

YS 900 MPa 급 고강도 강재의 고능률 용접기법 정립

A Productive Welding Procedure for a YS 900 MPa Grade High Strength Steel

윤 중근*, 박 동환
현대중공업(주), 종합 연구소

1. 서 론

항복강도 900 MPa 급 강재들에 있어 적당한 용접재료 및 효율적인 용접기법의 선정은 매우 제한적이다. 이는 이와 같은 고강도 강재 예컨대 HY 130 강재들은 주로 군사용으로 한정적으로 개발되어 왔고, 일반적으로 고강도 강재의 화학성분상 용접성이 열등하기 때문이다. 이에 따라 일반적으로 적용되고 있는 용접기법은 GTAW 기법인데, 이 기법은 우수한 용착금속의 물성을 확보할수 있는 반면, 저용착속도를 지니기 때문에 생산성의 측면에서 매우 큰 단점을 지니고 있다.

최근 해양구조물등에도 고강도 강재가 활발하게 적용됨에 따라 이들의 화학 조성 역시 용접성을 개선하는 방향 즉, 저탄소 및 저탄소당량의 HSLA 강재로 개발되고 있다. 따라서 이 같이 우수한 용접성을 가지는 고강도 강재에도 생산성측면에서 열등한 GTAW 기법을 적용하는 것은 개량된 강재의 용접성을 활용하지 못하는 것이라 하겠다.

따라서 본 연구에서는 항복강도 900 MPa 강재에 적용할 수 있는 보다 생산성이 높은 용접기법(입열량 25KJ/cm)을 개발하고자 하였다. 이를 위하여 4가지 혼합가스를 이용하여 용착속도를 향상시킬 수 있는 MAG 기법을 적용하고자 하였으며, 이와 동시에 용접부의 물성 역시 GTAW 기법에 의하여 형성된 용접부의 물성과 유사하게 확보할수 있는 용접재료의 선정 및 용접조건을 정립하고자 하였다.

2. 실 험

본 연구에 사용된 강재는 0.1 wt% 이하의 저탄소 및 Ni-Cr-Mo 가 함유된 QT 형 HSLA 강으로, 항복강도는 923 MPa 이며 두께가 30 mm 인 강재이었다. 효율적

인 용접재료를 선정하기 위하여 AWS ER 140S-1 급인 3가지 상업용 재료를 선정하여 약 20 KJ/cm 의 용접입열량의 GMAW 기법으로 전용착 시험, 확산성 수소 및 용접부의 균열 감수성 평가등을 실시하였다. 건전한 용접부를 얻기 위한 용접조건은 선정된 용접재료를 이용하여 bead on plate 방법으로 auto-carriage를 이용한 MAG 기법으로 실시하여 용접결함 발생 유무를 평가함으로써 설정하였다. 용접시 균열방지를 위한 예열온도를 설정하고자 Y-groove 시험을 실시하였다. 용접부의 기계적 성질은 인장시험, 저온에서의 충격시험 및 rising step loading 법에 의한 SCC 시험 등을 통하여 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 용접재료 및 용접조건의 설정

용접부의 저온균열방지를 위한 예열온도를 설정하고자 125℃ 부터 25℃ 간격으로 50℃ 까지 예열을 적용하며 Y-groove 시험을 실시한 후 용접부에 대한 단면 관찰을 실시하였다. 그러나 50℃의 예열에 있어서도 전혀 균열발생이 관찰되지 않아 상온에서 예열없이 재차 Y-groove 시험을 실시하였으나 균열발생은 역시 없었다. 따라서 본 연구의 대상 강재는 고강도를 가지면서도 예열이 필요없는 강재로 평가되었다.

