

페라이트계 스테인레스강의 집합조직 형성에 미치는 초기 방위 및 오스테나이트상의 영향

박수호, 이용득, 박찬경*

Effect of Initial Orientation and Austenitic Phase on Texture Evolution in Ferritic Stainless Steels

S. H. Park, Y. D. Lee, and C. G. Park*

Abstract

The effect of initial orientation on the microstructure and texture evolution of two ferritic stainless steels was investigated. The columnar and equiaxed crystal specimens which were prepared from continuous casting slab were hot rolled, annealed, cold rolled, and annealed, respectively. The rolling and recrystallization textures at each process stage were examined by orientation distribution function (ODF) and electron back-scattered diffraction (EBSD). The observation showed that the orientation density of the α -fibre of hot rolled band of columnar crystal specimen was more pronounced than that of the equiaxed one at the center layer. Nevertheless, the cold rolled textures of Type 430 steel have demonstrated a rather similar development. Compared to Type 430 steel the development of the α -fibre in the center layer of Type 409L steel was much more pronounced. The relation between texture evolution and ridging behaviour has been discussed.

1. 서론

페라이트계 스테인레스강을 프레스 성형할 때 압연방향을 따라서 줄무늬 모양의 요철이 형성되는데 이러한 표면결함을 리징(ridging)이라고 부른다. 성형 후에 이러한 표면결함을 제거하기 위해 추가의 표면연마 공정을 거쳐야 하기 때문에 제조원가가 상승되는 요인이 되고 있다. 이와 같은 리징 발생 현상을 설명하기 위해서 집합조직의 불균일성에 기인한 몇가지 이론적인 모델이 제안되어져 있다^{1~3)}. 이러한 모델은 압연방향으로 길게 늘어선 결정립군(grain colony 또는 grain cluster) 즉 동일한 방위를 가지고 있는 결정립의 집합체가 존재한다고 하는 가정을 전제로 하고 있다. 특히 이와 같이 {001}<110> 방위를 가지는 이러한 결정립군은 주조조직 중의 주상정에 기인하는 것으로 알려져 있다. 그런데 지금까지 결정립군의 존재가 확실하게 밝혀져 있지 않아서 리징 현상의 명확한 발생기구에 대해서 아직까지도 논쟁의 대상이 되고 있는 실정이다.

포항제철 기술연구소 스테인레스연구그룹

*포항공과대학교 재료금속공학과

최근에 두께부위별 집합조직의 분석^{4~6)}과 EBSD (Electron BackScatter Diffraction) 에 의해 각 결정립의 결정방위를 측정하는 새로운 집합조직 분석 방법^{7~9)}에 근거한 새로운 리징 발생기구가 제안되고 있다. 따라서 본 연구에서는 조대한 결정립군의 존재 및 두께부위별 집합조직 차이와 리징 현상과의 상관성을 확인하기 위해 조대한 결정립군의 형성 및 집합조직 형성에 미치는 주조조직 부위별 초기방위의 영향 및 페라이트 중의 오스테나이트상의 영향에 대해서 조사하고자 하였다.

2. 실험방법

실험에 사용된 시편의 화학성분을 Table 1 에 나타내었으며 430 강은 약 35%의 오스테나이트상을 함유하며 409L 강은 페라이트 단상이다. 시편은 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 연속주조 슬라브의 주상정 부위와 등축정 부위에서 채취하였다. 제조조건은 Table 2 에 나타내었으며 각 제조공정별로 시편을 채취하여 현미경 조직관찰과

집합조직을 측정하였다. 리징성 평가는 인장시편을 15% 인장한 다음 표면조도를 측정하여 평가하였다. 집합조직 분석은 3개의 극점도[(110), (200), (211)]를 측정한 다음 서울대에서 개발된 ODF 해석 프로그램을 사용하였으며 두께별로 표층부와 t/4 그리고 중심부를 측정하였다. 또한 두께별 집합조직 측정 데이터를 가지고 소성변형비를 계산하였다. EBSD 측정은 SEM(Philips XL 30)에 부착된 TSL사의 OIM(Orientation Imaging Microscopy, Ver 2.6) System 을 이용하여 on-line 으로 측정하였다.

