

저탄소강에서의 용접 열 사이클에 의한 미세조직 변화 및 MA상 형성에 대한 연구

The effect of thermal cycle on the phase transformation and the formation of
MA constituent in weld HAZ of low alloyed steel HAZ

유종근*, 이창희*, 주성민**, 장웅성**, 권영각**

* 한양대학교 신소재공학부 신소재 하이브리드 프로세스 연구실

** 포항 산업과학 연구원

Corresponding author: chlee@hanyang.ac.kr

1. 서 론

용접 중, 강은 다양한 열 사이클을 거치며, 이때 발생하는 용접 열영향부는 초기 모재가 갖는 우수한 여러 기계적 성질을 저하시키는 요인으로 작용한다. 특히 다층용접(Multi-run weld) 공정 중에 발생하는 조대화된 결정립과 MA상의 생성이 인성저하에 가장 큰 영향을 주는 것으로 보고되고 있으며, 이는 구조물의 안정성에 치명적인 영향을 줄 수 있다^[1, 2].

MA(Martensite Austenite)상은 다층 용접 중, 최종 용접 패스의 peak 온도가 상변태 구간인 Inter-critical zone까지 가열된 지역에서 발생하며, 이때 오스테나이트로 변태한 일부 지역이 빠른 냉각 중에 마르텐사이트와 잔류 오스테나이트로 변태하는 경우에 발생한다. 이러한 MA상은 높은 탄소 함량 및 마르텐사이트의 존재로 인해 취약한 기계적 성질을 보인다고 알려져 있다.

이에 본 연구에서는 TEM을 통하여 인성에 큰 영향을 주는 조대화된 결정립 영역 (CGHAZ: Coarse Grained Heat Affected Zone)과 첫 번째 패스로 조대화된 결정립을 생성하고 두 번째 패스로 이상영역의 불완전한 오스테나이트 변태를 유발하여 MA상 생성을 촉진하는 (ICCGHAZ: Inter Critical CGHAZ)에 대한 관찰을 시행하였다. 또한 이상영역에서의 peak 온도에 따른 ICCGHAZ 내의 MA상에서의 탄소 농도 및 이에 따른 MA상의 기계적 성질을 관찰하기 위해 열처리 후 EPMA분석을 통해 C함량을 확인 하였으며, Nano-Indentation을 이용하여 경도를 측정하였다.

2. 실험 방법

실험에 사용된 강은 건축물의 인성 증가를 위해 항복 비를 저감한 강으로 그 조성은 다음과 같다.

Table1. Chemical composition (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Cr, Mo, B, Nb, Ti	C _{eq}	P _{cm}
0.06	0.1	1.55	0.008	0.003		0.37	0.16

다층용접에 의한 HAZ재현을 위해 일반적으로 일반적으로 다층 용접에서 사용하는 입열 량인 30kJ/cm를 Rosenthal equation에 대입하여 가열속도와 냉각속도를 결정하였으며, 그 결과를 표 2에 나타내었다.

Table 2. Thermal cycle simulation of 30 kJ/cm

	Peak 온도	가열속도	냉각속도 (1350~800)	냉각속도 (800~RT)
CGHAZ	1350	261°C/sec	71°C/sec	35°C/sec
ICCGHAZ	1350 / 850	30°C/sec	-	30°C/sec

또한 추가적인 실험으로 이상영역에서의 peak온도에 따른 ICCGHAZ내의 MA상에서의 탄소 농도 및 이에 따른 MA상의 기계적 성질 변화를 확인하기 위하여 각각 두 번째 패스 시 peak온도를 A_{c1} 온도 근처인 780°C와 A_{c3} 온도 근처인 910°C로 유지하며 열처리한 시편을 제작하여, Table3. 에 제시된 것과 같은 2단 전해 에칭을 수행하고, 이에 대한 EPMA 분석을 통해 MA상을 관찰하였다. 2 단 전해 에칭법에 대한 개략도는 Fig. 1과 같다. 즉 2단 에칭을 통해 모재 내에 Carbide를 제거한 후

EPMA분석을 수행하였다.

