

저탄소강의 초기 미세조직에 따른 기계적 성질과 시멘타이트거동

이종철[#] · 강희구¹ · 이종원¹ · 오창석² · 김성준² · 남원종¹

Effect of Prior Microstructures on the Behavior of Cementite and Mechanical Properties in Low Carbon Steels

Jong Chul Lee, Ui Gu Kang, Jung Won Lee, Chang Seok Oh, Sung Joon Kim, Won Jong Nam

(Received June 24, 2009 / Revised July 21, 2009 / Accepted September 18, 2009)

Abstract

The effect of prior microstructures on mechanical properties in low carbon steels were examined by comparing the behavior of cementite and mechanical properties of cryo-rolled and subsequently annealed steels. Prior microstructures consisted of ferrite + pearlite, bainite or martensite. Steels, consisting of bainitic microstructure, exhibited the better combination of strength – ductility than steels with other prior microstructures, such as ferrite + pearlite and martensite.

Key Words : Cryogenic Rolling, Low Carbon Steel, Ultrafine Grain, Baintie, Martensite

1. 서론

오랜 기간 많은 연구자들에 의해서 철강 구조 재료의 강도대비 연성을 비약적으로 증가시키기 위한 많은 노력이 있었으며, 그 결과 TWIP, TRIP, dual phase, martensite 강에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 그러나, TWIP, TRIP 강은 Mn, Ni, Cr 등 많은 양의 합금원소가 첨가하게 되므로 친환경적인 측면에서 적합한 재료로서 바람직하지 않다. 따라서 친환경적인 저합금, 저탄소강의 프로세싱을 통한 강도대비 연성을 증가시킬 수 있는 기술이 필요하게 되었다[1~3].

저합금, 저탄소 마르텐사이트강을 초기 미세조직으로 이용하면 특별한 강가공 없이 냉간 압연만을 이용하여 높은 기계적 강도를 얻을 수 있다. 그러나 이후 어닐링 열처리 시 충분한 연성을 확보하지 못하는 문제가 남아있다. 이는 마르텐사이트

변태 시 래스 계면에 남아있는 잔류오스테나이트의 분해로 인하여 기계적 성질에 좋지 않은 영향을 끼치는 것으로 분석되었다[4~6].

따라서 본 연구에서는 초기조직을 계면에 잔류오스테나이트가 존재하지 않는 베이나이트 저탄소강을 사용 하였으며, 일반적인 냉간 압연에 비해 더 많은 가공을 부여 할 수 있는 극저온 압연을 도입하였다. 더욱이 극저온 압연은 냉간 압연에 비하여 더 많은 양의 전위가 축적됨으로써 이후 어닐링 시 발생하는 재결정과 석출의 구동력을 증가시키고, 더 낮은 온도에서 미세한 결정립과 석출물을 얻을 수 있는 장점을 기대할 수 있었다[7, 8].

2. 실험 방법

본 연구에서는 일반적으로 열간 압연된 초기

1. 국민대학교 신소재공학부

2. 재료연구소 철강재료연구그룹

교신저자: 국민대학교 신소재공학부 대학원,

E-mail: dlvmflem19@hotmail.com

두께 5mm 의 저탄소 판재 강을 사용하였으며 합금성분은 Table 1 과 같다.

초기 미세조직은 마르텐사이트, 베이나이트, 페라이트+펄라이트 3 가지로 설정하였다. 마르텐사이트는 1323K 에서 30 분간 오스테나이징 이후 상온의 물에서 퀴칭하였고, 베이나이트는 같은 조건의 오스테나이징 실시 이후 593K 의 염욕에서 30 분간 항온 열처리를 하였으며, 페라이트+펄라이트는 같은 조건의 오스테나이징 이후 상온에서 서서히 냉각 하였다. 극저온 압연은 액화질소(76K)에서 15 분간 침적한 뒤, 최종 압하율 65%까지 압연을 실시하였다. 어닐링 열처리는 각 조건에서 573K 부터 873K 까지 50K 간격으로 3 분에서 1 시간까지 다양하게 실시 하였다.

