

Austenitic Steel의 Dendrite 組織에 관한 연구

김영홍 · 김홍식 · 김명호
재료공학과

<요 약>

본 실험에서는 dendrite 조직에 미치는 응고속도의 영향과 이들 조직에 따른 기계적 성질의 변화관계 및 그 이유를 austenitic steel인 AISI 304 stainless steel에 대하여 조사하였다.

그 결과 다음의 결론을 구하였다.

1. dendrite arm spacing은 냉각속도가 감소할수록 커진다.
2. dendrite arm spacing이 작을수록 硬度(hardness)는 증가하며, 이는 탄화물 $[(Cr \cdot Fe)_4C]$ 의 interdendritic region 분포에 기인하는 것으로 보인다.

A study on the dendrite structure in austenitic steel

Kim, Myung Ho · Kim, Heung Sik · Kim, Young Hong
Dept. of Materials Science.

<Abstract>

The cooling rate dependence of the development of the dendrite structure in austenitic steel and the effect of the dendrite structure on the mechanical properties of the austenitic steel have been investigated. And the following conclusions were obtained from the experimental results:

1. The dendrite arm spacing increases with decreasing cooling rate.
2. The hardness increases with decreasing dendrite arm spacing and this phenomena could be explained on the basis that carbide $[(Cr \cdot Fe)_4C]$ is distributed in the interdendritic region.

I. 서 론

수지상 조직(dendrite structure)의 성장은 급속 및 평형의 비평형 응고(nonequilibrium solidification)에 있어서 가장 일반적인 mechanism이다. 주물품(casting)이나 ingot의 dendritic solidification은 응고과정중 solute redistribution을 일으켜 고온 편석현상의 microsegregation을 가져온다. 따라서 균질화 처리(homogenization)는 이들 dendrite의 분포형태 및 편석된 편석원소 농도의 차이와 이들 편석원소간의 diffusion coefficient, 그리고 균질화처리 시간(homogenization time) 등에 따르세

닌다. 즉 dendrite 조직은 주물품이나 ingot의 기계적 성질능에 중요한 영향을 미친다고 할 수 있다. 따라서 이의 중요성과 광범위한 발생때문에 많은 연구가 발표되었다.

이들 연구중 dendrite 성장의 중요한 지표의 하나인 dendrite arm spacing에 미치는 냉각속도의 영향 및 용선 함유량의 영향에 관하여는 그간 많은 연구가 발표되었으며, 국내에서도 이미 Al-Cu 共融合金의 dendrite 조직에 관하여 일련의 연구가 발표된 바 있다.⁽¹⁾

그러나 ferritic steel이나 austenitic steel의 dendrite 조직에 관하여는 단지 몇편의 연구 결과만이 발표된 바 있으며,⁽²⁾ 특히 이들 dendrite 조직에 따

른 기계적 성질의 변화에 관하여는 연구 설비가 만족되나 거의 없다. 다키 리주철의 경우 조밀하고 방향성이 좋은 初晶 dendrite와 잘 발달한 共晶 조직 및 共晶 cell의 수가 많은 시편이 인장상도 및 강도가 높음이 연구된 바 있다.⁽⁸⁾

따라서 본 연구에서는 austenitic steel인 AISI 304 stainless steel을 試料로 하여 응고속도의 변화에 따른 dendrite 조직의 변화를 관찰하였으며, 아울러 dendrite 조직에 따른 기계적 성질의 변화도 추정하여 보았다.

II. 실험 방법

1. 시편제작

본 실험에 사용한 시편은 시편용 AISI 304 stainless steel 약인계열 中周波 誘導爐(BIRLEC 30kW 400V 3,000Hz 英國製)에서 분위기 조건없이 약 30Ib를 용해하여 얻었다. 이때 사용한 수형은 bentonite 8%의 수부 4%를 섞어 만든 황성사 수형(mould)이었으며, 응고속도에 변화를 주기 위하여 ASTM Standards⁽⁹⁾에 따라 각각의 직경(diameter)은 0.875in., 1.2in. 및 2in.로 하였으며 높이는 각각 6in.로 하였다.

