

비축대칭 디프 드로잉 제품의 펀치 및 다이 형상반경에 관한 연구

박동환* · 배원락* · 박상봉** · 강성수***

A Study on Punch and Die Shape Radii of Non-Axisymmetric Deep Drawing Product

D.H. Park, W.R. Bae, S.B. Park and S.S. Kang

Abstract

In order to obtain the optimal products in deep drawing process, elliptical deep drawing tests were carried out with several shape radii of the punch and die. As parameters on testing, shape radii of the punch and die were selected. In addition, the conventional shape radii have been determined by trial-and-error using industrial experience and post processing test, and only approximate shape radii of the punch and die have been presented. The optimal shape radii of the punch and die in elliptical deep drawing process with biaxysymmetric blank shape are proposed. In this study, we suggest the appropriate conditions to be applicable to the actual manufacturing processes through the experiment and finite element method.

Key Words : Deep Drawing, Punch Shape Radius, Die Shape Radius, Finite Element Method

1. 서론

오늘날 자동차 및 가전산업에서 금형 제작 기술은 전체 제품 개발의 40~50%의 비중을 차지하며, 제품의 외관과 품질 및 신제품 개발 주기에 결정적인 영향을 미치는 중요한 부분이지만, 이 분야의 연구는 취약한 상태이다. 현재까지 축대칭의 원통형 디프 드로잉 제품에 대한 연구는 많았지만, 타원형 블랭크의 성형을 비롯한 특수

한 형상의 제품에 대한 연구 사례가 많지 않은 실정이다.^(1~2)

디프 드로잉 공정에서 성형성을 향상시키기 위한 방안은 여러 가지가 제안되고 있다. 성형성에 영향을 미치는 공정변수로는 펀치 및 다이의 형상반경(shape radius), 윤활조건, 가공속도, 플랜지 면의 주름을 억제하기 위해서 부과하는 블랭크 홀더력(blank holder force)과 마찰계수, 클리어런스(clearance) 등이 있다.^(3~5)

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

** 동의공업대학 금형설계과

*** 부산대학교 기계공학과

특히, 재료를 성형하기 위한 펀치와 다이의 형상반경이 성형성에 미치는 영향은 매우 크다고 할 수 있다. 여기서는 냉간 성형 공법으로 펀치 및 다이 형상반경을 공정변수로 하였다.

일반적으로 디프 드로잉 성형은 균일한 두께의 판재를 가공하여 소요 형상의 제품을 만드는 것이다. 단단계 공정에서는 최종 공정의 두께 균일도가 좋지 않게 될 수 있으므로 초드로잉에서 최종 공정까지의 두께 분포가 균일하게 되도록 공정을 설계하는 것은 매우 중요한 일이다. 그리고 국부적으로 두께감소가 발생하면 성형 결함 등의 원인이 될 수 있다.

따라서, 본 연구는 타원형 블랭크의 디프 드로잉 성형성을 향상시키기 위한 방안으로 펀치 및 다이의 형상반경이 성형성에 미치는 영향을 실험과 유한요소해석을 통하여 연구하였다.

2. 실험 및 성형해석

2.1 실험

실험에 사용된 소재는 전기아연 도금강판(SECE)이고, 두께는 1.6mm이다. 장비는 300ton 기계식 트랜스퍼 프레스(mechanical transfer press)로 블랭크 홀더 압력을 임의로 조절할 수 있는 다이쿠션(die cushion)과 제품 취출을 위한 녹아웃(knock out) 장치가 갖추어져 있다. 실험에 적용된 제품은 디프 드로잉 공정이 7공정, 후공정이 4공정으로 총 11공정이다.

초드로잉 공정에서 펀치 형상반경(R_p), 다이 형상반경(R_d)을 총 9가지 종류의 성형 조건으로 선정하였다. 클리어런스는 편측으로 소재두께(t)에 대비하여 2.0mm (1.25 t)를 적용하였다.

