

고주파 전기 저항 용접(HF ERW)에서 결함 발생 기구에 관한 연구

최 재호*, 김 충명**, 김 용석*

* 홍익대학교, 금속·재료공학과, 서울시 마포구 상수동 72-1

** 포항종합제철(주) 기술연구소, 포항시 남구 괴동동 1번지 790-785

1. 서론

고주파 전기 저항 용접법(High Frequency Electric Resistance Welding)은 그림 1과 같이 급전점에 접촉자(contact tip) 또는 유도 코일(induced coil)을 사용하여 양 대강(skelp) 에지(edge)에 고주파 전류를 통전시켜 에지 단면만을 표피 효과(skin effect)와 근접 효과(proximity effect)¹⁾에 의해 용접점 이전에 발생한 줄열(joule heat)로 용융 시킨 후 용접점에서 압착롤(squeeze roll)의 압착력에 의해 압접되는 용접법이다. 고주파 전기 저항 용접법은 빠른 용접 속도와 용접시 용접부의 청정 효과를 위해 사용되는 차폐 가스(shielding gas)의 사용 없이도 용접부의 우수한 용접성을 얻을 수 있으므로 강관(steel pipe) 제조시 가장 일반적으로 수행되는 용접법이다.

이러한 고주파 전기 저항 용접법으로 강관을 제조시 용접부에서 발생할 수 있는 용접 결함은 원재료의 제질에 크게 영향을 받는 hook crack, lamination과 원재료 제조시 주조 및 압연 공정에서 발생한 표면 균열(surface crack) 등이 있으며, 용접 입열량의 변화에 따라 발생하는 냉접(cold weld) 또는 paste weld와 침입 결함(penetrator) 등이 있다고 알려져 있다.²⁾ 따라서 본 연구에서는 이들 결함의 발생 기구를 규명하여 고압용 강관의 생산에 필요한 기초 자료를 마련하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 연구의 실험은 (주)포항제철 기술연구소에 설치되어 있는 ERW Simulator를 이용하여 실험하였으며, ERW Simulator의 조판 라인의 적응성을 평가한 결과 실제 조판 라인을 모사하기에 충분하였다. 본 실험에 사용한 소재의 조성은 표 1과 같으며, 두께는 9.25mm, 대강의 폭은 100mm로 하였다. 용접 조건은 용접 속도를 16m/min, 용접기 발전 주파수를 320kHz로 하였으며 접촉자로부터 용접점까지의 거리를 130mm로 하였다. 용접 입열량은 200~240KW 범위 내에서 변화시켰다. 또한 압착롤의 압착력은 사진 1과 같이 용접부의 적당한 메탈 플로우 각(metal flow angle)인 50°~60°를 형성하여 상부 및 하부 비드가 적당히 형성될 수 있을 정도로 하였다.

위와 같은 실험 조건에 대해 용접부 결함의 관찰 및 분석을 위해 용접 방향으로 5cm의 시편을 채취 후 용접비드를 제거하고 표면에서 t/8(1.2mm), t/4(2.3mm)되는 부분을 절삭 후 미세 연마하여 광학 현미경(optical microscope)과 주사 전자 현미경(scanning electron microscope)을 사용하였다. 그리고 용접 결함의 발생 원인을 규명하기 위해 용접부의 용접 현상을 가시화 해야 하는데 이를 위해 초당 1,000 또는 10,000 프레임으로 촬영할 수 있는 고속 카메라(high speed camera)를 이용하여 촬영 후 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

사진 2는 용접 입열량을 200~240kW의 범위로 변화시켰을 때, 대강이 용융되는 현상을 나타내고 있다. 대강이 용접점에 도달하기 전에 상당부분 용융되어 대강 에지 간격밖으로 배출되는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상을 용접 입열량이 증가함에 따라서 그의 정도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이와같이 용융 금속이 대강 에지 간격밖으로 배출되는 현상은 에지 사이에 작용하는 전자기적 척력으로 계산되었다. 한편 이들 용융이 진행되는 동안 대강 에지사이에 아크가 발생하고 가교(bridge)가 발생하는 현상이 관찰되었다(사진 3). 이러한 가교는 일단 형성되면 용접점쪽으로 매우 높은 속도로 이동하는 것이 관찰되었는데, 이들의 이동 속도와 이동 거리의 편차를 고속 비디오 카메라를 이용하여 측정하여 그림 2에 나타내었다. 그림에서 보면 가교의 이동 속도는 용접 입열량이 증가함에 따라서 증가하는 것이 관찰되었으나, 이동 거리의 편차는 약간의 차이를 두고 증가하는 것으로 측정되었다. 이와같이 가교가 이동하는 현상은 그림 3에 나타낸 것과 같이 전자기적 pinch force의 불균형에 의하여 발생하는 것으로 예상된다. 즉 가교의 왼쪽에서는 전자기력이 상호 보완적으로 작용하는 반면에 가교의 오른쪽 부분에서는 전자기력이 상쇄 작용을 하기 때문에 가교가 용접점쪽으로 이동하는 것이다. 이와같은 가교의 생성은 용접점내로 산화물을 포함하고 있는 용융 금속을

집적시키는 역할을 하기 때문에 용접부의 용접 결함의 발생빈도에 영향을 미칠 것으로 예상되었다. 따라서 용접 결함의 발생빈도를 용접 입열량에 따라서 측정하여 그림 4에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 가교의 이동 편차가 적은 용접 입열량에서 용접 결함의 발생 빈도가 상대적으로 낮은 것을 볼 수 있다. 이러한 연구 결과로부터 판단할 때, 고주파 전기 저항 용접법에서 용접 결함의 발생은 가교의 발생 및 이동 거동에 연관되어 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 발표에서는 이러한 용접 결함의 발생기구에 대하여 논의하게 될 것이다.

