

극박판의 인장-드로잉 성형에서의 제품품질 비교

이기성¹ · 정완진² · 김종호[#]

Formability and Dimensional Characteristics of Stretch-Drawn Beryllium-Copper Sheet Products

K. S. Lee, W. J. Chung, J. H. Kim

(Received May 20, 2011 / Revised June 27, 2011 / Accepted July 7, 2011)

Abstract

A beryllium copper alloy(C1720) sheet was stretch-drawn using different processes. A hemispherical punch was first used and the forming behavior was examined. Then, cylindrical cups with a hemispherical head were produced by either one-step drawing or two-step forming(sequential stretch forming-drawing). The one-step drawing showed the better formability than two-step forming. However, the two-step forming was the superior process in terms of attaining shape accuracy.

Key Words : Stretch-drawn, Hemispherical Punch, One-Step Drawing, Two-Step Forming

1. 서론

최근에는 생산성을 위해 절삭공정으로 생산하던 부품에 프레스 가공 공정을 적용하는 사례가 증가하고 있다. 또한 초정밀제품의 수요가 증가하고 있어 드로잉금형을 통해 생산되는 제품에 대한 초소형, 고정밀도의 필요성도 높아지고 있다. 드로잉금형은 금속판재를 사용하여 이음매가 없는 용기를 성형하는 방법으로 블랭크치수의 변화에 따라 드로잉성형과 인장성형방법으로 나뉘어진다. 드로잉성형은 블랭크 소재의 외곽 치수가 줄어들면서 다이 속으로 유입되는 과정을 통해 제품의 바닥부분과 측벽부분을 성형하게 된다. 드로잉 가공 제품은 제품의 위치에 따라 응력분포가 다르게 되며 두께 또한 바닥의 중심에서부터 측벽으로 갈수록 두꺼워진다. 이에 반해 인장성형

방법은 블랭크소재의 외곽 치수가 변하지 않도록 블랭크홀딩력(Blank holding force)을 크게하거나 비드(Bead)를 설치하여 소재가 다이 속으로 유입되는 것을 방지한 후 펀치와 접촉하는 소재가 파단 직전까지 연신시키면서 인장성형을 한다.

드로잉 성형성에 관한 연구로는 Gotoh[1, 2]등은 알루미늄, 스테리스 등의 소재를 사용하여 다이코너반경을 변경하며 단일 또는 2단 인장드로잉 성형을 실험하고 이를 비교하였다. Choi[3]등은 냉연강판 및 고장력강판을 반구형 펀치로 스트레칭실험하여 성형한계도를 구하고 변형률 분포를 비교하였으며, Kim[4]등은 두께 0.9mm인 냉연강판을 사용하여 사각컵용기를 드로잉 성형할 때 드로비의 유무 및 크기변화, 블랭크홀딩력, 윤활 조건이 제품의 두께 변화 및 유입량에 미치는 영향을 실험하였다. Thiruvarudchelvan[5]은 반구형 원통

1. 서울과학기술대학교 산업대학원 정밀기계공학과
2. 서울과학기술대학교 제품설계금형공학과
교신저자: 서울과학기술대학교 제품설계금형공학과,
E-mail: jhkim365@seoultech.ac.kr

컵을 성형하기 위해 실리콘편치의 형상을 달리하여 실험하고 이를 비교하였으며, Özek[6]등은 냉간 압연 저탄소강(DIN EN 10130-91)을 사용하여 다이코너반경, 편치코너반경, 블랭크홀딩력을 변화시키면서 한계드로잉비를 구하였다. Park[7]등은 박판 소재에 대한 한계드로잉비를 구해 봄으로써 편치코너반경 및 다이코너반경에 따른 성형성을 분석하였다.

소형정밀가전제품의 안테나용으로 많이 사용되는 베릴륨동에 대한 성형성연구가 거의 없어 본 연구에서는 이 소재의 성형성과 공정설계방법에 따른 제품의 품질특성을 연구하고자 하였다.

본 실험에서는 편치코너반경 1.5mm인 반구형 원통편치를 사용하여 두께 50 μ m 극박판 소재를 성형깊이, 다이코너반경의 변화에 따라 인장성형하고 제품의 두께와 경도를 비교하였다. 또한 인장성형 후 드로잉한 반구형 원통컵 제품의 두께와 경도, 곡률반경에 미치는 영향을 분석하였으며 반구형 원통편치를 사용한 드로잉제품[8]과의 드로잉성과 품질 비교도 함께 수행하였다.

