

압력용기강 용접부의 용접 후 열처리에 대한 연구 A Study on the Effect of PWHT on SA508 cl. Weldments.

서 윤석*, 고 진현*, 김 건형*, 오 세용**, 황 용화**

* 한국기술교육대학교 신소재 공학과

** 충남 대학교

1. 서 론

원자로압력용기, 열 교환기, 파이프라인, 해양 구조물 등에 사용되고 있는 구조용 강재를 용접 시공할 때 용접부가 양호한 인성과 기계적 성질을 갖는 것은 아주 중요하다.

이러한 구조물들의 용접재료중의 하나인 원자력 발전소 압력용기강재로 사용되고 있는 ASME SA508 cl.3 강은 C-Mn-Ni-Mo의 주요 합금 원소를 함유하며 단조로 후판 제조되는 저합금 페라이트계 강이다. 원자로 압력용기는 이 강을 용접하여 제조 되며 사용 수명기간동안 용기로서 건전성을 유지 할 수 있도록 우수한 기계적 성질이 요구된다. 특히 압력용기는 그 사용조건이 매우 가혹하며, 파손 시 대형 사고를 유발할 소지가 있기 때문에 안정성 및 신뢰성의 확보라는 측면에서 압력용기의 특성평가와 수명 평가가 많이 연구되어 왔다. 본 연구에서는 원자력 압력용기강의 용접제조시 허용하는 범위 내에서 입열량을 변화시켜 서브머지드 아크용접으로 한 패스의 비드를 용착하는 bead-in-groove 방식을 선택하였다¹⁾. 용접 후 열처리에 대한 연구로 용접 후 열처리온도가 달라짐에 따라 조직과 기계적 특성이 얼마나 달라지는지에 대해서 조사해 보았다.

2. 실험 방법

2.1 모재 및 용접 재료

본 실험에 사용된 모재는 SA508 class 3강으로 두께 18mm, 가로 90mm, 세로 400mm 의 시험편을 사용하였다. 강판 중앙에 깊이를 4,6,8mm와

R 6mm로 가공하여 세 가지 U형 그루브를 준비하였다. 용접 재료는 압력용기 제작시 요구되는 규격에 따라 서브머지드 아크용접 와이어와 염기성 저온 소결형 플럭스를 선정하였다. 플럭스는 사용하기 전 4시간동안 건조 하였고, 모재는 용접하기 전 120℃로 가열하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 용접조건

용접 입열량은 압력용기용 강재 SA508 cl.3의 용접 사양서의 용접조건을 고려하여 선정하였다. 본 실험에서는 Table 1 과 같이 용접전압을 일정하게 유지하고 용접전류와 속도를 변화시켜 1.6, 3.2와 5.0kJ/mm의 3가지 입열량을 선정하고 단일 패스로 비드인 그루브를 용접하였다. 용접 예열 온도는 120℃이고, 600℃에서 40시간 동안 용접 후열처리 한 것과 700℃에서 40시간동안 용접 후 열처리를 실시하여 2가지의 시험편을 준비하였다.

Table 1. Welding parameters of SA508 cl.3 steel used in this study

Heat input (kJ/mm)	Welding Current (A)	Voltage (V)	Travel speed (cm/min)	PWHT		Preheat T(℃)
				600℃ 40hrs	700℃ 40hrs	
1.6	580	30	65	600℃ 40hrs	700℃ 40hrs	120
3.2	600	30	34			
5.0	660	30	24			

2.2.2 미세조직 및 기계적 시험

용접 시편은 2~3% Natal 용액으로 부식한 후 광학 현미경과 주사전자 현미경으로 미세조직을 관찰하였다. 용접금속의 화학 조성은 고주파 유도 결합 플라즈마 분광분석기(Inductively coupled plasma spectrometer, ICP)와 발광분석기(Emission spectrometer)를 사용하여 분석하였다.

