

극저P 9%Ni 강 재현 용접부의 충격인성 Impact Toughness of Synthetic HAZ of Extra Low P Type 9% Ni Steel

이종봉*, 한재광, 안영호
포항종합제철(주) 기술연구소

1. 머리말

LNG 저장 탱크용 소재로 사용되는 9%Ni 강 용접부의 충격인성에 미치는 인자들을 조사하기 위하여, 열 cycle 재현 용접부에 대한 충격시험, 잔류 오스테나이트(γ)의 측정 및 조적을 검토하였다.

2. 시험재 및 실험방법

시험재는 시험 생산재인 3종의 저탄소 9%Ni 강으로서, P 및 S 함량이 낮고 QLT 처리한 2종의 본시험재와, 이들 재료보다 P함량이 다소 높고 QT 처리한 1종의 비교재를 선정하였다. 이들 시험재의 화학조성 및 기계적 성질은 Table 1에 나타내었다.

용접부의 재현은 고주파 방식의 급속 가열장치를 이용하여 단일 및 다중 열 cycle을 부여하였다. 단일 열 cycle은 최고가열온도를 1350~550℃의 범위에서 5조건으로 변화시켰으며, 냉각조건은 800℃에서 500℃까지의 냉각시간 ($\Delta t_{800-500}$)을 각각 9.5초 및 20초의 2조건으로 변화시켰다. 다중 열 cycle 시험은 2중 및 3중 열 cycle로 구분하였으며, 두 경우 모두 1차 열 cycle은 최고가열온도를 1350℃로서 고정하고, $\Delta t_{800-500}$ 도 20초로 일정하게 하였다. 2중 열 cycle 시험에서는 2차 최고가열온도(T_{P2})를 1200~750℃의 범위에서 4조건으로 변화시켰으며, 3중 열 cycle 시험은 T_{P2} 를 1100℃, 1000℃ 및 900℃로 변화시키고 3차 최고가열온도(T_{P3})를 700℃로 고정시킨 경우와, T_{P2} 를 1050℃로 일정하게 하고 T_{P3} 를 800℃ 및 650℃로 변화시킨 경우로 구분하였다.

잔류 γ 의 측정은 X-ray 회절법을 이용하였으며, 40kV-30mA의 조건 및 Mo-K α 선을 사용하였다.

3. 실험결과

Fig.1은 각 시험재의 단일 열 cycle 재현 용접부에 대한 최고가열온도에 따른 충격인성의 변화를 나타낸 것이다. P함량이 낮은 본시험재는 모든 온도 범위에서 비교재보다 높은 충격인성을 보이고 있다. 또 본시험재의 경우 거의 모재에 상당하는 550℃ 부근에서는 충격 흡수에너지가 200J 이상으로 높지만, 700℃ 및 1350℃로 가열된 부분에서는 50J 전후로 급격히 저하하며, 1050℃ 부근에서는 125J 정도로 회복하는 경향을 보이고 있다. 그러나 900℃ 부근에서는 시험재에 따라 다소 상이하여 천이영역임을 의미하고 있다. 이러한 경향은 시험온도 및 입열량에 관계없이 거의 동일함이 확인 되었다.

2중 열 cycle을 부여한 경우에는 최고온도가 700℃인 경우 약간 감소하여 850℃에서 최소값을 보이지만, 1050℃에서는 급격히 증가하여 최대값을 보이고 있다. 그러나 최고온도가 1200℃로 상승함에 따라 흡수 에너지는 다시 감소하는 경향을 보이고 있다(Fig.2). 한편 Fig.3은 각 시험재의 3중 열 cycle 재현 용접부에 대한 시험결과를 나타낸 것이다. 즉 단일 열 cycle에서 가장 인성이 낮았던 최고가열온도 1350℃의 1차 열 cycle을 부여한 후, 2차 열 cycle로서는 단일 및 2중 열 cycle 재현 용접부에서 가장 높은 흡수 에너지를 나타내었던 최고온도 1050℃의 열 cycle을 부여하였다. 그 후 최고온도가 650℃ 및 800℃인 3차 열 cycle을 추가로 부여하였다. 결과에 의하면 전반적으로 본시험재에 비해 인성이 낮은 비교재인 9Ni-3를 제외하면 3차 열 cycle의 최고온도가 650℃인 경우는 다소 감소하지만, 800℃ 부근에서는 다시 조금 증가하는 경향을 보이고 있다. 이상과 같은 다중 열 cycle을 부여한 재현 용접부의 충격시험 결과로부터 흡수 에너지의 변화는 주로 마지막으로 부여되는 열 cycle의 최고가열온도에 의존하며, 앞 단계에서 부여되는 열 cycle은 흡수 에너지의 절대값을 좌우함을 알 수 있다.

