

# 페라이트계 스테인리스강의 열간 압연 시 불균일 집합조직에 미치는 윤활 효과

강춘구<sup>1</sup> · 허무영<sup>1#</sup> · 박수호<sup>2</sup>

## Effect of lubrication on the evolution of inhomogeneous textures in ferritic stainless steel sheets during hot rolling

C. K. Kang, M. Y. Huh, S. H. Park

### Abstract

Ferritic STS 439 Steel sheet were deformed by hot rolling with and without lubricant. The effect of friction between roll and specimen on inhomogeneous texture was studied by means of EBSD, XRD texture analysis. The textures were compared with those of obtained by Taylor FEM simulation. High friction between roll and sheet gave rise to the formation of the inhomogeneous shear texture through thickness.

**Key Words : lubricant, friction, inhomogeneous texture, FEM**

### 1. 서 론

압연롤 사이에서 판재에는 수직 압축응력이 작용한다. 이에 따라 판재는 압연면의 수직방향(ND)으로는 얇아지며, 압연방향(RD)으로는 연신 되나, 판재의 측면방향(TD)으로는 마찰력에 의하여 팽창이 억제된다[1]. 이때 압연 공정 중 압연롤 사이에서 변형구역의 기하학적 형상 및 변형상태의 변화, 압연재와 압연롤과의 접촉면에서 마찰, 열간압연 시 압연재의 두께 층에 따른 온도구배 등이 평면변형 상태로부터 벗어나는 원인이 된다. 이러한 집합조직의 불균일성은 결정방위 이방성을 갖는 모든 판재재료의 특성, 즉 R-값과  $\Delta R$ -값과 같은 소성이방성, 탄성계수, 자기적성질 등에 영향을 미치게 된다. 따라서 집합조직에 따른 재료의 물성을 명확하게 판단하기 위해 판재의 불균일 집합조직을 입체적으로 측정하는 것이 요구된다[2-3].

본 논문에서는 압연재와 롤표면과의 마찰이 두께 층에 따른 불균일 집합조직에 미치는 효과를 알아보기 위하여 윤활, 무윤활의 상태에서 열간압연을 실시하여 EBSD 및 XRD 장비를 이용하여 두께 층에 따른 집합조직을 분석하였다. 또한 이상적인 조건에서의 집합조직을 알아보기 위하여 시뮬레이션을 실시하여 실험과 비교하였다.

### 2. 실험

본 연구에서는 포스코에서 제조한 페라이트계 STS439 강을 두께 5.3mm, 길이 150mm, 폭 3.3mm의 핫밴드 조직을 가진 초기 시편으로 제조하였다. 윤활 조건에서의 실험은 롤과 시편 자체에 BN 윤활제를 충분히 뿌려주었다. 시편은 전기로에서 850°C로 가열 후, 직경 118mm의 압연기에서 35%의 압하율로 2회 압연하여 총 두께 변형률이 57%인 2.3mm로 변형되었다. 압연 공정 후

1 고려대학교 신소재공학부

2 포스코 기술연구소

# 교신저자 (Corresponding author)

시편의 대략적인 불균일 집합조직을 알아보기 위하여 EBSD를 이용하여 TD 면을 측정하였다. 또한 ND 면을  $s$  변수로 표현하여 표면을  $s = \pm 1$ , 중간층을  $s = 0$  이라 할 때, 두께 층에 따라 X 선 고니오 메타로  $\{110\}$ ,  $\{200\}$ ,  $\{220\}$  극점도를 측정 한 뒤 Bunge의 방법을 이용하여 방위분포 함수 (orientation distribution function)로 계산 하여  $\psi_2 = 4.5^\circ$ 에 나타 내 었 다.

실험과 동일한 조건으로 DEFORM 시뮬레이션 하였다. 이로부터 각 층의 변형률을 계산하였으며, 방위분포함수로 계산된 집합조직을 동등한 크기를 갖는 결정립 방위로 분리하여 변형률에 따른 집합조직을 Taylor의 소성변형모델을 적용하여 추적하고, 실험 결과와 비교 분석하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3-1. 실험결과

Fig. 1은 각각 (a) 무윤활과 (b) 윤활 조건으로 57%의 압하율로 열간 압연 된 시편의 TD 면을 EBSD로 측정 한 결과이다.

무윤활 조건의 경우 압연 시 마찰에 의한 전단 집합조직인  $(011)\langle 100 \rangle$  Goss texture가 대략  $s = \pm 4$  층까지 나타남을 볼 수 있고, BN을 사용하여 윤활 처리 된 시편의 경우 표면 층을 제외한 중간층까지 평면 변형에 의해 발생하는  $\alpha$ ,  $\gamma$ -fiber가 지배적임을 알 수 있다.

