

마그네슘 합금 판재의 온간 딥드로잉 해석

이명한¹, 김현영², 김형종², 오수익[#]

Analysis of Warm Deep Drawing of Magnesium Alloy Sheet

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

Abstract

Due to their low densities and high specific strength and stiffness, magnesium alloy sheets are very attractive lightweight materials for automotive and electrical products. However, the magnesium alloy sheets are usually formed at elevated temperature because of their poor formability at room temperature. To use of the magnesium alloy sheets for an industrial, their mechanical properties at elevated temperature and appropriate forming process conditions have to be developed. In this study, non-isothermal simulations of a square cup drawing from magnesium alloy sheets have been conducted to evaluate a proper forming process conditions such as the tool temperature, the tool shoulder radius, friction between the blank and the tools. According to this study, appropriate forming process conditions of square cup drawing at elevated temperature from magnesium alloy sheets are suggested.

Key Words : Magnesium alloy, Warm deep drawing, Finite-element analysis

1. 서론

마그네슘 합금은 비중이 약 1.8인 경량 구조용 합금으로 비강도 및 비강성, 열전도도 등이 우수한 특성을 지니고 있다. 최근의 자동차, 전자, 항공기 산업에서 경량화 및 환경보존에 대한 관심이 커지면서 마그네슘 합금의 수요는 꾸준히 증가하고 있다[1].

마그네슘 합금은 조밀육방구조(HCP) 결정구조로 인해 상온에서 성형성이 좋지 않아, 다이캐스팅에 의해 제품이 생산되었다. 다이캐스팅으로 제작된 구조용 부품은 기계적 강도의 저하, 후처리 비용의 증가, 초박판 제품 개발의 어려움 등의 이유로 최근에는 프레스 금형 기술을 적용한 생산 기술이 큰 주목을 받고 있다[2].

일반적으로 마그네슘 합금 판재의 온간 성형은 온도, 가공속도, 윤활 등의 조건에 따라 성형성이 민감하게 달라지므로 이러한 공정 조건에 따른

재료의 성형성의 평가를 통해 마그네슘 합금 판재의 온간 성형 공정을 설계하는 것이 중요하다. 마그네슘 합금 판재의 온간 성형 공정 설계를 위해 판재의 특성 및 성형성 평가와 유한요소 해석을 이용한 검증이 이루어져야 한다. 마그네슘 합금 판재의 온간 인장 시험, 원형 또는 사각컵 드로잉 시험 등을 통해 마그네슘 합금 판재의 특성 및 성형성 평가 연구가 이루어졌다[3-5]. 또한, 유한요소를 이용한 성형 공정 해석에 대한 연구가 이루어졌으나[6, 7], 온간 성형 공정을 고려한 성형 공정 해석은 부족한 상황이다.

본 연구에서는 마그네슘 합금 판재의 온간 성형을 위한 기반 연구로서 열전달이 고려된 마그네슘 합금 판재의 온간 딥드로잉 해석을 수행하였다. 금형의 온도, 금형의 반경, 마찰 조건 등에 따른 마그네슘 합금 판재의 온간 성형 해석을 통해 마그네슘 합금 판재의 온간 성형 공정 조건을 제시하였다.

1. 서울대학교 대학원

2. 강원대학교 기계·메카트로닉스 공학부

교신저자: 서울대학교 기계항공공학부,

E-mail: sioh@snu.ac.kr

2. 온간 성형 유한요소 해석

본 연구에서의 마그네슘 합금 판재의 정사각컵 드로잉 온간 성형 해석의 모델은 김홍규[6]등의 연구의 모델을 이용하여 유한요소 해석을 수행하였다. 온간 성형 해석은 PAM-FORM 을 이용하였고, 펀치 및 다이의 코너 반경, 다이 및 펀치의 온도에 따른 성형성, 금형과 소재의 마찰에 따른 성형성 평가 해석을 수행하였다.

2.1 유한요소 모델링

마그네슘 합금 판재의 정사각컵 드로잉 해석 모델을 Fig. 1 에 나타내었고, 해석에 사용된 입력 값을 Table 1 에 나타내었다. 본 해석에서는 금형과 펀치의 온도는 일정하고, 금형과 펀치에서 블랭크로의 열전달만이 고려되었으며, 공기에 의한 열전달은 없다고 가정하여 해석을 수행하였다. 블랭크는 두께 0.8mm, 지름 120mm 이며 4 절점 사각형 쉘요소를 사용하였고, 모든 해석에서 블랭크의 초기 온도는 25℃로 하였다. 블랭크 홀딩 압력은 1MPa, 드로잉 속도는 1.66mm/sec 로 하였고, 최대 성형 깊이는 40mm 이다.

