

등속조인트용 외륜의 다단 냉간 단조공정에 관한 실험적 연구

강범수¹ · 구태완[#]

Experimental Study on Multi-Stage Cold Forging for an Outer Race of a CV Joint

B. S. Kang, T. W. Ku

(Received March 26, 2014 / Revised April 23, 2014 / Accepted May 7, 2014)

Abstract

This study deals with a series of experimental investigations on multi-stage cold forging of an outer race used for a constant velocity (CV) joint with six inner ball grooves. The multi-stage cold forging, which consists of forward extrusion, upsetting, backward extrusion, and combined sizing-necking including ironing, was used to produce a prototype of the outer race. The cold forging tools such as forging punches and dies required in this multi-stage cold forging were also designed and fabricated. For the combined sizing-necking, especially, the longitudinally six-segmentalized punches were developed to easily eject from the necked inner groove of the outer race with consideration of the operating mechanism. Spheroidized SCr420H billet was used in the experimental study. To verify the suitability of the proposed process, the obtained parts were obtained from each forging operation, and the geometries were compared with the target dimensions. It was confirmed that the outer race with six inner ball grooves was well forged by adopting the proposed multi-stage cold forging, and the dimensional accuracy of the forged outer race matched well with the requirements.

Key Words : CV Joint, Outer Race, Multi-Stage Cold Forging, Tool Fabrication, Experimental Verification

1. 서론

자동차용 등속조인트(Constant Velocity Joint)는 내연기관으로 부터 얻어진 회전 운동(Torque)을 바퀴(Wheel)에 균등하게 분배하는 핵심부품으로 엔진측 등속조인트(Transmission-side CV Joint)와 바퀴측 등속조인트(Wheel-side CV Joint) 그리고 이들을 연결하는 샤프트(Shaft)로 구성된다[1]. 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 일반

적이다[2].

대표적인 고중량 단조품인 등속조인트용 외륜을 성형하기 위한 기존의 단조공정으로 다단 온간 단조공정이 주로 적용되어져 왔다[3]. 온간 단조공정에서는 초기 빌렛(Billet)을 일정 온도로 가열하여 단조성을 증가시킨 후에 전방 압출(Forward Extrusion), 업셋팅(Upsetting), 두번의 후방 압출(Backward Extrusions), 아이어닝(Ironing), 사이징(Sizing) 및 네킹(Necking) 등의 공정을 순차적으로 거친 후에 절삭가공(Machining) 공정을 수행하게 된다. 이러한 온간 단조공정은 연화된 빌렛의 성형에 따른 단조 하중(Forging Load)의 감소 등의 장점이 있으나, 빌렛에

1. 부산대학교 항공우주공학과

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

대한 가열 및 이에 따른 금형으로의 열전달 문제 그리고 최종 단조품에 대한 황삭 및 정삭 공정이 추가적으로 필요하다는 단점도 동시에 가지고 있다 [4, 5]. 이에 따라, 생산성 향상 및 친환경 성형기술을 접목하기 위한 폭 넓은 연구활동들이 단조 기술 분야 뿐만 아니라 다양한 분야에서 최근 활발히 추진되고 있다[6, 7].

본 연구에서는 등속조인트용 외륜 단조품을 성형하기 위한 친환경적 방법으로 전방압출, 업셋팅, 후방압출, 아이어닝을 포함하는 사이징-네킹(Combined sizing-necking) 공정 등 총 4공정으로 구성된 다단 냉간 단조공정을 적용하였다. 특히, 최종 공정인 사이징-네킹 공정에 있어서, 네킹 공정에 의해 외륜의 내부에 성형된 그루브(Groove) 공간으로부터 성형 편치의 취출을 원활히 하기 위한 종방향으로 6개의 균등분할된 네킹 편치를 적용하였다. 이전 연구에서 예측된 각 공정별 단조 하중을 고려하여[1], 적절한 프레스를 적용하였으며, 본 다단 냉간 단조공정을 순차적으로 수행하였다. 실험으로 부터 얻어진 외륜 단조품을 이용하여 외륜의 외경과 그루브 내경 그리고 케이브 반경 등의 주요 형상에 대한 치수 정밀도를 측정하였고, 이를 해석적 연구에서의 결과와 비교하였다.

