

십자 형상 금형의 디프 드로잉에서 AZ31B 마그네슘 합금판재의 성형 한계

황상희¹ · 최선철¹ · 김현영^{1#} · 김형종¹ · 홍석무² · 신용승² · 이근호²

Forming Limit of AZ31B Magnesium Alloy Sheet in the Deep Drawing with Cross Shaped Die

S. H. Hwang, S. C. Choi, H. Y. Kim, H. J. Kim, S. M. Hong, Y. S. Shin, G. H. Lee

Abstract

Magnesium alloy sheets are usually formed at temperatures between 150°C and 300°C because of their poor formability at room temperature. In the present study, the formability of AZ31B magnesium alloy sheets was investigated by the analytical and experimental approaches. First, tensile tests and the limit dome height test were carried out at elevated temperatures to get the mechanical properties and forming limit diagram, respectively. And then deep drawing of cross shaped die was tried to get the minimum corner radius and forming limit at specific temperature. Blank shape, punch velocity, minimum corner radius, fillet size, etc, were determined by finite element analysis physical try-outs. Especially, optimum punch and die temperature were suggested through the temperature-deformation analysis using Pam-stamp.

Key Words : AZ31B Magnesium Alloy(AZ31B 마그네슘 합금), Forming Limit(성형 한계), Cross Shaped Die(십자형 금형), Deep Drawing(디프드로잉), Minimum Corner Radius(최소 코너 반경)

1. 서론

마그네슘 합금은 초경량 소재이며, 진동 흡수성 및 방열성이 우수할 뿐만 아니라, 재활용이 용이하고 플라스틱에 비하여 전자파 차폐성이 우수하기 때문에 전자, 정보통신기기 부품에 널리 사용되고 있다. 마그네슘 합금 부품의 제조공법으로는 다이캐스팅(die-casting)이 98% 이상 사용되고 있으나, 두께 0.8mm이하가 되면 불량률이 높고 성형 시 주조결함 제거를 위한 복잡한 후처리 공정이 필요하기 때문에 생산성이 저하된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 고온의 우수한 마그네슘 성형성을 이용한 열간 박판 프레스 성형이 부각되고 있는 추세이다. 마그네슘 온간 박판 성형 시 다이캐스팅과 달리 제품 표면의 상태가 우수하고, 후처리 공정이 생략가능

하며, 두께 0.5mm 이하의 제품 생산이 가능해진다[1].

마그네슘 합금판재의 생산이 일반화되면서 마그네슘 합금 판재의 온간 유한요소해석, 판재의 성형성 평가 연구 및 스프링백 시험 등 마그네슘 합금 판재에 대한 연구가 진행중이다[2][3][4]. 하지만 대부분의 연구가 원형 및 사각형 금형을 이용하여 등온에서 진행되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 다소 복잡한 형태의 십자 형상 금형을 이용하여 마그네슘 합금판재의 온간 성형 시 최대 성형높이와 십자 형상의 코너부, 필렛부, 어깨부의 최소 반경을 온간 유한요소 해석으로 도출하였다.

또한, 각 금형 온도를 변수로 두고 실험계획법을 이용하여 최적화를 하였으며, 이를 바탕으로 실제 금형을 설계 및 제작하였다.

1. 강원대학교 기계·메카트로닉스 공학부

2. ㈜ 삼성전자 생산 기술 연구소

E-mail: khy@kangwon.ac.kr

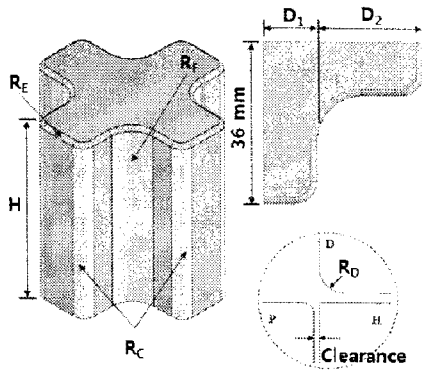


Fig. 1 Geometry model of cross shaped punch

Table 1 Range of design variables

Variable	Range
Dimension_1, (D ₁), mm	12, 15, 18
Dimension_2, (D ₂), mm	24, 21, 18
Edge radius (R _E), mm	1.0, 1.5, 2.0
Fillet radius (R _F), mm	5.0, 10.0, 13.0
Corner radius (R _C), mm	1.0, 3.0, 5.0
Die radius (R _D), mm	1.0, 1.5, 2.0
Clearance (C), mm	0.5, 0.6, 0.7
Punch temp. (P _T), °C	25, 75, 100, 150, 200, 250
Die & holder temp. (D _T), °C	200, 250

