

Electro slag strip cladding 熔接에서의 熔接 變數의 影響

홍중승 (한국 핵연료), 양성호, 안희성 (한국 원자력 안전 기술원),

강명수 (한국 원자력 연구소), 이영호 (충남대학교)

1. 서 론

일반적으로 압력 용기 내부벽의 클래딩(Cladding) 용접 방법으로는 잠호 아크 클래딩 용접(SASC)법을 사용하고 있으나 최근에는 새로운 용착방법인 일렉트로 슬래그 클래딩 용접(ESSC)이 개발되어 적용 단계에 이르고 있다.

일렉트로 슬래그 클래딩 용접(ESSC)은 잠호 아크 클래딩 용접(SASC) 보다 큰 일한 접합면을 얻을수 있을뿐만 아니라 용착률(Deposition rate)이 높고 모재 희석이 적으므로 단층 용접으로 탄소강이나 저합금강 등에 차탄소(0.04 내외) 스테인레스강을 피복 할 수 있는 장점이 있다. ①

ESSC 방법은 독일, 일본, 소련에서는 이미 개발이 완료되어 조선, 화학, 원자력 산업 분야에 이용되고 있으며 ② 국내에서는 한국 원자력 안전기술원에서 연구 개발중으로 ③ 외부 자격 제어에 의한 용융비드 조절법으로 180 mm 스트립 클래딩의 실험에 성공하였다. ④

이러한 능률적인 클래딩 용접 방법인 ESSC를 발전용 원자로등의 압력 용기에 적용하기 위해서는 여러가지 용접 조건에 따른 용접성 특성의 고찰이 요구하며 충분한 실험적 고찰을 바탕으로한 최적 용접 조건의 도출이 선행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 ESSC 용접에서의 중요한 용접 변수인 전류, 전압, 용접속도, 스트립폭 및 두께 및 용제의 깊이, 자장(Magnetic field)등이, 용착률(Deposition rate), 희석률(Dilution), 용접깊이(Penetration), 용접 비드폭에 미치는 영향을 실험을 통하여 면밀히 관찰하고 용접 공정에 미치는 영향을 분석하여 최적의 용접 조건을 설정하는데 그 목적이 있다.

2. 실험방법 및 절차

2.1. 재료

실험 용접에 사용한 모재는 일반 탄소강을 사용하였으며 용접 재료는 ER 308L 에 Cr - Ni을 소량 첨가하여 단층 용접에 적합하도록 제조된 ER 308L (22.11L) 를 사용하였다. 재료의 사양 및 화학 조성은 Table 1 및 Table 2 에 나타냈다.

Table 1. Base metal composition - manufacturer's data Wt (%)

Base metal	Chemical compositions							
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
A 36	0.18	0.98	0.014	0.006	0.026	0.01	0.01	0.01

Table 2. Chemical composition of welding materials

Strip	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V
22.11L	0.008	2.00	0.015	0.004	0.17	10.93	22.20	0.01	—
Flux	Fluorides		Silica		Amphoteric oxides		Alkaline oxides		
ESSC No.	50 %		13 %		22 %		15 %		
Specification	CaF ₂		SiO ₂		Al ₂ O ₃ TiO ₂ , ZrO ₂		CaO, MgO		

2.2. 실험 용접장비

일렉트로 슬랙 스트립 클래딩(ESSC)에 사용되는 장비는 기본적으로 잠호 아크 스트립 클래딩(SASC)의 장비와 동일한 부품들로 구성되나 저항 발열에 의한 용접법이므로 비교적 대용량(같은 단면적을 갖는 스트립을 사용할 경우 ESSC에서 소요하는 전류는 SASC에 비해 약 1.5 배 용량이 필요)의 용접 전원을 필요로 한다. 또한 자장 제어에 의한 용접 비드 형상 제어를 위하여 1대의 Magnetic controller가 추가로 소요된다.

용접 장비의 주요 구성품으로는 Power source (Arc 1500, MAX 1500A in CV Mode) Parallel kid, controller (Up 15 Model 154), Welding Head (180 ES 315), Magnetic controller (CED 1/180, Tie-in control) Manipulator (Comas 1,000)로 구성되었다.