2. 등속조인트용 외륜

2.1 외륜(Outer Race)

Fig. 1은 자동차용 등속조인트 어셈블리에 있어서 BJ 타입의 바퀴측 등속조인트에 대한 조립 구성품을 나타낸 것이다. 등속조인트 외륜은 내부 구성품을 고정하고 보호하는 하우징(Housing) 역할을 함과 동시에 내륜(Inner Race)와 구름베어링(Ball Bearing)이 적절히 작동할 수 있도록 공간을 제공한다. Fig. 2는 기존의 다단 온간 단조공정에 의해 생산되는 외륜의 예를 보여주고 있으며, 단조공정 이후에 황삭(Rough Machining)과 정삭(Precision Machining) 공정을 거쳐 최종 제품으로 가공됨을 알 수 있다. 또한, Fig. 3은 본 연구에서 다루고자 하는 등속조인트용 외륜의 단면 형상과 각 주요 치수를 나타내고 있다. 즉, 헤드(Head)부의 외경은 73.5mm이며, 그루브 직경은 61.93mm, 그리고 케이브(Cave) 직경은 53.5mm이며, 전체 높이는 99.6mm인 기하학적 형상을 지니고 있다.

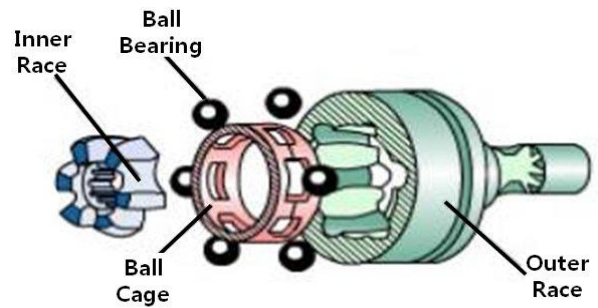


Fig. 1 BJ-type CV joint and its metal components

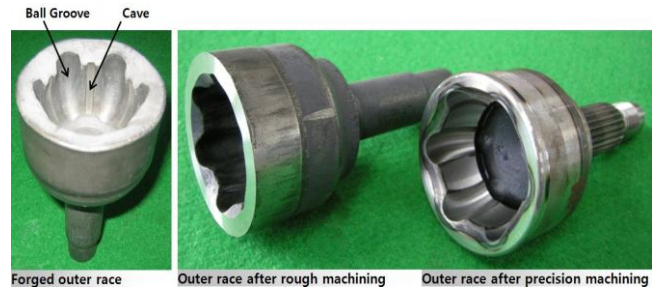


Fig. 2 Examples of outer race using multi-stage warm forging and machining processes

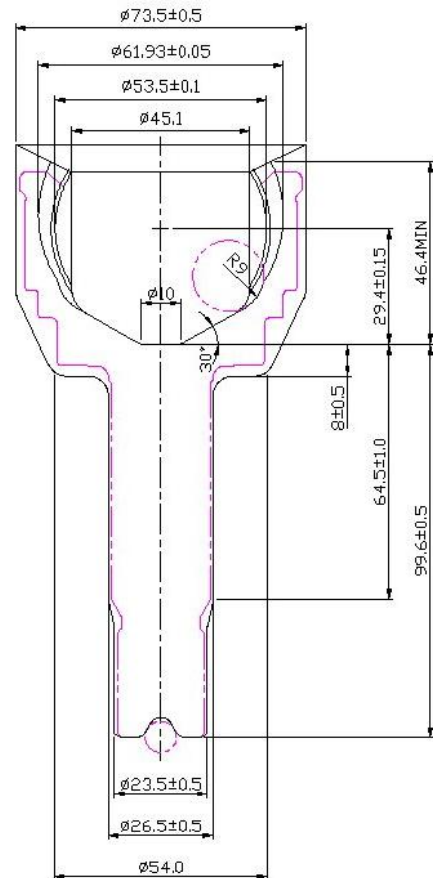


Fig. 3 Geometric configuration of outer race

2.2 다단 냉간 단조공정

Fig. 4는 등속조인트용 외륜을 다단 냉간 단조공정으로 성형하기 위해 제안된 공정도이다. 기존의 다단 온간 단조공정에서 적용되던 2회의 후방 압출공정이 1회의 후방 압출공정으로 단순화 되었음을 알 수 있다[1]. 이를 위해, 제1공정인 전방 압출공정 이후 공정의 헤드부 체적을 고려하여 온간 공정에서의 헤드부 체적보다 다소 증가된 형태로 설계되어졌다. 그리고, 온간 공정에서의 업셋팅과 1차 후방 압출공정의 헤드부 일부 체적을 증가시킨 형태로 고려하여 업셋팅 공정으로 개선하였다. 그리고, 온간에서의 1차 후방 압출공정에서 고려되지 않은 헤드부 체적과 2차 후방 압출공정에서의 헤드부 체적을 병합하여 Fig. 4의 냉간 후방 압출공정으로 대체하였다. 더불어, 이후 공정인 아이어닝 공정을 포함하는 사이징 공정과 네킹 공정을 냉간 공정에서는 아이어닝 공정이 포함된 사이징-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 있었다.

