

중탄소강 용접부 Hook Crack 발생특성

김 총 명*, 김 용 석**

* 포항종합제철(주) 기술연구소

**홍익대학교 재료금속공학과

1. 서 론

결함이 없는 강관을 제조하기 위한 적절한 ERW(Electric Resistance Welding) 조건을 설정하기 위하여 실제의 강관 제조 라인에서 용접부 품질 특성을 평가하기에는 너무 많은 시간이 소요되고, 또한 조관 용접 설비의 작업 특성상 많은 제약이 따르고 있어 강관의 적정 ERW 조건에 대한 체계적인 연구를 실시하는 데는 많은 곤란이 있어 왔다. 따라서 본 연구에서는 ERW simulator를 이용하여 소재 편석 또는 압연에 의한 대상 조직 등의 소재 조건과 hook crack 결함과 상관성을 분석하고, 용접 결함 발생을 최소화 할 수 있는 기준을 설정하여 강관용 소재의 제조 조건에 대한 안정성을 확보하고자 하였다.

2. 시험재 및 시험방법

사용된 소재의 화학 조성은 Table 1에 나타내었으며, band structure가 비교적 많이 발생하는 0.15~0.17% 정도의 탄소 함유량을 가진 중탄소강의 두 가지 소재를 선정하였다. 용접 시험기로서는 최대 475kW 능력을 가진 고주파 용접기가 장착된 ERW Simulator를 사용하여 시험하였다. ERW 조건 변화는 용접 입열량, 압착력, V-angle, 소재의 성분계 등을 대상으로 하여 적정 수준을 기준으로 상, 하의 변화를 주었다. ERW pipe 용접부에 대한 hook crack 발생 특성은 편평 시험에 상당하는 굴곡 시험을 통하여 검토하였다. 굴곡 시험은 ERW 용접부를 180° 까지 굴곡시켜 시험편에 나타나는 hook crack의 발생 양상을 관찰하였으며, hook crack의 발생 부위에 대한 석출물 또는 개재물 분포는 EPMA(electron probe micro-analyzer)를 이용하여 관찰하였다.

3. 시험결과 및 고찰

Photo.1은 실제 조관 라인에서 용접된 용접부 단면과 ERW Simulator로 용접하였을 경우의 용접부 단면을 비교한 것이며, ERW 용접부에서 열 영향부의 크기는 실제의 조관 라인에서 얻어진 형상과 유사한 크기와 형상을 가지고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 용접되는 소재의 형태가 파이프와 판재 형태로 차이를 가지고 있음에도 고주파 전기 저항 용접법에 의한 표피 효과와 근접 효과가 정상적으로 발휘되고 있음을 알 수 있다. 전기 저항 용접법은 가열 후 가압 공정이 수반되는데, 이때 가압력의 크기에 따라 ERW Simulator에 의한 용접부 크기 및 특히 metal flow 형성 정도 또한 조관 라인의 결과와 거의 유사한 수

준의 metal flow를 보여주고 있다. 이러한 결과들로부터 ERW Simulator로 용접하면서 실제 조관 라인을 모사 하는 것이 가능하다고 판단할 수 있다.

굴곡 시험을 실시한 후의 시험편에서 균열이 발생하는 양상은 크게 두 가지로 구분되는데, 하나는 접합 면의 백색 층에서 파단 되는 것이고, 다른 하나는 metal flow를 따라서 발생하는 이른바 hook crack이다. 접합 선에서 파단 되는 시험재의 경우는 대부분 용접 입열량이 낮은 조건에서 발생하였으며, 적정 입열량 이상의 용접 조건에서는 주로 metal flow에 의한 hook crack이 주로 나타났다.

