

Austenite 계 Super stainless steel 과 Ti Plate 이종금속의 레이저 용접 특성

The Characteristics of laser welding for Ti and Super austenitic stainless steel plate

*김우성, 한원진

두산중공업(주) 기술연구원 용접기술연구팀, 경남 창원

1. 서론

원자력 및 화력 발전소의 복수기는 증기를 바닷물 등과 같은 냉각수와의 열교환을 통해서 응축하는 설비로서 다수의 열교환용 튜브로 구성되어 있다. 복수기 튜브용 재료로서 6% Mo Super austenitic stainless steel은 기존의 Ti 튜브 보다 습분 등에 의한 Erosion에 강하며 높은 탄성계수를 가지고 있기 때문에 진동에 의한 피로부식 등에 강한 특성을 가진다. 이러한 우수한 특성으로 해서 현재 원자력 복수기의 튜브 소재로서 우선적으로 적용되고 있으나 기존의 Ti 튜브와 병용하고 있기 때문에 Ti Clad 튜브시트와 튜브/튜브시트 Seal 용접이 기존의 TIG 용접으로는 불가능한 문제가 있다.

Ti과 스테인리스 강과의 이종금속 용접의 난점은 용접 가열시 취약한 금속간 화합물이 용접부 및 HAZ부에 다량 생성($TiFe_2$, $TiFe$)되어 응고 균열이 쉽게 발생되며, 두 금속 사이의 열팽창계수 차이가 크기 때문에 Fusion Line 및 HAZ에 잔류응력이 발생 하게 되고 운전 중 SCC 발생 가능성이 높다. 따라서 상기의 문제를 해결하기 위한 용접 방법으로는 레이저 용접과 같은 고밀도 에너지 용접의 적용이 필요하다.

본 연구에서는 에너지원으로 펄스형 Nd:YAG 레이저를 이용하여 6% Mo Super Austenitic Stainless Steel/Ti plate 사이의 레이저 용접 시험을 실시한 후, 미세 조직 관찰 등을 통해 용접부 건전성 및 결함 발생 유무의 조사, SEM-EDS 조직 및 성분 분석을 통한 용접부 및 HAZ부에 생성된 금속간 화합물의 화학 성분 및 분포를 조사하여 용접

성에 미치는 이들의 영향을 조사하였다. 또한 용접부, Fusion line 및 HAZ에 대한 미세 경도 분포를 조사하여 건전성을 평가하였다. 본 연구의 목적은 상기와 같은 시험을 통해 Super stainless steel/Ti 이종 금속 간의 레이저 용접 가능성을 검토하고, 적절한 용접조건을 도출 함으로서 향후 Super Stainless Steel 튜브/Ti clad 튜브시트의 Seal 용접에 적용할 수 있는 기본 토대를 마련하는데 있다.

2. 실험방법

본 시험에 사용된 재료는 실제 복수기용 튜브와 동일 사양인 6% Mo Super Austenitic Stainless Steel(SR50A) plate 및 순수 Ti (ASTM A338 Grade 2) Plate이며, 재료에 대한 사양은 아래 Table. 1 과 같다. Fig.1 은 본 시험에 사용된 시편 형상으로서 각각 50(L) x 20(W) 와 50(L) x 15(W) 크기로 가공하여 준비하였으며, 시편 전처리로서 Emery paper 연마 후 아세톤 세척을 수행하였다. 용접 시험은 Fig.1 에 나타낸 형상과 같이 먼저 각 소재에 대해 1-pass Bead on plate 시험을 실시하였으며, 이종 금속 용접으로서 Lap Joint 용접 시험을 실시하였다. 보호 가스로는 Ar 및 He 를 사용하여 각각의 영향을 조사하였다. 본 시험에 사용된 레이저 발전기는 평균 출력 500W 급 펄스형 Nd:YAG 레이저이며, 용접 전용 레이저 헤드 및 CNC 가 장착된 working table 을 사용하였다. 아래 Table. 2 는 본 시험에 사용된 레이저 용접 시험 조건 들이다.

3. 실험결과

6% Mo Super stainless steel/Ti 이종 금속 간의 시험에 앞서 각각의 합금에 대한 레이저 용접 특성을 조사하는 시험을 실시하였다.

