

등속조인트용 외륜의 다단 냉간 단조공정을 위한 공정개선 및 유한요소 해석

강범수¹ · 구태완[#]

Process Modification and Numerical Simulation for an Outer Race of a CV Joint using Multi-Stage Cold Forging

B. S. Kang, T. W. Ku

(Received March 12, 2014 / Revised April 30, 2014 / Accepted May 7, 2014)

Abstract

The outer race of a constant velocity (CV) joint having six inner ball grooves has traditionally been manufactured by multi-stage warm forging, which includes forward extrusion, upsetting, backward extrusions, necking, ironing and sizing, and machining. In the current study, a multi-stage cold forging process is examined and an assessment for replacing and modifying the conventional multi-stage warm forging is made. The proposed procedure is simplified to the backward extrusion of the conventional process, and the sizing and necking are combined into a single sizing-necking step. Thus, the forging surface of the six ball grooves can be obtained without additional machining. To verify the suitability of the proposed process, a 3-dimensional numerical simulation on each operation was performed. The forging loads were also predicted. In addition, a structural integrity evaluation for the tools was carried out. Based on the results, it is shown that the dimensional requirements of the outer race can be well met.

Key Words : CV Joint, Outer Race, Multi-Stage Cold Forging, Process Simplification, Finite Element Simulation

1. 서 론

자동차 제조 및 관련 부품 생산 분야뿐만 아니라 다양한 금속 성형 분야에서는 최근 생산성을 향상 시킴과 동시에 친환경적인 생산 기술 개발에 주력하고 있다[1]. 이러한 목적을 달성하기 위해 기존 생산공정에 대한 단순화와 공정 개선 그리고 사용되는 소재의 수율 증가를 위한 다각적인 방안을 모색하고 있으며, 이에 따라 기존의 온간 혹은 열간 단조공정(Warm or Hot Forging Process)에 의해 생산되던 각종 단조품들을 냉간 단조공정(Cold Forging Process)에 의한 성형 및 생산 기술로의 전환을 위한 노력

을 기울이고 있다[2~4].

자동차용 등속조인트(Constant Velocity Joint)는 내연기관으로 부터 얻어진 회전 운동(Torque)을 바퀴(Wheel)에 균등하게 분배하는 핵심부품으로 Fig. 1에 서와 같이 엔진측 등속조인트(Transmission-side CV Joint)와 바퀴측 등속조인트(Wheel-side CV Joint) 그리고 이들을 연결하는 샤프트(Shaft)로 구성된다. 이들 중에 있어서, 바퀴측 등속조인트는 Birfield Joint(BJ) 어셈블리라고도 하여, 외륜(Outer Race), 내륜(Inner Race), 구름베어링(Ball Bearing) 및 베어링 케이지(Bearing Cage) 등의 금속 단조품과 가공 부품으로 구성되는 것이 일반적이다[5].

1. 부산대학교 항공우주공학과

Corresponding Author : ERC of Innovative Technology on Advanced Forming, Pusan National University, E-mail: longtw@pusan.ac.kr

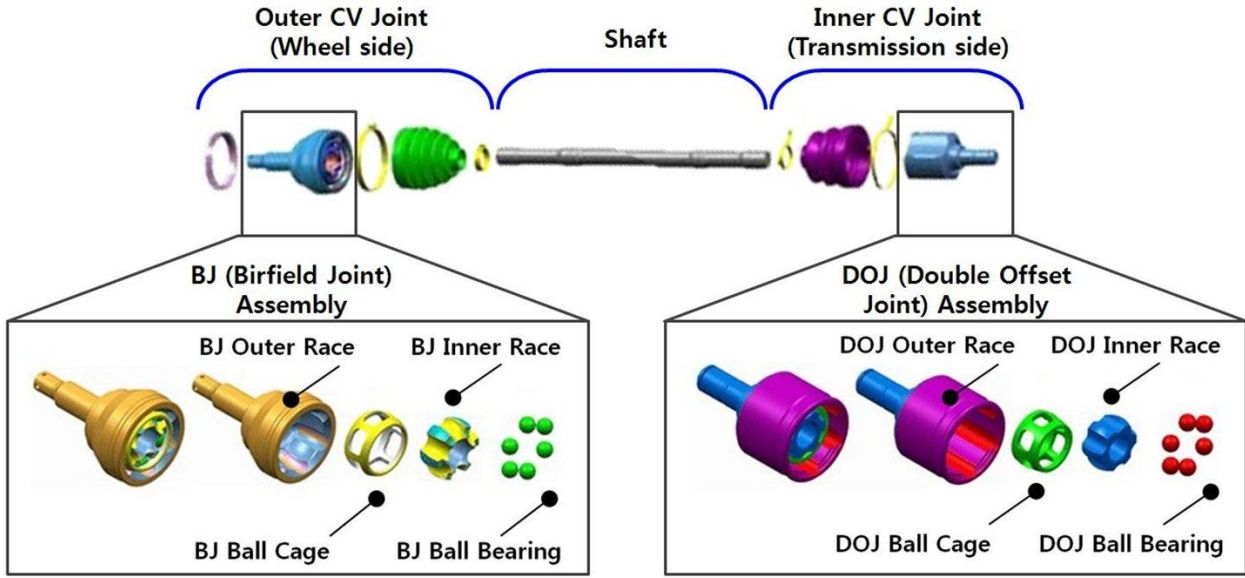


Fig. 1 Metal components within transmission-side and wheel-side of constant velocity joints used for automobile

고중량의 외륜을 성형하기 위한 기존의 단조공정으로 다단 온간 단조공정이 주로 적용되어져 왔다. 온간 단조공정에서는 초기 빌렛(Billet)을 일정 온도로 가열하여 단조성을 증가시킨 후에 전방압출(Forward Extrusion), 업셋팅(Upsetting), 두번의 후방압출(Backward Extrusions), 아이어닝(Ironing), 사이징(Sizing) 및 네킹(Necking) 등의 공정을 거친 후 절삭가공(Machining) 공정을 수행하게 된다. 이러한 온간 단조공정은 연화된 빌렛의 성형에 따른 단조 하중(Forging Load) 감소 등의 장점이 있으나, 빌렛에 대한 가열 및 금형으로의 열전달 문제 그리고 최종 단조품에 대한 황삭 및 정삭 공정이 필요하다는 단점도 동시에 가지고 있다[6, 7].

