

마그네슘 합금 판재의 온간성형 해석에서 FLD를 이용한 성형성 평가

이명한¹· 김흥규²· 김현영³· 오수익[#]

Formability Test in Warm Forming Simulation of Magnesium Alloy Sheet Using FLD

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

Abstract

In this study, the failure in circular cup deep drawing simulation at warm temperature is predicted using forming limit diagram (FLD). The FLD is used in sheet metal forming analysis to determine the criterion for fracture prediction. The simulation with heat transfer of circular cup deep drawing at warm temperature was conducted. To predict the failure, the simulation with heat transfer used FLD at temperature in the vicinity of maximum thinning. The result of the simulation with heat transfer shows that the drawn depth increases with increasing temperature and is in accord with the experimental results above 150 °C. The FLD provides a good guide for the failure prediction of warm forming simulation with heat transfer.

Key Words : Magnesium Alloy Sheet, Deep Drawing Process, Finite Element Analysis, Forming Limit Diagram

1. 서 론

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

활성화 또는 twinning의 발생으로 성형성이 향상된다[1].

마그네슘 합금 판재의 성형성이 향상되는 온간 성형에 따른 마그네슘 합금 판재의 온간 특성 및 성형성 평가에 대한 많은 연구가 수행되었다[2-4]. 이들 연구에서는 온간 인장 시험, 원형 또는 사각 컵 딥드로잉 시험, 금형의 온도에 따른 딥드로잉 시험 등을 수행하였고, 이들 시험을 통해 마그네슘 합금 판재는 온도가 올라갈수록 성형성이 좋아짐을 밝혔다. 이명한[5] 등은 온간 성형 해석을 통해 마그네슘 합금 판재의 성형성 해석을 수행하였고, Palaniswamy[6] 등은 DEFORM 2D와 3D를 이용하여 마그네슘 합금 판재의 성형성 해석을 수행하였다. 김흥규[7] 등의 연구에서는 손상모형을 이용한 파단예측을 통해 성형 해석을 수행하였고, Chen[3] 등의 연구에서는 FLD (forming limit

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

diagram)을 이용하여 해석에의 성형한계를 예측하였다. 판재의 성형 한계에 대한 예측으로는 여러 방법이 있으나, 주로 FLD를 이용한 방법을 사용하고 있다. Chen[3]의 연구에서는 열전달을 고려하지 않고 성형 해석을 수행하였고, 해석 조건에서의 온도에 대한 FLD를 이용하였다. 이전 연구에서 마그네슘 합금 판재의 온간 성형 해석에서 열전달을 고려해야 한다는 결론을 얻었다. 따라서, 온간 성형 해석에서 FLD를 이용한 성형한계 예측에 대한 고찰이 필요하다.

본 연구에서는 열전달을 고려한 온간 성형 해석을 수행하였고, 성형한계 예측을 위해 FLD를 이용하였다. 또한 금형의 코너 반경에 따른 성형성 평가를 수행하였다.

2. 온간 원형컵 딥드로잉 유한요소 해석

2.1 유한요소 모델링

온간 원형컵 딥드로잉 공정에 대하여 열전달이 고려된 유한요소 해석을 수행하였다. 온간 성형 해석은 PAM-STAMP 2007.0.1을 이용하였다. PAM-STAMP를 이용한 온간 성형 해석을 위해서는 열전달을 위한 접촉 두께와 VELSCF (velocity scale factor)을 정해주어야 한다. 접촉 두께와 VELSCF는 이전 연구에 사용한 값을 사용하였다[8].

마그네슘 합금 판재의 온간 원형컵 딥드로잉 공정 해석 모델을 Fig. 1에 나타내었고, 해석에 사용한 입력값을 Table 1에 나타내었다. 온간 성형 해석에서 펀치 속도는 5 mm/sec, 블랭크 홀딩력은 약 5 kN으로 하였으며, 초기 블랭크 직경은 100 mm이다. 본 연구에서는 금형과 펀치의 온도는 일정하고, 금형과 펀치로부터 블랭크로의 열전달만이 고려되었으며, 공기에 의한 열전달은 없다고 가정하여 해석을 수행하였다. 마그네슘 합금 판재는 온도가 올라감에 따라 이방성 특성이 감소하고, 변형률 속도에 대한 영향이 증가하지만 본 연구에서는 이들에 대한 영향을 고려하지 않고 해석을 수행하였다.

