

원자로용 구조용강의 용접재료 및 보호가스 변화에 따른 열화 현상

(Degradation phenomena with shielding gas and filler metal in structural steels for nuclear application, STS 316L)

성균관대학교 재료금속공학부 김형태 · 하중봉 · 신현식 · 서창제

1. 서론

최근 첨단 산업이라 할 수 있는 원전 설비 분야의 첨예화로 인하여 요구되는 재료의 특성이 점차 고도화 되고 있다. 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. 이에 따라 강도가 뛰어나고 향상된 물성을 지닌 새로운 재료 개발과 그의 적용이 시급한 과제로 떠오르고 있다.

따라서 본 연구에서는, 자동 용접기로 용접재료 및 보호가스를 변화하여 용접한 STS 316L 강을 열화조건에 따른 충격 특성 및 조직변화를 조사하고 첨가원소의 역할에 따른 용접부의 건전성평가와 재질 열화도의 특성 변화를 규명하고자 하였다.

2. 실험방법

STS 316L 을 용접재료와 보호가스를 변화하여 시편의 용접 조건을 가능한 일정하게 유지하기 위하여 자동 인버터 TIG 용접기로 용접하였다. 사용한 모재와 용접재료의 화학 조성은 표 1 과 같다. 또한, 시편이름 및 용접조건은 표 2, 3 에 나타내었다. 이 실험에 사용한 시험편은 용접 후 용착부의 외관 상태와 단면의 형상을 저배율 현미경으로 검사하여 용접 균열과 기공 발생 유무를 관찰하여 결함이 없는 용접재로 부터 용접 방향에 수직으로 절단한 후 채취하였다. σ 상의 함유량을 달리한 여러 단계의 열화재를 제작하기 위하여 675°C 에서 5, 15, 50 그리고 150 시간동안 유지 후 수냉하는 방법을 따랐다. 이로부터 용접부의 조직 검사, 경도 측정 및 샤프 V 노치 시험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

용접조건에 따라 표.이면의 용접금속이 완전한 용입 형상을 보임으로서 본 연구에서 선정한 용접 조건에 문제가 없음을 알 수 있었다. 시험재의 모재조직은 γ 조직으로 소둔쌍정 조직을 관찰할 수 있었으며 용접금속은 래시 페라이트, 버미글러 페라이트 그리고 오스테나이트 조직을 나타내었으며, 이는 용접재료 및 보호가스 변화에 따라 용접금속의 조직적 특징이나 페라이트의 함량에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 즉 보호가스의 질소량 증가에 따라 응고 초정이 $\delta \rightarrow \gamma$ 변화하므로 F6L5N 에서는 거의 γ 상조직이었다. 열화 현상에 따른 조직 변화는 광학 현미경 상으로는 확인하기가 어려웠다.

그림1 은 용접재료 및 보호가스를 변화하였을 때 용접한 시편의 용접중양부 경도값이다. BM 보다 F6L 의 경도 값이 더 높는데 이는 급열 급냉에 의한 용접부의 경도 경도 값이 상승한 것으로 사려된다. 보호가스에 질소첨가량이 증가할수록 경도값은 계속 증가함을 나타내었으며 질소 7%를 첨가한 시편이 가장 높은 경도값을 나타내었다. 열화 현상에 따른 경도 값의 변화는 전반적으로 열처리 시간이 증가할수록 경도 값이 상승하였다.

그림2 는 용접재료 및 보호가스를 변화하여 용접한 시편의 충격 인성 값이다. 용접

조건 중 보호가스에 질소 5%를 첨가한 것이 가장 높은 노치 인성을 나타 내었고, 질소를 첨가한 것이 전체적으로 우수한 노치 인성을 내었다. 그러나 질소 7%를 첨가한 시편의 충격 인성 값은 감소하였다. 이는 질소량의 증가에 따라 과포화된 질소가 질화물(Cr₂N 등) 형성에 의한 인성을 저하시킨 것으로 사려 된다. 그리고, F6L 이 F9L 보다 더 좋은 노치 인성을 나타내었다. 열화 현상에 따른 충격 인성값의 변화는 전반적으로 열처리 시간이 증가할수록 인성값은 급격히 저하 하였다. 충격 파면은 BM 과 F9L 은 고온 형태의 dimple 파면 형상을 나타내었으며 인성이 증가할수록 재료자체가 지니고 있는 인성의 영향으로 거친 파면을 형성하였다. 또한, 열처리한 시편의 충격 파면은 취성파괴 형상을 나타내었다.

