

Nuclear Grade 347 스테인레스강의 용접특성
(Weldability of 347NG for Nuclear Applications)

산업과학기술연구소(RIST), 용접연구센터: 이 창 희, 김 기 철
한양대학교, 재료공학과: 윤 의 박

1. 서 론

지난 10여년간 전세계의 원자력 발전소 (Boiling water reactor)의 piping system에 주로 사용된 AISI 304, 316 오스테나이트계 스테인레스강 용접 HAZ에 발생한 intergranular stress corrosion cracking(IGSCC)은 많은 corrosion & welding engineer들의 상당한 관심사가 되어 왔다. 용접부 HAZ에 발생한 IGSCC을 방지하는 방법이 여러가지 제안되어 왔으나 그 중에서 IGSCC에 민감한 AISI 304 및 316을 예민화 현상이 다소 둔한 다른 재질로 교체하는 것이 가장 바람직한 해결책이라는 결론이 나왔다.

교체 재질중에 현재 상당히 호평을 받는 강종은 316NG와 347NG 이다. 그 중에서도 347NG가 316NG 보다 높은 creep resistance가 좋기 때문에 더욱더 각광을 받고 있다. 하지만 지난 60년대에 큰 문제로 야기되었던 347 스테인레스강의 용접 열영향부에서 발생한 liquation cracking과 stress relief cracking에 대한 뼈아픈 경험을 가지고 있기 때문에 미국등 여러 나라에서 이 새로운 347NG강 사용에는 아직도 꺼려하고 있는 실정이다. 그러나, 근래에 새로 계량된 347강은 기존의 AISI 347 보다 chemical composition이 상당히 control되어 있기 때문에 만약 347NG 의 용접성이 기존의 AISI 304나 316 보다 최소한 비슷하고 AISI 347 보다 우월하다는 결론이 나면 향후에 많은 구조물에 사용될 것으로 예상된다.

본 연구에서는 새로이 개발된 여러가지 347NG강의 weldability를 기존의 AISI 304, 316 및 347과 비교검토하고, 용착금속의 용고 mode, chemical composition 등의 parameter에 의해 분류 파악했다. 나아가서는 347 스테인레스강의 고온균열 mechanism을 제시했다.

2. 실험

- 시험재 : 총 20종의 347NG, AISI 347 & 304 오스테나이트계 스테인레스강

- 실험방법:

- 고온균열시험 : Vareststraint (Multipass Technique)

- 조직검사 : 광학현미경

SEM (EDAX)

TEM,STEM(carbon extraction replica, thin metal foil)

3. 결과

1) 347NG강의 용고 mode가 primary ferritic인 경우에 용착금속 solidification cracking, weld metal & base metal HAZ liquation cracking 정도는 AISI 347보다 상당히 우수하고 AISI 304와 거의 같은 양상을 보여준다. 하지만 primary 용고 mode가 austenite일 경우에는 AISI 304 보다 cracking susceptibility가 상당히 높다.

2) 347강의 용착금속 solidification cracking과 weld metal HAZ의 liquation cracking susceptibility는 절대적인 Nb량에 의존하는 것이 아니라 Nb와 C와의 상대적인 량($1/2\%Nb/30\%C+50\%N$)과 상당히 밀접한 관계를 가지고 있다.(Fig.1)

즉 $1/2\%Nb/(30\%C+50\%N)$ 의 량이 증가시 347강의 고온균열은 continuous하게 증가한다. 그러나 $1/2\%Nb/(30\%C+50\%N)$ ratio가 0.1 이하일 경우에는 P,Si와 S의 량도 균열성에 상당한 영향을 미친다.

3) Nb, P, S, Si의 영향은 물론 primary solidification mode에 따라 정도의 차이는 있으나, 이러한 원소들이 용착금속의 용고시 grain boundary나 dendritic boundary에 편석이 되어서 low melting sulfide, phosphide 및 Nb(C,N)-오스테나이트 eutectic 을 형성하여서 solidus line 아래에서도 grain boundary 에는 liquid가 film 형태로 남아 있는 것이 고온균열의 주 원인인 것으로 사료됨. (Fig.2)

4) 두가지 morphology의 Nb(C,N)- eutectic이 발견되었다. ferrite-interphase boundary에서는 "rod" 형태로 존재하고 있는데 이것은 solidus line 아래에서 room temperature로 용착금속이 냉각할시 ferrite가 γ 로 transformation 할때 두 phase의 Nb의 solubility가 다르기 때문에 elemental redistribution에 의해 형성되었을 것으로 예상되어지며, 이러한 Nb(C,N)은 용착금속의 solidification cracking에는 별 영향을 주지 않았으나 weld metal HAZ liquation cracking에 상당한 영향을 미친다.

