

11Cr 페라이트계 스테인리스강 GTA 용접부의 저온 가공성 향상

Improvement of Low Temperature Formability in 11Cr Ferritic Stainless Steel GTA Welds

우 인수, 이원배, 김정길, 엄상호, 이종봉
POSCO 기술연구소

1. 서 론

최근 자동차 배출가스의 규제가 강화되고 배기계 부품의 장수명화가 요구됨에 따라서 페라이트계 스테인리스강의 채용이 급증하고 있다.

자동차 배기계의 부품은 크게 shell과 파이프형상으로 나눌 수 있다. 조관용접은 ERW (Electrical Resistance Welding)가 다수를 점유하고 있으며, GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)과 레이저용접도 일부 채용되고 있다. GTA 용접은 ERW 및 레이저용접에 비하여 생산성은 낮지만, 초기 설치 및 유지비가 저렴하고 관리에도 편리한 장점이 있다.

한편, 페라이트계 스테인리스강에 GTA 용접을 적용한 파이프재는 벤딩 또는 확관과정에서 용접균열이 발생하여, 모재의 가공성이 우수함에도 불구하고 용접품질 확보되지 않아 강재의 우수한 품질특성을 발휘할 수 없는 경우가 많다. GTA 용접 조관재의 가공불량 현상은 가공온도가 낮은 동절기 또는 가공속도가 빠른 조건에서 현저하게 발생하는 것으로 보고되고 있다¹⁻⁵⁾.

본 연구에서는 배기계용 부품소재로 가장 폭넓게 사용되고 있는 페라이트계 스테인리스강인 STS409L에 대하여 GTA 용접 파이프재의 저온 가공성을 확보한 결과를 소개하고자 한다.

2. 사용재료 및 실험방법

본 연구에서 이용한 STS409L은 냉연제품 (1.5mmt) 으로서, 기존재 2종과 신개발재 1종이다. 기존재는 STS409L-1, STS409L-2로, 신개발 강종은 STS409LW (가칭)로 각각 표기한다.

판재 GTA 용접은 최대 용접전류 350A급의 DC type 용접기를 사용하였으며, bead on plate로 실시하였다. 용접조건은 용접전류 110A, 용접속도 0.32m/min, 텅스텐 전극경 2.5mm, 전극선단각 100°, Arc length 1.5mm, 보호가스 Ar (15l/min)이었다. GTA 조관용접은 용접전류 190A, 조관속도

1.5m/min, 텅스텐 전극경 2.5mm, 전극선단각 100°, Arc length 1.5mm, 보호가스 Ar (15l/min)으로 실시하였다.

용접부의 결정립 크기는 광학현미경을 이용하여 측정하였다. 용접부 단면을 sand paper 및 연마제를 사용하여 연마하고, Nital 용액으로 전해에칭한 후 관찰하였다. 용접부의 경도분포는 마이크로비커스 경도기를 이용하였고, 하중 300g, 유지시간 10s으로 하여 0.2mm간격으로 측정하였다.

판재 용접부의 DBTT특성은 1/4Sub-size (1.5mm^t×10mm^w×55mm^l) 시험편에 대하여 시험온도를 변경하면서 Charpy 충격시험을 적용하여 조사하였다. 조관용접부의 가공성은 확관시험과 벤딩시험으로 평가하였다. 확관시험은 Segment Expansion 시험방법을 적용하였고, 상온 및 -20℃에서 실시하였다. 벤딩시험은 배기계용 파이프재의 벤딩가공에 폭 넓게 적용되고 있는 Mandrel type 시험기를 이용하였다. 시험시에는 최대 인장응력이 발생하는 조건하에서 용접부의 위치를 최외각으로 두고, 벤딩각도 45°, 60°, 80° 순으로 연속적으로 실시하였으며, 이때 곡률반경은 80R (R=1.25D)이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 용접부 저온 가공특성의 조직학적 인자

Fig.1은 STS409L-1 GTA 용접 파이프재의 확관중에 발생한 균열 형상을 나타낸 것이다. 균열은 용접금속부에서 발생하여 용접선의 수직방향인 모재로 전파하였다. 균열발생부의 파단면 조직을 검토한 결과, 가공시의 용접부 균열은 용접금속부의 인성저하에 따른 입내취성이 주요인인 것을 알 수 있었다.

Fig.2는 조관용접부의 단면조직을 나타낸 것이다. 모재 및 HAZ에 비하여 용접금속부의 결정립이 조대화 되어 있는 것을 알 수 있다. Fig.3은 STS409L-1의 판재 GTA 용접부 및 조관용접부의

경도 분포를 나타낸 것이다. 모재 및 용접부 모두 파이프재가 판재보다 높은 경도값을 나타내고 있다. 파이프재의 경우에는 특히 용접금속부의 경도값이 현저하게 상승하였다. 이것은 조관공정 중에 성형 및 교정단계에서 발생하는 가공경화 현상에 의한 것으로 추정된다.

