

용접 열영향부 미세조직과 경도 및 영률과의 상관관계 분석

(Analysis for the relationship between microstructure, indentation hardness and Young's modulus in the weld Heat Affected Zone)

이준석, 문준오, 최대석, 장애니, 이지선, 이충현, 이창희

한양대학교 신소재공학부

1. 서 론

구조용 재료의 중요한 기계적 특성 중의 하나로 영률(Young's modulus)이 있다. 영률은 재료의 탄성거동을 나타내 주는 중요한 인자로서 영률이 높은 재료일수록 보통 경한 기계적 성질을 갖는다.

일반적으로 구조용 재료들은 우수한 기계적 특성을 가지도록 합금 용해 및 제조된다. 하지만 구조화 과정 중에 용접 공정을 거치게 되며, 이러한 극심한 열사이클을 거치는 동안 재료의 미세조직의 변화가 발생한다. 특히 용접 열영향부는 일반적으로 취약한 저온상들의 발생으로 인해 구조물의 안정성을 떨어뜨린다고 알려져 있다¹⁾.

이에 본 연구에서는 Nanoindentation²⁾을 이용하여 용접 열영향부를 구성하는 각 상의 개별적인 기계적 특성을 살펴보고자 하였으며, 본 논문에서는 페라이트와 펄라이트의 기계적 성질을 분석하였다.

2. 실험방법

본 연구를 위해서 일반적으로 사용되는 저합금강을 이용하였으며, 합금의 화학성분은 Table 1과 같다.

표1 Chemical compositions of experimental steel (wt%)

	C	Si	Mn	P	S
Steel	0.142	0.137	1.05	<0.002	<0.002

본 연구에서 용접부 재현을 위한 열처리에는 Dilatometer를 사용하였으며, 조대한 페라이트와 펄라이트 조직을 얻기 위해 페라이트 변태 온도

에서 720℃에서 3000초간 등온 유지하였다. 본 실험의 열사이클은 다음의 Fig. 1과 같다.

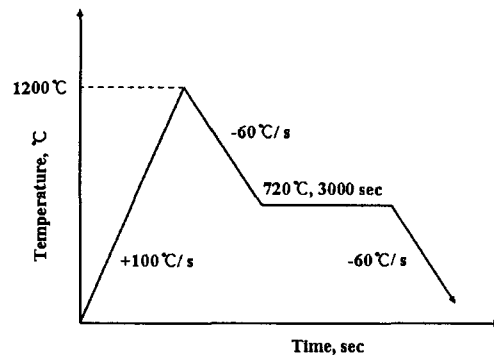


Fig.1 Thermal cycle for isothermal heat treatment

초기 및 열사이클 후의 미세조직은 광학현미경을 통해 관찰하였으며, Berkovich indenter를 장착한 Nanoindentation을 이용하여 각 상의 Indentation hardness 및 영률을 측정하였다. 한편 Indentation은 SEM을 이용하여 관찰하였다. 한편 조직관찰을 위해서는 Nital etching을 이용하였으며, Image analyzer를 이용하여 결정립 크기를 측정하였다.

3. 실험결과

3.1 초기 조직 관찰

다음의 Fig. 2는 초기 모재의 미세조직을 광학현미경을 이용하여 관찰한 것이다. 초기 모재는 페라이트와 펄라이트로 구성되어 있음을 확인할 수 있다. 한편 초기 결정립 크기는 Image analyzer를 이용하여 측정한 결과, 약 30 μ m로 나타났다.

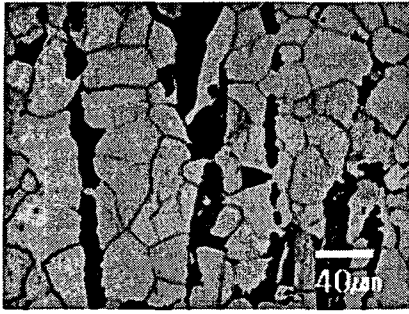
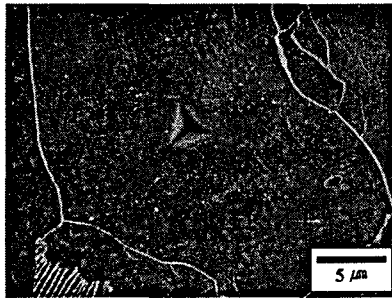


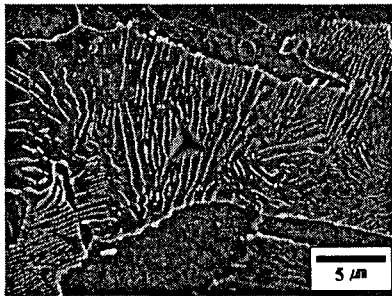
Fig. 2 Initial microstructure, Ferrite + Pearlite

3.2 P-h curve (하중-변형곡선)

다음의 Fig. 3은 Nanoindentation 시험 후 압흔을 SEM을 이용하여 관찰한 사진이다.