기계적 성질은 비커스 경도(HRC 500g)와 로크웰 경도(HRC), 그리고 인장시험을 실시 하였다. 인장 시험은 상온에서 압연방향으로 $6 \times 10^{-4} s^{-1}$ 의 변형 속도와 ASTM subsize 규격으로 실시하였다. 미세 조직 관찰은 압연방향으로 기계적 연마 후 10% perchloric acid + 90% acetic acid 용액으로 20V와 상온의 온도에서 twin jet polishing 하여 TEM으로 관찰하였다.

Table 1 Chemical composition of low carbon steel

C	Mn	Si	P	S	Fe
0.15	1.46	0.21	0.006	0.002	-

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 기계적 성질

3.1.1 경도시험

저온 미세조직인 마르텐사이트와 베이나이트의 가공방의 따른 효과를 알아보기 위해 경도시험을 실시하였다(Fig. 1-(a)). 마르텐사이트의 초기 경도값 41 에서 극저온 압연으로 인하여 경도값 46 으로 5 가 증가하였으나, 베이나이트는 28 로부터 38 로 10 이 증가하였다. 이는 마르텐사이트로 상변태시 도입된 높은 전위밀도에 기인되며 또한 극저온 가공의 효과가 크지 않은 것으로 판단 되었다. 한편 상대적으로 베이나이트의 경우에는 전위밀도가 높지 않아 가공경화 효과가 상대적으로 크게 관찰되었다.

이후 어닐링의 효과를 측정하기 위하여 각 어닐링 조건에서 비커스 경도시험을 측정하였다(Fig. 1-(b), (c)). 그 결과 초기 경도값은 베이나이트에

비해 마르텐사이트가 현저히 높은 값을 보였으나, 어닐링을 실시 함에 따라 경도 값의 감소폭은 더 크게 관찰 되었다. 그리고 873K 온도에서 어닐링 했을 때 경도 값이 유사해짐을 알 수 있었다.

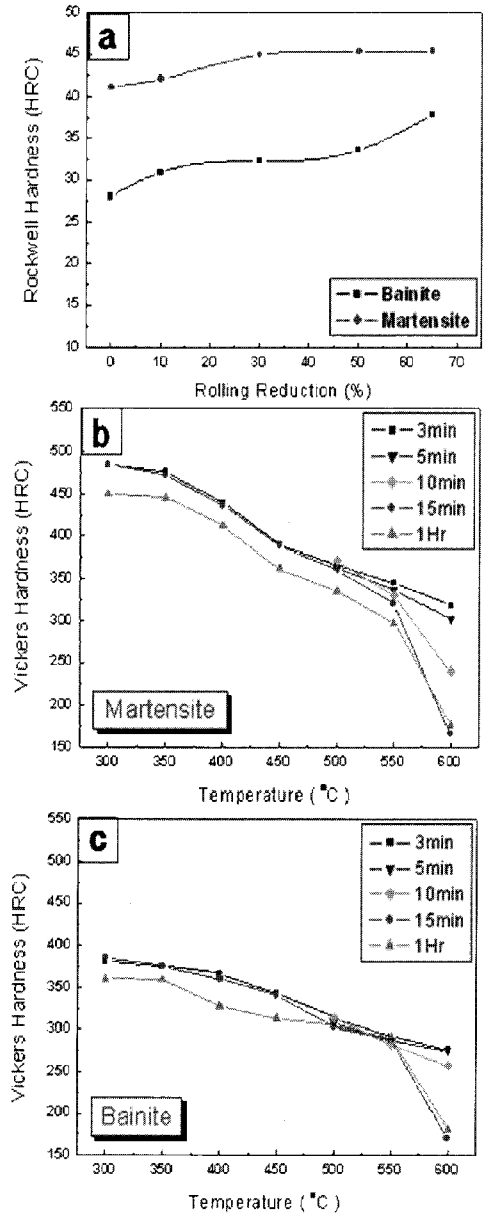


Fig. 1 (a) Rockwell hardness (HRC) of martensite and bainite for different rolling reduction, and Vickers hardness of cryo-deformed (b) bainite and (c) martensite at various annealing temperatures