블랭크 홀더력은 디프 드로잉 공정에서 최적의 제품을 성형하기 위해 실험을 통하여 다이쿠션에 걸리는 압력을 초드로잉 공정에서는 3kgf/mm², 재드로잉과 타원형 드로잉 공정에서는 2kgf/mm²로 결정하였다. 윤활제는 수용성 소성가공유로서 일반적인 드로잉유를 사용하였다. Fig. 1은 타원형 디프 드로잉 제품에서 해석에 사용된 초드로잉 금형을 나타낸다.

2.2 디프 드로잉 성형해석

유한요소해석은 상용 유한요소법(FEM) 해석코드인 MARC를 사용하였고, 해석에 사용된 제품은 자동차 파워 윈도우용 부품의 하나로써 타원형상의 단단계 디프 드로잉 제품이다. 이 제품은 박판성형 과정 중에 복잡한 기하학적 형상과 드로잉 깊이가 깊기 때문에 재료의 미

끄러짐이 일어나서 성형하기가 매우 어렵고, 플랜지의 평탄도 및 동심도가 매우 중요한 부품이다. 금형은 AutoCAD 시스템에 의해 모델링 되었다. Fig. 2는 유한요소격자로 요소(element)는 404개, 노드(node)는 445개를 사용하여 유한요소해석을 수행하였다. 해석에 사용된 재료와 공정변수들은 Table 1과 같다. 마찰계수(μ)는 펀치와 소재, 다이와 소재, 블랭크 홀더와 소재사이에 드로잉유를 주입하여 윤활시키므로 윤활 상태의 마찰계수로 0.04를 주었다.

Table 1 Input data for calculation

Sheet Thickness	1.6mm
Clearance	2.0mm
Young's Modulus	2.1 × 10 ⁵ MPa
Blank Holding Force	9800N
Lankford valve(R)	1.37
Plastic Coefficient(K)	524MPa
Strain Hardening Exponent(n)	0.22
Friction Coefficient(μ)	0.04

비축대칭의 특징을 고려하여 입력 형상(Input modeling)은 블랭크의 1/4을 모델링하여 경계면에 구속을 주었고, 4-node shell element로 해석하였다. 소재 물성은 인장시험으로 구한 응력-변형률 선도를 이용하였으며, 이방성은 인장시험에서 각 방향에 대하여 거의 비슷하게 나타나므로 고려하지 않았다. 펀치 및 다이 형상반경을 제외한 공정인자들은 동일한 조건으로 적용하였다.

3. 해석결과 및 고찰

타원형 디프 드로잉의 성형성을 향상시키기 위한 방안으로 가공성과 현장 사용여부를 고려하여, 펀치 및 다이의 형상반경이 두께변화에 미치는 영향을 실험과 해석 결과를 비교하였다.

디프 드로잉 공정은 펀치 어깨부에 가해지는 펀치력에 의해 간접적으로 전달되는 하중으로 성형이 이루어진다. 그러므로, 펀치 어깨부는 하중의 지지부가 되어서 심한 변형이 유발된다. 그 결과 두께 감소가 최대로 일어나게 된다. 그래서, 보통 펀치 형상반경은 초드로잉의 경우에 소재두께의 4배 이상이 되도록 설계한다. 다이 형상반경

이 크면 소재가 다이공(die cavity)으로 원활히 유입되지만, 너무 큰 값은 소재가 다이를 벗어나는 경우에 지지부가 없어서 주름이 발생한다. 그러므로, 펀치 형상반경과 다이 형상반경은 성형성에 있어서 매우 중요한 공정변수가 된다.

Fig. 3은 변형된 플랜지의 윤곽으로 본 해석 결과를 나타낸다. 즉, 펀치 행정 0, 11.5, 23, 34.5, 46mm에서의 초기 박판의 플랜지 변화에 따른 장·단변부의 플랜지 크기를 나타내었다. 펀치 행정 46mm에서 플랜지의 윤곽은 장변부에서 실험과 해석 결과가 모두 일치하고 있다. 타원형 블랭크에서 장변부는 다이공으로 유입될 때 단변부보다 유입저항이 높고, 블랭크 홀더가 소재를 끝까지 잡고 있어 실제와 비슷한 조건으로 인하여 실험 결과와 일치한다고 판단된다.

