

저 Cr계 스테인리스강의 용접부 충격특성에 미치는 화학조성의 영향

Effect of Chemical Composition on Impact Property of Weldment for Low Cr Type Stainless Steel

안 상근, 최 두열, 손 원근*, 우 병성**

* POSCO 스테인레스연구팀, ** 스테인레스생산부

1. 서 론

11~13% Cr의 페라이트계 스테인레스강은 일반강에 비해 내식성이 우수하고, 또 알루미늄에 비해 용접가공이 용이하기 때문에 최근 냉동 컨테이너용으로 많이 사용되고 있다. 그러나 일반적으로 페라이트계 스테인레스강은 용접시 열영향부에서의 충격인성 열화 및 Cr 석출물에 의한 내식성 저하 등의 문제점으로 인해 아직까지 사용범위가 제한되고 있는 실정이며, 또 용접 구조용으로 사용하는 경우에도 사용재료의 선택 및 용접시공 조건이 매우 까다롭다.

본 연구에서는 냉동 컨테이너용 11% Cr 스테인레스강의 용접부 품질확보에 관건이 되는 충격특성을 상세히 검토했다. 즉 실용접시험과 용접 열 Cycle 재현시험에 의해 충격특성에 미치는 모재의 화학조성 및 용접 입열량의 영향을 조사했다.

2. 시험재 및 실험방법

사용한 재료중 모재는 두께 4.5 mm의 시판 410L 강 3 종으로써, 이들의 화학조성을 Table 1 에 나타냈다. C 재의 경우, Mn 함량이 KS 허용치를 상회하고 있고, 각 시험재의 C+N 함량은 220~340 ppm 범위였다. 용접부의 충격특성 중, 실용접부에 대해서는 AWS ER 309 계의 용접와이어를 사용하여 13.4 kJ/cm의 입열조건으로 1 Pass MIG 용접부에 대해 CGZ (Coarse Grain Zone)에서 2.5 mm의 Sub-size 충격시험편으로 평가했고, 입열량의 변화에 따른 충격특성은 용접 열 Cycle 재현시험으로 검토했다. 용접 열 Cycle 재현시험은 실용접부의 HAZ와 대응하도록 단일 열 Cycle 을 부여했다. 이때 최고온도는 1350℃로 했고, 입열량은 Δt_{125} 를 11, 59 및 138 초의 3 조건으로 각각 변화시켰다. 재현 HAZ(Heat Affected Zone) 에 대해서는 4.0 mm의 Sub-size 시험편으로 충격시험을 실시했고, 각 시험재 및 용접 입열량별 충격특성의 변화는 미세조직, SEM 파면관찰 및 TEM 조직관찰 등으로 분석했다.

3. 실험결과 및 고찰

실용접 HAZ 의 충격특성

각 시험재에 대한 실용접 HAZ 의 충격특성을 평가하기에 앞서, 모재의 충격특성을 조사했다. Fig. 1은 50 ~ -110℃ 의 시험온도에서 각 모재의 충격치 변화를 나타낸 것이다. 각 모재의 충격특성을 $\sqrt{T_{RE}}$ 로 비교해 보면, A재 및 C재가 약 - 80℃ 로서 동등 수준으로써 우수한 반면, B재는 약 - 60℃ 로서 시험재중 가장 낮은 충격특성을 보였다. 이것은 B재의 Ferrite 결정립이 ASTM No. 8.7 로서, A재 및 C재의 9.5 및 9.6 에 비해 조대하다는 것과 C+N 함량에 있어서도 340 ppm 의 B재가 245 및 224 ppm 의 A재 및 C재에 비해 높았기

