

## 18Cr 페라이트계 스테인리스강의 용접부 저온 특성 평가

### Evaluation of Low Temperature Properties in 18Cr Ferritic Stainless Steel Welds

이 원배, 우 인수, 엄 상호, 이 종봉

POSCO 기술연구소

**ABSTRACT** This study aimed to evaluate the low temperature properties of the 18Cr ferritic stainless steel weld. Applied welding methods were LB (Laser Beam) and GTA (Gas Tungsten Arc) welding to compare the different low temperature properties of the welds. Low temperature properties were evaluated by the Charpy impact, Erichsen and Expansion test at low temperature. LB weld showed superior low temperature properties in the cases of the Charpy impact test and expansion test at low temperature, while GTA weld showed a superior low temperature property in the case of Erichsen test at low temperature. The different low temperature properties with test methods are still under analysis and may be due to different crack path depending on the microstructure, test speed and stress concentration during test.

## 1. 서 론

페라이트계 스테인리스 강은 저가의 스테인리스 강이며 고온특성 및 내식성이 우수하여 건축용, 자동차 배기계용으로 널리 사용되고 있다.<sup>1)</sup> 자동차용 배기계는 pipe와 shell로 구성되어 있으며, 파이프 조관작업 시, GTA 및 레이저 용접이 적용되고 있다. GTA 및 레이저 용접된 페라이트계 스테인리스 강 파이프는 굽힘 및 확관 공정 등 2차 가공공정을 거쳐 실제 배기계 부품으로 조립된다. 용접된 파이프를 동절기 및 한랭지역에서 2차 가공 할 경우, 용접부에 균열이 발생하는 문제가 있다. 페라이트계 스테인리스강은 용접 후 상온까지 단상응고 되기 때문에 용접부 결정립이 조대화 되어 용접부 연성 및 인성이 저하되며, 특히 저온에서의 인성 저하가 현저하다. 따라서 동절기, 파이프 용접부 저온 가공성을 보충하기 위해서는 판재 용접부의 저온 특성을 적절히 평가 할 수 있는 평가 법이 매우 중요 하며 이에 대한 요구가 증가하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 Cr이 18% 함유된 페라이트계 스테인리스강을 이용하여, 각각 레이저 및 GTA로 용접을 행한 후 Charpy 충격시험 및 저온 에릭슨 시험을 실시하여, 실제 파이프의 저온 가공성 시험결과 비교 및 평가하고자 한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 사용 재료

본 연구에 사용된 재료는 18wt%의 Cr이 첨가된 두께 1.5mm의 냉간 압연된 페라이트계 스테인리스 강이다.

### 2.2 용접방법 및 기계적 특성 평가

본 연구에 적용된 GTA 용접 조건은 용접전류 100A, 속도 0.3m/min이며 보호가스는 Ar을 이용하였다. 레이저 용접 조건은 레이저 출력 6kW, 용접속도를 5m/min의 조건으로 용접하였으며, 보호가스는 He 과 back shielding gas는 Ar을 이용하였다. 용접 후 각 영역의 미세조직을 관찰하였다. 조직관찰을 위해 광학 및 주사전자현미경 (Scanning Electron Microscopy)을 이용하였으며, 상 분석은 EPMA (Electron Probe Micro Analyzer)를 이용하였다. 용접부 단면의 경도 분포를 파악하기 위해 마이크로 비커스 경도기를 이용하였다.

용접부의 저온 가공성을 평가하기 위해 Charpy 충격시험 및 저온 에릭슨 시험을 실시하였다. Charpy 충격 시험 시 시험편을 저온으로 유지하기 위해 액체질소와 알코올이 혼합된 냉동욕에서 원하는 온도에 약 5분 이상 유지 후 테스트 하였다. 또한 본 연구에서는 시

험도중 온도 상승 없이 에릭슨 시험을 하기 위해 시험편을 고정하는 drawing die에 특수한 가공을 행하여, 신뢰성 있는 저온 에릭슨 결과를 얻을 수 있도록 하였다.

Fig.1에서는 각각 시험법에 적용된 시험편의 형상 및 크기를 나타내고 있다.

