

AZ31 합금의 온간 사각 컵 디프 드로잉 공정에서의 성형성에 관한 연구

김민철¹, 이영선¹, 권용남¹, 김상우¹, 이정환¹

A study on formability of AZ31 alloy sheets in square cup deep drawing process at temperature elevated

M. C. Kim, Y. S. Lee, Y. N. Kwon, S. W. Kim, J. H. Lee

Abstract

In this study, it is investigated that the effect of material properties such as strength coefficient and strain hardening exponent on formability of AZ31 alloy sheet in square cup deep drawing process. Mechanical properties of AZ31 alloy sheet at elevated temperature 250° C are obtained from uniaxial tensile tests and based on these results, a series of square cup deep drawing tests at the same temperature condition are carried out. Also, the possibilities of necking initiation is predicted by the FEM and FLD and compared with experimental results.

Key Words : AZ31 alloy, Strain-hardening exponent, FEA, Warm forming, Keeler' equation

1. 서 론

마그네슘 합금은 상온에서의 낮은 성형성 때문에 성형성 향상을 위해 온간에서 성형하거나 주조 공정에 의해 제품을 생산한다. 이는 마그네슘 합금이 조밀 육방 격자 구조(HCP)로 되어 있어 변형이 매우 어렵다고 잘 알려져 있다. 그러나 적정 온도로 상승시켜주므로 조밀 육방 격자구조에 슬립면에 의한 슬립계(slip system)와 쌍정(twin)에서의 변형이 원활해 지기 때문에 성형성이 향상되어 성형할 수 있다.

AZ31 합금의 최근 연구 동향을 살펴보면 온도에 따른 기계적 특성 변화[1-3], 다양한 온도에서의 성형성 연구[4-7], 그리고 AZ31의 디프 드로잉 공정에서의 유한요소해석을 통한 성형한계 예측[8-10] 등의 많은 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 AZ31 합금의 세가지 온도에서의 성형 시 발생하는 공정변수 중 가공경화지수(n)를 비교하였고, 사각 컵 디프 드로잉 실험을 수행하였다. 물론 드로잉 공정에서의 수직 이방성 계수(r)는 중요하나 등방성으로 가정하고, 유한요소 해석을 수행하였다. 해석 결과에서 Keeler's Equation 에서 영향을 미치는 가공경화지수(n)와 두께(t)를 이용하여 성형한계도를 나타내었고, 온도와 성형 속도에 대한 온간 사각 컵 디프 드로잉에서의 실제 성형 제품과 유한요소 해석결과에서 영향 인자를 비교 분석하였다.

2. 인장시험을 통한 기계적 특성 분석

AZ31 합금의 기계적 특성을 평가하기 위해 상온, 250°C, 400°C의 3가지 온도에서 인장 시험을

1. 한국기계연구원 소재성형연구센터
교신저자: 한국기계연구원, 소재성형연구센터

수행하였다. Fig.1 은 고온 인장 시험용 시편 규격을 나타내었다. 인장 시험 속도는 2.5mm/min 를 이용하고, 온도 측정을 위해 시편의 상·하 크립 부와 게이지부에 열전대를 접촉 시켜 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 내에서 온도를 유지하였으며, 250°C 에서의 안정화 시간은 약 30 분간, 400°C 에서는 약 40 분이 소요되었다.

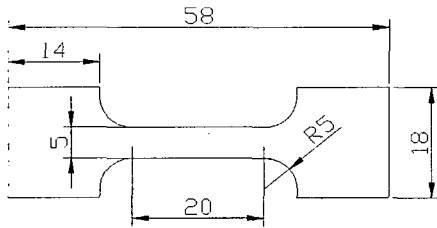


Fig. 1 Shape and dimension of tensile specimen

상온 인장과 고온 인장 시험을 수행한 결과 항복응력, 인장응력 값은 온도가 상승함에 따라 응력값은 낮아지고 연신율은 증가되었으며, 유동응력식 Swift's Equation 을 이용하여 강도 계수 (K), 가공경화지수(n) 등을 구할 수 있었다. Fig.2(a)는 각각의 온도에 대한 강성계수와 Fig.2(b)가공경화지수를 나타내었다.

