12.5mm 두께 600MPa 급 세립형 고강도 강 아크 용접부 특성

Characteristics of a 12.5 mm thick 600MPa grade Fine Grained Steel's Arc Weldments

윤 중근*, 박 태동, 김 광수
현대중공업(주) 산업기술연구소, 울산시 동구 전하동 1

1. 서 론

강재의 미세 조직이 미세해 질수록 강재의 강도 및 저온 인성 특성은 우수하며, 합금의 첨가없이 고강도를 얻을 수 있기 때문에 기존 합금첨가형 고강도 강의 사용상 난점인 용접성을 개선할 수 있다. 최근 포항제철(주)에서 저합금 강의 미세 조직을 5μm 으로 제어함으로써 인장 강도 600MPa을 확보한 세립형 구조용 고강도 강(이하, 세립강)을 개발하게 되었다. 세립강을 사용하면 구조물 제작시 경량화 뿐 아니라 용접성이 개선되어 생산성을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만, 구조물 제작시 용접을 실시하면 용접 열영향부(HAZ)에서 세립화된 결정립이 용접 열로 인해 결정립의 조대화가 발생되어 세립강 고유의 특성인 고강도 및 고인성은 소실된다. 따라서, 이를 제어할 수 있는 새로운 용접기술의 개발은 세립강의 활용 측면에서 핵심 기술이 될 것이다. 한편, 새로운 용접 기술이 개발이 되기 전에 혹은 상용화되기 전에 기존 용접 시공 방법을 적용하여야 하므로 기존 용접 공정 적용에 따른 세립강의 용접부 특성 및 용접부 성능 향상을 위한 노력이 필요하였다.

본 연구에서는 최근 개발된 12.5mm 두께의 600MPa급 세립강을 대상으로 일반 FCA 및 SA 용접기법을 적용하여 세립강 용접부의 특성을 평가함으로써 용접부의 문제점을 도출하고, 이를 해결할 수 있는 방안을 생산성 향상 측면에서 예컨대 2전극 고속 용접기법의 적용 방안을 도출하고자 하였다.

2. 실험 방법

모재는 포항제철(주)에서 현장 생산 조건(mill scale)으로 제조한 12.5mm 두께의 강재로, 주요 화학 성분은 0.15C-0.46Si-1.46Mn-0.012Ti-0.013Nb 이었다. 모재의 미세 조직은 입도가 5~8㎛인 polygonal 페라이트와 베이나이트로 구성되었으며, 인장 강도는 약 620MPa 이었다.

입열량에 따른 용접부 특성 평가를 위해서는 개선 형상을 single bevel로 하여 맞대기 FCA 용접을 실시하였다. 용접재료는 상용의 E81T1-K2를 사용하였으며, 용접 입열은 6~24 kJ/cm 로 변화시켰다. 한편, 현장에서 생산성을 고려하기 위하여 2전극 FCA 와 SA 용접기법의 적용을 검토하였다. 2전극 FCA 용접을 위해 320~330A 전류와 33~34V 전압 조건에서 용접속도를 50~70mm/min. 으로 하였다. 용접시 두 전극간 거리를 25mm와 50mm로 변화시켜 1pool과 2pool로 구분하였다. 그리고 2전극 SA 용접은 600~900A 전류와 34~40V 전압 및 분당 약 1.2m의 속도로 용접하였다. 용접 재료는 F7A6/EH-14를 사용하였으며, 두 전극간 거리를 25mm로 고정해 1pool로 용접하였다. 용접부 특성은 transverse 인장 시험, 용착부 및 HAZ에서의 충격 시험(@0℃, -20℃), 1/4t 지점에서의 경도 시험으로 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

1) 입열량에 따른 FCA 용접부 특성

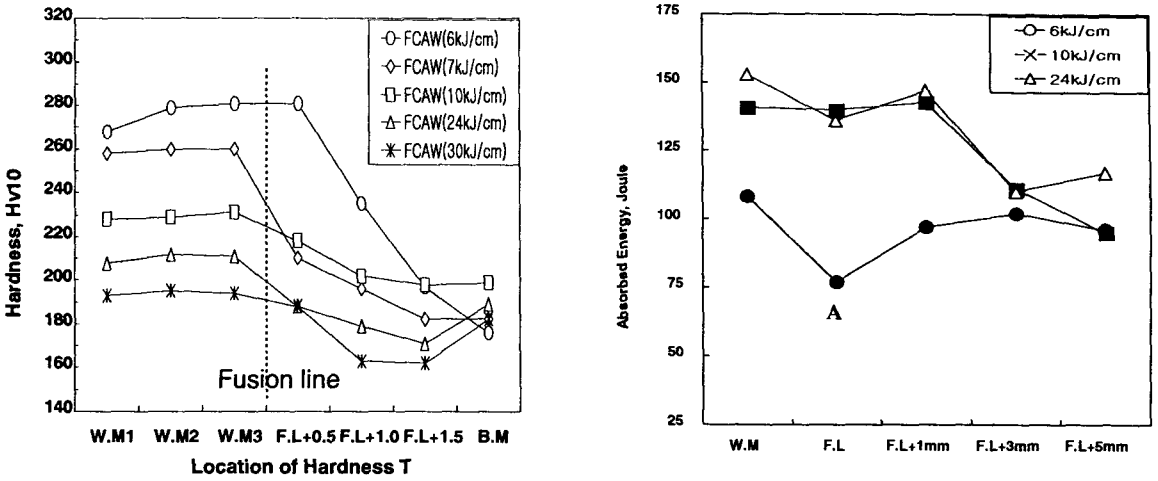
입열량에 따른 FCA 용접부의 경도분포를 Fig. 1 (a)에 도시하였다. 용접부의 경도분포는 전반적으로 입열량이 증가됨에 따라 감소되고 있으며, 입열량이 10kJ/cm 이하인 경우에는 열영향부에서 경화가 발생되고 있으나 그 이상에서는 연화 현상이 발생되었다. 미세 조직 관찰 결과, 10kJ/cm의 입열량인 경우에는 polygonal 페라이트 입도 크기는 모재와 유사한 크기이었으며, 약 30kJ/cm의 입열량인 경우에는 다소 페라이트 입도가 성장되었다. 용접부의 transverse 인장 시험 결과, 공히 600MPa 이상의 인장강도를 나타내었다. 그러나 10kJ/cm 이하 입열량으로 용접된 시험편은 모재에서 파단이, 24kJ/cm 입열량로 용접된 FCA 용접부는 연화현상으로 인하여 열영향부에서 각각 파단되었다. 세립강 용접부의 인성 평가 결과, 입열량에 상관없이 모든 FCA 용접부가 육상 구조물 용접 요구치인 0℃에서 min. 47 J을 전량 만족하였다. 용접입열량이 10kJ/cm 이상인 경우에는 fusion line 근처의 열영향부에서의 인성 값은 모재보다도 오히려 높은 값을 보여 주고 있는 것이 특징이며, 6kJ/cm 의 저입열 FCA 용접부에서는 10kJ/cm과 24kJ/cm 입열 용접부에 비해 충격 인성이 크게 저하하였다.

