

플라스티신을 이용한 BJ형 등속조인트 외륜의 냉간단조공정설계

이 정 환, 이 영 선, 박 종 진*

한국기계연구원

* 홍익대학교 기계공학과

Design of the Cold Forging Process for the Outer Race of BJ Type Constant Velocity Joint using Plasticine

J. H. Lee, Y. S. Lee, J. J. Park*

Korea Institute of Machinery and Metals

* Dept. of Mechanical Engineering, Hong-Ik University

Key Words : Ball Joint, Constant Velocity Joint, Plasticine, Heading,
Backward Extrusion, Cold Sizing, Physical Modelling

ABSTRACT

The outer race of BJ type C.V. Joint has a complicated shape and ball grooves. It is produced by cold or warm precision forging. Especially, the precision level of the ball grooves determines the quality of the part. The objective of the present study is to develop process conditions of the cold forging using the plasticine. Because the cold forging consists of forward extrusion, upsetting, backward extrusion and cold sizing, the study was focused on finding the best perform for each process. The data obtained from the study will be used in the design of the cold forging process for the outer race.

1. 서 론

구동과 조향을 동시에 수행해야 하는 전륜구동차에서는 차동장치에 가해지는 힘 전달의 변화가 중요한 문제이며 구동축과 피동축이 같은 속도로 회전하도록 해주는 장치가 필요하다. 이 역할을 위해 사용되는 것이 등속조인트이다. 등속조인트는 기

본적으로 외륜(outer race, housing), 내륜(inner race, spider)과 볼(ball) 또는 케이지(cage) 등의 부품으로 구성되어 있는데 동력을 전달하는 부품으로서의 기계적 요구 특성과 각 부품간의 상대운동에 따른 부품의 요구정밀도가 높아 냉간 또는 온간단조 등의 정밀단조에 의해 생산되고 있다.

본 연구에서 선정한 BJ형 등속조인트외륜은 내부에 볼이 위치하기 때문에 컵(cup) 부에 언더컷(undercut) 형상의 볼 그루브(groove)가 형성되어 있고 볼 그루브가 품질을 좌우하므로 단조품의 볼 그루브 정밀도 확보가 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 정밀한 볼 그루브 성형을 위한 각 공정에서의 최적예비성형체를 찾고자 모델 재료를 이용한 실험을 수행하여 냉간단조공정을 개발하고 그 결과를 시제품과 비교하여 공정설계시 모델재료를 이용하는 것에 대한 타당성을 조사하고자 한다.

2. 실험

2.1 제조공정

본 연구에서 선정한 BJ형 등속조인트의 외관은 그림 1과 같다. BJ형 등속조인트를 냉간단조로 제조하는 공정은 크게 전방압출, 헤딩, 후방압출, 냉간 사이징으로 나눌 수 있으며 제조공정도는 표 1과 같다. 초기 압출된 봉재는 띠톱에 의해 절단되며 절단된 블랭크는 구상화소둔과 윤활처리를 한 후 전방압출을 하여 축의 도입부를 성형하고 전방압출이 된 블랭크는 헤딩공정으로 축부와 컵부의 외곽형상을 성형하게 된다. 헤딩펀치가 진행하게 되면 재료는 축부로 유동하기 시작한 후 컵부로 유동하게 된다. 그 다음 블랭크는 후방압출 공정에 의해 컵부가 성형되며, 이 때 전체공정 가운데 가장 높은 성형하중이 소요된다. 냉간사이징은 등속조인트 그루브의 정밀도를 향상시키는 공정이므로 사이징공정의 이전 공정인 후방압출공정에서 축부와 컵부에 대한 성형이 모두 이루어져야 한다. 컵부의 성형길이는 후방압출펀치의 진행량에 따라 좌우되므로 후방압출펀치의 진행량이 증가할수록 컵부의 길이가 증가하게 된다. 그러나 컵부길이를 증가시키기 위해서 기준치 이상으로 후방압출펀치를 진행시키면 컵바닥 두께가 너무 얇아지며 컵바닥에서 크랙이 발생하게 된다. 후방압출에 의해 축부와 컵부의 형상을 성형한 후 냉간사이징공정을 수행한다. 후방압출공정후 사이징공정을 수행해야 하는 이유는 다음과 같다.

