

SAW 법으로 용접된 Type 316LN 강의 크리프 성질

김우곤*(원자력연구소), 윤송남(숭실대), 류우석(원자력연구소), 이원(숭실대)

Creep Properties of Type 316LN Steel Welded by the SAW Method

W. G. Kim(KAERI), S. N. Yin (SSU), W. S. Ryu(KAERI), Won Yi(SSU)

ABSTRACT

The creep properties have been evaluated for type 316LN stainless steel welded by the SAW method. The creep tests were conducted with different stress levels for both the base and weld metals at 550°C and 600°C. The results of the creep-rupture time of the weld metal did not show a large difference when compared to those of the base one, though it exhibited a little lower value at 600°C. The creep rate of the weld metal was lower than that of the base one at the same stress and rupture-time conditions. The creep-rupture ductility of the weld metal is found to be decreased by about 60%, compared to the base one. This is due to the decreasing of tensile elongation and the increasing of the yield stress in the weld metals.

Key Words : Creep (크리프), Submerged Arc Weld (서브머지드 아크 용접), Type 316LN Stainless Steel (Type 316LN 스테인리스강), Steady-State Creep Rate (정상상태 크리프속도)

1. 서 론

원자력발전소의 노내 구조물들은 다수의 용접부위를 포함하게 되는데 용접부위는 제작상의 여러 원인에 의하여 재료 내부에 결함을 가지며, 고온 환경에 놓이게 되면 쉽게 취화되어 크리프 파단을 일으키고 모재에 비하여 강도가 크게 저하될 수 있다. 그래서 설계시 용접부의 허용응력(allowable stress)은 아래에 기술한 것 중에서 가장 낮은 값을 취하도록 제한한다^{1,2}. 즉 크리프 파단응력의 67%, 3차 크리프 시작을 일으키는 응력의 80%, 1% 총 변형을 일으키는 응력의 100% 중에서 낮은 값을 취하도록 하는 모재의 허용응력 방법과 같은 방법으로 결정한다. 그리고 용접재의 허용응력은 $0.8\sigma_{min} \times R$ 로 결정한다. 여기서 σ_{min} 은 위에 기술된 모재에서 기대되는 최소 파단응력이고, R 은 모재에 대한 용접재의 크리프 파단강도의 비이다. 또한 용접재의 허용변형은 모재에서 허용된 변형의 1/2 값으로 제한된다. 이러한 이유는 고온에서의 용접재의 연신율은 모재에 비하여 일반적으로 낮아지기 때문이다. 따라서 Type 316LN 용접재를 액체금속로에 적용 위해서는 크리프 자료를 구축하여 설계응력을 결정하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 액체금속로의 구조재료로 사용되는 Type 316LN 강에 대하여 서브머지드 아크용접(Submerged Arc Weld, SAW) 법으로 용접하여 550°C와 600°C에서 크리프 시험을 수행하여 크리프 특성을 모재부와 비교 평가하여 용접부에 크리프 설계 자료를 얻고자 하였다.

2. 실험

실험에 사용된 316LN 스테인리스강은 진공유도 용해공정으로 30kg 잉곳을 제조하고, 아르곤 분위기에서 2시간동안 1270°C의 온도를 유지한 후 열간압연 가공하여 최종 두께를 15mm로 제조한 것이다³. 판재는 1100°C에서 1시간 동안 아르곤 분위기에서 용체화 처리 후 수냉하였다. 화학적 조성은 Table 1과 같다. 용접을 위한 최종시편은 500mm(L) x 170mm (B) x 15mm (T)의 2개 판재를 SAW 방법으로 맞대기 용접하였다. 상세 용접조건은 Table 2와 같다. 용접 groove 형상은 각 면이 80°를 갖는 "Double-V" 형상으로 가공하였다.

Table 1 Chemical compositions of type 316LN SS

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	B
Bal.	0.022	0.70	1.01	0.029	0.005	17.15	12.30	2.35	0.094	0.003	

Table 2 Details of the SAW process

Process	Submerged arc weld (SAW)
Joint design	Double-V groove
No. of passes	2 (each 1 pass for front and back sides)
Pad thickness	15mm (5mm x 5face x 5mm)
Flux	AWS E316L wire (4.0mm dia.)
Current/Voltage	450A/32V (1 st pass), 550A/34V (2 nd pass)
Travel speed	40 cm/min
Heat input rate	21.6 KJ/cm (1 st pass), 28.05 KJ/cm (2 nd pass)

크리프 시험은 직경 6mm, 표점거리 30mm의 봉상시편을 가공하여 ASTM E 139에 따라 일정하중 조건에서 실시하였다⁴. 시간에 따른 크리프 변위 측정을 위해 신장계를 시험편에 부착 사용하여 변위 데이터를 측정하였으며 변위 데이터는 컴퓨터에 기록·저장하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 500°C와 600°C에서의 크리프 응력과 파단시간의 결과를 나타낸 것으로 용접재는 모재에 비하여 다소 낮은 파단수명시간을 보이지만 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. Fig. 2는 정상상태 크리프속도와 응력과의 결과로서 용접재의 크리프 속도는 모재에 비하여 낮은 값을 보였다.

