

온간, 열간 판재 성형을 위한 AZ31B의 기계적 성질 평가

추동균* · 김우영* · 이준희** · 강충길***

Evaluation of Mechanical Properties of AZ31B for Sheet Metal Forming at Warm and High Temperature

D. K. Choo, W. Y. Kim, J. H. Lee and C. G. Kang

Abstract

In the present study, AZ31B sheets has a bad formability in room temperature, but the formability is improved significantly as increasing the temperature because of rolled magnesium alloy sheet has a hexagonal closed packed structure (HCP) and a plastic anisotropy. In this paper, after tensile test in various temperatures, strain rate, show the tensile mechanical properties, yield and ultimate strength, K-value, work hardening exponent (n), strain rate sensitivity (m). As temperature increased, yield, ultimate strength and K-value, work hardening exponent (n) are decreased but strain rate sensitivity (m) is increased. As cross-head-speed increased, yield, ultimate strength and K-value, work hardening exponent (n) are increased. And according to the temperature, how change the plastic anisotropy factor R. In addition, we observed how temperatures and cross-head-speed effect on microstructure.

Key Words : Magnesium Sheet, Mechanical Properties, Temperatures, Strain rate, Formability.

1. 서론

마그네슘은 구조용 합금중 가장 경량이고, 또한 재활용이 가능하다는 점에서 최근 주목을 받고있다. 그러나 마그네슘은 전형적인 육방 조밀형 금속이고 상온에서 활동 가능한 슬립계가 극단적으로 적기 때문에 소성 가공성이 나쁘고 그 적용에 한계가 있어서, 뛰어난 비강도와 기계적 특성, 전자파 차폐성 등 많은 장점에도 불구하고, 성형성이 좋지 않기 때문에 주조제품에 한정되어 적용이 이루어져 왔다[1]. 상온, 대기압에서 마그네슘의 결정 구조는 육방 조밀 격자 구조를 갖는다[2]. 마그네슘과 같이 육방 조밀 격자를 갖는 재료의

소성 변형기구는 (0001) <11 $\bar{2}$ 0> 저면 슬립(basal slip), {10 $\bar{1}$ 0} <11 $\bar{2}$ 0> 주면슬립(prismatic slip), 그리고 {10 $\bar{1}$ 1} <1 $\bar{2}$ 10> 추면슬립(pyramidal slip)이 대표적이다[3]. 이들 슬립계에서 발생하는 모든 슬립 방향은 c-축(육방격자축)에 수직을 형성하며 그 방향이 판재의 면에 대해 평행하게 배열하는 강한 저면 집합 조직을 형성하기 때문에 판의 두께감소를 수반하는 변형에 대해서는 강한 이방성을 나타내어서 일반적으로 상온에서 프레스 성형은 어렵다. 그러나, 성형 온도를 높일수록 작용하는 슬립계의 수가 많아져, 성형성이 좋아지는 특성을 가진다[4],[5]. 따라서 최근에는 Mg 합금의 고온 성형성을 향상 시키기 위하여 고온에서의 기계적 성질을

* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

** 동아대학교 신소재공학과

*** 부산대학교 기계공학부

구명하는 연구가 국내외로 다양하게 수행되고 있다[6],[7]. 그럼에도 불구하고, 열간에서 Mg의 프레스 성형에 관한 연구는 부족하기 때문에, 보다 넓은 온도 범위와 변형률 속도 범위에서 가공 조건에 따른 최적의 변형 조건을 도출하고, 그에 따른 미세 조직의 변화를 통하여 최적의 성형 조건을 알아볼 필요가 있다. 본 연구의 목표는 AZ31B의 기초 물성치와 조직의 변화를 통하여, 향후 최적의 고온 프레스 성형에 관한 연구를 위한 기계적 특성과 성형성을 평가하고자 한다.

2. 실험

2.1 고온 인장실험 방법

본 실험에서 사용 되어진 AZ31B는 일본 Sankyo Aluminum사에서 제작한 두께 1.4mm 판재로서 조성 성분은 Table 1과 같다.

