

내열 스테인레스강의 일렉트로슬래그 오버레이 용접

Electroslag overlay welding of heat-resistant stainless steels

정 재영*, 안 상호

포항산업과학연구원 재료.공정연구센터

1. 서론

일반적으로 고온에 노출되는 설비의 장수명화는 우수한 내열, 내마모 그리고 내산화성등을 동시에 갖춘 재료의 사용을 요구한다. 특히 제철소 연주기의 연주 가이드 롤은 주편 생산성과 실수를 측면에서 매우 중요한 부품이다. 연주롤의 손상은 고온의 주편과의 접촉에 의한 열피로 균열, 열간마모, 롤 변형 그리고 몰드 powder 에 의한 부식등에 의해 발생된다. 일반적으로 연주롤은 재질요구 특성만족, 수명증대 그리고 경제적인 운용을 동시에 만족시키는 활용방안으로 내열, 내마모 및 내산화성이 우수한 용접재를 피복하는 오버레이 용접기술에 의해 제조되고 있다. 이러한 피복기술은 전세계적으로 거의 모든 제철소의 연주롤에 응용되고 있으며 롤 재료비의 절감과 다양한 재료의 적용이 용이하고 롤 수명 및 재사용성을 증가시킬 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서는 기존 상업적 용접공법 중에서 용접효율이 가장 높은 것으로 알려진 일렉트로슬래그 용접법(electroslag welding process)으로 내열, 내마모 및 내산화성이 우수한 400 계 스테인레스강을 연주롤에 피복하는 기술을 개발하는데 그 목적이 있다. 일렉트로슬래그 오버레이 용접기술 및 용접재료(스테인레스강 스트립과 플럭스)의 개발은 연주롤등과 같은 제철설비 부품의 용접생산성을 획기적 개선할 수 있으며 우수한 품질의 용착금속을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 또한 일렉트로슬래그 오버레이 용접기술 개발은 내열용 롤 부품 뿐만 아니라 화학용기 내벽, 원자력 발전소의 경수로 압력용기등과 같은 제철, 화학, 가스 그리고 석유산업 설비에 사용되는 고부가가치 재료의 오버레이 용접에도 널리 응용될 수 있다.

2. 연구방법 및 내용

본 연구에서는 먼저 일렉트로슬래그 오버레이 용접(electroslag overlay welding)을 수행하기 위하여 일렉트로슬래그 스트립 용접기를 자체적으로 조립 및 가공하여 제작하였다. 본 연구에서는 일렉트로슬래그 오버레이 용접에 사용되는 기존 스테인레스강 스트립(strip)과 용접용 플럭스(flux)에 대해 특성분석을 수행하고 소결 및 파쇄공정을 통해 자체 제조된 플럭스와의 차이점을 평가하였다. 그리고 일렉트로슬래그 오버레이 용접에서 용착금속(예를 들면 용착률, 비드폭, 용입깊이 etc.)과 플럭스(플럭스 소모율, 슬래그 표면상태 etc.)에 미치는 용접조건의 영향이 정량적으로 평가되었다. 또한 일렉트로슬래그 오버레이 용접조건에 따른 용착금속의 성분변화를 통하여 용착층의 합금화에 미치는 영향을 체계적으로 평가하였다. 그리고 RIST 에서 개발한 오버레이 용접용 내열재질인 HCW423 스테인레스강의 판재가공에 필요한 재결정온도와 연화온도를 도출하기 위하여 경도, 인장 및 열팽창시험을 수행하였다.

그러나 본 발표에서는 주로 용접조건에 따른 용착금속의 특성과 성분변화를 중심으로 설명하고자 한다. 용접조건(예를 들면 전압, 전류, 용접속도, 극성 etc.)에 따른 용접성 평가는 폭 25mm 의 430 계 스테인레스강 스트립을 이용하여 수행되었다. 용접전압은 26-38V, 용접전류는 600-1000A, 그리고 용접속도는 7-20ipm 범위에서 각각 설정되었다. 극성은 역극성과 정극성으로 나누어진다.

3. 연구결과

일렉트로슬래그 오버레이 용접에서 용접전압에 따른 용착금속의 표면특성은 전압이 가장 낮은 26V에서 용접한 표면이 가장 우수하며 전압이 38V까지 증가함에 따라 표면산화 정도가 점차 증가하는 것으로 나타났다. 용접전압이 증가함에 따라 용접비드의 폭은 점차 감소한다. 또한 용입의 최대깊이는 26V와 38V의 0.58-0.59mm에 비해 29-35V의 1.15-1.48mm로 상대적으로 큰 값을 갖는다. 또한 전압이 증가함에 따라 단위 길이당 용착금속의 양은 감소하고 플럭스 소모량은 소량 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 단위 용착금속당 플럭스 소모율은 다소 증가한다(Fig.1).

