

# FCC 금속에서 압연 전단집합조직의 형성에 미치는 변형상태의 효과

강춘구<sup>1</sup>, 최웅규<sup>1</sup>, 허무영<sup>1#</sup>

## Effect of Strain States on the Formation of Shear Textures during Rolling in fcc Metals

C. K. Kang, W. G. Choi, M. Y. Huh

### Abstract

In order to study the effect of strain states on the formation of shear textures during rolling in fcc metals, the evolution of textures was simulated by the full constrain model using various ideal strain states. Considering rolling as a two-dimensional problem, i.e.,  $\epsilon_{22} = \epsilon_{12} = \epsilon_{23} = 0$ , the deviation from the plane-strain state manifest itself as nonzero contribution of  $\epsilon_{13}$ . With increasing variations of  $\epsilon_{13}$ , shear textures develop. The sign of  $\epsilon_{13}$  hardly affects the evolution of textures. The texture simulation with various idealized strain states indicates that the ratio  $|\epsilon_{13}|/|\epsilon_{11}|$  in each time interval in a roll gap plays a dominant role in the evolution of textures during rolling.

**Key Words** : Shear Texture, Rolling Texture, Ideal Strain States, Full constrain model

### 1. 서론

압연 변형하는 압연판재에서 결정학적 집합조직은 주로 Taylor의 소성변형 모델을 이용하여 시뮬레이션한다. 이에 대한 상세한 연구는 Hirsch와 Lücke [1], Engler, Huh, Tomé [2] 등의 참고문헌에 자세히 소개되었다. 이런 시뮬레이션에서는 외부에서 가해진 변형상태  $\epsilon_{ij}$  에 상응하여 각각의 결정립들에서 몇 개의 슬립계가 작용하는 소성변형이 일어나는 것을 가정한다 [3-8].

압연집합조직을 시뮬레이션할 때 대부분의 경우에는 대부분 결정립이 평면변형을 한다고 가정하며 모델링을 한다. 이때  $\epsilon_{11} = -\epsilon_{33}$  이며 다른 변위요소  $\epsilon_{22} = \epsilon_{12} = \epsilon_{23} = \epsilon_{13} = 0$  으로 하는 고정변형률(full constraints) 상태이다. 또는 결정립 형태의 변화를 고려하여  $\sigma_{13}$  과  $\sigma_{23}$  을 0 으로 하고 응력의 연속성이 보장되는 가정도 하는데, 이 상태를 이완

변형률(relaxed constraints) 상태라 한다. 그러나 이와 같은 두 가지의 시뮬레이션 가정은 압연되는 판재의 중앙 층이 아닌 다른 두께 층에서 일어나는 전단변위를 무시한 것으로 압연재의 집합조직을 시뮬레이션 할 때 경계조건 설정에 많은 문제점을 포함하는 것이다.

압연롤 사이에서 변형구역의 기하학적 형상 및 변형상태의 변화, 압연재와 압연롤과의 접촉면에서 마찰, 열간압연 시 압연재의 두께 층에 따른 온도구배 등이 평면변형 상태로부터 벗어나는 원인이 되는 것이다. 이와 함께 압연판재의 두께 층에 따라서도 불균질한 변형률 상태가 얻어지는데, 그 결과 판재의 두께 층에 따라 각종 물리적 특성의 변화가 얻어지는 결과를 초래한다 [5-8].

본 연구에서는 FCC 금속에서 압연 전단집합조직의 형성에 미치는 변형상태의 효과를 연구하기 위하여, 일정한  $\epsilon_{11}$  조건에서 다양한 형태의  $\epsilon_{13}$

<sup>1</sup> 고려대학교 신소재공학부

# 교신저자 (Corresponding author)

를 가지는 이상적인 변형률 조건에서 집합조직의 변화를 Taylor의 고정변형률 상태로 시뮬레이션 하였다.

## 2. 실험방법

본 연구에서 사용한 초기 시료는 두께 3 mm의 AA 1050 알루미늄 판재였다. 이 시료는 열간압연된 상태였다. 이상적인 변형률 상태에서 집합조직의 변화를 추적하기 위하여 이 초기시료의 집합조직을 먼저 극점도로 측정하였고, Bunge의 방법에 의하여 방위분포함수(orientation distribution function)로 계산하였다 [9]. 방위분포함수로 계산된 집합조직을 약 4000개의 동등한 크기를 갖는 방위 즉 결정립으로 분리하여 변형률 상태에 따른 집합조직의 형성을 추적하였다. 그림 1은 초기 집합조직을 보여준다. 초기집합조직에는 압연집합조직인 Cu-, S-, Bs-방위가 약하게 발달된 형태를 보여주었다.