- 1) 후방압출공정만으로는 완전한 컵길이를 성형하기 곤란하다.
- 2) 볼 그루브와 컵안쪽 내벽에 결함이 발생한다.
- 3) 볼 그루브는 언더컷진 형상이기 때문에 컵상부정도를 만족할수 없다.

2.2 모사성형실험

금속가공공정의 모사실험용 재료는 점토, 왁스, 납, 알루미늄 등과 같은 비금속 또는 금속재료가 많이 사용되는데 본 연구에서는 백색과 흑색 플라스티신(Harbutt, 영국)을 사용하였다. 플라스티신 시편은 압출 또는 압연에 의해서 판재로 제작한 후 적절한 크기로 절단후 적층하여 제작하였다. 시편과 다이와의 윤활제로는 주로 탄산칼슘을 사용하지만 냉간단조시와 유사한 마찰조건을 얻기 위해서 다음과 같은 윤활처리를 하였다^[1].

- 1) 약간의 액체비누가 혼합된 글리세린으로 다이를 바른다.
- 2) 그 다음 탈쿰(Talcum) 분말을 바른다.

모델시험시 얻을수 있는 실험결과는 변형저항 거동, 마찰, 금형의 팽창량 등을 얻을수 있지만 본 연구에서는 단조용 블랭크의 치수와 형상결정, 메탈플로우를 예측하는 것에 중점을 두었다. 플라스틱인을 성형하는데는 높은 하중이 필요하지 않고 가공시간의 단축과 금형제작비용을 고려하여 실제 금형재료를 사용하여 제작할 필요가 없으므로 본 연구에서는 수치보다 제작이 편리한 목형을 이용하여 성형실험을 하였으며 각 공정별 상 펀치와 하부다이는 각각 그림 2 와 그림 3에 나타내었다. 실험에 사용되는 초기소재는 중실원주형태로 펀치가 진행함에 따라 펀치와 다이에 의해 이루어진 모양으로 성형된다. 성형공정형태는 그림 4와 같으며 시편은 전방압출과 밀폐다이단조를 거쳐 후방압출후 사이징을 통하여 치수정도를 갖는 제품으로 성형된다. 표 2는 각 공정별 실험변수를 나타내고 있다.

흑색과 백색 플라스틱인을 적층하여 만든 블랭크는 상하 다이형상에 따라 성형되면서 변형을 일으키며 그 형상은 금속이 성형되면서 금속섬유조직이 변화하는 것과 유사하게 된다. 이를 이용하여 성형공정간의 재료유동형태를 조사하여 내부결함이 없는 각 단계의 예비성형체의 형상을 선정한 후 최적치수를 선정하기 위한 실험을 추가로 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 냉간단조공정시 최종성형공정인 사이징공정은 BJ형 등속조인트 외륜내부의 그루브 정도확보를 위해 필요하며 정도높은 성형과 분할펀치수명 등의 문제들 때문에 큰 단면감소율이 발생하지 않도록 해야 한다. 따라서 헤딩공정과 후방압출공정의 형상과 치수들의 변화에 따른 영향에 주목하였다. 실험은 역추적법을 이용하여 공정의 역순으로 행하므로써 보다 빠르고 정확하게 변수를 찾고자 하였다.

본 연구에서 선정한 공정은 그림 5에서도 알수 있듯이 내부결함을 나타내지 않고 좋은 재료유동을 나타내고 있음을 알수 있다. 따라서 본 연구에서 선정한 공정을 기본으로 냉간사이징후 정도높은 내부 그루브성형을 위한 실험을 수행하였으며 추가로 재료절감을 위한 실험을 수행하였으며 그 결과는 정도확보를 위한 실험과 재료절감을 위한 실험으로 나누어 기술한다.

