

4 홀 Micro Multi Cell Tube 의 압출공정 해석 및 기계적 특성 평가

이정민*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 김병민(부산대 기계공학부)

Extrusion process Analysis and Evaluation of Mechanical property for Micro Multi Cell Tube with 4 hole

J. M. Lee(Precision Mech. Eng. Dept. PNU), B. M. Kim(Mechanical Eng. Dept., PNU)

ABSTRACT

The direct extrusion with porthole die can produce condenser tube which has the competitive power in costs and qualities compared with the existing conform extrusion. In general, porthole die extrusion has a great advantage in the forming that produces the hollow sections difficult to produce by conventional extrusion with a mandrel on the stem. Especially, condenser tube manufactured by porthole die belongs to sophisticated part and demands tighter dimension tolerance and higher surface finish than any other part. In order to confirm the general of porthole die extrusion, we perform the 3D FE analysis of hot porthole extrusion in non-steady state by using DEFORM 3D and investigate a pattern of elastic deformation for porthole die through the stress analysis using ANSYS 5.5 during extrusion process.

Key Words : Micro Multi Cell Tube(컨덴서 튜브), Metal flow(소재유동), Welding pressure(접합압력)

1. 서론

냉동공조기 냉매로써 사용된 CFC 계 및 HCFC 계 냉매가 오존층파괴의 주요 원인물질로 밝혀짐에 따라 세계각국은 새로운 대체냉매(R-134a, R-404, R-410a)를 개발하여 현재 적용 중에 있으며, 이와 더불어 부품 측면에서도 열전달율, 압력손실 등의 유체특성향상과 응축효율의 극대화에 부응할 수 있는 부품설계와 소재개발이 절실하게 요구되고 있다. 특히 냉방기기용 열교환기 부품인 Micro Multi Cell Tube 경우, Multi-Cell 화 및 편평화, 핀의 미세화 등의 경량 박육 및 초소형화를 고려한 형상개량이 개발의 주된 목표가 되고 있다.

현재 Micro Multi Cell Tube 는 기존의 컨폼 압출보다 원가적, 품질적인 측면에서 경쟁력 있는 저가, 고품질의 튜브를 생산할 수 있는 포트홀 다이를 이용한 직접압출로의 전환이 모색되고 있다.

지금까지 포트홀 다이 압출공정에 대한 많은 연구가 진행되어 왔지만 대부분의 연구들은 단순단면인 원형 및 사각 중공재 제품에 대한 연구를 뿐이었다.¹⁾ 그리고 오늘날 압출산업은 제품에 대한 리드타임(Lead time)이 단축되고 소재비의 상승과 작

업환경의 악화로 인한 숙련 기술자의 부족 및 다품종 소량 생산 등의 문제점을 극복하기 위해 설계 및 제작시간 감축과 생산공정단축을 통하여 비용절감에 주력하고 있다. 따라서 압출 다이 설계 및 제작의 시행착오와 가공시간 및 제작비 등을 최소화하기 위해 이론해석을 바탕으로 컴퓨터 시뮬레이션 방법이 모색되고 있다.^{2~4)}

따라서 본 연구에서는 단면에 4 개의 홀을 가진 Micro Multi Cell Tube 에 대해 유한요소해석을 수행하여 포트홀 다이 각부(포트홀, 접합실 등)의 소재유동양상을 파악하고, 압출하중 및 접합부의 접합압력을 평가하였다. 또한 압출 중 맨드릴의 변형양상을 조사하여 맨드릴 파손 원인을 조사하였다.

2. 포트홀 다이 압출공정해석

2.1 다이 형상 및 유한요소 해석

Micro Multi Cell Tube 직접압출을 위한 해석 모델은 크게 컨테이너 바닥을 구성하고 포트홀 다이와 Backer 가 삽입되는 Lip, Micro Multi Cell Tube 를 성형하는 Porthole Die, 포트홀 다이의 압출 방향의 강도를 유지하는 Backer, 압출 다이 전체의 강도를

유지하는 Bolster 네 개로 구성된다. 그리고 하나의 빌렛에 두개의 Micro Multi Cell Tube 가 압출되는 2 홀 방식이다. Fig.1 에 유한요소해석을 위한 포트홀 다이의 3D 모델링을 나타낸 것이다.