용접부 굽힘 시험 결과 중 접합 면의 백색 층에서 발생한 균열을 Photo.2에 나타내었다. 두 가지의 시험 소재 중에서 특히 A-type의 소재에서는 여러 용접 조건에서 백색 층 균열이 많이 발견되었으나, B-type 소재의 경우에는 거의 나타나지 않았다. 이와 같이 백색 층에서 발생한 균열은 백색층 내에서 형성된 ferrite band structure를 따라 전파하였다. 고주파 전기 저항 용접부에서 나타나는 저 탄소화 및 그에 따른 백색 층의 형성은 기계적 성질에도 변화를 초래하게 된다. 백색 층을 포함한 용접 접합부로부터 열 영향부를 거쳐 모재에 이르기까지 경도 수준을 측정해 본 결과 Fig.1과 같이 나타났다. Fig.1을 볼 때 백색 층에서 균열이 발생한 소재의 백색 층 경도는 급속 가열 및 냉각되는데 따른 저온 변태 조직의 생성에 의하여 높은 경도를 보이는 인접한 열 영향부보다 크게 낮은 것은 물론이고 소재 자체의 경도 수준보다도 낮게 나타나고 있으며, 이것은 바로 ERW 용접 과정에서 고 탄소 영역의 부분적 용융 및 배출에 의하여 백색 층에서의 탄소 함유량이 낮아지는데 기인하는 것으로 판단할 수 있다.

고주파 전기 저항 용접 강관의 편평 시험에서 가장 문제시되는 것이 바로 hook crack이다. 두 가지의 시험 소재 중에서 특히 A-type의 소재에서는 hook crack의 발생률이 매우 낮았으나, B-type 소재의 경우에는 Photo.3과 같이 hook crack의 발생이 크게 나타났다. 즉 A-type 소재에서는 hook crack이 발생한 경우에도 노출된 metal flow에서 비교적 작게 나타났으나, B-type 소재의 경우에는 여러 가지 용접 조건에서 발생하는 것은 물론 hook crack의 크기 또한 상당히 크게 나타났다. 이러한 점을 볼 때 A-type과 B-type의 두 가지 소재 중 B-type 소재가 hook crack 발생에 크게 민감한 것을 알 수 있다.

또한 Photo.3에서 우측 단면의 중심 편석대에 접하고 있는 좌측 단면에서 hook crack이 발생하는 것을 볼 수 있으며, 이것은 탄소 함유량이 높은 우측 단면의 경도가 높기 때문에 이와 접하고 있는 좌측 단면이 더 큰 변형을 받게 됨으로써 metal flow 각도가 크게 형성되며 그로 인하여 좌측 단면에서 hook crack이 발생하는 것으로 판단된다. 따라서 미시 조직 측면에서 볼 때 hook crack 발생은 metal flow 자체의 펄라이트 밴드보다는 metal flow를 형성하는 역학적 조건인 압착력의 크기와 skelp 양 단면의 정렬 상태 등이 더욱 중요하다.

Photo.4는 Photo.3에 대한 hook crack 부위의 광학 현미경 관찰 사진을 나타낸 것이다. B-type 소재에서 발생한 hook crack의 metal flow에서는 Photo.4 (b)에 나타난 바와 같이 미시 조직상으로도 특이한 현상이 발견되기도 한다. 이들에 대하여 전자 현미경을 통하여 자세히

분석해 보면 B-type 소재의 hook crack 발생 계면 및 그에 연속되는 metal flow에서 발견되는 개재물은 MnS로 나타났다. 따라서 B-type 소재의 hook crack은 용접 열 영향부에서 MnS에 의하여 나타나는 계면의 취약한 특성이 발휘되어 균열로 성장하며, 이러한 경우 모재 부위에서는 개재물의 형태가 아직 유효하게 남아 있는 모습을 볼 수 있었다. 이러한 분석 결과를 볼 때 B-type 소재에 있어서 hook crack 발생에 지대한 영향을 미치는 요인은 소재의 band 조직 자체보다는 압연에 의하여 형성된 플라이트 밴드 사이에서 현저하게 발달된 MnS계 개재물에 의한 것으로 생각되며, A-type 소재에 비하여 이처럼 B-type 소재에서 특히 MnS 개재물이 많이 나타나는 이유는 B-type 소재의 황(S) 첨가량이 0.011%로서 0.007%의 A-type 소재에 비하여 월등하게 많기 때문으로 보인다.

