

Al-5%Mg 합금 판재의 집합조직 발달에 미치는 냉간 압하율의 영향

최재권¹ · 김형욱² · 강석봉², 최시훈[#]

The effect of cold rolling reduction ratio on the texture evolution in Al-5% Mg alloy

J. K. Choi, H. W. Kim, S. B. Kang, S. H. Choi

Abstract

To investigate the evolution of deformation texture during cold rolling deformation, cold rolling process on a commercial Al-5% Mg sheet was carried out at different rolling reduction ratio. The evolution of annealing texture in cold-rolled Al-5% Mg sheet was also investigated. The evolution of recrystallization texture during annealing process strongly depends on the rolling reduction ratio before heat treatment. Visco-plastic self-consistent (VPSC) polycrystal model was used to predict r-value anisotropy of the cold-rolled and annealed Al-5% Mg sheets. The change of volume fraction for the major texture components was also analyzed.

Key Words : annealing, cold rolling, VPSC, volume fraction, r-value,

1. 서론

최근 항공기, 자동차 등과 같은 수송기 제조 산업에서는 재료의 경량화뿐만 아니라 동시에 재료의 우수한 기계적 성질을 요구하고 있다. 특히 자동차에 있어서는 경량화를 위해 강에 비해 가벼운 알루미늄합금 및 마그네슘합금 같은 경량금속의 사용이 최근에 증가하는 추세이다. 그러나 경량금속은 강에 비해 성형성 (Formability)이 떨어지므로 성형성을 향상시키기 위해서는 재료의 합금 성분의 제어, 압연 및 열처리를 통한 미세조직의 제어, 성형 다이 등을 성형이 유리하게 설계하는 작업이 요구된다 [1].

자동차 차체용 부품에 알루미늄을 적용기 위해서는 일정 강도와 프레스 성형시 충분한 성형성을 보유하여야 한다. 냉간 가공률 증가에 따라 강도가 증가하지만 성형성은 크게 감소하는 것을 회복하기 위해 열처리를 하여 적절한 성형성을 확보할 수 있다. 최근에 차량의 안전성 및 경량화

효과의 극대화를 위해 부위별 제품 두께를 변화시킨 차체 부품제조 방법이 사용되고 있다. 두께가 다른 판재를 레이저 용접하여 제조한 Tailor Welded Blank (TWB) 와 판재의 최종 압연 두께를 다르게 압연 하는 가변두께 판재 압연기술인 Tailor Rolled Blank (TRB) 가 대표적인 제조 공정이다 [2,3]. TRB의 장점으로 용접부가 없어 이중두께이면서도 두께 변화 부에서 특성 저하가 없고, 성형성 및 내식성 저하를 유발하지 않으며 표면상태가 좋아 외판 적용이 가능하다는 것이다. TRB 기술은 부품의 경량화뿐만 아니라 안전성 향상 등의 많은 장점을 보유하여 조만간 차체에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

최적의 TRB 조건을 설정하기 위해서는 상이한 압하율을 갖는 판재의 최적 열처리 조건이 확보되어야 한다. 본 연구에서는 TRB공정의 최적화를 위한 기초 데이터를 확보하기 위해 열처리 시 집합조직 및 거시적 이방성에 미치는 냉간 압하율의 영향을 고찰하고자 하였다.

1. 순천대학교 재료금속공학과

2. 한국기계연구원 부설 재료연구소

최시훈: 순천대학교 미래전략신소재공학과

E-mail: shihoon@sunchon.ac.kr

2. 실험 방법

2.1 집합조직 측정

냉간 압연에 의한 알루미늄합금의 변형 집합조직의 발달과 냉간 압연 후 열처리를 통한 재결정 집합조직의 발달을 실험적으로 측정하기 위해 X-선 회절을 이용하여 집합조직을 측정하였다.

초기 두께가 1.6mm 인 Al-5%Mg 합금판재를 9, 17, 23, 39, 65%의 압하율로 압연 한 시편과 각 압연된 시편을 450°C의 온도에서 1 시간 열처리를 통해 발달하는 집합조직을 측정하기 위해 각각의 판재 중심 층에 대해 압연면 (RD-TD)을 연마하였다. 기계적 연마 후 절단 시 표면에 발생된 변형 층을 제거하기 위하여 측정 면에 대한 기계적 및 화학적 연마를 동시에 수행하였다. 시편의 집합조직은 X-선 회절장비를 이용하여 반사법에 의해 측정하였다. (111), (200), (220)의 3 개의 불완전 극점도를 기울기 각도 70 도까지 측정하였다. 이렇게 측정된 모든 불완전 극점도는 Background 및 Defocusing 보정을 실시한 후 방위분포함수를 계산하였다. 방위분포함수 (ODF, orientation distribution function)를 계산할 때 사용한 이론은 WIMV (William, Imhof, Matthies, and Vinel) [4] 방법을 이용하였다.