본 연구에서는 이러한 자동차 등속조인트용 외륜 단조품을 성형하기 위한 친환경적 방법으로 다단 냉간 단조공정을 적용하였다. 냉간 단조공정 적용을 위해, 우선 기존 공정에 대한 공정 단순화(Process Simplification) 및 공정 개선을 통해 2회의 후방 압출공정을 1회의 후방 압출공정으로 대체하였으며, 각각의 아이어닝과 사이징 그리고 네킹 공정들을 하나의 공정에서 수행될 수 있도록 아이어닝-사이징-네킹 복합 공정을 적용하였다. 또한, 이러한 단순화와 개선된 냉간 단조공정은 유한요소 해석을 통해 검증하고자 하였다. 단조공정의 해석적 연구에 적합한 DEFORM-3D 소프트웨어를 사용하였으며, 각 공정에 대한 최소 단조 하중도 예측하였다.

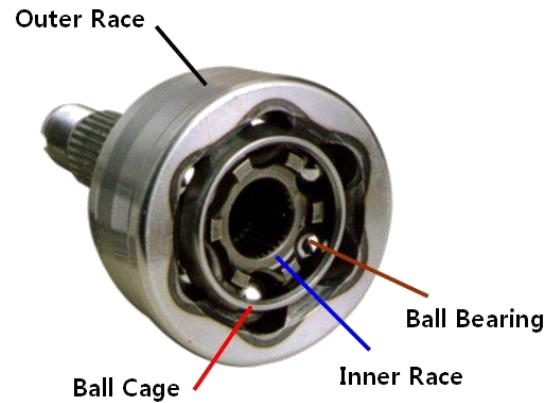


Fig. 2 BJ-type CV joint and its metal components

2. 다단 냉간 단조공정

2.1 공정 단순화와 개선

Fig. 2는 Fig. 1에 도시된 등속조인트 어셈블리에 있어서 BJ 타입의 바퀴측 등속조인트에 대한 조립품과 이들의 실물 부품 구조를 보여주고 있다. Fig. 2에 도시된 등속조인트의 외륜을 성형하기 위한 기존의 온간 단조공정 흐름도를 Fig. 3에 나타내었다. 즉, 온간 단조공정을 이용한 외륜 성형에 있어서 초기 빌렛을 예비 가열하여 단조성을 확보한 후에 총 7회의 성형공정과 볼 베어링부 표면을 정삭 가공하여 최종 조립품에 사용되게 된다. 이러한 온간 단조공정을 냉간 단조공정으로 전환하기 위한 공정

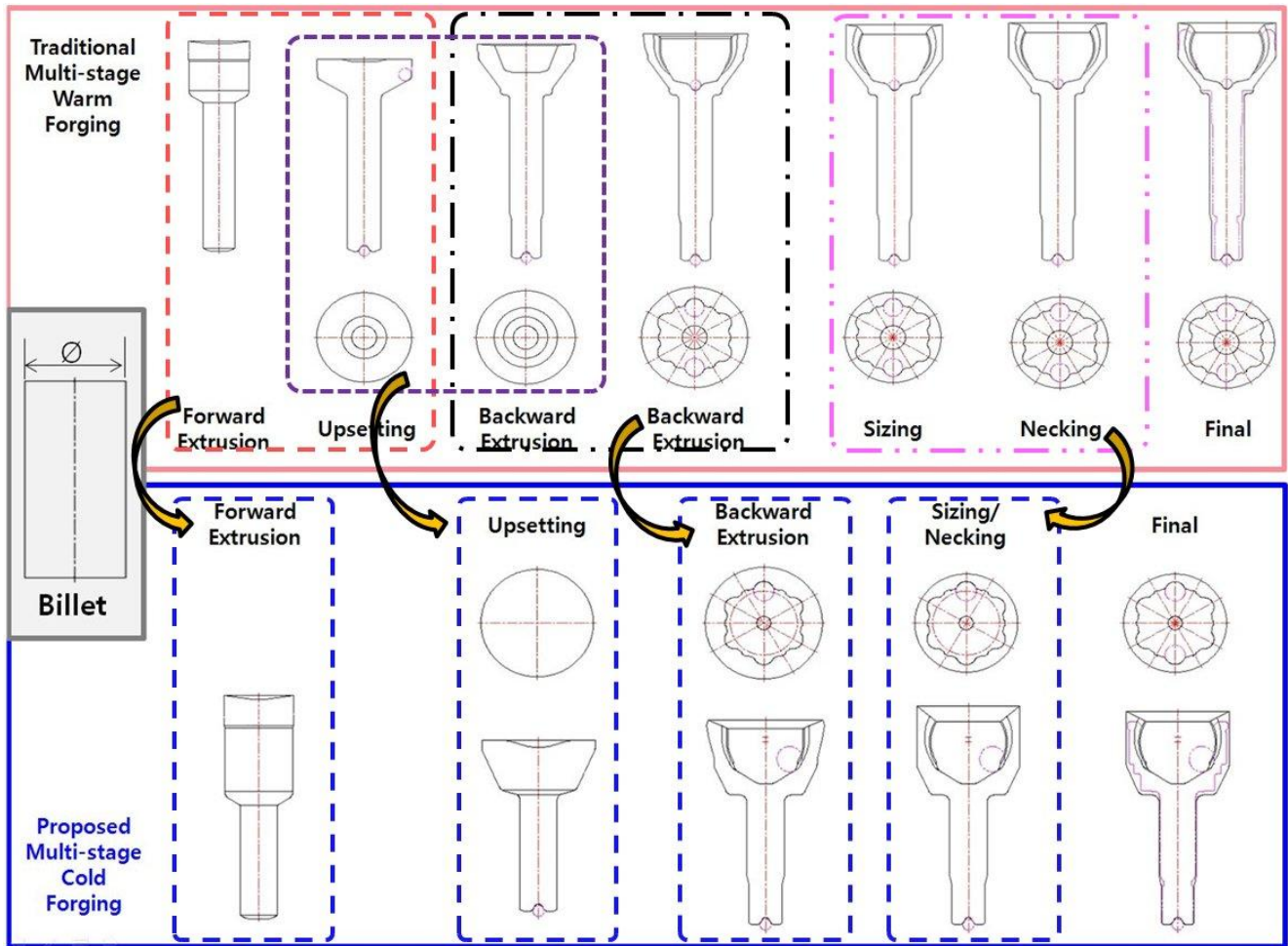


Fig. 3 Process simplification and modification for multi-stage cold forging process of outer race

단순화 및 공정개선 결과를 비교 가능하도록 Fig. 3에 제시하였다. 즉, 단순화 개선된 다단 냉간 단조공정에 있어서, 제1공정인 전방 압출공정은 이후 공정의 헤드부 체적을 고려하여 온간 공정에서의 헤드부 체적보다 다소 증가된 형태로 설계되어졌다. 그리고, 온간 공정에서의 업셋팅과 1차 후방 압출공정의 헤드부 일부 체적을 증가시킨 형태의 냉간 단조공정에서 고려하여 업셋팅 공정으로 개선하였다. 그리고, 온간에서의 1차 후방 압출공정에서 고려되지 않은 헤드부 체적과 2차 후방 압출공정에서의 헤드부 체적을 병합하여 Fig. 3의 냉간 후방 압출공정으로 대체하였다. 더불어, 이후 공정인 아이어닝 공정을 포함하는 사이징 공정과 네킹 공정을 냉간 공정에서는 아이어닝 공정이 포함된 사이징 및 네킹 공정으로 단순화하여 공정 개선안을 도출하였다. 이러한 냉간 단조공정으로의 단순화 및 개선을

통해 얻어진 외륜의 내부 공간에 형성된 6개의 볼 그루브(Groove)들은 별도의 정삭 가공없이 사용할 수 있는 효과를 더불어 기대할 수 있다.

