

고주파 전기저항 용접법에서 적정 용접조건의 수학적 모델

Mathematical Modeling of Welding Conditions for High Frequency Electric Resistance Welding Process

강덕일, 장영섭, 오주섭*, 공원일*, 김용석

홍익대학교 금속재료공학과, 서울 마포구 상수동

* 부산파이프, 기술 연구소, 경북 포항시 장흥동

ABSTRACT High Frequency Electric Resistance Welding process has been widely used in manufacturing welded steel pipes because of its high welding speed and quality. This process utilizes the skin effect as well as the proximity effect of the high frequency current in heating the skelp edge. In this study, an analytical solution of the edge temperature was obtained based on several assumptions. The assumptions includes the exponential decay of welding current from the surface and neglect of the heat loss in the welding direction. This calculation shows a good agreement with the observations made from the high speed camera. Using the analytical model, the heat required as a function of the welding speed and the skelp thickness was determined. These results were compared with the experimental results obtained.

1. 서론

전기 저항 용접 강관을 제조하는데 사용되는 고주파 전기 용접법은 고주파 전류의 특성인 표피효과와 근접효과의 특성을 이용하여 대강 에지(skelp edge)의 표면만을 가열하여 효과적인 용접을 수행하게 된다. 최근 전기 저항 용접 강관의 사용범위가 넓어지고, 이의 품질에 대한 요구 조건이 점차 엄격하게 요구됨에 따라서 용접부의 결함에 대한 엄격한 관리가 필요하게 되었다. 따라서 이때 발생하는 용접 결함의 발생을 억제하기 위해서는 고주파 전류에 의한 대강 에지의 가열 현상에 대한 체계적인 이해가 요구된다 하겠다. 본 연구에서는 대강 에지의 온도를 선형적인 해를 이용하여 구하고, 이를 이용하여 용접 속도 및 재료 두께에 따른 요구되는 적정 입열량의 크기를 구하고자 하였다. 이와같은 연구 결과는 본 용접 방법을 자동화시키기 위한 기본 자료를 제공하게 될 것으로 예상된다.

2. 이론적 모델

고주파 전류가 근접한 도체에 흐를때 표피 효과에 의하여 표면에 집중되어 흐르게 되면 도체의 저항에 의해 주열열이 발생하게 된다. 이때 발생하는 열에 의하여 대강이 가열되게 되는데, 전류 밀도가 표피로부터 exponential 함수로 감소하고 대강의 진행 방향으로는 열 손실을 무시하게 되면 대강 에지의 온도분포는 다음과 같이 주어진다.

$$T = T_0 + \frac{A_0 \delta}{k} \sqrt{\alpha t} \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) - \frac{A_0 \delta^2}{4k} e^{-\frac{2x}{\delta}} + \frac{A_0 \delta^2}{8k} \left[e^{\frac{4\alpha t}{\delta^2} - \frac{2x}{\delta}} \operatorname{erf}\left(2\frac{\sqrt{\alpha t}}{\delta} - \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) + e^{\frac{4\alpha t}{\delta^2} + \frac{2x}{\delta}} \operatorname{erf}\left(2\frac{\sqrt{\alpha t}}{\delta} + \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) \right] \quad \text{---(1)}$$

이식을 이용하여 전형적인 용접 조건에서 대강 에지의 온도 분포를 구하면 아래의 그림 1과 같다. 그림에서 살펴보면 대강 에지의 온도가 급격히 증가하여 용접점 이전에 대강 에지가 용융되는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 실험적으로 관찰되는 결과와 일치한다.

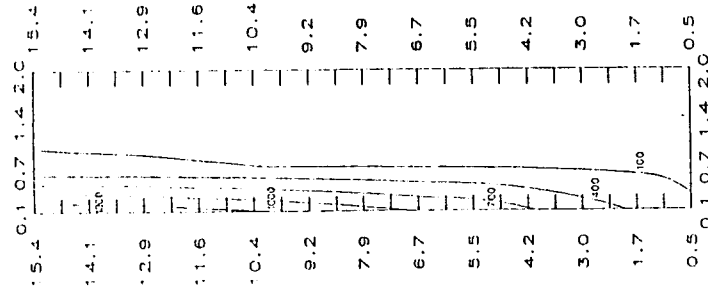


그림 1) 전형적인 용접 조건에서 대강 에지의 온도 분포를 모델을 이용하여 계산한 결과.

그림 2는 고주파 전기 저항 용접이 진행되고 있는 용접부를 고속 카메라를 이용하여 촬영한 것으로서 대강의 에지가 용접점에 도달하기전에 용융되어 배출되는 것을 볼 수 있다.

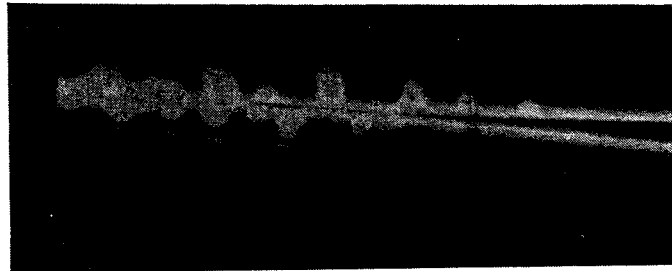


그림 2. 고속 카메라로 촬영한 전형적인 고주파 전기 저항 용접 현상

식 1에서 용접 속도 및 대강(skelp)의 두께가 변화함에 따라서 적정 입열조건을 구하는 것이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 용접 속도 및 대강의 두께 변화에 따른 용접 입열의 변화를 이와같은 모델을 이용하여 적정 용접 입열을 구하여 실험적으로 측정된 결과와 비교하였다.

3.참고문헌

1. H.S. Carslaw and J.C. Jaeger, Conduction of Heat in Solids.
2. H. Haga, K. Aoki, and T. Sato, "Welding Phenomena and Welding Mechanisms in High Frequency Electric Resistance Welding - 1st Report", Welding J., 59(7), PP208s-212s(1980).
3. H. Haga, K. Aoki, and T. Sato, "The Mechanisms of Formation of Welding Defects in High Frequency Electric Resistance Welding", Welding J., 60(6), PP104s-109s(1981).