinker development process designed to apply a multi-stage deep drawing process. When produced in a multi-stage deep drawing process, the outer part is fracture of shape defects occur due to the large deformation of the material during deep drawing process. Therefore, by designing a multi-stage deep drawing process is to minimize the shape defect during production eco-fishing sinker. Finally, using the multi-stage deep drawing process was designed to perform the sinker manufactured, it was possible to obtain a shape defective products.

Key Words : Multi-stage deep drawing (다단 딥 드로잉), Eco-fishing sinker(친환경 무게추), Outer part(외피)

1. 서 론

딥 드로잉 공정은 소성가공의 일종으로 이음매(Seamless)가 없는 그릇 또는 컵 형상의 제품을 가공하는 방법이다. 가장 기본적인 가공 방법은 원판 또는 사각판의 모양의 소재에 펀치가 하강하면서 다이의 구멍에 옴라들어 원통 또는 사각통 모양의 제품을 성형하는 방법이다.

딥 드로잉 공정은 소성가공 중에서 치수 정밀도 및 성형 하중의 측면에서 높은 난이도를 요하는 가공 공법이다[1]. 특히 다단 딥 드로잉 공정은 일반적인 딥 드로잉 공정에 비해 더 복잡하며, 공정설계 또한 쉽지 않은 공정이다[2].

본 연구에서는 다단 딥 드로잉 공정을 이용하여 친환경 무게추 외피 개발을 위한 공정설계를

제시하고자 한다. 본 연구에서 개발하고자 하는 친환경 무게추는 최근 환경규제에 의해 중금속인 납추를 대체하기 위한 무게추이다. Fig. 1에 개발대상인 무게추의 개략도를 나타내었다. 무게추는 철계 슬러지 분말을 압축한 압분체를 판재성형을 통해 제작된 상/하 외피(Outer part)로 감싸며 코킹(cogging) 핀을 통해 체결된다. 따라서 외피는 중요한 부품이며, 한번의 딥 드로잉 공정으로 외피 개발 시 많은 변형으로 두께 감소 및 형상결함의 원인이 되므로 본 연구에서는 다단 딥 드로잉 공정으로 설계를 수행하였다.

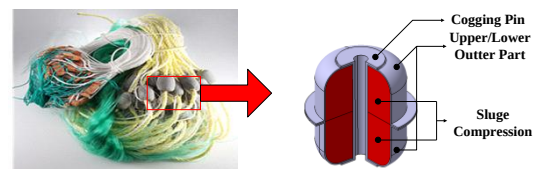


Fig. 1 Schematic of eco-fishing sinker

1. 한국생산기술연구원

2. ㈜에이치케이기업

교신저자: 한국생산기술연구원, E-mail:cjlee80@kitech.re.kr

2. 다단 딥 드로잉 공정 설계

2.1 다단 딥 드로잉 공정 설계 검토

무게추 외피 개발을 위한 다단 딥 드로잉 성형공정 설계를 Fig. 2에 나타내었다. 각 공정 별 형상의 외경과 높이를 나타내었다. 1차 공정은 외경 30.5mm와 성형 깊이 12.05mm를 가지는 형

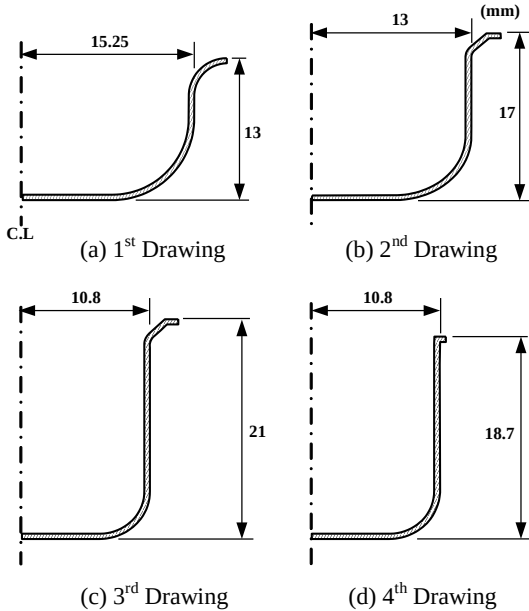


Fig. 2 Layout of multi-stage deep drawing process

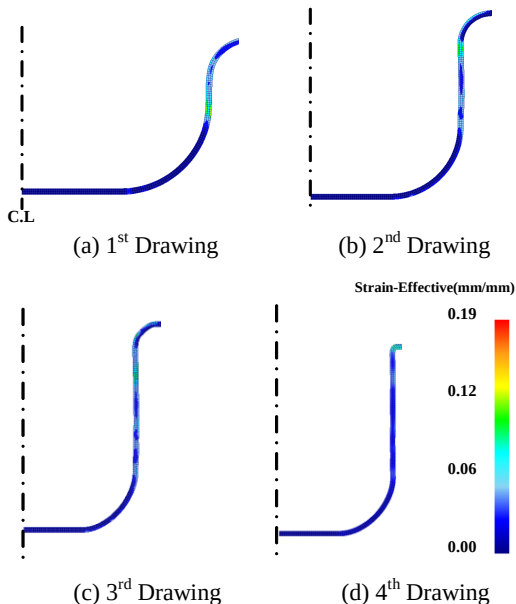


Fig. 3 Results of multi-stage deep drawing process

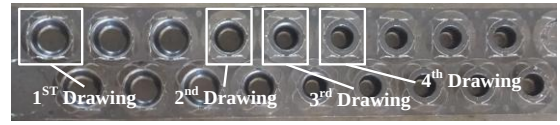


Fig. 4 Multi-stage deep drawing formed strip

상 으로 성형이 되며 2차 공정 시 외경은 줄고 성형 깊이를 더 많이 확보하도록 설계하였다. 이는 3차 딥 드로잉 공정을 위해 소재 두께 유지와 형상결함 방지를 위한 중간 설계이며, 4차 공정은 치수 확보를 위한 최종 공정이다. 설계된 공정을 유한요소해석을 통하여 검증하였고 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 변형률이 높은 구간은 벤딩부위며, 형상결함 없이 설계된 치수와 유사하게 나타나는 것을 확인하였다.

2.2 다단 딥 드로잉 성형실험

본 연구에서 설계한 다단 딥 드로잉 공정을 적용하여 성형실험을 수행하였다. 성형실험 결과 Fig. 4와 같이 형상결함이 없는 외피를 성형할 수 있었다.

3. 결론

본 연구에서는 무게추 외피 개발을 위해 다단 딥드로잉 공정 설계를 수행하였고 유한요소해석을 통해 검증하였다. 검증된 설계안을 통하여 무게추 외피 생산 시 결함 없는 제품을 성형할 수 있었다.

후 기

본 연구는 해양수산부사업의 일환인 “수산물 용화기술개발사업”의 지원으로 수행된 연구임

참 고 문 헌

- [1] J. H. Park, J. H. Kang, S. G. Kim, S. H. Kim, S. Y. Seo, G. H. Park, Y. C. Park J. L., 2008, Deep drawing Process Design for Preform of Automobile Drum Clutch Hub, KSMPE, pp. 101~106
- [2] Y. Kim, J. Kim, B. S. Kang, 2005, Analysis of Multi-stage Deep Drawing Process for Rectangular Container Using Finite Element Method, KSME, pp. 1453~1456

대형 트랙링크의 고주파 열처리 공정설계

박민철¹ · 이정민¹ · 김형익¹ · 구성모² · 이정훈² · 이찬주[#]

Induction Hardening Process Design of Large Track Link

M. C. Park, J. M. Lee, H. I. Kim, S. M. Koo, J. H. Lee, C. J. Lee

Abstract

Induction hardening is a method of curing only the surface in a way that is quenched by rapid heating of the surface of the material. The track link excavator lower traveling body parts have high strength and durability needed parts. Recent track link is to be enlarged in order to secure a stable driving capacity. This study was carried out induction hardening process designed for large track link. A track link, was prepared in accordance with the designed induction hardening process. And the hardness measurement was carried out to determine the performance of the manufactured product. Hardness measurement, the hardness can be obtained to satisfy the performance of the product.

Key Words : Track Link(트랙링크), Induction Hardening(고주파 열처리), Hardness(경도)

1. 서 론

굴삭기의 하부주행체를 구성하는 트랙링크 어셈블리(Track Link Ass'y)는 장비의 80% 이상의 하중을 지지하는 중요한 역할을 하며, 스포로킷(Sprocket)에 의해 전달되는 동력으로 장비의 주행을 담당한다. 그리고 20톤 이상의 장비하중을 가지는 무한궤도(Crawler)형식은 굴삭기 특성상 트랙링크 어셈블리는 고강도 및 내구성이 요구되는 굴삭기의 핵심부품이다.

본 연구대상인 트랙링크(Track Link)는 Fig. 1과 같이 트랙링크 어셈블리의 한 부품으로 부쉬(Bush)와 핀(Pin)의 결합으로 장비의 하중을 지지하고, 주행을 담당하는 중요한 부품이다. 최근 건설장비의 안정적인 주행능력을 확보하기 위해 대형화 추세이며, 6개월에서 2년의 사용 수명을 확보하기 위해 고강도화를 추진하고 있다. 고강도를 위하여 트랙링크는 고주파 열처리 공정을 적용하고 있다[1]. 하지만 대형화에 따른 면적 증가로 인하여 경화깊이, 가열폭, 경도산포 부적

합한 제품이 제조되고 있는 실정이다. 따라서 트랙링크 대형화에 따른 열처리면적 증가에 따른 고주파 열처리 기술이 필요하다.

본 연구에서는 대형화에 따른 기존의 열처리 문제점을 해결할 수 있는 트랙링크 고주파 열처리 기술 공정설계를 제시하고 실험을 통하여 제안된 공정설계를 수행하고자 한다.

2. 고주파 열처리 공정설계

기존의 고주파 열처리 Fig. 2와 같이 정지가열을 적용하였다. 건설기계의 부품 수요가 늘어나

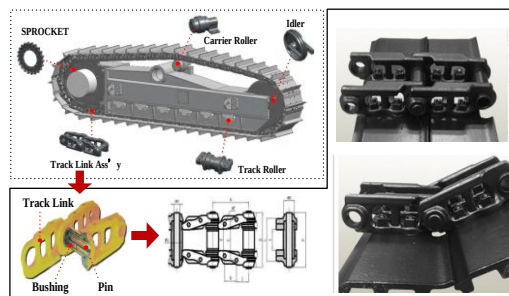


Fig. 1 Schematic of tack link ass'y

1. 한국생산기술연구원

2. 에이스트랙㈜

교신저자: 한국생산기술연구원, E-mail:cjlee80@kitech.re.kr



Fig. 2 Induction hardening process using the stop heating

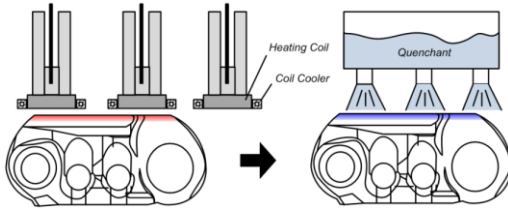


Fig. 3 Induction hardening process key technologies



Fig. 4 Induction hardening coil and work process

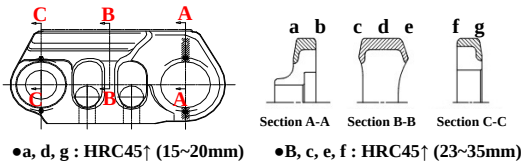
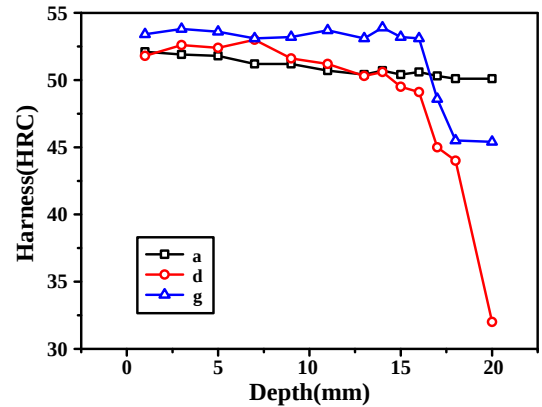


Fig. 5 Hardness measurement points of Track link

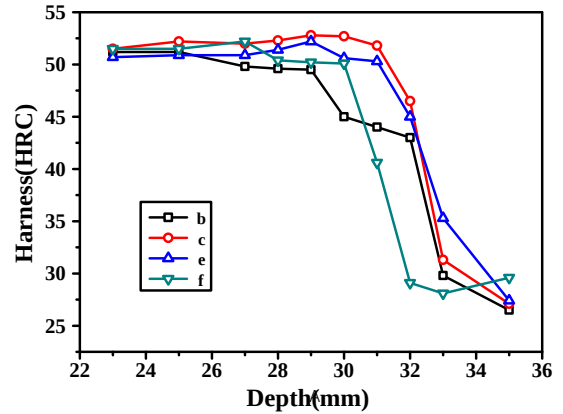
고 있는 실정에서는 비효율적인 방법이다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 전용 Coil을 이용한 연속가열 방법을 설계하였으며, 냉각노즐 개선을 통한 냉각능력을 극대화 시켰다. Fig. 4은 제시한 공정설계를 통해 Coil을 제작하였고 실제 공정에 적용하였다. 트랙링크 열처리공정 핵심 기술을 적용한 제품을 평가하기 위하여 경도측정을 수행하였다. Fig. 5와 같이 측정부위를 선정하였으며, Fig. 6에 경도측정 결과를 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 트랙링크의 대형화에 따른 고



(a) Hardness measurement (a, d, g)



(b) Hardness measurement (b, c, e, f)

Fig. 6 Results of hardness measurement

주와 열처리기술 공정설계를 수행하였다. 기존의 문제점 공정설계를 통하여 개선하였고, 트랙링크 각 부위별 경도측정 결과 HRC45 이상의 값을 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 중소기업기술혁신개발사업에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] J. B. Ko, W. K. Kim, J. H. Won, 2005, The Effect on Fatigue Strength of induction Hardened Carbon Steel, KSMTE, Vol.14, No.6, pp. 83~87

금속분말 이중성형공법을 이용한 Oil-less Bearing 일체형 Gear의 제조

박보규¹, 정재현², 조규상^{3#}

Manufacturing of Gear Include Oil-less Bearing using Dual Metal Powder Metallurgy Molding Method

B. G. Park¹, J. H. Jung², K. S. Cho^{3#}

Abstract

Dual powder metallurgy molding process consists of 2 steps. Different composition of metal powder is added in preliminary molding of metal powder without extraction of the latter. Sintering is performed after secondary molding to make final product. This process allows not only continuous production of parts which were separately produced, but also multiple performances at a single part coming from each material.

This study was performed to develop new production process of Gear include Oil-less Bearing by Dual powder metallurgy molding. The Gear maintains mechanical characteristic at the outside realized by Fe-1.5%Cu-1.75%Ni-0.5%Mo-0.6%C powder and oil-less bearing property at the inside made by Fe powder and Fe0.6%C powder. Sintering at 110C was performed after Molding to make the final product.

Key words : Dual Metal Powder Metallurgy Molding, Sintering, Gear include Oil-less bearing

1. 서 론

금속분말이중성형공법은 금속 합금분말을 1차 성형하여 제품을 성형하고 성형된 제품을 추출하지 않은 상태로 조성이 다른 합금분말을 투입하여 2차 성형을 거친 후 소결 공정을 통해 최종 제품을 제조하는 공법이다. 이 공법은 각각으로 제조되어 조립 되었던 부품을 연속된 공정으로 제조 할 수 있으며, 하나의 부품에서 각각의 소재들의 기계적 특성을 유지할 수 있는 제조 방법으로서 생산시간 단축과 원가 절감을 기대할 수 있는 제조법의 하나로서 다양한 부품들에 대한 적용이 시도 되고 있다.

차량용 스타트 모터에 사용되는 유성 Gear는 Gear와 Oil-less Bearing의 부품이 함께 사용 되며, 모터 1EA 당 3EA ~ 4EA의 부품이 사용 된다. 이 부품의 경우 현재 Oil-less Bearing과 Gear를 각각 제작하여 압입 조립하는 형태로 제작이 이루어 지고 있으며, 생산 공정상 제작 원가가 높아지고 작업성이 낮아지는 단점이 있다. 그러나 금속분말이중성형공법을 활용하여 단일 공정에서 Oil-less Bearing 일체형 Gear의 제작이 이루어 지면 공정 단순화를 통한 제작시간 단축 및 제작 원가의 절감이 가능할 것으로 기대 된다.

본 연구에서는 금속분말 이중성형공법을 활용하여 외측은 Gear의 기계적인 특성을 유지하고, 내측은 Oil-less Bearing의 특성을 유지하는 Oil-less Bearing 일체형 Gear의 제조 기술을 개발 하고자 하였다.



(a) Gear (b) Oil-less bearing (c) Part

Fig. 1 Gear and oil-less bearing for start motor

1. 한국섬유기계연구원

2. 대광소결금속주식회사

3. 동양대학교 철도차량학과

교신저자: 동양대학교 철도차량학과, kscho@dyu.ac.kr

2. 실험 방법

본 연구에서는 Oil-less Bearing 일체형 Gear의 Gear부 소재로는 Fe-1.5%Cu-1.75%Ni-0.5%Mo-0.6%C분말을 사용 하였으며 Oil-less Bearing 소재로는 Fe분말과 Fe0.6%C분말을 사용하였다. 성형이 완료된 기어는 약 1100℃에서 고온 소결 처리 하여 최종 제품을 제작 하였다. 제작된 제품의 표면상태와 접합부 계면은 광학 현미경과 SEM을 사용하여 관찰 하였다. 또한, 제작된 최종 제품의 경도 측정은 상온에서 마이크로 비커스 경도기를 사용하여 실시 하였으며 10회 이상 측정값의 최소·최대값을 제외한 평균값을 이용하여 경도 값을 산출 하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 제작된 Oil-less Bearing 일체형 Gear를 나타낸 것이다. 제작된 부품은 비교적 높은 치수 정밀도를 나타내고 있으며 Gear부와 Oil-less Bearing부분이 분리되는 현상과 같은 커다란 결함은 발견되지 않았다.

Fig. 3은 제작된 제품의 Gear부와 Bearing부의 계면부분을 현미경을 이용하여 관찰한 결과이다. 대부분의 시편에서는 Fig. 3 (a)와 같은 양호한 접합상태가 관찰 되었으나, 일부 시편에서는 Fig. 3 (b)와 같이 분리된 부분도 발견 되었다. 또한, 제작된 시편에서는 기공과 유사한 형태의 부분적인 결함들이 관찰 되었으며 이러한 결함들은 중심부보다 가장자리부에서 보다 많이 관찰되었다.

Fig. 4는 제작된 시편의 Gear부와 Bearing부에 대하여 경도를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 측정된 경도는 Gear부의 경우 213Hv를 나타내었으며 Bearing부에서는 74.6Hv를 나타내었다.



Fig. 2 Photograph of final product

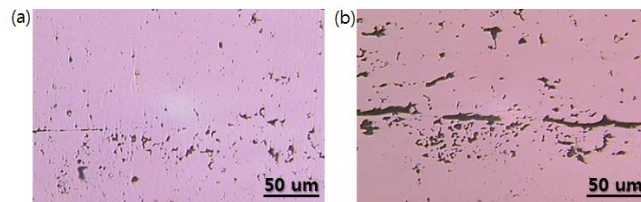


Fig. 3 Interface of the oil-less-bearing and gear

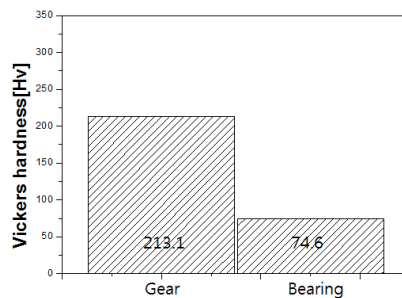


Fig. 4 Vickers hardness of products

4. 결 론

금속분말 이중성형공법을 활용하여 자동차용 스타트 모터에서 사용되는 Oil-less Bearing 일체형 Gear의 제조공정을 개발하기 위하여 시제품을 제작하였다. 제작된 시제품은 비교적 양호한 치수 정밀도를 나타내었으며 Gear부와 Bearing부의 계면부분이 양호한 형태로 접합되어 있는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 제작된 시편에서는 기공과 유사한 형태의 부분적인 결함들이 관찰 되었으며 측정된 경도값은 Gear부에서는 213Hv를 나타내었고 베어링 부에서는 74.6Hv를 나타내었다.

정밀 복합 치형 냉간 Sizing 금형 형상에 관한 연구

박세제¹ · 김병철² · 고대철³ · 김병민³ · 김동환[#]

Study of Tool Shape on Cold Sizing of Precision Complex Tooth

S. J. Park, B. C. Kim, D. C. Ko, B. M. Kim, D. H. Kim

Abstract

현재 국내에서는 차세대 변속기 핵심부품인 변속기 Assy용 정밀 복합치형 부품 등의 치형을 성형하기 위해 열간 단조 공정과 치형을 성형하는 냉간 사이징 공정 그리고 열처리 공정 등으로 부품을 가공하고 있으며, 정밀 복합 치형의 냉간성형기술이 미흡한 실정이다. 본 연구에 앞서 정밀 복합 치형 냉간 사이징 B.T Pin(Back Taper Pin)에 대하여 유한요소해석을 수행하여 B.T Pin의 국부적 하중으로 인한 결함을 규명하였다. 또한 Pin의 파손 방지를 위해 B.T Pin의 형상 설계하여 Pin에 작용하는 집중 하중에 대하여 분석하였다. 본 연구에서는 정밀 복합 치형 냉간 사이징 공정용 B.T Pin의 고수명, 고강성을 위한 형상 최적화 설계를 통한 정밀성형공법을 제시하고자 한다.

Key Words : Back Taper Pin, Cold sizing of precision, Complex Tooth, Precision tooth, FE-simulation

1. 부산대학교 정밀가공시스템

2. 한국국제대교 기계자동차공학과

3. 부산대학교 기계공학부

교신저자: 한국국제대교 항공부품공학과, E-mail: dhkim.iuk.ac.kr

항공용 티타늄 스프링의 정밀 벤딩 공법 개발

박세제¹, 고필성², 김영환², 김동환^{3#}

A Development of Precision Bending Process of Titanium Spring for Aircraft

S. J. Park, P. S. Ko, Y. H. Kim, D. H. Kim

Abstract

현재 항공용, 원자력발전소용 스프링은 수입에 의존해 오는 실정이다. 특히 티타늄 스프링(Titanium spring)의 경우 그 강도와 형상 정밀도를 맞추어 제작하기가 어려워 전량 수입하고 있다. 항공용 티타늄 스프링의 경우 원형의 형상을 가지며, 스프링 전용장비를 이용한 벤딩공정으로 성형하고 있는데, 여기서 치수 정밀도 오차가 발생하고 벤딩 성형 후 양 끝단 소재의 전장 길이 오차가 발생하여 형상 정밀도를 유지하기가 어려운 실정이다. 티타늄 스프링은 정밀 벤딩 공법의 부재로 현장의 경험에 의해 전용 스프링 성형기로 성형하고 있다. 따라서 본 연구에서는 항공용 티타늄 스프링의 형상 정밀도를 유지하기 위한 정밀 벤딩 공법을 개발하고자 한다.

Key Words : Titanium spring, Precision bending process, FE-simulation

1. 부산대학교 정밀가공시스템

2. 한국국제대교 기계자동차공학과

3. 부산대학교 기계공학부

교신저자: 한국국제대교 항공부품공학과, E-mail: dhkim.iuk.ac.kr

가변롤성형을 이용한 가변단면을 갖는 프로파일의 변형길이 분석에 관한 연구

박종철¹ · 차명환², 김돈건², 남재복², 양동열^{1#}

A study on deformation length of profiles with variable cross-sections fabricated by flexible roll forming

J. C. Park¹, M. H. Cha², D. G. Kim², J. B. Nam², D. Y. Yang^{1#}

Abstract

Needs for profiles with variable cross-sections are increasing to meet industrial applications. Flexible roll forming is capable to fabricate profiles with variable cross-sections. Span length which is a distance between each roll stand is important parameter to affect longitudinal strain on flange sections of profiles. And span length needs to be longer than deformation length of profiles during flexible roll forming to reduce unnecessary longitudinal strain on flange sections. In this study, deformation length is investigated. By studying shape parameters of profiles with variable cross-sections, the deformation lengths of profiles during flexible roll forming were analyzed. As radius curvatures and transition angles on transition zones increase, deformation length increases.

Key Words : Flexible roll forming(가변 롤성형), deformation length(변형길이), variable cross-section(가변단면)

1. 서 론

롤성형(Roll forming) 공정은 치수정밀도가 높으며 스크랩이 거의 발생하지 않고 롤의 마모도 매우 적어, 단면 형상이 일정하면서 길이가 상대적으로 긴 제품을 매우 경제적으로 생산할 수 있는 공정이다. 특히, 초고강도강까지 성형이 가능하므로 고강도강 자동차 부품의 생산에 적합한 공정이라는 장점도 있다. 그러나 산업에서 요구되는 복잡한 단면형상의 생산에는 한계점이 있어 단순한 형상 성형에 적용되고 있다. 그러나 산업에서 요구되는 복잡한 단면형상과 다양한 제품경로의 생산에는 한계점이 있어 단순한 형상의 단면과 단일 직선경로의 성형에 적용되고 있다. 이러한 한계점을 개선하고자 가변단면 형상과 가변경로를 갖는 롤성형 제품을 성형하

기 위한 Flexible roll forming(FRF)공정에 대한 연구들이 산업계와 학계 등에서 시도되고 있다[1].

Flexible roll forming공정은 Fig. 1과 같이 제품의 바닥부(web)영역에서 형상오차가 발생한다. 특히 소재의 길이방향 길이방향(y축 방향)으로 가변영역에서 뒤틀림(warping)이 발생하며, 단면의 모서리 영역에서 단면형상이 왜곡되어 플랜지(Flange)에서 뒤틀림이 발생한다. 향후, 가변단면을 갖는 프로파일의 산업적 적용을 위해서는 형상변형의 개선이 필수적이다. 이를 위해 형상변형을 개선하기 위한 다양한 공정들이 시도되었다. Blank holder를 형상변형영역에 배치한 공정, 형상변형이 발생하는 영역에 가열 도구를 적용해 국부가열하는 공정을 적용하였다[2~3]. 특히 Blank holder를 적용한 대표적인 공정의 경우, Retaining device와 self-adjusting blank holder가 있다[4].

특히, 부가공정과 가변롤성형 공정장치를 설계함에 있어 각 부가공정 장치와 가변롤성형 공

1. 한국과학기술원 기계공학과

2. (주) POSCO

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

정의 롤 스탠드 간의 간격(span length)은 프로파일 플랜지영역의 길이방향 변형률에 영향을 미친다. 롤 스탠드 간의 간격이 가까우면 과도한 길이방향 변형률을 유발해 부가적인 형상결함을 발생시킨다. 이에 롤 스탠드 간의 간격을 선정하는 것은 가변롤성형 공정에서 중요하며 이에 대한 기준이 필요하다.

본 연구에서는 가변롤성형 과정에서 프로파일에 생기는 변형길이(deformation length)를 분석하였다. 가변단면을 갖는 프로파일의 주요 형상변수로 천이영역의 곡률과 천이각도를 선정해 형상변수 분석을 수행하였다.

2. 롤성형과 변형길이

변형길이(deformation length)는 Fig. 1과 같이 롤성형 과정에서 프로파일이 길이방향으로 연속적으로 성형되면서 발생한다. 굽힘각도 θ_a 에서 θ_b 로 굽힘되면서 플랜지 영역의 굽힘각도가 연속적으로 변화하는 구간으로 정의한다[5].

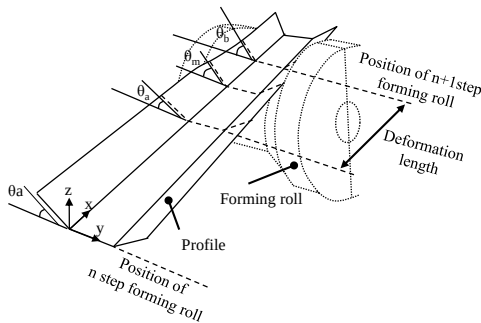


Fig. 1. Schematics of a deformation length of a profile with variable cross-sections during roll forming

롤성형에서 프로파일 플랜지 영역에서 부가적으로 발생하는 길이방향 변형률은 형상결함에 직접적으로 영향을 미치며, 이를 최소화하기 위한 연구들이 진행되었다[6]. 특히 변형길이는 성형 롤간의 간격(span length)를 선정함에 있어 중요한 변수로 간격이 너무 짧으면 플랜지 영역에 과도한 길이방향 변형률을 발생시키고, 너무 길면 불필요한 장치 공간을 소비해 비효율적일 수 있다. 하지만, 가변롤성형 공정의 가변단면을 갖는 프로파일에 대해서 변형길이에 대한 연구가

미진한 실정이다.

3. 가변롤성형과 변형길이

가변롤성형의 프로파일은 Fig. 2와 같다. 프로파일이 가변롤성형 롤스탠드에 의해 연속적으로 성형되는 개념도이다. Fig. 2(a)는 오목영역(concave zone), Fig. 2(c)는 볼록영역(convex zone)으로 가변롤성형 과정에서 발생하는 프로파일 플랜지의 변형길이를 나타내었다.

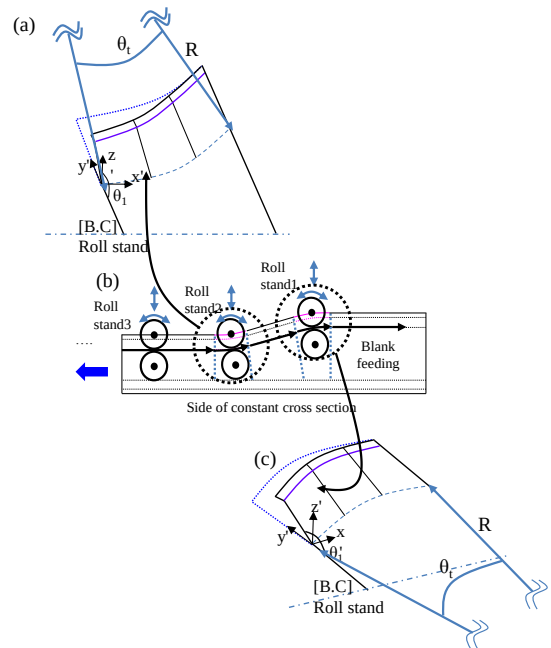


Fig. 2 Schematics of (b) a profile with variable cross-sections during flexible roll forming process and (a), (c) an initiation of deformation length on concave zone and convex zone

가변롤성형 과정에서 발생하는 가변단면을 갖는 프로파일의 변형길이를 분석하기 위해 형상변수는 Fig. 2(a)와 Fig. 2(c)에서 θ , R 로 선정해 각 변수에 대해 유한요소해석을 통해 분석하였다. 본 논문에서는 선행연구로서 오목영역(concave zone)에 대한 분석만을 수행하였다.

4. 유한요소해석

본 연구에서는 가변롤성형 소재의 길이방향

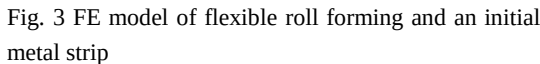
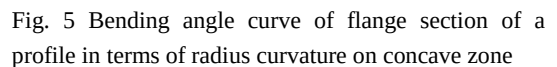
$$\sigma = K(\varepsilon_0 + \varepsilon)^n \quad (1)$$


Fig. 4는 형상변수 천이각도(Θ_t)에 대한 굽힘각도에 대한 그래프이다. 굽힘각도는 프로파일 플랜지의 가장자리 모서리의 node점의 좌표를 해석결과에서 측정하였다.

Fig. 4 Bending angle curve of flange section of a profile in terms of transition angle(Θ_t) on concave zone



6. 결 론

- 240 -

을 갖는 프로파일의 형상변수에 대응해 각 성형롤 간의 간격을 제어할 필요가 있음을 보여준다. 향후, 볼록영역에 대한 변형길이에 대한 분석이 필요하며 성형롤 간의 간격이 변형길이보다 짧은 경우, 플랜지의 길이방향 변형률에 미치는 영향을 분석할 필요가 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 (주)POSCO 사외위탁과제로 수행하였습니다. 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] P. Groche, G. Von Breitenbach., M. Jockel, A. Zettler, 2003, New tooling concepts for future roll forming applications, ICIT2003 conference,.
- [2] J. Larranaga, L. Galdos, C. Garcia, R. Ortubay, G.

Arrizabalaga., 2008, Flexible roll forming process reliability and optimization methods, ICTP2008 conference.

