

10%Cr 주강품의 보수용접 방법 및 용접후열처리 조건 타당성 검토

A Study of Validation of FCAW & PWHT Condition in 10%Cr Casting Steel

이 경운*, 지 병하*, 권 회경*, 이 명열*

* 두산중공업, 기술연구원

ABSTRACT

주강소재 보수용접부의 품질 및 용접생산성 향상을 위해 기존 용접후열처리 조건(이하 PWHT)을 모재에 적용하는 품질열처리(이하 NTT)로의 대체 및 반자동 FCAW 용접방법의 적용 가능성을 확인하기 위해 상온 및 고온 물성평가(고온인장강도, 크리프 파단강도)를 수행한 결과, 제작 공정 측면에서 FCAW의 적용이 가능한 것으로 확인되었다. 또한 PWHT 대신 NTT를 적용함으로써 용접방법별 물성 편차가 줄어드는 NTT 열처리의 긍정적 효과가 확인되어, 궁극적으로 기존 PWHT 및 NTT 모두 적용이 가능한 것으로 확인되었다.

1. 서 론

주강 소재로 제작되는 화력발전소용 터빈 케이싱, 밸브 Chest 등은 높은 온도와 압력하에서 사용되므로 크리프 파단강도, 고온 내산화성, 기동 정지 시의 열응력에 의한 저주기 피로 등이 우수하여야 하는데, 이와 같은 기계적 물성을 만족시키기 위해 대부분 9~12% 마르텐사이트계 내열합금이 주로 사용되고 있다.

이러한 고 Cr 주강품의 용접부는 전체 제품에서 볼 때 물성의 불연속성을 내포하며, 특히 복잡한 열이력을 거친 열영향부(HAZ)는 다양한 강화기구를 복합적으로 적용하여 강도와 인성을 최적화한 모재의 물성을 변화시켜 Type IV Cracking 등 많은 문제점을 발생하는 원인이 되고 있다.¹⁾ 이에 대한 대안으로 모재에 적용하는 품질열처리(NTT)를 용접 후 PWHT 대신 적용함으로써 용접금속 및 열영향부를 모재와 동등한 수준의 물성치를 회복시켜 용접부의 물성의 불연속성을 해소하고 열영향부의 야금학적 Degradation을 복구하여 Type IV cracking을 억제하는 방안으로 제안되었다.²⁾

또한 주강소재 보수용접 효율 향상을 위해 종래의 수동용접(SMAW) 방법을 반자동 용접(FCAW) 방법으로 대체함으로써 용접 생산성 향상에도 큰 도움이 될 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 주강소재 보수용접부의 품질 및 용접생산성 향상을 위해 기존 용접후열

처리 조건(이하 PWHT)을 모재에 적용하는 품질 열처리(이하 NTT)로의 대체 및 반자동 FCAW 용접방법의 적용 타당성을 검토하였다.

2. 실험방법

2.1 모재 및 용가재

Table 1에 본 연구에서 사용된 주강소재의 화학성분을 나타내었다.

Table 2에 용접재료 화학조성을 나타내었는데, FCAW 용접재료는 A사의 Dia. 12mm, SMAW 용접재료는 B사의 Dia. 4.0mm를 적용하였다.

2.2 용접조건

용접개선은 두께 40mm, 폭 240mm, 길이 400mm의 Single bevel 이며, SMAW 용접의 경우 평균전류 180A, 평균전압 26V, 용접속도 16cm/min, FCAW 용접의 경우 평균전류 220A, 평균전압 29V, 용접 속도 22cm/min 및 차폐가스는 75%Ar+ 25%CO₂의 혼합가스를 사용하였다. FCAW 용접공정 타당성 조사를 위해 용접후열처리는 종래의 PWHT 조건인 730℃x5hrs에서 SMAW 용접방법과 기본 물성을 비교 평가한 후, 품질열처리(NTT) 1080℃ x 10hrs / 720℃ x10hrs / 720℃x10hrs 및 종래의 PWHT 조건에서 용접방법별 고온 물성을 비교 평가하였다.

3. 실험결과

3.1 FCAW 용접공정 시험

3.1.1 미세경도

그림 1은 SMAW 및 FCAW Cross 용접부에 대한 용접 위치별 미세경도 분포를 나타내고 있다. 용접금속 최고경도는 FCAW가 258Hv, SMAW 247Hv로서 용접방법별 큰 차이가 확인되지 않으며, 용접열영향부의 경우 SMAW용접의 경우 Peak 경도 280Hv, FCAW용접의 경우 Peak 경도 261Hv로 FCAW가 약 7%정도 높은 값을 보이는데, 이와 같이 Peak 경도값의 차이는 SMAW 및 FCAW용접 방법의 차이에 기인한 것으로 용접조건 특히, 용접입열량의 차이에 의한 것으로 생각된다. 용접방법에 관계없이 용접금속 및 용접열영향부 모두 본 강종에서 요구되는 Peak 경도 350Hv 미만을 모두 만족하고 있다.

