

마그네슘 합금 판재의 압연특성연구

정영기¹, 이종범^{1,2}, 김우진², 이근안¹, 최석우¹, 정하국^{1,#}

A Study of Rolling Characterization on Mg Alloy Sheet

Y.G. Jeong, J.B. Lee, W.J. Kim, G.A. Lee, S. Choi, H.G. Jeong

Abstract

Magnesium alloy AZ31, which processed by conventional rolling or extrusion, has high anisotropy of mechanical properties in its strength and elongation at room temperature. We compared the influence of differential speed rolling with conventional rolling process on microstructure and mechanical properties of commercial AZ31 sheet. Commercial AZ31 alloy sheets were processed with conventional and differential speed rolling with thickness reduction ratio of 30% at a various temperature. The elongation of AZ31 alloy, warm-rolled by differential speed rolling is larger than those rolled by conventional rolling. Besides, grain size and distribution on microstructure of the conventional rolled materials were coarse and inhomogeneous, on the contrary, those of the differential speed rolled were fine and homogeneous.

Key Words: Mg alloy rolling; AZ31 Mg alloy sheet; Rolling parameter; Mechanical properties

1. 서론

Mg 합금은 밀도가 1.8g/cm^3 정도로 구조용 경량 합금소재로서 우수한 비강도 및 비 탄성계수를 가지고 있으며, 진동, 충격, 전자파 등에 대한 흡수 능력이 탁월하고 전기 및 열전도도가 우수한 재료이다. 따라서 Mg 합금은 자동차, 항공기 등의 경량화 소재 측면에서 중요한 위치를 점하여 왔으며, 최근에는 휴대용 무전기, 핸드폰, 노트북 등 휴대용 전자기기 산업 분야에서도 응용이 확대되고 있다[1]. 그러나 HCP 구조를 갖는 Mg 합금은 낮은 상온 강도와 연성 때문에 구조용 재료로서 한계점을 나타내고 있다.

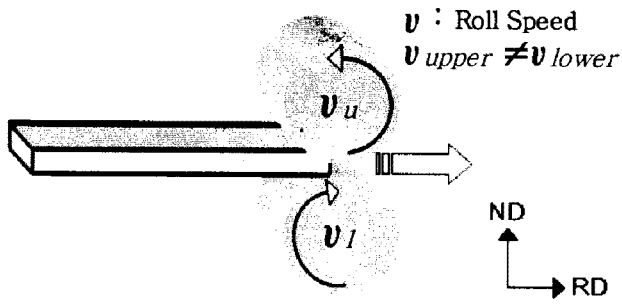
Mg 합금 부품은 주로 주조공정에 의하여 제조되어 왔으며, 그 적용분야도 하중을 적게 받는 부품에 국한되었다. 그러므로 Mg 합금의 적용분야를 확대하기 위해서는 소성가공에 의해 성형되는 고강도/고연성의 Mg 합금 판재의 개발이 필수적이다.

한편, AZ31 Mg 합금의 소성가공은 non-basal slip이 활성화되는 200°C 이상의 열간에서 수행할 때 그 가공이 가능하다. 그러나 AZ31 마그네슘 합금 소재가 일반적으로 사용되는 가공방법 (압연, 압출 등)으로 제조될 때 가공된 Mg 합금은 결정구조 특성상 상온에서 강한 기계적 이방 특성을 보인다. 뿐만 아니라 초기 가공공정을 거친 AZ31 판재는 상온에서 매우 나쁜 소성가공 특성을 나타낸다[2]. 그러므로 압연 및 압출된 AZ31 판재의 소성가공 특성을 향상시키기 위해서는 가공과정 중 우선방위의 제어가 필수적으로 이루어져야 한다. Mg 합금계의 상온 연성을 향상하기 위하여 기존에 널리 사용되고 있는 방법으로 등통로각압출법(ECAP; Equal Channel Angular Pressing), Single Roller Drive Rolling(SRDR) 그리고 이속압연(DSR; Differential Speed Rolling) 등의 공정이 있는데, 이는 각각의 공정 중 심한 전단변형을 소재에 가하여 미세조직 및 결정학적 이방 특성을 개선하는 원리를 이용한 것이다[2-5].