때문이라고 판단된다. 이러한 모재의 충격특성을 갖는 각 시험재의 실용접 HAZ 의 충격치를 Fig. 2에 나타냈다. HAZ 의 충격치가 모재의 충격치에 비해 모두 저하하는 경향을 보이고 있고, 그 정도는 시험재별로 상이함을 알 수 있다. 즉 A재의 경우, 모재의 충격특성이 C재와 동등 수준으로써 시험재중 우수한 충격특성을 갖고 있음에도 불구하고 전 시험온도에서 HAZ의 충격치 저하가 가장 현저했다. 한편 모재의 충격특성이 가장 낮은 B재는 0℃ 이상의 시험온도에서 C재와 유사한 충격치를 나타냄으로써, A재에 비해 우수했다. C재의 HAZ 충격치는 $\sqrt{T_{RE}}$ 가 약 -20℃ 로서 모재의 -80℃에 비해 상당히 증가하였지만, 시험재중 가장 우수한 HAZ 충격특성을 보였다. 따라서 실용접 HAZ의 충격치는 C재가 가장 우수한 반면, A재가 가장 열등함을 알 수 있다. 이에 대한 원인을 분석하기 위해 미세조직 관찰을 실시한 결과, B재 및 C재는 HAZ 가 모두 미세한 Martensite 조직이었고, A재는 조대한 Ferrite 와 약 68% 의 Martensite 혼합조직을 나타냈다. 결국 A재의 HAZ 충격치가 가장 열등한 것은 조대한 Ferrite 의 생성에 기인한 것으로 볼 수 있다. 한편 동일한 단상의 Martensite 조직을 갖는 B재 및 C재의 충격치 차이는 C+N 함량과 관계가 있는 것으로 생각된다. 따라서 11 % Cr의 페라이트계 스테인레스강에 있어서 실용접 HAZ 의 충격특성은 미세조직 및 C+N 함량과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

재현 HAZ 의 충격특성

HAZ 의 미세조직은 냉각속도가 동일한 경우, 모재의 화학조성에 의해 결정된다. 따라서 용접 열 Cycle 재현시험으로 부터 모재의 화학조성이 HAZ 의 충격특성에 미치는 영향을 검토했다. Fig. 3 은 용접 열 Cycle 재현조건중, Δt_{125} 가 59초 조건에서의 시험재별 재현 HAZ의 충격치를 비교한 것이다. 각 시험재의 재현 HAZ 충격치는 B재 및 C재가 단상의 Martensite 조직으로 동일하지만 C+N 함량에 있어서 B재에 비해 약 100 ppm 낮은 C재가 가장 우수한 했다. 특히 A재는 시험재중 C+N 함량이 224 ppm 으로서 가장 낮음에도 불구하고 약 87%의 Martensite 와 Ferrite 혼합조직의 특징을 나타냄으로써 충격치가 가장 열등했다. 이러한 조직특성은 $\Delta t_{125} = 11 \sim 138$ 초의 전 조건에서 동일했다.

재현 HAZ 의 충격특성을 모재의 화학 조성, 즉 Creq. 당량으로 정리하여 Fig. 4 에 나타냈다. 50℃ 에서 Creq. 가 9.3% 까지 충격치의 차이를 보이지 않지만, 그 이상의 Creq. 에서는 충격치가 저하하고 있고, 0℃ 에서는 Creq. 가 9.3% 이상에서 충격치가 현저히 감소했다. 이상의 결과로 부터, 11% Cr의 페라이트계 스테인레스강의 HAZ 충격특성은 단상의 Martensite 조직의 확보와 함께 C+N 함량이 낮을수록 우수하다는 것을 알 수 있다. 즉 본 시험재의 C+N 함량 범위에서는 우선적으로 HAZ 의 미세한 Martensite 조직을 얻는 것이 충격치 확보에 유리하며, 이를 위해 모재의 화학 조성, Ceq. 의 관리가 매우 중요하다는 것을 알 수 있다.

