

19Cr-2Mo 페라이트계 스테인리스강의 용접성

Weldability of Type 19Cr-2Mo Ferritic Stainless Steel

안 상곤*, 최 두열*, 권 종원*, 권 기선**
 포항제철(주) 기술연구소 스테인레스연구그룹
 포항제철(주) 스테인레스판매실

1. 서 론

페라이트계 스테인리스강은 오스테나이트계 스테인리스강에 비해 응력부식 균열 저항성이 우수할 뿐 아니라, 고가의 Ni를 첨가하지 않기 때문에 제조가격 측면에서도 유리하다. 그러나 페라이트계 스테인리스강은 용접부 취화 현상, 즉 연성 및 인성의 저하 문제로 인해 오스테나이트계 스테인리스강에 비해 제한적으로 사용되고 있다. 통상 페라이트계 스테인리스강의 용접부 취화는 결정립 조대화, Interstitial C, N의 낮은 고용도에 의한 탄·질화물의 석출특성, 안정화 원소의 종류 및 첨가량 등이 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 페라이트계 스테인리스강을 용접 구조재로 사용하기 위해서는 용접성에 대한 충분한 이해가 필요하며, 이로부터 적정 용접시공 조건이 선정되어야 한다.

본 연구에서는 316과 동등한 부식성을 갖는 19Cr-2Mo의 페라이트계 스테인리스강에 대해 먼저 용접성에 미치는 화학조성 및 용접시공 인자의 영향을 조사했고, 용접금속의 충격특성을 향상시킬 수 있는 방안도 검토했다.

2. 실험방법

시험재는 KS 규격의 STS 444로서, 두께 4~5 mm의 열연 소둔재, 5종을 사용했다. 각 시험재의 화학조성은 19Cr-2Mo의 기본 성분계에 C+N이 0.008~0.028%, Nb/C+N 비가 15~48 범위로서, 일부는 Nb+Ti 복합 안정화 강이다. 이들 시험재의 용접성은 GTAW, BOP(Bead-on Plate) 자동용접을 실시한 후, 150° 저온 굽힘시험과 용접금속에 대한 2.5 mm sub-size Charpy 충격시험으로 평가했다. 이때 GTA 용접 입열량은 12~13 kJ/cm, 아크 길이는 약 5 mm, Ar 가스는 5~20 l/min 조건으로 했다. 이외에 용접금속의 화학조성 변화에 따른 충격특성을 조사하기 위해 90, 120cm/min의 공급조건으로 316L 용가재(직경 1.2 mm)도 사용했다.

용접금속의 화학조성 및 용접시공 변수에 따른 용접부 연성 및 충격특성의 변화 원인을 분석하기 위해 미세조직, 석출물 분석 및 비커스 경도시험도 실시했다.

한편 열역학 응용 프로그램인 Thermo-Calc를 사용하여 STS 444의 용접성에 직접적인 영향을 미치는 탄·질화물에 대한 석출거동을 예측하고자 했다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 C+N에 따른 모재의 충격특성 변화를 나타낸 것이다. C+N이 0.013% 이하재는 -60℃까지 약 40 J 이상의 우수한 충격특성을 나타낸 반면, 0.0173% 이상재에서는 -20℃ 이하의 저온에서 충격치가 감소하는 경향을 보였다. 특히 18Cr계 페라이트계 스테인리스강의 C+N 고용한(Solubility limit) 0.01% 보다 낮은 0.0079%에서는 -80℃까지 연성-취성 천이온도도 관찰되지 않았다. 따라서 모재의 충격특성은 C+N과 밀접한 상관성을 갖는다고 할 수 있다.

그림 2는 모재의 C+N 및 Ar 유량을 변수로 용접금속의 C+N을 0.0120~0.069% 범위로 변화시켰을 때, 0℃에서의 충격치(vE₀)를 나타낸 것이다. 용접금속의 C+N이 약 0.030%