4. 결론

시험재의 모재조직은 γ 조직으로 소둔쌍정 조직을 관찰할 수 있었으며 용접금속은 용접재료 및 보호가스 변화에 따라 래시 페라이트, 버미글러 페라이트 그리고 오스테나이트 조직을 나타내었다. 열화 현상에 따른 조직 변화는 광학 현미경 상으로는 확인하기가 어려웠다.

경도값은 BM 보다 급열 급냉에 의한 용접부의 경도 정도 값이 더 높았으며 보호가스에 질소첨가량이 증가할수록 경도값은 계속 증가함을 나타내었다. 열화 현상에 따른 경도 값의 변화는 전반적으로 열처리 시간이 증가할수록 경도값은 상승하였다.

충격인성값은 용접조건 중 보호가스에 질소 5%를 첨가한 것이 가장 높은 노치 인성을 나타 내었고, 질소를 첨가한 것이 전체적으로 우수한 노치 인성을 내었다. 그리고, F6L 이 F9L 보다 더 좋은 노치 인성을 나타내었다. 열화 현상에 따른 충격 인성값의 변화는 전반적으로 열처리 시간이 증가할수록 인성값은 급격히 저하 하였다

5. 참고문헌

- 1) J.E. Donahue : "Butt Welding Austenitic Stainless Steel to Ferritic Steel in Cylindrical Shapes," The Welding Journal, November, 1957, pp.1074-1077
- 2) R. D. Wylie, P. D. Watson : "Low Cycle Fatigue Behavior of Dissimilar Welds," Journal of Engineering for Power, July, 1967, pp.353-359
- 3) R. E. Menon, D. J. Kotecki ; Nitrogen in stainless steel weld metal, WRC Bulletin 369, (1992), p142-161
- 4) M. L. G. Byrnes, M. Grujicic and W. S. Owen, Acta Metal., No.7 (1987) 1853.
- 5) 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.
Filler Metal	316L	0.02	19.6	12.5	2.36	1.82	-	-	13.26	14.01	1.61
	309L	0.02	24.38	12.33	-	1.83	-	-	24.92	13.85	1.80

Table 2. Sample Name of Welded Joints

Name	F6L	F9L	F6L2N	F6L5N	F6L7N
Filler Metal	Y316L	Y309L	Y316L	Y316L	Y316L
Shielding Gas	100%Ar	100%Ar	98%Ar-2%N ₂	95%Ar-5%N ₂	93%Ar-7%N ₂

Table 3. Welding Conditions

Conditions		Methods
Welding method		Invert TIG
Arc voltage(V)		22
Electrode polarity		Negative
Electrode		1% Th-W (2.4 ϕ)
Pass number		2
Arc current(A)		260
Travel speed(cm/min)		17.5
Heat Input (J)	First	18857
	Second	18857
	Sum	37714
Wire Diameter (mm)	First	2.4 ϕ
	Second	2.0 ϕ
Wire Feeding Speed (cm/min)		37.5
Shielding gas		Argon (+ 2, 5, 7 %N)
Gas flow(ℓ /min)		10
Pitch(mm)		1.7

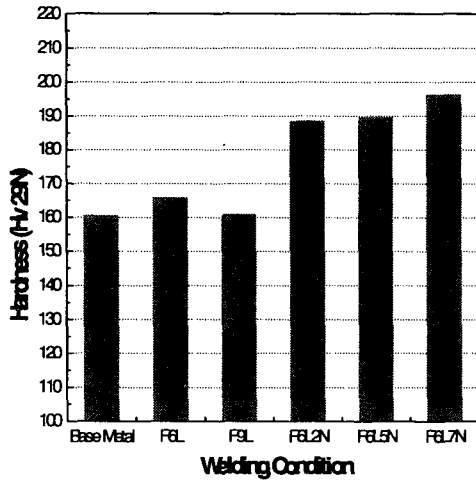


Fig.1. Hardness Distribution of FZ and BM in the STS 316L

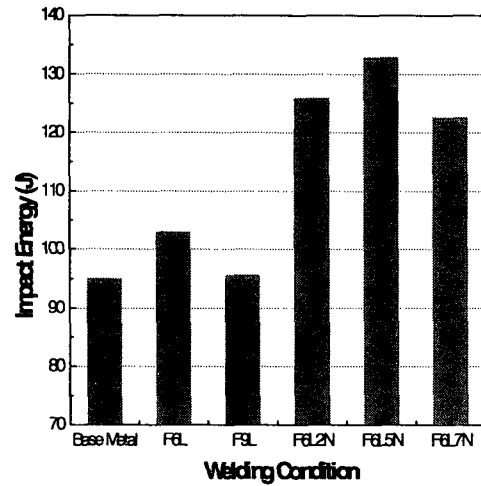


Fig.2. Impact Test Results of FZ and BM in the STS 316L