

Cr-Mo계 이종재질간 용접부의 미세조직 및 기계적성질

Metallurgical Structures and Mechanical Properties in Weldments of Dissimilar Cr-Mo Steels

지 병하*, 김 정태*, 박 화순**

* 한국중공업(주) 기술연구원, 경남 창원

** 부경대학교 재료공학과, 부산

1. 서론

이종금속을 용융용접에 의하여 접합할 경우, 양모재의 장점을 선택적으로 활용함으로써, 재료의 사용영역을 확장할 수 있을 뿐만 아니라 생산성의 면에 있어서도 유용할 경우가 많다. 그러나 양모재의 물리적·화학적·기계적성질 등의 차이가 큰 경우에는 이것에 기인하는 제문제점의 발생이 지적되고 있다. 한편 동일한 결정구조를 가지는 Cr-Mo계 내열강간의 이종금속용접부의 경우는 이질의 정도가 작기 때문에 제문제점의 발생의 정도가 적을 것이 예상되며, 또한 지금까지 구체적인 문제점을 지적한 사례는 거의 보고되어 있지 않다. 따라서 현저한 이질성을 나타내지 않는 이종재질에 대한 용융용접에 의한 접합은, 재료능력의 한계수명에 달하는 설계조건 또는 설계수명의 연장화의 관점으로부터 더욱 확대될 것으로 전망된다. 본 연구에서는 보일러의 integral piping에 적용되는 이종재료인 2¼Cr-1Mo강과 12Cr-1Mo-V계강의 용접부의 용접성에 대하여 야금학적인 관점으로부터 미세조직적 특성 및 기계적성질을 중심으로 검토하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

모재로서는 2¼Cr-1Mo강과 12Cr-1Mo-V계강을 사용하였으며, 모재의 형상은 내경 168mm, 두께 11mm, 길이 150mm인 seamless tube를 사용하였다.

용접은 GTAW 및 SMAW를 사용하여 다층용접을 하였는데, 여기서 루트부는 GTAW를, 그 이외의 부분에는 SMAW를 적용하였다. 용접부는 250℃로 예열하였으며, 용접후열처리는 735℃에서 1hr유지하였다. 용접재료는 2¼Cr-1Mo계, 12Cr-1Mo-V계 및 Inconel계의 3종류를 사용하였다.

상기의 사용재료 및 실험방법에 의한 시험편을 대상으로 용접부의 매크로 및 미세조직적 특성에 대하여 광학현미경을 이용하여 검토하였으며, 기계적성질로서는 용접부의 경도분포, 상온 및 고온인장시험 및 크립파단시험을 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 용접부의 매크로 및 미세조직적 특성

용접부의 매크로조직 관찰에 의하면, 3종류의 용접재료를 사용한 어느 경우에도 내부결합, 균열 등의 결함은 보이지 않았으나, 12Cr-1Mo-V계 강 모재와 2¼Cr-1Mo계 용접금속 및 12Cr-1Mo-V계 용접금속과 2¼Cr-1Mo강 모재의 용융경계부 부근에 연속 또는 불연속적인 백색밴드상이 관찰되었다.

PWHT후의 모재의 미세조직으로는, 2¼Cr-1Mo강의 경우는 페라이트와 공석조직을 나타내었으며, 12Cr-1Mo-V계 강은 템퍼드 마르텐사이트를 나타내었다. 일반적으로 2¼Cr-1Mo강의 모재는 페라이트와 베이나이트의 혼합조직을 나타내는 경우가 많은데, 여기서는 PWHT의 온도가 상대적으로 높은 관계로 페라이트와 공석조직을 나타낸 것으로 생각된다.

용접금속의 중앙부의 미세조직은 2¼Cr-1Mo계, 12Cr-1Mo-V계 및 Inconel계의 경우, 각각 템퍼드베이나이트, 템퍼드마르텐사이트 및 오스테나이트를 나타내었으며, 여기에서도 내부결합, 균열 등의 결함은 관찰되지 않았다.

