

후방압출 공정에서 금형과 제품의 변형관계

이강희* · 박태식** · 박용복***

Relation of Deformation between Die and Product in Backward Extrusion

K.H. Lee, T.S. Park and Y.B. Park

Abstract

The die for cold forging gets a very high axial load and radial pressure during processing and hence deforms considerably in the radial direction. This radial deformation of die becomes a important factor influencing the dimensional accuracy of a product. In order to obtain a product with highly accurate dimension, therefore, it is essential to acquire some information on elastic deformation of the die and the product. The study has been performed for the relation of the deformation between a die and a product in backward extrusion. The strain of the die has been given by the simple experiment using the strain gauges attached to the outer surface of the die. Also the history of the deformation of the die and the product has been given by the experiment and Lames' formula. The results has been compared with the previous another method. The study has given useful results for the deformation history of the die and the product through the experiment and Lame's formula in backward extrusion, which can be applied in the die design for the product with accurate dimension.

Key Words : Backward Extrusion, Deformation betweenf Die and Product, Strain Gauge

1. 서 론

냉간 단조용 금형은 가압 압력에 따라 발생하는 내압으로 외경방향의 주변형이 일어나며, 내압은 제품의 치수 정밀도와 형상 정도에 영향을 주는 중요한 요소이다. 따라서 정밀한 치수의 최종 형상을 얻기 위해서는 성형될 때 접촉되는 부위의 탄성변형분포와 이에 따른 제품 변형에 관한 정확한 정보가 필요하다.

Shigeo Matsubara 등은 금형의 압력분포에 대한 실험적 연구⁽¹⁻²⁾와 John L.Frater는 FEM에 의한 해석적 방법으로 금형설계에 적용하였으며,⁽³⁾ A. Kocanda 등은 정밀 냉간단조에 있어서 금형변형에 대한 양상을 FEM으로 고찰하였다.⁽⁴⁾ 구체적인 모델 실험으로는 밀폐 업셋팅과 전방압출 공정에 적용하여 금형과 제품 변형에 대한 연구를 시도하였다.⁽⁵⁻⁶⁾

본 연구는 후방압출 공정에 있어서 금형의 변형을 스

* 공주대학교 대학원 기계공학과
** 대한상공회의소 공주직업훈련원
*** 공주대학교 공과대학 기계공학부

트레인 게이지(strain gauge)를 부착하여 측정하고, Lamé식에 의해 금형의 내압과 변형량을 역으로 계산하였으며, 제품은 직접 측정하여, 압력분포 측정법에 의한 Mastubara의 논문과 내압을 비교하였고, 금형과 제품의 변형관계를 분석후 설계의 기초 자료를 제시하였다.

2. 금형의 변형

2.1 금형에 걸리는 내압⁽⁷⁾

펀치의 압력 p_p 와 금형에 가해지는 내압 p_i 와의 관계는 다음과 같다.

$$p_i = K \times p_p \quad (1)$$

여기서 K 는 가공 방식에 따라 정해지는 보정 계수로서 후방압출가공에서는 $K = \epsilon_A - \sigma_V/p_p$ 로 계산된다.

2.2 금형의 탄성변형

금형의 구멍 내벽면에 내압이 작용하면 Lamé 식에 의하여 다음 식 (2)과 (3)와 같이 직경방향 탄성변형량과 원주방향 탄성변형율이 주어진다.

- 직경방향 탄성변형량 δ 는

$$\delta = \frac{p_i r_i^2}{E(r_o^2 - r_i^2)} \left[(1 - \nu) + (1 + \nu) \frac{r_o^2}{r^2} \right] 2r \quad (2)$$

- 원주방향 탄성변형율 ϵ_θ 는

$$\epsilon_\theta = \frac{p_i r_i^2}{E(r_o^2 - r_i^2)} \left[(1 - \nu) + (1 + \nu) \frac{r_o^2}{r^2} \right] \quad (3)$$

여기서, p_i 는 내압(kg/mm²), r_i 는 내반경(mm), r_o 는 외반경(mm), E 는 종탄성계수(kg/mm²), ν 는 포아송비이다.