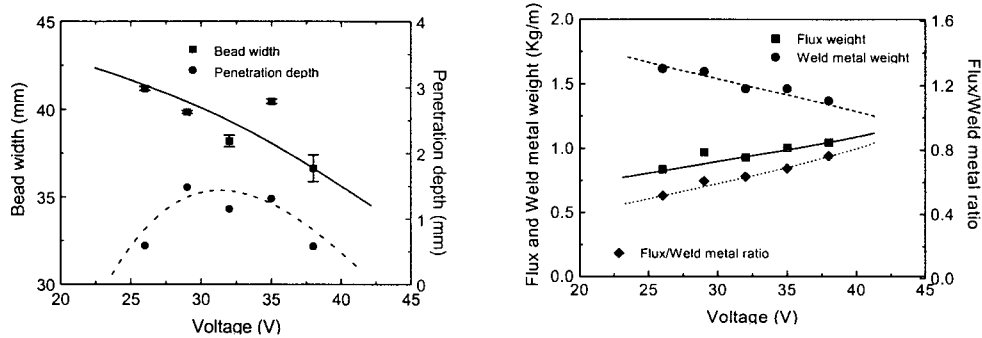


Fig.1. Variation of welding parameters as a function of voltage.

용접전류의 크기에 따른 용착금속의 표면상태는 전류가 가장 낮은 600A에서 용착한 표면이 가장 우수하며 용접전류가 1000A까지 증가함에 따라 표면산화는 완만하게 심해진다. 용접비드의 폭은 전류의 크기가 증가함에 따라 점차 증가하는 경향을 보이지만 용입의 정도는 약 700A까지는 크게 증가하다가 700A 이상에서는 거의 일정해지는 경향을 보인다. 또한 전류가 증가함에 따라 단위 길이당 용착금속량은 증가하고 플럭스 소모량도 소량 증가하는 것으로 나타났다. 반면에 단위 용착금속당 플럭스 소모율은 다소 감소하는 경향이 있다(Fig.2).

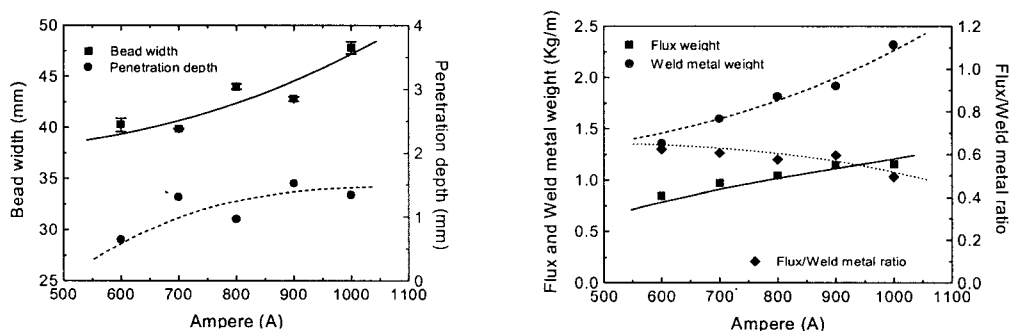


Fig.2. Variation of welding parameters as a function of current.

용접속도에 따른 용접비드의 외관변화는 용접속도가 다소 낮은 7~10ipm에서 건전한 표면상태와 비드 형상을 보여준다. 그러나 15~20ipm의 용접속도에서는 표면이 매우 거칠 뿐만 아니라 표면산화가 다소 발생하고 비드 형상도 매우 불규칙적으로 왜곡되어 있음을 관찰할 수 있었다. 또한 15~20ipm의 시편은 undercut이 발생하는 경향이 매우 뚜렷하였다. 용착금속의 폭은 용접속도가 증가함에 따라 감소하는 경향이 매우 뚜렷하게 나타나며 용입의 깊이는 10ipm에서 증가하다가

그 이상에서는 매우 완만하게 감소하는 경향을 보인다. 한편 단위 길이당 용착금속량과 플럭스 소모량은 용접속도가 증가함에 따라 크게 감소한다. 반면에 단위 용착금속당 플럭스 소모율은 매우 완만한 감소를 보이는 것으로 나타났다(Fig.3).