Table 1 Chemical compositions (wt%)

	C	Si	Mn	Cr	Ti	N
430	0.048	0.37	0.42	16.4	-	0.037
409L	0.008	0.56	0.25	11.4	0.23	0.009

Table 2 Hot rolling and annealing conditions

	430	409L
Reheating Temp.	1200℃	
Finishing Temp.	930℃	
Hot Roll Ann.	850℃, 5 hr	930℃, 1 min
Cold Roll Ann.	860℃, 30 sec	930℃, 30 sec

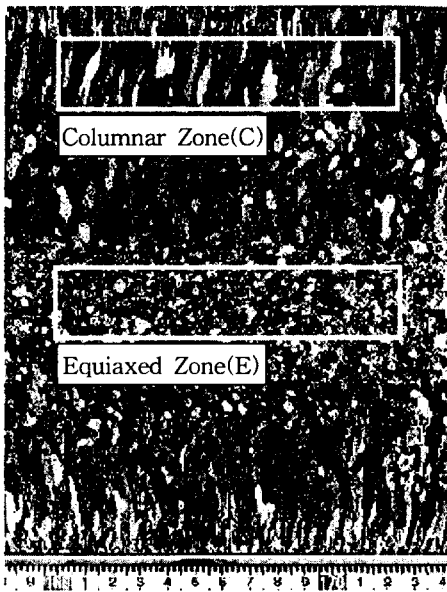


Fig. 2 Microstructure of continuous cast slab

3. 실험결과

Fig. 2 는 리징성 평가결과를 나타낸 것이다. 이 그림에서는 두가지 중요한 결과를 보여주고 있는데 먼저 주상정시편의 리징 높이가 등축정시편에 비해 높게 나타났으며, 430 강에 비해 409L 강의 리징 높이가 현저하게 높게 나타났다. 이러한 리징 거동의 차이를 설명하기 위해 미세조직 관찰과 극점도에 의한 두께별 집합조직 분석 그리고 EBSD 에 의한 결정립군의 존재를 확인하고자 하였다.

430 강의 열연 및 냉연소둔판의 조직관찰 결과, 열간압연 중에 존재하는 오스테나이트상이 조대한 주조조직을 미세화시켜 냉연소둔판에서는 표층부나 두께 중심부나 비교적 균일한 결정립 크기를 보여주고 있다. 반면에 409L 강의 열연소둔판의 경우 430 강에 비해 두께 중심부에 조대한 주조조직이 그대로 남아 있으며 이것이 냉연소둔후에도 영향을 미쳐서 두께 중심부에는 결정립 크기가 조대한 것을 나타내고 있다. 즉 주조조직에 기인한 조대한 결정립군이 형성되어 있는 것을 알수 있다.

Fig. 3 은 각 제조공정별 두께 중심부 집합조직의 α -fiber 및 γ -fiber 변화를 나타낸 것이다. α -fiber 의 강한 {001}<110> 집합조직은 주상정의 {001}<uvw> 집합조직에서 발달한 것이다. 등축정시편에 비해 주상정시편의 α -fiber 강도가 높고 430 강에 비해 409L 강의 α -fiber 강도가 높게 나타났다. 대부분의 시편은 냉연소둔판의 α -fiber 강도가 낮고 γ -fiber 는 높은 반면에 409L 의 주상정 시편은 α -fiber 강도가 높고 γ -fiber 는 낮은 것을 보여주고 있다. 이러한 결

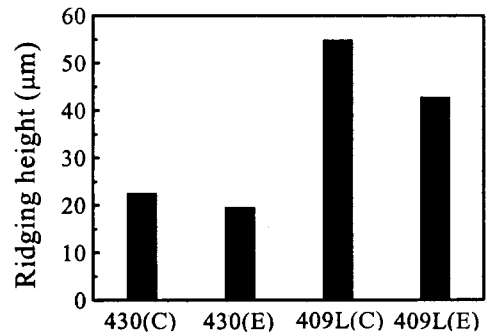


Fig. 3 Measurement of ridging height.

