

극박판 사각 드로잉에 있어서 드로잉속도와 블랭크홀딩력의 영향

이준형¹ · 정완진² · 김종호[#]

Influence of Drawing Speed and Blank Holding Force in Rectangular Drawing of Ultra Thin Sheet Metal

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

(Received June 26, 2012 / Revised July 31, 2012 / Accepted August 7, 2012)

Abstract

Micro-drawn parts have received wider acceptance as products become smaller and more precise. The subject of this study was the deformation characteristics of ultra thin sheet metal in micro drawing of a rectangular shaped part. The influence of drawing speed and blank holding force on the product quality was investigated in micro-drawing of ultra thin sheet of beryllium copper (C1720) alloy. The specimen had a diameter of 4.8 mm and a thickness of 50 μm . Experiments were carried out in which, different blank holding force and drawing speed were considered. The product quality was evaluated by measuring the thickness and hardness along two specified directions, namely, the side and diagonal directions. The distribution of the thickness strain showed severe thinning especially around the punch radius in both directions. In the diagonal direction, thickening occurred in the flange area due to the axi-symmetric drawing mode. The increase of blank holding force and/or drawing speed was found to cause severe thinning around the punch radius. The blank holding force had a greater effect on thinning of the product than the drawing speed.

Key Words: Micro Drawing, Rectangular Drawing, Blankholding Force, Drawing Speed

1. 서 론

마이크로 성형 부품은 MST(Micro System Technologies)나 MEMS(Micro Electro-Mechanical Systems)의 구성요소로서 마이크로 칩, 마이크로 스크류, 레버리지(leverage), 커넥터(connector), 레지스터 캡(resistor cap), 접촉 스프링과 칩 리드 프레임, 의료부품 등에 많이 활용되고 있다[1]. 마이크로 성형 부품에 대한 수요는 제품의 소형화, 정밀화에 따라 기업으로부터의 새로운 연구와 개발요구가 커짐에 따라 계속 증가추세에 있으며 이를

위한 이론해석, 공구, 소재, 성형방법, 가공시스템 등에 관한 연구가 점점 관심을 가지게 되었다[2,3].

금속 박판의 디프드로잉(deep-drawing)가공을 통해 생산되는 과거의 제품들은 수십 내지 수백 밀리미터(mm) 단위의 제품이 대부분이었지만 현재는 메조(meso) 크기 또는 마이크로미터(μm) 크기를 가진 초소형제품을 생산하는 비중이 커지고 있으며 이런 제품을 효율적으로 생산하기 위한 가공시스템 개발에 관한 연구[4]가 이뤄지고 있다.

박판 소재를 이용한 사각형 드로잉 성형에 관한 연구로 Hu[5]는 ABAQUS를 사용하여 사각형

1. 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원
2. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과
교신저자: 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과,
E-mail: jhkim365@seoultech.ac.kr

상의 크기에 따른 드로잉 하중에 대한 스트로크 곡선(stroke curve)을 해석하여 실험과 비교 분석하고 원형 부품의 디프 드로잉에서의 마찰 함수가 사각형 부품의 디프 드로잉에서 유효한지 검토하였다. Ha 등[6]은 아연도금강판(SPCE)를 이용하여 휴대폰용 초소형 사각 진동모터 케이스의 블랭크 설계를 연구하였으며, Ku 등[7]은 10mm 크기의 정사각 컵 드로잉에서 사각 코너부의 재료 거동과 기본적인 미세성형 과정의 특성을 파악하기 위해 LS-DYNA를 사용한 해석과 실험을 수행하여 비교 분석하였다. Park 등[8]는 베릴륨동 극박판(C1720)을 이용하여 블랭크 직경, 블랭크홀딩력과 다이코너반경에 따른 원통컵 한계드로잉비(limit drawing ratio, LDR)에 대한 연구를 중점적으로 수행했으며, 또한 Lee 등[9]은 반구형형상이 포함되어 인장성형이 부가되는 제품에 대해서 공정설계 변화에 따른 제품의 품질특성을 추가적으로 더 연구한 바 있다. 그러나 극박판의 드로잉성형에서는 일반 두께의 관재성형과는 틀리게 작업속도와 블랭크홀딩력에 의해 제품의 품질에 미치는 영향이 어떻게 변화되는지에 대한 연구가 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 휴대폰용 반도체 캡에 사용되는 메조크기(대략 2.5×3.0mm)의 사각형상 펀치를 사용하여 50 μ m 두께의 극박판을 드로잉하여 실험조건에 따른 성형품의 두께와 경도 분포를 비교 분석하고자 하며 이를 위한 주요 실험변수로 블랭크홀딩력과 드로잉속도를 선택하였다.

