

# 압연조건에 따른 AZ31 마그네슘합금판재의 변형거동 및 미세조직 변화

하태권<sup>1#</sup>, 정효태<sup>1</sup>, 성환진<sup>2</sup>, 박우진<sup>2</sup>

## Rolling of AZ31 Alloy and Microstructure of Rolled Plates

T. K. Ha, H. T. Jeong, H.-J. Sung, W. J. Park

### Abstract

The effect of warm rolling under various conditions on the microstructure and mechanical property was investigated using an AZ31 Mg alloy sheet. Several processing parameters such as initial thickness, thickness reduction by a single pass rolling, rolling temperature, roll speed, and roll temperature were varied to elicit an optimum condition for the warm rolling process of AZ31 Mg alloy. Microstructure and mechanical properties were measured for specimens subjected to rolling experiments of various conditions. Warm rolling of 30% thickness reduction per pass was possible without any side-crack at temperatures as low as 200°C under the roll speed of 30 m/min. The initial microstructure before rolling was the mixed one consisting of partially recrystallized and cast structures. Grain refinement was found to occur actively during the warm rolling, producing a very fine grain size of 7 mm after 50% reduction in single pass rolling at 200°C. Yield strength of 204MPa, tensile strength of 330MPa and uniform elongation of 32% have been obtained in warm rolled sheets.

**Key Words** : Warm Rolling, AZ31 Magnesium Alloy, Sheet, Microstructure, Side-crack, Strength.

### 1. 서론

Mg 합금은 밀도가 1.8g/cm<sup>3</sup> 정도의 차세대 경량 합금으로서 우수한 비강도 및 비탄성계수를 가지고 있으며, 진동, 충격, 전자파 등에 대한 흡수 능력이 탁월하고 전기 및 열전도도가 우수한 재료이다. 따라서 Mg 합금은 자동차, 항공기 등의 경량화 측면에서 중요한 위치를 점하고 있으며, 최근에는 휴대용 무전기, 노트북 등의 전자산업 분야에서도 응용되고 있다. 그러나 HCP 구조를 갖는 Mg 합금은 강도와 상온 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 위해서

는 소성가공에 의해 성형되는 고강도/고연성의 Mg 합금의 개발이 필수적이다.

최근에는 Mg 합금을 대상으로 한 ECAP(Equal Channel Angular Pressing) 실험이 활발하게 진행되고 있으며 매우 흥미로운 새로운 현상이 발견되었다. 대표적인 것이 ECAP 공정 후 Mg합금에서도 FCC, BCC 구조 재료에서와 마찬가지로 결정립 미세화가 일어나지만 강도는 저하된다는 것이다.[1-3] 또 하나의 흥미로운 발견은 Mg의 합금의 인장연신율이 ECAP 공정 후 대폭 증가한다는 것이다.[4] ECAP 공정 후 강도가 감소하고 연성이 증가하는 사실은 ECAP 가공된 BCC, FCC 구조재료에서 관찰된 결과와 정반대의 결과로 ECAP 공정 중 HCP 구조의 Mg에 발달하는 집합조직의 특성과 밀접한 관련이 있는 것으로

1. 강릉대학교 금속재료공학과

2. 포항산업과학연구원 부품신소재연구센터

# 강릉대학교 금속재료공학과, E-mail: tkha@kangnung.ac.kr

판단된다. 하지만 ECAP 공정은 대량생산을 위한 연속작업이 어렵다는 단점을 가지고 있기 때문에 전통적인 압연공정을 이용하여 성형성이 우수한 Mg 합금 판재를 제조하는 것이 필요하다. 이에 본 연구에서는 대표적인 Mg 합금인 AZ31 합금의 압연특성을 체계적으로 연구하고자 하였다. 즉, 압연속도, 압연온도, 압하량, 롤가열 여부, 초기 판재두께 등 제반 압연공정변수에 따른 압연성과 미세조직의 변화를 살펴 보았다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 재료

본 연구에 사용된 AZ31 합금은 잉곳 주조 후 40mm 두께의 slab 으로 가공하여 열간압연을 통해 두께 6mm 와 3mm 의 판재형태로 공급되었으며, 미세조직은 그림 1 과 같았다. 최적 압연조건을 도출하기 위해 앞서 V 노치 Charpy 충격시험을 통해 적정 온간압연 온도를 예측하고자 하였으며 그림 2 에 충격시험을 위한 시편의 형상을 나타내었다.

