

AZ31 합금의 동적 재결정에 미치는 변형 조건의 영향

권용남¹, 이영선¹, 이정환¹

Effect of Deformation on Dynamic Recrystallization of an AZ31 Mg alloy

Yong-Nam Kwon, Y. S. Lee, J. H. Lee

Abstract

Mg alloys have drawn a huge attention in the field of transportation and consumer electronics industries since it is the lightest alloy which could be industrially applicable. Most Mg alloy components have been fabricated by casting method. However, there have been a lot of research activities on the wrought alloys and their plastic forming process recently.

The deformation behavior of an AZ31 Mg alloy at the elevated temperature was examined firstly to find out the optimum plastic forming range in terms of temperature and strain rate. During high temperature deformation, AZ31 alloy is usually undergone the dynamic recrystallization which influence the deformation behavior in turn. In the present study, the effect of deformation on dynamic recrystallization of an AZ31 alloy was investigated to clarify the relation between the deformation and recrystallization. In an AZ31 alloy system, the dynamic recrystallization was found to occur continuously. Recrystallized grain size was dependent on the stress level.

Key Words : Mg alloy, AZ31, dynamic recrystallization

1. 서론

공업적으로 적용이 가능한 가장 가벼운 Mg 합금을 자동차를 비롯한 수송용 기기 및 휴대용 전자제품에 적용되는 사례가 최근 크게 증가하고 있다. 특히, 기존의 주조합금에 비해 높은 강도와 신뢰성을 가지는 전신재 합금의 적용을 위한 많은 연구를 바탕으로 휴대용 소형 전자제품 부품의 소성 가공이 이루어지고 있다. Mg 합금의 소성 가공은 성형온도를 증가시켜 저면(basal plane)위의 슬립계를 활성화시키는 방법을 사용하고 있다. 이와 함께 미세한 결정립을 가지는 Mg 합금의 경우 고온 영역에서 초소성 특성이 나타나 이를 이용하여 낮은 성형성을 해결하는

방법도 사용되고 있다. 제한된 슬립계와 낮은 적층결합에너지로 인해 Mg 은 변형에 따른 동적 재결정이 활발하게 일어난다. 일반적으로 동적재결정이 발생하는 경우 재료의 유동응력이 낮아져 성형에 유리하게 작용하게 된다. Mg 합금의 경우 결정립크기가 작아짐에 따라 초소성 특성을 기대할 수 있기 때문에 재결정 조건을 제어함으로써 성형성을 향상시키는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 대표적인 전신재 Mg 합금인 AZ31 합금의 재결정에 미치는 응력의 영향을 조사하고자 하였다. 특히, 변형속도와 온도가 재결정에 미치는 영향을 조사함으로써 변형 조건과 미세조직의 연관관계를 고찰하고자 하였다.

1. 한국기계연구원 재료기술연구소 소재성형연구센터
교신저자: 권용남 E-mail: kyn1740@kmail.kimm.re.kr

2. 실험 방법

본 연구는 상용 AZ31 합금을 사용하여 실시하였으며 그림 1에 나타낸 바와 같이 평균 결정립 크기($d=1.74\mu\text{L}$)는 각각 $20.3\mu\text{m}$ 를 가지고 있다.

변형율 속도 변화시험 및 인장시험을 사용하여 $250 \sim 450^\circ\text{C}$ 의 온도 영역에서 고온 변형 특성을 조사하였다. 고온 인장시험을 실시한 후 광학현미경을 이용하여 평균 결정립 크기를 측정하였다.

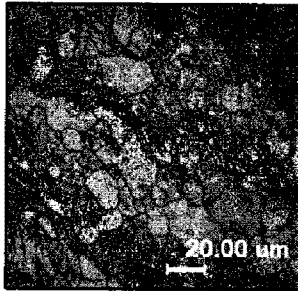


Fig. 1 Optical micrograph of an AZ31 alloy with the grain size of $20.3 \mu\text{m}$ used in the present study.

3. 결과 및 고찰

3.1 고온 변형 거동

$250 \sim 450^\circ\text{C}$ 의 온도 범위에서 변형율속도 변화 시험을 통해 얻은 응력-변형율속도의 관계를 그림 2에 나타내었다. 온도의 증가에 따라 변형율속도 민감계수(strain rate sensitivity, m)가 낮은 변형율속도 영역에서 점차로 높은 값을 가지며 400°C 이상의 온도 영역에서는 0.5 이상의 값을 가져 결정립계 미끄러짐이 주도적인 변형기구로 작동할 것으로 예상된다. 반면 높은 변형율속도 영역 및 낮은 온도에서는 m 값이 0.1 정도의 낮은 값을 나타내 전위 활주에 의한 변형이 진행되는 것으로 판단된다. 변형율속도 민감계수 m 값이 0.5 이상으로 높은 영역에서의 활성화에너지는 130 kJ/mol 를 가지는 것으로 확인되었다.