- [3] J. Larranaga, S. Berner, L. Galdos, P. Groche, 2011, Geometrical accuracy improvement in flexible roll forming lines, AMPT2010 conference.
- [4] S. Berner, M. Storbeck, P. Groche., 2011, A study on flexible roll formed products accuracy by means of FEA and experimental tests, ESAFORM2011 conference.
- [5] S.D. Zhu, 1993, Theoretical and experimental analysis of roll forming, Univ. of Auckland, New Zealand(Ph.D's Thesis)
- [6] M.M. Kasaei, H.M. Naeini, R.A. Tafti, M.S. Tehrani, 2014, Prediction of maximum initial strip width in the cage roll forming process of ERW pipes using edge buckling criterion, J. Mater. Process. Technol. 214 (2), 190-199.

초기 변형된 마그네슘 집합조직의 성형성에 관한 연구

배병범¹ · 이영선[#] · 김세종¹ · 윤은유¹

The research of formability on magnesium alloy of deformation texture

Abstract

Mg alloy has been focused for high specific strength, strong electromagnetic shielding, high recyclability, heat conduction quality and developed to increase the fuel efficiency and reducing the carbon emissions. Although there are already several usages of Mg alloy in the automotive and aerial industry, it is not easy to replace for the conventional transportation parts of Al alloy and steel due to its low elongation at room temperature by the limited slip system of the Hexagonal closed-packed structure. In this study, in order to observe the formability on the deformation texture of Mg alloy, the limit dome height tests and the tensile tests along the rolling direction (RD) were conducted. Also, microstructures were observed. As a result, it was investigated that the mechanical property improvement on the deformation texture of Mg alloy in comparison with the commercial As-received sheet by the limit dome height tests but there are the similar tensile test results on uniaxial strength and elongation. This result can expect to present a direction of Mg alloy development.

Key Words : magnesium alloy sheet, texture, formability, microstructure

1. Process Commercialization Center, Korea Institute of Materials Science

교신저자: Process Commercialization Center, Korea Institute of Materials Science, E-mail: lys1668@kims.re.kr

사각 단면을 가지는 파이프의 다단 롤 벤딩 공정 설계

손종윤¹ · 심도식^{2#} · 이은미¹ · 백경윤¹

Investigation into double-stage forming in roll bending of pipe with rectangular cross-section

J. Y. Son, D. S. Shim, E. M. Lee, K. Y. Baeck

Abstract

Bent pipes are widely used in many high-end industries as a structural component. Consequently, pipe roll bending has become an attractive manufacturing technology for forming lightweight products. For industrial applications, bent pipes should be accurately shaped into 2D or 3D shapes without defects. In this study, the behavior of pipes with rectangular cross-sections under roll bending was considered in order to improve product quality. When a pipe product is bent with a large curvature, the pipe cross-section shrinks under the bending moment. In order to minimize defects and improve product quality, this paper proposes double-stage forming to regulate the shrinking load, which causes the axial wrinkles and poor strength, as structural members. In double-stage forming, the bending radius at the pre-bending stage is assumed to be a key parameter to avoid cross-section distortion. In order to optimize the design of the pre-bending radius, material behavior was analyzed to figure out the reason for the cross-section shrinkage. The bending stresses on the cross-section of the pipe material subject to bending moments bring about the distribution of pressures, which induce distortion moments and shear forces on the cross-section. Considering the combined loading of shear forces and distortion moments, the collapse condition is determined by using a yield criterion. With the application of collapse conditions, the cross-section distortion is minimized by regulating the pre-bending radius at the first stage to be below the critical value. The proposed process design was evaluated through nonlinear finite element simulation using a commercial program and experiments.

Key Words : : Pipe, Roll bending, Bending moment, Shrinkage

1. 전남대학교

2. 한국생산기술연구원

교신저자: 한국생산기술연구원, imagineer@kitech.re.kr

콤바인용 픽업투스스의 유한요소해석

김진록¹ · 권태하¹ · 서창희[#] · 송준국² · 주민수²

Finite Element Simulation for Pick-up Tooth of Combine

J. R. Kim, T. H. Kwon, C. H. Suh, J. G. Song, M. S. Ju

Abstract

Pick-up tooth is a part of combine and used to harvest crops. Pick-up tooth is commonly made of plastic or steel. However, failure is often occurred during use. In order to improve the durability of pick-up tooth, rubber mounted pick-up tooth is developed in this study. Finite element simulation is used to examine durability. Stress concentration is appeared in the contact surface between steel tooth and rubber. In order to disperse stress concentration, design modification of pick-up tooth is conducted and the stress concentration decreased.

Key Words : Combine(콤바인), Pick-up tooth(픽업투스스), Finite element simulation(유한요소해석), Rubber(고무)

1. 대구기계부품연구원

2. 신안통상

교신저자: 대구기계부품연구원, E-mail:suhch@dmr.re.kr

이미지 필터를 적용한 투명 치아 교정 장치 성형용 프리폼 설계

손원식¹ · 정웅기¹ · 임성한[#]

Preform design for transparent orthodontic devices by using image smoothing filter

W. S. Son, W. G. Jung, S. H. Rhim

Abstract

In transparent orthodontic devices that fit comfortably over man's teeth and are designed to move them gradually into the desired orthodontic position, uniform thickness of the device plays an important role in teeth positioning. The devices are generally made by vacuum thermal forming, which is a technique for shaping plastic sheets into 3D shape. However, It was observed that large thickness deviation occurs in the transparent orthodontic plastic devices after the vacuum thermal forming operation. It seems due to the complex shape of teeth shape forming die. In the present investigation, to achieve uniform thickness deviation of the devices, a new forming process with a preform designed using image smoothing filters is suggested.

Key Words : Thermal Vacuum Forming, Preform, Blocker, Transparent orthodontic devices, Image filter,

1. 서 론

투명 치아 교정 장치(이하 교정 장치)는 폴리머 기반 투명 소재를 치열 형태로 제작한 후 환자가 이를 착용하여 치아를 이동시키는 제품으로 착용시 심미성이 우수하고, 치료 중 부착과 탈착이 자유로운 장점이 있다.

현재 투명 교정 장치는 환자의 치열을 디지털 모델링하여 교정 단계에 따라 배열한 후, 이를 금형으로 사용하여 플라스틱 시트를 소재로 진공 열성형(vacuum thermal forming)하여 제작된다.

그러나 치열 금형의 불규칙한 형상과 공정의 단순함 등으로 인해 성형과정을 거친 투명 교정 장치의 두께 편차가 크게 발생하여 교정 장치의 치아 위치 교정 기능이 저하되는 문제점이 제기되고 있다.

본 연구에서는 투명 치아 교정 장치의 두께

편차를 감소시키기 위해, 이미지필터(image filter)를 이용한 진공열성형품의 예비성형체(이하 프리폼) 설계기법을 제안하고, 이의 적용 가능성을 확인하고자 한다.

2. 프리폼 제작

투명 교정 장치를 제작하기 위해 플라스틱 소재를 대상으로 진공열성형을 실시하면, 복잡한 3차원 치열 금형 형상으로 인해 두께 편차가 크게 발생한다. 이를 최소화하기 위해, 평판 형상의 초기 성형체 대신 치열 형상을 부드럽게 처리한 프리폼을 사용하고자 한다. 프리폼을 제작하기 위해 이를 성형하기 위한 블로커(blocker)를 우선 설계하였다. 블로커의 여러 설계 기법 중에서 치열 윗부분(교합면)의 복잡한 높낮이(Z축 좌표)를 부드럽게 하기 위한 이미지 필터링 기법을 사용하였다.

환자의 치열로부터 얻어진 최종 치열 금형의 3차원 디지털 모델 중 Z축 좌표에 대해 저역통

1. 한국기술교육대학교 대학원

교신저자: 한국기술교육대학교 기계공학부,

E-mail:shrhim@koreatech.ac.kr

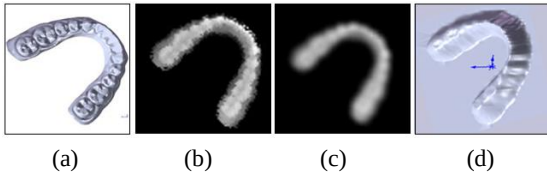


Fig. 1 Design process of blocker, (a) final die image, (b) projected image on xy plane of final die, (c) low-pass filtered image, (d) blocker image

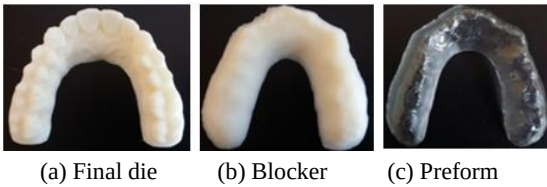


Fig. 2 Fabricated die, blocker and formed preform

과필터(low-pass filter)를 적용하여 교합면 형상을 부드럽게 하고, 얻어진 교합면을 유지하면서 체적이 최종금형과 같아지도록 구속조건을 처리하여 프리폼을 제작하기 위한 블로커(blocker) 형상을 얻을 수 있었다(Fig.1).

설계 결과로부터, 3차원 프린터를 이용하여 Fig.2 (a), (b)와 같이 최종 금형과 블로커를 제작하였다. 또한, 제작된 블로커로부터 진공 열성형 공정을 활용하여 프리폼을 제작할 수 있었다(Fig.2(c)).

3. 성형 실험 및 결과

진공 열 성형기를 사용하여 5bar의 진공압력과 120°C의 성형가열온도 조건에서, 최종 치열 금형으로 평판 형상 시편(초기성형체)과 프리폼(초기성형체를 블로커로 성형한 예비성형체)을 각각 성형하였다. 성형 실험에 사용된 평판 시편은 두께 1mm의 PET-G 소재이다.

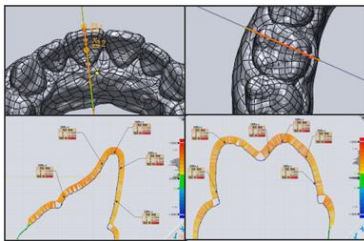


Fig. 3 Thickness measurement of devices (3D scanning)

Table 1 Cross-sectional thickness of formed devices

		With preform (mm)	Without preform (mm)
Anterior tooth	Min	0.6476	0.5014
	Max	0.9615	0.8987
Molar tooth	Min	0.6368	0.6712
	Max	1.0688	1.0202

두 가지 성형 결과(두께 분포)를 확인하기 위해, MPT(Miniaturized Projection Technique)방식의 3차원 스캐닝 기법을 사용하였다.

성형된 투명 교정 장치의 전치부(anterior teeth)와 구치부(molar teeth) 중 각각 1개 치아 영역을 선택하여(Fig.3), 두께를 측정하였다 (Table 1). 전치부 치아 영역 두께 중 최소값의 경우 예비성형체를 사용한 경우 두께가 29.2% 증가하는 등 교정 장치 면의 두께가 대부분 증가한 하였으나, 구치부 치아 영역의 경우 영향이 거의 없었다.

이는 본 연구에서 사용된 이미지 필터링 기법에서 전치부와 구치부 치아의 교합면 형상 특성을 고려하지 않았기 때문인 것으로 추정된다.

4. 결 론

본 연구에서는 투명 치아 교정 장치의 두께 편차를 감소시키기 위해, 이미지필터를 이용한 진공열성형품의 프리폼 설계기법을 제안하고, 이의 적용 가능성을 확인하였다.

향후 추가 연구를 통해 프리폼 설계 시 전치부와 구치부 교합면 형상의 특성 등을 반영하고 적절한 구속조건을 추가할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부가 후원한 산업핵심 기술개발사업의 지원을 받아 수행하였습니다.

참 고 문 헌

- [1] H. B. Shim, H. C. Noh, E. K. Suh, 2001, Preform Design by the Sensitivity Method, Transactions of Materials Processing, Vol. 10, No. 4, pp. 294~301

유한요소법을 이용한 파이프 인발 공정시 크랙 발생 저감을 위한 최적화 설계

송용현¹ · 임정숙² · 김덕령³ · 이영선^{1#}

Optimized design based on FEM for reducing surface crack during pipe drawing process

K. D. Hong, K. D. Kim, K. D. Lee(Times New Roman 10pt)

Abstract

Stainless steels are used in practical materials for industrial fields because stainless steel have excellent properties such as high strength, high corrosion resistance, gloss surface, etc. Stainless steel seamless pipes have been manufactured by hot extrusion, plug drawing, pilgering etc. In this study, optimized designs for plug drawing were proposed to reduce the surface crack and to enhance the surface quality. For this, FE simulations were carried out to find the process parameters which have an significant effect on the surface quality.

Key Words : Cold drawing(냉간 인발), Plug drawing(플러그 인발), SUS pipe(스테인레스 배관), Optimized design(최적화 설계)

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소

2. Forge Master Korea

3. 창원세아특수강 기술연구소

교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소, E-mail:lys1668@kims.re.kr

브레이딩 공법이 적용된 프로펠러샤프트의 물성평가와 전산해석

신동우^{1#} · 이재호¹ · 권일준¹ · 천진성²

Interlock Braiding Propeller Shaft of Material Property and Analysis

D.W. Shin, J.H. Lee, I.J. Kwon, J.S. Cheon

Abstract

Recently, demand for fuel efficiency and performance car of the car has increase. Transmission part is known that Chassis 10 times the weight reduction effect is good. In this paper, we conducted a study for forming the Preform to Interlock Braiding and then to prepare a Propeller Shaft impregnated with Polymers. Therefore, we have studied the changes in the strength and stiffness according to the amount of such polymer impregnation, the mixture ratio, the forming condition.

Key Words : CFRP, Propeller Shaft, Integrated, Interlock Braiding, Preform

1. 서 론

최근 자동차의 연비향상과 고성능자동차에 대한 요구가 늘어나고 있다. 특히 동력전달부품은 차체경량화 대비 약 10배 이상의 효과가 있는 것으로 알려져 있어 경량소재 적용을 위해 많은 연구가 진행되고 있다.

아래의 Fig.1은 프로펠러 샤프트로 자동차의 전방에 위치한 엔진의 동력을 뒤쪽의 구동축으로 전달하기 위한 부품으로 자동차의 신뢰성을 결정짓는 중요도가 매우 높은 부품이다.

따라서 높은 강도와 강성 그리고 피로, 충격에 의한 높은 신뢰성을 요구하는 부품이다.

본 논문에서는 3차원 브레이딩 공법을 통해 프리폼을 성형하고 수지를 함침시키는 방식의 공정을 적용하여 프로펠러샤프트를 제작하고 이에 대한 신뢰성 확보를 위해 생산공정상의 변수를

제어하여 연구를 진행하였다.

따라서 수지의 혼합비, 성형온도와 강화재의 성형패턴 등에 따른 제품의 강도변화에 대해서 연구하였다. 또한 기존의 브레이딩 공법과는 차별화된 3차원 브레이딩 (Interlock Braiding) 을 적용하여 더 높은 물성치를 구현하고자 하였다.

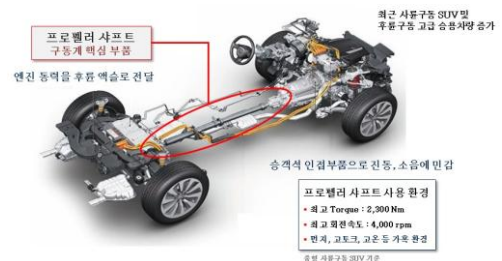


Fig. 1 Propeller Shaft

1. 다이텍연구원
2. 티포엘, 대표이사
교신저자: 다이텍연구원, shindongwoo@gamil.com

2. 물성평가

2.1 수지의 물성평가

본 개발과제는 Braiding preform을 이용한 제품 개발로, 구조재료로써 보강재인 섬유의 특성도 중요하지만, 이를 보강할 매트릭스(수지)의 성질 또한 중요한 인자가 되므로 고온, 고압의 성형방식으로 제작하는 프로펠러샤프트용 복합재료의 제조공정 상의 결점을 보완하기 위해 매트릭스로 사용되는 열경화성 수지의 특성을 조사함

열경화성 수지의 특성 조사를 위하여 에폭시계(국도화학)수지 4종, 불포화 폴리에스테르계(근영실업)수지 2종을 선택하여 연구하였음

에폭시계 수지는 기본적 Bisphenol-A형과 F형 그리고 관능기의 양이 많아 높은 가교 밀도를 가지는 Novolac형 및 Non-halogen계 에폭시 수지를 각각 한가지를 선택하여 분석하였으며, 불포화 폴리에스테르 수지는 기계적 물성이 우수한 제품군 2가지를 각각 선택하였음.

각각의 수지의 물성을 평가하기 위해 동일한 경화제(Amine계)로 경화시키고 인장 강도를 KS M ISO 527-4 규격으로 측정 (Guage length는 115mm, 인장속도는 10mm/min) 하였으며, 그 결과는 아래와 같음.

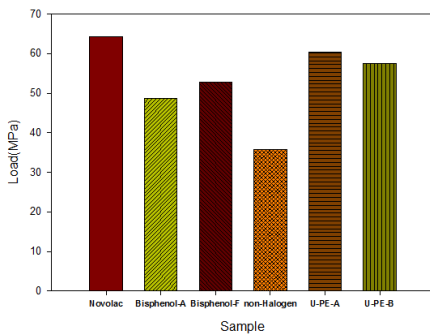


Fig. 2 Polymer Tensile Strength

2.2 경화제 첨가량 계산

수지의 경화를 위한 경화제는 수지의 종류에 따라 다음과 같이 경화제 첨가량을 조정하여 적용하였음

본 과제에서는 사용이 간편한 1액형 수지를 사용하고자 하며, 수지 제조를 위하여 잠재성 경화제인 DICY(Dicyandiamide)를 사용하고자 함.

DICY는 상온에서 분말형으로 메틸셀로솔브에 용해시켜 사용하였으며 반응촉진제로 2MI(2-Methylimidazole)를 이용함.

배합비를 선정하기 위하여 경화제 첨가량은 다음 식으로 계산함.

$$\text{첨가량}(phr) = \frac{\text{활성수소당량}}{\text{에폭시당량}} \times 100$$

여기서 활성 수소 당량은 아래 식으로 계산하였음.

$$\text{활성수소당량} = \frac{\text{Amine의 분자량}}{\text{Amine의 활성수소의수}}$$

Table 1 Recipe of Epoxy

에폭시 종류	에폭시	DICY	MCs	2MI	당량 (EEW)
BPA-Novolac형	100	6	30	0.120	200-220
Bisphenol-A형	100	6.81	34.1	0.136	184-190
Bisphenol-F형	100	7.4	37	0.148	170-180
Non-Halogen계	100	4.5	22.5	0.090	270-300

2.3 수지에 따른 복합소재 물성치 변화

위와 같이 경화제의 최적조건과 수지에 따른 복합수지의 인장강도의 변화를 관찰하기 위해 KS M ISO 527-2의 성형 및 압출 플라스틱의 인장성 측정법에 의거하여 진행하였음

시편은 Hot Press Mold에서 160℃에서 경화하였고, 80℃의 온도에서 30분간 안전화 시킨후 샘플을 탈거하였음.

Guage length는 115mm, 인장속도는 10mm/min으로 진행하였으며 그 결과는 아래의 그림과 같음

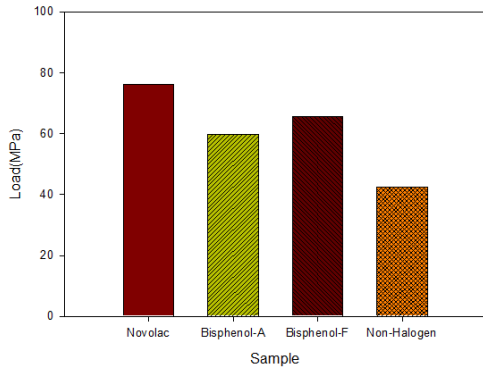


Fig. 3 Composite Tensile Strength

2.2 강화제의 물성평가

본 연구를 통해 개발하고자 하는 재료의 물성 목표는 구동부품에 적용되는 만큼 높은 수준의 강도와 강성을 요구하고 있다.

이중 복합소재의 구조해석을 위해서는 탄성계수가 매우 중요함으로 이를 묘사하기 위해 아래 그림과 같이 방향별 탄성계수를 적용하여 확인하였음

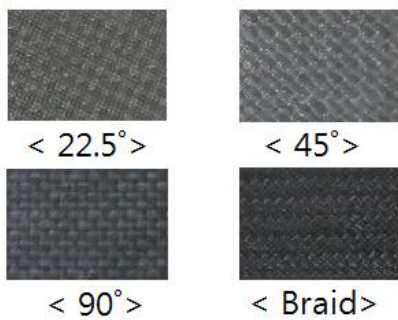


Fig. 4 Fiber Direction

Table 2 Material Property (MPa)

%	22.5°	45°	90°	Braid
80%	223.86	688.13	181.88	105.03
70%	195.88	602.12	159.14	91.9
60%	167.9	516.1	136.41	78.77
50%	139.91	430.08	113.67	65.64

3. 해석조건

3.1 실험조건

샤프트의 강도를 확인하기 위해 아래와 같은 방식의 실험이 진행되었음 본 연구에서는 연구를 통해 얻어진 물성치와 실제 제품을 적용했을때의 물성치를 비교하기 위해 RS R 0088 "승용차용 추진축 PROPELLER SHAFT FOR PASSENGER CAR"의 비틀림 강도 시험과 내환경성 평가시험 방법에 의거하여 시험 수행하였고, 동일한 해석조건을 구현하고자 하였음

한쪽 끝단을 고정한 상태에서 다른 끝단부에서 800N.m의 조건으로 비틀림이 발생하는지 여부를 판단하도록 하였음



Fig. 5 Test method (RS R 0088)

3.2 해석조건

전산해석의 조건은 위 실험과 동일하도록 아래의 그림과 같이 조건으로 산정하였음

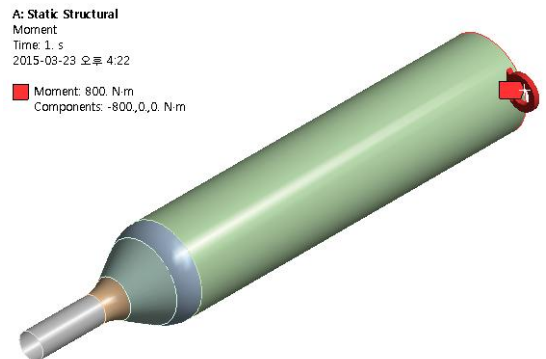


Fig. 6 Boundary condition

4. 해석결과

4.1 해석결과 및 시험결과

해석결과 단면 형상변화부에서 취약한 것을 확인할 수 있었으며, 실험의 결과에서도 같은 양상을 나타냄을 확인할 수 있었음

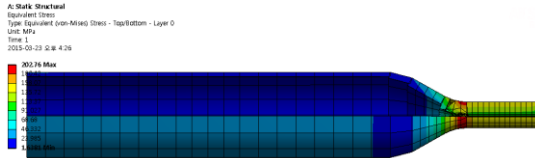


Fig. 7 Simulation Result



Fig. 8 Test Result

하지만 자동차용 부품으로 적용하기 위해서는 4,000 N.m 이상의 정적강도에는 미치지 못함을 확인하였음.

이러한 결과의 원인은 실험결과상으로 확인하였을 때 수지가 완전히 경화되지 않았기 때문으로 판단됨

후 기

본 연구를 통해 3차원 브레이딩 공법을 적용한 고강도 프로펠러 샤프트 개발을 진행을 위한 수지 및 소재개발에 대한 연구를 진행하였으나 아직 강도보완을 위한 조건설정에 대한 연구가 더 진행되어야 하는 과제로 남아있음

참 고 문 헌

- [1] Boisse, P., Hamila, N., Vidal-Salle, E. & Dumont, F.: Composite Science Technology, 71-5 (2011), 683–692.
- [2] Tavana, R., Shaikhzadeh, N.S., Tahaye A.M. & Sedighi M.: Journal of Composite Materials, 47-17 (2013), 2075-2085.
- [3] Hashin, Z.: Journal of Applied Mechanics, 47 (1980), 329–334.
- [4] ASTM D3039/D3039M-00. Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials. American Society for Testing Materials. [CD-ROM]; 2004.
- [5] Lee, W., Padvoiskis, J. & Cao, J.: International Journal Material Forming, 1-1(2008), 895–898.
- [6] J. & Wang, J.: Composites Science and Technology, 60(2000), 977-986

1500MPa급 핫스탬핑 강판의 연화열처리에 관한 기계적 특성 평가

심우정[#] · 전형준² · 박용호¹ · 송명환² · 김경보³

Evaluation of Mechanical Characteristic for Softening Heat Treatment of 1500MPa Hot Stamping Steel

W. J. Sim, H. J. Jeon, Y. H. Park, M. H. Song, K. B. Kim

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 output variance 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 (핫스탬핑), Induction-Heating (고주파 열처리), Brittle-Fracture (취성파단)

1. 서 론

최근 자동차산업에서는 연비개선 및 환경 규제의 강화로 차량의 중량을 줄이는 동시에 충돌 시 승객의 안전성 확보라는 두가지 상반되는 목적 달성을 위해 1GPa급 이상의 초고강도 소재를 이용한 자동차 차체 부품 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다. 하지만 소재의 강도가 증가할 수록 금형의 수명 저하 및 탄성 회복(Spring back)현상으로 인한 치수 정밀도의 확보가 어렵고 낮은 연신율로 성형성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위한 방법으로 성형성이 우수한 810°C 이상의 온도 조건에서 성형을 하는 핫스탬핑 (Hot-

Stamping) 기술을 적용한 방법이 많이 사용되고 있다. 핫스탬핑 기술이란 고온으로 가열된 소재를 금형을 이용한 성형함과 동시에 냉각 함으로써 제품의 강도를 향상시키는 기술이다. 하지만 핫스탬핑 기술을 적용한 소재는 취성 파단이 발생하는 문제점을 가지고 있다[1,2].

이 문제점을 보완하기 위하여 두께가 다른 판재를 레이저 용접하여 핫스탬핑 성형하는 TWB (Tailor Welded Blank)기술과 핫스탬핑 성형시 프레스 금형의 냉각부위 및 냉각속도를 조절하여 급랭부와 서랭부를 상존시키는 기술인 금형 파설 쿨칭이 사용되고 있다. 하지만 TWB 방식의 경우 고온에서 산화를 방지하기 위한 Al-Si 도금층이 레이저 용접시의 도금에 사용되는 원소의 모재 유입으로 인한 용접 취약부로 나타나는 문제가 있다[2-4].

1. (주)새한산업
2. (주)명진테크
3. 현대자동차(주)

교신저자: (주)새한산업, E-mail: swj1207@saehani.com

그리고 금형 파설 키텍의 경우 냉각방식이 적용된 금형 제작 및 비용 상승의 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 핫스탬핑으로 경화된 소재의 취성 파단을 보완하기 위해 소재 국부연화 후처리 기술을 적용하여 연성을 확보하는 방안으로 고주파 유도가열을 적용하였다. 고주파 유도 가열시 출력 조건별 온도와 경도를 측정하여 국부연화처리에 따른 핫스탬핑 강판의 물성 변화를 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 소재

본 연구는 핫스탬핑에 적용되는 두께 1.2t 인 Al-Si 도금된 보론강을 사용하였다. Table 1은 보론강의 화학성분을 나타내었다.

Table 1 Chemical Composition of Boron Steel

[Unit;wt%]				
C	Si	Mn	P	S
0.2170	0.2861	1.5173	0.0120	0.0016
Nb	Ti	V	B	Fe
0.0011	0.0021	0.0008	0.0026	Bal.

Table 2 Condition of Induction-Heating Process

[Unit: kw]			
No.	Induction-Power	No.	Induction-Power
1	3.5	6	6.0
2	4.0	7	6.5
3	4.5	8	7.0
4	5.0	9	7.5
5	5.5	10	8.0

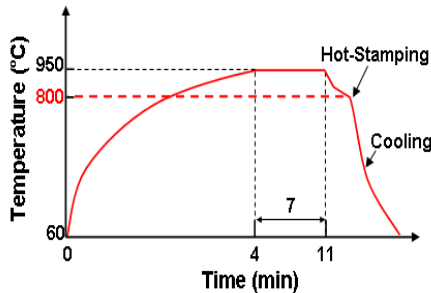


Fig. 1 Hot-Stamping Process

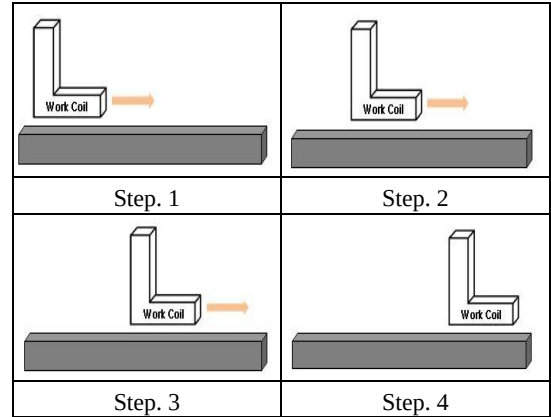


Fig. 2 Induction-Heating Process

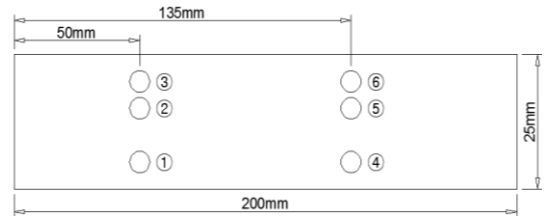


Fig. 3 Check point of hardness

보론 소재를 Fig. 1과 같은 온도에서 핫스탬핑 공정을 진행하여 최종적으로 약 1500MPa 강도를 나타내는 소재를 만들었다.

2.2 고주파 열처리

핫스탬핑 공정이 완료된 길이 200mm, 폭 25mm 판재 형태의 시편을 사용하여 Table 2와 같은 고주파 출력을 변수로 연화 열처리를 진행하였다. Fig. 2와 같이 열처리 방법은 고주파유도가열 공정에 많이 사용되는 공법으로, 일정 속도 및 다양한 변수 등을 적용하기 위해 로봇(Robot)에 고주파 코일을 장착하여 스캔방식을 적용하였다. Table 2는 고주파 출력 값에 대한 변수를 나타낸 것으로 총 10가지 조건에 대해 실험을 실시하였다.

2.3 온도 측정 및 경도 측정

온도측정은 고주파 코일의 이동 경로를 따라 적외선 온도계(Testo사)로 측정하였다. 또한 경도

측정은 고주파 열처리 이후 비커스 경도기를 이용하여 측정하였다. 측정 위치는 Fig. 3과 같이 총 6point에 대해 측정을 진행하였고, 폭 방향으로 5mm, 15mm, 20mm를 측정 하였다.

2.4 미세조직

미세조직은 시편의 수직방향으로 절단하여 SEM를 이용하여 형상을 확인하였다.

3. 실험 결과

3.1 핫스탬핑 공정 후 기계적 성질

핫스탬핑 공정 후 보론강의 기계적 성질 및 조직시험을 실시하였다.

Table 3 Result of tensile test

	Tensile Strength	Elongation
After Hot-Stamp	1,470 MPa	5.0 %

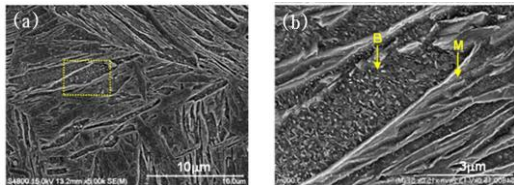


Fig. 3 Microstructure of after hot-stamping
(a) Low magnification, (b) High magnification

Table 3와 같이 인장강도 및 연신율은 현재 사용하고 있는 핫스탬핑 공정 이후의 보론강의 강도와 동일하다. 미세 조직의 경우는 Lath한 Martensite 조직과 Martensite 조직 사이 입내에 미세한 석출상이 존재하는 Bainite 2상 조직으로 구성되어 있는 것을 확인하였다.

3.2 고주파 유도가열 열처리-온도측정

고주파 출력 변화시 소재에 대한 평균 온도를 측정한 결과 Fig. 4와 같이 나타냈다. 고주파 출력이 증가할 수록 소재에 가해지는 평균 온도는 비례하는 것을 확인하였다. 이는 코일에 인가된 출력량이 상승하면서 와전류 손실과 히스테리시스 손실에 의해 저항이 높아지면서 온도가 상승하는 것을 알 수 있다[7].