한편 Fig.4는 단일 열 cycle 재현 용접부의 충격 흡수 에너지와 잔류 γ 의 측정결과를 정리한 것이다. 잔류 γ 는 1150℃ 이상에서는 잔존하지 않고, 550℃~900℃ 범위에서 소량 잔존하고 있다. 이러한 잔류 γ 는 최고온도가 저하함에 따라 다소 증가하며, -196℃에서 30분 정도 Sub-zero 처리함에 따라 다소 감소하고 있다. 또한 900℃ 이하에서는 인성과 잔류 γ 가 서로 상관성을 보임을 알 수 있다.

Table 1 Chemical composition and mechanical property of materials used

Mark	Chemical composition (wt.%)							Tensile property			vE-196 (J)	Thick. (mm)	Remarks
	C	Si	Mn	P	S	Ni	So+Al	YP(MPa)	TS(MPa)	El(%)			
9Ni-1	0.06	0.25	0.65	0.003	0.001	9.27	0.032	659	758	33	240	22	QLT
9Ni-2	0.07	0.25	0.68	0.004	0.001	9.26	0.033	671	729	30	220	25	QLT
9Ni-3	0.06	0.27	0.65	0.010	0.002	9.03	0.032	662	725	30	146	37	QT

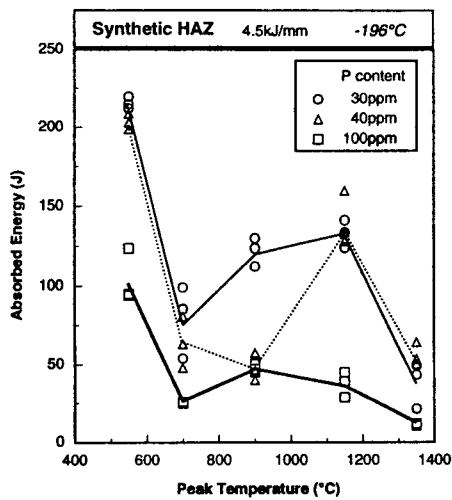


Fig.1 Impact energy variations with max. temp. in single thermal cycle simulated HAZ

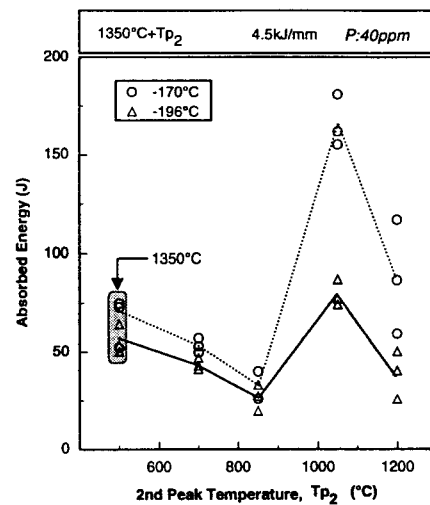


Fig.2 Impact energy variations with 2nd peak temp. in double thermal cycle simulated HAZ of 9%Ni-2 steel (1350°C+Tp₂, 4.5kJ/mm)

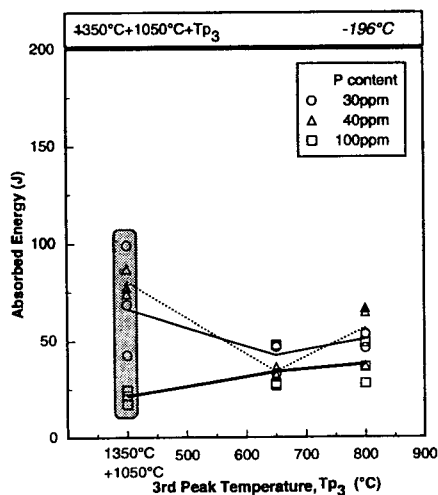


Fig.3 Impact energy variations with 3rd peak temp. in triple thermal cycle simulated HAZ (1350°C+1050°C+Tp₃, 4.5kJ/mm)

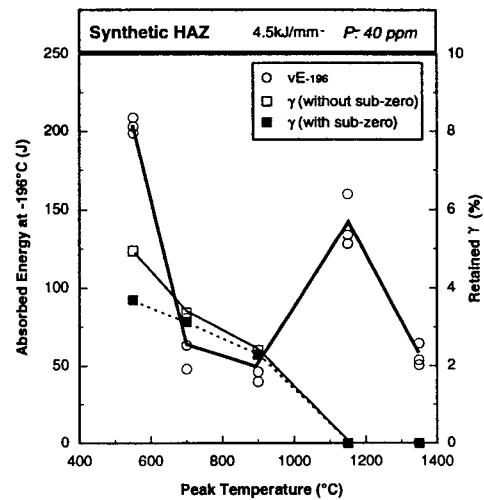


Fig.4 Change in retained γ and impact energy at -196°C with max. temp. in single thermal cycle simulated HAZ of 9%Ni-2 steel (4.5kJ/mm)