(a)



(b)

Fig. 3 SEM micrographs of indentation (a) Ferrite, (b) Pearlite

Nanoindentation 시험 시, Indentation간의 응력 충돌에 의한 Hardness값의 변화를 막기 위해 최대한 (Indentation 압흔 직경의 약 50배 이상) 거리를 띄어서 실험을 진행하였다.

한편, Fig. 4는 Nanoindentation을 이용하여 측정된 페라이트와 펄라이트의 하중-변형 곡선을 나타낸다. 본 연구에서는 미세한 면적에 대한 Nanoindentation test를 위해 2000mg(2g)의 낮은 하중을 가하였으며, 실험 결과는 전형적인 P-h 곡선의 모양을 보이고 있다.

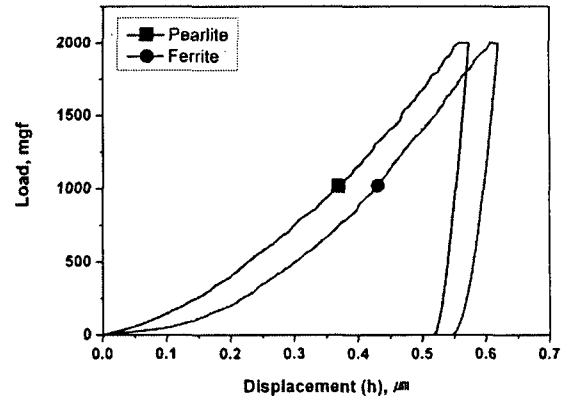


Fig. 4 P-h curve of ferrite and pearlite from Nanoindentation test

3.3 Indentation hardness의 측정

Ferrite와 Pearlite의 각각의 Indentation Hardness를 측정한 결과, 평균적으로 Ferrite가 206, Pearlite가 235의 값을 나타내었다. 일반적으로 Nanoindentation hardness (Hv)는 Vickers hardness (HV)값과의 관계에 있어서 다음을 만족한다.

$$HV = Hv \cdot \sin 68^\circ \tag{1}$$

식 (1)에 의하면 Ferrite와 Pearlite의 Vickers hardness는 190과 217로 계산된다. 한편, Nanoindentation을 통해서 측정한 Ferrite와 Pearlite의 Young's modulus는 각각 162, 180GPa 나타냈으며, 이러한 값은 문헌상³⁾의 Bulk carbon steel의 Young's modulus 값인 200GPa에 비해 다소 낮은 값이다. 이러한 결과를 통해 Pearlite가 Ferrite에 비해 높은 경도 및 영률을 보임을 확인할 수 있었다.

3.3 Grain boundary의 영향

다음의 Fig. 5는 동일한 페라이트 조직 내에서 Indentation hardness에 대한 Grain boundary의 영향을 살펴보기 위해 시험한 조직의 SEM 관찰 결과이다.

그림에서 보는 바와 같이 Grain boundary의 영향을 보기 위해 Fig. 5에서는 Indentation간의 거리를 앞서 밝힌 바와 같이 멀리 떨어뜨리지 못하였다. 실험을 통해서 측정된 Indentation hardness는 Fig. 5의 좌측 상단에서부터 225.8,

228.9, 146, 184.4, 203.3을 나타내었으며, Young's modulus는 168, 166, 138, 150, 153GPa을 나타내었다. 이러한 결과를 통해 Grain boundary가 상대적으로 낮은 Indentation hardness를 갖는 것을 확인할 수 있었다.



Fig. 5 SEM micrographs of indentation, Effect of grain boundary in ferrite

4. 결 론

본 연구에서는 일반적으로 Bulk 재료에 대해서만 가능하던 재료의 경도 및 영률 값을 Nanoindentation을 이용하여 용접부 조직내의 각각의 상 별로 측정해보고자 하였으며, 실험 결과 Ferrite와 Pearlite 각각의 영률 및 경도값을 측정할 수 있었다.

후 기

본 연구는 한양대학교 핵심소재 특성화 사업단의 재정적인 지원 하에 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. K. E. Easterling: Introduction to the Physical Metallurgy of Welding, Butterworths, (1983)
2. Physical Review Letters 95, 045501, (2005)
3. Smithells Metals Reference Book, Seventh edition (1992)