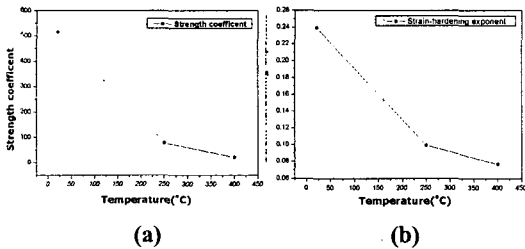


Fig.2 Strength coefficient and strain-hardening coefficient to variable temperature

온도에 관계없이 강도계수와 가공경화지수는 0° 방향이 가장 높게 나타났으며, 250°C 의 경우 방향성에 따라 0°에서는 약 0.09, 45°는 약 0.05, 90°에서는 0.07 로 나타났다. 강도 계수와 가공경화지수는 반비례하며, 그러나 각 온도에 대한 강성계수와 가공경화지수는 비례적인 관계임을 확인할 수 있었다.

3. 사각 컵 디프 드로잉 공정에서의 성형성

3.1 실험 장치 및 가열방법

AZ31 합금의 온간 사각 컵 디프 드로잉 성형을 위해 Tinius Olzen 사의 200 톤 유압 프레스를 사용하였다. 온간 성형을 위해 금형은 급속 가열이 가능한 할로젠 가열로를 이용하여 약 4 시간의 승온과 냉각을 반복하여 금형 내부까지 균일하게 가열하였다. Fig.3 은 온간 사각컵 디프 드로잉 금형도와 할로젠 가열로를 간략하게 나타내고 있다.

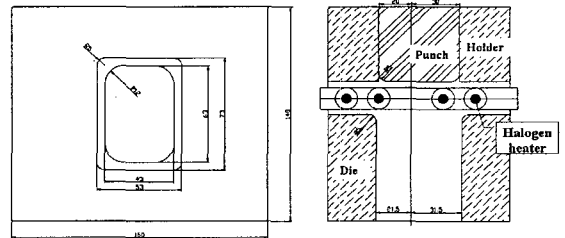


Fig. 3 Tool set and dimension for square cup deep drawing of AZ31 alloy sheet

3.2 실험 조건 및 성형

실험에 사용 된 소재는 두께 1.5mm, 크기(가로 x 세로 : 60mmx80mm)로서 온간에서의 디프 드로잉 성형에서의 공정 변수를 소재 가열 온도, 가열 유지 시간, 성형 속도에 초점을 두었고, Table.1 에 성형 조건을 종류 별로 나타내었다. 실험 시 윤활은 고려하지 않았다.

Table 1 Experimental condition for square cup deep drawing process in warm temperature

	Temperature (°C) Error range ($\pm 5^{\circ}\text{C}$)	Heating Time (Hr)	Tool speed (mm/min)
Punch	110	Constant	10
Holder	110		
Die	110		
Blank	250	0.5	50
	250	1	

Fig.3.은 온간 디프 드로잉 성형 시 조건에 따른 결과를 나타내었으며, 최대성형 높이는 15mm 이며, (a)의 경우 Table1 에서와 같이 금형 온도는 일정하게 유지되고 소재 가열 온도는 250°C/0.5hr , 성형속도 20mm/min 로 성형하였다. (b)의 경우 금형 온도는 동일하고 소재 가열온도는 250°C/1hr, 성형속도 50mm/min, (c)는 동일한 금형 온도에서 가열 온도 250°C/1hr, 성형속도 20mm/min 로 성형한 결과이다.