2.3 사이징-네킹 메커니즘

Fig. 1과 Fig. 2에서 알 수 있듯이 BJ 타입 외륜의 내부에는 6개의 볼 그루브가 있기 때문에 네킹 공정이 필요로 하게 된다. 본 연구에서의 볼 그루브 형상을 성형하기 위한 네킹 공정은 아이어닝 공정이 포함된 사이징-네킹 공정으로 고려하였으나, 네킹 펀치를 취출하는 과정에서 네킹된 외륜에 추가적인 변형이 발생할 수 있다는 것이 예측되었다. 이를 해결하기 위한 방안으로 본 연구에서는 종방향으로 여섯개의 등분할된 네킹 펀치를 고안하였다. 즉, 최종 성형후 그루브 펀치(Grooving Punch)의 취출시 성형된 빌렛과 펀치의 접촉에 의한 성형 불량 발생 가능성이 있기 때문에 펀치와 성형품의 간섭 문제를 해결하기 위해 6개의 등분할된 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 수행

되도록 설계하였다. 그리고, 인서트의 상향 작동(④)에 의해 스프링이 신장(⑤)되면서 그루브 펀치의 구속조건이 이완(⑥)되면서 자유롭게 움직일 수 있도록 하였다[8,9].

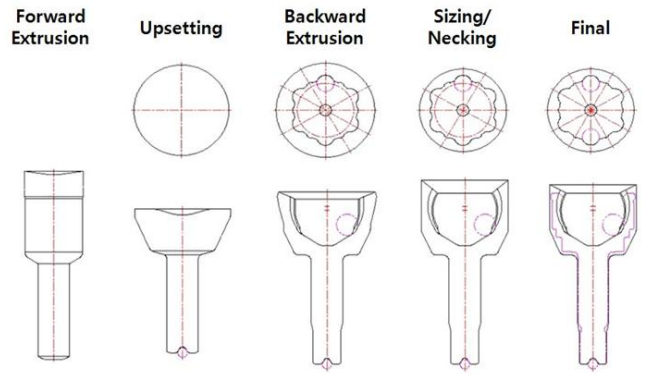
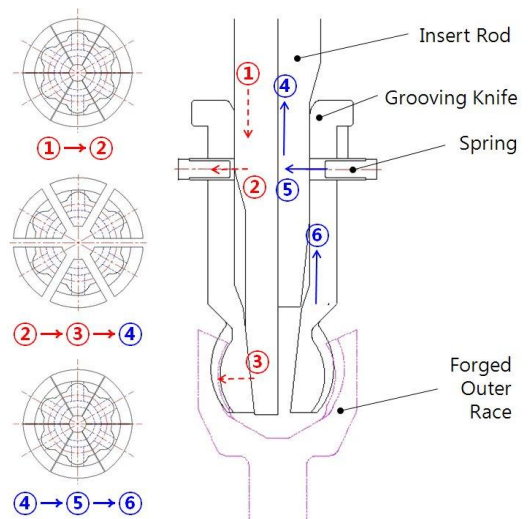


Fig. 4 Proposed multi-stage cold forging procedure for outer race of CV joint



(a) Fabricated necking knives



(b) Operating mechanism of necking punch

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

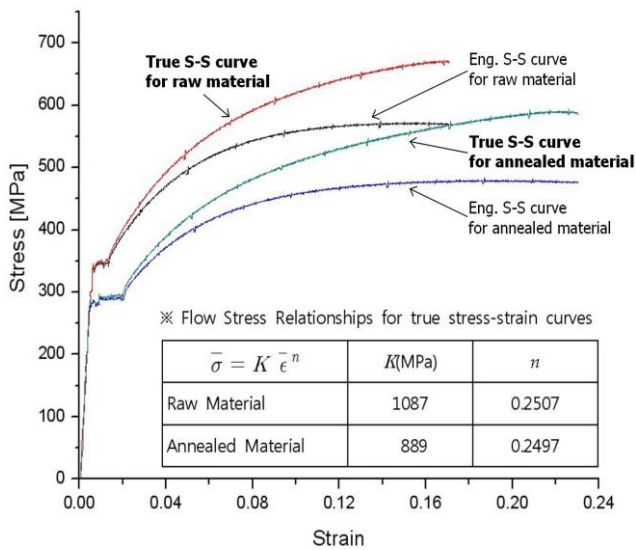


Fig. 6 Tensile test results and flow stress relationship of SCr420H billet material

2.3 기계적 특성

등속조인트용 외륜의 다단 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 시편은 ASTM A370 규격에 따라 제작하였다. Fig. 6은 구상화 소둔 열처리 전·후의 응력-변형률 선도를 보여주고 있다. Fig. 6에서의 실험 결과로 부터 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.