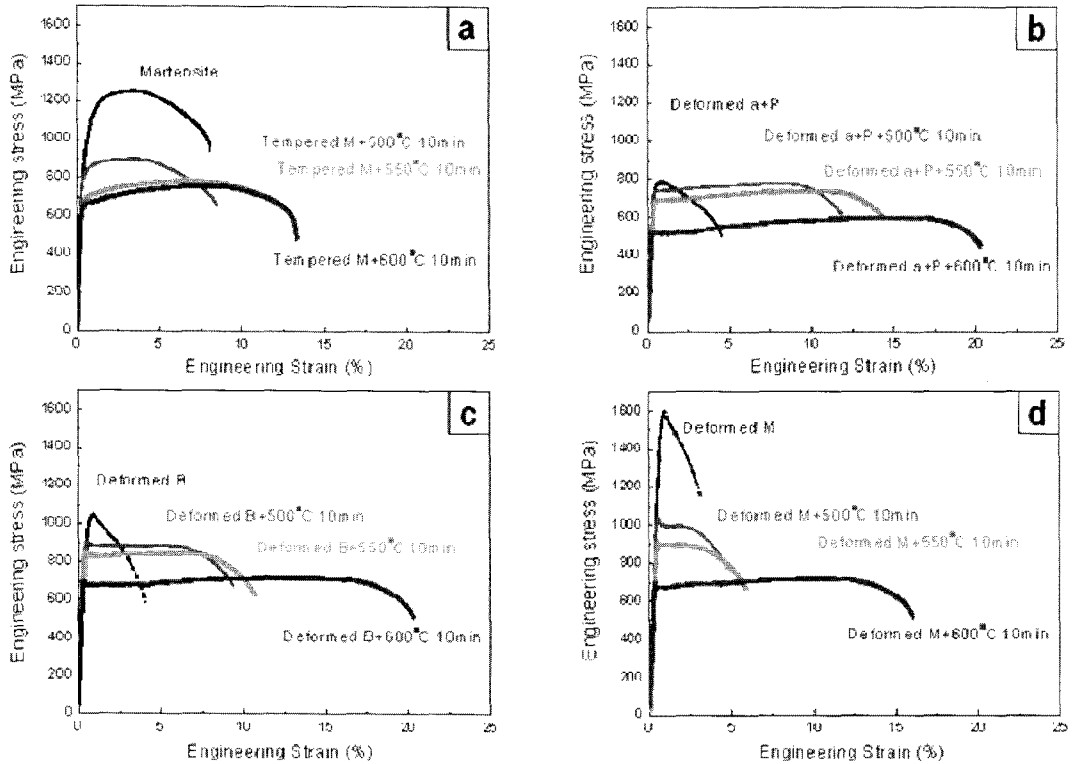


Fig. 2 Engineering stress-strain curves of low carbon steels, (a) annealed with a prior microstructure of martensite, (b) cryo-rolled and subsequently annealed with a prior microstructure of ferrite + pearlite, (c) bainite and (d) martensite

3.1.2 인장시험

경도시험을 토대로, 각 어닐링 조건에서 10 분 동안 어닐링한 시편을 인장시험하였다(Fig. 2-(a)-(d)).

초기 마르텐사이트의 기계적 강도는 1300MPa 이었으며, 극저온 가공을 통하여 1600MPa 로 증가 하였다. 베이나이트 역시 극저온 가공 이후 1050MPa 의 강도를 보이며 1GPa 이 넘는 고강도를 이루었다. 반면에, 페라이트+펄라이트의 극저온 가공된 시편은 800MPa 수준에 머물며 강도는 상대적으로 낮았지만 이후 어닐링 열처리 시 가장 적은 양의 강도 감소폭을 보이며 재결정 온도 이하인 773K, 823K 에서 어닐링 했음에도 10%이상의 비교적 높은 연성을 확보 할 수 있었다(Fig. 2-(b)).

템퍼링한 마르텐사이트(Fig. 2-(a))와 극저온 가공된 마르텐사이트(Fig. 2-(d))의 기계적 성질을 비교했을 때, 723K, 823K 에서 극저온 가공된 마르텐사

이트가 강도는 더 높고 연성은 템퍼링한 마르텐사이트가 높았지만, 873K 온도에서 강도는 700MPa 로 동등하였으며 연성은 극저온 가공된 마르텐사이트가 16%로 13%보다 상대적으로 높은 값을 보였다.