이상의 응력-변형율속도 관계를 바탕으로 온도 및 변형율속도를 변화시키면서 인장시험을 실시하였다. 그림 3에 나타낸 것과 같이 변형 온도가 높아짐에 따라 연신율이 증가하는 일반적인 경향을 관찰할 수 있었다. 연신율에 대한 변형율속도의 영향은 온도가 400°C 미만의 온도에서는 크게 나타나지 않은 것을 확인할 수 있었다. 이상의 결과에서 저면슬립계를 제외한 보조슬립계의 역할

은 온도의 증가에 따라 연신율에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다.

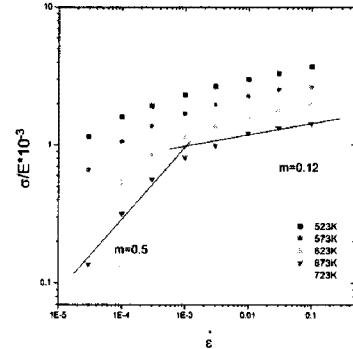


Fig. 2 Stress-strain rate relation of AZ31 alloy with the grain size of $20.3\mu\text{m}$ in the temperature range of $250 \sim 450^\circ\text{C}$.

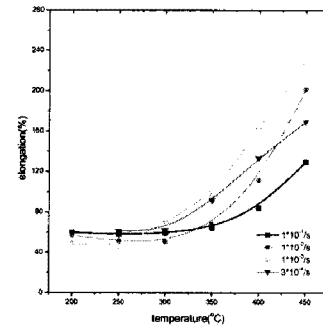


Fig. 3 Elongation of AZ31 alloy is dependent on strain rate at the temperature range $200 \sim 450^\circ\text{C}$.

3.2 동적 재결정 거동

그림 4는 온도 및 변형율 속도를 변화시키며 인장시험을 실시한 시편의 미세조직을 관찰한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 변형 온도가 200°C 인 경우 $5\mu\text{m}$ 이하로 미세하게 재결정된 조직이 관찰되고 있다. 하지만, 변형율 속도의 변화에 따라 재결정이 발생하는 양상은 달라지며 변형율속도가 낮은 경우에 가장 균일한 결정립 크기를 보여주고 있다. 변형온도가 300°C 의 경우에도 변형율속도에 관계없이 변형 전 조직에 비해 결정립 크기가 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 하지만, 변형온도가 450°C 의 경우 변형속도가 $0.1/\text{s}$ 일 때 결정립 성장이 관찰되었으며 다른 변형율속도 조건에서도 결정립이 변형 전 시편에 비해 성장한 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 사용한 AZ31 합금의 경우 변형의 진행에 따라 연속적으로 재결정이 진행되는 동적

재결정(continuously dynamic recrystallization)으로 이해할 수 있다. 동적재결정은 그림 5에 나타낸 바와 같이 기존 결정립계를 비롯하여 Mg 합금의 경우 쌍정입계 등에서 재결정핵이 발생하는 것으로 알려져 있다. 동적재결정이 발생할 경우 결정립이 미세해지므로 활발한 결정립계 미끄러짐에 의한 성형성 향상을 기대할 수 있다. 동적재결정립의 크기는 유동응력과 식 (1)에 나타낸 바와 같은 관계를 가지는 것으로 알려져 있다. 다양한 금속계에 걸쳐 보고된 바에 의하면 n 값은 약 0.8을 가지는 것으로 알려져 있다[1].

$$\left(\frac{\sigma}{G}\right)\left(\frac{D}{b}\right)^n = K \quad (1)$$

그림 6에 AZ31의 유동응력과 재결정된 결정립 크기의 관계를 나타내었으며 식(1)에 나타낸 관계식에 비교적 잘 일치하는 경향을 확인할 수 있다.

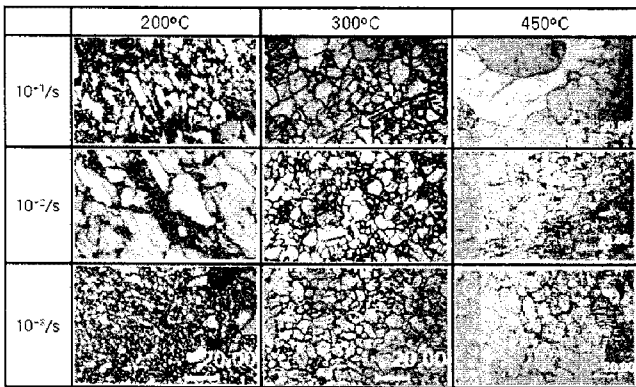


Fig. 4 Optical micrographs after tensile deformation under the several strain rates. (a) 200°C, (b) 300°C and (c) 450°C.

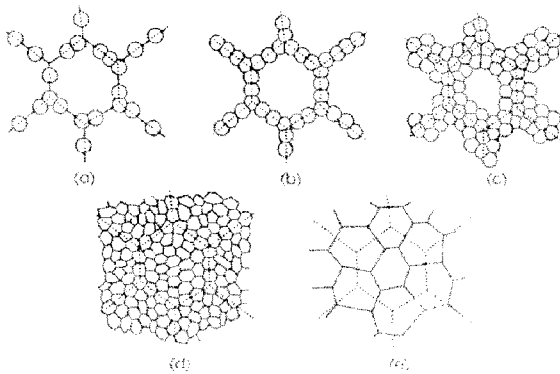


Fig. 5 Microstructure development during dynamic recrystallization [1].

