

AZ31 Mg 합금의 쌍정 형성에 미치는 Initial Texture 의 영향

이병호¹, 김용우¹, 이종수[#]

Effect of Initial Texture on the Twinning Formation of AZ31 Mg Alloy

Byoung Ho Lee, Yong Woo Kim, Chong Soo Lee

Abstract

In the present study, the effects of initial texture on the twinning formation of AZ31 Mg rolled sheet was investigated. Uniaxial compression tests were performed on samples cut along the normal direction and rolling direction of rolled AZ31 Mg alloy sheet at various temperatures (RT, 200, 250, 300, 350, 400°C) with the 0.01/s strain rate. Pole figure of rolling planes showed that basal planes of most grain were located parallel to the rolling direction. After compression test, microstructures and stress-strain curves results indicated that active deformation twinning occurred only at the specimen cut along the rolling direction. The slip-twin transition with the increase of temperature was also investigated.

Key Words : AZ31 Mg alloy, Deformation twinning, pole figure, texture, slip-twin transition.

1. 서 론

자동차 산업에서 연비 향상에 대한 관심은 크게 증가하고 있다. 이러한 연비 향상의 방안으로는 차체 디자인 최적화, 엔진 설계의 최적화, 경량 구조재료의 사용 등의 방안이 있으나, 그 중 경량 구조 용 소재를 이용하는 것은 다른 방안과 함께 사용될 수 있으며 가장 본질적인 해결책으로 각광받고 있다. 경량 구조 용 소재 중 사용 가능한 가장 밀도가 낮은 구조 용 금속 소재인 마그네슘 합금은 특히 이러한 자동차의 차체 무게 감소를 위한 수많은 가능성을 내포하고 있는 재료이다. 지금까지 마그네슘 합금의 자동차 소재로의 응용은 거의 대부분이 구조재의 응용이었으나, 이런 방법으로 제조된 부품은 기계적 프로세스를 거친 재료들에 비해 강도, 연신율과 같은 기계적 성질이 매우 취약한 것으로 알려져 있다. 그리하

여 최근 마그네슘 합금의 wrought material로의 응용에 대한 연구가 매우 활발하다[1].

일반적으로 마그네슘 합금은 그 슬립계의 제한으로 인해 상온에서 성형성이 좋지 못한 단점이 있다. 상온에서 사용 가능한 슬립계는 (0002)의 기저면에서의 슬립계이며, 다른 non-basal slip system인 prismatic과 pyramidal면의 slip system에 비해 CRSS (critical resolved shear stress)값이 매우 작아, 상온에서는 basal slip이 주로 작용하게 된다. 하지만 연속체 가정에서 homogeneous한 deformation을 이루기 위해 필요한 서로 독립 작용이 가능한 5개 이상의 slip system이 존재하기 힘들어 마그네슘 합금은 상온 성형성이 열악하다. 그러나 온도가 증가하면 non-basal slip system의 CRSS값이 basal과 비교 가능한 수준으로 낮아져 기타 다른 slip system이 작용하게 된다[2]. 하지만 여전히 독립

1. 포항공대 신소재공학과
교신저자: 포스텍 신소재공학과,
E-mail: cslee@postech.ac.kr

적인 5개 이상의 slip system이 작용하지 않아, 보통 마그네슘 합금은 Twining을 deformation의 한 방법으로 사용한다. Twining이 생기면 수용할 수 있는 deformation의 양은 얼마 되지 않지만, 다른 slip system이 작용하기 용이하게 해주는 장점이 있어 최근 마그네슘 합금의 쌍정 형성에 대한 연구가 활발하게 이뤄지고 있다. 이러한 마그네슘 합금의 쌍정 형성은 마그네슘 합금의 집합 조직과도 밀접한 관련이 있다[2].

본 연구에서는 최근 가장 널리 쓰이는 AZ31 Mg합금을 이용하여 초기 쌍정 형성에 영향을 미치는 초기 집합 조직의 영향을 조사할 것이다.

2. 실험 방법

본 연구에서 사용한 소재는 3.6wt%Al- 1.0wt%Zn-0.5wt%Mn의 조성을 가진 AZ31 Mg합금을 최종 두께 50mm로 압연한 판재이다. 이 재료에 대하여 400°C에서 6시간 동안 균질화 열처리를 수행하였다. 압연된 재료의 경우 초기 결정립 크기는 비교적 균일한 $35 \pm 10 \mu\text{m}$ 정도였다.

