2004년도 춘계 학술발표대회 발표논문, 2004년 5월, 제주

압력용기강재 SA508 class 3의 서브머지드 아크용접부에 대한 연구

Study on RPV SA508-class 3 Steel Weldments with Submerged Arc Welding

서윤석*, 고진현*, 김남훈*, 김건형*, 오세용, 황용화*****

* 한국기술교육대학교

** 충남대학교

***한국원자력연구소

1. 서 론

본 실험에서 SA508 CL.3 강재의 서브머지드 아크 용접부에 대한 연구로 입열량의 차이에 따라서 인성과 미세조직과의 관계를 조사하였다. 강도가 크면 인성이 작아지고 연성이 작아지는 것을 확인하고, 입열량이 3~5kJ/mm^{2}를 표준으로 하는데, 본 실험에서는 1.6 kJ/mm^2, 3.2 kJ/mm^2 5.0 kJ/mm^2 세 가지조건으로 실험해 보았다.

실험 과정으로는 압력용기 강재 SA508 class 3를 강재 중앙에 U-groove를 따라 서브머지드 아크 용접으로 단일 패스로 비드를 형성하는 bead-in-groove 방식으로 용접하였다. 용접 실험 후 서브사이즈 CVN 충격시험과 미세조직 관찰, 인장시험을 실시하였다. 이중 충격시험에서는 연성천이를 조사 했으며, 충격 흡수 에너지, Lateral expansion을 실험 하였다. 이로서 연성 천이는 충격 흡수 에너지 3.2 kJ/mm^{2}에서 가장 큰 값을 보였으나, 강도와 경도는 입열량이 증가할 수록 감소하였고, 연성은 증가하였다.

미세 조직은 광학 및 주사전자 현미경으로 관찰하고, 충격파면은 주사전자 현미경으로 관찰하였다. 1.6 kJ/mm^{2}에서 베이나이트와 소량의 침상페라이트, 3.2 kJ/mm^{2}에서는 취성파괴저항성이 있는 침상페라이트가, 5.0kJ/mm^{2}에서는 다량의 입계 및 다각형 페라이트가 생성 되었으며, 소량의 침상 페라이트도 생성되었다. 파면 조사결과 용접 입열량이 증가함에 따라 페라이트 입자크기가 증가함이 확인되었다[1][2][3].

2. 실험방법

2.1 모재 및 용접재료

모재는 두께 18mm, 가로 90mm, 세로400mm의 치수였다. 강판 중앙에 깊이를 4, 6, 8mm로, 하단에 R을 6mm로 가공하여 세가지 U형 그루브를 가공하였다. 용접재료는 압력용기 제작시 요구되는 규격에 따라 서브머지드 용접와이어와 플럭스를 사용하였다. 플럭스는 사용하기전 250℃에서 4시간동안 건조 하였고, 모재는 용접하기 전 120℃로 가열하였다.

2.2 용접

모재 중앙에 가공된 그루브를 따라 단일패스 비드를 용착하는 bead-in-groove방식으로 용접했다.

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

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

2.3 미세조직 및 기계적 시험

용접시편을 용접 길이방향으로 중앙에서 절단 후 2%와 3% Nital 용액으로 부식 후 광학현미경과 주사전자 현미경으로 용접부와 열 영향부의 미세조직을 관찰하였다. 용접금속의 화학 조성은 고주파 유도결합 플라즈마 분광분석기(ICP)와 발광분석기를 사용하여 분석하였다.

용접된 시편을 용접중앙선을 기준으로 용접 길이방향 55mm를 절단하고 모재 표면 아래 2mm 절삭후 ASTM standard E 23-83에 따라 5x5x55mm 치수와 깊이 1mm, R이 0.25mm이고 45° 의 노치를 갖는 서브사이즈 샤르피 V노치 충격시편을 준비하였다[4]. 완전한 연성-취성 천이 곡선을 구할 수 있게 충격시험은 -190℃~20℃ 범위에서 액체질소를 사용하여 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 용접부 미세조직

(a) (b) (c)

Fig. 1 Microstructures of weld metals with different heat inputs(x1,000). (a) 1.6, (b) 3.2 and 5.0 kJ/mm

