

고탄소강 열연판재의 미세조직과 냉간압하율에 따른 구상화 속도 및 기계적 특성

이규동¹, 이수연¹, 하태권^{1#}, 정효태¹

Effect of Microstructure and Cold Reduction Ratio on Spheroidization Rate and Mechanical Properties of High Carbon Steel

K. D. Lee, S. Y. Lee, T. K. Ha, H. T. Jeong

Abstract

In the present study, the effect of cold reduction ratio on the spheroidization rate of SK85 high carbon steel sheet was investigated. High carbon steel sheet fabricated by POSCO was soaked at 850°C for 2 hr in a box furnace and then treated at 570°C and 670°C for 10 min in a salt bath furnace followed by water quenching to obtain a fine pearlite structure and coarse pearlite structure. Cold rolling was conducted on the sheets by reduction ratios of 20, 30, and 40 % and heat treatment for spheroidization was carried out at 720°C for the various time intervals from 1 to 32 hrs. Area fraction of spheroidized cementite was measured with an image analyzer as a function of cold reduction ratios and duration times.

Key Words : High Carbon Steel, SK85, Heat Treatment, Fine Pearlite, Spheroidization, Aspect Ratio, Cold Rolling.

1. 서론

고탄소 박판강은 자동차, 기계, 공구 등 부품산업의 핵심소재로서 기술경쟁이 치열하고, 성장가능성이 높아 이의 제조기술은 국내 제조업의 경쟁력 강화라는 측면에서 반드시 확보하여야 할 기반기술이다.

고탄소강 판재의 경우 최종제품으로 제조하는 과정에서 가공성을 향상시킬 목적으로 펄라이트의 미세화와 함께 미세구상화를 위한 열처리를 행하게 된다.

구상화 열처리란 페라이트/펄라이트 조직 혹은 펄라이트 조직의 소재가 장시간 열처리에 의해 페라이트 기지에 탄소가 확산하여 열역학적으로 가장 안정한 구형의 탄화물로 성장하는 것을 말한다.[1,2] 이러한 미세조직은 강에서 가장 안정화된 조직이며, 충분한 탄소의 확산반응을 가능하게 하는 높은 온도와 오랜 가열시간에 의해서

생성된다.

구상화는 판상의 세멘타이트에 분절이 일어나서 구형으로 전환되고 이어 구형의 세멘타이트가 조대화되어 가는 과정이다. 따라서 펄라이트 내 판상의 세멘타이트에 분절이 활발히 생기는 것이 구상화 속도를 높여주는 결과가 될 것을 쉽게 알 수 있다. 이러한 이유로 고탄소 냉연강판을 사용하는 산업현장에서 구상화 열처리가 효과적으로 이루어 지기 위해서는 얇은 세멘타이트 판들로 구성된 초기조직이 바람직하다는 것을 쉽게 알 수 있다.[3]

본 연구에서는 SK85 고탄소 열연강판의 구상화 속도에 미치는 초기 미세구조와 냉간압하율의 영향을 규명하고자 하였다. 이를 위하여 SK85 고탄소강 열연강판을 2단 열처리를 통해 미세한 펄라이트와 조대한 펄라이트 조직을 가지도록 하였고, 이어서 압하율을 20 ~ 40%로 변화시켜 냉간압연한 후 720°C에서 구상화 속도를 측정하였다.

1. 강릉대학교 금속재료공학과

강릉대학교 금속재료공학과, E-mail: tkha@kangnung.ac.kr

구상화 속도는 구상화 열처리 시간에 따른 구상화 분율을 측정함으로써 얻을 수 있었다. 구상화의 진행에 따른 경도의 변화를 측정하였고 인장 시험을 통해 얻은 기계적 특성의 변화도 함께 비교하였다.

2. 실험방법

2.1 초기 시료의 열처리

본 연구에 사용된 시료는 SK85 로 POSCO(주)에서 제공하였으며 화학적 조성은 표 1 과 같다.

실험을 위하여 시료를 850°C에서 두 시간 동안 오스테나이트화하고 670, 570°C로 유지시킨 염욕에 투입하여 10 분간 열처리하고 수냉하였다.

2.2 냉간압연 및 미세조직 관찰

2.1 절에서 얻어진 미세한 펄라이트(FP) 조직과 조대한 펄라이트(CP) 조직을 이용하여 압하율 20, 30, 40%로 냉간 압연한 후 구상화 열처리를 행하였다. 구상화 온도는 720°C로 고정하고, 구상화 시간은 1, 2, 4, 8, 16, 32 시간으로 하여 구상화 소둔 처리 후에 수냉하였다.

