2007년도 추계 학술발표대회 발표논문, 2007년 11월, 전주

621°C급 화력발전용 소재 실기규모 Mock-up품 구조용접부 특성평가

Characteristic Evaluation of mock-up Structural Welding between casting and pipe for USC TPP

이 명열*, 지 병하, 송근호, 김 정태
두산중공업㈜ 기술연구원 소재개발팀

ABSTRACT In this study, actual scale welding were conducted at the USC thermal power plant turbine and main steam pipe casting candidate mock up material 9Cr-1.5Mo-CoVNbNB steel(CB2) and 9Cr-0.5Mo-MVNbN steel (P92). And to evaluate the welding process for the actual production, mechanical property testes were conducted for the weld metal. The Mock-up welding condition successfully led to an excellent structural welding joint between casting and pipe material

Key Words : SMAW, PQ, CB2, USC, combination of P92 pipe welding

1. 서 론

최근 전세계적으로 활발히 진행되고 있는 화력발전소용 Ferrite계 내열강의 개발에 관한 연구는 발전소의 열효율 향상을 위한 주증기 조건의 고온·고압화를 실현에 모든 연구력이 집중되고 있다. 주요 발전용 내열강 중 용접이 허용되지 않는 로터, 블래이드 등의 단조 소재는 주로 모재의 크리프 파단 특성에 의해 사용가능 온도가 좌우되나, 용접에 의한 조립이나 결함을 보수하게 되는 각종 배관재, 주강소재 등의 허용응력은 모재와 용접부 중 낮은 쪽의 크리프 파단 특성에 의존하게 된다. 복잡한 열이력을 겪는 용접 열영향부(HAZ)는 모재에 비해 일반적으로 기계적성질이 낮은 경향을 나타내며, 용접입열에 의한 열영향부의 특성저하가 뚜렷해지는 경향을 나타낸다. 본연구에서는 USC화력발전소의 터빈과 케이싱 주증기관 배관재로 사용이 유력시 되는 9Cr-1.5Mo-CoVNbNB강(이하 CB2)과Cr-0.5Mo-WVNbN강(이하 P92)간의 실기규모 Mock-up 용접시험을 실시하여 용접부 기계적성질을 평가하고, 적용된 용접process의 실제품 제작 적용타당성을 검증하였다.

2. 시험 방법

2.1 실기규모 Mock-up품 구조용접 개선부 형상

Fig.1에 구조용접에 사용된groove형상과 Mock-up용접 후의 형상을 나타내었다. 용접에 사용한 casing소재는 20.0톤 실기규모의 시제품으로서, 두께 150mm인 Nozzle부를 테이퍼 가공 (OD450 mmx t75mm)을 실시하여, P92 압출재와 동일한 두께로 가공하였다. 개선은 single V-groove 형상이며, root gap은 max. 3.2mm가 되도록 하였다.

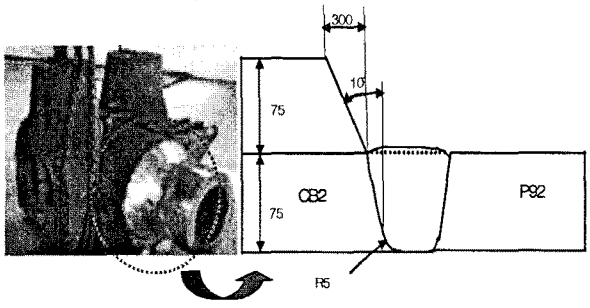


Fig.1 Configuration of welding groove design for this study(Single V-groove)

2.2 용접변수

Table1은 root bead를 형성하기 위해서 φ 2.4mm의 Thermanit MTS616 용가재를 사용하여 직류 정극성(DCEN) GTAW로 2~4 layer, 이후부터는 직류 역극성(DCEP) SMAW로 φ 4.0mm의 동종 용가재를 사용하였으며, 특성평가는 SMAW에 의한 용접부만을 평가하였다. 예열온도는 250℃이하, 층간온도는 300℃로 유지 하였으며, 용접완료 후 급냉에 의한 균열발생

방지를 위해 300~400℃에서 2시간 유지 후 실온까지 서냉하였다. 또한 용접잔류응력등을 제거하고자 용접후열처리(PWHT)를 실시하여 용접부 성능을 개선하였다.

