

620℃급 터빈 케이싱용 고Cr 페라이트강의 용접성

Weldability of 620℃ Grade High Cr Ferrite Cast Steel for Turbine Casing

변 지철*, 방 국수*, 권 회경**, 지 병하**

* 부경대학교 신소재공학부

** 두산중공업(주) 기술연구원

ABSTRACT

Weldability of high Cr ferritic steel for 620℃ grade turbine casing were investigated. The effect of carbon content on the cold and hot cracking susceptibility and HAZ softening was determined. The cast steel with higher carbon content showed higher HAZ hardness because of the dissolution of carbonitrides during welding thermal cycle. Moreover, it showed higher solidification cracking sensitivity because of the little δ -ferrite formation in weld metal. Both steels showed HAZ softening at 900℃ peak temperature after PWHT.

1. 서 론

화력발전용 터빈 케이싱에는 현재 여러 종류의 9~12%Cr계 주강이 사용되고 있으나 증기온도 증가에 따른 효율향상을 목적으로 620℃에서도 사용가능한 새로운 주강이 다양한 합금원소의 첨가를 통하여 활발히 개발되고 있다. 이중 고용강화 효과를 이용한 W과 Co의 첨가, 고온 크리프 향상을 위한 B의 첨가 등이 대표적이다.^{1,2)}

이러한 미량원소 첨가 9~12%Cr계 주강의 제조에 있어서 용접성의 검토는 매우 중요한 요소이다. 특히 B첨가 강은 용접열사이클 과정 중 B를 함유하는 탄질화물들이 고용하게 되면 크리프 수명에 영향을 미치게 될 것이다. 또한 B첨가 강은 크리프과정 중 세립 HAZ(연화영역)에서 소위 type IV균열을 억제한다고 알려져 있어³⁾ B첨가 강 개발에 있어서 용접성의 평가는 중요한 문제이다. 본 실험에서는 620℃급 터빈 케이싱용으로 제조된 B첨가 주강을 대상으로 탄소함량이 용접

균열감수성과 열영향부 연화에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

2. 시험재 및 실험방법

시험재는 B가 70ppm 첨가된 개량형 9%Cr-1% Mo 주강으로 Table 1에 화학조성을 나타내었다. 주강 1과 2는 탄소가 각각 0.07% 및 0.13%이며 상대적으로 저탄소인 주강 1은 주강 2에 비하여 Co가 약 1.20% 더 많이 첨가되어 있다. 경도는 주강 1이 2보다 24Hv 높다.

두 주강의 저온균열감수성은 KS B 0893 HAZ 최고경도시험으로 비교하였으며 고온균열감수성은 Vareststraint시험에 의한 용접금속(WM) 응고 균열감수성과 고온연성시험에 의한 HAZ 액화균열감수성으로 비교평가 하였다. PWHT 후 HAZ 연화현상을 살펴보기 위하여 열사이클 재현 장치를 사용하여 가열온도를 700~1300℃로 HAZ를 재현한후 740℃에서 4시간 PWHT하여 경도를 측정하였다.

Table 1. Chemical composition and hardness of cast steels

	Chemical composition (wt%)														Hardness (Hv)	
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Nb	Ti	V	B	Co		N
1	0.07	0.25	0.77	0.011	0.010	9.2	0.2	1.42	<0.003	0.06	<0.003	0.20	0.0071	2.20	0.050	265
2	0.13	0.26	0.76	0.015	0.009	9.0	0.2	1.46	<0.003	0.06	<0.003	0.20	0.0067	1.02	0.039	241

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1에 최고경도시험 결과를 나타내었다. 주강 1, 2의 최고경도는 각각 516, 575Hv를 나타내어 주강 2가 1보다 HAZ 경화도가 높다. 즉 모재의 경우와 반대의 경향을 나타내었다. 주강 2의 이러한 높은 HAZ 경화도는 용접열사이클 과정 중 탄질화물의 용해에 의한 높은 고용탄소에 기인한다고 판단된다. SEM 조직관찰 결과 두 주강 모두 모재에서는 페라이트 래스경계에 석출하여 있던 탄질화물이 열사이클 과정 중 고용하여 모두 소실되었음을 확인할 수 있었다.

