고온균열시험에 의한 Inconel 690 오버레이 용접부의 균열현상 및 그 방지에 대한 연구

Cracking and Its Prevention of Inconel 690 overlay welds by hot cracking test

최 해수*, 양 병일**, 김 정태**, 박 광식***, 박 화순****
* 부경대학교 대학원 재료공학과, 부산
** 두산중공업(주) 기술연구원, 경남 창원
*** 창원기능대학 플랜트설비자동화과, 경남 창원
**** 부경대학교 재료공학과, 부산

1. 서 론

원자력 발전소의 냉각부 계통에서 Inconel 600보다 훨씬 우수한 내식성을 갖는 Inconel 690재질로의 교체가 진행되면서, 이에 대한 용접 및 cladding에 많은 관심이 집중되고 있다. 특히 Inconel 690 clad weld metal은 일반 stainless steel clad weld metal과는 달리 fully austenite structure이므로 고온균열에 민감하고, 또한 기공, 용입불량 등의 결함이 발생하여 제작에 지장을 초래하고 있다. 또한 Inconel 690은 최근에 solid wire가 개발되어 선진 발전 중공업업체에서 일부 적용하고 있다[1]. 그러나, 이에 대한 용접 기법이 정확히 정착되지 않아 여전히 불건전 용접부가 일부 발생하고 있기 때문에, 대체로 저입열 기법인 GTAW, GMAW에 국한되어 사용하고 있는 실정이다[2].

본 연구에서는 Inconel 690의 오버레이 용접 과정 중에 자주 발생되는 균열현상을 검토하여 그 원인을 분석하고, 그에 따른 균열발생 방지대책을 수립하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 먼저 결함의 발생 거동에 대하여 다양한 용접법과 용접재료 및 용접조건 등을 적용하여 물리야금학적인 관점에서 균열발생 현상과 그 기구를 해명하고, 나아가서 고온균열시험 등을 통하여 이에 따른 균열발생 억제에 대한 대책을 확립하는 것을 그 목적으로 하였다.

2. 실험방법

Inconel 690의 오버레이 용접부의 고온균열현상을 검토하기 위하여, 박판고온균열시험을 하였다. 시험편은 총 5종류로 SA508 cl.3 또는 STS309L과 Inconel 690 오버레이 용접부가 복층이 되도록 제작한 3종류와 Inconel 690 용착금속만으로 제작한 2종류이다.

먼저 Mn-Ni-Cr-Mo강인 SA508 cl.3 모재와 austenite계 스테인리스강인 STS309L 용접부에 Inconel 690 용접부가 형성되는 것을 고려하여, 모재 SA508 cl.3에는 피복아크용접(SMAW)용 용접봉과 가스텅스텐아크용접(GTAW)용 두 종류의 Inconel 690용 용접재료로 오버레이용접 한 것을 사용하였으며, STS309L의 경우에는 GTAW용 Inconel 690 한 종류만을 사용하였다. 또한 모재의 화학조성의 영향을 받지 않은 Inconel 690 용착부 자체의 고온균열감수성을 평가하기 위하여, Inconel 690용 서브머지드아크용접(SAW) strip과 GTAW 용접와이어의 두 종류의 용접재료를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Inconel 690 용착금속만으로 이루어진 용접부에서는, 부하스트레인의 증가 및 용접속도가 감소할수록 균열발생의 정도가 증가하였다. Fig. 1, 2는 각 종류별로 cladding한 시편의 부가스트레인과 용접속도의 변화에 따른 총 균열발생수를 나타낸다. 이들 용접부에서의 균열은 용접금속에서의 응고균열이 대부분이었으며, 열영향부에서의 액화균열도 일부 관찰되었다. Fig. 3은 열영향부에 나타난 균열발생 결과이다.

Inconel 690 용착금속만으로 이루어진 용접부에서는, Nb이 첨가된 용접재료에서 더욱 높은 균열감수성을 나타내었다.

Inconel 690의 고온균열발생에 미치는 모재의 화학조성의 영향에 대하여 검토한 결과에 의하면, SA508과 STS 309L 모두 균열감수성을 증대시켰으며, 그 영향은 SA508의 경우가 STS309L에 비하여 더욱 크게 나타났다.

응고취성온도범위(ΔT_{SC})와 액화온도범위(ΔT_{LC})에 대한 계산식을 이용하여 검토하여 본 결과에 의하면, SA508과 STS309L의 혼입에 의하여 Inconel 690 용접금속의 ΔT_{SC}와 ΔT_{LC}의 값이 크게 증가하였으며, SA508의 경우가 STS309L에 비하여 현저히 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 이들 재료의 혼입이 Inconel 690 용접금속의 고온균열감수성을 증가시킨다는 것을 의미하고 있으며, 위에서 언급한 고온균열시험결과와도 잘 일치하였다.

응고취성온도범위와 액화온도범위에 대한 계산식을 이용하여 검토하여 본 결과에 의하면, Inconel 600에 의한 용접부를 적절히 활용함으로써, SA508 또는 STS 309L의 영향에 의한 Inconel 690 용접금속의 고온균열감수성의 증가를 억제 또는 현저히 완화시킬 수 있을 것으로 예상되었다.

