

# 알루미늄 판재의 비대칭 냉간압연 시 집합조직 발달에 미치는 압연변수의 영향

강형구<sup>1</sup>, 한용희<sup>1</sup>, 허무영<sup>1,#</sup>

## Effect of rolling parameters on the evolution of texture during asymmetrical cold rolling of aluminum sheets

H.G. Kang, Y.H. Han, M.Y. Huh

### Abstract

Aluminum sheets were asymmetrically cold rolled without lubrication by using different roll velocities of upper and lower rolls in order to intensify the shear deformation. During asymmetrical cold rolling of aluminum sheets, a reduction per a rolling pass, initial sheet thickness, roll diameter, roll velocity ratio were varied to investigate the effect of rolling parameters. The formation of through thickness shear texture was related to the ratio of the contact length between the roll and sample( $l_c$ ) to the sheet thickness( $d$ ). The strain states associated with asymmetrical rolling were investigated by the finite element method (FEM) simulation. FEM results indicated that the evolution of deformation texture in a thickness layer is strongly governed by integrated values of strain rates  $\dot{\epsilon}_{13}$  and  $\dot{\epsilon}_{11}$  along the streamline in the roll gap.

**Key Words** : Asymmetrical rolling, Strain state, Shear texture, Finite element method

### 1. 서론

알루미늄 판재의 압연 시 일반적으로 {112}<111> Cu-방위, {123}<634> S-방위, {011}<211> Bs-방위와 같은 압연 집합조직이 발달한다[1,2]. 롤과 판재 사이의 기하학적 형상의 변화 또는 롤과 판재 사이에 마찰이 작용함에 따라 판재 표면에 전단 집합조직이 발달함으로써, 판재의 두께 층에 따른 집합조직 구배가 형성되기도 한다[3,4]. 반면에 비대칭 압연은 판재의 모든 두께 층에 전단 집합조직을 발달시키는 압연 공정이다[5]. 상부 롤과 하부롤의 반경이 서로 다르게 하는 이구경 압연과 상부롤과 하부롤의 회전 속도를 달리 하

는 이주속 압연이 그것이다. 비대칭 압연 시 두께 층에 따라 균일한 전단 집합조직이 얻어지는가의 여부 또는 어떠한 집합조직이 얻어지는가는 패스 당 압하율, 압연롤의 크기, 시료의 초기 두께와 같은 변수에 의하여 제어할 수 있다.

비대칭 압연 시 판재에 작용하는 전단 변형률은 압하율 또는 압연롤의 크기가 커질수록 증가한다고 알려져 있다. 이 때 압하율과 압연롤의 반지름과 같은 압연 변수는 롤과 판재의 접촉 길이인  $l$ 과 판재의 평균 두께인  $d$ 의 비, 즉  $l/d$  값으로 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 이를 응용하여,  $l/d$  값에 따라 비대칭 압연 시 판재의 두께 층에 따른 변형률 상태의 발달에 대하여 알아 보았다.

1. 고려대학교

# 교신저자: myhuh@korea.ac.kr

## 2. 실험 과정

실험에 두께 6 mm인 알루미늄 합금 AA5052 판재를 사용하였다. 비대칭 압연을 위하여 상부롤의 회전 속도를 하부롤 보다 1.5배 빨리 회전시켰고, 두 롤의 지름은 1/d 값에 따라 118 mm, 300 mm로 변화시켰다. 롤과 판재 사이의 마찰을 위하여, 윤활제를 쓰지 않았고 상온에서 압연하였다. 6 mm의 초기 시료를 전체 압하율이 81%가 되도록 1.15mm까지 패스당 압하율 및 압연롤의 크기를 달리하여 비대칭 압연하였다. 시료 A는 패스당 1/d 값이 3.1을 가지도록 고정하여, 118 mm 지름의 압연롤로 4 패스에 걸쳐서 압연하였고, 시료 B는 패스당 1/d 값이 상대적으로 낮은 1.8가 되도록 하여, 같은 지름의 압연롤로 12 패스에 걸쳐 비대칭 압연하였다. 시료 C는 시료 B와 같은 압연 스케줄을 가지되, 300 mm 지름의 압연롤을 이용하여 2.9의 1/d 값을 가지도록 비대칭 압연하였다.