냉간 단조공정에서는 금형과 소재의 직접적인 접촉을 피하기 위해 윤활재를 사용하게 된다. 그러나, 빌렛에 작용하는 높은 수준의 성형 하중이 금형에 인가되기 때문에 접도가 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 몰리브덴피

Table 1 Mechanical properties of SCr420H

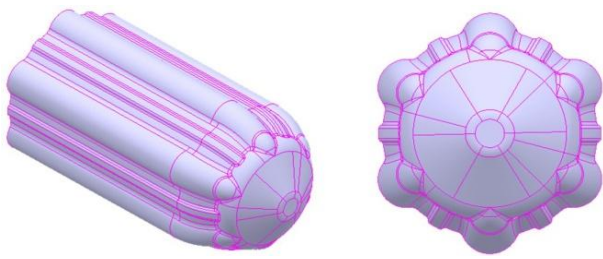
Properties	Unit	Raw	Annealed	
Young's Modulus	GPa	205	205	
Yield Strength	MPa	327	263	
Ultimate Strength	MPa	664	573	
Poisson's Ratio		0.29	0.29	
Fracture Strain	ϵ_f	0.168	0.232	
Flow Stress Law	K	MPa	1,087	889
	n		0.168	0.232

막(MoS_2) 처리를 각각 고려하였으며, 몰리브덴피막 처리된 경우에는 약 0.192, 인산염피막 처리된 경우의 마찰계수는 약 0.098 수준의 값을 가짐을 알 수 있다[1]. 이에 따라, 본 연구에서는 등속조인트용 외륜의 냉간 단조공정 적용을 위해 인산염피막을 빌렛 표면에 형성하여 금형과 빌렛 사이의 마찰 거동이 적용되도록 하였다.

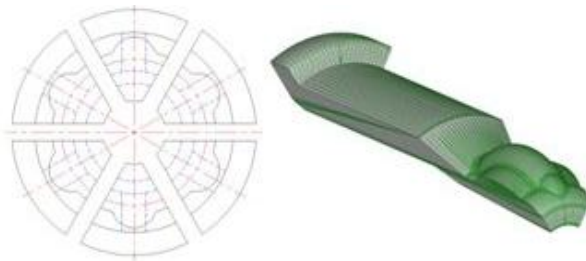
3. 금형 설계 및 제작

Fig. 3에 다단 냉간 단조공정 적용을 위한 자동차 등속조인트용 외륜의 형상과 치수를 나타내고 있다. 내부에 6개의 대칭형 그루브를 가지는 외륜을 성형하기 위해 Fig. 4에서와 같이 초기 빌렛 절단 및 최종 절삭 공정을 제외한 전방 압출공정, 업셋팅 공정, 후방 압출공정 및 아이어닝 공정이 포함된 사이징-네킹 공정 등 총 4공정의 다단 냉간 단조공정에 대한 순차적 성형 실험을 수행하였다. Fig. 7은 본 연구에서 수행한 다단 냉간 단조공정에 있어서, 외륜이 내부 볼 그루브를 직접적으로 성형하는 후방 압출 펀치와 네킹 펀치의 3차원 형상을 보여주고 있다. 즉, 후방 압출공정을 위한 펀치는 6개의 대칭형 볼 그루브 금형면을 가지는 일체형 펀치로 Fig. 7(a)에서와 같이 설계되었으며, 네킹 펀치는 성형후 취출 공정을 원활히 하기 위해 종방향으로 6개의 균등분할된 네킹 나이프로 Fig. 7(b)에서와 같이 모델리되었고, Fig. 7(c)는 6개의 네킹 나이프들이 조립되었을 경우의 형상을 보여주고 있다.

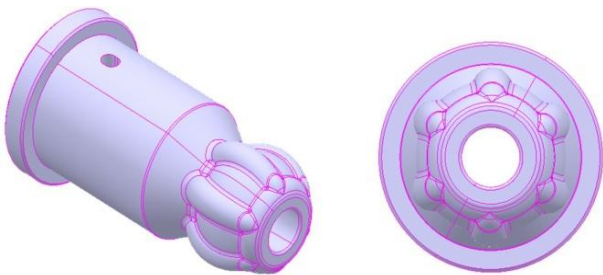
앞서 언급한 바와 같이 단조 공정에서는 프레스로 부터 인가되는 성형 하중에 의해 성형 펀치 및



(a) Backward extrusion punch



(b) Each necking knife



(c) Assembled necking punch

Fig. 7 Tool design results for backward extrusion and combined sizing-necking process

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. 4에서의 공정 흐름과 Fig. 6에서 제시된 구상화 소둔 처리된 초기 빌렛의 변형 거동 특성 그리고 이전 연구에서 도출된 각 공정별 응력 수준 등을 고려하여 금형 소재를 선정하였다[1]. 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 Alloy) 소재인 D60를 선정

Table 2 Selection of tool material for multi-stage cold forging process of the outer race[4,9,10]