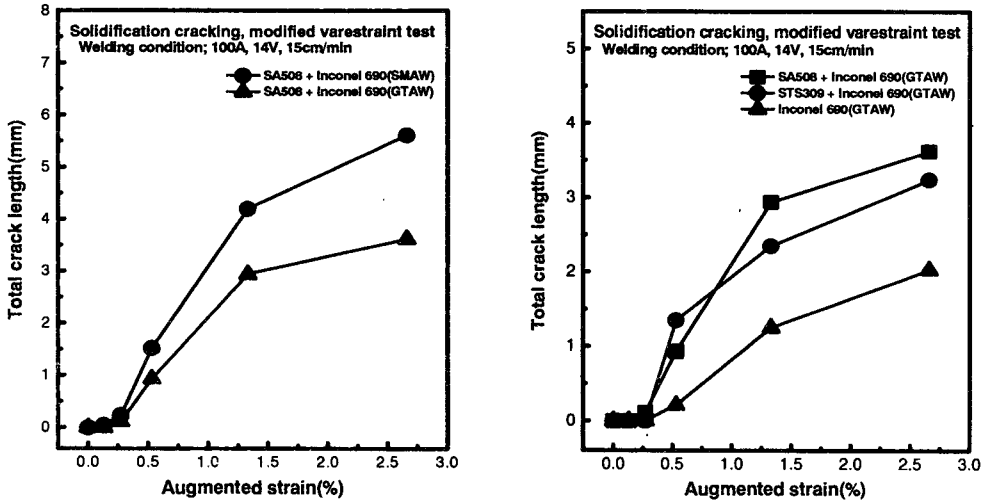

Fig.1 Relation between augmented strain and total crack length

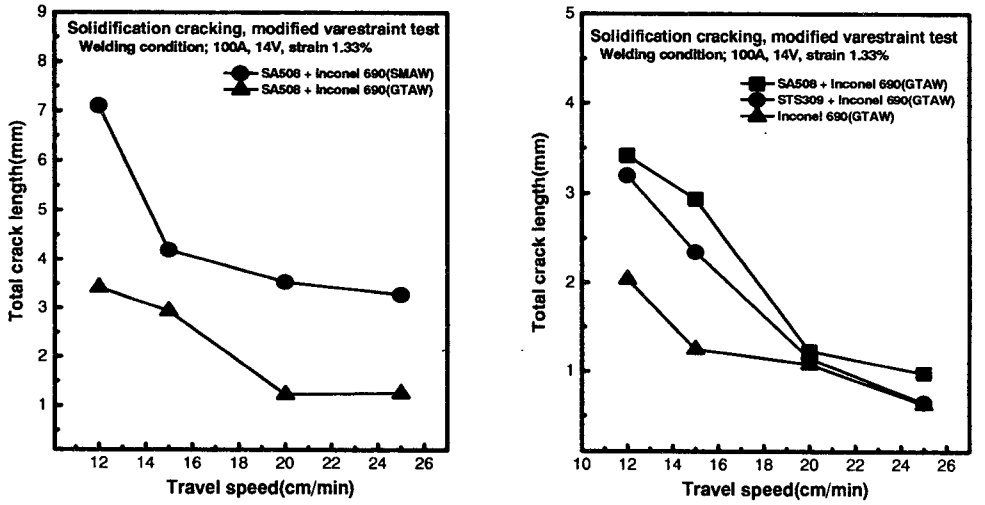

Fig.2 Relation between travel speed and total crack length

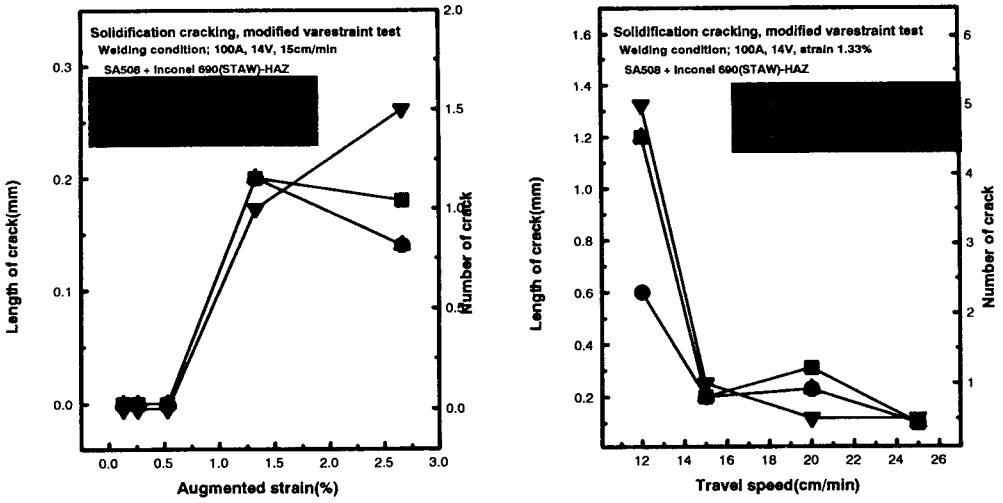

Fig.3 Result of cracking in HAZ

참고문헌

1) 深川宗光 等: ステソレス鋼へのイソコネル肉盛溶接において發生する割れ, 石川 島播磨技報, vol.22 No.4, July (1982).

2) 한국중공업 생산기술연구실: 고 Ni계 신용접재료의 용접성 연구보고서, (1998).