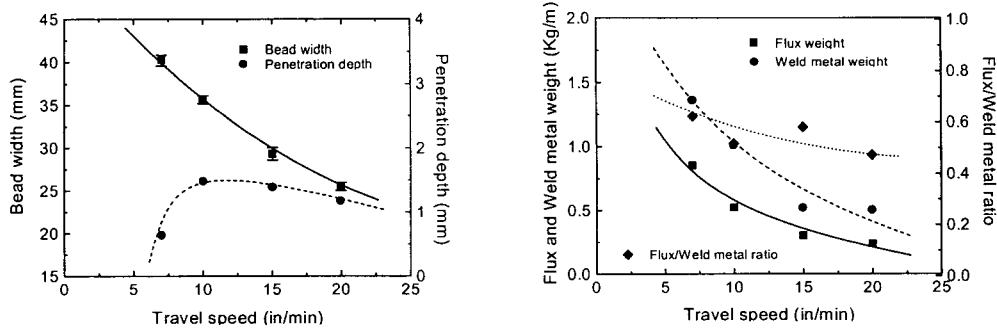


Fig.3. Variation of welding parameters as a function of traveling speed.

또한 용착금속의 특성과 플럭스 소모량은 극성에 의존한다. 정극성인 경우의 용접비드 폭은 역극성에 비해서 상대적으로 좁아질 뿐만 아니라 용착금속의 모양도 매우 불룩해진다. 그리고 용입 깊이도 정극성의 경우가 다소 증가한다. 단위 길이당 용착금속량과 플럭스 소모량은 역극성(1.36kg/m, 0.85kg/m)에 비해 정극성(1.62kg/m, 0.92kg/m)인 경우가 크다. 그리고 단위 용착금속당 플럭스 소모율도 0.624 에서 0.568 로 정극성의 경우가 다소 우수하다. 그러나 일반적으로 정극성에서는 용접작업이 어려워 주로 역극성에서만 작업이 가능하다.

다양한 용접조건에 따른 용착금속 및 플럭스의 특성이 각각의 용접조건 변수에 독립적으로 의존하는 것처럼 보인다. 그러나 본 연구에서는 공급열량(heat input)이라는 변수를 이용하여 용착금속과 플럭스의 용접특성에 미치는 영향을 일반화시킬 수 있었다.

용착금속의 화학성분은 모재와 전극재의 성분이 고정되어 있는 경우에 전극재와 모재가 얼마나 혼합정도를 나타내는 인자인 희석률에 의존할 것이다. 용착금속의 합금성분은 모재와 스트립의 합금성분과 측정된 희석률을 기준으로 하여 Fig.4 와 같이 실측치와 계산한 결과를 비교하였다.

$$C_w = \frac{C_s \times (100 - D)}{100} + \frac{C_M \times D}{100} \quad (1)$$

단 C_s 는 스트립에서의 합금성분량, C_M 은 모재에서의 합금성분량, C_w 는 용착금속에서의 합금량 그리고 D 는 모재에 대한 백분율의 희석률이다. C 의 경우에는 희석률에 따른 성분 변화량이 계산치와 거의 일치한다. 그러나 Cr, Ni, 그리고 Mn의 경우에는 합금성분의 변화량의 기울기는 거의 일치하지만 절대값을 일정량만큼 이동한 상태에 있음을 알 수 있다. 이 결과는 스트립과 모재의 용융에 의해 액상의 금속 용융체가 용착금속으로의 혼합과정에서 일정량만큼 소실되었음을 의미한다. 그리고 Cr, Ni 그리고 Mn의 경우에는 용착금속으로의 혼합과정에서 일정량만큼 제거된 상태에서 용착된다. 이러한 특성은 통상적으로 합금벡터(alloying vector)라는 용어로 지칭되며 Cr, Ni 그리고 Mn의 경우에는 모두 “-” 부호를 갖는다. 이러한 합금원소의 기준점 이동은 플럭스의 역할이나 용융시에 발생하는 화학반응에 의해 일어나는 것으로 판단된다. 그리고 용착금속중의 Si, Al, P 그리고 N의 경우에는 이론적인 값과 일치하지 않을 뿐만 아니라 항상 일정량만큼 이동한 것도

아니다. 이 결과는 용착금속의 희석률에 따라 alloying vector의 크기가 달라짐을 의미한다. Si, Al과 P의 alloying vector는 "+" 부호를 갖으며 N의 경우에는 "-" 부호를 갖는다.

