

Cu 첨가형 고강도·고인성강의 용접특성
Welding Characteristics of Cu-Bearing High Strength-Toughness
Structural Steel

안 상근*, 이 중봉*, 정 홍철*
심 인옥**, 박 태원**

* 산업과학기술연구소, ** 국방과학연구소

1. 서론

최근 HY계 강의 용접특성을 개선시킬 목적으로 저C 및 Cu첨가형 고강도·고인성강에 대한 개발 연구가 진행되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 실험실적으로 제조한 Cu첨가형 항복강도 100ksi급 고강도·고인성강에 대한 기본적인 용접특성을 검토하고자 했다. 즉, 용접경화성, 저온균열 감수성 및 용접이음부 성능등을 평가했고, 또 용접 열cycle 재현시험에 의해 다중용접시 Cu석출물이 충격인성에 미치는 영향도 조사했다.

2. 시험재 및 실험방법

사용한 재료중 모재는 MIL-S-16216K규격의 기계적 성질을 만족하는 항복강도 100ksi급 고강도강 3종으로써, 이들의 화학조성 및 제조방법을 Table 1에 나타냈다. HST100A 및 HST100B강은 0.03C~3.5Ni~1.5Cu를 기본성분계로 하고, VIM(Vacuum Induction Melting)으로 제조하였으며 두께에 따라 구분했다. 또, HYP100은 0.17C~3Ni~1.5Cr~0.4Mo를 기본성분계로 하는 두께 25mm의 국내 시판재로서, HST100B의 비교재로서 사용했다. 용접경화성 및 저온균열 감수성은 Taper경도시험 및 y-groove 시험으로 평가했다. 또, 실용접부는 AWS ER120S-1규격에 상당하는 시판의 GMA용 접와이어를 사용하여 약 20kJ/cm의 용접입열 조건으로 제작하였으며, 이러한 용접이음부에 대해서는 강도 및 충격인성등을 조사했다.

한편 HST100A에 대해서는 단일 및 다중의 용접 열cycle 재현시험을 실시했다. 단일 열cycle은 최고온도를 1350℃(Tp₁), 냉각시간(Δt₆₃)을 25kJ/cm의 입열량에 상당하는 25초의 조건으로 했다. 다중 열cycle은 냉각시간을 단일 열cycle과 동일하게 하고, 최고가열온도만을 변화시켰다. 즉, 최고온도를 이중 열cycle(Tp₂) 800℃, 삼중 열cycle(Tp₃)에서는 400, 500℃로 각각 변화시켰다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig.1은 HST100B 및 HYP100의 Taper시험결과로서, 냉각시간에 따른 용접부의 최고경도를 나타낸 것이다. 용접부의 최고경도는 전 냉각시간 조건에서 HYP100이 HST100B에 비해 Hv100정도 높음으로써, HST100B의 용접경화성이 HYP100에 비해 현저히 낮음을 알 수 있다. 이것은 HST100B의 C함량이 0.03%로서 0.17%C의 HYP100에 비해 낮기 때문이라고 생각된다. 또, 이러한 용접부의 경화특성으로부터

HT100B의 용접열영향부의 저온균열 감수성이 HYP100강에 비해 낮을 것으로 판단된다.

한편, Fig.2는 HST100A와 HYP100의 GMA용접이음부에 대한 -50℃에서의 각 Notch 위치별 충격치 변화를 나타낸 것이다. 용접부의 충격치는 W.M 및 F.L에서는 비교적 낮지만 F.L+1mm로 부터 모재쪽으로 이행함에 따라 150J를 충분히 상회하는 양호한 충격특성을 보이고 있다. F.L에서의 충격치가 저하하는 것은 열영향부의 결정립 조대화에 의한 것이라기 보다는 모재에 비해 충격특성이 매우 열등한 용접금속이 영향을 미친 것으로 생각된다. 따라서, F.L에서의 충격치 확보를 위해서는 우수한 충격특성을 갖는 용접재료의 선택이 필수적이다. 그러나 이러한 HST100A 및 HYP100의 용접부 충격치는 모두 MIL-S-16216K의 요구치인 48J를 만족시키는 것으로서, 본 시험에서 적용한 약 20kJ/cm의 용접입열량 조건은 문제가 없음을 알 수 있다.

Cu 첨가형 고강도·고인성강은 Cu석출물의 제어를 통하여 적정의 강도 및 인성을 확보하기 때문에, 다층용접시 국부적으로 ϵ -Cu의 재석출에 의한 미세조직 및 충격치의 변화가 예상된다.

