

포트홀 다이를 이용한 개량된 Al7003 중공압출재의 접합압력결정

정충식* · 조형호** · 김병민***

Determination of Welding Pressure in the Porthole Die Extrusion of Improved Al7003 Hollow Section Tubes

C. S. Jeong, H. H. Jo and B. M. Kim

Abstract

Porthole die extrusion has a great advantage in the forming of hollow section tubes difficult to produce by conventional extrusion with a mandrel on the stem. Because of the complicated structure of die assembly, extrusion process as a forming of hollow section tubes has been investigated experimentally. Therefore, analytic approaches that are useful in profitable die design and in the improvement of productivity are inevitably demanded. Welding strength is affected by many parameters, which are such as extrusion ratio, extrusion speed, die shape, porthole number, bearing length, billet temperature and mandrel shape. In this paper, the parameters, which are such as billet temperature, bearing length and tube thickness, are examined. The welding pressures are examined through 3D simulation of non steady state and compared with experimental results.

Key Words : Hot extrusion, Porthole die, Welding chamber, Welding pressure, Welding strength, surface defect

1. 서 론

브릿지(brigde)를 가진 접합실(welding chamber)방식의 압출은 튜브나 중공재를 생산하기 위해 널리 쓰이고 있는 압출방식이다. 포트홀 다이 압출은 스템에 맨드렐을

가진 재래식 방법으로는 생산하기 어려운 복잡한 단면을 가진 생산품의 경우에 큰 장점을 가지고 있다. 속이 빈 단면을 가진 제품은 접합실을 두고 스파이더 다이, 포트홀 다이, 브릿지 다이 등과 같은 특수 다이를 이용하여 압출할 수 있다.

* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

** 한국생산기술연구원

*** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소

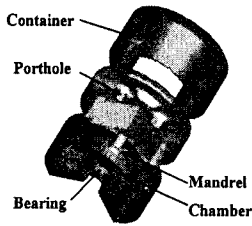


Fig. 1 Split tool assembly used in porthole die extrusion

스파이더 다이, 포트홀 다이, 브릿지 다이 등과 같은 특수 다이를 이용하여 압출할 수 있다.

포트홀 다이 압출에 있어서 가장 중요한 점은 챔버 안에서 이웃한 소재끼리 합쳐질 때 발생하는 접합면의 접합압력이다. 접합강도는 제품의 기계적 성질 및 상태에 절대적인 영향을 미치게 된다. 접합압력에 영향을 미치는 인자들은 압출비, 압출 속도, 챔버형상, 베어링 길이, 빌렛온도 등에 의해 복합적으로 영향을 받지만 한번에 모든 인자들에 대한 영향을 조사할 수는 없다. 따라서 본 연구에서는 빌렛온도, 베어링 길이와 튜브두께에 따른 금속유동의 거동을 분석하고 접합압력을 예측하여 실험결과와 비교되었다.

2. 압출공정의 FE분석

2.1 포트홀 다이 압출의 금속유동

Fig. 1은 컨테이너, 포트홀 다이, 맨드릴 및 챔버로 구성되어 있는 다이 어셈블리를 보여준다. Fig. 2는 3단계의 포트홀 다이 압출 절차를 보여주고 있다. (a)분할단계(dividing stage), (b)접합단계(welding stage), (c)성형단계(forming stage)를 각각 나타낸다.

2.2 포트홀 압출 공정의 FE 모델

접합강도는 빌렛온도, 베어링길이, 튜브두께 등에 의해 영향을 받는다. 개량된 Al7003을 사용한 포트홀 다이 압

Table 1 Condition of the extrusion process

Conditions		Values
Billet Diameter	mm	74
Bridge Height	mm	38.5
Chamber Height	mm	20
Product Thickness	mm	1.5, 1.7
Extrusion Ratio		57
Extrusion Speed	mm/s	1



(a) Divding (b) Welding (c)Forming
Fig. 2 Extrusion stages of porthole die

출은 직경 75mm를 가진 직각다이를 통해 수행되었다. FE분석과 실험에서 빌렛온도는 400, 430, 460°C, 베어링 길이는 3, 4.5, 6mm, 튜브두께는 동일한 압출비 57에 대해서 1.5, 1.7mm로 각각 선택되었다. 분석에 사용된 공정변수는 Table 1에 나타내었다.

DEFORM-3D 상용 패키지를 사용하여 해석을 수행하였고, 컨테이너와 챔버는 강체로 두었으며, 대칭성을 고려해 1/8단면 해석을 수행하였다. Table 2은 개량된 Al7003의 합금조성을 나타낸다.