	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

하였으며, 제3공정인 후방 압출공정에서는 펀치 및 다이 소재로 SKH51종과 STD11종을 각각 선정하였고, 제4공정인 사이징-네킹 공정에서는 펀치와 다이 소재로 STD61종과 STD11종을 선정하였다. Table 2에 제시된 금형 소재의 각 강종별 인장 항복강도(Tensile Yield Strength)와 압축 항복강도(Compressive Yield Strength) 등에 있어서, 기존에는 인장 항복강도를 기준으로 금형의 압축강도는 2~3배에 이르는 것으로 판단하는 것이 일반적이거나, 열처리(Quenching 및 Tempering) 조건과 경도(Hardness)에 따라서 기계적 특성이 다양하게 나타날 수 있다는 것에 주의해야 한다. 본 연구에서는 각 공정용 금형소재로 선정된 각 강종별 압축 항복강도와 경도를 실험적으로 측정(SKH51종, HRC 62)하거나 면밀한 문헌조사 등을 통해 제시하였다.

Fig. 8은 본 연구에서 제안된 자동차용 외륜의 다단 냉간 단조공정을 위한 각 공정별 금형 구조와 제작된 금형 부품들을 요약하여 나타낸 것이다. 즉, 전방 압출공정, 업셋팅 공정, 후방 압출공정 및 사이징-네킹 공정에 대한 상부 펀치와 하부 다이 등에 대한 구조와 형상이 각각 나타나 있으며, 특히 사이징-네킹 공정을 위해서 6개의 중분할된 네킹 펀치와 하부의 사이징 다이 및 네킹 다이가 제시되어져 있다.

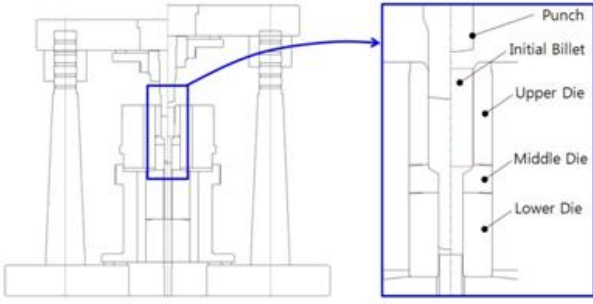
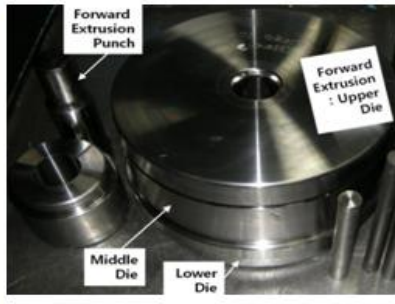
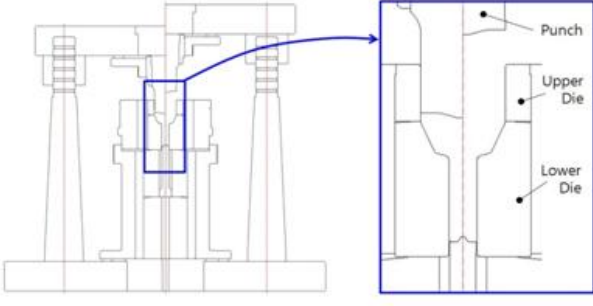
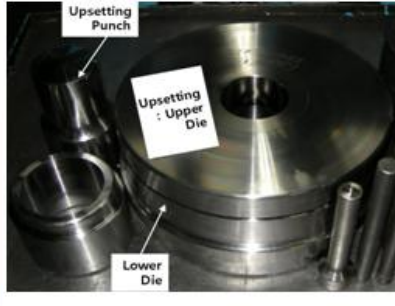
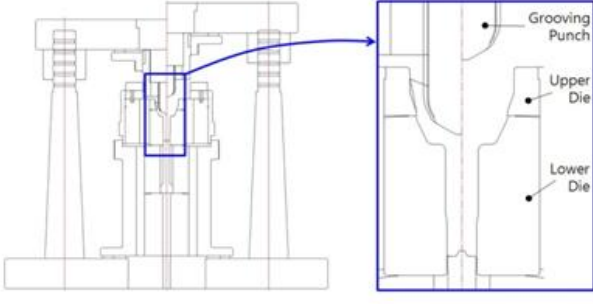
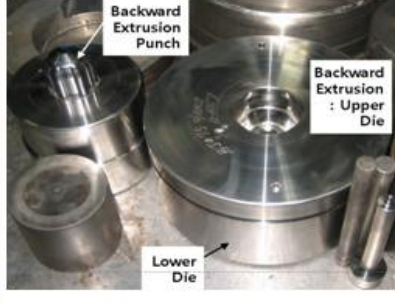
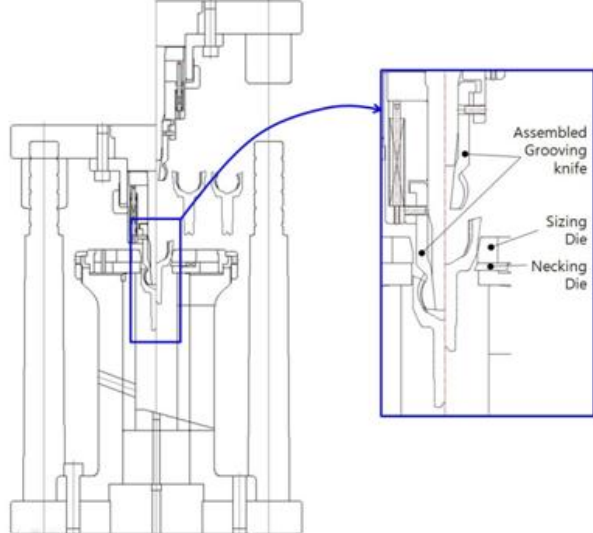
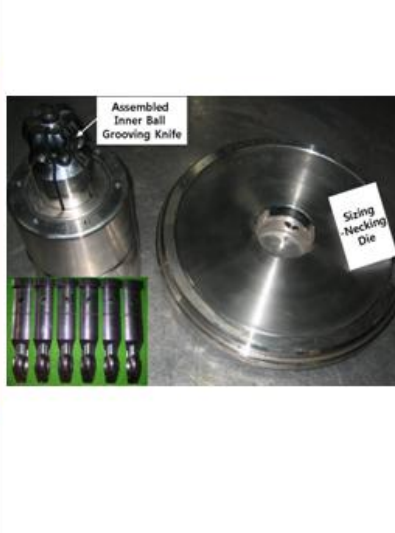
	Tool Structure	Tool Components
Forward Extrusion	 <p>Punch Initial Billet Upper Die Middle Die Lower Die</p>	 <p>Forward Extrusion Punch Forward Extrusion : Upper Die Middle Die Lower Die</p>
Upsetting	 <p>Punch Upper Die Lower Die</p>	 <p>Upsetting Punch Upsetting : Upper Die Lower Die</p>
Backward Extrusion	 <p>Grooving Punch Upper Die Lower Die</p>	 <p>Backward Extrusion Punch Backward Extrusion : Upper Die Lower Die</p>
Combined Sizing & Necking	 <p>Assembled Grooving knife Sizing Die Necking Die</p>	 <p>Assembled Inner Ball Grooving Knife Sizing Necking Die</p>

