

AZ31 합금 성형에서의 열전달을 고려한 유한요소해석

김민철¹, 이영선¹, 권용남¹, 이정환¹

Finite element analysis considering heat transfer in sheet metal forming of AZ31

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

Abstract

In this work, the influences of tool temperature on the formability of AZ31 sheet material in warm deep drawing processes of square cup were investigated. Deep drawing tests under different tool temperatures for magnesium alloy sheet at elevated temperature 250 °C, where AZ31 sheet shows a good formability, and FE analyses were carried out. The successfully formed part without any defects was obtained when temperature of tool was over 100 °C while the fracture was occurred at the corner of the square cup below 100 °C. It is shown that lower temperature of tool than that of magnesium sheet causes the temperature drop of the material by heat transfer and thus interrupts the dynamic recrystallization of it. Therefore, in order to obtain successful part of magnesium alloys, it is necessary that the tool temperature is limited to the same or slightly lower temperature than sheet material.

Key Words : AZ31 sheet, Warm Deep Drawing, Heat Transfer, Formability

1. 서 론

최근에 마그네슘 판재의 연구가 자동차패널, 휴대용 케이스 등의 휴대가 편리한 제품에 적용이 활발히 진행되고 있다. 마그네슘 판재가 가지는 특성 중 경량이며, 재료 회수율이 높은 특성을 가지고 있어 산업에서나 휴대용 생활용품에서의 이상적인 소재로 부각되고 있다. 그러나 마그네슘 합금은 조밀 육방 격자 구조(HCP)로서 상온에서의 성형이 매우 어려우므로 효과적으로 성형성을 향상시키기 위해서 적절한 성형온도가 필요로 하고 있다. 이러한 난성형 소재인 AZ31 마그네슘 판재의 상온에서의 성형성 연구[1], 온도에 따른 기계적 특성 변화[5], 그리고 AZ31의 디프드로잉공정에서의 유한요소해석을 통한 성형한계 예측[6-7] 고온에서의 스프링백 영향 연구[9]를

하였고, 250°C 이상에서의 AZ31 합금에서의 고온 변형기구에 대한 연구[11-12]가 진행되고 있다. AZ31 합금을 온간에서 성형하기 위한 장치들 또한 매우 복잡하며, 이를 보수 유지 시키기 위한 비용은 대량 생산의 장애요인으로 작용한다. 마그네슘판재 성형은 공정 직전의 온도 변화에 따라 성형한계의 영향을 미치는 경우가 많다. 여기서 온도 변화라 함은 성형 초기의 소재의 온도, 다이셋의 온도, 그리고 성형 도중에 전달되는 온도의 영향을 말한다. 상온 상태에서의 마그네슘 합금 성형은 곤란하기 때문에 온간 성형법이 많이 사용된다. 온간 성형법에 따른 제품은 고기능 복잡한 형상에 따라 고난의도의 프레스 성형이 고난의도의 프레스 성형이 요구되고 있고, 이에 따른 고가의 장비가 요구되며 금형과 소재의 예열의 과정에서 많은 시간을 소요하게 된다. 따라서 본 연구에서는 일정한 온도 범위에서의 가공

1. 한국기계연구원

조건에 따른 최적의 성형 조건을 도출하고 상온에서의 성형성이 좋지 못한 마그네슘 합금을 이용한 실제 공정에서의 응용을 위해 온간 성형에 대한 실험적인 연구와 유한요소법을 이용하여 고온에서의 성형 시 성형성에 미치는 금형과 소재에 대하여 열전달에 따른 성형성에서의 영향을 분석하고자 한다.

2. 실험

2.1 기계적 특성 분석

AZ31 합금의 기계적 특성을 분석하기 위하여 두께 0.8mm의 소재에 대해 이방성을 고려하여 압연방향에 대해 압연 방향(0°), 압연방향에 수직방향(90°), 그리고 45° 방향의 시편을 이용하여 상온과 250°C 에서의 인장 시험을 수행하였다. 또한 관재에서 가지는 이방성 계수를 측정하기 위하여 ASTM E517에 의해 측정하였다. 여기서 AZ31 합금에서의 연신율이 많이 떨어졌기 때문에 10%에서 측정하였다. Fig.1에 상온과 250°C 에서의 인장 곡선을 나타내었다.