Table 1 Composition of AZ31B

Al	Zn	Zr	Mn	Fe
2.5 ~3.5	0.6 ~1.4	-	0.20 ~1.0	~0.005
Si	Cu	Ni	Ca	Rare earth
~0.10	~0.05	~0.005	~0.04	~0.30

인장실험기는 MTS사의 동적 재료 실험기를 사용하였으며, 고온 챔버(chamber) 역시 MTS사의 기종을 사용하였다. Fig.1과 같이 표점거리 25mm, 폭 6mm 시편에 고온 변형률 측정계(extensometer MTS-16%)를 부착하여 단축 인장실험을 하였다.



Fig. 1 ASTM sub-size specimen

MTS의 제어 방식을 하중제어로 설정하여 시편의 열팽창으로 인한 굽힘 발생을 방지하였다. 챔버의 온도 조절기를 조정하여 원하는 온도까지 올린다. 시편의 열팽창에 의해 변형률 측정계의 측정구간이 줄어들을 방지하기 위해 설정 온도까지 상승한 후에 변형률 측정계 장착한다. 시편의 온도가 챔버 내부의 온도와 같아져 정상상태

를 이루도록 2시간 유지시켜 인장실험을 하였다. 200, 250, 300, 350, 400 °C 다섯 종류의 온도 구간으로 설정했고, 변형 속도는 2, 20, 50, 100, 200mm/min으로 정해 각각 다른 변형률 속도를 가질 수 있게 실험을 하였다. 변형률 속도 민감도를 구하기 위해 변형 속도를 항복응력을 가지는 변형률 영역과 최대 인장응력을 가지는 변형률 사이 지점에서 20~100mm/min으로 변화시켜 각 온도마다 실험했다. 그리고 판재의 0°, 45°, 90° 방향으로 시편을 가공하여 변형률이 표점거리의 약 15% 되는 지점까지 시편이 변형할 수 있게 해서 폭과 두께를 측정하여 이방성 계수를 구했다.

2.2 미세조직의 관찰

미세조직을 관찰하기 위해 에탄올 35ml, H₂O 5ml, 아세톤 5ml, 피크릭산 21g 용액에 에칭한 후 알코올 증기 세척한 후 광학 현미경을 이용해 200배 배율로 파단부의 조직을 관찰 하였다[8].

3. 실험 결과

3.1 인장실험

3.1.1 단일 인장실험

인장 실험으로 정리된 결과를 알아보기 쉽게 Fig. 2에 변형률에 따른 항복응력, 최대인장응력, K, n 값들의 변화를 도시 하였다.

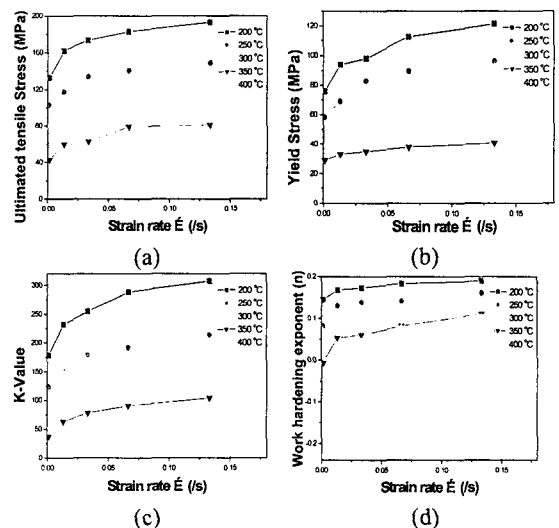


Fig. 2 According to the strain rate (a) Yield Stress, (b) UTS, (c) K-Value, (d) Work hardening exponent 항복 응력, 최대 인장 응력, K-value 모두 응력

에 관한 변수라고 할 수 있다. Fig 2의 (a),(b),(c) 모두 온도가 상승 하면 각각의 세 변수 모두 같은 변형률 속도에서 값이 낮아지는 것을 알 수 있고, 변형률 속도가 상승하면 기울기는 낮아지지만 점차 값이 상승하는 것을 볼 수 있다.

소성 가공에서 중요한 요인으로 작용하는 가공경화 지수 n 값 역시 온도와 변형률 속도에 대해 비슷한 양상을 보이거나 Fig. 2의 (d)와 같이 온도가 상승함에 따라 가공경화지수가 감소하는 경향이 완만함을 알 수 있다.