위와 같은 과정을 통해 구상화된 조직을 SEM 을 이용하여 미세조직을 관찰하였다.

2.3 구상화 분율 측정

구상화 분율을 측정하고자 구상화 소둔 후 수냉한 시편에서 얻은 SEM 사진을 이용하여 세멘타이트의 형상비(aspect ratio), 단위면적당의 개수 및 크기를 측정하였다. 이를 위하여 TDI PLUS 5.0 Image Analyzer 프로그램을 이용하였다. 분절된 세멘타이트 입자의 크기 및 형상비는 입자를 타원형으로 가정하여 계산하였다. 본 연구에서는 구상화 분율을 다음의 식(1)과 같이 정의하였고, 형상비 1:5 이하면 구상화가 완료된 것으로 간주하였으며 비교를 위하여 1:3을 기준으로 적용한 결과도 함께 측정하였다.[4,5]

$$\text{구상화율} = \frac{V_s}{V_u + V_s} \quad (1)$$

여기서 V_u 는 구상화되지 않은 세멘타이트 입자의 면적분율을 V_s 는 구상화된 세멘타이트의 면적분율을 나타낸다.

2.4 기계적 특성 평가

구상화 열처리 후 구상화가 진행됨에 따른 기계적 성질의 변화를 관찰하고자 경도와 인장시험을 실시하였다.

경도시험의 경우 Vickers 경도시험기를 이용하여 980.7mN의 하중을 부과하여 각각의 구상화 조건에 대하여 10번씩 측정하여 평균치를 계산하였다.

인장시험의 경우에는 미세한 펄라이트 조직을 가진 시편을 구상화 처리한 후 각각의 조건에서 세 개씩의 판상시편을 제작하여 상온에서 수행하였다. 표점거리 27mm, 변형률 속도는 0.0001 s^{-1} 로 일정하게 하였다. 인장시험을 통해 구상화 분율과 그에 따른 기계적 특성과의 관계를 알아보 고자 하였다.

Table. 1 Chemical composition of specimens (wt%)

C	Si	Mn	P	S
0.83	0.20	0.43	77ppm	12ppm

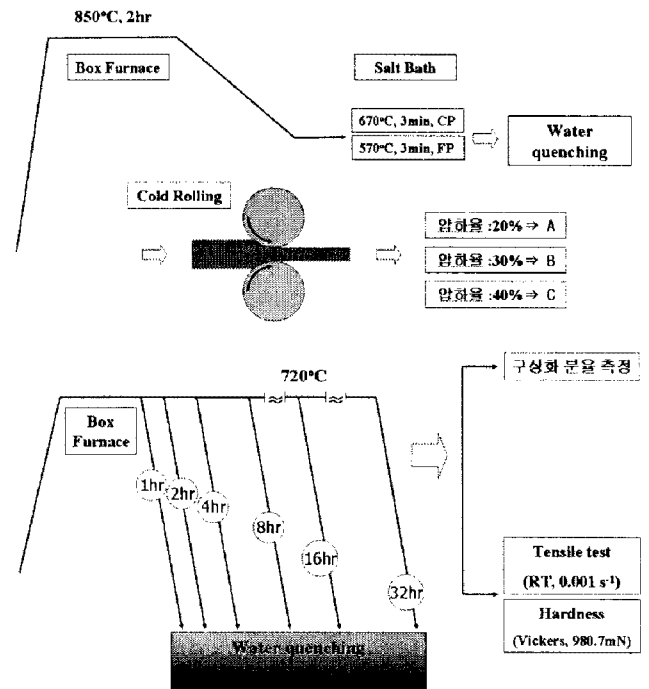


Fig. 1 Schematic illustration of experimental procedure

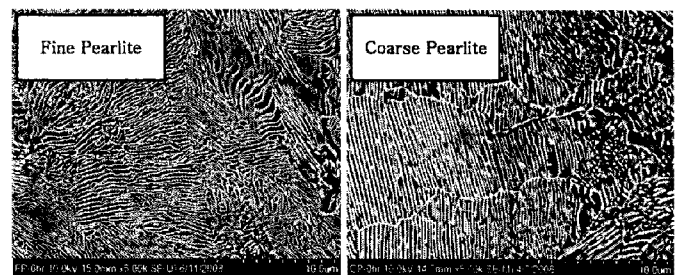


Fig. 2 SEM image showing the microstructures of FP and CP specimen

3. 결과 및 고찰

3.1 열처리를 통한 미세조직 제어

SK85 고탄소강을 근거로 2.1절에서와 같이 열처리한 결과 전형적인 펄라이트 조직이 형성되었으며 열처리 온도가 높을수록 라멜라 colony의 크기가 커지고 층간 간격이 넓어지는 것을 알 수 있었다.(그림2)