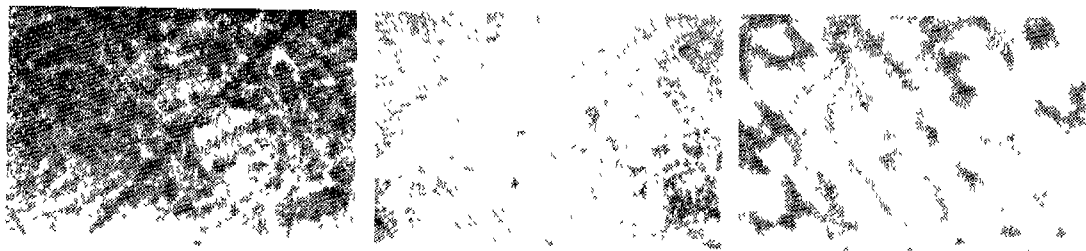
시 鑄型은 상반히 건조시킨후 용탕을 주입하여 시편을 세척하였으며, 강분부석을 위한 chill 試片은 용탕 주입중에 채워하였으며, 그 화학분석치는 <Table I>과 같다.

<Table. I>

성분	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Fe
함량	0.030	0.570	0.640	0.02	0.02	10.05	18.60	balance

2. 조직검사

시편의 조직은 각각 1.2in의 직경으로 부니 50mm



<Photo. 1> (a) bar diameter - 0.875in. (b) bar diameter - 1.2in. (c) bar diameter - 2in.
 (×200, × $\frac{1}{2}$) (×200, × $\frac{1}{2}$) (×200, × $\frac{1}{2}$)

부근을 길쭉하여 워마한후 ferric chloride and hydrochloric acid에 지시하여 시편의 중심부근을 고준위직로 삼아 검사하였다. secondary dendrite arm spacing의 측정은 Vickers M-55 Microscope (英國製)에 project 시킨후 stalk가 워마면에 워진 히 평행하게 성장한 dendrite까지 측정하였으며, 시편마다 대략 10여개의 개별 측정을 행하였다.

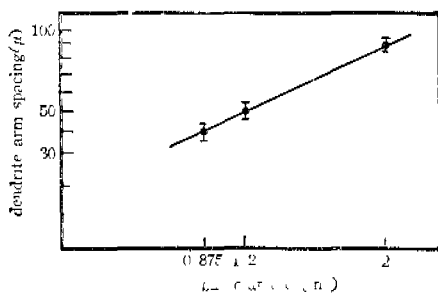
3. 기계적 성질 측정

試片은 熱처리된 하지 않은 鑄方상태(as cast)에 대해 硬度試驗(hardness test)을 하였다. 이때 硬度 측정은 Rockwell hardness tester(Avery-Demson 英國製)을 이용하여 B scale로 예비하중 100kg을 걸어주고 실시하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 응고속도에 따른 dendrite arm spacing의 변화 관계

응고속도에 따른 dendrite arm spacing의 변화 관계를 圖示하여 보면 (fig. 1)과 같으며, 이때의 직경의 조직사진은 <photo. 1>과 같다.

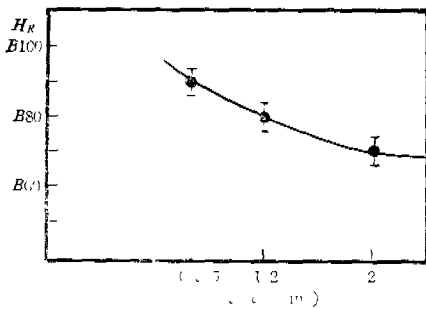


(fig. 1) Relationship between bar diameter and dendrite arm spacing.

이의 값이 bar diameter가 커짐에 따라 즉 응고 속도가 커짐에 따라 dendrite arm spacing이 증가하는 현상은 Al-Cu 합금 등 他種合金의 경우와 동일하며, 이러한 현상은 다음과 같이 설명할 수 있다. 즉 용융 금속이 주형에 주입되면 주형벽을 통하여 냉이 방출되기 시작하여 界面의 용융 금속이 응고온도에 달하면 수평면으로부터 응고가 시작하게 된다. 이때 주형벽의 벽면으로부터 미세한 dendrite arm이 성장되어 이 두중 일부만이 중심을 향하여 성장하기 시작하여 선체적으로 하나의 dendritic skeleton을 형성하게 된다.⁽⁵⁾ 그러대 응고 초기에 형성된 dendrite arm은 매우 불안정하여 응고과정중 "coarsening"에 의하여 다른 dendrite arm spacing이 절정되다. 즉 최종 dendrite arm spacing은 응고범역(freezing range) 내에서의 coarsening kinetics에 의하여 결정된다.⁽⁶⁾ 그러나 鑄物의 응고 시간은 안정상태(steady state)의 단순한 형태의 鑄物의 경우 Chvorinov's formula⁽⁷⁾에 따라 鑄物의 (volume/surface)²에 비례하므로 試片의 bar diameter가 커지면 응고시간이 길어져 coarsening 현상이 오래 지속되므로 dendrite arm spacing은 그 크기가 증가하게 되는 것이다.

