

이상 스테인리스 Clad강 육성 용접부의 기계적 성질에 미치는 후열처리의 영향에 관한 연구

A Study on Effect of PWHT on Mechanical Properties of Overlaid Weld Metal in Duplex Stainless Clad Vessel

서 창교*, 김 영일, 성 희준, 김 대순
현대중공업 산업기술연구소

ABSTRACT

The duplex stainless clad vessel with 38mm & over thickness shall be performed to PWHT based on the ASME code. In this case, it is well-known that precipitators such as carbides and sigma(σ) phase are formed at grain boundary between ferrite and austenite phase. Therefore, a weld test for simulating this situation has been planned and performed by E309LMoT1-1 for barrier layer and E2209T1-1 for 2nd & over layer and then carried out to investigate the overlaid weld metal. Based on the test results, it could be concluded that PWHT should be carried out after the completion of 1st(barrier) layer and then 2 & over layer should be applied.

1. 서 론

최근 환경규제의 강화와 이에 따른 해양구조물의 성능향상 및 효율성 증대에 따라 상부 구조물 중에는 이상(Duplex) 스테인리스 클래드강의 압력용기가 탑재되는 추세이다. 이러한 이상 스테인리스 클래드강의 육성용접은 E309LMoT1-1(초층)과 E2209T1-1(2층 이상)로 육성용접을 한 후, 모재가 탄소강인 경우 용접금속 두께가 38mm 이상인 경우는 제작 규격인 ASME Code에 따라 용접부의 후열처리(PWHT)가 요구된다.

한편, 이상 스테인레스 육성용접부는 후열처리 과정을 통해 페라이트(Ferrite)상은 탄화물(Carbide) 및 시그마상(σ -phase) 석출로 기계적 성질의 저하가 보고되고 있다.*^{1, 2)}

따라서, 이상 스테인리스 클래드강 육성용접부의 후열처리에 따른 물성평가 및 용접순서 변경에 따른 평가를 동시에 진행하여, 최적 육성용접 시공방법을 정립하고자 본 실험을 실시하였다.

2. 실험 방법

2.1 모재 및 용접재료

사용된 모재는 압력용기에 많이 이용되고 있는 ASTM A516 Gr.60이고, 기계적 성질을 Table 1에 나타내었다.

용접재료는 초층의 경우 Cr함량이 23.44% 및 Ni함량이 13.50%인 E309LMoT1-1(AWS Class.)을 사용하였으며, 나머지층은 Cr함량이 23.15% 및 Ni함량이 9.58%를 가진 E2209T1-1(AWS Class.)을 적용되었다. 화학조성을 Table 2에 나타내었다.

Table 1. Mechanical Properties of Base Metal

Base Metal (Thk.)	T.S (MPa)	Y.S (MPa)	El. (%)
SA516 Gr.60 (25mm)	55.8	38.6	30

Table 2. Chemical Compositions of W/D Mat'l

W/D Mat'l	C	Si	Mn	P	S
A	0.028	0.65	1.50	0.018	0.012
B	0.034	0.46	0.63	0.023	0.011
W/D Mat'l	Ni	Cr	Mo	Cu	Fe/N
A	13.5	23.44	2.85	0.17	Rem.(Fe)
B	9.58	23.15	2.81	0.21	0.14(N)

(*) A : E309LMoT1-1, B : E2209T1-1

2.2 용 접

2.2.1 용접 시편

시편은 육성용접을 위해 평판을 준비하였으며, 종류는 Table 3에서 보여주듯이 용접 그대로의 상태, 초층용접후 7.5시간 후열처리하고 나머지층 용접 및 육성용접 완료후 2.5, 5.0 및 7.5시간 후 열처리를 실시한 경우였다.

Table 3. Welding Sequences

Kinds	Welding Sequences
1	1st layer→2&3 layer→As-weld
2	1st layer→PWHT(7.5hrs)→2&3 layer
3	1st layer→2&3 layer→PWHT(2.5hrs)
4	1st layer→2&3 layer→PWHT(5.0hrs)
5	1st layer→2&3 layer→PWHT(7.5hrs)

2.2.2 용접 조건

사용된 FCAW 조건은 Table 4에 보여주고 있다.

Table 4. Welding Conditions

Amp (A)	Volt (V)	Speed (CPM)	Heat Input (kJ/cm)	Interpass Temp. (°C)	PWHT (°C x Hr)
220	32	35	12.1	75~135	690 x 2.5/5.0/7.5

2.2.3 실험 내용

용접이 완료된 후, 비파괴 검사 및 후열처리를 거쳐, 시편을 기계가공을 한 후 기계적 성질시험과 아울러 미세조직도 관찰하였다.

3. 실험 결과

3.1 비파괴 검사

육성 용접부의 건전성 평가를 위해 비파괴 검사(액상침투시험)를 실시한 결과, 용접결함은 발견되지 않았으며 ASME 규정을 만족하는 결과를 얻었다.