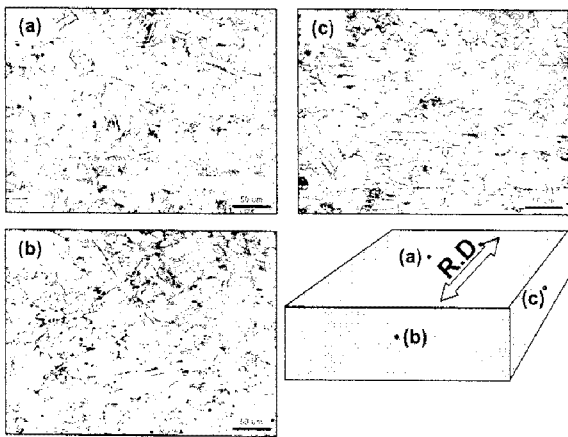


Fig. 1 Optical micrographs of as-received AZ31B Mg alloy sheet.

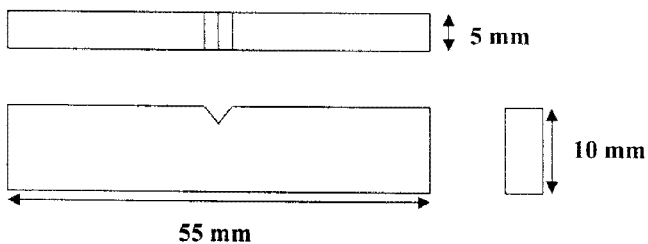


Fig. 2 Dimensions of V-notch Charpy impact specimen.

### 2.2 압연 및 특성평가

최적 압연조건을 도출하기 위한 기초 연구로서, 초기 두께 6mm 와 3mm 의 판재를 이용하여 압연 온도, 패스당 압하율, 롤 회전속도, 압연롤의 가열 여부 등 압연조건에 따른 단일 패스 압연 후의 측면 크랙 발생여부를 조사하였으며, 압연 후의 미세조직을 관찰하였다. 또한 인장시험을 통해 압연 판재의 기계적 특성을 평가하였다. 압연 조건은 다음과 같았다.

- Initial thickness of sheets: 3 and 6 mm.
- Thickness reduction per pass: 18, 33, 40, and 50 %.
- Rolling temperature: 25, 100, 150, 200 and 250°C.
- Rolling speed: 10, 20, and 30 m/min.
- Temperature of roll: 25 (no heating) and 100°C.

압연조건에 따른 집합조직의 변화를 규명하기 위해 실험용 원자로인 HANARO 의 중성자 회절 장치(FCD, four circle diffractometer)를 이용하여 완전 극점도를 구하였다. 이 때, 사용된 중성자의 파장은 0.997Å 이었으며, mosaic Ge monochromator 를 사용하였다. 집합조직의 비교를 위하여 박판구조를 통해 제조된 AZ31 합금 판재(두께 5mm)의 극점도도 함께 구하였다.

### Energy (J)

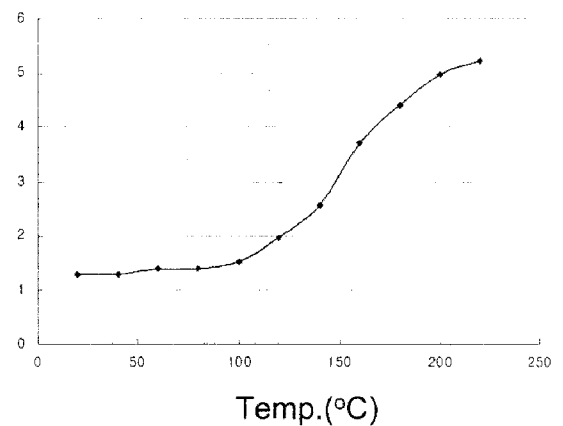


Fig. 3 Impact energy as a function of temperature.

