

## 9%Ni강의 용접성(I)

-용접부의 조직과 인성-

## Weldability of 9%Ni steel(I)

-Microstructure and toughness of welded joint-

이종봉\*, 장래웅\*, 한재광\*, 안승개\*\*

\* 산업과학기술연구소, \*\* 포항종합제철(주)

### 1. 서론

최근 국내에서도 LNG탱크 건설이 확대됨에 따라, 그 재료로 사용되고 있는 종래의 극저온용 9%Ni강을 극저P화 및 고인성화하여 양산체제를 갖추게 되었다. 본 연구는 이러한 국산 강재의 기본 특성을 평가하기 위해, 탱크의 제작시 적용되는 각종 용접방법 및 용접조건에 따른 조직변화와 충격인성의 변화 등 일반적인 특성을 종합 검토했다. 또, 용접부 충격인성의 변화 원인에 대해서는 열Cycle 재현시험에 의한 검토도 병행하였다.

### 2. 실험방법

시험재로 사용한 두께 25mm 및 37mm인 9%Ni강의 화학성분 및 기계적 성질은 Table 1과 같다. 조괴재로서 탈인처리를 실시하여 P함량을 40ppm정도로 낮추고, 압연후 QLT처리를 실시하여 상온에서 안정한 잔류 오스테나이트상이 6%정도 함유되게 하였다.

용접방법은 Table 2에 나타낸 바와 같이 입향상진자세로서 SMAW 및 GTAW를, 하향자세로서 SAW를 실시했다. 용접재료는 SMAW에는 Inconel type, GTAW 및 SAW에는 Hastelloy type의 시판재를 사용하였으며, SMAW의 경우에는 비교를 위해 두 종류의 용접재료를 사용했다. 용접시의 개선은 X 및 K의 두가지 형태로 가공했으며, 용접은 실제 시공시와 동일한 조건으로 실시했다.

이와같이 제작한 용접 이음부에 대하여 Macro 및 Micro 조직관찰, 경도분포 및 Charpy 충격시험을 실시했다. 충격시험편의 노치 가공 위치는 용접금속부(WM), Fusion line(FL), FL+1, FL+3, FL+5, FL+7mm의 위치로 세분하고, 시험은 -170 및 -196°C의 두 온도에서 실시했다.

용접 열Cycle 재현시험은 고주파 가열장치를 사용하였으며, 11x11x70mm의 각형 시험편에 단일 열Cycle을 부여했다. 열Cycle조건은 가열속도를 130°C/sec이상으로 하고, 최고 가열온도를 1350~550°C의 사이에서 임의로 선택했다. 냉각속도는 1350~800°C, 800~500°C 사이를 각각 15초, 20초의 조건과, 각각 6.7초 및 9.5초로 변화시키는 조건을 부여했다. 이 조건은 판두께 23mm의 9%Ni강을 GTAW 방법으로 각각 입열량 26kJ/cm 및 45kJ/cm의 조건으로 입향상진 용접하는 경우의 조건에 상당하는 것이다. 이러한 용접 열Cycle 재현부에 대해서도 충격시험 및 조직관찰을 실시했다.

### 3. 실험결과 및 고찰

용접이음부의 인장시험 결과, 사용한 모든 용접방법 및 조건에서 규격치를 충분히 만족하였으며, 길이방향으로의 굴곡시험 결과도 양호함을 확인 했다.

Fig.1은 37mm 두께의 SMAW 이음부의 경도 분포를 나타낸 것이다. 모재의 경도값

이 약 Hv250이며, 경도값이 용접 열영향부에서 급증하고 있다. 특히 표면부 및 이면부의 경도가 약 Hv370~380으로서 최고값을 보이며, 이러한 경향은 GTAW 이음부에서도 동일함을 확인했다.

Fig.2는 37mm 두께의 SMAW 이음부에 대한 충격시험 결과를 나타낸 것이다. 충격 인성은 WM, FL, FL+1mm의 위치가 거의 동일하고 용접부중 최소치를 보이지만, 용접재료에 따라 다소 차이를 보임을 알 수 있다. 이러한 충격치는 FL+3mm에서 급증하여 최고치를 나타낸 후, 모재쪽으로 점차 이행함에 따라 약간 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 용접부의 최저 충격치도 규정 규격인 -196°C에서 34J 이상은 물론, 최근 보다 엄격하게 요구되고 있는 수요가의 규격도 충분히 만족하고 있다. 이러한 용접부의 충격인성은 두께의 1/4에서 채취된 시험편에 대한 결과로서, 두께의 1/2에서 채취된 시험편도 동일한 경향이며, 시험한 범위내에서는 용접재료 및 용접 조건에 따른 차이가 없고 거의 일정함을 확인했다.

Fig.3은 25mm 두께의 GTAW 이음부에 대한 충격시험 결과로서, SMAW 이음부에 비해 충격치가 전반적으로 높지만 용접부위에 따른 경향은 동일함을 알 수 있다. 이와같이 용접금속부의 충격치가 SMAW에 비해 다소 높은 것은 Hastelloy제가 Inconel계에 비해 충격인성이 양호하기 때문이며, FL+3mm이후의 충격치 차이는 판 두께가 상이함에 기인한 것으로 생각된다.

