

22Cr계 2상 스테인리스강의 GTA 용접특성

GTA Weldability of Type 22Cr Duplex Stainless Steel

안 상곤*, 최 두열**, 권 기선***

* 포스코 기술연구소 용접연구팀

** 포스코 기술연구소 자동차 가공 연구그룹

*** 포스코 스테인리스 판매실

1. 서 론

2상 스테인리스강은 페라이트와 오스테나이트의 두께 상이 동등한 비율로 구성된 스테인리스강으로서, 페라이트계의 저인성과 오스테나이트계 스테인리스강의 응력부식균열(SCC) 감수성 등 각각의 단점을 모두 보완한 특성을 갖고 있다¹. 이러한 2상 스테인리스강의 용접 특성은 주어진 용접 열이력에서 용접금속과 열 영향부가 여하히 적절한 상분율을 확보하는가가 매우 중요하다. 또 2상 스테인리스강은 오스테나이트계 및 페라이트계 스테인리스강에 비해 Cr, Mo, N 등이 높기 때문에 제 2상의 석출에 따른 용접부의 성능 저하도 문제가 된다. 특히 파이프 또는 박판 용접과 같이 용접 재료를 사용하지 않는 Single pass 용접부의 품질을 확보하는데 주의가 필요하다²⁻³.

따라서 본 연구에서는 최근 개발된 22Cr계 2상 스테인리스강 국내 시판재에 대해 GTA 용접부의 내식성과 기계적성질을 확보할 수 있는 주요 용접인자를 적정화하고자 했다. 이를 위해 용접 입열량 및 보호가스조건에 따른 용접부의 미세조직, 충격특성 및 내공식성을 각각 평가했다.

2. 시험재 및 실험방법

사용한 시험재는 UNS S32205 규격을 만족하는 두께 6.0 mm의 열연 2상 스테인리스강 국내 시판재로서, Table 1에 화학조성을 나타냈다. 이 중 일부는 두께 3.0mm로 냉간압연 후, 통상의 온도로 소둔하여 용접 시험편으로 사용했다.

용접 입열량에 따른 미세조직 특성 및 내공식성을 평가하기 위해 열연재에 GTAW BOP (Bead on Plate) 용접을 실시했다. 이때 용접은 약 6.0~22 kJ/cm 입열량 범위의 9 조건을 선택

했다. 또 용접금속의 N 함량에 따른 미세조직, 충격특성 및 내공식성에 대한 평가는 냉연재를 사용하여 보호가스 조건을 순수 Ar과 Ar+2~50% N₂ 혼합가스 6종 등, 모두 7 조건으로 변화시켰다. 이와 같이 제작한 각 용접 시험편에 대해 미세조직, 충격특성 및 내공식성을 평가했다.

용접부의 미세조직은 무라카미 에칭법과 10% 옥살산+40% 질산에칭법을 함께 사용했고, 페라이트 함량은 Ferrite-scope MP-30(Fischer Co.)으로 5회 이상 측정후 평균값을 구했다. 열 영향부의 페라이트 함량은 화상 분석기를 이용하여 점산법으로 측정했다.

용접부 충격특성은 -40℃에서 2.0mm Sub size Charpy 충격시험을 조사했다.

한편 각 시험조건에 따른 용접부의 내공식성은 임계공식온도(CPT)로 평가했다. 즉 CPT는 ASTM G48에 준하여 6% FeCl₃ 용액에서 용액 온도를 30에서 45℃까지 2.5℃ 간격으로 증가시킨 다음, 각 조건에서 24 또는 72시간 유지시킨 후, 무게 감량을 측정하여 서로 비교했다.

3. 실험결과

3.1 용접 입열량에 따른 용접특성

Fig. 1은 약 6~22 kJ/cm 범위로 GTA 용접 입열량을 변화시켰을 때, 용접금속의 페라이트 함량의 변화를 나타낸 것이다. 용접 입열량이 증가함에 따라 최대 약 70%에서 최소 약 57%까지 감소했으나, 모재의 페라이트 함량 48% 수준 보다는 상당히 높았다. 용접금속의 경우, 입열량 증가에 의한 냉각속도 감소로 페라이트에서 오스테나이트으로의 고상 변태량이 증가하였기 때문이다.