3.2 초기 미세조직에 따른 구상화속도

초기 조직으로 미세한 펄라이트와 조대한 펄라이트 조직을 비교하여 구상화에 대한 연구를 진행한 결과 그림3에서 보듯이 구상화 시간이 길어짐에 따라 구상화 분율이 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 그림4에 나타나듯이 미세한 펄라이트의 경우에는 최대 형상비가 4시간에서 나타나고 이후에는 계속 감소하는 반면 조대한 펄라이트의 경우에는 16시간까지 형상비가 증가하다가 이후 감소하는 경향을 보인다. 이는 미세한 펄라이트의 경우 4시간, 조대한 펄라이트의 경우 16시간에서 구형화에 이은 조대화가 활발히 일어난다는 것을 의미한다. 따라서 미세한 펄라이트 조직의 구상화 속도가 더 빠른 것으로 판단할 수 있다.

3.3 냉간압하량에 따른 구상화 속도

미세한 펄라이트 조직과 조대한 펄라이트 조직을 냉간압연한 판재에 대한 구상화 소둔 열처리 결과 냉간압연율에 상관없이 구상화 소둔 열처리 시간이 길어짐에 따라 입자의 조대화가 관찰되었고 부위별로 분절화가 이루어 지지 않는 탄화물도 관찰되고 있다. 그러나 냉간압하율이 클수록 구상화 초기부터 미세한 입자들이 많이 관찰되었다. 냉간압연한 시편의 경우 1시간 정도에서 구상화가 거의 완료되고 그 이후에는 조대화가 지배적으로 일어나는 것으로 나타났다. 냉간압연에 의해 판상의 세멘타이트가 기계적으로 절단되어 구상화 열처리가 진행되는 동안 보다 쉽게 분절화 및 구형화 단계로 진행되고 있음을 알 수 있었다. 또 초기 조직이 미세할수록, 압연율이 높을수록 구상화 속도가 빠르다는 것을 알 수 있었다.(그림5)

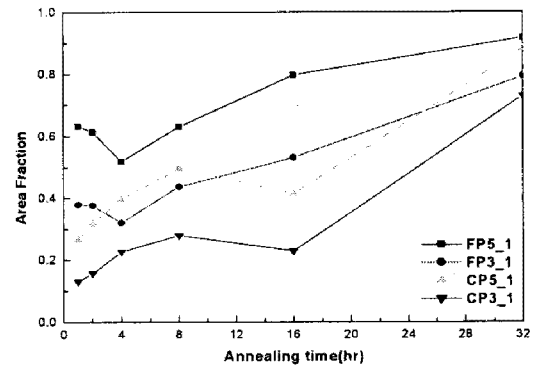


Fig. 3 Fraction of spheroidization as a function of annealing time

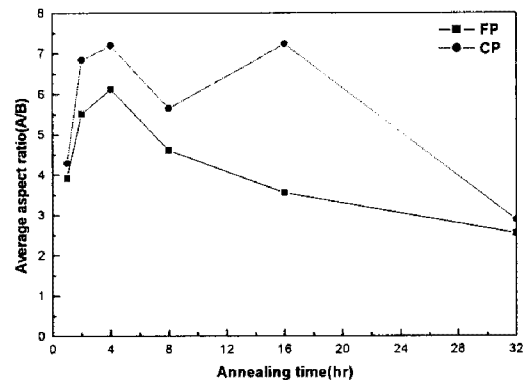


Fig. 4 Average aspect ratio as a function of annealing time

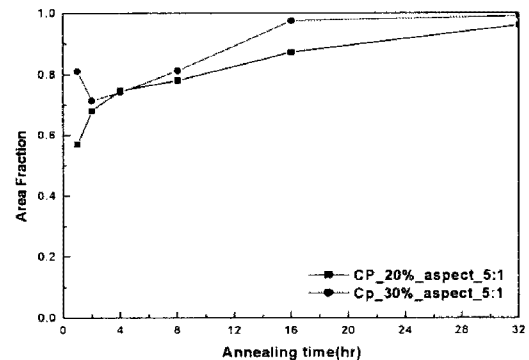
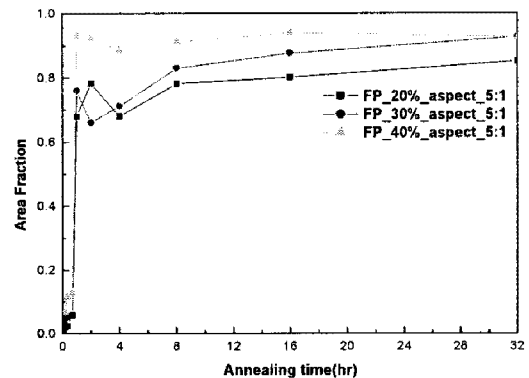