2.2 금형의 온도에 따른 성형성 평가

펀치, 다이, 블랭크 홀더의 온도 조건에 따른 마그네슘합금 판재의 성형성 평가 해석을 수행하

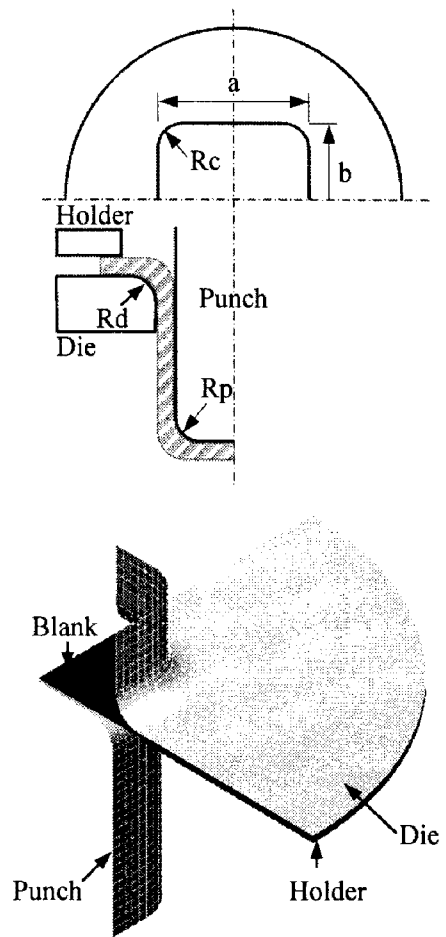


Fig. 1 Geometric parameters and simulation model of the square cup deep drawing

Table 1 Process parameters used in simulation

Tooling setup	
Punch dimension	40×40 mm
Punch and die corner radius (Rc)	10.96 mm
Punch and die shoulder radius	Rd 6.25 mm Rp 6.25 mm
Clearance	0.96 mm
Mechanical properties	
Young's modulus	44.8 GPa
Poisson's ratio	0.35
Flow stress	Obtained from literature [6]
Friction coefficient	0.02
Thermal properties	
Thermal conductivity (sheet)	96 W/m K
Heat capacity (sheet)	1000 J/kg °C
Interface heat transfer coefficient	4 N/s mm °C

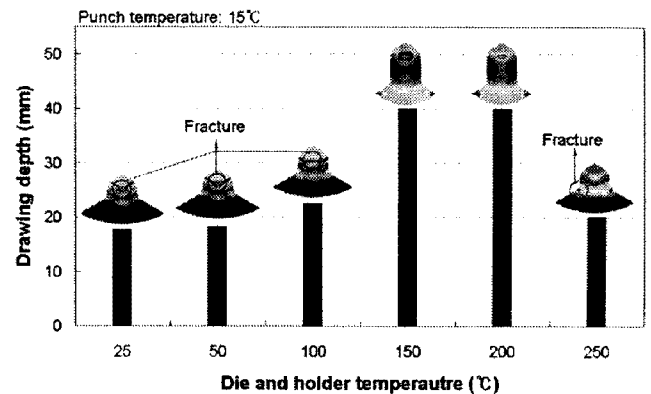


Fig. 2 Drawing depth variation for die and holder temperature variation

였다. 다이 및 블랭크의 온도는 25~250℃로 변하고 펀치 온도는 15℃로 일정한 경우에 대한 해석을 수행하였고, 그 결과를 Fig. 2 에 나타내었다. 본 해석 결과, 다이 및 블랭크의 온도가 증가할수록 컵 성형 깊이는 증가하였으나 250℃가 되면 오히려 감소함을 볼 수 있다. 기존의 연구[3, 4, 6]

에서는 약 200°C에서 성형 깊이가 최대가 되었지만, 본 유한요소 해석에서는 150~200°C에서 성형 깊이가 최대임을 알 수 있다.

펀치의 온도는 15~250°C로 변하고 다이 및 블랭크의 온도는 200°C로 일정한 경우에 대한 온간 성형 해석을 수행하였다. 그 결과 펀치의 온도 150°C까지는 성형 깊이 40mm 까지 성형이 이루어졌으나 펀치의 온도 200, 250°C 일 때는 파단이 발생되었다. 펀치의 온도에 따른 사각컵 중심에서 플랜지까지의 두께 감소율을 Fig. 3에 나타내었다.

펀치 온도에 따른 온간 성형 해석에서 펀치 코너부와 컵 바닥과 가까운 벽 부분에서 두께 감소가 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 펀치 온도가 낮을 때의 두께 감소율이 펀치 온도가 높을 때보다 작은 것을 알 수 있다. 이는 펀치의 온도가 올라가면 판재의 응력이 작아져 플랜지 코너에서의 재료 유입보다 유입된 재료의 변형에 의한 것으로 판단된다. 펀치 온도 15, 150°C일 때의 해석 결과의 플랜지 크기를 Fig. 4에 비교하였다. 펀치 온도 15°C일 때의 해석 결과 최대 두께감소율은 약 7.5%이며, 펀치 온도 150°C일 경우에는 최대 두께 감소율은 약 15%이다.