3.1.2 2 단 인장실험

각 온도 구간별로 항복응력을 가지는 변형률 영역과 최대 인장응력을 가지는 변형률 사이 지점에서 속도를 20~100 mm/min 으로 조정하여 얻은 변형률 속도 민감도 지수 값을 Table 2에 정리해 보았다.

Table 2 strain rate sensitivity according to the temperature

T (°C)	m
200	0.084
250	0.127
300	0.132
350	0.165
400	0.499

Table 2에 나타낸 수치를 Fig. 3에 도시해 보았다.

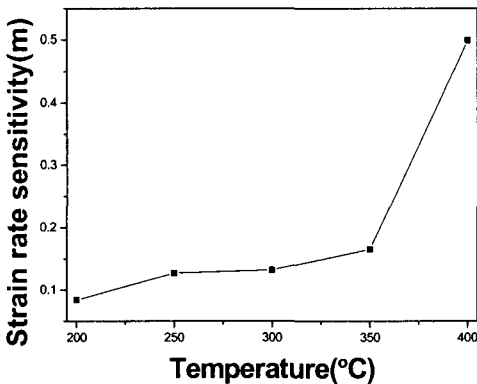


Fig. 3 Strain rate sensitivity (m) according to the temperature

판재 성형에서 네킹의 확산에 영향을 미치는 인자인 변형률 속도 민감도는 온도가 상승함에 따라 상승하고 금속의 초소성 거동에 대한 이론 [9]에 따라 400°C 이상의 온도와 10^{-2} /sec 이하의 변형률 속도에서 초소성을 가진다는 것을 나타낸다.

Fig. 4 보여주는 바와 같이 250 °C 근방에서 소재의 이방성이 사라져 스트레칭이나 뒹드로잉과 같은 판재성형시 판재의 이방성으로 인하여 생기는 귀생김 현상이 줄어들을 알 수 있으나, 이방성 계수가 1 이하로 낮아지는 300°C 이상의 고온 영역에서는 성형성이 낮아 질 것이라는 것을 알 수 있다 [9].

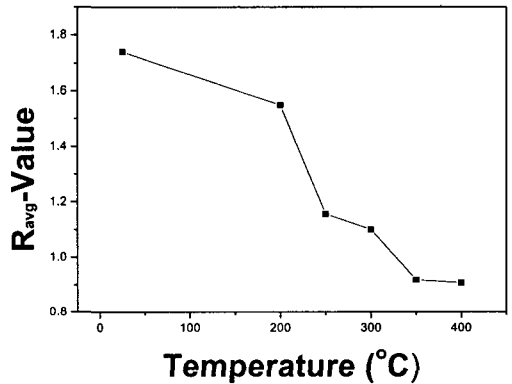


Fig. 4 A change of anisotropy factor R, according to the temperature

3.2 미세 조직

Fig. 5, 6의 사진에서 까맣게 보이는 부분이 파단이 일어난 부분이다. 시편의 파단부를 절단하여 에칭과 연마를 하여 광학현미경으로 관찰한 것이다.

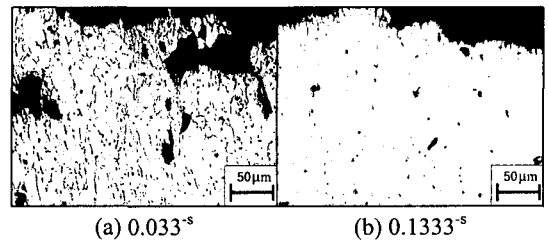


Fig. 5 Comparison of microstructure at different strain rate (Temperature 200 °C)

Fig. 5와 Fig. 6의 (b) 사진을 순서대로 보면 변

형률 속도가 증가 함에 따라 결정립이 횡축으로 늘어나는 것을 볼 수 있다.

Fig. 6 을 보면 200 °C 까지는 온도가 상승 함에 따라 결정립이 성장 하는 것을 볼 수 있고 그 이상의 온도에서 재결정이 일어나는 것을 볼 수 있었다. 재결정 온도 이상에서는 온도가 상승함에 따라 다시 결정이 성장한다. 200~300 °C 사이에서 인장실험을 통한 재료의 기계적 특성이 급격하게 변하는 이유가 위에서 보는 바와 같이 소재의 재결정으로 인한 소재의 연화에 있다는 점을 알 수 있다.