마지막으로, 극저온에서 가공된 베이나이트는 (Fig. 2-(c)) 어닐링 시, 마르텐사이트 보다는 낮은 강도와 높은 연성을 페라이트 + 펄라이트 보다는 높은 강도와 낮은 연성 값을 나타내었다. 그러나 873K 온도의 어닐링에서, 마르텐사이트와 유사한 강도와 페라이트 + 펄라이트와 유사한 연성 값을 보이며 강도대비 연성으로 매우 우수한 기계적 성질을 보여주었다.

3.2 미세조직

마르텐사이트 조직의 강재를 통한 미세조직 개질에서는 (Fig. 3-(a), (b), 3-(e), (f)), 어닐링 온도를 증가시킴에 따라 잔류 오스테나이트의 분해로 생

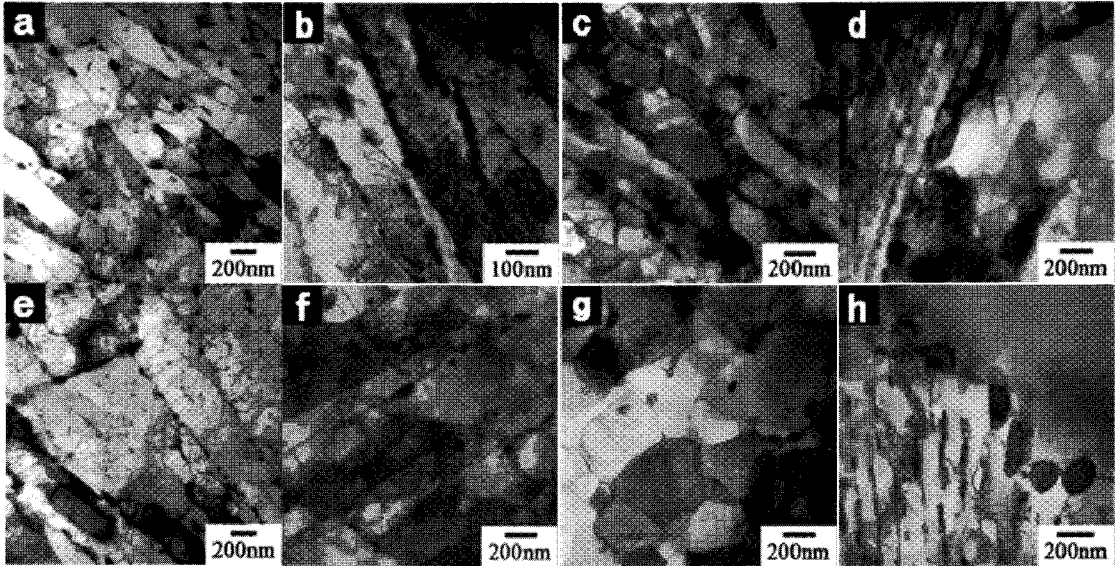


Fig. 3 TEM microstructures of low carbon steels, annealed at (a) 823K, (e) 873K for 10min with a prior microstructure of martensite, cryo-rolled and subsequently annealed at (b) 823K, (f) 873K for 10min with a prior microstructure of ferrite + pearlite, annealed at (c) 823K, (g) 873K for 10min with a prior microstructure of bainite, and annealed at (d) 823K, (h) 873K for 10min with a prior microstructure of martensite

성되는 입계 시멘타이트가 연성을 저하시키는 원인이 되었다[4-6]. 또한 이러한 입계 시멘타이트는 재결정되는 페라이트 결정립의 성장을 억제함으로써 200nm 수준의 미세한 페라이트 결정립을 이루었다. 반면, 페라이트와 펄라이트를 통한 미세조직 개질은 어닐링 시 펄라이트내에 존재한 시멘타이트의 분절 및 구상화가 관찰되고 페라이트 부분은 재결정 및 성장이 발생하여 강도를 감소시켰으나 충분한 연성을 확보할 수 있게 되었다(Fig. 3-(d), (h)). 한편 베이나이트를 통한 미세조직 개질은 300-400nm 범위의 결정립과 결정립 내에 무작위로 분포된 미세한 탄화물을 통하여 계면에 시멘타이트가 존재하는 마르텐사이트보다도 우수한 기계적 성질을 이룰 수 있었다(Fig. 3-(c), (g)).