Fig. 5 Fraction of spheroidization as a function of annealing time in cold rolled sheet

3.4 기계적 특성과 구상화 속도

구상화가 진행됨에 따른 기계적 특성의 변화를 조사한 결과 구상화 분율의 증가에 따라 경도와 항복강도 및 인장강도는 급격히 감소하다가 변화가 거의 없어졌으며, 균일연신율은 지속적으로 증가하지만 파단연신율은 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 강도의 경우 초기에 급격히 감소하는 것은 세멘타이트의 구상화에 의한 것이며 그 후 감소율이 작아지는 것은 기지 조직인 페라이트의 조대화에 기인하는 것으로 판단된다.

그림6과 그림7을 살펴보면 경도와 항복강도 모두 구상화가 이루어졌어도 미세한 펄라이트 조직이 더 높은 값을 갖는 것으로 나타났다. 이는 미세한 펄라이트 조직이 조대한 펄라이트 조직에 비해 기계적 특성이 더 우수함을 보여주는 결과이다.

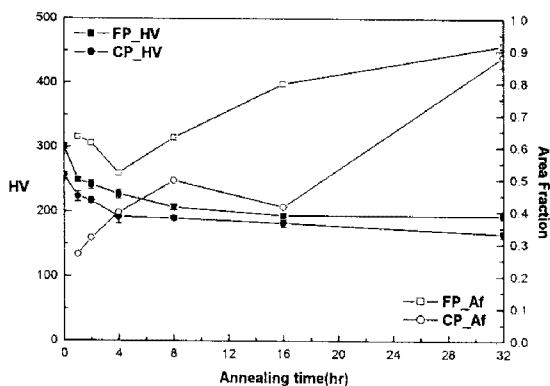


Fig. 5 Correlation between hardness and spheroidization fraction

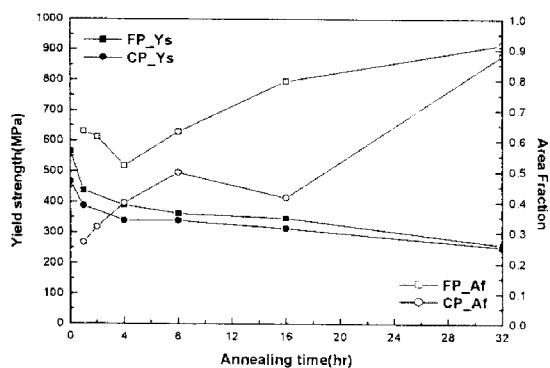


Fig. 6 Correlation between yield stress and spheroidization fraction

4. 결론

- 초기 미세조직이 구상화 속도에 미치는 영향을 살펴보면 시간이 길어 질수록 구상화가 이루어지다 조대화가 되는 양상을 보이고, 미세한 펄라이트 조직이 최대 형상비가 4시간으로 조대한 펄라이트에 비해 구상화에 이은 조대화가 더 빨리 일어남을 알 수 있다. 따라서 미세한 펄라이트 조직의 구상화 속도가 더 빠른 것으로 판단할 수 있다.

- 냉간압하량에 따른 구상화 속도는 냉간압연량이 클수록 구상화 초기부터 미세한 입자들이 많이 관찰되었다. 냉간압연한 시편의 경우 1시간 정도에서 구상화가 거의 완료되고 그 이후에는 조대화가 지배적으로 일어나는 것으로 나타났다. 또 초기 조직이 미세할수록, 압연율이 높을수록 구상화 속도가 빠르다는 것을 알 수 있었다.

- 구상화가 진행됨에 따른 기계적 특성의 변화는 구상화 분율의 증가에 따라 강도의 경우 초기에 급격히 감소하는 것은 세멘타이트의 구상화에 의한 것이며 그 후 감소율이 작아지는 것은 기지 조직인 페라이트의 조대화에 기인하는 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] J. Languillaume, G. Kapelski and B. Baudalet : Acta Mater., 45 (1997) 1201
- [2] J. Languillaume, G. Kapelski and B. Baudalet : Acta Mater., 33 (1997) 241
- [3] Y. L. Tian and R. W. Kraft : Metall. Trans., 18A (1987) 1403
- [4] E. A. Chojnowski and W. J. Tegart : J. Met. Sci., 2 (1968) 14
- [5] S. Chattopadhyay and C. M. Sellars : Metallograph, 10 (1977) 89