

중공튜브의 압출굽힘가공에 있어서 소재결합력에 관한 연구

김민규*·진인태**

(2002년 7월 9일 접수)

A Study on the Welding Pressure of Billets in the Extru-Bending Process of Hollow Tube

M. G. Kim and I. T. Jin

Abstract

The welding pressure in extru bending process is affected by the shape of welding chamber of porthole die. It is very important to increase the welding pressure when the tube should be extruded particularly from four billets of the materials. The high circumferential stress of the tube can make the welding pressure increase during the extru-bending. 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 plug. This paper describes the welding pressure by the experiments and the analysis 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 plug. The results of the experiments and the analysis shows that the conical chamber makes the welding pressure increase by the effect of the reducing diameter of tube and the welding pressure by the conical die and plug is stronger than the welding pressure by the flat die and straight mandrel

Key Words : Extru-Bending, Porthole Die, Welding Chamber, Conical Die, Conical Plug,
Circumferential Stress

1. 서 론

최근 들어 기계의 구조물 및 자동차의 바디와 같은 부분의 경량화 추세에 의해 하이드로포밍(hydraulic forming) 기술이 많이 사용되고 있다. 이러한 하이드로포밍은 중

공튜브 제품을 사용하므로 재료의 중량을 혁신적으로 줄일 수 있을 뿐 아니라, 액압에 의해 성형되므로 중공부재의 제품을 다양한 형태로 굽히며 성형할 수 있는 이점이 있다. 그러나 하이드로포밍의 가장 큰 단점은 하이드로포밍의 전 단계인 원형튜브를 굽히는 과정에서 많은

* 부경대학교 기계공학과 대학원
** 부경대학교 기계공학부

결합이 발생한다. 즉, 직각으로 굽히거나 'ㄷ'자의 형태 등으로 굽힐 경우 안쪽은 압축에 의해 주름이 발생하고 바깥쪽 부분은 인장에 의해 재료가 늘어나거나 찢어짐 현상이 발생한다. 이러한 이유 때문에 하이드로포밍 기술을 이용한 구조물의 제작에 어려움이 많은 실정이다. 또한 기존의 굽힘 방법으로 직선관을 임의적으로 굽혀야만 굽힘 제품에 필요한 곡률을 만들 수 있다.^(11~16)

그러나 압출 과정 중 굽힘을 발생시켜 굽은 중공제품을 미리 만들게되면 하이드로포밍의 전 단계인 굽힘가공이 필요없게 될 뿐 아니라 굽힘가공으로 인한 결합이 없기 때문에 하이드로포밍 가공에 의해 발생하는 결합을 줄일 수 있다. 그러나 이런 방법은 한 개 이상의 빌렛을 사용하여 중공튜브를 만들기 때문에 가공 중에 한 개 이상의 소재의 결합력을 향상시킬 필요가 있다.^(4~10)

본 논문에서는 압출 가공 중에 네 개의 빌렛을 사용하여 빌렛의 크기에 따라 굽힘을 조절하여 굽은 관을 만들 수 있는 방법에 있어서 결합력을 최대로 할 수 있는 원추형 챔버에 대해서 고찰하기로 한다. 네 개의 빌렛을 사용하여 중공형 제품을 압출 할 때 소재 자체의 결합력을 향상시키기 위한 방법으로써 여러 방법이 있겠으나 본 논문에서는 금속융합이 진행되는 챔버 내에서의 공간의 형태를 변형시켜 그 결합력을 향상시키고자 한다. 이런 목적을 위해서 기존^(1~3)의 포트홀 다이의 챔버 구조가 평다이의 형태로 되어 있는 부분을 원추형 다이의 형태로 바꾸고 중공 소재를 만들기 위한 프리그의 형태도 기존의 직경의 변화가 없는 직선형 맨드릴에서 원추형 프리그로 만들어 일차적으로 직경이 큰 중공형 소재를 만든 후 계속해서 직경을 줄여나가는 원추형 챔버에 대해서 실험과 해석을 통하여 결합력을 조사하였다.

