

Cu를 함유한 HSLA-100강 용접 열 영향부의 인성에 미치는 PWHT의 영향 Effects of PWHT on the toughness of weld HAZ in Cu-bearing HSLA-100 steel

朴太遠*, 沈仁玉*, 金英宇*, 姜晶允**

* 국방과학연구소, 대전.

** 부산대학교 공과대학 금속공학과 부산.

ABSTRACT A study was made to examine the effects of post-weld heat treatment(PWHT) on the toughness and microstructures in the weld heat-affected zone(HAZ) of Cu-bearing HSLA-100 steel. The Gleeble thermal/mechanical simulator was used to simulate the weld HAZ. The behavior of Cu-precipitates in HAZ is similar to that in base plate. PWHT at 550°C shows highest hardness and lowest toughness, whereas PWHT at 650°C shows reasonable toughness. Cu precipitated during ageing for increasing the strength of base metal is dissolved during single thermal cycle to 1350°C and is precipitated little on cooling and heating during subsequent weld thermal cycle. It precipitates by introducing PWHT.

1. 서론

Cu를 함유한 저합금 고장력강은 PWHT를 행하면 SRC균열에 민감한 것으로 보고되고 있는데, 다층 용접을 행할 경우 결정립 조대화 영역에 있어서 HAZ의 overlap zone은 PWHT와 비슷한 열처리를 받을 수 있기 때문에 인성이 저하할 것으로 예상되고, 인성의 저하는 주 강화 원소로 첨가되는 Cu에 의한 ϵ -Cu상의 석출 강화에 의한 것으로 제안되고 있다. 온도에 따른 석출상의 생성 온도 범위와 석출상 생성에 기인한 인성의 변화에 대한 정확한 이해를 통하여 PWHT를 도입하여 인성을 증가시킬 수 있다면 바람직할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 Cu를 함유한 HSLA강의 시효 온도에 따른 모재의 특성과 용접 열영향부에 대해 550°C, 600°C, 650°C에서 PWHT를 행하여 열처리 온도와 충격 인성과의 관계를 구하고자 한다.

2. 시료 및 실험 방법

본 실험에 사용된 재료의 화학 조성은 표 1과 같고 진공 용해, 주조한 30kg잉고트를 1100°C에서 열간 압연을 시작하여 마무리 압연 온도는 900°C가 되도록 하였다. 13mm로 압연된 판재를 900°C에서 1시간 동안 γ 처리하여 수냉하였다, 수냉 후 시효 처리는 300°C~670°C범위에서 하였다. 시효한 시편에 대해 인장 실험과 충격 실험을 하였으며, 650°C에서 시효한 시편에 대해서는 gleeble 1500을 이용하여 재현 열cycle을 부여하였다. 단일(single) 열 cycle후 같은 방법으로 2중(double) 열cycle을 800°C에서, 3중(triple) 열cycle을 500°C에서 행하였다. 그리고 열cycle후 550°C, 600°C, 650°C에서 PWHT하였다. 각 열처리한 시편에 대해 조직 관찰과 기계적 성질을 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 모재의 특성

그림 1은 900°C에서 γ 처리하여 수냉한 시편을 각 온도에서 시효한 후 온도에 따른 항복 강도의 변화를 나타낸 것이다. AQ상태보다 300°C시효 상태에서 항복 강도가 큰 것은 Cu첨가로 bcc구조인 정합의 Cu-clusters 생성에 의한 것이며, 400°C에서는 템퍼링에 의한 연화 효과가 크게 나타나서 강도가 감소하며, 500°C에서는 Cu-clusters 및 ϵ -Cu의 석출로

강도 증가 효과가 기지의 연화 효과보다 크게 나타남으로써 최대 강도를 나타내고 온도를 더욱 높이면 석출물의 조대화와 기지의 연화에 의해 강도가 급속히 감소한다.

그림 2는 그림 1와 같은 조건으로 열처리한 시편에 대해 LT방향의 충격 값을 측정한 것이다. 그림 2의 항복 강도 곡선과 잘 대응되는 경향을 나타내 주며, 강도가 가장 높았던 500℃에서 충격 값이 가장 낮다. 시효 온도를 더욱 높이면 충격 값이 다시 증가하는데 이것은 회복에 의한 기지의 연화와 부정합의 ϵ -Cu상의 조대화에 의한 것으로 생각된다.