Fig. 1에 세종류의 용접재료를 사용한 경우의 용융경계부 근방의 광학현미경조직을 나타내었다. 먼저 Inconel계의 용접재료를 사용한 경우는 용접금속과 열영향부의 현저한 결정구조의 차이

로 인하여 양 영역이 명료하게 구분되어 있음을 알 수 있다. 그러나 2¼Cr-1Mo계와 12Cr-1Mo-V계의 용접재료를 사용한 경우에는 이종재질과의 접합부에 해당하는 2¼Cr-1Mo계/12Cr-1Mo-V계의 용융경계부 근방의 열영향부측에서 연속 또는 불연속상의 백색밴드가 관찰되었다. 이러한 백색밴드는 매크로조직에서도 관찰이 가능할 정도로 용융경계부 근방에 명료하게 나타나 있으며, 동종재질끼리의 경계부에서는 관찰되지 않았다. 이러한 백색밴드는 PWHT시 탄소가 인접부위로 이동하여 생긴 일종의 탈탄층으로 페라이트밴드(ferrite band)로 생각된다.

3.2 용접부의 경도분포

Fig. 2에 12Cr-1Mo-V계의 용접재료를 사용한 경우의 양 모재의 용융경계부 근방의 경도분포를 나타내었다. 이 결과에 의하면, 백색밴드상이 존재하는 영역의 최저경도는 Hv130으로 인접한 열영향부의 Hv185에 비하여 Hv가 55정도의 차이를 나타내었다. 한편 용접금속측으로의 침탄층이 존재하는 부분의 경도는 최고경도가 Hv310으로서 인접한 용접금속부의 Hv270과 비교하여 Hv가 40정도 높은 값을 나타내었다. 그러나 백색밴드상 및 침탄층이 생성되지 않은 동종재질간의 용융경계부 근방에서는 상기와 같은 명백한 경도값의 차는 나타나지 않았다. 이러한 경도값의 결과는 3.1에서 서술한 미세조직의 관찰결과와 잘 일치하는 경향을 나타내었다.

3.4 상온 및 고온인장특성

용접부의 상온 및 고온인장성질로서 온도와 항복강도의 관계를 Fig. 3에 나타내었으며, 그림중에는 specification의 규정치도 병기하였다. 용접부의 인장에 의한 파단결과는 용접재료의 종류 및 시험조건에 관계없이 2¼Cr-1Mo강의 모재부에서 파단하였다. 따라서 그림중의 값은 2¼Cr-1Mo강 모재의 인장성질을 나타낸 것이 된다. 이 결과에 의하면, 상온과 300°C이하의 온도영역에서는 규정치의 경우가 용접시편에 비하여 높은 값을 나타내었으나, 그 이상의 온도범위에서는 용접시편의 경우가 보다 높은 값을 나타내었다. 이러한 경향은 용접재료의 종류와 관계없이 동일하였다. 이들 결과는 백색밴드상의 생성여부 및 그 정도의 차이는 상온 및 고온 인장성질에는 거의 직접적인 영향을 미치지 않는다는 것을 의미하고 있다.

인장에 의한 소성변형시 백색밴드부의 변형거동을 관찰하기 위하여, 20%소성변형후 제하하는 인장중단실험을 행하였다. 모든 시편에 있어서 2¼Cr-1Mo강 모재부에서 커다란 수축변형을 보이고 있으며, 12Cr-1Mo-V계의 용접금속이 형성된 경우는 2¼Cr-1Mo강 모재와의 용융경계부 근방에서 비교적명료한 수축부가 관찰되었다. 이러한 경향은 전기의 광학현미경의 조직관찰의 결과와 잘 일치하고 있다. 또한 2¼Cr-1Mo계 용접금속을 사용한 경우에도 상기의 12Cr-1Mo-V계 용접금속의 경우와 같이 명료하지는 않았으나, 육안으로는 관찰하기 어려운 미세한 수축부가 존재하였다. 한편 Inconel계 용접재료를 사용한 경우에는, 용융경계부 근방에서의 수축은 발생하지 않았으나, 용접금속이 전체적으로 다소 수축하는 경향을 보였다.

4. 요약

이종재료인 2¼Cr-1Mo강과 12Cr-1Mo-V계 강과의 용접부의 용접성에 대하여 모재계열의 용접재료와 Inconel계의 용접재료를 사용하여 야금학적인 관점으로부터 미세조직적 특성 및 기계적성질을 중심으로 검토하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 연구의 실험범위에 의하면, 내부결합, 균열 등의 용접결함은 발생하지 않는 양호한 용접부를 얻을 수가 있었다.
- (2) 광학현미경을 이용한 미세조직의 관찰에 의하면, Inconel계의 용접재료를 제외한 모재계열의 용접재료를 사용하였을 경우, 용융경계부 근방에서 연속 또는 불연속적인 백색의 밴드상이 형성되었다.
- (3) 백색밴드상의 형성부는 인장변형에 의하여 국부적인 수축변형을 일으키나, 파단은 2¼Cr-1Mo강의 모재에서 발생하였으며, 거시적인 인장성질에는 영향을 미치지 않았다.