Fig. 2는 입열량 변화에 따른 용접금속의 미세조직을 나타냈다. 약 7 kJ/cm 이하의 조건에서는 오스테나이트는 주로 페라이트 결정립 입계에 석출되었으나, 페라이트 입내에도 매우 많은 양의 미세한 석출물이 관찰되었다. 이러한 미세한 석출물은 1 μm 내외의 크기를 갖는 Cr 질화물(Cr_2N)로 확인되었다. 약 11 kJ/cm 조건의 경우, 페라이트 입내에서 비록 소량이지만 오스테나이트가 생성되기 시작했다. 이러한 입내의 오스테나이트 크기와 분율은 입열량이 커짐에 따라 증가했다. 반면에 질화물은 상대적으로 급격히 감소했는데, 이것은 페라이트 입내에 N 고용도가 큰 오스테나이트가 석출함으로써 N의 확산거리가 짧아졌기 때문이라고 생각된다. 즉, 입내의 오스테나이트가 Cr 질화물의 소멸(sink)장소 역할을 한 것으로 볼 수 있다. 한편 17 kJ/cm 이상의 입열량에서는 질화물은 대부분 소멸되어 극소량만 관찰되었으며, 입내에서도 상당량의 오스테나이트가 성장함으로써 결정입계의 구분이 어려웠다.

Fig. 3은 용접 입열량 변화에 따른 용접부의 내공식성을 평가한 결과로서, 입열량이 증가함에 따라 부식속도는 급격히 감소하다가 11 kJ/cm 이상에서는 공식은 거의 발생하지 않았다.

3.2 보호가스 조건에 따른 용접특성

Fig. 4는 용접금속의 N 함량과 페라이트 함량의 관계를 나타낸 것이다. 용접금속의 N 함량이 약 0.13%에서 0.27%로 증가함에 따라 페라이트 함량은 약 63%에서 38%로 거의 직선적으로 감소함으로써, 보호가스가 용접금속의 페라이트 함량을 제어하는 중요한 인자임을 확인했다.

Fig. 5는 용접금속의 N 함량에 따른 충격특성, vE_{-40} 을 나타낸 것이다. As-welded의 경우, 용접금속의 N 함량, 약 0.16%에서는 충격치가 18 J로서 시험조건 중 상대적으로 낮았으나, 0.19% N 이상에서는 21 J로 충격치는 거의 변화가 없었다. 한편 1080°C, 3 min.으로 조판 열처리를 재현한 경우는 충격치가 전체적으로 6 J 정도 증가했다. 용접금속에서 다량의 Cr 질화물이 석출했거나, 페라이트 함량이 높을수록 충격특성은 감소했다.

용접금속의 N 함량에 따른 내공식성을 평가하기 위해 6% FeCl_3 용액에서 임계공식온도

(CPT)를 측정된 다음, Table 2와 같이 정리했다.

모재(0.16%) 보다 용접금속의 N 함량이 낮은 경우는 CPT가 30°C였고, 공식은 용접금속에서 발생했다. 0.19% N 함량에서는 CPT가 40°C로 10°C 상승했고, 공식도 용접금속과 열영향부에서 동시에 발생하였다. 또 0.23% N의 경우는 CPT가 40°C로 0.19% N 조건과 동일하지만, 공식 발생위치가 열영향부였다. 이것은 열영향부의 CPT가 40°C이며, 0.23% N 이상인 용접금속의 CPT는 40°C 보다 높다는 것을 의미한다.

용접부 내공식성은 용접금속의 N 함량이 0.19% N 이하에서는 열영향부, 0.19% N 이상에서는 용접금속이 각각 우수했다. 따라서 열영향부와 동등 이상의 내공식성을 갖는 용접금속을 확보하기 위해서는 용접금속의 N 함량이 0.19% 이상 되어야 하며, 이를 위해서는 Ar+2~5% N_2 혼합가스를 사용하는 것이 추천된다.

4. 결 론

UNS 32205에相当하는 22Cr계 2상 스테인리스강 국산 시판재에 대한 GTA 용접특성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

약 6~22 kJ/cm의 용접 입열량 범위에서 용접 입열량이 증가함에 따라 용접금속의 페라이트 함량은 최대 70%에서 최소 57%까지 감소했고, Cr 질화물 석출량도 감소했다. 또 11 kJ/cm 이상의 용접 입열량에서는 공식은 거의 발생하지 않았다.

Ar + N_2 혼합가스를 사용하여 용접금속의 N 함량을 0.14~0.25% 범위로 변화시켰을 때, 용접금속의 CPT는 N 함량이 0.19% 이하에서는 30°C, 그 이상에서는 40°C로 크게 향상되었다. 따라서 내공식성 측면에서 용접금속의 N 함량을 0.19% 이상 확보할 수 있는 Ar+2~5% N_2 혼합가스 사용이 추천된다. 한편 용접금속의 충격특성, vE_{-40} 은 18~21 J로서 큰 차이가 없었다.