Fig. 4는 유한요소해석 결과로 나온 컵의 두께 분포를 나타내고 있다. 여기서 장변부는 펀치 어깨부에서 두께가 1.38mm로 두께 감소가 심하게 나타나고, 플랜지는 장·단변부 모두 두께 증가가 나타나고 있다. 또한, 장변부와 단변부 사이의 코너부 플랜지는 장·단변부만큼 두께 증가가 나타나지 않는다.

Fig. 5는 $R_p=6.4$, $R_d=16$ 일 때 두께 분포를 나타낸다. R_p 를 6.4로 고정하고, R_d 를 변화하면 R_d 가 가장 큰 쪽이 두께 감소가 작게 나타났다. 이것은 다이 형상반경이 커지면 재료가 다이 내부로 유입될 때 더욱 원활한 흐름이 발생되어 두께 감소가 작게 나타난다고 사료된다.

Fig. 6은 $R_p=9.6$, $R_d=16$ 일 때 두께 분포를 나타낸다. 여기서 $R_p=9.6$, $R_d=16$ 일 때 펀치 머리부에서 플랜지까지 두께분포가 가장 양호하게 나타났다. 이것으로서 R_p 는 너무 크거나 작으면 두께분포에서 불리하며, R_d 는 가능한 큰 쪽이 두께분포에서 유리하다고 사료된다. 즉, 다이 형상반경은 클수록 재료의 유동을 원활히 해주고, 펀치 형상반경은 드로우-인 모드와 스트레칭 모드가 절충되는 점에서 최적의 값을 가진다고 사료된다.

4. 결론

본 연구는 타원형 디프 드로잉 제품에서 최적의 두께 분포를 가지는 조건을 찾음으로써 형상반경이 성형성에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 이상의 해석 결과에서 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 다단계 공정의 타원형 디프 드로잉 금형에서 성형성 향상을 위한 초드로잉 공정의 펀치 및 다이 형상반경을 제안하였다.

(2) 다단계로 공정이 진행됨에 따라 펀치 및 다이 형

상반경을 점차적으로 정형시켜 나가야 두께분포에 있어서 양호하다는 것을 알 수 있었다.

(3) 실험과 해석을 통하여 최적의 펀치 형상반경을 검증할 수 있었다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터(ERC/NSDM)의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) T. C. Hsu, S. Y. Lee, 1977, "On the Drawability of Sheet Metal in Noncircular Cups," J. of Eng. for Industry, pp. 615.
- (2) S. A. Majlessi, D. Lee, 1993, "Deep Drawing of Square-Shape Sheet Metal Parts, Part 2: Experimental Study," J. of Eng. for Industry, Vol. 115, pp. 110.
- (3) S.H. Park, J.W. Yoon, D.Y. Yang, Y.H. Kim, 1999, "Optimum blank design in sheet metal forming by the deformation path iteration method," Int. J. of Mech. Sci., Vol. 41, pp. 1217.
- (4) T.H. Choi, C.H. Lee, H. Huh, 1998, "Sheet Metal Forming Analysis of Planar Anisotropic Materials with a Proper Numerical Scheme for the Blank Holding Force," METALS AND MATERIALS, Vol. 4, No. 3, pp. 408.
- (5) G. Eshel, M.M. Barash, W. Johnson, 1986, "Automatic generation of process outlines of forming and machining processes," Purdue Uni., pp. 70.