2. 네 개의 빌렛을 사용하여 압출한 중공튜브의 결합력

2.1 압출굽힘가공과 결합력

Fig. 1에서 다구명컨테이너의 네 개의 구멍 중 좌우의 구멍의 상대직경이 다른 경우 압출 가공시 굽힘이 발생하는 원리를 보면 직경의 크기가 다른 빌렛을 다구명컨테이너에 각각 삽입한 후 상대직경이 다른 다지형 펀치 (1)과 (2)에 각각 같은 속도를 가하면 빌렛 (6)과 (7)이 챔버로 이동하면서 상대직경이 큰 빌렛(7)의 유입되는 양이 상대직경이 작은 빌렛 (6)의 양보다 많아 챔버에 유입되는 양의 차이가 생기게 되고 경사형 다이 (4)와 경사형 프리그 (5)의 사이를 지나면서 하나로 합쳐지면

서 유입 양이 적은 좌측방향으로 굽어져서 압출 되게 된다. 이때 상하 측의 직경은 일정하게 되어 있으므로 상하방향으로의 굽힘은 발생하지 않게 되고 좌측방향으로만 굽어지면서 압출된다.

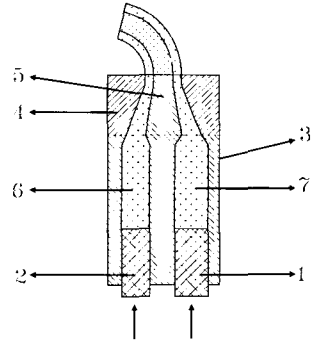


Fig. 1 The principle of extru-bending process by the difference of relative hole diameters of the container

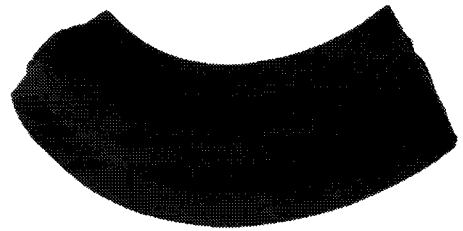


Fig. 2 The photograph of the curved circular-tube with fins extruded by extru-bending process

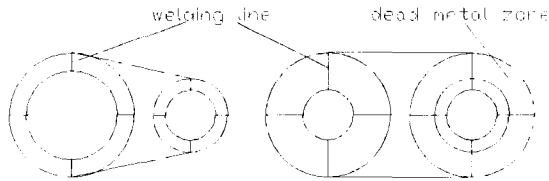
이러한 압출 원리로부터 압출되어진 제품을 Fig. 2에 나타내었다. 그림과 같이 압출과정중 굽힘을 발생시킬 수 있으며 또한 압출 방향을 제어할 수 있었다. 이러한 압출굽힘제품은 4개의 소재를 사용하여 압출하기 때문에 압출과정중 소재간의 결합력을 향상시킬 필요가 있다.

따라서 다음과 같이 실험장치를 구성하여, 굽힘압출을 위한 원추형챔버가 결합력을 크게 하는 구조임을 기존의 포트홀 다이의 챔버구조와 비교 고찰하고자 한다.

기존에 사용되어 오는 중공튜브 압출기는 하나의 빌렛으로부터 보통 네 개의 소재로 나누어진 이후 하나로 합쳐지는 구조를 가지고 있다. 이들은 브릿지 다이, 포트홀 다이, 스파이더 다이 등으로 분류될 수 있다. 또한 펀치가 하나이기 때문에 빌렛이 입구로부터 출구까지 컨테이너와 다이 내부에서 이동속도가 같다. 따라서 좌우로 굽어

지는 형상 보다 직선관을 뽑는데 사용되어진다.⁽¹⁻²⁾ 그러나 본 논문에서는 압출 과정 중 임의로 굽어지는 제품을 압출하기 위해 구멍의 크기가 다른 구조의 압출장치가 필요하기 때문에 이러한 구조는 다이와 멘드렐의 형상이 원추형이어야 압출가공중에 굽힘을 발생시킬 수 있다. 그러나 이러한 구조상의 변화로 말미암아 기존의 중공튜브를 만들 때 발생하는 결합력 보다 크지 않으면 압출가공중에 굽힘을 발생시키기 어렵게 된다. 따라서 압출굽힘가공에 반드시 고려해야할 원추형 챔버에 대해서 실험과 컴퓨터 해석을 통하여 그 결합력을 비교하고자 한다.

Fig. 3을 보면 이 원추형 다이와 원추형프러그 사이의 공간의 구조는 초기 입구의 큰직경의 튜브에서 작은 직경의 튜브로 만들어가면서 강한 원환 압축응력을 발생시키는 구조로 되어 있는 반면에 평다이는 다이 출구 부분에서의 압출 압력만으로 압축되는 챔버구조를 가지고 있다.