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

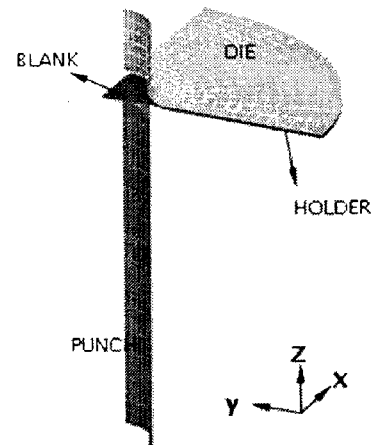


Fig. 1 Simulation model of the circular cup deep drawing

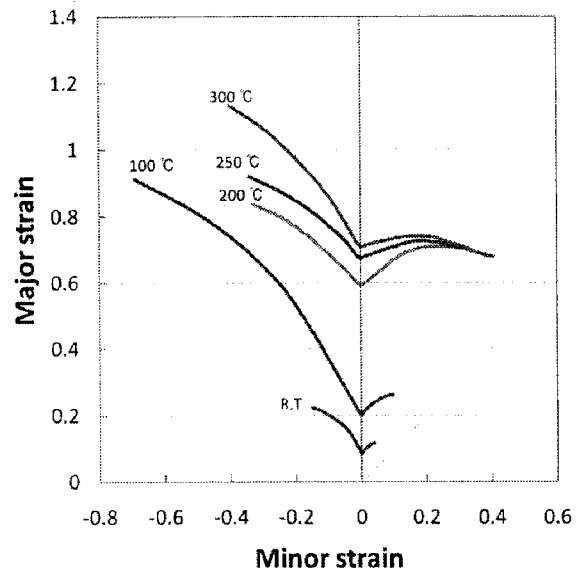


Fig. 2 FLD at various temperatures [9]

마그네슘 합금 판재의 응력-변형률 관계는 이전 연구 결과를 이용하였고[8], Fig. 2와 같이 마그네슘 합금 판재의 FLD는 김현영[9] 등의 연구 결과를 이용하였다. Fig. 2에서 얻을 수 없는 온도 영역에 대해서는 보간법을 이용하여 FLD를 얻었다.

2.2 유한요소 해석 결과

마그네슘 합금 판재의 온간 성형 해석에서의 성형한계 예측은 Fig. 3에 나타낸 것과 같은 과정으로 이루어졌다. 해석에서 매 단계마다 각 요소의 주 및 부변형률과 온도에 대한 정보를 얻고 이를 Fig. 2에서 얻은 FLD와 비교하여 성형한계를 예측하였다. 온간 성형 해석은 펀치의 온도 15 °C, 다이와 홀더의 온도 25 ~ 250 °C에 대하여 수행하

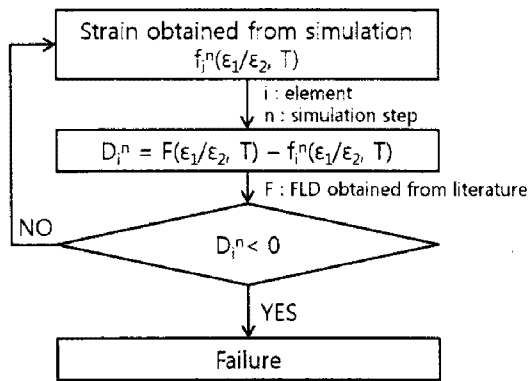


Fig. 3 Flowchart of forming limit prediction process

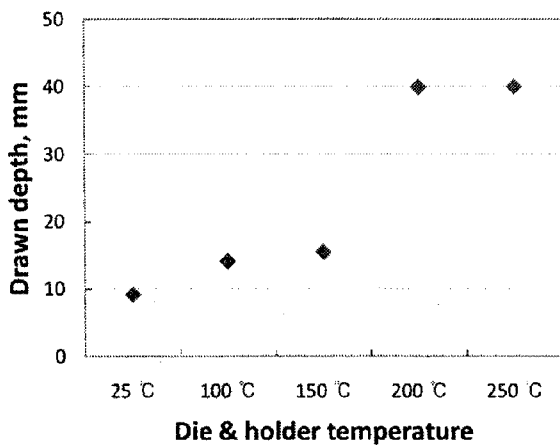


Fig. 4 Drawn depth obtained from simulation

였고, Fig. 3과 같은 과정으로 얻은 성형 깊이를 Fig. 4에 나타내었다. 온간 성형 해석 결과 다이와 홀더의 온도가 올라갈수록 성형 깊이가 증가하는 것을 알 수 있다.

