

일렉트로 슬래 스트립 용접에서의 Flux 조성 최적화 연구

한국원자력안전기술원 : *고원영, 안희성
전북대학교 : 정세희

1. 서론

일렉트로 슬래 스트립 크래딩을 만족하게 수행하기 위하여는 전압, 전류, 용접속도, 용접두께, flux 등 많은 용접변수를 최적화시키는 것이 중요하다. 이 중 올바른 flux의 선택은 최종 용접품질을 좌우하는 중요한 변수중의 하나이다.

따라서 만족할 만한 용접을 달성하기 위하여 flux가 녹은 slag은 용착금속보다 낮은 용해범위와 밀도를 가져야 하며, 용착금속의 화학성분의 조성 및 건전성과 비이드형성에 적당한 점도를 가져야 한다. 또한 slag은 용착금속의 조성, 미세구조 및 성질에 영향을 주는 특별한 화학적 첨가물을 갖고 있어야 하며 용고된 슬래는 용착금속으로부터 박리가 쉬워야 한다.

이와 관련하여 weld flux의 물리적, 화학적 거동에 관한 특정한 합금 첨가물에 대한 영향은 많은 연구자들의 연구대상이 되고 있으며 이는 새로운 공학적인 요청에 의한 것으로서 용접부의 금속 조직 및 기계적 성질의 개선을 위한 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 특정한 화학성분을 조합함으로써 일렉트로 슬래 용접을 위한 최적의 flux 조성을 결정하기 위한 것이다.

2. 실험절차 및 방법

가. 재료

본 실험에 사용된 모재는 일반 탄소강 ASTM A36이었으며 용접재료는 오스테나이트 스테인레스 강 (스트립 폭 : 25mm)으로서 그 화학조성은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical compositions of material used (%)

material	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	V	Nb
A 36	0.22	1.08	0.018	0.036	0.25				
Strip (ER 308L)	0.012	1.64	0.013	0.001	0.37	13.12	23.86	0.061	0.15

일렉트로 슬래 용접을 위한 최적의 flux 화학조성을 결정하기 위하여 80종류의 flux 화학성분 조합을 하였다. flux의 조합은 각 성분을 다음의 범위내에서 적절히 조절하였다.

CaF ₂	40 - 100 %
SiO ₂	5 - 40 %
CaO	0 - 25 %
Al ₂ O ₃	0 - 45 %
TiO ₂	5 - 25 %
Cr ₂ O ₃	5 - 25 %

나. 용접

일렉트로 슬래크 용접을 위한 장비는 power source, controller, welding head, manipulator를 사용하였으며 25mm strip을 사용하였으므로 power source 1대만 사용하였고 자장 control이 필요치 않아서 magnetic controller는 사용하지 않았다.

다. 시험평가

각각의 용접부에 대해 시험평가한 사항은 다음과 같다.

- o Slagging mode의 안정성
- o 박리성 (Detachability)
- o 비이드 표면 (Bead surface)
- o 유해가스 (Toxic gas)
- o 용착금속의 건전성 (Soundness)
- o 용착금속의 청정도 (Cleanliness)
- o 용접부 화학성분 (Chemical composition)
- o δ -Fe

3. 실험결과 및 고찰

가. Slagging mode의 안정성

Flux의 fluoride함량에 따라 flux의 전기적 특성이 나타나는데 기본적으로 CaF_2 성분이 50%이상에서 arc mode에서 slag mode로 변화하였고 slag 안정성을 위하여 CaCO_3 를 첨가하였는데 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ 의 화학반응으로 CO_2 gas의 evolution에 의하여 용접중 slag가 부글 부글 끓는 현상을 보였다. 따라서 CaO 를 CaCO_3 대신 첨가하므로써 slag가 안정되었다. Flux중에 fluoride함량의 변화에 따른 flux의 전기적 특성은 그림 1과 같이 fluoride 양이 47-78%의 범위에서 slag mode가 되었다. 그 이상에서도 slag mode를 가지긴 하나 electrode의 끝과 molten slag 표면 사이에서 간간히 노출 arc현상이 발생하였고 45% 이하에서는 잠호 arc현상에 의해 spatter가 튀는 등 안정되지 못했다. 그림 2는 flux의 CaF_2 함량에 따른 용융 slag의 점도로써 fluoride 성분이 많을수록 점도는 낮아져서 용융 slag가 흘러내리는 현상이 발생하여 불안정한 용접이 되었다. 따라서 slag의 유동성면에서 CaF_2 성분은 70% 이하가 요구되었다.

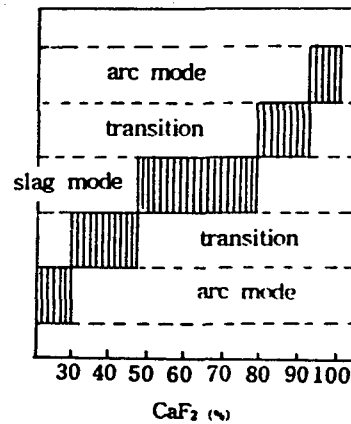


그림 1 Flux에서 mode에 대한 CaF_2 함량의 영향

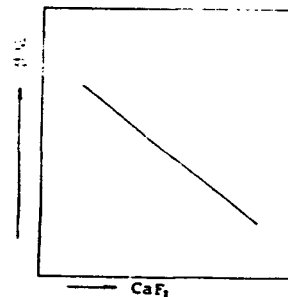


그림 2 Flux에서 점도에 대한 CaF_2 함량의 영향

나. 박리성 (Detachability)

박리성은 슬래크 금속간의 열팽창 계수의 차에서 오는 것으로 그 차가 클수록 박리성은 좋아진다. 실험을 통하여 CaCO_3 의 첨가시엔 반드시 TiO_2 를 첨가하여야 박리성이 좋았으며 CaCO_3 가 없는 flux들은 일반적으로 박리성이 양호하거나 우수하였다.

