

중 탄소강의 변형유기 동적변태에 의한 페라이트-시멘타이트 형성거동에 대한 연구

이유환* · 이덕락** · 주웅용** · 이종수*

Formation of Ferrite-Cementite Microstructure by Strain Induced Dynamic Transformation in Medium Carbon Steels

Y. H. Lee, D. L. Lee, W.Y. Choo and C. S. Lee

Abstract

In the present study, the effect of SIDT (Strain Induced Dynamic Transformation) on the microstructure of medium carbon steels was investigated to develop spheroidized annealing-free steel wire rods. When 0.45%C steels were hot-deformed under the conditions of heavy reduction at low temperatures, a microstructure quite different from conventional ferrite-pearlite structure was obtained. It was considered that this ferrite-cementite microstructure was obtained because very small retained austenite grains existing between fine SIDT ferrites prefer to transform to cementite and ferrite instead of pearlite during cooling. Through the present study, 0.45%C steels containing ferrite-cementite (FC) structure instead of ferrite-pearlite structure was obtained in as-rolled state by introducing SIDT. The specimen containing the FC structure was much softer than that containing conventional ferrite-pearlite structure. Therefore, it is concluded that deforming medium carbon steels under the conditions of SIDT is a very powerful method to obtain soft steel wire rods which could be cold-forged without softening heat-treatment

Key Words : Strain Induced Dynamic Transformation, Ferrite, Cementite, Pearlite, Spheroidization

1. 서론

자동차용 볼트와 같이 냉간 단조를 경험하는 대부분의 소재들은 최종 볼트를 성형하기 전에 구상화 열처리를 통하여 소재의 가공성을 증가시키는 것이 매우 일반적이다. 이는 소재의 변형저항을 낮추어 다이스를 보호함과 동시에, 연성을 증가시켜 거시적인 결함 없이 상당량의 변형을 부여하고자 하는 목적에서 수행된다. 그러나 이와 같은 구상화 열처리는 펄라이트 내부에 존재하는

침상의 시멘타이트들을 구형의 형태로 변화시키기 위하여 약 20 시간 이상의 상당한 시간을 필요로 하기 때문에, 추가적인 에너지 및 생산성 저하를 유발하게 된다. 이에 따라 많은 연구들이 구상화 열처리 시간 단축을 목표로 수행되었다[1-6]. 이러한 결과들 중, 대표적으로 Aihara 등은 적절한 제어압연 조건을 통하여 압연 직후 연질의 미세조직을 얻었으며, 구상화 시간도 짧아질 수 있음을 보고하였다[1-3]. 그들은 열간가공 도중 이전 오스테나이트로부터 시멘타이트가 직접 석출될 수

* 포항공과대학교 신소재공학과
** POSCO 기술연구소

있음에 착안하여, 시멘타이트의 석출거동을 체계적으로 연구하였으며, 최종적으로 미세한 페라이트와 시멘타이트로 구성된 미세조직을 얻을 수 있었다. 그러나 압연직후 연질의 미세조직은 조대한 페라이트와 구형의 조대한 시멘타이트에 가까울수록 효과적이며, 이는 소재의 낮은 강도 및 높은 가공성과 직결된다. 따라서 구상화 단축시간을 최소화함과 동시에, 압연 직후 가공성이 우수한 연질의 미세조직을 얻는 것이 매우 중요하며, 이를 위한 열간압연 및 열처리 조건에 대한 고찰과 더불어 미세조직의 변화 역시 주의 깊게 연구되어야 한다.

