

430 스테인리스강의 미세조직 및 집합조직 형성에 미치는 냉간압연 및 소둔조건의 영향

박수호* · 김광육* · 박찬경**

Effect of Cold Rolling and Annealing Conditions on the Microstructure and Texture Evolution in Type 430 Stainless Steel

S.H. Park, K.Y. Kim, and C.G. Park

Abstract

The effect of two step cold rolling and intermediate annealing conditions on the microstructure and texture evolution in type 430 stainless steel has been investigated in order to improve ridging characteristic and deep drawability. The rolling and recrystallization textures were examined by orientation distribution function(ODF) and electron backscattered diffraction(EBSD). The observation showed that the intensity of γ -fiber was increased with two-step cold rolling process and so ridging characteristic and deep drawability were considerably improved. The relation between these properties and texture evolution has been discussed.

Key Words : Stainless Steel, Texture, ODF, EBSD, Two Step Cold Rolling, Intermediate Annealing, Deep Drawability, Ridging Characteristic.

1. 서 론

430 스테인레스강은 야금학적 특성에 의해 열연 소둔을 실시하고 있으며 열연편을 권취된 상태에서 열처리하는 상소둔(Batch Annealing) 공정을 채택하고 있다. 상소둔은 에너지 소모가 클 뿐만 아니라 장시간 소둔 함에 따라 생산성이 저하하는 문제점을 갖고 있다. 따라서 에

너지 저감 및 생산성 향상을 위한 연속소둔 공정 개발에 대한 연구가 행해지고 있다⁽¹⁾. 430강의 연속소둔이 가능하기 위해서는 기계적성질, 성형성 및 리징성(Ridging, 성형할 때 나타나는 줄무늬 모양의 표면결함) 등의 품질 특성을 만족시킬 수 있는 성분 설계, 열연조건 및 냉연조건 등의 제조 전반에 걸친 검토가 필요하다. 특히 430강에 있어서 중요한 품질특성인 성형성 및 리징성은 집

* 포항제철 기술연구소 스테인레스연구그룹

** 포항공과대학교 재료금속공학과

합조직과 밀접한 관련이 있기 때문에^(2~4) 이러한 집합조직 형성에 미치는 제조공정 인자와 야금학적 인자와의 상관성을 파악하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 제조조건 변화에 따른 품질특성 변화를 파악하기 위해 열연 연속소둔 및 상소둔을 실시한 강에 있어서 2 단 냉연 및 냉연 중간 소둔 조건 변화에 따른 품질특성을 조사하고자 하였으며 또한 제조조건 변화에 따른 집합조직 및 미세조직 형성 거동과 품질특성과의 상관성에 대해서 고찰하고자 하였다.

2. 실험방법

실험에 사용된 시편의 화학성분을 Table 1 에 나타내었다. 열연 소둔조건별 2 단 냉연 및 냉연 소둔조건 변화를 Fig. 1 에 나타내었으며 각각의 소둔조건을 Table 2 에 나타내었다. 각 제조공정별로 시편을 절단하여 현미경 조직관찰과 집합조직을 측정하였다. 리징성 평가는 인장시편을 15% 인장한 다음 표면조도를 측정하여 평가하였다. 소성변형비(r 값)를 측정하기 위해 압연방향에 대해 0, 45, 90° 방향으로 시편을 절단하여 인장시편을 가공한 다음 15% 인장 변형하였다. r 값 측정은 인장시험 전후의 폭 변화를 측정하여 계산하였다. 집합조직 분석은 3개의 극점도[(110), (200), (211)]를 측정한 다음 서울대에서 개발된 ODF 해석 프로그램을 사용하였다. EBSD 측정은 SEM(Philips XL30) 에 부착된 TSL 사의 OIM(Orientation Imaging Microscopy, Ver 2.6) System 을 이용하여 on-line 으로 측정하였다.

