

# 페라이트 스테인리스 강판의 집합조직과 성형성에 미치는 중간열처리의 영향

조성윤 · 허무영\*

## Effect of Intermediate Annealing on the Texture and Formability in Ferritic Stainless Steel Sheet

S. Y. Cho and M. Y. Huh

### Abstract

In order to improve the sheet formability of the ferritic stainless steel, the through-thickness textures of the recrystallized sample was modified by means of a thermomechanical treatment. An annealing process between the cold rolling reductions modified the preferred orientations throughout the thickness, which resulted in the modification of the final cold rolling texture as well as the final recrystallization texture. With the help of the modification of the recrystallization texture by the intermediate annealing, improvement of the sheet formability, i.e. an increase of the Lankford value.

**Key Words** : Ferritic Stainless Steel, Texture, Formability, Intermediate Annealing

### 1. 서론

페라이트 스테인리스 강은 Ni를 포함하지 않으면서 우수한 내식성을 가지므로 경제적으로 장점을 갖는 재료이지만 취약한 성형성과 가공시 나타나는 표면결함으로 인해 재료의 사용에 제약이 따른다. 이러한 이유로 우수한 내식성과 동시에 우수한 성형성이 얻어지는 제조변수에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 다결정 재료의 성형성은 각각의 결정립들의 방향에 따른 집합조직에 의존

하게 되는데 이러한 집합조직은 비록 재료의 화학적 조성 및 미세 조직이 같다고 하더라도 방향에 따라 다른 물성을 가지도록 하며<sup>(1)</sup> 특히 소성이방성의 경우는 스테인리스 판재와 같이 높은 가공 성형성을 필요로 하는 재료에 있어서 중요한 성질이다. 일반적으로 금속 판재의 소성이방성은 판재의 폭 방향의 변형량과 두께 방향의 변형량의 비인 R-값으로 나타내는데 R-값이 클수록 높은 성형성을 가진다고 알려져 있으며 이러한 R-값은 {111}방위와 {001}방위의 회절 강도비( $I_{(111)}/I_{(001)}$ )와 직선

\* 고려대학교 재료금속공학부

적인 비례관계를 갖는다.<sup>(2)</sup>

본 실험에서는 페라이트 스테인리스 강판의 냉간압연 과정에 중간 열처리 공정을 추가하여 집합조직의 변화와 이에 따른 성형성 향상을 연구하였다.

## 2. 실험 방법

본 연구에서는 포항제철소에서 제조한 열연 핫코일을 사용하였으며 조성은 Table 1과 같다.

초기두께 3.05mm의 핫코일 시편을 실험실용 127mm지름의 쌍롤 압연기로 일반압연시편의 경우 80%, 중간열처리를 거치는 시편의 경우 60%압연과 추가 압연을 통해 최종 80%까지 압연을 수행하였으며 압연시 롤과 시편의 마찰을 제거하기 위하여 윤활압연을 행하였다. 압연은 다른 영향을 배제하기 위하여 각 Pass당 진변형률을 0.2~0.25로 일정하게 하였으며 압연후 시편은 700°C에서 1시간씩 최종 열처리 및 중간열처리를 수행하였다.

집합조직은 두께층에 따른 변화를 고찰하고자 시편을  $s=1.0, 0.8, 0.5, 0.0$  층까지 연마하였으며 이들 시편은 연삭에 의한 소성변형구역을 제거하기 위해 화학적으로 부식하였다. 집합조직의 측정은  $Co K_{\alpha 1}$ 을 사용하였으며 자동화된 집합조직 측정용 고니오메타에서  $\{110\}$ ,  $\{200\}$ ,  $\{211\}$ 의 극점도를 측정한 후 급수법을 이용하여 방위분 포함수를 계산하였다.<sup>(3)</sup>