본 연구에서는 열간압연 중 구상화를 도모하기 위해서 변형유기 동적변태(SIDT: Strain Induced Dynamic Transformation)를 이용하였다. SIDT는 저탄소강에서 오스테나이트와 오스테나이트 및 페라이트 공존구역의 경계(A_{r3} temperature)의 직상에서 상당량의 가공과 함께 발생하는 것으로 알려져 있으며, 초 미세립 페라이트의 형성을 도모하는 것으로 보고되고 있다[7]. 그러나 본 연구에서와 같이 중 탄소강에서도 적절한 가공조건 하에서도 발생하여 이전 오스테나이트로부터 페라이트 및 시멘타이트의 직접석출과 관계하는 것으로 보고되었다[8]. 또한 추가적인 열처리가 부여되는 경우, 조대한 페라이트와 구형의 시멘타이트의 형성을 조장하여 연질의 미세조직을 얻을 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 이전 오스테나이트로부터 SIDT에 의해 직접 변태되는 연질의 페라이트-시멘타이트 미세조직의 형성과정과 압연조건 및 열처리 조건의 상호관계에 대하여 고찰해 보고자 하며, 나아가 in-line 구상화의 가능성 및 효용성을 검토해보고자 한다.

2. 실험 방법

본 연구에서 사용된 두 가지 강종의 주요한 조성을 표 1에 나타내었다. 이 강종은 현재 냉간압조용 볼트 강으로 널리 사용되는 SWRCH 45의 조성을 기반으로 하였으며, 자체 검토를 통하여 실리콘 및 망간의 변화에 중점을 두었다. 각 시험편은 30 kg 진공 용해 후 15 mm 두께까지 열간 압연되었다. 압연 후 미세조직은 모두 페라이트와 펄라이트의 혼합상이었으며, 두 강종간의 큰 차이는 발견할 수 없었다. 고온 가공 조건에 따른 미

세조직의 변화를 고찰하기 위하여 고온 압축시험을 수행하였다. 사용된 압축시험편은, 길이 15 mm, 지름 10 mm 인 원통 시험편이었으며, Gleeble 3500 (DSI Inc.)을 이용하여 온도 580~750°C 사이의 범위에서 변형율 속도 1/s 로 수행되었다. 가해지는 변형량은 높이 감소율 70%까지 부여되었다.

Table 1 Chemical composition of steels investigated in this study.

Element	Fe (wt.%)	C	Si	Mn
Steel A	Bal.	0.45	0.25	0.70
Steel B	Bal.	0.45	0.80	0.10

그림 1에는 수행된 변형 조건을 간략하게 나타내었는데, 변형 직후 강종 A는 10°C/s로 냉각되었고, 강종 B는 730°C로 승온하여 약 30분간 유지 후 0.1°C/s로 서냉되었다.

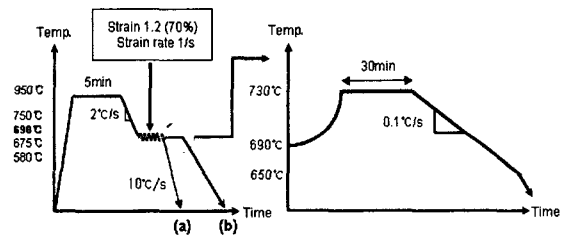


Fig. 1 Schematic diagram showing thermo-mechanical treatment path for (a) steel A and (b) steel B.

3. 실험결과 및 고찰

그림 2에는 강종 A의 다양한 온도 조건에 따른 미세조직결과를 나타내었다. 변형 온도가 낮아질수록 그림 2(b)~(d)와 같은 미세조직은 그림 2(a)와 같은 일반적인 페라이트-펄라이트 혼합조직과는 뚜렷이 구별되는 형태로 관찰되는데, 그림 2(c)~(d)에서는 펄라이트 조직이 거의 관찰되지 아니하며, 매우 미세한 시멘타이트가 관찰된다. 또한 그림 2(a)와 2(b)를 비교하여보면, 페라이트의 양이 상대적으로 많이 관찰되는데, 약 57% 정도로 측정되었으며, 이는 상태도 상에서 얻을 수 있는 평형 상분율 43%보다 상당히 많은 비평형 페

라이트가 존재함을 알 수 있다. 이것은 냉각 도중 잔존하는 오스테나이트가 펄라이트보다는 페라이트 및 시멘타이트로 직접 변태했기 때문이며, 변형온도가 675°C 이하 인 경우에는 이와 같은 직접변태의 경향성이 더욱 심화되어 완전히 새로운 형태의 미세조직이 관찰된다(그림 2(c)).