3.3 고주파 유도가열 열처리-경도측정

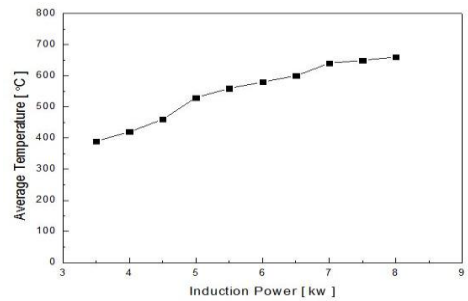


Fig. 4 Induction Power due to Average temperature

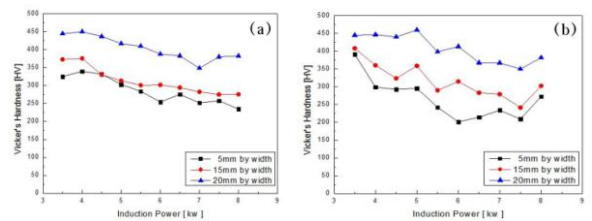


Fig. 5 Hardness (a) 50mm by length and (b) 135mm by length

Fig. 5는 경도 측정 결과를 나타낸 것으로 고주파 코일은 폭 방향(25mm)의 중심부인 10mm 방향으로 지나갔지만 경도가 가장 낮은 부분은 폭 방향 기준 5mm 부분으로 나타났다.

이는 고주파 유도가열의 특성인 표피효과(Skin Effect)에 의한 현상으로 소재가 끝나는 절단면이나 홀과 같은 부위의 끝단 표면에 전류가 집중되어 흐르는 현상이 발생하게 된다[7]. 따라서 소재가 끝나는 면에서 가까운 5mm구간에서 가열온도가 높은 현상이 발생하기 때문에 경도가 하락하는 경향을 보였다. 폭방향 20mm에서 연화가 낮은 이유는 고주파 코일과의 거리가 멀기 때문에 충분한 가열이 이루어지지 않아 나타나는 현상으로 판단된다. 길이방향 50mm와 135mm의 경도는 비슷한 경향을 보이는 것으로 전체적인 가열은 원활하게 일어나는 것으로 판단된다.

3.4 고주파 유도가열 열처리-미세조직

Fig.6은 미세조직을 측정한 결과를 나타낸 것으로 기존 핫스탬핑 후 소재의 미세조직과 비교시 Lath한 Martensite 조직이 감소하는 현상을 보였다. 또한 고주파 출력이 증가 할수록 Lath한 Martensite 조직이 감소하는 경향을 Fig. 6 (b)와 (d)에서 확인할 수 있다. 고주파 출력이 8.0kw가

지 증가 할수록 보이는 현상인 결정립계(Grain Boundary)에 미세한 석출상을 관찰 할 수 있다.

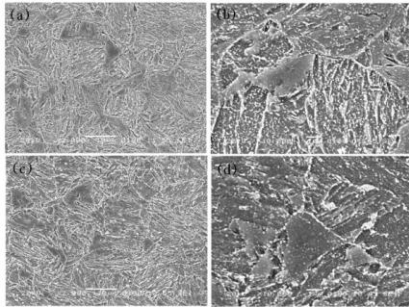


Fig. 6 Microstructure of after Induction-Heating

(a) Induction Power: 4.0kw, X2,000

(b) Induction Power: 4.0kw, X10,000

(c) Induction Power: 8.0kw, X2,000

(d) Induction Power: 8.0kw, X10,000

이는 선행 연구된 논문에 따르면 열처리 후 나타나는 입계의 경우 Prior Austenite 결정립계이며 열처리시 과포화하고 있는 불안정한 Martensite 조직이 열에너지로 인해 탄소가 결정립계로 이동하여 $Fe_{23}(C,B)_6$ 상으로 석출된 것으로 조사된다[8,9].

4. 결 론

1500MPa급 핫스탬핑 공정을 완료한 보론강에 고주파 유도가열을 이용한 연화 열처리에 관한 기계적 특성 및 미세조직을 평가해본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 고주파 열처리를 통한 소재의 평균온도는 3.5kw에서 390℃, 8.0kw에서 660℃로 나타났으며 고주파 출력이 증가 할수록 소재에 가해지는 평균온도가 증가하는 것을 보였다.

(2) 고주파 열처리를 통한 경도 감소율은 코일의 이동경로 및 시편의 형상에 영향이 있지만 최대 59.7%에서 최소 8.0%의 감소율을 보였다.

(3) 고주파 열처리를 통해 핫스탬핑 후 보론강의 미세조직이 Martensite 조직에서 Tempered Martensite 조직으로 변화되는 것을 확인하였다.

(4) 고주파 열처리 출력에 따른 영향 연구를 통하여 연화열처리 적용 가능한 공정 조건을 제시하였다.

(5) 고주파 열처리의 특성인 소재의 절단면이

나 홀과 같은 부위의 온도가 집중적으로 발생하는 현상을 개선하기 위한 추가 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] H. Karbasian, A.E. Tekkaya, 2010, Journal of Materials Processing Technology, J. of Materials Processing Technology, Vol.210, pp2104~2118
- [2] Y. S. Ban, Development of complex phase steel for hot-stamping to enhance performance of crashworthiness, Mater Dissertation, Univ. of Sunchon
- [3] B. H. Kim, J. P. Kong, C. Y. Kang, 2012, Effect of Hot-stamping Heat treatment on Microstructure and Hardness in TWB Laser Joints of Al-Si-coated Boron Steel and Zn-coated DP Steel, J. Korean. Met. Mater., Vol. 50, No.3, pp 224~232.
- [4] H. S. Choi, W. S. Lim, C. G. Kang, B. M. Kim, 2011, A Local Softening Method for reducing Die Load and Increasing Service Life in Trimming for Hot Stamped Part, J. Transactions of Materials Processing, Vol.20, No6, pp427~431
- [5] K. Mori, T. Maeno, K. Mongkolkaji, 2013, Tailored die quenching of steel parts having strength distribution using bypass resistance heating in hot stamping, J. of Materials Processing Technology, Vol. 213, pp508-514
- [6] B. C. Kim, S. H. Lee, D. Y. Lee, N. J. Kim, 1991, Fracture Mechanism of Tempered Martensite Embrittlement in an Ultra- High Strength Steel, J of the Korean Inst. Of metals, Vol.29, No.2
- [7] K. S. Park, 2014, Effect of the induction treatment and the heating coil shape on the surface hardening Rack Bar, Master Dissertation, Univ. of Ulsan Pusan
- [8] Hardy Mohrbacher, Niobelcon bvba, Schilde, Belgium, Metallurgical optimization of martensitic steel for automotive applications
- [9] R. M. Horn Robert O. Ritchie, 1978, Mechanisms of Tempered Martensite Embrittlement in Low Alloy Steels, J. metallurgical transactions, Vol.9A, pp1039~1053

밀정수를 고려한 형상압연 공정의 유한요소해석

엄재근¹ · 손일현² · 전만수[#]

Finite element analysis of shape rolling process considering mill constant

J. G. Eom, I. H. Son, M. S. Joun

Abstract

In this paper, three-dimensional finite element analysis of shape rolling process is conducted considering the movement rolls due to structural deformation of roll stand due to roll separating force. An iterative approach is applied to meet the force balance between roll separating force and screw-down force. A stable approach to automatic simulation of a sequence of multi-stand shape rolling processes is also introduced. A sequence of bloom rolling processes is simulated using the presented approach.

Key Words : Shape Rolling(형상압연공정), Mill Constant(밀 정수), Finite Element Method(유한요소법), Equipment Structural Deformation(장비구조 변형)

1. 서 론

소성가공 장비는 큰 성형하중 하에서 작동되므로 이 성형하중에 의하여 장비의 구조적 변형이 불가피하다. 단조의 경우도 성형하중에 따라 다른 조건이 동일하다면, 하사점이 다르다. 따라서 공정설계 시에 특히 정밀단조에서는 이러한 점을 고려해야 한다[1]. 일반적으로 단조의 경우 성형하중이 매우 작을 경우에는 급격하게 상대변위가 발생하며, 어떤 임계치를 지나면, 성형하중과 변형 간에는 직선적인 특성을 갖는다. 다시 말하면, 접촉초기에는 부품간의 간격 및 접촉상태 등의 영향으로 단조기 및 금형 세트가 상대적으로 작은 스프링 역할을 하는 반면, 후반부에는 비교적 강한 선형 스프링 역할을 한다.

압연의 경우, 다단 롤 스탠드의 각 패스에서 입구측의 단면에 따라 하중이 변하며 이는 출구측의 단면 변화를 야기시킨다. 이는 압하력에

따른 롤 스탠드의 구조 변형에 기인하며, 1mm의 롤 간격 변경을 발생시키는 압하력을 밀정수(mill constant)로 정의한다. 물론 실제의 압연 중에 출구측의 요구 형상을 고려하여 지속적으로 상하부 롤 간의 간격을 제어한다. 이 때, 정확한 밀정수의 확보가 공정설계 및 제어에 필수적이다[1].

이 논문에서는 물을 강체로 보되, 롤 스탠드를 압하력에 대하여 선형탄성적으로 변형된다는 가정하에 형상압연공정 해석을 실시한다.

2. 압하력에 의한 롤 스탠드의 변형을 고려한 형상압연공정의 해석

일반적으로 형상압연공정은 다단으로 이루어져 있다. 그리고 경우에 따라서 출구와 입구에서 밀거나 당기는 힘이 가해질 수 있다. 박판압연의 경우, 마찰언덕이 뚜렷이 존재하지만, 형상압연의 경우 그렇지 못하다. 물론 부분적이거나 삼차원 형상으로 접촉조건이 형성될 수 있다.

1. ㈜엘에프알씨 기술연구소

2. POSCO

교신저자: 경상대학교 기계공학부,

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

형상압연에서는 비교적 넓은 영역에 걸쳐 소성변형이 발생한다. 박판압연의 경우, 마찰언덕을 미지수로 간주하여 적절한 해법을 사용하면, 안정적으로 수렴해 또는 공학적 수렴해를 얻는 것은 어려운 일이 아니다. 그러나 3차원의 경우, 접촉영역에서의 요소 수의 한계와 복잡한 형상의 접촉 구간으로 인하여 2차원과 같은 안정적 해석 기법을 찾기가 용이하지 않다.

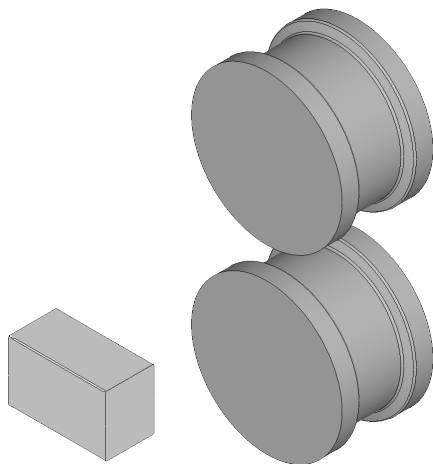
이 연구에서는 전방 및 후방의 하중을 만족하는 속도를 미지수로 간주하고 이를 만족하는 속도를 축차적 방법으로 구함으로써 형상압연 공정의 안정적 해석을 도모하였다.

그리고 압하력에 따른 롤 스탠드의 변형을 감안하기 위하여 밀정수에 의한 롤 간의 간격 변화를 고려하였다. 롤 간격의 조절은 해석 중 롤의 상하 속도의 부여를 통하여 해소하였다.

Fig. 1은 bloom 압연공정에 사용된 롤의 형상 중의 일부를 나타낸다. 이 논문은 다만 형상압연 공정의 해석 기법에 초점이 맞추어져 있으므로 제시된 적용 예제에 사용된 조건은 실공정 정보에서 일부를 수정하거나 가정한 것으로 실공정과는 다소 거리가 있을 수 있다. 주요 해석 정보는 다음과 같다.

밀정수: 2000 kN/mm

마찰계수: 0.3



(a) Workpiece (b) Dies used for Pass 1 and 2

Fig. 1 Workpiece and die geometries

Fig. 2에 해석결과를 나타내었다. 제1패스에 대하여 밀정수 고려의 영향을 조사하였다. Fig. 3은

롤간의 변형 허용의 경우와 불허용 경우의 하중을 비교하고 있다. 밀 정수 2000 kN을 감안하면, Fig. 4에서 보는 바와 같이 약 2.0mm의 롤 간격 차이가 발생하였음을 추정할 수 있다.

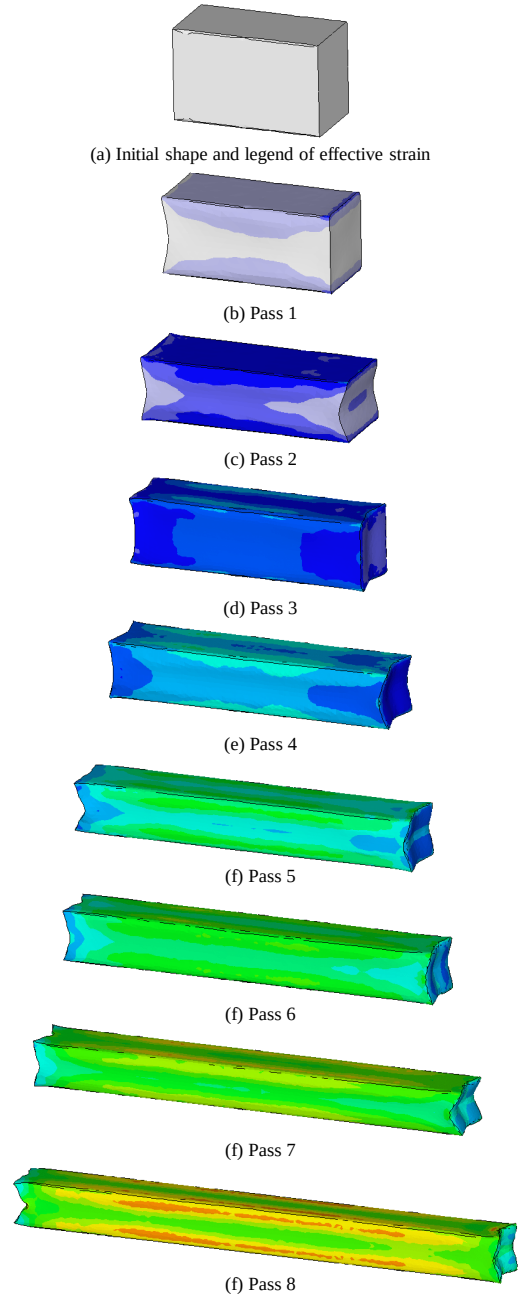


Fig. 2 Predictions of a sequence of bloom rolling processes

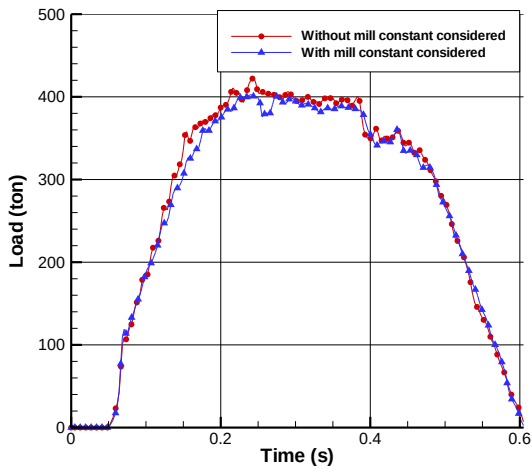


Fig. 3 Comparison of load

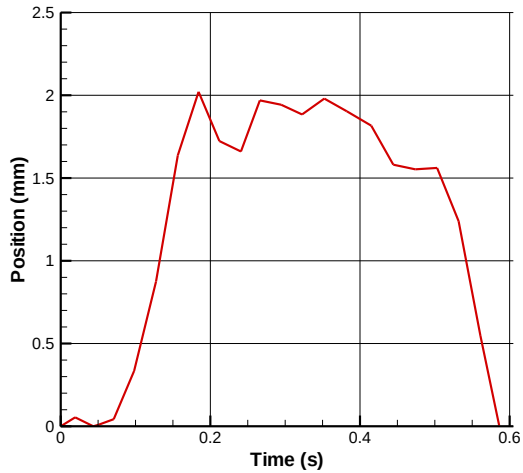


Fig. 4 Variation of the roll position

4. 결 론

이 논문에서는 형상압연 중 압하력에 의한 롤 스탠드의 변형에 기인하는 롤 간격의 변화를 고려한 공정해석 기법이 제안되었다. 이 기법은 안정적 형상압연 공정 해석 기법과 함께 압하력 변화에 따른 롤 속도의 축차적 예측기법을 사용하고 있다.

제안된 기법은 블룸 압연공정의 문제에 적용되었다.

후 기

본 연구는 POSCO와 BK PLUS사업의 지원을 받아 수행한 연구임.

참 고 문 헌

- [1] POSCO, 2008, Mill constant measuring method of continuous rollingmill, Patent 1008543610000.

크랭크샤프트 단조 공정 중 금형마모의 유한요소해석

엄재근¹ · 이민철¹ · 이장호¹ · 최영길² · 김동환³ · 전만수[#]

Finite element prediction of die wear in hot forging of a crankshaft

J. G. Eom, M. C. Lee, J. H. Lee, Y. G. Choi, D. H. Kim, M. S. Joun

Abstract

In this paper, finite element prediction of die wear is conducted using non-isothermal finite element analysis of an actual hot forging process for a commercialized crankshaft. The Archard wear model with a law of hybrid friction is utilized. The non-isothermal finite element method is employed and the predictions are also compared with isothermal finite element predictions with emphasis on the metal flow lines.

Key Words : Crankshaft Hot Forging(크랭크샤프트 열간단조), Forging Simulation(단조 시뮬레이션), Die Wear(금형 마모)

1. 서 론

단조의 경쟁력을 좌우하는 요소 중에 하나가 금형의 수명이다. 냉간단조에서는 단조 중의 파괴 및 소성변형이 금형 파손의 직접적인 원인이 되고 있다. 반면, 열간단조의 경우는 마모 및 열피로가 주 원인이 되고 있다 [1].

금형 마모수명의 예측을 위한 유한요소법의 응용은 오래전부터 시도되었고 기본 기능이 제공되기 시작한 것은 꽤 오래된 일이다. 그러나 그 응용연구가 원활하게 이루어지지 않았다. 그 원인은 관련 프로그램의 개발자와 사용자 모두 성형해석 그 자체에 많은 노력을 투자할 수밖에 없는 상황이었다. 최근, 단조 시뮬레이션 기술의 발전으로 금형마모에 관한 유의미한 연구를 할 수 있는 여건이 성숙되고 있다.

이 연구에서는 AFDEX의 최근의 기능을 활용하여 크랭크샤프트의 열간단조 공정을 정밀하게

해석하였다. 그 결과 중에서 온도분포 및 마모 계산 결과 중심으로 소개하고자 한다.

2. 공정의 해석 및 소성유동선도의 가시화

Fig. 1은 선행연구에서 단류선의 가시화 목적으로 등온 유한요소해석을 실시한 크랭크샤프트 열간단조 공정을 나타내고 있다. 이 공정은 선행연구[2]에서 등온조건 하에서 해석되었으며, 소성유동선도를 강조하여 그 결과가 소개되었다. 이 논문에서는 비등온조건을 제외하면, 선행연구와 동일한 조건하에서 해석을 실시하였다.

금형-소재 접촉면에서의 마찰은 쿨롱마찰법칙을 따르고 마찰계수는 0.2로 가정하였다. 공정해석을 위하여 요소의 수가 200000개 내외가 되도록 하였다. 금형의 속도는 JFP-4000의 장비조건을 그대로 사용하였다. 즉, 회전수 60 spm, 행정거리 380 mm의 슬라이더-크랭크 프레스의 조건을 사용하였다. 단과 단 사이에서 체류 및 이송간의 시간동안 공냉 현상과 금형과 접촉 열전달 현상을 감안하였다.

1. ㈜엠에프알씨 기술연구소

2. 삼우정공

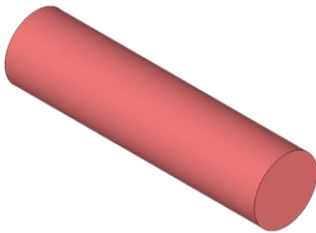
3. 한국국제대학교 항공부품공학과

교신저자: 경상대학교 기계공학부,

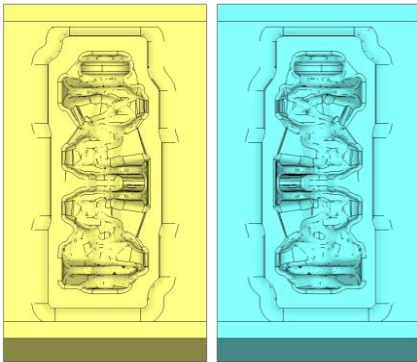
E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

열전달해석 및 마모지수 예측을 위해서는 소재는 물론이고 금형의 요소품질은 매우 중요하다. 따라서 이 연구에서는 적합한 요소망 생성기법을 개발하여 적용하였다. Fig. 2는 제3단에서 사용된 하형의 유한요소모델을 나타내며, 총 100000 개의 요소로 구성되어 있다.

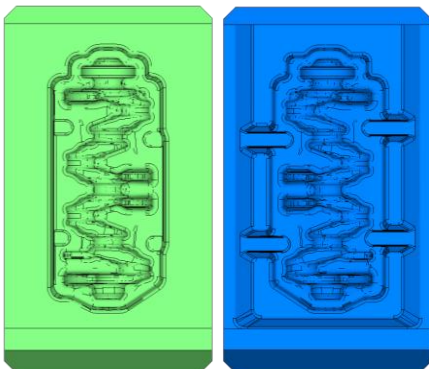
Fig. 3는 등온조건 및 비등온조건 [3] 하에서 실시한 해석결과에서 최종 소성유동선도를 비교하고 있다. 두 결과는 크지 않다. 그러나 온도가 마모에 미치는 주요 인자이므로 마모해석을 위한 비등온해석은 매우 중요하다.



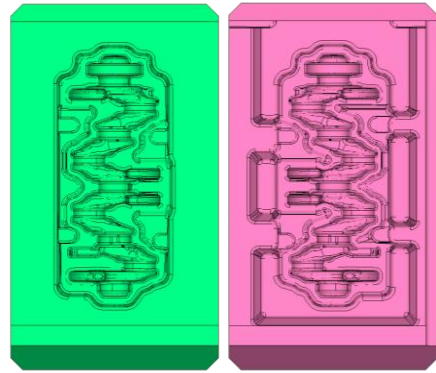
(a) Workpiece



(b) Dies for the first stage



(c) Dies for the second stage



(d) Dies for the third stage

Fig. 1 Process design of a crankshaft

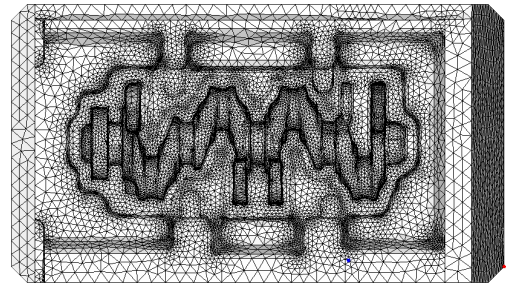
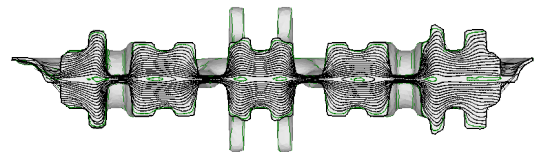
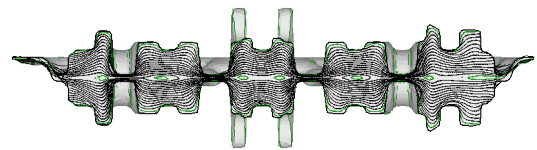


Fig. 2 Finite element mesh system of the lower die of the third stage



(a) Isothermal



(b) Non-isothermal

Fig. 3 Comparison of isothermal and non-isothermal predictions in terms of metal flow lines at the final stroke

마멸마모는 마찰면에서 발생한 마찰에너지, 마찰면의 온도, 금형의 경도 등의 함수이다. 그리고 마모량의 증가에 따라 마찰이 증가하는 반

면 표면경화된 금형의 경도가 크게 감소하므로 마모가 진행되면서 마모가 급속히 가속되는 경향이 있을 수밖에 없다. 그리고 열피로에 의한 국부 크랙에 이은 표면박리(spalling) 현상은 부분적으로는 마모보다 심각한 경우도 있다. 따라서 마모에 관한 정량적 연구가 필수적이다.

이 논문은 마모현상의 정량적 연구를 위한 선행연구에 관한 것으로 다음의 Archard 마모 모델[4]에서 계수 k 를 1로, H 를 1/3로 가정함으로써 가장 단순화시켜 사용하였다. 결과적으로 마모지수는 쿨롱마찰법칙을 사용하였으므로 마찰면에서 발생한 마찰일과 비례한다.

$$\omega = \int_0^t k \frac{\sigma_n |u_t - u_t^p|}{3H} dt$$

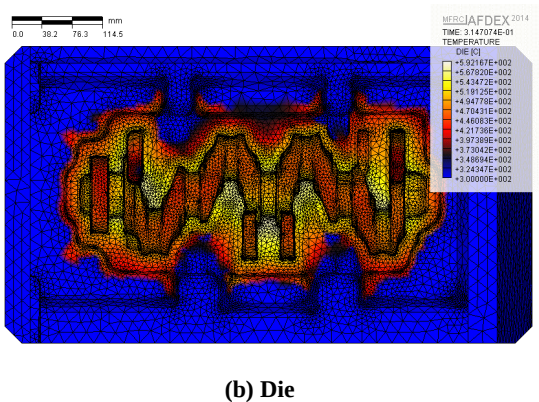
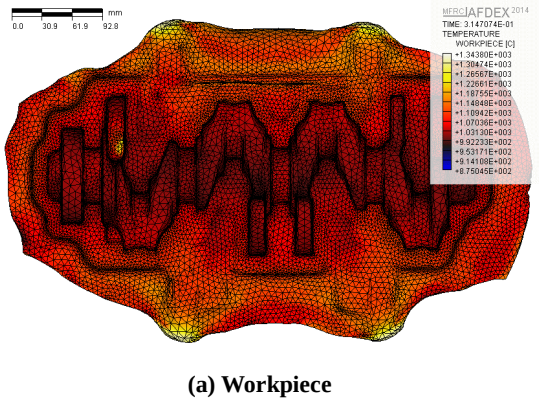


Fig. 4 Cross-sections on which metal flow lines are to be visualized

Fig. 4은 공정해석 결과를 나타낸 것으로 최종 순간의 소재 및 금형(3단의 하형)의 온도분포를 나타낸다. 그리고 Fig. 5는 제3단에서 하형에서 마모지수가 변해가는 과정을 나타내고 있다.

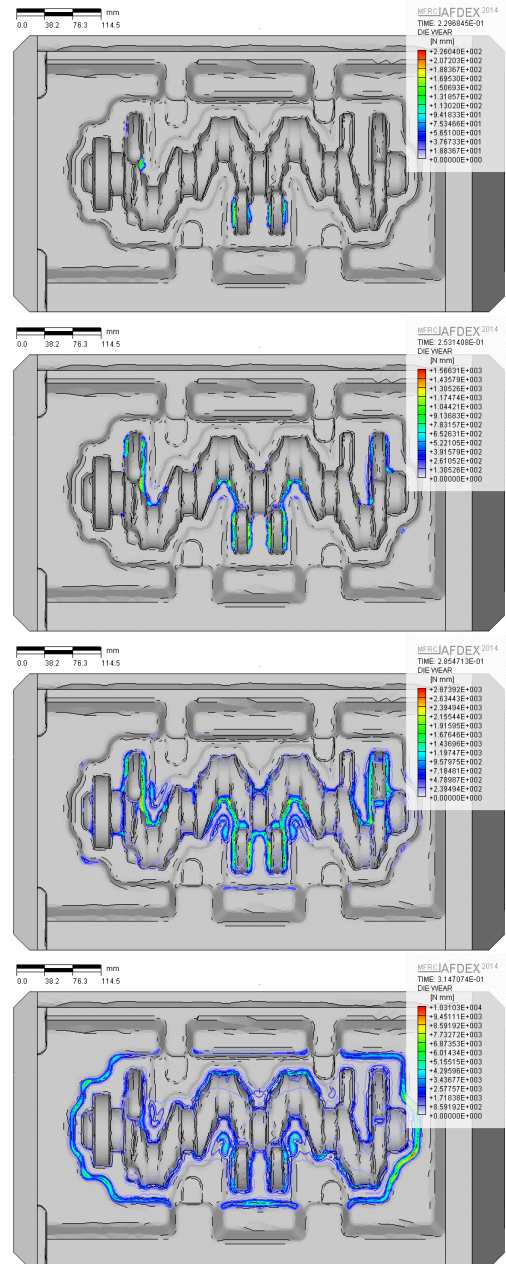


Fig.5 Variation of wear index with stroke of the lower die at the third stage

Fig. 5에서 보는 바와 같이, 금형의 마모는 주로 금형랜드 부위에서 단조 덧살의 발생에 기인한다. 따라서 공정설계의 최적화 및 수율 극대화를 통하여 금형 수명 향상을 꾀할 수 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 실제 크랭크샤프트 형상의 복잡성이 공정 최적화의 오랜 걸림돌이 되고 있다.

4. 결 론

이 논문에서는 금형 마모의 정량적 연구를 위한 선행연구와 관련된 것으로 크랭크샤프트의 비등온해석 및 마모지수 해석결과를 제시하였다. 금형의 마모해석을 위해서는 소재 뿐만 아니라 금형의 요소망생성에 세심한 주의가 요구된다. 이 연구에서는 이러한 점을 반영하여, 금형의 온도 및 마모지수의 예측에 적합한 기능을 확보하였다. 이 결과는 후속된 마모현상의 정량적 연구의 시발점이 될 것이다.

그리고 등온해석과 비등온해석이 결과에 미치는 영향을 단류선의 관점에서 비교하였으며, 그 결과, 거시적으로는 큰 차이가 없었다. 그러나 마모에서 차지하는 온도의 영향이 매우 크기 때문에 마모 수명의 연구 및 예측을 위해서 비등온해석의 중요성을 강조해 두고자 한다.

후 기

이 연구는 2014년도 엔지니어링SW 기술개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] L. Cser, M. Geiger, K. Lange, 1993, Tool life and tool quality in bulk metal foaming, Proc. Int. Mech. Engrs., Vol. 207, pp. 223~239.
- [2] J. G. Eom, M. C. Lee, Y. G. Choi, M. S. Joun, 2014, Finite element visualization of metal flow lines of a forged crankshaft, KSTP Autumn conference, pp. 158~161.
- [3] J. F. Archard, 1953, Contacts and rubbing of flat surfaces, J. of Applied Physics, Vol. 24, pp. 981~988.
- [4] M. S. Joun, H. K. Moon, R. Shivpuri, 1998, Automatic simulation of a sequence of got-former forging processes by a rigid-thermoviscoplastic finite element method, ASME, Vol. 120, pp. 291~296.

마이크로 프로브 핀의 인장 물성 측정

최준혁¹ · 오동권¹ · 임성한^{2#} · 민동균² · 이광주³

An Experimental Study of Micro Tensile Property of Tungsten Wire Probe

Joon-Hyeok Choi, Dong-kwon Oh, Sung-Han Rhim, Dong-Kyun Min, Kwangju Lee

Abstract

Since generally contact type probe pin is used for tungsten wire, the tensile properties of wire material is very important measure in probe module design study. In this study, it is an object to obtain a uniform physical property by making a jig to measure the tensile properties of 70 μ m wire. Based on these results and to predict the future behavior of the micro-wire structure.

Key Words : micro-wire, tensile test, probe test, probe pin

1. 서 론

미소 영역의 기계적 · 전기적 특성을 접촉식으로 측정하기 위한 마이크로 프로브 핀(probe pin)은 여러 산업군에 널리 사용되고 있다. 일반적으로 접촉식 프로브 핀은 텅스텐 와이어를 스프링 형태로 조립하여 사용하므로, 와이어 소재의 인장 물성 측정[1]은 프로브 모듈 설계에 매우 중요한 연구이다.

본 연구에서는 직경 70 μ m급 텅스텐 와이어의 인장 시험에 적합한 시편용 지그를 제안하고, 이를 활용하여 대상 소재의 인장물성을 측정하였다.

2. 실 험

2.1 인장시험

마이크로 단위를 가지는 시편의 인장 실험을 위해서는 마이크로 단위 해상도를 갖는 센서들이 필요하다.[2] 마이크로 인장시험을 위해 이용한 시험장비는 Fig. 1의 MTS Tytron205이다. 이 장비의

부하 용량은 0.001N ~ 250N 이다. 시험에 사용된 로드 셀(Load Cell)의 최대하중은 50N 이며 해상도는 2.5mN 이다.

메카니컬 클램프 그림을 사용하여 시험을 수행하기 위해 지그를 제작하였고, 인장 시험은 0.72mm/min 으로 수행하였다.