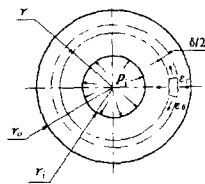


Fig. 1 금형의 탄성변형

3. 실험방법

본 실험에 사용한 실험 시편은 공업용 알루미늄(A6061-O)과 납(Pb)이며, 금형은 현재 냉간 단조용 금형재료로 가장 많이 사용되고 있는 SKD11을 선정하여 금형(die), 펀치(punch), 패드(pad)를 각각 제작하였으며, 단면감소율이 44%, 66%, 88%되게 펀치의 치수(C)는 각각 $\phi 23.2$, $\phi 28.4$, $\phi 32.8$ 로 제작하였다. 또 실험 장치

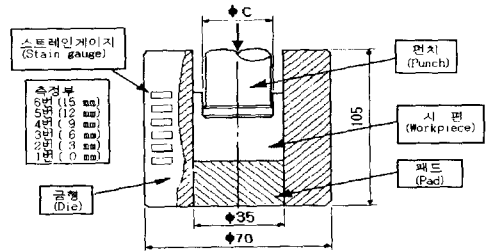
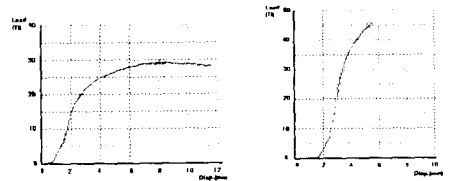


Fig. 2 실험용 금형

로서 시편을 가압하는 데는 50Ton 유압식 만능재료시험기를 사용하였다. 스트레인 게이지(strain gauge)는 일정한 간격(3mm)으로 정확히 부착하였고, 시편(알루미늄과 납)의 치수는 $\phi 35 \times 18$ 로 하고 표면은 신나로 희석된 MoS₂로 윤활하여 0.5Ton/min의 속도로 가압하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 알루미늄



(a) $\epsilon_A = 44\%$

(b) $\epsilon_A = 66\%$

Fig. 3 후방압출시 하중-변위 곡선(A6061-O)

Fig. 3은 후방압출시 하중과 변위 관계를 보여준다. 초기에는 금형과 소재가 접촉하지 않아 하중이 작지만, 금형과 소재가 접촉후에는 마찰력 때문에 급격히 하중이 상승한다. 그후 전형적인 중실체의 후방압출 하중 곡선을 보여준다. 또 하중의 증가가 단면감소율 66%에서는 44%보다 더욱 더 급격히 이루어지는 것을 볼 수 있으며 단면감소율이 88%에서는 실험을 할 수가 없었다.

Fig. 4는 단면감소율이 44%인 경우의 편치압력 p_p 와 $K(= \epsilon_A - \sigma_Y / p_p)$ 로부터 식(1)에서 계산된 내압을 Lamé의 식(3)에 의하여 외경변형률로 계산한 이론변형률과 실험으로부터 얻은 데이터를 비교하여 보여준다. Lamé의 식에 의한 이론변형률과 실제 실험에서의 변형률은 많은 차이를 나타내며, 따라서 일반적으로 사용하고 있는 이론변형률을 K 의 수정 없이 적용하는 것은 무리이다.

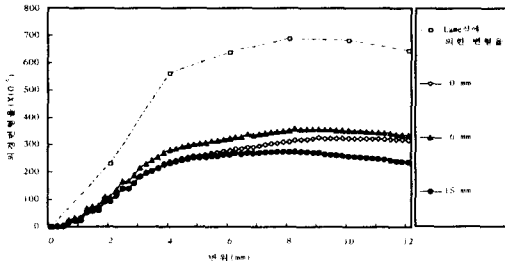


Fig. 4 변위별 외경 변형률(A6061-O, $\epsilon_A=44\%$)

일본의 Shigeo Matsubara는 순알루미늄 A1070-O를 시편으로 하여, 단면감소율 44%, 66%, 88%에 따른 내압을 직접 측정하여 패드로부터의 거리에 대해 보여주었는데⁽²⁾, 본 실험에서 사용한 공업용 알루미늄 A6061-O는 순알루미늄에 비해 강도가 높아 단면감소율 44% 대해서만 비교하고 66%와 88%에 대해서는 납을 이용한 실험을 통해 비교하기로 한다.

