

# 인장 및 압축실험을 통한 마그네슘 합금의 고온 물성 평가

오세웅<sup>1</sup>, 추동균<sup>1</sup>, 이준희<sup>2</sup>, 강충길<sup>#</sup>

## Estimation of Mechanical Properties of Mg Alloy at High Temperature by Tension and Compression Tests

S. W. Oh, D. K. Choo, J. H. Lee, C. G. Kang

### Abstract

The crystal structure of magnesium is hexagonal close-packed (HCP), so its formability is poor at room temperature. But formability is improved in high temperature with increasing of the slip planes. Purpose of this paper is to know about the mechanical properties of magnesium alloy (AZ31B), before warm and hot forming process. The mechanical properties were defined by the tension and compression tests in various temperature and strain-rate. As the temperature is increased, yield-ultimate strength, K-value, work hardening exponent (n) and anisotropy factor (R) are decreased. But strain rate sensitivity (m) is increased. As strain-rate increased, yield-ultimate strength, K-value, and work hardening exponent (n) are increased. Also, microstructures of grains fine away at high strain-rate. These results will be used in simulations and manufacturing factor for warm and hot forming process.

**Key Words** : Magnesium sheet, AZ31, Mechanical properties, Strain rate, Recrystallization

### 1. 서 론

마그네슘은 비강도, 비탄성계수, 전자파 차폐성, 전기·열전도도에 있어서 좋은 기계적 성질을 가지고 있다. 이러한 장점과 더불어 재생처리하여 높은 비율로 재활용 또한 가능하기 때문에 경량화 재료로 많은 관심을 받고 있다. 하지만 상온에서의 성형성이 좋지 않기 때문에 프레스 가공보다는 주조 제품에 한정되어 사용되고 있다[1]. 하지만 마그네슘의 결정 구조는 소성변형이 어려운 조밀 육방 구조를 가지고 있다[2]. 이러한 결정구조의 영향으로 일반적으로 상온에서 소성 성형이 어렵다. 그러나 고온 조건이 되면 슬립계의 활성화로 인하여 성형성이 향상된다[3][4].

지금까지 연구된 마그네슘 관련 내용은 주로

자동차의 무게 감소를 통한 연비 향상 및 환경 측면에서의 접근을 위한 다이캐스팅이 중심이었고, 최근 판재성형을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[5]. 이처럼 캐스팅 중심의 연구로 인하여 마그네슘 판재 성형에 필요한 기본 열물성치가 현저히 부족한 상태이다.

본 연구는 마그네슘 합금 AZ31 의 온간·열간 성형을 위한 고온 조건에서의 기초 물성치 및 기계적 성질을 평가하고, 열물성치 Data Base 를 구축하여 판재 성형에 이용하는데 목적이 있다.

### 2. 실험

실험은 고온 조건에서의 인장과 압축 실험으로 구성 되고 소재 AZ31 은 일본 Sankyo Aluminum

1. 부산대학교 정밀기계공학과

2. 동아대학교 신소재공학과

#. 부산대학교 기계공학부, cgkang@pusan.ac.kr:

Industry 에서 제작되었다. Fig. 1 은 각각의 실험에 사용된 소재의 규격을 나타낸다.

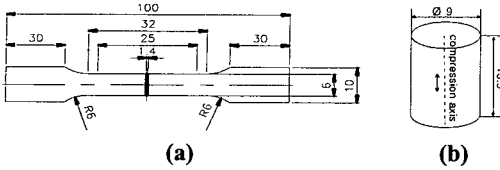


Fig. 1 (a) ASTM E80 subsize specimen for tensile test, (b) Specimen for compression test

### 2.1 인장 실험

200, 250, 300, 350, 400 °C 다섯 종류의 온도 구간을 설정했고, 변형률 속도는 0.0025, 0.025, 0.06, 0.12, 0.25 s<sup>-1</sup> 다섯 구간으로 정해 실험을 하였다. 또한 변형률 민감도를 구하기 위해 변형률 속도를 0.025 s<sup>-1</sup>에서 0.12 s<sup>-1</sup>로 변화시켜 각 온도마다 실험하였다. 그리고 판재 압연 방향의 0°, 45°, 90° 방향으로 시편을 가공한 후 인장실험하여 폭과 두께를 측정하는 방법으로 수직 이방성 계수 (R)을 구하였다.