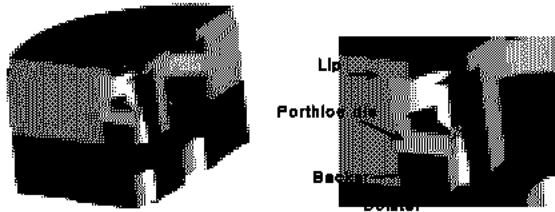


Fig. 1 3D model of die set for FE simulation of extrusion process

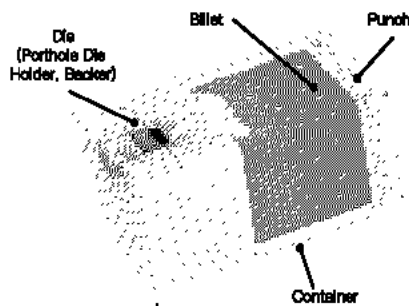


Fig. 2 Initial mesh system

Table 1 Conditions of FE simulation

Extrusion condition	Value
Material of billet	Al1100
Material of tools	AISI H13(SKD61)
Initial Temperature of tools	500 °C
Initial Temperature of billet	530 °C
Initial temperature of container	450°C
Friction factor (m)	0.6
Dimension of billet	φ 152 x h80 mm
Reduction in area (%)	99.9
Extrusion velocity (m/mm)	1250 mm/s
Room temperature (°C)	20°C
Chamber height (mm)	3.5

본 연구에서는 Micro Multi Cell Tube 직접압출 성형해석 시 대칭성을 고려하여 컨테이너를 중심으로 1/4 단면만을 취하였으며, Fig. 2 은 본 성형해석을 위한 유한요소 격자를 나타내었다.

Table. 1 은 본 해석에 적용되는 유한요소해석 조건을 나타낸 것이다. 모든 물리적인 수치들은 실제 생산현장에서 적용되고 있는 것을 사용하였다. 해석은 강소성 유한요소해석 전용 코드인 DEFORM 3D 를 사용하였다.

3. 공정해석 결과

3.1 압출하중 및 소재유동

Fig. 3 은 본 성형해석 결과로 얻은 펀치 스트로크에 대한 압출 하중을 나타낸 것이며 Fig. 4 는 각 구간에 대한 유동양상을 나타낸 것이다. (A)구간은 컨테이너 내의 빌렛과 컨테이너 사이의 Gap 을 채우는 단계로 압출하중은 완만하게 상승한다. (B)구간은 빌렛이 브리짓 부에서 두개로 나뉘어져 포트홀로 유입되는 단계이다. (C)구간은 두 개로 나뉘어진 빌렛이 챔버 바닥까지 닿는 직전까지의 과정으로 압출하중의 상승없이 일정하게 유지된다. (D)구간은 빌렛이 챔버 바닥에 닿은 이후 포트홀과 챔버 내를 완전히 채우는 단계이다. (E)구간은 그림과 같이 4 홀 단면의 빌렛이 다이 베어링을 통해 성형되어 나오는 단계로 이후 압출과정은 정상상태가 된다. 따라서 2 개의 Micro Multi Cell Tube 성형에 필요한 가공력은 220ton 임을 알 수 있다.

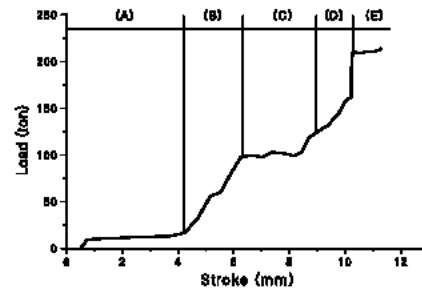


Fig. 3 Load - stroke curve

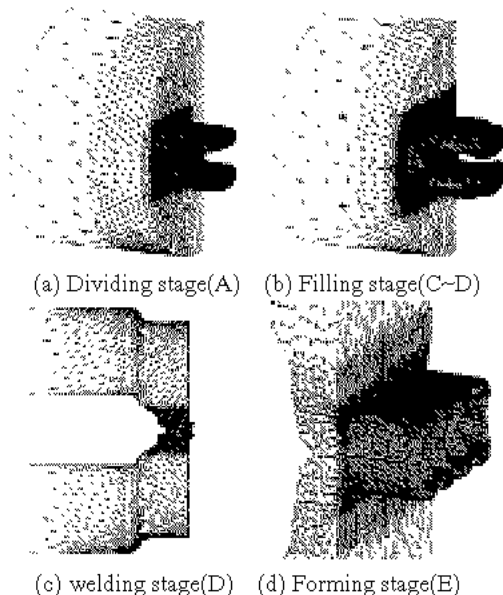


Fig. 4 Metal flow according to variations of stroke

Fig.5 는 빌렛의 변형을 속도 분포를 압출방향으로 임의의 단면을 절단하여 나타낸 것이다. 결과는 다이 내부형상이 급격히 변하는 부위에서 변형속도가 높게 나타났다. 그리고 빌렛이 챔버 바닥에 닿는 동안 포트홀 외벽에 닿지 않음으로 해서 마찰의 영향을 거의 받지 않게 된다. 이는 이전의 하중곡선에서 빌렛이 분할 되어 챔버 바닥에 닿는 동안(C 구간) 압출 하중의 상승이 크지않은 이유이다. 따라서 이와 같이 포트홀 입구보다 큰 포트홀 형상은 마찰의 감소뿐만 아니라 빌렛이 맨드릴에 닿기 전에 포트홀을 채움으로써 챔버내의 재료공급에 안정적인 영향을 줄 것으로 사료된다.