Table 2 Composition of improved Al7003 alloy[wt%]

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Zr	Al
Improved	0.3	0.1	0.15	0.2	0.6	0.1	6.0	0.15	Rem.
Desing					1.0				

3. 실험 및 FE분석 결과

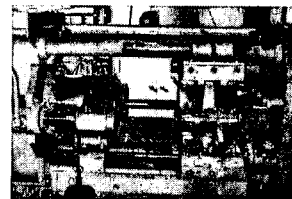


Fig. 3 Experiment apparatus for porthole die extrusion

Fig. 3는 포트홀 압출에 사용된 실험 장치도이다. 각각의 공정에 대해서 램속도는 1.0mm/s이고 Mg0.6과 1.0wt%의 개량된 Al7003합금이 사용되었다. 4개의 포트홀을 가진 직각다이를 사용하였고, 윤활제는 접합의 방해요소로 작용하기 때문에 무윤활로 압출을 수행하였다.

3.1 빌렛온도의 변화에 따른 압출하중

FE해석은 Mg1.0wt%에 따른 기계적 성질을 바탕으로 해석을 수행하였고, 압출실험은 Mg0.6과 1.0wt%에 대해 실험을 수행하였다. Fig. 4는 초기 빌렛온도가 각각 400, 430, 460°C 일 때 FE해석과 실험에서의 최대 압출하중

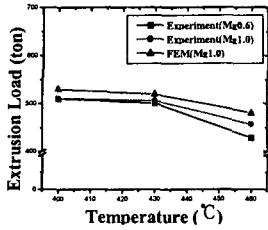


Fig. 4 Extrusion loads for billet temperature

을 나타내었다. 베어링 길이는 4.5mm, 튜브 두께는 1.7mm로 고정시켰다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 압출하중은 온도가 증가할수록 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 460°C에서는 압출하중이 갑자기 감소하였다. 460°C근방에서 빌렛의 유동응력이 400, 430°C에 비해 매우 낮음에 기인한다. 위의 결과로부터 FE결과는 실험결과와 매우 잘 일치함을 알 수 있었다. Table 3은 각각의 하중, 온도와 FE해석으로부터 얻은 접합압력을 나타내었다. 베어링 부근에서 접합이 이루어질 때 최대 접합압력(P_θ)을 평균유동응력(Y)으로 나누어 무차원화 시키면 약 4.3~5.6배에 이른다.

Table 3 Maximum extrusion loads when bearing length is 4.5mm and tube thickness is 1.7mm

Billet Temp(°C)	Load (ton)	Billet Temp(°C)	Mandrel Temp(°C)	Chamber Temp(°C)	P_θ/Y
400	530	507	414	421	4.3
430	520	515	416	423	4.7
460	480	533	419	426	5.6

3.2. 베어링 길이의 변화에 따른 압출하중

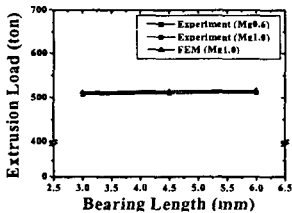


Fig. 5 Extrusion loads for bearing length

Fig. 5은 베어링 길이의 변화에 따른 실험과 FE해석의 최대 압출하중을 나타내었다. 초기 빌렛온도는 400°C, 튜브두께는 1.7mm로 고정시켰다. Fig. 5에 보는 바와 같이 베어링 길이가 증가할수록 최대 압출하중이 점차적으로

Table 4 Maximum extrusion loads when billet temperature is 400°C and tube thickness is 1.7mm

Bearing Length(mm)	Load (ton)	Billet Temp(°C)	Mandrel Temp(°C)	Chamber Temp(°C)	P_θ/Y
3	507	511	413	420	3.5
4.5	510	512	414	421	4.3
6	511	515	418	424	5.8

증가하는 경향을 보였다. Table 4는 각각의 하중, 온도와 FE해석으로부터 얻은 접합압력을 나타내었다.

3.3 튜브두께의 변화에 따른 압출하중

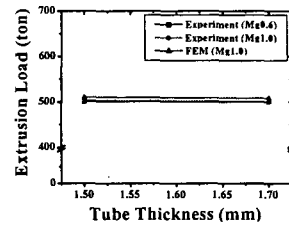


Fig. 6 Extrusion loads for tube thickness

Fig. 6에서는 튜브두께가 1.5, 1.7mm일 때 실험 및 FE해석을 통해 구한 최대압출하중을 나타내었다. 압출비를 동일하게 유지하기 위해 튜브두께가 1.5mm일 때 제품의 내외경은 각각 14.8, 17.8mm, 1.7mm일 때는 각각 12.6, 16mm로 두었고, 빌렛온도는 400°C, 베어링 길이는 4.5mm로 고정시켰다. Fig. 6에 보는 바와 같이 최대압출하중에는 커다란 차이를 나타내지는 않았다.

Table 5는 각각의 하중, 온도와 FE해석으로부터 얻은 접합압력을 나타내었다.