### 2.2 압축 실험

인장 실험과 같은 온도와 변형률 속도 조건에서 압축 실험이 진행 되었고, 압축실험을 통하여 고온 조건에서의 항복응력과 진응력-변형률 선도를 구하였다.

### 2.3 미세 조직의 관찰

시편에 인장 및 압축력이 작용할 때에 미세적 거동을 관찰 하기 위하여 미세조직을 관찰 한다. 에칭에는 에탄올 70ml, 물 10ml, 빙초산 10ml, 피크릭산 4.2g의 혼합 용액이 사용 되었다[6].

## 3. 실험 결과

### 3.1 인장 실험

#### 3.1.1 단순 인장 실험

인장 실험으로 정리된 결과를 알아보기 쉽게 Fig. 2 에서 x 축에 변형률 속도, y 축에 각각 항복강도, UTS, K-value, 가공 경화 지수(n) 값을 도시 하였다.

Fig. 2 (a), (b), (c) 세 변수 모두 온도가 상승하면 같은 변형률 속도에서 값이 낮아지는 것을 알 수 있고, 가공 경화 지수 (n) 값 역시 온도와 변형률

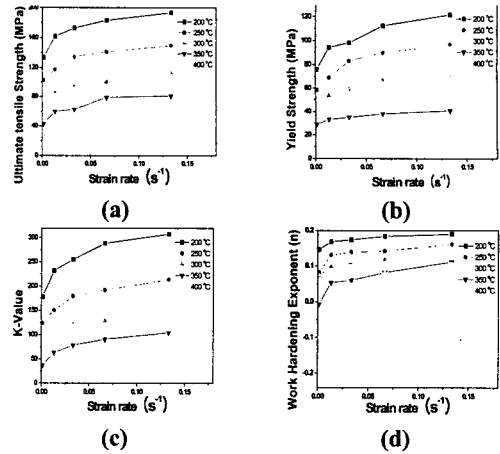


Fig. 2 Result of tensile test under the various strain rate, (a) Yield Stress, (b) UTS, (c) K-Value, (d) Work hardening exponent (n)

속도에 대해 비슷한 양상을 보이나 Fig. 2 (d)와 같이 온도가 상승함에 따라 동적 재결정의 발생으로 인해 가공 경화 지수가 감소하는 경향이 완만함을 알 수 있다.

#### 3.1.2 다단 인장 실험

각 온도 구간별로 변형률 속도를 0.025 s<sup>-1</sup>에서 0.12 s<sup>-1</sup>로 조정하여 얻은 변형률 속도 민감도지수 (m)을 Fig. 3 (a) 에 도시하였다. 온도의 상승에 따라 서서히 증가하다가 400 °C에서 급격히 증가한다. 400 °C의 실험 온도와 변형률 민감도 지수의 측정을 위한 변형률 속도가 저속이라는 점을 통하여 초소성이 일어나는 것을 보여 준다.

Fig. 3 (b) 에서 온도의 상승에 따라 값이 작아지다가 300 °C 근방에서 R=1 부근의 값을 가짐으로써 판재 생산 방향에 의한 이방성의 영향이 적어 지는 것을 볼 수 있다.

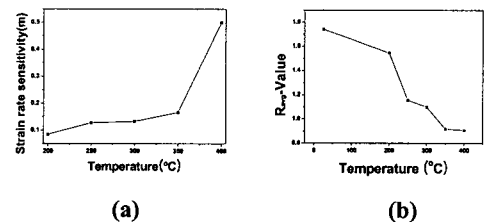


Fig. 3 (a) Strain rate sensitivity (m) according to the strain rate, (b) Anisotropic exponent (R) according to the temperature

### 3.1.3 미세 조직 관찰

Fig. 5 (b)와 Fig. 4 (a), (b)를 순서 대로 놓고 보면 일정 온도에서 변형률 속도가 증가 할수록 높은 내부에너지의 축적에 의해 조직이 미세해 지는 것을 볼 수 있다.