Table 1 Welding Variables of SMAW for this study

	Ampere (A)	Voltage (V)	Travel Speed (cm/min)	Polarity	Pre/Inter. (℃)	Post Temp (℃)
GTAW	140-160	10-14	10-16	AC/DCSP	200-300	300-400
SMAW	140-160	22-26	22-26	AC/DCRP	200-300	300-400

2.3 시험편 채취 및 평가 항목

특성시험을 위한 시험편의 채취위치, 시험편 형상 및 방향을 Fig.2에 나타내었다. 물성평가를 위한 성분분석, cross-weld 인장 및 충격시험편의 채취위치는 상중하 3부분에서 채취하였다. Full thickness 인장시험은 75mm의 판상시험편과 용접금속, P92 및 주강소재 측의 HAZ에 환봉형 cross -weld 시험편을 사용하였다. 충격시험도 동일하게 적용하였다. 굽힘 시험은 side bend 시험편을 두께 3.2mm와 10mm에 대해 시험하였고, 경도시험은 상중하 위치별로 용접금속, HAZ, 모재부를 Hv경도값을 측정하였다. 조직관찰은 각부위에 대하여 macro조직과 광학현미경 조직관찰을 실시하였다.

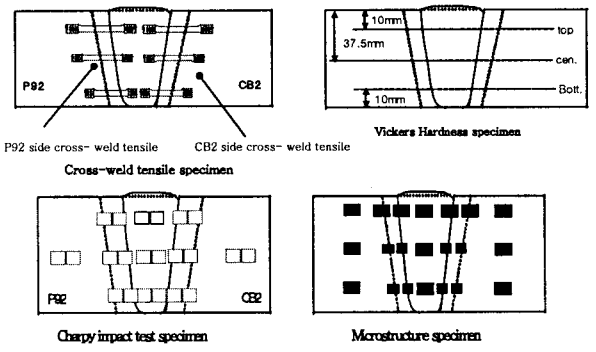
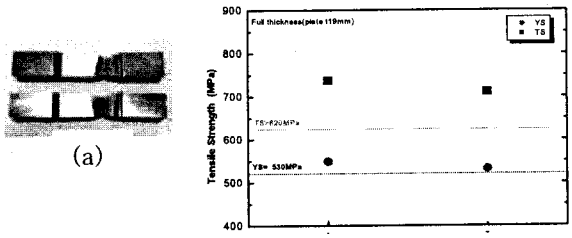


Fig.2 Schematic diagram of specimen preparation

3. 실험결과 및 고찰

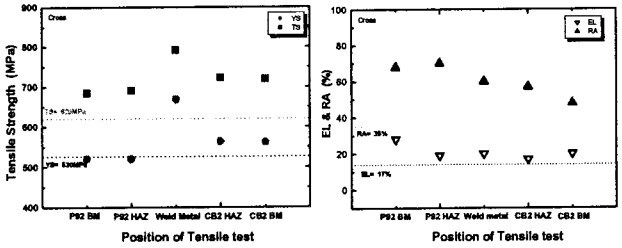
3.1 인장시험(Tensile test)

Fig.3은 Full thickness의 판상 시험편을 상온에서 인장시험 후 파단재의 형상과 시험결과를 나타낸 것이다. 2개의 시험용접재 모두 파단위치는 주강소재의 모재부에서 파단 되었으며, 규정 spec.인 YS≥530MPa, TS≥620MPa 이상을 만족하였다. Fig.4는 P92측과 CB2측의 cross-weld 환봉의 인장시험 결과를 위치별(상중하)로 각 3개의 시험편으로 시험한 평균값을 나타낸 것이다. P92측 및 CB2측의 모재와 HAZ 인장값은 일정한 값을 나타내며, 용접금속인 경우 약간 높은 값을 보인다. 이는 용접금속의 용가재인 MTS 616의 강도가 상대적으로 높은데 기인한 것으로, 전체적으로 규정 spec.(B50A349A기준)인 TS≥ 620MPa, YS≥530 MPa, EL≥17%, RA≥35%를 모두 만족하고 있다.



(b)

Fig.3 The tensile properties of full thickness with filler metal MTS616 a)Specimen shape, b) TS



(a) (b)

Fig.4 The tensile properties of cross-weld with filler metal MTS616 a)Specimen shape, b) EL & RA

3.2 충격시험(Impact Test)

Fig.5는 PWHT후 상중하 위치별로 각각 3개의 시험편을 사용하여 얻어진 충격흡수에너지 값으로, 용접금속과 P92 및 주강소재의 HAZ 및 모재의 값이 비슷하다. 주강소재에 비해 P92 측의 모재 및 HAZ가 충격인성 값이 높고, 용접금속의 경우 규정spec. 값인 40J/cm^{2}을 만족하였다.

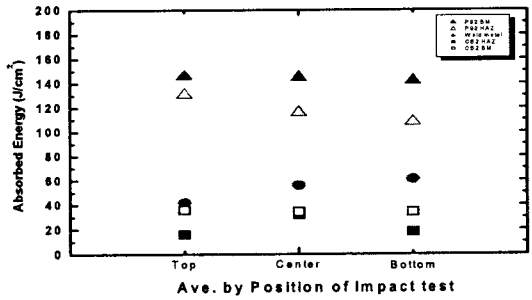


Fig.5 The effect of filler metal MTS616 on charpy impact absorbed energy

3.3 굽힘시험(Bending Test)

굽힘시험 후 시험편 형상과 균열길이를 Fig.6에 나타내었다. 두께3.2mm 4개, 10mm 두께 2개 시험편 모두 기준값인 3.175 mm이하의 균열(0.3mm~0.7mm)로서 만족하였다. 균열발생은 용접금속에서 minor한 crack이 관찰되는 정도로 굽힘 연성은 양호하였다.