2.2 사이징-네킹 메커니즘

등속조인트용 외륜 단조품의 형상과 치수를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 2와 Fig. 4에서 알 수 있듯이 외륜의 내부에는 6개의 볼 그루브가 있기 때문에, 아이어닝 공정이 포함된 사이징-네킹 공정이 수행된 후에 네킹 펀치를 취출하기가 매우 어렵게 된다. 이를 해결하기 위한 방안으로 본 연구에서는 종방향으로 여섯개의 등분할된 네킹 펀치를 고안하였다. 즉, 최종 성형후 그루브 펀치(Grooving Punch)의 취출시 변형된 빌렛과 펀치의 접촉에 의한 성형 불량 이 발생할 수 있기 때문에 펀치와 성형품의 간섭 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 6개의 종분할

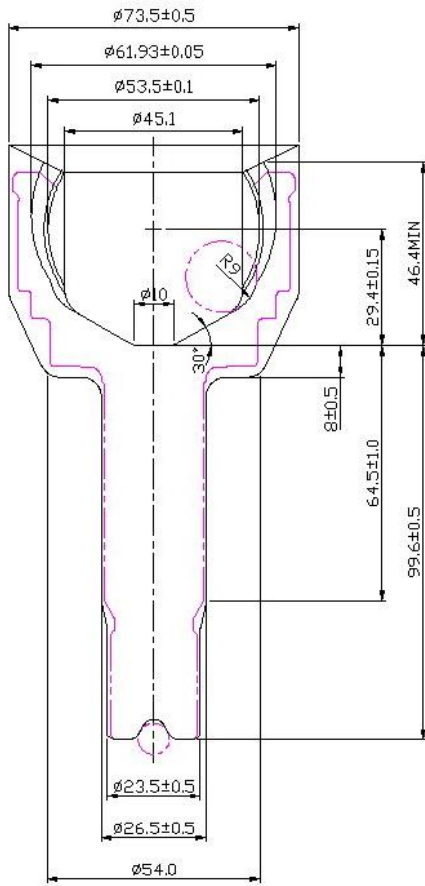


Fig. 4 Layout and detail dimensions of target geometry for outer race of CV joint (unit : mm)

된 그루브 펀치를 Fig. 5에서와 같이 고안하였으며, 이러한 네킹 펀치의 작동 메커니즘은 다음과 같이 설명할 수 있다. 종방향으로 분할된 각각의 그루브 펀치들(①)은 인서트의 하향 작동(①→②)에 의해 스프링이 압축됨과 동시에 각 볼 그루브 성형면에 접촉(③)하게 되고, 네킹 다이를 지나면서 사이징-네킹 공정이 수행되도록 설계하였다. 그리고, 인서트의 상향 작동(④)에 의해 스프링이 신장(⑤)되면서 그루브 펀치의 구속조건이 이완(⑥)되어 자유롭게 움직일 수 있도록 하였다[8,9].

2.3 기계적 특성과 마찰거동

등속조인트용 외륜의 냉간 단조공정에 사용된 초기 빌렛은 AISI 5120 강종 중의 하나인 SCr420H이며, 초기 빌렛의 가공성과 단조성을 증가시키기 위해 구상화 소둔(Spheroidized Annealing) 열처리를 하였다. 구상화 소둔 열처리에 따른 소재의 기계적 특성 변화를 확인하기 위하여 INSTRON 8516 동적재료시험기를 이용하여 단순 인장시험을 수행하였으며, 환봉 인장 시험은 ASTM A370 규격에 따라 제작하였다. Fig. 6은 구상화 소둔 열처리 전·후의 응력-변형률 선도를 보여주고 있다. Fig. 6에서의 실험 결과로부터 SCr420H는 구상화 소둔 열처리에 의해 항복강도가 약 70MPa 정도 감소함을 알 수 있었으며, 연신율(Elongation)은 약 40% 정도 증가함을 알 수 있었다. 또한, SCr420H의 유동응력 모델(Flow Stress Model)은 가공경화지수모델(Work-Hardening Power Law)을 따르는 것으로 조사되었다. Table 1에 SCr420H 소재의 구상화 소둔 처리 전·후에 대한 기계적 물성을 요약하여 나타내었다.

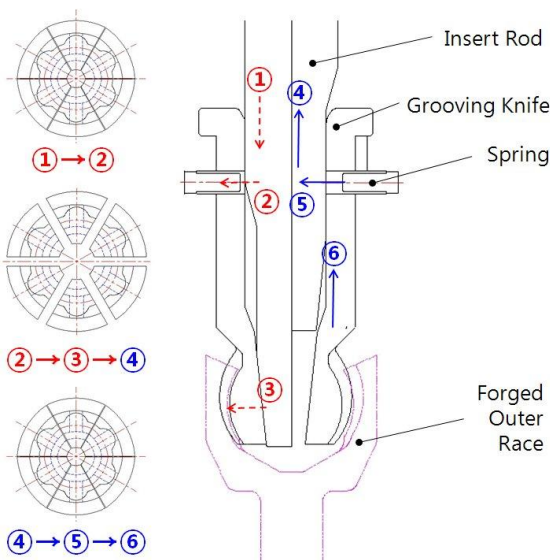


Fig. 5 Sizing-necking mechanism to eject necking punch from die cavity

Table 1 Mechanical properties of SCr420H

Properties	Unit	Raw	Annealed	
Young's Modulus	GPa	205	205	
Yield Strength	MPa	327	263	
Ultimate Strength	MPa	664	573	
Poison's Ratio		0.29	0.29	
Fracture Strain	ϵ_f	0.168	0.232	
Flow Stress Law	K	MPa	1,087	889
	n		0.168	0.232

