

# 직/간접 압출공정에 의해 제조된 AZ31 Mg 합금의 미세조직 및 집합조직 변화 분석

김대하<sup>1</sup>, 유봉선<sup>2</sup>, 박성수<sup>2</sup>, 윤덕재<sup>3</sup>, 최시훈<sup>1#</sup>

## Analysis of microstructure and texture evolution in AZ31 Mg alloy fabricated by direct/indirect extrusion process

D. H. Kim, B. S. You, S. S. Park, D. J. Yoon, S. H. Choi

### Abstract

To investigate the evolution of microstructure and texture in AZ31 Mg alloy, direct/indirect extrusion process was carried out at 300°C with various extrusion speeds. The distribution of grain size depends on extrusion method and extrusion speed. More homogeneous grain size can be obtained at higher extrusion speed of indirect extrusion process. Extrusion speed does not affect significantly texture evolution during extrusion process regardless of extrusion method. ODF section is more useful to understand texture evolution during extrusion process compared with pole figure.

Key Words : Direct/ Indirect extrusion, Ram speed, Microstructure, Macro-texture

### 1. 서 론

마그네슘합금은 상용 구조용 금속소재로서 비강도, 비강성, 주조성, 충격특성, 전자파 차폐능 등이 우수하여 경량화가 요구되는 산업의 적용범위가 넓어지고 있다. 가공용 마그네슘합금의 적용범위를 확대하기 위해서 상대적으로 낮은 강도 및 성형성을 향상시키고 저비용 고효율 개발공정 개발을 통해 가격 경쟁력을 확보하여야 한다.

압출공정은 소재에 부과되는 강한 소성변형에 의해 강도와 연신율이 우수한 특성을 얻을 수 있으며 금형의 형상에 따라 다양한 형상으로 제조할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 그러나 현재까지 사용되어지고 있는 마그네슘 합금의 경우 적용되어지는 직접압출법의 한계로 인하여 저합금계에 한정되고 있으며, 낮은 생산성과 같은 단점 단점을 극복하기 위해 압출 속도가 빠른 간접 압출공정을 이용한 고속압출기술에 대한 연구가 필요한 실정이다 [1~3].

마그네슘 합금의 성형성을 증가시키기 위해서는 미세한 결정립과 균일한 결정립 분포를 보여야 하며 basal fiber 를 약하게 발달시켜야 한다는 사실은 선행 연구들을 통해 알려져 있다 [4,5].

본 연구에서는 직접 압출공정과 비교해 동일한 조건을 간접 압출공정에 적용할 경우 발생하는 미세조직과 집합조직의 거동을 비교 분석하였다. 또한 동일한 조건으로 직/간접 압출 공정으로 압출재를 생산할 경우 압출 속도가 압출재의 미세조직과 집합조직에 미치는 영향을 비교 분석하고자 하였다.

### 2. 실험

본 연구에 사용한 마그네슘 합금은 직접 주조한 AZ31(3wt% Al, 1wt% Zn, balance Mg) 빌렛을 사용하였다. 초기 빌렛의 직경은 직/간접 압출 공정 각각  $\Phi 80\text{mm}$ ,  $\Phi 100\text{mm}$  이었다. 25:1의 압출비 (직접압출공정 :  $\Phi 80\text{mm} \rightarrow \Phi 16\text{mm}$ , 간접압출공정 :  $\Phi 100\text{mm} \rightarrow \Phi 20\text{mm}$ )로 300°C 온도에서 압출공정을

1. 순천대학교

2. 한국기계연구원 부설 재료연구소

3. 한국생산기술연구원

# 교신저자: 순천대학교, E-mail: shihoon@sunchon.ac.kr

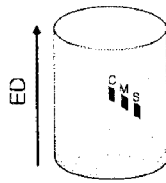


Fig 1. A schematic diagram showing a cutting section for microstructure characterization.

수행하였다. 직/간접 압출공정 모두 1.3mm/s, 4.0mm/s, 6.7mm/s 의 압출속도로 무윤활 조건에서 압출을 수행하였다.

Fig. 1 과 같이 압출방향 (ED : Extrusion Direction) 과 평행하게 압출시편의 중심을 절단한 후 표면으로부터 중심까지 세 곳의 미세조직을 측정하여 결정립의 크기를 비교 분석하였다. 미세조직의 측정을 위해 Olympus GX51 의 광학현미경을 이용하였으며, 분석용 software 는 Clemex 를 이용하였다.

압출 속도에 따른 압출재의 집합조직의 거동을 측정하기 위하여 압출재 중심에서 압출방향으로 평행하게 X-ray 시편을 제작하였다. Rigaku D-Max 2500/PC 18Kw 을 이용하여 (0002) (10-10) (10-11) (10-12) (11-20)의 5 개의 불완전 극점도를 기울기 각도 70 도까지 측정하였다.

