

AZ31B 합금판재 성형관련 기초물성 시험 및 해석 연구

김세호^{#1}, 박기동^{1,2}, 장정호^{1,2}, 김경태², 이형욱³, 이근안², 최석우²

Experimental and Analytical Researches on Mechanical Properties Related to Formability of AZ31B Alloy Sheet

S. H. Kim, K. D. Park, J. H. Jang, K. T. Kim, H. W. Lee, G. A. Lee, S. Choi

Abstract

In this paper, tension tests and formability tests are performed to construct a database related to mechanical properties and the formability of the AZ31B Mg alloy sheet. A forming test with a hemi-spherical punch is conducted at varying temperatures to establish a forming limit diagram. In order to verify the applicability of the analysis using the conventional flow hardening model, a finite element analysis is performed on the hemi-spherical punch forming process and the results are compared with experimental ones. The study investigates problems involving a computational analysis that does not consider flow softening of the magnesium alloy at elevated temperatures.

Key Words : AZ31B Mg alloy, Tensile test, Formability test, Finite element analysis, Flow softening

1. 서론

마그네슘 합금은 철강재료에 비하여 초경량이며 재 활용이 용이하고 플라스틱에 비하여 전자파 차폐성이 우수하기 때문에 자동차, 전자, 정보통신기기 부품으로 널리 활용되고 있다. 마그네슘 합금은 가공조건에 따라 성형성이 민감하게 달라지므로 공정 변수의 조절이 어려우며, 그 제품 성형을 위한 공정설계 및 금형 설계, D/B 구축이 시급하다. 최근 마그네슘 합금 판재의 온간성형 시 기계적 물성치를 구하기 위한 연구[1-2]가 활발히 수행되고 있다. 그러나, 온도와 변형률 속도의 의존함수인 재료물성의 전산역학적 모사에는 한계가 있어, 성형해석 시의 변형 및 불량의 예측은 난제로 남아있다.

본 논문에서는 AZ31B 마그네슘 합금 판재의 기계적 물성의 파악을 위하여 온도 및 변형률 속도의 변화를 고려한 인장시험을 수행하였다. 성형성의 정량화를 위하여 다양한 온도에서 반구형 펀치 성형 시험을 수행하고 성형한계선을 구하였

다. 본 논문에서 구한 물성의 효용성을 검증하기 위하여 반구형 펀치 성형 공정의 유한요소해석을 수행하였다. 이를 바탕으로 현재의 재료물성 모델이 가지고 있는 문제점을 검토하고 추후 연구진행 방향을 검토하였다.

2. 기계적 물성치 도출

2.1 인장시험 개요

AZ31B 마그네슘 합금 판재의 기본적인 기계적 물성치를 추출하기 위하여 다양한 온도와 변형률 속도 조건에서 인장시험을 수행하였다. 사용된 소재는 미국 MEL(Magnesium Elektron)사의 제품으로 초기 두께는 0.8 mm 이다. 상온, 100, 200, 250, 300, 400°C의 6가지로 하여 시험을 수행하였으며, 변형률 속도는 10^{-3} , 5×10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} , 10^0 s^{-1} 로 부과하였다. 압연방향에 대하여 각각 0°, 45°, 90°의 방향으로 시험을 실시하였다. 기타 시험조건은 Kim 등 [3]의 논문과 동일하다.

1. 대구대학교 자동차·산업·기계공학부
2. 한국생산기술연구원 디지털성형공정팀
3. 충주대학교 에너지시스템공학과
교신저자: mvksh@daegu.ac.kr

2.2 인장시험 결과

Fig. 1에 압연방향에 대한 온도, 변형률속도 조건에 따른 응력-변형률 선도를 도시하였다. 온도가 증가함에 따라서 열적연화 현상 및 변형률속도 경화 현상을 확인할 수 있었다. Fig. 2에 온도와 변형률 속도에 따른 인장강도, 변형경화지수(n), 연신율(e_f)을 도시하였다. 인장강도는 동일온도에서 변형률 속도에 따라 선형적으로 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 마그네슘 합금의 온간가공 구간으로 알려져 있는 200°C~300°C에서는 변형률 속도에 따른 연신율의 변화가 작은 것을 확인할 수 있으며, 이는 실제 제품을 생산하기 위하여 가공속도를 높이더라도 성형성에는 큰 문제가 없음을 의미한다. 연신율은 상온, 100°C, 300°C~400°C 구간에서는 변형률속도가 증가하면 감소하나 200°C~300°C 구간에서는 특별한 경향을 보이지 않는다. 온도가 상승함에 따라 변형저항이 감소하여 400°C에서는 변형경화가 거의 일어나지 않으며, 200°C~300°C의 온도범위에서 변형률 속도가 증가할수록 가공경화지수가 선형에 가깝게 증가함을 볼 수 있다.

