한국소성가공학회 2004년도 추계학술대회 논문집 pp.175~179

AZ31 합금의 온간 디프 드로잉에 관한 연구

김민철* · 이영선* · 권용남* · 이정환*

Deep drawing of AZ31 alloy sheet in the warm forming temperature

M. C. KIM, Y. S. LEE, Y. N. KWON and J. H. LEE

Abstract

Since the formability of AZ31 magnesium alloy is not good in room temperature, it is known that high temperature forming is advantageous. However, many studies are necessary to find the proper forming temperature for Mg alloy. In this study, experimental and FEM analysis are performed to investigate the forming temperature for AZ31 sheet. The deep drawing process of square cup is used in forming experiment and FEA. The investigations are performed in three forming temperature, room temperature, 250 °C and 400 °C. The square cup is well formed in 250 °C forming temperature, on the other hand, the crack and failure is presented in corner section in room and 250 °C forming temperature. The main cause is investigated as the effect of hardening range by the experimental and FEM results. .

Key Words : Magnesium Alloy AZ31, Square Deep Drawing, Finite Element Method, Warm Forming

1. 서 론

마그네슘 합금은 휴대폰 케이스, 노트북 케이스, 항공 우주용 부품과 같은 가볍고 강도가 우수하며 재료의 회수율이 높을 뿐만 아니라 전자파 차폐성이 요구되고, 이동이 편리한 다양한 제품에 사용 되고 있다. 이러한 마그네슘 합금은 상온에서는 조밀 육방 격자 구조(HCP)를 지니고 있어 성형이 어려워 고온에서 성형을 하고 있다. 마그네슘합금은 온도가 상승함으로써 격자구조에 영향을 받으면서 슬립계(slip system)와 쌍정(twin)에서의 변형이 원활해 지기 때문에 성형성이 향상된다. 최근에는 난성형 소재인 AZ31 마그네슘 판재의 상온에서의 성형성 연구[1], 온도에 따른 기계적 특성 변화[2], 다양한 온도에서의 성형성 연구[3-5], 디프 드로잉에서의 블랭크 홀딩력에 의한 영향 연구[6-7], 그리고 AZ31 의 디프 드로잉공정에서의 유한요소해석을 통한 성형한계예측[8]과 고온에서의 스프링백 영향 연구[9]를 하였고, 그 외에도 많은 연구가 진행 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 상온에서의 성형성이 좋지 못한 마그네슘 합금을 이용한 실제 공정에서의 응용을 위해 온간 성형에 대한 실험적인 연구와 유한요소법을 이용한 성형성 예측과 고온에서의 스프링백 현상을 분석하였다.

2. 기계적 특성 및 디프 드로잉 실험

2.1 기계적 특성과 실험

실험에 사용 된 소재는 두께 1mm 의 AZ31 마그네슘 합금으로 압연 판재의 기계적 특성을 파악

* 한국기계연구원 공정연구부

하기 위하여 압연 방향(0^0), 압연방향에 수직방향(90^0), 그리고 45 을 이용하여 상온에서의 인장 시험과 성형성 평가를 위한 250°C, 400°C 의 온도에서 고온 인장 실험을 수행하였다. 온도에 따른 기계적 특성을 평균값으로 나타내면 Table 1 과 같다.

Table 1 Mechanical properties

Temperature(°C)	Y.S (MPa)	T.S (MPa)	K	n
Room Temp	183	268	503	0.243
250°C	129	157	288	0.258
400°C	34	38	42	0.206

2.2 디프 드로잉 실험

드로잉 실험을 위해 사용된 프레스는 200 톤 유압 프레스를 사용하였다. 다양한 온도에서의 성형을 위하여 다이, 펀치 그리고 블랭크 홀더의 온도를 증가 시킬 수 있는 카트리지 히터를 설치하였다. 사각 디프 드로잉 실험에 사용된 금형은 Fig. 1 과 같다.