Table 5 Maximum extrusion loads when billet temperature is 400°C and bearing length is 1.7mm

Tube Thick (mm)	Load (ton)	Billet Temp(°C)	Mandrel Temp(°C)	Chamber Temp(°C)	P_θ/Y
1.5	510	520	414	418	4.5
1.7	508	512	414	421	4.3

3.4 압출재의 강도 시험

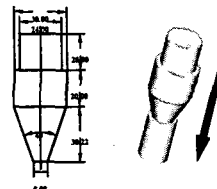


Fig. 7 Expanding test for extruded tubes

Table 6 Appearance of tubes after expanding test

Tube Thick. (mm)	Billet Temp. (°C)	Bearing Length (mm)	Extruded specimen		Expanding ratio(γ)	
			Mg0.6	Mg1.0	0.6	1.0
1.5	400	4.5			1.062	1.022
1.7	400	4.5			1.056	1.018
1.7	400	4.5			1.056	1.018
1.7	430	4.5			1.069	1.025
1.7	460	4.5			1.075	1.050
1.7	400	3			1.019	1.019
1.7	400	4.5			1.063	1.050
1.7	400	6			1.075	1.050

Fig. 7은 실험에 사용된 펀치와 형상을 나타낸다. 원추형 펀치를 크랙이 시험시편에 크랙이 발생할 때까지 압입하여 튜브의 접합상태를 조사하였다. 튜브의 접합성은 확관률 $\psi = d_{max}/d_0$ 로 평가하였다. 여기서 d_{max} 는 크랙이 발생하였을 때 시편의 외경이고 d_0 는 튜브의 초기 외경이다. Table 6에 실험에서 얻어진 확관률을 나타내었다. 빌렛온도가 증가할수록, 확관률이 점차적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 베어링 길이가 3mm일 때는 상대적으로 매우 낮은 확관율을 나타내었다. 튜브두께에 따라서는 동일한 압출비를 가지고 있기 때문에 확관율이 별 차이를 나타내지 않았다.

3.5 압출재의 표면 상태

Table 7은 각각의 공정변수들에 대해서 튜브의 표면을 나타내고 있다. 동일한 압출비를 가진 튜브두께에 대해서는 별다른 차이가 나타나지 않았다. 온도가 높아질수록 제품의 표면 상태는 더욱 나빠짐을 알 수 있었다. 빌렛온도가 400°C일 때 표면은 광택이 나고 결함이 발생하지 않았다. 430, 460°C에서는 부분적으로 길이방향으로 줄무늬가 발생하였으며 표면상태가 나빠짐을 알 수 있었다. 베어링 길이가 3mm일 때 표면결함이 나타났으며, 4.5, 6mm일 때 양호한 표면을 얻을 수 있었다. 튜브두께는 큰 영향을 미치지 않았으며, 빌렛온도가 400°C이고, 베어링 길이가 6mm인 경우에 가장 양호한 표면을 얻을 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 포트홀 다이 압출에 대한 기초적인 조사를 3차원 비정상상태 해석이 증공재 압출에 대해서 수행되었다. 압출하중, 접합압력 및 표면상태에 영향을 미치는 빌렛온도, 베어링길이와 튜브두께 등이 각각 계

Table 7 Surface states of extruded products for each condition

Tube Thick(mm)	Billet Temp(°C)	Bearing Length(mm)	Surface states
1.5	400	4.5	
1.7	400	4.5	
1.7	400	4.5	
1.7	430	4.5	
1.7	460	4.5	
1.7	400	3	
1.7	400	4.5	
1.7	400	6	

산되었다. 그 결과는 다음과 같다.

(1) 최대압출하중은 온도가 증가할수록 감소하고 베어링길이가 3~6mm 사이에서는 별다른 차이가 나타나지 않았다. Mg함유량이 1.0일 때가 0.6wt%보다 더 큰 하중을 나타냈다.

(2) FE해석에 의한 접합면의 접합압력은 빌렛온도가 460°C, 베어링길이가 6mm일 때가 가장 크다. 최대접합압력은 대략적으로 평균유동응력의 3.5~5.8배이다.

(3) 접합압력은 빌렛온도가 증가할수록 점차적으로 커진다. 베어링길이가 3mm일 때 가장 낮은 확관율이 나타났다.

(4) 빌렛온도가 제품의 표면상태에 가장 큰 영향을 미친다. 빌렛온도가 낮을수록 양호한 표면을 얻을 수 있었고, 베어링길이가 4.5, 6mm일 때 표면이 우수하다.

후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단의 우수연구센터의 지원금에 의한 것입니다.

참고 문헌

- (1) T. Murakami, J.X. Xie, and H. Takahashi., 1990, "Multi-Billet Extrusion and Load in Forming of Circular Pipe from Four Billets", Journal of the JSTP, Vol. 31, No. 359, p. 495.
- (2) T. Murakami, J.X. Xie, H. Takahashi, K. Ikeda and K.I. Takaku., 1992, "Forming of A7475 and A5056 Pipes by Hot Multi-Billet Extrusion", Journal of the JSTP. Vol. 33, p. 1045.