

포트홀 다이를 이용한 중공튜브 압출 제품의 다이 챔버 형상에 따른 결합력에 대한 연구

김민규* · 진인태** · 정영득** · 하만경**

A Study on the Welding Pressure of Extrusion Processing of Hollow Tube Using the Porthole Die with the Different Chamber Shape

M. G. Kim, I. T. Jin, Y. D. Jeung, M. K. Ha

Abstract

The welding pressure in porthole die extrusion is affected by the shape of welding chamber. It is very important to increase the welding pressure when the tube is used particularly as the materials of hydroforming processing. The high circumferential stress of the tube would make the welding pressure increase during the porthole die extrusion. In order to increase the circumferential stress, it is necessary to make the billets pass through the narrow gap between the conical die and the conical mandrel. This paper describes the welding pressure by the experiments with the two types of the chamber. One of them is the chamber between the flat die and straight mandrel, and the other one is the chamber between the conical die and conical mandrel. The result of the experiments show that the conical chamber makes the welding pressure increase by the effect of the reducing the diameters of tube.

Key Words : Porthole Die, Welding Pressure, Conical Die, Conical Mandrel, Welding Chamber.

1. 서론

일반적으로 포트홀 다이를 사용하여 중공형 제품을 압출할 때 소재의 접합력이 문제가 되어 이에 대한 연구가 필요하다. 이러한 금속 융합의 접합력을 향상시키기 위한 방법으로 여러 방법이 있겠으나 본 논문에서는 금속융합이 진행되는 챔버내에서의 공간의 형태를 변형

시켜 그 결합력을 향상시키고자 한다. 중공소재의 접합면이 제품의 길이 방향이기 때문에 접합응력인 중공소재의 원환압축응력을 크게 하는 구조에 대하여 연구를 하고자 한다. 챔버내의 원환압축응력을 크게하는 방법으로서는 챔버내에 유입되는 소재를 일차적으로 제품의 직경보다 큰 중공소재를 먼저 만들고 난 후 계속해서 중공소재의 외경과 내경을 점진적으로 줄여 나가면서 원환압축응

* 부경대학교 대학원 기계공학과

** 부경대학교 기계공학부

력을 크게하는 방법을 채택한다. 이런 목적을 위해서 기존의 포트홀 다이의 챔버 구조가 평다이의 형태로 되어 있는 부분을 원추형 다이의 형태로 바꾸고 증공 소재를 만들기 위한 프러그의 형태도 기존의 직경의 변화가 없는 봉재형에서 원추형 봉재로 만들어 일차적으로 직경이 큰 증공형 소재를 만든 후 계속해서 직경을 줄여나가는 튜브압출시의 챔버 형태로 바꾸게 되면 가능하게 된다.

본 연구의 대상인 원추형 챔버의 구조에 대해서 실험과 해석을 통해 그 결합력의 변화를 살펴보기 위해서 플라스티신과 납을 사용하여 실험한 후 그 접합 면에서의 표면 상태와 조직형태를 비교하였다. 또한 접합 면에서의 접합 형태와 압력을 해석하기 위하여 상용 해석 소프트웨어인 *DEFORMTM-3D*를 사용하여 해석하여 비교하고자 한다.

2. 실험장치의 구성

2.1 포트 홀 원추형압출다이 및 원추형프러그의 구조

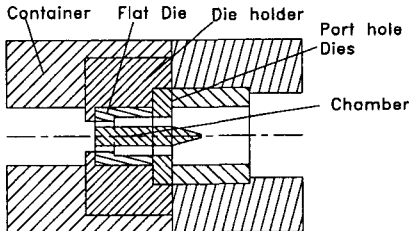


Fig. 1 The general type of Port hole dies

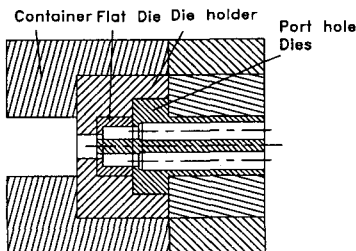


Fig. 2 The structure of chamber in the flat dies and flat plug for the experiment

상기 Fig. 1은 기존의 포트홀다이의 일반적 구조이며 Fig. 2는 실험을 위한 평다이 및 평프러그를 가진 챔버의 구조를 나타내며 이 모양은 일반적으로 포트홀다이에 사용되는 챔버의 구조와 같다.

