

Ti 첨가 극저탄소강의 재결정거동에 미치는 석출물의 영향

최재영, 이후철
서울대학교 재료공학부

극저탄소강의 우수한 냉간가공성 때문에 많은 양의 극저탄소강이 생산되어 사용되고 있다. 그와 함께 Ti첨가 극저탄소강의 높은 소성변형비 해석을 위한 기구를 이해하기 위해 많은 노력이 행해지고 있다¹⁻³. 극저탄소강의 디이프 드로잉성(deep drawability)에 미치는 Ti의 효과에 대한 몇가지 기구들이 제안되었다. : 1) 고용체로부터 탄소와 질소를 제거하여 안정한 석출물을 만드는 스케빈징 효과(scavenging effect), 2) TiC 석출물의 분산에 의한 (111) 집합조직의 조장, 3) 고용체에서의 치환형 원소의 효과⁴. 그러나 이러한 극저탄소강의 우수한 성질에도 불구하고 Ti 첨가 극저탄소강은 높은 재결정온도를 가지는 단점이 있다. Hayakawa⁵는 재결정온도가 Ti첨가에 의해서 급격하게 증가하다가 고용 Ti이 영이 될 때 최대에 도달하며, 미세한 TiC 석출물의 양이 감소함에 따라 재결정온도가 감소한다고 발표하였다. 그러나 Ti 첨가 극저탄소강의 재결정 온도에 미치는 석출물과 고용 Ti의 효과에 대한 보고들은 여전히 연구자들 사이에 논쟁의 대상이 되고 있다. 이번 연구에서는 Ti 첨가 극저탄소강의 재결정에 미치는 석출물의 효과를 투과전자현미경을 통해서 조사하였다.

이번실험에 사용된 강의 조성표를 Table 1 에 나타내었다. 열처리경로는 다음과 같다. 30mm의 강재를 열간압연을 통해 3mm까지 압연한 후 코일링 모사를 위해 720℃에서 한 시간동안 유지한 후 상온까지 로냉하였다. 열간압연 후 결정립 평균 크기는 20 μ m이다. 70% 윤활 냉간압연 후 재결정 열처리를 위해 염욕에서 2분간 어닐링하였다.

Table 1. Chemical composition of steels(wt%)

	C	Mn	P	S	Al	Ti	N	Fe
A	0.0068	0.099		0.013	0.038	0.026	0.0008	bal
B	0.0070	0.10	0.001	0.013	0.053	0.082	0.0010	bal

Fig.1 은 어닐링 온도에 따른 경도 변화를 보여준다.

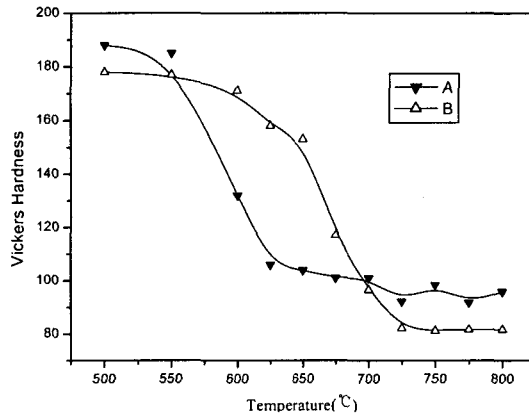


Fig.1 Variation of hardness with the annealing temperature

A강이 B강보다 재결정이 빨리 일어난다. A강의 재결정 온도가 B강의 재결정 온도보다 30°C 정도 낮다. A강이 B강보다 재결정이 빠름에도 불구하고, TiC 석출물의 몰 분율은 A강의 경우 5.32×10^{-4} 으로 몰 분율이 2.2×10^{-4} 인 B강보다 두 배 정도 많다. Fig.2 는 650°C에서 2분간 어닐링한 시편의 석출물의 분포를 보여준다. A강의 경우[Fig.2(a)], 석출물들이 대부분 결정립내에서 관찰되고, 결정립계에서는 거의 발견되지 않았다. 그러나 B강의 경우[Fig.2(b)], 많은 수의 석출물들이 결정립계에서 관찰되었으며 이러한 석출물들이 결정립계와 효과적으로 상호작용하여 결정립계 이동을 억제하였다.