Fig. 8 Tool structures and fabricated components for multi-stage cold forging of outer race

4. 다단 냉간 단조 실험 및 외륜 시제작

자동차 등속조인트용 외륜 시제작을 위해서 직경 48.0mm 및 높이 100.0mm인 구상화 소둔 처리된 SCr420H 초기 빌렛이 사용되었다. 다단 냉간 단조 공정을 위해 Fig. 8에 제시된 금형 구조와 각종 금형 부품을 이용하여 Fig. 9에서와 같이 다단 냉간 단조 공정 실험을 순차적으로 수행하였다. 전방 압출공정과 업셋팅 공정에서는 이전의 외륜에 대한 다단 냉간 단조 공정 유한요소 해석[1]을 통해 도출된 성형 하중 예측 결과를 참조하여 1,000Ton_r 용량의 단발 프레스가 각각 사용되었으며, 후방 압출공정에서는 2,000Ton_r 규모의 프레스가 적용되었고, 사이징-네킹 공정에서는 630Ton_r 용량의 프레스가 사용되었다. Fig. 9에는 다단 냉간 단조 공정 적용에 의한 외륜의 각 공정별 예비성형체(Preform) 및 최종 성형품이 제시되어져 있다.

또한, Fig. 10은 본 연구에서의 다단 냉간 단조공정에 대한 연속적인 실험 과정에서 도출된 각 공정별 예비성형체와 시제품을 나타낸 것으로, 구상화 소둔 처리된 초기 빌렛, 전방 압출품, 업셋팅 시편, 후방 압출품 및 사이징-네킹 공정 완료 시제품 등을 보여주고 있으며, 각 공정이 순차적으로 원활히 수행되었음을 알 수 있다. 또한, 등속조인트용 외륜 시제품의 단면 형상(소재 유동)도 제시되어져 있으며, 내부 결함없이 소재 유동과 변형이 적절히 이루어졌음을 나타내고 있다.

