

**후열처리에 의한 Borated 스테인레스강  
GTA 용접부의 연성에 대한 연구  
(A Study on the Ductility of Borated  
Stainless Steel GTA Weld by Post Weld Heat Treatment)**

박대동\*, 백광기, 김대순  
현대중공업(주), 산업기술연구소

**1. 서론**

원자력 발전에 필수적인 핵 연료봉은 다량의 방사능을 방출하며, 그 결과 발생되는 핵 폐기물들을 안전하게 저장하고 수송할 특수 용기의 제작 수요가 급증하고 있는 추세에 있다. 현재 국내 원전 부지 내의 저장 시설이 포화 상태에 이르는 2000년대 초에는 원전 밖의 중간 시설로 옮기는 것이 불가피하므로 핵폐기물의 건식 저장 및 수송할 용기에 대한 수요가 점차 커질 것이다.

핵폐기물 저장 용기에 사용되는 대표적인 소재로서 보론이 첨가된 Borated 스테인레스 강은 용접시 HAZ(Heat Affected Zone)에서 균열이 발생될 뿐 아니라 연성이 저하하는 문제가 보고된 바 있어[1, 2], 이의 적절한 방지가 요구되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 저입열 GTA 용접 및 후열처리를 실시함으로써 연성이 향상된 건전한 용접부를 형성할 수 있는 방안을 찾고자 하였다.

**2. 실험 방법**

본 연구에 사용된 모재 및 용접재의 화학 조성은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical compositions of base and welding materials (wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	B	N	Cu
Base metal	0.009	0.32	0.89	0.017	0.002	12.20	18.50	0.30	1.10	0.01	-
Weld metal	max. 0.03	0.30~0.65	1.0~2.5	max. 0.03	max. 0.03	9.0~11.0	19.5~22.0	max. 0.75	-	-	max. 0.75

용접 조건은 "V" 개선의 butt 형상에 약 6~7.5 kJ/cm인 저입열 GTAW로서 용접부의 연성을 향상시키기 위해 후열처리를 700~1100℃의 온도에서 각각 1시간씩 실시한 후, 공냉 또는 수냉하였다. As-welded 및 후열처리된 시편들의 물성을 비교·평가하기 위해 인장, 굽힘 및 충격 시험을 실시하였으며, 열처리에 따른 물성 변화를 평가하기 위해 미세 조직으로 관찰하였다. 그리고, 각종 기계적 시험을 한 후 그 파면을 주사 전자 현미경(SEM)과 EDS를 이용해 관찰하였다.

**3. 결과 및 고찰**

용접한 후 각종 후열처리 조건에 따른 기계적 성질을 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Mechanical properties according to various PWHT conditions

Sample		Test	Bending	Tensile		Impact
			(90° -4t)	T.S(kg/mm <sup>2</sup> )	El.(%)	J/cm <sup>2</sup>
Base Metal			-	59.8	16.4	-
As-welded			×	58.6	8.0	17.4
PWHT	Air cooling	700℃	×	59.4	9.2	-
		800℃	×	58.8	8.8	-
		900℃	×	59.9	10	-
		1000℃	×	60.6	11.6	-
		1100℃	×	59.6	8.8	-
	Water cooling	700℃	×	60.7	9.2	20.0
		800℃	×	59.8	7.6	14.0
		900℃	×	57.5	7.8	13.8
		1000℃	×	60.7	10.6	20.9
		1100℃	△	60.8	13.2	22.5

× : fail    △ : cracks observed

Robino 등은 용접부의 연성 및 충격 인성을 개선하기 위해서는 후열처리를 실시해야 하며, 후열처리한 시편의 HAZ부 충격치가 as-welded 상태의 HAZ부 충격치보다 2배 이상 향상된다고 보고하였다[2]. 본 연구 결과, Table 2에서 알 수 있듯이 1100℃에서 1시간 열처리한 후 수냉한 시편이 as-welded 상태에 비하여 elongation 및 충격치가 다소 증가되었으나 bending 시험에서도 알 수 있듯이 충분한 연성의 확보는 없었다. 이를 확인하기 위하여 as-welded 상태와 1100℃에서 수냉한 시편의 미세 조직을 관찰해 Fig. 1에 나타내었다. As-welded 상태 및 1100℃에서 수냉한 시편 공히 모재는 matrix에 구형의 boride가 석출된 조직을, HAZ의 경우 미세한 침상 석출물과 matrix로 구성된 조직을 나타내고 있었다. 벤딩 시험후 그 파면을 관찰해 Fig.2에 나타내었는데, 2 조건의 시편 공히 파면 형상은 EDS 실험 결과 Cr이 농축된 취성의 boride와 연성 파괴를 나타내는 matrix로 구성되어 있음을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

As-welded 상태를 개선하기 위해서 후열처리를 적용한 결과, 1100℃에서 수냉한 시편이 as-welded 상태의 시편보다 65%의 elongation, 30%의 충격치의 향상이 있었지만 충분한 연성의 확보는 없었다.

#### 5. 참고문헌

- 1) T. Matsumoto et. al. : "Effect of Low-Melting-Point Eutectic on Solidification Cracking Susceptibility of Boron-Added AISI 304 Stainless Steel Welds", Welding Research Supplement, December, 1995, pp 397-s~405-s.
- 2) C. V. Robino et. al. : "Fusion Welding and Postweld Heat Treatment of Advanced Borated Stainless Steels", Abstracts of papers, 76th AWS annual meeting, Cleveland, Ohio, April 2~7, 1995, pp 24~25.