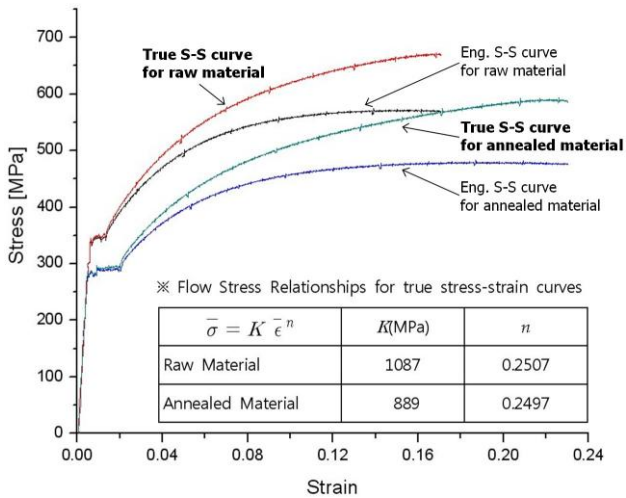


Fig. 6 Tensile test results and flow stress relationship of SCr420H billet material

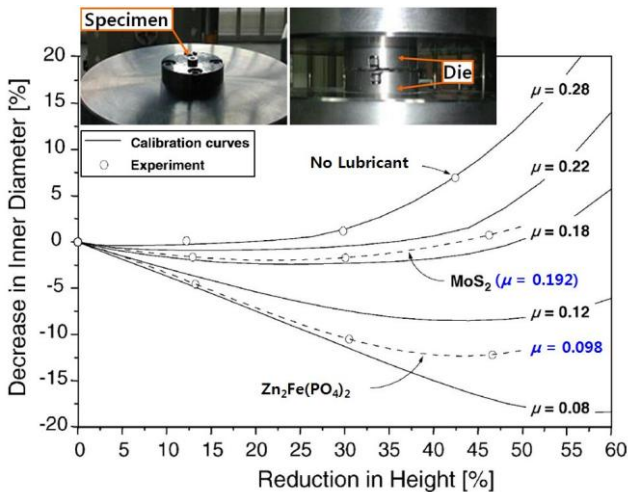


Fig. 7 Ring compression test results of $\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_2$ and MoS_2 coatings on SCr420H

냉간 단조공정에서는 금형과 소재의 직접적인 접촉을 피하기 위해 윤활재를 사용하게 된다. 그러나, 빌렛에 작용하는 높은 수준의 성형 하중이 금형에 인가되기 때문에 점도가 높은 액상 윤활재를 사용할 경우에도 윤활막이 소착되어 토출될 가능성이 높다. 본 연구에서는 고체 윤활피막 형태의 윤활막 형성을 위해 인산염피막($\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_2$)과 몰리브덴피막(MoS_2) 처리를 각각 고려하였으며, Fig. 7에서와 같이 링 압축시험을 통해 쿨롱 마찰계수(Coulomb Friction Coefficient, μ)를 구하였다. 몰리브덴피막 처리된 경우에는 약 0.192, 인산염피막 처리된 경우의

마찰계수는 약 0.098로 조사되었다. 이에 따라, 등속 조인트용 외륜의 냉간 단조공정 적용을 위해 인산염피막을 빌렛 표면에 형성하여 약 0.098 수준의 쿨롱 마찰계수를 고려하는 것이 타당한 것으로 판단되었다.

3. 다단 냉간 단조공정 유한요소 해석

3.1 유한요소 모델

Fig. 4에 다단 냉간 단조공정 적용을 위한 자동차 등속조인트용 외륜의 형상과 치수를 나타내고 있다. 내부에 6개의 대칭형 그루브를 가지는 외륜을 성형하기 위해 Fig. 3에서와 같이 초기 빌렛 절단 및 최종 절삭 공정을 제외한 전방 압출공정, 업셋팅 공정, 후방 압출공정 및 아이어닝 공정이 포함된 사이징-네킹 공정 등 총 4공정에 대해서 유한요소 해석을 수행하였다. Fig. 8은 본 연구에서 수행한 다단 냉간 단조공정에 대한 유한요소 모델 및 공정 흐름을 나타낸 것으로, 외륜의 형상을 고려하여 1/6 모델을 해석 대상으로 선정하였다. 펀치와 다이는 4절점 강체 쉘(Shell) 요소로 정의하였으며, SCr420H 빌렛은 변형체(Deformable Body)로써 사면체요소(Tetrahedral Brick Element)로 모델링하였다. 금형과 소재 사이의 마찰계수는 Fig. 7에서 제시된 인산염피막 처리된 경우의 쿨롱 마찰계수인 0.098을 적용하였으며, 유한요소 해석은 DEFORM3D를 활용하였다. 이와 더불어 각 공정별 응력 및 변형률 등의 변형 이력과 형상들은 다음 공정에서의 초기 조건으로 연결되는 연속 성형 방식을 택하였다.

3.2 다단 냉간 단조공정 해석 결과

구상화 소둔 처리된 높이 100.0mm 및 직경 48.0mm의 SCr420H 초기 빌렛을 이용하여 전방 압출공정에 대한 유한요소 해석을 수행하였다. Fig. 9(a)는 전방 압출공정에 대한 유한요소 해석 결과로써 유효응력(Effective Stress)과 유효변형률(Effective Strain) 분포를 보여주고 있으며, 약 1,370MPa의 최대 유효응력과 약 4.75의 최대 유효변형률이 헤드와 압출 샤프트(Extruded shaft)가 만나는 부위에서 발생함을 알 수 있었으며, 국부적인 과도 변형을 제외고는 약 500MPa 수준의 유효응력과 약 2.0 수준의 유효변형률이 분포함을 알 수 있었다. 또한, 전방 압출공정으로 부터 얻어진 중간 성형품을 이용하여