3. 계산 방법

3.1 집합조직의 부피 분을 계산

일반적으로 Euler 공간을 5°간격의 cell로 분리하여 특정 집합조직에 대한 부피 분을 계산한다[5,6]. Euler 공간에서의 공간요소 및 전체 부피는 Orthorhombic의 시편대칭을 가정하는 경우 아래 식을 만족 시켜야 한다.

$$dg = d\phi_1 \sin \Phi d\Phi d\phi_2 \int_G dg = \pi^2 / 4$$

아래 식과 같이 이웃하는 결정립에 대한 결정학적 방위의 차이는 결정의 대칭성을 고려하여 계산이 가능하다.

계산하고자 하는 집합조직 성분의 부피 분은 각 성분의 Euler 공간에서 주위 Euler 공간에 위치한 결정방위와의 결정학적 방위관계가 일정한 cut-off 각보다 작은 경우 같은 집합조직 성분으로 간주하여 부피 분을 계산하였다. 이 연구에서는 cut-off 각을 15°의 일정한 값을 가정하

여 계산에 적용하였다 [7].

$$\theta = \min \left[a \cos \left\{ \frac{\text{trace}(S_v \cdot (g_2^{-1} \cdot g_1)) - 1}{2} \right\} \right]$$

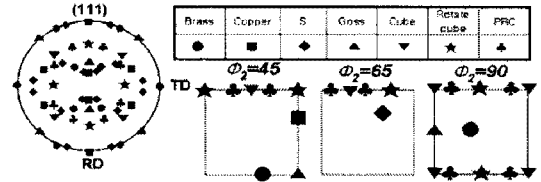


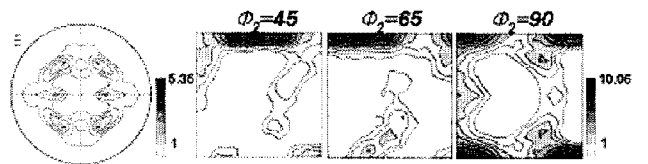
Fig. 1 Major component of FCC materials

4. 결과 및 고찰

4.1 냉간 압연 및 열처리에 의한 집합조직 거동 분석

냉간 압연에 의한 알루미늄 합금의 변형 집합조직 변화와 냉간 압연과 열처리 후 발달하는 재결정 집합조직을 실험적으로 측정하기 위해 X-선 회절장비를 이용하여 Al-Mg 합금의 집합조직을 측정하였다.

FCC의 결정구조가 가지는 Al합금의 대표적인 압연 집합조직에는 Goss {011}<100> 와 Brass {011}<211>로 구성된 α-fiber와 Brass {011}<211>, S {123}<634>, Copper {112}<111> 로 구성된 β-fiber가 있다. 또한 cube {001}<100> 와 rotated cube {001}<110>, PRC (Partially Rotated Cube) {001}<140> 성분 (cube와 rotated cube 성분 사이에 위치)로 구성된 재결정 집합조직이



존재한다.

Fig. 1은 주요 집합조직을 나타낸 도식도 이다. 집합조직은 대표적인 (111) 극점도와 $\phi_2 = 45^\circ, 65^\circ, 90^\circ$ 의 ODF 단면을 이용하여 분석이 용이하다.

Fig. 2 The recalculated (111) PF & ODF of As-received

Fig. 2는 As-received 판재를 X 선 회절을 이용하여 실험적으로 측정된 극점도로부터 계산된 ODF와 ODF 값을 이용하여 이론적으로 재계산된 (111) 극점도를 나타낸다. As-received 시편에

는 열처리로 인해 재결정 집합조직인 cube {001}<100> 성분과 cube에서 약간 벗어난 PRC {001}<140> 성분이 강하게 발달하였다.

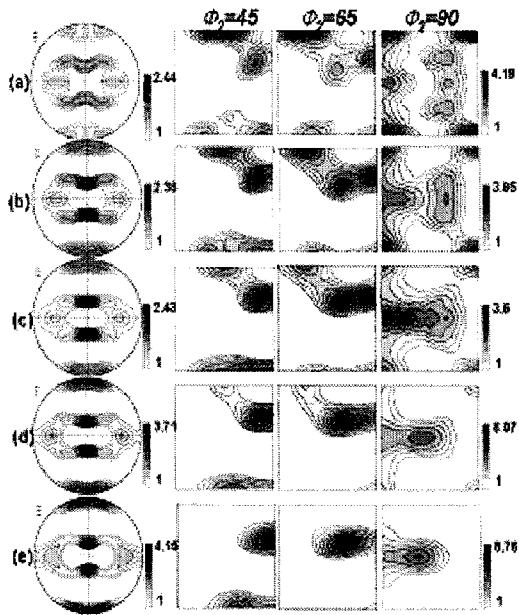


Fig. 3 The recalculated (111) pole figure and ODF sections of as-rolled specimens (a) 9% (b) 17% (c) 23% (d) 39% (e) 65%