Table 3. 2 stage electrolytic etching method [3]

1 stage	EDTA 5g + NaF 0.5g + distilled water 100ml
2 stage	NaOH 25g + picric acid 5g + distilled water 100ml

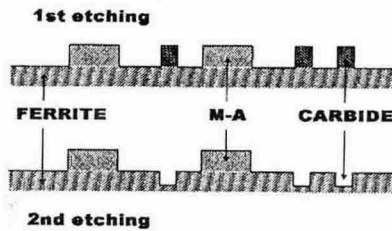


Fig. 1 Schematic diagram of 2 stage electrolytic etching method

3. 결과 및 고찰

광학현미경을 통한 초기 시편에 대한 관찰 결과는 다음 Fig. 2 와 같다.

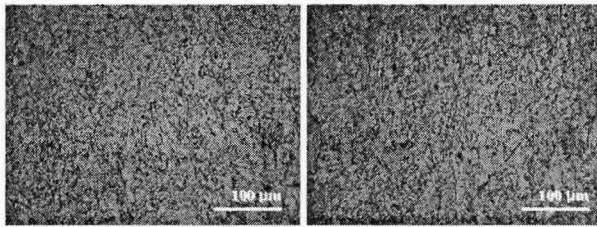


Fig.2 Initial microstructure of base metal

강에 대한 OM 관찰 결과 일반적 granular 형상의 ferrite와는 달리 granular 형상을 가지고 있는 lath 들이 발견할 수 있었으며, 더 자세한 관찰을 위하여 Fig. 3과 같이 TEM 관찰을 시행하였다.

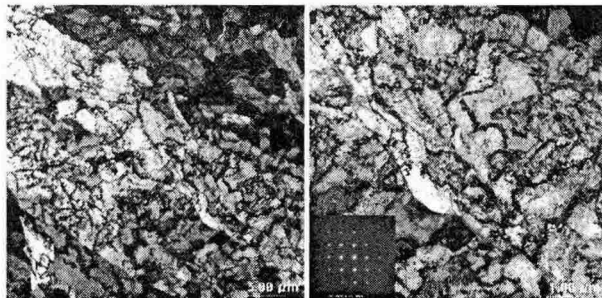


Fig.3 TEM micrograph of base metal

TEM 관찰 결과 granular한 lath 형상의 결정립들은 결정립계에 dislocation 의 밀도가 높은 것으로 보아 ferrite가 아닌 bainitic ferrite로 판단된다. 또한 일부 결정립계에서 MA상으로 판단되는 상이 관찰되었으며, 이는 저 항복비를 이루기 위해 포함된 상이라 판단된다.

다음은 높은 peak 온도로 인해 조대화된 결정립을 형성하는 CGHAZ에 대한 OM과 TEM 관찰 결과이다.

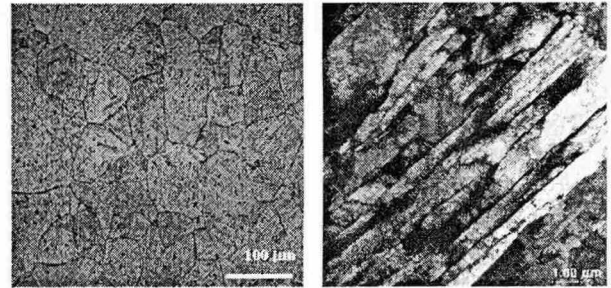


Fig.4 OM & TEM micrograph in the CGHAZ

CGHAZ에 대한 OM관찰결과 변태 전 오스테나이트 결정립계가 명확히 드러나 있음을 확인할 수 있었고 경도 확인결과 저 탄소 함량으로 인해 큰 차이는 아니었지만 그 차이를 확인할 수 있었고 TEM관찰로 그 상이 마르텐사이트임을 확인할 수 있었다.

Fig. 5와 Fig. 6은 첫 번째 패스로 CGHAZ 영역을 거치고 두 번째 패스로 ICHAZ의 영역을 거친 시편에 대한 관찰 결과이다. OM 관찰에서 결정립계에 미세한 점들로 보이는 부분들이 관찰되었는데 이것들이 MA상이라고 판단되며 TEM으로 확대 관찰한 결과 MA상을 확인할 수 있었다. 특히 ICCGAZ의 경우 설정온도에 따라 C 함량과 분율이 달라질 수 있다.