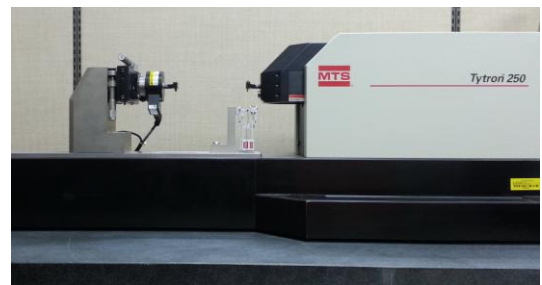


Fig. 1 MTS Tytron205 Test System

2.2 시편 지그 제작

마이크로 인장시험에서 변위와 하중을 측정하는 기술도 중요하지만 시편을 축 방향으로 정렬하는 것과 시편을 고정하여 미끄러짐이 발생하지 않는 것이 중요한 문제이다.

본 연구에서는 직경이 70 μ m인 시편의 인장시험을 위해 Fig. 2와 같이 지그를 제작하였다. 지그는

1. 한국기술교육대학교 대학원 기계공학과
2. 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부
3. 한국기술교육대학교 기계공학부
#. 한국기술교육대학교 기계공학과

좌우 그립부분과 연결부분으로 제작을 하여 볼트로 체결 가능하도록 하였다. 그래서 시편 제작 시 고정이 가능하고 시험 시 분리가 가능하도록 제작하였다

좌우 그립부분에는 축 정렬을 위한 50 μ m의 홈을 만들었고 시편 고정을 위해 접착제를 사용하여 고정하였다.

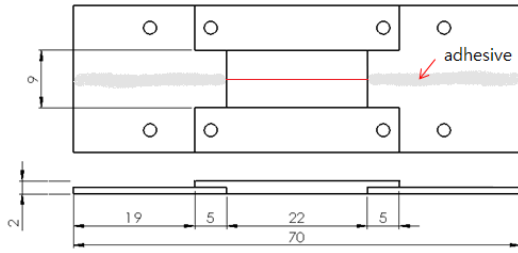


Fig. 2 Jig shape for micro wire test

3. 실험 결과

70 μ m의 텅스텐 마이크로 와이어의 인장 시험의 결과 Fig. 3과 같은 응력-변형률 선도를 관측하였다. 선도의 평균 탄성계수는 268GPa이고, 항복강도는 1650MPa이다.

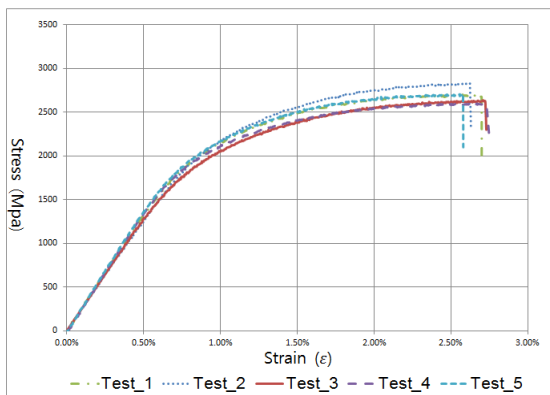


Fig. 3 Stress-Strain Curve

실험을 통한 응력-변형률 선도는 일정한 경향을 나타내는 것을 확인하였다.

이러한 결과를 바탕으로 지그를 사용하여 제작된 시편은 22mm의 균일한 Gage Length를 가지고 정확한 축 방향 정렬이 가능하다고 판단하였다.

4. 결 론

직경이 70 μ m인 텅스텐 마이크로 와이어에 대한 인장시험을 수행하였다.

이러한 결과를 바탕으로 향후 40 ~ 100 μ m 직경의 마이크로 와이어 인장시험을 수행하여 직경에 따른 기계적 물성을 측정하고, 시편의 단면분석을 통해 재질의 크기에 따른 강도관계를 분석하고자 한다.

얻어진 물성을 이용하여 향후 마이크로 와이어의 구조거동을 예측하고자 한다.

후 기

본 연구는 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업의 지원을 받아 수행하였습니다.'

참 고 문 헌

- [1] G. Khatibi, A. Betzwar-kotas, V. Gröger and B. Weiss, 2005 "A study of the mechanical and fatigue properties of metallic microwires", Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct., 28, pp. 723 ~ 733
- [2] J.P.Lee, H.J.Lee, N.G.Lee, H.W.Lee, J.H.Park, K.H.Na, K.T.Kim, 2007, "An experimental study on micro tension property of Poly silicon material", Korean Society for Precision Engineering, pp 683~684
- [3] Yong-Hak Huh, Philip Park, Hae-Moo Lee, Dong-Jin Kim and Jun-Hyub Park, 2004, "Measurement Technology of Micro/Nano-scale Mechanical Properties", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 10
- [4] Sharpe, W.N., Turner, K.T. & Edwards, R.L., 1999 "Tensile testing of polysilicon", Experimental Mechanics, Vol. 39,

가변롤성형시 성형각에 따른 버클링 특성분석

우영윤¹ · 이민¹ · 강형석¹ · 황태우¹ · 문영훈[#]

Effect of forming angle on the buckling during flexible roll forming

Y. Y. Woo, M. Li, H. S. Kang, T. W. Woo

Abstract

The flexible roll forming process makes it possible to produce profiles with a variable width by controlling the roll stands with CNC. But profile with variable cross-sections by flexible roll forming has a shape defects, so called buckling. Buckling occurs due to the geometrical deviations which cause longitudinal residual stress in the transitional zones of the profile between the initial metal strip and the roll-formed profile. Therefore in this study, the effect of forming parameters of metal blank on the longitudinal and shape error which are affected by several parameters have been performed to prevent buckling. The parameter investigated in this study is the forming angle. For the flexible roll forming experiments, symmetrical U-sections are formed from advanced high strength steel (AHSS) blank. Numerical simulations by finite element analysis have also been performed to analyze strain variations during roll forming. The tracing of incremental strains at the edge may provide insights to solve buckling problems. From the analysis results, the behavior of buckling in flexible roll forming process can be predicted with relation between geometry parameters and longitudinal and shape error.

Key Words : Flexible roll forming, Buckling, Forming angle, AHSS

1. 서 론

롤 성형 공정은 연속적인 굽힘 가공을 이용하여 부품을 성형하는 방법으로 소재를 연속적인 롤을 지나면서 원하는 단면형상을 가지는 부품을 성형하는 공정으로 프레스 가공에 비해 투자비가 작고, 롤의 형상 설계를 통해 복잡한 폐단면을 갖는 형상의 부품 성형이 가능하다. 특히 성형성이 매우 낮은 Giga급 초고강도강의 성형에 유리하다. 일정단면 부품을 생산해내는 일반롤성형의 경우, 연속적이고 점진적인 성형을 통해 Giga급 초고강도 부품을 지속적으로 대량생산할 수 있는 장점을 가지고 있으나 길이 방향으로 단면형상이 일정한 부품만 생산 가능한 한계를 가지고 있어 가변적인 단면 및 곡률을 갖는 형상의 제조에는 적용이 어렵다.

가변롤성형 공정은 단면이 일정한 부품만 성형이 가능한 기존 롤성형 기술을 개선하여 폭/깊이 방향으로 단면 변화가 가능한 일체화 이형단면 및 곡률형상의 부품을 제조할 수 있는 실험형상(net shape) 성형기술이다. 기존의 롤성형의 장점을 가지면서 성형 중 롤의 실시간 회전 및 이송을 통하여 이형단면의 곡률을 가지는 형상을 제조할 수 있어 가변롤성형 공정에 대한 연구가 이루어지고 있다[1~4].

이러한 연구의 일환으로 가변롤성형 공정에서의 가변단면을 갖는 블랭크의 형상변형량을 정의하고, 공정변수에 따른 정량적인 형상변형의 거동을 분석하는 연구가 이루어졌다.[5]

본연구는 블랭크의 중앙부에 형상변형량을 정의하고 공정변수에 따라 정량적으로 형상변형량을 분석하여 버클링의 거동을 연구하였다. 또한 해석 검증을 위해 블랭크의 에지 부분의 길이방향 변형률을 스트레인 게이지를 통하여 측정 후 해석결과와 비교하였다.

1. 부산대학교 정밀기계공학과

교신저자: 부산대학교 정밀기계공학과/정밀정형 및 금형공학 연구소, E-mail : yhmaoon@pusan.ac.kr

2. 모델링 및 FE해석

2.1 가변롤성형 공정 모델링

본 연구는 가변롤성형 공정에서 블랭크의 형상 변수가 버클링에 미치는 영향을 알아보기 위하여 상용 소프트웨어인 ABAQUS 6.13 explicit를 사용하여 가변롤성형 공정을 Fig. 1과 같이 모델링하였다. 형상변형량의 비교를 위해 블랭크의 선단부와 후단부의 Z방향을 구축하였다.

초기 블랭크는 Fig. 2에 보이는 바와 같이 F 플랜지 높이, H 초기 블랭크의 웹 길이, L 초기 블랭크 길이이다. FE해석 시 재료의 물성치는 Fig. 3에 보이는 고강도 소재인 SPFC 1180의 인장데이터를 이용하였다.

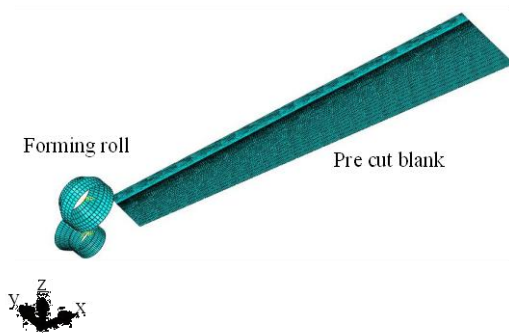


Fig. 1 Modelling of flexible roll forming

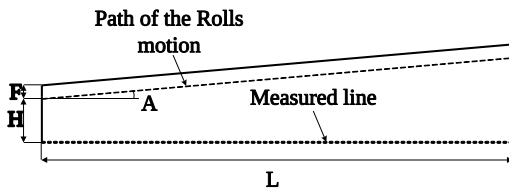


Fig. 2 Geometrical characterizations of blank

2.2 형상변형 정의

가변롤성형은 변형률 분포의 불균형으로 기인한 연신과 수축이 발생하며 길이방향 분포에 따라 버클링과 같은 결함이 발생하게 된다. 따라서 형상변수를 성형각도 α 로 정하여 15° , 30° , 45° 으로 변화시키면서 이에 따른 웹 부분에 정의된 측정선(Measured line)상의 각노드에 가변롤성형후 Z'좌표값을 Z=0을 기준으로 편차를 측

정하였다. 이 값을 형상변형값 H로 정의하고 제곱평균제곱근(Root Mean Square, RMS)으로 분석하여 형상변수가 버클링에 미치는 영향을 분석하였다. 제곱평균제곱근(Root Mean Square, RMS)은 식(1)과 같이 표현된다.

$$H_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N z_i^2} \quad (1)$$

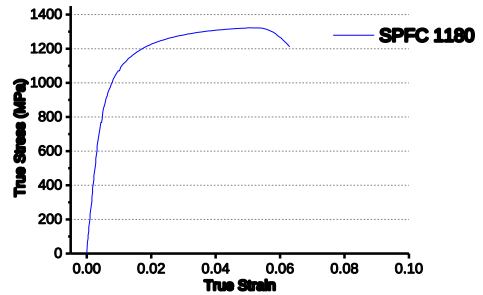


Fig. 3 Tension test data of SPFC 1180

2.3 FE해석모델의 신뢰성 검증

본 연구에서는 FE해석 모델의 신뢰성 확보를 위하여 성형각 15° 에 대하여 가변롤성형 실험을 수행하였다. 블랭크에 지에 스트레인게이지를 부착하여 가변롤성형중의 길이방향 변형률을 측정하였다. FE해석의 길이방향 변형률과 실험의 길이방향변형률의 결과를 비교하였다. Fig. 4에는 FE해석과 실험을 통한 길이방향 변형률 값을 정리하였다. 실험값과 FE해석결과 값이 상당히 일치함을 확인하였다.

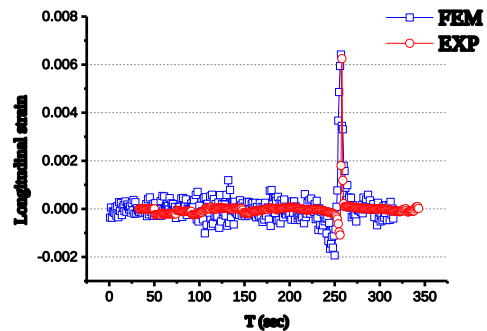


Fig. 4 Comparison of the experimental and simulation longitudinal strain at the edge

3. FE해석결과

3.1 성형각도에 따른 측정선의 분포

Table 1에 정리된 성형각 15°, 30°, 45°에 대하여 FE해석을 수행하여 성형각도에 따른 측정선(Measured line)의 분포와 제공평균제곱근, Zrms (Root Mean Square, RMS)을 Table 2와 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 6은 가변률성형이 이루어지는 동안 블랭크 에지의 한 측정점에서 길이방향 변형률을 나타내었다.

Table 1 Simulation and Experiment specification

Parameter	Simulation	Experiment
Initial Web, W(mm)	107.5	107.5
Thickness, t(mm)	1.2	1.2
Flange length, F(mm)	15	15
Blank Angle, A(deg)	5	5
Forming angle, α (deg)	15, 30, 45	15

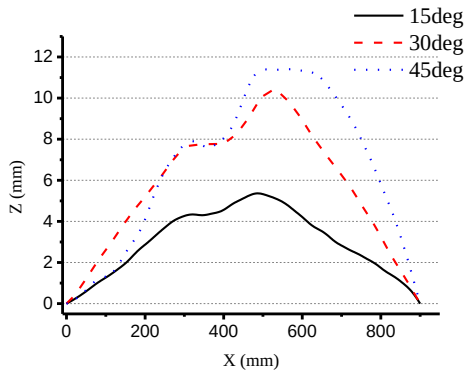


Fig. 5 Measured line on the x-axis

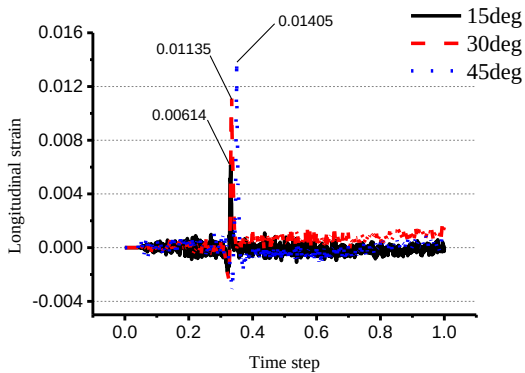


Fig. 6 Longitudinal strain at the edge

Table 2 H_{rms} according to the forming angle

Forming angle, α (deg)	H _{rms} (mm)
15	3.44
30	6.51
45	7.67

4. 결론

본 연구는 가변률성형에 있어서 형상변형을 정의하고 형상변형의 제공평균제곱근 값, H_{rms}을 이용해 성형각이 형상변형에 미치는 영향을 분석하였다.

성형각이 15°, 30°, 45°로 증가함에 따라 형상변형량 제공평균제곱근 값, H_{rms}가 3.44mm, 6.51mm, 7.67mm로 증가하는 것을 확인 하였다. 또한 성형각이 증가함에 따라 블랭크 에지 부위의 길이방향 변형률의 최고값이 0.00614, 0.01135, 0.01405로 증가하는 것도 확인하였다. 따라서 성형각으로 길이방향 변형률 값과 형상변형량을 제어 할 수 있고, 버클링에 미치는 영향을 확인 할 수 있었다.

앞으로, 가변률공정에 있어서 스탠드간 거리, 롤갭과 같은 다른 공정변수에 대한 연구를 진행하여 이에 따른 공정변수와 버클링에 미치는 영향을 파악하는 것이 필수적이라 생각된다.

후 기

이 논문은 산업통상자원부 산업융합원천기술 개발사업 1GPa급 이형단면 자동차 차체부품용 일체화 점진성형 기술개발(과제번호: 10040078)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] K. Sweeney, U. Grunewald, 2003, The Application of Roll Forming for Automotive Structural Parts, J. Mater. Process. Technol., Vol. 132, No. 1, pp. 9~15.
- [2] Y. H. Seo, B. S. Kang, J. Kim, 2012, Compensation for Elastic Recovery in a Flexible Forming Process using Predictive Models for Shape Error, Trans. Mater. Process, Vol. 21, No. 8, pp. 479~484.
- [3] K. Mäntyjärvi, M. Merklein, J. A. Karjalainen, 2009, UHS Steel Formability in Flexible Roll

Forming, Key Eng. Mater., Vol. 410, pp. 661~668.

- [4] 주병돈, 한상욱, 신세계로, 문영훈, 2013, 가변
롤 성형 공정시 길이방향 변형률에 근거한
제품 형상 설계 기술 개발, 한국소성가공학
회지, 제22권, 제7호, pp. 401~406

- [5] 박종철, 차명환, 김동권, 남재복, 양동열, 2014,
가변롤성형 공정을 이용한 단면이 가변하는
프로파일의 형상변수 분석에 관한 연구, 한
국소성가공학회지, 제23권, 제6호, pp. 369~375

스마트폰 앱을 이용한 각도 가공용 지그 개발

김주민¹ · 김완섭¹ · 원시태^{1#} · 유준종² · 유종근³

Development of a Jig for Tilted parts Machining using a Smartphone Application

J. M. Kim, W. S. Kim, S. T. Won, J. J. Yoo, C. K. Yoo

Abstract

Expensive machine tools such as CNC machining center are used to cut the tilting parts. For universal milling machine or grinder process parts, additional tools such a Sine bar, Block gauge, Dial gauge and Angle plate are used. Using a universal milling machine takes cost up and much time because several tools should be used together. A new jig is developed to process tilting parts using a smartphone application, not several tools such as sine bar, block gauge and so on.

Key Words : Jig, Tilted Parts Machining, Smartphone Application

1. 연구 목적 및 필요성

각이 있는 형상 부품의 절삭가공은 현재 CNC 머시닝 센터와 같은 고가의 공작기계를 이용하거나, 범용 밀링 머신 또는 연삭기 등에서는 사인바를 비롯한 블록게이지, 다이얼게이지, 앵글 플레이트 등의 도구를 함께 이용하여 가공하고 있다. 특히 범용 밀링 머신을 이용하는 경우에는 많은 도구가 함께 사용되어야 하기 때문에 구입에 필요한 경제적인 부담과 공작물 설치를 위한 준비시간이 필요하다.

본 연구는 고가의 CNC장비를 이용하지 않고 범용 밀링과 연삭기 등에서 사인바와 블록게이지 등의 도구를 사용하지 않고, 스마트폰 앱을 이용하여 간단하게 각도가 있는 형상 부품을 가공하기 위한 지그를 개발하였다.

2. 본 지그 개발을 위한 기본 개념

2.1 간섭현상을 고려한 기구학적 원리

본 지그는 공작물을 올려놓는 본체 테이블과

그 본체 테이블을 해당 각도 범위인 $0^\circ \sim 45^\circ$ 로 회전을 시켜주는 곡선 구동장치로 구성되어 있다. 지그를 사용하는 경우, 공작물을 세팅한 후 원하는 각도로 조절하기 위해서는 곡선 구동장치와 공작물 간에 간섭 현상이 일어나는 것을 방지해야 한다. 따라서 본 지그는 간섭을 방지하기 위해 본체 테이블은 $0^\circ \sim 45^\circ$ 범위에서 직선식(식 1)과 원의 방정식(식 2)을 연립하여 판별식($D=(b^2-4ac)<0$)을 만족하면 간섭이 발생하지 않는 조건을 이용하였다.[1]

$$y = 0.0222\theta x + 1.5 \quad (0 < \theta < 45^\circ) \quad (1)$$

$$(x-p)^2 + (y-q)^2 = (p-20)^2 + (q+12)^2 \quad (2)$$

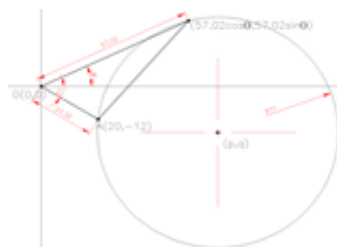


Fig. 1 The relation between main table and curved driving parts for interference prevention

1. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

2. ㈜ 메인, 3. 뉴테크

교신저자: 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과,

E-mail: stwon370@seoultech.ac.kr

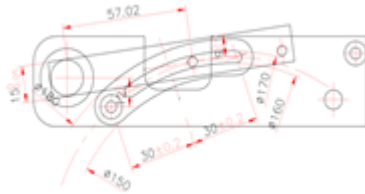


Fig. 2 Design of main table and curved driving parts

Fig. 1은 공작물을 장착할 때 본체 테이블과 곡선 구동장치를 결합하여 원으로 회전하면서 각도측정이 가능하도록 적용된 식들의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 2는 이들 함수식을 이용하여 공작물을 장착하는 본체 테이블과 각도조절을 위한 곡선 구동장치의 설계도면을 나타 낸 것이다.

2.2 스마트폰 어플리케이션 적용

각진 형상의 제품의 가공시 각도를 구현하기 위해 스마트폰 어플리케이션을 이용하였다. 본 지그 장치는 대중적으로 사람들이 사용하고 있는 스마트폰에 내장된 자이로센서를 이용하여 각도 측정이 가능하도록 어플리케이션을 지그에 적용하여 전문가가 아니더라도 누구나 손쉽게 각도를 설정할 수 있도록 하였다.

Fig.3 은 각도를 구현하기 위한 알고리즘으로, 각도 측정 결과를 고정하는 고정(freeze), 각도 측정 완료 후 어플리케이션을 종료하는 종료(exit), 각도가 측정된 결과 값은 출력하는 디스플레이(display)를 포함하는 ‘App inventor 2’ 를 이용하였다.[2] Fig.4 는 스마트폰 화면에 나타난 어플리케이션의 모습이다.

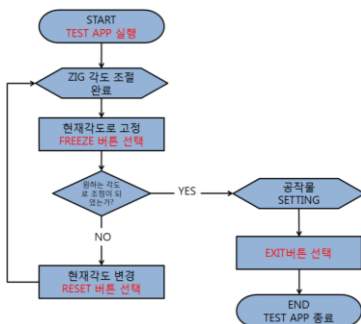


Fig. 3 Applications algorithm



Fig. 4 Screen of the application

3. 지그 설계 및 제작

Fig. 5 는 지그 제작을 위한 부품들을 나타낸 것이고, Fig. 6 은 각진 형상 가공을 위해 제작된 지그에 스마트폰을 이용하여 각도를 설정한 모습을 나타 낸 것이다

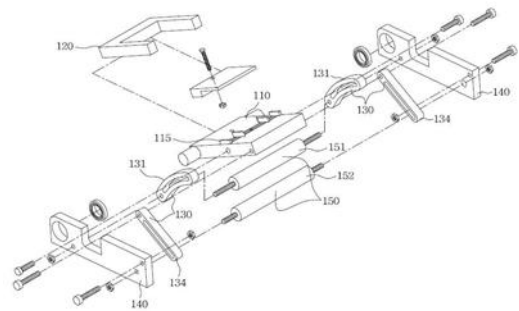


Fig. 5 Jig for tilted parts machining

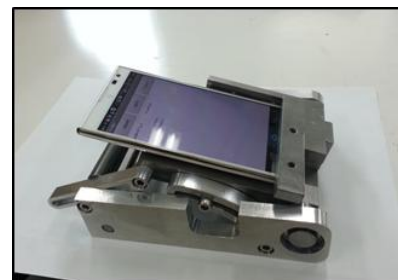


Fig. 6 Smartphone mounted on a jig

4. 결 론

본 연구는 고가의 CNC 장비를 이용하지 않고 범용 밀링과 연삭기 등에서 사인바와 블록계이지 등의 도구를 사용하지 않고, 스마트폰 앱을

이용하여 손쉽게 각이 있는 형상 부품을 가공하기 위한 밀링 지그를 제작하였다.

개발된 지그의 특징은 다음과 같다.

(1) 공작물을 올려놓는 본체 테이블과 그 본체 테이블을 해당 각도 범위인 $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 로 회전을 시켜주는 곡선 구동장치로 구성되어 있다.

(2) 곡선 구동 장치와 공작물 간에 간섭 현상이 일어나는 것을 방지하기 위해 기하학적으로 최적의 설계를 하였다.

(3) 대중적으로 사람들이 사용하고 있는 스마트폰에 내장된 자이로센서를 이용하여 각도 측정이 가능하도록 본 지그에 적용하여 누구나 손쉽게 각도를 구현할 수 있도록 하였다.

(4) 본 지그는 범용 밀링과 연삭기 등에서 각도 가공을 하는데 있어서 효과적으로 이용될 것으로 기대된다.

후 기

본 논문은 서울과학기술대학교 - 21C 다빈치형 인재양성센터의 지원에 의해서 수행된 연구로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Dennis G. Zill 외 1인, 2012, Advanced Engineering Mathematics 4th edition
- [2] 심주은, 심주보, 고주영 심재창 외 3인, 2014, 꿀잼 앱 인벤터 (쉽고 재미있는 앱 프로그래밍의 세계), PP. 18-35, 카오스북

접이식 컨테이너를 위한 토션바의 소성변형 거동 연구

윤상현¹ · 이용신^{2#}

A Study on Plastic Deformation Behavior of Torsion bar for a Foldable Container System

Y-S. Lee, S. H. Yoon

Abstract

접이식 컨테이너에 사용하는 토션바는 용량과 작동 각도가 일반적인 토션바에 비해서 크다. 또한 10년 이상의 사용기간에 비해, 접고 펴는 횟수가 1만회 이내로 그 횟수가 적어, 저주기(Low cycle)의 피로 수명에서 사용된다. 또한, 토션바의 표면을 쇼트피닝, 표면 경화 등의 가공에 의해 압축 잔류응력을 부여하여, 금속 표면 부의 비틀림에 의한 인장력과 상쇄되어 표면부에 걸리는 응력을 감소시켜 표면부의 피로 균열을 지연 시킨다. 따라서, 토션바의 비틀림에 의해 소성 변형이 발생될 경우 표면 처리 층 밑에서부터 시작되게 된다. 본 연구에서는 저주기(Low Cycle)의 비틀림 응력에 의해 토션바의 표면 처리층 밑 부분이 소성 변형될 때, 토션바의 거동을 연구한다.

Key Words: Foldable Container, Fatigue Life, Low cycle, Shot peening, Finite Element Method, Torsion bar

후 기

본 연구는 “20ft 접이식 컨테이너용 15kN급 힌지 시스템 개발” 과제의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

1. 국민대학교 기계설계학과

2. 국민대학교 기계시스템공학과

E-mail: yslee@kookmin.ac.kr

강소성 caliber rolling 공정으로 제조된 아·과공석강의 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 후열처리 영향

윤신천¹ · 김현진² · 배철민² · 이기안^{1, #}

Effect of Heat Treatment on Microstructures and Mechanical Properties of Severe Plastically Deformed Hypo- and Hyper-Eutectoid Steels by Caliber Rolling

S. C. Yun, Kim, H. J. Kim, C. M. Bae, K. A. Lee

Abstract

Caliber rolling severe plastic deformation process that is more economical, enabled continuous processes and induces even microstructures compared to existing severe plastic deformation processes. The present study examined the effects of post heat treatment on the hardness, compressive properties, and microstructural changes of hypo- and hyper-eutectoid steels manufactured through caliber rolling process. First, 28 passes of caliber rolling was performed on both the hypo eutectoid steel(A Steel) with Fe-0.47%C(wt.%) composition and the hyper eutectoid steel(B Steel) with Fe-1.02%C (wt.%) composition. The caliber rolled specimens were heat treated for 1, 3, 5, 10, 30, and 60 minutes, respectively, at 500°C. In the case of A steel(B steel), the microstructure before caliber rolling showed areas divided into typical pro-eutectoid ferrite(pro-cementite) and pearlite. The caliber rolled steels possessed 300~400 nm sized oval cementite structure created through elongating and segmentation regardless of the C composition. The observation of heat treated microstructures showed that cementite structure became globular and ferrite size increased as heat treatment temperature increased. The initial hardness values of A steel and B steels were measured to be 199.5Hv and 302.4Hv, respectively. And after caliber rolling, 372.8Hv and 480.1Hv were obtained as the respective hardness values A steel and B steels. As heat treatment time passed, hardness decreased regardless of steels. Finally, when heat treated for 60 min., the hardness values of A steel and B steels were measured to be 303.9Hv and 362.0Hv, respectively. Stress-strain curves obtained from the results of compression tests of caliber rolled A steel and B steels before and after heat treatment (500°C, 60 min.). The yield strengths of caliber rolled hypo- and hyper-eutectoid steels obtained were 1097MPa and 1426MPa, and the yield strengths of the same steels after heat treatment were identified to be 868MPa and 1316MPa, respectively. Based on the results, this study has also suggested ways to improve the mechanical properties of severe plastically deformed A·B steels through heat treatment. [본 연구는 포스코의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.]

Key Words : Hypo-eutectoid steel, Hyper-eutectoid steel, caliber rolling, Heat-treatment, Mechanical property, Microstructure

1. 국립안동대학교 신소재공학부

2. 포스코 선제연구그룹

교신저자: 국립안동대학교 신소재공학부, E-mail: keeahn@andong.ac.kr

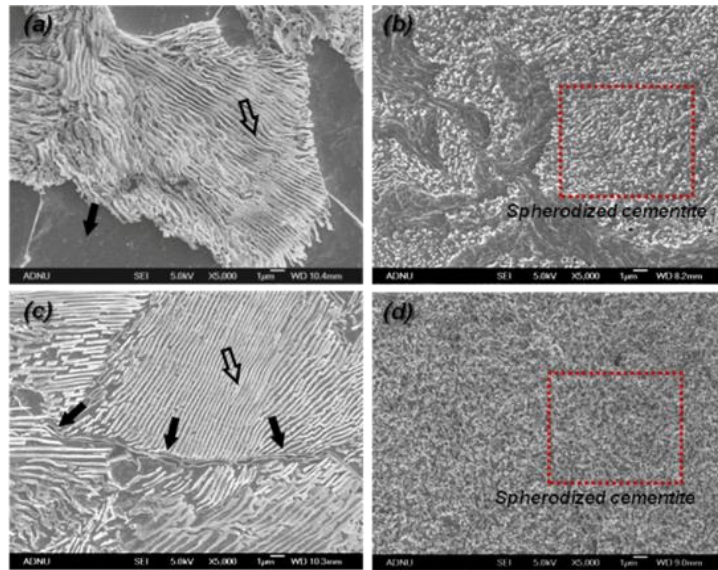


Fig. 1. Changes in microstructures before and after caliber rolling ;
 (a) initial hypo-eutectoid steel, (b) hypo-eutectoid steel after caliber rolling,
 (c) initial hyper-eutectoid steel, (d) hyper-eutectoid steel after caliber rolling.

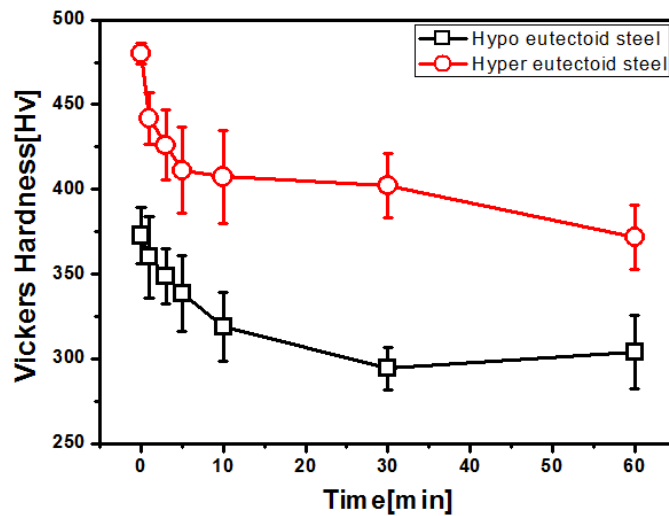


Fig. 2. Changes in the Vickers hardness of caliber rolled hypo- and hyper-eutectoid steels over heat treatment time.