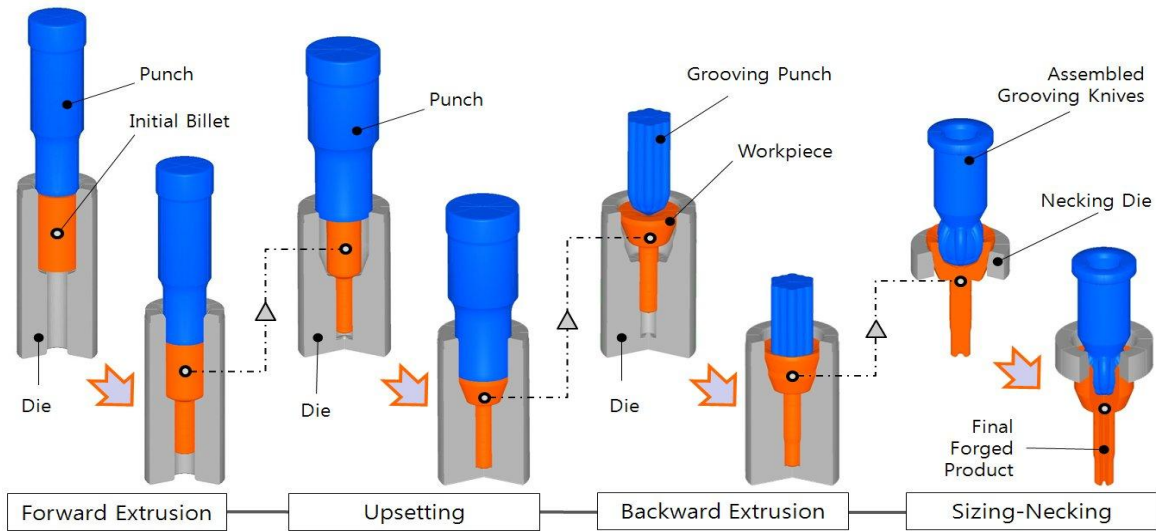


Fig. 8 FE models and process sequences for multi-stage cold forging process of outer race

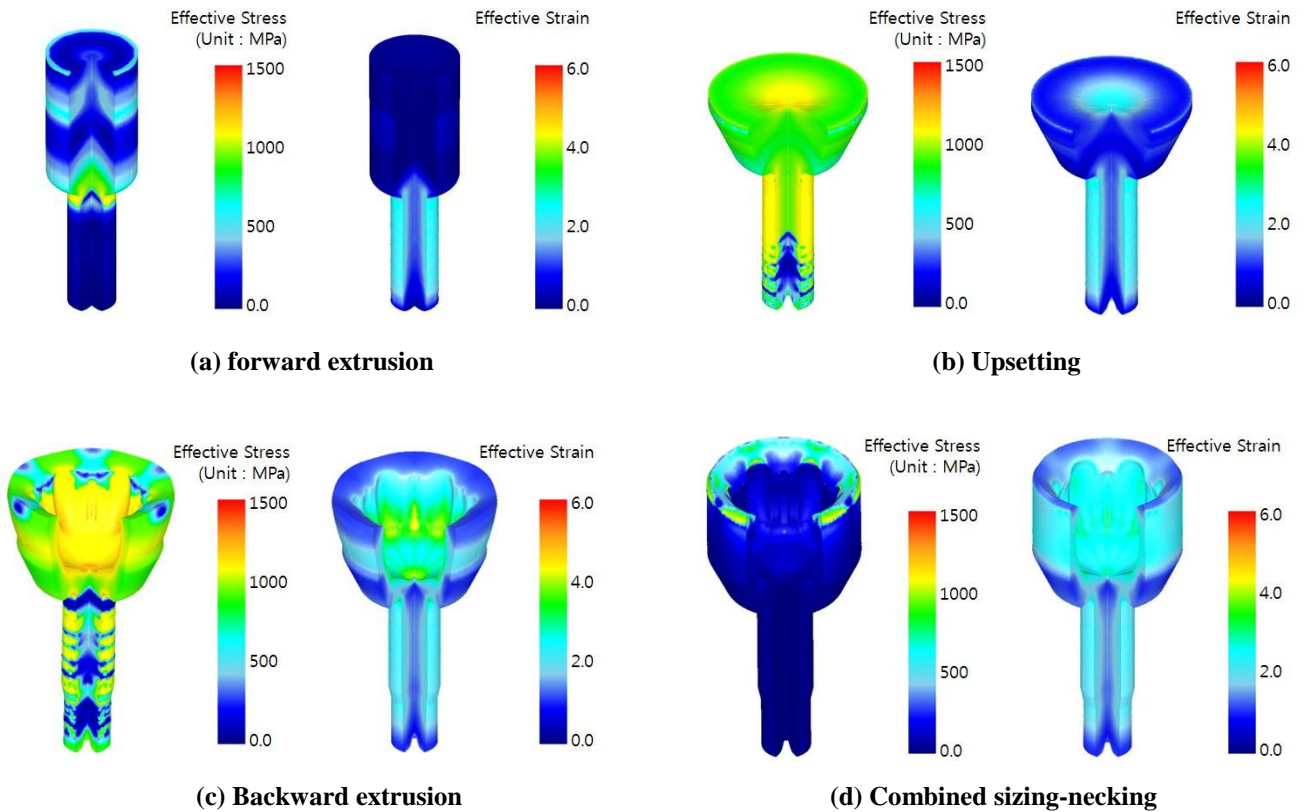


Fig. 9 Numerical simulation results of multi-stage cold forging for outer race of CV joint

업셋팅 공정을 연속적으로 수행하였으며, Fig. 9(b)는 업셋팅 공정에 대한 유한요소 해석 결과로써 약 1,140MPa의 최대 유효응력과 약 5.05의 최대 유효변형률이 헤드 상부의 끝단에서 국부적으로 나타남을

알 수 있었으며, 전체적으로는 약 1,000MPa 수준의 유효응력과 약 2.0 수준의 유효변형률이 분포함을 알 수 있었다.

Fig. 3에 제시된 바와 같이, 다단 온간 단조공정에

서는 볼 베어링의 작동 공간을 확보하기 위해 2회의 후방 압출공정이 적용되는 것이 일반적이다. 그러나, 본 연구에서는 이러한 2회의 온간 후방 압출공정을 1회의 냉간 후방 압출공정으로 대체하였다. 이에 따라, 개선된 후방 압출공정에 대한 유한요소 해석을 통한 성형 적합성 검토를 위해 Fig. 8에서와 같이 유한요소 해석 모델을 구성하였다. Fig. 9(c)는 냉간 조건에서의 후방 압출공정에 대한 유한요소 해석 결과를 보여주고 있으며, 약 1,350MPa의 최대 유효응력 및 약 4.66의 최대 유효변형률이 볼 그루브 주위에서 분포함을 알 수 있었다.

마지막 성형 공정으로써 아이어닝 공정이 포함된 사이징-네킹 복합 공정에 대한 유한요소 해석을 수행하였다. 본 연구에서의 사이징-네킹 복합 공정에 대한 유한요소 해석은 Fig. 5에서와 같이 제안된 네킹 펀치의 취출 방법과 Fig. 8에서 제시된 유한요소 모델을 고려하여 수행되었다. Fig. 9(d)는 사이징-네킹 공정에 대한 유한요소 해석 결과를 보여주고 있으며, 약 1,300MPa 수준의 최대 유효응력과 약 3.62 수준의 최대 유효변형률이 네킹 공정에 의해 발생한 플랜지부의 미세한 플래쉬(Flash) 부위에서 국부적으로 발생함을 알 수 있었고, 이외의 부위에서는 약 500MPa 이하의 유효응력과 약 2.0 이하의 유효변형률이 분포되는 것으로 조사되었다.

