

마그네슘합금(AZ31) 소재를 이용한 정수압압출 유한요소해석

The Analysis of Hydrostatic Extrusion for Magnesium Alloy AZ31

*김웅지¹, #윤덕재², 최익준¹, 최호준², 조종두¹

*W. J. Kim¹, #D. J. Yoon (ydj@kitech.re.kr)², I. J. Choi¹, H. J. Choi², C. D. Cho¹

¹ 인하대학교 기계공학과, 금속공학과 ² 한국생산기술원 디지털성형공정

Key words : Magnesium Alloy, Hydrostatic Extrusion, AZ31

1. 서론

최근 증가하는 환경오염 문제와 이에 따른 국제적인 환경규제의 강화와 함께 더불어 화석연료의 고갈에 따른 에너지 절약문제가 대두 되면서 유럽 및 미국의 자동차 산업에서 연료전지 및 고연비 자동차의 개발에 연구력을 집중하고 있다. 자동차 부품을 경량화시킴으로서 연비를 증가시킬 수 있으며 이에 따른 연구과정으로 마그네슘을 들 수 있겠다. 마그네슘은 비중이 1.74g/cm³으로서 알루미늄의 2/3, 철강의 1/5에 해당되며 현재 사용하고 있는 구조용 소재 중에서 가장 가벼운 재료이다. 철계 뿐만 아니라 대부분의 비철계 금속은 압연이나 압출 등의 소성가공을 거친 제품이 주조제품에 비해 월등히 많이 사용되고 있지만 마그네슘 제품에 있어서는 다이캐스팅을 포함한 주조제품의 사용이 압도적으로 많다.[1,2]

이것은 마그네슘의 기계적 특성과 소성가공의 특징을 반영한다고 말할 수 있으며 이러한 특징들은 마그네슘의 광범위한 사용을 억제하고 있다. 정수압(Hydrostatic Pressure)의 아이디어는 19세기 초에 이미 나왔으며 1893년에는 영국에서 James Robertson 에 의해 특허로 출원이 되었다. 그러나 정수압이 금속 및 다른 재료의 연성을 증가시키는 것에 대한 실험적인 증명은 아직 이루어지지 않은 상태였다. 그러한 실험적인 증명은 1949년 Bridgman 이 현재 Bridgman Seal이라고 불리는 고 압력용 sealing system을 개발하고 나서야 이루어질 수 있었다. 영국에서는 National Engineering Laboratory 에서 근무하는 Pugh에 의해 정수압 압출에 대한 체계적인 작업이 진행되어왔다. 소련연방에서는 1957년 Vereshchagin 에 의해 고압력에 대한 연구가 진행되었다. 일본의 경우에는 일찍부터 정수압이 기계적 성질에 미치는 영향의 중요성을 인식하고 Nishihara를 중심으로 활발하게 연구가 진행되어왔고 그 이후 Nishihara가 "Kobe Steel"로 옮기면서 산업적인 측면에서 많은 연구가 이루어졌다.[3]

정수압 압출의 가장 큰 특징은 시편과 압출용기 벽과의 마찰이 거의 없다는 점이다. 그래서 시편의 길이에 제한이 없다는 점 또한 일반 압출과 비교하였을 때 장점 중의 하나이다.

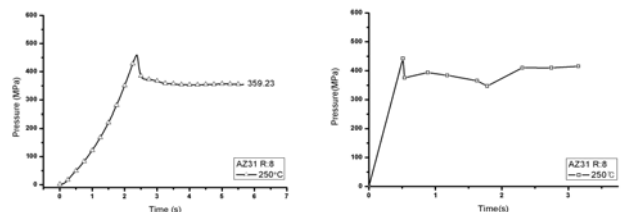
Fig.1은 정수압 압출 장치이다. 정수압 압출은 압출비, 금형각도, 재료의 유동응력뿐만 아니라 금형과 시편의 마찰력 등 여러 가지 변수에 의해 영향을 받는다. 압출 압력을 줄일 수 있는 가장 효과적인 방법은 압출온도를 증가시키는 것이지만 이는 경제적인 측면도 고려해야 하기 때문에 최적의 방법은 아니다. 일반 직접압출에 비해 낮은 마찰력 때문에 정수압 압출공정은 더 낮은 금형각도와 더 높은 압출비를 이용할 수 있다. 낮은 마찰 때문에 시편의 표면부에서의 변형이 거의 일정하므로 표면의 결함을 줄일 수 있는 장점 또한 있다.[4]

본 연구는 정수압 압출 실험 통해 얻은 결과 정수압 압출 시 금형각도와 온도에 영향을 거의 받지 않는다는 결론을 얻었

다.[5] 그 원인을 실험의 결과들로 밝힘이 어려움이 있어 유한요소해석을 적용시켰다. 유한요소 해석을 통해 얻은 유효변형률과 유효응력의 결과 값을 획득함으로써 실험에서 얻은 결과의 원인을 규명해 볼 것이다.