2) 2전극 FCA 및 SA 용접부 특성

그림 2 (a)는 2전극 FCA 및 SA 용접부의 경도 분포를 보여주고 있다. 용접속도가 분당 1.2m인 고속인 2전극 1풀 SA 용접부를 제외하고는 모든 용접 조건에서 HAZ 연화 현상이 발생하였다. 2전극 용접부의 transverse 인장 시험 결과, 2전극 2풀 FCA 용접부를 제외하고는 600MPa 강도 기준을 만족하였다. 인장 시험후 파단 위치는 FCA 용접부는 용착 금속에서 공히 파단되었으며, SA 용접부는 HAZ에서 파단되었다. 파면 관찰 결과, FCA 용접부는 용착 금속내에 다량의 결함으로 인해 용착 금속에서 파단되었음을 알 수 있다. 그림 2 (b)는 2전극 SA 용접부의 온도 및 노치 위치에 따른 충격 인성 분포를 나타낸 것으로, 전반적으로 fusion line에 인접될수록 인성 값은 저하되고 있으며 용착금속의 인성이 가장 낮다. 그러나 용접부는 0℃에서 최저 47 J의 충격 인성 조건은 공히 만족하였다. 따라서 이전극 고속 SA 용접기법은 열영향부의 연화를 배제할 수 있으며 용접부 물성도 만족시킬 수 있어 세립강에 대한 적정 용접기법으로 고려될 수 있다. 이에 대한 보다 체계적인 정립이 추진되어야 하겠다.

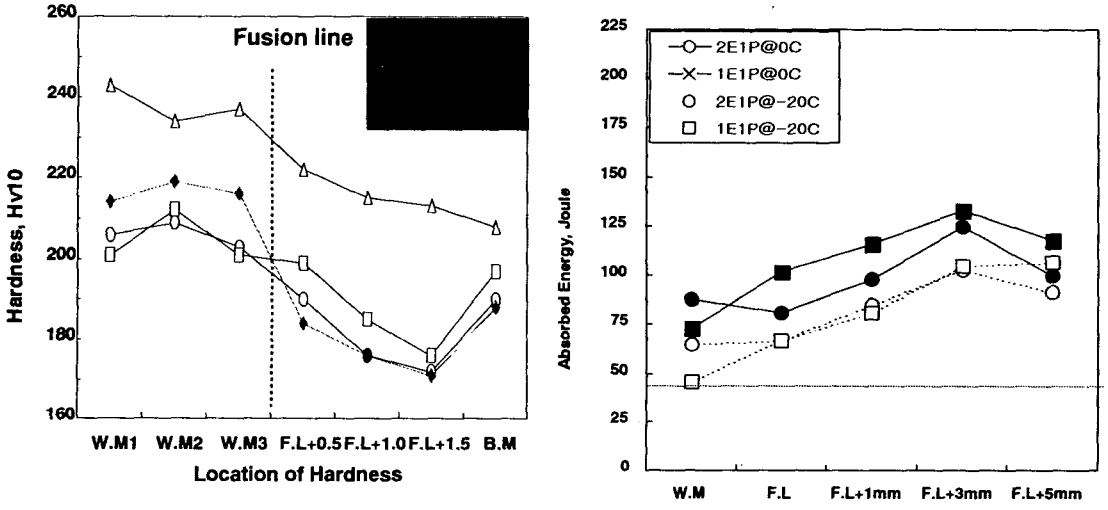
4. 결 론

1) 입열량에 따른 FCA 용접부 특성 평가 결과, 입열량이 10kJ/cm 이상 적용된 용접부에서는 연화 현상이 발생해 인장 시험시 HAZ에서 파단되었다.
2) 분당 1.2m의 용접속도를 가지는 2전극 SA 용접기법은 세립강 용접부의 연화현상을 배제시킬 수 있으며 용접부의 충격 인성 분포도 관련 육상구조물 규격을 만족시킬 수 있었다.



(a) Hardness (b) Charpy impact energy

Fig.1 Hardness and Charpy impact energy distribution of FCA weldment as a function of heat input



(a) Hardness (b) Charpy impact energy

Fig. 2 Mechanical properties of 2 electrodes FCA and SA weldments