3.3 하중 예측 결과

전방 압출공정, 업셋팅, 후방 압출공정 및 사이징-네킹 공정으로 구성된 등속조인트용 외륜의 다단 냉간 단조공정에 있어서, 각 공정에서 요구되는 성형 하중을 예측하였다. Fig. 10은 각 공정에서의 성형 펀치에 작용하는 하중 이력을 도시한 것으로, 제1공정인 전방 압출공정에서는 약 278Ton_f의 성형 하중이 요구되는 것으로 조사되었다. 또한, 업셋팅 공정에서는 약 850Ton_f의 성형 하중이 필요한 것으로 나타났으며, 후방 압출공정에서는 약 306Ton_f의 성형 하중이 요구됨을 알 수 있다. 그리고, 사이징-네킹 공정에서는 약 55Ton_f의 다소 적은 하중이 필요한 것으로 조사되었다. 즉, 업셋팅 공정에서의 성형 하중이 다른 공정들에 비해 상대적으로 크다는 것을 알 수 있었으며, 이는 일반적인 업셋팅 공정을 위한 성형 하중이 크다는 것과 유사한 경향성을 가짐을 확인하였다.

Fig. 10에서와 같이 예측된 성형 하중 곡선을 고려

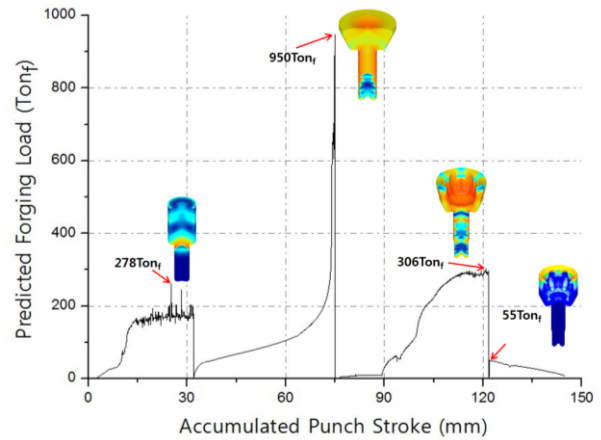


Fig.10 Forging load prediction of proposed multi-stage cold forging for outer race

할 경우, 단조 프레스의 용량은 최소 100%의 여유 용량을 고려하는 것이 일반적이기 때문에, 본 연구에서의 전방 압출공정과 후방 압출공정에 대해서는 약 600Ton_f 이상의 용량을 가지는 프레스를 이용하는 것이 바람직 한 것으로 나타났으며, 업셋팅 공정을 위해서는 약 2,000Ton_f 이상의 프레스가 적절한 것으로 조사되었고, 사이징-네킹 공정을 위한 프레스 용량은 약 100Ton_f 수준이 적절한 것으로 나타났다.

4. 금형 구조 해석

4.1 금형 소재 선정

앞서 언급한 바와 같이 단조 공정에서는 프레스로 부터 인가되는 성형 하중에 의해 성형 펀치 및 다이 등의 금형 부품에 높은 수준의 하중이 작용하게 된다. 이러한 높은 수준의 성형 하중을 지지함과 동시에 빌렛의 원활한 변형 유도 그리고 금형 수명을 확보하기 위해서는 공정 특성에 맞는 금형 소재를 선정하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 Fig. 8에서의 공정 흐름과 Fig. 9에서 제시된 빌렛의 응력 수준 그리고 Fig. 10에서와 같이 예측된 각 공정별 단조 하중 등을 고려하여 금형 소재를 선정하였다. 등속조인트용 외륜의 다단 냉간단조 공정을 위해 선정된 각 공정별 주요 금형 소재를 Table 2에 요약하였다. 즉, 제1공정인 전방 압출공정과 제2공정인 업셋팅 공정에서는 펀치 및 다이 소재로 고속도 공구강의 일종인 SKH51종과 초경(Cemented Carbide

Alloys) 소재인 D60를 선정하였으며, 제3공정인 후방 압출공정에서는 펀치 및 다이 소재로 SKH51종과 STD11종을 각각 선정하였으며, 제4공정인 사이징-네킹 공정에서는 펀치와 다이 소재로 STD61종과 STD11종을 선정하였다. 또한, 각 금형 소재는 단조 과정에서 주로 압축 하중을 받기 때문에 구조적 건전성을 평가할 수 있도록 압축 강도의 수준을 정리하였다. 금형 소재에 대한 압축 강도를 측정하기에는 실험적 측정에 있어서 다소 어려움이 따르기 때문에 인장 항복 또는 과단 강도 등을 기준으로 압축 강도를 판단하는 것이 일반적이었으나, 본 연구에서는 압축 강도 시험(SKH51종)과 문헌 조사를 통해 보다 상세한 정보를 Table 2에 제시하였다[5, 10, 11]. Table 2에 제시된 각 금형 소재별 압축 항복강도를 기준으로 공정별 펀치 및 다이의 구조 해석을 수행하였으며, 해석에 적용된 초기 하중조건은 빌렛으로 부터 금형에 인가되는 절점력(Nodal Force)을 이용하여 금형 구조해석을 수행하였다.

Table 2 Selection of tool material for multi-stage cold forging process of the outer race[5,10,11]

	Tool Material		HRC	Yield Strength(MPa)	
				Tensile	Comp.
Forward Extrusion	Punch	SKH51	62	2,400	3,000
	Die	D60	71	3,600	5,000
Upsetting	Punch	SKH51	62	2,400	3,000
	Die	D60	71	3,600	5,000
Backward Extrusion	Punch	SKH51	62	2,400	3,000
	Die	STD11	59	1,200	2,200
Sizing-Necking	Punch	STD61	53	1,380	2,400
	Die	STD11	59	1,200	2,200