1. 한국생산기술연구원 디지털성형공정팀

2. 홍익대학교 신소재공학과

교신저자: hgjeong@kitech.re.kr



2. 실험방법

초기 재료는 2mm 두께의 압연된 AZ31 합금 판재이며, 평균 결정립 크기는 약 $50 \mu\text{m}$ 이다. AZ31 합금 판재의 압연공정은 등속 및 이속 압연으로 분류하였으며, 압연하기 전 AZ31 Mg 판재를 약 10 분 가량 예열하여 압연 설정온도와 동일하도록 보정하였으며, 압연 시 상, 하부롤의 온도는 150 및 200°C 로 고정하였다. 등속 및 이속 압연공정은 시편온도를 150, 200, 350°C 의 온도에서 1 pass 중, 약 30%의 압하율로 압연되었다. 이속 압연 시 상부롤과 하부롤의 속도 비는 3:1 로 고정하였으며, 롤의 속도는 약 1m/min 이었다. 따라서, 초기 두께 2mm 판재는 등속 및 이속압연 후 약 1.35mm 판재로 가공되었다. 압연된 AZ31 합금의 상온 인장특성을 평가하기 위해서 압연방향에 대해서 0° , 45° , 90° 의 방향으로 ASTM-B557M-02a 규격의 인장시편을 준비하였다. 인장시편의 길이와 폭은 각각 25mm, 6mm 였으며, 인장시험은 상온에서 $5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 변형율로 만능시험기(MTS-810)로 수행되었다. AZ31 합금 판재의 미세조직을 관찰하기 위하여 압연 면을 경면 연마한 후, acetic picral (5ml acetic acid + 6g picric acid + 10ml H_2O + 100ml ethanol 95%)을 사용하여 에칭 후 광학현미경으로 관찰하였다.

Fig. 1 Schematic of Differential Speed Rolling Process.

그 중 이속 압연공정은 간단히 미세조직의 제어가 가능하고, 재료에 높은 두께 감소율을 부가할 수 있는 가장 효과적인 방법 중 한가지로 알려져 있다. 그러나 아직까지 마그네슘 합금 판재의 이속압연공정에 중요한 제어변수로 작용할 수 있는 압연온도 및 압하율에 대한 연구보고는 매우 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 등속압연과 비교하여 이속 압연공정에 의한 AZ31 마그네슘 합금 판재에 미치는 기계적 특성 및 미세조직의 변화에 대한 영향을 조사하기 위하여 다양한 조건에서 압연 연구를 수행하였다.