참고문헌

1. R. N. Gunn : 'Duplex Stainless Steels', Cambridge. Abington Publishing, 1997
2. S. A. Urmston et al. : 4th International Conference Duplex Stainless Steels, 1994, Paper no.27
3. R. N. Gunn, P. Anderson : *ibid.*, 1994, Paper no. 30

Table 1 Chemical composition of type 22 Cr duplex stainless steel(wt. %)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	N	Fe
0.023	0.46	1.42	22.44	3.06	5.82	0.16	Bal

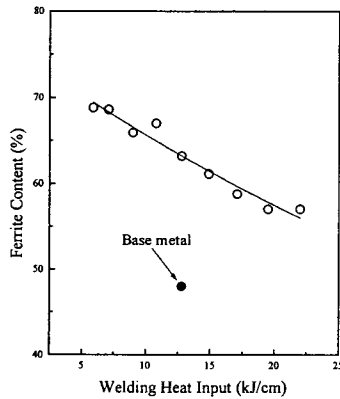


Fig. 1 Relationship between ferrite and nitrogen content

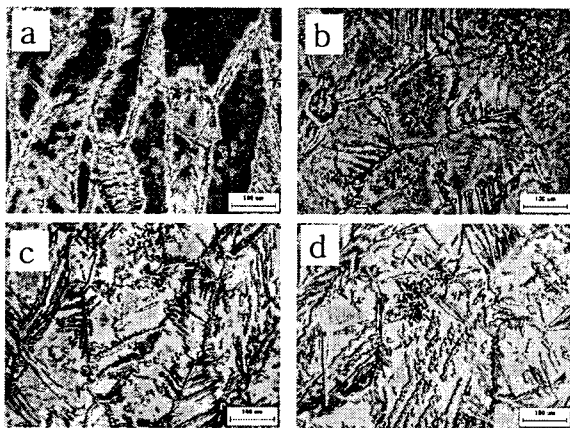


Fig. 2 Microstructure of weld metal with welding heat input of a) 7, b) 11, c) 15 and d) 22 kJ/cm

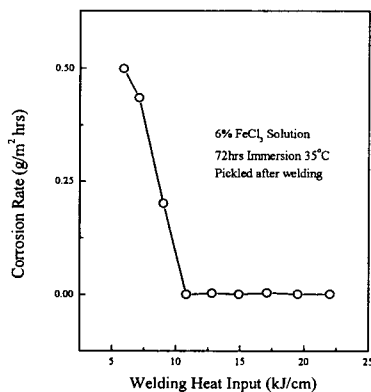


Fig. 3 Effect of welding heat input on pitting resistance

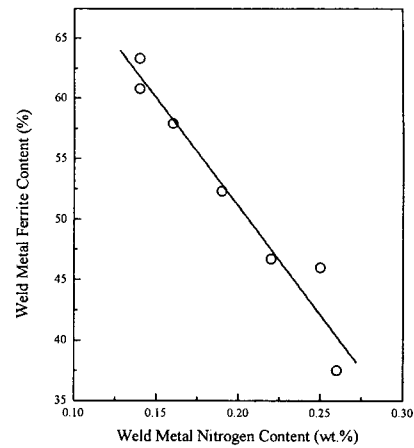


Fig. 4 Relationship between ferrite and nitrogen content in weld metal

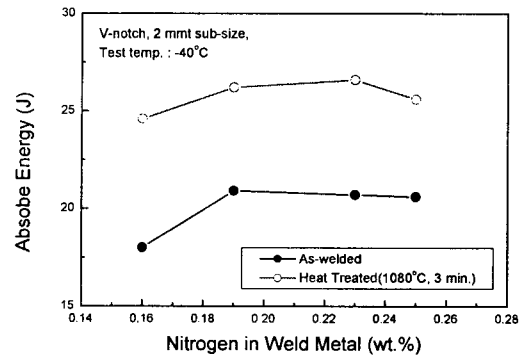


Fig. 5 Effect of nitrogen content of weld metal on impact toughness

Table 2 Effect of nitrogen content of weld metal on CPT and pitting location

N in weld metal	CPT(°C)	Pitting location
0.14 % ¹⁾	30	W/M
0.16 % ¹⁾	30	W/M
0.19 % ²⁾	40	W/M & HAZ
0.23 % ³⁾	40	HAZ
0.25 % ⁴⁾	40	HAZ
B.M.(0.16% N)	45	-

보호가스 조건: 1) Pure Ar, 2) Ar+2% N₂, 3) Ar+5% N₂, 4) Ar + 10% N₂