3.2. HAZ의 특성 및 PWHT의 영향

그림 3은 2중 열cycle처리 한 것(A.W)과 2중 열cycle처리한 후 550℃, 600℃, 650℃에서 PWHT한 시편의 경도 값을 나타낸 것이다. 경화 특성은 그림 1의 모재와 같은 경향인데, 이것은 단일 열cycle처리로 1350℃까지 가열될 때 ϵ -Cu가 재 용해된 후 냉각중 석출되지 않으며, 고용된 상태가 2중 열cycle후에도 유지되어, PWHT에 의해 석출함으로써 경화에 기여하기 때문인 것으로 판단된다. 550℃와 600℃는 높은 경도 값을 나타내는데 PWHT는 550℃와 600℃보다는 고온에서 행하여야 원하는 PWHT효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 650℃때는 Hv 260으로써 600℃보다 급격히 저하하여 용접 상태보다도 더욱 낮다.

그림 4는 2중 열cycle처리한 시편과 2중 열cycle처리한 후 550℃, 600℃, 650℃ PWHT한 시편과 모재의 열처리에 따른 충격치를 비교한 것이다. PWHT온도에 따른 충격 치는 그림 3의 경도 값과 잘 대응하고 있다. 용접 상태에서 약 180J이고, 550℃, 600℃PWHT의 경우는 100J정도의 충격 치를 나타내지만 650℃의 경우에는 약 220J로 높은 값을 나타낸다.

그림 5의 (a), (b)는 각각 3중 열cycle처리한 시편과 3중 열cycle처리한 후 650℃에서 PWHT한 시편을 TEM관찰한 것이다. (a)에서는 간격이 약 0.1 μ m정도인 마르텐사이트만이 관찰되나 (b)에서는 ϵ -Cu상이 관찰된다. 그리고 0.3 μ m정도 크기의 "M-A"상이 관찰되는데, 2중 열cycle처리시 생성된 것으로 판단된다. "M-A"상이 생성되면 인성이 저하되므로 "M-A"의 크기를 작게 할 필요가 있다. 본 실험의 HSLA-100강은 탄소 량이 작고(=0.035wt%), 800℃에서의 유지 시간(5초)과 상온까지 냉각 시간(10초)이 짧아 "M-A"가 인성을 저하시킬 만큼 성장하지 않아 2중 열cycle처리 후에도 양호한 충격 값을 나타내는 것으로 판단된다.

4. 결 론

모재는 500℃에서 시효할 때 항복 강도가 가장 높고 충격 값은 가장 낮으며, 500℃이상 온도가 증가하면 강도는 낮아지고 충격 값은 증가한다. Gleeble에 의한 재현 열영향부의 인성도 모재와 마찬가지로 ϵ -Cu상의 영향을 받으며 ϵ -Cu상의 석출로 강도가 높을 때는 인성이 저하한다. 즉 550℃, 600℃에서 PWHT할 때는 강도는 높고 인성은 낮았으나 650℃에서 PWHT할 때는 강도는 낮아지나 인성을 크게 증가시킬 수 있다.

5. 참 고 문 헌

- 1) 鈴木 宏, 岡田 八郎, 橋本 浩 : 溶接學會誌, 第 61卷, 第 6號, (1992), pp473.
- 2) C.D.Lundin, R.Menon, Z.Chen : WRC Bulletin 349, Dec. (1989), pp22-30.
- 3) L.Devillers, D.Kaplan, P.Testard : Welding in the World, Vol.31, No.4, (1993), pp256.

Table 1. Chemical composition of HSLA-100 steel. (wt%)

	C	Si	Mn	Cu	Sol-Al	Ni	Cr	Mo	Nb
HSLA-100	0.035	0.395	0.89	1.52	0.027	3.44	0.597	0.356	0.042

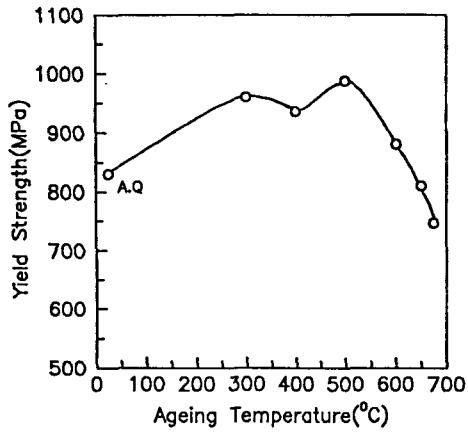


Fig. 1. Yield strength with ageing temperature of HSLA-100 steel.