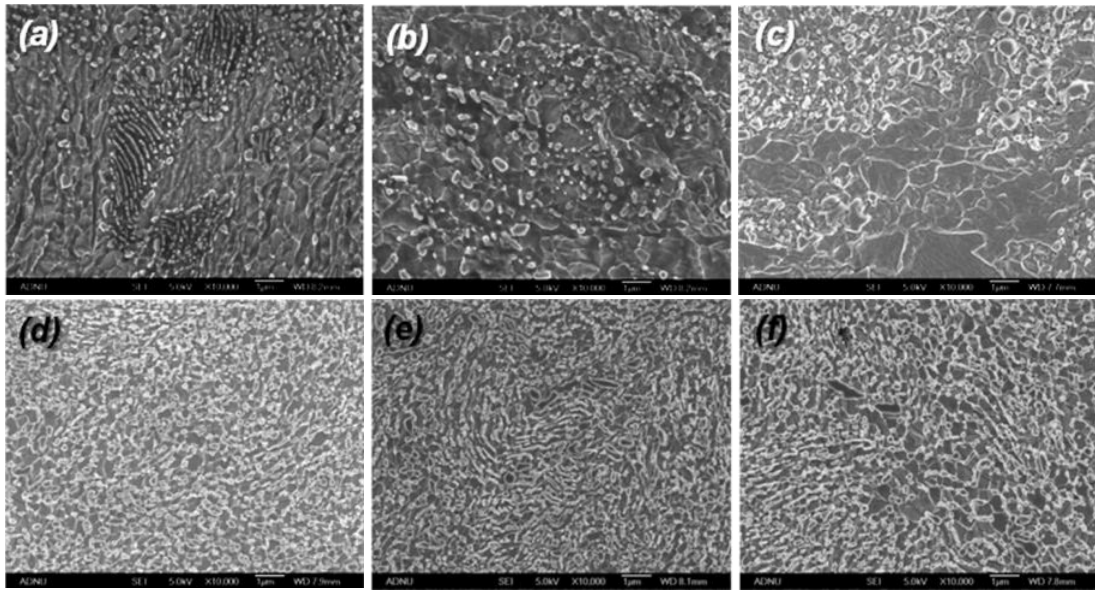


Fig. 3. Changes in the microstructures of caliber rolled hypo- and hyper-eutectoid steels over heat treatment time; (a) hypo-eutectoid steel, 1 min., (b) hypo-eutectoid steel, 10 min., (c) hypo-eutectoid steel, 60 min., (d) hyper-eutectoid steel, 1 min., (e) hyper-eutectoid steel, 10 min., (f) hyper-eutectoid steel, 60 min.

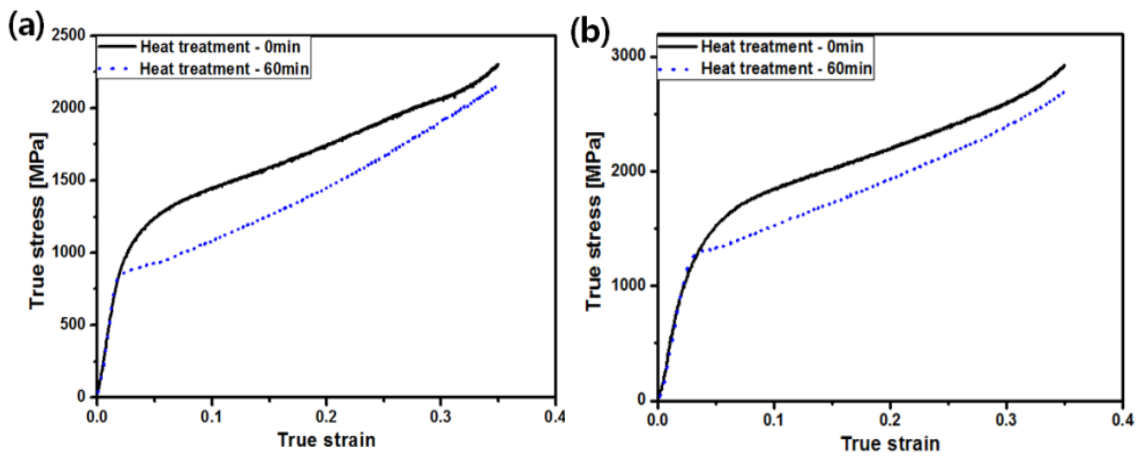


Fig. 4. Comparison of the compression curves of specimens of caliber rolled hypo- and hyper-eutectoid steels before and after heat treatment (500 °C, 60 min.) ; (a) hypo-eutectoid steel, (b) hyper-eutectoid steel.

직접 레이저 용융공정을 위한 기계적 합금된 분말 특성분석

이민¹ · 길태동¹ · 지원종¹ · 오일영¹ · 문영훈[#]

Characterization of mechanical alloyed powders for direct laser melting process

M. Li, T. D. Kil, W. J. Ji, I. Y. Oh, Y. H. Moon

Abstract

Direct laser melting (DLM) is an additive manufacturing method that creates 3-dimensional metal parts by using laser power to fusing together metal powders layer by layer according to computer design figures. Recently, this process has been extensively used in variety of industry such as aeronautical, automotive, marine, and chemical which is less cost, capable of fabricating complicated configurations, and uses a wide range of material efficiently. As a powder based process, it offers great chances to use different material particles with metal powder to form novel metal matrix composites. The current study is aimed to create proper metal matrix composite of Fe-Ni-Cr used in DLM.

Mechanical alloying (MA), a high-energy ball milling process has been widely applied to synthesize different composite powders of different metal or alloys through the high energy collision of the ball. Recently, much attention has been focused on ball milling technique due to the wide range of material possessing good properties that can be fabricated by this process, especially in the production of metal matrix composites.

MA of Fe-Ni-Cr powder that can be used in DLM process has been characterized in this study. Fe, Ni and Cr powders were milled respectively by mechanical milling for 24h and 48h, and then separated with testing sieve in different size. Fe, Ni and Cr powders having similar particle sizes were mixed. The morphology and structure of the powders were characterized using scanning electron microscopy and X-ray diffraction technique respectively. To estimate properties of mechanical alloyed powders, direct laser melting experiment has been performed.

Key Words: Mechanical alloying, Direct laser melting, Microstructure.

Acknowledgement

이 논문은 2013년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012R1A5A1048294).

1. 부산대학교 정밀기계공학과

교신저자: 부산대학교 정밀기계공학과 / 정밀성형 및

금형 가공 연구소, E-mail: yhmoon@pusan.ac.kr

유한요소법을 이용한 알루미늄 합금박판의 복합 형상 성형 공정 설계

이기훈¹ · 예상돈² · 허관도[#]

Design of Forming Process of Complex Shape Aluminum Alloy Sheet Metal using Finite Element Method

K. H. Lee, S. D. Ye, K. D. Hur

Abstract

Recently, for weight reduction of the product, forming process of aluminum alloy sheet metal is used widely. In this study, sheet metal forming process with a complex shape punch has been studied for Al 3003 alloy sheet, and a finite element method was used for sheet metal forming analysis and a taguchi method was employed for the optimization analysis. Design variables and response value were selected shear friction coefficient, holding force and damage factor.

Key Words : Finite element method (유한요소법), Sheet metal forming (박판 성형), Taguchi method(다구찌법), Hold force(홀딩력), shear friction coefficient (전단마찰계수)

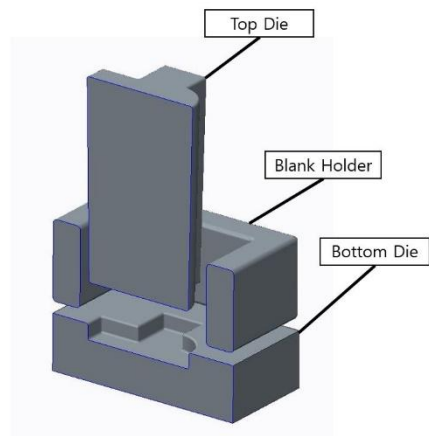
1. 서 론

최근 제품의 경량화와 안정성 향상에 대한 사회적인 요구가 증가하고 있고, 제품 생산에 있어서 제품의 주요 부품을 경량화 시키는 생산 방법에 대한 연구들 중 알루미늄 박판을 이용한 성형공정에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 성형공정 설계의 최적화를 위해 유한요소법과 실험계획법 등을 많이 이용하고 있다. [1]~[3]

본 연구에서는 Fig. 1 과 같은 알루미늄합금 (Al-3003)박판의 복합형상의 성형공정에 대해 유한요소해석을 수행하였으며, 성형공정에 영향을 주는 전단 마찰계수와 홀딩력(holding force)을 인자로 선정하고, 데미지 값을 반응값으로 선정하였으며, 해석 결과를 다구찌법(Taguchi method)을 이용하여 분석하고, 박판 성형 공정에서 영향력이 높은 인자 및 수준을 조사 하고, 성형품의 데미지 (damage)를 최소화 할 수 있는 인자들의 수준을 결정하였다.

2. 유한요소법과 다구찌법을 이용한 복합형상 성형 공정 설계

유한요소해석과 다구찌법을 이용하여, 공정설계를 하였으며, 공정설계에서 제어 인자의 수준은 Table 1과 같이 A인자로 박판과 금형의 전단 마찰계수를 적용하였고, B인자로 박판과 아래 금형을 고정하는 블랭크 홀더의 홀딩력을 적



1. 동의대학교 기계공학과 대학원
2. 동의대학교 기계공학과
교신저자: 동의대학교 기계공학과, 63009@deu.ac.kr

용하였다.

Fig. 1 Aluminum composite shape of alloy

Table 2와 같이 직교배열표를 작성하여, 유한요소 해석을 수행하였으며, 해석결과를 다구찌법을 이용하여 분석하여 S/N 비를 계산하였다.

Table 1 Control factors and levels

	1	2	3
Friction factor (A)	0.11	0.12	0.13
Blank holding force (B) [kN]	18	19	20

Table 2 Orthogonal arrays and S/N ratios

	A	B	Damage	S/N
		[kN]	factor	Ratios
1	0.11	18	2.273	-4.89011
2	0.11	19	2.265	-4.86446
3	0.11	20	2.229	-4.74831
4	0.12	18	2.221	-4.72233
5	0.12	19	2.218	-4.71257
6	0.12	20	2.224	-4.73208
7	0.13	18	2.171	-4.55853
8	0.13	19	2.191	-4.62434
9	0.13	20	2.185	-4.60464

블랭크 홀딩력은 Siebel의 이론식을 기준으로 수준을 결정하였으며, 반응값인 데미지값 (damage factor)의 경우, 식(1)과 같은 방법으로 계산된다.

D_f 는 데미지 값, σ^* 는 최대 인장 주응력, σ 는 유효응력, $d\varepsilon$ 는 유효 변형률 증분 이다.

$$D_f = \int \frac{\sigma^*}{\sigma} d\varepsilon \quad (1)$$

본 논문의 목적은 데미지 값을 최소화 하는 인자별 수준을 찾는 것이므로 망소특성을 적용

하여 S/N비를 분석하였다. S/N비를 분석한 결과, Fig. 2와 같이 S/N비 그래프가 나타났고, 전

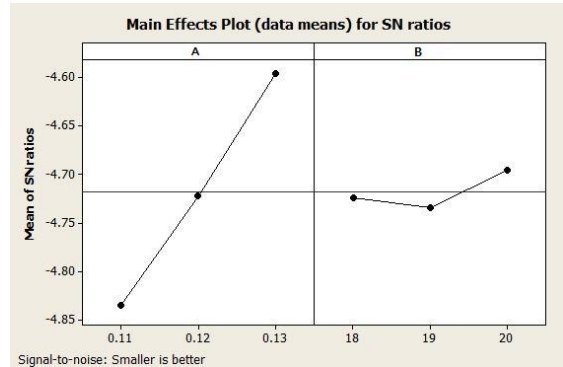


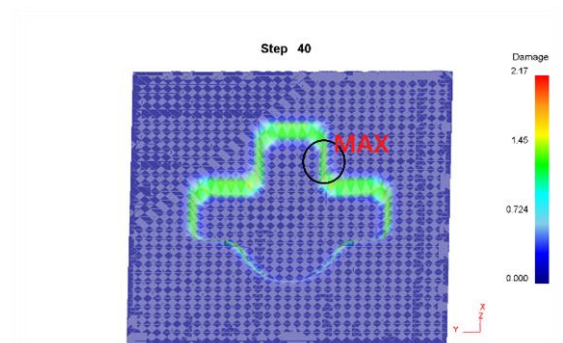
Fig. 2 Main effects plot for S/N ratios

단마찰계수(A)가 0.11~0.13이고, 블랭크 홀딩력 (B)이

18~20 [kN] 범위 내에서 A와 B인자 중 A인자가 상대적으로 영향력이 있다고 판단 되고, 그에 비해 B인자는 A인자에 비해 영향력이 미소한 것으로 나타났다. 설계인자들의 최적 수준은 각각 A는 0.13, B는 18.0kN으로 분석되었다. 최적 수준의 최소 데미지 값은 Fig. 3와 같이 2.171로 나타났으며, 형상 모서리 부분에서 최소 데

Fig. 3 Damage factors distribution for 40 step

미지가 보여졌다.



4. 결 론

알루미늄 합금박판 복합형상 성형 공정 설계를 하기 위해 유한요소해석을 하였고, 그 결과

값을 이용하여, 다구찌법을 사용하여, 알루미늄 합금 박판 복합형상 성형공정설계를 최적화 하였다. 최적의 설계인자는 전단마찰계수(A)가 0.11~0.13, 블랭크 홀딩력(B)이 18~20 [kN] 인 범위 내에서 각각 전단마찰계수(A)는 0.13, 블랭크 홀딩력(B)은 18.0[kN]으로 결정되었으며, 설계인자 중 전단마찰계수(A)가 블랭크 홀딩력(B)보다 영향력이 큰 인자로 나타났다. 그에 반해 블랭크 홀딩력(B)의 경우 전단마찰계수(A)에 비해 영향력이 떨어졌다. 이 때 발생하는 최소 데미지는 2.171이며, 형상 모서리 부분에서 최대 데미지가 발생하였다.

참 고 문 헌

- [1] J. S .Ha, K. D. Hur, S. D. Ye, 2013, Two stage cold extrusion process of steering shaft, J. Korean Soc. Precis. Eng, Vol. 10, pp. 949 ~ 940.
- [2] S. E. Son, J. S. Yoon, J. Kim, B. S. Kang, 2014, Effect of Shape Design Variables on Flexibly-Reconfigurable Roll Forming of Multi-curved Sheet Metal, Transactions of Materials Processing, Vol.23, No.2, pp.103~109
- [3] W. J. Chung, J. H .Kim. J. G. Ryu, 2003, New Design of Cylindrical Cup Deep Drawing by Forming Analysis, Transactions of Materials Processing, Vol.12, No.7, pp. 647~653

장방형 평판 플랜지의 재료 회수율 향상을 위한 열간단조 공정변수 최적화

이무석¹ · 임성식² · 윤덕재² · 최호준² · 신영철² · 박선웅² · 김동주² · 임성주^{2#}

Optimization of Hot Forging Process Parameters for Material Utilization of Rectangle Plate type Flange

M. S. Lee, S. S. Lim, D. J. Yoon, H. J. Choi, Y. C. Shin, S. W. Park, D. J. Kim, S. J. Lim

Abstract

A rectangle plate type flange is one of the safety components assembled in fuel bombe of LPG vehicle. This flange is a valve block to safely assemble a charging valve, delivery valve, solenoid valve for emergency stop and display device are equipped on this flange.

In case of forming a product that has a rectangular shape with pocket throughout the hot forging process, local stress concentration can be easily occurred due to large forming area and there are many difficulties resulted in die wear and deformation. In particular, excessive forging material should be applied to escape a defect, unfilled area and die damage and this makes excessive flash.

For these reason, this study focus on optimizing parameters influencing on hot forging process such as die shape, material dimension and the number of process. Optimized process parameters and proper dimension has been obtained by a rigid plastic finite element method. The optimized parameters are applied on physical forming test. we can form a prototype flange without a defect and improve material utilization more than 75%. Study results also reduce the number of try and error.

Key Words : Rectangle plate type flange, Hot forging, Optimization, Finite element method, Material utilization

1. ㈜상진금속(바탕, 7pt)

2. 한국생산기술연구원

교신저자: 한국생산기술연구원, lim@kitech.re.kr

LM Guide Block의 열간단조공정설계

이성원¹ · 조원후¹ · 이신호² · 이정민[#]

Process Design of Hot Forging for LM Guide Block

S. W. Lee, W. H. Jo, S. H. Lee, J. M. Lee

Abstract

This paper was designed to develop the hot forging process design of the LM guide block for the machine tool. FE analysis was used to investigate the effects of the different variables on the material flows in hot forging process and finally derived the optimal process design for LM guide block.

Key Words : LM Guide Block(LM 가이드 블록), Hot Forging (열간단조), Finite Element Method(유한요소법)

1. 서 론

본 연구는 공작기계용 LM guide block의 열간단조공정을 개발하기 위해 추진되었다. Fig. 1은 공작기계용 LM guide의 형상을[1] 나타낸것으로 본 개발품은 LM guide block이다. 이 부품은 공작기계부품 중 정밀 직선운동이 가능하도록 하는 부품으로 재료 선반이나 가공공구, 모터의 직선이동을 위해 사용되며 Block의 단면은 ㄷ자형이고 이동을 위한 Bearing ball hall이 존재한다. 기존 LM guide block의 제조방법은 절단된 사각소재를 정밀 머시닝 기계가공을 통하여 생산하는 방법이다. 절삭가공시 소재수율 및 공구수명의 저하와 가공시간의 증가로 전반적인 제조단가

상승을 초래한다.

본 연구에서는 기존 정밀 머시닝 기계가공을 열간단조공정으로의 전환과 유한요소해석을 이용하여 LM guide block의 열간성형을 위한 최적 공정설계안에 대해 검증 및 열간단조 실험을 통하여 설계안을 평가하였다.[2]

2. 열간단조 유한요소해석

2.1 기초 열간단조 공정설계안

Fig. 2은 LM guide block의 열간성형을 위한 열간단조 공정설계안을 나타낸것이다. 총 3공정으로

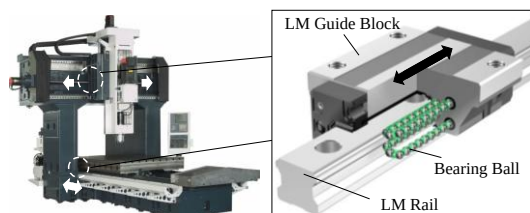
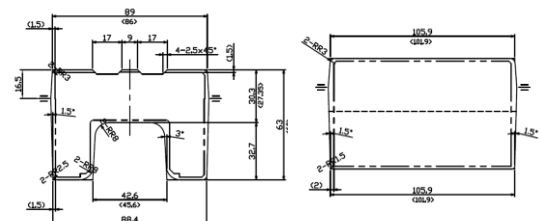


Fig. 1 LM Guide Shape

1. 한국생산기술연구원 뿌리산업기술혁신센터
 2. 센트랄 그룹
- # 교신저자: 한국생산기술연구원 뿌리산업기술혁신센터
E-mail: jungminlee@kitech.re.kr



(a) Shape and Dimensions of LM guide block



(b) Hot forging Process

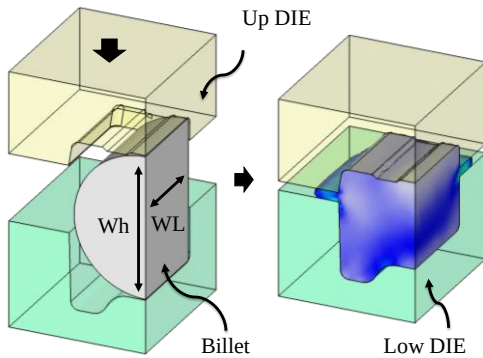
Fig. 2 Hot forging process design

구성되어 있으며 1공정은 Preform을 성형하는 브로커(Blocker)공정, 2공정은 열간단조품 치수 성형을 위한 피니셔(Finisher)공정이며 3공정은 플래시(Flash) 제거를 위한 트리밍공정이다. 공정 해석은 모델의 대칭성을 고려하여 1/4 모델로 AFDEX 3D[3]를 이용하였으며 전반적인 해석조건은 Table 1에 정리하였다

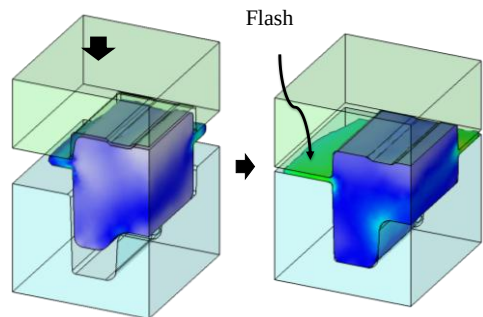
소재 물성치는 AFDEX 3D 소프트웨어 물성치를 사용하였으며 Fig. 3은 성형해석결과로써 각

Table 1 Conditions of FE analysis

Items	Values
Initial billet size(mm)	Φ49, 55.51
Material of billet	SCM420H
Billet temperature(℃)	1110
Dies temperature(℃)	200
Punch velocity(mm/s)	100
Punch and Dies	Rigid body
Friction (m)	0.3



(a) Blocker process



(b) Finisher process

Fig. 3 Results of FE analysis (material flows) for 1st hot forging process design

공정별 소재의 변형 양상을 나타낸 것이다. 해석결과 Fig. 3 (b)와 같이 과도한 플래시가 발생하였으며 플래시 형상을 최소화하는 적정 초기 소재 사이즈 결정이 필요하다

2.1 2차 공정설계안 및 해석결과

Fig. 3 (a)의 Wh와 WL은 Billet의 크기를 나타낸다. Billet의 체적은 최종 단조품 체적(트리밍 후)의 105%로 환봉의 직경과 길이를 Table 2와 같이 설정하였으며 앞선 성형해석과 동일한 해석조건으로 성형해석 및 변수평가를 하였다.

Fig. 4는 플래시 크기 측정을 위한 위치를 나타내며 각 Case별 플래시 크기를 Table 3에 정리하였다. Fig. 5는 각 Case의 성형해석 결과로 해석결과 전반적으로 플래시 발생량에 따라 하형 금형부에 약간의 미성형부(Unfilling)가 발생하였다. 그러나 Case 1의 경우 상당수 플래시로 소재가 빠져나가 과도한 미성형이 발생하였으며 Case 2의 경우 가장 작은 플래시량을 가지는 것으로 나타났다. 따라서 최적 Billet 크기는 Case 2로 결정하였다.

최종 LM guide block의 열간단조품 크기는 고정되어 있기 때문에 앞선 해석에서 발생한 미성형 불량을 해결하기 위해서는 브로커 공정의 재설계가 필요하다.

Fig. 6은 미성형을 방지하기 위해 Preform을 수정한 공정안이며 성형해석결과는 Fig. 7과 같다. 해석 결과 미성형부가 없으며 플래시 길이는 X 97.14mm, Y 76.91mm, X+Y 174.05mm 이다.

Table 2 Process variables of billet size

CASE	1	2	3	4(1 st)
Wh(mm)	46	47	48	49
WL(mm)	62.99	60.34	57.85	55.51

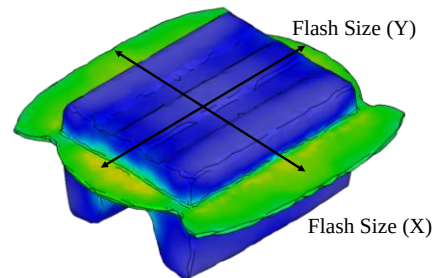


Fig. 4 Measuring location of flash size

따라서 본 연구에서는 Case 2의 Billet 크기와 Fig. 6의 Preform 설계를 LM Guide Block의 열간 단조 성형하기 위한 최적공정으로 설정하였다.

Table 3 Flash size of results(mm)

Case	1	2	3	4
X	100.45	95.69	95.98	94.21
Y	86.89	83.89	87.35	89.97
X+Y	187.34	179.58	183.33	184.18

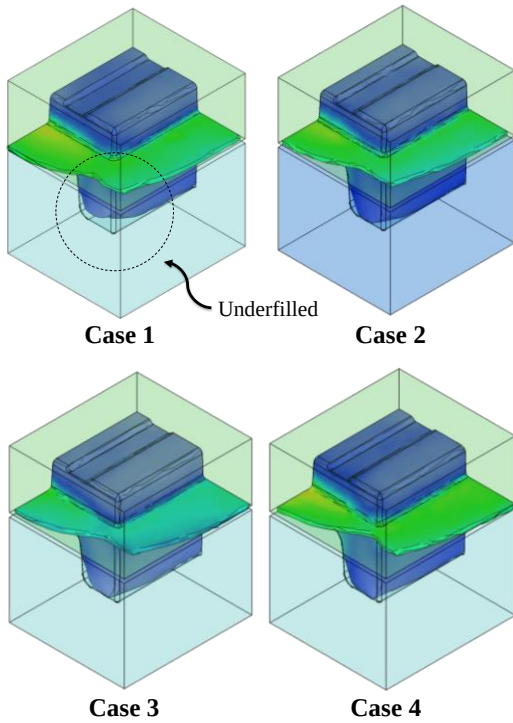


Fig. 5 Results of FE analysis (material flows) for 2nd hot forging process design

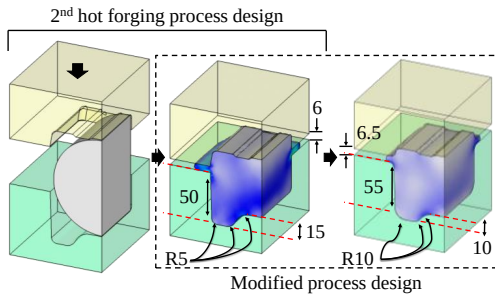


Fig. 6 Modified process design of 2nd hot forging process design

Fig. 8은 최적공정설계안을 바탕으로 금형설계 및 제작한 금형이며 열간단조시험을 통한 시제품은 Fig. 9이다.

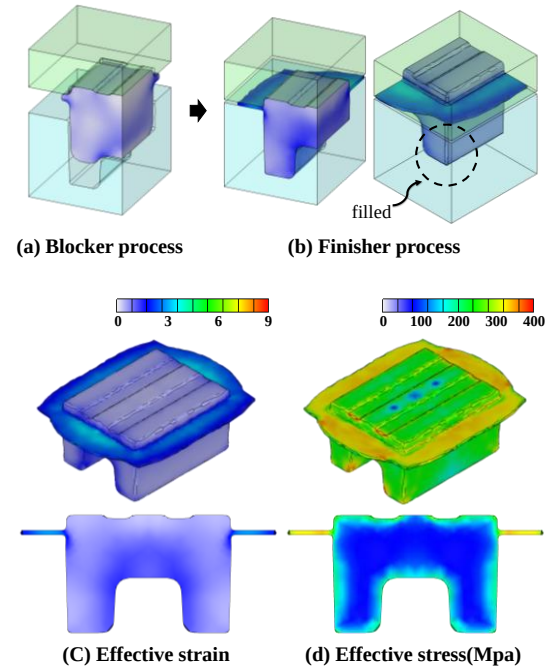


Fig. 7 Results of FE analysis (material flows) for modified 2st hot forging process design

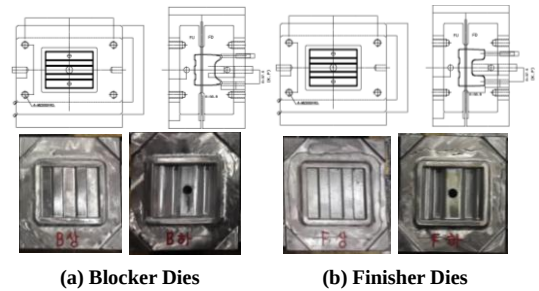


Fig. 8 Die design for optimal process design



Fig. 9 prototype product by hot forging test

4. 결 론

본 논문에서는 LM guide block 의 열간단조공정으로 전환을 위한 열간단조 공정변수를 설정하고 유한요소법을 이용하여 성형해석 및 변수를 평가하였다. 1 차 열간단조 공정설계안에 대한 해석결과, 공정시 미성형 및 기타 불량은 없었지만 과도한 플래시 발생으로 적절한 Billet 크기 설정이 필요하였다. 2 차 열간단조 공정설계안에 대한 해석 결과 Billet 의 크기에 따라 플래시 크기가 변하였고 최적의 Billet 크기는 환봉 직경 47mm, 길이 60.34mm 이며 브로커공정의 미성형부를 해결하기 위해 Preform 형상을 수정하였다. 이를 통해 적절한 LM guide block 단조품 치수를 얻을 수 있었으며 최적공정설계안으로 설정하였다. 최적공정설계안을 바탕으로 금형제작 및 실험을 통하여 설계안을 평가하였다.

참 고 문 헌

- [1] Y. S. Yoon, D. W. Shin, 2007, Case Study on the Safety Working Load of a LM-Guide Structure, Trans. Kor. Soc. Mech. Eng. Conf., Vol. 5, pp. 2819~2824
- [2] Y. M. Cho, D. S. Han, G. J. Han, T. H. Kim, 2010, Shape rolling analysis of LM Guide according to Material radius, Trans. Kor. Soc. Mech. Eng. Conf., Vol. 11, pp. 1828~1829
- [3] www.afdex.com

보일러 튜브용 무계목강관 제조공정 전산모사 연구

이승열^{1#} · 강경필¹ · 곽은정¹ · 박영준² · 조태선²

Study on Numerical Simulation of Manufacturing Process for the Seamless Boiler Tube

S. Y. Lee, K.P. Kang, E.J. Kwak, Y. J. Park, T. S. Jo

Abstract

Seamless pipe can be produced using the Mannesmann effect. In the piercing process, the preheated billet is cross rolled into rough tube. The reheated tube after piercing process is then rolled with multi-stand pipe mill to control the tube thickness and rolled with stretch reducing mill to reduce the diameter of tube. FE analysis was carried out for the whole manufacturing process and we focused on the simulation of piercing process and multi-stand pipe mill. Also the effect of various process design parameter was investigated in this paper.

Key Words : Seamless Pipe, Piercing, Finite Element Method, MPM(multi-stand pipe mill), SRM(strech reducing mill)

1. 서 론

관의 제작공정은 크게 무계목강관(Seamless tube)과 용접된 관의 두 종류로 나누어진다. 무계목강관은 이음매가 없는 관으로 원주 방향의 균질한 형상 및 재질 특성을 가지고 있어 내압과 비틀림에 대한 저항이 크고 특히 열 피로특성이 우수하여 고온 고압의 유체가 사용되는 고효율 발전 보일러(USC)용 튜브에 주로 사용된다. 무계목강관은 연속주조된 원형의 빌렛 소재를 1250°C 이상 고온으로 가열하여 만네스만 천공법에 의해 재료의 손실이 없이 연속적으로 천공을 한 후 만드렐 압연 공법에 의해서 압연을 하여 두께를 정밀하게 한 후 SRM(Stretch Reducing Mill)을 이용하여 목포로 하는 외경으로 최종압연을 하는 공정으로 제조된다. [1,2] 이 같은 연속적인 공정을 설계하기 위해서 공정 전체에 대한 유한요소해석은 공정 설계 엔지니어에게 매우 유익한 정보를 제공할 수 있다.

본 논문에서는 만네스만 천공법에 의한 튜브 피어싱 공정부터 후속 압연공정에 대한 시뮬레이션을 수행하고, 다양한 설계인자에 대한 영향

을 분석하여 공정 설계의 지침을 마련하고자 한다.

2. 유한요소해석

본 연구의 유한요소해석은 상용 소프트웨어 DEFORM-3D를 이용하였으며, 피어싱 공정 해석 모델은 사면체 요소를 사용한 빌렛을 제외한 롤, 플러그, 가이드는 강체로 지정하여 해석을 수행하였다. MPM 공정 해석 모델은 6개의 스탠드로 구성되며, 천공된 빌렛은 육면체 요소를 사용하였고, 롤과 만드렐은 강체로 지정하였다. SRM 공정에 대한 해석 모델은 24개 스탠드로 구성되며, 각각 스탠드의 롤 배치는 매 스탠드마다 롤이 60° 씩 교차한 위치에 배치하여 해석에 적용하였다. 피어싱 공정에서 튕의 위치와 빌렛 온도에 따른 제품 형상의 거동을 파악하기 위하여 Table1과 같이 튕의 위치와 빌렛 온도를 변화시켜 해석을 진행하였다. 피어싱 공정 해석 결과 실 제품 치수 대비 외경은 -0.9%, 두께는 +0.27%의 오차를 확인하였으며, Fig.1에 튕 위치에 따른 제품 외경과 두께의 경향을 그래프로

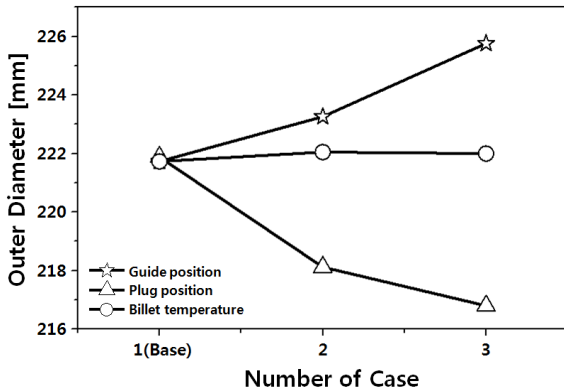
1. (주)솔루션랩

2. (주)일진제강

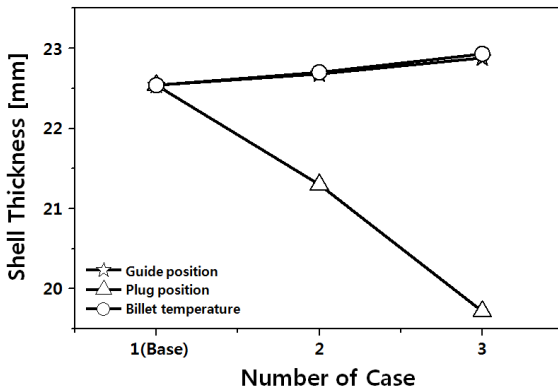
교신저자: (주)솔루션랩, E-mail:sylee@solution-lab.co.kr

Table 1 Case of Simulation

Case	Guide Position	Plug Position	Billet Temperature
1	Base	Base	Base
2	Base+5mm	Base+25mm	Base+100°C
3	Base+10mm	Base+50mm	Base+150°C



(a) Outer Diameter



(b) Shell Thickness

Fig. 2 Results of Piercing Process.