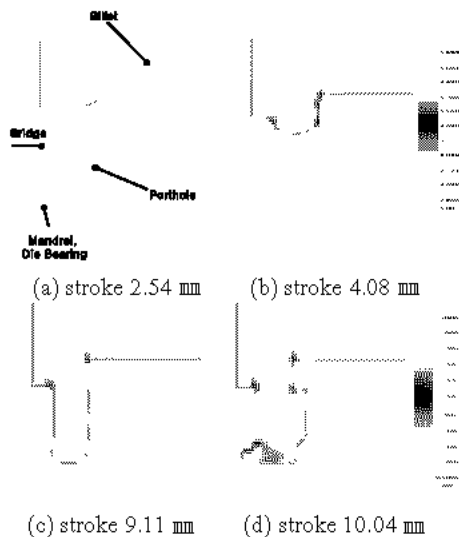


Fig. 5 Distributions of strain rate of billet according to variations of ram stroke

3.2 맨드릴 내부유동 및 접합압력

Fig.6 은 맨드릴 내의 빌렛의 충전과정을 나타내었다. 충전순서는 챔버의 바닥형상과 밀접한 관련이 있는데 Fig. 7 은 챔버 바닥면에서 본 맨드릴 충전과정을 나타낸 것이다. 본 압출 다이의 경우 반리본형상의 챔버 바닥형상으로 인해 맨드릴 중앙에서 가장 먼저 빌렛이 충전되고 치형은 충전된 빌렛의 유동을 제한시켜 맨드릴 빌렛과 밸런스를 맞추는 작용을 하는 것으로 사료된다.

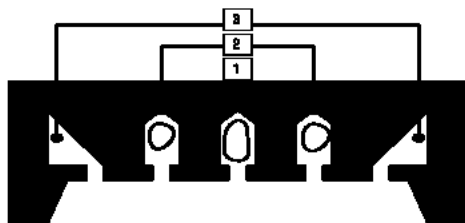


Fig. 6 Filling stage of billet in mandrel cell

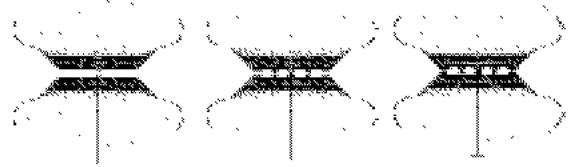


Fig. 7 Filling stage of billet according to variations of ram stroke

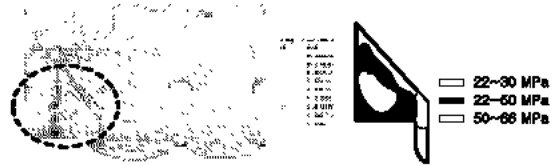


Fig. 8 Normal pressure

Fig.8 은 최종 성형단계 시 접합면의 수직압력을 나타낸 것이다. 맨드릴 양 끝 경우 최종 출구부의 접합압력은 22~30Mpa 로 나타났다. 유한요소해석에서 접합압력은 소재의 항복강도와 비교하여 판단한다.^{5~6)} Al1100 의 항복강도는 34.5Mpa 이다. 그러나 이 경우 다이 출구 부근은 빌렛이 빠져 나온 상태이므로 성형압력이 거의 작용하지 않는 부분이다. 이에 반해 같은 접합면 위치라도 다이 출구 이의 부근에서는 50~60Mpa 로 충분한 항복강도 이상을 나타내었다. 접합압력은 다이 출구부에서 가장 작고 다이 내부로 들어올수록 점점 커지는 것으로 확인되었다. 따라서 본 4 홀 Micro Multi Cell Tube 의 접합성은 양호하다고 판단된다.

4. 강도해석

4.1 맨드릴 강도해석

맨드릴은 Micro Multi Cell Tube 의 직접압출 시 치수정밀도에 가장 영향을 미치며 강도적으로 매우 취약한 부분이다. 따라서 맨드릴의 변형량 및 응력분포를 확인하기 위하여 강도해석을 Fig.9 와 같이 챔버 및 맨드릴에 빌렛이 완전히 충전된 단계에서 수행하였다. 강도해석은 Ansys 5.5 를 사용하였다.