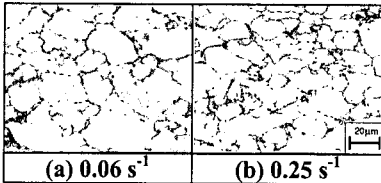


Fig. 4 Microstructures at the horizontal planes of AZ31 Mg Alloy by the strain rate ( $T = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )

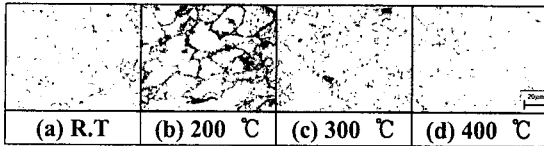


Fig. 5 Microstructures at the horizontal planes of Mg Alloy AZ31 by the temperatures ( $\dot{\epsilon} = 0.0025 \text{ s}^{-1}$ )

Fig. 5 는 변형률 속도가  $0.0025 \text{ s}^{-1}$  일 때 각 온도 별 조직 사진을 나타낸 것이다.  $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$  까지는 조직이 조대해지고, 재결정 온도에서는 조직이 미세함을 알 수 있다. 재결정 온도 이상에서의 조직은 다시 결정이 성장되고 있음을 볼 수 있다.

## 3.2 압축 실험

### 3.2.1 일축 압축 실험

Fig. 6 에서 실험 온도가 높을수록 압축 항복강도가 점차 낮아지고,  $400 \text{ }^{\circ}\text{C}$  일 때는 거의 보이지 않게 된다. 변형률의 증가에도 응력은 감소하는 경향을 보이며 고온 일수록 속도에 따른 응력 차는 줄어들어 든다.  $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$  의 경우에는 압축 항복강도를 초과하지 못한 부분과 파단이 생기지 않은 나머지 변형률 속도는 실제 제품의 생산을 위한 가공조건과 비교해 볼 때 저온에서는 소성 가공이 어렵다는 것을 보여주고 있다.

### 3.2.2 미세 조직 관찰

Fig. 7 은 변형률 속도가 일정할 때 온도 변화에 따라서 압축 시편의 미세조직 사진이다. 인장실험과 마찬가지로  $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$  이상의 온도에서 동적 재결정에 의해 미세한 조직들

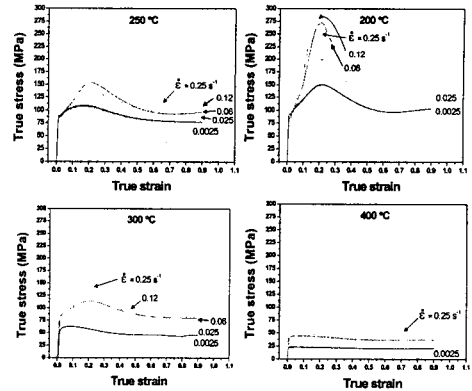


Fig. 6 True strain-stress curves according to the temperature

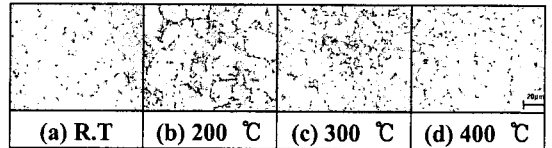


Fig. 7 Microstructures at the horizontal planes of AZ31 by the temperatures ( $\dot{\epsilon} = 0.0025 \text{ s}^{-1}$ )

이 보이고,  $400 \text{ }^{\circ}\text{C}$  에서는 재결정 입자들의 성장 현상이 관찰 되었다.

Fig. 8 은  $250 \text{ }^{\circ}\text{C}$  에서 변형률 속도의 변화에 따른 조직의 변화를 나타낸 것이다. 변형률 속도가 증가할수록 미세한 조직이 얻어진 것을 볼 수 있다. 인장 실험에서와 마찬가지로 큰 변형률 증분에 의한 동적 재결정의 활발한 발생에 기인한다.