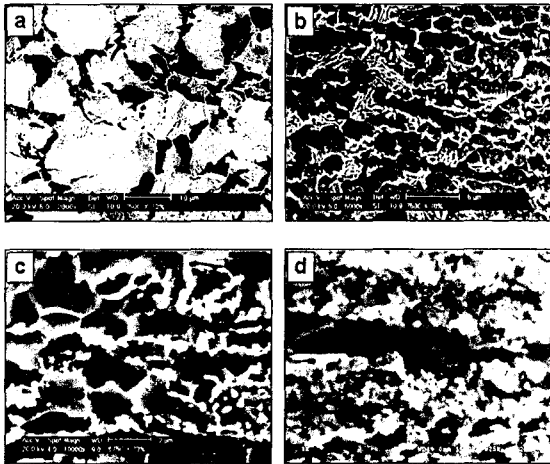


Fig. 2 Formation of various microstructures in a medium carbon steel A with different deformation temperatures. (a) ferrite+pearlite; deformed at 750°C, (b) ferrite+pearlite+cementite; at 690°C, (c) ferrite+cementite; at 675°C, and (d) ferrite+cementite; at 580°C deformed up to 70% height reduction with strain rate of 1/s. The microstructures were shown in (b) and (c) were obtained by SIDT.

그러나 그림 2(c)에서 관찰되는 시멘타이트의 형태는 그림 2(d)와 같이 변형 전에 생성되었던 펄라이트가 변형에 의하여 분절된 형태는 아니며, 주로 미세한 페라이트 계면 사이에 독립적으로 존재하는 형태로 관찰되었다. 또한 이러한 형태의 시멘타이트는 이전 오스테나이트로부터 SIDT에 의하여 생성된 페라이트 사이에 존재하는 소량의 오스테나이트의 분해거동과 매우 깊은 관련이 있는 것으로 생각되는데, 그림 3 과 같은 과정에 의한 것으로 예상된다. 즉, SIDT에 의한 페라이트 사이의 좁은 구역에서 미세한 펄라이트를 생성시키기 보다는 페라이트-시멘타이트로 직접 변태하고자 하는 경향이 매우 강하게 나타난 것으로 생각된다.

그림 4에 나타낸 강종 B의 미세조직은 그림 1(b)의 과정을 따른 결과이다. 주사전자현미경을 통하여 관찰하여 본 결과, 비교적 조대한 페라이트와 타원 형태의 시멘타이트로 구성되어 있었다.

Formation of cementite (G.B.)

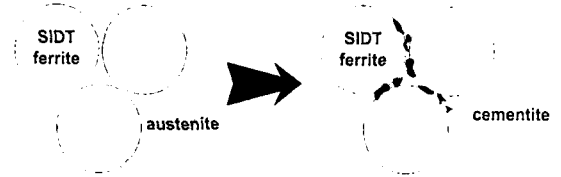


Fig. 3 Schematics of formation of FC (Ferrite-Cementite) microstructure.

또한 이와 같은 미세조직은 추가적인 구상화 열처리 없이도 냉간 단조가 가능할 정도로 충분한 연한 미세조직이었다. 앞서 나타낸 그림 2의 미세조직과 비교하여 그림 4의 미세조직의 정도 값을 표 2에 나타내었다. 일반적으로 구상화 열처리를 거친 SWRCH 45F 강종의 정도 값과 비교하여 약간 높은 듯하나, 거의 유사한 수준의 값을 나타내었다. 즉, 직접 석출된 시멘타이트의 형태는 매우 미세하고 페라이트의 결정립의 크기가 비교적 미세하기 때문에 직접 냉간 가공에 적용될 수 없다. 따라서 일반 구상화 열처리보다는 그림 1(b)와 같은 매우 짧은 열처리를 통하여 페라이트의 결정립 조대화 및 직접 석출된 시멘타이트의 조대화를 도모하는 것이 더욱 효과적인 것으로 예상되었다.