그러나 grain boundary에서 발견된 Nb(C,N)- eutectic은 그 morphology로부터 예상할수 있듯이 이것은 응고의 마지막 단계(last stage of solidification)에서 형성되었고 grain boundary에 continuous하게 존재한다. 이렇게 grain boundary에 존재하는 low melting point eutectic은 solidification cracking과 liquation cracking에 직접적인 영향을 준 것으로 사료됨 (Fig.3)

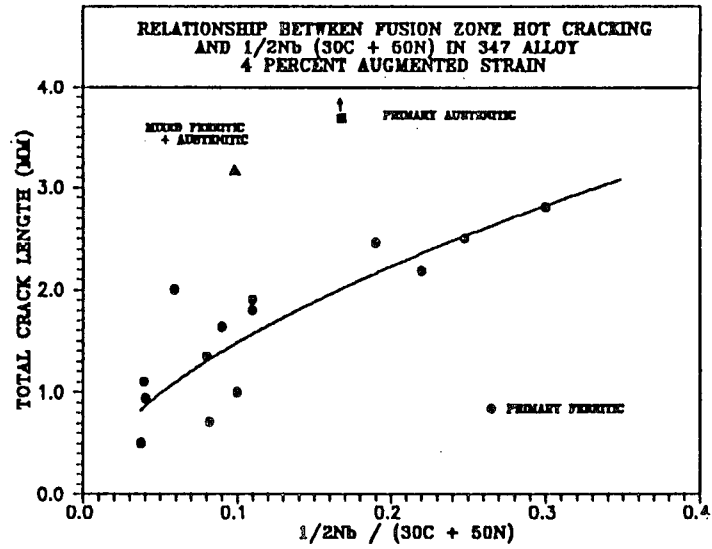


Figure 1 . Relationship between fusion zone solidification cracking and $1/2 \text{Nb} / (30 \text{X} \text{Cr} + 50 \text{XN})$ in type 347.

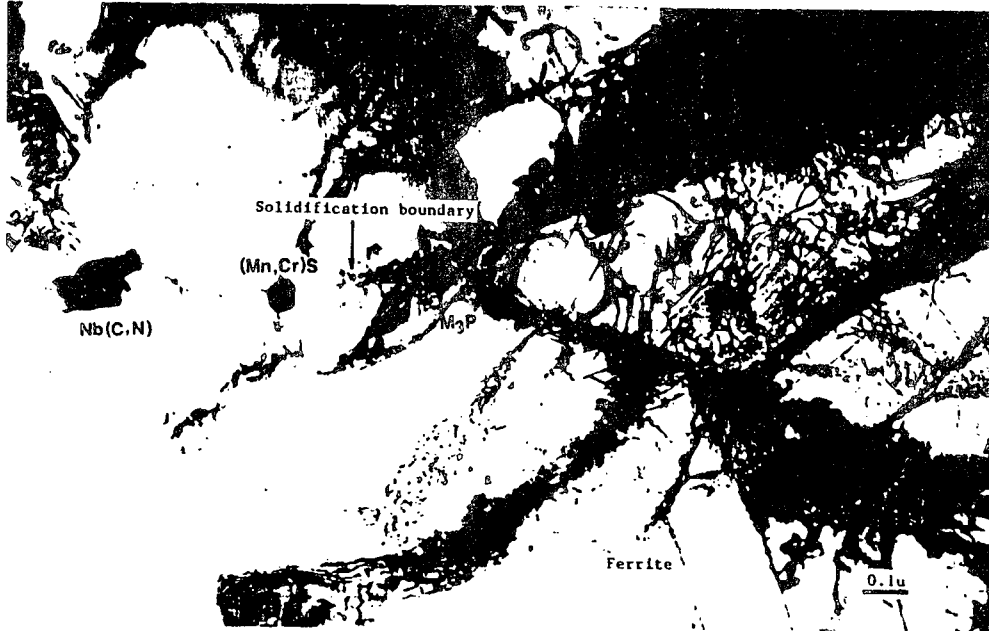


Figure 2 . A typical TEM microstructure of the solidification grain boundary in 347NC-E.



Figure 3 . Nb(C,N) and Nb(C,N)-austenite eutectic in a) interphase boundary and b) grain boundary.