Fig. 5는 단면감소율 44%에서 압입 깊이가 6mm일 때 내압을 비교한 것이다. 순알루미늄 A1070-O와 공업용 알루미늄 A6061-O의 항복응력 σ_Y 는 각각 $3.0 (kg/mm^2)$ 과 $5.5 (kg/mm^2)$ 로서 약 2배 차이가 나지만 그림을 보면 내압의 차이가 항복응력에 비례하지 않고 있다. 이것은 편치압력 p_p 에 소재의 마찰계수, 편치형상(랜드부의 길이, 바닥각도, 노즐R) 등에 많은 변수가 있기 때문이다.

순알루미늄 A1070-O는 패드부(패드로부터의 거리 0 mm)가 가장 높고 금형 입구 쪽(패드로부터의 거리 15 mm)이 낮은 것을 알 수 있으나, 본 논문에서는 중앙부가 약간 높게 나타났다.

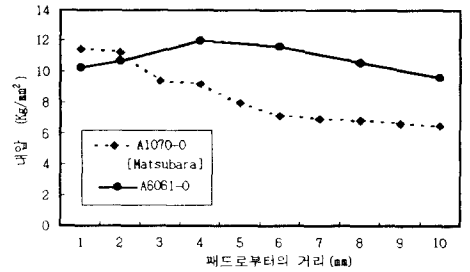


Fig. 5 A1070-O와 A6061-O의 내압 비교

Fig. 6은 단면감소율 44%의 중앙부(패드로부터의 6mm)에서 하중시(가압력을 받은 상태) 금형 내경 변형량과 무부하시(가압 압력이 제거되고 금형 속에

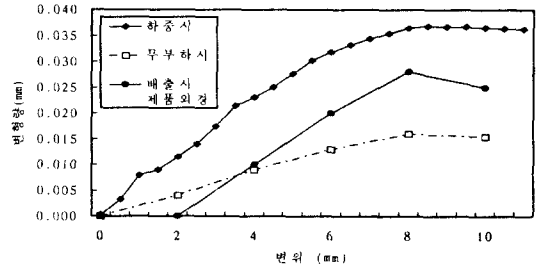
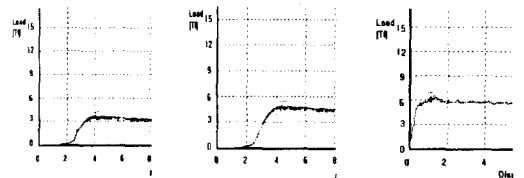


Fig. 6 금형과 제품의 변형량(A6061-O, $\epsilon_A=44\%$)

제품이 잔존하는 상태)에서의 변형량 및 제품을 배출한 후 직접 측정된 제품 외경의 변형량을 비교하여 보여준다. 하중시와 무부하시 금형 내경 변형량은 실험중에 제품의 외경을 직접 측정하는 것이 불가능하기 때문에 외경의 변형률을 역 계산한 것으로, 금형 속에 있는 제품의 외경치수를 나타낸 것이다.

최종적인 제품의 외경 치수는 금형으로부터 배출되면서 반경방향으로 상당한 양의 치수 회복이 발생하였다.

4.2 납



(a) $\epsilon_A=44\%$ (b) $\epsilon_A=66\%$ (c) $\epsilon_A=88\%$

Fig. 7 후방압출시 하중-변위 곡선(Pb)

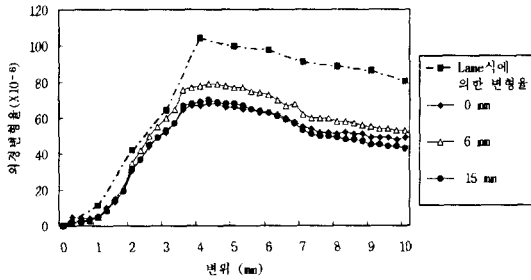


Fig. 8 변위에 따른 외경 변형률(Pb, $\epsilon_A=66\%$)

Fig. 7에서는 각 단면감소별 납의 후방압출시 하중과 변위를 보여주고 있으며, 알루미늄과 동일하게 후방압출의 전형적인 하중곡선을 보여주며 단면감소율이 증가함에 따라 하중이 높아지는 일반적인 현상이 나타났다.

Fig. 8은 Lamé의 식에 의한 이론변형률과 실제 실험에서의 변형률으로서 많은 차이를 나타내며, 이것은 시편이 알루미늄과 동일한 현상으로 납에서도 일반적인 보정계수 K 의 보정이 필요하다.