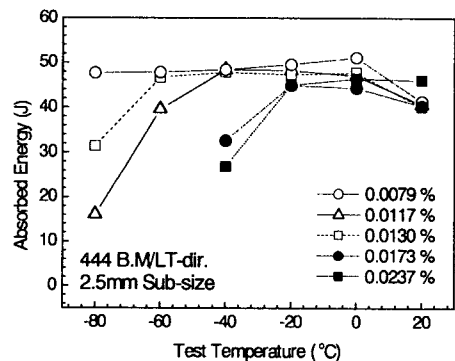


그림 1 C+N 함량에 따른 모재의 충격특성 변화

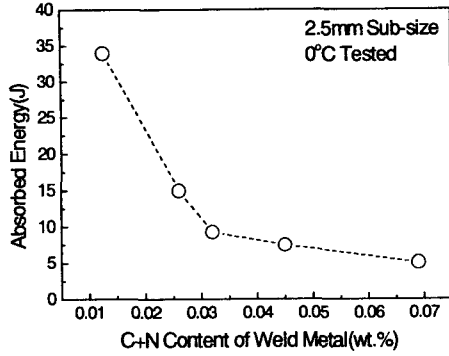
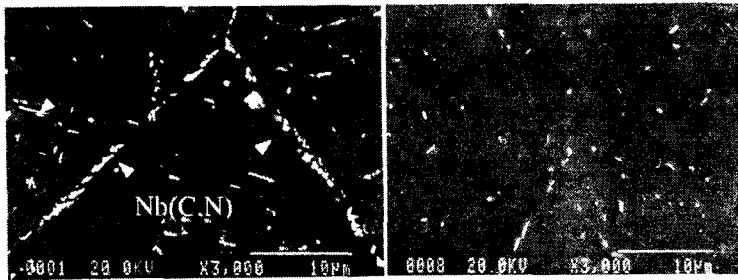


그림 2 C+N 함량에 따른 용접금속의 충격특성 변화



Ar, 5 l/min

Ar, 20 l/min

그림 3 Ar 조건에 따른 GTA 용접금속의 석출특성 변화 (80% CH₃COOH+20% HClO₄ 전해연마-SEM 관찰)

용접금속의 탄·질화물은 응력 집중원으로 작용하여 파괴시 석출물이 존재하는 결정립내의 Sub-boundary를 통하여 취성파괴를 조장하기 때문에, 본 시험재를 포함한 페라이트계 스테인레스강의 경우, 용접부 연성과 인성 측면에서 석출물을 최소한으로 억제시키지 않으면 안된다.

그림 4는 C+N이 약 0.027%인 시험재에 대해 316L 오스테나이트계 용가재(Filler wire)를 사용하여 용접금속의 충격특성 변화를 조사한 것이다. 용가재를 사용하지 않은 용접금속은 C+N이 약 0.045%로 높아 상온에서도 100% 취성파괴를 나타낸 반면, 용가재를 사용한 경우는 0 °C에서 17 J 이상의 양호한 충격특성을 보여주고 있다. 이와같이 용가재의 사용에 의해 용접금속의 충격특성이 향상된 것은 316L의 기본 성분인 Ni이 상당량 희석되었기 때문이며, 실제 용접금속의 Ni을 3% 이상 만족시킬 수 있는 용가재 공급조건에서는 STS 444의 용접부 연성 및 인성을 충분히 확보할 수 있다.

Thermo-calc를 이용하여 STS 444 용접금속의 탄·질화물 석출 거동을 조사한 결과, Nb 안정화 강은 Nb(C,N)이 약 1100 °C에서 석출했고, Nb에 소량의 Ti를 첨가한 복합 안정화 강은 Ti,Nb(C,N)의 석출온도가 약 300°C 높았다. 또 탄·질화물의 석출량도 Nb에 비해 Nb+Ti 안정화 강이 많을 것으로 예측되었고, 실제 용접금속에서 탄·질화물 량을 조사한 결과와 일치했다.

이상에서는 vE_0 가 10 J 미만으로서, 국내 저수조에서 요구하는 0°C 보장은 어려울 것으로 생각된다.

한편 저온 굽힘시험으로 평가한 용접부 연성도 용접금속의 C+N이 0.030%을 경계로 균열 발생에 현저한 차이를 나타냈다. 따라서 용접부 성능은 용접금속의 C+N에 크게 의존하고 있음을 알 수 있다. 결국 19Cr-2Mo의 페라이트계 스테인리스강을 저수조용 구조재로 사용하기 위해서는 용접금속의 C+N을 0.030% 미만으로 억제하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서는 용접시공 조건에 따라 차이가 있지만, 모재의 C+N이 0.02% 이하, Ar은 15 l/min 이상의 조건이 필요할 것으로 생각된다.

한편 용접부 연성 및 충격특성의 직접적인 저하 원인을 조사하기 위해 그림 3과 같이 용접금속의 탄·질화물의 석출특성을 관찰했다. GTA 용접시공 인자 중, Ar이 5에서 20 l/min로 증가함에 따라 Nb(C,N) 석출물의 크기와 분포가 상대적으로 크게 감소하고, 특히 입계에서 석출물의 감소 및 석출형태가 뚜렷히 구분된다. 이것은 용접 도중, 대기로부터 용융금속으로 질소가 혼입되어 용접금속의 질소량이 증가하고, 고용한을 초과한 질소가 안정화 원소인 Nb와 결합하여 석출물이 증가했기 때문이다.

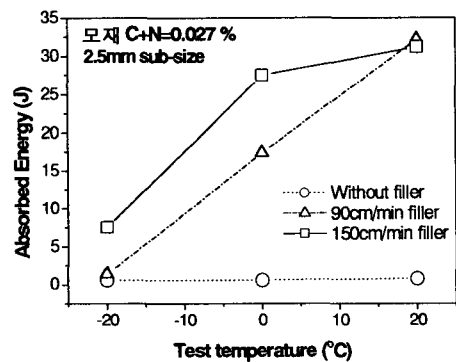


그림 4 용접금속의 충격특성에 미치는 316L filler wire의 영향