## 3. 실험 결과 및 고찰

본 실험에 사용된 핫코일의 두께층에 따른 집합조직을 Fig. 1에 나타내었다. 핫코일의 집합조직은 광학현미경으로 관찰한 미세조직과 같이 두께층에 따라 매우 불균일함을 알 수 있는데 중앙층의 경우  $\alpha$ -섬유조직의 발달 특히  $\{001\}\langle 110\rangle$ 에서  $f(g)_{max}$ 가 20정도로 관찰되며 표면층의 경우는 Goss 방위가 다소 발달하였으며 표면과 중앙층 사이에서는 Goss방위에서  $\{011\}\langle 211\rangle$ 이나  $\{111\}\langle 211\rangle$ 로 산란된 곳에서 주방위가 형성되었다. Fig. 2는 정상적으로 80%까지 냉간압연된 시편의 두께층에 따른 집합조직이며 Fig. 3은 700°C에서 1시간 열처리를 마친 시편의 집합조직이다. Fig. 2의 압연집합조직을 보면 표면은 전형적인 bcc금속의 압연집합조직이 나타나고 중앙층으로 갈수록  $\gamma$ -섬유방위의 감소가 관찰되며 초기 핫코일의 영향을 받아 중앙층에서는  $\{001\}\langle 110\rangle$ 에서 주방위가 형성되었다. Fig. 3의 열처리 시편의 집합조직에서는 전 두께층에 걸쳐  $\{001\}\langle 110\rangle$ 방위를 중심으로

$\alpha$ -섬유조직에서  $f(g)$ 값이 2이상 높게 발달했으며 중앙층에서는 불균일한  $\gamma$ -섬유가 발달되었고 주방위는  $\{334\}\langle 483\rangle$ 에서 형성되었는데 이 방위는 Raabe에 의해 보고된  $\{557\}\langle 583\rangle$ 에 근접한 방위이다.<sup>(4)</sup>

Fig. 4와 5에는 각각 60% 냉간압연과 700°C에서 중간열처리후 추가적인 압연을 통해 최종 80%까지 냉간압연을 행한 시편과 최종열처리 시편의 두께층에 따른 집합조직을 나타내었다. Fig. 4에서는 변형집합조직임에도 시편전체에 걸쳐  $\gamma$ -섬유 방위가 비교적 고르게 발달했으며 최종열처리 시편의 집합조직인 Fig. 5에서는 전 두께층에 걸쳐  $\{001\}\langle 110\rangle$ 의 방위에서  $f(g)$ 값이 2이하로 낮게 얻어졌고 표면층에서는 비교적 무질서한 집합조직이 얻어졌다.

최종열처리를 마친 두가지 시편에 대한 성형성 실험의 결과와 집합조직을 이용해 계산된 R-값의 결과는 Fig. 6과 같다. 중간열처리를 거친 시편의 경우 R-값이 약 30%향상되었음을 실험적으로 측정된 결과를 통하여 알 수 있다.

## 4. 결론

(1) 페라이트 스테인리스 강판 핫코일에서는 집합조직과 미세조직이 매우 불균일하다. 또한 초기 중앙층의 강하게 발달된 집합조직은 이후 변형집합조직과 재결정 집합조직에 강한 영향을 끼친다.

(2) 일반적인 변형과 재결정을 수행한 시편은  $\{111\}\langle ND\rangle$  방위는 물론  $\{001\}\langle 110\rangle$ 방위가 발달하였으며  $\{334\}\langle 483\rangle$ 에서 주방위가 형성되었다.

(3)  $\{001\}\langle 110\rangle$ 방위의 감소로  $\{111\}$ 방위와  $\{001\}$ 방위의 회전 강도비( $I_{111}/I_{001}$ )가 상대적으로 증가한 중간 열처리 시편은 R-값이 30% 향상되었다.

