

# 페라이트계 스테인리스 강의 열간압연 시 표면 층의 집합조직 발달에 미치는 윤활의 영향

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

## Effect of Lubrication during Hot Rolling on the Evolution of Textures at the surface of 18%Cr Ferritic Stainless Steel Sheet.

Y. B. Pyon<sup>1</sup>, H. G. Kang<sup>1</sup>, M. Y. Huh<sup>1#</sup>

### Abstract

In order to study the effect of lubrication during hot rolling, ferritic stainless steel (FSS) sheet were hot-rolled with and without application of lubrication. The effect of two hot rolling processes on the evolution of texture and microstructure after hot rolling, cold rolling and subsequent recrystallization annealing was studied by means of macro-texture analysis and microstructure observations. After hot rolling, the specimen rolled with lubrication showed rolling textures at the sheet surface, while the specimen rolled without lubrication displayed shear textures in the outer layers of the sheet. Hot rolling with lubrication was beneficial to the formation of strong recrystallization textures at sheet surface. However, hot rolling with lubrication led to the formation of orientation colonies in outer thickness layers of the recrystallized sheet.

**Keywords:** ferritic stainless steel, hot rolling, lubrication, recrystallization, texture

### 1. 서론

저탄소강은 열간압연시 생성된 초기 집합조직이 냉간 압연과 재결정을 거치면서 {111}방위를 포함하는 강한  $\gamma$ -fiber 집합조직이 발달한다. 이러한 강한  $\gamma$ -fiber 집합조직을 가지는 강 판재는 높은 성형성을 가지게 된다.[1] 반면 페라이트계 스테인리스 강 (Ferritic Stainless Steel, FSS) 판재는 냉간 압연과 재결정 후 판재의 성형에 있어서 좋지 않은 집합조직이 발달하게 된다.[2] 이는 저탄소강에서의 강한 {111}/ND 집합조직 대신에 FSS 판재는 주된 재결정

집합조직 구성 방위로 {334}<483>를 가지기 때문이다. 또한, FSS 판재의 미시적 집합조직은 상당히 불균일한 양상을 띤다. 이러한 양상은 deep drawing 시 20~50 $\mu$ m 에서 ropes 또는 ridges 등의 표면 결함 야기하게 된다[ref]. 따라서 거시적, 미시적 집합조직 제어는 FSS 의 판재 성형성에 있어서 매우 중요하다고 할 수 있다.[3]

본 연구에서는 최종적으로 재결정과정까지 진행할 시편의 초기 미세조직과 집합조직을 다양화시키기 위해서 열연시 시료와 롤 사이의 윤활의 유/무를 변수로 FSS 의 열간압연을

1. 고려대학교 신소재공학과

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

실시하였다.[4] 또한 윤활 조건을 다르게 함으로서 가장 크게 변화가 생길 것이라 예측되는 시편의 표면층을 집중적으로 분석하였다. 변형률 상태의 발달을 Finite Element Method(FEM)으로 계산하였으며, 집합조직의 발달은 XRD 로 측정하였다. 또한 미세조직은 FESEM-EBSD 로 관찰하였다. 최종 재결정된 재료 성형성을 측정하기 위해서 각 시편의 거시적 집합조직과 R 값을 분석하였다.

## 2. 실험 방법

본 연구의 초기 시편은 18% Cr을 함유한 10mm 두께의 FSS hot band를 사용했다. 초기 시편을 800℃에서 3pass에 걸쳐 총 압하율 65%에 해당되는 3.5mm 두께까지 열간압연을 하였다. 열연시 시료의 표면에 윤활제를 사용하지 않은 시편을 WOL (Without Lubrication)이라 부르며, 고체 윤활제를 사용한 다른 한 시편은 WL (With Lubrication)이라 칭하였다. WL과 WOL 시편은 열간압연 후 12pass로 총 압하율이 82%가 되도록 0.62mm 두께까지 냉간압연 하였다. 냉간 압연된 각각의 시편 모두 820℃에서 5분 동안 어닐링을 실시하였다.

R값과 리징 특성을 알아보기 위해 인장시험을 실시하였다. 압연된 판재의 집합조직은 극점도와 방위분포함수(ODF)에 의해 분석되었다. 또한 미시적 집합조직과 미세구조 발달을 조사하기 위해 FE-SEM에 장착된 Electron back-scattered diffraction(EBSD)를 이용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Fig 1 은 10mm Hot band의 transverse direction (TD) 를 EBSD로 mapping한 사진이다. 이미지를 보면 작은 재결정된 grain과 강하게 잡아당겨진 팬케이크 모양의 큰 grain이 혼재되어 있음을 볼 수 있다. 이것은 본 실험에 사용된 시료의 초기 미세구조가 상당히 불균일함을 보여준다.

