

고온변형에 의한 냉간압조용강의 시멘타이트 구상화 연구

이용렬 · 강구현 · 방명성 · 남승의[†]

홍익대학교 공과대학 신소재공학과

The Spheroidization of Cementite for Cold Heading Quality Steel by Hot Deformation

Ung-Youl Lee, Ku-Hyun Kang, Myung-Seong Bang, Seung-Eui Nam

Dept. of Materials Science and Engineering, Hong-Ik Uni., Seoul 121-791, Korea

Abstract Conventional spheroidization process of cold heading quality steels requires long heat treatment time, and reduction of the heat treatment time is important for improving productivity in the industry. Recently, hot deformation method has been proposed as a means of increasing spheroidization kinetics. In this study, the influences of hot deformation on the spheroidization behavior of cold heading quality steels were investigated. Hot deformation at the temperature range of 700°C significantly enhances the spheroidization kinetics. Hot deformation can lead to a substantial reduction of spheroidization process time as low as 1~5 hrs.

(Received 16 January 2004; accepted 5 July 2004)

Key words: Spheroidization, Cold Heading Quality Steel, Hot Deformation

1. 서 론

일반적으로 냉간압조용 선재에 사용되는 구상화 열처리는 긴 열처리 시간을 필요로 한다. 최근 구상화 열처리 전, 고온 소송가공을 통해 구상화 열처리 시간을 단축하려는 노력이 진행 중이다[1-4].

탄소강의 퍼얼라이트 조직을 A_1 변태온도 직하 700°C 근처에서 어닐링하여 주면 퍼얼라이트 중의 판상 시멘타이트 조직이 구상화되는 구상화의 속도가 수십 시간 정도로 느리다는 사실은 잘 알려져 있다 [5,6]. 따라서 구상화 속도를 증가시키는 여러 방법이 보고 되고 있다. 우선, A_1 변태온도 근처에서 가열과 냉각을 반복해주면 어닐링시간이 단축된다는 사실이 보고 된다[7,8]. 또한 어닐링하기 전에 냉간가공을 g 하여 구상화를 촉진시키는 방법이 보고되고 있으며, 이 때, 구상화의 정도 및 속도는 가공도에 영향을 받는 것으로 알려져 있다[6].

최근, 구상화 속도를 더욱 촉진시키는 방법으로 A_1 변태점 이하의 온도에서 가열과 동시에 소성변형을 행하는 연구가 보고되고 있다[9-12]. 이러한 고온 소

성 구상화법은 소성의 방법 및 철강의 조성에 민감한 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 A_1 변태점 이하의 온도에서 행해지는 고온 인장이 후속 구상화 거동에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 철강 조성에 따른 영향을 조사하기 위해 SUJ2, SCM435, 15B47 등의 구상화 거동을 비교 분석하였다.

2. 실험방법

본 실험에서 사용된 시편은 열간 선선을 통하여 제작되어 서냉된 wire rod 상태인 소재로서, 베어링강인 SUJ2와 종래 기계구조용 합금인 SCM435, 고 Mn강에 boron 첨가강인 15B41를 사용하였으며 그 합금성분은 Table. 1에 나타내었다. 시편은 고온인장 시험기를 이용하여 700°C에서 수행되었다. 고온 인장의 영향을 최대화하기 위해 시편은 파단점 직전까지 진행되었으며, 이 때의 인장률은 SUJ2의 경우, 87%, SCM435의 경우, 94%, 15B41의 경우 140% 이었다. 고온변형이 완료된 시편의 구상화 열처리는 판상료에서 A_1 변태점 이하인 700°C까지 10°C/min의 속도로 승온한 후 700°C에서 0.5, 1, 5, 10 시

[†]E-mail : namse@hongik.ac.kr

Table 1. Chemical composition of steels

Kind	Chemical compositions of steels										
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	B
SCM435	0.35	0.20	0.71	0.014	0.003	0.01	0.03	1.02	0.21		
SUJ2	0.98	0.21	1.46	0.014	0.006	0.01	0.02	0.16		0.001	
15B41	0.42	0.21	1.46	0.014	0.006	0.01	0.02	0.16			0.0017

간동안 구상화 열처리를 진행하였다.