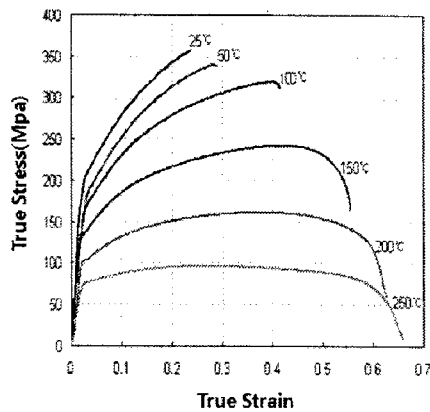


Fig. 2 Flow stress curves at elevated temperatures

Table 2 Thermal material property

Material	AZ31B
Density (kg/mm ³)	1.77e-6
Thermal conductivity (W/m °C)	96
Specific heat (J/kg °C)	1000
Interface heat transfer coefficient (N/s mm °C)	4

2. 십자형 금형 설계 해석

2.1 설계 변수 정의

십자형 금형의 치수를 결정하기 위하여 펀치 윗면의 거리(D₁, D₂), 어깨부 반경(R_E), 필릿 반경(R_F), 모서리 반경(R_C), 다이 반경(R_D) 및 클리어런스(C) 등을 설계 변수로 선정하였고, 각 설계 변수를 Fig. 1에 도식화하였다. 또한, 마그네슘 판재의 온간 성형 시 펀치의 온도가 다이의 온도보다 낮은 비등온 조건에서 성형 깊이가 증가한다는 연구결과를 바탕으로 펀치 온도(P_T), 다이 온도(D_T)도 설계 변수에 포함하였다. 각 설계 변수와 변수 범위를 Table 1에 나타내었다.

2.2 변수 선정을 위한 성형 해석

성형 해석은 상용 소프트웨어인 PAM-STAMP v2007을 사용하였으며, 해석 시 공기에 의한 열대류 및 Strain rate 효과는 무시하였다. 성형 해석에 사용된 재료 물성치 중 온도별 유동응력 곡선은 Fig. 2에 나타내었고, 열관련 물성은 Table 2에 정리하였다[5]. Table 1에 볼드체로 표시된 값을 기본 모델로 정하고, 초기 성형 깊이를 15mm로 하여 각 변수 범위에 대하여 일 변수 연구를 통해 값을 결정하였다. 해석 시 파단 조건은 선행연구에서 진행한 온도별 성형한계도를 사용하였다[6]. 블랭크 형상 또한 성형 결과에 영향을 미치므로 Fig. 3과 같이 4종류의 형상을 정하여 진행하였다.