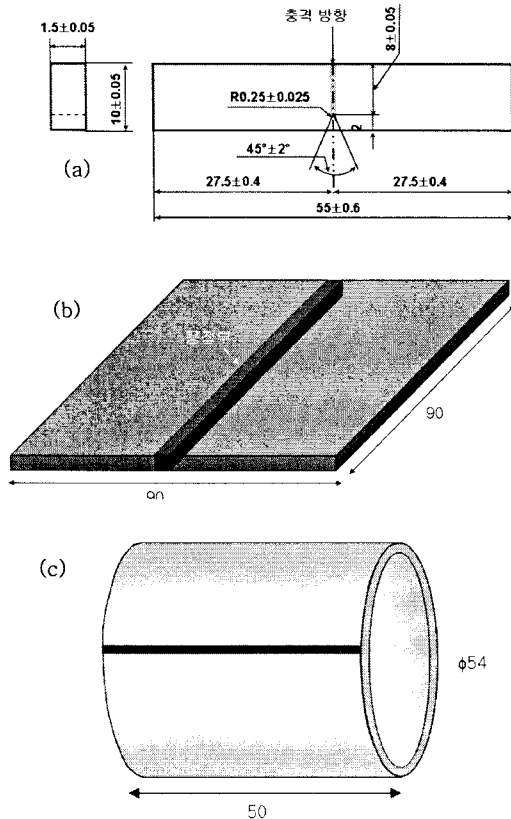


Fig.1 Schematic illustration of Charpy impact (a), Erichsen test (b) and Expansion test (c) (unit:mm).

### 3. 실험 결과

Fig.2 에서는 GTA 및 레이저 용접부 단면 거시 조직을 나타낸다. 레이저 용접에 비해 GTA 용접부 폭 및 결정립 크기가 증가함을 알 수 있다. 용접금속 (weld metal) 폭은 GTA 용접의 경우 약 3mm, 레이저 용접의 경우 약 1.5mm 임을 확인 할 수 있다.

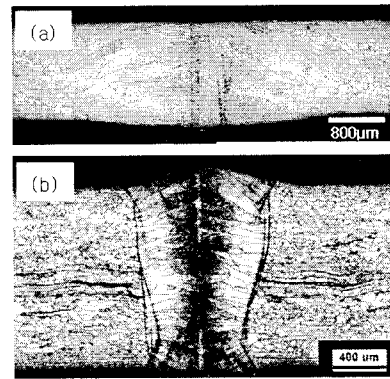


Fig.2 Macrostructures of GTA weld (a) and laser weld (b).

Fig.3는 GTA 및 레이저 용접부 단면 경도 분포를 나타내고 있다. 용접부는 모두 모재에 비해 경도가 상승함을 알 수 있다. 모재의 경도는 약 145HV, 열 영향부에서는 결정립 성장 및 용접 열에 의한 소둔 효과 (annealing)에 의해 모재에 비해 약간 연화된 GTA, 레이저 용접부 모두 140HV이다. 용접금속의 경도는 GTA 용접의 경우 평균 160HV, 레이저 용접의 경우 평균 170HV 였으며, 레이저 용접부의 경화도가 더 높음을 확인 하였다.

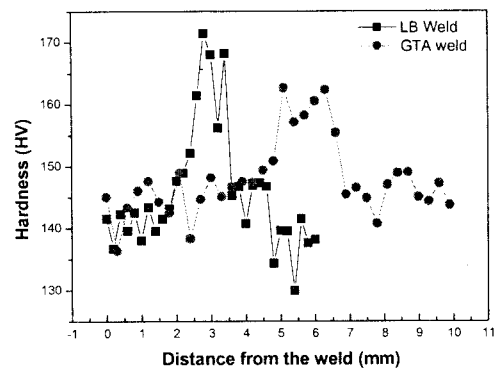


Fig.3 Hardness distributions near laser and GTA welds.