2. 실험준비

2.1 실험재료

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

Table 1 Mechanical properties of specimen

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

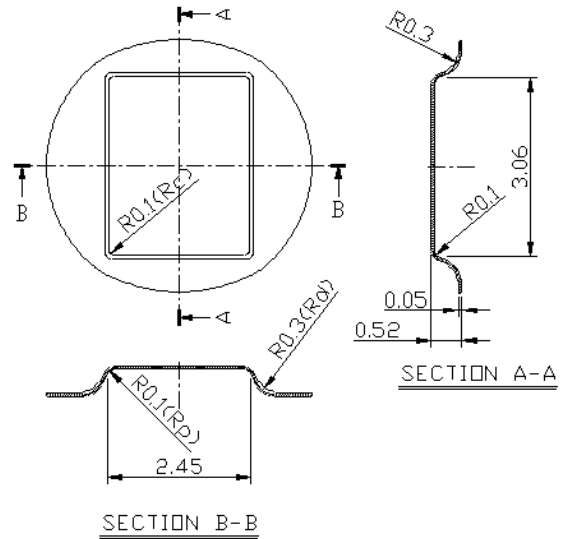


Fig. 1 Dimension of rectangular cup

Table 2 Experimental conditions for rectangular cup (unit : mm)

Drawing speed (V, mm/min)	30, 60, 100, 150, 300
Blankholding force (BHF, kg _f)	2.0, 7.8, 9.6, 14.0, 17.6, 26.1
Diameter of blank	∅ 4.8
Punch radius (Rp)	0.1
Punch-corner radius (Rc)	0.1
Die radius (Rd)	0.3
Dimension of punch	3.06 x 2.45
Dimension of die	3.26 x 2.65
Drawing depth	0.47
Clearance	0.10

2.2 실험방법

기존 연구[8]에 사용된 다이세트(die set)에 사각컵 성형을 위한 펀치, 다이, 블랭크홀더를 수정 제작 후에 조립한 드로잉 금형을 만능재료시험기에 설치하여 실험하였다. 실험에서 블랭크크기는 ∅4.8mm으로 고정하고, 블랭크홀딩력(blankholding force, BHF)은 펀치 바닥면이 소재에 접촉했을 때의 압축된 스프링하중을 기준으로 설정하였다. 스프링하중이 부가되지 않고 블랭크홀더 자체 중량으로 소재에 2kg_f의 하중을 부가하는 것을 기초로 파단발생시의 최대이론하중(25.3kg_f)에 근접한 26.1kg_f까지

스프링을 압축시키면서 블랭크홀딩력을 변화시켰다.

드로잉 실험중에 소재에 윤활처리가 안된 경우에는 성형중에 모두 과단 불량이 발생되어 성형성을 향상시킨 윤활방법으로 소재와 다이의 접촉부분만 윤활시키는 것으로 하였다. 윤활제로는 다이와 소재 사이엔 테프론 필름(두께 65 μ m)을, 그리고 블랭크홀더와 소재 사이엔 무윤활 처리하였다. 성형 후 제품에 부착된 테프론 필름은 두께가 10 μ m이하로 압축·연신되면서 윤활작용되었다. 실험에 사용한 제품은 Fig. 1과 같은 사각형상으로 내측치수 3.06 \times 2.45mm인 제품이고 제품 높이는 0.52mm이다. 실험 변수로는 5가지의 드로잉 속도와 6가지의 블랭크홀딩력을 변화시키고 기타 조건은 Table 2에서와 같이 고정하여 사용하였다.

2.3 측정방법

실험 조건에 따라 성형된 시편을 예폭시수지로 마운팅하고 Fig. 2와 같이 측면방향(section A-A)과 45°방향의 대각선방향(section B-B)을 절단한 후 연마작업(polishing)을 통해 측정면을 매끄럽게 하였다.

절단된 시편의 측정 위치를 단면 B-B의 경우에 대해 Fig. 3에 나타나있다. 평평한 바닥부(Bottom)는 0.2mm, 곡면인 펀치반경부(punch radius)는 0.03mm 그리고 측벽(side wall)부로부터 플랜지(flange)부까지는 0.2mm 간격으로 금속현미경과 마이크로비커스 경도계를 이용하여 두께와 경도를 측정하였다. Fig. 4는 실험에 사용된 블랭크(blank)와 드로잉된 제품을 보여주고 있다.