실험적으로 측정된 극점도는 Background 및 Defocusing 보정을 실시하였다. Orthorhmbic 시편 대칭을 가정하여 3 차원 오일러 공간의 방위분포함수 (orientation distribution function, ODF)를 계산하였다. 방위분포함수를 계산할 때 사용한 이론은 WIMV (William, Imhof, Matthies, and Vinel)방법을 이용하였다 [6].

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 미세조직 분석

Fig. 2 는 빌렛온도 300℃에서 압출속도가 1.3mm/s와 6.7mm/s 인 조건에서 압출된 압출재의 평균 결정립 크기와 그것의 표준편차를 보여준다. 압출속도에 무관하게 직접압출의 경우 미세한 결정립을 보였으나, 표준편차 측면에서는 간접압출의 경우가 보다 유리한 것으로 분석되었다. 결정립의 크기는 직/간접 압출 모두 표면부에서 가장 조대하였으며 중앙부분에서 긴 락형상의 결정립이 존재하는 것이 관찰되었다.

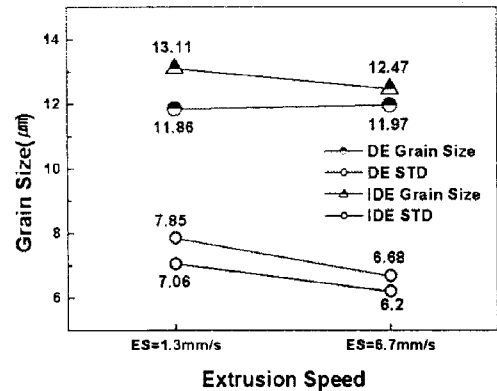


Fig 2. Grain Size of direct/Indirect extrusion.

#### 3.2 집합조직 분석

Fig. 3 은 AZ31 빌렛을 동일한 조건에서 다른 압출 속도로 제조된 압출재의 집합조직을 X-ray 를 이용하여 분석하고 (0002) 극점도로 나타내었다.

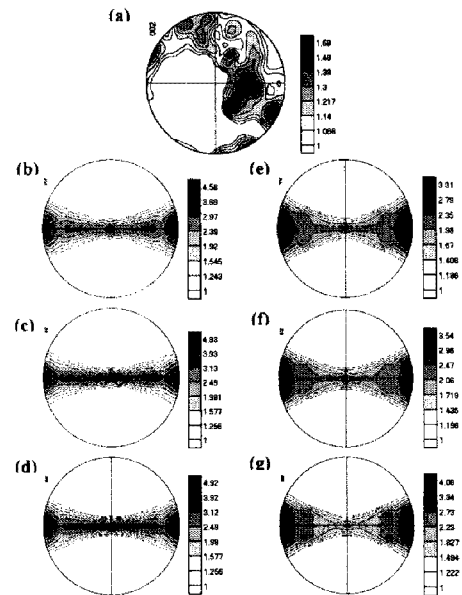


Fig 3. (0002) pole figures showing texture evolution of AZ31 Mg alloys during extrusion process.( a: billet / direct extrusion : b=1.3mm/s, c=4.0mm/s, d=6.7mm/s / indirect extrusion e=1.3mm/s, f=4.0mm/s, g=6.7mm/s).

Fig. 3(a)는 AZ31 빌렛의 집합조직을 (0002) 극점도상에 나타낸 것으로, 특별히 발달된 성분이 없는 무질서한 집합조직으로 분석되었다.

직/간접 압출공정으로 제조한 압출재의 (0002) 극점도를 분석하면 직/간접 압출의 경우 전형적

인 압출재의 극점도의 분포를 나타낸다. 직/간접 압출로 제조한 압출재의 경우 공정에 상관없이 (11-20)[1-100]의 성분이 강하게 발달하며 극밀도의 최대값은 압출속도가 빨라짐에 따라 약간 증가하는 경향을 나타낸다.

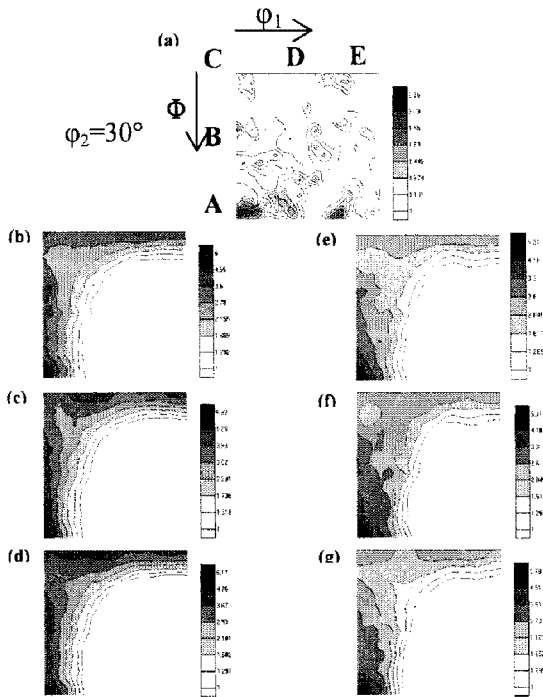


Fig 4. ODF sections showing texture evolution of AZ31 Mg alloys during extrusion process.  
(a: billet / direct extrusion : b=1.3mm/s, c=4.0mm/s, d=6.7mm/s / indirect extrusion e=1.3mm/s, f=4.0mm/s, g=6.7mm/s).