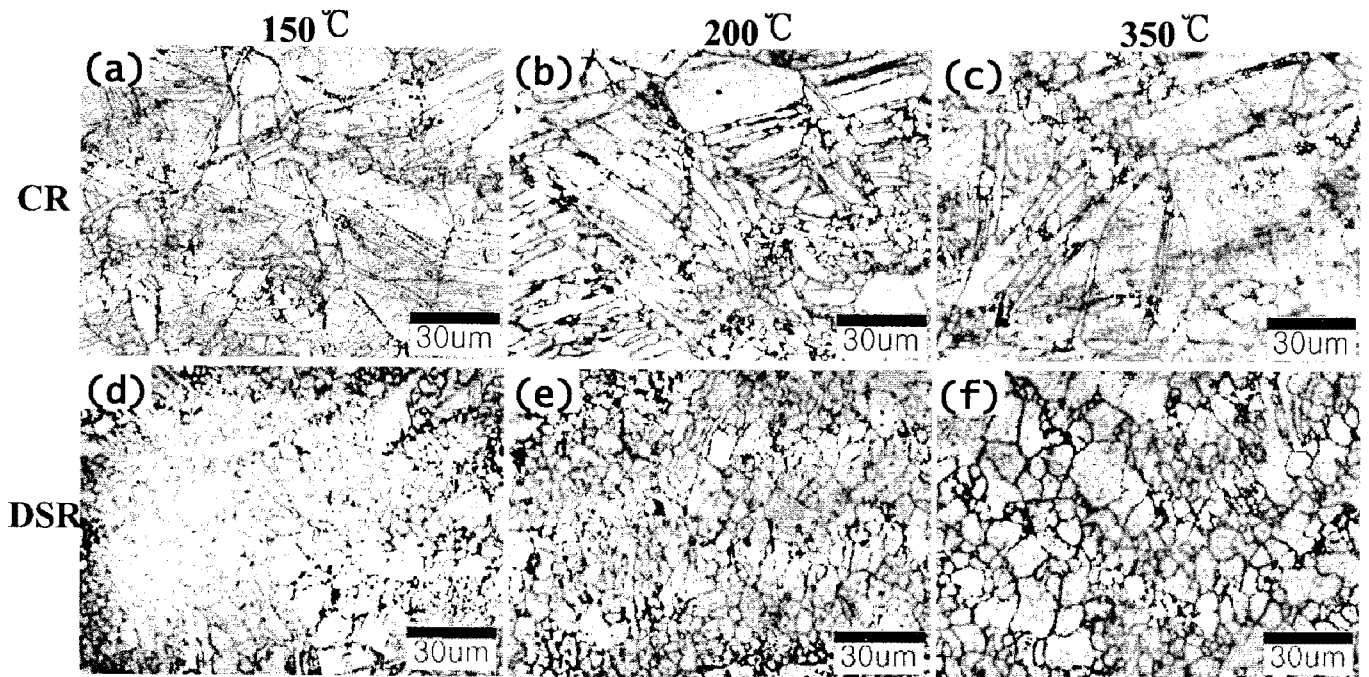
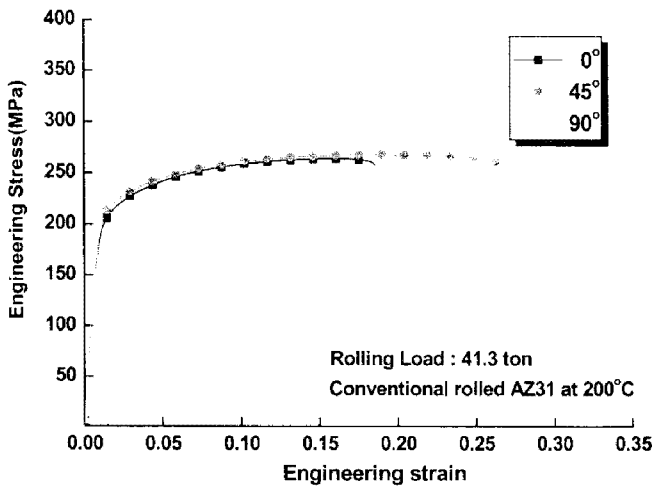


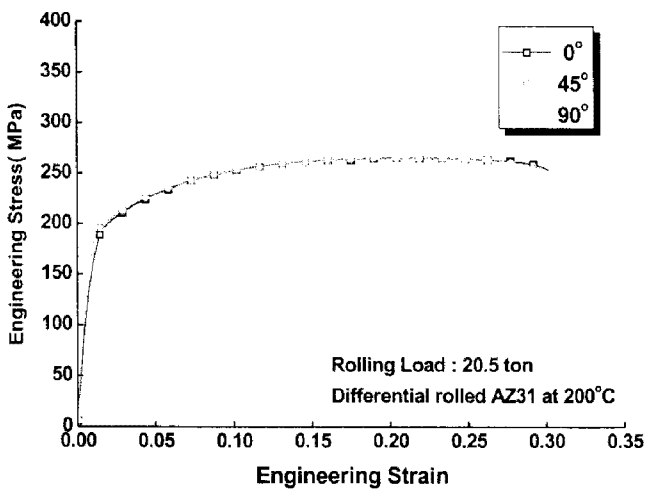
Fig. 2 Microstructure of the CR and the DSR AZ31 alloys with a various temperature of 150, 200, 350°C (30% reduction, (a) ~ (c): CR, (d) ~ (f): DSR).

