

# AA1050 판재의 비대칭 압연 시 변형률 상태와 집합조직 발달에 미치는 압연변형 형상의 영향

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

## Effect of Roll Gap Geometry on the Evolution of Strain States and Textures during Asymmetrical Rolling in AA 1050

H.G. Kang, J.J. Nah, M.Y. Huh

### Abstract

Asymmetrical rolling was performed by rolling AA 1050 sheets with different velocities of upper and lower rolls. In order to study the effect of roll gap geometry on the evolution of strain states and textures during asymmetrical rolling, the reduction per rolling pass was varied. After asymmetrical rolling, the outer thickness layers depicted shear textures and the center thickness layers displayed a random texture. With decreasing reduction per an asymmetrical rolling pass, the thickness layers depicting shear textures increases. The strain states associated with asymmetrical rolling were investigated by simulations with the finite element method (FEM).

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

### 1. 서론

일반적인 대칭압연에 의한 변형률 상태는 보통 평면변형률로 단순화한다[1]. 압연 판재의 가운데 층은 알루미늄에서 구리 방위 {112}<111>, S-방위 {123}<634>, Bs-방위 {011}<211>과 같은 일반적인 압연집합조직을 발달시키는 평면변형률상태가 작용한다[1,2]. 무윤활 압연에서는 판재의 표면과 가까운 층에서, Rotated Cube 방위 {001}<110>과 {111}//ND 점유를 따라 놓인 방위와 같은 전단집합조직을 형성시키는 전단변형이 작용한다[3]. 비대칭 압연은 상, 하부의 롤 속도나 롤 반경을 달리하여 압연 시 전단 변형률을 증가시킴으로써, 압연 판재의 모든 두께 층에 전단집합조직을 발달시키는 공정이다[4].

잘 알려진 바와 같이, 롤과 판재의 접촉 길이 ( $l_c$ )와 판재의 평균 두께( $t$ )의 비로서 정의되는, 압연변형 형상인자가 대칭압연에서 변형률 상태의 형성에 중요한 역할을 한다. 이  $l_c/t$  비는 마찬가지로 비대칭 압연에서도 압연 시 변형률 상태의 형성에 작용하는 것으로 보이나, 이에 대해 그다지 알려진 바가 없다. 이에 본 연구에서는 상용 AA1050 판재를, 상하부롤의 속도를 달리 하여 비대칭 압연을 실시하였다. 압연변형 형상을 바꾸기 위하여 동일한 최종 두께까지 압연 패스를 달리하여 냉간 비대칭 압연을 하였다. 두께 층에 따른 집합조직과 미세조직의 발달을 살펴 보았으며, 유한요소해석 방법으로 비대칭 압연시 변형률 상태의 형성을 해석하였다.

1. 고려대학교 신소재공학과

# 교신저자: 고려대학교 신소재공학과, myhuh@korea.ac.kr

## 2. 실험 과정

상용 알루미늄 합금 AA1050 인 10 mm 의 핫밴드를 초기시료로 사용하였다. 상하부롤의 지름은 118 mm 였고, 롤속도를 달리하여, 즉 상부롤이 하부롤 보다 1.5 배 빨리 회전하도록 비대칭 압연을 설정하였다. 전단변형을 일으키기 위해, 롤과 판재 사이에 윤활제를 쓰지 않았다. 압연 시 압연 변형 형상을 달리 하기 위해, 10 mm 의 초기 두께를 6 mm 의 최종 두께가 되도록 패스당 압하율을 달리 하였다.

집합조직 분석을 위하여, Hitachi 사의 S-4300SE 모델인 FEG-SEM 에 장착된 EBSD 장비를 이용하였다. 판재의 모든 두께 층에 걸친 결정립의 방위 분포를 보기 위하여, 비대칭 압연된 시료를 길이 방향으로 준비하여 TD 방향으로 관찰하였다. 판재의 두께 층은 Thickness parameter,  $s$  를 사용하여  $s=+0.8$ ,  $s=+0.5$ ,  $s=0.0$ ,  $s=-0.5$ ,  $s=-0.8$  로 즉 상부표면직하층, 상부표면과 판재중앙층의 중간층, 판재중앙층, 판재중앙층과 하부표면의 중간층, 하부표면직하층으로 나누어 분석하였다.