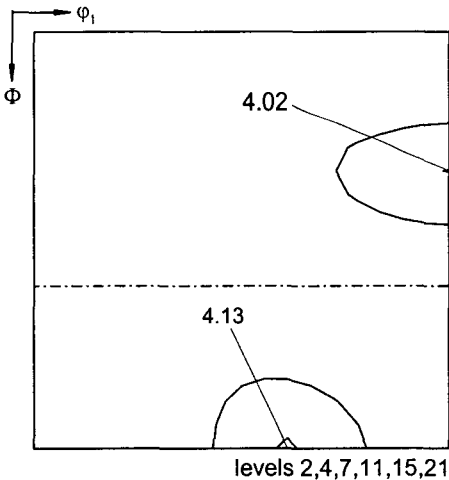


Fig. 1 ODF showing initial texture for texture simulations

## 3. 집합조직 모사결과 및 고찰

본 연구에서는 압연시간  $t=0.1$  인 조건에서  $\epsilon_{11}=1.0$  이고  $\dot{\epsilon}_{11}=10$  인 일정한 수직변형률 상태에서,  $t=0.1$  동안 전단변형률  $\dot{\epsilon}_{13}$ 의 변화에 따른 집합조직의 변화를 시뮬레이션 하였다.

그림 2는 3가지의 이상적인  $\dot{\epsilon}_{13}$  변화를 보여준다. 그리고 그림 3은 그림 2의  $\dot{\epsilon}_{13}$  변화를 갖

는 변형상태에서  $\dot{\epsilon}_{13}$ 을 전체 압연시간인  $t=0.1$  동안 적분한  $\epsilon_{13}$ 의 크기에 따른 집합조직의 변화를 모사한 결과를 보여준다.

$\epsilon_{13}=0.2$  인 조건에서는 압연률 사이에서  $\dot{\epsilon}_{13}$ 의 변화 모양에 상관없이 높은  $\{112\}<111>$ 의 Cu-방위가 발달하여 전형적인 압연집합조직이 얻어짐을 알 수 있다. 이에 반하여  $\epsilon_{13}=1.0$  인 조건에서는 역시  $\dot{\epsilon}_{13}$ 의 변화 모양에 상관없이 항상  $\{001\}<110>$ 의 rotate cube 방위와  $\{111\}/ND$ 가 나타나는 전단집합조직이 모든 조건에서 형성되는 것을 보여준다. 이 결과는  $\dot{\epsilon}_{13}$ 의 부호에 관계없이 각 변형 단계 당  $|\dot{\epsilon}_{13}|/|\dot{\epsilon}_{11}|$ 의 크기가 중요함을 보여주는 것이다.

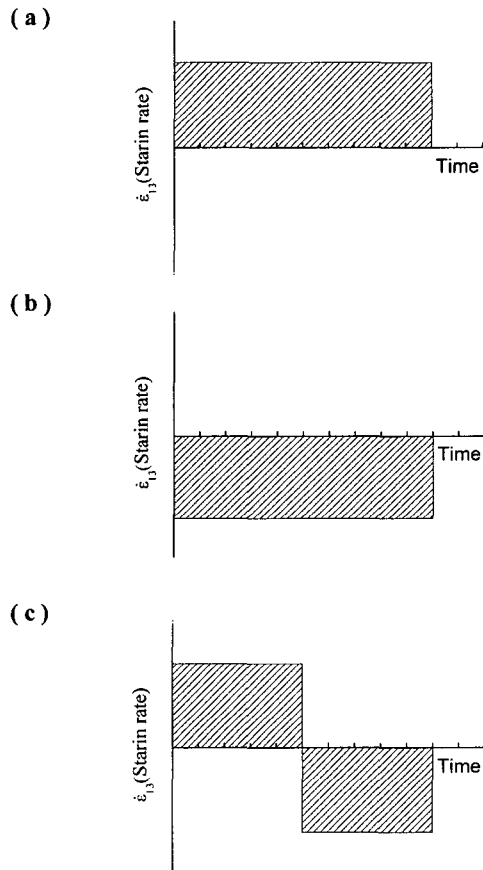


Fig. 2 Idealized strain states.