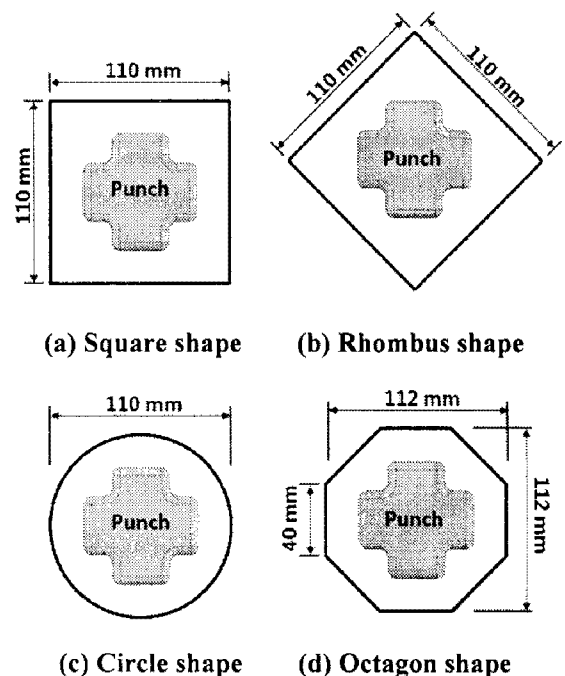


Fig. 3 Dimension and shape blank

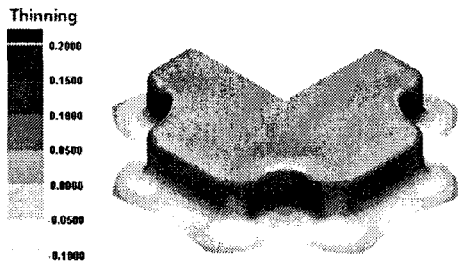


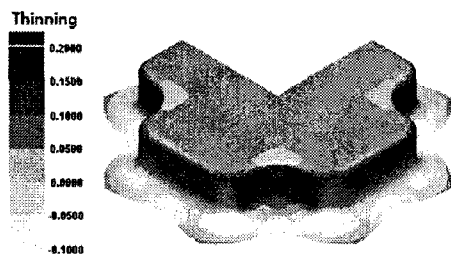
Fig. 4 Thinning distribution

Table 2 Level of design variable

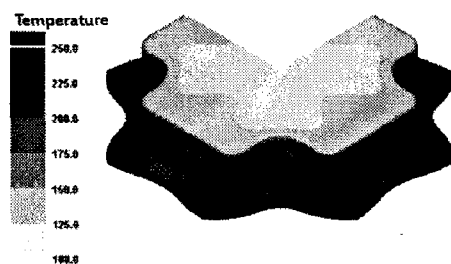
Variables(unit)	Level 0	Level 1
Die temperature, D_T (°C)	200	250
Holder temperature, H_T (°C)	200	250
Pad temperature, PD_T (°C)	150	200
Punch temperature, P_T (°C)	100	150

Table 3 ANOVA table of tool temperature

	SS	DOF	MS	F-test
D_T	24.675	1	24.675	2.638
H_T	3.878	1	3.878	0.415
PD_T	4.337	1	4.337	0.464
P_T	49.551	1	49.551	5.298
Error	28.056	3	9.352	
Total	110.497	7		



(a) Distribution of thinning



(b) Distribution of temperature

Fig. 5 Thinning and temperature distribution

성형 해석 결과 금형의 치수에 관계없이 다이와 펀치의 온도차이가 50°C 이하일 경우 코너부의 과도한 변형으로 파단이 발생했다. 금형의 온도는 P_T :150, D_T :250인 경우에 성형성이 가장 좋았으며, 금형 치수 변수 중 필렛 및 다이반경인 R_F , R_D 가 성형에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다. 파단이 발생치 않는 모델 중 각 반경의 최소 치수는 D_1 :18, D_2 :18, R_E :1.5, R_F :10, R_C :5, R_D :5, C :0.6이며 원형 및 마름모형 블랭크의 경우 가장 좋은 결과를 보였다(Fig. 4).

3. 최대 성형 높이 구현을 위한 온도 최적화

3.1 금형 온도 최적화

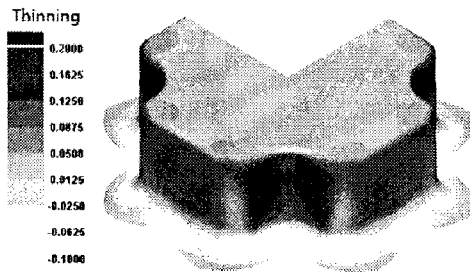
일련의 성형해석 결과로 도출한 최소 금형 반경을 바탕으로 최대 성형높이를 구현하기 위해 성형성에 가장 큰 영향을 미친 온도에 대하여 최적화를 실시하였다. 또한 금형형상에 의해 필연적으로 발생하는 벌징 문제를 해결하기 위해 블랭크 윗면에 패드를 설치하였으며, 패드의 온도도 온도 최적화에 포함하였다.

앞선 금형 온도를 바탕으로 L_82^3 직교배열표를 이용하여 온도 최적화를 수행하였다. 각 온도 변수는 2수준으로 Table 2와 같이 설정하였으며, 목적함수를 두께 변화율로 두어 각 금형 온도별 분산분석 결과를 Table 3에 나타내었다. 성형성에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 펀치 온도(P_T) 및 다이 온도(D_T)이며, 패드 온도(PD_T), 홀더 온도(H_T)는 상대적으로 작은 영향을 보였다. 이러한 결과로 금형별 최적 온도는 다이 250°C, 홀더 250°C, 패드 150°C, 펀치 100°C이며, Fig. 5에 나타내었다.