3.2 Ball Groove 정밀성형을 위한 실험

3.2.1 후방 압출 공정

본 공정의 주된 목적은 사이징시 필요한 볼 그루브길이를 충분히 성형하는 것이다. 이를 위해서는 재료가 다이벽과 펀치를 따라 원활히 유동할수 있도록 펀치와 다이가 설계되어야 하는데 사이징시 최소의 단면감소율을 위해서는 후방압출용펀치가 그루브형상과 동일해야 하므로 다이벽의 형상 및 치수만이 공정변수로 남게 된다. 따라서 다이의 형상과 치수가 컵부길이의 성형에 미치는 영향을 조사하였다. 그림 6에 나타낸 것과 같이 후방압출다이의 상부에 경사각(θ)을 5° 에서부터 20°

까지 5° 씩 변화시키면서 실험하였으나 컵부길기와 내부 그루브성형에는 큰 영향이 없었으나 5° 일때 컵부길기가 가장 길게 성형되었다.

3.2.2 Heading 공정

본 공정에서의 변수는 그림 7에서 볼 수 있듯이 B길이, C길이, A부위형상 등이 있다. 실험결과 B와 C 길이는 후방압출에 영향이 거의 없었으나 A부위는 그 형상과 치수에 따라 큰 영향을 미쳤다. 첫째로 변화를 준 것은 그림 8과 같이 후방압출시 중심을 잡아주는 역할을 하는 상부단면의 오목부 크기이다. 이를 변화시켜 실험한 결과 그림 9와 같이 오목부 크기가 커지면 컵길이가 증가하였으나 그 양은 미소하였으며 그 이유는 원형상의 크기가 증가함에 따라 다이벽을 따라 유동하는 재료의 양이 증가하기 때문이었다. 따라서 오목부의 형상을 원통형으로 변경하여 실험을 하였으며 그 변수와 결과는 그림 10과 같다. 이 실험결과에서도 알수 있듯이 원통형상의 오목부는 원형상의 오목부와는 달리 컵 길이 성형에 많은 영향을 미쳤으며 원통지름이 후방편치지름보다 큰 No.1에서부터 No.4까지의 형태는 내부에 겹침현상과 같은 결함이 발생하였으며 그림 11에서 관찰할수 있듯이 실 재료를 이용한 시제품 제작에서도 동일한 현상이 발생하였다.

3.3 재료절감을 위한 성형실험

등속조인트 외륜의 성형시 후방압출과 냉간 사이징에서 재료유동은 다이와 접하는 쪽이 펀치와 접하는 쪽보다 빠르기 때문에 다이측이 펀치측보다 더 높은형태가 된다. 전술한 바와 같이 BJ형 등속조인트 성형의 핵심은 원하는 치수와 정도를 갖는 볼 그루브제조에 그 목적이 있다. 그런데 내부측은 성형량이 적고 다이측은 많은 형태가 되면 최종기계가공에서 제거해야 하는 부위가 많아지고 그에 따라 재료손실과 가공시간의 연장으로 제조단가의 상승을 가져온다. 따라서 최종기계가공량을 줄이기 위해서는 그림 12에서 처럼 냉간사이징후의 컵상부경사각(γ)을 최소화해야 한다. 그림 13은 기계가공량을 최소화할수 있는 가장 이상적인 형태를 나타내는 그림이다.

3.3.1 후방압출공정

냉간사이징후 가장 이상적형태를 얻을수 있는 후방압출품의 컵상부경사각을 찾기 위하여 후방압출품의 컵상부경사각을 변화시켜 사이징실험을 수행하였다. 그림 14는 후방압출품의 컵경사각의 변화와 그에 따른 냉간사이징품의 각도를 나타내며 후방압출후 컵상부 경사각이 5° 일때가 가장 이상적인 결과를 나타냈다. 따라서 후방압출품은 컵상부각이 5° 가 되도록 하여야 하며 이를 얻기 위해 후방압출용 다이상부에 추가적으로 경사각을 주어 실험하였다. 후방압출 다이상부경사각은 5° 에서 20° 까지 5° 변화시켜 실험하였으며 그림 6은 다이상부경사각의 위치를 나타내고 있다. 다이상부경사각이 커지면 다이측 재료의 유동속도가 저하되어 펀치측 재료유동과 유사해질 것으로 예상하였으나 결과는 반대로 나타났다. 그림 15는 후방압출후 컵상부 단면의 형상을 나타내고 있는데 다이경사각이 커질수록 다이쪽 재료유동과 펀치측 재료유동의 속도차가 더욱 커져 원하는 것과는 반대로 다이쪽이 더 많이 성

형되고 컵길이 성형도 감소하는 결과를 나타내었다.