Fig.4는 GTA 및 레이저 용접부의 시험 온도에 따른 충격 흡수에너지 변화를 나타낸다. 모재의 경우, DBTT (Ductile-Brittle Transition Temperature)는 약  $-50^\circ\text{C}$ 이고,  $-20^\circ\text{C}$ 에서의 충격흡수에너지는 19J 이었다. GTA 및 레이저 용접부의 DBTT는 각각  $-20^\circ\text{C}$ ,  $-35^\circ\text{C}$ 이었으며,  $-20^\circ\text{C}$ 에서 충격에너지 값은 각각 8.9, 17.2J 이었다. 파단면을 분석한 결과, 시험온도  $0^\circ\text{C}$  이상 고온에서의 충격 파단 시험편은 전형적인 연성

파면이 관찰되었으나, -20℃에서 충격 시험편의 경우 연성 및 취성 파단이 혼재된 양상을 나타내고 있다. 따라서 시험온도가 낮아짐에 따라 용접부 저온 인성은 저하함을 알 수 있다. Charpy 충격 test 법에 의해 저온특성 (DBTT 및 저온 충격에너지)을 평가해 본 결과, 레이저 용접부가 GTA 용접부에 비해 우수한 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

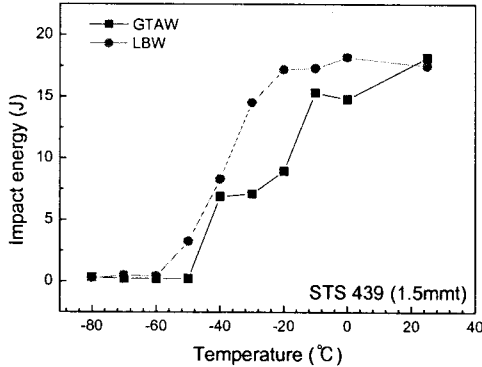


Fig.4 Charpy impact energy of GTA and Laser welds with tested temperature.

Fig.5 는 GTA 및 레이저 용접부의 시험 온도에 따른 Erichsen 높이 변화를 나타내고 있다. 온도가 낮아질수록 파단이 일어날 때까지의 ball punch의 이동 거리가 낮아지고 파단의 양상또한 연성에 취성파괴 거동으로 변화함을 알 수 있다. 전체적으로 GTA 용접부의 Erichsen 높이가 레이저 용접부에 비해 우수하며, 완전 취성 파단으로 전이하는 온도도 더욱 낮음을 알 수 있다.

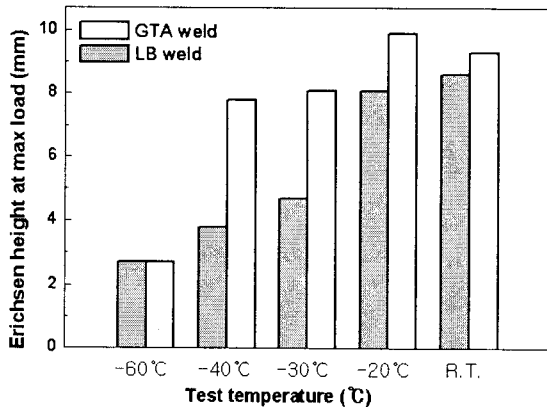


Fig.5 Erichsen test (Height) results of GTA and Laser welds with tested temperature.

#### 4. 결 론

1) 레이저 용접부는 GTA 용접부에 비해 용접 영향부 폭 및 결정립 크기가 작지만, 경화도가 더 큼을 알 수 있으며, Charpy 충격시험의 경우 보다 우수한 저온 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다

2) GTA 용접부의 경우, 용접영향부의 폭이 비교적 넓으나 경화현상은 작고, 저온 에릭슨 시험 시 레이저 용접부에 비해 우수한 저온 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다

3) 각각 시험법에 따른 용접부의 저온 특성이 다름을 알 수 있으며, 이는 각각의 용접부의 미세조직에 따른 시험 시 파단 경로 (Crack path)의 변화 및 시험 속도차이등에 기인한다고 사료되며<sup>2)</sup> 이 부분에 대한 깊은 연구가 요구된다.

#### 참 고 문 헌

1. R. D. Campbell : Ferritic Stainless Steel Welding Metallurgy, Key Engineering Materials, 69-70 (1992) 167-216.
2. R. Kaul, P. Ganesh, P. Tripathi, R.V. Nandedkar and A. K. Math : Comparison of Laser and Gas Tungsten Arc Weldments of Stabilized 17wt% Cr Ferritic Stainless Steel, Materials and Manufacturing Process, 18-4 (2003) 563-580.