

마찰용접에 의해 유동부를 갖는 용접부 형상의 마찰용접해석

염성호¹, 남경오¹, 유연설², 홍성인[#]

Friction Welding Analysis of Welding Part Shape with Flow Gallery by Friction Welding

S. H. Yeom, K. O. Nam, Y. S. Yoo, S. I. Hong

Abstract

Friction welding is welding method to use frictional heat of two material. A defect of friction welding is that create flash. The flash is part that must have cut after welding finished. But the welding part with flow gallery by friction welding can't cut flash. Therefore the welding part with flow gallery was designed with no effect in flow. In this research, decide the welding shape parameter of welding part with flow gallery and do friction welding analysis. In friction welding analysis, must input necessary S-S curve, friction coefficient by temperature change, upset pressure, RPM etc. According to analysis result, decided the optimal shape of welding part with no effect in flow.

Key Words : Friction welding, frictional heat, flow gallery, flash, friction coefficient, upset pressure

1. 서 론

마찰용접⁽¹⁾이란 재료를 맞대어 가압한 상태에서 상대 회전운동을 시켜 접촉부에서 발생하는 열을 이용하여 압접하는 방법이다. 마찰용접의 장점은 높은 에너지 효율, 용접변수의 제어가 용이, 이종 재료의 용접이 가능하다. 그리고 단점으로는 모재의 형상에 제한이 있으며, 용접 후 잘라버려야 하는 플래시가 생성되며, 용접부의 충격인성이 작아지는 단점을 가지고 있다.

마찰용접의 대상은 대부분 봉에 대한 동일 재료나 이종재료접합⁽²⁾에 사용되고 있다. 제품의 성능향상이나 마찰용접기술의 발전으로 용접부의 형상이 복잡한 제품에 또한 적용되고 있다. 마찰용접에 의해 유동부를 갖는 형상은 마찰용접으로 생긴 플래시를 제거 할 수 없기 때문에 유동에 영향을 주지 않는 형상이 되도록 용접부의 형상

설계를 해야 한다. 마찰용접은 용접 과정에서 용접기계의 변수에 많이 의존 하기 때문에 용접부의 형상설계는 현장실무 경험자의 경험에 대부분 의존하고 있으며 최근에는 해석기술의 발전으로 인해 마찰용접의 해석을 이용한 설계가 가능하다.

마찰용접 해석에는 실제 마찰용접에서와 같은 마찰 속도, 업셋 압력과 같은 변수를 입력해 주어야 하고 온도의 변화가 일어나기 때문에 온도변화에 대한 마찰계수와 온도변화에 합당한 S-S Curve의 데이터를 입력해 주어야 한다.

본 연구에서는 용접부 형상에 대한 설계를 위해 소성전용 해석프로그램인 DEFORM-2D를 이용하여 마찰용접 해석을 수행하였다. 그리고 용접부의 형상의 설계변수를 설정하고 해석을 수행하여 형상의 설계변수 변화에 따른 용접변수의 변화를 확인 하였다. 마찰용접 해석결과 용접부에서 생성된 플래시 형상이 유동부의 유동에 영향을 주지

1. 충남대학교 기계공학과 대학원

2. ㈜동서공업

교신저자: 충남대학교 기계공학과, E-mail: hsi@cnu.ac.kr

않는 형상을 최적 형상으로 결정 하였다.

2. 해석 이론

2.1 지배방정식

마찰용접해석에 사용된 프로그램인 DEFORM-2D의 지배방정식에는 3 가지의 식이 적용되고 있다. 대 변형 해석에는 식(1)의 강-소성식^(3,4)이 사용되며, 열전달해석에는 식(2), 식(3)의 쿨롱 마찰모델식이 사용 된다.

$$\delta\pi = \int_V \sigma \delta \varepsilon dV + K \int_V \dot{\varepsilon}_v \delta \dot{\varepsilon}_v dV - \int_{S_f} F_i \delta u_i dS = 0 \quad (1)$$

$$\int_V k T_{,i} \delta T_{,i} dV + \int_V \rho c \dot{T} \delta T dV - \int_S q_n \delta T dS - k \left(\int_V \sigma_{ij} \varepsilon_{ij} \delta T dV + \int_S (f_s)_{,i} (u_s)_{,i} \delta T dS \right) = 0 \quad (2)$$

$$f_s = -\mu p \frac{u_s}{|u_s|} \cong -\mu p \left(\frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left[\frac{u_s}{u_0} \right] \right) \quad (3)$$

