

AZ31 마그네슘 합금 판재의 기계적 특성 평가(1)

원성연* · 오상균** · Kozo Osakada *** · 박진기**** · 김영석*****

Evaluation of Mechanical Properties for AZ31 Magnesium Alloy(1)

S.Y. Won, S.K. Oh, K. Osakada, J.K. Park and Y.S. Kim

Abstract

The mechanical properties and optical micrographs are studied for rolled magnesium alloy sheet with hexagonal close packed structure(HCP) at room and elevated temperatures. Tensile properties such as tensile strength, elongation, R-value and n-value are also measured for AZ31 magnesium alloy. Magnesium with strong texture of basal plane parallel to the rolling direction usually has high R-value and plastic anisotropy at room temperature. As temperature increases, the R-value for AZ31 magnesium sheet decreases. In addition, the AZ31 sheet becomes isotropy and recrystallization above 200°C. Formability of magnesium alloy sheets remarkably poor at room temperature is improved by increasing temperature. Sheet forming of magnesium alloy is practically possible only at high temperature range where plastic anisotropy disappears.

Key Words : magnesium sheet, plastic anisotropy, work hardening, mechanical property, AZ31

1. 서론

자동차가 배출하는 배기가스는 환경오염과 지구 온난화의 주 원인으로 지적되고 있고 차량 경량화를 통한 연비 향상에 대한 연구가 활발히 행해지고 있다.[1,2] 경량 소재로써 마그네슘 합금은 밀도가 알루미늄에 비해 2/3, 철에 비해 1/5정도이고 비강도와 비강성이 타 금속에 비해 뛰어난 기계적인 특성을 가지고 있다. 또한 열전도도, 고온에서의 피로, 가공성 등이 우수하여 항공, 자동차, 방위 산업 분야뿐만 아니라 전자제품 성질이 뛰어나 휴대용 전자제품 등의 케이스에도 많이 적용되고 있다. 그러나 이 마그네슘 금속은 육

육방 조밀 격자의 결정 구조를 가지기 때문에 상온에서 작동하는 슬립계가 다른 결정구조에 비해 적다.

마그네슘과 같이 육방 조밀 격자(hexagonal close packed, hcp)를 갖는 재료의 소성 변형기구는 그림 1과 같이 (0001) <1120> 저면 슬립(basal slip), {1010} <1120> 주면 슬립(prismatic slip) 그리고 {1011} <1210> 추면 슬립(pyramidal slip)이 대표적이다.[3] 이들 슬립계에서 발생하는 모든 슬립 방향은 c-축(육방 격자 축)에 수직을 형성하며 그 방향이 판재의 면에 대해 평행하게 배열하는 강한 저면 집합 조직을 형성하기 때문에 판의 두께

* 경북대학교 대학원

** 대구부품기계연구원

*** Osaka University

**** 경북대학교 기계공학부 학부

***** 경북대학교 기계공학부

감소를 수반하는 변형에 대해서는 강한 이방성을 나타내어서 일반적으로 상온에서 프레스 성형은 어렵다. 그러나 고온이 되면 비저면(non-basal) 슬립계가 활동하게 되어 슬립계의 수가 증가하면서 변형이 용이해지고 강한 소성 이방성은 비저면 슬립계의 기여로 인해 온도가 200℃ 이상에서 사라진다.[4] 그 때문에 압연 박판 소재의 프레스 성형은 보통 200~250℃ 온도대역에서 행해지고 있다.

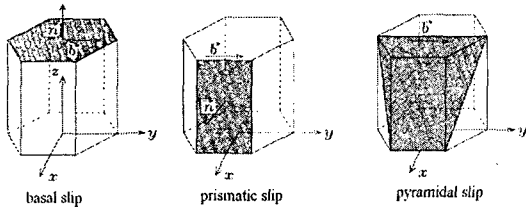


Fig. 1 Slip systems of magnesium

최근에 마그네슘 합금에 관한 연구 결과는 많이 보고되고 있으나 압연 판재의 프레스 성형성에 관한 연구는 많지 않다. 그렇지만 마그네슘 압연판재의 사용 범위를 증대 시키기 위해서는 여러 가지 변형 조건 하에서 성형성을 평가하여 성형 조건을 종합적으로 검사하는 것이 필수적이다.

본 연구에서는 이러한 마그네슘 합금의 프레스 가공 기술 확립을 위해 마그네슘 판재의 인장 실험을 통해 마그네슘 합금 AZ31 소재의 기계적, 금속적 특성을 평가하였다.