5. 결 과

Fig. 11은 다단 냉간 단조공정 실험으로 부터 얻어진 각 공정별 예비성형체와 시제품의 성형성을 평가하기 위한 주요 치수 측정 위치를 도시한 것이다. 제1공정인 전방 압출공정에서는 헤드의 상부 반경(R_{U0})과 하부 반경(R_{L0}) 그리고 축의 반경(R_S)이 주요 치수로 고려되어졌으며, 제2공정인 업셋팅 공정에서는 헤드 상부의 반경(R_0)과 축 반경(R_S)의 치수를 선정하였다. 또한, 제3공정인 후방 압출공정에 의한 예비성형체에 대해서는 헤드 상부 반경(R_0)과 볼 그루브 반경(R_B) 및 케이브(Cave) 반경(R_C) 그리고 축 반경(R_S , R_R) 등이 고려되었으며, 제4공정에서는 헤드부 반경(R_0)과 볼 그루브 반경(R_B) 및 케이브(Cave) 반경(R_C) 그리고 축 반경(R_S , R_R) 등의 주요

[Forward Extrusion]



[Upsetting]



[Backward Extrusion]



[Combined Sizing-Necking]



Fig. 9 Multi-stage cold forging experiments for outer race of CV joint



Fig.10 Preforms and prototype of outer race using multi-stage cold forging process

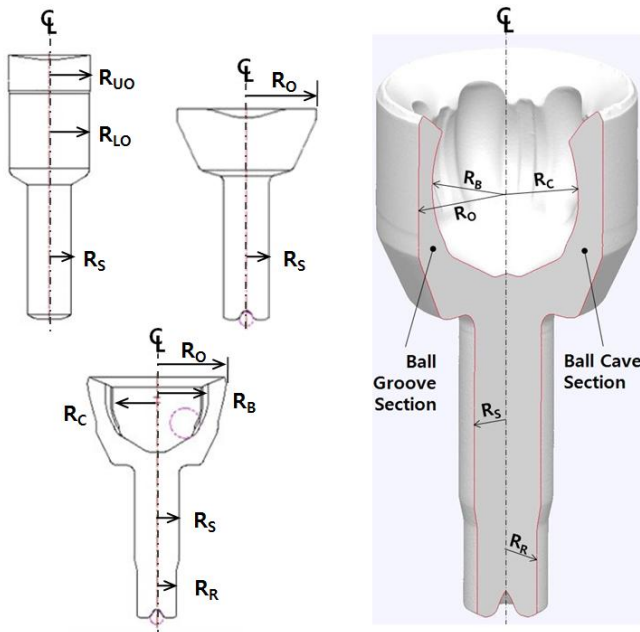


Fig.11 Predefined cross-sectional planes and main geometries of proforms and prototypes

치수로 선정되었다. Fig. 11에 제시된 각 공정별 주요 치수를 측정하기 위해서 전방 압출공정 및 업셋팅 그리고 후방 압출공정의 예비성형체에 대해서는 실측하였으며, 제4공정인 사이징-네킹 공정으로부터 얻어진 시제품에 대해서는 약 10 μ m 수준의 오차를 가지는 고정밀 3차원 비접촉식 형상측정 장치인 Rexcan IV를 활용하였다. 또한, Fig. 11에서 정의된 주요 치수에 대해서 요구 형상 및 치수를 기준으로 이전의 해석적 연구 결과와 본 연구에서의 실험적 결과를 비교하여 Table 3에 정리하였다.

Table 3에서 제시된 바와 같이, 전방 압출공정에서 요구되는 주요 치수로는 헤드부의 상부 반경과

Table 3 Comparison results on dimensional precision of forged outer race by adopting proposed multi-stage cold forging process

Unit : mm		Required	Simulated	Measured
<i>Forward extruded workpiece</i>				
Head	Upper Radius(R_{UO})	24.500	24.485	24.490
	Lower Radius(R_{LO})	24.300	24.290	24.275
Shaft	Radius(R_S)	13.050	13.050	13.020
<i>Upsetted workpiece</i>				
Head	Outer Radius(R_O)	40.400	40.460	40.486
Shaft	Radius(R_S)	13.200	13.215	13.210
<i>Backward extruded workpiece</i>				
Head	Outer Radius(R_O)	41.800	41.865	41.726
	Groove Radius(R_B)	31.150	31.060	30.980
	Cave Radius(R_C)	26.775	26.215	26.260
Shaft	Upper(R_S)	13.350	13.220	13.230
	Root(R_R)	11.850	11.840	11.850
<i>Combined sizing- necking workpiece</i>				
Head	Outer Radius(R_O)	36.750	36.700	36.850
	Groove Radius(R_B)	31.150	30.975	30.980
	Cave Radius(R_C)	26.775	26.215	26.250
Shaft	Upper(R_S)	13.350	13.220	13.230
	Root(R_R)	11.850	11.840	11.850

하부 반경이 각각 24.500mm와 24.300mm 그리고 축 반경이 13.000mm이다. 해석적 연구결과와 실험적 측정 결과로부터 헤드부 반경은 최대 0.025mm의 오차를 가지는 것으로 조사되었으며, 축 반경에 있어서는 최대 0.030mm의 차이를 보임을 알 수 있었다. 또한, 업셋팅 공정에 의한 예비성형체에 대해서는 헤드부 반경(40.400mm)과 축 반경(13.200mm)에 대해서 해석적으로는 0.060mm 및 0.015mm, 그리고 실험적으로는 0.086mm 및 0.010mm의 오차를 보임을 확인할 수 있었다.