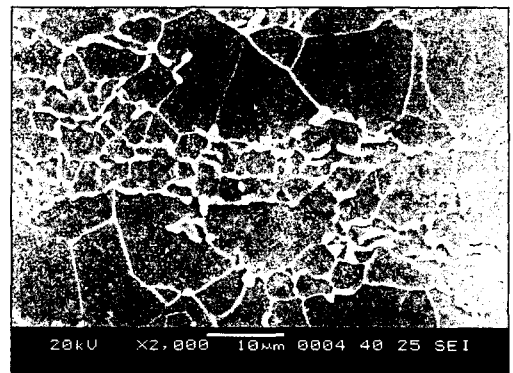


Fig. 2 Coarse FC microstructure of steel B.

참 고 문 헌

Table 2 Vickers hardness values for microstructures shown in Fig. 2 and Fig. 4.

	Fig. 2 (a)	Fig. 2 (b)	Fig. 2 (c)	Fig. 2 (d)	Fig. 4	Conventional spheroidize- annealed
Hv	242	223	217	263	161	155

4. 요약

적절한 가공조건을 통하여, 중 탄소강에서 SIDT를 적용하여 페라이트-시멘타이트 미세조직이 압연 직후에 얻어졌다. 또한 이와 같은 조건은 압하 온도 690°C, 높이 감소율 70% (변형량 1.2) 및 변형율 속도 1/s 에서 가공하였을 때 얻어졌으며, 가공 직후 730°C 로 승온하여 약 30 분 간 유지 후 서냉한 조건에서 매우 연한 미세조직이 얻어짐을 알 수 있었다. 이는 기존 20 시간 이상의 구상화 열처리에 비해 매우 짧은 시간이며, 구상화 열처리를 통한 경험한 미세조직과 유사한 특성을 나타낼 것으로 예상된다.

후 기

본 연구는 2003 년 과학기술부 국가지정연구실 사업에 의해 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

- (1) K. Aihara and S. Kanbara, 1999, "Influence of Prior Structure upon Spheroidization Rate and Cold Forgeability of Annealed Wire", Proceedings of the 57th International Annual Conference of the Wire Association International, Atlanta, pp.
- (2) K. Aihara and S. Kanbara, The Sumitomo Search, No. 42, April 1990, p. 1.
- (3) K. Aihara, 1991, "A New Thermomechanical Processing for Spheroidizing Carbide Directly in a Rolling Line", Proceedings of the 33rd Mechanical Working and Steel Processing Conference, St. Louis, Iron and Steel Society-AIME, Vol. XXIX, Oct. pp. 285-290.
- (4) H. Paqueton and A. Pineau, 1971, Journal of the Iron and Steel Institute, Vol. 209, p. 891
- (5) S.E. Nam and D.N. Lee, 1987, Journal of Materials Science, Vol. 22, p. 2319.
- (6) H.J. Ksötler and M. Frönhike, 1975, Archiv für das Eisenhüttenwesen, Vol. 46, p.665.
- (7) W.Y. Choo, 2002, Proceeding of the 4th workshop on HIPERS-21, Pohang, Korea, Jan., pp.1-15.
- (8) D.L. Lee, Y.H. Lee, J.K. Choi and W.Y. Choo, 2003, "The Effect of SIDT on the Microstructure of Medium Carbon Steel", HIPERS-21, The 5th Workshop on The Development of High Performance Structural Steels for 21st Century, POSCO, Pohang, Korea, pp. 269-271.