

고장력강의 용접부에서 Yttrium을 이용한 수소의 트랩에 관한 연구 Hydrogen Trapping Using Yttrium to Manage Hydrogen in HSLA Steel Welds

박영도

현대·기아 연개개발본부 금속재료연구팀

ABSTRACT Yttrium has been investigated as hydrogen trapping site in pure iron and HSLA steel welds. Assessment of hydrogen trapping parameters for yttrium oxide has also shown the high potential of yttrium addition to improve hydrogen management in high strength steel welding. The purpose of this study was to reduce and control the diffusible hydrogen content in the weld deposit.

1. 서 론

수소취성 파괴는 구조용 철강의 용접 시 가장 흔하게 일어나는 문제 중의 하나로 알려져 있다. 특히 경량화의 일환으로 고장력강의 사용이 증가함에 따라 수소취성의 가능성이 증가하게 되고 또한 수소취성이 일어나는 부위가 열영향부(HAZ)에서 용접금속(Weld metal)으로 옮겨지는 현상이 나타나게 되었다. 이러한 용접금속의 수소취성은 여러 원인으로 발생하지만 특히 고장력강의 화학성분, 미세조직, 잔류응력, 사용 온도 등이 복합적으로 작용하여 발생한다. 이러한 수소취성으로 인한 피해를 억제하기 위하여 지금까지는 용접 전처리 및 후열처리를 통하여 국부적인 수소의 증가 또는 잔류응력의 집중현상을 최소화하였다.

수소취성에 직접적 영향을 미치는 용접부 내의 수소는 크게 확산성 수소 (Diffusible Hydrogen)와 잔류성 수소 (Residue Hydrogen or Trapped Hydrogen)로 나뉘어진다. 최종 용접 후 측정된 확산성수소의 양이 적게는 100g 당 약 5 ml 이하를 유지하여야만 수소취성에 대한 저항성이 크다고 할 수 있다. 잔류성수소는 또한 가역(reversible) trap과 비가역(irreversible) trap 으로 나눌 수가 있다. 가역 trap site로는 전위, 결정립계, microvoid 등이 있고 비가역 trap site로는 TiC interface 및 Al₂O₃ interface 등이 있다. 특히 가역 trap site들은 수소취성과

상당한 관련이 있으며 많은 연구가들에 의해 수소취성이 trap이론으로 설명되기도 한다.

본 연구에서는 용접 후 확산성 수소의 양을 감소시키기 위하여 희토류 원소 (특히 Yttrium)들을 이용하여 비가역 trap site를 생성시키고 또한 thermal analysis technique를 이용하여 yttrium trapping site들에 대한 irreversible trap으로의 가능성을 연구하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구에서는 가스금속 아크용접(Gas Metal Arc Welding, GMAW)을 사용하였고 메탈 코어드 와이어(MCW)는 연강 및 고장력강 sheath에 금속분말과 Yttrium 및 Neodymium 분말을 혼합 첨가하여 만든 metal cored wire를 사용하였다. Metal cored wire내 Yttrium 및 Neodymium의 양을 달리하여 와이어를 제조하였다. GMA 용접에 사용된 용접 변수들은 table 1에 나타내었다.

Table. 1. Welding Parameters Used for GMA Welding.

Voltage	25 V
Wire Feed Speed	102 mm/s
Polarity	DCEP
Electrode Extention	19 mm
Shielding Gas	Argon + Hydrogen
Shielding Gas Flow Rate	0.35-0.39 L/s

본 연구에서 사용된 시편은 HSLA 100와 순철에 직접 제작한 메탈 코어드 와이어로 용접한 시편이다. 순철 시편은 Yttrium 및 Neodymium을 이용한 trapping site들의 효과를 확인하기 위하여 사용되었다. 확산성 수소는 ANSI/AWS A4.3-93에 따라 측정되었고 용접시편들도 위의 규격에 따라 준비되었다. Quintana에 의해 제안된 Gas chromatograph를 이용한 방법이 확산성 수소의 측정에 사용되었다. 또한 용접금속 내의 수소 trapping site들을 규명하기 위하여 thermal analysis technique이 사용되었다 (Fig. 1).

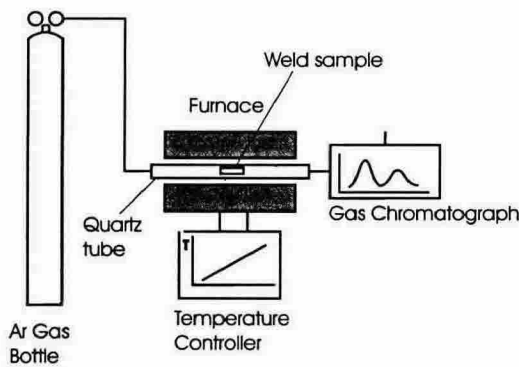


Fig. 1. Apparatus for the hydrogen thermal analysis

3. 결과 및 고찰

3.1 용접금속에 희토류 원소들의 첨가

Fig. 2는 각각 다른 양의 Yttrium oxide를 포함하는 AISI1005 강의 용접금속에 대한 수소 thermal analysis를 보여준다. 표준 시편 C는 메탈코어드 와이어에 Yttrium을 포함하지 않고 있으며 시편 A와 B에서는 Y_2O_3 의 양의 차이를 Yttrium의 첨가량은 고정시키고 GMA 용접 시 shielding gas내의 oxygen의 양을 변화시킴으로써 얻어졌다. 시편 A는 shielding gas를 argon만을 사용 하였고 시편 B는 argon과 2% oxygen을 혼합하여 각각 용접하였다.