4. 결론

0.15C 강의 초기 미세조직(페라이트+펄라이트, 베이나이트, 마르텐사이트)에 따른 극저온 가공과 열처리를 통하여 시도된 고강도 페라이트강의 미세조직을 분석하고 기계적 특성을 평가하였으며, 탄화물 거동을 분석하였다.

(1) 페라이트+펄라이트를 통한 미세조직 개질은 마르텐사이트와 베이나이트에 비하여 낮은 강도를 얻었지만, 20%의 충분한 연성을 확보할 수 있었다. 이는 페라이트 결정립 성장과 펄라이트내에 분포된 시멘타이트의 분절 및 구상화에 기인하였다.

(2) 극저온 가공된 마르텐사이트와 템퍼링한 마르텐사이트에서는 미세한 결정립을 통하여 1000MPa 의 높은 강도를 보였지만, 어닐링 시 잔류오스테나이트의 분해로 래스 계면에 존재하는 시멘타이트가 베이나이트에 비해 낮은 연성 값을 보이는 원인이 되었다.

(3) 그러나, 베이나이트는 300-400nm 의 미세한 결정립과 결정립 내에 무작위로 존재하는 탄화물을 통하여 마르텐사이트의 강도와 페라이트+펄라이트의 연성에 유사한 우수한 기계적 성질(700MPa, 20%)을 보였다.

후기

본 연구는 지식경제부에서 시행한 소재원천기술개발사업의 지원으로 수행된 연구결과로 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] D. Wu, Z. Li, 2006, Effect of thermomechanical controlled processing on the microstructure and mechanical properties of Fe-C-Mn-Si multiphase steels, *ISIJ Int.*, Vol. 46, pp. 1059~1066.
- [2] J. D. Yoo, S. W. Hwang, K. T. Park, 2009, Factors influencing the tensile behavior of a Fe-28Mn-9Al-0.8C steel, *Mater. Sci. Eng. A*, Vol. 508, pp. 234~240.
- [3] D. H. Shin, K. T. Park, 2005, Ultrafine grained steels processed by equal channel angular pressing, *Mater. Sci. Eng. A*, Vol. 410-411, pp. 299~302.
- [4] Ji Tianfu, G. Yuwei, Q. Guiying, L. Qun, W. Tiansheng, W. Wei, X. Furen, C. Dayoung, S. Xinyu, Z. Xin, 2006, Nanocrystalline steel processed by severe rolling of lath martensite, *Mater. Sci. Eng. A*, Vol. 432, pp. 216~220.
- [5] R. Ueji, N. Tsuji, Y. Minamino, Y. Koizumi, 2002, Ultrafine refinement of plain low carbon steel by cold-rolling and annealing of martensite, *Acta Mater.*, Vol. 50, pp. 4177~4189.
- [6] R. Ueji, N. Tsuji, Y. Minamino, Y. Koizumi, 2004, Effect of rolling reduction on ultrafine grained structure and mechanical properties of low-carbon steel thermomechanically processed from martensite starting structure, *Sci. Technol. Adv. Mater.*, Vol. 5, pp. 153~162.
- [7] T. Shanmugasundaram, B. S. Murty, V. S. Sarma, 2006, Development of Ultrafine Grained High Strength Al-Cu Alloy by Cryomilling, *Scr. Mater.*, Vol. 54, pp. 2013~2017.
- [8] Y. B. Lee, D. H. Shin, K. T. Park, W. J. Nam, 2004, Effect of Annealing Temperature on Microstructures and Mechanical Properties of a 5083 Al Alloy Deformed at Cryogenic Temperature, *Scr. Mater.*, Vol. 51, pp. 355~ 359.