Fig. 3에 나타낸 as-rolled 시편에는 압연집합조직인 α -fiber와 β -fiber가 발달하였다. 냉간 압하율이 증가 할수록 초기 시편의 재결정 집합조직 성분은 사라지며 대표적인 압연 집합조직 성분인 α -fiber와 β -fiber가 강하게 발달함을 알 수 있다. 450°C에서 열처리를 수행한 시편에 대한 (111) 극점도와 ODF를 Fig. 4에 나타내었다. 냉간 압하율이 증가 할수록 압연 집합조직은 빠른 속도로 사라지며 재결정 집합조직이 발달하게 된다. 냉간 압하율 65%의 시편을 450°C에서 열처리한 시편은 초기 시편의 극점도와 비슷한 거동을 보임을 확인할 수 있었다.

Fig. 5는 Al-5% Mg 판재의 주요 집합조직 성분에 대한 부피 분율을 3 차원 ODF를 이용하여 계산한 결과를 나타낸 것이다.

As-rolled 시편은 냉간 압하율이 증가할수록 Brass {011}<211>, Copper {112}<111>, S {123}<634> 성분이 증가하며 cube {001}<100> 성분과 rotated cube {001}<110>성분, PRC {001}<140> 성분은 감소됨을 알 수 있다. 열처리를 하게 되면 S 성분은 9% 냉간 압하율에서는 증가하지만 그 이후로는 감소하며 이와 반대로, cube, rotated cube, PRC 성분은 9% 냉간 압하

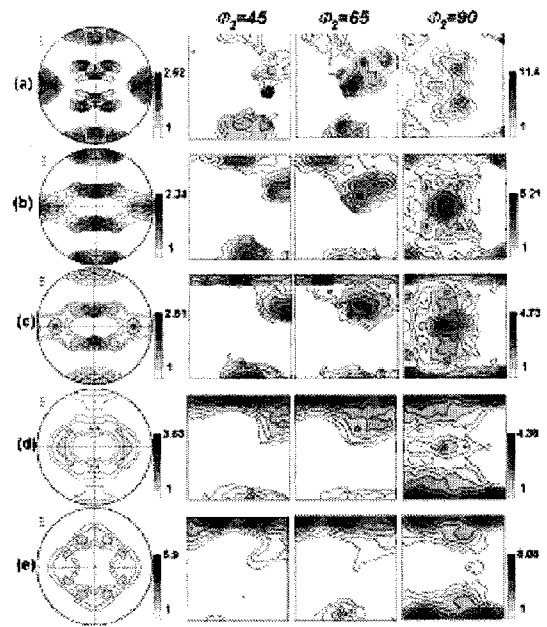


Fig. 4 The recalculated (111) pole figure and ODF sections of annealed specimens (a) 9% (b) 17% (c) 23% (d) 39% (e) 65%

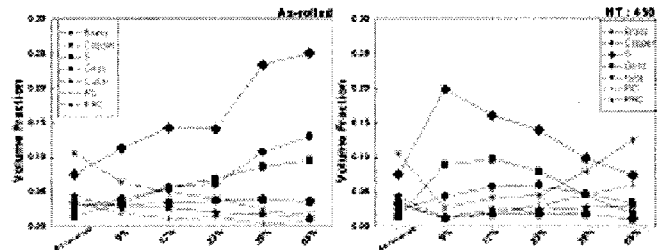


Fig. 5 Evolution of volume fraction for deformation and recrystallization texture components (a) as-rolled (b) 450°C Heat treatment

율에서는 감소하나 그 이후로는 증가한다. Brass 성분과 Copper 성분도 S와 비슷한 거동을 보이며 각각 17%, 39%까지는 증가하다가 감소하였다. 냉간 압하율이 65%인 시편의 열처리 후 집합조직은 초기시편의 부피분율과 비슷함을 확인 하였다.