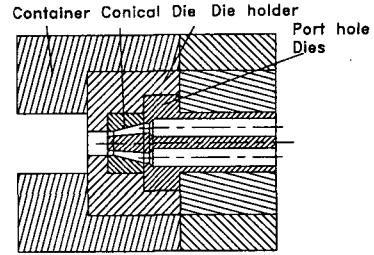


Fig. 3 The structure of chamber in the conical dies and conical plug for the experiment

Fig. 3은 실험을 위하여 원추형 다이와 원추형프러그를 사용한 챔버의 구조를 나타내는 사진이다. 이 구조를 보면 네 개의 빌렛으로 부터 들어온 소재가 일차적으로 직경이 큰 증공소재로 만들어진 후 점차 작은 직경의 증공제품으로 압출 될 수 있는 구조이다.

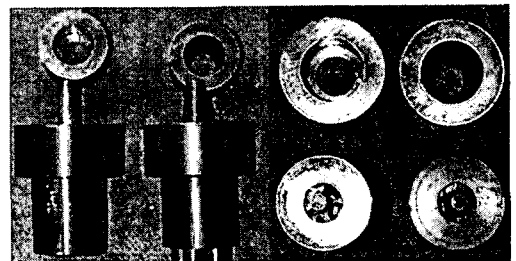


Fig. 4 The photo of the port hole dies and plug

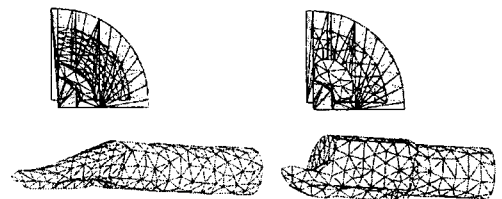


Fig. 5 The structure of chamber of the two types

상기 Fig. 4는 실험대상인 두 챔버의 구조를 나타내는 사진이며 Fig. 5는 챔버의 구조를 나타내기 위해 챔버내의 빌렛의 형태를 나타내는 그림이다.

3. 실험 방법 및 고찰

3.1 플라스티신을 이용한 접합표면의 비교
사용되는 소재는 플라스티신으로서 열간 상태에서 철의 변형특성과 비슷한 성질을 가진다. 본 실험에서는 프

리그 출구 지름이 각각 $\phi 14\text{mm}$, $\phi 16\text{mm}$, $\phi 18\text{mm}$, $\phi 20\text{mm}$, $\phi 22\text{mm}$ 인 여러 단면 감소율에서 각각의 접합면의 상태를 조사하였다. 플라스틱인의 유동 특성을 시각화하기 위해 Fig. 6과 같이 아크릴을 이용하여 원추형 다리와 평다리를 제작하고 접합 면을 확인하기 위해 소재의 색깔을 구분하여 컨테이너의 4개의 구멍에 대칭적으로 흰색과 검은색의 플라스틱인을 넣고 압출실험을 수행한 결과 Fig. 7과 같은 중공 제품을 만들었다. Fig. 7의 위의 그림은 원추형다리에서 압출된 제품이고, 아래 그림은 평다리에서 압출된 플라스틱인 소재의 제품이다. 이 제품의 표면을 살펴보면 원추형 다리의 경우 소재의 접합 면에서 불규칙한 선이 발견된다. 이러한 현상은 큰 원에서 작은 원으로 줄면서 원한 압축응력이 높았기 때문에 발생하는 현상이라고 볼 수 있다.

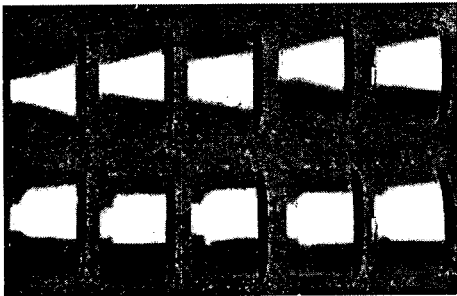


Fig. 6 The Plasticine flow form(Left from $\phi 14\text{mm}$, $\phi 16\text{mm}$, $\phi 18\text{mm}$, $\phi 20\text{mm}$, $\phi 22\text{mm}$)

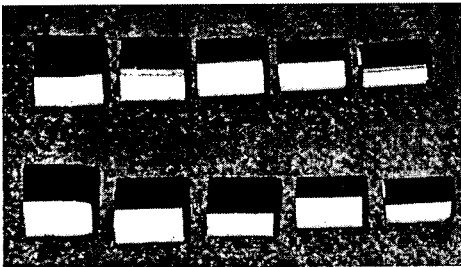


Fig. 7 The Plasticine hollow tube product (Left from $\phi 22\text{mm}$, $\phi 20\text{mm}$, $\phi 18\text{mm}$, $\phi 16\text{mm}$, $\phi 14\text{mm}$)

평다리에 의해 압출된 중공제품의 표면을 살펴보면 소재간의 접합 면이 깨끗함을 볼 수 있다. 이러한 현상은 소재 사이에 압축응력이 작용하지 않고 압출이 되었음을 의미한다. 원추형다리의 경우 입구에서 들어온 소재의 전부가 압출되는 반면 평다리는 데드메탈영역이 형성되어 원환압축응력의 작용보다는 소재가 압축응력에 의한 출구 방향으로 평형하게 압출되어 접합 면에서 소재의 불규칙적인 이동이 생기지 않음을 볼 수 있다.

