600MPa급 세립형 고강도 강 용접부의 특성에 미치는 용접공정의 영향
Effect of Welding Process on the Characteristics of a 600MPa grade Fine Grained Steel Weldment

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

1. 서 론

강재의 미세 조직이 미세해질 수록 강재의 강도는 증가될 뿐 아니라 강재의 인성 특히 DBTT를 크게 저하시킬 수 있다. 조직 미세화는 합금첨가없이 고강도를 얻을 수 있기 때문에 기존 합금이 첨가된 고강도 강의 사용상 난점인 용접성을 해결할 수 있게 된다. 최근 포항제철(주)에서 저합금강의 미세 조직을 5μm 으로 제어함으로써 인장 강도 600MPa을 확보한 세립형 구조용 고강도강(이하, 세립강)을 실험실적으로 개발하였다. 세립강을 사용하면 구조물 제작시 경량화 뿐 아니라 용접성이 개선되어 생산성도 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만, 구조물 제작시 용접을 실시하면 용접 열영향부(HAZ)에서 세립화된 결정립이 용접 열로 인해 결정립의 조대화가 발생되므로 세립강 고유의 특성인 고강도 및 고인성은 소실된다. 따라서 이를 극복할 수 있는 새로운 용접기술의 개발은 세립강의 활용에 있어 핵심기술이 될 것이다. 그러나 새로운 용접기술이 개발이 되기 전에 혹은 널리 보급되기 전에는 세립강 일지라도 기존 용접시공방법을 적용하여야 한다. 이 경우에는 세립형 고강도 구조용 강의 용접부 성능을 정확하게 평가하여야 하고, 그에 따라 용접부 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 도출할 필요가 있다. 이를 토대로 세립형 고강도 구조용 강의 구조물 적용 기준을 설정하여야 한다.

본 연구에서는 12mm 두께의 600MPa급 세립강에 대한 일반 용접부 특성을 평가하고자 현재 국내 중공업 분야에서 적용되고 있는 FCAW와 SAW 시공법을 적용하여 용접부의 강도 및 인성 평가를 실시하였다. 이를 토대로 세립강 용접부의 물성을 확보할 수 있는 용접공정을 검토하고자 하였다. 검토 대상 공정은 레이저 용접과 저입열 FCAW 공정이었다.

2. 실험 방법

모재는 50mm 두께의 일반 API 65 강(0.1C-0.26Si-1.5Mn-0.016Ti-0.046Nb-0.053V)을 약 800°C에서 3단 압연하여 12mm 두께로 제조한 후 10℃/sec.의 속도로 냉각시킨 강으로 실험실에서 제조하였다. 이 세립강의 미세조직은 입도가 평균 5㎛인 polygonal 페라이트와 베이나이트로 구성되어 있으며, 인장 강도는 약 690MPa 이고 충격인성은 -20℃에서 100 Joule 이상을 확보하고 있었다. 용접부 특성 평가를 위하여 개선 형상을 single bevel로 하여 맞대기 용접을 실시하였다. 용접재료는 상용의 600MPa급 용접 재료를 사용하였으며, 용접은 FCAW와 SAW 으로 일차 실시하였다. 적용된 용접 입열은 약 10~30 kJ/cm 이었으며, 저입열 용접을 실시하고자 와이어 첨가형 레이저 용접과 10 kJ/cm 이하의 FCAW을 적용하였다. 레이저 용접은 최대 출력 5kW CO_2 레이저을 이용하여 사전에 정립된 용접조건과 Y 개선형상을 적용하여 실시하였다. 레이저 용접은 총 3 패스로 실시하였는데 적용된 겉보기 입열량은 약 6kJ/cm 이었다. 레이저 용접의 경우 초층은 제살용접이고 후속되는 2 패스 용접은 1.2mm 직경의 와이어를 용융시켜 용착하였다. 용접부 특성은 transverse 인장 시험, 용착부 및 HAZ에서의 충격 시험(@0℃), 1/4t 지점에서의 경도 시험으로 평가하였다. 그리고, 용접부 특성을 분석하기 위해 충격 시험후 파면과 미세 조직을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

1) 일반 FCAW 및 SAW 용접부 특성

용접부의 transverse 인장 시험 결과, 입열량이 10 - 30kJ/cm인 일반 용접시공의 경우 용접부의

인장강도는 약 570~600 MPa 정도로 모재에 비하여 강도가 저하하였으며 공히 열영향부에서 파단되었다. 이는 Fig.1의 경도 분포에서 보여주듯이 열영향부의 연화 현상에 기인된다. 그러나 입열량이 아주 적은 6kJ/cm 인 경우에는 연화현상이 없어 목표의 600MPa 이상의 용접부 강도를 확보할 수 있었으며 파단도 모재에서 발생하였다. 열영향부 연화부에 대한 미세 조직 관찰 결과, 10kJ/cm의 입열량인 경우에는 polygonal 페라이트 입도 크기는 모재와 유사한 크기이었으며, 약 30kJ/cm의 입열량인 경우에는 다소 페라이트 입도가 성장되었다. 따라서, 세립강 용접 열영향부에서 발생된 연화 현상은 일반 TMCP 강과 동일하게 강의 제조시 발생된 가속 냉각효과가 용접 열에 의해 소실되어 발생되었음을 알 수 있다. 세립형 강 용접부의 인성 분포를 평가한 결과, 용접시공방법에 크게 관계없이 전반적으로 용접부의 인성은 모재에 비하여 낮았지만 용착금속과 fusion line 에서의 인성 값은 약 150J (@0℃) 정도이었다.