$$\epsilon_{13} = 0.2 \qquad \epsilon_{13} = 1.0$$

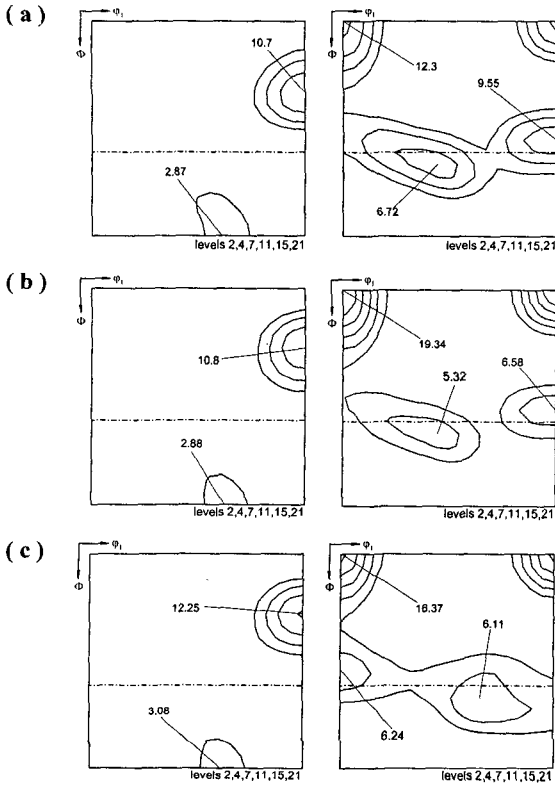


Fig. 3 Simulated textures using idealized strain states in Fig. 2.

그림 4는 sine 곡선의 형태로  $\dot{\epsilon}_{13}$ 가 변화하는 형태의 이상적인 변형을 보여준다. 그림 5는 그림 4의 변형상태에서 얻어지는 집합조직의 변화를  $\epsilon_{13}=0.2$ 인 조건과  $\epsilon_{13}=0.6$ 인 조건에서는 시뮬레이션 한 결과이다.

그림 4(a)와 (b)의 변형상태에서는 동등한 집합조직이 얻어지는데 이것은 그림 3에서 얻어진 결과인  $\dot{\epsilon}_{13}$ 의 부호에 관계없이 각 변형 단계 당  $|\dot{\epsilon}_{13}|/|\dot{\epsilon}_{11}|$ 의 크기에 의하여 집합조직이 결정된다는 결과와 일치한다. 그런데 그림 4(c)와 (d)의 +sine 또는 -sine 변형상태에서는  $\epsilon_{13}=0.2$ 인 조건에서 {112}<111>의 Cu-방위와 {110}<112> Bs-방위가 발달하여 전형적인 압연집합조직이 얻어진다. 그러나 그림 4(a)와 (b)의 변형상태에서는  $\epsilon_{13}=0.2$ 인 조건에서 Cu-방위가 2개로 쪼개지고 (50°, 75°, 45°) 부근에 새로운 방위가 형성됨을 알 수 있다. 그림 5의 시뮬레이션한 집합조직에서 볼 수 있듯이, 총 전단변형률이 커진  $\epsilon_{13}=0.6$ 인 상태에서는 그

림 4(c)와 (d)의 +sine 또는 -sine 변형상태에서는 단지 {001}<110> rotated cube 방위만이 형성되지만, 그림 4(a)와 (b)의 변형상태에서는 rotated cube 와 함께 {111}<112>에 가까운 집합조직이 형성된다. 이 결과 각 변형 단계에서  $\dot{\epsilon}_{13}$ 의 형태가 집합조직 형성에 중요한 역할을 함을 밝혀 낼 수 있었다.

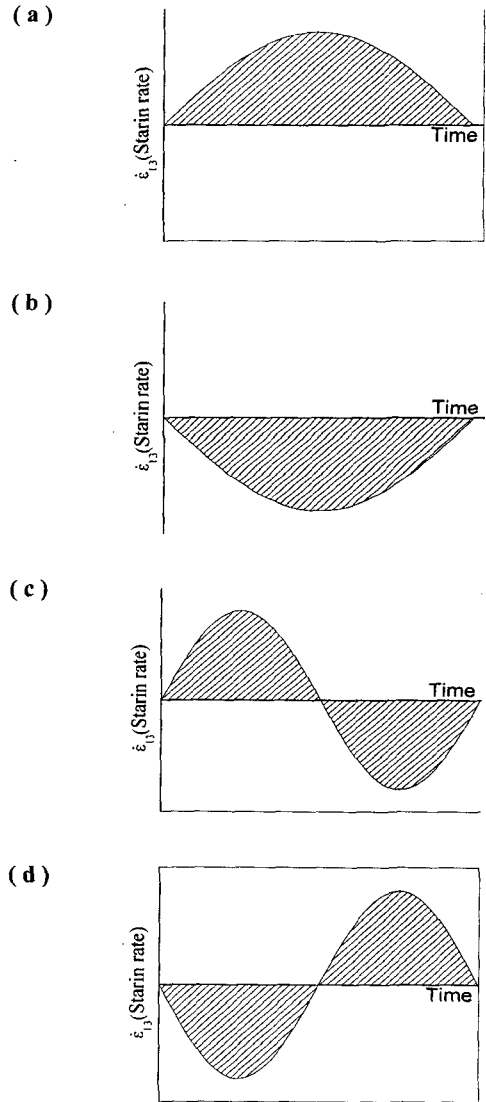


Fig. 4 Idealized strain states.