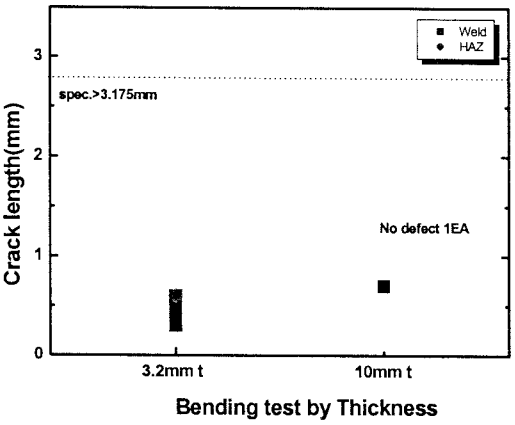


Fig.6 The results of side bend test

3.4 경도 시험(Hardness Test ; HRc, Hv)

Fig.7은 미소경도인 Hv경도값을 나타내었다. 표면직하 10mm, 중심부 및 root부 10mm 직상에서 Load 5.0kgf로 연속 측정한 것이다. HAZ의 연화역에서 약간의 차이를 나타내며, 모재의 평균경도에 비해 연화현상을 나타내는 softened zone은 P92측 보다 CB2측의 HAZ에서 더 뚜렷하였다.

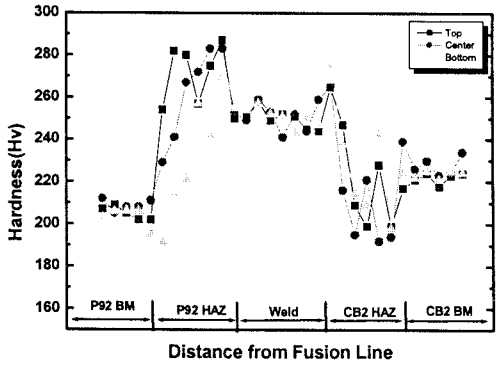


Fig.7 Hardness distribution of weld joint with filler MTS616

3.5 조직관찰(Macro, Micro)

Fig. 8은 PWHT후 각 위치별로 관찰한 micro 조직을 나타낸 것으로 각 위치별 조직의 차이는 없었으며, 용접금속도 전형적인 tempered martensite 조직을 나타내고 있다.

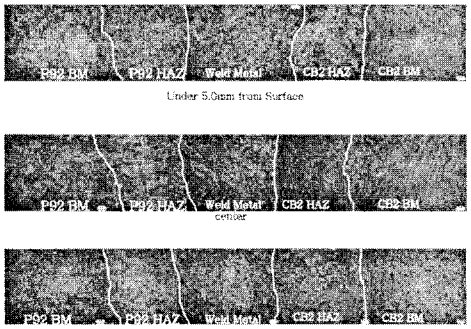


Fig.8 The microstructures with fikker metal MTS616 at surface, center & bottom

4. 결 론

USC발전용 주강소재와 압출재인 P92 이종재질간의 실기규모 Mock-up 용접시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1)Full thickness 및 Cross weld의 상온인장시험결과, 파단위치는 주강소재의 모재에서 파단되었으며, 이는 용접금속의 강도가 양측 모재에 비해 상대적으로 높기 때문인 것으로 생각된다.

2)충격흡수에너지는 용접금속, 양측 모재, HAZ가 비슷한 값을 나타내었다.

3) Micro vickers 경도 시험결과 HAZ연화역의 형성 정도는 주강소재측이 P92측 보다 더욱 뚜렷하였다.

4)실기규모의 주강소재와 압출재간의 Mock-up 용접시험결과 본 시험에 적용된 용접조건은 실제품의 생산에 적절한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Jihye 1) 이종봉, 한재광 : 최근 9%Ni강의 용접특성, 대한용접학회지,13-3,(1995), 34-35
2) 西川 : 日本容接學會會報, 24-1, (1992), 95
3) 대한용접학회편 : 용접용어사전, 원창 출판사, (1992), 243
4) A.R. Mader & G. Kraus : Hardenablity Concepts with Application To steel, ASME,(1978),238
5) ASME Handbook Commite : Metal Handbook, 9th ed.,1,(1988),692
6) A. Bruckner, E.K Tschegg and A. Schuler:J.Mat.SCi., 25,(1990), 5220