열처리된 시편의 미세조직 관찰을 위해 시편을 microcutter로 절삭하여 유압식 프레스(Buehler, PNEUMET II)를 이용하여 mounting한 후 #600 ~ #1200의 연마지로 연마한 후, 최종적으로 0.05 μm 의 Al 분말을 사용하여 연마한 후 5% nital 용액에 부식시켜 SEM(scanning electron microscopy)을 이용하여 관찰하였다. 열처리된 시편의 경도 변화는 Vickers 경도계로 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1(a)는 SUJ2의 고온인장 후 미세구조를 나타낸 사진이다. 그림에서 보는 바와 같이 대부분이 시멘타이트와 페라이트의 펄라이트 층상구조로 이루어져 있으며, Fig. 1(b)에서의 고온인장 후 미세 구조에서 보는 바와 같이, 펄라이트 층상구조는 고온 인장에 의해 심하게 변형되고 많은 부위의 펄라이트 층상 구조가 깨어졌음을 알 수 있다. Fig. 1(c)와 (d)는 SCM435 강의 고온인장 전과 후의 미세구조 변화를 나타낸 사진이다. SCM435 강은 초석 페라이트와 펄라이트 층상구조로 이루어져 있으며, SUJ2 강의 경우와 유사하게, 고온인장에 의해 펄라이트 구조는 미세한 입자로 깨어짐을 볼 수 있다. Fig. 1(e)와 (f)는 15B41 강의 경우로, 펄라이트 구조의 변형 및 깨어짐을 관찰할 수 있다.

고온인장에 의한 펄라이트 층상구조의 깨어짐에 대한 이론은 여러 연구자[13-14]에 의해 보고되고 있는데, 고온에서는 층상 시멘타이트가 취성을 갖고 슬립이 쉽게 일어나며 전단 변형을 받아 끊어지는 것으로 해석되고 있다. 또한 고온 변형에 의한 전위의 생성은 탄소 및 철의 확산 속도를 증가시켜 구상화를 촉진시키는 것으로 보고되고 있다[13].

Fig. 2는 고온인장된 시편을 700°C에서 1시간 열처리 한 후의 미세 구조를 나타낸 사진이다. 사진에서 보는 바와 같이 1시간의 짧은 열처리 시간에도 불구하고 상당한 구상화 반응이 진행되었음을 알 수 있다.

고온 소성이 없는 일반적인 구상화 열처리에 있어, 완전한 구상화를 위한 열처리는 20시간 이상이 걸리는 것으로 알려져 있으며, 본 실험에서도 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 고온인장은 구상화 속

Fig. 1. SEM micrographs showing changes of microstructures after high temperature tensile deformation; (a) SUJ2 wire rod, (b) SUJ2 after deformation, (c) SCM435 wire rod, (d) SCM 435 after deformation, (e) 15B41 wire rod, and (f) 15B41 after deformation.

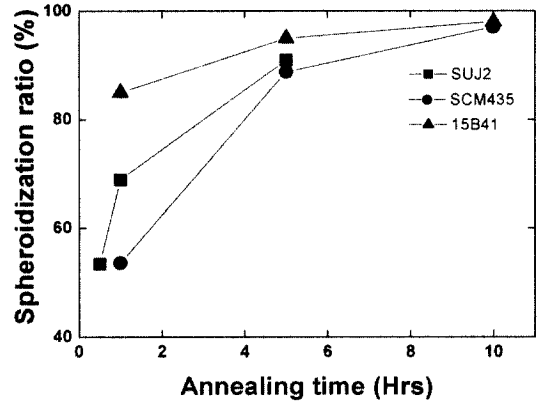


Fig. 3. Spheroidization ratio as a function of annealing time.

와 같이 SUJ2의 경우, 1시간의 구상화 열처리에서 69% 정도의 구상화율을 보이며 5시간의 열처리에서 91%의 구상화가 진행되었음을 알 수 있다.