$$\epsilon_{13} = 0.2$$

$$\epsilon_{13} = 0.6$$

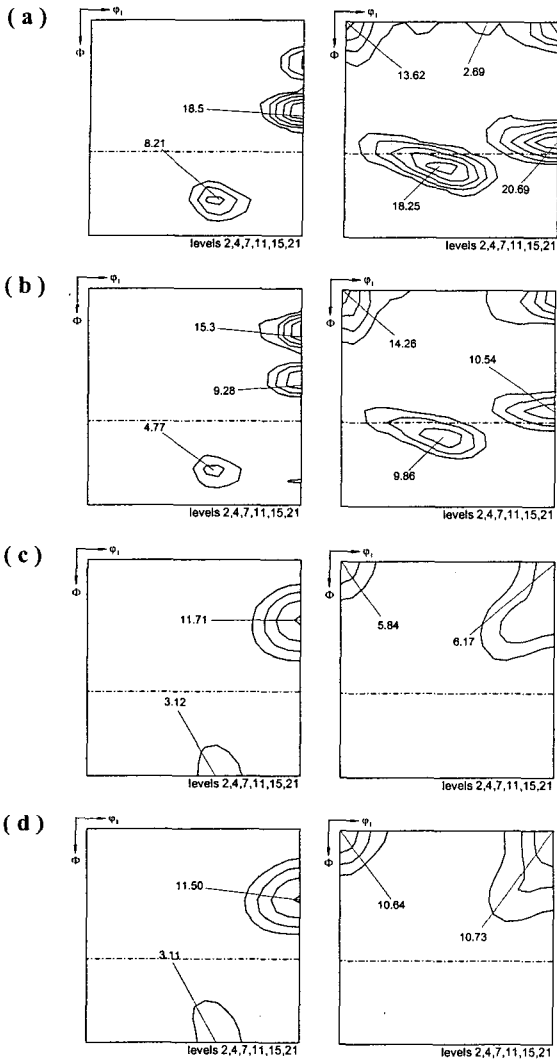


Fig. 5 Simulated textures using idealized strain states in Fig. 4.

#### 4. 결론

본 연구에서는 FCC 금속에서 압연 전단집합조직의 형성에 미치는 변형상태의 효과를 연구하기 위하여, 일정한  $\epsilon_{11}$  조건에서 다양한 형태의  $\epsilon_{13}$

를 가지는 이상적인 변형률 조건에서 집합조직의 변화를 Taylor의 고정변형률 상태로 시뮬레이션하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1)  $\epsilon_{13}$ 의 부호에 관계없이 각 변형 단계 당  $|\epsilon_{13}|/|\epsilon_{11}|$ 의 크기가 집합조직의 형성을 결정한다.
- (2) 압연 시 롤 갭 안에서 재료가 변형 시 각 변형 단계에서  $\epsilon_{13}$ 의 형태가 집합조직 형성에 영향을 미친다.

#### 후 기

본 연구는 고려대학교 포스코 철강전문연구실에서 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] J. Hirsch, and K. Lücke, 1988, Acta metall., vol. 36, pp. 2883-2904.
- [2] O. Engler, M.Y. Huh, C.N. Tomé, 2000, Metall. Mater. Trans. A, vol. 31A, pp. 2299-2315.
- [3] M. Y. Huh, H.C. Kim, J.J. Park and O. Engler, 1999, Met. & Mater. Int., vol. 5, pp. 437-443.
- [4] M.Y. Huh, O. Engler and D. Raabe, 1995, Textures and Microst., vol. 24, 225-237.
- [5] M.Y. Huh, J.H. Kim, K.Y. Ha and S. Lee, 1996, Mater. Sci. Forum, vols. 217-222, pp.571-576.
- [6] M.Y. Huh, Y.S. Cho and O. Engler, 1998, Mater. Sci. Eng. vol. A247, pp. 152-164.
- [7] Y.S. Cho, H.C. Kim and M.Y. Huh, 1998, Met. & Mater. Vol. 4, pp. 397-403.
- [8] U.F. Kocks, 1970, Metall. Trans., vol. 1, pp. 1121-1143.
- [9] H. J. Bunge: Mathematische Methoden der Texturanalyse, Akademie Verlag, Berlin (1969)