4. 결론

(1) ERW Simulator의 용접부 용융 현상, 용접 열 영향부 크기와 metal flow angle 등이 실제 조관 라인을 모사 하는 것이 가능하였다.

(2) 백색 층 생성 기구는 화학 조성과 용접 조건에 관련되어 나타나며, 이로 인하여 백색층의 미세 조직이 저 탄소 페라이트 조직이 되어 강도 및 경도가 약하고, 또한 비금속 개재물이 다량 분포함에 따라 하중에 대한 저항력이 열 영향부보다 약하여 백색 층 균열이 발생하는 것으로 생각된다.

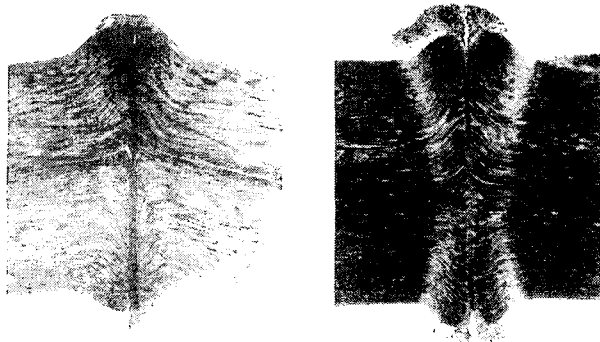
(3) 화학 조성에 따라 hook crack 발생 특성에는 큰 차이가 있어, A-type 소재에 비하여 B-type 소재는 hook crack 발생에 크게 민감하여 여러 용접 조건에서 hook crack의 발생 정도가 심각한 수준으로 나타났다. B-type 소재의 hook crack에서는 MnS계 개재물이 band 상으로 크게 발달하였으며, 이것은 소재의 높은 sulphur 함유량에 기인하였다.

Table 1 Chemical compositions of materials used.

Type	Thick-ness (mm)	Chemical Compositions (wt.%)											
		C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Cu	N (ppm)	Ceq*	P _{cm} **
A	9.25	0.174	0.109	0.837	0.017	0.007	0.019	0.032	0.030	0.029	60	0.324	0.223
B	9.2	0.150	0.011	0.671	0.014	0.011	0.036	0.013	0.015	0.026	60	0.267	0.186

* Ceq(%) = C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Ni+Cu)/15

** P_{cm}(%) = C+Si/30+Mn/20+Cu/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+5B



(a) Pipe Welding Line (b) ERW Simulator

Photo.1 Metal flow of ERW joint.

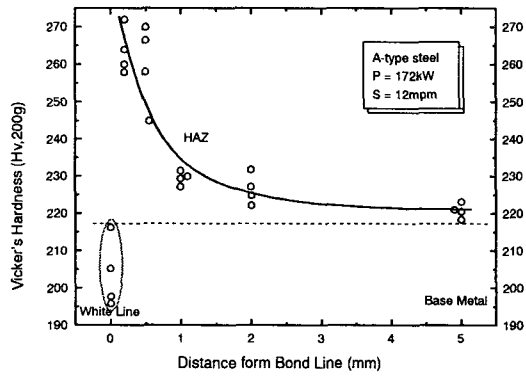
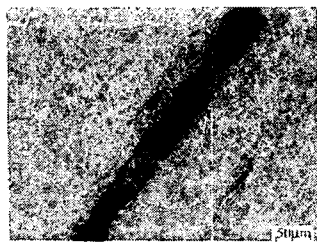


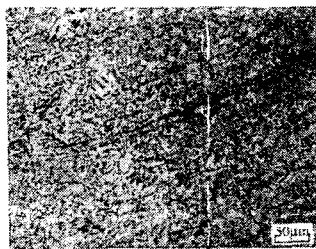
Fig.1 Hardness of ERW joint of A-type steel.



Photo.2 Crack at white line of A-type steel



(a) Hook crack at mid-HAZ



(b) HAZ end along cracked metal flow

Photo.4 Microstructures of hook cracked HAZ of B-type materials



Photo.3 Hook crack of B-Type steel.