3.3.2 Heading 공정

재료절감을 위해 후방압출다이의 상부경사각을 변화시켜 수행했던 실험들은 원하는 냉간사이징형태를 얻을수 없었다. 따라서 후방압출후 원하는 경사각을 얻기 위해서는 헤딩공정에서 변화를 시켜야 할 것으로 생각되어 그림 16과 같이 헤딩공정에서 상부단면외면에 원형태로 높이차이를 주어 실험하였다. 그 결과 후방압출후 상부단면이 편치쪽으로 높은 형태로 성형이 이루어지므로써 목적하는 바를 얻을 수 있었다. 따라서 헤딩공정에서는 상부단면외면에 높이차이를 주어야 함을 알수 있었으며 그 형태와 치수를 찾기 위한 추가실험을 수행하였다. 헤딩공정시 상부단면에 높이차이를 준 실험은 그림 17과 같은 형태로 제작하여 실험하였으며 그 결과는 그림 18과 같다. 상단지름(A)이 커질수록 후방압출후 다이쪽과 편치쪽의 높이차이가 줄어들고 있으며 상부에 물결무늬가 형성되었다. 그러나 상단지름이 너무 큰 4번 시편의 경우는 편치쪽 높이가 너무 높아 좋지 않은 결과를 나타내고 있으며 3번이 가장 적절한 높이차이를 나타내었다. 그런데 3번 시편은 상단지름이 후방압출용 편치 지름과 유사한 치수이며 후방압출용 지름이 원활한 성형을 하는데 기준인 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구 대상인 BJ형 등속조인트 외륜은 내부에 볼 그루브가 형성되어 있기 때문에 기계가공으로 제조하는 것은 생산성이 떨어지며 단조로 제조하는 데에는 볼 그루브 반경오차가 엄격히 규제되어 있으므로 매우 정밀한 단조기술이 필요하다. 본 연구는 모델재료인 플라스틱을 이용하여 BJ형 등속조인트 외륜의 냉간단조시각 공정의 최적형상과 치수를 찾고자 하였으며 고온에서의 강의 성질과 유사한 모델 재료인 플라스틱이 냉간단조공정설계에 적용이 가능한지를 시제품과 비교하였다. 본 연구에서 수행한 모사성형실험결과로 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 모델재료인 플라스틱은 냉간단조에 필요한 하중을 조사하는데는 곤란한 단점이 있으나 적층실험으로 내부의 재료유동형태를 알수 있는 장점이 있어 랩(lap)과 같은 결함발생을 예측할수 있으므로 각 공정의 최적예비성형체를 찾는 데 적용이 가능함을 알수 있었다.
- 2) 볼 그루브를 정밀하게 성형하는데는 그루브를 성형하는 냉간사이징공정보다 그 이전 공정인 헤딩공정과 후방압출공정이 더 많은 영향을 미침을 알수 있었다.
- 3) 사이징 공정에서 볼 그루브의 요구정밀도를 확보하기 위해서는 후방압출공정에서 컵부를 요구길이 만큼 충분히 성형해야 하며 이를 위해서는 헤딩공정시 상부단면의 중심에 원통형 홈을 두어야 하며 그 최적값은 후방압출편치의 지름과 관련이 있음을 알수 있었다.
- 4) 후방압출공정에서 재료의 유동속도는 편치측보다 다이측이 더 빠르므로 기계가공량(후가공시)을 줄이기 위해서는 그 속도차이를 줄여야 하며 이를 위해서는

헤딩공정시에 다이축이 펀치축보다 높게 성형해야 한다.

- 5) 헤딩공정은 밀폐단조형태이므로 높이차이를 주기 위한 펀치형상은 펀치에 가해지는 응력을 고려하여 최적의 형상을 선정해야 하므로 이에 대한 해석이 필요하다.