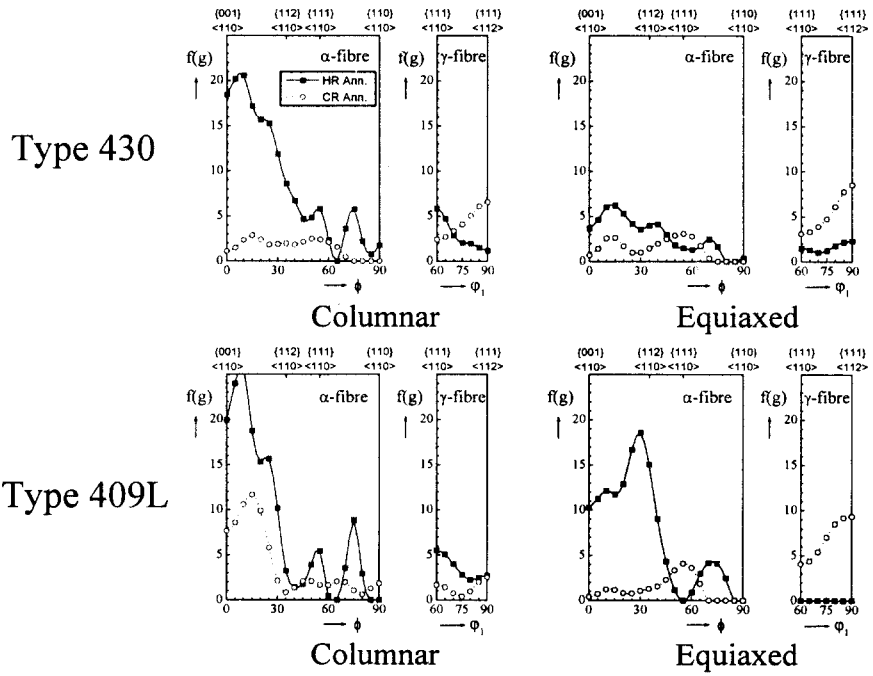


Fig. 6 The α -fiber and γ -fibers for the center layer at each process stage.

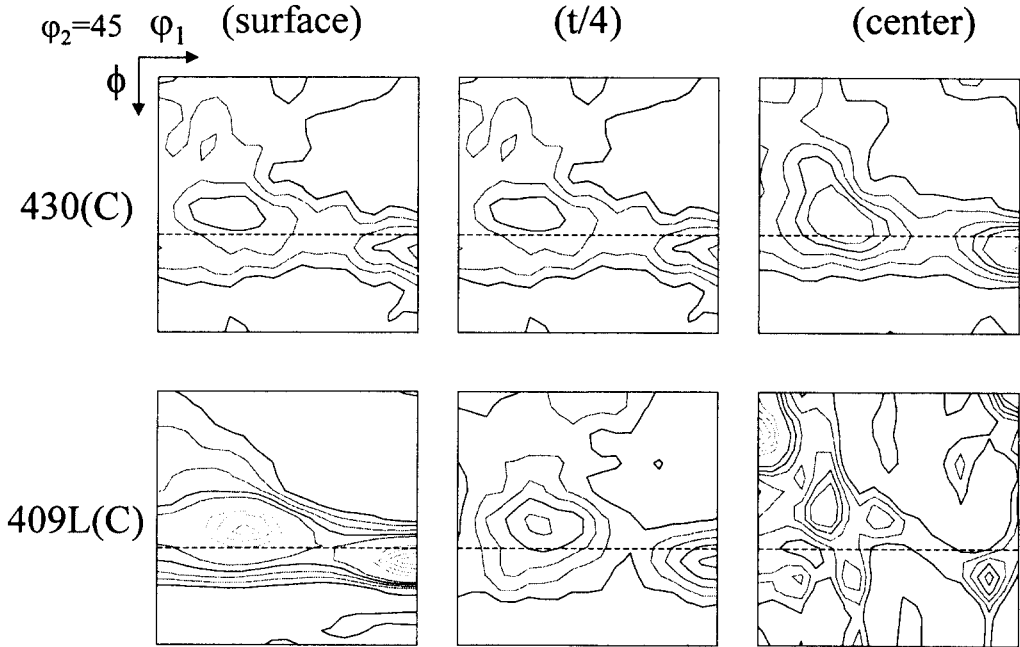


Fig. 7 The α -fiber and γ -fibers for three layers through thickness after final annealing.