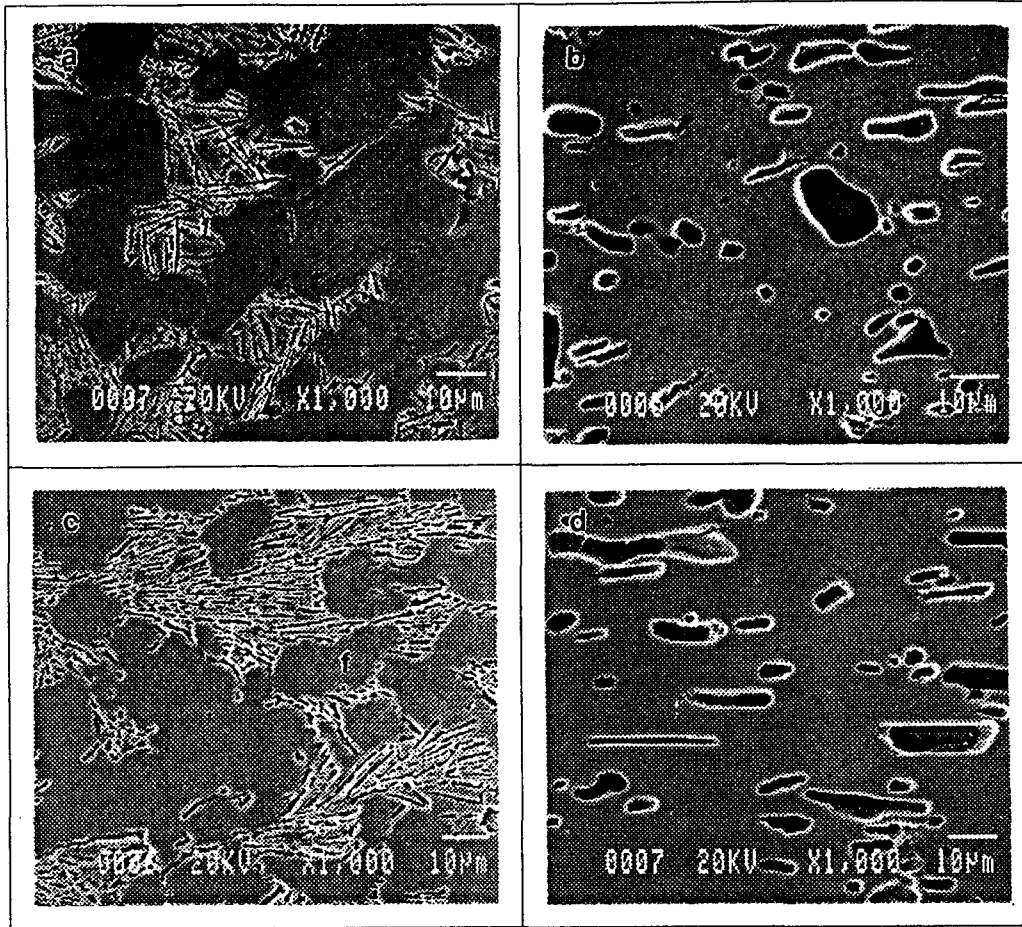


Fig.1 Microstructures of Borated stainless steel in the as-welded state (a) HAZ, (b) base metal, and 1100°C PWHT state (c) HAZ, (d) base metal.

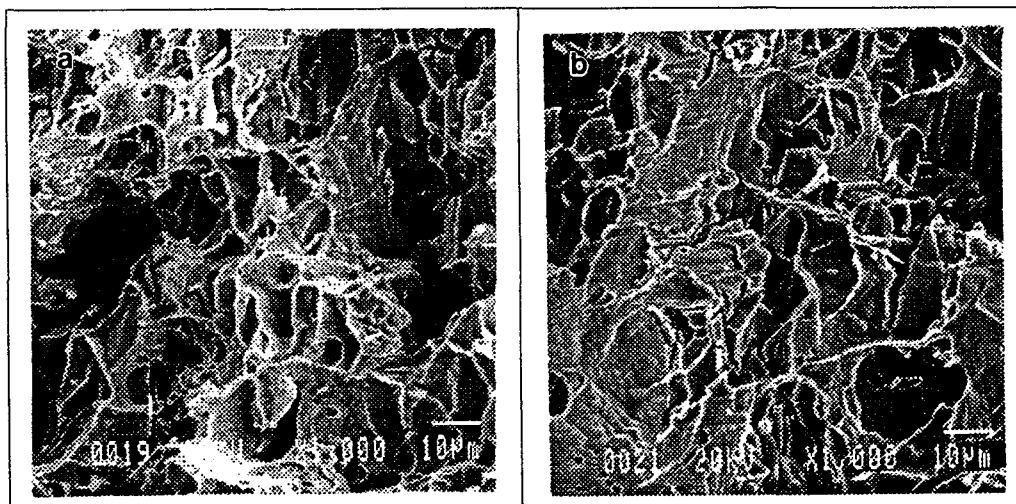


Fig. 2 SEM micrographic comparison of bending specimen between (a) as-welded state (b) PWHT at 1100°C, 1hr followed by water quenching.