

AZ31 판재의 온간 원형컵 딥드로잉 공정의 유한요소 해석

이명한¹, 김현영², 김홍규³, 오수익[#]

Finite Element Analysis of Warm Circular Cup Deep Drawing Process of AZ31 Sheet

M. H. Lee, H. Y. Kim, H. K. Kim, S. I. Oh

Abstract

Due to their low density, high specific strength and electromagnetic interference shielding, magnesium alloy sheets are used increasingly more often in automotive, aerospace, and electronics industries. However, magnesium alloy sheets should be usually formed at elevated temperature because of their poor formability at room temperature. For the use of magnesium alloy sheets for an industrial, their mechanical properties at elevated temperature and appropriate forming process conditions have to be developed. In this study, the warm deep drawing process of AZ31 sheets is studied numerically by non-isothermal simulation. The difference between the isothermal simulation results and the non-isothermal simulation results and the progress of warm forming are discussed.

Key Words : AZ31 Magnesium Alloy Sheet, Deep Drawing Process, Finite Element Analysis

1. 서론

마그네슘 합금은 비중이 약 1.8인 경량 구조용 합금으로 비강도 및 비강성이 높고 전자파 차폐성이 우수하여 자동차, 항공 우주 및 전자 산업에서의 사용이 꾸준히 증가하고 있다. 마그네슘 제품의 대부분은 die-casting 및 thixoforming에 의해 생산되었으나, 박판 부품 제작의 한계 및 제품 강도의 불균일 등의 문제가 있다. 이러한 문제들은 프레스 성형 공정을 통해 해결할 수 있다.

마그네슘 합금 판재의 생산이 일반화되면서 프레스 성형 공정을 이용한 제품 생산에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 마그네슘 합금은 조밀육방 결정구조로 인해 상온에서의 낮은 성형성을 나타내고 있다. 이러한 마그네슘 합금은 온간(200~250 °C)에서 비저면(non-basal) 슬립계의 활

성화 또는 twinning의 발생으로 성형성이 향상된다[1].

마그네슘 합금 판재의 성형성이 향상되는 온간 성형에 따른 마그네슘 합금 판재의 온간 특성 및 성형성 평가에 대한 연구가 수행되었다[2-4]. 이들 연구에서는 온간 인장 시험, 원형 또는 사각컵 딥드로잉 시험, 금형의 온도에 따른 딥드로잉 시험 등을 수행하였고, 이들 시험을 통해 마그네슘 합금 판재는 온도가 올라갈수록 성형성이 좋아짐을 밝혔다. 김홍규[5] 등의 연구에서는 파단예측을 이용한 성형 해석을 수행하였고, 이명한[6] 등은 온간 성형 해석을 통해 마그네슘 합금 판재의 성형성 해석을 수행하였다. Palaniswamy[7] 등은 DEFORM 2D와 3D를 이용하여 마그네슘 합금 판재의 성형성 해석을 수행하였다. 하지만, 유한요소 해석을 이용한 연구는 시험을 통한 마그네슘

1. 서울대학교 대학원
2. 강원대학교 기계-메카트로닉스 공학부
3. 한국생산기술연구원 정밀금형팀
교신저자: 서울대학교 기계항공공학부,
E-mail: sioh@snu.ac.kr

합금 판재의 성형성 평가 연구에 비해 미비한 실정이다.

본 연구에서는 유한요소 해석에 앞서 온도에 따른 마그네슘 합금 판재의 인장 시험 및 원형컵 딥드로잉 시험을 수행하였다. 이를 토대로 온간 원형컵 딥드로잉 시험에 대하여 열전달이 고려된 유한요소 해석을 수행하였다. 또한, 열전달을 고려하지 않은 해석과의 결과를 비교 평가하였다.

2. 온간 원형컵 딥드로잉 시험

2.1 온간 인장 시험

두께 0.8 mm AZ31 마그네슘 합금 판재의 온간 물성을 알아보기 위하여 온간 인장 시험을 수행하였다. 시편의 표점 거리는 25 mm, 폭은 6 mm 이고 시험 속도는 240 mm/min으로 하였으며, 온도는 상온~300 °C에 대하여 인장 시험을 수행하였다. 인장 시험 결과를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 인장 시험 결과 온도가 올라감에 따라 응력은 감소하고 파단되기까지의 변형률은 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 2에서 상온에서는 시편 방향에 따른 응력 및 변형률의 차이가 크지 않으나, 250 °C에서는 응력은 큰 차이가 없지만 압연 방향 0°의 변형률이 다른 시편 방향의 결과보다도 큰 것을 알 수 있다.