입열량은 Fig. 1(a), (b)와 (c)는 1.6, 3.2와 5.0 kJ/mm에서 용접된 것을 광학현미경으로 관찰된 미세조직이다. Fig. 1(a)는 입열량 1.6 kJ/mm에서 용접된 것으로 미세조직으로는 주로 상부 베이나이트와 작은 크기의 니들(ferrite needle)형태의 페라이트는 적게 생성되었으나, 입열량 3.2 kJ/mm에서 용접된 미세조직은 Fig. 1(b)는 침상형태의 페라이트들이 서로 얽혀있는 침상 페라이트(AF)가 주된 미세조직과 소량의 다각형 페라이트(polygonal ferrite)로 구성되었고, 입열량이 더욱 증가된 5.0 kJ/mm에서는 페라이트 형상이 조대화된 입계 페라이트와 둥근 다각형(polygonal) 페라이트가 증가되었다[3].

입열량이 1.6에서 3.2 kJ/mm로 증가함에 따라 침상 페라이트가 더 많이 생성되었는데 이것은 용접 아크열에 의해 모재가 용착금속으로 되는 희석효과(dilution effect)가 있었기 때문으로 사료된다[5]. 그러나 입열량이 5.0 kJ/mm로 증가하였을 때는 희석효과가 감소된 것으로 사료된다. 용접 입열량이 증가함에 따라 입계 페라이트와 구형화 내지 다각형(polygonal) 페라이트가 생성되었다. 이것은 용접입열량 증가에 의해 용접부의 냉각속도가 느려졌기 때문으로 사료된다.

3.2 충격시험 및 파면

입열량 3.2 kJ/mm에서 흡수에너지가 가장 높고, 입열량 5.0 kJ/mm에서 가장 낮은 흡수에너지를 보여주고 있으며, 입열량 1.6 kJ/mm에서 흡수에너지는 앞의 두 곡선사이의 흡수 에너지를 보여주고 있다.

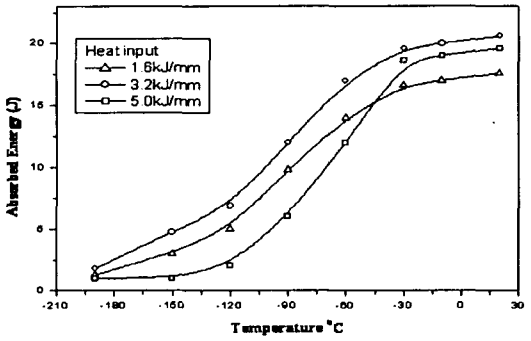
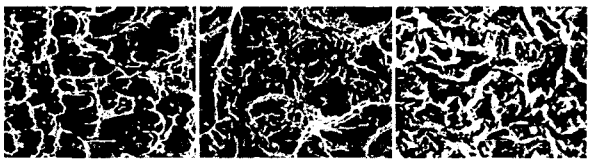


Fig. 2 Absorbed energy vs. test temperature of weld CVN specimens with different heat inputs.

상온(20℃)에서 파괴된 충격시편의 파면은 모두 전형적인 연성파단모드인 딤플로 구성되어 있으며, -90℃에서 파괴된 파면은 입열량 1.6과 5.0 kJ/mm의 시편에서는 의사벽개(quasi-cleavage)의 취성 파면을 보여주고 입열량 3.2kJ/mm 파면은 미소기공의 딤플이 상당히 많이 존재하는 연성과 일부 취성파면으로 구성되어 있다.



(a) (b) (c)

Fig. 3 SEM fractographs of weld CVN specimens(x2,000). (heat input : 3.2kJ/mm) (a) 20℃, (b) -90℃ and (c) -190℃

3.3 경도시험과 인장시험

Fig. 4는 입열량을 1.6, 3.2와 5.0 kJ/mm로 변화시켜 용접된 용접부의 경도변화를 조사한 것이다. 모재의 경도는 210-240 Hv 범위이고, 열영향부의