과로부터 냉연소둔판의 α -fiber 강도가 높은 것이 리징 높이가 높게 되는 것을 알수 있다.

Fig. 4 는 냉연소둔판의 두께별 집합조직을 나타낸 것인데 430(C) 강은 두께별 집합조직이 유사한 것을 보여주고 있는 반면에 리징 높이가 가장 높은 409L(C) 강은 두께별 집합조직이 큰 차이를 보여주고 있다. 결국 두께별로 집합조직이 다르게 됨에 따라서 두께별로 소성변형거동이 차이를 보일 것으로 예상되기 때문에 이것이 리징을 발생시키는 하나의 요인으로 작용할수 있을 것으로 생각된다. 따라서 이러한 것을 확인하기 위해 집합조직 분석 데이터로부터 Taylor 이론을 이용하여 두께별 소성변형비를 계산해 보았다. Fig. 5 의 소성변형비 계산 결과에서 보는 바와 같이 두께별로 소성변형비의 구배가 큰 409L 주상정시편이 리징 높이가 가장 높게 되는 것을 알수 있다.

이상의 결과로부터 리징현상과 미세조직 및 집합조직과의 상관성에 대해서 정리해 보면 미세조직 측면에서는 두께별로 결정립크기의 불균일 정도가 크거나 조대한 결정립군이 강하게 발달할수록 리징 높이가 높게 되며 집합조직 측면에서는 α -fiber 강도가 강할수록 그리고 두께별 집합조직 불균일성이 클수록 리징성이 나빠지는 것을 알수 있다.

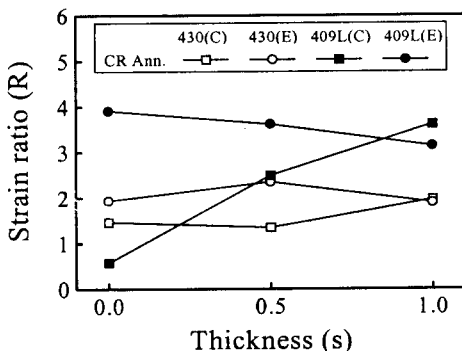


Fig. 8 Calculated strain ratio(R-value) as a function of the sample depth.

4. 결론

1) 430 강의 경우에는 초기조직 즉 주조조직 부위에 상관없이 미세한 결정립을 가지고 있고 또한 두께별로 균일한 집합조직을 나타내고 있다. 따라서 주상정시편과 등축정시편 간에 리징 높이가 큰 차이를 보이지 않고 있다. 이러한 거동은 열간압연시 존재하는 오스테나이트상에 의해 압연 및 재결정시에 주조조직이 많이 깨어지기 때문으로 생각된다.

2) 409L 강의 주상정 시편은 심한 리징 현상을 나타내었는데 이는 조대한 결정립군의 존재와 두께별 집합조직 및 미세조직 불균일에 기인하는 것으로 생각된다.

5. 참고자료

1. H. C. Chao : Trans. ASM, 60(1967), 37-50.
2. H. Takechi, H. Kato, T. Sunami, and T. Kakayama : J. Jpn. Inst. Met., 31(1967), 6, 717-723.
3. R. N. Wright : Metall. Trans., 3(1972), 1, 83
4. M. Holscher, D. Raabe, and K. Lucke : Steel Research, 62(1991), 12, 567-575.
5. G. Abbruzzese, S. Fortunati, A. Campopiano, and L. Micucci : Processes and Materials Innovation Stainless Steel.(1993), 345-351.
6. H. M. Kim, and J. A. Szpunar : Mater. Sci. Forum, 157-162(1994), 753-760.
7. K. Bethke, M. Holscher, and K. Lucke : Mater. Sci. Forum, 157-162(1994), 1137-1144.
8. M. Brochu, T. Yokota, and S. Satoh : ISIJ Int., 37(1997), 9, 872-877.
9. N. J. Wittridge, and R. D. Knutsen : Thermo-Mechanical Processing in Theory, Modelling & Practice [TMP](1997), 390-397.