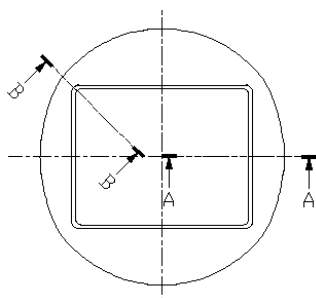


Fig. 2 Cutting section of a drawn cup

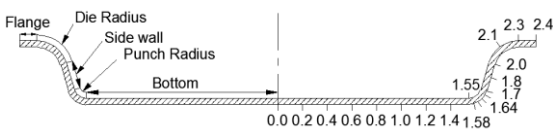


Fig. 3 Measuring position for thickness and hardness in Section B-B



Fig. 4 Photograph of samples; (a) Blank, (b) Drawn cup

3. 실험결과 및 고찰

3.1 드로잉속도의 영향

실험은 주어진 블랭크홀딩력을 일정하게 유지하면서 드로잉속도의 변화 시 성형된 제품의 측면방향과 대각선방향의 두께 및 경도 분포를 측정하였다.

블랭크홀딩력 2kg_f를 기준으로 드로잉속도를 30mm/min에서 300mm/min로 변화시키면서 성형된 제품의 측면방향 (section A-A)과 대각선방향 (section B-B)의 두께 측정결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 각각 진변형률로 나타내었다.

먼저 드로잉속도에 따라 사각컵의 측면방향과 대각선방향을 비교할 때 Fig. 5의 측면방향에서는 펀치반경부에 변형이 최대 7%와 9.2%로 집중되는 반면에, Fig. 6의 대각선방향에서는 펀치반경부의 심한 얇아짐(thinning)현상과 측벽 및 플랜지부의 두꺼워짐(thickening)현상이 발생되며, 대각선방향의 펀치반경부는 측면방향의 펀치반경부보다 약 1.8배(속도 30mm/min기준) 더 심하게 변형되는 것을 알 수 있다. 측면방향의 플랜지에서는 소재 유입이 평면변형모드(mode)로 소재가 평행하게 유입되면서 두께변형이 거의 없는 것에 비해, 대각선방향에서는 원주 방향의 압축현상으로 소재가 반경방향으로 유입되면서 약 6.2% 두꺼워졌다.

사각제품의 성형 시 과단불량이 발생하는 부분은 Fig. 5와 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 측면방향보다는 두께변형이 가장 심하게 일어나는 대각선 방향의 펀치반경부위임을 쉽게 예측할 수 있다. 따라서 대각선방향에서의 드로잉속도변화에 대한 결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 함께 표시하였다.

속도를 증가시키에 따라 두께변형이 좀 더 심해지는 것으로 나타났는데 예를 들면 Fig. 6의 펀치반경부에서 최대 두께변형률은 12.4%(속도30mm/min)

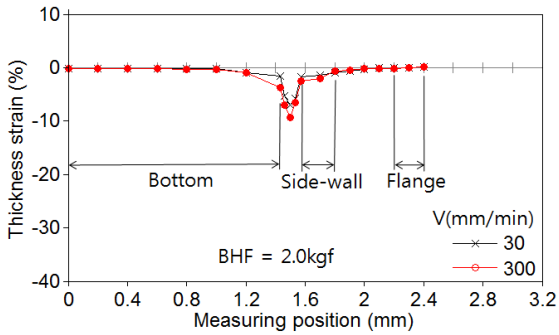


Fig. 5 Comparison of strain distribution for different drawing speeds in section A-A

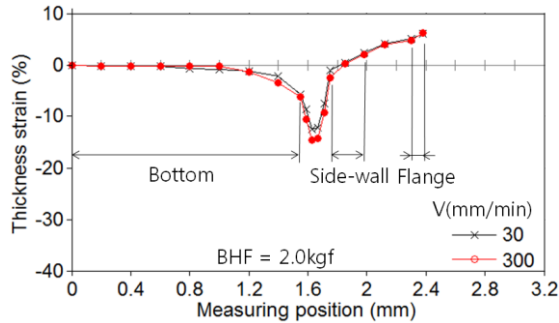


Fig. 6 Comparison of strain distribution for different drawing speeds in section B-B

에서 14.5%(속도 300mm/min)로 약 1.17배 더 심하게 변형되었다.