2.3 마찰에 따른 성형성 평가

프레스 성형 공정에서 판재와 금형 사이의 마찰은 제품의 성형 및 품질에 영향을 미친다. 본 절에서는 다이 및 블랭크 홀더의 온도 200°C, 펀치 온도 15°C에 대하여 블랭크와 금형 사이의 마찰계수에 따른 성형성 평가 해석을 수행하였다. 블랭크와 금형 사이의 마찰계수를 0.02~0.25에 대한 성형성 평가 해석을 수행하였다. 그 결과 마찰

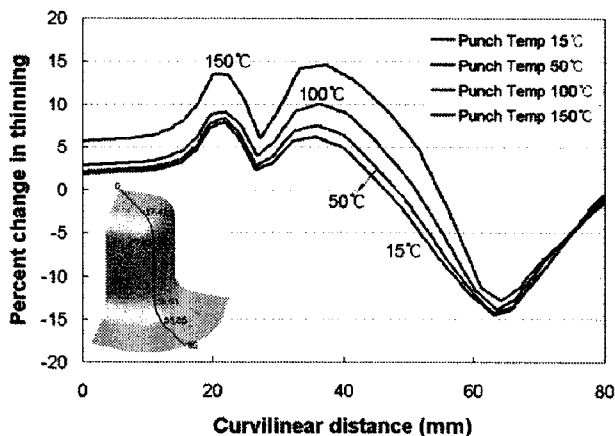


Fig. 3 Percent thinning distribution from simulation at various punch temperature

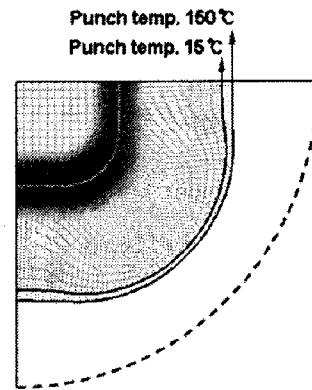


Fig. 4 Final blank shapes at punch temperature 15°C and 150°C

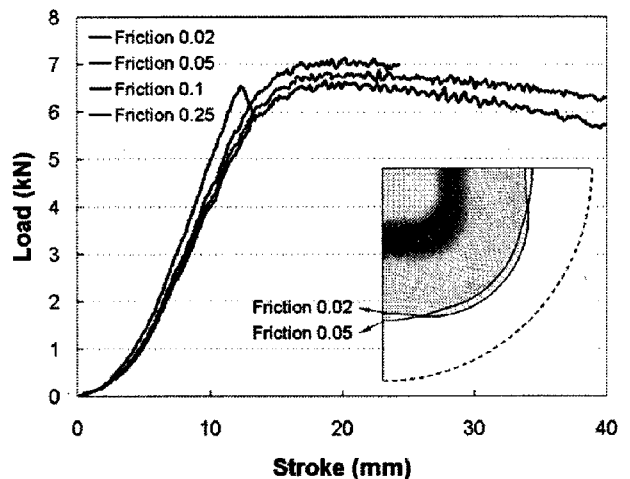


Fig. 5 Punch load from simulation at various friction between tools and blank

계수 0.02, 0.05 일 때는 성형 깊이가 40mm 까지 성형이 이루어졌으나, 마찰계수 0.1 과 0.25 일 때의 성형 깊이는 약 24, 13mm 임을 알 수 있다. 각 마찰계수에 따른 펀치 하중을 Fig. 5에 나타내었고, 마찰계수가 증가할수록 펀치 하중이 증가함을 알 수 있다. 마찰계수 0.01 과 0.05에 대한 성형 후 두께 분포를 Fig. 6에 나타내었고, 마찰계수가 작을수록 두께 감소율이 작은 것을 알 수 있다.

2.4 금형의 반경에 따른 성형성 평가

다이 반경, R_d 와 펀치 반경, R_p 에 따른 마그네슘 합금 판재의 온간 성형성 평가를 수행하였다. 다이 및 펀치의 코너 반경은 10.96mm로 일정하며, 2.3 절의 금형의 온도 조건과 동일한 조건으로 해석을 수행하였다. 다이 반경 및 펀치 반경에 따른 성형 중 변위-펀치 하중을 Fig. 7에 나타내었다. 다이 반경에 따른 변위-펀치 하중 곡선이 펀치 반

