

## AA3004에서 전단변형 미세조직 및 집합조직의 형성

이강노\* · 김종국\* · 김훈동\* · 황병복\*\* · 허무영\*

### Formation of Shear Texture and Microstructure in AA3004 Sheet

K. R. Lee, J. K. Kim, H. D. Kim, B. B. Hwang and M. Y. Huh

#### Abstract

The evolution of texture and microstructure during warm rolling and subsequent annealing in aluminium 3004 alloy sheet was investigated by X-ray texture measurements and microstructure observations. Warm rolling at 250°C led to the development of strong through thickness texture gradients with shear textures at the surface layer and a regular rolling texture in the center of the sheets. FEM simulations indicated that these texture gradients are caused by pronounced strain gradients throughout the sheet thickness. Upon recrystallization annealing, in the sheet center the characteristic cube-recrystallization texture developed, while in the surface layers with a pronounced shear texture continuous recrystallization took place which led to the formation of a very fine grained microstructure. It is concluded that the very complex strain history in the near-surface layers together with the resulting high work-hardening rate gave rise to the formation of the ultra-fine grains with an average size smaller than 2  $\mu\text{m}$ .

**Key Words** : Warm Rolling, Shear Texture, Ultra-Fine Grains, Continuous Recrystallization

#### 1. 서론

구조재의 경량화를 위한 소재로 철강재를 강도가 높은 알루미늄 합금으로 대체하고자 하는 시도와 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다. 대부분의 알루미늄 판재는 강판을 대체할 만큼의 강도와 성형성이 동시에 얻어지지 않는다. 즉 인장시험 시 비록 높은 값을 갖더라도 디프드로잉이나, 컵핑과 같은 판재 성형 시 대부분 나쁜 성

형성이 얻어진다<sup>1-2)</sup>. 어닐링한 저탄소 강판의 집합조직에서는  $\{111\}\langle uvw \rangle$  우선방위가 발달하여 높은 평면방향이방성<sup>3-4)</sup>이 얻어지지만, 어닐링한 알루미늄판재에서는  $\{001\}\langle 100 \rangle$  입방체방위가 발달하여 나쁜 판재 성형성이 얻어진다<sup>5)</sup>.  $\{001\}\langle 100 \rangle$  또는  $\{011\}\langle 100 \rangle$  우선방위를 갖는 판재는 대부분 낮은 R-값을 가지며 디프드로잉 시 earing의 발생이 크게 얻어진다.

본 연구에서는 3000계 알루미늄 판재에서 온간압연을

\* 고려대학교 공과대학 신소재공학과

\*\* 인하대학교 공과대학 기계공학과

응용하여 능동적으로 변형 및 어닐링 집합조직과 미세 조직의 변화를 실험하였다.

## 2. 실험 방법

알칸대한(주)에서 제조한 알루미늄 3004합금을 사용하였다. 변형을 75% 즉 두께 6.2mm의 열연판재를 직경 127mm의 실험실용 압연기에서 두께 1.5mm로 압연하여 변형 집합조직을 형성하도록 한 후, 260°C와 300°C에서 중간 열처리를 하여 각기 다른 초기 집합조직을 만들었다. 이후 두께 0.6mm 즉 총 변형을 92%까지 정상냉간압연과 250°C에서 온간압연하여 다양한 변형집합조직이 형성되게 하였다. 또한 이들 시료와의 비교를 위하여 91%까지 정상 냉간압연한 시료도 제조하였다. 다양한 변형집합조직을 갖게 제조된 시료는 환원성 분위기인 수소분위기에 서 300°C에서 각각 1시간씩 재결정 어닐링하였다.

집합조직은 자동화된 x-선 고니오메타에서 {111}, {200}, {220} 극점도를 측정한 후 Bunge의 방법에 의하여 방위분포함수로 계산하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

사용된 열간판재의 집합조직을 Fig. 1에 나타내었다.