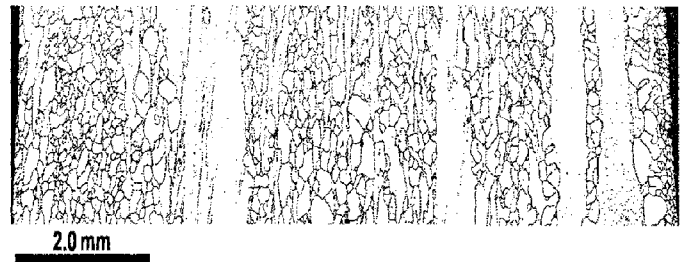


Fig 1. 초기 Hot band의 TD 면 EBSD 측정 사진

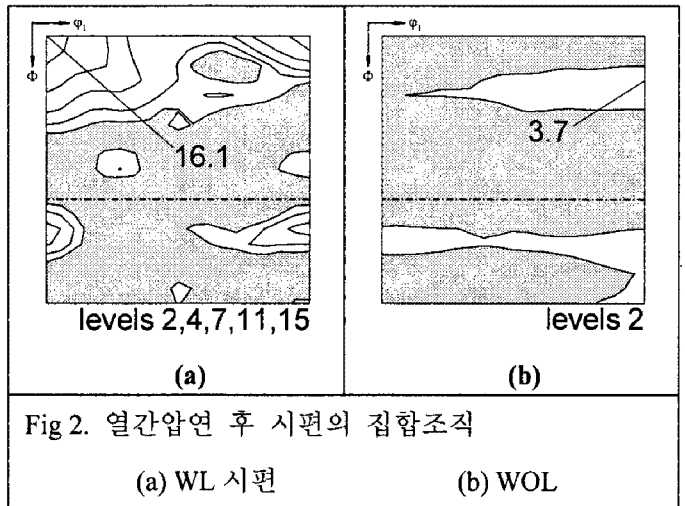


Fig 2. 열간압연 후 시편의 집합조직

(a) WL 시편

(b) WOL

상대적으로 전단응력의 영향이 크게 미칠 것이라 예상되는 표면층의 집합조직을 조사해보고자 WL과 WOL시편의 열간 압연 후 표면부 집합조직을 측정하였다(fig 2). WL시편의 표면층은  $\{001\}\langle 110\rangle$ 에 근접한 방위가 발달한 반면, WOL 시편은 약한 전단 집합조직이 발달하였음을 알 수 있다.

Figure 3은 FEM을 이용하여 열간압연 동안 표면층에 발달한 변형률 상태의 변화를 보여주는 그래프이다. WL과 WOL 모두 초기 음수 값의 peak가 발생하는데, 이는 표면층이 roll gap에 들어갈 때 순간적으로 시편이 기울어지기 때문이다. 이러한 초기 Peak를 제외하면 WL 시편은 전단 변형률이 거의 작용하지 않는다. 반면, WOL시편은 시간(s)에 따라 전단 변형률의 변화가 크게 발생하게 된다. 이러한 전단 변형률의 변화는 윤활제를 사용하지 않아서 시편 표면과 roll 사이의 마찰력이 크게 작용하기 때문이라고 할 수 있다.