## 참고 문헌

- (1) 허무영, 대한금속학회지, 6, 1993, pp.293.
- (2) R.K. Ray, J.J. Jonas and R.E. Hook : Int. Mat. Rev., 39(1994) 129
- (3) H. J. Bunge : Mathematische Methoden der Textualanlyse, Akademie - Verlag, Berlin (1969)
- (4) D. Raabe and K. Lücke: Mat. Sci. and Tech., 9 (1993) 302

Table 1 Chemical composition of the steel (balance Fe)

Element	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	Co	Mo	Cu	V	Nb	W	S	Al
Composition (wt%)	0.05	0.34	0.37	16.91	0.19	0.02	0.036	0.012	0.043	0.1	0.018	0.011	0.002	0.003

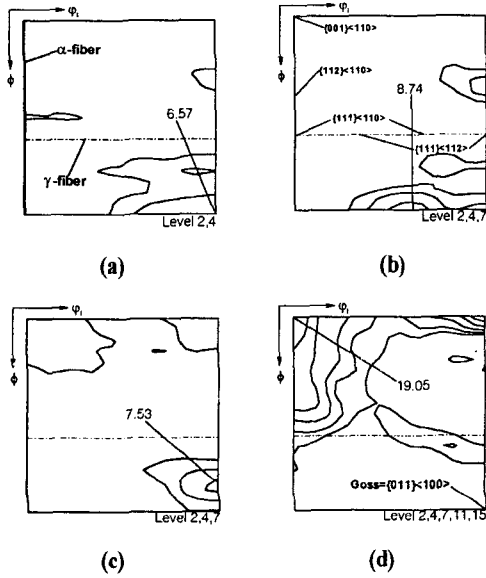


Fig. 1 Texture of the as-received hot band at various through-thickness layers, depicting a strong through-thickness texture gradient of the hot band (a)  $s=1.0$ , (b)  $s=0.8$ , (c)  $s=0.5$ , (d)  $s=0$

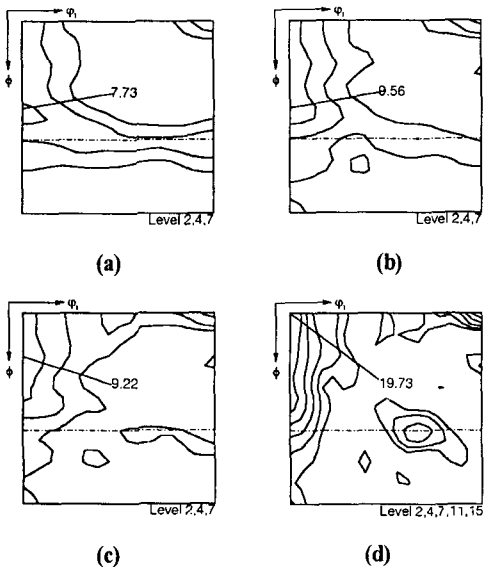


Fig. 2 Textures of the cold rolled sheet after 80% thickness reduction (a)  $s=1.0$ , (b)  $s=0.8$ , (c)  $s=0.5$ , (d)  $s=0$

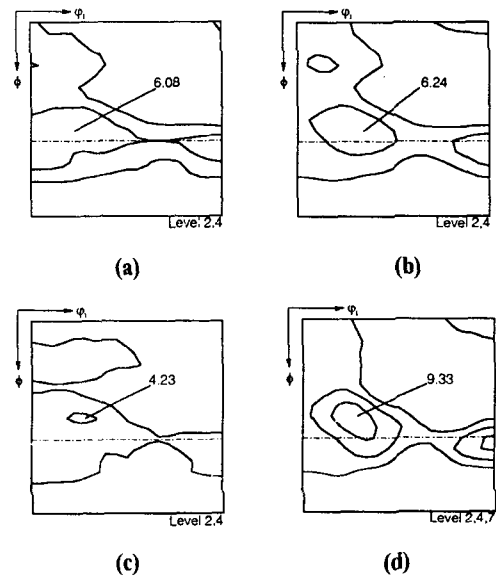


Fig. 3 Recrystallization textures of the 80% cold rolled sheet (a)  $s=1.0$ , (b)  $s=0.8$ , (c)  $s=0.5$ , (d)  $s=0$