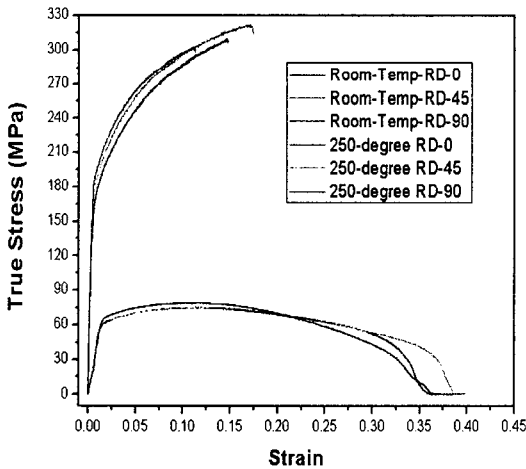


Fig. 1 Tensile curves at each Temperature

2.2 온간에서의 디프 드로잉 실험

AZ31 합금의 성형성에 영향을 미치는 인자들 중 소재가 성형 과정에서의 온도 변화에 따른 성형성이 상이할 것으로 예상하고 Die, Punch, Blank, Striper 각각에 대하여 다른 온도 조건을 가지고 6 가지 조건에서의 성형성 실험을 수행하였다. Fig.2는 실험에 사용된 사각 디프 드로잉 금형을 나타낸 것이며, 금형에는 온도를 증가시킬 수

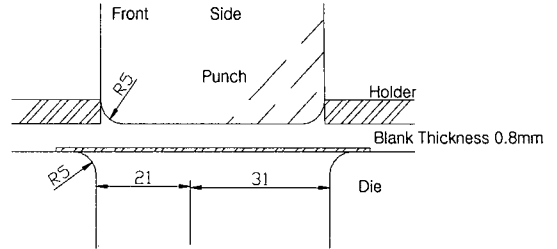


Fig. 2 Schematic diagram of die for square cup deep drawing

있는 카트리지 히터를 장착 하였다.

Table.1은 6 가지의 성형 조건을 나타내었다. Die, Punch, Blank, Striper의 각각의 온도 조건을 나타내었다. Die, Punch, Striper의 예열을 위하여 가스 토치와 카트리지 히터를 이용하여 예열하고, 소재는 250°C 로 10분간 예열 하였다.

Table 1 Experiments of formability at variable temperature condition in square cup deep drawing($^\circ\text{C}$)

Type	Punch	Die	Holder	Blank
1	70	50	60	250
2	60	40	70	Room
3	90	85	90	250
4	90	85	90	250
5	100	100	100	250
6	110	100	105	250

3. 유한 요소 해석

AZ31 합금에서의 성형 시 발생하는 온도의 영향을 분석하기 위하여 DEFORM-3D를 이용하였고, 온도 분포를 확인하기 위해 상온 다이셋에서의 디프 드로잉해석과 다이셋을 100°C 까지 상승시켰을 때의 성형 공정을 수행하였다. 두 가지의 성형 공정 해석 시 크랙이 발생하는 부위의 온도는 약 60° 이상의 온도 차를 보였고, 스트레인 변화는 상온의 금형에서는 0.343으로 금형 온도 100°C 에서는 0.243의 스트레인을 나타내었다. Table.2는 성형 조건을 나타내었고, Fig.3는 사각 디프 드로잉해석을 위한 유한 요소 해석 모델을 나타내었다.

Table 2 Condition for FE analysis of Formability

Stress-strain curve	Swift' equation
Young' s modulus	40000
Sheet thickness	0.8
Coulomb coefficient of Friction	0.2
Thermal conductivity	0.9
Heat capacity	1

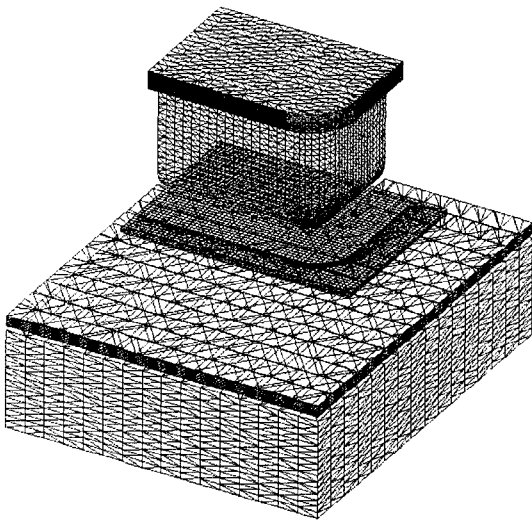
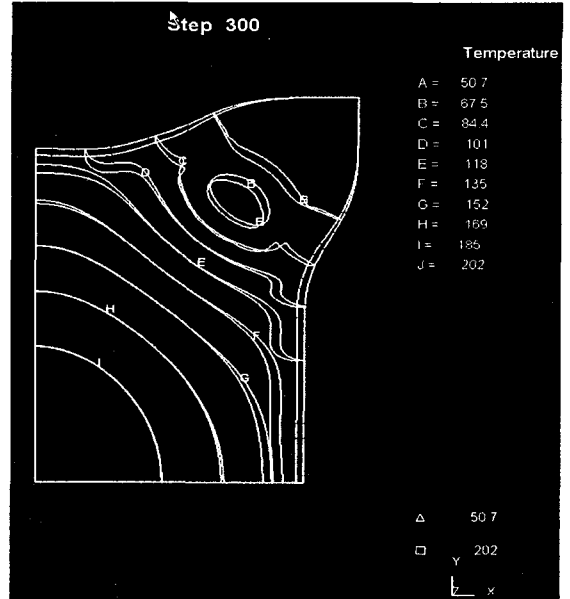