나타내었다. 가이드 거리 증가에 따라 외경은 증가하고, 두께의 변화는 미미하게 증가하는 반면, 플러그 위치가 빌렛 투입 입구 방향으로 전진함에 따라 외경과 두께가 감소하는 경향을 확인할 수 있으며 빌렛 온도에 따른 영향은 크지 않다. 24개 스텐드 동안 제품의 단면 형상 변화 과정을 확인할 수 있으며 최종 제품의 사이즈는 실제 공정의 제품 치수와 매우 흡사함을 확인하였다.

3. 결론

본 연구에서는 보일러 튜브용 무게목강관 제조공정 전체에 대한 유한요소해석을 실시하였다. 이 과정에서 틀의 위치에 따른 제품치수 거동의 경향을 확인 하였으며 획득된 해석결과는 실제 공정과 비교되었고 공학적으로 매우 정확한 결과가 얻어졌다.

후 기

본 연구는 고효율 발전 보일러(USC)용 ferrite 계 seamless Tube 소재 및 제조기술 개발사업 (2012T100201597)의 일환으로 수행된 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] A. Ghiotti, 2009, Modelling of the Mannesmann effect, CIRP Annals – Manufacturing Technology Vol. 58, pp. 255~258.
- [2] G. Sola, M. Vacance, 1994, Thermomechanical Simulation of Seamless Tube Rolling using a 3D FEM, J. Mater. Proccss. Technol. 45. Pp.187~19

파형 강판의 롤 벤딩 성형 시 임계좌굴변형률을 고려한 성형 스텝 설계에 관한 고찰

이은미¹ · 심도식^{2#} · 손종윤¹ · 강법성³ · 강민종³

Design of forming steps in roll bending process of corrugated sheet metal considering initial buckling strain

E. M. Lee, D. S. Shim, J. Y. Son, P. S. Kang, M. J. Kang,

Abstract

This paper focuses on the design of forming steps in the roll bending process during the manufacture of cylindrical structural parts from corrugated thin-walled sheet metal. The main defect that appears in corrugated panels subjected to high amounts of bending deformation is a wavy edge. Numerical analysis indicates that the excessive longitudinal strain induced near the edge of the panel inevitably leads to the creation of the wavy edge. In this paper, the wavy edge of the formed panel is investigated in terms of the design of the forming steps. Finite element (FE) simulation is utilized to predict the local edge buckling factor in the roll bending of the corrugated plate and to determine the strain limit in each step considering the initial buckling strain. An iteration scheme based on the longitudinal strain that can be used to obtain an optimized design and ensure that the maximum longitudinal strain is below the limit of the critical value is then proposed. The results indicate that the proposed design method optimizes the number of forming steps while decreasing the edge wave caused by excessive edge compression.

Key Words : Corrugated sheet metal, Roll bending, Wavy edge, Forming step design, Finite element (FE)

1. 전남대학교

2. 한국생산기술연구원

3. 삼우 ECO

교신저자: 한국생산기술연구원, imagineer@kitech.re.kr

자동차 미션용 피니언샤프트의 열간단조공정설계

이정민[#] · 이성원¹ · 조원후¹ · 이신호²

Process Design of Hot Forging for Pinion Shaft of The Automobile Transmission

J. M. Lee, S. W. Lee, W. H. Jo, S. H. Lee

Abstract

This paper was designed to develop the hot forging process design of pinion shaft of the automobile transmission. FE analysis was used to investigate the effects of the different variables on the material flows in hot forging process and finally derived the optimal process design for pinion shaft.

Key Words : Pinion Shaft(피니언 샤프트), Transmission(변속기), Hot Forging(열간단조), Finite Element Method(유한요소법)

1. 서론

자동차 미션용 피니언샤프트는 엔진으로부터의 자동차 동력을 차축으로 전달하는 부품으로 열간단조공정과 기어가공을 포함하는 정밀 후가공을 통해 제조된다. Fig. 1은 자동차 미션용 피니언샤프트의 최종 열간단조품 형상 및 치수를 나타낸 것이다. 이때 피니언샤프트 제조는 소재 원가 절감 및 생산성 향상을 위해 하나의 환봉 소재를 횡방향으로 열간단조하여 2개의 열간단조품을 생산한다. 특히, 횡방향 열간단조시 부적절한 소재유동으로 인해 결육발생, 소재접침 및 금형손상등의 불량률이 발생한다.

본 연구에서는 유한요소해석을 이용하여 자동차 미션용 피니언샤프트의 열간단조시 부적절한 소재유동을 최소화하는 다양한 열간단조공정안을 평가하고 최적공정설계안 제시 및 열간단조 실험을 통하여 설계안을 검증하였다.

2. 문제정의

2.1 원인분석

피니언샤프트의 열간단조공정은 총 3공정으로 예비성형을 하는 브로커(Blocker), 열간단조품 최종 형상 및 치수를 성형하는 피니셔(finisher), Burr 제거를 위한 트리밍(Trimming) 순으로 구성된다. 피니언샤프트 열간단조품 형상은 Fig. 1과 같이 단조후 기어성형을 위한상부 기어부(A), 하부 샤프트부(B)로 나뉘며 단조 금형은 Fig. 2와 같이 두개 단조품의 하부 샤프트부가 평행하며 일정 거리만큼 떨어진 형태이다. 공정해석[1]은 전체 3차원 모델로 AFDEX 3D[2]를 이용하였으며

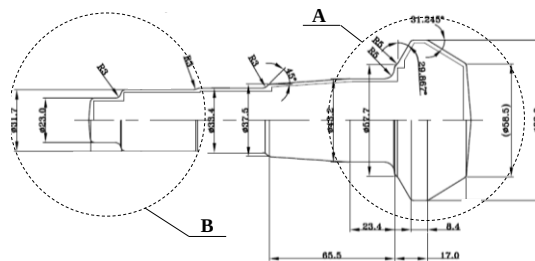
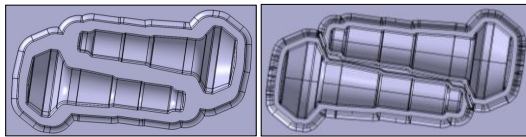


Fig. 1 Shape and dimensions of Pinion shaft

1. 한국생산기술연구원 뿌리산업기술혁신센터
2. 센트랄 그룹
교신저자: 한국생산기술연구원 뿌리산업기술혁신센터
E-mail: jungminlee@kitech.re.kr



(a) Bloker DIE (b) Finisher DIE

Fig. 2 Shape of bloker & finisher DIE

Table 1 Conditions of FE analysis

Items	Values
Initial billet size(mm)	Φ65, 240
Material of billet	SCM920HVS1
Billet temperature(℃)	1200
Dies temperature(℃)	150
Punch velocity(mm/s)	360
Punch and Dies	Rigid body
Friction (m)	0.2

전반적인 해석조건은 Table 1에 정리하였다

Fig. 3은 성형해석결과로써 각 공정별 소재의 변형 양상을 나타낸 것이다. Fig. 4 (a)는 성형해석 결과를 기존 불량과 비교한 것으로 브로커공정에서의 결육 발생 및 피니셔공정중 소재 겹침형상 불량을 나타낸다. 결육 발생을 막고자 소재 길이를 10mm 늘려 해석해본결과 Fig. 4 (b)와 같이 브로커 공정시 결육 미발생과 피니셔 공정중에도 겹침불량이 발생하지 않았다. 따라서 본 연구물의 피니언샤프트 열간단조공정시 브로커 공정중 미성형부의 소재유입량 부족과 성형압력 부족으로 인해 결육 발생 후 피니셔 공정 중 소재 겹침이 일어난 것으로 사료된다.

2.1 열간단조 공정변수 설정 및 평가방법

선행 성형해석의 소재유동 불량이 브로커 공정의 결육에 따라 발생하였으므로 적절한 소재 유동을 위한 공정변수를 Fig. 5 랜드부 R과 Fig. 5 a, b방향의 브로커 형상 이동거리로 공정변수를 설정하였다. 먼저 랜드부 R의 공정변수 영향 파악을 위해 Table 2와 같이 정리 및 유한요소해석을 통해 평가하였다. 평가 결과를 바탕으로 랜드부 R을 고정후 브로커 형상 이동거리를 Table 3과 같이 정리 및 유한요소해석을 통해 평가하였다. 공정변수 평가결과를 통하여 최적 열간단조 공정설계안을 결정하고 열간단조 시험을 통하여 공정설계안을 검증하였다.

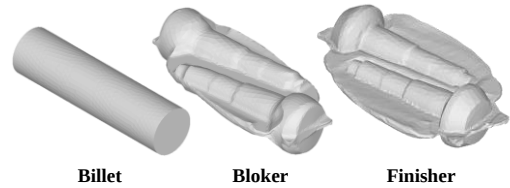
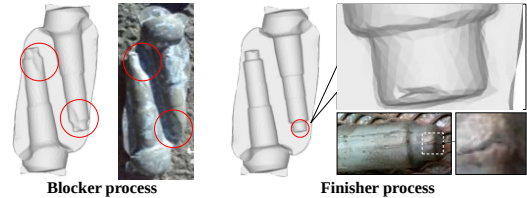
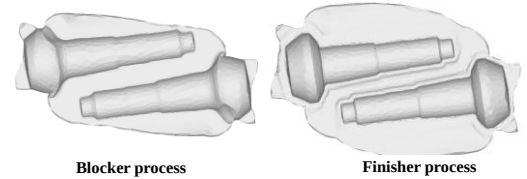


Fig. 3 Results of FE analysis for hot forging process design



(a) Comparison of experiments and original analysis



(b) Analysis results of the increase(10mm) of the size of billets

Fig. 4 Result comparisons of FE analysis

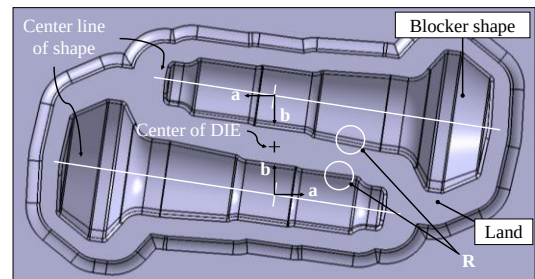


Fig. 5 Setting process parameters

Table 2 Process parameters values of Land side R

Case	1(Original)	2	3
a	0(Fixed)		
b			
R	6	4	2

Table 3 Process parameters values of a, b side Distance

Case	4	5	6
a	3	5	7
b	3	5	7
R	2(Fixed)		

3. 공정변수 평가 및 검증

Fig. 6은 각 Case 별 해석 결과로 랜드부 R 값이 작아질수록 하부 샤프트의 결육이 줄어드는 것을 알 수 있다. 또한 적절한 브로커 형상의 이동시 결육이 줄어드는 것을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 Case 5의 공정변수조건을 피니언샤프트의 열간단조 성형하기 위한 최적공정으로 설정하였다. Fig. 7은 Case 5 결과의 유효변형률 및 응력을 나타낸다.

Fig. 8은 최적공정설계안을 바탕으로 금형설계 및 제작한 금형이며 열간단조시험을 통한 시제품은 Fig. 9와 같다.

4. 결 론

본 논문에서는 자동차 미션용 피니언샤프트의 열간단조공정중 발생하는 결육 및 소재접침불량을 해결하기 위해 열간단조 공정변수를 설정하고 유한요소법을 이용하여 각 변수를 성형해석 및 평가하였다. 기존 열간단조공정에 대한 해석결과, 브로커 공정시 부적절한 소재유동으로 하부 샤프트에 결육 발생 및 결육부위가 피니서 공정중 소재접침으로 발전하여 불량률이 발생하였다. 공정변수는 금형 랜드부 R, 두개의 브로커형상의 거리로 설정하였으며 금형 랜드부 R 2mm, 브로커 형상의 거리 a, b 방향으로 5mm 이동하였을 때 적절한 피니언 단조품 치수를 얻을 수 있었으며 최적공정설계안으로 설정하였다. 최적공정설계안을 바탕으로 금형제작 및 열간단조시험을 통하여 설계안을 평가하였다.

참 고 문 헌

- [1] M. S. Joun, S. M. Hwang, H. G. Moon, 1995, Automatic Computer Simulation of Multi-Stage Hot Forging Processes - Flow, Temperature and Die Analyses, Trans. Kor. Soc. Mech. Eng. Conf., Vol. 1, PP. 337~340
- [2] www.afdex.com

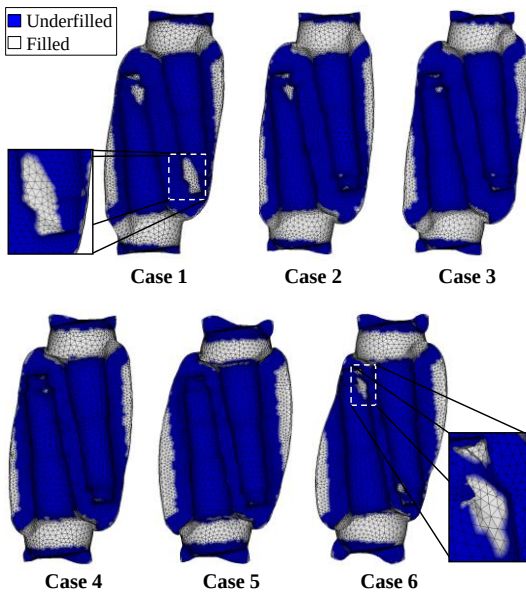


Fig. 6 Analysis according to the process parameter

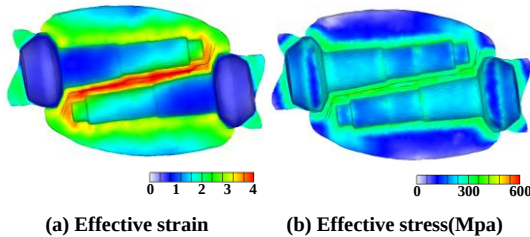


Fig. 7 Results of FE analysis for optimal process design

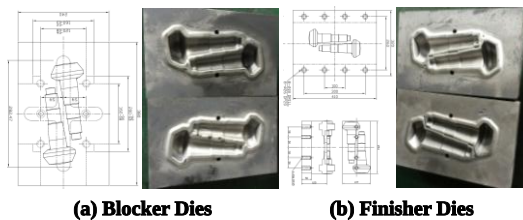


Fig. 8 Die design for optimal process design



Fig. 9 Prototype product by hot forging test

풍력발전용 메인샤프트의 켄칭 후 변형량에 관한 연구

전웅배^{1#} · 장아영¹ · 정상인¹ · 박상덕¹ · 권정재² · 강신완² · 권용철³

A study on deformation after quenching of Main shaft shape for wind turbine

W. B. Jeon^{1#}, A. Y. Jang¹, S. I. Jeong¹, S. D. Park¹, J. J. Kwon², S. W. Kang², Y. C. Kwon³

Abstract

Main Shaft of wind turbine which is connected with Rotor hub and Speed increaser and sent high torque and turning power of low speed to gear box or generator is significant component. Main Shaft is quenched to meet mechanical properties and after quenching, that is causing the deformation of the product is essential. If it makes a lot of setting the machining allowance, that should not be efficient on many machining, reduction of the mechanical properties, and etc. Therefore, this study determines the best machining allowance to anticipate deformation of Main Shaft after quenching using Fe-analysis.

Key Words : Main Shaft; Wind turbine; Quenching; Machining allowance

This research was financially supported by the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIV), Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) and Dongnam Institute for Regional Program Evaluation through the Leading Industry Development for Economic Region.

1. 현진소재㈜

2. 용현BM㈜

3. (재)경남테크노파크

교신저자: 현진소재㈜, E-mail: wbjeon32350@hjgr.co.kr

형상변수에 따른 로타샤프트 디스크부의 열간단조공정에 대한 연구

전종원¹ · 정호승² · 조종래[#] · 최성규³

Study for Hot Forging Process on Disk of Rotor Shaft Depending on Shape Parameters

J. W. Jeon, H. S. Jeong, J. R. Cho, S. K. Choi

Abstract

The rotor shaft is a major part for high efficiency of turbo charger that is composed of disk and shaft. The disk is joined with the rotor shaft by friction welding process. The disk is manufactured by hot forging process. During hot forging process, a preform is required to fill the shape of disk and the maximum forging load should be determined to select a forging machine. The aim of this study is to predict the shape of final forged product and maximum load during hot forging process depending on shape parameters. The billet for hot forging was proposed according to three shape parameters, such as volume of billet, diameter of billet and thickness of flash. The finite element analysis was employed to predict the characteristics as the shape parameters of the billet.

Key Words : Hot forging, Disk, Rotor shaft, Finite element analysis

1. 서 론

전세계적으로 지구 온난화 문제가 대두됨에 따라 엔진의 고효율 및 고출력화가 요구되고 있으며 이에 따라 친환경 고효율 에너지 및 동력 시스템의 개발이 많은 관심을 받고 있다. 우리나라의 조선산업은 현재 세계 1위의 조선 강국이며, 디젤엔진의 생산 또한 70% 정도로 세계 1위를 차지하고 있다. 하지만 디젤엔진의 고효율을 위한 핵심기술인 터보차저 등에 대한 개발은 수입에 의존하고 있다.[1,2] 터보차저의 부품인 로타샤프트는 디스크부와 샤프트부로 구성되어 있으며, 고속회전체 부품으로 기계적 성질이 우수해야 한다. 본 연구에서는 로타샤프트의 디스

크부를 단조공정을 이용하여 성형 가능성을 확인하였으며, 형상변수에 따른 경향을 예측하여 로타샤프트의 주요 변수를 제시하였다. 단조공정은 기계적 성질이 우수한 제품을 대량적으로 생산할 수 있으며 소재의 온도에 따라 열간단조, 온간단조, 냉간단조로 구분된다. 본 연구에서는 단조하중을 감소시키기 위해 열간단조로 연구를 진행하였으며, 상용 프로그램인 DEFORM-2D를 사용하여 유한요소해석을 수행하였다.

2. 형상변수 정의

Fig.1은 대형선박용 엔진의 로타샤프트의 형상을 나타내고 있으며, 디스크부에 대한 단조공정은 Fig.2와 같은 단조금형을 사용하여 해머로 작업한다. Fig. 3과 같이 실린더형 예비성형소재를 하부 금형 위에 올려 놓고, 상부 금형이 압축을

1. 한국해양대학교 수중운동체특화연구센터

2. 부산대학교 볼스-로이스대학기술센터

3. (주)케이에스피 기술연구소

교신저자: 한국해양대학교 기계·에너지시스템공학부

E-mail: cjr@kmo.ac.kr

가하면서 소재가 소성변형 된다. 본 연구에서는 형상변수를 3가지로 정의하였으며, 예비성형소재의 체적, 직경 및 플래쉬 두께로 선정하였다. 플래쉬는 단조공정 시 성형성을 증가시키기며 두께가 작을수록 성형성이 좋아지나 하중이 증가한다. 형상변수에 대한 값은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Shape parameters

	Diameter of preform (mm)	Volume of preform (%)	Thickness of flash (mm)
1	360	105	5
2	380	106	6

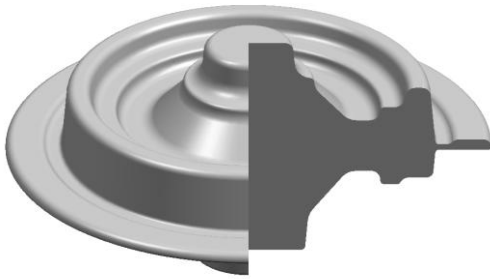


Fig. 1 Geometry of rotor shaft

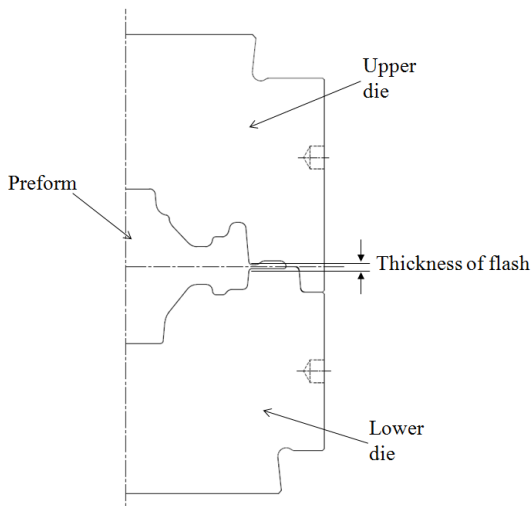


Fig. 2 Forging dies

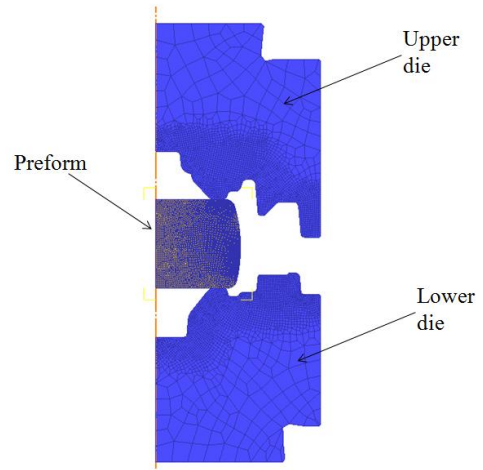


Fig. 3 FE model for hot forging process

3. 유한요소해석

해석에 사용된 예비성형소재는 고급 마르텐사이트강 ST13T이며, 온도는 1250 °C를 적용하였다. 금형은 300 °C를 적용하였으며, 소재/금형간의 마찰계수는 윤활이 없는 상태로 0.3을 적용하였다.

일반적으로 단조공정시 재료의 변형으로 인한 소성열이 발생한다. 열간단조는 소성열과 소재/금형간의 열전달에 의한 온도 변화가 소재의 유동에 직접 영향을 주게 되어 열간단조 금형과 소재간의 열전달 해석이 필수적이다.[3]

따라서 본 연구에서는 열전달을 고려하여 유한요소 해석을 수행하였으며, 효율성을 위해 축대칭조건을 적용하였다.

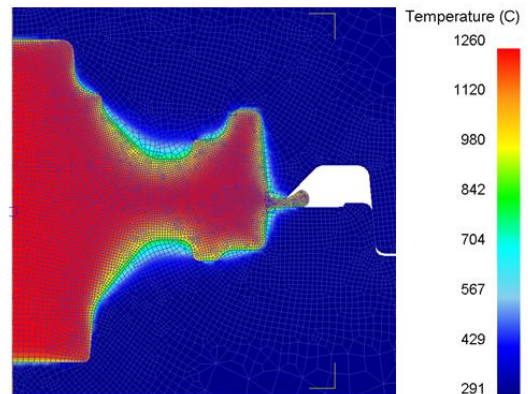


Fig. 4 Temperature distribution after hot forging

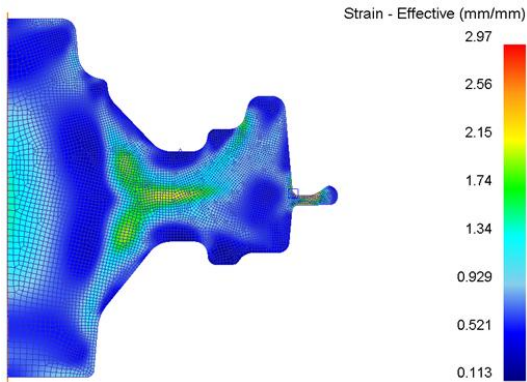


Fig. 5 Strain distribution after hot forging

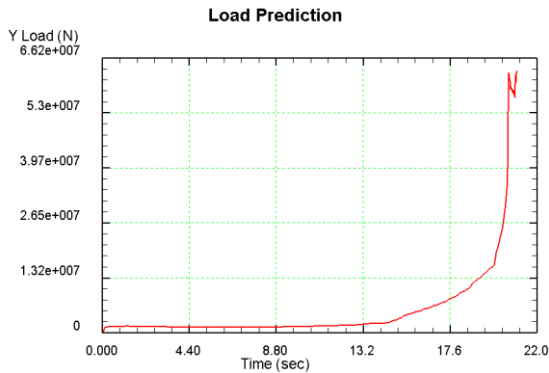


Fig. 6 Forging load prediction on hot forging

4. 해석 결과 및 결론

본 연구에서는 열간단조공정 시 예비성형 소재의 체적, 직경 및 플래쉬의 두께 3가지 형상변수를 정의하였으며, 형상변수에 따라 성형성 및 최대단조하중이 어떻게 변하는지 예측하였다.

예비성형소재의 체적이 커질수록 단조품에 대한 성형성이 증가하였으나, 체적이 너무 커질 경우 최대단조하중이 상당히 증가함을 확인할 수 있었다. 단조공정시 충진이 가장 늦게 일어나는 위치는 중심으로부터 가장 외각 쪽에 있으므로 예비성형소재의 직경이 증가할수록 성형성이 증가함을 확인할 수 있었다. 마지막으로 플래쉬의 두께는 얇을수록 성형성이 증가하였으며, 마찬가지로 너무 얇을 경우 최대단조하중이 상당히 증가함을 확인하였다.

형상변수는 3가지로 선정하였으며, 그 각각의 함수가 2개씩이므로 정확한 예측을 위해서는 다양한 추가 변수에 대한 해석이 이루어져야 할 것으로 예상된다.

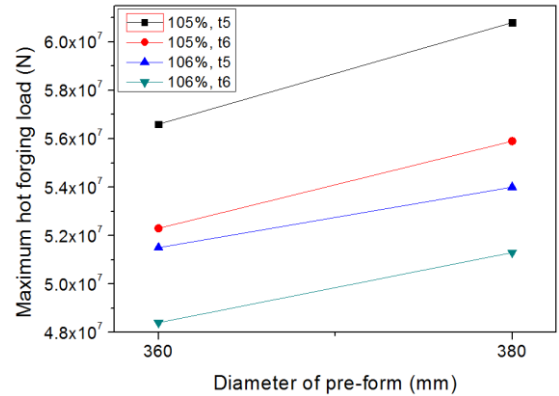


Fig. 7 Maximum hot forging load according to shape parameters

참 고 문 헌

- [1] J. Monaghan, 2001, A Finite Element Analysis of Cold-Forging Dies Using Two and Three Dimensional Models, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 118, No. 1-3, pp. 286~292.
- [2] 정호승, 조종래, 이낙규, 박희천, 최성규, 2007, 대형마찰용접을 이용한 로타샤프트 제조공정 개발, 한국소성가공학회지, 제16권, 제4호, pp. 266~270.
- [3] 김준형, 김철, 2010, 열간단조 플랜지 금형의 형상에 따른 충진 및 응력해석, 대한기계학회논문집, 제34권, 제4호, 423~430.

고수율과 고생산성을 고려한 역구배 제품의 알루미늄 냉간단조 공정설계의 최적화

정승원¹ · 진호태¹ · 최상도² · 전만수[#]

Optimized design of aluminum cold forging process for a part with reverse draft for both high yield and high productivity

S. W. Jeong, H. T. Jin, S.D. Choi, M. S. Joun

Abstract

In this paper, precision simulation of a process design for fabricating an aluminum cold forging of a commercial car part with reverse draft is carried out with emphasis on the lateral forging stage to minimize the machining cost and achieve near net-shape forging with reduced number of forging stages. The proposed process design is characterized by its compound process of lateral forging together with conventional longitudinal forging to reduce the number of forging stages and minimize the material loss. To realize the idea, an optimized preform is purposely designed, which can separate the deformation into two parts in the consecutive forging stage, that is, the upper part for longitudinal forging and lower part for the lateral forging.

Key Words: Lateral Forging (측면단조), Optimized Process Design(최적 공정설계), Forging Simulation(단조 시뮬레이션), Aluminum Cold Forging(알루미늄 냉간단조)

1. 서 론

최근 종래의 자동차 부품으로 가장 많이 적용되고 있는 철계 소재를 알루미늄 등의 비철 소재로 변경하는 것이 추세이다. 자동차 부품에 알루미늄을 적용하는 것은 수년 전부터 검토되어 왔으나, 알루미늄 소재가 철계 소재에 비하여 비싸고, 고강도 및 내마모성을 요구하는 자동차 부품의 특성상 적용에 시간이 많이 걸릴 수밖에 없었다. 그러나 최근에는 알루미늄 소재 기술의 발전으로 고강도, 내마모성, 내구성 등을 보장할 수 있는 알루미늄 합금이 개발되었고, 자동차 경량화에 대한 관련 업계의 요구가 더욱 커져 자동차용 알루미늄 부품의 적용이 활발히 진행되고 있다. 이러한 시대적 흐름은 환경 규

제의 벽이 높아지면서 더욱 공고하게 될 전망이다.

자동차용 알루미늄 부품으로 아직까지 주조 부품이 압도적으로 많이 쓰이고 있으나, 주조 부품의 강도 및 내마모성의 한계성과 주조 공정의 특성상 불량률이 높은 문제로 인하여 이러한 문제점을 해결할 수 있는 단조 부품의 개발이 요구되고 있다. 향후 자동차산업의 고연비와 경량화 경쟁으로 인하여 알루미늄 단조품의 개발은 지금보다 더 활발히 진행될 것으로 전망되며, 국내에서도 알루미늄 단조의 적용은 급격히 늘어날 전망이다. 알루미늄의 적용은 승용차에 그치지 않고 상용차로 적용이 확대되고 있다.

이 논문에서는 상용차의 액슬 부품의 알루미늄 냉간단조공정의 유한요소해석 결과와 이를 바탕으로 한 최적화 설계 방안, 특히 단 수의 축소 방안 등을 제시하고자 한다.

1. 경상대학교 대학원 기계공학과

2. 온일금속

교신저자: 경상대학교 기계공학부/공학연구원

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

2. 최적 공정 설계

Fig. 1은 이 연구에서 연구 대상으로 삼은 알루미늄 냉간 단조품이다. 이 알루미늄 단조품은 자동차 액슬에 조립된 상태에서 액슬이 움직이는 동안에 오일의 누수를 방지하기 위한 것으로 일정한 압력 이상에서 기밀을 유지해야 한다. 따라서 가격적으로 불리하지 않다면, 단조품이 유리하다.



Fig. 1 Cold forging to be studied

이 단조품의 특징은 Fig. 1의 영역 S가 역구배로 인하여 일반적인 단조가 불가능하다는 점이다. 따라서 이 제품의 성형을 위해서는 축방향 단조와 함께 측면방향의 단조, 즉 측면단조가 필수적이다. 측면단조는 캠을 이용한 프레스의 상하 운동을 측면 방향의 운동으로 변환시켜 실시하는 특수단조 공법이다.

Fig. 2는 단조 시뮬레이션 기술을 이용하여 경험적으로 설계된 공정으로부터 시작하여 다수의 반복작업을 통하여 획득한 공정설계를 나타내고 있다. 공정설계의 주 목적은 Fig. 1의 단조품을 제조하는데 사용된 기존의 3단의 공정 수를 2단으로 감소시키면서 수율의 극대화를 달성하는 데 있다.

따라서 신 공정은 총 2개의 냉간단조 단으로 구성되어 있으며, 제1단은 예비형상을 제조하는 공정으로 제2단의 복잡성을 고려하여 형상설계 및 하중 안배가 중요하다. 이 공정설계는 하중의 안배, 수율의 극대화 등을 최적화의 기준으로 실시한 것이다. 단조 시뮬레이션의 조건을 Table 1에 정리하였다.