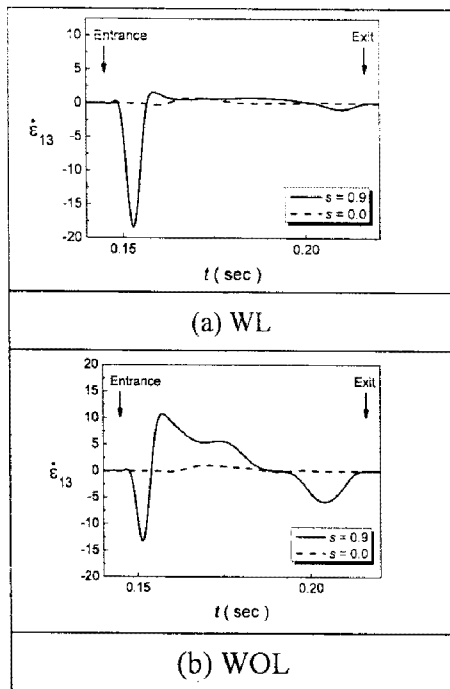


Fig 3. 전단 변형을 변화 (a) WL (b)WOL

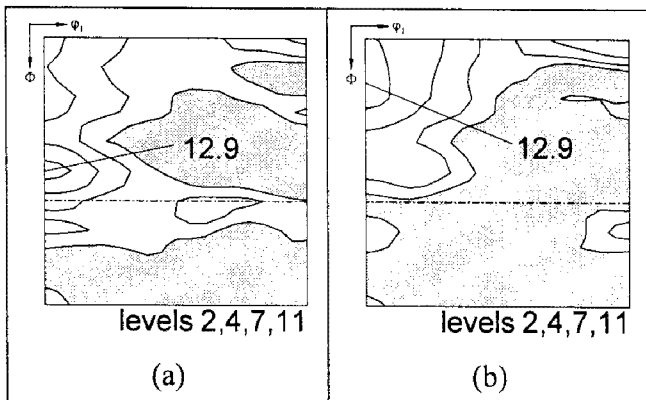


Fig 4. 냉간 압연 후 시편의 집합조직  
(a) CR(82%) WL 시편 (b) WOL 시편

WL / WOL 시편 모두 열연 후 윤활 냉간 압연 (압하율82%)을 한 뒤 집합조직의 변화를 Fig 4 에 표시하였다. WL시편의 압연 집합조직의 강도가 WOL시편에 비해 강한 것을 알 수 있다. 또한 WL시편은 주된 집합조직이  $\{223\}\langle 110\rangle$ 으로 구성 되어 있으며,  $\{111\}/ND$  fiber를 따라 분산되어 있음을 관찰 할 수 있다.

Fig 5는 냉간 압연한 시편을 820°C에서 5분간 어닐링 한 뒤의 집합 조직을 관찰한 결과이다. 각 시편 모두 주 집합조직이  $\{111\}\langle 112\rangle$  방위에서

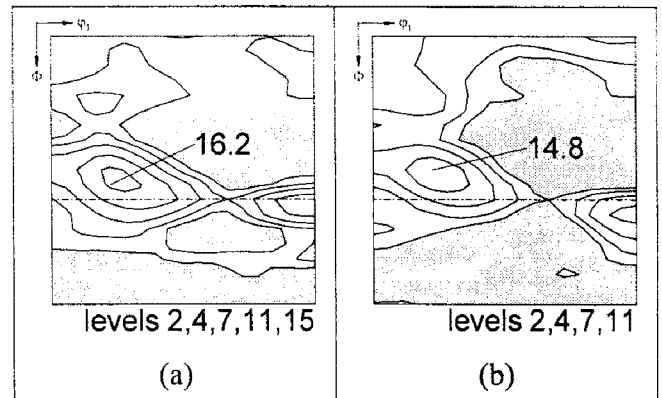


Fig 5. 재결정 뒤 시편의 집합조직

(a) WL 시편 (b)WOL 시편

8° 벗어난  $\{334\}\langle 483\rangle$ 에서 나타난다.[5] Raabe와 Lucke는 이러한 현상을 selected particle drag 메커니즘에 의해 설명하였다[ref]. 즉,  $\{112\}\langle 110\rangle$ 쪽으로 우선 성장되는 경향이 강하기 때문에 재결정된 FSS의 주된 방위가  $\{334\}\langle 483\rangle$ 가 된다고 해석하였다.[6] 재결정된 WOL 시편의 표면층에는  $\{001\}\langle 110\rangle$  방위가 남아 있지만 WL 시편은 이 방위가 표면층에서 완전하게 제거 된 모습을 보여준다. 또한, 전반적으로 WL시편의  $\{334\}\langle 483\rangle$  방위가 WOL 시편보다 다소 강하게 나타나게 된다. 따라서 열간압연 시 윤활제 사용은 냉간 압연 및 재결정 후의 재결정 집합조직의 방위들을 증가시킨다고 할 수 있다.

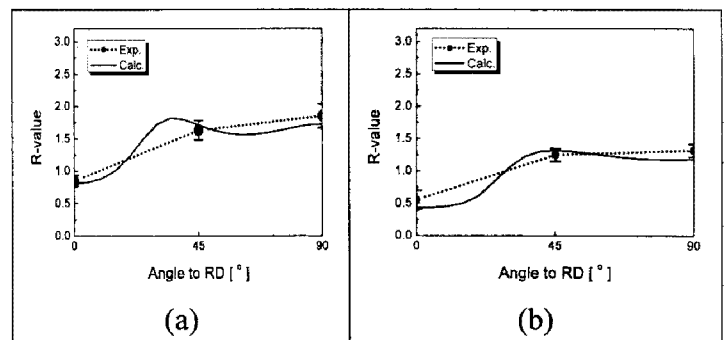


Fig 6. 재결정 시편의 R-value

(a)WL 시편 (b) WOL 시편

R값과 리징 경향을 알아보기 위해서 재결정된 시편의 인장 시험을 실시하였다. R0, R45, R90 값을 얻고자 판재의 압연 방향에서 0, 45, 90° 각도로 인장하였다. R값의 평균 값은  $\bar{R}$ 로 나타내며.