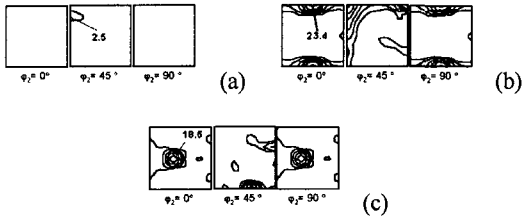


Fig. 1 Textures of the hot band at (a) the surface layer (s=1), (b) middle layer(s=0.5) and (c) center layer (s=0)

열연판재의 집합조직은 광학현미경으로 관찰한 미세조직과 같이 두께층에 따라 매우 불균일 함을 알 수 있는데 중앙층의 경우  $\beta$ -fiber가 강하게 발달하여 특히 Bs-방위가 방위밀도  $f(g)=18.6$ 으로 높게 나타났다. 또한 중앙과 표면의 중간층(s = 0.5)에서는  $(\phi_1, \phi_2, \phi_3) = (45^\circ, 0^\circ, 0^\circ)$ 인  $\{001\}\langle 110 \rangle$ 에서  $f(g)=23.4$ 로 매우 높게 나타났으며 시편의 표면층에서는 매우 무질서한 집합조직이 관찰되었다.

Fig. 2는 75%까지 냉간압연한 시편의 표면층의 집합조직과 300°C에서 열처리를 마친 시편의 집합조직이다.

Fig. 2의 압연집합조직을 보면 전형적인 fcc금속의 압

연집합조직이 나타나고, 열처리 시편의 집합조직에서는 전 두께층에 걸쳐 cube-방위가 우선방위로 발달하였음을 알 수 있다.

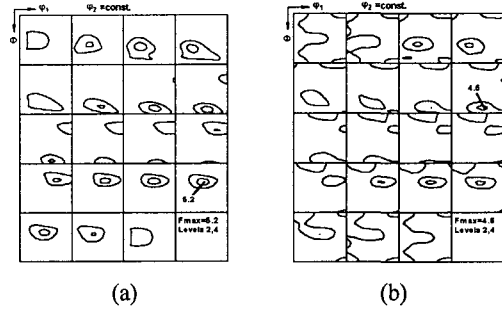


Fig. 2 (a) Textures of the 75% normally cold rolled specimen at the surface layer (s=1) (b) and annealing at 300°C for 1h.

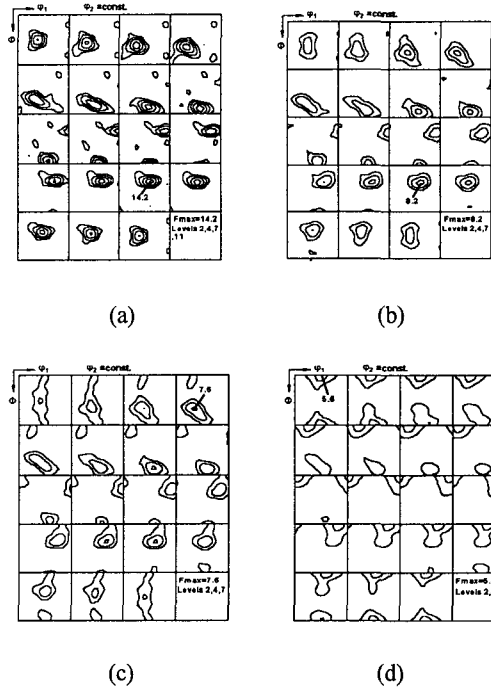


Fig. 3 Textures of the cold rolled specimen for (a) initial texture (b) hard  $\beta$ -fiber, (c) soft  $\beta$ -fiber (d) cube texture at middle layer.

Fig. 3은 각기 다른 초기집합조직 즉, hard- $\beta$ , soft- $\beta$ , cube-방위로부터 냉간 및 온간압연 하였을 때의 시편 중간층에서 변형집합조직이다. 초기집합조직 hard- $\beta$ 는 냉간 및 온간압연 시 시편의 표면층에서, soft- $\beta$ 를 갖는 재료의 온간압연은 시편의 표면층과 중간층에서 전 단방위로 알려진  $\{001\}\langle 110 \rangle$ 에서 최대방위밀도가 얻어

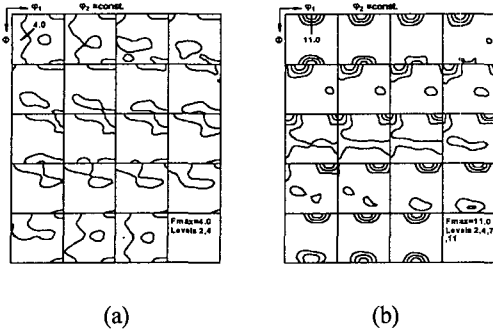


Fig. 4 (a) Texture of the cold rolled specimen for initial texture hard  $\beta$ -fiber and (b) warm rolled specimen for initial texture soft  $\beta$ -fiber after annealing at 300°C for 1h.