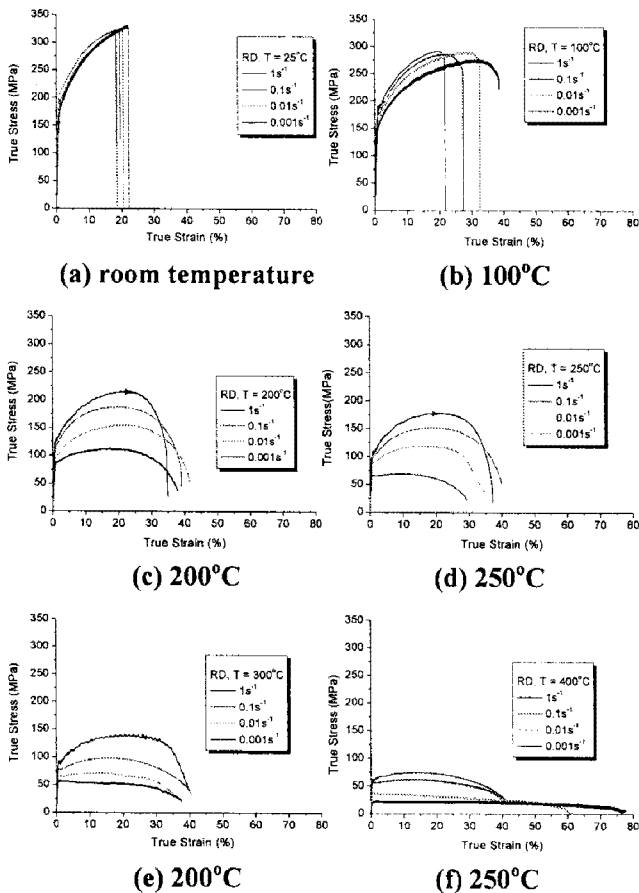
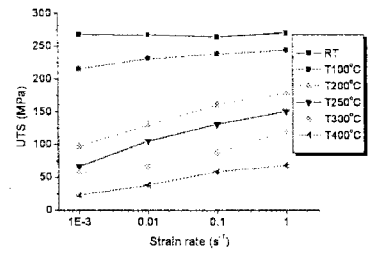
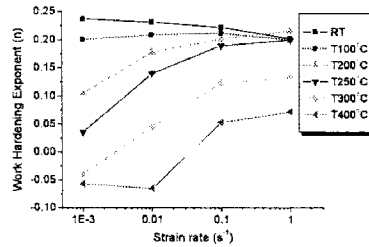


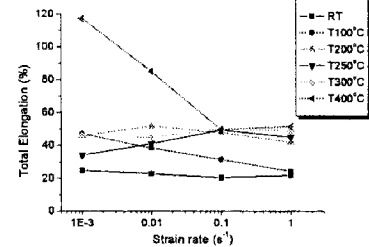
Fig. 1 Stress-strain curves obtained from tensile tests



(a) tensile strength



(b) work hardening exponent



(c) total elongation

Fig. 2 Effect of the strain rate on mechanical properties

Table 1 Strain rate sensitivity according to the temperature

Temperature	m-value
RT	0.00349
100°C	0.02002
200°C	0.08925
250°C	0.13495
300°C	0.13984
400°C	0.18531

변형률 속도 민감도 m 을 구하기 위하여 각 온도에서 변형률 0.15 시점의 응력-변형률 속도 그래프의 로그-로그 기울기를 측정하였다. Table 1에 온도에 따른 m 값을 도시하였다.