3.1.2 충격인성

그림 2는 SMAW 및 FCAW Cross 용접부에 대한 용접 위치별 충격인성값 나타내고 있다. 충격인성값은 용접방법에 관계없이 용접금속에서 가장 낮은 값을 보이며, 용접열영향부 및 모재는 용접방법별 약간의 차이가 발생하고 있는데, 이것은 경도 분포에서 설명되어진 바와 같은 원인으로 SMAW 및 FCAW 용접방법의 차이에 의한 용접입열량의 차이에 따른 것으로 생각된다. 본 강종에서 요구되어지는 통상의 충격 인성값은 상온에서 약 40J/cm²인데, SMAW 용접금속의 경우 62J/cm², FCAW 용접금속의 경우 32J/cm²로서 SMAW가 FCAW 보다 상당히 높은 값을 보인다.

3.2 NTT 타당성 시험

3.2.1 Cross weld 인장특성

그림 3은 Cross weld의 고온인장시험 결과이다. 종래의 PWHT의 경우, FCAW는 상온 항복 및 인장강도가 각각 621MPa, 781MPa, 600℃에서의 항복 및 인장강도가 각각 307MPa, 384MPa의 값을 보이며, SMAW는 상온 항복 및 인장강도가 각각 605MPa, 745MPa, 600℃에서의 항복 및 인장강도가 각각 312MPa, 372MPa의 값을 가지고 있다. 상온에서의 항복 및 인장

강도를 비교해 보면, FCAW가 SMAW보다 각각 2% 및 5% 정도 높은 값을 가지고 있으며, 600℃에서는 항복강도의 경우 SMAW가 약 2%, 인장강도의 경우 3% 정도 높은 값을 가지고 있다.

품질열처리 조건인 NTT의 경우, FCAW는 상온 항복 및 인장강도가 각각 574MPa, 726MPa, 600℃에서의 항복 및 인장강도가 각각 287MPa, 355MPa의 값을 보이며, SMAW는 상온 항복 및 인장강도가 각각 507MPa, 712MPa, 600℃에서의 항복 및 인장강도가 각각 275MPa, 354MPa의 값을 가지고 있다. 상온에서의 항복강도 및 인장강도를 비교해 보면 FCAW가 SMAW보다 각각 13% 및 2% 정도 높은 값을 보이며, 600℃에서는 항복강도의 경우 FCAW 용접이 4% 높은 값을 보인다. 인장강도는 거의 동등한 값을 보이고 있으며, PWHT조건에서는 상온 및 600℃에서 용접방법별 5% 및 3%정도의 차이를 보이는 반면, NTT 조건에서는 2% 및 0%로서 NTT 조건의 경우, 강도 편차가 줄어드는 것으로 나타났다.

3.2.2 크리프 파단 특성

그림 4는 용접방법 및 용접열처리 조건별 크리프 파단시험 결과를 Larson-Miller Parameter에 의해 나타내었다.

사용목표 온도인 593℃에서 모재의 10⁵시간 외삽강도가 약 94MPa인데, 용접금속의 경우 최저 약 83MPa에서 최대 약 118MPa로서 모재와 동등 이상의 특성을 보이며, PWHT 보다는 NTT 조건이, SMAW보다는 FCAW가 단시간 크리프 파단 강도는 우수한 것으로 확인되었다. Cross weld의 경우 최저 약 80MPa에서 최대 약 91MPa로서 모재 대비 최대 15% 저감을 보이며, FCAW가 SMAW에 비해 약간 높은 크리프 파단 강도를 보이지만, 그 차이는 미미한 수준이다. 또한 NTT경우 용접방법별 크리프 파단 강도의 차이가 시간이 증가할수록 그 차이가 작아지는 경향을 보이고 있지만, 용접방법 및 용접열처리 조건별 장시간 크리프 특성평가가 이루어져야 상기 결과에 대한 정확한 평가가 가능할 것으로 생각된다.

4. 결 론

주강소재 보수용접부의 품질 및 용접생산성

향상을 위해 FCAW 용접 및 품질열처리(NTT) 조건에서 용접부 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론이 얻어졌다.

- 1) 미세경도 및 인장특성 측면에서, FCAW는 SMAW와 동등 이상의 특성을 보였다.
- 2) 충격인성은 FCAW가 SMAW보다 낮은 값을 보였다.
- 3) Cross weld 인장강도는 용접방법별 큰 차이는 발생하지 않으며, PWHT에 비해 NTT의 경우, 강도 편차가 다소 줄어드는 것으로 나타났다.
- 4) 크리프 파단강도는 용접속도의 경우 SMAW보다 FCAW가 단시간 크리프 파단 강도는 우수한 것으로 확인되었으며, Cross weld의 경우 FCAW가 SMAW에 비해 약간 높은 크리프 파단강도를 보이지만, 그 차이는 미미한 수준으로 확인되었다.