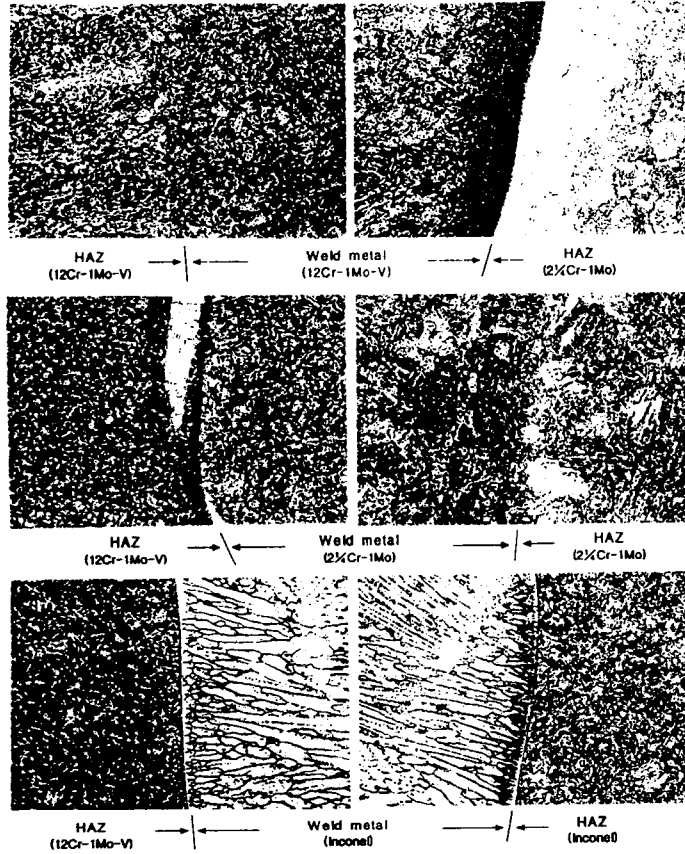


Fig. 1 Optical micrographs of weld metal and HAZ near fusion boundary

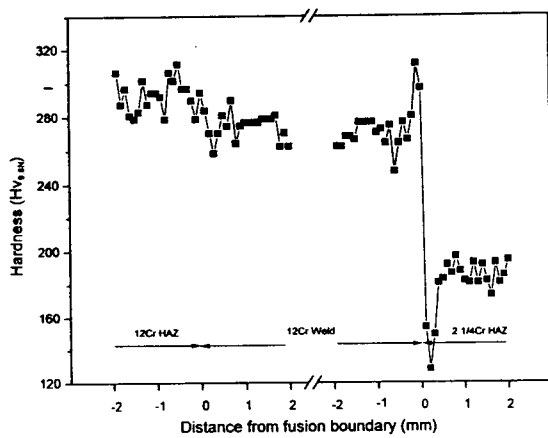


Fig. 2 Hardness distributions of weld metal and HAZ near fusion boundary

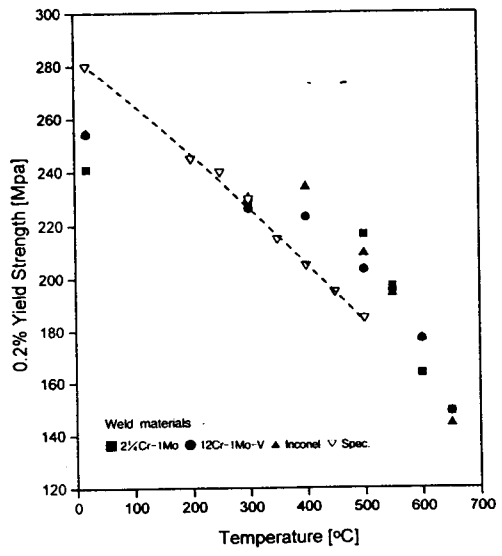


Fig. 3 Tensile properties of weldments at elevated temperatures