2. 실험 준비

2.1 실험 재료

본 실험에서는 두께가 50 μ m인 베릴륨동(C1720) 소재를 사용하였다. 인장시험용 시편은 압연 방향을 기준으로 Wire-EDM 가공하여 제작하였다. 인장시험은 200kgf 용량의 만능시험기(Instron 5948)를 사용하여 기계적 성질을 측정하였으며 그 결과가 Table 1 에 주어져있다.

Table 1 Mechanical properties of specimen

Material	Beryllium Copper (C1720)
Thickness (μ m)	50
Yield Strength (Kgf/mm ²)	21.7
Tensile Strength (Kgf/mm ²)	45.8
Elongation (%)	58.7
Hardness (Hv)	113.4

2.2 예비 실험

본 실험에 앞서 인장성형시 블랭크소재가 다이속으로 끌려 들어가지 않도록 고정할 수 있는 블랭크홀딩력을 조사하기 위해 예비실험을 하였다. 이전 연구[8]에서 사용한 드로잉금형조건에서 스

프링압축길이를 조절하여 3가지 블랭크홀딩력(43.9, 58.3, 72.7kgf)에 대해 실험한 결과 72.7kgf의 경우엔 소재가 다이 속으로 유입되지 않는 순수 인장성형상태가 되어 이 조건에서 반구형 인장성형 실험을 하였다.

블랭크홀딩력 72.7kgf로 고정된 상태에서 최대 인장성형깊이를 실험하였다. 성형깊이는 0.1mm 단위로 조절하여 소재표면에 파단이 발생될 때까지 진행하였으며, 다이코너반경 0.3mm, 0.5mm에서의 최대 인장성형깊이는 1.2mm와 1.3mm으로 각각 나타났다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 반구형 인장성형제품의 품질 비교

본 실험에서는 블랭크직경 6.3mm의 소재를 사용하고, 다이코너반경 0.3mm일 때 인장성형깊이는 0.6mm, 1.2mm로 정하였으며, 다이코너반경 0.5mm에서는 1.2mm로 인장성형을 실험하였다.

블랭크직경 6.3mm로 인장성형한 제품은 Fig. 1과 같이 제품의 중심으로부터 플랜지외곽으로 0.3mm 간격으로 두께 및 경도를 측정하였으며 결과는 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 나타나있다.

다이코너반경 0.3mm를 기준으로 성형깊이가 0.6mm조건에서 인장성형부는 초기소재두께 50 μ m보다 평균 약1.8% 얇아졌으며, 성형깊이가 1.2mm로 증가하면 약6.5%로 더 얇아진다. 다만 성형깊이에 관계없이 플랜지부는 약 1%의 두께변화를 보였다. 본 연구에서는 편치 측에 윤활을 하지 않아서 최소두께위치는 반구형상의 정점이 아닌 측정위치 0.9mm 또는 0.6mm이다.

Fig. 3 은 성형깊이 1.2mm 를 기준으로 다이코너반경이 0.3mm(소재두께 6 배)와 0.5mm(소재두께 10 배)조건에서 인장성형한 제품의 두께분포를 비교하였다. 다이코너반경에 따른 두께분포는 인장성형부에서 유사한 값을 보였다. 다이코너반경

