

고주파 저항용접의 flash 형성에 관한 해석
Analysis of flash formation in high frequency resistance welding

한국과학기술원, 기계공학과
 배순철 (*), 민관호, 유중돈

1. 서론

국내 강관 제조에 가장 널리 쓰이고 있는 고주파 전기 저항 용접은 Fig.1a 과 같이 원통형으로 성형된 대강에 고주파 전류를 인가하여 표면을 국부적으로 용융시킨다. 용융 금속은 표면에 존재하는 산화물과 함께 배출되고 압착력에 의하여 고상 압접을 이룬다. 본 연구에서는 고주파 저항 용접에서 전자기력에 의하여 발생하는 용융부의 배출 및 flash 형성 현상을 해석하였다[1]. 이를 위하여 전자기력을 모델링하였고 VOF 법[2]을 이용하여 용융부의 동적거동을 계산하였다.

2. HFRW 의 모델링

초기의 용접 단면을 Fig.1b 처럼 직사각형으로 가정하면, 한 단면에 대하여 작용하는 전자기력은 Fig.2a 에 나타난 바와 같이 양 단면의 전류에 의하여 발생하는 자기장에 의하여 결정된다. 양 단면에 흐르는 전류 방향이 다르기 때문에 전자기력의 방향이 다르다. 같은 방향으로 흐르는 전류 성분 때문에 생기는 자기장에 의하여 인력이 발생하고, 다른 방향 전류 성분에 의하여는 척력이 발생한다. 용융부의 형상이 시간에 따라 변화하므로 전자기력의 크기와 방향이 변화한다. 이를 고려하기 위하여 Fig.2b 에 나타난 바와 같이 각 셀에 작용하는 자기장을 계산하였다. 셀 (i,j)에 내부셀 (p,q)와 외부셀 (v,w)에 의해 작용하는 자기장은 다음과 같다.

$$B_{int}^{(p,q)}(i,j) = \frac{\mu_0 \Delta I(p,q)}{2\pi r(p,q)} \quad B_{ext}^{(v,w)}(i,j) = \frac{\mu_0 \Delta I(v,w)}{2\pi r(v,w)} \quad (1)$$

$$r(p,q) = \sqrt{(p-i)^2 + (q-j)^2}, \quad r(v,w) = \sqrt{(i-v)^2 + (j-w)^2} \quad (2)$$

전류 밀도와 자기장을 외적하면 셀 (i,j)에 발생하는 전자기력을 계산할 수 있다. 셀에 흐르는 전류는 전류밀도와 셀의 면적을 곱하여 구하며, 전류밀도는 표면 효과를 고려하여 다음과 같이 구하였다.

$$\Delta I(p,q) = J(p,q) \Delta A(p,q) \quad (3)$$

$$J = J_0 \exp\left(-\frac{x}{\delta}\right) \quad (4)$$

이때, δ 는 표피깊이, x 는 용융부분 표면 셀의 중심으로부터 각 셀의 중심까지의 거리를 나타낸다. J_0 는 용융부분의 자유표면에서의 전류밀도를 나타내며, 용융부와 용융부와 인접한 고체 부분에 흐르는 전체의 전류가 인가된 전류와 동일한 값을 갖도록 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 강 파이프의 두께 4.8mm, 용융된 깊이 1mm 인 직사각형으로 초기 형상을 가정하였고, 고액 경계면에서 no-slip 조건을 설정하였다. 접촉각의 영향을 알아보기 위하여 접촉각을 0도와 30도로 설정하여 계산을 수행하였고, 이외의 경우에는 30도로 하였다. 연강의 물성치를 사용하였으며, 밀도 ρ 는 7.86g/cm³, 표면장력계수 γ 는 1500dyne/cm, 점성계수 ν 는 0.0028cm²/sec 이다.

자유 표면 거리가 용융부 배출에 미치는 영향을 Fig.3에 나타내었다. 전류가 1500A, 표피깊이가 1mm, 초기 자유표면 거리가 1mm 인 경우에 시간에 따른 용융부의 형상과 유동을 Fig.3a에 나타내었다. 초기에는 용융부의 형상 때문에 모서리에서의 곡률반경이 매우 작으므로 표면장력의 영향에 의하여 용융부가 가운데로 밀려 나오게 된다. 그러나 시간이 지남에 따라 모서리의 곡률반경이 증가하므로 전자기력에 의하여 용융부가 배출된다. 이때, 용융부 내부의 유속은 flash 배출 방향과 일치한다. 자유 표면의 거리를 2mm로 증가시키면 (Fig.3b), B_{ex} 이 감소하므로 용융부에 작용하는 전자기력이 감소하여 시간이 지나도 용융부가 배출되지 못한다.

전류가 1500A 인 경우에 접촉각에 의한 용융부 형상의 변화를 Fig.4에 나타내었다. 접촉각이 0도인 경우의 용융부의 배출이 발생하는 최대 자유표면 거리는 0.76mm이며, 접촉각이 30도인 경우의 최대 자유표면 거리는 0.7mm이다. 전류가 증가하면 전자기력이 증가하므로 최대 자유표면 거리는 증가한다. 전류를 감소시킨 조건으로 계산하면 접촉각의 영향이 증가하였다. 이는 전류가 감소함에 따라 전자기력의 영향이 감소하므로 접촉각의 영향이 증가하기 때문이다.

4. 결론

강관 제도시 발생하는 대강의 용융부 배출현상을 계산하고 그 결과로부터 용융부의 배출에 영향을 주는 공정 변수의 역할을 설명할 수 있었다. 접촉각은 penetrator의 형성에 영향을 주는 것 이외에도 용융부의 배출에도 영향을 준다. 대강 양단의 자유표면간의 길이가 감소함에 따라 전자기적 반발력의 크기가 증가하여 용융부의 배출이 용이해진다. 표피깊이의 크기가 용융부의 배출현상에 영향을 줄 수도 있다.