Fig.3은 HST100A의 단일 및 이중 열cycle 재현부에 대한 -50℃에서의 충격치 변화를 나타낸 것이다. 단일 및 이중 열cycle 재현부의 충격치는 각각 약 240J 및 230J로서, 열 cycle조건에 따라 충격치가 약 10J의 차이를 보이고 있다. 그러나 이러한 열 cycle 재현부의 충격치는 모재의 충격치인 264J에 비교하면 25~35J정도 밖에 감소하지 않는 우수한 값이다. 이와같이 열cycle 재현부의 충격치가 양호한 원인을 검토하기 위해 이들의 미세조직을 상세히 관찰했다. 그 결과, 단일 열cycle 재현부는 소량의 Lath martensite와 Granular bainite¹⁾의 혼합조직을 보이며, 이중 열cycle 재현부에는 대부분 Granular bainite 조직이 관찰되었다. 따라서 단일 및 이중 열cycle 재현부의 우수한 충격특성은 저C의 Granular bainite 자체의 우수한 충격인성에 기인한 것으로 생각된다. 한편 단일 및 이중 열cycle조건에서 ϵ -Cu석출물은 확인되지 않았다.

Fig.4는 최고온도를 400 및 500℃로 각각 변화시킨 삼중 열cycle 재현부에 대한 충격치 변화를 나타낸 것이다. 400℃의 재현부 충격치는 약 240J로서 이중 열cycle 재현부의 충격치인 약 220J과 거의 유사한 수준인 반면, 500℃의 재현부 충격치는 약 150J로서 다소 감소하는 경향을 나타냈다. 이와같이 500℃조건에서 충격치가 감소한 것은 TEM분석으로 부터 10~20nm 크기로 재석출한 ϵ -Cu가 영향을 미친 것으로 생각된다.

참고문헌

1. G.Krauss; Conf. Proc. of Microalloyed HSLA, ASM, (1988) 259~275

Table 1 Chemical composition of test materials used

(wt. %)

Material	Thick.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	Nb	V	Sol. Al	Remarks
HST100A	14mm	0.029	0.32	0.89	0.004	0.006	3.80	0.61	1.58	0.40	0.041	-	0.029	30kg VIM
HST100B	25mm	0.034	0.27	0.86	0.008	0.006	3.50	0.67	1.50	0.37	0.033	-	0.023	1Ton VIM
HYP100	25mm	0.170	0.26	0.25	0.015	0.005	3.00	1.50	-	0.39	-	0.020	0.45	Product

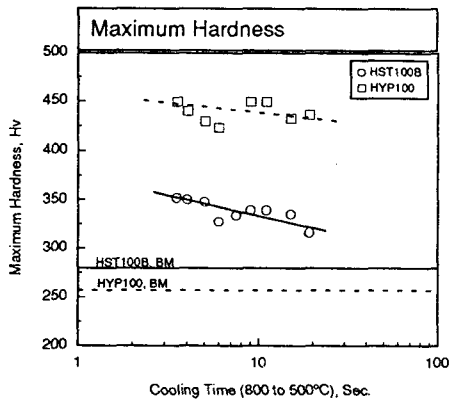


Fig.1 Comparison of CGHAZ hardness with cooling time for HST100B and HYP100

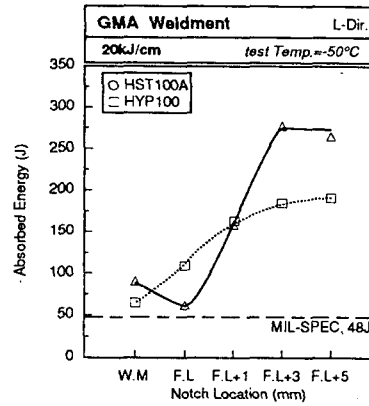


Fig.2 Comparison of Charpy impact value for HST100A and HYP100 weldments

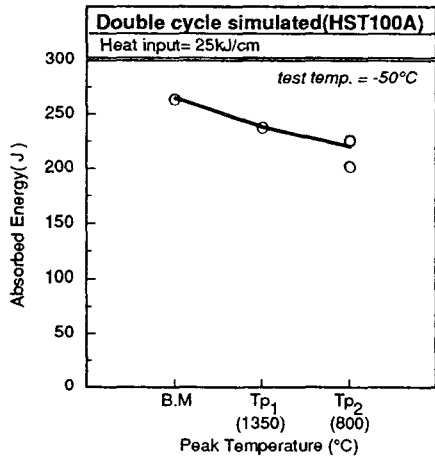


Fig.3 Variation of Charpy impact values of single and double cycle simulated HAZ

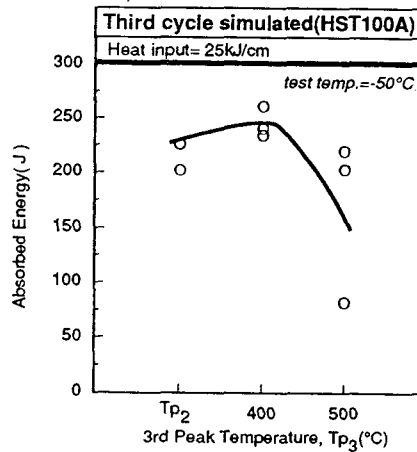


Fig.4 Variation of Charpy impact values of third cycle simulated HAZ