4. 결론

- 1) 고주파 전기 저항 용접시 대강 예지는 전자기적 척력에 의하여 대강 예지 간격밖으로 배출된다.
- 2) arcing 발생 후 형성되는 가교는 자기장의 비평형으로 발생한 힘으로 인해 용접점으로 빠르게 이동하며, 그의 이동 속도와 이동 거리의 편차 용접 입열량에 의하여 영향을 받는다.
- 3) 고주파 전기 저항 용접시 용접 결함은 가교의 이동에 의한 산화물을 포함한 용융 금속이 용접점에 집적되는 것에 의하여 발생하는 것으로 추정되며, 이러한 현상은 가교의 이동 거리가 일정하고 이동 거리의 표준 편차가 작을수록 용접부의 결함 발생 빈도가 낮은 점으로부터 유추할 수 있다.

5. 참고 문헌

- 1) Haga, K. Aoki, and T. Sato. "Welding Phenomena and Welding Mechanisms in High Frequency Electric Resistance Welding - 1st Report", Welding Journal, Vol.59(208s-216s). 1980.
- 2) Haga, K. Aoki, and T. Sato. "The Mechanisms of Formation of Weld Defects in High Frequency Electric Resistance Welding." Welding Journal, Vol.60(104s- 109s), 1981.

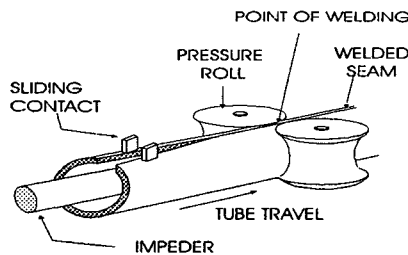


그림1. 고주파 전기 용접법의 모식도

표 1. Skelp의 조성

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	Fe
0.174	0.109	0.837	0.017	0.007	0.029	0.030	0.032	0.019	Remainder

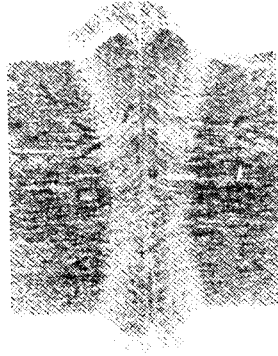


사진 1. 용접부에 형성된 메탈 플로우

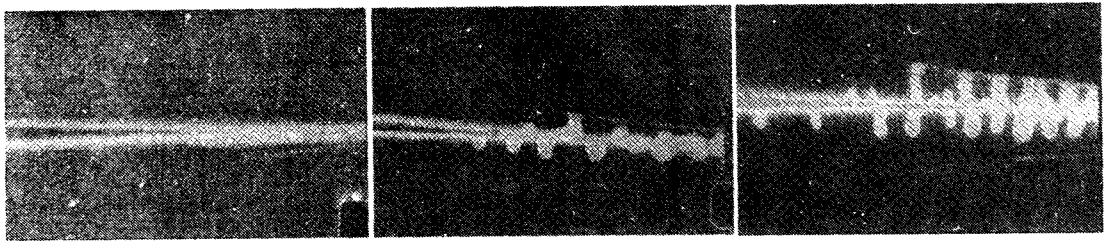


사진 2. 입열량에 따른 용접 현상

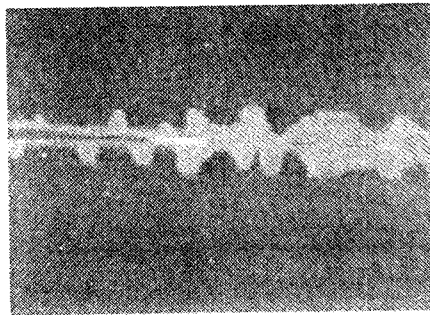


사진 3. 용접부의 arcing 현상

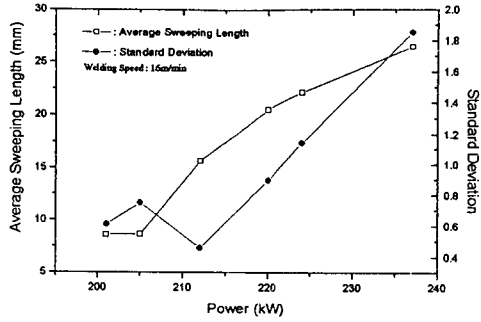


그림 2. 가교의 이동 거리 및 표준 편차

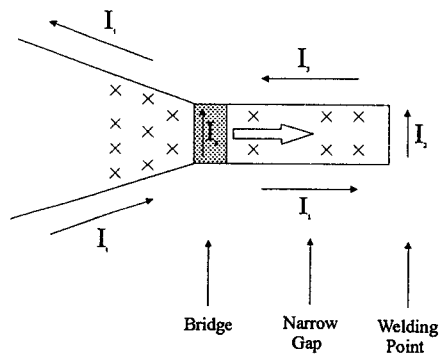


그림 3. 가교 형성에 따른 전류 경로의 변화

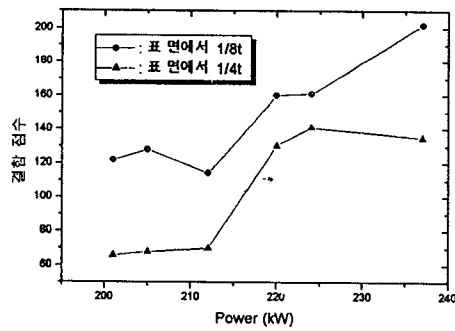


그림 4. 입열량에 따른 결함점수