3.2 납에 의한 접합표면의 비교

플라스틱인을 사용한 실험에서는 소재의 유동 특성을 파악 할 수 있지만 접합 강도를 알아보기 위하여 납을 이용하여 압출실험을 시행하였다. 본 실험에서는 사용된 소재는 300°C 로 가열 1시간동안 유지한 후 압출실험을 하였다. Fig. 8의 왼쪽은 원추형다리와 원추형프리그에 의한 중공제품의 첫 단면 형상을 나타낸다. 오른쪽은 평다리와 평프리그를 사용하여 압출한 중공 제품의 첫 단면을 나타낸다. Fig. 8을 보면 평다리와 평프리그를 사용하여 압출한 중공제품의 접합 면이 갈라져 있음을 알 수 있다. 반대로 원추형다리와 원추형프리그를 사용한 중공형 제품에서는 접합 면의 간격을 눈으로 확인하기 어려울 정도로 양호한 접합 면을 얻을 수 있었다.

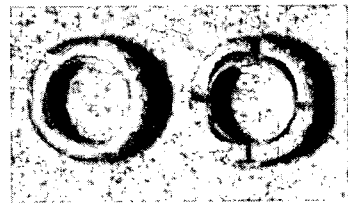


Fig. 8 The frist stage section of products

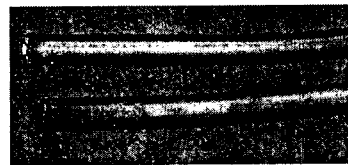


Fig. 9 The hollow tube products

Fig. 9는 납으로 가공된 중공제품을 나타낸 것으로 위 그림은 평다리와 평프리그를 이용한 제품, 아래 그림은 원추형다리와 원추형 프리그를 이용한 제품을 나타낸다.

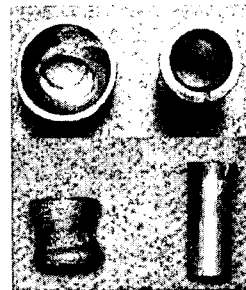


Fig. 10 The results of the expanding test by the compression

Fig. 10은 접합력의 크기를 알아보기 위하여 팽창확대 실험한 결과로써 좌측의 상·하는 원추형다이와 원추형 프러그를 사용한 중공형 제품이고 우측의 상하는 평프러그와 평다이를 실험한 결과이다. 좌측의 원추형 챔버를 사용한 결과는 어느 일정한 팽창에 의해서도 찢어짐이 없었으나 우측의 평다이를 사용한 제품은 초기 팽창 단계에서 찢어짐이 발생하였다.

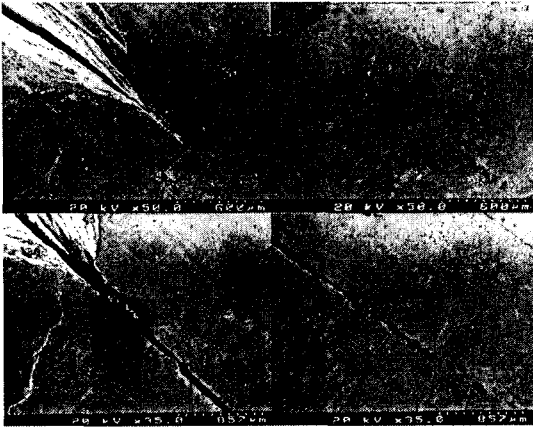


Fig. 11 The micro structure of welding line

Fig. 11은 현미경 조직 검사를 수행한 것으로 중공압출제품의 출구 부분에서 소재가 접합되는 부분을 촬영하였다. Fig. 11의 위 그림은 원추형다이에서 나온 제품이며, 아래 그림은 평다이형에서 빠져 나온 제품이다. 이 조직 검사에서 알 수 있듯이 접합 면에 나타난 크랙의 간격이 넓음을 확인할 수 있었다. 이것은 소재의 결합력이 원추형다이와 원추형 프러그를 사용한 중공제품에서 높게 나타남을 직접적으로 알 수 있게 하는 것이다.