아래 Fig.2는 Super stainless steel과 Ti plate에 대한 1-pass bead-on-plate 레이저 용접 시험 후 여러 용접 조건에 대한 용접부 단면 매크로 조직 사진이다. Fig.2에서 볼 수 있는 바와 같이 Super stainless steel plate에서는 동일한 용접속도에서 레이저 빔 출력이 높아질수록 용입이 깊어졌으며 동일한 레이저 빔 출력에서는 용접속도가 낮을수록 용입 깊이가 증가함을 볼 수 있다. Ti plate는 레이저 빔 출력이 330W 이상에서 용접 비드 및 HAZ 영역에 산화가 심하여 회색빛을 띄는 것을 관찰할 수 있었으며 330W 이하의 조건에서도 용접속도가 200mm/min 이하로 낮을 경우 산화가 심한 것을 관찰 할 수 있었다. Fig.3는 Ti plate에 대한 1-pass bead-on-plate 용접 시험 후 용접부 및 HAZ 부에 대한 미세경도 분포로서 동일한 레이저 빔 출력에서 용접속도가 느릴수록 용접부 및 HAZ 부의 미세경도가 증가함을 볼 수 있었다. 하지만 일정 용접속도 이상일 경우 동일한 용접속도에서 레이저 출력의 증가는 미세경도의 증가

에 크게 영향을 미치지 않았다.

아래 Fig.4은 6% Mo super stainless steel palte와 Ti plate의 Lap Joint에 대한 레이저 용접 후 Joint 비드 형상과 용접부 단면 매크로 조직 사진이다. Fig.4에서 볼 수 있는 바와 같이 450W 이하의 레이저 빔 출력에서 양호한 용접부를 얻을 수 있었으며, 이보다 높을 경우 Ti Plate 쪽의 용융 경계부에서 심한 산화가 발생하였다.

4 참고문헌

- (1) Hiraga Hitoshi, et. al : Nd:YAG Laser welding of Pure Titanium to Stainless Steel, Quarterly Journal of the Japan Welding Society, vol. 19 no. 4 Nov(2001), 717-726
- (2) Scott, D.A : Laser welding of titanium sheet Proceedings, 39th annual welding conference, 26-29 Aug(1991), 220-225
- (3) Bonollo, F.; Tiziani, A.; Zambon, A. : Model for CO₂ laser welding of stainless steel, titanium, and nickel: parametric study Materials Science and Technology vol.9, no.12(1993), 1137-44

Table 1 Chemical compositions of super stainless steel and Ti plate

Material		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Cu
6% Mo Super stainless steel	ASTM B676-N08367	0.03 max	2.0max	1.0 max	0.04 max	0.03 max	20~22	23.5~25.5	6.0~7.0	0.18~0.25	0.75 max
	Result for analysis	0.017	0.29	0.32	0.022	0.001	21.7	25.17	6.6	0.25	0.140
Material		N	C	H	Fe	O	Residuals	Ti			
Pure Ti	ASTM B338-02	0.03 max	0.08max	0.015 max	0.30 max	0.25 max	0.5max	Bal.			
	Grade 2 Result for analysis	0.0007	0.035	0.0002	0.037	0.0065	0.34	Bal.			

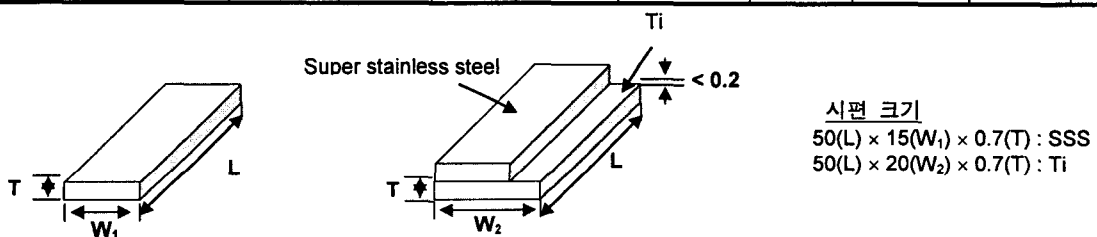


Fig. 1 Schematic drawings of bead on plate and lap joints for laser welding test

Table 2 Laser welding parameters

변 수	Average Power (W)	Voltage (V)	Pulse Width (ms)	Frequency (Hz)	Speed (mm/min)	Focal Position (mm)	Shielding Gas (l /min)
범 위	200 ~ 500	250~ 350	2~9	10~40	100~1200	-6 ~ +6	Ar.: 20~25