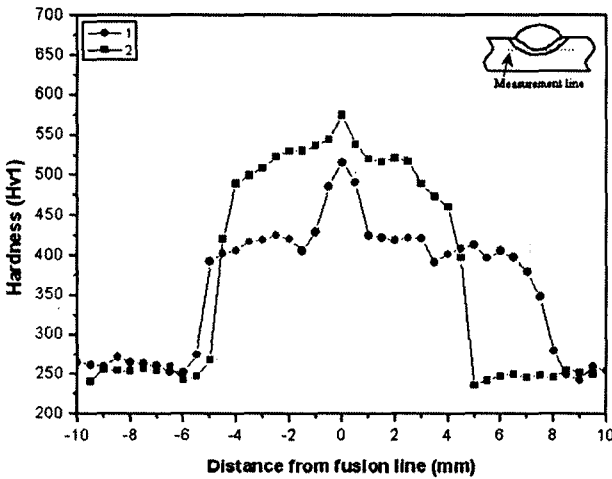


Fig. 1 Hardness profiles in maximum hardness test

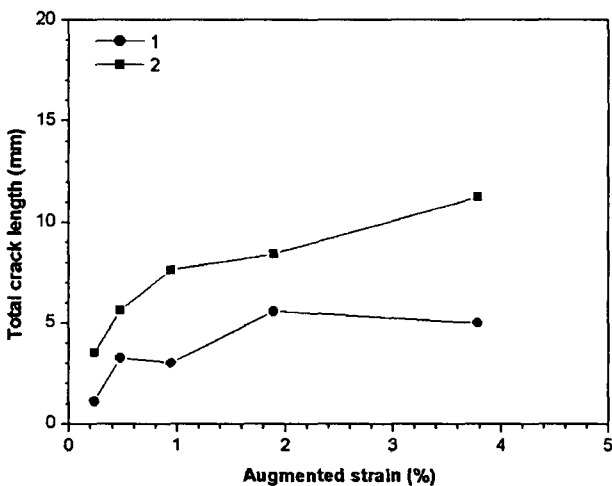


Fig. 2 Variation of total crack length as a function of augmented strain in varestraint test

Fig. 2에 Varestraint시험에서 부가스트레인에 따른 응고균열의 총균열길이 변화를 나타내었다. 두 강종 모두 부가스트레인 증가에 따라 총균열

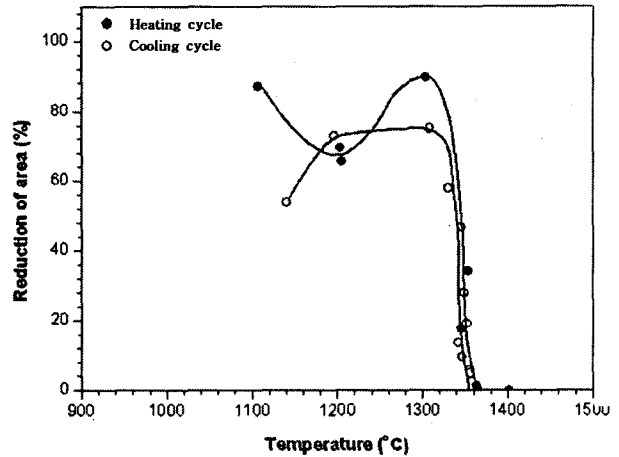


Fig. 3 Variation of reduction of area as a function of temperature in hot ductility test