SCM435의 경우, 1시간 구상화 열처리에서 54%, 5시간의 열처리에서 89%로 SUJ2와 비슷한 구상화 kinetic을 보이는 것으로 나타났다. 15B41 보론강의 경우, SUJ2와 SCM435의 경우에 비해 구상화 속도 증가 효과는 더욱 커서, 1시간의 구상화 열처리에 도 구상화가 80% 이상 진행됨을 알 수 있다.

서술한 바와 같이 15B41 보론강의 고온인장에 의한 구상화 속도의 증가 효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 이에 대한 명확한 이유는 확실치 않다. 아

Fig. 2. SEM micrographs showing microstructures after spheroidization heat treatments of 1 hr for (a) SUJ2, (b) SCM435, and (c) 15B41.

도를 상당히 촉진시키는 것을 확인할 수 있다.

열처리에 따른 구상화 정도를 정량적으로 나타내기 위해 구상화율을 측정하였다. 구상화율은 SEM 사진에 나타난 시멘타이트 입자의 단축과 장축의 크기 비율(aspect ratio)을 측정하여 aspect ratio가 1.3 미만인 시멘타이트 입자를 구상화 입자로 가정하여 전체 시멘타이트 입자수에 대한 구상화 입자수의 비율로 정의하였다. Fig. 3은 열처리 시간에 따른 구상화율의 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바

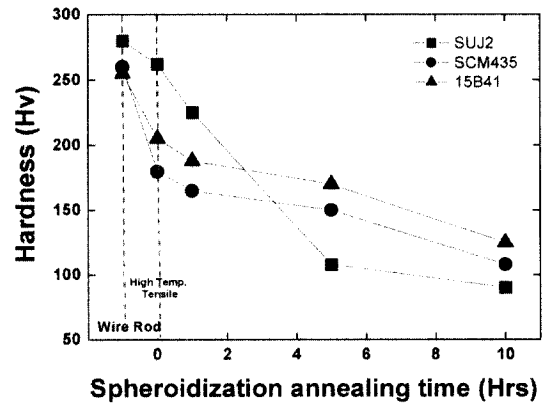


Fig. 4. Measured hardness values at various annealing times. The values of wire rod and after tensile deformation are included for comparison.

마도 본 실험에서 15B41 강에서 행해진 고온인장을 이 140%로 SUJ2나 SCM435의 인장률(각각 87%, 94%)에 비해 높는데 기인하기 때문인 것으로 추정된다.

Fig. 4에서는 열처리 조건에 따른 경도값의 변화를 나타내었다. 우선 고온인장 전의 시편의 경도값은 SUJ2가 280 정도로 가장 높고 SCM435와 15B41은 260 정도의 다소 낮은 값을 갖는다. 이는 SUJ2의 높은 탄소 함량에 기인하는 것으로 생각된다. 고온인장에 의한 경도값의 변화를 살펴보면, SUJ2의 경우, 280에서 260으로 낮아지는데 이 변화 정도는 SCM435의 ~60과 15B41의 ~90에 비해 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다.

고온인장에 의한 경도값 변화는 Fig. 1의 미세구조와 관련하여 살펴볼 수 있는데, 고온인장 후의 펄라이트의 깨어짐 및 구상화 정도가 SUJ2에 비해 SCM435와 15B41이 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 따라서 Fig. 4의 고온인장 경도 변화는 시멘타이트의 미세화 및 구상화에 따른 연성의 증가로 해석될 수 있다.

후속 구상화 열처리에 따른 경도값 변화는 SCM435와 15B41의 경우에는 완만하게 감소하는 반면, SUJ2의 경우에는 5시간까지 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 열처리 시간에 따른 경도값의 감소는 구상화율의 증가와 시멘타이트 구상화 입자의 성장으로 설명될 수 있다. SUJ2의 급격한 경도 감소는 탄소의 확산을 통한 구상화 시멘타이트 입자의 성장이 SCM435와 15B41에 비해 상대적으로 빠르게 진행되는 것으로 설명될 수 있다. 이에 대비하여, SCM435와 15B41의 완만한 경도값 변화는 첨가원소(SCM435의 경우, Mo, Cr, 15B41의 경우, B)에 따른 탄소 확산 속도의 감소로 인해 탄소의 확산 속도와 구상화 시멘타이트의 성장이 SUJ2 강에 비해 낮기 때문인 것으로 생각된다.