3.2 블랭크홀딩력의 영향

드로잉속도를 30mm/min로 일정하게 유지하면서 블랭크홀딩력이 2kgf 와 26.1kgf 일 때 사각컵 곡선부의 대각선 방향의 두께 측정결과가 Fig. 7 에 주어졌다.

블랭크홀딩력이 증가함에 따라 전체적으로 제품의 두께변형이 증가되고 있으며 특히 펀치반경부위의 변형이 심하게 일어나고 있다. 최대두께변형률이 12.4%에서 16.9%로 증가되고 있으며 측벽부의 두께는 소재가 유입됨에도 불구하고 블랭크홀딩력이 큰 경우에는 초기소재두께보다 더 얇아지는 것으로 나타났다. 즉 블랭크홀딩력을 조절하여 사각컵의 두께 및 외측치수를 제어하는 것이 가능함을 알 수 있다.

드로잉속도를 30mm/min에서 300mm/min로 증가시킨 상태에서 블랭크홀딩력을 변화시키면서 실험한 결과가 Fig. 8에 주어졌다.

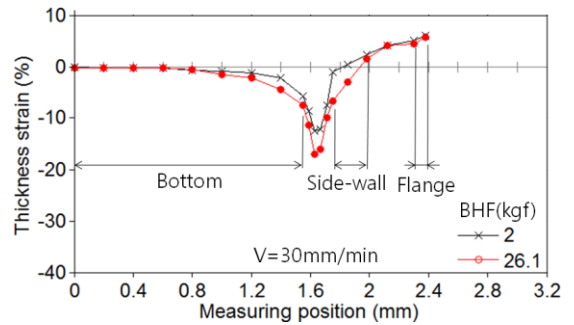


Fig. 7 Comparison of strain distribution for different blankholding forces in section B-B(V=30mm/min)

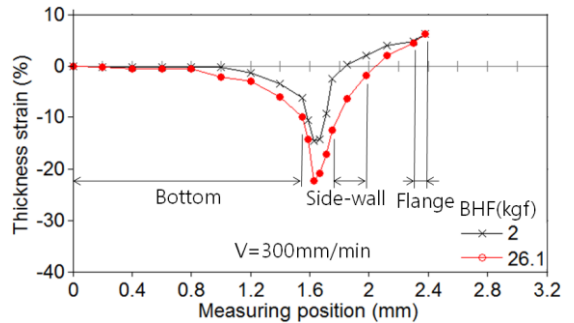


Fig. 8 Comparison of strain distribution for different blankholding forces in section B-B(V=300mm/min)

두께변형률의 분포는 대체로 속도가 낮은 Fig. 7의 결과와 유사한 경향을 나타내고 있지만, 펀치반경부에서의 최대두께변형률은 최대 22.4%까지 증가되어 파단 가능성이 높아지는 것을 예측할 수 있다. 또한 속도가 빠른 경우에는 블랭크홀딩력이 2kgf 로 작은 경우에도 측벽부의 두께가 초기두께보다 얇게 되는 것을 알 수 있다.

본 연구에서 실험한 30가지 경우의 드로잉속도와 블랭크홀딩력변화에 따른 펀치반경부에서의 최대두께변형률을 비교한 것이 Table 3에 주어졌다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 속도가 증가할수록, 또한 블랭크홀딩력이 증가할수록 두께변형률이 계속 증가하고 있기 때문에, 실제 작업에 있어서는 제품의 품질 향상을 위해 적절한 작업 조건의 설정이 필요한 것으로 나타났다.

Fig. 9는 두께변형률 분포를 나타낸 Fig. 8의 실험 제품에 대한 경도분포를 나타낸 것이다. 두께변형을 많이 받아 가공경화가 많이 될수록 경도가

Table 3 Maximum thickness strain for various working conditions around the punch radius

		Blankholding force (kg _f)					
		2.0	7.8	9.6	14.0	17.6	26.1
Drawing speed (mm/min)	30	12.4	13.5	13.8	14.6	15.3	16.9
	60	12.6	13.8	14.1	15.0	15.8	17.5
	100	12.9	14.2	14.6	15.6	16.5	18.4
	150	13.3	14.8	15.3	16.5	17.4	19.7
	300	14.5	16.4	17.0	18.4	19.6	22.4

