

# 레이디얼압출에서 금형구조에 따른 플렌지의 성형형태

고병두<sup>†</sup> · 강동명 · 이하성

유한대학 금형설계과

(2007. 11. 14. 접수 / 2008. 1. 30. 채택)

## The deformation patterns of flange according to die geometry in the radial extrusion

Byung-Do Ko<sup>†</sup> · Dong-myeung Kang · Ha-Sung Lee

Department of tool & mold design, Yuhan college

(Received November 14, 2007 / Accepted January 30, 2008)

**Abstract :** Restriking method is to add to process in order to get the correct size and high precision accuracy of product which is formed in pre-process. This method is widely used at bending work and drawing work. Restriking die is particularly design and used as restriking process is performed. Therefore, production cost is increasing as one process or a two process are added. In this paper, punches and die block of square shell drawing die which could be performed drawing work and restriking process by using only one die are designed in order to solve these factors. The structure of sectional die which can integrate drawing die and restriking die was developed.

**Key Words :** Restriking die, drawing die, punch, die block, sectional die, square shell drawing die

### 1. 서 론

고도의 성형성과 고강도가 요구되는 제품을 대량 생산하여 경제적 우수성을 가지는 냉간가공은 변형 및 마찰에 따른 발생열로 인해 가공된 금속에 재결정이 수반되지 않는 한 재료의 기계적 성질을 향상시킬 수 있고, 치수 정밀도가 높아 추가적인 기계가공을 줄일 수 있다. 이러한 냉간가공에서는 공구에 작용하는 응력이 매우 높기 때문에 유동특성을 예측하여 금형의 설계 및 재료를 적절하게 선택하는 것이 매우 중요한 요소이다. 레이디얼 압출은 편치의 운동방향에 대하여 수직방향으로 소재의 유동이 일어나는 압출을 말한다. 레이디얼 압출과 연계한 복합압출은 특수한 기어부품, key-shaft 형태의 부품, 축이음면과 같이 복잡한 플랜지 형상을 가진 부품 등을 생산하는데 유용하게 활용되고 있다<sup>(1-3)</sup>. 최근 유한요소법을 이용한 모의실험방법이 등장하여 실험을 통해 얻을 수 있었던 각종 자료들을 모의실험을 통하여 얻음으로써 공정상의 특징들에 대한 비

교·분석이 가능하게 되고, 시간적·비용적 절감을 이룰 수 있게 되었다. 이러한 유한요소법은 다른 방법들에 비해 융통성이 있으며, 보다 정확하고 자세한 정보의 제공이 가능하다. 특히 강소성 유한요소법은 Lee와 Kobayash<sup>(4)</sup>가 변분 원리에 입각한 행렬법을 수식화한 이후 단조나 압출 같은 소성변형문제에 효율적으로 이용되고 있다.

본 논문에서는 강소성 유한요소법을 이용하여 갭 사이즈(gap size), 다이코너반경(die corner radius), 마찰인자(friction factor) 등의 설계변수에 따른 플랜지 성형의 모의실험을 수행하였으며, 모의실험을 통해 얻어진 재료의 유동과 성형특성을 실제 실험을 통해 얻어진 결과와 비교분석하였다.

### 2. 유한요소해석 및 실험조건

#### 2.1 유한요소해석

본 논문에서 성형실험에 사용된 소재는 상용 알루미늄합금인 AA3105 이다. Power law<sup>(4)</sup>에 의한 재

료상수인 강도계수와 가공경화지수를 결정하기 위하여 압축실험을 하였다. 실험은 상온에서 수행하였으며, 그 결과는 다음 식과 같다.

$$\bar{\sigma} = 28.6 \bar{\epsilon}^{0.17} \quad (\text{kgf/mm}^2) \quad (1)$$

또한 일반적으로 부피성형가공(bulk forming processes)의 해석에 주로 사용되는 마찰인자 값(friction factor)을 측정하기 위하여 링압축실험을 수행하였다. 링압축실험으로부터 높이 감소율과 최소 내경변화율의 보정곡선을 비교하여 결정한 마찰인자 값(m)은 0.1 이다. 모의실험은 물성실험을 통해 얻어진 식 (1)의 조건과 마찰인자 값을 강소성 유한요소코드로 되어있는 ALPID<sup>(5)</sup> 프로그램에 동일하게 적용하여 해석하였다.