참고 문헌

1. P.Mayr, H.Cerjak : The Heat Affected Zone of Boron Alloyed Creep Resistance 9% Chromium Steels and Their Susceptibility to Type IV, Fifth International Conference on Advances in Materials Technology for Fossile Power Plants, 2007
2. T.Sato, K.Tamura : Improvement of Creep Rupture Strength of 9Cr1MoNbV Welded Joints by Post Weld Normalizing and Tempering, Fifth International Conference on Advances in Materials Technology for Fossile Power Plants, 2007

Table 1. 모재 화학조성(wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Nb	N
10Cr-1Mo-VNbN	0.10/ 0.16	0.20/ 0.60	0.30/ 1.00	Max. 0.02	Max. 0.01	0.30/ 0.70	8.50/ 11.0	0.80/ 1.10	0.17/ 0.25	0.05/ 0.10	0.03/ 0.06

Table 2. 용접재료 화학조성(wt.%)

Process	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb	N	Ti	Al	V
SMAW	0.28	0.27	0.79	0.011	0.011	0.60	8.65	0.91	0.01	0.05	0.048	0.01	0.001	0.210
FCAW	0.11	0.18	0.60	0.014	0.013	0.81	8.98	1.04	0.02	0.05	0.055	0.02	0.002	0.180

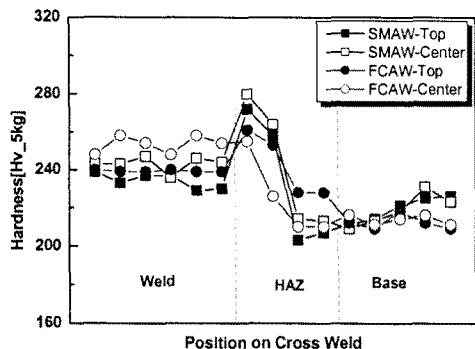


Fig. 1 용접방법별 용접부 경도 분포

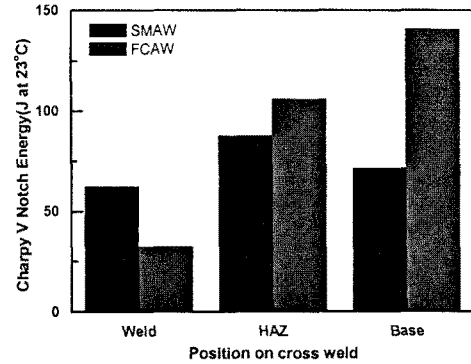


Fig. 2 용접방법별 용접부 충격특성

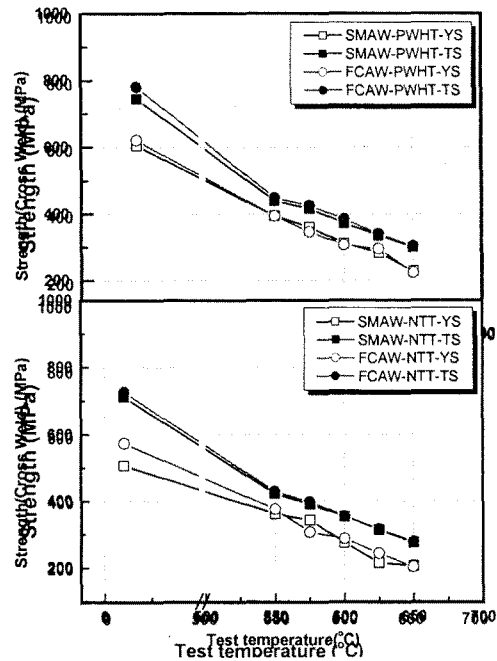


Fig. 3 용접조건별 인장특성

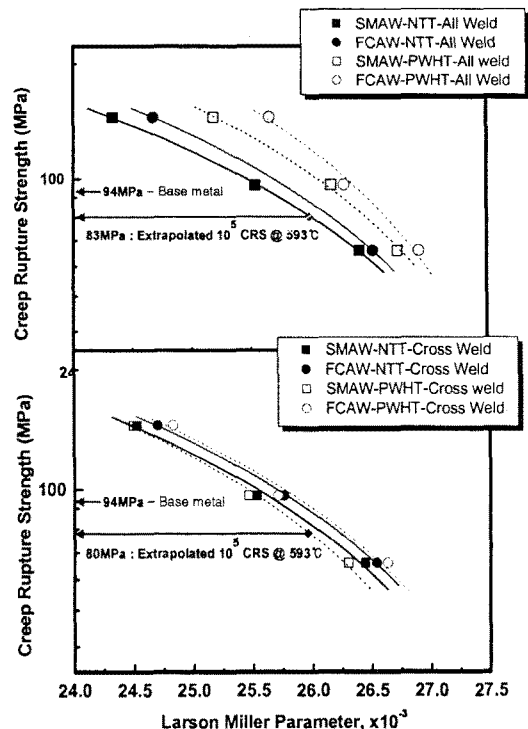


Fig. 4 용접조건별 크리프 파단특성