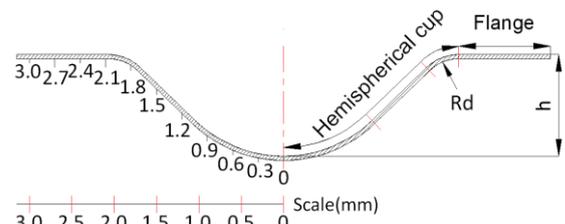


Fig. 1 Measuring positions for thickness and hardness

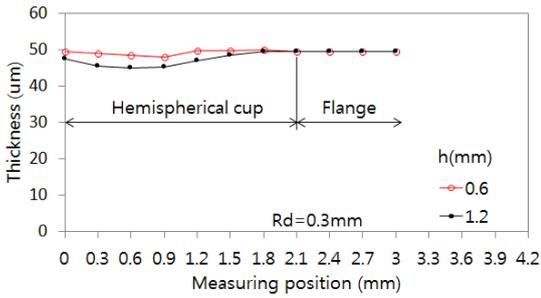


Fig. 2 Comparison of thickness distribution for different drawing-depths

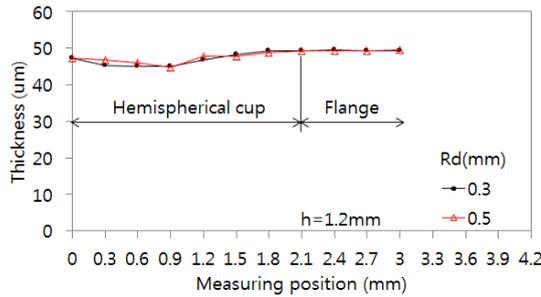


Fig. 3 Comparison of thickness distribution for different die-corner radii

0.3mm 에서는 평균 약 6.5%로 얇아졌으며, 0.5mm 로 증가하면 약 5.8%로 두께변화가 약간 작아졌다. 이는 다이코너반경의 증가로 인해 블랭크홀딩력의 영향을 받는 부위가 작아지고 펀치에 의해 성형되는 소재의 면적이 증가하여 두께변화에 영향을 주었기 때문으로 판단된다.

Fig. 4 는 반구형 인장성형제품의 위치별 가공경화분포를 조사하기 위한 경도분포를 나타낸 것이다. 다이코너반경 0.3mm, 성형깊이 0.6mm 조건에서 실험한 인장성형부의 경도는 소재경도 Hv113.4 를 기준으로 최소 20.3%에서 최대 45.9%까지 증가하였다. 성형깊이 1.2mm 로 증가하면 최소 62.2%에서 최대 80.2%로 더 크게 증가한다. 동일성형깊이에서 다이코너반경을 0.5mm 로 증가하여 성형한 제품은 최소 28.9%에서 최대 85.1%로 증가되었다. 플랜지부는 소재경도를 기준으로 3 가지 조건에서 1.2%~14.6%범위에서 증가하였으며 특히 인장성형부와 플랜지부의 교차점에서 경도값이 높게 측정되었다. 이는 인장성형시 교차되는 부분의 소재가 인장력을 받아 경도값이 상승했기 때문으로 사료된다.

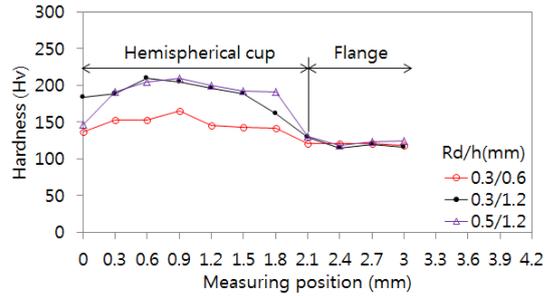


Fig. 4 Comparison of hardness distribution for different conditions

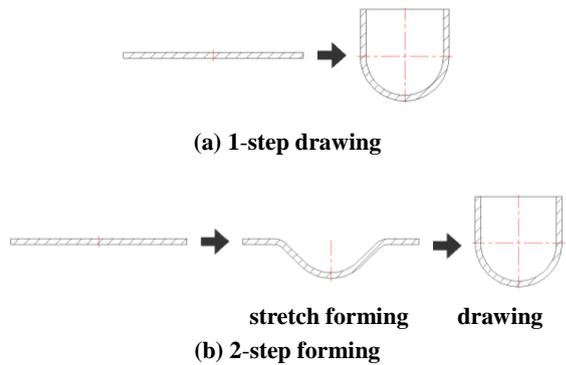


Fig. 5 Two kinds of drawing process

3.2 반구형 원통컵의 품질 비교

본 연구에서는 반구형 머리를 가진 축대칭 원통컵 제품을 제작하기 위한 방법으로 Fig. 5(a)와 같이 블랭크소재를 1회에 드로잉하는 1단 드로잉(1-step drawing)과 Fig. 5(b)와 같이 1단 인장성형(1-step stretch forming) 후에 드로잉하는 2단 성형(2-step forming)을 사용하였다.

1 단 드로잉에 의한 실험은 이전 연구[8]에서 수행한 바 있다. 2 단 성형에서는 다이코너반경 0.3mm 인 경우는 1 단 인장성형깊이로 0.6mm 와 1.2mm 를 사용하였으며 다이코너반경 0.5mm 인 경우는 1 단 인장성형깊이로 1.2mm 만 사용하였다. 반구형 원통컵을 성형하기 위한 상세한 실험조건은 Table 2 에 나타내었다.

다이코너반경 0.3mm, 인장성형깊이 1.2mm 로 1 단 인장성형 후 드로잉한 2 단 성형과 1 단 드로잉을 통해 얻은 한계드로잉비(Limit drawing ratio, LDR)를 공정 수에 따라 Fig. 6 에 함께 비교하였다.