이상과 같은 용접부위별 충격인성의 변화 원인을 상세히 검토하기 위하여, 단일 열Cycle 재현부의 인성 및 조직의 변화를 조사했다. Fig.4는 용접 입열량 및 최고 가열온도에 따른 -196°C에서의 충격치의 변화를 나타낸 것이다. 충격치는 가열온도가 700~900°C 및 1350°C인 경우에 저하하며, 1200°C부근에서는 크게 증가하고 있다. 또한 이러한 결과는 입열량에 따른 변화가 거의 없고 동일한 경향을 보임으로써 시험 범위내에서는 입열량에 무관함을 알 수 있다.

이러한 각 온도로 가열된 강의 조직을 관찰한 결과, 1350°C에서는 거의 대부분 결정립이 조대한 마르텐사이트 조직이지만 부분적으로 상부 베이나이트 조직도 혼재되어 있음을 볼 수 있었다. 그러나, 1150°C에서는 균질한 전형적인 저탄소 마르텐사이트 조직이 관찰되었다. 한편, 900°C 및 700°C에서는 조직이 극히 세립화 되어 있었지만, 이 온도 구간은 가열시 페라이트와 오스테나이트가 공존하는 영역으로서, 부분적으로 생성된 오스테나이트중에는 C의 농화에 의한 고탄소 마르텐사이트인 도상 마르텐사이트가 쉽게 생성될 것으로 추측되며, 이것이 인성 저하의 원인으로 작용한 것이라 생각된다.

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of materials used

Material	Chemical Composition (wt.%)							Tensile Properties			vE <sub>-196</sub> (J)
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Sol-Al	YP (MPa)	TS (MPa)	El. (%)	
9%Ni (QLT)	0.07	0.252	0.68	0.004	0.001	9.26	0.033	671	729	30	220

Table 2 Welding conditions used

Plate Thick. (mm)	Welding Method	Test Direction	Welding Conditions						
			Edge Preparation	Multi-pass Layer	Welding Material	Current (A)	Voltage (V)	Speed (mm/min.)	Heat Input (kJ/cm)
25	SMAW	T	K	5	NIC-70S	100~120	25	50~80	27
		T	X	6		100~120	25	50~70	28
		L	X	6		100~120	25	50~70	28
	GTAW	T	K	6~7	NF196	230~290	10.5	40~60	33
	SAW	T	X	11	US-709S	390~410	32	350	22
		L	X	4	/PFN-3	390~410	32	350	22
37	SMAW	T	K	10	NIC-70S	90~120	25	50~90	25
		T	X	11	Y.W.B(M)	115~120	25	50~70	30
	GTAW	T	K	9	NF196	230~290	10.5	40~70	33

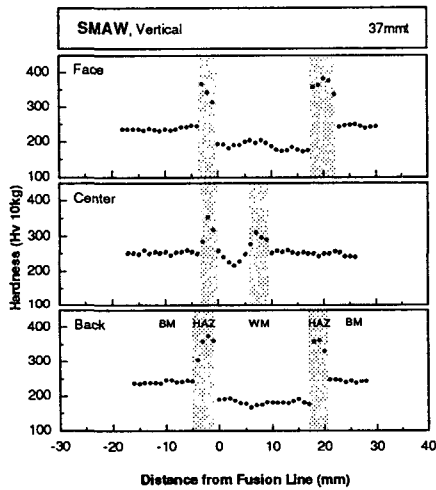


Fig.1 Hardness distributions of SMA welded joint

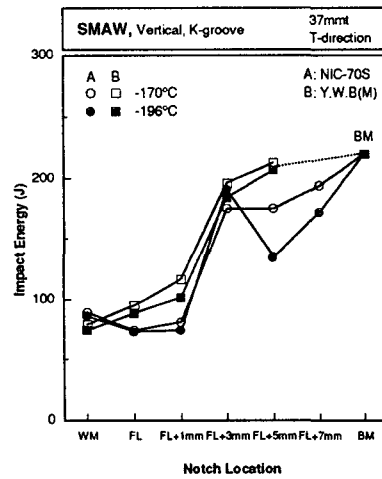


Fig.2 Impact energy variations with notch location in SMA welded joint

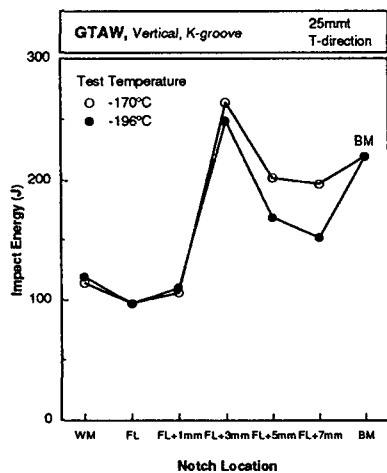


Fig.3 Impact energy variations with notch location in GTA welded joint

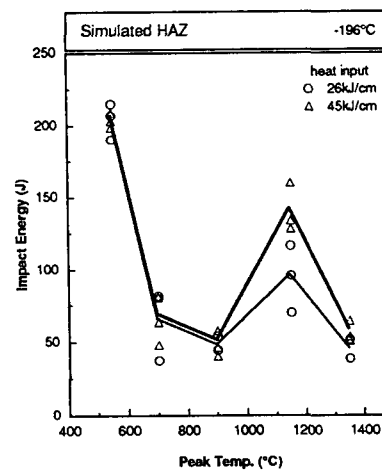


Fig.4 Impact energies of the simulated HAZ at the various peak temperature