2. 유한요소해석

2.1 해석조건



(a) Experiment (b) Analysis
Fig.2 Comparison of the Experiment and Analysis

해석의 타당성과 신뢰성을 검증하기 위하여 실험과 해석으로 얻어진 pressure-time curve 결과를 비교하였다. Fig.2에서 보는바와 같이 오차가 ±5%로 해석의 타당성을 검증하였다. 정수압 압출해석은 전무하여 해석조건 및 소재의 물성확립에 많은 시간을 할애하였다. 정수압 압출공정의 유한요소 해석을 위하여 Fig.2와 같이 11,000개의 축대칭 요소를 사용하여 모델링 하였다. 다이는 강체로, 빌릿은 탄소성으로 가정하고 다이와 빌릿 사이의 마찰계수(μ)는 0.12로 부과하였다. 온도에 따른 AZ31의 물성을 얻기 위하여 조건에서 압축시험을 하였다. Fig.3은 압축시험을 통해 얻은 data값을 DEFORM의 material properties에 적용시킬 것이다. 정수압 압출해석을 충족시켜주기 위해서 모든 축 방향으로 pressure를 주어 정수압 압출 해석하였다. -Z축 방향으로 유속을 25mm/sec를 주어 정수압압출해석을 수행하였다. 금형 다이반각은 30°,45°,60°로 온도는 200°C,250°C,300°C의 조건들로 설정하였다. 해석은 각도를 45°로 고정하고 각각의 온도로 주었고 250°C도도 고정하고 각각의 각도로 해석하여 총 6가지의 해석결과를 가지고 비교하였다. Table 1은 해석에 적용한 조건들이다.

2.2 해석 결과

Table 1 Process parameters used in FE analysis

Analysis Tool		DEFORM-3D
Modeling		1/4 Symmetry
Billets		Elastic-plastic
Friction Coefficient[μ]		0.12
thermal conductivity		150 W/m·K
Mesh	Nodes	3000
	Elements	11000
	Surface Polygons	3800