## 3. 결과 및 고찰

그림 3 은 Charpy 충격시험 결과를 나타낸 것이다. 충격에너지는 100°C 부터 증가하기 시작하여 200°C 근처에서 포화 되는 것을 알 수 있다. 따라

서 200°C 를 한계압연온도로 예상할 수 있으며 이는 실제 압연시험을 통하여 확인 할 수 있었다. 압연조건에 따른 측면 크랙의 생성여부는 다음의 표 1에 정리하여 나타내었다.

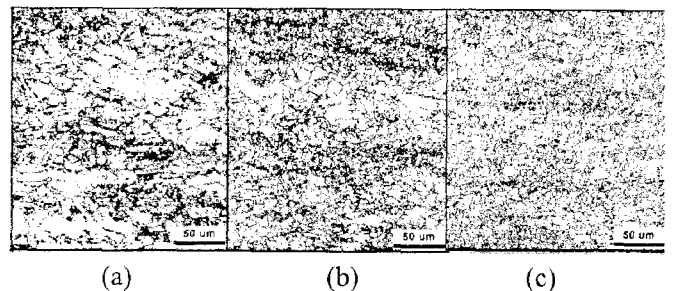
**Table 1 Rolling conditions and cracking.**

온도	두께	Roll Heating	속도 (mpm)	압하율 (%)	균열
200	6	O	30	18	X
200	6	O	30	33	X
200	6	O	30	40	O
200	6	O	30	50	O
200	3	O	30	18	X
200	3	O	30	33	X
200	3	O	30	40	O
200	3	O	30	50	O
200	6	O	10	18	X
200	6	O	10	33	O
200	6	O	10	50	O
200	3	O	10	18	X
200	3	O	10	33	O
200	3	O	10	50	O
200	6	X	30	18	X
200	6	X	30	33	O
200	6	X	30	50	O
200	3	X	30	18	X
200	3	X	30	33	X
200	3	X	30	50	O
200	6	X	20	18	X
200	6	X	20	33	O
200	6	X	20	50	O
200	3	X	20	18	X
200	3	X	20	33	X
200	3	X	20	50	O
200	6	X	10	18	X
200	6	X	10	33	X
200	6	X	10	50	O
200	3	X	10	18	X
200	3	X	10	33	X
200	3	X	10	50	O
150	6	O	30	18	O
150	6	O	30	33	O
100	6	O	30	18	O

표에서 알 수 있는 바와 같이 100, 150, 200°C 에서 시험압연을 행한 결과 롤 가열 조건의 200°C

압연에서는 패스당 33%의 압하율에서 균열이 발생하지 않았으나 100, 150°C 에서는 18%의 압하율에서도 측면 균열이 발생하였다. 이는 충격시험을 통한 압연한계온도의 예측 결과와 일치하는 것이다. 또한 롤 속도가 30, 20, 10mpm 으로 느려질수록 측면 크랙이 쉽게 발생하는 경향이 나타났고, 30mpm 의 롤 스피드, 롤 가열 조건 하에서 패스당 33%의 압하율로 측면 균열의 발생 없이 압연이 가능 하였다. 이로부터 한계 압하율을 롤 가열 및 30mpm 의 롤 스피드에서 33%로 결정할 수 있다. 압연 직후에 변형에 따른 판재온도의 변화를 관찰한 결과 패스 당 압하율 33% 기준으로 하였을 때, 30mpm 의 비교적 빠른 롤 스피드로 압연할 경우, 롤 가열 시에는 6mm 판재에서 15°C 의 온도상승이 관찰된 반면 3mm 판재에서는 28°C 의 온도 강하가 관찰되었고, 롤 비가열 조건에서는 각각 19와 41°C 의 온도 강하가 관찰되었다.