3. 결과 및 고찰

그림 2 는 압연온도 변화에 따른 등속 및 이속 압연된 AZ31 판재의 미세조직 관찰 결과이다. 등속 및 이속압연 후, 모든 판재에서 압연온도가 낮을수록 결정립이 미세해 졌으며, 이속 압연공정에서 결정립 미세화 효과가 큰 것으로 관찰되었다. 그러나 등속압연 판재의 미세조직은 결정립 미세화가 일어났지만 결정립의 형상들이 고르지 않고 불균일한 형태로 결정립과 쌍정영역을 따라 재결정된 미세한 결정립과 변형되지 않은 큰 결정립들이 함께 발달한 이중 조직이 관찰되었다.



(a)



(b)

Fig. 3 Stress-strain curves for the (a) CR and (b) DSR

반면 이속압연된 판재의 미세조직은 비교적 균일한 크기의 미세한 결정립들이 고르게 분포되어 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 2 의 결정립 크기를 측정된 결과 등속압연의 경우 각 온도에 따라 12 μm , 19 μm , 28 μm , 이속압연의 경우 7 μm , 10 μm , 13 μm 로, 이속 압연판재에서 등속 압연판재 보다 약 두 배 가량 작은 크기의 결정립이 관찰되었는데, 이는 이속압연 동안 재료에 전단변형이 일어남으로 결정립의 미세화에 효과적으로 기여하였음을 알 수 있다.

그림 3 은 AZ31 판재의 30% 압하된 등속 및 이속압연의 하중 및 압연된 판재의 압연방향에 따라 0°, 45°, 90° 방향의 상온 인장 실험결과를 보여주는 응력-변형 곡선이다. 등속 및 이속압연 각각의 압연하중은 41.3 ton, 20.5 ton 으로 같은 압하율 일 때 이속압연 공정이 등속압연의 공정보다 약 두 배의 하중차이를 나타내었다. 이 결과는 이속압연공정이 등속압연공정보다 일회 공정 시 상대적으로 같은 하중에서 더 큰 압하를 이루어 두께변화, 즉 압하율 향상에 유리한 이점을 지니고 있음을 알 수 있다[4]. 인장실험의 결과에서는 등속 압연공정으로 제조된 판재보다 이속 압연공정으로 제조된 판재의 연신율이 모든 인장 방향에서 향상되었으며, 특히 인장 방향에 대하여 0° 방향으로 채취한 시편의 연신율을 비교할 때 10% 이상의 차이로 크게 향상된 것을 알 수 있다. 표 1 은 압연온도의 변화에 따라 30% 압하된 AZ31 판재의 각 방향에 따른 인장특성을 정리한 것이다. 먼저 압연온도에 따른 인장특성의 변화를 살펴보면 150°C에서의 압연결과와 그 이후, 즉 200°C 이상에서 압연후의 인장강도 및 연신율은 큰 변화를 나타내고 있는데, 이는 Mg 합금의 소성 가공성이 활성화되는 온도 경계, 즉 약 200°C 이상에서 non-basal plane slip 이 활발해짐으로 변형저항이 급격히 감소하여 가공속도의 증가 및 연신율의 향상이 일어났기 때문으로 판단된다. 한편, 온도변화에 따른 등속압연과 이속압연의 물성 차이를 살펴보면 그 차이가 뚜렷하게 나타났다. 먼저, 등속 및 이속압연의 최대인장강도는 각 방향 별로 비슷한 응력 값을 보인 반면 항복응력은 이속압연이 등속압연보다 더 낮은 응력 값을 나타내고 있다. 이 결과는 앞의 미세조직에서 관찰된 등속압연보다 이속압연 후 결정립 크기가 미세한 것과 상반된 결과를 나타내고 있는데, 이는 이속압연을 통해서 고유한 우선방위의 영향이 향

복응력의 변화에 기여한 것으로 예측할 수 있다.

