

마르텐사이트계 스테인레스 육성용접에 관한 연구 A study on overlay welding of martensitic stainless steel

최준태*, 홍인표, 김대순
현대중공업(주), 산업기술연구소

1. 서론

마르텐사이트계 스테인레스강은 뛰어난 소입 경화성의 특징을 가진다. 따라서 화학성분 및 열처리 조건에 따라 광범위한 강도와 경도를 얻을 수 있을 뿐만아니라, 12% 이상의 Cr 함유량을 가짐으로써 내식성이 요구 되어지는 구조물 제작에 이용되고 있다.

마르텐사이트계 스테인레스 클래드 강 용접구조물 제작시 클래딩의 방법으로 이용되고 있는 마르텐사이트계 스테인레스 육성용접은 높은 예열온도, 저온균열 발생 및 용착금속의 연성저하 등 시공상의 어려움으로 오스테나이트계 스테인레스 용접재료를 사용해 육성용접하는 경우가 많았으나, 오스테나이트계 스테인레스 육성용접부의 응력 부식균열과 가열 및 냉각을 반복하는 기기류에서 모재와 육성용접부와의 열팽창 계수의 차이로 인해 피로균열의 발생 우려가 커짐에 따라 마르텐사이트계 스테인레스 육성용접이 추천되고 있다.

본 연구에서는 마르텐사이트계 스테인레스를 대표하는 TP(Type) 410의 육성용접에서 큰 문제점 중의 하나인 육성용접부의 연성 확보를 위해 화학조성 (특히 C, Ni 그리고 Nb 량) 및 열처리 온도에 따른 육성용접부의 경도 및 연성의 변화를 관찰함으로써 마르텐사이트계 스테인레스 육성용접 시공을 위해 가장 적절한 화학조성과 열처리 조건을 정립하고자 한다.

2. 실험

본 연구에 사용된 모재는 A516 Gr.60의 탄소강으로 두께는 8mm 이었다. 용접재료는 초층 용접부에 중 Cr계인 TP430Nb를 적용하였고, 잔여층에는 TP410에 Nb가 첨가된 TP410Nb를 FCAW 기법을 사용해 용접하였으며, 또한 4% Ni이 첨가된 TP410NiMo 용접재료의 경우에는 초층부터 마지막 층까지 동일한 용접재료를 사용해 SMAW 용접기법으로 용접을 실시하였다. 육성용접을 위해 200℃의 예열이 실시되었으며, 용접이 완료된 용접부는 630℃, 720℃ 그리고 850℃에서 각각 열처리를 실시하였다. 열처리 완료 후 As-weld 상태 및 각 온도에서 열처리된 용접부에서 시편을 채취하여 180° 굴곡시험, 경도시험, 화학조성 분석 및 미세조직을 관찰을 각각 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

표 1에서는 As-weld 및 각 온도에서 열처리된 용접부의 경도시험 결과를 나타냈다. TP410의 육성용접부는 각 온도에서 열처리 후 경도치가 상당히 감소하였으나, TP410NiMo 육성용접부는 720℃까지의 열처리에서는 경도치가 감소하였지만, 850℃의 열처리에서는 오히려 경도가 증가하였고, TP410Nb와 TP430Nb의 육성용접부에서는 열처리에 따른 경도치에는 큰 변화가 없었다. 표 2는 각 육성용접부의 화학조성을 보여 주고 있다.

표 1 : 육성용접부의 경도시험 결과

(Hardness test results of overlaid weld metal)

용접 재료	경도 (Hv10kg)			
	As-weld	630℃	720℃	850℃
TP410	310~340	270~290	240~250	220~230
TP410Nb	240~250	220~235	200~220	210~225
TP410NiMo	390~410	310~330	290~320	400~420

표 2 : 육성용접부의 화학조성

(Chemical composition of overlaid weld metal)

용접 재료	화 학 조 성 (wt%)						
	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	Nb
TP410	0.07	12.6	0.29	0.08	0.55	0.57	-
TP410Nb	0.02	12.7	0.01	0.22	0.77	0.52	0.10
TP410NiMo	0.06	11.6	4.32	0.34	0.45	0.26	-

표 3은 육성용접부의 굴곡시험 결과로서 Ni 및 Nb 원소가 첨가된 TP410NiMo 및 TP410Nb의 육성용접부는 630℃의 열처리에서도 충분한 연성을 확보할 수 있었지만, TP410 육성용접부는 720℃ 이상의 온도에서만 완전히 템퍼링된 마르텐사이트 조직이 생성함으로써 충분한 연성을 확보할 수 있었다. 사진 1(a)와 (b)는 720℃에서 열처리된 TP410 육성용접부에 생성된 마르텐사이트 상과 페라이트 상의 경도치를 측정된 사진이다.

