

원자력 압력용기 주자재 SA508C13 Cladding 용접성시험(I)

한국원자력안전기술원 : 안 희 성, 김 석 원, 양 성 호
충남대학교 : 이 영 호

1. 서론

압력용기 내부벽에 내식성을 높이기 위한 크래딩 용접시 비이드 계면 부위의 조대화된 HAZ에서 깊이 3mm 길이 3mm 이상의 크기로 발생하는 underclad 결함(UCC)은 원자력 압력용기 제작시에도 중요 결함중의 하나로 인식되고 있다.

본 연구에서는 최근 국내에서 개발된 원자력 압력용기 주자재 SA508 C13를 309L 스트립으로 1층 크래딩 용접시 발생하는 야금학적 현상 및 기계적 특성과 UCC 발생요인을 검사하여 용접공정의 최적화 방안을 제시하고자 하였다.

2. 실험방법 및 절차

실험용으로 500l x 250w x 73t 크기의 6EA Coupon을 SA508C13로 제작한 후 90mm x 0.5t의 스트립 용가제로 자동 잠호아크 크래딩 용접을 수행하였다. 입열 범위는 102~252 KJ/cm 이었으며 용접후 620 °C, 40.5 시간 동안 PWHT 하였다.

수행한 시험으로는 Macro 시험과 크래드블 제거한 뒤 HAZ를 미세하게 밀링하면서 UCC 발생 유무를 조사하는 PT, Side 및 Face 굽힘시험, 미세 경도 측정, Delta Fe % 측정, 충격시험, 그리고 금속조직 검사 등이었다.

3. 실험결과 및 고찰

각 입열에 따라 열유동 차원을 경계 짓는 천이 두께를 D. Rosenthal의 열유동 방정식에 따라 계산한 결과 210 KJ/cm의 입열이 임계 입열로서 219 및 252 KJ/cm로 용접한 Coupon은 2차원 열유동을 갖게 된다는 것을 알게되었다. 실제로 193 KJ/cm 이상으로 용접한 Coupon은 Macro 시험 결과 비이드 결합을 나타냈다. 입열이 비이드 형상과 희석률에 미치는 영향을 분석한 결과는 비이드계면이 8mm 일때 두 비이드 폭은 입열에 관계없이 평균 178mm로 일정하였으나 용접중 아크가 스트립 edge를 따라 진동하면서 발생됨으로 아크 force가 크게 생기지 않아 용입 깊이가 아주 작게 되는 반면, 비이드 높이만 큰 폭으로 증가하였으므로 희석율은 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 용접시에는 입열증가에 따라 플럭스에 높은 Cr량이 pure clad에 이동하여 Cr 및 Delta Fe는 각각 3.08~5.26 % 와 13~33 %의 증가치를 나타내었다.

그림 1과 같이 pure clad와 희석 clad 간에는 입열이 증가함에 따라 Cr 손실정도가 낮아져 취화 감수성이 커지는 현상이 규명되었으며 희석 clad는 고온 균열 감수성은 없는 것으로 밝혀졌다.

한편 경계부에는 PWHT 결과 20~70 μ m 크기로 석출된 탄화물층이 나타나 있고, 침탄층의 폭은 입열증가에 따라 증대되는 경향을 보이고 있는데 이는 희석률과 크래드 부위에 C % 역시 감소됨으로 크래드 부위와 모재와의 사이에 큰 탄소농도 구배가 형성되어 탄소 이동이 더욱 활발해진 때문으로 밝혀졌다.

대입열로 용접한 face 급힘 시편은 크래드를 제거한 후 island phase에서 다수의 균열이 발생되었다.

이 부위를 SEM으로 관찰하고 EDAX로 성분 분석한 결과 MnS가 석출된 부위에서 균열이 발생된 것을 알수 있었으며 균열이 모재까지는 침투되지 못한 것을 확인할수 있었다.

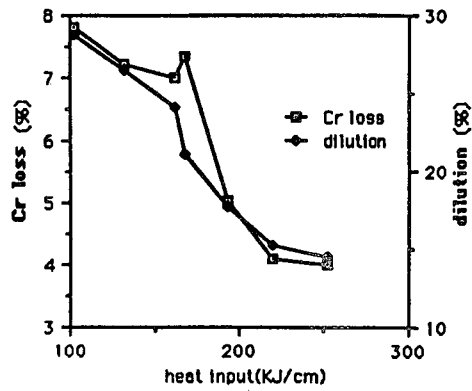


Fig 1 Cr loss between pure clad and diluted clad and dilution rate with heat input



Fig 2 Crack appearance near fusion line with SEM after polishing

4. 결론

- 가. 대입열의 경우 face bend 시험결과 MnS가 석출된 island phase에서 균열이 발생되었으나 면 및 선 분석결과 모재까지는 침투되지 못한점으로 보아 모재는 UCC 발생 저항이 크다.
- 나. 입열이 증가함에 따라 비이드 높이가 증가하며 희석률은 감소되는 경향을 나타내었다.
- 다. 입열증가에 따라 순수크래드와 희석크래드 간에 Cr 손실정도가 낮아져 취화감수성이 커지는 현상을 규명하였다.