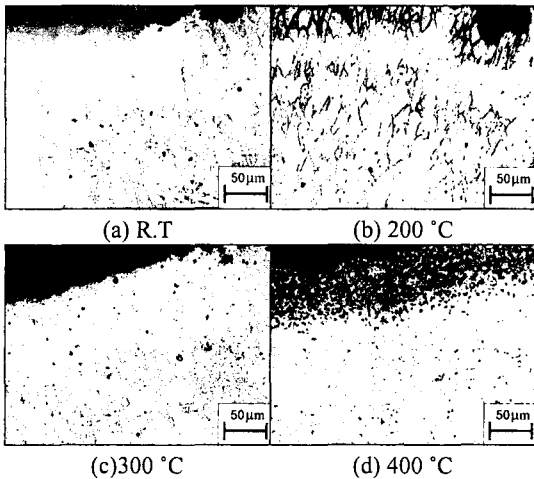


Fig. 6 Comparison of microstructure at different temperature (strain rate 0.00133^{-s})

4. 결 론

본 연구에서는 일반적으로 AZ31B 의 소성 가공이 이루어지고 있는 200°C 부터 300°C 사이의 온도 구간까지 이외에도 그 이상의 온도인 400°C 까지의 범위에서 변형률 속도를 달리하여 기계적 성질을 알아보고 미세조직의 관찰을 통하여 변화의 원인을 파악하였다. 이로 인하여 상기 온도 구간에 대한 재료의 온도, 열간 프레스 성형성의 규명에 필요한 물성치를 구축하였다. 실험 결과를 요약 정리해 보면 다음과 같다.

(1) 항복응력, 최대 인장응력, K-value, 가공 경화지수 n 값 모두 온도가 증가함에 따라 낮아지고 속도가 증가함에 따라 높아짐을 알 수 있고 이방성 역시 온도가 증가 함에 따라 사라진다.

(2) 상온에서부터 온도가 상승함에 따라 결정립계의 크기가 성장하는 것을 볼 수 있고, 200 °C 이상이 되면 재결정이 일어나는 것을 확인 할 수 있다. 이로 인해 가공 경화 지수가 낮아지고, 변형률 민감도가 상승하는 등 재료가 연화되는 것을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 동아대학교 신소재 가공 청정공정 개발 연구센터의 지원에 의해 행해졌으며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) T. Morishita, H. Takuda, T. Kinoshita and N. Shirakawa 2003, "Flow stress of a magnesium alloy AZ31 sheet at elevated temperatures", Proceeding of the 54th Japanese joint Conference for the Technology of Plasticity.
- (2) E. R. Jete and F. Foote, 1935, J.Chem Phys., Vol. 3, pp. 605~616.
- (3) T. Obara, H. Yoshinaga and S. Morozumi, 1973, "{1122}<1123> slip system in magnesium", Acta Metall., Vol. 21, pp. 452~457.
- (4) 원성연, 오상균, K.Osakada, 박진기, 김영석, 2004, "AZ31 마그네슘 합금 판재의 기계적 특성평가(1)", 2004년도 한국소성가공학회 춘계학술대회논문집, pp. 53~56.
- (5) E. Yukutake, J. Kaneko and M. Sugamata, 2003, "Anisotropy and non-uniformity in plastic behavior of AZ31 magnesium alloy plates", Material Transactions, Vol. 44, No. 4, pp. 452~457.
- (6) F. K. Chen, T. B. Huang, 2003, "Formability of stamping magnesium-alloy AZ31 sheets", J. Mater. Pro. Tech, Vol. 142, pp. 643~647.
- (7) 이병호, 신광선, 이종수, 2004, "AZ31 Mg 합금의 가공 조건에 따른 고온 성형성 연구", 2004년도 한국소성가공학회 춘계학술대회논문집, pp. 80~83.
- (8) ASM SPECIAL HANDBOOK, 1999, "Magnesium and magnesium alloys", pp. 27.
- (9) 김낙수, 김형종, 2002, "소성 가공과 해석", pp. 35~36.