용접된 시편을 용접 중앙선을 기준으로 용접 길이 방향 55mm를 절단하고 모재 표면 아래 2mm 절삭 후 ASTM standard E 23~83에 따라 5x5x55mm 치수와 노치깊이 1mm, R이 0.25mm 이고 45°의 노치를 갖는 서브사이즈 샤르피 V 노치 충격시편을 준비하였다²⁾. 완전한 연성-취성 천이곡선을 구할 수 있게 충격시험은 -190℃ ~ 20℃ 범위에서 액체질소를 사용하여 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 용접부 미세조직

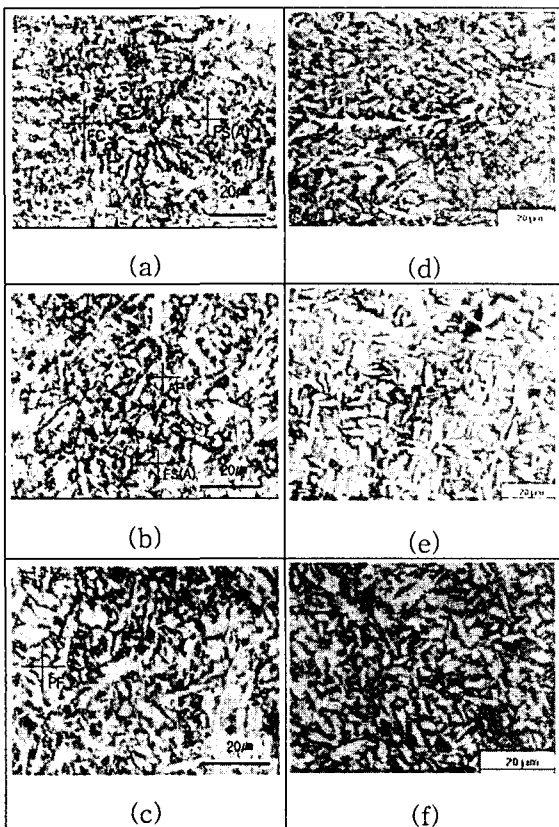


Fig. 1 Microstructures of PWHT weld metals as a function of heat inputs(x1,000).

(a)1.6, (b) 3.2 and (c)5.0 kJ/mm at 600℃
 (d)1.6, (e) 3.2 and (f)5.0 kJ/mm at 700℃

Fig. 1(a), (b)와 (c)는 입열량 1.6, 3.2와 5.0

kJ/mm에서 용접 후 600℃에서 40시간동안 후 열처리 작업을 한 용접금속을 광학현미경으로 관찰한 미세조직이다. Fig. 1(a)는 입열량 1.6 kJ/mm에서 용접된 미세조직으로 주로 미세한 페라이트와 작은 크기의 니들(ferrite needle)형태의 페라이트가 생성되었고, Fig. 1(b)는 입열량 3.2 kJ/mm에서의 용접금속의 미세조직으로 다량의 침상 페라이트(AF)와 소량의 다각형 페라이트(polygonal ferrite)로 구성되었다. 입열량 5.0 kJ/mm에서는 페라이트 형상이 조대화된 입계 페라이트와 둥근 다각형 페라이트가 증가되었다^{3,4)}. Fig. 1(d), (e)와 (f)는 입열량 1.6, 3.2와 5.0 kJ/mm에서 용접 후 700℃에서 40시간동안 후 열처리를 한 미세조직이다. Fig. 1(a), (b)와 (c)의 600℃에서 용접 후 열처리 미세조직과 700℃의 용접 후 열처리 미세조직을 비교하면 (d), (e),(f)의 미세조직이 용접 후 열처리온도가 높았기 때문에 조직이 더욱 조대화 되었다. 각 입열량과 비교하면 더욱 조대한 페라이트로 구성되어있다.

3.2 충격시험

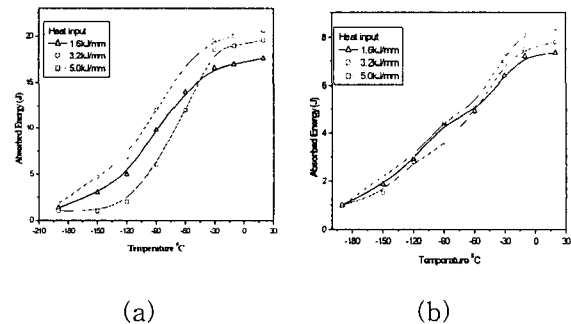


Fig. 2 Results of impact test of PWHT weld metals
 (a) Absorbed energy vs. temperature at 600℃
 (b) Absorbed energy vs. temperature at 700℃

Fig. 2(a)와 (b)는 입열량 1.6, 3.2와 5.0 kJ/mm로 한 패스로 용접된 용접부를 소형 규격으로 가공된 샤르피 V 노치 충격시편을 상온부터 -190℃ 범위로 시험된 충격흡수에너지이다. Fig. 2(a)에서 연성-취성 천이온도는 각각 -87℃, -96℃와 -70℃로 입열량 3.2 kJ/mm에서 가장 낮다. 입열량 3.2 kJ/mm은 다른 입열량에서 용접된 것 보다 시험 온도 범위 전역에서 가장 우수한 충격흡수 에너지를 보여 주고 있다. 입열량 3.2 kJ/mm에서 용접 미세조직이 입열량 1.6과 5.0 kJ/mm에서 보다 충격인성에 유리한 침상 페라이트가 더 많이