다. 비이드 표면 (Bead surface)

일반적으로 CaF_2 의 함량에 따라 변화했는데 100% CaF_2 flux를 사용한 경우는 용접부가 돌돌 말리는 현상을 보였고 CaF_2 의 함량이 점점 낮아질수록 안정되어 70%에서 45%에 이르기까지 약간의 slag의 혼입을 보였으나 비교적 아름다운 형상을 나타내었다.

이는 slag의 안정성에서 보인 바와 같이 flux에 함유되어 있는 CaF_2 함량의 변화에 따라 용접전류에 미치는 효과로써 CaF_2 함량이 증가할수록 전류가 증가하고 용융 slag의 전기전도도도 증가하여 용융이 잘되기 때문이다.

라. 유해가스 (Toxic gas)

용접중 유해가스는 용접사에게 치명적인 것으로 CaCO_3 성분이 첨가된 flux는 CO_2 gas의 evolution으로 유해가스가 발생하였고 MgO 를 첨가한 flux 역시 Mg 에 의한 화학냄새가 났다. CaO 성분을 첨가한 flux 만이 독냄새가 없음을 알 수 있었다. 기타 toxic gas발생은 flux를 fused type으로 제조하므로써 해결될 수 있을 것으로 생각된다.

마. 건전성 (Soundness)

CaF_2 성분이 많은 flux는 용접부가 돌돌 말리어 모재부분에 notch를 만드는 경향이 있었으나 기타 모든 용접부는 결함이 발생되지 않고 건전하였다. CaF_2 양과 모재회석도 (BMD)의 관계에서는 CaF_2 의 양이 50-60% 범위일때 가장 많고 그 이상이나 이하에서는 감소하는 경향을 보였다. 이는 용융슬래크의 전기적 특성과 관계있는 것으로 용융슬래크이 충분히 slag mode가 이루어지지 않을 때 일일전달이 모재에 충분히 이루어 지지 않기 때문이다. 잠호아크 용접법에 의한 cladding시엔 모재회석도(BMD)가 18%이나 일렉트로슬래크 cladding은 모재회석도(BMD)가 8%로 아주 낮아서 좋은 품질의 용접부를 얻을 수 있다.

바. 용접부 청정도 (Cleanliness)

용접부 청정도는 용접중 molten slag과 molten metal간의 화학작용에 의하여 결정되는 것으로서 flux성분중에 SiO_2 가 고온에서 불안정하여 분리되어 free oxide가 용접부속으로 침투하여 비금속산화물을 형성한다. 또한 SiO_2 와 Al_2O_3 의 증가 즉, 염기도의 감소와 함께 용접부의 산화개재물이 증가함을 보였는데 이는 SiO_2 가 고온에서 불안정하여 분리되므로써 free oxide가 용접부 속으로 침투하여 비금속 산화물을 형성하였기 때문이다.

사. Flux 성분과 용접부 화학성분 (Chemical composition)

CaF_2 가 50-60% 일때 용접부의 탄소함량은 0.036-0.041%의 범위이었으며 그 이상 및 이하에서는 용접부의 탄소함량이 감소하였다. 이는 모재회석도(BMD)와 잘 관련된다. 즉, 모재회석도가 클수록 모재로부터 성분이동이 잘 발생한다. 또 flux에 SiO_2 성분의 증가와 함께 용접부에서의 Si성분은 증가하는 반면 C, Mn성분은 감소하는 경향을 보였다. flux에 SiO_2 를 증가시키면 slag에 MnO , FeO 가 증가하고 용접부에는 Si와 O가 증가하고 Mn과 C는

감소한다. Flux에 MnO를 증가시키면 slag에는 SiO₂와 FeO가 증가하고 용접부에는 Mn과 O가 증가하고 Si와 C가 감소한다.

아. Flux 성분별 δ-Fe

관련 code에서는 용접부의 δ-Fe값으로 5-15%를 요구하고 있는데 flux에 Cr₂O₃가 증가할수록 용접부의 Cr 양은 증가하고 Cr 당량이 증가하므로써 δ-Fe가 증가하는 경향을 보였다.

4. 결론

- 가. 최적의 flux 조성은 CaF₂ 50wt%, Al₂O₃ 22wt%, SiO₂ 13wt%, MgO 15wt% 로 얻어지게 되었다.
- 나. Flux 성분으로써 CaCO₃의 사용은 CO₂ gas의 evolution때문에 용융 slag 안정면에서 좋지 않았다.
- 다. 용접부 청정도 및 유해가스 측면에서 SiO₂를 15wt%이상 첨가하면 SiO₂가 고온에서 쉽게 분해되어 free oxide에 의하여 용접부에 산화개재물이 형성되고 SiO₄에 의한 유해가스때문에 좋지 않았다.
- 라. 용접중 MgO에 의한 냄새를 제거키 위하여 MgO 대신 CaO를 같은 양만큼 대신 첨가하여야 한다.
- 마. Flux는 반드시 fused type으로 제조한 것의 사용이 권고된다.

5. 참고문헌

- 가. Y. K. Oh and Develton, 'Electroslag Strip Cladding of Stainless Steel with Metal Power Additions'
- 나. Charles A. Natalie and David L. Olson, 'Physical and Chemical Behavior of Welding Fluxes'
- 다. K. C. Mills and B. J. Keens, 'Physicochemical Properties of Molten CaF₂-based Slags'
- 라. J. H. Develton, A. Koch and E. N. Buckley, 'Unique Application Introduces Electroslag Cladding to U.S. Industry'