Fig. 9 Conditions die analysis

Fig.10(a)는 맨드릴의 재료를 SKD 61 을 사용하였을 시 탄성변형을 나타낸 것이다. 최대 변형지점

은 맨드릴 중간치형 끝단 부위로 0.0028mm 이다. 이전 맨드릴 내부의 소재유동에서 예측되었듯이 전반적으로 맨드릴은 중심에서 바깥쪽으로 벌어지는 형상으로 나타났다. Fig.10(b)의 응력분포는 빌렛충전이 가장 먼저 시작되는 cell 중간 벽 형성부위에 136Mpa 로 나타났다. 맨드릴 재료를 Gti 50 으로 적용하여 강도해석을 실시한 결과를 Fig.11 에 나타내었다. 해석결과 변형량은 반으로 줄어들고 그 경향은 위와 동일하게 나타났다. 따라서 변형량이 크지 않지만 부채꼴 형상으로 벌어지는 맨드릴 형상과 파손 가능성을 고려하여 볼 때 맨드릴 재료를 초경으로 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.



Fig. 10(a) Distributions of elastic displacement



Fig. 10(b) Distributions of effective stress
Fig. 10 The results of die analysis (SKD61)



Fig. 11(a) Distributions of elastic displacement



Fig. 11(b) Distributions of effective stress
Fig. 11 The results of die analysis (Gti 50)

5. 결론

본 연구에서는 4 홀 Micro Multi Cell Tube 의 직접 압출 공정을 위한 성형 해석을 수행하여 압출하중, 소재유동, 그리고 접합압력등을 확인하였다. 또한 급형 강도해석을 수행하여 설계된 다이의 강성을 평가하여 맨드릴 파손가능성 등을 평가하였다. 이상의 연구 과정에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 4 홀 Micro Multi Cell Tube 성형에 필요한 가공력은 220ton 임을 알 수 있다.

(2) 빌렛의 변형율 속도 분포는 다이 내부형상이 급격히 변하는 부위에서 높게 나타났다. 그리고 포트홀 입구보다 큰 포트홀 형상은 마찰의 감소뿐만 아니라 빌렛이 맨드릴에 닿기 전 포트홀을 채움으로써 챔버내의 재료공급에 안정적인 영향을 줄 것으로 사료된다.

(3) 맨드릴의 충전순서는 반 리본형상의 챔버 바닥형상으로 인해 맨드릴 중앙에서 가장 먼저 빌렛이 충전되고 이 후 순차적으로 맨드릴 양 끝으로 이동한다.

(4) 강도해석 결과 맨드릴은 중심에서 바깥쪽으로 벌어지는 부채꼴 형상으로 나타났다. 그리고 맨드릴 재료는 초경으로 사용하는 것이 강도적으로 더 양호하다.

(5) 성형단계 시 접합압력은 맨드릴 양 끝단 출구 부의 경우 22~30 Mpa, 그 외 부근에서는 50~60Mpa 로 충분한 항복강도 이상을 나타내었다. 따라서 본 4 홀 Micro Multi Cell Tube 의 접합성은 양호하다고 판단된다.

참고문헌

1. K.R. Brown, M.S. Venie, R.A. Woods, "The Increasing Use of Aluminum in Automotive Applications", JOM, Vol. 47, Issue 7, pp. 20-23, 1995
2. T. Murakami, J. Xie, H. Takahashi, "Multi-Billet Extrusion and Load in Forming of Circular Pipe from Four Billet", Journal of the JSPT, Vol. 31, No. 351, pp 495-501
3. J. Xie, T. Murakami, H. Takahashi, "Influence of number and Location of Container Holes in Forming of Circular Tube by Multi-Billet Extrusion", journal of the JSPT, Vol. 31, No. 352, pp 625-631, 1990
4. T. Yoneyama, K. Takatsuka, M. Kitagawa, Y. Hatamura, "Measurement of the Contact Pressure in Aluminum Hot Extrusion", Journal of the JSPT, Vol. 36, No. 419, pp 1397-1402, 1995
5. K. Ikeda, J.X. Xie, T. Murakami, K. Kakaku, H. Takahashi, "Welding state of 7475 aluminum alloy pipes formed by hot multi-billet extrusion method", Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 43, No.2 pp 76-81, 1993
6. 이정민, 김병민, 정영득, 조훈, 조형호, "접합실 바닥형상이 컨테이너 튜브 직접압출 공정 및 급형탄성변형에 미치는 영향", 한국정밀공학회지, 제 20 권, 제 5 호, pp. 66-72, 2003.