5. 참고문헌

1. M. Meidert, M. Knoerr, K. Westphal and T. Altan, "Numerical and Physical Modelling of Cold Forging of Bevel Gears", J. of Materials Processing Technology, 33, 1992, pp 75-93
2. M. Tsuda, H. Kojima and M. Arita, "The Development on Cold Forging Technique to Form a Component of the Constant Velocity Joint", SAE Technical Paper 850353
3. "전륜구동차용 등속조인트 부품개발", 한국기계연구소 보고서
4. "정밀단조에 의한 전륜구동차용 등속조인트 부품개발", 과학기술처 보고서
5. "정밀단조에 의한 Tripod Slide Housing의 개발", 한국기계연구소 보고서
6. S. Fujikawa, H. Yoshioka and S. Shimamura, "Cold- and Warm-Forging Applications in the Automotive Industry", J. of Material Processing Technology, Vol. 35, pp. 317~342, 1992
7. I. Moriguchi, "Cold Forging of Gears and Other Complex Shapes", J. of Material Processing Technology, Vol. 35, pp. 439~450, 1992

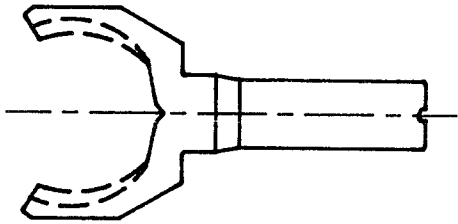
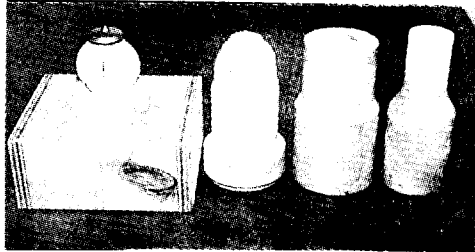
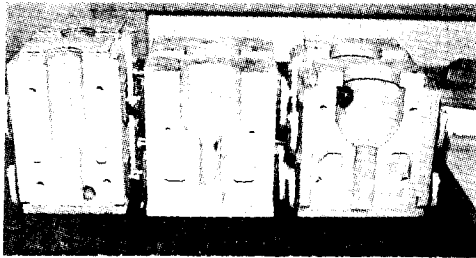


그림 1. BJ형 등속조인트 외륜의 형상



냉간 Sizing 후방압출 Upsetting 전방압출

그림 2. 모사성형실험용 목형(상편치)



전방압출 Upsetting 후방압출(냉간 Sizing)

그림 3. 모사성형실험용 목형(하다이)

Blank	1st F.W. EXT.	HEADING	BACKWARD EXT.	COLD SIZING

그림 4. BJ형 등속조인트 외륜의 단조공정도

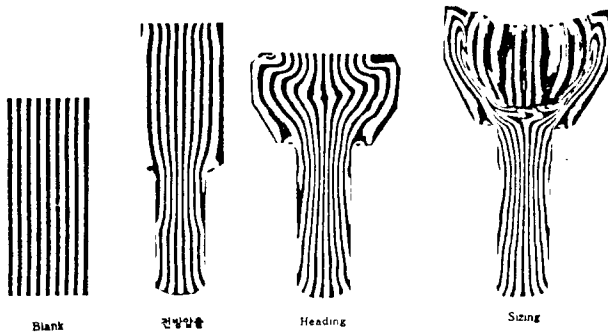


그림 5. 플라스틱인(Plasticine)을 이용하여 관찰한 각 공정간 재료유동 형태

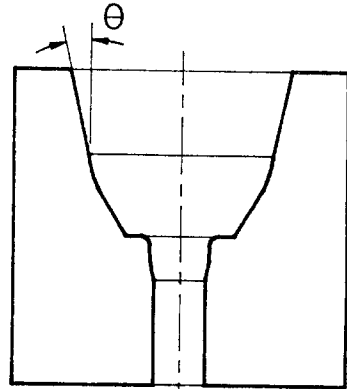


그림 6. 후방압출다이의 형상

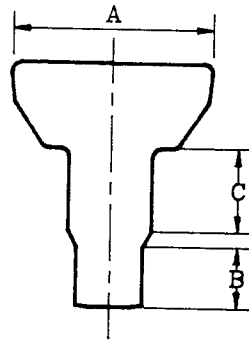
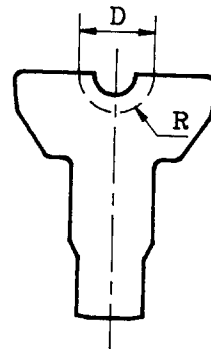