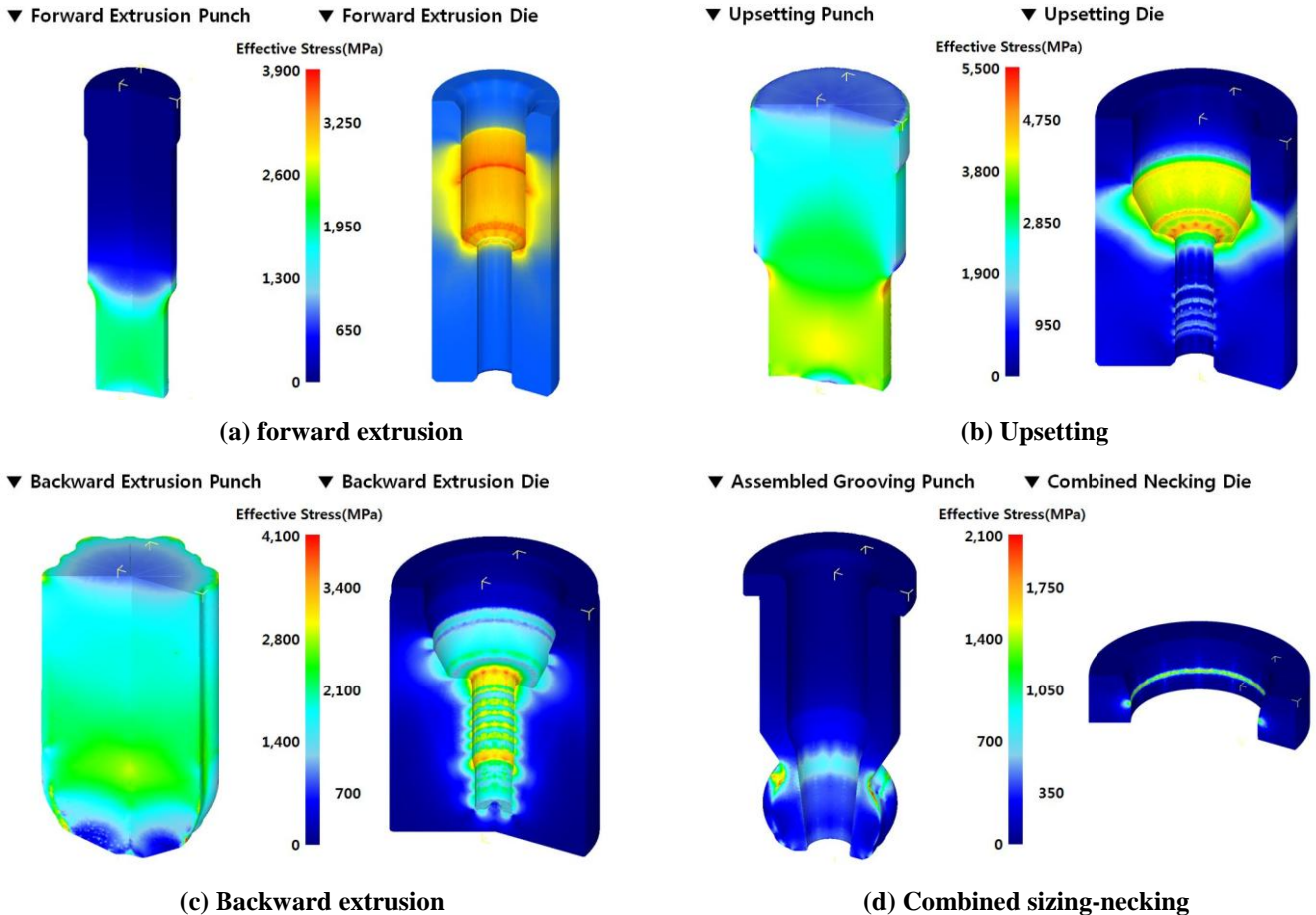


Fig.11 Results of structural integrity evaluation for each punch and die in multi-stage cold forging process

4.2 금형 구조 해석 결과

Fig. 11은 각 공정에 사용된 펀치 및 다이에 대한 금형 구조 해석 결과를 보여주고 있다. 우선 제1공정인 전방 압출공정에서는 빌렛으로 부터 금형면에 작용하는 절점력은 Fig. 11(a)에서와 같이 펀치와 다이에 최대 1,750N 및 2,880N의 압축하중이 작용하고 있었으며, 이에 따라 펀치 및 다이에 발생하는 최대 유효응력은 약 2,610MPa 및 3,890MPa 수준으로 조사되었다. 또한, 제2공정인 업셋팅 공정에 대해서는 초기 하중조건으로써 펀치와 다이에 최대 7,280N 및 5,390N의 압축하중이 절점력으로 작용할 경우에 Fig. 11(b)에서와 같이 펀치와 다이에 발생하는 최대 유효응력은 약 4,500MPa 및 5,100MPa 수준의 압축 응력이 발생함을 알 수 있었다. 이와 더불어, 제3공정인 후방 압출공정의 경우에는 펀치와 다이에 최대 1,800N 및 4,200N의 절점력이 작용하고, Fig. 11(b)에서와 같이 펀치와 다이에 발생하는 최대 유효응력은 약 3,540MPa 및 3,860MPa 수준의 압축 응력이 발생함을 알 수 있었다. 마지막으로, 제4공정인 사이징-네킹 공정에서의 펀치와 다이에 작용하는 절점 하중은 약 1,160N 및 2,060N 수준의 최대 절점 하중이 가해질 경우에 약 2,100MPa 및 1,850MPa 수준의 최대 유효응력이 발생함을 확인할 수 있었다. 이에 따라, 본 연구에서 선정된 각 공정별 펀치와 다이의 구조적 측면에서의 건전성은 Table 2에 제시된 압축 항복강도와 압축 변형모드 그리고 해석적 결과를 고려할 때 적절하다고 판단되었다.

5. 결 과

Fig. 12에는 본 연구에서의 검토 대상인 등속조인트용 외륜의 요구 형상과 다단 냉간단조 공정에 대한 유한요소 해석 결과로부터 얻어진 변형 형상을 비교한 것으로, 총 5개의 비교 대상 치수를 정의하여 Table 3에서와 같이 해당 결과를 정리하였다. 전체적인 반경(R_O)의 경우에 유한요소 해석 결과와와의 오차는 약 0.05mm 수준으로 나타났으며, 그루부 반경(R_B)의 경우에는 약 0.01mm의 차이를 보임을 알 수 있었다. 또한, 케이브 반경(R_C)에 있어서는 약 0.56mm 수준의 오차를 가지는 것으로 조사되었다. 이와 더불어, 축(Shaft)에서의 해석적 치수 오차는 상부 축(R_S)에서 약 0.03mm 그리고 하부 축(R_R)에서 약 0.01mm 수준의 차이를 보이는 것으로 나타났다.