(a) Conical die and plug (b) Flat die and mendrel
Fig. 3 Section inside the two types of chamber

2.2 실험장치의 구성

2.2.1 원추형 다이와 원추형 프러그의 형상

실험장치의 구조는 다이받침대와 컨테이너홀더 사이에 다이와 컨테이너가 삽입되는 구조를 가지고 있으며, 외부전원에 의해 가열을 할 수 있는 가열장치가 둘러져 있다.

Fig. 4의 실험장치를 사용하여 직경의 차이에 의해 Fig. 2와 같은 중공튜브제품을 굽힐 수 있었다. 그러나 네 개의 빌렛을 사용할때 소재간의 결합력이 중요하므로, 결합력을 비교하기 위해 원추형다이의 형태와 평다이 형태의 두가지 챔버구조를 사용하여 실험과 해석을 통하여 각각의 결합력을 조사하였다.

Fig. 5는 실험에 사용된 원추형다이와 원추형프러그를 사용한 챔버의 구조의 단면을 나타내는 그림이다. 이 구조를 보면 네 개의 구멍에 각각 네 개의 빌렛이 유입되어 소재가 일차적으로 직경이 큰 중공소재로 만들어진 후 점차 작은 직경의 중공제품으로 압출 될 수 있는 구조로서 네 개의 구멍의 직경이 같은 경우의 그림이다.

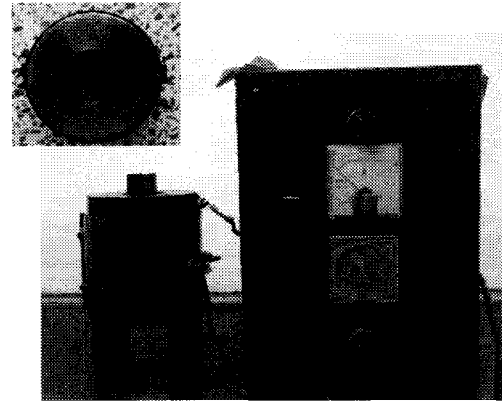


Fig. 4 The photograph of experiment device

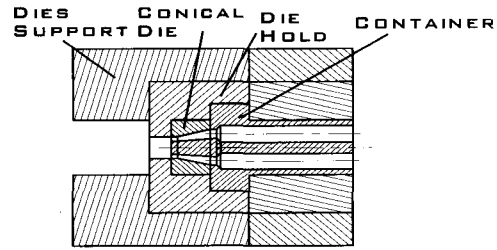


Fig. 5 The structure of chamber using the conical dies and conical plug for the experiment

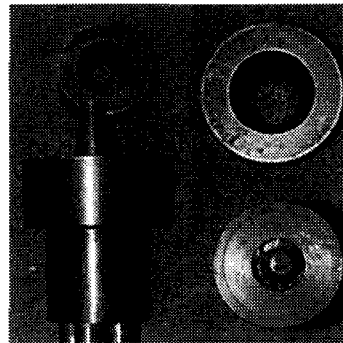


Fig. 6 The photograph of the conical dies and conical plug for the experiment

Fig. 6은 실제 실험에 사용된 원추형 다이와 원추형 프러그의 형상을 나타낸 사진으로 오른쪽 상단의 그림은 원추형 다이를 나타낸다. 또한 하단의 그림은 원추형 프러그를 가진 원추형컨테이너의 형상을 나타내고 있다.

2.2.2 평다리와 평프러그 형상

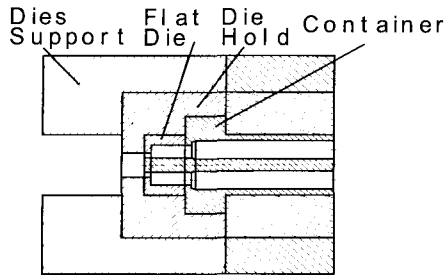


Fig. 7 The structure of chamber using the flat dies and straight mandrel for the experiment

Fig. 7은 실험에 사용된 평다리와 평프러그를 사용한 챔버의 구조의 단면을 나타내는 도면으로서, 컨테이너의 형상은 원추형 다리의 경우처럼 네 개의 같은 구멍을 가지고 있으며, 실험변수로 다리의 형상과 프러그의 형상을 평다리와 평프러그의 형태로 바꾸었다.