이러한 Mg합금의 초기 쌍정 형성에 미치는 집합 조직의 영향에 대해 알아보기 위해 rolling방향과 평행한 방향이 중심이 되는 시편 (이후 통칭 RD 시편)과 rolling방향에 수직인 방향 중 Normal direction이 중심이 되는 시편 (이후 통칭 ND시편)의 두 가지 방향으로 압축 실험을 실시하였으며, 이러한 각각의 압축 실험은 Gleeble 3500 고온 압축 시험기를 이용하였다. 시편의 형태는 직경 10mm, 높이 12mm의 원통형태였다. 압축 실험은 0.01/s의 고정된 변형률 속도로 실시하였으며, 온도에 따른 쌍정 형성의 변화를 알아보기 위해 RT, 200, 250, 300, 350, 400°C로 온도를 변화시켜 가며 실험을 실시하였다. 이때 응력-변형률의 변화는 Gleeble-3500시험기에 장착된 컴퓨터를 통하여 연속적으로 측정-보정되었으며 실제 시편의 온도도 시편에 장착된 Thermocouple wire를 통해 실시간으로 측정하였다. 실험 후 미세조직을 보존하기 위해 실험 직후 시편은 수냉하였다.

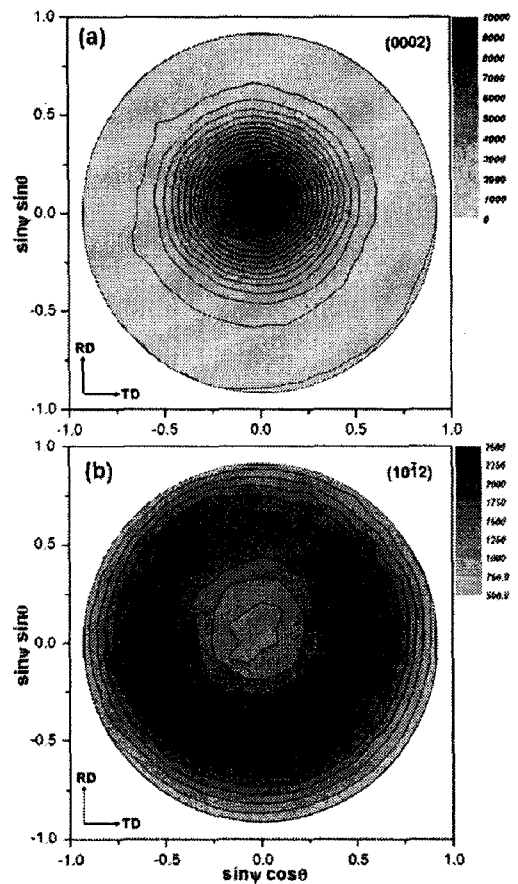
또한 초기 시편의 texture 분석을 위해 2400 번 abrasive paper 까지 연마한 시편의 표면에 X-ray diffraction 을 통해 $\{0002\}$ 방향과 $\{10\bar{1}2\}$ 방향으로 pole-figure 를 관찰하였다. Pole figure 관찰에는 RIGAKU-DMAX X-ray diffractometer 를 사용하였으며, 압연 방향의 위에서 X-선을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 초기 집합 조직의 형성.

다음의 그림 1은 X-선 회절 실험을 통해 얻어낸 rolling재의 초기 집합 조직을 나타내는 pole figure 이다. 집합 조직은 rolling 방향에 평행한 방향으로 관찰되었다.

Fig. 1. Pole figures of rolled sheet (a) (0002) plane and (b) (10-12) plane.



위의 pole figure에서 오른쪽 상단의 숫자는 X-선 회절실험으로 나온 X선 강도를 의미하며 색이 진할수록 집합 조직의 강도가 높은 것을 의미한다. Fig.1(a)의 경우 basal texture를 의미하는 그림으로 압연재의 경우 basal방향의 texture가 massive하게 형성되고 있는 것을 알 수 있다. 하지만 이에 비해 Fig. 1(b)의 (10-12)방향의 texture의 경우 pole figure의 중심에 X선 강도가 모여 있지 않고 약 54~62° 떨어진 곳에서 X선 강도가 띠를 이루고 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 Basal 면

이 rolling 방향에 평행하게 배치된 것을 나타내며, 마그네슘 합금의 압연 시 특징적으로 나타나는 집합 조직이다[3]. 그리고 (10-12)면의 경우 마그네슘 합금에서 주 트윈이 발생하는 plane으로 시편을 위해서 보았을 경우 많은 결정립에서 약 54-62°의 각도를 갖고 존재하고 있는 것을 알 수 있었다.