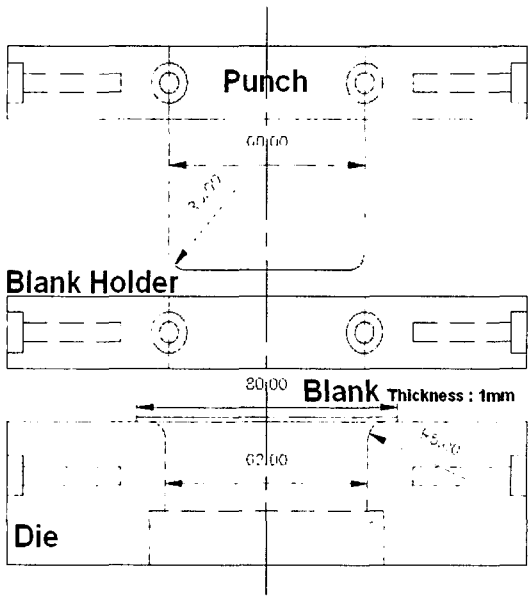


Fig. 1 Schematic diagram of deep drawing Die

사각 디프 드로잉 실험에 사용된 소재의 크기는 80X60mm 이며, 펀치는 가로 60mm, 세로 40mm 로 펀치 반경은 5mm 로 드로잉 깊이는 15mm 로 펀치 속도는 2mm/min 의 저속으로 성형하였다. 고온에서의 디프 드로잉 실험을 위해 카트리지를 이용하여 250°C 로 균일하게 금형을 가열하고, 여기에 소재를 넣고 250 °C 가 되었을 때 성형을 시작하였다. 이때의 다이와 펀치 그리고 블랭크 사이의 온도 편차는 ± 10°C 로 비교적 균일하였으며, 펀치 속도는 2mm/min 로, 디프 드로잉 깊이는 15mm 로 설정하였다. 400°C 에서의 성형은 250°C 와 동일한 조건을 이용하였다. 이때 400°C 의 온도 편차도 역시 ± 10°C 로 균일하게 유지하였다. 다음 Fig. 2 에서는 각 온도에 따른 디프 드로잉 실험 결과를 나타내었다.

(a) Room Temp (b) 250 °C (C) 400 °C

Fig. 2 Formability of AZ31 sheet by variable tempera -ture

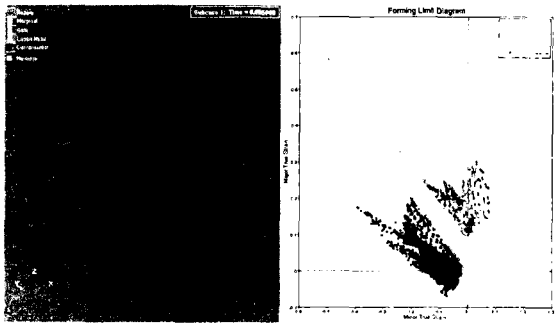
3. 유한요소해석

디프 드로잉의 성형 공정 해석을 위해서 상온 인장 실험과 고온 인장 실험을 통하여 얻은 기계적 특성을 이용하였고, 온도에 따른 탄성 계수를 달리 적용하여 LS-dyna960 을 이용하여 해석하였다. 정량적인 성형 공정 해석을 위하여 적분점 개수는 4 개, 요소크기 2mm, 요소 형태는 4-node-shell 요소로, Hour glass 효과를 고려하였고[10], 성형 공정에서는 외연적 시간 적분법을 스프링백 공정은 내연적 시간 적분법을 이용하였다. 그리고 디프 드로잉의 성형성에 영향을 미치는 요인 중 하나인 블랭크 홀딩력에 따라 성형성이 달라지므로 다이와 블랭크 홀더를 고정시키고, 그 사이에 블랭크를 위치시킨 후 유한요소 해석을 수행하였으며, 해석 시간은 약 4 시간이 소요되었다.