3. 성형한계도 구축

AZ31 마그네슘 합금 판재의 성형성한계도를 제작하기 위하여 성형한계 시험을 실시하였다. 본 논문에서 제작된 반구형 펀치 금형의 형상 및 치

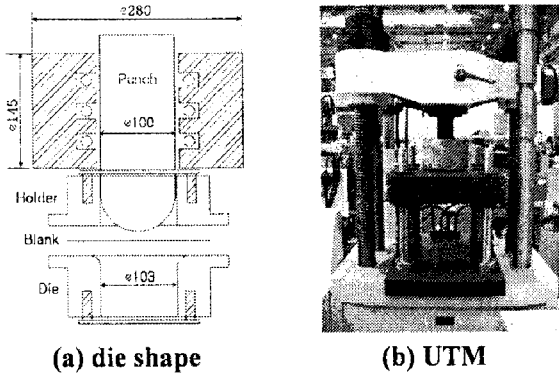


Fig. 3 Schematic shape of the testing machine and the die for the formability test

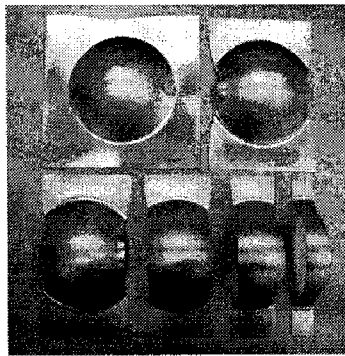


Fig. 4 Deformed shape of the blank after the formability test at 200°C

수는 Fig. 3(a)에 나타내었으며, 금형은 Fig. 3(b)와 같이 SIMADZU사의 100톤 만능재료시험기(UTM)에 장착되었다. 초기 블랭크의 형상은 직사각형으로 크기는 압연방향과 일치하는 길이방향의 크기가 175mm이고, 폭이 25, 50, 75, 100, 120, 175mm인 6가지 종류의 시편을 사용하였다. 변형률 측정을 위한 격자 인쇄는 전기화학적 에칭법을 사용하여 2.5×2.5mm크기의 사각격자로 인쇄하였다. 시험은 100, 200, 250, 300°C의 4가지 온도조건으로 진행하

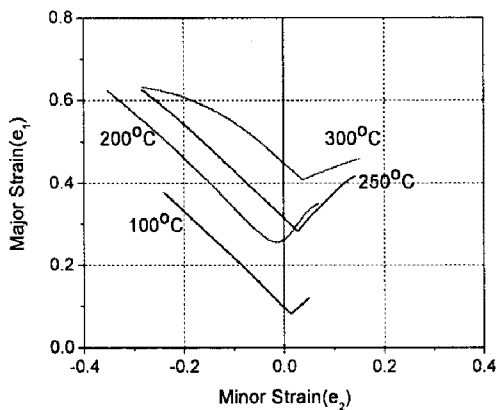


Fig. 5 FLD constructed at various temperatures

였고, 펀치속도는 20mm/min로 부과하였다. 시험 후 FMTI systems사의 격자 측정시스템으로 격자의 주, 주변형률을 측정, 계산하였다.

Fig. 4에 200°C에서 시험한 시편의 형상을 도시하였으며, 각 온도별 성형한계도를 Fig. 5에 도시하였다. 주변형률 FLD_0 은 온도가 증가함에 따라 크게 증가하는 경향을 보이며, 이는 200°C 이상의 온도에서 동적재결정 현상으로 인하여 성형성이 증가하는 것을 의미한다.

4. 성형공정해석

기존의 가공경화 모델을 사용한 전산역학 이론을 사용하여 마그네슘 판재 등온가공의 성형해석을 수행하고 기존의 이론이 성형공정 시의 변형 예측에 어떤 문제점을 보이는가를 고찰하였다.

4.1 성형해석 조건

해석에서 고려한 공정은 성형성 시험에 사용한 반구형 펀치 성형공정이며, 열전달을 고려하지 않은 등온성형 조건으로 100°C와 200°C의 온도에서 해석을 수행하였다. 해석은 LS-DYNA3D를 이용하였다. 성형해석을 위한 유한요소 시스템은 Fig. 6과 같으며, 블랭크 재료의 물성치는 2장의 인장시험으로부터 얻은 결과를 이용하였다. 재료는 평면이방성을 고려하여 모델링하였으며, 온간가공 조건에서의 가공연화는 고려하지 않고, 가공경화만 발생한다고 가정하였다. 쿨롱 마찰계수는 0.15를 부과하였으며, 그 외 조건은 시험과 동일하게 부과하였다.