길이가 증가하나, 주강 2가 1보다 균열길이가 길다. 이러한 점은 두 주강 용접금속 조직의 차이

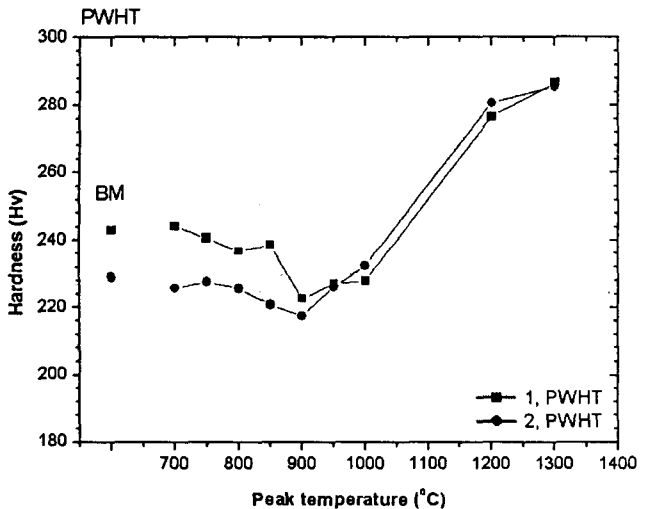


Fig. 4 Variation of hardness as a function of peak temperature after PWHT

에 기인한다. 주강 1은 주강 2와 달리 마르텐사이트 기지에 δ-페라이트의 존재가 확인되는데, 일반적으로 WM의 응고과정 중 δ-페라이트가 초정 형태로 정출될 경우 저융점 화합물 생성원소(S, P등)를 효과적으로 고용시켜 응고균열감수성을 저하시킨다고 알려져 있다. 따라서 주강 1의 경우 δ-페라이트 형성에 의한 S의 고용도 증대가 주강 2에 비하여 응고균열감수성을 저하시키는 요인으로 작용한다고 생각된다.

주강 1의 고온연성시험 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 고온연성시험에서 균열저항을 나타내는 정량적인 지표로 널리 사용되는 NDR (nil-ductility

range)과 DRR(ductility recovery rate)은 각각 8°C와 88%를 나타내어 매우 우수한 고온연성을 나타낸다. 주장 2의 경우에도 각각 6°C와 87%를 나타내어 주장 1과 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서 본 주장은 탄소함량과 상관없이 HAZ 액화균열의 위험성은 없을 것으로 판단된다.

Fig. 4에 최고가열온도에 따른 PWHT후 경도 변화를 나타내었다. 1과 2모두 850°C까지 모재 경도와 큰 차이를 보이지 않다가 900°C에서 최저 경도를 나타낸 후 다시 증가 하고 있다. 이러한 최저경도를 나타내는 온도는 A_{c1} 과 A_{c3} 사이의 온도다. 따라서 PWHT에 의하여 900°C에서 생기는 연화는 템퍼드 마르텐사이트의 overtempering과 저탄소 템퍼드 마르텐사이트 형성의 형성에 기인 한다고 판단된다. 한편 탄소가 0.07%인 주장은 0.13% 주장에 비하여 최저경도는 더 높으나, 높은 모재 경도로 인하여 연화의 정도는 더 크게 나타난다.

4. 결 론

1) 탄소가 0.13%인 주장은 0.07% 주장에 비하여 모재의 경도는 낮으나 열영향부 경도는 높다. 이런 점은 용접열사이클 과정 중 모재의 탄질화물의 용해에 의한 높은 고용탄소에 기인한다.

2) 탄소가 0.13%인 주장은 0.07% 주장에 비하여 용접금속 응고균열감수성이 높다. 이것은 0.07% 주장의 경우 δ -페라이트 형성에 의한 S의 고용도 증대에 기인한다.

3) A_{c1} 과 A_{c3} 사이의 온도인 900°C로 가열된 열영향부는 PWHT 후 템퍼드 마르텐사이트의 overtempering과 저탄소 템퍼드 마르텐사이트 형성으로 연화를 나타낸다.

참 고 문 헌

1. F. Abe and M. Tabuchi : Microstructure and Creep Strength of Welds in Advanced Ferritic Power Plant Steels, Science and Technology of Welding and Joining, 9-1 (2004), 22-30
2. Kenji Shinozaki, De-Jun Li, Hidenori Kuroki, Hidemasa Harada and Koji Ohishi ; Analysis of Degradation of Creep Strength in Heat-Affected Zone of Weldment of High Cr Heat-Resisting Steels Based on Void Observation, 42-12 (2002) 1578-1584
3. Norio Takahashi, Toshio Fujita and Takemi Yamada; Effect of Boron on Long Period Creep Rupture Strength of 12%Cr Heat Resisting Steel, 61-9 (1975) 115-125