참고문헌

1. K. Haga, K. Aoki, T. Sato, "Welding Phenomena and Welding Mechanisms in High Frequency Electric Resistance Welding" - 1st Report, Welding Journal, Vol. 59 (1980), 208s-216s

2. Hirt, C. W., Nichols, B. D., "Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries", *Journal of Computational Physics*, Vol. 39 (1981), pp 201-225
3. 강덕일, 최재호, 장영섭, 김용석, "고속 촬영에 의한 고주파 전기 저항 용접 현상의 해석", *대한용접학회지*, 제 16 권 2 호, pp29-36

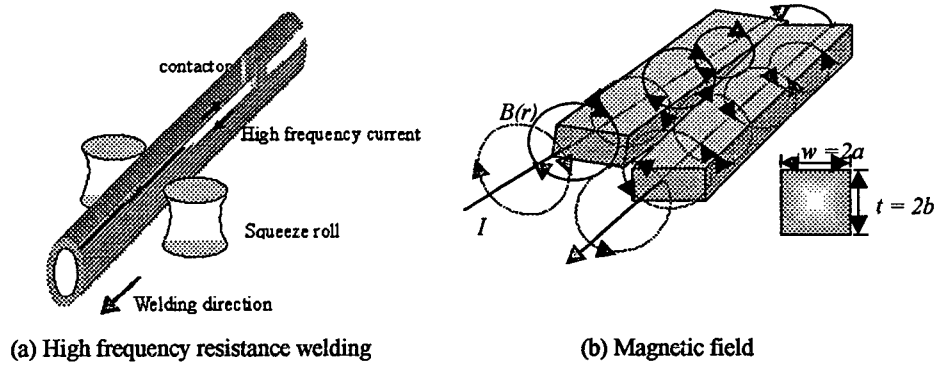


Fig.1 High frequency resistance welding and magnetic field

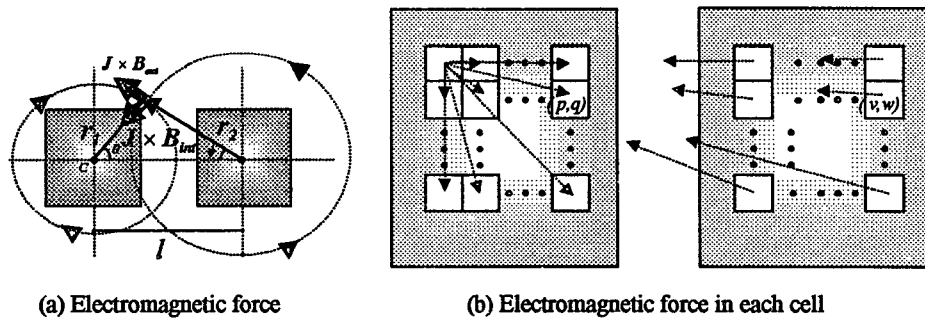


Fig.2 Electromagnetic force and electromagnetic force in each cell

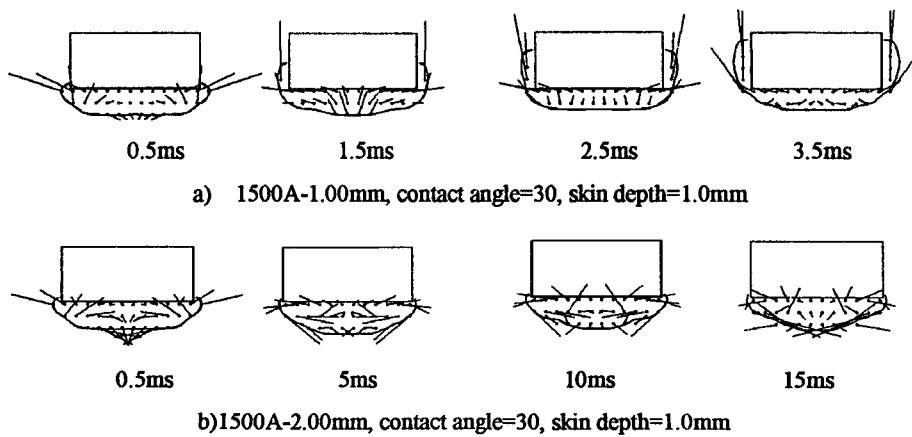


Fig. 3 Effect of free surface distance

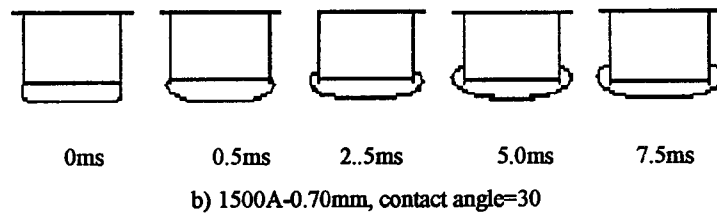
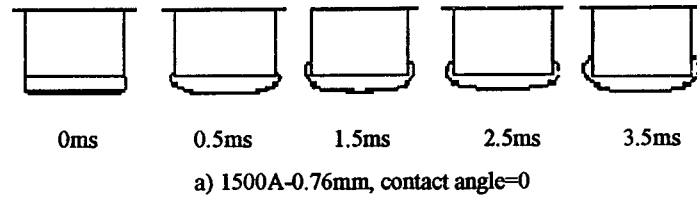


Fig. 4 Effect of contact angle (I=1500A)