다이와 홀더 온도 150 °C에 대한 파단 부분의 변형 경로를 Fig. 5에 나타내었다. 파단 부분 요소의 온도는 약 130 °C이며 성형한계 예측을 위한 FLD도 같은 온도에 대한 FLD를 이용하였다. 열 전달을 고려한 온간 성형 해석에서 각 요소에서의 온도는 해석 단계마다 변하게 된다. 따라서, 성형 한계 예측을 위한 FLD를 다이와 홀더의 온도에 맞추어 선택할 것이 아니라 각 요소의 온도에 맞추어 선택해야 한다.

3. 금형 형상에 따른 성형 한계 평가

앞 절에서와 같은 해석 조건을 이용하여 금형 코너 반지름에 따른 성형 한계를 온간 성형 해석을 통하여 평가하였다. 해석에 사용한 금형 코너 반지름의 크기를 Table 2에 나타내었다. 다이 및 홀더 온도에 따른 금형 형상에 대한 성형 깊이를

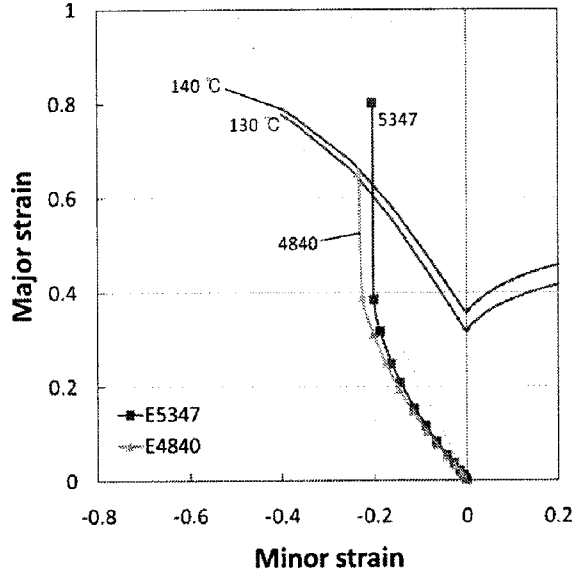
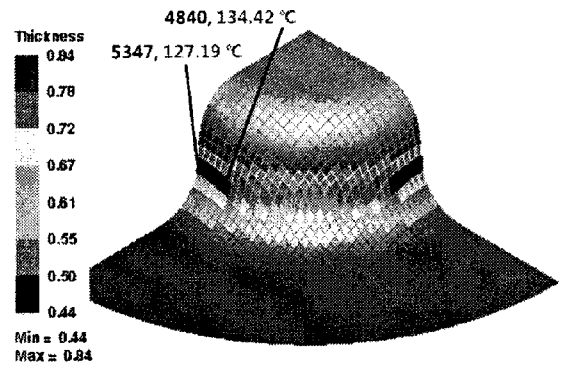
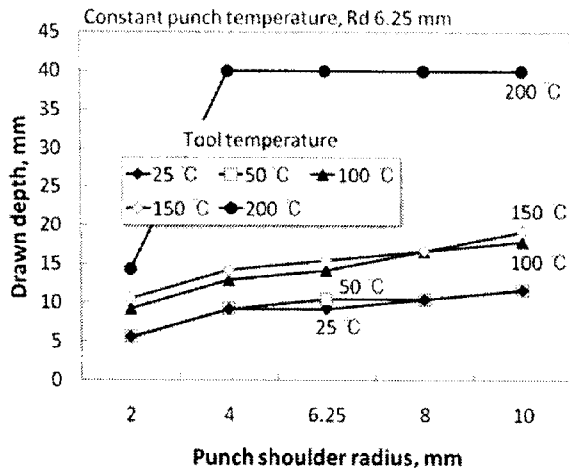