### 2.2 압출실험

압출실험을 위하여 다이와 펀치를 제작하였다. 윤활제는 물성실험과 동일한 것을 사용하였고 실험에 사용된 소재는 직경 16 mm, 높이 40 mm의 원통형상으로 선반가공 하였다. 윤활제는 물성실험에서와 동일한 것으로 상용그리스에 MoS<sub>2</sub>를 혼합하여 사용하였다. 압출실험은 50 tonf의 단동 유압프레스에서 수행하였으며, 프레스 램의 속도는 5 mm/sec로 하였다. 이러한 압출공정의 주요 설계변수는 레이디얼압출부의 갭높이(s), 다이코너반경(r), 마찰 등이며 Table 1에 그 값들이 나타나있다.

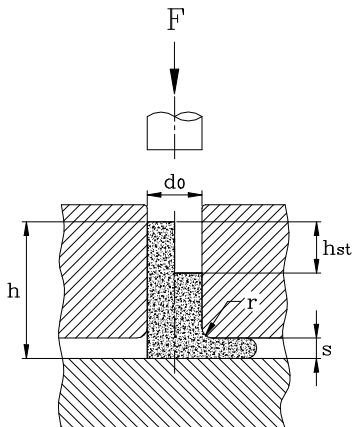


Fig. 1 Schematic configuration of radial extrusion

### 3. 해석 및 실험결과

Table 1 Design parameters for experiment and simulation

Parameters		Values
material		AA 3105
Initial Billet height(h)		40mm
Billet Diameter(d <sub>0</sub> )		16mm
Friction factor(m)	simulation	0, 0.1, 0.2
	experiment	0.1
Gap Height(s)		2, 4, 6, 8 (mm)
Die Corner Radius(r)		1, 3, 5 (mm)
Relative Deformation(h <sub>st</sub> /d <sub>0</sub> )		1.0

Fig. 2는 시뮬레이션에서의 성형형태와 밀링가공하여 중심을 분할한 압출시편의 단면사진을 다이코너반경 3mm에서 갭높이에 따라 비교한 것이다. 실험과 시뮬레이션을 비교한 성형형태가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 동일한 다이코너반경에서 플랜지의 끝부분의 성형형태는 갭높이에 따라 다르게 나타나고 있다. 갭높이 2mm 에서 플랜지는 다이와 분리(separate)되어 유동하고 있다. 이에 비해 갭높이 6mm와 8mm인 경우는 다이에 붙어서 고착(sticking) 형태로 유동하고 있다. 이러한 이유는 플랜지의 상하면에서의 유동저항이 갭높이에 따라 다르기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 갭높이가 클수록 소재는 다이코너반경을 완전히 채우지 않은 상태로 반경방향의 유동이 이루어진다. 따라서 플랜지 윗면은 하부접촉면에 비해 상대적으로 유동이 원활하여 고착형태로 성형이 이루어지며 업셋팅(upsetting) 형태로 성형되고 있다. 유효변형률은 하부의 평균형과 접촉한 플랜지의 축중심에서 크게 나타나고 있으며 플랜지 넥(neck) 이상에서는 상대적으로 매우 적게 나타난다. 그림에서 알 수 있듯이 갭높이 8mm에서 플랜지는 다이에 붙어서 유동하고 있으며, 다이 접촉면에서의 유동저항에 의해 플랜지 끝단의 갭높이 중간부분에서 베렐링(barreling) 현상이 나타나고 있다. 이와 같은 현상에 의해 고착형태의 성형에서는 갭높이 중간부분의 플랜지직경이 더 커지게 된다.