이와 더불어, 후방 압출공정에 의한 예비성형체에 대해서는 헤드부 반경과 그루브 반경 그리고 케이브 반경이 각각 41.800mm, 31.150mm 및 26.775mm로 요구되고 있으며, 해석적 결과에서는 0.065mm, 0.090mm

및 0.560mm의 오차를 보이고 있음을 알 수 있었고, 실험적 결과에서는 0.074mm, 0.17mm 그리고 0.515mm의 치수 오차를 보이는 것으로 조사되었다. 그리고, 축의 상부 반경(13.350mm)과 하부 반경(11.850mm)에 대해서 해석적 결과는 0.130mm 및 0.010mm의 성형 오차를, 그리고 실험적 측정 결과로 부터는 축 상부 반경에서 0.120mm의 차이를 보이는 것으로 조사되었다.

아이어닝 공정이 포함된 사이징-네킹 공정을 통해 얻어진 외륜 시제품에 대한 성형 치수 정밀도를 비교한 결과는 다음과 같다. 헤드부의 상부 반경(36.750mm)에 대해서 해석적·실험적 측정 결과는 0.050mm과 0.100mm로 각각 조사되었으며, 그루브 반경(31.150mm)에 대해서는 0.175mm 및 0.170mm의 오차를 보였으며, 케이브 반경(26.775mm)에 대해서는 0.560mm 및 0.525mm의 치수 오차를 보이는 것으로 나타났다. 그리고 축 반경에 대해서는 후방 압출공정에서의 비교 결과와 동일한 값을 가지는 것으로 나타났다.

본 연구에서의 다단 냉간 단조공정을 이용한 등속조인트용 외륜 시제품의 요구 치수에 대한 해석적 그리고 실험적 치수 비교 결과를 살펴보면, 전체적으로 요구 형상 및 치수에 부합하는 성형 치수를 보이는 것으로 조사되었다. 특히, 전방 압출공정과 업셋팅 공정에 의한 예비성형체에 있어서는 최대 치수 오차가 0.30% 이내임을 알 수 있었고, 후방 압출공정과 사이징-네킹 공정에 대해서는 약 2.10%의 최대 오차를 보이는 것으로 나타났다.

6. 결론

본 연구에서는 기존의 온간 단조공정을 이용한 자동차 등속조인트 외륜 단조품 성형공정을 다단 냉간 단조공정으로의 대체를 위한 이전의 해석적 연구 결과를 실험적으로 검증하고자 하였다. 우선 전방 압출공정, 업셋팅 공정, 후방 압출공정 및 사이징-네킹 공정을 위한 각각의 금형을 설계 및 제작하였고, 이들을 등속조인트용 외륜의 다단 냉간 단조공정 실험에 적용하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 다단 냉간 단조공정을 이용한 실험적 검증을 위해 전방 압출공정, 업셋팅 공정, 후방 압출공정 그리고 사이징-네킹 공정용 금형들을 각각 설계하였

으며, 이를 바탕으로 성형 펀치 및 하부 다이 등을 제작하였다.

(2) 각 공정별 제작된 성형펀치 및 하부 금형들을 이용하여 등속조인트용 외륜에 대한 성형실험을 수행하였으며, 금형의 파손없이 원활히 시제품을 제작할 수 있었다.

(3) 전방 압출공정, 업셋팅 공정, 후방압출공정 및 사이징-네킹 공정으로 구성된 다단 냉간 단조공정을 이용하여 등속조인트용 외륜에 대한 성형 시험을 수행한 결과, 최대 치수 오차가 약 2.10%로 조사되었으며, 전체적으로 각 공정이 적절히 수행되었음을 확인하였다.

(4) 기존의 다단 온간 단조공정에 의해 생산되던 등속조인트용 외륜을 다단 냉간 단조공정으로 대체하고자 하였으며, 체계적인 해석적·실험적 접근을 통해 외륜의 각 공정별 요구 형상 및 치수 정밀도를 확보할 수 있음을 확인하였다.

(5) 본 연구를 통해 제시된 다단 냉간 단조공정은 향후 자동차용 각종 단조품 뿐만 아니라 다양한 단조공정과 관련 기술분야에 있어서 친환경 기술로써 적용가능할 것으로 판단된다.

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] B. S. Kang, T. W. Ku, 2014, Process Modification and Numerical Simulation for an Outer Race of a CV Joint using Multi-Stage Cold Forging Process, Trans. Mater. Process., Vol. 23, No. 4, pp. 211~220.
- [2] 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.
- [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] 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.
- [5] 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.
- [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.