XRD 측정은 변형 집합조직이 가장 강하게 나타나는 시편의 표면 층 ( $s = 0.9$ ) 과 평면변형에

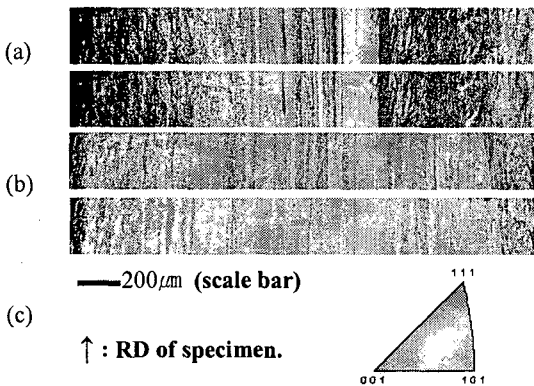


Fig. 1. EBSD results of hot rolled (red.57%) sheet. Inverse pole figure mapping of ND (up) and RD (down) (a) Without lubricant. (b) With lubricant. observed from TD direction. (c) Color code of IPF.

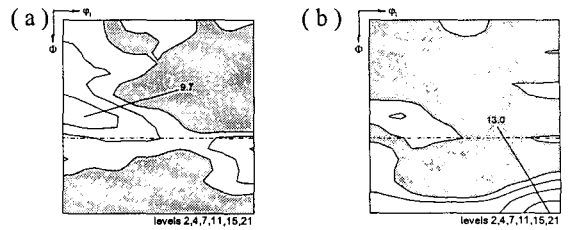


Fig. 2. XRD(ODFs) result of STS439 hot band (a)  $s=0$ , (b)  $s=0.9$ .

의한 집합조직이 가장 강하게 나타나는 중간층 ( $s=0$ )에 대하여 분석하였다.

Fig. 2는 초기시편의 XRD 측정결과이다. EBSD의 결과와 같이 시편의 표면 층은 압연 시 전단 변형에 의해 발생하는  $(011)\langle 100 \rangle$  Goss texture의 강도가 가장 강하게 나타나며, 중간층에는  $\langle 001 \rangle // RD$ 의  $\alpha$ -fiber와  $\{111\} // ND$ 의  $\gamma$ -fiber가 강하게 나타났다.

Fig. 3는 윤활, 무윤활의 조건으로 열간 압연된 시편의 XRD 측정 결과이다. 무윤활 조건에서의 열간 압연 시편의 경우 초기 시편의 경우 보다  $s = 0.4$ 에 까지 마찰에 의한 전단 변형이 가해짐으로써 집합조직이 무질서 해지고  $(011)\langle 100 \rangle$  Goss Texture에 근접한 집합조직의 강도가 강하게 나타남을 알 수 있다. XRD 결과에서도 마찬가지로 중간 층인,  $s = 0$ 층의 집합조직에는 거의 변화가 없으며 오히려 평면변형이 더하여 저서  $\langle 001 \rangle // RD$

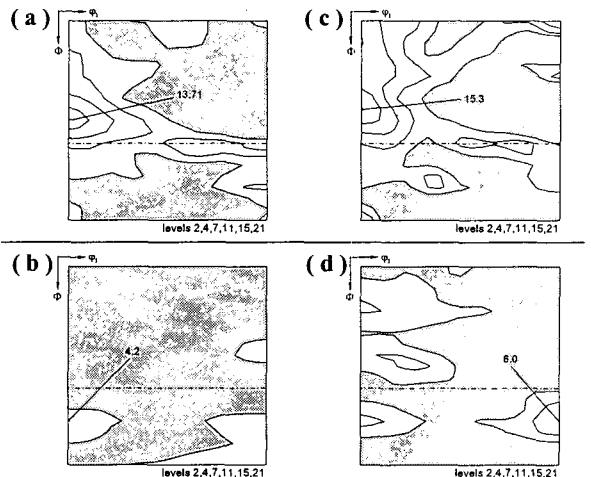


Fig. 3. XRD results of hot rolled (red.57%) sheet. (a), (b) : without lubricant, (d) ~ (f) : with BN lubricant. (a), (b) :  $s = 0$ , (c), (d) :  $s = 0.9$

$\alpha$ -fiber 와  $\{111\}$ //ND  $\gamma$ -fiber 의 강도가 초기 시편보다 좀더 강하게 나타남을 알 수 있었다. 윤활처리된 시편의 경우 표면 층인  $s = 0.9$  에서조차도 전단 집합조직이 강하게 분포하지 않으며,  $s = 0$  층의 경우  $\langle 001 \rangle$ //RD  $\alpha$ -fiber 와  $\{111\}$ //ND  $\gamma$ -fiber 의 강도가 강하게 유지되고, 오히려 더하여진 평면 변형에 의하여 강도가 더욱 강해졌으며, 표면층에도 평면변형에 의한 집합조직이 지배적이 된다.