Table 1 Chemical composition of tested materials used

Kind	(wt. %)								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	N	Creq*	Remarks
410L (SPEC.)	≤0.03	≤1.0	≤1.0	11.0~ 13.5	≤0.6	-	-	-	KS(STS) JIS(SUS)
A	0.014	0.25	0.81	12.14	0.44	0.28	0.0084	10.40	
B	0.021	0.30	0.67	11.50	0.81	<0.01	0.0130	9.32	
C	0.019	0.21	1.54	11.71	0.31	0.32	0.0055	9.0	

* Cr eq(%) = Cr + 2Si - Mn - 2Ni - 30C - 15N

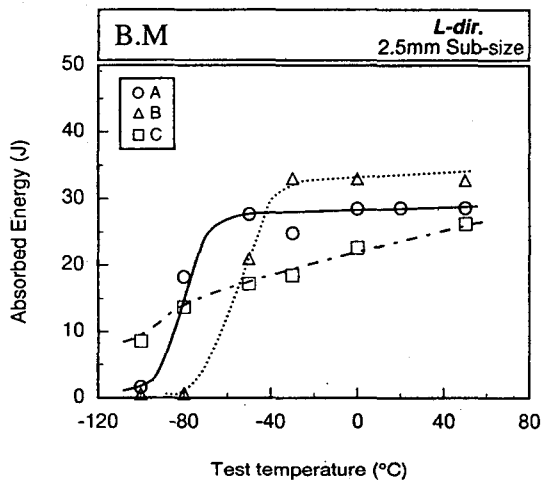


Fig. 1 Comparison of absorbed energy of base metal used

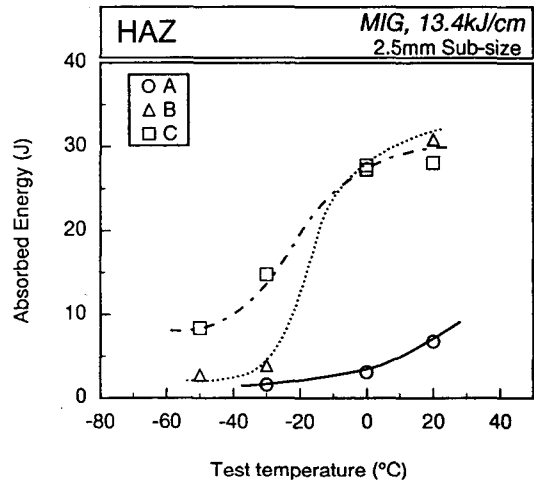


Fig. 2 Comparison of absorbed energy of welded HAZ for tested materials

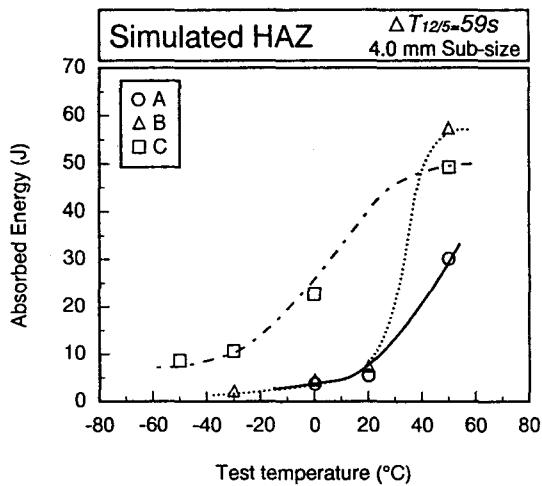


Fig. 3 Comparison of absorbed energy of simulated HAZ for tested materials

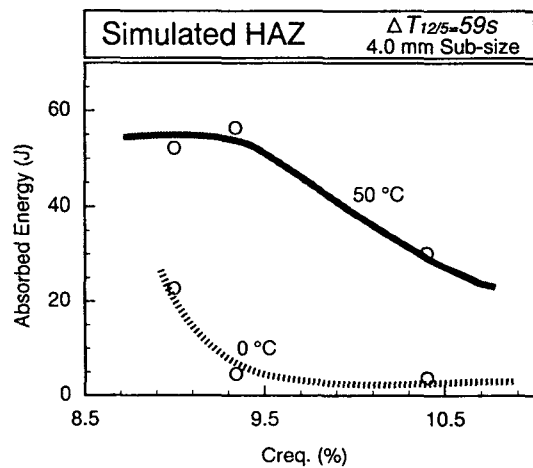


Fig. 4 Effect of Creq. on impact property of simulated HAZ for tested materials