표 3 : 육성용접부의 굴곡시험 결과

(Bending test results for overlaid weld metal)

열처리 온도	As-weld	630℃	720℃	850℃
TP410	F	F	A	A
TP410Nb	F	A	A	A
TP410NiMo	F	A	A	F

A : 합격 (Accept), F : 불합격 (Fail)

그림 2는 TP410 육성용접부의 굴곡 시험편의 파단면으로 Transgranular cleavage와 Dimple mode가 혼재된 양상을 보여주고 있으며, 파단 시 마르텐사이트 상이 Cleavage facet을 형성하여 파단되었음을 알 수 있었다. 그림 3(a)와 (b)는 600℃에서 열처리된 TP410Nb와 TP410NiMo의 미세조직을 보여주는 사진이다.

4. 결 론

- 1) Ni 및 Nb이 첨가된 TP410 육성용접부는 600℃의 열처리에서도 충분한 연성확보가 가능하다.
- 2) TP410 육성용접부 굴곡시험의 파단원인은 완전히 템퍼링 되지 않은 마르텐사이트 조직에 기인한다.

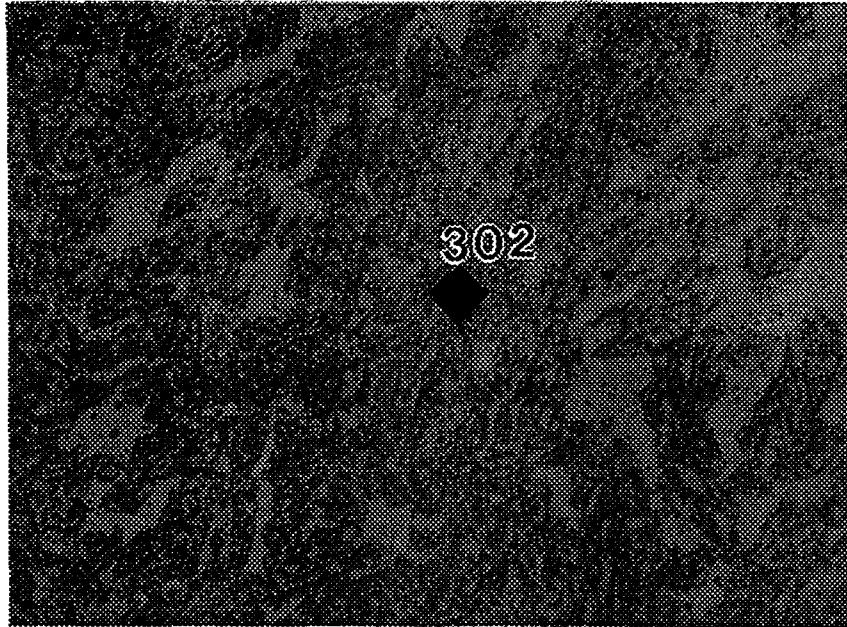


사진 1(a) : TP410 육성용접부 마르텐사이트 상의 경도시험 (x100)
(Hardness test for martensite phase of TP410 overlaid weld metal)