경도는 입열량 1.6, 3.2와 5.0에서 각각 280-400 Hv, 260-360 Hv와 230-270 Hv 범위이고, 용접부의 경도는 입열량 1.6, 3.2와 5.0에서 각각 270-290 Hv, 250-270 Hv와 230-250 Hv 범위이다. 이상에서와 같이 열영향부의 경도가 모재 보다 높았다. 이것은 열영향부의 미세조직으로 경한 마르텐사이트가 생성되었기 때문이다. 그리고 이미 고찰한 바와 같이 입열량이 증가할수록 용접부의 경도는 감소하였다. 이것은 앞에서 고찰한 바와 같이 낮은 입열량에서는 용접부의 미세조직이 베이나이트가 생성되었으나 입열량이 3.2kJ/mm에서는 침상 페라이트가 생성되었으나 입열량이 5.0 kJ/mm로 증가하면 페라이트 입자가 조대한 다각형 페라이트와 입계 페라이트의 생성이 증가되었기 때문에 경도가 감소한 것으로 사료된다. Table 2는 용접금속의 인장시험결과로 입열량이 증가할수록 항복강도와 인장강도는 감소하였으나 연성은 증가하였는데 이것은 앞에서 고찰한바와 같이 미세조직 변화 때문으로 사료된다.

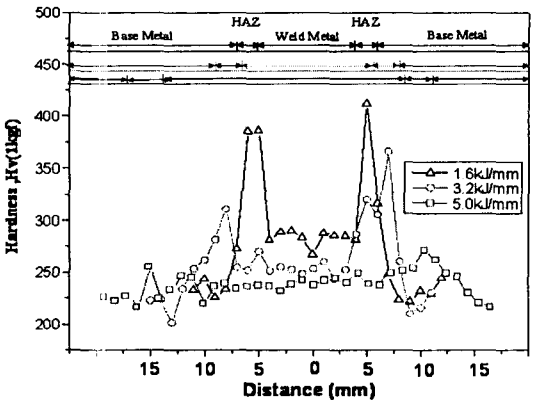


Fig. 4 Hardness profile transverse to welds made with different heat inputs.

Table 2 Tensile test results for all weld metals

Heat input (kJ/mm)	Y.S (MPa)	T.S (MPa)	Eℓ (%)	R.A (%)
1.6	583	634	22.8	71.2
3.2	567	625	24.2	72.9
5.0	527	615	24.5	73

4. 결 론

본 연구에서는 압력용기강재 SA508 class 3 강판에 U-그루브를 가공하고 서브머지드 아크 용접을 하여 단일패스를 용착하는 bead-in-groove 방식으로 입열량을 1.6, 3.2와 5.0 kJ/mm로 변화시켜 입열량이 용접부의 미세조직과, 인장강도, 경도 및 서브사이즈 충격시편을 사용 흡수에너지에 미치는 영향을 조사하였고, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 입열량이 증가할수록 용접부 용입에서는 큰 차이가 없으나 폭은 크게 증가하였다. 그러나 용접금속의 주요 합금조성에는 큰 차이가 없었다.

2) 단일패스 용접부의 미세조직은 입열량 1.6 kJ/mm에서는 베이나이트, 3.2 kJ/mm에서는 침상 페라이트가 가장 많이 생성하였으나, 입열량 5.0 kJ/mm에서는 입계 및 다각형 페라이트의 생성 비율이 증가하였다. 그리고 파면에서도 입열량이 증가 할수록 딤플 또는 파면의 크기가 증가하였다.

3) 단일패스 용접부에서 입열량이 증가할수록 전용착금속의 인장강도와 경도는 감소하였으나 연성은 증가하였다. 서브사이즈 CVN 충격시험에서는 입열량 3.2 kJ/mm로 용접된 용접부에서 인성이 가장 좋았다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력연구기반 확충사업 하나로 공동이용활성화 분야의 과제로 수행된 결과이며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 1.R.E.Dolby, Welding Institute Research Report 14/1976/M, 1976
2. A.G.Glover, J.I.McGrath and N.F.Eaton, Symposium on Toughness Characterization and Specification for HSLA and Structural Steels, Metallurgical Society of AIME, Atlanta, 1977, pp.143-160
3. C.B.Dallen, S.Liu and D.L.Olson: Welding Journal, Vol.64, No. 1985, p.140s
4. ASTM standard E 23-83
5. A.C.Hunt, A.O.Kluken and G.R.Edwards, Heat Input and Dilution Effects on Microalloyed Steel Weld Metals, Weld. J. 73(1), Jan. 1994, pp.9s-15s