### 3-2. 집합조직 모사결과.

압연 변형하는 압연판재에서 결정학적 집합조직은 주로 Taylor 의 소성변형 모델을 이용하여 시뮬레이션 한다[4]. 본 연구에서는 DEFORM 을 통하여 마찰계수를 변수 ( 무윤활 조건 :  $\mu = 0.3$ , 윤활조건 :  $\mu = 0.12$  coulomb value ) 로 주고, 동일 압하율과 온도 조건 및 장치조건으로 압연 후 점추적 ( point tracking ) 을 통하여 변형률을 구하였다. 이 변형률을 통해 초기 시편으로부터 추출된 4000 여 개의 방위를 Taylor-FEM 으로 시뮬레이션하여 집합조직의 변화를 살펴 보았다. 시뮬레이션 결과 역시 무윤활 조건의 시편은 중간층까지 마

찰에 의한 전단변형 집합조직인 Goss 집합조직이 강하게 발달되며, 윤활 시편의 경우에는 마찰의 효과 없이 표면 층까지  $\alpha$ -fiber 와  $\gamma$ -fiber 의 강도가 강하게 나타남을 볼 수 있다. 이는 본 연구에서 실시한 실험 결과와 일치함을 보인다 ( Fig4. ).

## 4. 결론

본 연구에서는 열간 압연 시 시편과 롤에 발생 발생하는 마찰력이 시편의 두께 층에 따른 집합조직의 불균일성에 어떠한 영향을 미치는가를 알아 보기 위하여 실험과 시뮬레이션을 병행하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻어 내었다.

- 1) 열간 압연 시 시편과 롤 사이에 작용하는 마찰력에 따라 시편내의 두께 층에 따른 집합조직의 불균일성은 변화 하였다.
- 2) 열간 압연 시 시편과 롤 사이에 작용하는 마찰이 클수록 시편 내부로의 전단 집합조직은 깊어 침투하게 된다.
- 3) 열간 압연 시 시편의 증상은 마찰의 영향을 거의 받지 않고 평면 변형만의 영향을 받아 전형적인 압연조직이 더욱 발달하게 된다.
- 4) 실험의 결과와 같은 조건의 이상적인 소성변형 모델에서의 집합조직의 거동과 일치함을 보였다.

## 후기

본 연구는 고려대학교 포스코 철강전문연구소에서 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- [1] W.F. Hosford, and R.M. Caddell, 1993, Metal forming: mechanics and metallurgy, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [2] P.S. Mathur, and W.A. Backofen, 1973, Metall. Trans., vol. 4, pp. 643-651.
- [3] H. C. Kim, Y. H. Kim and M. Y. Huh, 2000, J. of Kor. Soc. for Tech. of Plasticity, vol. 10, pp.193-202.
- [4] O. Engler, M.Y. Huh, C.N. Tomé, 2000, Metall. Mater. Trans. A, vol. 31A, pp. 2299-2315.

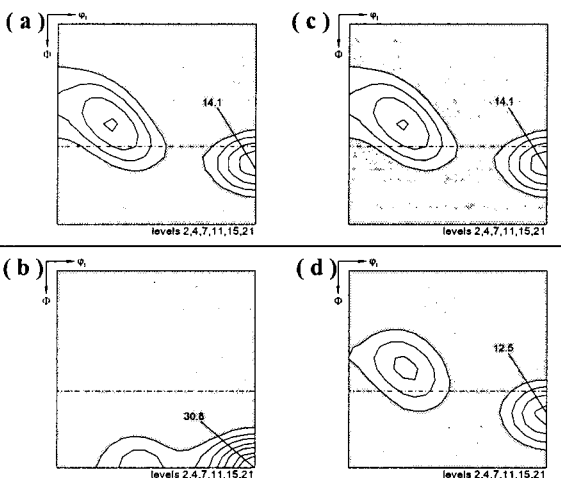


Fig. 4. Deform and Taylor FEM simulation results.  
( a ), ( b ) : without lubricant, ( c ), ( d ) : with BN lubricant. ( a ), ( c ) :  $s = 0$ , ( b ), ( d ) :  $s = 0.9$