$\bar{R} = (R_0 + 2R_{45} + R_{90}) / 4$  로 계산된다. Fig 6는 최종 재결정된 시편의 각 R값을 보여준다. 여기서 무윤활 열간 압연한 시편의  $\bar{R}$  값은 1.1에 가깝다. 반면 윤활제를 사용한 시편은 1.5의 높은  $\bar{R}$  값을 갖는다. 이러한  $\bar{R}$  값의 차이는 금속 판재의 평면 이방성이 시편의 거시적 집합조직에 크게 의존하기 때문이다.[27] 이것은 열간압연 중 윤활제가 재결정 집합 조직의 평면 이방성을 강화하는데 효과가 있다는 것을 보여준다.

리징을 평가하기 위해서 EBSD를 이용하여 측정 범위를 비교적 큰 3.4mm × 1.2mm 영역으로 step은 4.0  $\mu\text{m}$  를 주어 관찰 하였다.

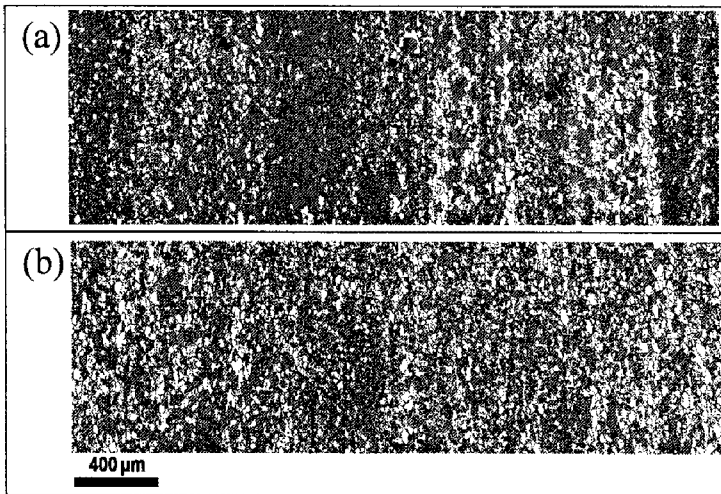


Fig 7. 최종 재결정된 시편의 EBSD mapping  
(a) WL 시편 (b)WOL 시편

Fig 7은 ND 방향으로부터 관찰된 EBSD map을 보여준다. 여기서 회색 grain은  $\{111\}$ //ND fiber로부터 15° 이내의 방위를 나타낸다. 반면에 흰색은  $\{111\}$ //ND로부터 15° 이상 벗어난 방위를 나타낸다. 회색의  $\{111\}$ //ND 방위는 인장 시험 및 deep drawing 시 높은 R-value 때문에 오직 두께 방향으로만 약간 변형될 것으로 예상된다. 반면 흰색의 grain은 같은 이유로 큰 두께 변형을 보일 것이다. 따라서 Fig 7의 (b)와 같이 흰색과 회색의 균일한 분포를 가진 미세구조는 grain 방위 차로 인한 두께 변형의 차이가 크게 줄 것이며, 이것은 리징이 감소함을 의미한다.

반면에 흰색과 회색의 grain이 심하게 몰려 있을 경우 극심한 ridging이 발생하게 된다. 이미지를 보면 WOL시편의 표면층은 흰색과 회색의 grain의 분포가 WL시편에 비해 좀 더 균일하게 분포함을 알 수 있다. 이는 곧 열간압연 중 윤활제 사용이 이후의 냉간압연을 거쳐 재결정된 FSS 판재 내의 미시적 집합조직을 균일하게 발달시킴을 의미한다.

#### 4. 결론

시료 표면과 압연롤 사이의 윤활 유무에 따른 FSS 판재의 표면 집합조직 발달과 성형성에 대한 연구를 하였다. 열간압연 중 윤활제의 사용은 표면층에 강한 재결정 집합조직을 형성시켜 R 값을 증가시킨다. 반면, 윤활제를 사용하여 열간압연한 판재는 불균일한 방위 군집의 분포에 기인한 극심한 리징을 보여준다.

#### 참고 문헌

- [1] W.B. Hutchinson: Intern. Met. Rev., 29 (1984), 25.
- [2] T. Sakai, Y. Saito, M. Matsuo and K. Kawasaki: ISIJ Inter., 31 (1991), 86. .
- [3] O. Engler, M.Y. Huh and C.N. Tomé: Metall. Mater. Trans. A, 36A (2005), 3127.
- [4] O. Engler, M. Y. Huh and C. N. Tomé.: Metall. and Mater. Trans. A, 31A (2000), 2299.
- [5] M. Y. Huh and O. Engler: Mater. Sci. Eng., A308 (2001), 74.
- [6] M.Y. Huh, J.H. Lee, S.H. Park, O. Engler and D. Raabe: steel research Inter., 76 (2005), 797.