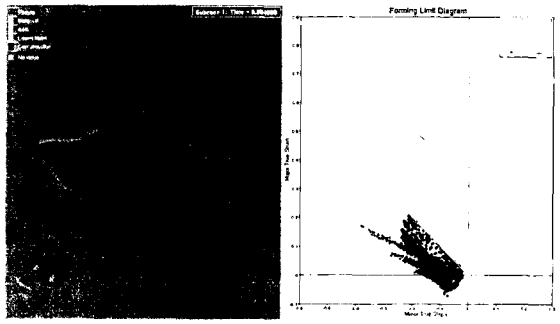
4. 결과 및 비교

4.1 실험 및 유한 요소에 의한 예측 비교

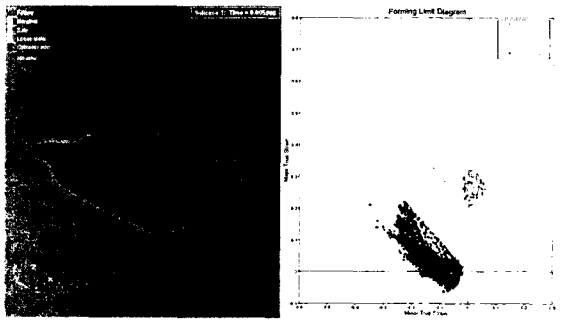
실험에서 사용된 AZ31 마그네슘 판재는 상온에서의 실험에서는 약 6mm 성형 시 파단이 발생되었다. 그리고 250°C 온도에서는 15mm 의 디프드로잉에서도 파단 없이 성형되었고, 400°C 온도에서의 성형에서는 파단이 발생되었다.



(a) Formability of AZ31 sheet by room temperature



(b) Formability of AZ31 sheet by 250°C temperature



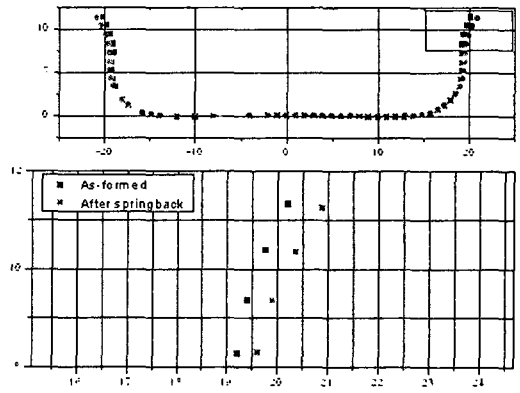
(c) Formability of AZ31 sheet by 400°C temperature

Fig. 3 Formability of AZ31 sheet by FLD curve

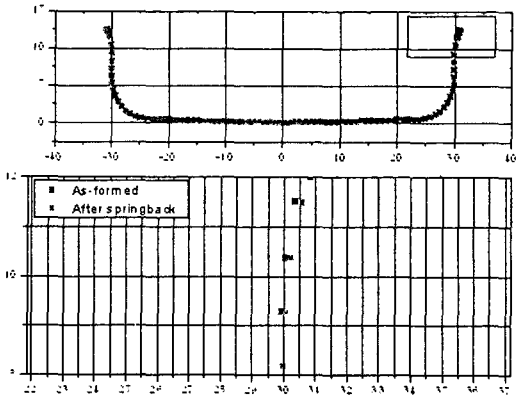
Fig.3 은 각각의 온도에 대한 유한 요소 해석 결과를 Keeler 과 Goodwin 의 이론을 이용하여 FLD 곡선상에서 나타내었다. (a)에서는 상온에서의 성형 한계도를 나타내었는데 성형 초기에서부터의 파단 형성부를 나타내고 있다. (b)의 250°C 에서의 성형에서는 FLD 곡선이 성형이 끝날 때까지 안정적임을 보여 주었고 (c)의 400°C 의 최종 성형 단계에서 파단 됨을 보여 주고 있다.

4.2 유한 요소에 의한 스프링백 예측

유한 요소 해석에서의 성형 후 스프링백량을 비교하기 위하여 성형 후 세 점에 대하여 X-Y 에 고정점을 두고 해석한 결과를 Fig. 4 에 나타내었다. Fig. 4 의 a)는 성형 폭이 40mm(90° 방향)이고, b)는 성형 폭이 60mm(0°방향)을 나타내었다.



a) Width of X-Z axis (40mm)

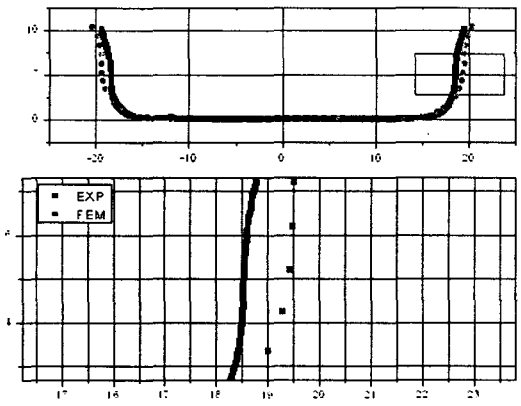


b) Width of Y-Z axis Y-Z (60mm)