Table 1 Chemical compositions (wt%)

	C	Si	Mn	Cr	N
430	0.048	0.37	0.42	16.4	0.037

Table 2 Hot rolling and annealing conditions

	Annealing Conditions	
	Batch Ann.	Continuous Ann.
Hot Rolled	830°C, 5 hr	960°C, 1 min
Cold Rolled	850°C, 5 hr	860°C, 5 sec

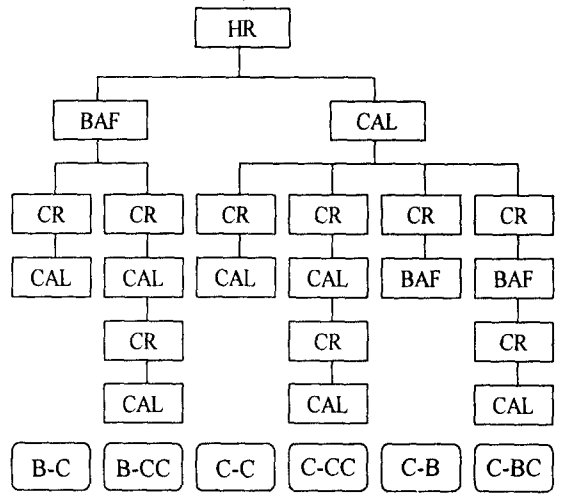


Fig. 1 Cold rolling and annealing process

- HR : Hot Rolling
- CR : Cold Rolling
- BAF : Batch Annealing Furnace
- CAL : Continuous Annealing Line

3. 실험결과 및 고찰

Fig.2 는 열연 소둔 조건별 2 단 냉연 및 중간소둔 조건 변화에 따른 r 값 변화를 나타낸 것이다. 열연 상소둔한 것에 비해 열연 연속소둔한 경우에는 r 값이 상당히 낮으며 2 단 냉연에 의해 현저하게 향상되는 것을 보여주고 있다. Fig.3 은 열연 소둔 조건별 2 단 냉연 및 중간소둔 조건 변화에 따른 리징 높이 변화를 나타낸 것이다. 열연 소둔조건에 상관없이 냉연 연속소둔한 경우에는 리징높이가 유사한 반면에 냉연 상소둔을 실시하면 리징 높이가 현저하게 낮아지는 것을 보여주고 있다. 또한 2 단 냉연에 의해 리징 높이가 낮아지는 것을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 열연 소둔 및 냉연 소둔조건에 따라서 성형성 및 리징성이 달라지며 2 단 냉연에 의해 품질특성 개선 효과가 있음을 알 수 있다. 이와 같이 제조공정에 따라서 품질특성이 변화하는 이유를 집합조직 및 미세조직 형성 측면에서 고찰해 보고자 한다.

각 제조공정별 조직사진을 Fig.4 에 나타내었다. 열연 상소둔을 하면 열연판에 존재하는 오스테나이트상(냉각 후 마르텐사이트상)이 완전히 분해되어 페라이트+탄화물로 존재하는 반면에 연속소둔을 행하면 완전히 분해되지 않고 약간 잔존하고 있는 것을 보여주고 있다. 여기에는 나타내지 않았지만 냉연판의 조직에 있어서는 열

연 연속소둔을 행한 강(C-C)은 열연 소둔 후 잔존하는 오스테나이트 상의 띠를 따라서 결정립이 미세한 것을 보여주고 있으며 압하율이 낮을수록 이러한 현상이 더 뚜렷하게 나타난다. 또한 결정립의 모양이 압연방향으로 연신되어 있으며 부위별로 결정립 크기가 유사한 결정립 끼리 모여 있는 결정립군(群)이 형성되어 있는 것을 보여주고 있다. 반면에 열연 연속소둔 후 냉연 상소둔을 행한 강(C-B)은 결정립이 미세하며 부위별로 균일한 등축 결정립 조직을 보여주고 있다. 이러한 결정립군의 존재 유무를 나타내는 미세조직 차이에 의해 리징성이 차이를 나타내는 것으로 생각된다. 이러한 차이를 명확히 하기 위해 EBSD 측정을 행하였다.