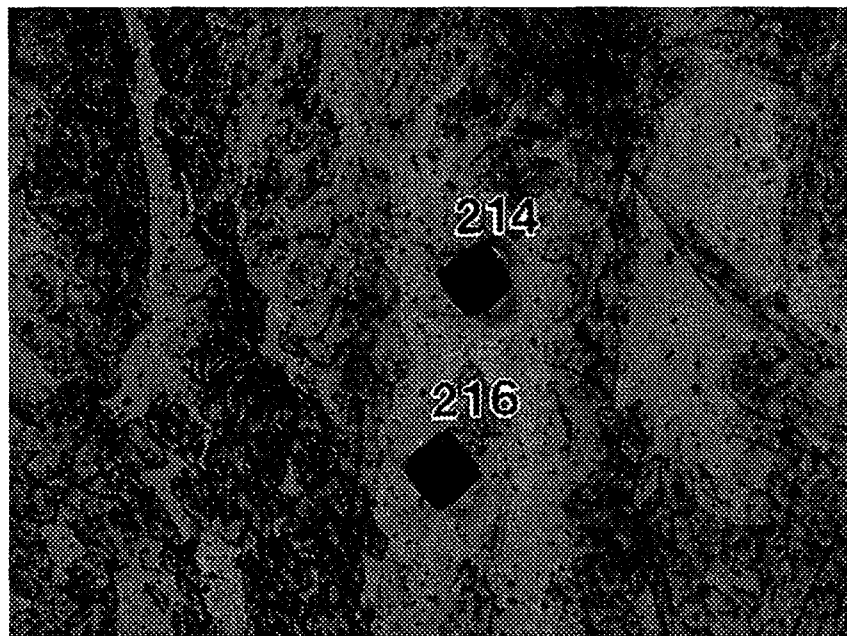


사진 1(b) : TP410육성용접부 페라이트 상의 경도시험 (x150)
(Hardness test for ferrite phase of TP410 overlaid weld metal)

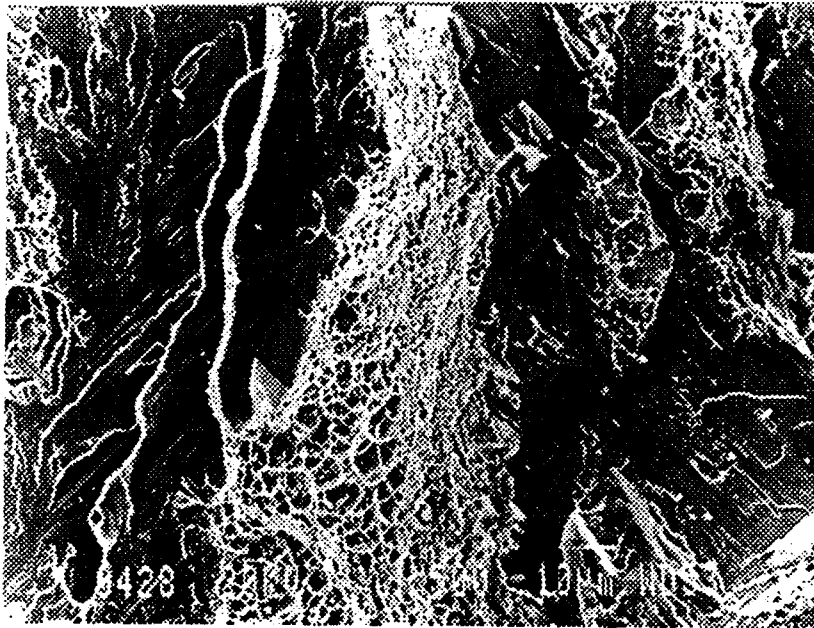
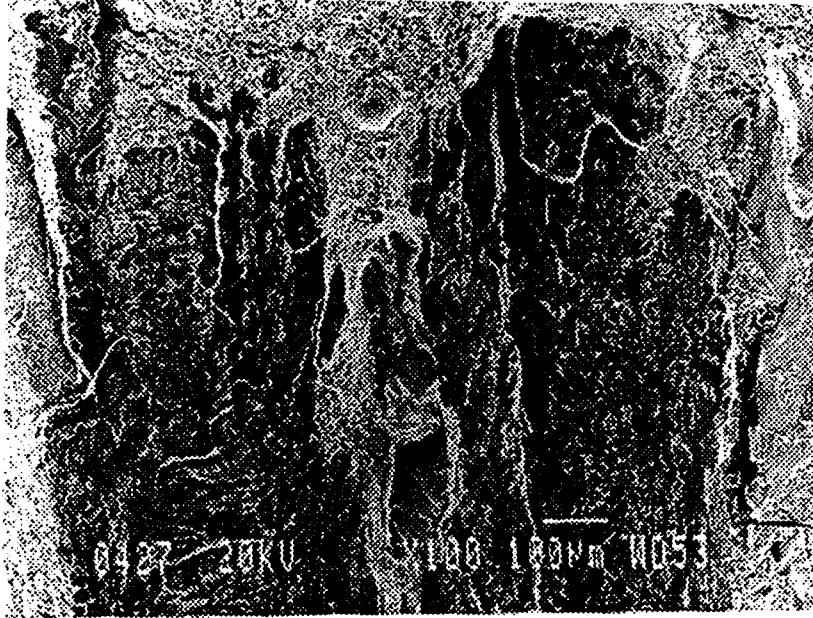