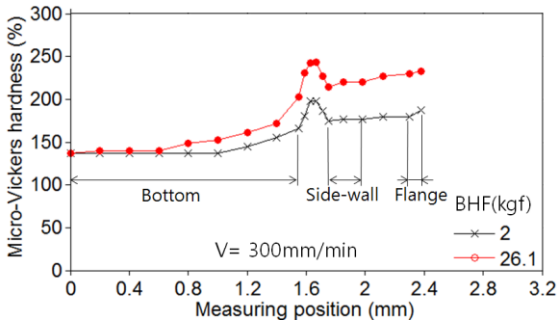


Fig. 9 Comparison of hardness distribution for different blankholding forces

크게 나타났다. 즉 제품의 바닥부보다는 측벽부와 편치반경부가 높아지고 특히 변형이 가장 심한 편치반경부에서 경도가 가장 높게 나타났다. 소재 경도가 Hv113.4 일 때 바닥부도 일부 경화되어 Hv142.8을 나타내는 반면, 편치반경부에서는 최대 Hv243.5(BHF=26.1kg_f의 경우)까지 되면서 소재경도 대비 최대 2.15배까지 증가되었다. 또한 블랭크홀딩력이 클수록 제품의 변형된 부분에서의 가공경화도 크게 증가하는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 두께 50 μ m의 베릴륨동 극박판을 사용하여 드로잉 성형성에 미치는 영향을 분석하였다. 3.06 x 2.45mm의 사각형 편치가 장착된 금형에서 드로잉속도와 블랭크홀딩력을 변화시키면서 성형된 제품의 두께 분포와 경도를 비교 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 사각평면형상에서의 측면방향과 대각선방향

의 변형을 비교할 때 측면방향에서는 제품의 편치반경부에 대부분 두께변형이 최대 9.2%까지 집중적으로 얇아진 반면에, 대각선방향에서는 플랜지부의 압축변형과 반경부의 굽힘변형에 의한 두께변형이 동시에 발생되었다. 사각제품에서 두께변형이 가장 심한 위치는 대각선방향의 편치반경부로 최대 22.4%의 두께변형률을 나타내고 있다.

(2) 드로잉속도와 블랭크홀딩력이 증가할수록 편치반경부의 두께변형이 심하게 일어나고 있으며, 특히 블랭크홀딩력의 영향이 더 크게 나타났다. 또한 경도분포도 가공경화에 의해 편치반경부의 경도가 소재 경도보다 2.15배 증가된 것으로 나타났다.

(3) 블랭크홀딩력이 증가할수록 소재유입방향의 인장력에 의해 편치반경부 뿐만 아니라 그 주위의 바닥부와 측벽부에서도 제품두께가 소재두께보다 크게 얇아지는 변형영역이 확대되기 때문에 제품의 치수정밀도를 충족시키기 위한 작업조건 설정이 중요한 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

- [1] M. Geiger, M. Kleiner, R. Eckstein, N. Tiesler, U. Engel, 2001, Microforming, CIRP Ann., Vol. 50, No. 2, pp. 445~462.
- [2] M. Geiger, U. Engel, F. Vollertsen, R. Kals, A. Messner, 1994, Metal Forming of Micro Parts for Electronics, Prod. Eng., Vol. II, No. 1, pp. 15~18.
- [3] F. Vollertsen, Z. Hu, H. Schulze Niehoff, C. Theiler, 2004, State of the Art in Micro Forming and Investigations into Micro Deep Drawing, J. Mater. Process. Technol., Vol. 151, No. 1, pp. 70~79.
- [4] H. J. Lee, N. K. Lee, S. M. Lee, G. A. Lee, S. S. Kim, 2006, Development of Micro Metal Forming Manufacturing System, Mater. Sci. Forum., Vol. 505, No. 1, pp. 19~24.
- [5] Z. Hu, 2011, Realisation and Application of Size Dependent FEM-simulation for Deep Drawing of Rectangular Work Pieces, CIRP J. Manuf. Sci. Technol., Vol. 4, No. 1, pp. 90~95.

- [6] B. K. Ha, T. W. Ku, B. S. Kang, 2000, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Fall Conf., Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 101~104.
- [7] T. W. Ku, B. S. Kang, 2001, An Experimental Approach and Finite Element Analysis on Rectangular Cup Drawing Process of Millicomponent Forming, Trans. Mater. Process., Vol. 10, No. 6, pp. 471~477.
- [8] 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. 179~184.
- [9] 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.