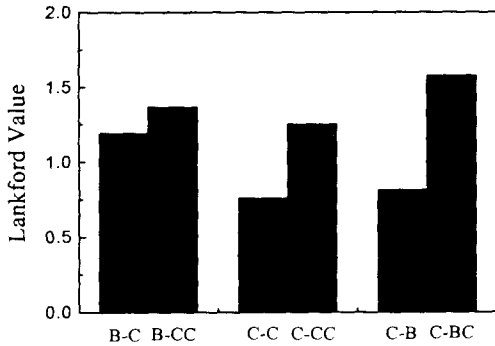


Fig. 2 Comparison of Lankford value with process conditions

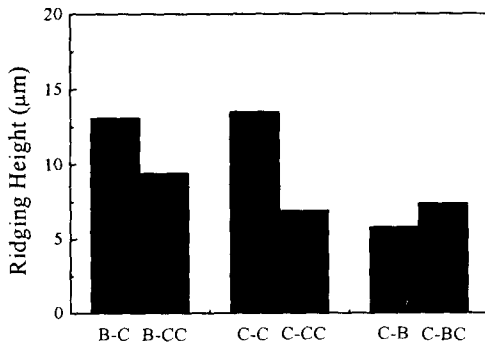


Fig. 3 Comparison of ridging height with process conditions

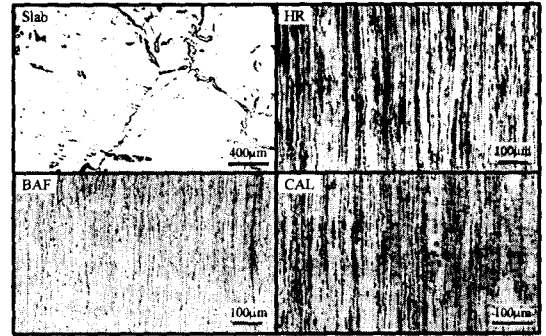


Fig. 4 Microstructure variation with annealing conditions of hot band

Fig.5는 제조공정 변화에 따른 각 공정별 두께 중심부의 집합조직을 측정된 결과이다. 열연소둔판은 열연 상소둔이나 열연 연속소둔이나 강한 α -fiber를 나타내고 있는데 rolling texture인 α -fiber가 형성되어 있다는 것은 열연판의 소둔시 재결정이 충분히 일어나지 않고 있다는 것을 의미한다. 그런데 냉간압연을 행하면 열연 소둔조건에 따라 집합조직이 달라지는 것을 알 수 있다. 열연 상소둔재의 경우 냉간 압하율이 증가함에 따라 α -fiber가 증가하며 냉연판 소둔을 행하면 γ -fiber가 잘 발달하는 반면에, 열연 연속소둔을 행한 경우에는 냉간 압하율이 증가함에 따라 α -fiber가 감소하고 있으며 냉연판 소둔을 행하면 무질서한 집합조직을 형성하게 된다. 한편 1차 냉간압연한 것을 중간소둔한 다음 2차 냉간압연을 하게 되면 열연 소둔조건에 상관없이 γ -fiber가 잘 발달하며 결국 최종 소둔판에서도 γ -fiber의 강도가 높게 된다.