Table 2 Experimental conditions for drawing

Drawing ratio (β) (Blank diameter, D, mm)	1.6(4.8), 1.7(5.1), 1.8(5.4)
	1.9(5.7), 2.0(6.0), 2.1(6.3)
Blankholding force (BHF, Kgf)	2.2(6.6), 2.3(6.9)
	2.4(7.2), 2.5(7.5)
Blankholding force (BHF, Kgf)	0.6, 3.0, 5.3, 7.6
	9.9, 12.3, 14.6, 16.9
	19.2, 21.5, 23.9, 26.2
Die-corner radius (Rd, mm)	0.3
	0.5
Drawing-depth (h, mm)	0.6, 1.2
	1.2

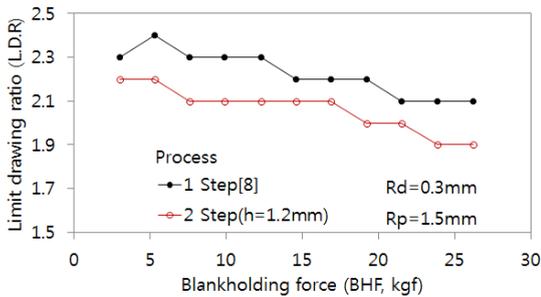
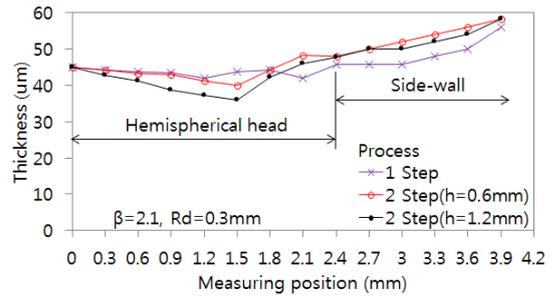


Fig. 6 Comparison of limit drawing ratio for different processes

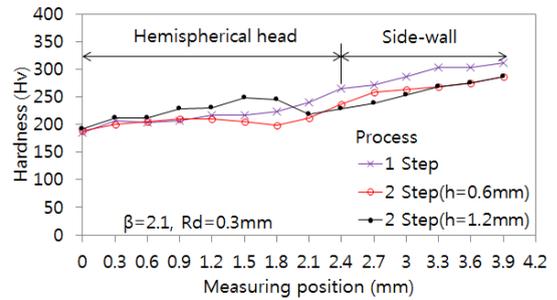
1 단 드로잉으로 구한 최대 한계드로잉비는 2.4이며 최소 한계드로잉비는 2.1이다. 2 단 성형의 최대 한계드로잉비가 2.2임을 고려할 때, 1 단 드로잉을 할 때 성형성이 더 향상되는 것으로 나타났다. 이의 원인으로서는 2 단 성형의 1 단 인장성형시 플랜지부위의 가공경화로 인해 소재 유입이 원활하지 못하기 때문이다.

공정수가 제품 품질에 미치는 영향을 살펴보기 위해 동일실험조건으로 성형한 1 단 드로잉제품[8]과 2 단 성형제품의 단면을 따라 0.3mm간격으로 두께 및 경도분포를 Fig. 7에 비교하였다.

Fig. 7(a)는 드로잉비가 2.1인 경우를 비교한 것으로 1 단 드로잉제품은 두께변화가 최대 16.2%까지 얇아지며 최소, 최대 두께편차는 25.4%이다. 2 단 공정제품은 인장성형깊이 0.6mm와 1.2mm에서 최대 17.2%, 27.8%까지 얇아지며 두께편차는 31.9%, 38.1%로 각각 나타났다. 2 단 성형제품은 반구부에서 1 단 드로잉제품보다 두께가 얇게 분포되었지만 측벽부에서는 두꺼워지는 경향을 보이며 인장성형깊이가 커짐에 따라 더 명확하게 나타난다. 반구부에서 1 단 드로잉제품보다 얇고 측벽부에서 두꺼운 경향을 보이는 것은 1 단 인장성형에서 플랜지부를



(a) Thickness



(b) Hardness

Fig. 7 Comparison of products for different processes (BHF=5.3kgf)

제한 소재만으로 인장성형하여 얇아진 상태에서 2차 드로잉과정을 통해 반구부에서 얇아짐은 증가되고 두께변화가 거의없던 플랜지부가 측벽이 되어 1 단 드로잉제품보다 두께변형이 커지기 때문이다.

Fig. 7(b)에서 1 단 드로잉제품은 반구부 중심에서 측벽으로 갈수록 경도가 증가하며 소재경도 Hv113.4를 기준으로 최소 63.6%에서 최대 174.6% 증가하였다. 2 단 성형제품은 성형깊이가 0.6mm, 1.2mm에서는 최소 63.9%, 66.0%로 각각 나타났으며 최대 경도값은 152.0%로 동일하게 증가하였다.