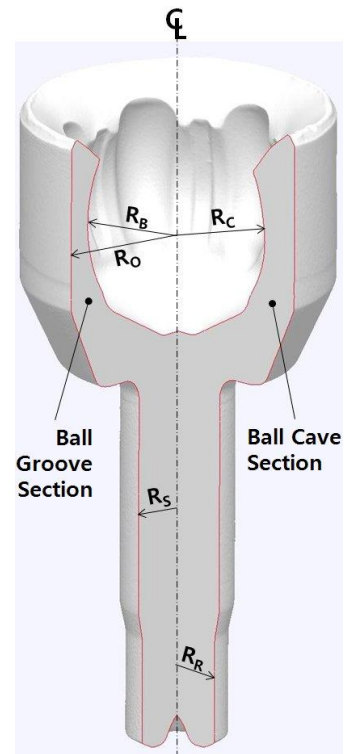


Fig.12 Cold forged outer race obtained from proposed multi-stage cold forging simulation

Table 3 Comparison between target and simulated geometries by proposed multi-stage cold forging

Unit : mm		Requirement	Simulated
Head	Outer Radius(R_O)	36.750	36.700
	Groove Radius(R_B)	30.965	30.975
	Cave Radius(R_C)	27.775	27.215
Shaft	Upper(R_S)	13.250	13.220
	Root(R_R)	11.750	11.740

물론 Fig. 12와 Table 3에 제시된 비교 결과는 요구 형상과 해석적 결과로부터 얻어진 각 치수를 비교한 것으로 외륜의 성형 시험이나 시제작품으로부터 얻어진 각 치수들과의 비교 결과와는 다소 차이가 있을 수 있으나, 그 경향성은 유사할 것으로 판단된다. 또한, 케이브 반경에 있어서는 치수 오차가 상대적으로 크게 나타남에 따라 케이브 부분을 보다 적절하게 성형하기 위한 방안을 모색할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

6. 결 론

본 연구에서는 기존의 온간 단조공정을 이용한 자동차 등속조인트 외륜 단조품 성형공정을 다단 냉간 단조공정으로의 대체를 위한 해석적 연구를 수행하였다. 이를 위해, 우선 다단 온간 단조공정에 대한 공정 검토와 다단 냉간 단조공정으로의 공정 전환 그리고 공정 개선을 수행하였다. 개선된 단조공정을 토대로 유한요소 해석을 전방 압출공정, 업셋팅 공정, 후방 압출공정 및 사이징-네킹 공정에 대해 각각 수행하였다. 또한, 본 연구에서 제안한 다단 냉간 단조용 금형에 대해서 금형 구조 해석을 수행하였다. 그리고, 해석적으로 도출된 등속조인트용 외륜 냉간 단조품에 대하여 치수 정밀도를 비교하였다. 등속조인트용 외륜 단조품은 다단 냉간 단조공정에 의해 성형 가능함을 확인하였으며, 본 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 다단 냉간 단조공정에서는 기존의 2회에 걸쳐 수행되던 후방 압출공정을 1회의 냉간 후방 압출공정으로의 공정개선이 수행되었다. 또한, 아이어닝 및 사이징 그리고 네킹 공정을 하나의 사이징-네킹 공정으로 개선하였으며, 6개의 중분할된 네킹 펀치와 이의 작동 메커니즘을 검토한 결과 빌렛과 성형 펀치간의 간섭은 발생하지 않는 것으로 나타났다.

(2) 전방 압출, 업셋팅, 후방 압출 및 사이징-네킹 공정 등에 대한 유한요소 해석을 통해 각 공정에 있어서 빌렛의 변형 형상과 응력 수준 등을 파악하였으며, 적절한 변형 이력을 갖는 것을 확인하였다.

(3) 금형 구조물에 대한 구조조건성 검토 결과로써 각각의 성형펀치와 다이는 본 연구에서 제안된 공정에 적용 가능한 것으로 조사되었다.

(4) 유한요소 해석을 통해 얻어진 외륜의 치수 정밀도를 살펴본 결과, 케이브 부위에서 다소 큰 성형 오차를 보이는 것 이외에는 요구 치수와 매우 유사한 결과를 나타내었다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지인력양성사업(No. 20124030200020)과 한국연구재단의 선도연구센터(NRF-2012R1A5A1048294)의 지원을 통해 수행된 연구 결과입니다. 이에 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

REFERENCES

- [1] E. Z. Kim, S. I. Oh, Y. S. Lee, K. H. Na, Backward Can Extrusion of Ultra-Fine-Grained Bulk Al-Mg Alloy fabricated by Cryomilling and Hydrostatic Extrusion, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 201, No. 1, pp. 1563~1567.
- [2] J. H. Lee, Y. S. Lee, J. J. Park, 1994, Design of the Cold Forging Process for the Outer Race of BJ Type Constant Velocity Joint using Plasticine, *Trans. Mat. Proc.*, Vol. 3, No. 3, pp. 282~290.
- [3] K. S. Park, C. J. VanTyne, Y. H. Moon, 2007, Process Analysis of Multistage Forging by using Finite Element Method, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 187-188, pp. 586~590.
- [4] Y. C. Kwon, J. H. Lee, C. M. Lee, Y. S. Lee, 2007, Dimensional Changes and Residual Stress of Spur Gear According to the Manufacturing Processes - Comparison of Cold Forging Part with Machining Part, *Trans. Mater. Process.*, Vol. 16, No. 8, pp. 575~581.
- [5] T. W. Ku, B. S. Kang, 2014, Tool Design for Inner Race Cold Forging with Skew-type Cross Ball Grooves, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 214, No. 8, pp. 1482~1502.
- [6] G. J. Kang, J. Kim, B. S. Kang, 2008, Numerical and Experimental Evaluation for Elastic Deformation of a Cold Forging Tool and Workpiece for a Sleeve Cam of an Automobile Start Motor, *J. Eng. Manuf.*, Vol. 222, No. 2, pp. 217~224.
- [7] Y. S. Lee, Y. N. Kwon, J. H. Lee, T. Ishikawa, 2006, Experimental and Finite Element Analysis to Predict the Dimensional Changes of a Cold-Forged Spur Gear, *Proc. IMechE.*, Vol. 220, pp. 1051~1057.
- [8] T. W. Ku, L. H. Kim, B. S. Kang, 2013, Multi-Stage Cold Forging and Experimental Investigation for the Outer Race of Constant Velocity Joints, *Mater. Design*, Vol. 49, pp. 368~385.
- [9] T. W. Ku, L. H. Kim, B. S. Kang, 2014, Process Simplification of Multi-Stage Cold Forging for the Outer Race of a CV Joints, *Mater. Manuf. Process.*, Vol. 29, No. 2, pp. 85~92.
- [10] <http://www.uddeholm.com>
- [11] <http://www.hitachimetals.com>