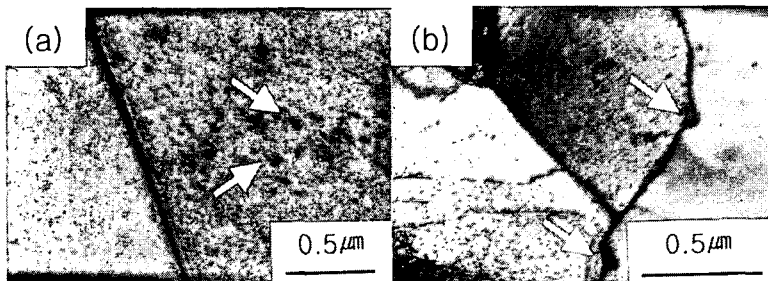


Fig.2 TEM micrographs annealed at 650°C for 2 minutes
(a) steel A (b) steel B

결정립계에서 관찰한 석출물의 STEM 상과 EDS 스펙트럼을 Fig.3 에 나타내었다. 이러한 석출물들은 TiC 상으로 분석되었으며 크기는 약 30nm이다.

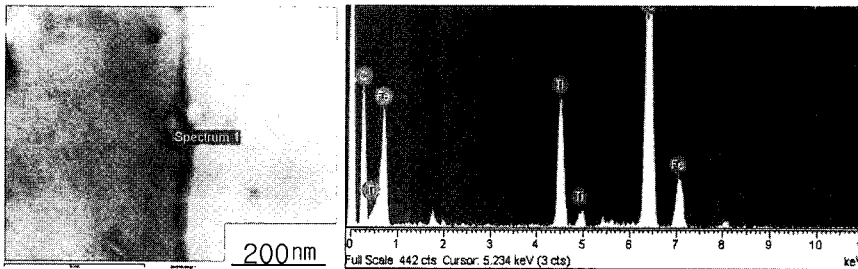


Fig-3. STEM image(a) and EDS spectrum(b) of a fine precipitate in steel B

Fig.4 는 A강의 결정립내에서 석출한 석출물들의 현미경 사진이다. 전자회절[Fig.4(c)] 분석에 의해서 이러한 석출물들도 TiC로 확인되었다. B강에서 TiC 석출물의 양이 적음에도 불구하고, TiC 석출물이 A강보다 B강에서 결정립계와 더욱 효과적으로 상호작용하고 있었다.

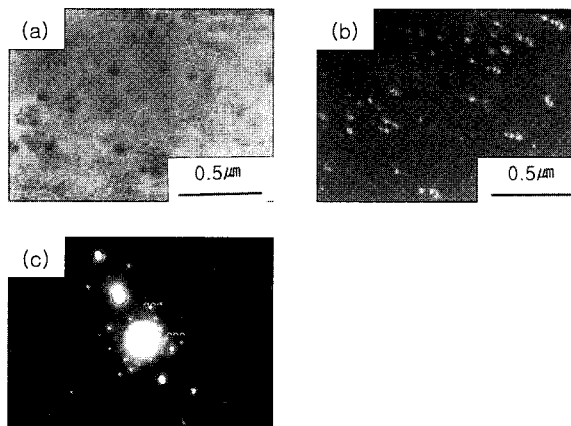


Fig-4. TEM micrographs

- (a) bright field image
- (b) dark field image
- (c) diffraction pattern

위의 연구로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다. 강에 따라서 결정립계에 석출하는 석출물의 수가 다르며, 결정립계에 석출한 석출물의 양이 석출물의 전체 양보다 극저탄소강의 재결정거동을 더 중요한 영향을 미쳤다.

참고문헌

- 1) S. Nagashima : Proc. ICOTOM 6, ISIJ, Tokyo, (1982), 8
- 2) I. Kokubo et al : Tetsu-to-Hagane, 59 (1973), 469
- 3) T. Sato et al : CAMP-ISIJ, 4 (1991), 824
- 4) R. Yoda et al : ISIJ International, 34 (1994), 70
- 5) H. Hayakawa et al : Tetsu-to-Hagane, 69 (1983), S594