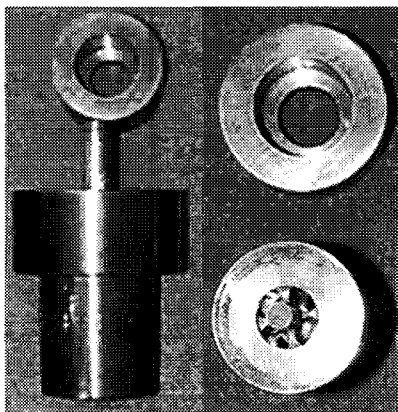


Fig. 8 The photograph of the flat dies and straight mandrel for the experiment

Fig. 8은 실험에 사용된 평 다리와 평 프러그의 형상을 나타낸 것이다. 오른쪽 상단의 그림은 평다리의 형상을 나타낸다. 오른쪽 하단의 그림은 직경의 변화가 없는 평프러그를 가진 컨테이너의 형상을 나타낸다.

2.3 실험에 의한 각각의 형상에 따른 결합력 비교

2.3.1 플라스틱인 소재를 사용한 압출제품의 접합 표면과 결합력

소재의 유동특성을 알아보기 위해 플라스틱인을 이용하여 실험한것으로 본 실험에서는 다리와 프러그의 출구지

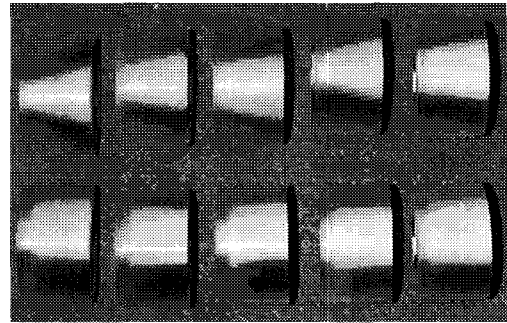


Fig. 9 The plasticine flow patterns inside dies

름이 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 접합 면의 상태를 조사하였다. 플라스틱인의 유동 특성을 시각화하기 위해 Fig. 9와 같이 아크릴을 이용하여 원추형다리와 평다리를 제작하고 접합 면을 확인하기 위해 소재의 색깔을 구분하여 컨테이너의 네 개의 구멍에 대칭적으로 흰색과 검은색의 플라스틱인을 넣고 압출 실험을 수행하였다. Fig. 9의 위쪽 그림은 원추형 다리의 형상을 나타낸 것이고 아래쪽은 평다리의 형상을 나타낸 것이다.

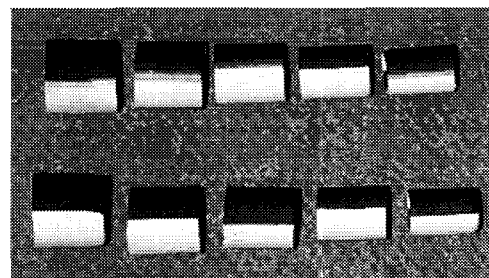


Fig. 10 The surface patterns around the welding line

이 실험에 의하여 압출한 실험결과가 Fig. 10에 나와 있으며 이것은 제품의 첫 압출 단면에서부터 40mm의 거리에 있는 부분을 절단하여 촬영한 사진이다.

Fig. 10의 그림의 상단의 제품은 원추형다리에 압출된 플라스틱인 소재의 제품이고, 하단의 제품은 평다리에 압출된 플라스틱인 소재의 제품이다. 이 제품의 표면을 살펴보면 접합선이 명확하게 나타나지 않았음을 보여준다. 이러한 현상은 Fig. 3에서 처음 큰 원형의 단면으로 부터 작은 원형의 단면으로 압축되어 원환 압축 응력이 높아지기 때문에 발생하는 접합형상으로서 접합면에 수직방향의 원환 압축 응력이 커짐으로 접합면에 기준으로 소재의 교류가 활발하여 명확한 접합선이 생기지 않은 것으로 보여진다.