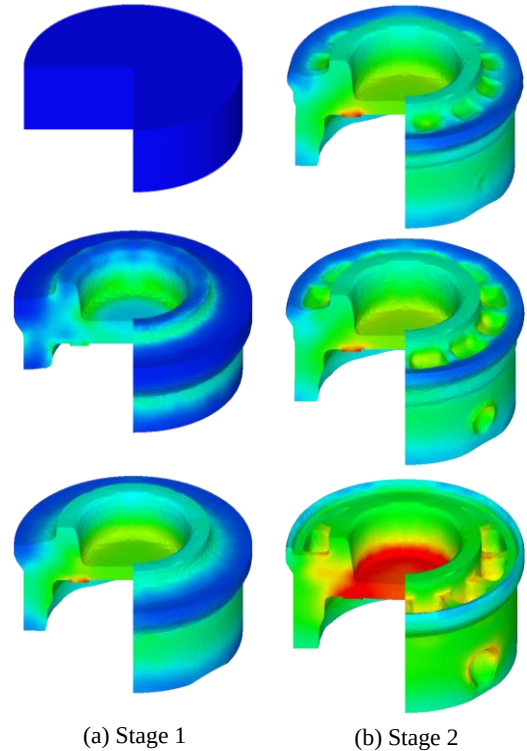


Fig. 2 Optimized process design

Table 1. Process information

Workpiece	Material	AA6061
	Initial size	$\phi 91.5\text{mm} \times h31.8\text{mm}$
	Temperature	25℃
Coulomb friction coefficient		0.1
Die velocity		-1.0 mm/s

마지막의 측면단조 단에서 측면 가압에 의한 변형의 최소화는 전체적인 형상 공차를 유지하는데 중요하다. 그리고 측면단조에 따른 타원도의 증가는 기계가공량을 증가시키는 등 바람직하지 않는 영향을 미치므로 이를 통제하기 위하여 제1단에서 해당 부위의 두께 및 하부의 프로파일을 적절히 설계하는 것이 필요하다. 따라서 측면단조공정에서 최종 스트로크에 다다랐을 때, 공극이 최소화가 되도록 예비형상 설계를 실시하였다. 해석 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

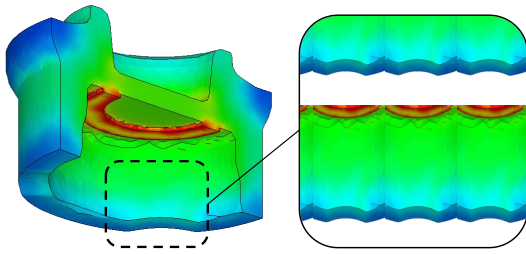
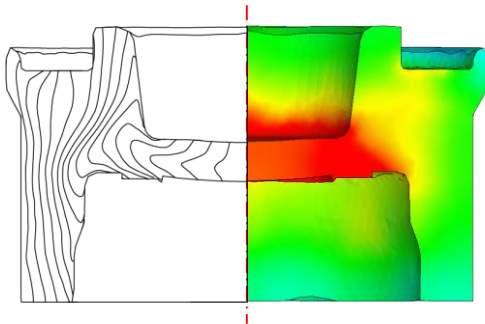


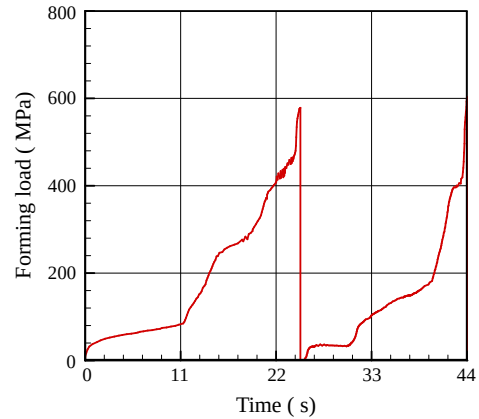
Fig. 3 Preform optimized

물론 3단 공정을 2단으로 변경하는데 있어 하나의 단에서 최대의 성형하중을 적절히 통제해야 한다. 이 목적을 위하여 예비형상, 즉 제1단의 단조 공정이 매우 중요하다. 그리고 제2단에서 측면단조가 개시되는 일정 스트로크 이후에는 프레스 작동방향으로의 금형의 성형과 측면방향으로의 움직이는 금형의 성형 간에 간섭을 최소화시키는 것이 필요하다. 이러한 조건을 만족시키기 위한 다양한 설계 후보에 대한 해석결과를 토대로 적절한 공정설계를 실시하였다.

Fig. 4에 전체의 공정에 대한 주요해석 결과를 나타내었다. Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 단류선은 비교적 양호하며, Fig. 4(b)에서 보는 바와 같이 제1단과 제2단에 하중이 골고루 분산되었다.



(a) Metal flow and effective strain



(b) Forming load

Fig. 4 Finite element predictions of the optimized process design

4. 결 론

이 논문에서는 난형상 부품의 알루미늄 냉간 단조 공정을 최적화하기 위한 공정 시뮬레이션 기술 적용 사례를 나타내었다. 축방향단조와 동시에 측면단조를 통하여 수율의 극대화가 이루어졌다. 이 제품의 형상적 특성상 상하부로 주변형구간을 분리시킬 수 있으며, 이 때 적절한 예비형상의 사용이 필수적이다. 이 연구에서는 단조 시뮬레이션 기술을 활용하여 구한 최적 예비 성형체를 사용함으로써 단수를 줄이면서 동시에 수율 증가가 가능한 것으로 평가되었다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 산학협력기술개발 사업과 BK plus 21사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] 김현민, 김연구, 박용복, 2011, 알루미늄 요크 정밀 냉간 단조 기술 개발, 제 16회 단조 심포지엄, pp. 91~99
- [2] S. W. Jeong, S. D. Choi, S. W. Park, M. S. Joun, 2014, Optimized design of an aluminum cold forging process for a commercial car part, Proceeding of the KSMPE Autumn Conference, pp. 108

고탄소강의 베이나이트 상변태 거동 및 신선 특성 분석

정신웅¹ · 박정훈¹ · 안강석¹ · 남원종[#]

Analysis of drawing properties and upper bainite transformation behavior in high carbon steels

S. W. Jeong, J. H. Park, K. S. An, W. J. Nam

Abstract

High carbon steel(0.9 wt%) were austenitized at 950 °C for 5 min and quenching into a salt bath at 450 °C for 1 h to obtain upper bainite morphologies. SEM studies showed that by increasing the transformation time, morphology varies from austenite to upper bainite. The results indicated that the morphology of bainite carbide show multifarious shapes, like plate, fibrous wedge and so on. There was no condition of carbide formed in intercrystalline of bainite ferrite, bainite carbide nucleated on the boundary of bainite ferrite and the carbon-enriched residual austenite, and grown along the boundary. The evolution in the characteristics of the cementite phase in a bainitic wire has been followed by using SEM observations as a function of strain. In the initial state the cementite plates and particles have no preferred alignment. Observations in longitudinal sections show that drawing to low to medium strains ($\epsilon=0.5-1.5$) results in a continuous change in the cementite to give a preferred alignment parallel to the wire axis, with this transition complete at a strain of $\epsilon=1.5$. Drawing to higher strains results in a lengthening and thinning of the cementite.

Key Words : Drawing, upper bainite, cementite, high carbon steel

1. 국민대학교

교신저자: 국민대학교, E-mail:wjmam@kookmin.ac.kr

플라스틱 소재 대상 버 최소화 마이크로 가공 연구

정웅기¹ · 임성한[#] · 민동균²

A Study of Burr Minimization in Plastic Micro-machining

U. G. Jung, S. H. Rhim, D. G. Min

Abstract

Recently, the needs for highly precise, smaller and deeper drilling techniques are increasing to produce printed circuit boards(PCB), air bearings and fuel injection nozzles. However, it is not easy to determine optimum cutting conditions since the micro drilling process is very sensitive to various disturbances. Thus, in this study, micro drilling of plastic material is investigated to determine optimum cutting conditions. Three cutting parameters(cutting speed, feed rate, step) are associated with minimizing burr. Selected conditions are verified through required experimental works. As the results, it is shown that the experiments can be applied to micro drilling processes to determine optimum cutting conditions.

Key Words : Micro Drilling, Burr Formation, Cutting Condition

1. 서 론

최근 전자부품, 의료기기, 정밀공구 등 첨단 산업분야에서 광범위하게 미세구멍 가공기술이 적용되고 있으며, 초소형 부품의 개발 경쟁이 치열해짐에 따라 미세구멍 가공기술의 중요성은 날로 증가하고 있다[1]. 이러한 가공에 사용되는 기술로는 열적 가공 기술인 전자 빔, 레이저, 방전가공 등이 있고, 전해연마, 전해가공 같은 화학적 가공 등이 있으나 다양한 피삭제에 대한 적용성, 가공 후 마무리 작업의 용이성, 경제성과 생산적인 측면을 고려할 때 기계적 구멍가공이 선호되고 있다[2]. 실제 산업체에서 마이크로 드릴링 작업이 매우 흔하게 사용되고 있지만, 짧은 공구수명, 버(burr) 과다 생성, 진원도 오차 등으로 인해 형상 정밀도가 크게 저하된다. 특히 크기가 작은 버가 생성되면 이를 제거하기가 매우 어렵기 때문에 버의 존재 유무는 큰 직경의 구멍가공에 비해 더 심각한 문제점이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 마이크로 드릴 가공에서 절삭조건에 따른 버의 정량적 수치를 측정하여 버 최소화하는 절삭조건을 선정하고자

한다.

2. 실험장비 및 실험방법

2.1 가공 장비 및 공구

본 실험에 사용된 장비로는 CNC 정밀 밀링 머신이며, 스피들의 속도가 최고 60,000RPM까지 고속회전이 가능하다. 그리고 스텝이송에 의한 마이크로 드릴링을 하고자 스텝이송 제어시스템이 갖추어져 있다. 아래의 Table 1은 CNC 정밀 밀링 머신의 사양을 나타낸 것이다. 가공에 사용된 공구는 일반적으로 쓰이는 공구강인 스트레이트 생크(shank) 드릴을 사용하였으며 직경 0.085mm의 마이크로 드릴을 사용하였다.

Table 1 CNC milling machine specifications

	Unit	Figure
Spindle speed	RPM	3,000-60,000
Cutting feed rate	mm/min	15,000
Table working area	mm	550 x 350
x/y/z axes displacement	mm	450/350/200

1. 한국기술교육대학교 대학원

2. 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

#. 한국기술교육대학교 기계공학부, shrhim@koreatech.ac.kr

2.2 실험방법

실험에 사용된 시편의 소재는 엔지니어링 플라스틱이고 직경 2mm, 두께 1.5mm인 원형 시편을 제작하여 가공을 실시하였다. 실험인자는 주축 속도, 이송 속도, 절입량으로 선정하였다. 주축 속도는 15,000~40,000 RPM(5,000씩 변화), 이송 속도는 80~280 mm/min(40씩 변화), 절입량은 20~120μm(20씩 변화) 범위 내에서 3가지 인자 중 2가지 인자를 고정하고 1가지 인자의 값들을 변화시켜서 각 인자 별 수준을 6회(Level 1 ~ Level 6)로 하여, 총 18번의 가공 실험을 수행하였다.

각 가공조건 별 가공을 실시한 후 결과를 도출하기 위해 버의 형상은 주사전자현미경(FE-SEM)을 통해 관찰하였고, 버의 3차원 형상과 부피는 키포칼 현미경을 이용한 3차원 스캐닝을 통해 측정하였다. 아래의 Fig.1과 Fig.2는 주사전자현미경(FE-SEM)과 키포칼 현미경으로 측정한 것을 나타낸 것이다.

3. 실험 결과 및 고찰

주축 속도 변화에 따른 가공성 평가 실험의 경우 15,000 ~ 25,000rpm까지는 서서히 감소하다가 30,000rpm에서 버의 부피가 최소가 되고,

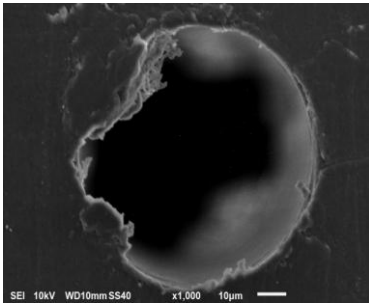


Fig. 1 FE-SEM photo of the micro drilled hole

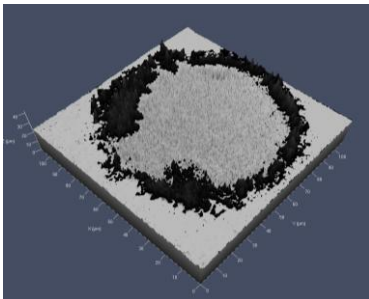


Fig.2 Confocal photo of 3D burr measure

35,000 ~ 40,000rpm에서 다시 소폭 상승하는 경향을 나타내고, 이송속도를 고정으로 한 경우 120mm/min에서 버의 부피가 최소가 된 후 다시 점점 증가하는 경향을 나타내었다. 절입량 변화에 따른 가공성 평가실험의 경우 버의 부피가 0.08mm에서 최소이지만 다른 수준들과 부피의 차가 크지 않고 감소하거나 증가하는 경향이 뚜렷이 나타나지 않는다.

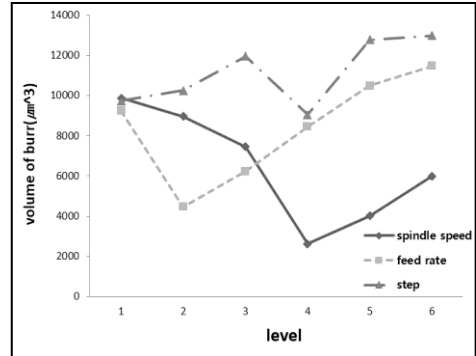


Fig.3 3D shape of burr(volumetric size) at various drilling conditions

4. 결 론

본 연구에서는 플라스틱 소재를 대상으로 한 마이크로 홀 가공에서 버 최소화를 위한 절삭조건 실험을 통해 주축속도, 이송속도, 절입량에 따른 버 생성량(부피 기준)과의 관련성을 확인하였다. 향후, 공정 인자와 버 부피 간의 정량적인 관계식을 도출하고 버 최소화를 위한 공정조건 최적화를 수행하고자 한다.

후 기

본 연구는 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업의 지원을 받아 수행하였습니다.

참 고 문 헌

- [1] 김동우, 2002, 실험계획법에 의한 마이크로 드릴링 공정의 최적 절삭조건 결정, 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 993 ~ 998.
- [2] W. konig, 1992, Toll Monitoring of small Drills with Acoustic emission, Int. J. Mach. Tools Mugact. Vol. 32, pp. 487 ~ 493.

유압프레스를 이용한 Thermoplastic CFRP Plate 제작

정의철¹ · 김종선³ · 윤경환² · 이성희³

Thermoplastic CFRP plate manufactured using a hydraulic press

E. C. Jeong, J. S. Kim, S. H. Lee

Abstract

CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) is a composite material using plastic as a matrix of carbon fiber. It has a high stiffness and strength than the metal. Because of these properties, this material is preferred as light-weight materials in automotive industry. For CFRP using a Thermoset plastic requires the curing time. However, Thermoplastic CFRP does not need curing time. This can reduce the cycle time. Also, thermoplastic CFRP has the advantage that it can reused.

The purpose of this paper is produced thermoplastic CFRP using a hydraulic press for the study on Thermoplastic CFRP production in the injection molding process

Key Words : CFRP, Thermoplastic, Press, Injection Molding

1. 서 론

복합재료란 두 가지 이상의 서로 다른 물질이 혼합되어 기존의 물질과 다른 성질의 물질이 된 것을 의미하며 이러한 복합재료의 구성요소로는 모재(Matrix), 보강재(Reinforced), 입자(Particle), 층(Lamina)등이 있다. CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)는 보강재로 탄소섬유(Carbon Fiber), 모재로 플라스틱을 사용한 복합소재이다. CFRP는 기존 금속 소재에 비하여 비강성과 비강도가 우수하여 경량화 소재로 각광받고 있다.

초기의 CFRP는 모재로 열경화성 플라스틱(Thermoset Plastic)을 사용하였으나 원하는 형상의 프리프레그(Prepreg)를 만들기 위해서는 레진(Resin)이 경화되기까지의 경화시간이 필요했다. 그러나 열경화성 플라스틱 대신 열가소성 플라스틱(Thermoplastic)을 모재로 사용하면 이미 사용된 CFRP 성형품을 다시 잘게 부수어 펠렛 형태로 재사

용이 가능하다는 장점을 가질 수 있으며 제작 방법을 사출성형공정(Injection Molding)에 적용시키면 경화시간이 불필요하여 성형품을 얻기까지의 시간을 줄일 수 있다.

사출성형 공정 기반의 Thermoplastic CFRP 제작에 관한 연구의 기초 참고자료로 사용할 수 있도록 유압프레스를 이용하여 Thermoplastic CFRP를 제작하였으며 이를 통하여 표준시편 제작을 통한 기계적 물성평가를 거쳐 함침용 Thermoplastic Resin과 CFRP의 기계적 물성 DB를 구축할 예정이다

2. 본 론

2.1 Prepreg의 함침구조 및 금형구조

탄소로 직조된 섬유(Fiber)에 모재를 함침시킨 것을 프리프레그(Prepreg)라 하는데 Fiber로는 평직형태의 한국카본의 CF3388 3K 원사를 사용하였으며 Resin으로는 LG화학의 PP 수지를 사용하였다[1]. 사출성형

1. 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소 금형기술그룹, 단국대학교 기계공학과

2. Corresponding Author : 단국대학교 기계공학과
E-mail : khyoon@dankook.ac.kr

3. Corresponding Author : 한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소 금형기술그룹, E-mail:birdlee@kitech.re.kr

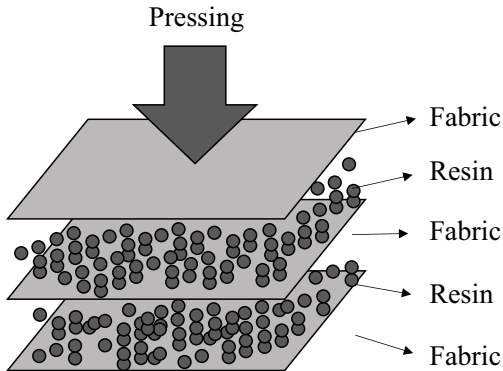


Fig. 1 Impregnated the structure of the Prepreg

공정 기반의 Thermoplastic CFRP 제작과 유사한 방식의 실험 공정을 프레스에서 조성하기 위하여 [Fig.1]과 같이 Fabric과 Resin을 Multi-layer로 구성되어 가압을 통한 함침 성형실험을 진행하였다. 고체상태의 Resin을 녹이기 위하여 금형에 Heating Channel이 존재하며 성형품의 취출을 위하여 Heating channel과 개별적인 Cooling channel이 존재한다. 성형품의 형태는 표준시편제작을 위하여 두께 0.5mm의 Plate 형태이다.

2.2 실험방법 및 결과

핸드레이업(Hand lay-up)방식으로 Fabric과 Resin의 layer를 구성하였으며 성형에 앞서 고체 펠렛 상태의 Resin을 melting 상태로 만들기 위하여 Pre-heating 시간을 두고 실험을 진행하였다. 가압유지형태의 40ton 유압프레스를 이용하여 함침을 진행하였으며 Fabric과 Resin의 함침구조를 변경해 가며 실험을 진행하였다. 성형품 취출 시 Carbon Fiber가 금형 코어

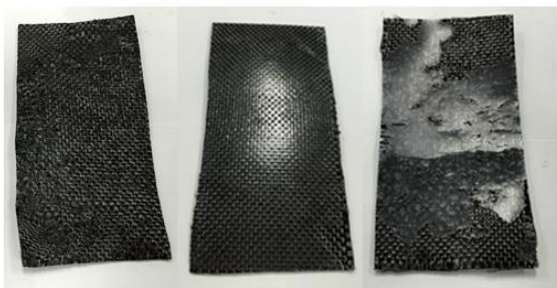


Fig. 2 Experimental result according to the method

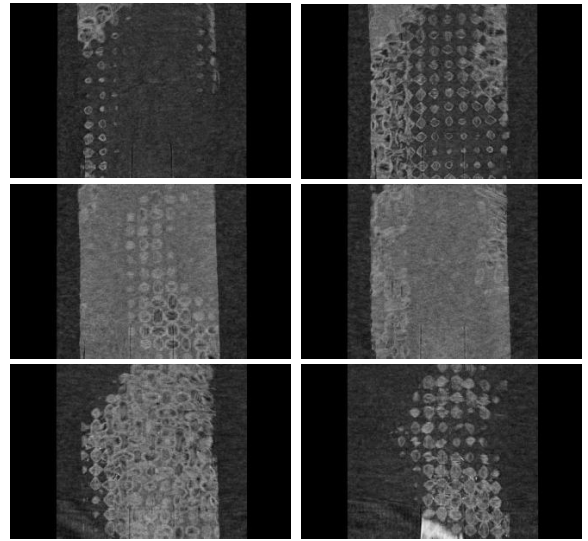


Fig. 3 CT tomography results

면에 눌러붙어 배열형태가 망가지는 것을 방지하기 위하여 PET 내열필름을 사용하였다.

[Fig. 2]는 함침구조와 실험방법에 따른 결과로서 취출문제로 인하여 Carbon Fiber의 배열이 망가진 형태(좌), 올바르게 성형 완료된 형태(중앙), Fabric 사이로 Resin의 함침이 올바르게 되지 못한 형태(우)이다.

2.3 실험결과 평가

Fabric안의 Resin의 함침정도의 평가는 CT단층촬영을 이용하여 측정하였다. [Fig. 3]은 측정결과 중 일부를 발췌한 것이며 샘플의 두께 방향으로 23um 간격으로 측정하였다. 측정결과 Fabric 사이의 공극 비율을 통하여 Resin의 함침정도는 파악할 수 있으나 성형 완료 후 내부의 Fabric 배열을 확인하기 위하여는 추가적인 측정방법 모색이 필요하다

3. 결 론

사출공정을 이용한 Thermoplastic CFRP 제작에 앞서 유압프레스를 이용하여 Thermoplastic CFRP prepreg를 제작하였다. 성형에 사용할 Fabric과 Resin을 선정하여 함침구조를 바꾸어가며 실험하였으며 CT 단층촬영을 통하여 Resin의 함침정도를 파악하였다.

Carbon Fiber 복합소재의 경우 Fiber의 배열이나 Resin과 Fiber 사이의 접합 정도에 따라 강도의 차이가 크게 달라질 수 있기 때문에 이에 대한 추가적인 측정이 이루어져야 할 필요성이 있으며 또한 Plate 형태로 성형 완료된 샘플을 표준 시편형태로 제작하여 기계적 물성평가를 거쳐 사출성형 공정에 적용시킬 물성 DB를 구축할 예정이다

후 기

이 논문은 한국생산기술연구원의 RCOE 육성사업에 의해 지원받아 진행되었습니다(PEO15330).

REFERENCES

- [1] Thermoplastic composites-rapid processing application: Arnt R. Offringa, 1995, Elsevier Science Limited, pp. 1~3.
- [2] Fiber hybridization in polymer composites : Yentl Swolfs, 2014, Elsevier Science Limited, pp. 181~200.
- [2] [3] Mechanisms of interfacial adhesion in metal-polymer composites: Uday K. Vaidya, 2011, , Elsevier Science Limited, pp. 906~915.

자동차 샤프트 연결 허브의 고정밀 열간단조 공정개발

조원후¹ · 이성원¹ · 이신호² · 이정민[#]

High Precision Hot Forging Process Development of the Automobile Shaft Connection Hub

W. H. JO, S. W. Lee, S. H. Lee, J. M. Lee

Abstract

Automotive Hub as part of suspension connected to axle and prop up load. So, Hub is needed to high strength and precision. Hub is produced by three hot forging process such as upsetting, blocker, finisher. By inappropriate material flow in blocker process, some defects occur such as unfilling, folding of the material. To solve these defects, repetitive mold modification should be performed.

The main purpose of this paper is to find out various causes of defects using the finite element analysis. In order to produce a Hub of high strength and high precision, we have studied optimum hot forging process design.

Key Words : Hot Forging Process(열간단조공정), Finite Element Analysis(유한요소해석), Automobile Shaft Connection Hub(자동차 차축 연결 허브)

1. 서 론

자동차의 차축과 감속기를 연결하는 허브는 엔진으로부터 전달된 동력을 감속기에 전달하고 차축의 강성을 지지하는 역할을 하는 고기능성 부품이다. 특히 연결 허브부품은 감속기로부터의 동력전달 손실을 줄이고 차축으로부터의 하중을 견디기 위해 고강도, 고신뢰성이 요구되며 복잡한 플랜지 형상과 고정밀 기어형상을 가지기 때문에 열간단조공정과 기어가공을 포함하는 정밀 후가공을 통해 제조된다.[1] 그러나 열간단조를 통한 허브제작 시 부적절한 소재유동으로 소재접침 및 미충만부 문제가 빈번히 발생한다.

본 연구에서는 유한요소해석을 이용하여 허브 열간단조공정시 발생하는 BOSS부와 플랜지부의 소재 접침 및 미충만부 현상을 개선하기 위해 고려될 수 있는 각 공정변수를 평가하였다.

2. 문제점 정의

기존 허브부품의 열간단조 공정은 총 4공정으로 1공정은 초기 단조빌렛 가열후 탈탄층을 제거하기 위한 업세팅공정, 2공정은 허브의 외각형상 제조를 위한 브로커공정, 3공정은 최종연결 허브 단조품 치수를 형성하기 위한 피니셔 공정, 4공정은 Boss부 내경 홀 생성을 위한 피어싱 공정으로 그 공정도를 Fig.1에 나타내었다.

4번째 공정인 피어싱을 제외한 1,2,3 공정을 다단열간단조 공정이라 하며 이러한 열간단조공정시 소재의 부적절한 유동제어에 의해 소재접침과 미충만부가 발생한다. 이러한 불량발생은

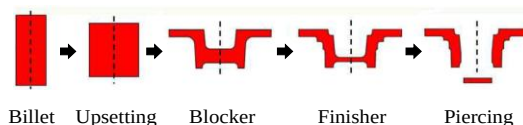


Fig. 1 Entire hot forging process to produce hub

1. 한국생산기술연구원 뿌리산업기술혁신센터

2. 센트랄 그룹

교신저자: 한국생산기술연구원 뿌리산업기술혁신센터

E-mail: jungminlee@kitech.re.kr

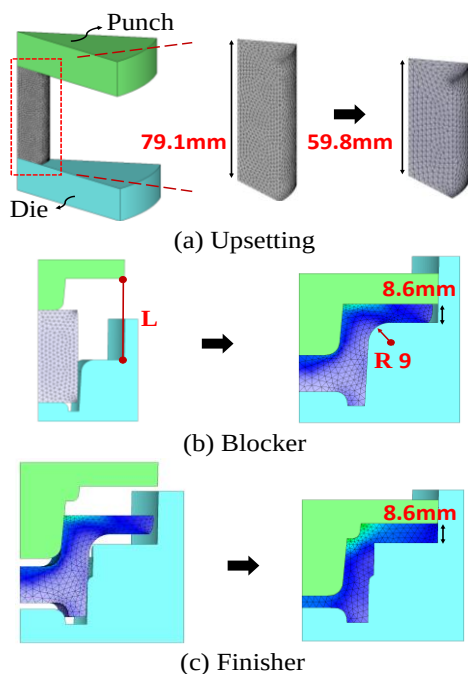


Fig. 2 Three-stage process of original hot forging

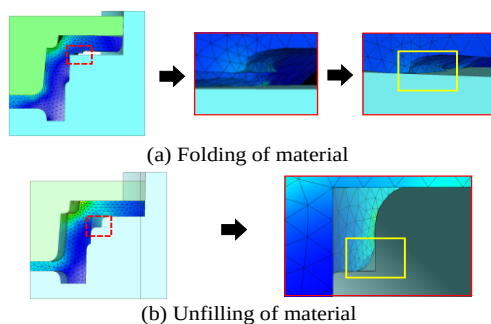


Fig. 3 defects in finisher Process

이후 후가공시 탈탄층 제거를 위한 가공여유를 감소시켜 허브의 치수 및 동심도 불량 등 최종 제품의 기능성 저하를 초래한다.[1] 이러한 문제점을 제거하기 위해 소재 가공여유를 증가시킬 경우, 오히려 소재 투입량이 증가하고 금형에 마모가 발생 할 수 있다.

따라서 소재의 가공여유를 최소화하면서 소재 겹침과 미충만부 발생 현상을 제거할 수 있는 정밀 열간단조 공정 최적화 설계가 요구된다

Table 1 Conditions of hot forging process

Items	Values
Material	SCr420HB
Initial billet size	$\phi 50 \times 79.1\text{mm}$
Initial billet volume(mm^3)	15531.249
Die speed (mm/s)	100
Friction (m)	0.3
Material temp.($^{\circ}\text{C}$)	1110
Die temp.($^{\circ}\text{C}$)	200

3. 열간단조 유한요소해석

3.1 원인 분석

허브부품의 기존 열간단조공정의 세부공정을 Fig. 2 에 나타내었다. 1공정인 업세팅 공정의 조건은 소재의 높이가 초기 79.1mm 에서 59.8mm 까지 압입이다. 2공정 브로커 공정에서는 플랜지 두께가(L) 8.6mm이 될 때까지 압입을 하며 다이 스 곡률 R은 9mm이다. 마지막 피니셔 공정은 허브의 치수를 성형하며 플랜지 두께는 8.6mm 로 유지한다. Table 1 은 공정변수를 설정하기전 유한요소해석을 위한 기본 성형해석 조건을 나타내었다.

기존의 열간단조공정 조건을 토대로 ‘AFDX 3D’[2]를 활용하여 성형해석을 실시한 결과 2공정인 브로커공정까지 결함없이 진행 되었으나 피니셔 공정에서 불량이 발생하였다. 플랜지 부위에 겹침현상이 발생하였고 소재유입량 부족으로 미성형부가 발생되었다. 성형해석상 불량 정도를 Fig. 3 에 나타내었다. 플랜지 부위의 겹침현상은 브로커 금형의 작은 다이 곡률에 의해 발생하는 것 판단하였고 미성형부 발생 또한 브로커 공정에서의 성형압력 부족으로 인한 적은 소재유입량 때문인 것으로 판단하였다.

3.2 공정변수 설정

3공정에서의 겹침현상의 발생원인은 브로커 다이의 부적절한 다이 곡률에 인한 것으로 분석되었다. 초기 곡률 R은 9mm 로 매우 큰 것으로 판단되어 그 보다 작은 곡률로 해석을 실행하였다. 곡률(R) 13mm 경우는 곡률의 크기에 따른 경향성 비교를 위해 해석을 실시하였다. 미충만부 발생은 브로커 공정에서의 성형압력 부족으로 인해 발생한 것으로 분석되어 브로커 공정시

Table 2 Process variables to improve defects

Defect	Values		
Folding	R of blocker die (mm)		
	5	9	13
Unfilling	Thickness of flange in blocker (mm)		
	8.6	8.8	9

플랜지의 성형 두께를 달리하여 해석을 실시하였다. Table 2 는 각각의 공정변수를 나타내었다.

3.3 해석 결과

브로커공정의 다이 곡률을 변화시켜 해석을 수행한 결과 곡률이 작을수록 겹침현상이 감소하는 것을 확인하였다. 곡률이 9mm이상 증가할 경우 피니셔 공정에서 성형성이 저하되는 것을 확인하였다. 그 원인은 곡률이 큰 다이에 의해 브로커 공정을 거친 소재는 피니셔 공정에서 많은 소재변형이 요구되기 때문에 성형성이 저하되는 것으로 확인된다.

미충만부 개선을 위한 브로커 공정의 플랜지 두께 변화에 따른 해석결과는 플랜지 두께를 증가 시킬수록 미충만 현상이 개선되는 것을 확인하였다. 하지만 플랜지 두께가 9mm 그 이상 커질시에는 피니셔 공정에서 요구되는 소재변형이 커져 역시 성형성이 저하되는 것을 확인하였다.

Fig. 4 는 곡률변화에 따른 겹침현상의 해석결과를 나타낸 것이고 Fig. 5 는 플랜지부 두께 변화에 따른 미충만부 발생 해석결과를 나타낸 것이다.

Fig. 6 은 기존의 열간단조공정과 공정개선 후 설계된 브로커 다이 곡률을 13mm와 플랜지 두께를 9mm로 설정하였을 때 성형해석을 비교하여 나타내었다.

4. 결 론

본 논문에서는 열간단조공정을 통해 제작되는 자동차 차축 연결 허브의 기존 공정의 문제점을 분석하고 그에 맞는 공정변수를 설정하여 최적의 공정조건을 설계하기 위해 유한요소해석을 수행하였다.