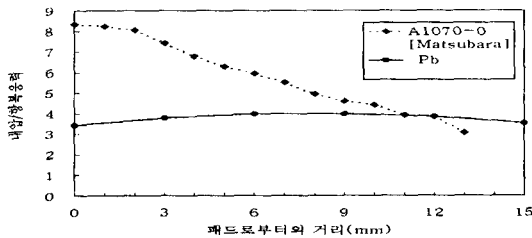


Fig. 9 $\epsilon_A=66\%$ 에서 순알루미늄 (A1070-O)과 납(Pb) 내압/항복응력 비교

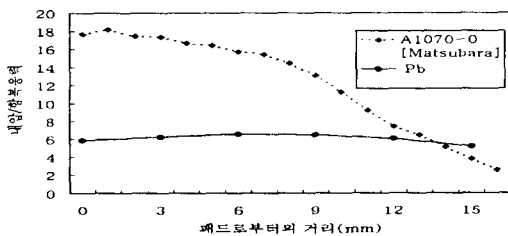


Fig. 10 $\epsilon_A=88\%$ 에서 순알루미늄(A1070-O)과 납(Pb) 내압/항복응력 비교

Fig. 9와 10은 각각 단면감소율 66%, 88%에서 압입깊이가 6mm일 때 일본의 Matsubara의 순알루미늄 A1070-O과 납(Pb)을 실험하여 내압/항복응력을 변수로 하여 비교한 것이다. 여기서 내압/항복응력을 변수로

표현한 것은 두 소재사이에 시편의 내압 p_i 의 차이가 커서 항복응력 σ_Y 으로 나눈 것이다. 순알루미늄 A1070-O는 패드부(패드로부터의 거리 0 mm)가 가장 높고 금형 입구 쪽(패드로부터의 거리 15 mm)이 낮은 것을 알 수 있으나, 본 논문에서는 앞장의 공업용 알루미늄 A6061-O와 같이 중앙부가 약간 높은 것을 알 수 있다

4. 결론

후방압출 공정에 대한 실험을 통하여 가압력이 가해지는 동안 금형의 내경과 제품의 외경의 변화이력을 예측하고 Lamé식으로부터 금형의 내압과 변형률을 계산하였다.

알루미늄과 납을 이용하여 후방압출에서 현재 널리 사용되고 있는 일반적인 보정계수를 적용하였으나 실제와 많은 차이를 보였기 때문에 본 연구에서는 내압을 구하기 위해서는 일반적인 보정계수의 수정이 필요함을 제시하였다.

Matsubara의 논문과 상이하게 본실험의 경우는 압입깊이에 관계없이 시편의 중앙부>패드부>금형입구 순서로 내압이 크게 나타났다.

제시된 결과는 제품과 금형설계의 기초자료를 활용될 것으로 기대되며, 금형 내경의 치수는 제품외경보다 보정량 만큼 작게 결정하여야 하나 이 보정량에 대해서는 더 많은 연구가 수행되어야 될 것으로 판단된다.

참고 문헌

- (1) Shigeo Matsubara & Hideaki Kudo, 1991-7, "Contact Pressure Characteristics on Tool - Workpiece Interface During Plane-Strain Extrusion of Pure Aluminium", Journal of the JSTP, Vol.32, No.366, pp.862~867.
- (2) Shigeo Matsubara & Hideaki Kudo, 1991-7, "Distribution of Contact Pressure Tool-Workpiece Interface in Axisymmetric Backward Extrusion of Aluminium Cans", Journal of the JSTP, Vol.32, No.366, pp.868~873.
- (3) John L.Frater, 1989, "Application of Finite Element Methods to The Design of Prestressed Tooling", J. Material Shaping Technology, Vol.7, No.1, pp.49~55.

- (4) A.Kocanda; R.Cacko; P. Czyzewski, 1996, "Some Aspects of Die Deformation in Net-shape Cold Forging", *Advanced Technology of Plasticity*, pp.367~370.
- (5) 이강희, 박용복, 1999, "밀폐 업셋팅에서 금형과 제품 변형에 관한 연구", *한국소성가공학회지* 제8권, 제6호, pp.563~568.
- (6) 이강희, 박용복, 1999, "진방압출 공정에서 제품 변형 이력", *한국소성가공학회 '99추계학술대회 논문집*, pp.76~79.
- (7) 沢 辺 弘, 1974, "冷間鍛造の 基礎と 應用", *日本,株式會社 産報*.