반면 평다이에 의해 압출된 중공제품의 표면을 살펴보면 소재간의 접합 면이 깨끗함을 볼 수 있다. 이러한 현상은 여러개의 소재가 접합되어 압출될 때 소재 사이에 원환 압축 응력이 작용하지 않고 압출이 되었음을 의미한다. Fig. 3에서의 단면형상을 보면 원추형다이의 경우 입구에서 들어온 소재의 전부가 원환 압축 응력을 받으면서 압출 되는 반면 평다이와 직선형 멘드렐의 경우 원환 압축 응력의 작용보다는 소재가 축방향 압축 응력에 의한 출구 방향으로 평행 하게 압출 되어 접합 면에서 소재의 불규칙적인 이동이 생기지 않음을 볼 수 있다.

2.3.2 납 소재를 사용한 압출 제품의 접합 단면과 결합력

플라스티신을 사용한 실험에서는 소재의 유동 특성을 파악 할 수 있지만 접합 강도를 알아보는 힘들었다. 따라서 접합강도를 알아보기 위하여 납을 이용하여 압출실험을 시행하였다. 실험에 사용된 납은 온도의 오차를 줄이기 위하여 300℃로 1시간동안 유지하고 다이와 실험소재간의 온도가 일정하게 유지되게 한 후 압출실험을 행하였다.

압출실험 장치로는 Fig. 4에 나타낸 수직형 압출실험 장치를 사용하였으며, 컨테이너와 다이는 Fig. 6과 Fig. 8에 나타낸 컨테이너와 다이를 사용하였다.

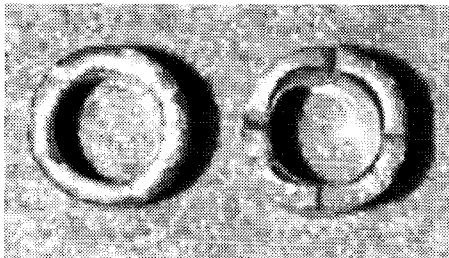


Fig. 11 The initial end section of extruded products

Fig. 11 그림의 왼쪽은 원추형다이와 원추형프러그에 의한 중공제품의 첫 단면 형상을 나타낸 것이며, 오른쪽 그림은 평다이와 평프러그를 사용하여 압출한 중공 제품의 첫 단면을 나타낸 것이다. Fig. 11을 보면 평다이와 평프러그를 사용하여 압출한 중공제품의 접합 면의 첫 단면이 갈라져 있음을 알 수 있다. 반대로 원추형다이와 원추형프러그를 사용한 중공형 제품에서는 접합 면의 간격을 눈으로 확인하기 어려울 정도로 양호한 접합 면을 얻을 수 있었다. 이러한 현상은 원추형다이와 원추형프러그를 가진 압출공정에서는 계속해서 원형 중공단면의

면적을 줄여 나가는 원환압축의 형태로 압출 되는 반면, 평다이와 평프러그를 가진 압출공정에서는 원환 압축보다는 길이방향의 압축으로 압출이 되는 출구단면 부분에서만 압력을 받아 압출 되기 때문이다.

2.3.3 납 소재를 사용한 압출 제품의 팽창확대 실험과 결합력

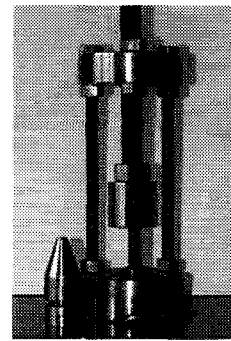


Fig. 12 The test device for the expansion of tube

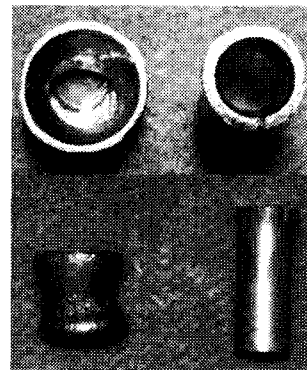


Fig. 13 The results of the expanding test by the compression into the hole using conical punch

Fig. 12는 팽창확대 실험기를 나타낸 것으로써 압출 되어진 납관 제품의 팽창확대 실험을 위하여 사용되었다. 사진에서 펀치부분은 베어링을 장착하여 제품의 확대시 비틀림 하중이 걸리지 않도록 제작하였다.