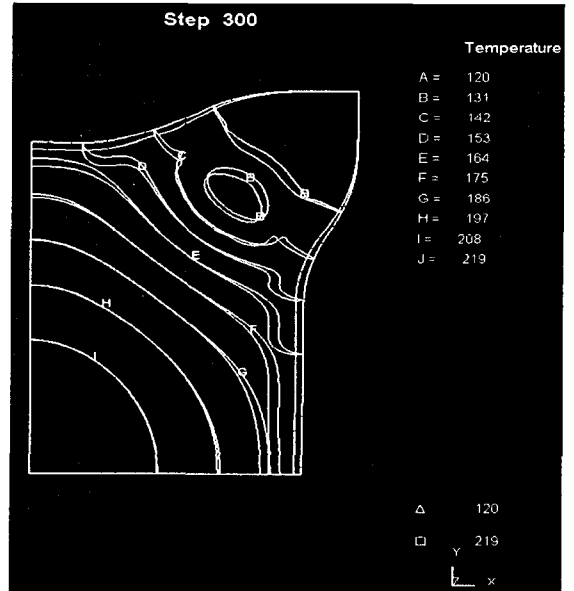
Fig. 3 Computer deformed configuration of sheet by FE analysis for square cup deep drawing

4. 고찰

AZ31 합금에서의 성형성에 영향을 미치는 인자들 중 다이셋의 온도 변화에 따라 크랙 발생의 유무와 발생 부위가 다른 것으로 보아 크랙의 발생 기구가 다를 것으로 예측(Fig.6)되며, Fig.7은 250°C의 인장 시험편의 크랙 부위와 그 주위의 미세조직을 나타내었다. 250°C에서의 인장 시험편에서 클립부(Fig.7(a))와 크랙 발생이 없는 부위(중간부)와 크랙 발생이 일어나는 부위(파단부)를 살펴 보면 파단부에는 결정립의 동적 재결정이 발생함과 조직이 조대해 짐을 알 수 있고, 크랙이 나지 않은 부위(중간부)는 동적 재결정의 활발 해짐을 확인 할 수 있었다. 이는 일정 온도 이상에서 동적 재결정이 유리하게 작용됨을 알 수 있다.



(a) Die with Room Temperature

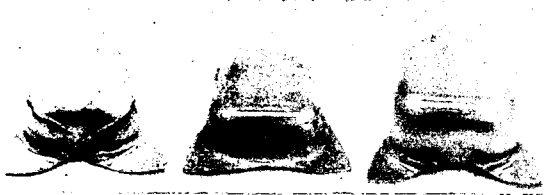


(b) Die with Temperature 100°C

Fig. 5 A temperature distribution of the materials which the forming is happened

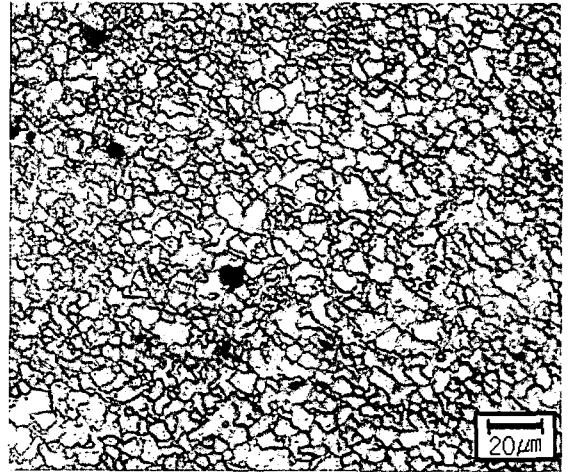
Fig.6은 다이셋 각각의 온도에 따른 결과를 나타내었다. (a)와(b)에 나타나 듯이 다이셋의 온도가 100°C 이하의 경우 성형 시 크랙이 발생하

였고, (c)의 경우 100°C 이상의 경우 결함 없는 성형품을 얻을 수 있었다.