Thermal analysis결과, 420°C, 600°C, 800°C에서 각각 evolution rate peak이 관찰되었다. 그림 2에서 나타난 각각의 peak를 확인하기 위하여 x-선 회절시험을 실시하였다. Fig. 3에서 보이는 것처럼 시편 C는 순철의 회절 peak을 보여주었다. 시편 A의 BCC 순철뿐만 아니라 Fe_2Y 의 x-선 회절 peak이 관찰 되었다. 시편 B의 경우는 Y_2O_3 에 해당하는 peak이 관찰 되었다. 이러

한 x-선 회절 결과는 thermal analysis의 결과에서 약 600°C의 peak 이 증가하는 것과 동일한 경향을 보여준다. 따라서 Y_2O_3 는 약 600°C에서 Fe_2Y 는 약 800°C에서 각각 수소를 방출하는 것으로 해석 될 수 있다. Thermal analysis에서 나타난 400°C에서의 peak은 microvoid에 trap된 수소의 방출이라고 생각된다.

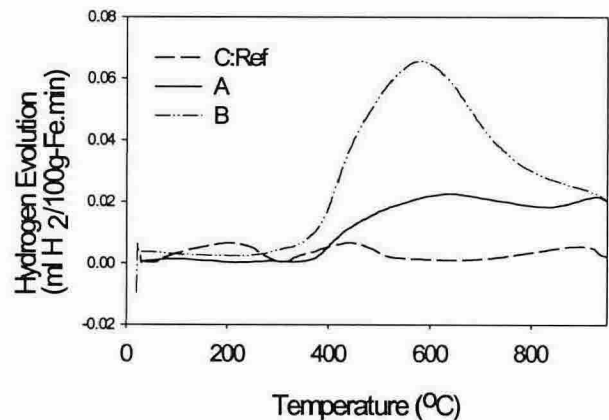


Fig. 2. Hydrogen thermal desorption of selected AISI 100 steel weld metals containing various densities of yttrium oxide trap sites, starting from zero (C:Ref.), to roughly 50 pct. Y_2O_3 and 50 pct. Fe_2Y trap sites (A), and finally to roughly 75 pct. Y_2O_3 and 25 pct. Fe_2Y trap sites (B).

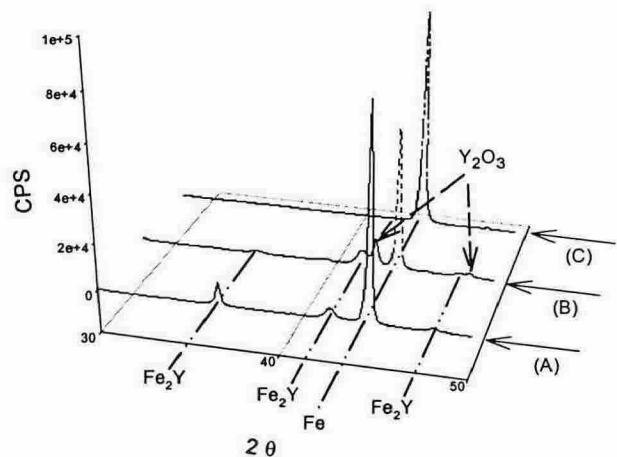


Fig. 3. X-ray diffraction pattern from selected bulk AISI 1005 steel weld samples: (A) sample A (50 pct. Y_2O_3 and 50 pct. Fe_2Y trap sites). (B) sample B (75 pct. Y_2O_3 trap sites), and (C) sample C:Ref .

Thermal analysis 방법으로 측정된 각 trapping site들에 대한 trap activation energy 값들을 Kissinger analysis를 이용하여 구한 값을 Fig. 4에 나타내었다. Y_2O_3 trapping site에

서 수소방출을 위한 activation energy (E_T)는 약 85 kJ/mol-H로 계산이 되었다.