Fig. 3은 갭높이 6mm에서 다이코너반경에 따른 플랜지의 성형형태를 상대행정거리(h<sub>st</sub>/d<sub>0</sub>) 0.7에서 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 모든 다이코

너반경에서 행정거리에 관계없이 플랜지의 끝단이 다이에 붙어서 유동하고 있다. 다이코너반경이 클수록 플랜지 하부 접촉면에 비해 다이코너부분의 유동이 원활해짐에 따라 플랜지 끝단에서 베럴링현상이 더 뚜렷하게 나타나고 있다. 또한 동일한 행정거리에서 다이코너반경이 클수록 각 부분의 유효변형률이 작게 나타나고 있으며, 플랜지는 고착형태로 유동하여 직경이 작게 성형되고 있음을 알 수 있다.

본 논문에서는 성형형태에 미치는 마찰인자의 영향을 평가하기 위하여 각각의 마찰인자 조건에서 유동된 플랜지의 직경을 비교하였다. 고착되어 성형되는 경우 플랜지끝단에서 플랜지 상부와 하부의 유동길이 차이를 분석하였다. Fig. 4는 갭높이 6mm, 상대행정거리 1.0, 다이코너반경 3mm에서 플랜지성형에 미치는 마찰인자의 영향을 시뮬레이션을 통해 나타낸 것이다. 마찰인자가 작을수록 하부다이와 접촉한 소재의 유동이 더 많음을 알 수 있다. 이로 인하여 유동된 플랜지의 직경과 유효변형률이 상대적으로 더 크게 나타나고 있다. 마찰인자 값이 0인 경우 플랜지 끝단은 다이에서 분리되어 유동되고 있다. 이에 비해 마찰인자 값이 0.2인 경우 상부의 유동은 큰 차이가 없으나 하부접촉면에서 소재의 유동이 상대적으로 더 구속되어 다이에 붙어서 유동하고 있으며, 플랜지 끝단의 중간에 베럴링현상이 나타난다. 이를 통해 마찰의 영향이 상부에 비해 하부접촉면에서 더 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. 또한 플랜지 성형에 미치는 마찰의 영향은 앞에서 설명한 갭높이의 영향에 비해 크지 않음을 알 수 있다.

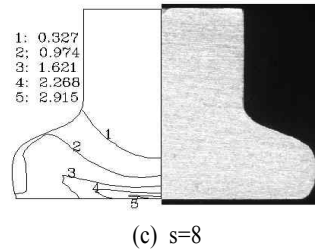
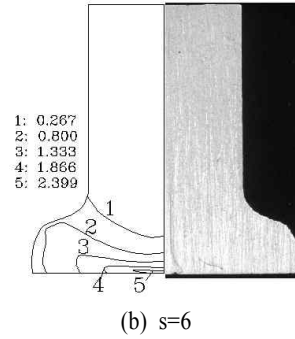
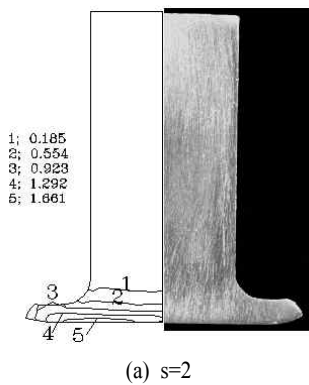
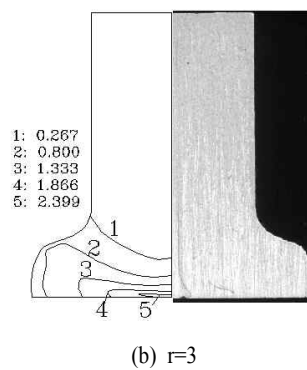
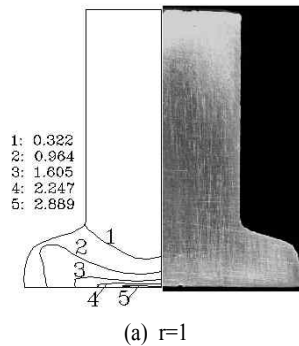