공정조건에 따른 곡률반경 정밀도를 비교하기 위해 1 단 드로잉제품과 2 단 성형제품의 내측반경을 측정하였다. 금속현미경을 통해 측정위치를 3 회 바뀌가면서 곡률반경을 측정한 결과 실험오차가 없는 똑같은 데이터가 Table 3과 같이 나타났다. 펀치반경 1.5mm 대비, 1 단 드로잉 제품은 5.49%, 2 단 성형 제품은 인장성형깊이 0.6mm와 1.2mm일 때 각각 4.76%, 4.03%로 나타나 형상동결성은 공정 중에 소재의 유입이 허용되는 1 단 드로잉 제품보다 순수인장성형 과정을 거친 2 단 성형 제품이 우수하며, 또한 초기 인장성형깊이가 클수록 형상동결성이 우수함을 알 수 있다.

Table 3 Comparison of curvature radii

(Unit : mm)

1 Step	2 Step (h=0.6)	2 Step (h=1.2)	Remark
1.5824	1.5714	1.5604	Rp=1.5 Rd=0.3

4. 결 론

본 연구에서는 두께 50 μ m의 베릴륨동 극박판의 성형 특성에 대하여 연구하였다. 먼저, 반구형 편치에 의한 인장성형 시 변형상태와 성형성에 대하여 연구하였다. 또한, 반구형 머리를 가진 원통컵을 1회의 드로잉으로 성형하는 경우와 인장성형 후 드로잉하는 2가지 경우에 대하여 성형성, 제품의 두께 및 경도 변화 그리고 형상정밀도에 대하여 연구하였으며 이에 대한 주요 연구결과는 다음과 같다.

(1) 반구형 편치에 의한 인장성형 시 한계깊이는 다이코너반경 0.3mm에서 1.2mm, 다이코너반경 0.5mm에서는 1.3mm이다.

(2) 반구형 원통컵을 1회 드로잉할 때의 한계 드로잉비는 2.4이며, 2단 공정으로 성형할 때의 한계드로잉비는 2.2로 약 8.3% 감소한다.

(3) 1단 드로잉제품의 두께 감소율은 약 12.4%이며, 2단 성형제품의 경우 성형깊이 0.6mm와 1.2mm로 인장성형 후 드로잉한 제품의 두께감소율은 약 11.7%, 16.2%로 첫공정의 인장성형 깊이가 드로잉제품의 두께에 큰 영향을 미친다.

(4) 드로잉성은 1회 드로잉 성형이 우수하며, 제품 형상동결성은 인장성형한 후 드로잉 성형하는 것이 더 우수하다.

참 고 문 헌

- [1] M. Gotoh, M. Katoh, M. Yamashita, 1997, Studies of Stretch-Drawing Process of Sheet Metals, J. Mater. Process. Technol., Vol. 63, Issues 1~3, pp. 123~128.
- [2] M. Gotoh, Y. S. Kim, M. Yamashita, 2003, A fundamental study of can forming by the stretch-drawing process, J. Mater. Process. Technol., Vol. 138, Issues 1~3, pp. 545~550.
- [3] W. J. Choi, J. B. Nam, D. S. Bae, Y. S. Kim, 1989, A Study on the Forming Limit of Cold-rolled Sheet Steels for Automobile, KSAE Spring Conf., pp. 18~22.
- [4] M. J. Kim, Y. H. Young, D. R. Ko, 1995, An Experimental Study on the Effect of the Draw-beads in Sheet Metal Forming, Proc. of KSPE Autumn Conf., pp. 240~245.
- [5] S. Thiruvarduchelvan, 1995, Three novel techniques for forming hemispherical cups with flexible tooling, J. Mater. Process. Technol., Vol. 54, Issue 1~42, pp. 129~136.
- [6] Cebeli Özek, Muhammet Bal, 2009, The effect of die/blank holder and punch radius on limit drawing ratio in angular deep-drawing dies, Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol. 40, No. 11~12, pp. 1077~1083.
- [7] S. S. Park, K. B. Hwang, J. B. Kim, J. H. Kim, 2010, Investigation of deep drawability and product qualities of ultra thin beryllium copper sheet metal, Trans. Mater. Process., Vol. 19, No. 3, pp. 197~184.
- [8] K. S. Lee, H. K. Jung, J. B. Kim, J. H. Kim, 2011, Thickness Distribution of Hemispherical Cup in Meso-Scale Deep Drawing Process, Trans. Mater. Process., Vol. 20, No. 1, pp. 36~41.