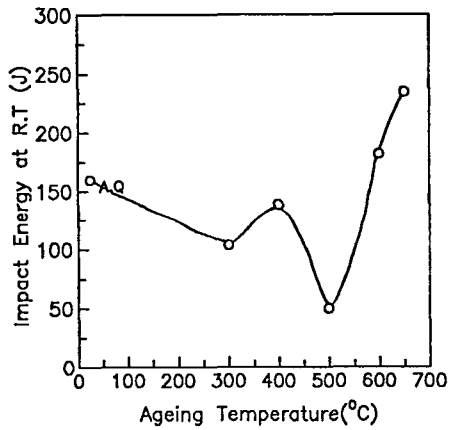


Fig. 2. Impact energies with ageing temperature of HSLA-100 steel.

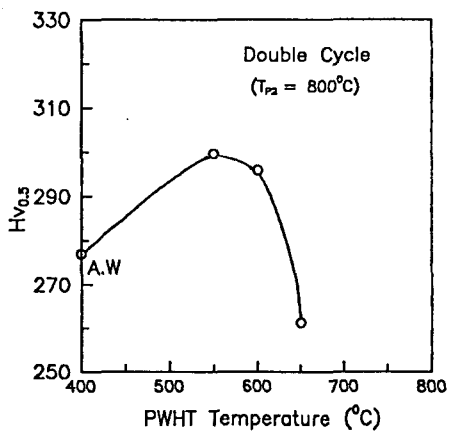


Fig. 3. Variation of hardness with PWHT temperature after double thermal cycle.

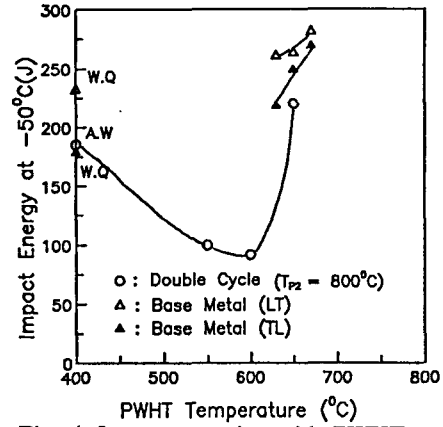


Fig. 4. Impact energies with PWHT temperature of the base metal and double cycled specimens

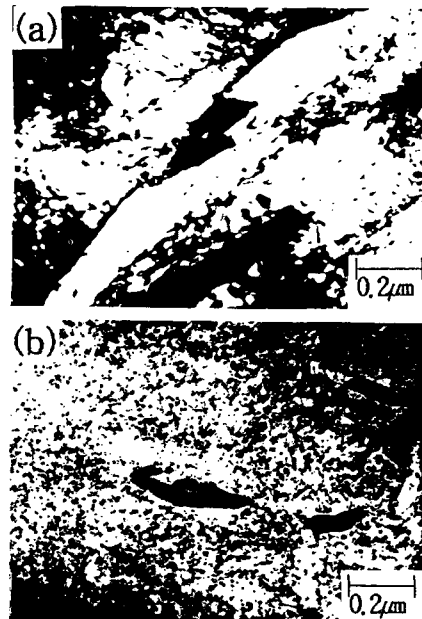


Fig. 5. TEM micrographs of HSLA steel.
 (a) Triple cycle ($T_{p1}=1350^{\circ}\text{C}$, $T_{p2}=800^{\circ}\text{C}$, $T_{p3}=500^{\circ}\text{C}$)
 (b) Triple cycle ($T_{p1}=1350^{\circ}\text{C}$, $T_{p2}=800^{\circ}\text{C}$, $T_{p3}=500^{\circ}\text{C}$) + 650°C PWHT