

## 재현열사이클시험에 의한 3Cr-1Mo-V강 용접열영향부의 수소침식에 대한 연구

### Characteristics of Hydrogen Attack in Simulated Weld HAZ of 3Cr-1Mo-V Steel

김 동진\*, 김 병훈\*, 지 병하\*, 김 정태\*, 강 정윤\*\*, ○권 용형\*\*\*, 박 화순\*\*\*

\* 한국중공업(주) 기술연구원, 경남 창원    \*\* 부산대학교 금속공학과, 부산

\*\*\* 부경대학교 재료공학과, 부산

#### 1. 서론

고온고압의 수소를 이용하는 화학반응압력용기 등은 대형화와 함께 그 대부분이 용접구조화 되어 있다. 따라서 이들 재료는 고온고압수소분위기에서 사용되는 경우가 많고, 수소침식에 의한 취화나 플랜트의 가동정지시에 실온까지 냉각된 경우, 고온에서 과포화상태로 포함된 수소에 의한 수소취화가 문제가 된다. 이러한 수소는 메탄가스를 생성하며, 이 메탄가스는 강중의 결정립계나 비금속개재물의 주위에 집적하여 강재의 강도와 인성을 현저하게 저하시키는 것으로 알려져 있으며, 특히 이런 현상은 용접부에서 감수성이 높다.

본 연구에서는 용접열영향부의 수소침식현상을 상세히 검토하기 위하여 용접열사이클재현 시험에 의한 3Cr-1Mo-V강 재현열영향부에 대하여 수소차지에 의한 수소침식후의 인성과 강도 및 미세조직적 특성을 검토하였다.

#### 2. 사용재료 및 실험방법

모재는 3Cr-1Mo-V강을 사용하였으며 본 연구에 사용한 재현열사이클은 Fig. 1에 나타낸 것처럼,  $T_p$ 는 열영향부의 각 부위를 재현하기 위하여 입계액화온도를 포함하는 5종류의 온도로 변화시켰으며, 냉각속도  $\Delta t_{800-500^\circ\text{C}}$ 는 3단계로 변화시켰다.

고온고압수소에 의한 용접부의 취화특성을 검토하기 위하여, 재현열영향부로부터 가공한 충격 및 인장시험편을 고온고압수소용 오토크레이브의 고온고압수소중에 폭로시험을 실시하였다. 수소폭로후 0°C에서 Charpy 충격시험 및 상온인장시험 등을 실시하였으며, 또한 충격 및 인장시험에 의한 파단면과 단면을 SEM으로 관찰하였다.

#### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는  $\Delta t_{800-500^\circ\text{C}}$ ; 60sec의 냉각조건에 의한  $T_p$ ; 1400와 1100°C의 no PWHT 및 PWHT; 690°C×24hrs의 경우의 재현열영향부의 미세조직을 각각 나타내었다. No PWHT의 시험편에서는 어느것에서도 베이나이트가 관찰되었으며,  $T_p$ ; 1400°C에서는 결정립이 상당히 조대화되어 있는 것을 볼 수 있었다. 그리고 PWHT; 690°C×24hrs의 경우의 재현열영향부에서는 템퍼드 베이나이트를 나타내었다.

Fig. 3은 냉각속도  $\Delta t_{800-500^\circ\text{C}}$ ; 60sec의 경우에서의 수소폭로 300hrs에 따른  $T_p$ 와 충격흡수에너지와의 관계를 나타낸 것이다. No PWHT에서,  $T_p$ ; 1350 및 1400°C의 경우는 거의 0에 가까운 대단히 낮은 충격흡수에너지를 보였으며,  $T_p$ ; 1100°C의 경우는  $T_p$ ; 1350 및 1400°C의 경우에 비하여 상당히 높은 값을 나타내었다. 그리고 PWHT 처리를 한 것은 어느 경우에도 충격흡수에너지가 전  $T_p$ 에서 보다 높은 값을 나타내었으며, 이것은 PWHT에 의하여 수소침식감수성이 현저하게 저하한다는 것을 의미하고 있다. 그러나  $T_p$ ; 1350 및 1400°C의 경우는 여전히 수소침식감수성이 높다는 것을 나타내고 있다. 그리고 냉각조건에 따른 충격값의 변화는 거의 없었다.

Fig. 4는  $T_p$ : 1350℃,  $\Delta t_{800-500^\circ\text{C}}$ : 60sec의 재현열영향부에 대하여 PWHT 및 수소폭로조건을 포함한 전조건에서의 경도값들을 나타낸 것이다. 이 결과에서 no PWHT를 제외한 전 재현열영향부의 경도값은 Hv225~250의 범위로써, 처리조건에 따른 경도값의 변화는 거의 없었다.

Fig. 5는  $\Delta t_{800-500^\circ\text{C}}$ : 60sec의 냉각조건에 의한 재현열영향부를 300hrs 수소폭로하였을 경우의  $T_p$ 의 변화에 따른 인장강도의 변화를 나타낸 것이다. No PWHT의 시험편의 경우  $T_p$ 가 1350 및 1400℃로 높을수록 강도가 현저하게 저하하였다. 그리고 PWHT처리 한 것은 No PWHT의 경우에 비하여 상당히 높은 강도를 나타내고 있으며,  $T_p$ 의 차에 의한 인장강도의 차는 거의 없었다. 즉, PWHT처리한 재현열영향부의 인장강도는, 대단히 높은 수소침식 감수성을 보이는  $T_p$ : 1350 및 1400℃의 열영향부에서도 수소폭로에 의한 인장강도의 저하가 일어나지 않는다는 것을 나타내었다. 또한 냉각속도는 충격시험의 결과와 마찬가지로 인장강도에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 6은  $T_p$ : 1350℃,  $\Delta t_{800-500^\circ\text{C}}$ : 60sec, no PWHT, 수소폭로 300hrs의 재현열영향부에서 형성된 입계의 기포 및 그로 인하여 일부 입계균열이 발생한 예를 나타낸 것이다. 입계의 존재하는 기포율은 no PWHT의 경우,  $T_p$ 가 높을수록 높은 경향을 보였으며, PWHT의 영향으로 감소하는 경향을 보였다.