2. 실험 절차

2.1 실험 방법

인장 실험을 위해 변형 경화되고 부분적으로 열처리된 마그네슘 합금 AZ31 판재를 사용하였으며 실험 방법에 대해서는 ASM 핸드북을 참조하였다.[5]

Table 1 Standard chemical composition of test material (mass%)

	Al	Zn	Mn	Ni	Fe	Cu	Ca	Mg
AZ31B-H24	3	1	0.2 max	0.2 max	0.2 max	0.2 max	0.2 max	Bal

인장 시험기는 Instron Tensile Machine (Instron 5569)을 이용하고 표점간 거리 50mm, 평행부분 12.5mm의 KS 13호 시험편을 사용하였다. 실험 온도는 상온

(Room Temperature, RT)에서 200℃까지 변화시켜 온도에 대한 영향을 알아보았으며 기계적 특성을 나타내는 유동 응력, 신장율, 가공 경화 지수 값과 이방성 계수 값을 구하였다. 시험기의 인장 속도는 2mm/min에서 200mm/min 까지 다양하게 실험을 하였다.

인장 시험편은 판재로부터 압연 방향, 압연 방향에 대해 수직 방향과 45도 방향에서 시험편을 채취하였다. 열전대를 시험편에 직접 접촉하여 시험편의 온도를 측정하였으며 시험 온도에 도달한 후 5분 정도 머문 후에 인장을 하였다.[6] 그림 2는 인장시험편의 형상을 나타내고 있다.

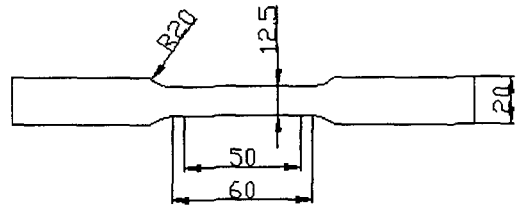


Fig. 2 Specimen for Tensile test

온도에 따른 결정립의 거동 특성을 평가하기 위하여 시험편의 파단부를 마운팅하여 연마한 후에 2% 질산을 이용하여 에칭을 하고 500 배의 배율로 결정립의 거동을 관찰하였다.

3. 실험 결과

3.1 온도에 따른 인장실험

그림 3은 압연방향으로 채취된 시험편이 온도에 따라 파단된 후의 시험편 사진을 보여주고 있다.

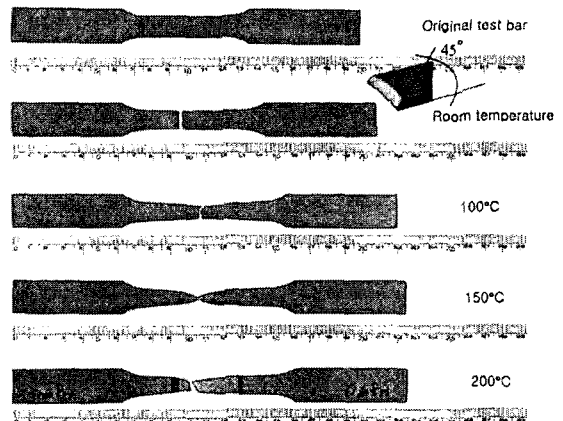


Fig. 3 Elongation of the tensile test specimen after fracture at different temperatures

상온에서의 최대 전단 응력은 저면에서보다 비저면에서 훨씬 크고 온도가 상승함에 따라서 비저면에서의 최대 전단 응력은 감소하여 약 400°C 에서는 저면에서의 값에 근접해진다.[7] 이로 인해 상온에서는 비저면 슬립계보다는 저면 슬립계가 활동하여 인장으로 인한 최대 전단 응력이 파단부에서는 약 45° 기울어진 면에서 발생함을 알 수 있다. 온도가 상승함에 따라서 비저면 슬립계가 활동하여 넥킹이 발생하고 있음을 볼 수 있다.

그림 4 는 상온, 100°C 그리고 200°C에서의 변형률 속도에 따른 응력-변형률 곡선을 보여주고 있는데 상온에서는 마그네슘 합금 시편이 변형률 속도에 중요한 영향을 받지 않지만 온도가 올라갈수록 변형률 속도에 영향을 받고 유동 응력도 떨어짐을 알 수 있다. 또한 200°C에서는 가공 경화의 영향이 적어짐을 볼 수 있다.