용접재료를 선정하기 위하여 예열 100℃ 하에서 전용착시험을 실시하였으며, 그 결과를 Table 1 에 나타내었다. 본 연구에서 고려된 3가지 ER140S-1급 용접재료로 형성된 용착금속의 기계적 성질은 모두 양호하며 규정된 요구치를 충분하게 만족시키고 있었다. 그러나 B 재료를 사용한 용접부에서는 용착금속에 transverse 균열이 발생되었는데, 이는 수소에 의한 저온균열으로 판단되었다. 이에 따라 각 용접재료의 용착금속에 대한 확산성수소 분석을 실시하였는데, A, B 및 C 용접재료의 전용착 금속에서 평가된 확산성수소량은 각기 1.1, 1.6 및 4.7 cc/ 100 gr 이었다. 따라서 확산성 수소량이 가장 적은 A 용접재료를 YS 900 Mpa 급 고강도 강재에 가장 합당한 것으로 선정하였다.

건전한 용접부를 얻기 위한 용접조건은 여러 bead on plate 시험방법을 통하여 용접결함이 발생하지 않는 조건으로 설정하였는데, 280 amp. x 28 - 30 V 의 조합으로 입열량 24 - 25 KJ/cm 인 용접조건이 가장 능률적인 조건으로 평가되었다. 이를 적용하면 30 mm 두께의 모재를 용접하는 경우 약 16 pass 가 소요되는

데, 이는 GTAW 의 약 43 pass 에 비하여 약 3배의 용착속도를 향상시키게 된 것이다.

Table 1 Mechanical properties of each weld obtained by all weld metal test (GMAW)

Filler metal	YS (MPa)	TS (MPa)	Elong. (%)	RA (%)	CVN Toughness (J) at °C				
					20	0	-18	-40	-60
A	902	951	18	67	113	98	88	81	69
B	902	973	19	59	111	95	116	97	80
C	905	952	21	62	98	-	95	71	-
ER140S-1	895-965	-	min. 14	-	min. 68 at -51 °C				

* All data are average values obtained from 2 or 3 specimens

3.2 용접부의 기계적 성질

전절에서 정립된 용접기법을 이용하여 single bevel 개선 용접부에 대한 기계적 성질을 GTAW 용접부의 기계적 성질과 비교하여 Table 2에 나타 내었다. Table 2 에서 보여 주듯이 약 25 KJ/cm 의 대입열로 형성된 MAG 용접부의 인장성질 및 열영향부의 인성은 GTAW 용접부와 유사하나, 용착금속의 인성은 GTAW 용착부에 비하여 다소 열등하다. 그러나 MAG 용접열영향부의 인성은 -18 °C에서 190 J로서 일반적으로 모재에서 요구되는 인성요구치(HY 130 강재 : min. 81J at -18 °C) 를 크게 상회하고 있다.

양 용접부의 SCC에 대한 저항성은 -1100 mV 의 cathodic potential에서 rising step load 방법으로 평가하였는데, 열영향부의 SCC 개시에 대한 저항성 (K_{IS})은 용접기법에 관계없이 63 MPa \sqrt{m} 이었다. GTAW 용착금속 및 MAG 용착금속의 K_{IS} 는 상호 유사하며 각기 63, 61 MPa \sqrt{m} 이었다. 동일한 MAG 용접 열영향부에 대하여 cantilevel 방법에 의하여 평가된 SCC에 대한 저항성 (K_{ISCC})은 112 MPa \sqrt{m} 이었다. 따라서 MAG 용착금속의 K_{ISCC} 값은 약 100 MPa \sqrt{m} 이상으로 판단되는데, 이는 기존 보고된 GTAW 용착금속의 상한값에 상응되고 있음을 알수 있다.

Table 2 Mechanical properties of each weldment

Process	YS (MPa)	TS	Elong. (%)	RA		CVN Toughness (J) at °C		
						20	-18	-40
GTAW	903	954	20	69	Weld	257	251	234
					HAZ	188	190	199
MAG	897	946	21	71	Weld	132	126	120
					HAZ	195	191	188

* All data are average values obtained from 2 - 3 specimens

** HAZ : close to fusion line

4. 결 론

항복강도 900 MPa 급 고강도 강재를 대상으로, 4가지 혼합가스를 이용한 MAG 기법을 적용하여 용접부의 기계적 성질이 GTAW 기법에 의하여 형성된 용접부와 유사하게 확보할 수 있는 용접재료의 선정 및 고능률 용접조건 (입열량 25KJ/cm)을 정립하였다.