각 공정변수 별로 유한요소해석을 수행한 결과 겹침현상을 개선하기 위해서는 브로커 공정 다이 곡률 R을 5mm로 설정하는 것이 적절하고,

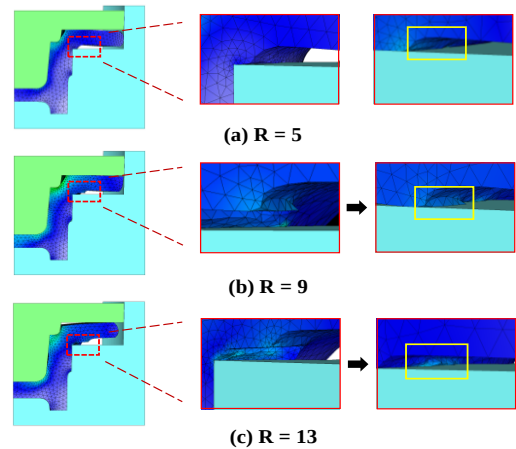


Fig. 4 Analysis results according to R of blocker die

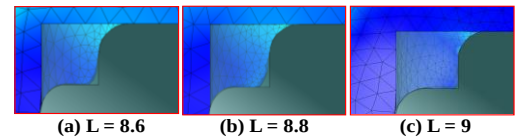


Fig. 5 Analysis results according to thickness (L) of flange

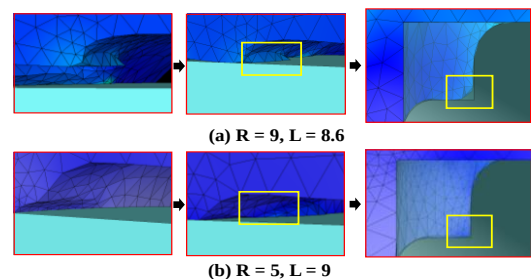


Fig. 6 Analysis results from the optimum process variable (R= 5mm, L= 9mm)

미성형부 발생을 개선하기 위해서는 브로커 공정에서의 플랜지 두께설정을 9mm로 설정 하는 것이 최적의 공정조건 이라는 것을 확인했다.

참 고 문 헌

- [1] H. S. Byun, 2005, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf, Pusan National University, Pusan, pp. 428-431
- [2] www.afdex.com

냉열간 정밀 단조기술을 적용한 자동차 엔진 마운팅 부품 개발

탁윤학¹ · 박동환^{1#} · 이미란¹ · 한성철²

Development of Automobile Engine Mounting Parts using Precise Cold-Hot Forging Technology

Y. H. Tak, D. H. Park, M. L. Lee, S. C. Han

Abstract

This paper aims to ensure shape precision by using cold-hot complex forging technology for developing engine mounting parts. Cold-hot forging technology is possible to be increase productivity improvement and cost reduction. Forging possible of engine mounting parts applied material property was investigated.

Key Words : Engine Mounting Parts, Combined Forging, Hot work, Cold work

1. 서 론

최근 자동차 설계에 있어 주행 및 제동에 대한 승차감과 안전이 중요한 요소로 대두되고 있다. 자동차 승차감 향상을 위해 엔진 마운팅 부품의 성능이 최적화 되고 있으며, 하이드로 마운팅, 액티브 마운팅 등이 개발되고 있다. 엔진 마운팅 부품은 엔진과 변속기로 구성되는 파워트레인을 지지함과 동시에 진동 및 소음을 감소시켜 운전자의 승차감을 향상시키고 있다. 또한 외부로 전달되는 진동을 저감하기 위해 낮은 강성이 요구되고 있지만 엔진 진동 흡수에 불리하고, 엔진 마운팅 부품 내부에 피로(fatigue) 증가와 크립(creep)이 발생되어 내구성이 저하된다.

엔진 마운팅 부품은 높은 내구성이 요구됨에 따라 9공정의 냉간 단조 공법으로 제작되고 있으며, 냉간 단조를 적용한 엔진 마운팅 부품의 경우 이각부 성형 시 사이징 공정에서 제품 불량과 금형이 파손되어 제작 원가가 향상된다.

이를 냉열간 복합단조를 통해 엔진 마운팅 부품의 높은 내구성과 원가 절감, 공정 개선 및 삭제, 금형 수명 향상이 가능하다. 본 연구는 엔진 마운팅 부품의 소재물성평가와 금형 제작, 시제품 제작을 수행하여 정밀 냉열간 단조기술을 적용한 자동차 엔진 마운팅 부품을 제작하였다. Fig. 1은 파손된 금형 부품과 조립된 엔진 마운팅 부품을 보여주고 있다.



Fig. 1 Crack of Punch and assembly of Engine Mounting Parts

1. 경북하이브리드부품연구원

2. 한성산업

교신저자: 경북하이브리드부품연구원

E-mail : pdh@ghi.re.kr

2. 소재물성평가

2.1 상온압축시험

상온압축시험은 60톤 유압식 압축 시험기를 활용하였고, 압축시편은 와이어 커팅하여 지름 10mm, 높이 15mm의 압축시편을 제작하였다. 압하율은 70% (12mm)까지 수행하였고, 압축 속도는 2mm/min으로 수행하였다. Fig. 2는 SM45C에 대한 상온압축시험 결과를 보여주고 있으며, 변형률에 대한 공칭응력과 진응력을 나타낸다.

2.2 고온압축시험

고온압축시험은 지름 8mm, 높이 12mm의 압축시편을 활용하여 제작하였고, 간접가열방식을 통해 온도(1,100℃, 1,200℃)를 상승시켰다. 변형 속도는 0.1mm/sec로 실시하였고, 압하율은 60%인 7.2mm까지 압축하였다. Fig. 3은 SM45C에 대한 고온압축시험 결과를 보여주고 있으며, 1,100℃와 1,200℃의 변형률에 대한 공칭응력과 진응력을 나타낸다.

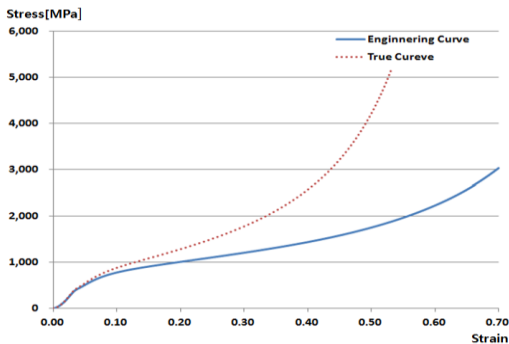


Fig. 2 Room temperature pressure test of SM45C

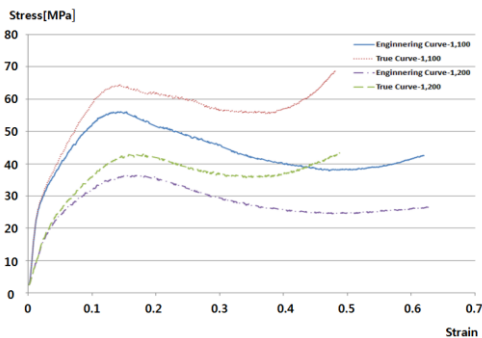


Fig. 3 High temperature pressure test of SM45C

3. 금형 제작 결과

엔진 마운팅 부품 제작은 열간 단조, 트리밍 단조, 사이징 단조 순으로 수행하였다. 열간 단조 시제품 생산 시 원소재는 지름 28mm에 높이 57.7mm의 원기둥 소재를 활용하였고, 원소재를 1,200℃로 가열한 후 700톤 프레스로 이동하였다. 또한 제품 성형 전 금형과 제품에 10초간 가열 후 성형하였다. 열간 단조 이후 트리밍 공정과 사이징 공정을 진행하여 최종 제품을 얻었다. Fig. 4는 열간 단조 부품을 보여주고 있으며, Fig. 5는 사이징 단조 부품을 보여주고 있다.



Fig. 4 Mounting parts of hot forging



Fig. 5 Final mounting parts of sizing forging

4. 결 론

본 연구는 자동차 엔진 마운팅 부품을 기존 냉간 단조 공법에서 냉열간 복합 단조 공법을 새롭게 개발하여 제조 원가 절감과 생산성 향상, 금형 수명 향상 등이 가능하여 기술 경제적 효과를 확인 할 수 있었다.

5. 참고문헌

- [1] 장수진, 전병윤, 장성민, 전만수, 문호근, 성현석, 허민호, 2009, 원웨이 클러치 베어링 외륜의 열간과 냉간 복합단조 공정 기술 개발, 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집 pp. 441~444.

열교환기의 하이드로포밍 공정 적용을 위한 알루미늄 관재의 자유 팽창 유한요소해석과 실험적검증

한덕현¹ · 김건홍² · 안병민[#]

Verification of aluminum tube of free expansion Finite Element Analysis and Experiment for hydroforming applications of heat exchanger tubes

Deokhyun Han, Geon-Hong Kim, Byungmin Ahn

Abstract

Aluminum Al1070 was proceeding in finite element analysis and experiment of free expansion aluminum tubes for the purpose of application of tubes hydroforming process, was analyzed with respect to variables that result in differences occur.

In general, tube hydroforming process simplifies the manufacturing process at the same time to replace expanding of the tubes using bullets of the conventional heat exchanger, a technique to implement the integration of parts. But hydroforming process is accurate pressure regulation necessary technology. Therefore, defects such as burging or buckling occur when the selection of materials and improper pressure. The defect was occurred by necking that occurs under excessive tension. Recently, study of the process parameters to avoid burging defect have been actively conducted upon application.

In this study, we compare the results of free expansion test experimental and finite element analysis. Finite element analysis was set up inside the uniform conditions, —shaped aluminum tube. Result of finite element analysis pressure is applied on the basis of the free expansion test. Tube used in the experiment was made by SAMWON Copper Tube. — shaped tubes were generated after experimental results and the difference between outer diameter and thickness variation of the analysis, the results with respect to the gap is generated were analyzed.

Key Words : Hydroforming, Aluminum tube, Finite Elemnt Analysis(FEA), Free expansion test, Heat exchanger.

과공정 Al-Si 압출재의 미세조직, 인장 및 고주기 피로 변형 거동

함기수¹ · 백민석¹ · 성시영² · 김진평² · 이기안^{1#}

Microstructure, Tensile and Fatigue Deformation Behavior of Hypereutectic Al-Si Extruded Alloy

G. S. Ham, M. S. Baek, S. Y. Sung, J. P. Kim, K. A. Lee

Abstract

This study investigated microstructure, tensile and fatigue deformation behavior of hypereutectic Al-Si extruded alloy. OM microscopy, Scanning Electron Microscope (SEM), Energy Dispersive Spectrometer (EDS) and X-ray Diffraction analysis (XRD) was examined as well as hardness, room and high temperature (150, 200, 250, 300 °C) tensile tests, and high cycle fatigue tests. Hypereutectic Al-Si extruded alloy consisted of Al, Si, Al₃Ni, AlFeSi phases. Room temperature tensile properties of hypereutectic Al-Si alloy was obtained as Y.S. : 125MPa, T.S. : 247.1MPa, El. 13.8% at room temperature. Elevated tensile properties at 300 °C was measured as Y.S. : 51MPa, T.S. : 56MPa, El. : 38.4%. High cycle fatigue results showed the hypereutectic Al-Si alloy to have a fatigue limit of 187.5MPa. This study also discussed the tensile and fatigue deformation behaviors of hypereutectic Al-Si extruded alloy through the abovementioned mechanical properties as well as fractographies

[본 연구는 민군기술협력 사업으로 지원받았으며 이에 감사드립니다.]

Key Words : hypereutectic Al-Si alloy, extruding, microstructure, tensile, fatigue

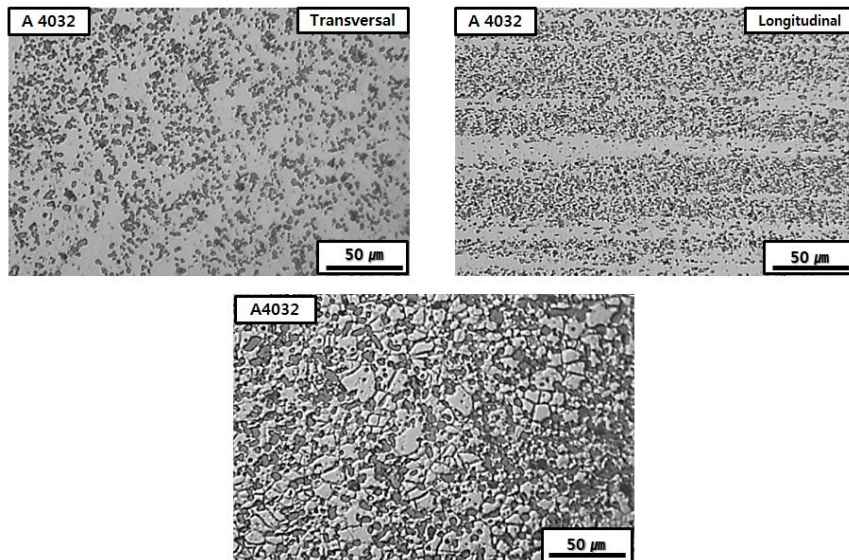


Fig. 1 Optical microstructure of hypereutectic Al-Si extruded alloy

1. 국립 안동대학교 신소재공학부

2. 자동차 부품 연구원

교신저자: 국립 안동대학교 신소재공학부, keeahn@andong.ac.kr

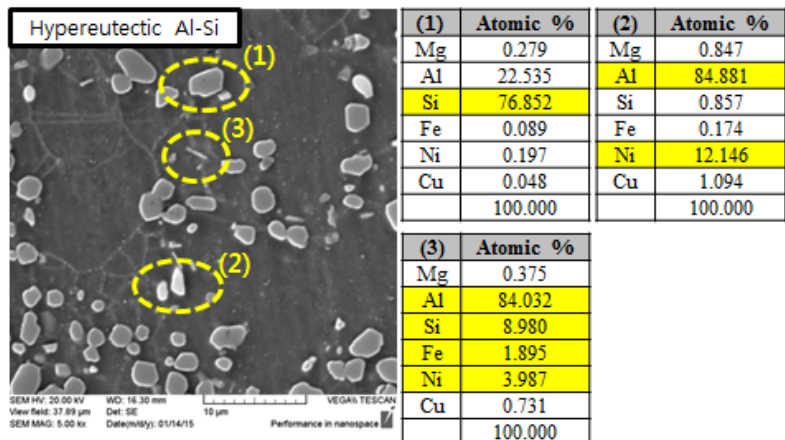
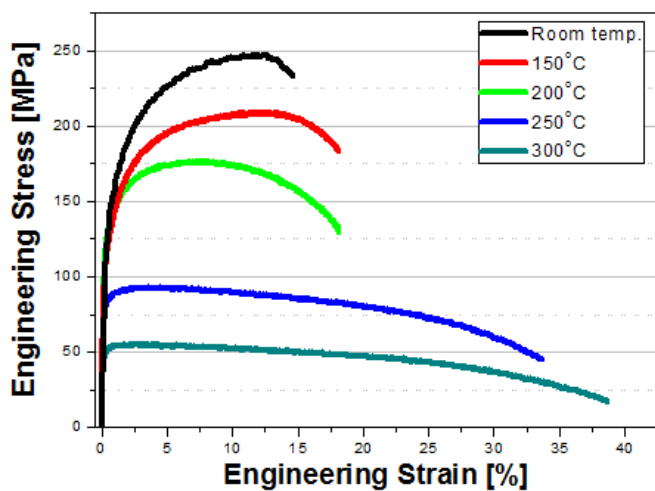


Fig. 2 SEM microstructure of hypereutectic Al-Si extruded alloy



	Y.S.[MPa]	U.T.S.[MPa]	El.[%]
Room temp.	125	247.1	13.8
150°C	113.2	209.8	17.5
200°C	105.6	177.3	17.7
250°C	81.6	93.3	32.8
300°C	51	56	38.4

Fig. 3 room and high temperature tensile test

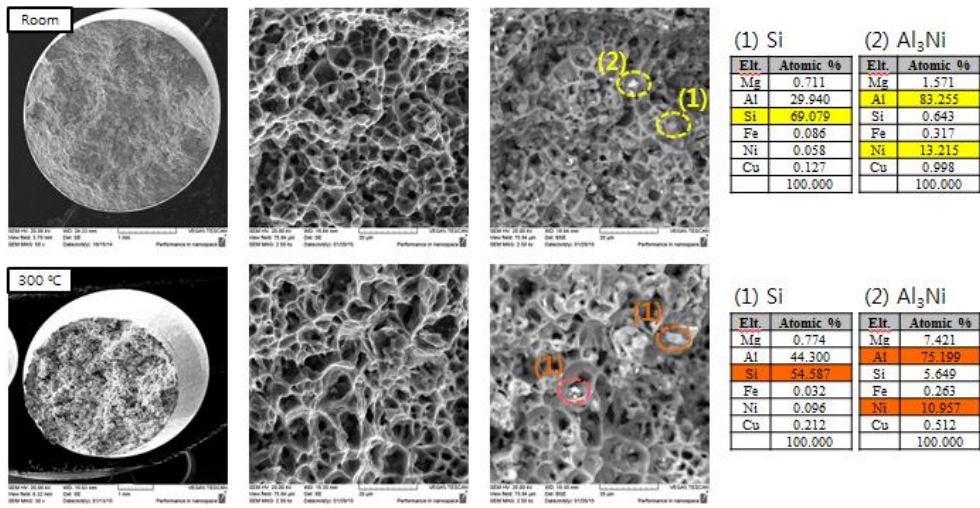


Fig. 4 Room and elevated temperature tensile fractography

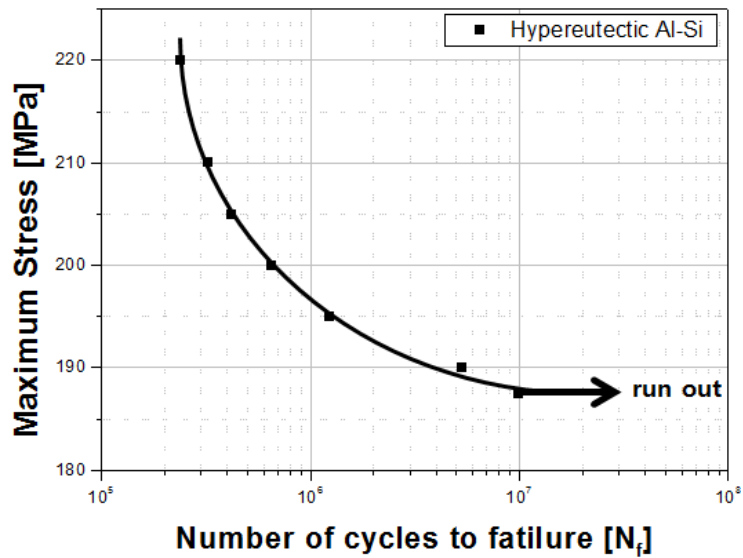


Fig. 5 high cycle fatigue test of hypereutectic Al-Si extruded alloy

자동차 시트 사이드 쿠션 패널의 비대칭 딥드로잉 프로그레시브 성형을 위한 스트립 브릿지 설계

홍일성¹ · 정창식² · 이덕영[#]

Design of Strip Bridge for Unsymmetrical Deep Drawing Progressive Stamping of Automotive Seat Side Cushion Panel

I. S. Hong, C. S. Joung, D. Y. Lee

ABSTRACT

For mass production of stamped parts which do require complicated in-press operations, it is always advisable to use a progressive press. But it is difficult to choose progressive die if stamped parts need deep drawing and especially they are unsymmetrical. Because unsymmetrical deep drawing parts are very sensitive to the effect of weight during moving next stages, they are hard to be located exactly on die face. Automotive seat side cushion panel is about 80mm high, unsymmetrical and its low edge needs hemming, so it is hard to produce using progressive die. In this paper to adopt progressive stamping for seat side cushion panel, 5 cases of strip bridges are considered to be strong enough to move next stage die exactly by CAE analysis.

Key Words : Deep drawing, Progressive stamping, Strip bridge, Unsymmetrical seat side cushion panel

1. 서 론

최근 차량경량화 및 충돌 안전 성능 향상을 위하여 고장력 강판 채택이 증가하고, 차체 부품 또한 부품 단순화 등의 이유로 고난이도의 형상으로 변경되고 있다. 자동차 차체 및 새시 부품은 대부분 박판 프레스 성형으로 제작되는데 드로잉 깊이가 깊고 복합곡면형상을 내포한 부품의 경우 다양한 개별공정이 조합된 복합변형 조건을 내포하고 있어 고난이도의 프레스 성형공법이 요구되고 있다.

프로그레시브(progressive) 공법은 단일 금형 내에서 다양한 공정을 복합화할 수 있는 기술로서, 생산시간 감소 및 대량 생산으로 효율 증대뿐만 아니라 자동화로 무인화를 구현할 수 있다. 하지만 적용부품이 단순한 미드플레인(midplane) 형상이거나 소형 부품에 한정되어 있으며 안정

된 품질확보를 위해서는 고난이도 공정설계와 금형제작기술이 요구된다.

자동차 시트 사이드 쿠션 패널은 시트 프레임의 구조를 지지하는 한편, 탑승자의 승차감 및 비규칙적 거동에 반복적으로 영향을 받는 주요 부품으로 성형 깊이가 깊은 복합곡면형상을 가지고 있는 대표적인 다공정 성형 제품이다.



Fig. 1 자동차 시트 사이드 쿠션 패널 형상

자동차 시트 사이드 쿠션 패널은 0.8t의 박판으로 성형되며, 좌우 비대칭으로 80mm 이상의 드로잉 깊이와 복합곡면 형상을 가지고 있다. 따라서 프로그레시브 공법을 적용하기 위해서는

1. (주)금강 기술연구소

2. (주)금강 기술연구소

교신저자: 대구대학교 기계자동차공학부, dylee@daegu.ac.kr

비대칭 형상 및 높은 높이로 인해 스트립(strip) 이송과정에서 패널의 비틀림, 흔들림, 걸림 등의 문제점을 해결해야 한다.

본 연구에서는 비대칭 딥드로잉 복합곡면 형상을 갖는 차체 부품인 자동차 시트 사이드 쿠션 패널 제품의 프로그레시브 공법적용을 위해, 각 공정간 스트립 이송 과정에서 제품 성형 후착, 탈시 제품의 상, 하 흔들림을 방지하여 다음 공정의 금형에 정확하게 안착할 수 있도록 보강 강성을 갖는 스트립 브릿지(bridge) 설계안을 제시하고자 한다.

2. 드로잉 공정 성형해석

비대칭 딥드로잉 제품인 시트 사이드 쿠션 패널의 프로그레시브 성형을 위한 브릿지 설계를 위해 드로잉 공정 성형해석 후 자중 처짐 해석을 수행하였고, 공정간 패널 이송을 할 때, 패널의 안정적 금형 안착 및 균형 유지를 위한 강도보강 브릿지 설계안 도출을 위해 성형 및 자중 처짐 해석 후 패널 변형량을 비교하였다.

2.1 성형해석 조건 설정

1 공정 블랭킹 후, 2 공정 드로잉 해석을 수행하였다.

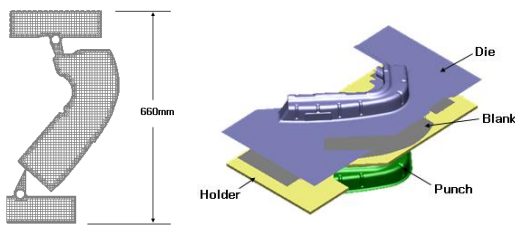


Fig. 2 블랭킹 패널과 드로잉 공정 금형 모델

드로잉 공정 금형은 상형이 마스터이며, 패널의 재질은 SPRC440, 패널 두께는 0.8t, 성형 타입은 드로잉이다. 마찰 계수는 패널과 금형간 모두 0.1, 메쉬(mesh)는 초기 사이즈 8 mm에서 4 단계 Adaptive Mesh 를 적용하여 최종 1 mm로 하였다.

성형순서는 상형 다이(die)가 먼저 내려와 홀더를 잡고, 홀딩력 3ton 을 유지하면서 쿠션 스트로크 70 mm만큼 성형이 되어 최종 제품이 만들어 진다.

2.2 드로잉 공정 성형해석 결과

2.2.1 초기 브릿지 성형해석 결과

초기 브릿지 설계안으로 블랭킹 및 드로잉 공정 성형해석 후 결과를 Fig 3 에 나타내었다.

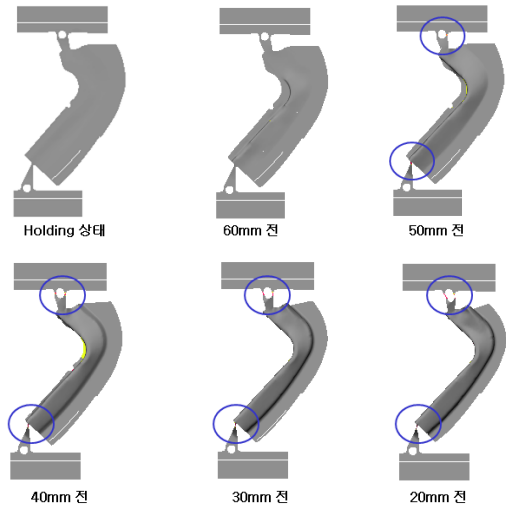


Fig. 3 초기 브릿지 드로잉 공정 성형 과정

성형해석결과 브릿지 부분이 성형되면서 살이 부족해 성형완료 50 mm전부터 터짐이 시작됨을 확인할 수 있었다. 따라서 초기 살 확보 및 강성 확보를 위한 브릿지를 수정 설계하였다.

2.2.2 살 확보와 강도보강 브릿지 형상 설계

살 확보를 위해 Fig 4 의 Case 1 과 같이 브릿지를 수정 설계하고, 변형량 비교를 위해 Case 1~5 브릿지 형상에 대한 성형해석 및 자중 처짐 해석을 수행하였다.

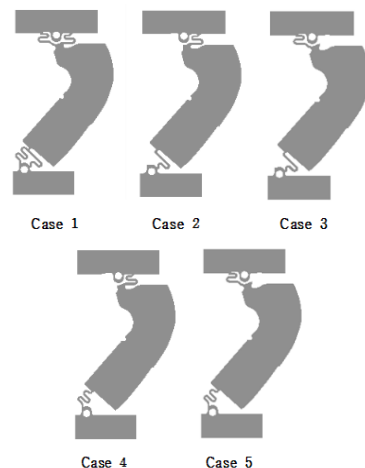


Fig. 4 살 확보를 위한 5가지 브릿지 형상

2.2.3 브릿지 보강 후 드로잉 공정 성형해석

5가지 브릿지 형상에 대해 성형해석을 수행하였고, 공정간 패넌을 이송할 때 패넌의 안정적 금형 안착 및 균형 유지를 위한 강도보강 브릿지 설계 안들에 대한 변형량 비교를 위해 자중 처짐 해석을 수행하였다.

Case 1에 대한 드로잉 공정 성형과정을 Fig 5에 나타내었다.

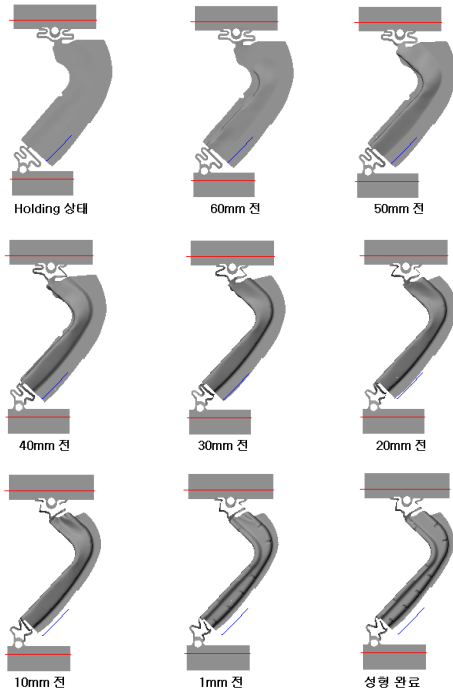


Fig. 5 브릿지 보강후 드로잉 공정 성형 과정

브릿지 보강 후 드로잉 공정시 패넌의 터짐은 없으며 최종성형 40 mm전부터 브릿지의 형상이 꼬임을 알 수 있었다.

3. 자중 처짐 해석을 통한 패넌 변형량 분석

드로잉 공정 후, 프로그래시브 금형에서 제품 성형 후 상, 하 흔들림, 패넌 이송 및 성형 과정에서 균형유지가 가능한 스트립과 브릿지 형상을 검증하기 위하여 5 가지 브릿지 Case에 대한 자중 처짐 해석을 수행하였다.

자중 처짐 해석을 위한 경계조건은 Fig 6과 같이 실제 프로그래시브 공정에서 패넌의 구속조건과 동일하게 설정하였다.

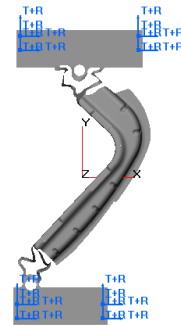
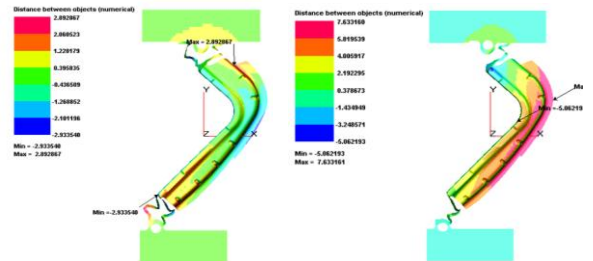


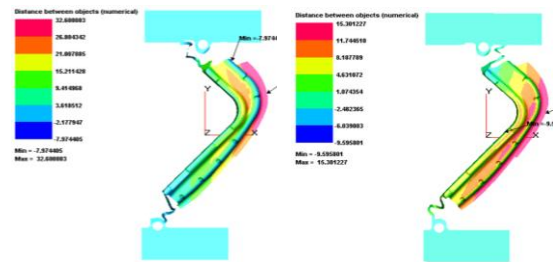
Fig. 6 자중 처짐 해석을 위한 경계조건

5 가지 브릿지 형상 Case에 대한 자중 처짐 해석 결과는 아래의 Fig 7과 같다.



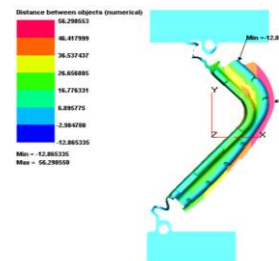
(a) Case 1

(b) Case 2



(c) Case 3

(d) Case 4



(e) Case 5

Fig. 7 5가지 Case의 자중 처짐 해석 결과

아래 Table 1 에서 5 가지 브릿지 형상 Case 에 대한 자중 처짐 해석 결과를 분석하였다.

Table 1 Case 별 자중 처짐 해석 결과 분석

구 분	자중 처짐 해석 결과	
	Min.(mm)	Max.(mm)
Case 1	-2.93	2.89
Case 2	-5.06	7.63
Case 3	-7.97	32.60
Case 4	-9.60	15.30
Case 5	-12.87	56.30

4. 결론

자동차 시트 쿠션 사이드 패널과 같은 비대칭 딥드로잉 제품을 프로그래시브 공법으로 프레스 성형할 때, 딥드로잉으로 인한 패널의 과도한 유입과 비대칭 무게 중심으로 인해 일반적인 스트립 브릿지로는 금형에서의 제품 상, 하 탈착 및 안정적인 이송이 어렵다. 본 연구는 드로잉 공정 해석을 통해 기존의 브릿지에 살 보강 및 강도를 보강한 브릿지를 설계하였고, 이를 검증하기 위하여 5 가지 브릿지 형상 Case 를 만들어 자중 처짐 해석을 수행하였다.

(1) 드로잉 성형 해석을 수행한 결과, 기존의 스트립 브릿지는 성형완료 50 mm전부터 터짐이 시작됨을 알 수 있었다.

(2) 살 보강 및 강도 보강된 수정 스트립 브릿지는 드로잉 공정 해석 과정에서 터짐은 없었고, 성형완료 40 mm전부터 꼬임 현상이 일어나는 것을 알 수 있었다.

(3) 스트립 브릿지의 꼬임은 브릿지 수정 설계할 때 유도한 것으로 스트립 브릿지의 강도보강에 영향을 미친다.

(4) 실제 패널의 프로그래시브 성형 공정에서의 구속조건과 동일한 경계조건으로 자중 처짐 해석을 수행한 결과, Case 1 에서 최대 2.89 mm, 최소 -2.93 mm로 변형이 가장 적게 발생하였으며, Case 5 에서 최대 56.30 mm, 최소 -12.87 mm로 변형이 가장 많이 발생함을 알 수 있었다.

(5) 따라서 자동차 시트 사이드 쿠션 패널과 같은 비대칭 딥드로잉 차체 부품을 프로그래시브 공법으로 프레스 성형할 경우, Case 1 의 스트립 브릿지가 가장 적합함을 해석으로 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 2014 년 지역특화산업육성(R&D) 기술개발사업 과제 ‘비대칭 딥드로잉 & 헤밍 프로그래시브 자동 성형 기술 개발’의 지원을 받았음.

참 고 문 헌

- [1] 박동환, 정창식, 2014, 자동차 시트 쿠션 패널의 복합 자동화 금형 제조기술에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제23권, 제2호, pp. 75~81.
- [2] 전용태, 2004, 프로그래시브 금형 설계 소프트웨어, 한국CAD/CAM학회지, 제10권, 제1호, pp. 18~21.
- [3] 김세환, 2007, 프레스금형 설계공학, 대광서림, pp. 209~212.