Fig. 13은 압출 초기 중공튜브 단면의 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 발생하였

다. 즉 원추형 다이스와 원추형 프러그를 사용한 중공제품에서 평다이스와 평프러그를 사용한 제품보다 결합력이 높게 나타남을 알 수 있었다

2.3.4 납 소재를 사용한 압출 제품 단면의 현미경 사진과 결합력

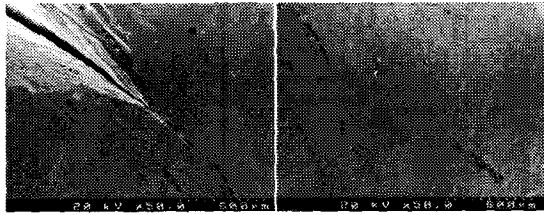


Fig. 14 The micro structure around welding line of the tube extruded by the conical die and conical plug

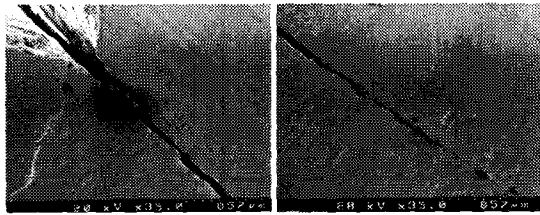


Fig. 15 The micro structure around welding line of the tube extruded by the die and straight mandrel

상기 Fig. 14와 Fig. 15는 현미경 조직 검사를 수행한 것으로 중공 압출 제품의 초기부분에서 소재가 접합되는 부분을 촬영하였다. Fig. 14의 그림은 원추형다이스에서 나온 제품이며, Fig. 15는 평다이스형다이스에서 빠져 나온 제품이다.

이 조직 검사에서 알 수 있듯이 접합 면에 나타난 크랙의 간격이 평다이스형다이스에서 빠져나온 제품에서 넓을 뿐 아니라 계속해서 그 결합면에 균열이 확인되었으나 원추형 다이스와 원추형 프러그를 사용한 제품은 그 결합면이 잘 접합되어 있음을 보여주고 있다. 이것은 소재의 결합력이 원추형다이스와 원추형 프러그를 사용한 중공제품에서 높게 나타남을 직접적으로 알 수 있게 하는 것이다.

2.4 DEFORM™-3D의 해석에 의한 결합력 비교

2.4.1 다이스 챔버내의 변형형상과 결합력

포트 홀 다이스의 챔버 형태인 원추형다이스와 원추형프러그를 사용한 챔버의 구조와 평다이스와 평프러그를 사용한 챔버의 구조의 두 종류에서 소재의 유동 특성을 파악하기 위하여 상용 소프트웨어인 DEFORM™-3D를 이용하여 소재의 접합부분을 기준으로 1/4의 형상만으로 해석하였다.

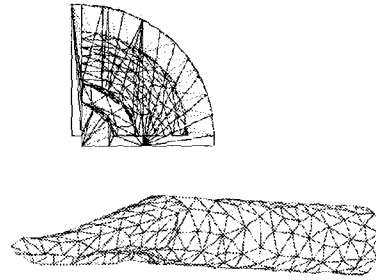


Fig. 16 The deformed shape of the conical chamber

Fig. 16은 원추형 다이스와 원추형 프러그에서의 빌렛이 압출될 때의 챔버 형상을 나타낸 것으로서 처음 원형 빌렛이 챔버 형상에 의해 1/4의 원형튜브 형상으로 형성된 후 차츰 길이 방향으로 원환 압축되면서 압출 되는 형상을 보여주고 있다.

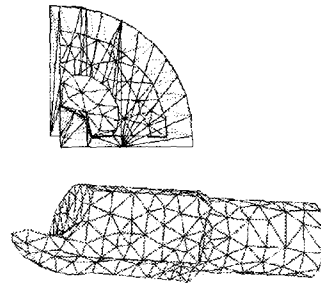


Fig. 17 The deformed shape of the flat chamber

Fig. 17은 평다이스와 평프러그에서 빌렛이 압출될때의 챔버형상을 결합 면을 기준으로 1/4만 나타낸 것으로서 빌렛이 공간을 채운 이후 압출 되는 것을 알 수 있다. 또한 소재와 다이스가 만나는 면이 직각으로 이루어져 출구 단면상에서 부분적으로 압축되는 형상을 보여주고 있다.

