

원자로용 구조용강의 열화 현상에 따른 용접부의 특성 및 부식성 평가

(The corrosion evaluation and weldment characteristics with degradation phenomena in structural steels for nuclear application, STS 316L)

성균관대학교 재료금속공학부 하종봉 · 김형태 · 신현식 · 서창제

1. 서론

원자력 구조용강은 일반 산업용 재료 규격에 비하여 열화 현상과 물리적 특성 등 원자력 발전소 특유의 열악한 환경하에서 장시간 가동되므로 고도의 건전성을 확보, 유지 하여야만 한다. 현재 사용되고 있는 스테인레스강에 대한 재료의 열화를 정성 및 정량적으로 평가할 수 있는 기술의 확보가 시급한 실정이다. 따라서, 실제 용접 및 시험을 통해 용접부의 열화 현상 및 부식 현상의 기구를 정리하여 원전 설비에 적용 가능한 기술을 검토하고 분류하며 적용방법의 구체화를 모색하고자 하였다.

따라서 본 연구에서는, 이에 가능성 있는 재료인 STS 316L 을 열화 조건에 따른 충격 에너지 및 조직 변화, 부식특성을 조사하여 용접부의 건전성 평가와 재질 열화도에 따른 특성 변화를 규명하고자 하였다.

2. 실험방법

STS 316L 시편을 가능한 일정한 조건으로 용접하여, 결함이 없는 부분을 용접 방향에 수직으로 절단한 후 시험편을 채취하였다. 이 실험에 사용한 모재와 용접재료의 화학 조성과 용접조건은 표 1, 2 에 나타내었다. σ 상의 함유량을 달리한 여러 단계의 열화재를 제작하기 위하여 675°C 에서 5, 15, 50 그리고 150 시간동안 유지 후 수냉하는 방법을 따랐다. 이로부터 열처리 조건에 따른 용접부와 모재부 열화재의 조직 검사 및 기계적 검사, 부식검사를 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

675°C 에서만 열처리한 열화재의 모재부와 용접부 미세조직 관찰 결과, 조직은 열처리 전 조직과 커다란 차이는 없었다. 즉 결정립의 크기 변화는 거의 없었으며 소량의 석출상 형성은 관찰할 수 있었다. 용접부의 조직은 열화 시간이 증가할수록 δ -페라이트의 양이 감소하는 것을 관찰할 수 있었다.

그림 1 은 열화시간에 따른 모재 및 용접부의 경도값의 변화를 나타내는 그림이다. 경도치는 건전재가 가장 작은 값을 나타내었고 열화 정도가 심해짐에 따라서 즉, 5 시간, 15 시간, 50 시간 및 150 시간의 열화재 순으로 경도값은 상승하였다. 경도 증가율은 모재쪽보다 용접부쪽이 더 컸다. 이것은 미세조직 사진에서도 알 수 있었듯이 열화정도가 심해짐에 따라 용접부 내의 δ -페라이트로부터 σ 상의 석출이 많아지고, 이런 영향으로 인하여 경도치는 상승한 것이다.

그림 2 는 열화시간에 따른 충격 인성값의 변화를 나타내는 그림이다. 충격 인성값은 건전재가 가장 높은 값을 나타 내었고 열화 정도가 심해짐에 따라서 즉, 시간이 길어짐에 따라 열화 시간 15 시간 이후로 충격 인성값은 급격히 저하 하였다. 경도감소폭은 모재쪽이 다소 완만하였다. 이 결과에서도 시간에 따른 σ 상의 석출 정도가 점점 많아져 감을 알 수 있었다. 파면은 열화시간 증가에 따라 연성파괴에서 취성파괴로 바뀌어 가는 것을 알 수 있었다.

열화시편의 옥살릭 에칭 시험에서는 열처리 시간이 증가 할수록 예민화 시작 시간

이 빨라지며 이러한 원인은 열처리에 의한 재료의 내부에너지 등의 증가에 의해 탄화물이 생성되었기 때문인 것으로 판단된다. 150 시간의 열처리에서는 5 시간의 열처리보다도 입계를 따른 탄화물의 성장은 심화되고 탄화물량의 증가로 거의 최대의 예민화도(degree of sensitization)를 보이는 것으로 나타났다.

4. 결론

열화재의 모재조직은 열처리에 의한 커다란 차이는 없었다. 하지만, 용접부의 조직은 열화 시간이 증가할수록 δ -페라이트의 양이 감소하였다.

경도값은 열화 정도가 심해짐에 따라 상승하였으며, 경도 증가율은 모재쪽보다 용접부쪽이 더 컸다. 이것은 열화에 의한 용접부 내의 δ -페라이트로부터 σ 상의 석출로 경도값이 상승하였다.

충격 인성값은 건전재가 가장 높은 값을 나타 내었고 열화 정도가 심해짐에 따라서 충격 인성값은 급격히 저하 하였다.

옥살릭 에칭 시험에서는 열처리 시간이 증가 할수록 예민화 시작 시간이 빨라지며 150 시간의 열처리에서는 5 시간의 열처리 보다도 입계를 따른 탄화물의 성장은 심화되고 탄화물량의 증가로 거의 최대의 예민화도를 나타냈다.