Fig.4 는 직/간접 압출공정으로 제조한 AZ31 압출재의 방위분포함수(ODF)를 극밀도의 최대값이 포함하고 있는  $\phi_2=30^\circ$  단면에 나타낸 것이다 [7].  $\phi_2=30^\circ$ 의 각 위치별 Euler angle 및 밀리지수는 Table. 1 에 나타내었다.

Table 1. Texture components typical in extruded AZ31 Mg alloys.

	Euler angle	밀리지수
A	(0 90 30)	(11-20)[1-100]
B	(0 45 30)	(11-23)[1-100]
C	(0 0 30)	(0001)[1-100]
D	(45 0 30)	(0001)[-1-450]
E	(90 0 30)	(0001)[-1-120]

Fig.4(a) 초기 빌렛의 방위분포함수로서 특별한 fiber 의 발달이 없는 Random 한 집합조직임을 알 수 있다. 제조 공정이나 압출 속도에 상관없이 극밀도의 최대값은 A-(0 90 30)의 위치에 존재하였다. 직접압출은 압출 속도가 느린 경우 A, B의 성분만 발달하였으며, 압출속도가 빨라질수록 A~E의 성분 전체가 발달하였다. 그러나 간접압출의 경우는 압출 속도에 무관하게 A, B의 성분만 발달함이 관찰되었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 AZ31 마그네슘 합금의 다양한 압출 속도에서 직/간접 압출에 의해 발달한 미세조직과 집합조직을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 직/간접 압출로 제조한 마그네슘 합금은 압출 속도와 공정방식에 무관하게 압출재의 위치마다 균일한 분포와 비슷한 크기를 가지는 결정립을 보이지만 상대적으로 간접 압출이 균일한 결정립을 보였다.

(2) 직/간접 압출공정으로 제조된 압출재는 전형적인 압출재 집합조직으로 분석되었으며, (11-20)[1-100]의 집합조직 성분에서 극밀도의 최대값을 보였다.

(3) 방위분포함수 측면에서는 압출 방식에 무관하게  $\phi_2=30^\circ$  단면에서 최대값을 보였으며, 직접압출은 압출속도에 따라 발달하는 집합조직 성분의 위치가 차이가 있었지만, 간접압출은 속도와 무관하게 발달하는 집합조직 성분의 차이가 없었다.

#### 후기

본 연구는 산업자원부의 부품·소재기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] N.V. Ravi Kumar, J.J. Blandin, C. Desrayaud, F. Montheillet, N. Suery, 2003, Grain refinement in AZ91 magnesium alloy during thermomechanical processing, Mater. Sci. Eng. A Vol. 359, pp. 150-157.
- [2] B.M. Closset, J.F. Perey, C. Bonjour, P.A. Moos, in: B.L. Mordike, K.U. Kainer (Eds.), 1998, Microstructure and Properties of Wrought

- Magnesium Alloys, Magnesium Alloys and Their Applications, Wiley-VCH, Weinheim, pp. 195-200.
- [3] H.C. Jung, J.H. Hwang, N.J. Kim, K.S. Shin, 2007, Trends in Metals and Materials Engineering, Vol. 20, No. 5, pp. 48-59.
- [4] Yongjun Chen, Qudong Wang, Jianguo Peng, Chunquan Zhai, Wenjiang Ding, 2007, Effects of extrusion ratio on the microstructure and mechanical properties of AZ31 Mg alloy, Jour. Mater. Proc. Tech, Vol. 182 pp. 281-285.
- [5] D.K. Xu, L. Liu, Y.B. Xu, E.H. Han, 2007, Effect of microstructure and texture on the mechanical properties of the as-extruded Mg-Zn-Y-Zr alloy, Mater. Sci. Eng A, Vol. 443, pp. 248-256.
- [6] S. Matthies, J. Muller and G. W. Vinel, 1998, Textures and Microstructure, pp.1998
- [7] S.B. Yi, D.H.J. Davies, H.-G. Brokmeier, R.E. Bolmaro, K.U. Kainer, J. Homeyer, 2006, Deformation and texture evolution in AZ31 magnesium alloy during uniaxial loading, Acta Mater, Vol. 54 pp.549-562.