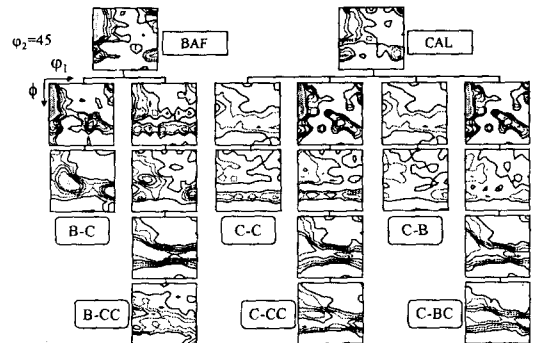


Fig. 5 ODF contour plots for center layer at each process stage

참 고 문 헌

이상과 같이 집합조직 형성과 미세조직을 비교해 본 결과 열연 연속소둔 후에 γ -fiber 가 감소하고 집합조직이 무질서화 되는 것은 열연 연속소둔 후에 오스테나이트상이 잔존하기 때문으로 생각된다. 냉간압연 전에 오스테나이트상이 잔존하게 되면 오스테나이트상 주위에 변형이 축적되어 변형 에너지가 높게 되고 이 부위에서 무질서한 방위를 가지는 핵이 우선적으로 생성되어 성장하기 때문에 γ -fiber 가 적게 형성되는 것으로 설명할 수 있다. 또한 열연판을 1 차 냉연하면 α -fiber 가 형성되는 반면 1 차 냉연 소둔판을 2 차 압연하면 γ -fiber 가 강하게 형성되는데 이러한 차이는 초기 방위에 따라서 최종 변형 안정 방위가 다르게 형성되는 것으로 설명할 수 있다⁽⁵⁾. BCC 금속의 최종 안정방위는 (1) $\langle 011 \rangle$ 방향이 압연방향(RD)에 평행한 α -fiber 와 (2) $\langle 111 \rangle$ 방향이 압연면 법선방향(ND)에 평행한 γ -fiber 가 알려져 있다⁽⁶⁾. 따라서 α -fiber 가 형성되어 있는 열연 소둔판을 1차 냉연하면 γ -fiber 가 강하게 형성되며 1차 냉연 소둔 후에 γ -fiber 가 형성된 상태에서 2 차 냉간압연을 하면 γ -fiber 가 발달하게 된다. 이와 같은 이유로 압연과 소둔을 반복하는 2 단 냉연에 의해 α -fiber 는 점점 줄어들게 되며 최종 소둔시 γ -fiber 가 강하게 형성되는데 이에 따라 r 값이 증가할 뿐만 아니라 리징성이 개선되는 효과를 얻을 수 있는 것으로 설명할 수 있다.

4. 결 론

(1) 열연 연속소둔을 하게 되면 열연 상소둔한 것에 비해 r 값은 낮아지는데 이는 냉연 전에 잔존하는 오스테나이트상에 의해 최종 집합조직이 무질서화되어 γ -fiber 가 잘 발달하지 않기 때문이다

(2) 열연 연속소둔 후에 냉연 상소둔한 것이 리징 높이가 가장 낮게 나타났으며 이는 결정립군이 존재하지 않는 미세하고 균일한 등축 결정립 조직을 가지기 때문이다. 따라서 리징성은 X-ray 측정에 의한 통계적인 집합조직 보다는 미세조직과 더 관련이 있는 것으로 생각된다.

(3) 냉간압연후 중간소둔을 실시한 2단 냉연 공정에 의해 r 값 및 리징성이 현저하게 개선되는 효과가 있었다. 이는 중간소둔에 의해 γ -fiber 가 잘 발달함과 동시에 결정립군이 파괴되기 때문으로 생각된다.

- (1) Sawatani, T., Yoshimura, H. and Ashiura, T., 1983, "Development of Continuous Annealing Process for 17%Cr Stainless Steel Strip", Nippon Steel Tech. Report, Vol. 21, p. 275.
- (2) Chao, H. C., 1967, "The mechanism of ridging in ferritic stainless steels", Trans. ASM, Vol. 60, p. 37.
- (3) Takechi, H., Kato, H., Sunami, T. and Kakayama, T., 1967, "On the mechanism of ridging phenomenon in 17%-Chromium stainless steel sheets", J. Jpn. Inst. Met., Vol. 31, p. 717.
- (4) Wright, R. N., 1972, "Anisotropic plastic flow in ferritic stainless steels and the roping phenomenon", Metall. Trans., Vol. 3, p. 83.
- (5) Taoka, T., Furubayashi, E. and Takeuchi, S., 1966, "Formation of Cold-Rolled Texture and recrystallized Texture in Single Crystals of 3% Silicon Iron", Trans. ISI, Vol. 6, p. 290.
- (6) 長嶋晋一, 1984, "集合組織", 丸善.