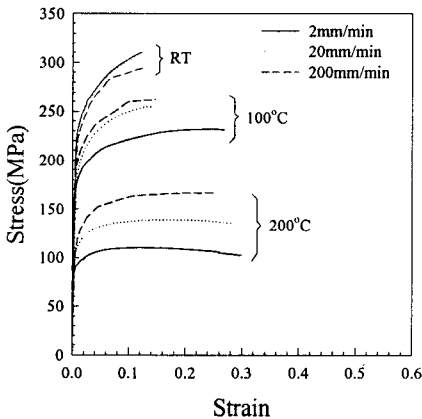


Fig. 4 Stress-strain curves at elevated temperatures

3.2 온도에 따른 결정립의 거동

그림 5 는 광학 현미경을 이용하여 상온, 150°C 그리고 200°C에서의 파단된 후의 파단부 근방에서 시편의 표면을 찍은 결정립 사진이다.

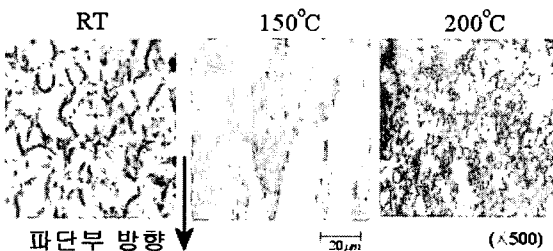


Fig. 5 The optical micrographs at elevated temperatures

상온에서는 조직이 조대하고 균일한 형상을 하고 있음을 볼 수 있고 150°C에서 소성유동에 의해 결정립이 유동이 일어나 편장형으로 변형되고 있음을 알 수 있다.

고온인 200°C에서는 결정립들이 미세한 조직을 형성하여 재결정을 일으키는 것을 알 수 있다. 따라서 200°C이상에서 재결정이 일어나면서 소재가 연화되기 때문에 프레스 가공을 200~250°C 대역에서 행하고 있는 것이다.

3.3 이방성 계수와 가공경화 지수

판재의 프레스 성형 공정에 있어서 드로잉 가공성에 영향을 주는 가장 큰 인자는 수직 이방성 계수(R) 값이다. 판재의 수직 이방성은 인장 하에 있는 시편의 긴 변형률의 비로 정의된다. 본 실험에서는 이방성 계수를 측정하기 위해서 균일 연신율이 7%일 때를 측정하였다.

일반적으로 냉간 압연된 판재의 평면 등방성을 평가하기 위해서는 다음과 같이 각 방향에서 측정된 R 값의 평균값을 사용한다.

$$R = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_t} \quad R_{avg} = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4}$$

위의 식에서 R_0 , R_{45} 그리고 R_{90} 은 압연 방향에 대해서 각각 0°, 45° 와 90° 에서 측정된 값이다.

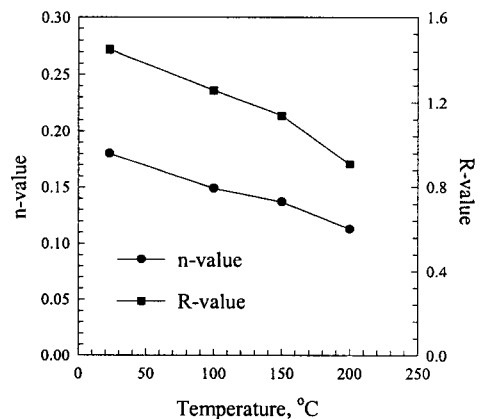


Fig. 6 Anisotropic factor and work hardening exponent at different temperatures

그림 6 은 온도의 변화에 따라서 평균 이방성 계수(R) 값과 가공 경화 지수(n) 값들을 보여주고 있다. 상온에서 평균 이방성 계수는 1.4 의 값을 가지

며 이방성 계수 값이 크다는 것은 강한 저면 집합 조직이 재료의 변형에 큰 영향을 미쳐 판재의 두께 방향으로의 변형이 폭 방향으로의 변형보다 적다는 것을 의미한다.

200℃에서 이방성 계수가 거의 1.0에 근접함으로써 온도가 증가함에 따라 소성 이방성이 약해지고 등방성을 나타낸다. 이는 고온에서는 비저면의 슬립이 활성화하여 슬립계의 수가 많아져서 변형이 용이해짐을 의미한다. 또한 온도가 증가함에 따라 가공 경화 지수도 감소하고 200℃이상에서 가공 경화의 영향이 적어짐을 알 수 있다. 상온에서 가공 경화 지수가 높은 값을 갖기 때문에 초기 국부 넥킹 발생이 억제되고 있음을 알 수 있다.