강의 조성에 따른 구상화 거동 및 시멘타이트의 성장 속도의 차이를 조사하기 위해 SUJ2와 SCM435 강에서 생성된 구상화 시멘타이트의 크기(radius) 변화를 열처리 시간에 대하여 나타내었다(Fig. 5). radius는 앞에서 설명한 바와 같이 aspect ratio가 1.3 미만인 입자를 구상화 입자로 정의하여, 이러한 입자들의 반경 평균값을 radius로 계산하였다.

Fig. 5. Measured radius of spheroidized particles as a function of annealing time. SEM micrographs of SCM435 after 5 hrs and 10 hrs are inserted for reference.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 SUJ2의 경우, 열처리 시간에 따라 radius가 빠르게 증가함을 볼 수 있다. 이는 구상화 입자의 생성과 더불어 입자의 성장도 빠르게 진행됨을 알 수 있다. 반면에 SCM435의 경우에는 5시간의 열처리 시간 까지 radius의 변화가 없다가, 이후, radius의 감소가 일어나는 것을 알 수 있다. 이같은 radius의 감소를 이해하기 위해 Fig. 5에 SCM435강의 5시간과 10시간에서의 미세구조를 보이는 SEM 사진을 삽입하였다. 5시간 열처리 시편에서의 사진에서 보는 바와 같이 고온인장에 의해 깨어진 펄라이트의 조직은 완전한 구상화 입자로 미세화되지 못한 상태로, 이는 10시간 시편의 사진과 비교하면 명확한 차이를 보이고 있다. 따라서 측정된 구상화 입자의 radius 감소는 고온인장에 의해 1차 미세화된 구상화 입자가 5시간 이상의 임계 열처리 시간이 지나면 2차로 미세화되는 현상으로 해석될 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 10시간의 열처리 후 SUJ2의 radius(~1.8 μm)로 SCM435의 radius(~0.8 μm)에 비해 매우 조대한 것을 알 수 있으며, 이는 앞에서 설명한 바와 같이 첨가원소에

따른 탄소 확산 속도의 차이에 기인하는 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 냉간압조용강인 SUJ2, SCM435, 15B41의 구상화 속도를 증가시키기 위한 고온 인장 변형의 효과에 대해 조사하였다. A₁ 변태점 이하 700°C에서의 고온 인장은 층상 퍼얼라이트 구조의 기계적 변형 및 깨어짐을 통하여 구상화를 촉진시키는 것으로 관찰되었다. 이러한 고온 인장에 의해 1~5 시간 미만으로 구상화 열처리 시간을 단축할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

이 연구는 2001년 홍익대 교내 연구비의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. CHQ 합금강선재의 균질구상화를 위한 조직제어기술, 산업과학기술연구소, 1991.
2. 냉간압조용 보른침가강의 COLD HEADING성 향상 연구, 산업과학기술연구소, 1991.
3. Yong Lai Tian and R. Wayne Kraft, Metallurgical Transactions(A), **18A** (1987) 1359.
4. Yong Lai Tian and R. Wayne Kraft, *ibid*, **18A** (1987) 1403.
5. C. M. Sellar, Metallography, **10** (1977) 89.
6. S. A. Hackney, Scripta Metallurgica, **25** (1991) 799.
7. J. Leeder, P. Payson and W. L. Hodapp, Trans. Amer. Soc. Metal, **28** (1940) 306.
8. O. E. Cullen, Metal Progress, **64** (1953) 79.
9. J. L. Robbins, O. C. Shepard and O. D. Sherby, JISI, **202** (1964) 804.
10. O. D. Sherby, M. J. Harrigan, L. Chamagne and C. Sauve, Trans. ASM, **21** (1969) 578.
11. E. A. Chojnowski and W. J. McG. Tegart, Metal Science Journal, **2** (1968) 14.
12. D. F. Lupton and D. H. Warrdington, Metal Sci. Journal, **6** (1972) 200.
13. H. Pagueton and A. Pineau, JISI, **209** (1971) 991.