## 3. 결과 및 토론

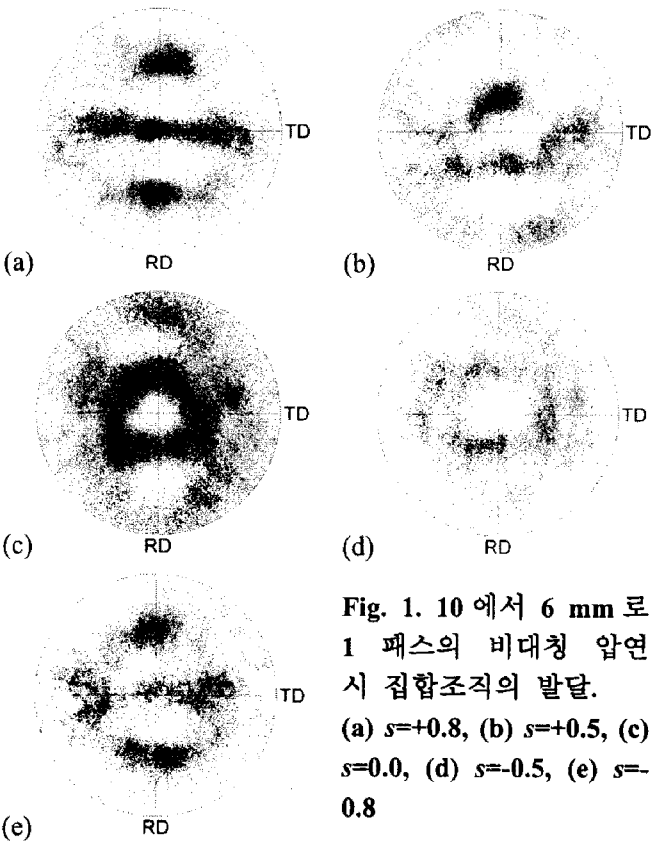


Fig. 1. 10 에서 6 mm 로 1 패스의 비대칭 압연 시 집합조직의 발달.  
(a)  $s=+0.8$ , (b)  $s=+0.5$ , (c)  $s=0.0$ , (d)  $s=-0.5$ , (e)  $s=-0.8$

초기 시료는 모든 두께 층에서 Cube 방위  $\{001\}\langle 100 \rangle$ 와 같은 전형적인 재결정 집합조직이 발달하였다. 비대칭 압연 판재의 두께 층에 따른 집합조직 발달은 EBSD 로 측정된 후  $\{111\}$  극점으로 표시하였다. Fig. 1 은 10 mm 에서 6 mm 까지 1 패스로 비대칭 압연한 판재의 집합조직이다. 초기 시료와는 달리, 비대칭 압연 판재에서는 두께 층에 따라 강한 집합조직 구배가 나타났다. 상하부표면직하층( $s=+0.8$ ,  $s=-0.8$ )에서는  $\{001\}\langle 110 \rangle$ 과 같은 전형적인 전단집합조직이 강하게 발달하였다. 판재중앙층( $s=0.0$ )과 상부중간층( $s=+0.5$ )에서는 무질서한 집합조직이 나타났다. 하부중간층( $s=-0.5$ )에서는 압연집합조직과 전단집합조직이 혼재하였다. 즉 큰 압하율에서의 비대칭 압연은 판재의 두께 층에 따라 집합조직을 비대칭적으로 발달시켰다.

10 mm 에서 6 mm 까지 압연 패스 수를 증가 시킴에 따라 전단집합조직이 발달하는 두께 층이 증가하였다. Fig. 2 는 4 패스에 의한 비대칭 압연 시, 전단집합조직이 상하부표면직하층( $s=+0.8$ ,  $s=-0.8$ )과 상부중간층( $s=+0.5$ )에서 발달한 것을 보여준다. 2 패스나 4 패스에 의한 비대칭 압연은 판재중앙층( $s=0.0$ )에 무질서한 집합조직을 형성한다.

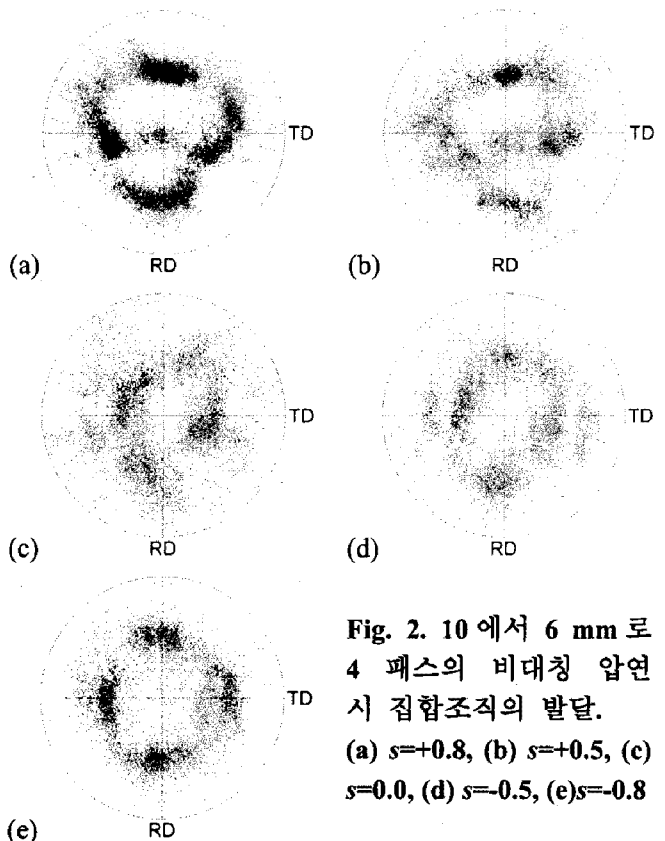


Fig. 2. 10 에서 6 mm 로 4 패스의 비대칭 압연 시 집합조직의 발달.  
(a)  $s=+0.8$ , (b)  $s=+0.5$ , (c)  $s=0.0$ , (d)  $s=-0.5$ , (e)  $s=-0.8$