Fig. 2 Comparison of deformation patterns for different gap heights( $r=3$ )



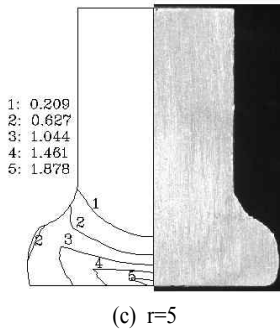


Fig. 3 Comparison of deformation patterns for different die corner radii( $s=6$ ,  $h_{st}/d_0=0.7$ )

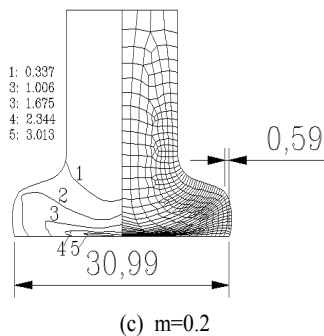
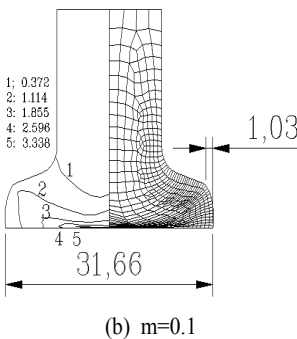
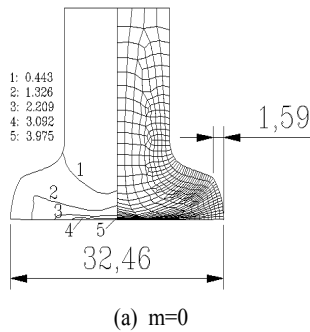


Fig. 4 Comparison of deformation patterns for different friction factors( $s=6$ ,  $r=3$ ,  $h_{st}/d_0=1.0$ )

플랜지 끝단의 중간에 베럴링현상이 나타난다. 이를 통해 마찰의 영향이 상부에 비해 하부접촉면에서 더 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. 또한 플랜지 성형에 미치는 마찰의 영향은 앞에서 설명한 겹높이의 영향에 비해 크지 않음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

- (1) 플랜지의 성형형태는 겹높이의 영향이 가장 크다.
- (2) 겹높이와 다이코너반경이 클수록 플랜지 끝단에서 베럴링현상이 더 뚜렷하게 나타난다.
- (3) 동일한 행정거리에서 마찰이 작을수록 성형되는 플랜지의 직경이 크고, 마찰이 클수록 베럴링현상이 더 뚜렷하게 나타난다.

#### 참고문헌

- (1) Pale, J. A., Shivpuri, R., Altan, T., "Development of Equipment and Capabilities for Investigation of Multy-action Forming of Complex Parts", ERC/NSM Report, No. B8928, 1989.
- (2) Geiger, R., Schätzle, W., "Basics and Application of Radial Extrusion", Fundamentals of Metal Forming Technique-State and Trends, Proceedings of the International Symposium, Stuttgart, West Germany, October 13-14, pp. 139~ 161, 1983.
- (3) Geiger, R., 1987, "State of the Art and Development Trends in Cold Forging Technology", Proc. of Adv. Tech. of Plasticity Conf., Tokyo, Japan, Vol 1, pp. 469~477, 1987.
- (4) S. I. Oh, G. D. Lahoi and T. Altan, 1981, "ALPID-a general purpose FEM program for metal forming", Proceeding of NAMRC. IX, State college, pennsylvania
- (5) C. H. Lee, S. Kobayashi, "New solutions to Rigid-plastic Deformation Problems using a Matrix method", J. Eng. Ind. Trans. ASME 95, p. 865, 1973.