Table 1 Mechanical property of CR and DSR AZ31 sheets with various rolling conditions.

	Rolling Temp. (°C)	Angle (°)	UTS (MPa)	YS (MPa)	EL (%)
Conventional Rolling	150	0	289	238	9.84
		45	307	262	18.3
		90	324	282	15.4
	200	0	265	190	18.5
		45	268	200	28.1
		90	279	216	27.6
	350	0	261	184	25.2
		45	264	197	30.1
		90	264	202	24.3
Differential Speed Rolling	150	0	292	219	17.59
		45	305	250	16.81
		90	299	268	21.2
	200	0	266	177	30.1
		45	266	185	29.9
		90	271	196	28.4
	350	0	272	182	27.9
		45	261	179	27.2
		90	262	288	27

Kim[6] 등은 AZ61 합금의 ECAP 가공 후, 항복응력의 감소와 Mg 합금의 연신률 증가 관계를 보고하였으며, 본 연구에서도 유사한 결과로 해석된다. 연신율 거동에 있어서는 전반적으로 이속압연이 등속압연에 비해서 더 큰 효과가 관찰되었으며, 압연방향에 대해서도 균일한 연신 특성이 관찰되었다. 한 예로, 200°C 압연 판재의 경우, 등속압연일 때는 각 방향에 대한 연신율이 약 10%의 차이를 보인 반면 이속압연 후의 각 방향에 대한 연신율은 불과 2% 내의 작은 산포를 나타내었다. 이속 압연공정에서 연신율이 더 큰 이유는 이속압연의 가공특성으로 인한 우선방위의 변화와 더불어, 앞서 미세조직에서도 확인하게 확인할 수 있듯이, 등속압연의 경우 압연한 후에 기계적 쌍정 영역과 불균일한 크기의 결정립이

존재함으로 재료의 인장 변형 시 하중전달에 비교적 나쁜 연신을 나타내는 반면 이속압연의 가공 조직은 등축정의 균일한 크기와 형상의 결정립이 발달함으로 인하여 AZ31 Mg 합금판재의 고유한 이방특성을 효과적으로 개선하여 연신 특성을 크게 증진시켰기 때문으로 판단된다.

4. 결론

AZ31 Mg 합금판재의 등속 및 이속 압연 특성과 상온의 기계적 특성 및 미세조직을 관찰하였다. 이속 압연공정은 전단 변형을 통해 효과적으로 결정립 미세화를 이룰 수 있었으며, Mg 합금판재의 상온 연성을 크게 향상시킴으로 기존의 등속 압연공정보다 Mg 합금 판재의 고유한 이방특성을 감소시키는데 효과적인 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국생산기술연구원의 ‘광산업첨단 부품개발사업’의 지원(과제번호: 06-IK-3-0002)으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Japan Mechanical Industry Coalition: Report on the Advancement of Manufacturing Technology for Magnesium Alloy Rolling Materials (1995), pp. 15
- [2] 정하국, 2005, 마그네슘 합금의 온간 가공기술 (현황), 한국소성가공학회지, 제14권, 제8호, pp. 661-667.
- [3] T. Sakai, 2001, Improvement of the r-value in 5052 Aluminum alloy sheets having through-thickness shear texture by 2-pass single roll drive unidirectional shear rolling, Scripta. Mater., Vol. 44, pp. 2569-2573.
- [4] T. Mukai, 2001, Ductility enhancement in AZ31 magnesium alloy by controlling its grain structure, Scripta. Mater., Vol. 45, pp. 89-94.
- [5] H. Watanabe, 2004, Differential speed rolling of an AZ31 magnesium alloy and the resulting mechanical properties, J. Mater. Sci., Vol. 39, pp. 1477-1480.
- [6] W. J. Kim, 2002, Mechanical properties and microstructures of an AZ61 Mg alloy produced by equal channel angular pressing, Scripta Mater., Vol. 47, pp. 39-44.