3.2 기계적 성질

기계적 성질 시험 즉, 굽힘, 충격 및 경도시험을 실시하였다. 굽힘시험 결과는 후열처리 유지 시간에 관계없이 파단이 되었으며, 용접 그대로의 상태 및 초층 용접후 후열처리를 한 시편은 양호한 결과를 보여 주었다. 경도값은 용접 그대로의 상태와 초층용접후 후열처리를 실시한 조건은 차이가 없었으나, 시간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 충격값과 페라이트량은 용접 그대로의 상태와 초층용접후 후열처리를 실시한 조건은 차이가 미미하였으나, 유지시간 증가에 따라 감소하는 경향을 보여 주었다. 시험된 기계적 성질값을 Table 5에 나타냈다.

Table 5. Mechanical Properties of Weld Metal

Kinds	1	2	3	4	5
Macro	Good	Good	Good	Good	Good
Bend	Good	Good	Bad	Bad	Bad
Impact (J, Av @-5°C)	38	40	24	21	18
Hard. (Hv10, max)	260	256	291	287	300
Ferrite (%)	54.3	52.7	46.4	38.3	35.7

3.3 화학성분 분석

용접부의 화학성분을 분석한 결과를 Table 6에 나타냈다. 표에서 보여준 바와 같이 ASME에서 요구하는 화학성분을 만족하였다.

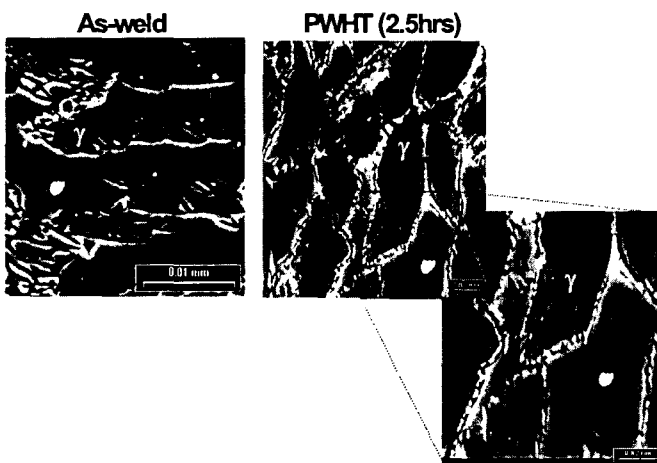
Table 6. Chemical Compositions of W/D Metal

Kinds	C	Si	Mn	P	S
Spec.	0.04	1.0	0.5-	0.04	0.03
	Max.	Max.	2.0	Max.	Max.
Act.	0.04	0.56	1.14	0.027	0.007
Kinds	Ni	Cr	Mo	Cu	N
Spec.	7.5-	21.0-	2.5-	0.5	0.08-
	10.0	24.0	4.0	Max.	0.20
Act.	10.1	21.1	2.93	0.19	0.08

3.4 미세조직 관찰

이상 스테인레스강 육성용접부의 미세조직을 주사전자현미경으로 관찰한 결과, Fig. 1에서 보이는 바와 같이 용접 그대로의 상태는 페라이트와 오스테나이트 조직으로 구성되어 있는 전형적인 이상 스테인리스 용접부 조직을 보여 주고 있으나, 후열처리를 한 시편은 페라이트와 오스테나이트 계면에서 석출상이 생성되었다.

Fig. 1. Microstructures of Weld Metal



4. 결과 및 고찰

이상과 같은 실험을 통해, 얻어진 결과는 아래와 같다.

- (1) 측면 굽힘시험 결과는 후열처리 유지시간에 관계없이 모두 파단이 되었으나, 용접 그대로의 상태 및 초층 육성용접후 후열처리를 7.5시간 실시한 시편은 양호하였다.

- (2) 후열처리에 의해 이상 스테인레스강 육성용접부의 경도값은 상승하였고, 충격값은 감소하는 경향을 나타내었다.
- (3) 이상 스테인레스강 육성용접부의 페라이트량을 측정된 결과, 후열처리에 의해 페라이트량이 감소하는 경향을 나타내었다.
- (4) 이상 스테인레스강 육성용접부의 미세조직 관찰결과, 후열처리에 의해 페라이트와 오스테나이트 계면에서 석출상이 관찰되었다.

따라서, 탄소강 모재의 후열처리가 요구되는 이상 스테인리스 클래드강 육성용접부의 경우, E309 용접재료로 초층용접을 하고 후열처리를 실시한 후, E2209 용접재료로 나머지층을 용접하여, 후열처리에 의한 이상 스테인레스강 육성용접부의 석출상 생성을 방지해야 한다.

5. 참고 문헌

- (1) T.H. Chen and K.L. Weng et al "The effect of high-temperature exposure on the microstructural stability and toughness property in a 2205 duplex stainless steel" Material Science and Engineering A338, 2002, pp.259-270.
- (2) I. Zucato and M.C. Moreira et al "Microstructural characterization and the effect of phase transformations on toughness of the UNS S31803 duplex stainless steel aged treated at 850°C" Material Research, Vol. 5, No. 3, 2002, pp.385-389.