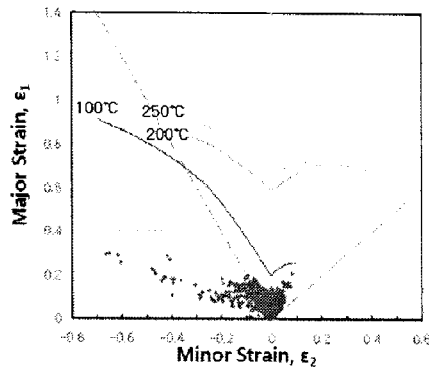
3.2 최대 성형높이 결정 및 금형제작

앞서 결정된 금형별 온도 및 최소 금형 반경을 바탕으로 최대 성형높이를 구현하기 위해 5mm 간격으로 20, 25, 30mm까지 성형높이를 증가시켜 성형해석을 진행하였다. 성형해석 결과 성형 높이 30mm의 경우 파단이 발생하였으며, 25mm의 경우 파단 발생없이 성형됨을 확인하였다.

성형해석 결과를 바탕으로 Fig. 7과 같이 십자 금형을 제작하였다. 금형의 가열은 히트 카트리지를 사용하였으며, 다이와 홀더에 비해 온도가 낮은 패드와 펀치에 냉각 채널을 설치하여, 온도를 유지하였다.



(a) Distribution of thinning



(b) Distribution of strain

Fig. 6 Analysis result of 25mm deep drawing

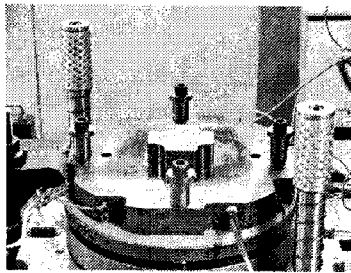


Fig. 7 Die set of cross shaped die

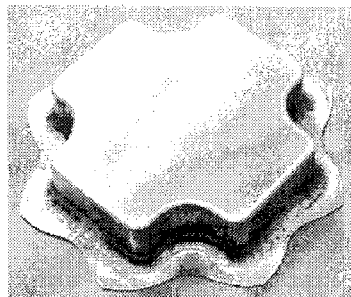


Fig. 8 Tryout result of 15mm deep drawing

4. 결 론

본 연구에서는 마그네슘 합금 판재의 금형 온도차이에 의한 성형성 및 최소 금형 반경을 유한

요소해석을 통하여 도출하였으며, 이를 바탕으로 온간 십자형 금형을 제작하였다. 향후 시제품과 해석결과를 비교하여 금형 온도별 마그네슘 온간 성형 해석 모델의 타당성과 신뢰성을 검증하는 절차가 수행되어야 할 것이다.

(1) 금형의 필렛부, 코너부, 어깨부 반경을 변수로 온간성형해석을 진행하여 파단이 발생하지 않는 각 반경의 최소값을 결정하였다.

(2) 각 금형 온도를 실험계획법을 이용하여 유한요소해석으로 최적화를 진행하였으며, 각 금형의 최적온도를 다이 250°C, 홀더 250°C, 패드 150°C, 펀치 100°C로 결정하였다.

(3) 파단이 발생하지 않는 최소 금형 반경은 필렛부 10mm, 코너부 5mm, 어깨부 1.5mm 다이 반경 5mm였으며, 필렛부 및 다이 반경이 성형에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] Horst E. Friedrich, Barry L. Mordike, Magnesium Technology - Metallurgy, Design Data Applications, Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- [2] M.G. Lee, R.H. Wagoner, J.K. Lee, K.Chung, H.Y. Kim, 2008, Constitutive modeling for anisotropic / asymmetric hardening behavior of magnesium alloy sheet, International Journal of Plasticity, pp.545~582.
- [3] H.J.Kim, H.Y.Kim, S.C.Choi, K.T.Lee, 2007, Experiments for Forming Limit Diagram and Springback Characteristics of AZ31B alloy sheet at Elevated Temperatures, ASMA-II, pp. 328~329.
- [4] M.H.Lee, H.Y.Kim, H.J.Kim, Y.C.Choi, S.I.Oh, 2007, Numerical Modeling of Magnesium Alloy Sheet Metal Forming at Elevated Temperature, ASMA-II, pp. 569~574.
- [5] 이명환, 김현영, 김홍규, 오수익, 2007, AZ31 판재의 온간 원형컵 딥드로잉 공정의 유한요소 해석, 한국소성가공학회 추계학술대회, pp. 230~233.
- [6] 최선철, 이한수, 이경택, 김형종, 김현영, 2007 AZ31B 마그네슘 합금판재의 온간 성형한계도 및 스프링백 특성 시험, 한국소성가공학회지, 제16권, 제5호, pp.364~369