5. 참고문헌

- 1) H. M. Chung and T. R. Leax, "Embrittlement of Laboratory and Reactor Aged CF3, CF8 and CF8M Duplex Stainless Steels," Materials Science and Technology, Vol., pp249-262 (1990)
- 2) P. H. Pumphrey and K. N. Akhurst, "Aging Kinetics of CF3 Cast Stainless Steel in Temperature Range 300-400°C." Materials Science and Technology, Vol. 6, pp211-219 (1990)
- 3) B. Jansson, JISI, Vol. 209, 1971. P826

Table 1. Chemical Composition of Base Metal and Welding Wire. (wt%)

	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cr _{eq}	Ni _{eq}	Cr _{eq} /Ni _{eq}
Base Metal	0.025	17.52	12.17	2.21	0.68	0.62	0.024	0.003	20.66	22.59	1.56.
Welding Wire	0.02	19.6	12.5	2.36	1.82	0.42	-	-	13.26	14.01	.1.61

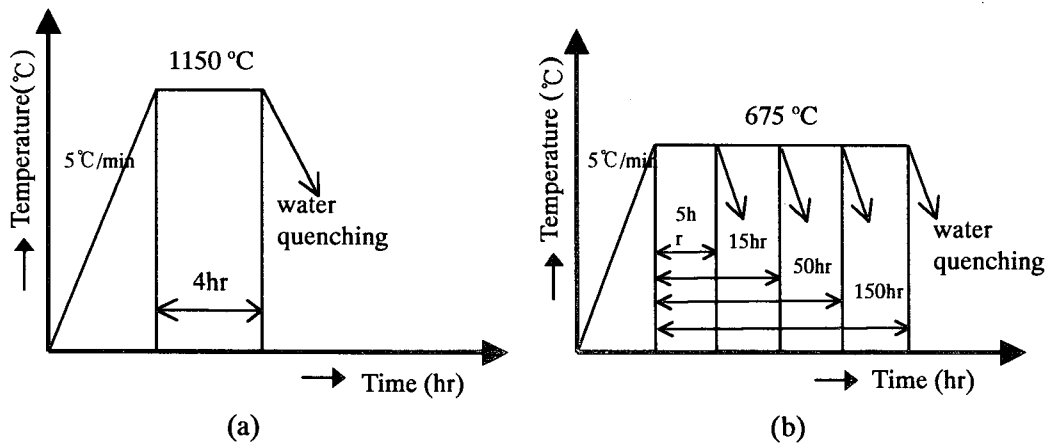
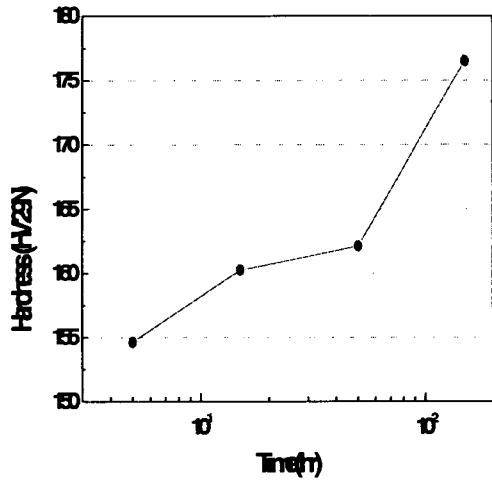
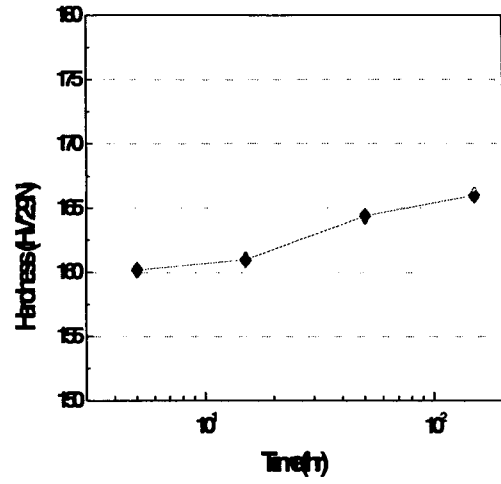


Fig.1. Schematic drawing of the heat treatment

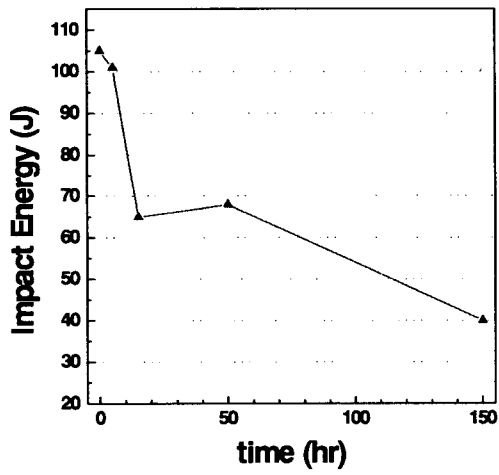


(a) Fusion Zone

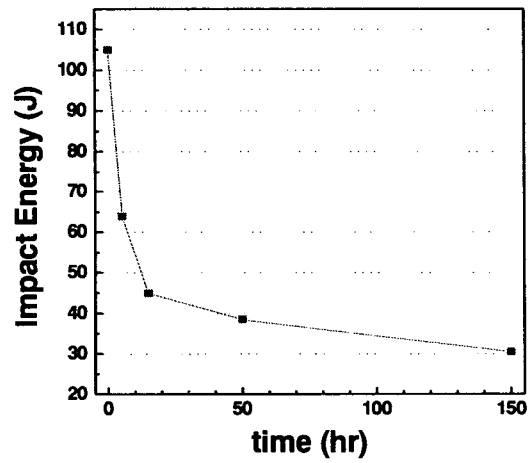


(b) Base Metal

Fig.2. Hardness Distribution of FZ and BM in the STS 316L



(a) Fusion Zone



(b) Base Metal

Fig.3. Impact Testing Results of FZ and BM in the STS 316L