2.3. 용접변수 영향실험

용접 변수로는 전류, 전압, 용접속도, 스트립 전극두께 및 폭, 용제(Flux)깊이, 자장등의 상호 연관성을 조사키 위해 이들 변수를 변화시키면서 용접을 실시하여 실제 용접에 미치는 영향을 실험을 통하여 면밀히 조사 하였으며, 각각의 용접 변수에 대한 용접 시편은 용착률(Deposition rate) 측정을 위하여 무게 측정이 용이하고 모재 과열에 의한 용입깊이 증가 요인을 배제하기 위하여 폭 100 x 길이 150 x 두께 100 mm 로 시편을 제작하여 주어진 용접 변수에 따라 실제 용접을 실시하였다.

2.4. 실험분석

각각의 용접 변수에 따라 용접한 시험편으로 부터 화학 분석용 Chip을 채취하여 C, Mn, Si, Ni, Cr 등 주요 5 원소의 함량을 용접 두께 3.0 mm 부위에서 분석하고, 시험편을 절단하여 단면부의 Macrographic exam. 을 실시하여 용입 깊이를 조사 하였으며, 각 시험편 마다 용접 전, 후 각각 평량하여 단위 시간당 용착량 즉, 용착률(Deposition rate)을 다음식으로 구하였다.

$$\text{용착률 (D.R)} = \frac{\text{용접후 시험편 무게} - \text{용접전 시험편 무게}}{\text{용접소요시간}} \quad (\text{kg/hr})$$

아울러 Chip 분석으로 얻어진 클래드부의 Nickel 함량 및 소재의 Nickel 함량으로 다음식을 이용하여 희석률(Dilution, %)을 산출하였다. (5)

$$\text{희석률} = \frac{\text{Nis} - \text{Nic}}{\text{Nis} - \text{Nib}} \times 100$$

여기서 Nis : Strip의 Nickel 함량, Nic : Clad의 Nickel 함량, Nib : 모재의 Nickel 함량

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 전류, 전압의 영향

전류의 증가에 따라 시험편 평량 데이터로 산출한 용착률은 증가하였고 슬랙 박리성은 전류가 800 A와 950 A에서 매우 우수 하였으며, 전류가 증가함에 따라 나빠지는 경향을 나타 냈다. 화학조성 분석치로 평가한 희석률은 용접 전류가 증가함에 따라 즉 용착률이 감소함에 따라 감소하는 것을 알 수 있었다. 한편 전압의 증가에 따라 전류와 마찬가지로 용착률은 증가하나 희석률은 감소하게 되며 슬랙 박리성은 24Volt에서 가장 우수했으나 전압이 증가함에 따라 나빠지게 됨을 알 수 있었다. 아울러 안정된 슬랙 Mode 를 유지하기 위한 전압 범위는 전류의 경우와는 달리 매우 좁다. 일반적인 일렉트로 슬랙 용접의 전압 범위는 24 - 28 V 이다.

저 전압에서는 전극이 모재에 접촉되어 단락 현상이 발생하며 고전압에서는 Arc 가 발생하게 되어 정상적인 일렉트로 슬랙 용접 Mode 를 얻을 수 없게 된다.

3.2. 용접 속도의 영향

용착률은 용접 속도의 변화에 의해 일정한 경향을 나타내지 않으며 용입 깊이는 용접 속도의 증가에 따라 증가하게 된다. 용착금속(Deposition metal) 두께는 감소하게 된다. 이는 용접 속도가 증가함에 따라 스트립 전극이 불충분하게 열을 받은 슬랙에 접촉하기 때문이다 희석률은 용접 속도가 증가할수록 급격히 증가하는 것을 알 수 있었다

3.3. 스트립 전극의 두께 및 폭의 영향

스트립 두께 0.4 mm 와 0.5 mm 전극을 사용하여 실험한 결과 0.4 mm 스트립에서 생성되는 저항열이 0.5 mm Strip에서 발생하는 열보다 크므로 동일한 돌출길이(Stick-out)의 경우 용착률이 증가하게 된다. 희석률은 스트립 두께가 두꺼울 경우 크게 증가하는 것을 알 수 있었으며 용입 깊이는 동일한 단위 폭당 용접 입열 에서는 스트립 두께가 두꺼울 때 더 깊은 것을 알 수 있었다.