생성되었고 충격인성에 불리한 입계 페라이트, 다각형 페라이트나 베이나이트 조직의 생성이 적었기 때문에 사료된다. Fig 2(b)에서의 충격흡수 에너지를 살펴보면 용접 후 열처리 온도가 높아짐에 따라서 용착부의 인성이 떨어져서 충격흡수 에너지값이 감소하였다. 이러한 점으로 용접 후 열처리 온도가 높아짐에 따라서 충격인성의 변화가 생겼다는 것을 알 수 있다.

3.3 경도시험과 인장시험

입열량이 증가할수록 용접금속의 경도는 감소하였다. 이것은 앞에서 고찰한 바와 같이 낮은 입열량에서는 미세한 페라이트가 생성되었고, 입열량이 3.2 kJ/mm에서는 침상 페라이트가 생성되었으며 입열량이 5.0 kJ/mm로 증가하면서 페라이트 입자가 조대한 다각형 페라이트와 입계 페라이트의 생성이 증가되었기 때문에 경도가 감소한 것으로 사료된다⁵⁾. Table 2와 3은 전 용접금속의 인장시험결과로 입열량이 증가할수록 항복강도와 인장강도는 감소하였으나 연성은 증가하였는데 이것은 미세조직 변화 때문으로 사료된다.

Table 2 Tensile test results for PWHT weld metals at 600°C.

Heat input (kJ/mm) 600°C PWHT	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
1.6	583	634	22.8	71.2
3.2	567	625	24.2	72.9
5.0	527	615	24.5	73

Table 3 Tensile test results for PWHTI weld metals at 700°C.

Heat input (kJ/mm) 700°C PWHT	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
1.6	360	563.490	21	55
3.2	381.82	555.653	23	62
5.0	328.8	520.35	23.6	66

4. 결 론

본 연구에서는 압력용기강재 SA508 class 3 강

판에 U-그루브를 가공하고 서브머지드 아크 용접을 하여 단일패스를 용착하는 bead-in-groove 방식으로 입열량을 1.6, 3.2와 5.0 kJ/mm로 변화시키고 용접 후 열처리의 온도를 600°C와 700°C로 변화시켜서 입열량이 용접부의 미세조직과, 인장강도, 경도 및 충격흡수에너지에 미치는 영향을 비교 조사하였고, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 600°C와 700°C 용접 후 열처리에서 입열량이 증가할수록 전 용접금속의 인장강도와 경도는 감소하였으나 연성은 증가하였다. 소형 CVN 충격시험에서는 입열량 3.2 kJ/mm로 용접된 용접부에서 인성이 가장 좋았다.

2) 단일패스 용접부의 미세조직은 입열량 1.6 kJ/mm에서는 미세한 페라이트, 3.2 kJ/mm에서는 침상 페라이트가 가장 많이 생성하였으나, 입열량 5.0 kJ/mm에서는 입계 및 다각형 페라이트의 생성 비율이 증가하였다. 열처리 온도가 높아짐에 따라 미세조직의 크기도 조대해 졌다.

3) 600°C로 용접 후 열처리한 결과에서 나타난 인장강도, 경도, 충격흡수 에너지는 700°C에서 용접 후 열처리한 조건에 비해 감소하였다.

참고문헌

1. Classification of Microstructure in Low Carbon Low Alloy Weld Metal, IIW Doc, 1983, 1282-1283
2. ASTM standard E 23-83
3. Se-Chul Kim, Nam-Hoon Kim, Jin-hyun Koh, Young-Hwan Kang, Kee-Nam choo : A Study on the Microstructure and Toughness in the Submerged Arc Weld Metal of SA508 Class 3 Steel, 대한용접학회 추계학술발표대회, 부산대학교, 5.22-23 (2003), 75-77 (in Korean)
4. Guide to the hight microscope examination of ferritic steel weld metals, IIW Doc, No. IX-1533-88 IXJ-123-87 Revision 2
5. Yun-seok Seo, Jin-Hyun Koh, Nam-Hoon Kim, Se-Yong Oh, Kee-nam Choo : Effect of Heat Input on the Mechanical properties of SA508 class 3 Steel Weldments with Submerged Arc Welding, (In Proceeding)