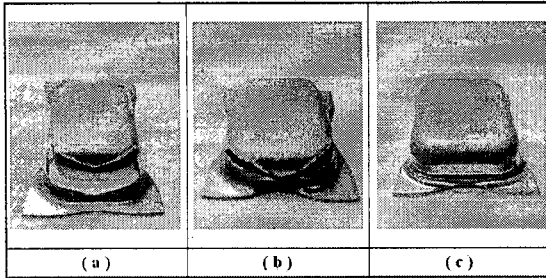


Fig.3 Effects according to the forming temperature and tool speed and heat test time

4. 유한요소해석

온간에서의 사각 컵 디프 드로잉 해석은 LS-Dyna 970 을, 전처리하는 Hyper Mesh 를 이용하였다. 유한요소해석에 사용된 물성치는 인장곡선에서 나온 항복점 이후에서부터 인장 강도까지의 값을 사용하였고, 이방성은 무시 하였다. Table2 에서는 해석에 사용된 조건을 나타내었고, Fig.4 에는 사각 컵 드로잉의 유한요소 모델을 나타내었다.

Table 2 Simulation condition for FE analysis

Element size	1mm
Element type	4-node-shell
Total Element	6177
Coulomb friction coefficient	0.125
Integral point	5

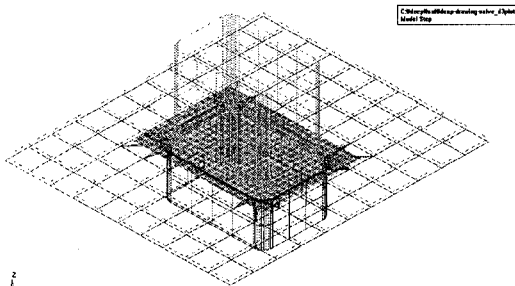


Fig.4 Model of square cup deep drawing for FEA

Fig.6 은 유한요소해석의 결과를 가공경화지수와 두께에 따른 변수에 따른 Keeler's equation 에 의하여 FLD 곡선에 나타내었고, FLD 결과 성형

시 안정 영역으로 나타났다.

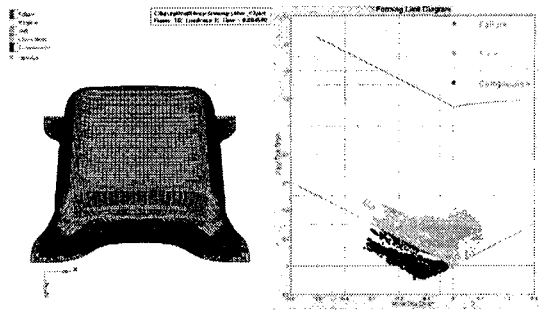


Fig. 6 F.L.D curve of AZ31 sheet by Keeler's equation

그러나 실제 성형에 있어서는 사각 디프 드로잉 컵 모서리 부분(A,B 부)이 파단이 나타나는 것으로 나타났다.(Fig.7) 이는 AZ31 합금의 성형 시 실제 성형속도와 인장시험에서의 변형률 속도의 영향이 지배적임을 보여주고 있으며, 또한 온도, 저온 그리고 3 축응력 상태의 취성 파괴가 나타나는 것을 보여 주고 있다.



Fig.7 Experimental failure obtained from square cup deep drawing process

이는 AZ31 합금의 성형 시 1 축응력 상태 뿐만 아니라 2 축 이상의 다축 변형에서의 변형 상태까지도 고려해야 한다는 것을 보여 준다. 그러나 유한요소해석 시 변형률 속도를 고려 하지 않을 경우에는 두께에 대한 감소율 분포가 더욱 정확한 해석값을 가짐을 알 수 있었으며, Fig.8 에는 두께에 대한 감소율의 실험과 해석 결과를 나타내고 있다. 해석 결과와 실험 결과를 기준으로 파단에 측이 가능한 두께 감소율은 12~12%임을 알 수 있었다.