2) 와이어 첨가형 레이저 용접부 특성

세립강 레이저 용접부의 인장 강도는 683, 687MPa 로 Fig.2의 경도 분포에서 보여주듯이 인장 시험후 파단은 공히 모재에서 발생되었다. 이는 전절과는 다르게 용접 열영향부가 경화되었기 때문이다. 즉, 레이저 용접의 저입열 약 6kJ/cm 특성으로 용착부 및 HAZ 에는 공히 냉각속도가 빠른 경우 형성되는 경한 bainite 혹은 martensite 조직으로 구성되어 있음을 알 수 있다. 따라서 레이저 용접부의 강도특성은 모재보다 우수하게 된다. 레이저 용접부의 충격 인성도 부위에 상관없이 -20℃ 에서도 전반적으로 100J 이상의 높은 값을 가지고 있었다. 0℃ 에서 열영향부는 연성 파면을 가지나 용착부는 벽개파면과 연성파면이 혼재되어 있었다. -20℃의 경우에는 비록 용착금속과 fusion line의 인성 값은 높지만 파면은 모두 벽개파면으로 취성파괴 거동을 하였다. 따라서 저온용으로 세립강과 레이저 용접을 적용하기 위해서는 보다 인성을 높일 수 있는 용가재와 기법의 재정립이 필요하다.

4. 결 론

1. 12mm 두께의 600MPa급 세립강 일반 용접부에는 연화 현상이 발생되었으며 연화정도는 용접 입열량이 클수록 커진다.
2. 세립강 용접부의 연화현상을 방지하기 위해서는 10kJ/cm 미만의 저입열 용접 시공을 하여야 한다.

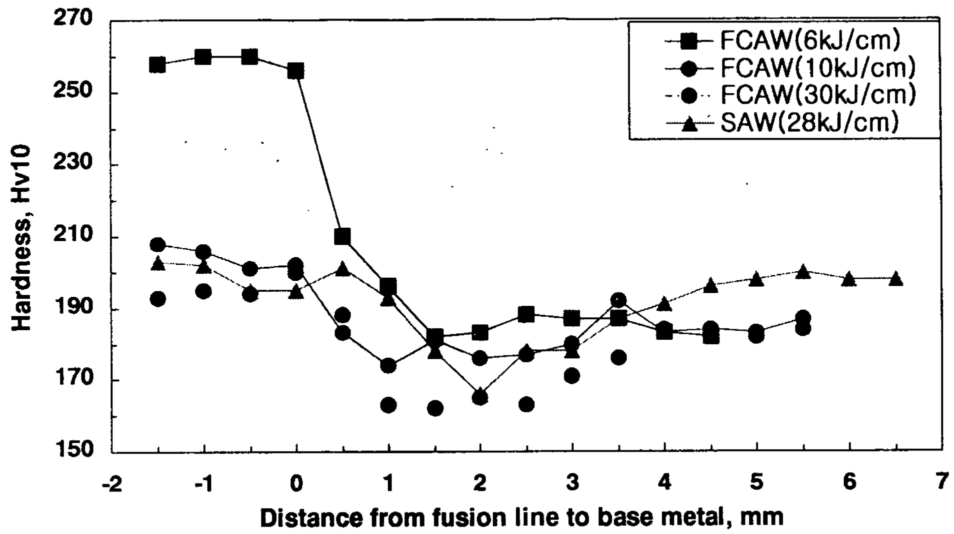

Fig.1 Effect of welding process on the hardness distribution of a 12mm thick fine grained steel weldment

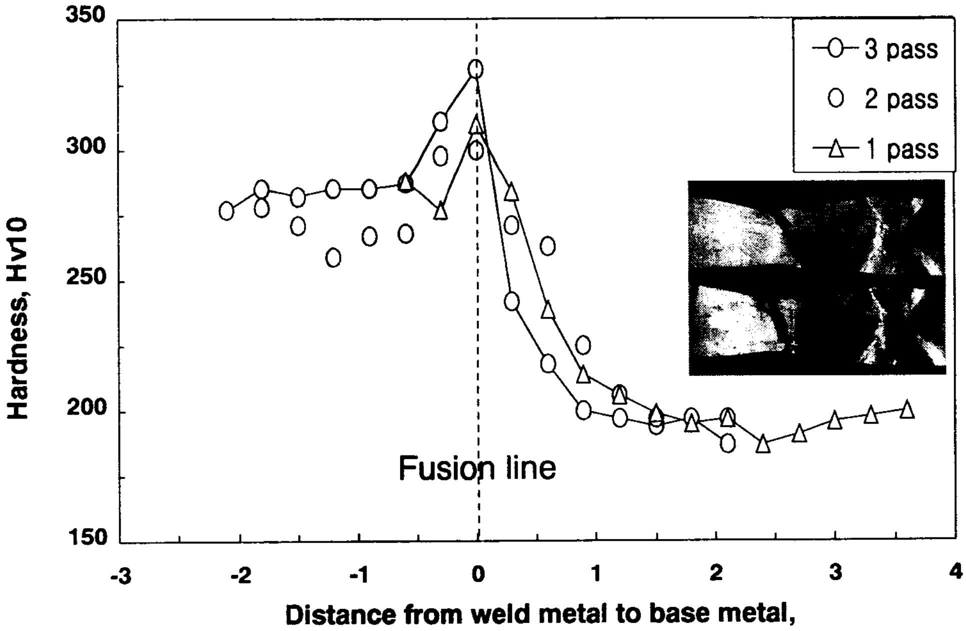

Fig.2 Hardness distribution of the laser weldment of a 12mm thick fine grained steel