이상과 같이 GTA 조관용접부의 저온 가공성이 저하되는 것은 용접금속부의 결정립이 조대화되는 것과 용접부의 경화현상에 기인하는 것으로 판단된다.

3.2 STS409L 용접부 저온 가공특성 개선

Fig.4는 신개발 강종인 STS409LW와 기존 강종인 STS409L-1, STS409L-2에 대한 판재 용접부의 Charpy 충격시험 결과로부터 얻어진 DBTT 특성을 정리한 것이다. 시험온도가 감소함에 따라서 3강종 모두 용접부의 충격에너지는 저하하는 것을 알 수 있다. Fig.4에서 Upper Shelf energy의 1/2값을 가지는 시험온도를 DBTT로 하여 보면, STS409LW의 DBTT는 -57°C , STS409L-1는 -15°C , STS409L-2는 -30°C 의 값을 얻을 수 있다.

GTA 용접 파이프에 대하여 확관시험 및 벤딩 시험을 실시한 결과를 Fig.5에 나타낸다. 확관시험의 경우, 신개발 강종인 STS409LW 파이프는 기존재에 비하여 확관율이 높고, 모재부에서 전부 파단이 발생되었다. STS409LW 파이프에 얻어진 확관율은 약 29%정도로서 기존의 ERW 파이프재와 동등수준의 품질특성이 확보될 수 있는 것을 알 수 있다. 또한 신개발 강종의 경우에는 매우 엄격한 벤딩조건하에서도 용접부의 균열 발생 없이 벤딩가공이 되는 것을 알 수 있다.

신개발 강종 STS409LW 용접 파이프재의 품질특성이 개선되는 이유를 검토하기 위하여 용접부의 단면조직 관찰 및 경도분포를 측정하였다. Fig.6은 STS409LW의 GTA 조관용접부의 단면조직을 나타낸 것이다. Fig.2에 나타낸 것과 같이 기존재 STS409L-2와 비교해서 STS409LW의 용접부 응고 결정립이 미세화된 것을 확인할 수 있다. STS409LW의 용접부 응고 결정립은 약 $240\mu\text{m}$ 으로 STS409L-2의 $530\mu\text{m}$ 에 비하여 1/2수준으로 감소된 것을 알 수 있다.

GTA 용접 파이프재의 경도분포는 Fig.7에 나타낸다. STS409LW는 기존재 STS409L-2재 비하여 용접부의 경도가 낮고, 또한 용접부와 모재

부의 경도차 감소하는 것을 알 수 있다. 특히 STS409LW 조관용접부의 경우에는 모재와 용접부의 경도가 거의 같은 수준의 값을 나타내고 있다. 이 사실로부터, STS409LW 조관 용접부는 이음부 조직 전체가 균질화 되어 있음을 알 수 있다.

이상과 결과로부터 신개발 강종 STS409LW의 조관용접부가 가공성이 우수한 것은 용접부의 응고결정립이 미세화되고, 조관용접부의 경화현상이 저감되기 때문으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서 개발한 페라이트계 스테인리스강 STS409LW는 용접부의 응고 결정립을 미세화하고, 용접부의 경화현상을 저감하여 DBTT 특성 및 저온 충격에너지값의 편차를 크게 개선하였다. 그 결과, 가혹한 가공환경에서도 조관 용접부의 가공균열을 방지할 수 있으며, 다양한 산업분야에서 구조재로 확대 적용될 수 있다. 또한, 용접프로세스 측면에서도 GTA용접 뿐만 아니라 ERW와 레이저 조관용접에서도 탁월한 품질특성을 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 宮崎, 川崎, 豊岡, 唐沢, 橋本 : 川崎製鉄技報, **22**(1990), 251
2. 朝田, 井上 : 日新製鋼技報, **80** (2000), 40
3. K.Yoshioka, Y.Oka, N.Kinoshita, M.Takeda, Y.Ona, and N.Ohashi : 鉄と鋼, **63** (1977), 135
4. 이원배, 김정길, 우인수, 이종봉 : Proceedings of the 2006 Autumn Annual Meeting of Korean Welding Society, **47** (2006), 123
5. In Su Woo, Joon Sik Park, Jeong Kil Kim, Won Bae Lee, Jong Bong Lee : Preprints of the national meeting of J.W.S., **78** (2006), 150