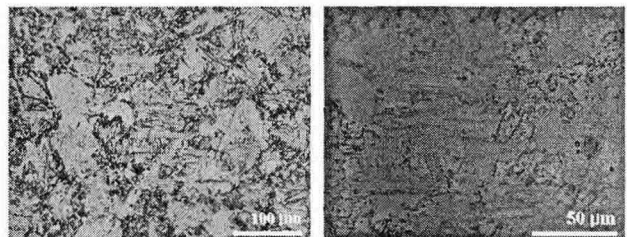


Fig.5 OM micrograph in the ICCGAZI

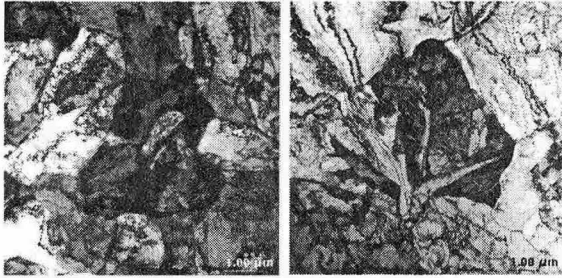


Fig.6 TEM micrograph in the ICCGHAZ

Fig. 7은 Fe-C상태도에서의 이상영역에서 온도에 대한 C함량과 분율을 표현한 그림이다.

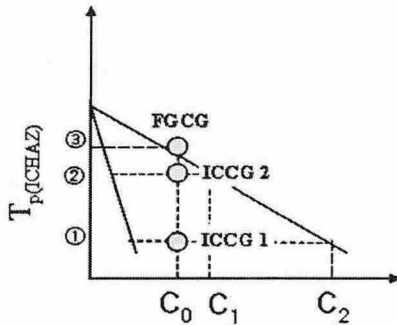


Fig. 7 Schematic diagram of two phases region of Fe-C phase diagram

그림에서 ①번 온도에서 형성된 ICCGHAZ의 MA상의 경우 오스테나이트의 C함량이 C₂에서 형성 되어서 ②의 온도에서 형성된 경우보다 높다. ①에서 형성된 MA상의 경우 더 높은 C함량으로 인해 더 높은 개별 경도를 가질 것으로 예상되며, 분율은 ②의 경우보다 낮을 것이라 예상된다. C함량 확인을 위하여 2단 전해 에칭을 하였으며, 에칭된 시편에 대해 EPMA mapping 을 수행하였다.

4. 결 론

다층 용접의 열 사이클에 대한 재현 실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 최고 가열 온도가 높은 경우 변태전 오스테나이트 결정립계(Prior austenite grain boundary)를 확인할 수 있었으며, 높은 경화능으로 마르텐사이트가 형성됨을 확인할 수 있었다.
- 2) 최고 가열 온도를 거친 후 이상영역에서의 불완전 변태를 거친 시편의 경우 오스테나이트가 형성되는 결정립계에서의 불완전 변태로 인해 MA상이 형성됨을 확인할 수 있었다.

- 3) 이상영역에서의 온도에 따라 오스테나이트의 C함량과 분율이 달라지며, 이로부터 형성된 MA상의 C함량과 분율도 달라졌다.

5. 후 기

본 연구는 산업자원부의 중기거점기술 개발사업의 지원 하에 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. F. Matsuda, Y. Fukada, H. Okada, C. Shiga, K. Ikeuchi, Y. Horii, T. Shiwaku and S. Suzuki: Welding in the world, Vol. 37, p.134(1996)
2. T. Haze, S. Aihara, T. Ohno, K. Uchino, Y. Kawashima, Y. Tomita, R. Chijiwara and H. Mimura: Seitetsu Kenkyu, No. 326, p. 36 (1987)
3. H. Ikawa H. Oshige, and T. Tanoue: J. Japan. Weld., Vol. 49 p.467 (1980)