(a)Under at 100°C (b)Under at 100°C (c)Over at 100°C

Fig. 6 Formability according to the temperature of the die set which the forming is happened



(c) Middle part

Fig. 7 Microstructure of Tensile specimen at 250°C

5. 결론 및 향후 계획

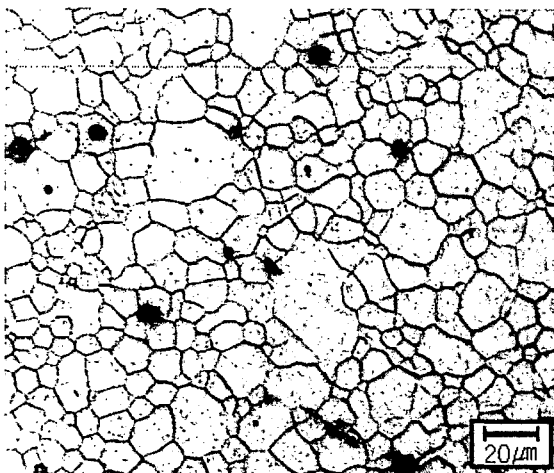
본 연구는 AZ31 합금에서의 낮은 성형성을 향상시키기 위해 온간 사각형 디프 드로잉에서 온도가 성형에 미치는 영향을 실험과 해석을 수행한 결과, AZ31 합금의 경우 적정온도에서 주변 온도의 영향으로 성형성이 향상되었다. 이는 성형 동안 발생하는 금형과의 열전달이 과도하게 되면 결국 소재의 성형온도가 저하되는 결과를 초래하게 되어 성형이 곤란하게 된다. 또한 높은 성형성을 얻기 위해서 소재는 동적 재결정을 발생하기 쉬운 250°C 이상 되어야 하고 주변온도가 100°C 이상 일 경우는 소재의 성형성에 영향을 미치는 정도를 온도변화가 발생되지 않는 범위 내에서 성형되어야 하며, AZ31 합금의 경우 고온 변형 기구에 대하여 온도가 미치는 영향에 대하여 연구가 진행 되어져야 한다.

후 기

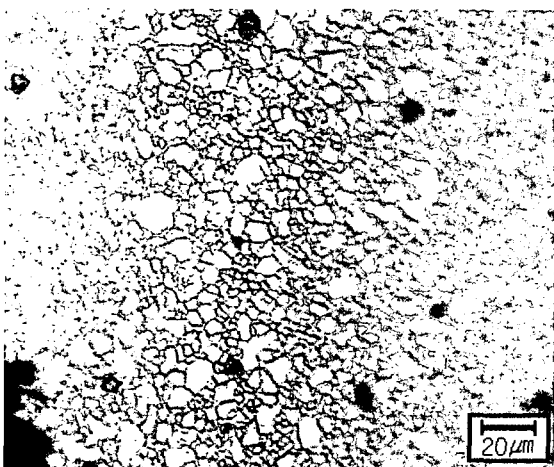
본 연구는 “한국기계연구원 기본 연구 사업”으로 진행된 결과로서 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] H. Takuda, T.Yoshii, N.Hatta, 1999, "Finite-element analysis of the formability of a magnesium-based



(a) Grip part



(b) Gauge part

- alloy AZ31 sheet." Journal of Materials Processing Technology Vol.89-90, pp. 135~140.
- [2] Tien-Chan Chang, Jian-Yi Wang, Chia-Ming O, Shyong Lee, 2003, "Grain refining of magnesium alloy AZ31 by rolling," Journal of Materials Processing Technology Vol.140, pp. 588~591
- [3] 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.
- [4] 이용길, 김종호, 이종섭 2003, "마그네슘 합금판재의 온간 디프드로잉성에 관한 연구." 한국소성가공학회지, 춘계학술대회 pp. 117~120.
- [5] 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
- [6] 김진무, 1999, "정사각용기의 성형시 블랭크홀더력에 관한 연구", 한국소성가공학회지, 춘계학술대회 pp. 34~39.
- [7] 김영석, 임성언, 손현성, 한수식, 1999, "블랭크홀딩력 제어에 의한 스탬핑 가공성 향상 기술" 한국소성가공학회지, 제 8 권, 제 3 호, pp. 269~275.
- [8] Fuh-Kuo Chen, Tyng-Bin Huang 2003, "Formability of stamping magnesium-alloy AZ31 sheets." Journal of Materials Processing Technology Vol.142, pp. 643~647.
- [9] 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.
- [10] 김민철, 이영선, 권용남, 이정환, 2004, "AZ31 합금의 온간 디프드로잉에 관한 연구" 한국소성가공학회지, 춘계학술대회 pp. 175~179
- [11] 이병호, 신광선, 이종수 : 대한금속.재료학회지, 42, 9, 719 (2004)
- [12] 이영선, 권용남, 이정환, 2004, "AZ31 합금의 온간 디프드로잉에 관한 연구" 재료강도 심포지엄, 춘계학술