4.2 VPSC 다결정 모델을 이용한 이방성 거동 분석

Fig. 6은 냉간 압연 및 열처리를 수행한 시편에서 실험적으로 측정된 방위분포함수를 이용하여 VPSC 다결정모델 [8]로부터 r-value 값을 계산한

결과이다. 열처리 전 냉간 압하율이 증가 할 수록 압연방향으로부터 압연방향과 수직인 방향에서의 r 값 차이로 인해 등방성에서 벗어난 이방성이 발달함을 알 수 있으며, 냉간 압하율 39% 이상 높은 소성변형을 받은 시편은 열처리 후 압연방향으로부터 압연방향과 수직인 방향의 r 값의 차이가 점차 줄어드는 경향을 보였다. 냉간 압하율이 65%인 시편의 경우 450°C에서 열처리를 수행하면 평면 등방성에 가까운 재료가 됨을 알 수 있었다.

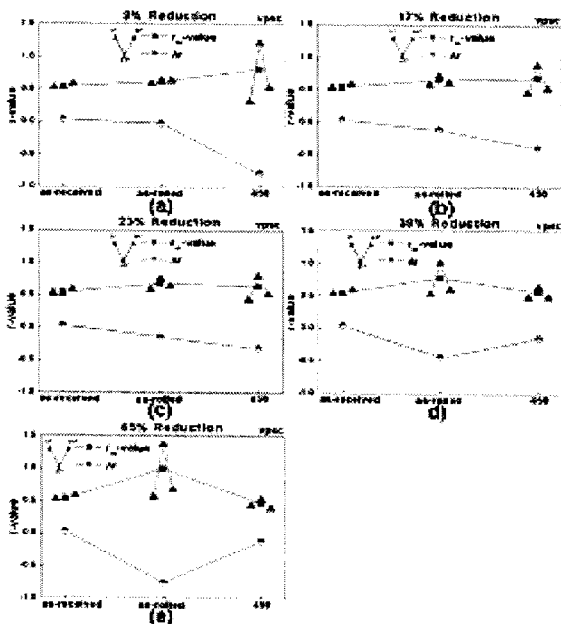


Fig. 6 Calculated r-value using VPSC model (a) 9% (b) 17% (c) 23% (d) 39% (e) 65%

5. 결론

Al-5% Mg 판재의 냉간 압하율 및 열처리 조건에 따른 집합조직 및 이방성 거동을 실험적으로 분석하고 이론적으로 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) As-rolled 시편은 냉간 압하율이 증가 할수록 Brass, Copper 성분이 증가하며 특히 S성분이 급격히 증가하여 많은 부피를 차지하였다. 반면에 cube 성분과 rotated cube 성분, PRC 성분은 점차 감소하여 적은 부피를 차지하였다. 냉간 압연 후 열처리를 하게 되면 S 성분은 9% 냉간 압하율에서는 증가하지만 그 이후로는 감소하며, 이와 반대로 cube, rotated cube, PRC

성분은 9% 냉간 압하율에서는 감소하나 그 이후로는 증가하였다. Brass 성분과 Copper 성분도 S와 유사한 거동을 보이며 각각 17%, 39%까지는 증가하다가 감소하였다. 냉간 압하율이 65%인 시편은 열처리 후 초기시편의 집합조직 성분의 부피 분율과 비슷함을 확인 하였다.

(2) 냉간 압하율이 증가할수록 열처리 후 판재의 압연 방향으로부터 압연방향과 수직인 방향의 r 값 차이가 감소하여 평면 이방성이 거의 0에 가까운 등방성의 보였다.

후 기

본 연구는 한국기계연구원 부설 재료연구소 위탁기술개발사업의 지원으로 이루어진 결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] K. H. Kim, D. N. Lee, Analysis of deformation textures of asymmetrically rolled aluminium sheets. *Acta Materialia*, Vol. 49, Issue 13, pp. 2583-2595.
- [2] H. W. Kim, C. Y. Lim, B. S. Han, Y. M. You, 가변 두께 고성형성 알루미늄 합금 판재 제조, *Metal world special report* pp. 22-25
- [3] ISMR, 2005, Flexible rolling for load-adapted blanks *International sheet metal review* pp. 20-24.
- [4] S. Matthies, J. Muller and G. W. Vinel, 1998, *Textures and Microstructures*
- [5] J. S. Kallend, U. F. Kocks, A. D. Rollett and H. R. Wenk, 1991, Operational texture analysis, *Mater. Sci. Eng A*, 132, 1
- [6] J. H. Cho, A. D. Rollett and H. J. Oh, 2004, *Metall Mater. Trans.* 35A, 1075
- [7] 김병진, 송영식, 김성일, 최진원, 최시훈, 2007, 자동차용 냉연강판의 두께방향 불균일 집합조직 예측, *대한금속재료학회지*, Vol.45, No.12, pp. 645-653
- [8] S.H. Choi, J. C. Brem, F. Barlat and K. H. Oh, 2000, Macroscopic anisotropy in AA5019A sheets, *Acta Metall, mater.* 48. 1853