스트립 폭의 변화에 따라 용착률은 스트립 폭과 비례하여 급격히 증가하며 희석률은 감소하는 경향을 보인다. 아울러 스트립 폭이 넓을수록 비드의 접촉각이 증가하게 되므로 충분한 Overlap 을 해야 한다는 것을 알수 있었다.

3.4. 용제 깊이 영향

용제(Flux)의 선택은 최종 용접 품질을 좌우하는 매우 중요한 용접변수로써 실험에서는 용제 깊이를 10, 15, 20, 25 mm 를 선택하여 실험한 결과 용제 깊이가 15 mm 일때 용착률이 가장 높은것으로 나타났다. 이는 용제 깊이가 얇으면 생성되는 슬랙량이 적으므로 스트립의 용융이 빨리 이루어지지 못하기 때문이며 또한 지나치게 용제 깊이가 깊으면 용융 슬랙 형성에 많은 에너지가 소요되고 비드 주위의 비 용융 슬랙이 잔류 함으로써 에너지 손실이 생기기 때문이며 비이드 형상의 결과에서 용제 깊이가 10 mm 에서 25 mm 로 깊어질수록 용접 비드폭이 넓어지는 것을 알수 있었다. 이러한 현상은 용융 슬랙이 많이 형성된 경우 용융 금속의 표면 장력이 상대적으로 작아지기 때문으로 생각된다.

3.5. 자장의 영향

스트립 폭이 넓을 경우 용접중 생성되는 Weld pool 에 의해 양 끝단에 Undercut 이 발생하게 되는데 이를 방지하기 위해 용융물의 방향과 형상을 제어하기 위하여 외부로 부터의 자장 제어 방식을 적용하여 실험한 결과 슬레노이드에 4 Amps 의 전류를 통전 할 경우 비드 폭은 약 5 % 정도 넓어지며 특히 오버랩 부위의 결함 발생과 밀접한 상관 관계를 갖는 접촉각(Edge angle)은 약 10 °정도 작아지는 효과를 얻을수 있었다.

4. 결 론

일렉트로 슬랙스트립 클래딩의 용접 변수 영향 실험 결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 가. 용접전류가 높을수록 슬랙의 박리성이 나빠지며 희석률은 감소하고 용착률은 증가한다.
- 나. 용접전압이 높을수록 슬랙의 박리성이 나빠지며 희석률은 감소하고 용착률은 증가한다.
- 다. 용접속도가 증가할수록 용착률은 변화가 없으며 희석률은 급격히 증가한다.
- 라. 스트립 전극 두께가 증가할수록 동일 돌출 길이의 경우 용착률은 감소하여 희석률은 증가한다.
- 마. 스트립 폭이 클수록 용착률은 증가하며 희석률은 감소한다.
- 바. 용제 깊이는 용착률과 희석률에 아무런 영향을 주지 않는다.
- 사. 자장을 걸면 폭 150 mm 스트립의 경우 비드폭은 약 5 % 증가하며 접촉각은 약 10 °정도 작아진다.
- 아. 적정 용접 변수는 다음과 같다.

Strip size (mm)	Current (A)	Volt (V)	Travel speed (cm/min)	Flux depth (mm)	Magnetic control
30 x 0.5	450 - 550	24 - 26	80 - 140	15	—
60 x 0.5	950 - 1100	24 - 26	80 - 140	15	—
90 x 0.5	1400 - 1550	24 - 26	80 - 140	15	N.S pole 3 Amps
150 x 0.5	2400 - 2600	24 - 26	80 - 140	15	N.S pole 4 Amps

5. 참고문헌

- 1) Electroslag strap cladding, commission XII - Subcommission A.
- 2) Welding technology in Japan, 1982. Welding Research Council, N.Y., P16-22.
- 3) 안희성 "원자력 압력용기 일렉트로 슬랙스트립 피복용접검사 기술개발"
KINS/GR-004, JULY, 1990
- 4) 안희성 "원자력 압력용기 일렉트로 슬랙스트립 피복용접검사 기술개발"
KINS/GR-022, JUNE, 1991
- 5) Keizo ohnishi et al ; "Study on the stainless steel overlay welding process of superior resistance to disbonding" JWS Vol. 1 - 3 oct., 1983.