Fig. 3은 모재와 용접재의 크리프 연신율은 응력에 따라서 나타낸 것으로 용접재는 모재에 비하여 약 60% 정도로 크게 감소함을 보였다. 용접재에서의 크리프 연신율의 감소는 크리프 속도에 영향을 주며 동일한 파단시간에서 크리프속도는 용접재가 모재에 비하여 낮은 것으로 조사되었다. Fig. 4는 600°C에서 250MPa에서 크리프 파단된 파면을 보인 것으로 등축수지상조직(equal-axial dendrite structure)의 크리프 파면이 관찰되었다.

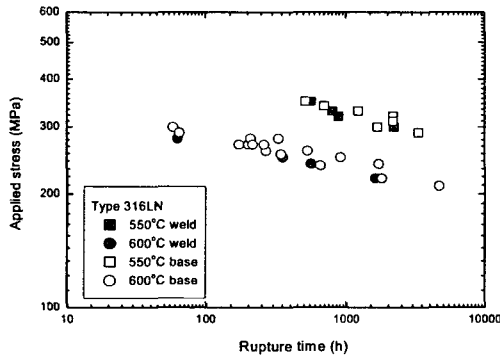


Fig. 1 Applied stress vs. rupture time for the base and weld metals of type 316LN SS

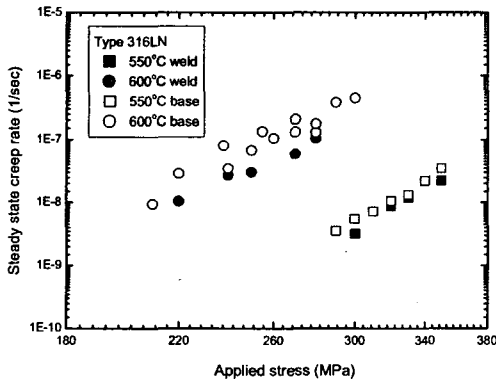


Fig. 2 Steady state creep rate vs. applied stress for the base and weld metals of type 316LN SS

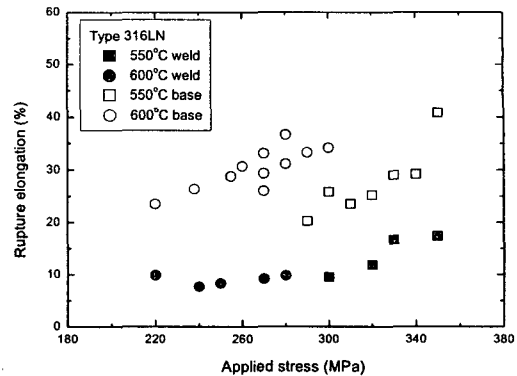
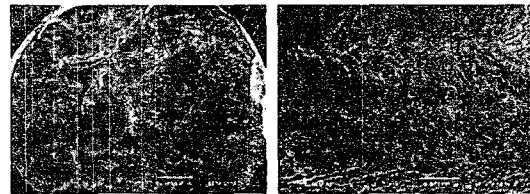


Fig. 3 Rupture elongation vs. applied stress for the base and weld metals of type 316LN SS



(a) fracture surface (b) creep fracture mode

Fig. 4 SEM fractographs of the weld metal crept under 250MPa at 600°C

4. 결론

SAW법으로 용접된 316LN 강의 크리프 파단시간은 모재와 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 크리프 파단 연신율은 모재에 비해 60%정도로 크게 감소됨을 알 수 있었다. 용접재의 크리프 속도는 모재에 비하여 낮아졌으며, 크리프 파면은 등축수지상의 파면조직을 보였다.

후기

본 연구는 과거처에서 시행한 원자력 중장기 연구개발사업 중 고온강도 평가 및 신재료기술 개발 세부과제에서 수행한 것입니다.

참고문헌

1. G. Sasikala, M.D. Mathew, K. Bhanu Sankara Rao, and S.L. Mannan, Metallurgical and Materials Transactions A, Vol.31A, p. 1175~1185, 2000.
2. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III Division 1-Subsection NH, Class 1 Components in Elevated Temperature Service, New York, pp. 24~26, 2001.
3. W.G. Kim, S.N. Yoon, and W.S. Ryu, S.J. Kim, and Yi Won, Journal of the ASTM International, Vol. 3, No.1, Paper ID JAI-13375, 2006.
4. Annual Book of ASTM Standards, ASTM E 139, Vol. 03.01, pp. 257~267, 1995.