2. dendrite 조직에 따른 기계적 성질의 변화

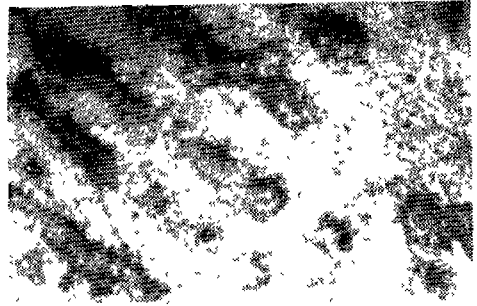
시험의 직경이 커짐에 따라 즉 dendrite arm spacing이 커짐에 따라 硬度值(hardness value)는 <fig. 2> 와 같이 감소함을 알 수 있었다.



<fig. 2> Relationship between bar diameter and hardness value(H_R).

이러한 현상은 피연대기 위하여 시험의 원피경 조직을 자세히 관찰하여 보면 결핵 직경이 0.875mm 인 시험의 dendrite 조직이 직경이 1.2mm, 나 2.0mm 인 시험의 dendrite 조직보다 더 조밀함을 <photo. 1> 에서 알 수 있었으며, 또한 탄화물 [(Cr·Fe)₄C]

의 침입이 interdendritic region에 보이 있음을 <photo. 2> 에서 볼 수 있었다. 이들로부터 그 이유는 다음과 같이 생각하여 보았다.



<Photo. 2> Photomicrograph of

(b) specimens in <Photo. 1> (×600, × $\frac{1}{2}$)

즉, second dendrite arm spacing의 크기는 interdendritic segregation의 분포에 많은 영향을 주어 second dendrite arm spacing이 작을수록 interdendritic segregation의 분포는 더욱 조밀하게 되기, AISI 304 stainless steel의 경우 매우 硬한 탄화물 [(Cr·Fe)₄C]이 interdendritic segregation으로 존재하므로, 조밀한 dendrite arm spacing을 가진 조직은 硬한 탄화물의 분포가 더욱 조밀하므로 硬度值(hardness value)는 상승한다고 볼 수 있다.

이러한 생각은 low alloy steel(C 0.4%, Ni, 0.8%, Cr 0.8%, Mn 0.7%, Mo 0.25%, Si 0.3%)의 경우 그 鑄造조직을 Electron-Microprobe Analysis 한 결과를 圖示한 용질원소 분포곡선(concentration profile)⁽⁸⁾에서 원소원소량이 dendrite arm 부분에서 최소이며 interdendritic region에서 최대임을 볼때 매우 타당함을 알 수 있었다.

IV. 결 론

Austenitic steel인 AISI 304 stainless steel의 dendrite 조직 및 이에 따른 기계적 성질의 변화는 조사한 결과 다음의 결론은 얻는다.

1. dendrite arm spacing은 냉각속도가 감소할수록 커진다.
2. dendrite arm spacing이 작을수록 硬度(hardness)는 증가하며, 이는 탄화물 [(Cr·Fe)₄C]의 interdendritic region 분포에 기인하는 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. 김명호, 유종규, 한봉희, 대한금속 학회지, pp. 282—289, vol 13, No.3, (1975).
2. G. A. CHADWICK, *Chemical metallurgy of iron and steel*, pp.207—214, I. S. I. Pub., (1973).
3. Yew, S. A., *M.S. Thesis at the univ. of Wisconsin*, (1968).
4. A. F. S., *Cast Metals Handbook*, 4th ed., 1957.
5. L. BACKERUD and B. CHALMERS, *Trans. AIME*, pp. 309—318, vol. 245, (1969)
6. T. Z. KATTAMIS, J. C. COUGHLIN and M. C. FLEMINGS, *Trans. AIME*, pp. 1504—1511, vol. 239, (1967).
7. 염희택, 이계완 역, 鑄造工學, pp. 25—31, 文運堂, 서울 (1974).
8. T. Z. KATTAMIS and M. C. FLEMINGS, *Trans. AIME*, pp. 992—999, vol. 233, (1965).