현재까지의 연구는 다음 세 가지 점으로 요약할 수 있다. 첫째, 비대칭 압연 시 판재의 표면층은 전단집합조직이 발달하였고 판재의 중앙층은 무질서한 집합조직이 발달하였다. 둘째, 회전속도가 느린 하부롤과 접촉한 하부표면층 부근이 회전속도가 빠른 상부롤과 접촉한 상부표면층 부근보다, 전단집합조직이 강하게 발달하였다. 압연 패스 당 압하율을 감소 시킬수록 전단집합조직이 발달하는 두께 층이 증가하였다.

상용 강소성 유한요소해석 프로그램인 DEFORM2D[6]를 사용하여, 비대칭 압연 시 변형률 상태의 변화를 모사하였다. 롤과 판재의 접촉면은 Coulomb 의 마찰 법칙을 따랐고, 알루미늄 판재의 냉간 압연에서 무운활 상태의 값으로서 마찰 계수  $\mu = 0.3$  로 가정하였다[7]. 실험에서의 설정과 같이, 10 mm 두께의 초기 시료를 6 mm 까지 1, 2, 4 패스로 압연하는 것으로 나누었고, 압연 롤의 지름은 118 mm, 회전 속도는 상부롤을 2.4 rad/s, 하부롤을 1.6 rad/s 로 주었다.

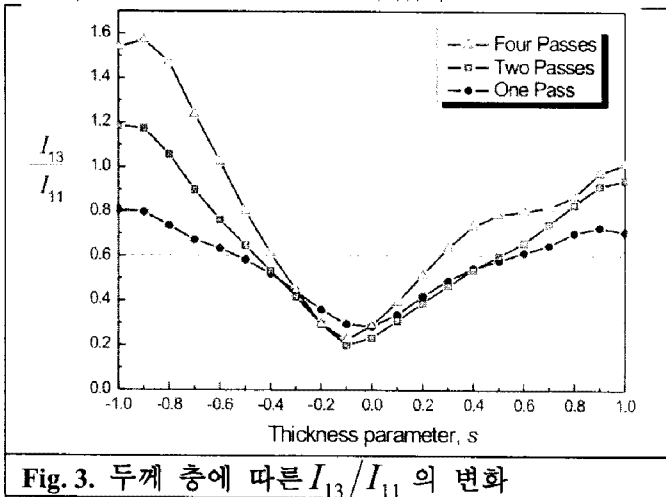


Fig. 3. 두께 층에 따른  $I_{13}/I_{11}$  의 변화

변형집합조직의 발달은, 식 (1)과 같이 변형률 속도  $\dot{\epsilon}_{13}$  과  $\dot{\epsilon}_{11}$  의 절대값의 적분, 즉  $I_{13}/I_{11}$  의 값에 의해 주로 결정된다.

$$I_{ij} = \int |\dot{\epsilon}_{ij}| dt \quad (1)$$

압연 시,  $I_{13}/I_{11} < 0.3$  일 때 전형적인 압연집합조직이 형성되고,  $I_{13}/I_{11} > 0.6$  일 때 전단집합조직이 형성된다고 알려져 있다. Fig. 3 은 비대칭 압연 시 두께 층에 따른  $I_{13}/I_{11}$  의 변화를 보여준다. 공통적으로 표면층에서는 모두  $I_{13}/I_{11}$  값이 0.6 보다 크게 나타나고, 판재중앙층으로 갈수록 감소한다. Fig. 2 에서 전단집합조직이 강하게 발달하였던 결과와 마찬가지로, 본 유한요소해석의 결과에서도 4 패스의 비대칭 압연일 때가 전

단변형을 잘 일으키는 것으로 나타났다. 대칭 압연 시에는 판재중앙층,  $s=0$  에서  $I_{13}/I_{11} \approx 0$  이고 전형적인 압연집합조직이 발달한다. 그러나 본 유한요소해석법의 계산 결과는 비대칭 압연 시 판재중앙층 부근에서  $0.3 < I_{13}/I_{11}$  이므로, 무질서한 집합조직이 나타난다.

#### 4. 결론

비대칭 압연 시 변형률 상태와 집합조직의 형성에 미치는 압연변형률 상태의 영향을 압연 패스 당 압하율을 변화시켜 알아 보았다. 비대칭 압연 패스 당 압하율을 감소시킬수록 전단집합조직이 발달하는 두께층이 증가하였다. 유한요소해석법으로 계산한 결과 압연 패스 수가 많을수록 전단집합조직을 발달시키는 전단변형을 크게 일으켰다.

#### 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] 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.
- [5] 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.
- [6] DEFORM2D, Ver. 8.1 (Scientific Forming Technologies Cooperation, Columbus, OH 2004)
- [7] M.Y. Huh, K.R. Lee and O. Engler, 2004, Study on the strain states in the roll gap during rolling with a dead block, Int. J. Plasticity Vol. 20, p. 1183.