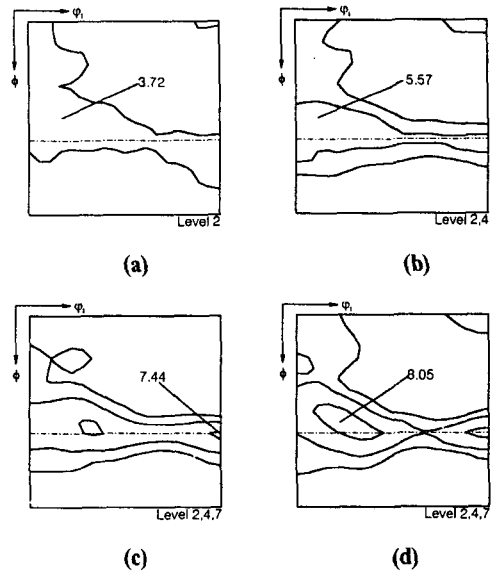


Fig. 4 Textures of the sheet after 60% thickness reduction, intermediate annealing and additional 50% cold rolling. (a)  $s=1.0$ , (b)  $s=0.8$ , (c)  $s=0.5$ , (d)  $s=0$

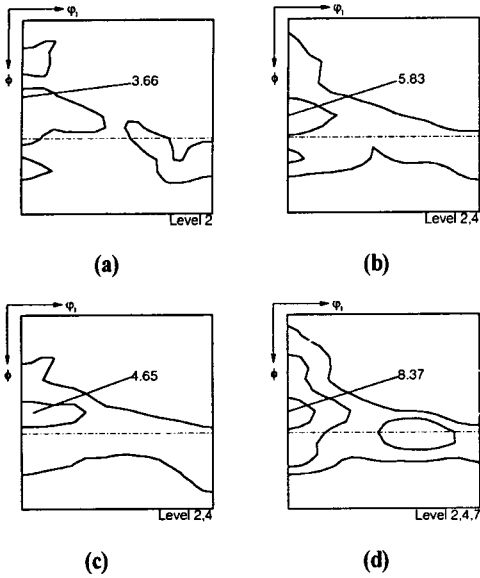
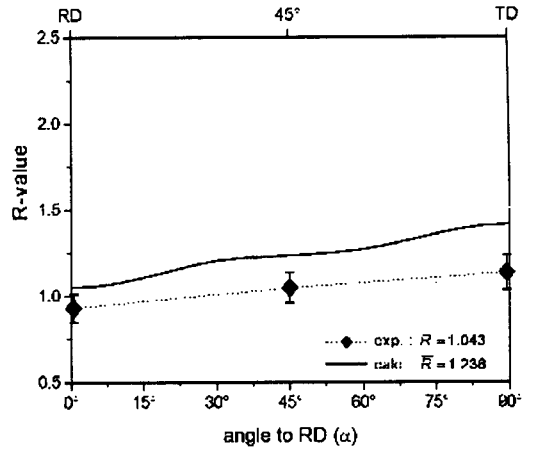
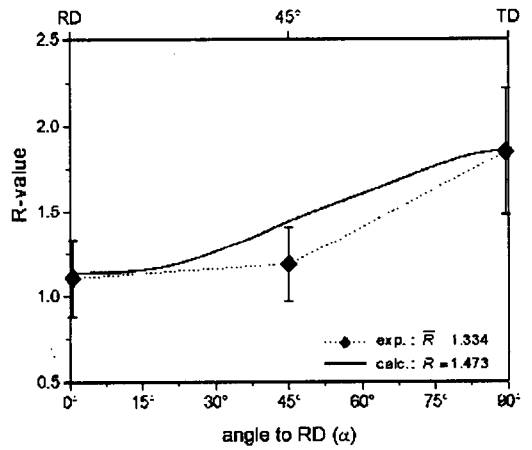


Fig. 5 Textures of the sheet after 60% thickness reduction, intermediate annealing, 50% cold rolling and final recrystallization annealing (a)  $s=1.0$ , (b)  $s=0.8$ , (c)  $s=0.5$ , (d)  $s=0$



(a)



(b)

Fig. 6 Calculated and measured R-Values (a) normally rolled and recrystallized specimen, (b) intermediate annealed specimen