Fig. 5 Strain path of failure point (die and tool temperature 150 °C)

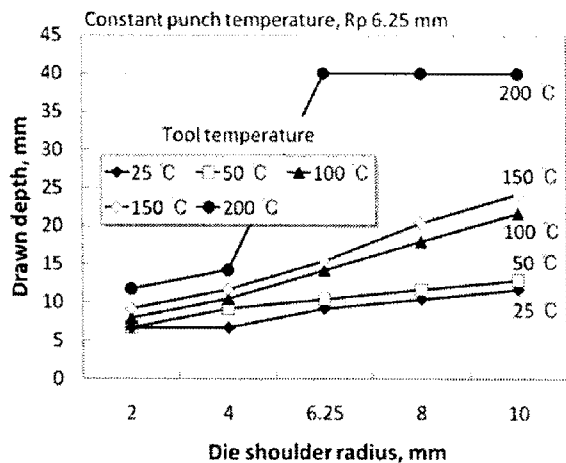
Fig. 6에 나타내었다. CASE 1과 CASE 2의 경우 모두 다이와 홀더의 온도가 올라갈수록 성형 깊이가 증가하는 것을 알 수 있고, 금형의 코너 반지름의 크기가 증가할수록 성형 깊이가 증가하는 것을 알 수 있다. CASE 1에서 다이와 홀더 온도 200 °C에 대한 R_p 4mm의 성형해석 결과 성형 깊이가 40 mm까지 파단 없이 성형이 되었음을 확인할 수 있다. 또한, 금형의 온도 150 °C 이하에서는 펀치 코너 반경의 증가에 대한 성형 깊이의 증가율이 적은 것을 알 수 있다. CASE 2에서 다이의 코

Table 2 Tool shoulder radius (R_D is die shoulder radius and R_P is punch shoulder radius)

CASE 1		CASE 2	
R _D	R _P	R _D	R _P
6.25	2.0	2.0	6.25
	4.0	4.0	
	6.25	6.25	
	8.0	8.0	



(a) CASE 1; constant $R_D = 6.25$ mm



(b) CASE 2; constant $R_P = 6.25$ mm

Fig. 6 Effect of tool shoulder radius on formability at various temperatures

너 반경이 작을수록 성형 깊이가 작은 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 마그네슘 합금 판재의 온간 성형 해석에서 파단 예측을 위한 FLD 사용에 대한 연구를 수행하였다. 온간 성형 해석에서 파단 예측을 위한 FLD를 각 요소의 온도와 같은 FLD를 사용하여 성형 한계를 평가하였다. 그 결과 다이와 홀더의 온도가 올라갈수록 성형 깊이가 증가하는 것을 알 수 있었다. 금형의 코너 반경이 작은 경우에 대한 성형 해석에서도 다이와 홀더의 온도가 올라갈수록 성형 깊이가 증가하는 것을 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, 오세용, 이준희, 강충길, 2005, AZ31B 마그네슘 판재의 온간, 열간 딥드로잉 성형성 평가, 한국소성가공학회지, 제14권, 제7호, pp. 628~634
- [5] 이명환, 김현영, 김형중, 김홍규, 오수익, 2007, 마그네슘 합금 판재의 온간 딥드로잉 공정의 성형해석, 한국소성가공학회지, 제16권, 제5호, pp. 401~405
- [6] 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
- [7] 김홍규, 이위로, 홍석관, 김중덕, 한병기, 2006, 마그네슘 합금 AZ31 판재의 온간 사각컵 디프드로잉 공정의 유한요소 해석, 한국소성가공학회지, 제15권, 제3호, pp. 232~240
- [8] 이명환, 김현영, 김홍규, 오수익, 2007, AZ31 판재의 온간 원형컵 딥드로잉 공정의 유한요소 해석, 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 230~233
- [9] 김현영, 최선철, 이한수, 김형중, 이형택, 2007, AZ31B 마그네슘 합금판재의 온간 성형한계도 및 스프링백 특성 시험, 한국소성가공학회지, 제16권, 제5호, pp. 364-369