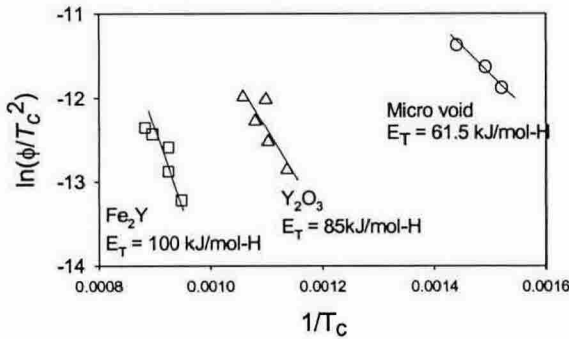


Fig. 4. Arrhenius plot of $\ln(\Phi/T_c^2)$ versus $1/T_c$ for the trap sites present in the yttrium-containing high purity iron weld metal.

3.2 HSLA steel 용접금속 Trapping

고장력강의 용접금속 내 확산성 수소의 양을 감소시키기 위하여 희토류원소를 이용한 수소 trap들에 대한 효과가 연구되었다. 앞장에서 보인 바와 같이 Yttrium의 경우 수소 방출을 위한 activation energy가 크기 때문에 확산성수소의 감소에 대한 효과도 클 것으로 예상되므로 이를 고장력강의 용접에 적용하여 확산성 수소의 양을 측정하였다. 희토류계의 원소첨가 효과를 확인하기 위하여, 0.26wt.% 및 0.32wt.% Neodymium (각각 Nd-1 및 Nd-2), 0.32wt% Yttrium (Y-1) 분말이 첨가된 메탈코어 와이어로 GMA 용접을 실시하였다. Neodymium 및 Yttrium이 첨가되지 않은 메탈코어 와이어로 용접된 표준시편의 경우, 약 12 ml/100g weld deposit의 확산성 수소가 측정되었다. 하지만 Neodymium 및 Yttrium 분말이 첨가된 메탈코어 와이어를 사용하여 용접을 한 경우 확산성 수소의 양이 최대 50% 감소하는 효과를 얻을 수 있었다. 또한 thermal analysis를 통해 계산된 수치에 의하면 Neodymium trap의 activation energy가 Yttrium trap보다 더 크지만 실제 용접에서는 Yttrium trap이 확산성 수소를 감소시키는데 더 효과가 큰 것으로 확인 되었다.

Yttrium 분말의 양을 달리하여 제작된 메탈코어 와이어들을 사용하여 고장력강의 용접을 실시한 후 확산성 수소를 측정하였다. Fig. 6에서 보이듯이 Yttrium 분말이 첨가된 메탈코어 와이어로 용접한 경우 고장력강에서의 확산성 수소

의 양을 최대 1 ml H₂/100g weld deposit까지 낮출 수가 있었다.

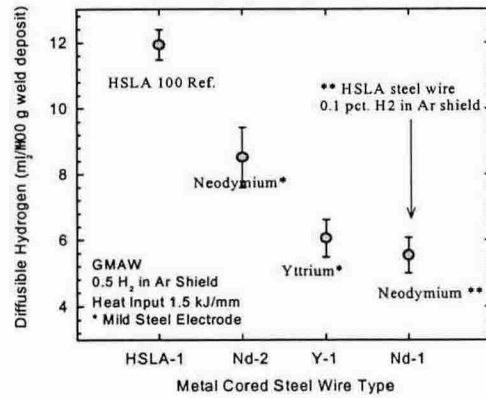


Fig. 5. Diffusible hydrogen content of HSLA steel weld metal with neodymium and yttrium additions in the metal cored steel* and HSLA steel cored wire**. Nd-1 sample was welded with 0.1 pct.

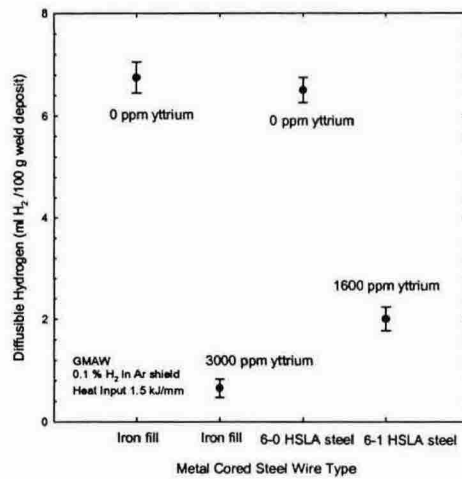


Fig. 6. The reduction of HSLA steel weld metal diffusible hydrogen content by the addition of yttrium in iron fill carbon steel cored wire and HSLA steel metal cored wire. A 0.1 percent hydrogen gas in argon shield gas was used.

4. 결 론

1) Thermal analysis 결과 600°C 부근에서 hydrogen evolution peak이 관찰되었고, x-선 회절을 통하여 Y₂O₃ trapping site임이 확인 되었다. 또한 activation energy는 85 kJ/mol-H로서 비가역 trapping site로 확인 되었다.

2) Yttrium 분말을 첨가한 메탈코어 와이어로 용접한 경우, 확산성 수소를 최대 1 ml H₂/100g weld deposit까지 낮출 수가 있었다.