2.2 온도에 따른 딥드로잉 시험

마그네슘 합금 판재 AZ31의 딥드로잉 성형 거동을 실험적으로 고찰하였다. 시험에 사용한 펀치, 블랭크 홀더, 다이의 형상 변수를 Fig. 3에 나타내었다. 펀치 직경은 40 mm이고 판재 두께 0.8 mm을 고려하여 펀치와 다이 사이의 간격은 0.96 mm가 되도록 하였다. 판재의 직경은 100 mm를 사용하였고 펀치 속도는 5 mm/sec, 블랭크 홀딩력은 약 5 kN, 윤활제는 흑연(graphite)을 사용하였다. 펀치는 물을 이용하여 냉각시켰으며, 다이와 홀더의 온도를 상온에서 250 °C까지 증가시키며 온간 딥드로잉 시험을 수행하였다. 온간 원형컵 딥드로잉 시험의 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 온도가 올라감에 따라 성형 깊이는 증가함을 알 수 있다.

3. 유한요소 해석

3.1 유한요소 모델링

온간 원형컵 딥드로잉 공정에 대하여 열전달이

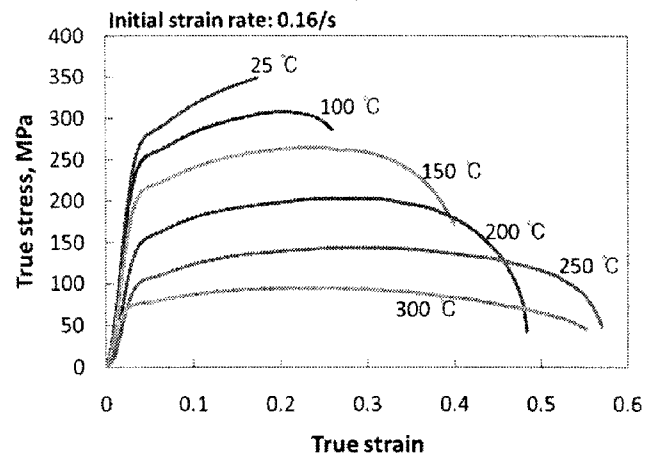


Fig. 1 True stress-strain curves at various temperatures

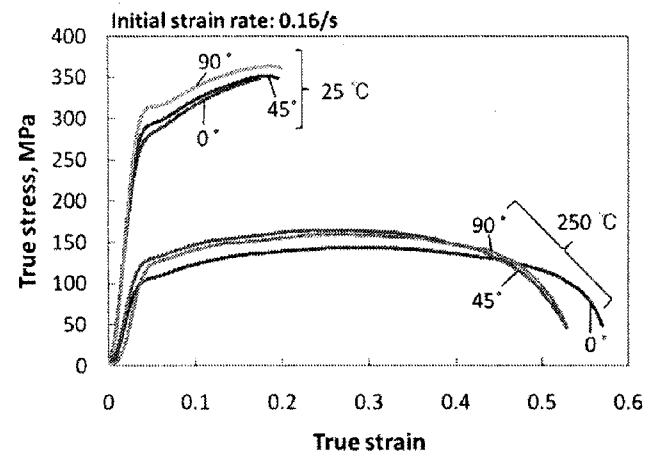


Fig. 2 True stress-strain curves obtained from the specimens cut along 0°, 45° and 90° to the rolling direction

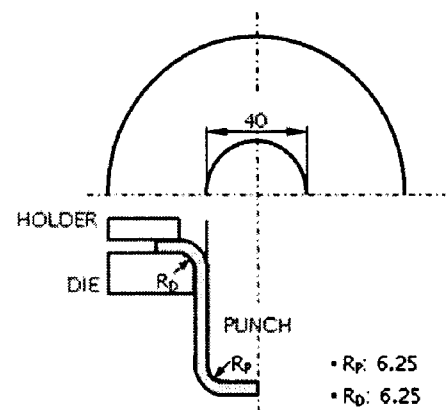


Fig. 3 Geometry of the circular cup deep drawing tools

고려된 유한요소 해석을 수행하였다. 온간 성형 해석은 PAM-STAMP 2007.0을 이용하였다. PAM-STAMP를 이용한 온간 성형 해석을 위해서는 열