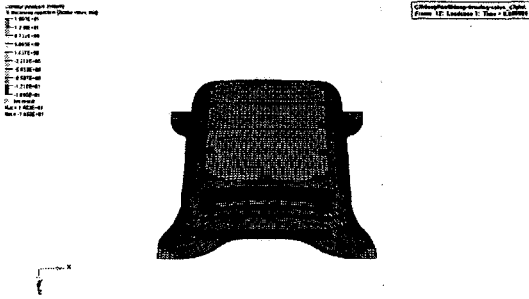


Fig. 8 FE analysis and experimental result of thickness reduction (%)

4. 결 론

AZ31 합금의 사각 컵 디프 드로잉에서의 성형성에 영향을 미치는 인자를 찾기 위하여 세가지 온도에서의 인장 시험과 세가지 온도에서의 사각 컵 디프 드로잉 실험을 하였다. 또한 이를 검증하기 위해 유한 요소 해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) AZ31 합금의 인장 시험에서 Swift' Equation 을 이용한 결과 강도 계수(K)는 상온에서 515MPa, 250°C 에서 약 80MPa 그리고 400°C 에서는 약 21MPa 의 값을 가졌다. 또한 온도에 따라 강도계수와 가공경화지수는 반비례하게 나타나고, 방향성에 따라 압연방향의 값이 가장 높게 나왔으며, 0° 방향의 성형성이 가장 좋은 것으로 나타났다.

(2) 유한 요소 해석에서의 Keeler' Equation 을 이용한 성형 한계도를 작성하였고, 이를 실제 성형체품과 비교한 결과 AZ31 합금에 있어서 성형시 변형률 속도의 영향에 의한 차이가 나타났으며, 실험에서는 취성파괴가 나타남을 확인 할 수 있었다.

후 기

본 연구는 기본연구사업으로 진행된 결과로서 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

- [1] Shyong Lee, Yung-Hung Chen, Jian-Yi Wang, 2002, "Isothermal sheet formability of a magnesium alloy AZ31 and AZ61." Journal of Materials Processing Technology Vol.124, pp. 19~24
- [2] Fuh-Kuo Chen, Tyng-Bin Huang 2003, "Formability of stamping magnesium-alloy AZ31 sheets." Journal of Materials Processing Technology Vol.142, pp. 643~647.
- [3] 이용길, 김종호, 이종섭 2003, "마그네슘 합금판재의 온간 디프드로잉성에 관한 연구." 한국소성가공학회지, 춘계학술대회 pp. 117~120
- [4] K. Iwanaga, H. Tashiro, H. Okamoto, K. Shimizu, 2004, "Improvement of formability from room temperature to warm temperature in AZ-31 magnesium alloy." Journal of Materials Processing Technology
- [5] Fuh-Kuo Chen, Tyng-Bin Huang, Chih-KunChang, 2003, "Deep drawing of square cups with magnesium alloy AZ31 sheet." International Journal of Machine Tools & Manufacture Vol. 43, pp. 1553~1559
- [6] 김민철, 이영선, 권용남, 이정환, 2004, "AZ31 합금의 온간 디프 드로잉에 관한 연구" 한국소성가공학회지, 춘계학술대회 pp. 47~52
- [7] 김민철, 이영선, 권용남, 이정환, 2004, "AZ31 합금의 온간 디프 드로잉에 관한 연구" 한국소성가공학회지, 추계학술대회 pp. 175~179
- [8] H. Takuda, T.Yoshii, N.Hatta, 1999, "Finite-element analysis of the formability of a magnesium-based alloy AZ31 sheet." Journal of Materials Processing Technology Vol.89-90, pp. 135~140.
- [9] 김민철, 이영선, 권용남, 이정환, 2004, "판재성형품의 탄성회복예측 정밀도 향상을 위한 모델 연구" 한국소성가공학회지, 춘계학술대회 pp. 47~52