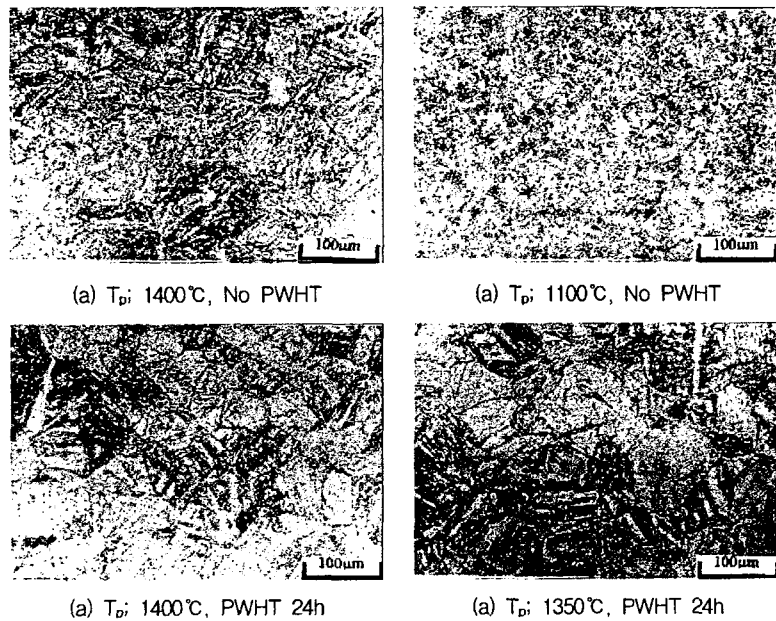


Fig. 2 Microstructures of simulated HAZ with different  $T_p$  and PWHT at 690℃ for 24hrs

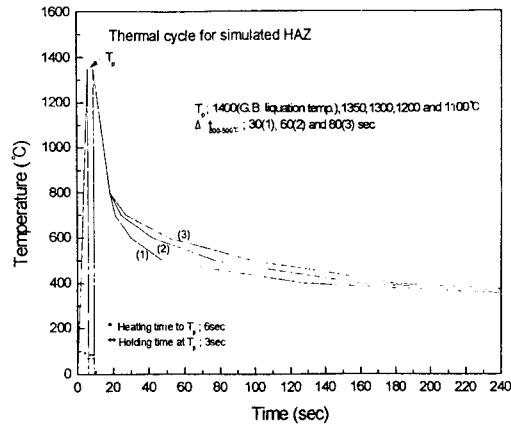


Fig. 1 Thermal cycle for simulated HAZ

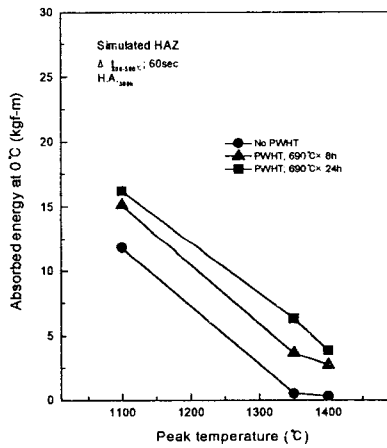


Fig. 3 Relation between peak Temperature and impact absorbed energy in simulated HAZ

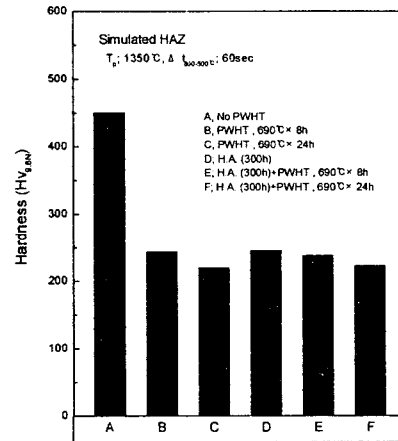


Fig. 4 Hardness Hv of the simulated under all conditions used in this study

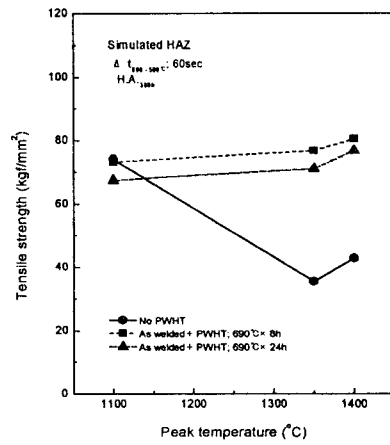
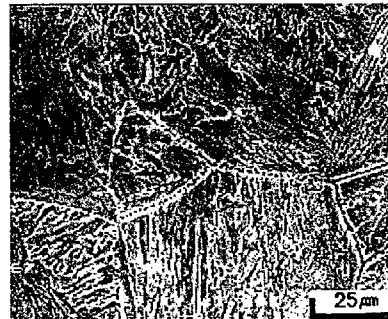


Fig. 5 Relation between peak Temperature and tensile strength in simulated HAZ



$T_p$ : 1350°C,  $\Delta t_{800-500^\circ\text{C}}$ : 60sec, H.A.<sub>300h</sub>

Fig. 6 An example of micro structure showing bubbles and cracks at prior austenite grainboundary of simulated HAZ