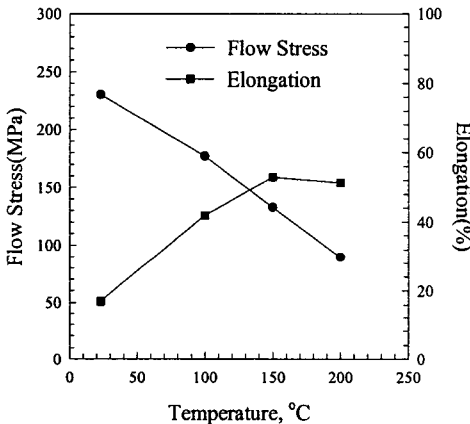


Fig. 7 Flow stress and elongation at different temperatures

그림 7은 0.2%의 변형율에 대한 유동 응력과 신장율에 대한 결과를 나타내고 있다. 200℃에서의 유동 응력은 상온에서 보다 1/3 정도의 값을 가진다는 것을 알 수 있다. 파단시의 최대 신장율은 상온에서는 16%정도이지만 200℃에서는 52%로 크게 향상됨을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 마그네슘 합금 AZ31 압연 판재를 상온으로 부터 200℃의 온도 범위에서 다양한 인장 속도로 인장실험을 하였다. 이 실험을 통하여 얻은 특성을 정리하면 다음과 같다.

(1) 상온에서는 저면 슬립계의 활성화로 인하여 최대 전단 응력이 파단부에서 약 45° 기울어진 면에서 발생한 것을 볼 수 있다. 상온과 낮은 온도에서는 결정립들이 조대하고 균일하지만 200℃부근에서 재결정이 일어나 결정립이 미세하게 됨을 알

수 있다.

(2) AZ31 압연 판재는 강한 저면 집합 조직을 형성하여 상온에서는 높은 이방성 계수 값을 보인 반면에 실험 온도가 상승함에 따라서 이방성 계수 값이 감소하며 200℃부근에서 1.0에 근접하여 소성적으로 등방성이 나타남을 알 수 있다.

(3) AZ31 압연 판재는 온도가 증가함에 따라 가공 경화 지수가 감소하면서 200℃정도에서 가공 경화 특성이 거의 나타나지 않는다는 것을 알 수 있었다.

후속 연구로는 결정 소성학 이론에 근거를 둔 유한요소 다결정 모델을 이용하여 마그네슘 합금 판재의 조직을 예측하고 변형 기구에 대해서 연구를 진행할 것이다.

후 기

본 연구는 2004년도 두뇌한국 21사업의 연구비 지원에 의해 행해졌으며 이에 관계자 제위께 감사드린다. 본 실험에 조연을 해주신 Hiroshi Takahashi 교수님께 감사드린다.

참 고 문 헌

- (1) Y.S. Kim, C. Kim, S.Y. Lee, S.Y. Won and S.M. Hwang, 2003, "Forming limits for anisotropic sheet metals", *JSME International Journal, A*, Vol. 46, No. 4, pp. 627-634.
- (2) D. Li and A. Ghosh, 2003, "Tensile deformation behavior of aluminum alloys at warm forming temperatures", *Materials Science and Engineering, A*, Vol. 352, pp. 279-286.
- (3) T. Obara, H. Yoshinaga and S. Morozumi, 1973, " $\{11\bar{2}2\} <\bar{1}123>$ slip system in magnesium", *Acta Metall.*, Vol 21, pp. 845-853.
- (4) E. Yukutake, J. Kaneko and M. Sugamata, 2003, "Anisotropy and Non-Uniformity in Plastic Behavior of AZ31 magnesium Alloy Plates", *Materials Transactions*, Vol. 44, No. 4, pp. 452-457.
- (5) ASM Handbook Volume 2, "Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials", ASM International, Metals Park Ohio, 1990.
- (6) Jos van Kreijl, 2001, "Determination of Mechanical & Forming Properties of Magnesium of AZ31B Sheets via Tensile Tests", SIMTech Technical Report (PT/01/041/PMF)
- (7) A. Akhtar and E. Teghtsoonian, 1969, "Solid solution strengthening of magnesium single crystals-I alloying behavior in basal slip", *Acta Metall.*, Vol. 7, pp. 1339-1349.