2.4.2 다이 챔버입구의 압력분포와 결합력

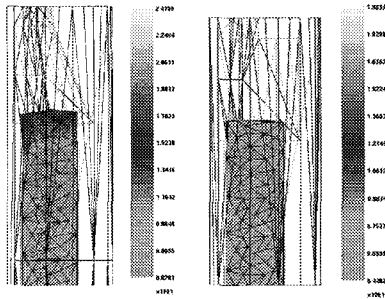


Fig. 18 The pressure distribution in biltt at the conical and flat dies entrance

Fig. 18은 각 챔버의 1/4 모델만 나타낸 것으로 압출 시작 부분에서 나타나는 압력의 크기를 나타낸 것으로써 좌측의 그림은 원추형다이스와 원추형프러그의 챔버내의 빌렛의 압력 분포를 나타내며, 우측의 그림은 평다이스와 평프러그에서 나타나는 챔버내의 빌렛의 압력 분포를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 압출 시작부터 원추형은 중공 형상을 형성하기 위해서 큰 압축하중이 작용하여 이 큰 압축하중이 네 개의 소재의 결합력을 크게하는 것을 알 수 있다.

2.4.3 다이 챔버출구에서의 변형형상과 결합력

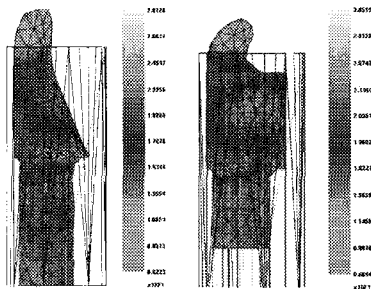


Fig. 19 The deformed shape around the welding line at the die exit

Fig. 19는 앞의 Fig. 16과 Fig. 17의 DEFORM-3D 해석 모델의 정면도로서 출구에서 압출 제품이 나올 때의 변형 상태를 나타낸다. 튜브의 1/4만 나타내었기 때문에 해석상으로 접합이 되지 못하고 접합면을 기준으로 변형상태만을 나타내고 있기 때문에 실제로는 굽어져 나오지 않고 접합되어 직선형으로 압출된다. 좌측은 원추

형다이스와 원추형프러그, 우측은 평다이스와 평프러그를 나타낸다. 각각의 그림의 왼쪽면은 중공튜브의 접합면을 나타내며 중공튜브의 1/4만 나타낸 절단면에 해당한다. 이 면에서의 변형형태를 살펴보면 오른쪽에 있는 평다이스와 평프러그를 사용한 경우의 출구에서 소재의 굽은 모양이 접합 면의 반대편으로 많이 굽어지는 것을 볼 때 이 접합면을 기준으로 수직방향으로 멀어지는 형태의 변형을 보여주고 있으므로 평다이스의 챔버의 형태가 접합에 불리함을 알 수 있다.

2.4.4 소재의 이동속도 벡터와 결합력

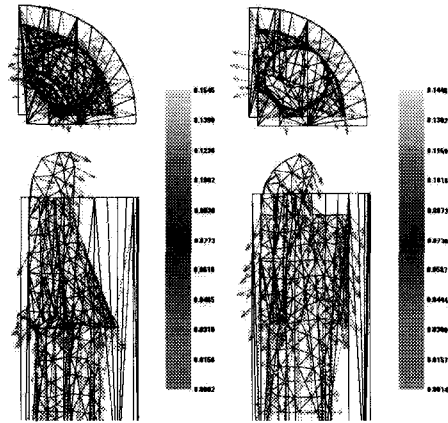


Fig. 20 The velocity distribution in the deformed zone

Fig. 20은 빌렛이 다이를 빠져나가기 시작할 때의 소재의 이동속도를 벡터 표시로 나타낸 것으로 왼쪽의 원추형다이스와 원추형프러그를 사용한 제품에서는 소재의 이동속도벡터가 입구측의 접합부에서 집중적으로 접합면 쪽으로 크게 나타났으며, 또한 출구 끝단 면에서는 평다이스형을 사용한 제품의 접합부의 반대 방향으로 변형이 많이 일어나는 것을 알 수 있었다. 따라서 접합부에서의 소재의 이동속도 벡터의 분포를 보더라도 원추형다이스와 원추형프러그를 사용한 제품에서 결합력이 높아짐을 알 수 있다.

3. 결론

네 개의 빌렛을 사용하여 압출한 중공튜브의 결합력의 실험에서 원추형 다이스와 원추형 프러그를 사용한 실험의 결과와 평다이스와 평프러그를 사용한 실험결과를 비교한 결론은 다음과 같다.