집합조직 분석에 Zeifert 사의 XRD 3000pts 장비를 이용하여 판재의 ND면을 관찰하였다. 비대칭 압연의 유한요소 해석 결과는 주로 판재의 두께 층에 걸친 전단 변형률 상태가 판재의 중앙 층 부근에서 가장 낮음을 보여 준다. 따라서 본 연구에서는 판재의 중앙 층에 전단 집합조직의 발달을 관찰하였다.

## 3. 결과 및 토론

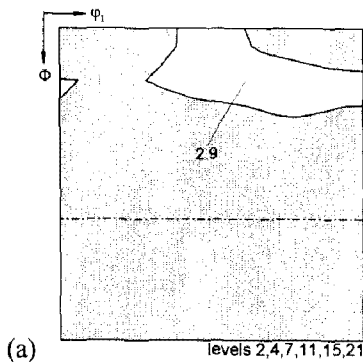


Fig. 1. AA5052 판재의 초기 집합조직

Fig. 1은 실험에 사용된 6 mm 두께의 AA5052 판재의 중앙 층의 집합조직을 보여 준다. 무질서한 집합조직을 가지고 있어, 비대칭 압연 시 발달하는 집합조직에 미치는 초기 집합조직의 영향을 최소화할 수 있음을 알 수 있다.

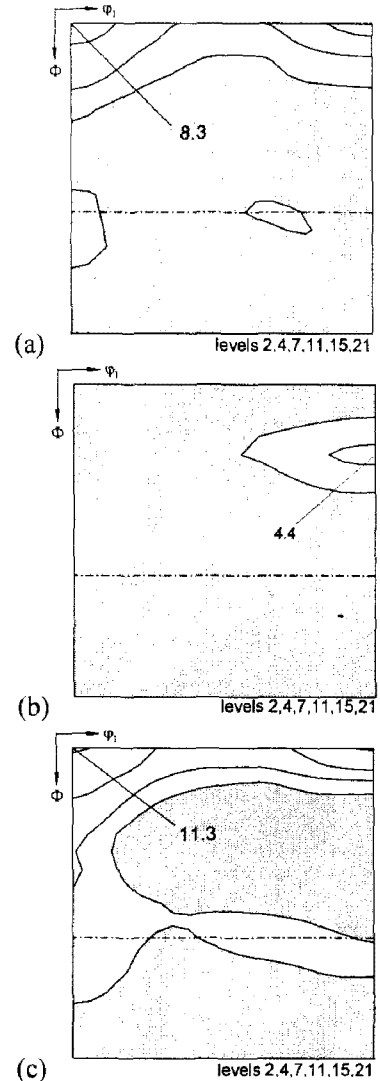


Fig. 2. 비대칭 압연 시 집합조직의 발달.  
(a) 시료 A, (b) 시료 B, (c) 시료 C

Fig. 1(a)는 118 mm 압연롤을 이용하여 6 mm에서 1.15mm까지 4패스로 비대칭 압연한 시료 A의 중앙 층의 집합조직을 보여준다.  $\{001\}<110>$  Rotated Cube 방위가 발달하여 비대칭 압연 시 높은 전단 변형을 받았음을 알 수 있다. Fig. 1(b)는 118 mm 압연롤을 이용하여 6 mm에서 1.15mm까지 12패스로 비대칭 압연한 시료 B의 중앙 층의 집합조직을 보여준다. 시료 A와 달리 전단 집합조직이 발달하지 않았음을 알 수 있다. 이것은 비대칭 압연 시 각 패스 당 압하율이 낮아, 작은 1/d 값을 가지는 조건에서 비대칭 압연 되었기 때문으로 판단된다.

Fig. 1(c)는 300 mm 압연롤을 이용하여 6 mm에서 1.15mm 까지 12 패스로 비대칭 압연한 시료 C

의 중앙 층의 집합조직을 보여준다. 같은 12 패스로 압연한 시료 B 와는 달리, 강한  $\{001\}\langle 110 \rangle$  Rotated Cube 방위와 약한  $\{111\}/ND$  방위를 포함한 전단 집합조직이 발달하였음을 알 수 있다. 이로써 압연 패스당 압하율 뿐만 아니라, 압연률의 크기 또한 비대칭 압연 시 전단 변형률 발달에 중요한 영향을 미쳐, 압연률의 크기가 클수록 전단 변형률이 높게 작용한다는 것을 알 수 있다.