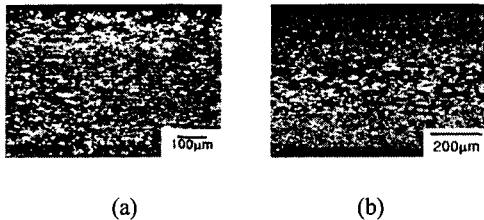


Fig. 5 (a) Optical microstructure of the normally 91% cold rolled after annealing at 300°C for 1h and (b) warm rolled specimen for the initial texture soft- $\beta$  fiber after annealing at 300°C for 1h.

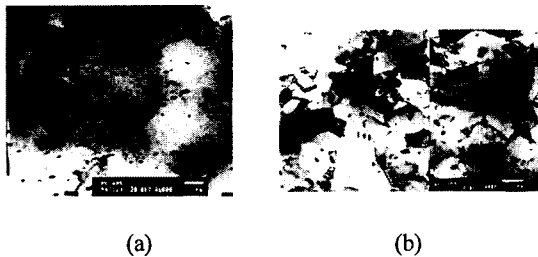


Fig. 6 (a) TEM microstructure of the normally 91% cold rolled after annealing at 300°C for 1h and (b) warm rolled specimen for the initial texture cube texture after annealing at 300°C for 1h.

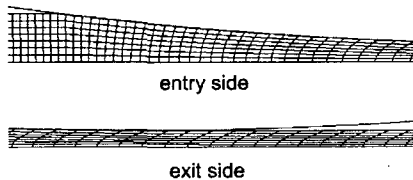


Fig. 7. FEM simulation of warm rolling

졌고 cube 집합조직의 온간압연은 중간층에서 약하게 전단방위가 발달하였음을 알 수 있다.

Fig. 4는 hard  $\beta$ -방위와 soft  $\beta$ -방위를 갖는 시편을 냉간 및 온간압연 후 300°C에서 1시간 어닐링 후 시편 표면층의 재결정 집합조직을 보여준다.

Fig. 4 (a)에서는 {001}<110>에서 최대방위밀도 값이 가공 전보다 낮아진데 반하여, Fig. 4 (b)에서는 더욱 세게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 이들 방위가 열처리에 의하여 안정된 방위로 옮겨간 것이라 생각된다. Fig. 5는 91% 냉간 압연한 시편과 soft  $\beta$ -방위를 갖는 재료를 온간압연 한 시편을 300°C에서 1시간 어닐링한 재결정 미세조직이다. Fig. 6은 91% 냉간압연한 시편과 warm rolling 한 시편을 300°C에서 1시간 어닐링한 재결정시편의 TEM 조직사진이다. Fig. 7은 DEFORM simulation 그림이다.

#### 4. 결 론

(1). 250 °C에서 warm rolling시 집합조직은 비슷하지만 미세조직이 다른 두 시편의 결과를 비교함으로써 연구되었다.

(2). FEM 결과로 dry rolling시 전단 집합조직의 형성이 유리하다는 것을 밝혔다.

(3). 재결정 후 전단 집합조직은 연속재결정에 의해 계속 남아 있게된다.

(4). High strain과 미세조직의 불균일은 전단 집합조직의 지역에서 매우 미세한 재결정 grain을 이끈다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Y. H. Kim, Y.S. Cho and M. Y. Huh : J. Kor. Inst. Met. & Mater., 36 (1998) 303.
- (2) M. Y. Huh and O. Engler : Proc. ICOTOM 12, NRC Research Press, Ottawa, Canada, (1999) 1124
- (3) M. Y. Huh, Y. S. Cho, J. S. Kim and O. Engler : Z. Metallkd., 90 (1999) 1235.
- (4) J. H. Kwak, M. Y. Huh and S. U. An : J. Kor. Soc. for Tech. of Plasticity, 2 (1993) 51.
- (5) M. Y. Huh, J. H. Kim, K. Y. Ha and S. Lee : Mat. Sci. Forum, 217-222 (1996) 571.