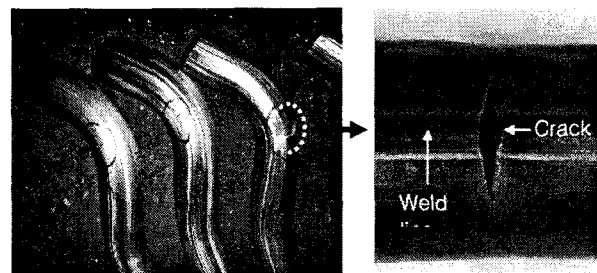
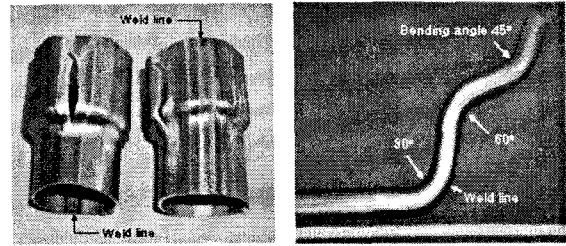


Fig.1 Photographs of the GTA welded pipe after bending test (circle represents the crack around the weld)



Fig.2 Macrostructure of the GTA welded STS409L-2 pipe (Grain size : 530µm)



[Expansion test : -20°C] [Bending test]

Fig.5 Photographs showing the results of the secondary workings (expansion, bending test) with the GTA welded STS409LW pipe (pipe dimension = 50.8φ×1.5t)

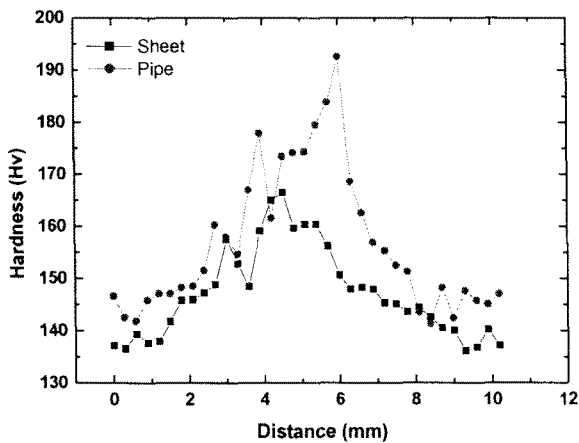


Fig.3 Hardness distribution of the GTA welded STS409L-2 sheet and pipe

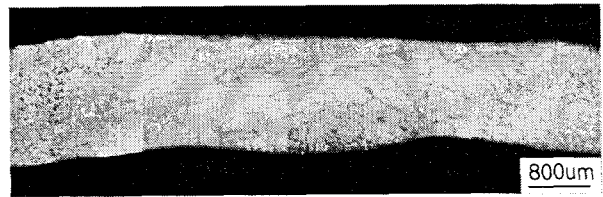


Fig.6 Macrostructure of the GTA welded STS409LW pipe (Grain size : 240µm)

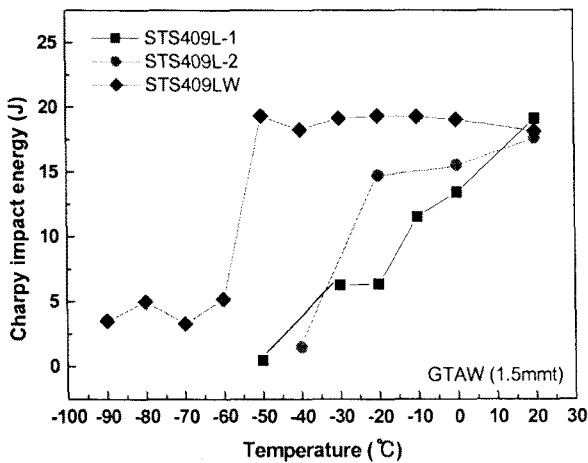


Fig.4 Relationship between temperature and impact energy of the various GTA welded STS409L sheets

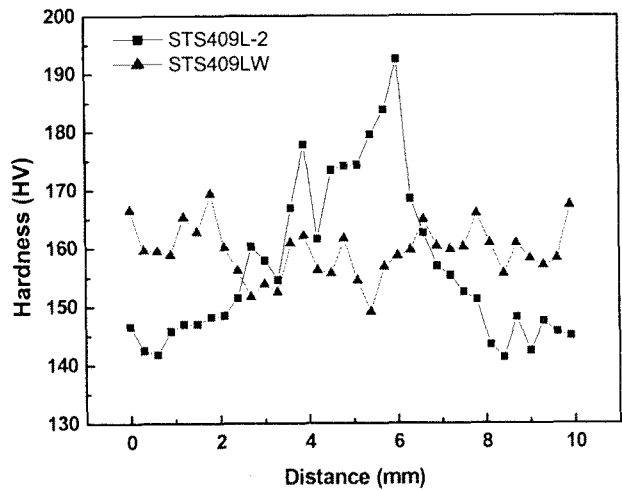


Fig.7 Hardness distribution of the GTA welded STS 409L pipe