(1) 플라스틱인에 의한 실험결과로서 그 접합 면이 평다이와 펄프리그를 사용한 중공 제품의 표면보다 원추형다이와 원추형프러그를 사용한 중공제품의 표면이 접합면에서 접합선이 명확하게 나타나지 않고 불규칙한 것으로 보아 그 접합효과가 큼을 알 수 있었다.

(2) 납에 의한 실험결과로서 원추형다이와 원추형프러그를 사용한 압출 시편의 초기 접합단면에서 갈라짐이 없었으며, 팽창확대실험과 현미경사진으로 본 실험 결과로서도 그 접합력이 크게 나타났다.

(3) *DEFORMTM-3D*에 의한 해석 결과로서 접합면에서의 접합 압력이 원추형다이와 원추형프러그를 사용할 때 크게 나타났으며 접합 면에서의 변형상태와 벡터 분포를 보아도 원추형다이와 원추형프러그를 사용할 때에 접합 면에서 결합력이 커짐을 알 수 있었다.

상기 실험 및 해석 결과로 볼 때 포트 홀 다이를 사용하여 중공소재를 가공 할 때 챔버의 형태를 원추형으로 하면 그 접합 효과가 더 크게 나타남을 알 수 있었으며, 따라서 중공부재를 압출과 동시에 굽히기 위하여 한 개 이상의 빌렛을 사용해야하는 압출굽힘 가공의 경우에도 원추형 다이와 원추형 프러그로 구성되는 원추형 챔버를 사용하게 되면, 압출과 동시에 굽힐 때 빌렛의 이동속도 차이에도 불구하고 잘 접합된 굽어진 중공부재가 가공될 수 있음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

(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, "포트 홀 다이에 의한 튜브 Al 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 굽힘 속도 분포에 관한 상계해석", 한국소성학회지, Vol.7, No.2, pp. 177~185.
 (5) 진인태, 1995, "원형제품의 압출가공시 제품의 굽힘

현상에 관한 연구", 부산공업대학교 논문집, 제37집, pp.371~380.
 (6) 木内學, 陳仁泰, 新谷 賢, 1996, "壓出しT形の曲がり豫測", 塑性と加工, vol.37, No.426, pp. 711~716.
 (7) 진인태, 최재찬, 1997, "사각형 단면의 편심압출시 제품의 굽힘 현상에 관한 연구", 한국소성가공학회지, Vol.6, No.1, pp. 46~52.
 (8) 김진훈, 진인태, 1999, "편심압출굽힘가공법에 의한 사각형 단면을 가진 중공 튜브제품의 U형 굽힘가공에 관한연구", 한국소성가공학회지, Vol7, No5, pp. 496~504.
 (9) 박대운, 진인태, 2001, "다지형 압출편치의 상대이동 속도차이에 의한 금속 곡관의 열간금속 압출굽힘 가공에 관한연구", 한국소성가공학회, 2001년계학술대회 논문집, pp. 102~105.
 (10) 김민규, 진인태, 정영득, 하만경, 2001, "포트홀 다이를 이용한 중공튜브 압출제품의 다이 챔버 형상에 따른 결합력에 대한 연구", 한국소성가공학회, 2001년계학술대회 논문집, pp. 110~114.
 (11) 양재봉, 이한남, 전병희, 오수익. 1999, "Hydroforming을 위한 Tube bending에 관한 연구", 한국소성가공학회, 1999년계학술대회 논문집, pp. 35~38.
 (12) 이승희, 이한남, 전병희, 오수익. 1999, "Hydroforming을 위한 Tube의 예비 가공형 설계", 한국소성가공학회, 1999년계학술대회 논문집, pp. 39~44.
 (13) 양재봉, 전병희, 오수익, 2000, "Tube Hydroforming을 위한 굽힘 공정해석", 한국소성가공학회지, Vol9, No3, pp. 249~256.
 (14) 한수익, 박기철, 2000, "하이드로포밍용 소재의 성형성 평가 연구", 한국소성가공학회지, Vol9, No6, pp. 631~637.
 (15) 강대철, 윤석만, 전병희, 오수익, 전한수, 2000, "Weld line 위치에 따른 Hydroforming 특성에 관한 연구", 한국소성가공학회지, Vol9, No5, pp. 504~511.
 (16) 권재욱, 명노훈, 이경돈, 2000, "Hydroforming 공정 변수의 영향", 한국소성가공학회지, Vol9, No6, pp. 615~623.