상용 유한요소해석 프로그램인 DEFORM2D[6]를 사용하여, 비대칭 압연 시 변형률 상태의 변화를 모사하였다. Fig. 3 은 전단변형률/수직변형률 비인  $I_{13}/I_{11}$  값을 판재의 두께 층에 따라 표시한 것이다. 1/d 값이 높은 시료 A 와 시료 C 는 중앙 층에서의  $I_{13}/I_{11}$  값이 높게 얻어져, 비대칭 압연 시 강한 전단 변형률이 작용함을 알 수 있다. 반면에 1/d 값이 낮은 시료 B 는 중앙 층 부근에서 낮은  $I_{13}/I_{11}$  값이 얻어져 전단 집합조직이 발달하기 어려울 것이 예측되어, 실험 결과와 부합함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

AA5052 판재의 비대칭 압연 시 패스당 압하율 변화에 따른 전단 집합조직 형성의 차이를 살펴 보았다. 비대칭 압연 시, 패스당 압하율이 낮아, 작은 1/d 값을 가질 때 판재의 중앙 층에 전단 변형률이 낮게 작용하였다. 반면에 패스당 압하율이 높았을 때 또는 압연률의 크기가 컸을 때 판재의 중앙 층에 전단 집합조직이 강하게 발달하였다.

#### 참고 문헌

- [1] J. Hirsch and K. Lücke, 1988, Mechanism of deformation and development of rolling textures in polycrystalline f.c.c. metals—I. Description of rolling texture development in homogeneous CuZn alloys, Acta Metall. Vol. 36, p. 2863.
- [2] O. Engler, H.C. Kim and M.Y. Huh, 2001, Formation of a  $\{111\}$  Fibre Texture in Recrystallised Aluminium Sheet, Mater. Sci. Technol. Vol. 17, p. 75.
- [3] M.Y. Huh, H.D. Kim, K.R. Lee, B.B. Hwang and O. Engler, 2002, Hwang and O. Engler, Formation of Shear Texture and Ultra-fine Grains in Warm Rolled AA 3004 Sheets, Mater. Sci. Forum Vol. 408-412, p. 1453.
- [4] O. Engler, M.Y. Huh and C.N. Tomé, 2000, A Study of Through-Thickness Texture Gradients in Rolled Sheets, Metall. and Mater. Trans. Vol. 31A, p. 2299.
- [5] J.K. Kim, Y.K. Jee, M.Y. Huh and H.T. Jeong, 2004, Formation of textures and microstructures in asymmetrically cold rolled and subsequently annealed aluminum alloy 1100 sheets, J. Mater. Sci. Vol. 39, p. 5365.

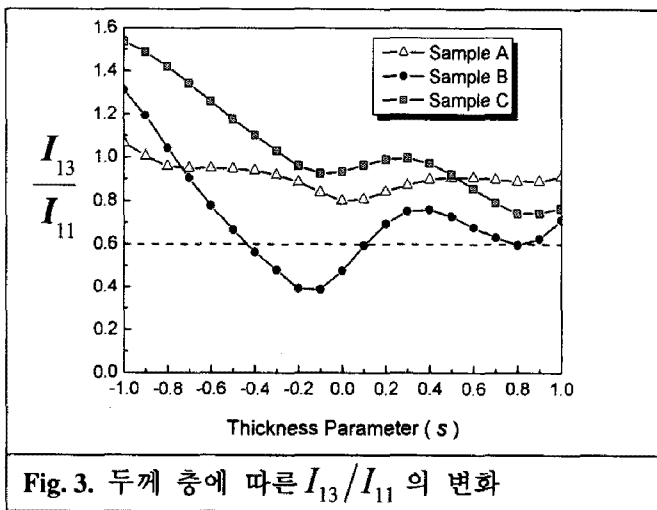


Fig. 3. 두께 층에 따른  $I_{13}/I_{11}$  의 변화