3.2 쌍정 형성에 미치는 초기 집합조직의 영향

초기 집합 조직의 형성이 쌍정의 발생에 미치는 영향을 분석하기 위해, 위의 집합 조직을 갖는 압연된 시편을 ND방향과 RD방향이 압축 시편의 cylinder축에 평행하게 각각 시편을 채취하여 압축 실험을 수행하였다. RD방향으로 시편을 채취한 경우는 압축 시편의 cylinder축이 집합조직이 형성되어 있는 basal면과 평행한 방향이며 ND방향으로 시편을 채취한 경우에는 압축 시편의 cylinder축이 basal 면에 수직인 방향이 된다. 다음의 Fig.2는 이와 같이 각각 다른 집합 조직을 갖게 제조된 압축 시편의 상온 압축 시험 결과를 나타내는 것이다.

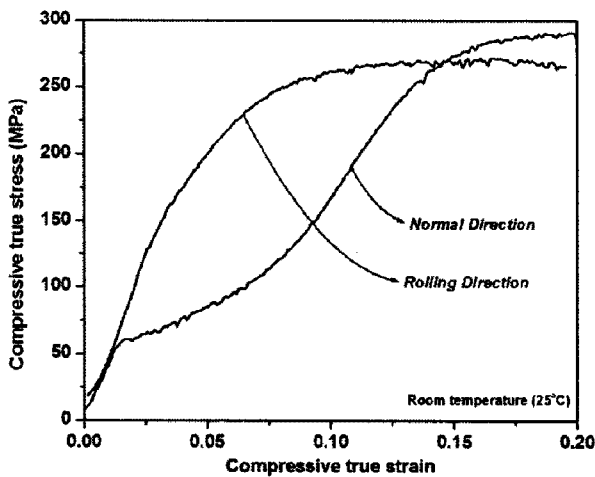


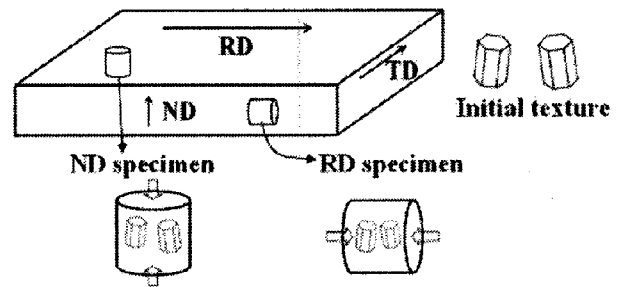
Fig.2. True stress-strain curves of compression specimens deformed with different direction.

이 결과를 보면 ND방향 시편의 경우 Mg합금의 고온 압축 실험 시에 전형적으로 나타나는 아래로 볼록한 형태의 stress-strain curve를 보이는데 반하여, RD방향을 시편의 경우 압축 실험을 실시하였음에도 불구하고 YS값이 거의 두 배가 넘는 위로 볼록한 양식의 stress-strain curve를 보이고 있음

을 알 수 있다[2].

마그네슘 합금과 같이 c/a ratio가 1.732를 보다 작은 재료의 경우 ($c/a=1.632$) HCP재료에서 가장 활발하게 나타나는 (10-12) twin system이 basal 면에 대하여 가지는 각도관계로 인하여 basal면에 twin이 형성되었을 경우 basal면이 수축하는 현상을 보이는 것은 많은 연구자들에 의해 밝혀진 현상이다. 이러한 (10-12) twin은 Mg합금에서는 c -extension twin 이라고 불린다[4]. 본 재료의 경우 다음의 Fig. 3과 같이 초기 재료의 집합 조직이 basal plane이 rolling 방향에 평행하게 늘어서 존재하는 것으로 Fig.1에서 관찰되었다. 이때 ND방향으로 시편을 채취하면, 압축 방향에 대하여 basal면이 대부분 수직인 형태를 보인다. 이런 경우 c -compression 되는 조건으로 (10-12) 면에서 형성되는 twin이 형성될 수 없어 위의 Fig. 2와 같은 형태의 stress-strain curve 경향을 보이는 것이다.