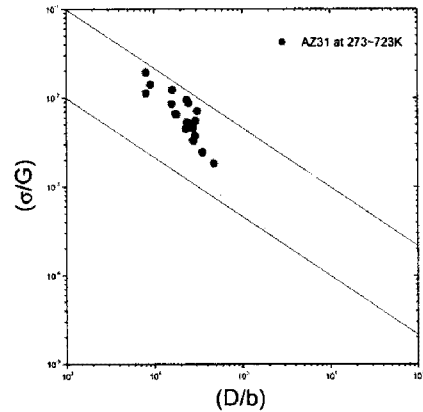


Fig. 6 The relationship between dynamically recrystallized grain size in AZ31 alloy.

그림 6에 나타낸 실선은 식 (1)의 K 값이 가지는 범위를 나타낸 것으로 n 값이 2/3을 가질 때 대부분의 금속의 동적재결정에서 1에 10 사이에 존재함이 알려져 있으며 본 연구에서 사용한 AZ31도 이에 일치하는 경향을 보이고 있다[1].

이상의 결과에서 AZ31 합금의 재결정은 유동응력의 크기 및 온도에 의존함을 확인할 수 있었다. 변형온도가 낮을수록 유동응력의 크기가 높아지므로 재결정립의 크기를 미세하게 유도할 수 있다. 하지만, 재결정핵이 생성된 후 빠른 성장속도를 나타내기 때문에 균일한 결정립 분포를 얻기 위해서는 변형율속도가 낮은 경우가 유리하다고 판단된다. 온도가 높아짐에 따라 재결정립의 성장속도가 빨라져 동적재결정에 의한 미세화효과를 얻기가 어려워진다.

그림 3에 나타낸 바와 같이 연신율은 동적재결정에 의한 결정립 미세화와의 관계가 없는 것으로 보인다. 이러한 결과는 그림 2에 나타낸 바와 같이 300°C 이하의 온도에서는 변형율속도 민감계수가 0.2 이하로 변형이 전위 활주에 의해 주도되어 결정립 미세화의 효과가 크지 않은 것으로 판단된다. 350°C 이상의 온도영역에서는 결정립 미세화에 따라 결정립계 미끄러짐이 활성화되어 동적재결정 현상이 성형성 향상에 도움을 주는 것으로 판단된다. 그림 7은 250°C 및 450°C에서 $3 \times 10^{-4}/s$ 의 변형율속도로 50%의 변형을 준 시편의 표면을 관찰한 결과이다. 그림 7(a)에 나타낸 450°C의 경우 활발한 결정립계 미끄러짐으로 인해 결정립사이의 회전이 크게 발생한 것을 확인

할 수 있는 반면, 250°C 조건에서 변형을 한 경우 결정립계 미끄러짐의 영향이 상대적으로 미미한 것을 확인할 수 있었다.

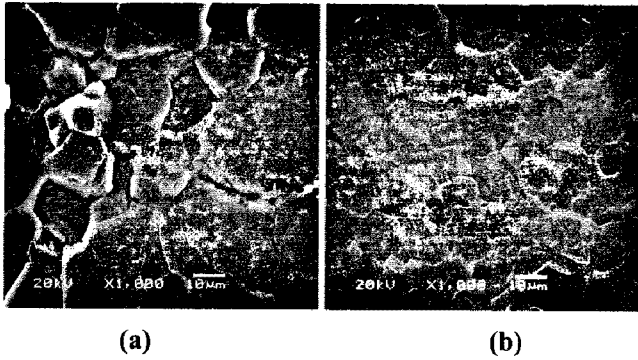


Fig. 7 Grain shapes undergone the deformation of 50% at (a) 450°C and (b) 250°C.

4. 결론

본 연구에서는 상용 AZ31 합금을 이용하여 Mg 합금의 동적재결정에 미치는 온도 및 변형률속도의 영향을 조사하였다. 동적재결정된 결정립의 크기는 유동응력에 식(1)에 나타낸 바와 같이 반비

례하는 관계를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 온도가 낮을수록 변형률속도가 빠를수록 재결정립의 크기는 감소하는 경향을 실험적으로 확인할 수 있었다. 동적재결정이 활발한 AZ31 합금에서 재결정으로 인해 얻어진 미세한 결정립은 결정립계 미끄러짐이 활발해지는 온도 이상의 영역에서는 연신율을 증가시키는데 기여하는 것으로 판단된다. 반면에 전위 활주에 의해 변형이 주도되는 낮은 온도에서는 결정립미세화는 연신율 향상에 큰 기여를 하지 않는 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 지식기반기계 부품소재연구개발 클러스터 사업단의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- [1] F. J. Humphreys and M. Hatherly, 1995, Recrystallization and related annealing phenomena, Elsevier Sc. Ltd., Oxford, U. K.