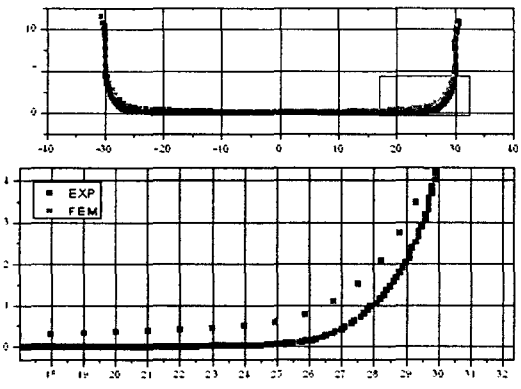
Fig. 4 Comparison between as-formed and after-springback

4.3 실험과 유한요소의 스프링백 비교

실험과 유한 요소 해석에서의 스프링백을 비교하기 위하여 실험한 250°C 에서의 성형품을 접촉식 3 차원 측정기를 이용하여 측정하였다. 그리고, 유한 요소 해석에서의 결과에서 요소 형태는 shell 요소이므로 중립면에서 두께를 고려하여 두께 변형량만큼 오프셋 시키고, 실험에서의 디프 드로잉된 안쪽 면을 측정 비교하였다. Fig. 5 의 (a)는 X-Z 축(길이:40mm), (b)는 Y-Z 축(길이:60mm)의 실험과 유한요소해석 의 스프링백량 결과를 나타내고 있다.



a) Width of X-Z axis (40mm)



b) Width of Y-Z axis Y-Z (60mm)

Fig.5 Comparison of springback for experimenal and analysis results

실험과 유한 요소 해석에서의 스프링백 발생 후 결과를 살펴보면 실제 측정에서의 R 부와 해석에서의 R 부는 약 -0.2 ~ +0.12 의 차이를 보이고 있다. 이는 판재 성형 해석 시 많이 사용되는 쉘요소에 대한 두께방향 굽힘 및 변형에 따른 영향으로 판단된다. Fig.6 은 유한 요소 해석에서 스프링백 후 두께 변화의 증감량을 나타내었다.

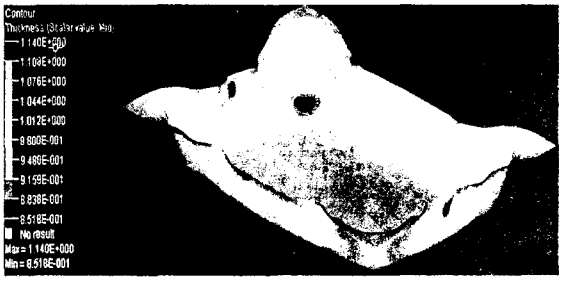


Fig. 6 Reduce of thickness in FE analysis results

5. 결 론 및 향후 계획

본 연구에서는 AZ31 마그네슘 합금에서의 성형 특성을 분석하기 위하여 3 가지 온도 조건에서의 실험과 유한 요소 해석에 의한 예측을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 3 가지 온도 조건(상온, 250°C, 400°C)에서 수행한 사각컵 디프 드로잉 성형 실험 결과 상온과 400°C 에서는 코너 부위에서 파단이 발생된 반면에 250°C 에서는 파단 발생 없이 성형되었다.

(2) 각 온도 조건에서의 인장 특성과 유한요소 해석 결과를 기준으로 250°C 온도에서 성형성이 가장 좋게 나타나는 원인을 분석한 결과 가공경화지수의 영향이 가장 지배적인 것으로 분석되었다.

그러나, 고온 변형 기구에 대한 보다 정밀한 분석을 통하여 특정 온도에서 가장 우수한 성형성을 나타내는 원인 분석을 계속적으로 수행할 필요가 있으므로 보다 정밀한 분석이 계속적으로 이루어질 것이다.

후 기

본 연구는 과학기술부 프론티어사업과 기본연구사업으로 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 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 합금 판재의 온간 디프드로잉성에 관한 연구." 한국소성가공학회지, 추계학술대회 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, 추계학술대회 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, "판재성형품의 탄성회복예측 정밀도 향상을 위한 모델 연구" 한국소성가공학회지, 춘계학술대회 pp. 47~52.