17, 33, 40, 그리고 50%의 패스 당 압하를 가한 후 관찰한 미세조직은 모두 동적 재결정에 의해 결정립이 미세화 된 것으로 나타났다. 패스 당 압하량이 적을수록 결정립 크기는 불균일 하였으며 4 패스에 걸쳐 재가열 하면서 총 68%의 압하를 가한 시편의 결정립 크기는 약 7 $\mu$ m 로 매우 작고 균일하였다. 그림 4 에 6mm 판재를 각각 18, 33, 50%의 패스당 압하율로 압연한 직후의 미세조직을 나타내었다.



**Fig. 4 Optical micrographs of as-received AZ31 Mg alloy sheet rolled by (a) 18%, (b) 33%, and (c) 50% reduction.**

표 2 에 나타낸 바와 같이, 17, 33, 40, 그리고 50%의 패스 당 압하를 가한 후 행한 인장시험에서 압연재의 기계적 특성은 패스 당 압하량이 증가함에 따라 향상되는 경향을 보였으나 그 경향은 뚜렷하지 않았다. 흥미로운 것은 패스 당 압하율이 증가함에 따라 연신율도 증가하였는데, 압하율이 50%일 때, 최고 32%의 연신율이 얻어졌다.

이는 집합조직의 관찰결과와 관계가 있는 것으로 나타났는데 (0002) 극점도의 강도가 압하량의 증가와 함께 감소하고 동시에 TD 방향으로 약간 기울어지면서 보다 활발한 basal slip 을 활성화하는 것으로 판단된다.

**Table 2 Mechanical properties of AZ31 Mg sheet rolled at 200°C by various reductions.**

Reduction (%)	Yield Stress (MPa)	Tensile Stress (MPa)	Elongation (%)
0	149	307	21
18	200	318	25
30	191	324	29
50	204	330	32

#### 4. 결론

AZ31 Mg 합금판재의 압연시험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 30mpm의 롤 스피드, 롤 가열 조건 하에서 패스 당 33%의 압하율로 측면 균열의 발생 없이 압연이 가능하였다. 이로부터 한계 압하율을 롤 가열 및 30mpm의 롤 스피드에서 33%로 결정할 수 있었다. 이는 충격시험을 통한 압연한계온도의 예측 결과와 일치하는

것이다. 패스 당 압하량이 적을수록 결정립 크기는 불균일 하였으며 4 패스에 걸쳐 재가열 하면서 총 68%의 압하를 가한 시편의 결정립 크기는 약 7 $\mu$ m 로 매우 작고 균일하였다. 압연재의 기계적 특성은 패스 당 압하량이 증가함에 따라 향상되는 경향을 보였다.

#### 후 기

본 연구의 일부는 한국과학재단을 통한 원자력 연구기반확충사업의 연구비 지원을 통해 (과제번호: M20511000043-05B0200-04300) 수행된 것으로 이에 감사 드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] W.J. Kim, S.I. Hong, Y.S. Kim, S.H. Min, H.T. Jeong and J.D. Lee, 2003, Acta Materialia, Vol 51, p.
- [2] H.T. Jeong and W.J. Kim, 2005, Materials Science Forum Vols. 475-479, p. 545.
- [3] H.S. Kim, H.T. Jeong, H.G. Jeong and W.J. Kim, 2005, Materials Science Forum, Vols. 475-479, p. 549.
- [4] W.J. Kim and H.T. Jeong, 2005, Materials Transaction, Vol. 46, p. 251.
- [5] V.V. Stolyarov, Y.T. Zhu, I.V. Alexandrov, T.C. Lowe, R.Z. Valiev, 2001, Materials Science Engineering A, Vol. 299, p. 59.