그림 7. Heading 공정에서의 변수



No.	D	R
1	15	5
2	35	10
3	55	20

그림 8. Heading 공정에서 상부단면에 원 형상의 오목부를 둔 실험

No.	C
1	67.1
2	67.4
3	68.3

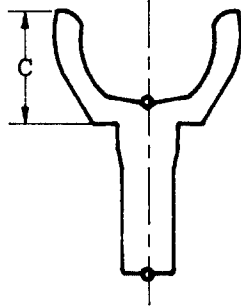
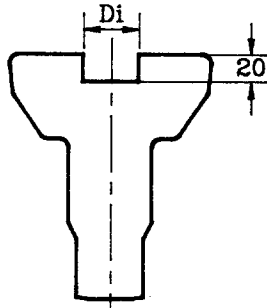


그림 9. Heading 공정에서 원 형상의 오목부 크기가 후방압출 후 컵부 성형에 미치는 영향



No.	Di(치름)	C	비 고
1	55	66.0	내부 Groove에 결함발생
2	50	66.9	"
3	45	67.8	"
4	40	68.4	"
5	35	69.1	결함 발생 없음
6	33	70.0	"

그림 10. Heading 공정에서 원통 형상의 오목부 크기가 후방압출 후 컵부 성형에 미치는 영향

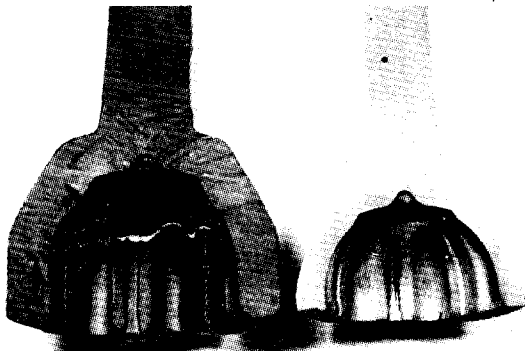


그림 11. Heading 공정품의 결함발생 부위 사진

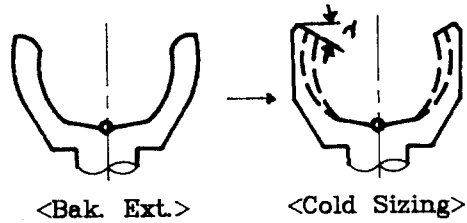


그림 12. 후방압출과 냉간사이징 후의 컵부 형상

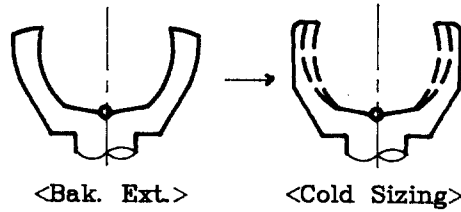
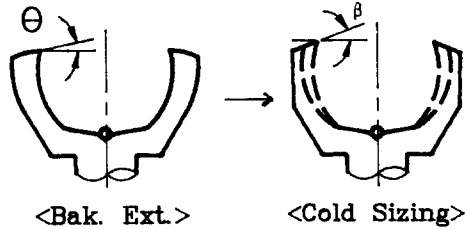