3.3 DEFORMTM-3D에 의한 접합표면의 비교

포트홀 다이의 챔버 형태인 원추형다이와 원추형프러그 평다이와 평프러그의 두 종류에서 유동 특성을 파악하기 위하여 상용 소프트웨어인 DEFORMTM-3D를 이용하여 소재의 접합부를 기준으로 1/4만 해석하였다.

Fig. 12는 압출 시작 부분에서 나타나는 압력의 크기를 나타낸 것으로써 좌측의 그림은 원추형다이와 원추형 프러그의 챔버내의 빌렛의 압력 분포를 나타내며, 우측의 그림은 평다이와 평프러그에서 나타나는 챔버내의 빌렛의 압력 분포를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 압

출 시작부터 원추형은 중공 형상을 형성하기 위해서 큰 압축하중이 작용하는 것을 알 수 있다.

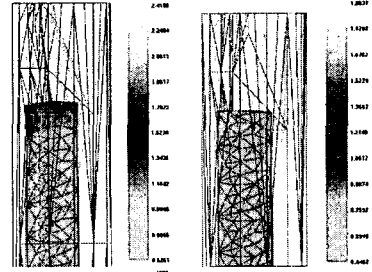


Fig. 12 The pressure distribution of billet

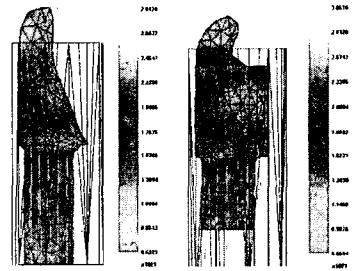


Fig. 13 The deformation of welding line

Fig. 13은 출구에서 압출 제품이 나올 때의 상태로써 좌측은 원추형다이와 원추형프러그, 우측은 평다이와 평프러그를 나타낸다. 그림에서 빌렛의 좌측 직선 부분은 소재의 접합 면이며 이 면을 기준으로 변형 상태를 살펴 보면 오른쪽에 있는 평다이와 평프러그를 사용한 경우의 출구에서 소재의 굽은 모양이 접합 면의 반대편으로 많이 굽어져 접합력이 원추형다이와 원추형프러그의 경우보다 작아질 수 있음을 보여준다.

4. 결론

포트홀 다이에 의한 중공소재의 압출가공시 길이 방향의 접합력을 향상시키기 위하여 챔버의 형태를 원추형다이와 원추형 프러그의 사이로 소재를 유입시키는 구조에 의한 압출 실험 결과는 다음과 같다.

참 고 문 헌

(1) 플라스틱신에 의한 실험결과로써 그 접합 면이 평다리와 평프러그를 사용한 증공제품의 표면보다 원추형다리와 원추형프러그를 사용한 증공제품의 표면이 접합면에서 소재의 이동 선이 불규칙하여 접합효과가 큼을 알 수 있었다.

(2) 납에 의한 실험결과로써 원추형다리와 원추형프러그를 사용한 소재의 실험결과가 그 접합력이 크게 나타났으며 제품 첫 단면의 구조에 갈라짐이 없었다.

(3) DEFORMTM-3D에 의한 해석 결과로써 접합 면에서의 접합 압력이 원추형다리와 원추형프러그를 사용할 때 크게 나타났으며 접합 면에서의 변형상태로 보아 원추형다리와 원추형프러그를 사용할 때에 접합에 유리함을 알 수 있었다.

상기 실험 및 해석 결과로 볼 때 포트홀 다이를 사용하여 증공소재를 가공 할 때 챔버의 형태를 원추형으로 하면 그 접합 효과가 더 크게 나타남을 알 수 있었다.

- (1) Kurt Lange, 1985, "HANDBOOK of Metal Forming", McGraw-Hill, inc, pp. 16.1~16.66.
- (2) Manabu Kiuchi and Michihiko Hoshino, 1991-2, "Numerical Simulation of Forward Extrusion of Pipes through Bridge Die", Journal of the JSTP, Vol. 32 No. 361, pp. 174~181.
- (3) H. H. Cho, C. S. Jeong 2000, "포트홀 다이에 의한 튜브 AI 열간 압출 공정 해석", 한국소성가공학회, 2000년도 제 3회 압출 및 인발 심포지엄, pp. 108~118.
- (4) 김진훈, 진인태, 1998, "평다이를 이용한 편심 압출가공에서의 비유동 영역의 형성과 급힘 속도 분포에 관한 상계해석", 한국소성학회지, Vol.7, No.2, pp.177~185.