본 해석 항목이론은 von mises 항복함수를 이용하였다. 해석 결과 금형 다이반각을 45°로 고정하고 온도별로 해석한Fig.4를 보면 유



Fig.1 Hot Hydrostatic Extrusion Machine

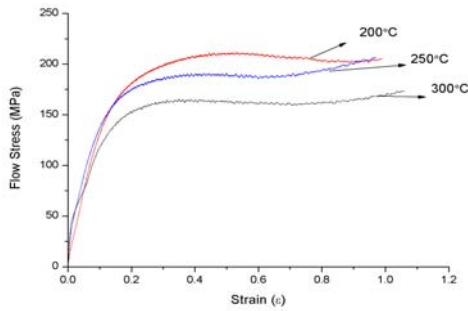


Fig.3 Stress-Strain Curve of AZ31

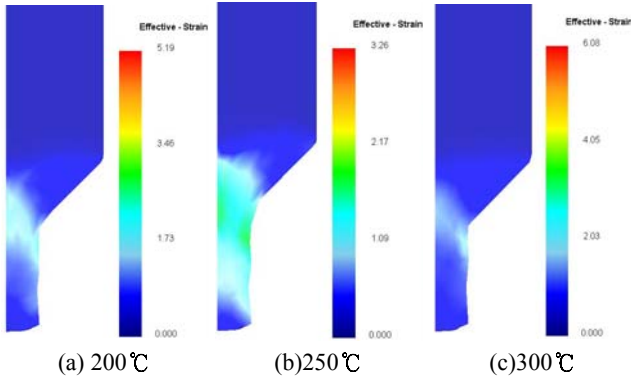


Fig.4 Effective-strain, angle α=45°

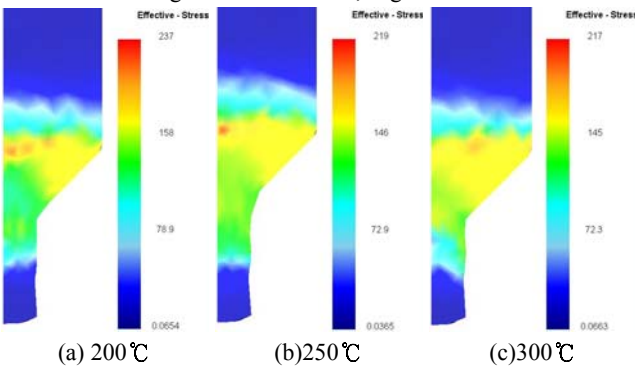


Fig.5 Effective-stress, angle α=45°

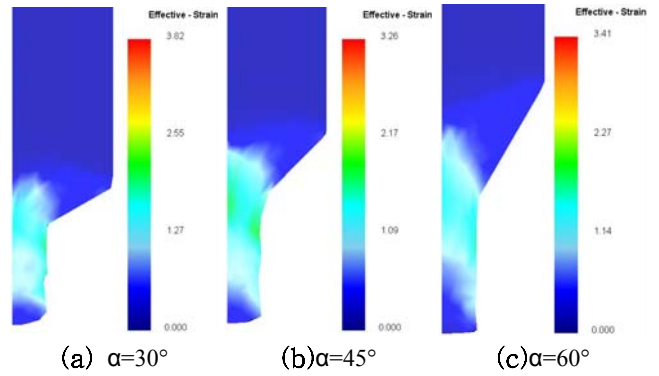


Fig.6 Effective-Strain, Temperature 250°C

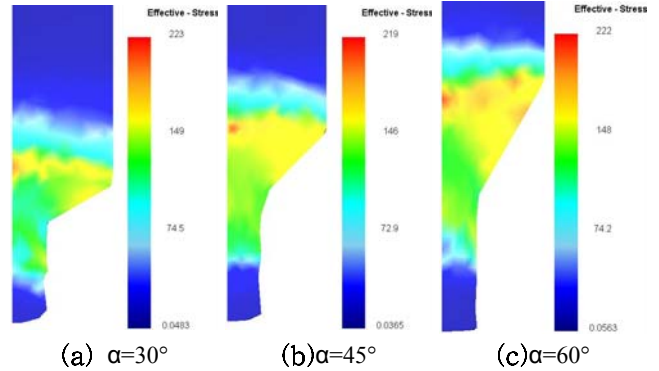


Fig.7 Effective-stress, Temperature 250°C

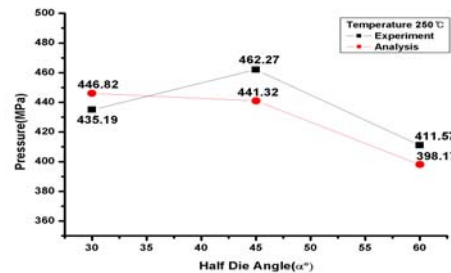


Fig.8 Comparison of the Experiment and Analysis

효변형률은 온도가 높아짐에 따라 낮아짐을 볼 수 있었다. 유효변형률의 정의된 배경은 단위부피당 가해지는 소성일(plastic work)을 식(1)처럼 간단하게 나타낼 수 있도록 하기 위한 것이다.

$$u = \sigma_{ij}' \varepsilon_{ij} = \overline{\sigma \varepsilon} \quad (1)$$

온도가 상승하면서 유효변형률이 낮아짐은 식(1)을 보아도 소성일이 낮아짐을 알 수 있다. 즉 압출시 하중이 낮아진다. Fig.5의 유효응력에서 그 결과를 확인 할 수 있다. 이전 해석과 달리 온도를 250°C로 고정 시키고 Fig.6에서와 같이 금형 다이반각을 30°, 45°, 60°로 선택하여 해석하였다. 다이반각이 높아짐에 따라 압출성형형상이 매끄럽고 일정하게 압출됨을 알 수 있다. 유효변형률 분포를 분석해보면 다이반각에 따른 영향을 거의 동일한 형태를 갖는 것을 알 수 있으며, 이는 참고문헌(5)의 실험과 같은 결과로 예측할 수 있다. 다이반각에 따른 유효응력은 큰 변화가 없어 실험을 통해 얻은 결과와 같은 경향을 볼 수 있었다.

3. 결론

정수압 압출 해석을 통해 얻은 해석결과가 금형다이반각과 온도에 따른 영향이 없음을 유효응력과 유효변형률 분포를 통해 확인하였다. Fig.8은 금형다이반각에 따른 정수압 압출 실험과 해석의 최대 하중 값이다. 해석으로 얻어진 하중 값이 실험에서 얻은 값 보다 5%정도 낮음은 해석의 오차로 볼 수 있다.

참고문헌

1. 'Magnesium and Magnesium Alloys', eds. M.M. Avedesian and +1999.
2. H. I. Kaplan, Proc. of 59th Annual World Magnesium Conference, IMA, 2002, p. 1.
3. 박훈재, 윤덕재, 나경환, 조남선, "정수압 압출기 개발", 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp.44-49,1993.
4. 김낙수, 김형중 "소성가공과 해석", 문운당, pp34~43,2002
5. 서영원, '마그네슘 합금(AZ31)의 정수압 압출 특성' 인하 대학원 논문 pp.23~25,2006.