사진 2 : TP410 육성 용접부의 파단양상
(Fracture mode of TP410 overlaid weld metal)

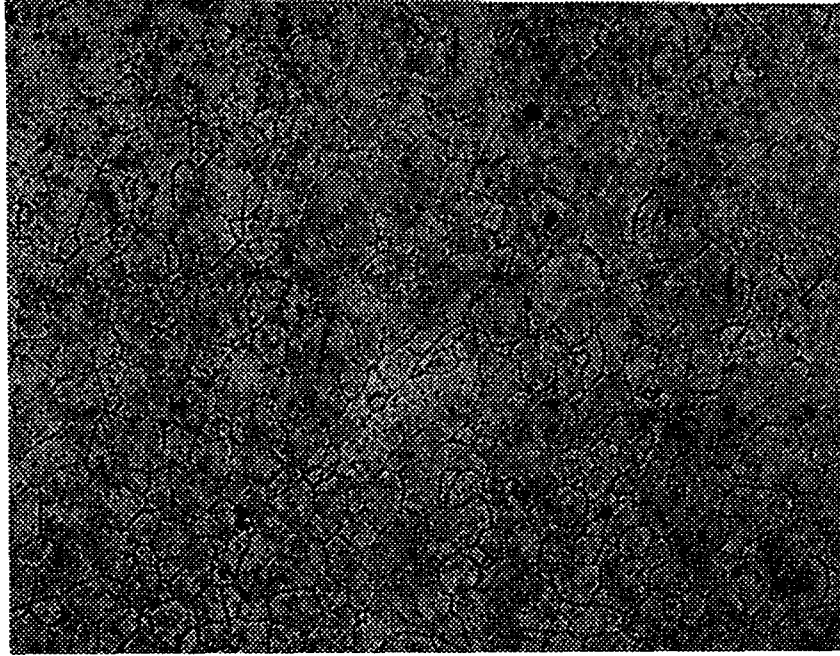


사진 3(a) : TP410Nb 육성용접부의 미세조직 (x100)
(Microstructure of TP410Nb overlaid weld metal)

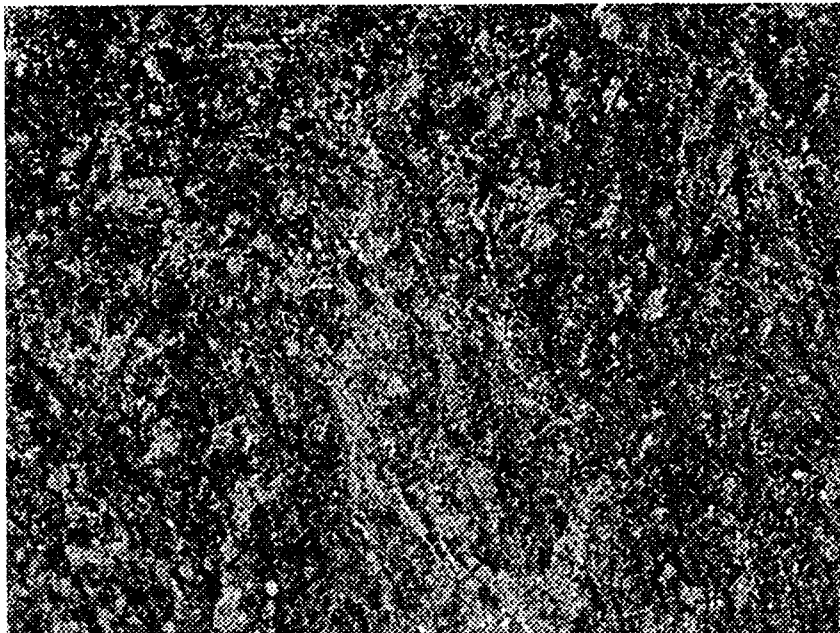


사진 3(b) : TP410NiMo 육성용접부의 미세조직 (x150)
(Microstructure of TP410NiMo overlaid weld metal)