그림 13. 기계가공량을 최소화할 수 있는 이상적인 공정



각 도(θ)	5°	10°	15°	20°
표면상태	정상	양호	불량	불량
성형후 각(β)	0°	2°	5°	7°

그림 14. 후방압출품의 컵 상부 경사각이 냉간사이징의 컵 상부 형상에 미치는 영향

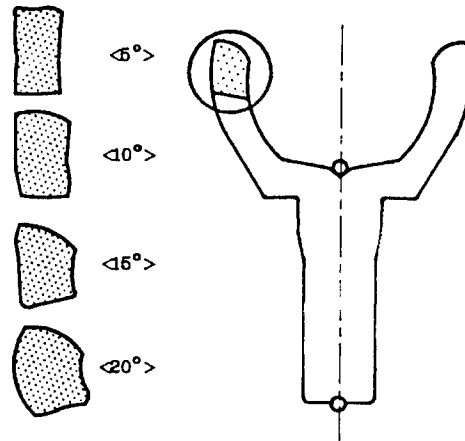


그림 15. 후방압출 다이상부경사각이 후방압출품의 컵 상부 단면에 미치는 영향

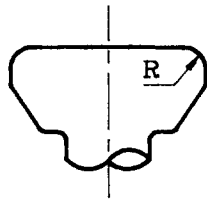
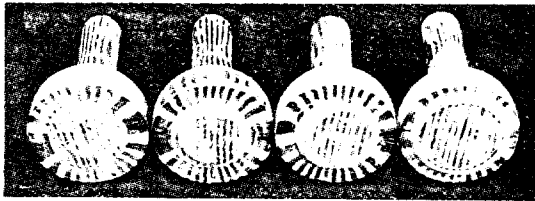
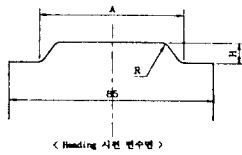


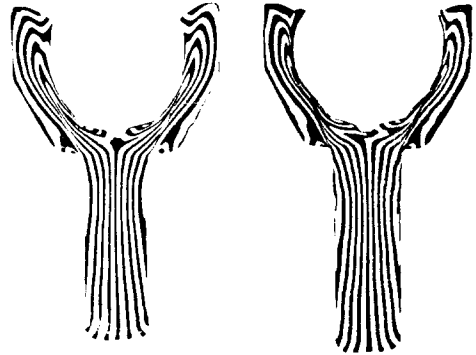
그림 16. Heading공정에서 상부단면외면에 높이 차이를 둔 시편형상

No.	A	H	R
1	60	3	2
2	50	4	3
3	61	3.5	2
4	70	4	2

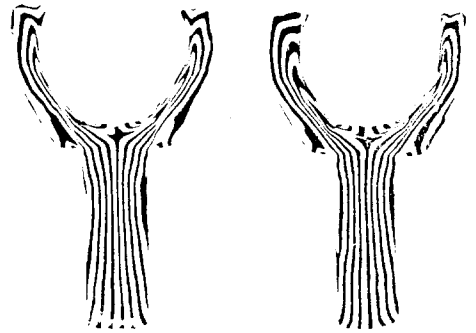


(No. 1) (No. 2) (No. 3) (No. 4)
<< Heading 시편 형상 >>

그림 17. Heading 공정에서 성부단면에 높이차이를 둔 실험



< No. 1 > < No. 2 >



< No. 3 > < No. 4 >

그림 18. Heading 공정시 상부 단면에 높이차이를 둔 사이징 실험결과

표 1. 등속조인트 냉간단조의 제조공정도

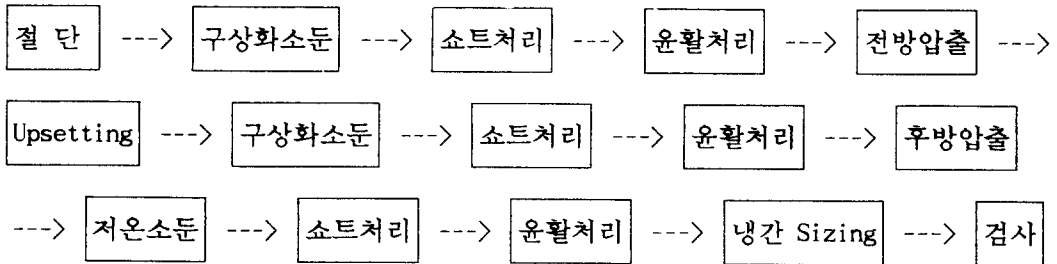


표 2. 각 공정별 실험 변수

공정	변수
Blank	- 지류
전방압출	- 전방압출 되는 축부 길이
Upsetting	- 축 길이 - 하다이 경사각 - 상 펀치 경사각 - 흠의 모양
후방압출	- 축 길이 - 하다이 경사각 - 컵 비단 두께