4.2 성형해석 결과

Fig. 7과 Fig. 8에 각각 하중 곡선과 두께변형률

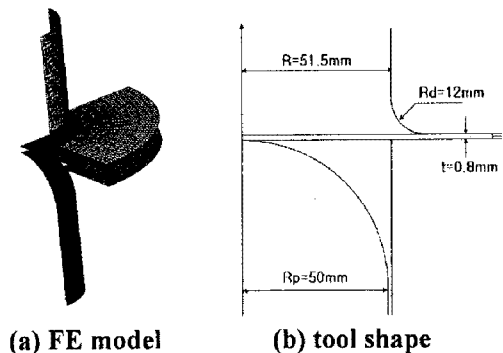
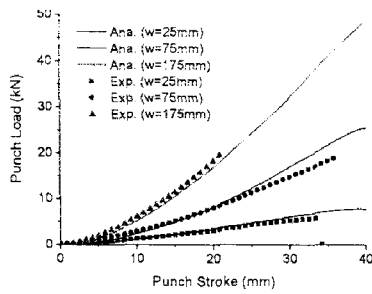
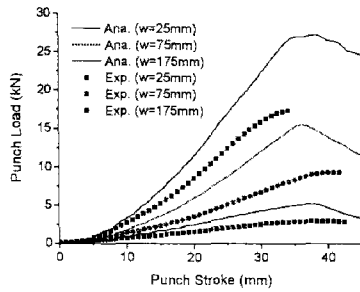


Fig. 6 Schematic shape of the finite element model and the tools shape for the FE analysis

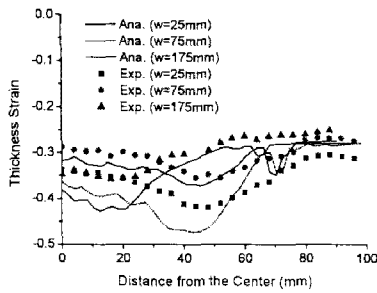


(a) 100°C

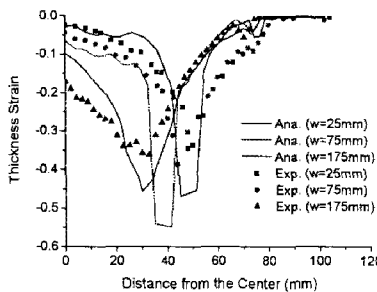


(b) 200°C

Fig. 7 Comparison of the punch load vs. punch stroke between the analysis and the experiment



(a) 100°C



(b) 200°C

Fig. 8 Comparison of the thickness strain between the analysis and the experiment

분포를 비교하였다. 재료가 가공경화 현상을 보이는 100°C의 경우는 펀치하중과 두께변형률 모두 시험과 해석이 잘 일치하고 있으나, 재료가 가공 연화를 보이는 200°C의 경우에는 해석이 하중과 변형을 크게 예측하고 있는 것을 확인할 수 있다.

해석의 재료 모델링 시 동적재결정에 의한 가공 연화를 고려하지 못하였으므로 오차가 발생한 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 AZ31B 마그네슘 합금 판재의 온간성형을 위한 물성치를 구하기 위하여 시험 및 유한요소해석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 다양한 공정조건에서 마그네슘 합금 판재의 인장시험 및 성형성 시험을 수행하여 기계적 물성치를 구하였다. 온간성형 조건에서는 연화현상이 발생하는 것을 확인하였고, 저온영역에서 보이는 성형성 저하현상이 온간성형 영역에서 개선됨을 확인할 수 있었다.

(2) 등온성형 공정의 유한요소해석을 수행하였으며, 시험값과 결과를 비교하였다. 온간성형 조건에서 시험치와 차이를 확인하였으며, 기존의 변형경화 이론을 사용한 재료물성 모델링 방법으로는 마그네슘 합금 판재의 온간성형을 전산해석하기 어렵다고 결론 내릴 수 있었다.

후기

본 연구는 2010 생산기반혁신기술개발사업의 일환으로 수행되었으며, 관계자분들께 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] H. Takuda, T. Morishita, T. Kinoshita, N. Shirakawa, 2005, Modeling of formula for flow stress of a magnesium alloy AZ31 sheet at elevated temperatures, J. Mater. Process. Technol, Vol. 164-165, pp. 1258~1262.
- [2] J. Liu, Z. Cui, L. Ruan, A flow stress formulation of magnesium alloy at elevated temperature, proc. NUMISHEET2007, pp. 1319~1324, 2007.
- [3] 김세호, 이형욱, 이근안, 김경태, 최석우, AZ31B 마그네슘 합금의 인장특성 및 이방성의 실험적 연구, 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 254~257, 2007.