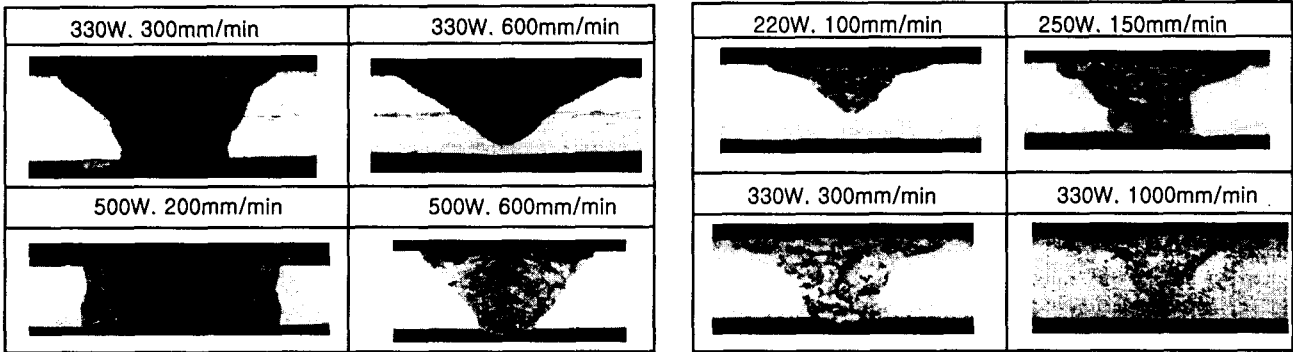


Fig. 2 Macrostructures at different laser welding parameters of super stainless steel and Ti plates

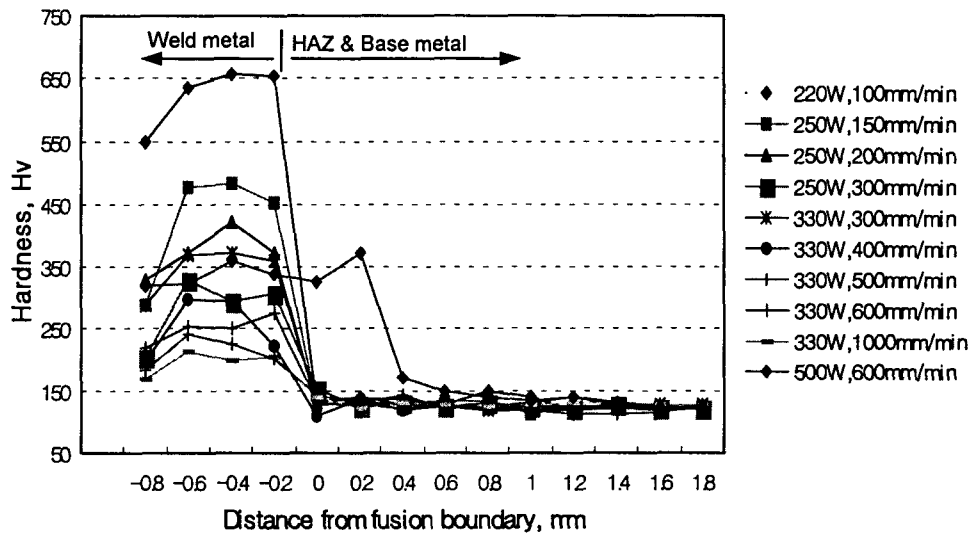


Fig. 3 Hardness distributions of the welds of Ti plates at various laser weld parameters

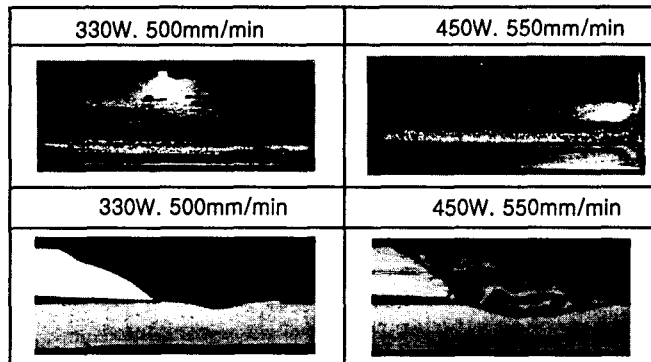


Fig. 4 Weld shapes of the lap joints of super stainless steel and Ti plates at various laser weld parameters