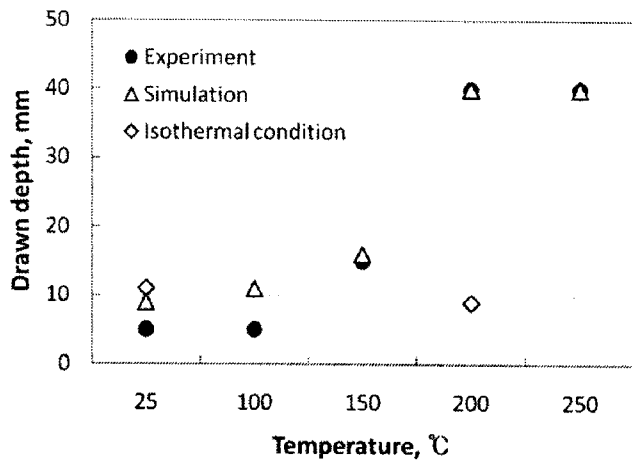


Fig. 4 Relations between forming temperature and drawn depth obtained from experiments and simulations

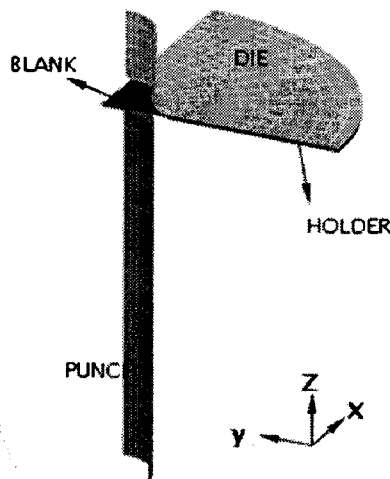


Fig. 5 Simulation model of the circular cup deep drawing

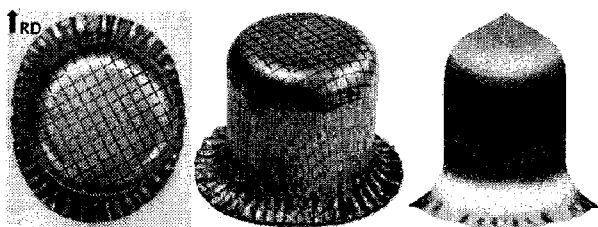


Fig. 6 Drawn shape of circular cup obtained from experiment and simulation

전달을 위한 접촉 두께와 VELSCF(velocity scale factor)을 정해주어야 한다. 접촉 두께는 소재와 금형과의 열전달을 위한 두께이며, VELSCF는 열전달을 위한 시간 간격을 조정해주는 값이다. 본 연구에서는 수 차례의 해석 결과를 토대로 비교적

타당한 열전달이 이루어질 수 있는 접촉두께와 VELSCF를 선정하였다. 접촉두께는 소재 두께로 VELSCF는 0.001로 선정하여 해석을 수행하였다.

마그네슘 합금 판재의 온간 원형컵 딥드로잉 공정 해석 모델을 Fig. 5에 나타내었고, 해석에 사용한 입력값은 Table 1에 나타내었다. 본 해석에서는 금형과 펀치의 온도는 일정하고, 금형과 펀치로부터 블랭크로의 열전달만이 고려되었으며, 공기에 의한 열전달은 없다고 가정하여 해석을 수행하였다. 마그네슘 합금판재는 온도가 올라감에 따라 이방성 특성이 감소한다. 따라서 블랭크는 등방성 재료로 가정하여 해석을 수행하였다.

3.2 유한요소 해석 결과

온간 원형컵 딥드로잉 유한요소 해석 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 25 °C와 100 °C에서의 해석을 통한 성형 깊이는 실험과 다르게 나왔고, 150 °C 이상에서는 실험과 같은 결과를 보여주고 있다. 마그네슘 합금 판재는 상온에서 슬립계의 부족으로 인해 성형성이 좋지 않아 딥드로잉 시험에서의 성형 깊이가 낮게 나타났다. 유한요소 해석에서는 이러한 재료적 특성이 고려할 수 없어 25 °C와 100 °C에서의 성형 깊이가 실험과 차이가 난다고 판단된다.