Fig.3. Specimen direction representation and relation between compression specimen and initial texture.



3.3 쌍정 형성에 미치는 온도의 영향.

다음의 그림 4는 상온에서 Twin이 나타나는 RD 방향의 시편에서 고정된 strain rate인 0.01/s로 실험하였을 경우 stress-strain curve의 변화를 나타내는 것이다. 이 그림을 보면 상온을 비롯하여 250°C까지도 (10-12) twinning formation의 증거인 아래로 볼록한 양식의 stress-strain curve를 보이는 것을 알 수 있다[3]. 그러나 이러한 twin의 형성은 300도 이상의 온도에서는 나타나지 않는다. 이는 250도 부근에서 Prismatic 과 Pyramidal slip계가 deformation에 도움을 주어 굳이 twin이 형성되지 않더라도 균일한 deformation을 수용할 수 있기 때문이다[4].

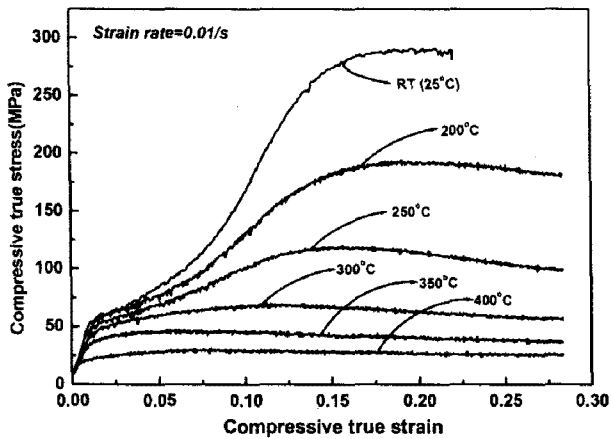


Fig. 4. Compressive stress-strain curve of RD specimen compressed at various temperature with 0.01/s strain rate.

3.4. 쌍정 형성과 표면 결함.

다음의 그림 5는 200도에서 0.3 strain 까지 고온 압축한 압축 시편의 surface를 나타내는 그림이다.



Fig. 5. Surface of compressive specimen deformed at 200°C, 0.01/s (a) ND (b) RD

이때 RD시편의 표면은 성형 온도가 낮은 조건임에도 불구하고 깨끗하다. 하지만 ND시편의 경우 RD시편에 비해 표면에 Orange peel과 같은 현상이 발생한다. 이는 deformation 시 twin이 관여하지 못해 한정된 Slip만으로 변형을 수용했기 때문에 표면에 나타나는 Slip trace일 것으로 예상되며 ND시편의 경우 RD에 비해 내부 미세조직 또한 매우 불균일한 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 초기 집합조직이 deformation twinning의 형성에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

- (1) Rolled 재료의 집합 조직은 압연 방향에 basal plane 이 평행한 면이 대부분을 차지하는 형태의 집합 조직을 보이는 것으로 나타났다.
- (2) 시편의 집합 조직과 압축 응력 축의 각도로 인해 ND 시편의 경우 초기 twin 이 형성되지 않았지만, RD 시편의 경우 초기 twin 이 형성되었다.
- (3) RD 시편의 경우 이러한 초기 twin 의 경향은 온도가 증가함에 따라 완화되었으며, 300 도 이상에서는 twin 이 나타나지 않았다.
- (4) 쌍정 형성이 시편 표면의 결함과도 관계가 있는 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 과학기술부 2003 년 국가지정연구실 사업에 의하여 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] S. S. Park, Y. S. Park, N. J. Kim, 2002, Microstructure and properties of strip cast AZ91 Mg alloy, *Met. Mater. Int.*, Vol. 6, pp. 551~554.
- [2] Y. N. Wang, J. C. Huang, 2007, The role of twinning and untwinning in yielding behavior in hot-extruded Mg-Al-Zn alloy, *Acta Mater.* Vol. 55, pp. 897~905
- [3] L. Jiang, J. J. Jonas, A. A. Luo, A. K. Sachdev, S. Godet, 2007, Influence of {10-12} extension twinning on the flow behavior of AZ31 Mg alloy, *Mater. Sci. Eng.* Vol. 445~446, pp. 14~19
- [4] Robert E. Reed-Hill, R. Abbaschian: *Physical Metallurgy Principles*, (PWS publishing company, Boston 1991).