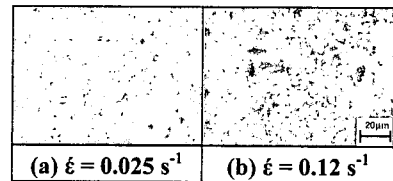


Fig. 8 Microstructures at the horizontal planes of AZ31 by the strain rate ( $T = 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )

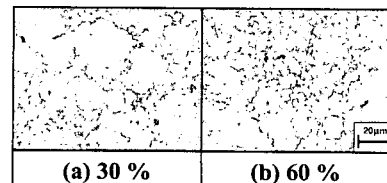


Fig. 9 Microstructures at the horizontal planes of AZ31 Mg Alloy by the compression rate

Fig. 9는 압축률에 따른 조직의 차이로 30% 일 때 보다 60% 일 때의 조직이 미세하게 관찰되었다. 변형량이 증가할수록 전위 밀도가 높아져서 큰 내부에너지의 축적으로 핵성성 및 재결정 발생이 원활해지기 때문에 조직이 미세하게 된다[7].

### 3.3 인장 실험과 압축 실험의 비교

인장과 압축 실험의 결과를 종합적으로 비교 검토해 보면 Fig. 10로 도시된다. 점대칭의 형상이 되지만 그 값에서는 차이가 나며, 바우싱거 효과와 압축실험에서의 노이즈와 마찰력에 기인한다.

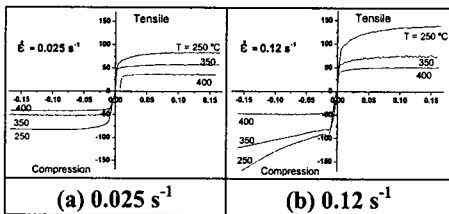


Fig. 10 True strain-stress curves according to the temperatures

## 4. 결론

본 실험은 AZ31 마그네슘 합금을 200 °C 이상부터 400 °C 이하의 온도 범위에서 변형률 속도를 달리하여 기계적 성질을 알아 보았다.

(1) YS, UTS, K-value, 가공경화지수(n) 값은 온도가 증가함에 따라 낮아지고 변형률 속도가 증가함에 따라 높아진다.

(2) 200 °C 이상이 되면 동적 재결정이 일어나고, 가공 경화지수가 낮아지고 변형률속도 민감도 지수가 상승하는 등 재료가 연화된다.

(3) 400 °C 부근에서 작은 변형률 속도에서는 재결정 조직이 성장하여 입계에서의 재결정 입자들이 줄어들고, 다시 커지는 것을 볼 수 있다.

(4) 동일한 소재이지만 압축/인장 실험의 항복 응력에 차이가 나는데, 이는 바우싱거 효과에 의한 영향이며, 바우싱거 효과를 고려한 수치해석 기법이 필수적임을 알 수 있다.

## 후 기

본 연구는 동아대학교 신소재 가공 청정공정 개발 연구 센터의 무윤활 성형 공정에 의한 Mg 박판 부품 개발 사업의 연구 지원비에 의해 행해졌으며, 이에 감사 드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] T. Morishita, H. Takuda, T. Kinoshita and N. Shirakawa 2003, The Proceeding of the 54th Japanese joint Conference for the Technology of plasticity.
- [2] T. Obara, H. Yoshinaga and S. Morozumi, 1973, Acta Metall., Vol.21, pp. 845~853.
- [3] E. Yukatake, J. Kaneko and M. Sugamata, 2003, Materials Transactions, Vol 44, No. 4, pp, 452~457.
- [4] 원성연, 오상균, K.Osakada, 박진기, 김영석, 2004년도 한국소성가공학회 춘계 학술대회는 문집, pp. 53~56.
- [5] 제 2 회 한·일마그네슘 신산업기술 공동워크샵, 2004, (사)한국마그네슘기술연구조합
- [6] ASM SPECIAL HANDBOOK, 1999, Magnesium and magnesium alloys.
- [7] Y. Xuyue, M. Hiromi, S. Taku, 2002, 輕金屬, 第 52 卷, 第 7 号, pp. 318~323