Fig. 4에 열전달을 고려하지 않은 딥드로잉 해석을 수행한 결과도 나타내었다. 열전달을 고려하지 않은 해석에서는 특정 온도에 대한 재료의 응력 선도만을 이용하여 해석을 수행하였다. 그 결과 Fig. 4과 같이 상온에서는 열전달이 고려된 해석 결과와 성형 깊이에서 큰 차이를 보이지 않지만 200 °C에서는 큰 차이를 보이고 있다. 200 °C에 대한 열전달을 고려하지 않은 해석에서는 낮은 재료 강도로 인해 약 10 mm 정도 성형 후 파단이 발생하는 것으로 판단된다. 하지만 동일 온도의 열전달이 고려된 해석에서는 블랭크의 저온부(펀치 접촉부)의 강도가 고온부(플랜지 접촉부)보다 높아 변형이 어렵게 되며 고온부에서의 변형을 유도하게 되어 40 mm까지 성형이 이루어지게 된

Table 1 Process parameters used in simulation

Friction coefficient	0.1
Thermal properties	
Thermal conductivity (sheet)	96 W/m °C
Heat capacity (sheet)	1000 J/kg °C
Interface heat transfer coefficient	4 N/s mm °C

다.

200 °C에서 성형 깊이 40 mm에 대한 실험 및 해석 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 블랭크에 생기는 주름을 억제하기 위해서 블랭크 가압력을 더 증가시킬 필요가 있었으나 현재의 금형 구조 내에서 더 높은 가압력의 적용이 어려웠다. Fig. 6에서 압연 방향의 플랜지량이 압연 방향의 수직방향의 플랜지량보다 큰 것을 알 수 있다. 이는 Fig. 2에서 알 수 있듯이 본 연구에서 사용한 마그네슘 합금 판재의 경우 온도가 올라감에 따라 이방성이 증가되어 플랜지량의 차이가 발생되었다고 판단된다.

4. 결론

AZ31 마그네슘 합금 판재의 온간 원형 컵 딥드로잉 공정에 대한 유한요소 해석을 수행하였다. 유한요소 해석에 사용하기 위한 재료 물성 데이터를 얻기 위해 온간 인장 시험과 해석의 기준이 되는 온간 딥드로잉 시험도 수행하였다.

온간 인장 시험 결과 마그네슘 합금 판재는 온도가 올라갈수록 응력은 감소하고 파단시까지의 변형률은 증가하는 것을 알 수 있다. 본 연구에 사용된 마그네슘 합금 판재의 경우 온도가 올라갈수록 방향에 따른 변형률의 차이가 있었다. 온간 원형컵 딥드로잉 시험 결과 100 °C 이하에서는 거의 성형이 이루어지지 않았고 150 °C에서는 성형 깊이 15 mm, 200 °C 이상에서는 성형 깊이 40 mm까지 성형되었다.

유한요소 해석 결과 150 °C 이상에서는 실험과 같은 성형 깊이를 보여주고 있으나, 100 °C 이하에 대한 해석에서는 다른 양상을 나타내고 있으며, 이는 마그네슘 합금 판재의 저온에서의 특성을 해석에 고려할 수 없어서 발생한 것으로 판단된다. 유한요소 해석 결과 열전달의 고려 유무에 따른 성형 깊이의 차이가 있었음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 2010 생산기반혁신기술개발사업의 경량판재 프레스성형부품화 기반기술 개발 과제 의 일환으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Horst E. Friedrich, Barry L. Mordike, Magnesium Technology – Metallurgy, Design Data, Applications, Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- [2] E. Doege, K. Droder, 2001, Sheet metal forming of magnesium wrought alloys – formability and process technology, J. Mater. Proc. Technol., Vol. 115, pp.14~19.
- [3] F. K. Chen, T.-B. Huagn, C.-K. Chang, 2003, Deep drawing of square cups with magnesium alloy AZ31 sheets, Int. J. Mach. Tool. Manu. Vol. 43, pp. 1553~1559
- [4] 추동균, 오세웅, 이준희, 강충길, 2005, AZ31B 마그네슘 판재의 온간, 열간 딥드로잉 성형성 평가, 한국소성가공학회지, 제14권, 제7호, pp. 628~634
- [5] 김홍규, 이위로, 홍석관, 김종덕, 한병기, 2006, 마그네슘 합금 AZ31 판재의 온간 사각컵 딥드로잉 공정의 유한요소 해석, 한국소성가공학회지, 제15권, 제3호, pp. 232~240
- [6] 이명한, 김현영, 김형종, 김홍규, 오수익, 2007, 마그네슘 합금 판재의 온간 딥드로잉 공정의 성형해석, 한국소성가공학회지, 제16권, 제5호, pp. 401~405
- [7] H. Palaniswamy, G. Ngaile, T. Altan, 2004, Finite element simulation of magnesium alloy sheet formig at elevated temperature, J. Mater. Proc. Technol., Vol. 146, pp.52~60