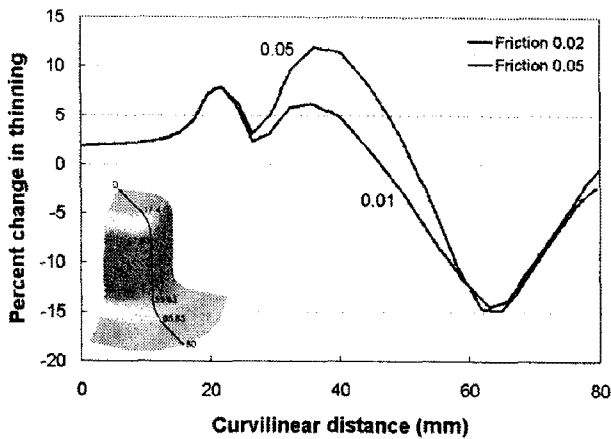


Fig. 6 Percent thinning distribution from simulation

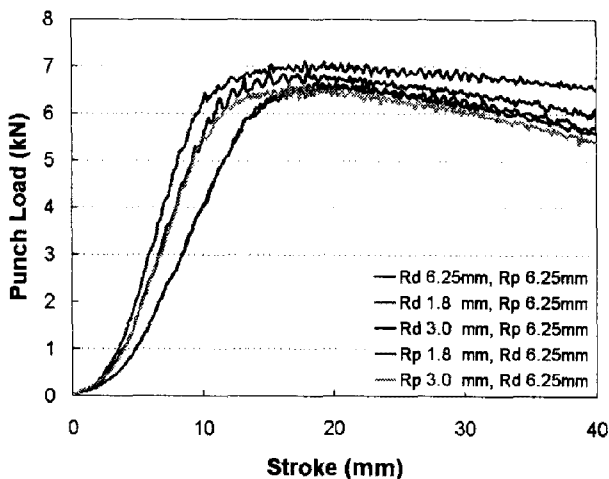


Fig. 7 Punch load from simulation at various die and punch radius

경에 따른 변위-펀치 하중 곡선보다 위쪽에 있고, 다이 반경이 커질수록 변위-펀치 하중 곡선은 아래로 이동한다. 또한 성형 깊이가 약 12mm까지의 변위-펀치 하중 곡선은 펀치 반경 3mm일 때가 펀치 반경 1.8mm일 때보다 좌측에 있으며, 펀치 반경에 의한 최대 펀치하중은 비슷한 것을 알 수 있다. 이를 통해 다이 반경이 펀치 반경보다 성형 하중에 미치는 영향이 크다고 판단된다.

3. 결론

마그네슘 합금 판재의 온간 딥드로잉 공정 변수 - 금형 온도, 금형 반경, 금형과 소재간의 마찰계수 - 에 따른 온간 성형 해석을 통해, 온간 성형 공정 조건에 대한 평가를 수행하였다. 다이 및 블랭크 홀더의 온도가 150, 200℃일 경우의 성

형 깊이가 40mm까지 성형이 이루어졌고, 펀치의 온도가 낮을수록 두께 감소율이 작은 것을 알 수 있다. 금형과 소재간의 마찰계수가 작을수록 성형 깊이까지 성형이 이루어졌으며, 펀치 하중도 마찰계수가 큰 경우보다 작은 것을 알 수 있다. 다이 반경에 따른 변위-펀치 하중 곡선이 펀치 반경에 따른 변위-펀치 하중 곡선보다 위쪽에 위치한 것을 알 수 있고, 다이 반경이 커질수록 변위-펀치 하중이 아래로 내려가는 것을 알 수 있다.

후기

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

참고 문헌

- [1] B. L. Mordike, T. Ebert, 2001, Magnesium Properties - applications - potential, Mater. Sci. Eng., A 302, pp. 37~45.
- [2] R. Neugebauer, T. Altan, M. Geiger, M. Kleiner, A. Sterzing, 2006, Sheet metal forming at elevated temperature, Annals of CIRT, 55/2, pp. 793-816
- [3] 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
- [4] F. K. Chen, T. -B. Huang, C. -K. Chang, 2003, Deep drawing of square cups with magnesium alloy AZ31 sheets, Int. J. Mach.. Tool. Manu., Vol. 43, pp. 1553~1559
- [5] 추동균, 오세웅, 이준희, 강충길, 2005, AZ31B 마그네슘 판재의 온간, 열간 딥드로잉 성형성 평가, 한국소성가공학회지, 제 14 권, 제 7 호, pp. 628~634
- [6] 김홍규, 이위로, 홍석관, 김종덕, 한병기, 2006, 마그네슘 합금 AZ31 판재의 온간 사각컵 딥드로잉 공정의 유한요소 해석, 제 15 권, 제 3 호, pp. 232~240
- [7] H. Palaniswamy, G. Ngaile, T. Altan, 2004, Finite element simulation of magnesium alloy sheet forming at elevated temperatures, J. Mater. Proc. Technol., Vol. 146, pp. 52~60