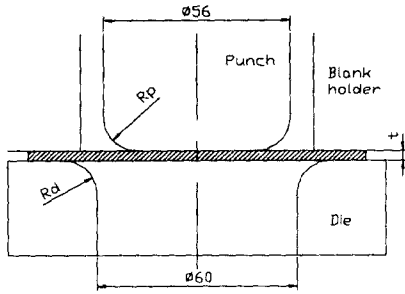


Fig. 1 Dimensions of the tools used for the simulation in the first drawing process

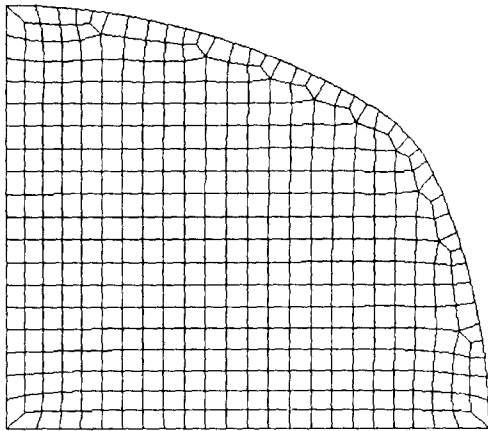


Fig. 2 Element mesh shape of the initial blank

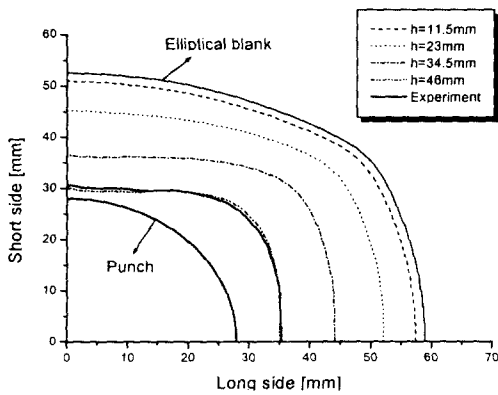


Fig. 3 Comparison of the computed results for the finite element method

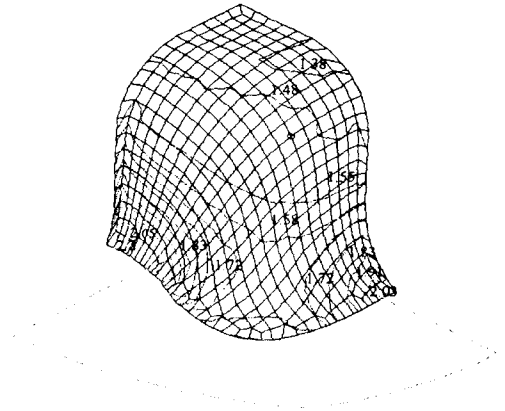


Fig. 4 Thickness distribution of FEM

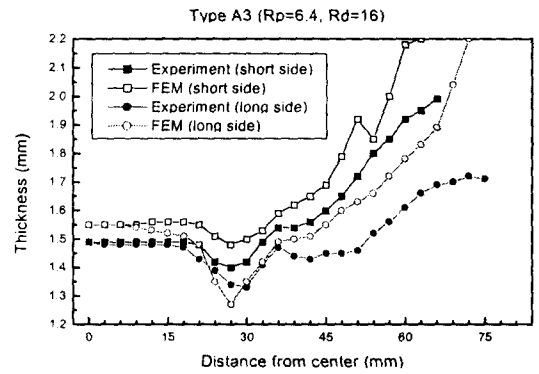


Fig. 5 Comparison of the experimental results and FEM

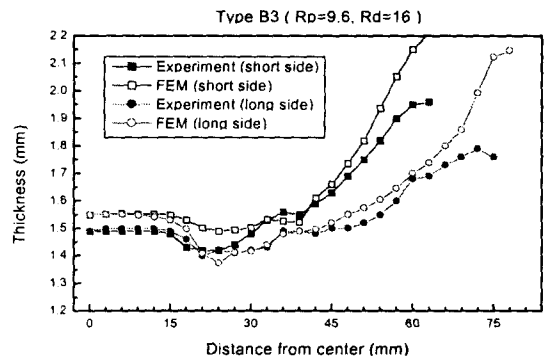


Fig. 6 Comparison of the experimental results and FEM