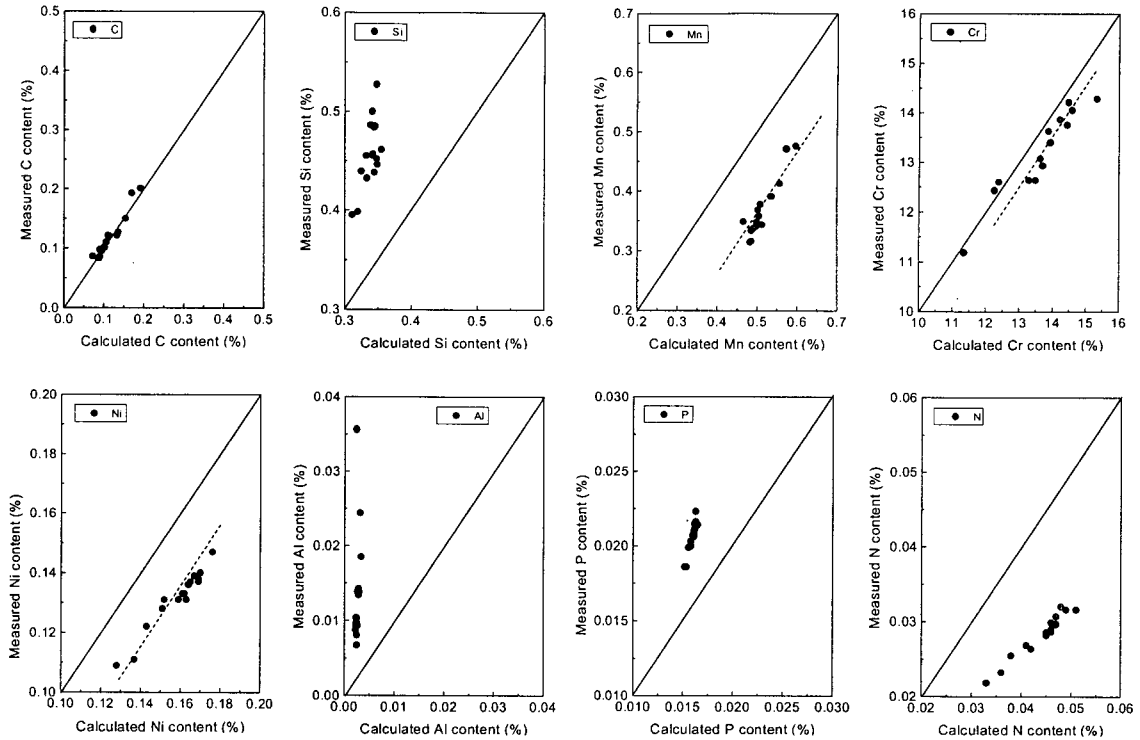


Fig.4. Comparisons of the measured alloy composition and the calculated value of weld metal in electroslag overlay welding.

4. 결론

일렉트로슬래그 오버레이 공법에서, 용접전압, 전류, 용접속도 그리고 극성과 같은 용접조건에 따른 용착금속의 외관, 용착률, 플럭스 소모량, 용입의 깊이, 용접비드의 폭 및 육성층의 두께 그리고 희석률의 변화를 정량적으로 측정하였다. 또한 이러한 측정결과는 heat input에 의해 일관성 있는 관계를 얻을 수 있었다. 여러가지 용접조건에 따른 용착금속의 화학성분 변화가 희석률에 근거하여 분석되었다. C의 경우에는 희석률에 이론적인 예측과 잘 일치하며 Cr, Ni 그리고 Mn 함량은 일정량만큼 이동하였다. 그러나 Si, Al, P 그리고 N의 경우에는 희석률에 따라 alloying vector의 크기가 변화하였다.

후기

본 연구는 산업자원부의 공업기반기술 개발사업의 일환으로 수행되었으며 용접봉 전문제조업체인 주식회사 한창의 재정적인 지원에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] R.Demuzere : *Submerged Arc and Electroslag Strip Cladding*, Soudo Metal Co., (1994).
- [2] J.Z.Briggs and T.D.Parker : *The Super 12%Cr Steels*, Climax Molybdenum Co., (1965).
- [3] S.G.Forsberg : *Welding Journal*, Aug. (1985) 41.