2.2 마찰용접 해석의 주요 변수

마찰용접의 주요 변수⁽⁵⁾는 fig.1 과 같이 소재를 마찰온도까지 높이기 위해 소재의 속도, 소재에 가하는 마찰압력과 업셋 압력으로 이루어지며 변수 값은 주로 소재의 종류와 크기에 따라서 결정된다. 용접 후 생성되는 플래시의 크기와 형상은 업셋 압력에 의해 결정 되기 때문에 설계된 용접부의 업셋길이에 맞도록 업셋압력을 결정해 주어야 하며, 해석에도 실제 마찰용접 변수와 동일한 변수를 결정해주어야 한다.

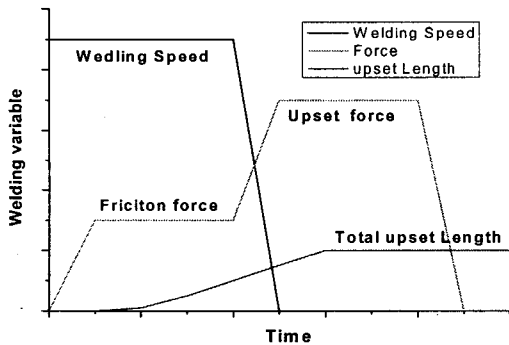


Fig. 1 Welding variable of brake type welding machine

마찰용접 해석시 국부적으로 온도가 2000 ~ 3500 도 까지 상승하기 때문에 이에 합당한 재료의 물성 데이터와 마찰계수가 필요하게 된다. 본 연구에 사용된 DEFORM-2D 에는 1200 도 까지의 물성 데이터만이 제공 되기 때문에 그 이상의 데이터는 수치해석방법인 외삽법⁽⁶⁾을 사용하여 데이터를 얻었다. 그리고 마찰계수는 마찰열 상승의 주요 요인의 이기 때문에 온도 변화에 따른 마찰계수를 입력해 주어야 한다. 일반 steel 의 온도변화(20~1200)에 따른 마찰계수를 실험에 의해 측정 한 Andrzej Sluzalec⁽⁷⁾의 데이터를 수식화한 마찰계수식(4)를 사용하여 마찰계수를 얻었다.

$$\mu(t) = A \cdot T^B \cdot e^{-cT} \quad (4)$$

식(4)에 의해 얻어진 마찰계수는 Fig.2 과 같다.

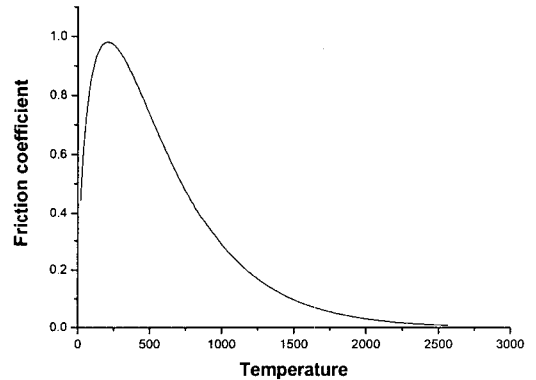


Fig. 2 Friction coefficient by Temperature change

3. 용접부의 마찰용접해석

3.1 마찰용접 해석

마찰용접에 의해 유동부를 갖는 형상 Fig.3 은 마찰용접에 의해 생기는 플래시를 제거 할 수 없기 때문에 마찰용접 후 플래시가 유동부의 유동영향에 가장 적게 하는 형상으로 마찰용접부의 형상을 설계하였다. 설계변수 Fig.3 과 같이 W_R 을 2.5,2,1,5mm 로 하고 W_D 를 0,5,10 도로 설계하여 각각에 대하여 해석을 수행하였다. 그리고 해석결과 유동부에서 플래시의 형상을 확인 하였다. 업셋에 의한 가압압력으로 인해 소재의 용접부 부근에서 받는 응력이 국부적으로 항복점 이상의 응력을 받을 수 있기 때문에 해석결과에서 최대

응력값을 확인 하였다. 마찰용접은 형상의 크기와 마찰 면적에 의해 온도상승이 속도가 다르기 때문에 각각의 형상에 동일한 압력을 가할 경우 압력이 가해진 소재의 업셋 이동속도가 달라지는 현상이 발생한다. 이동속도의 증가에 따라 플래시의 형상이 차이를 보이기 때문에 해석결과 플래시의 형상을 확인 하였다.

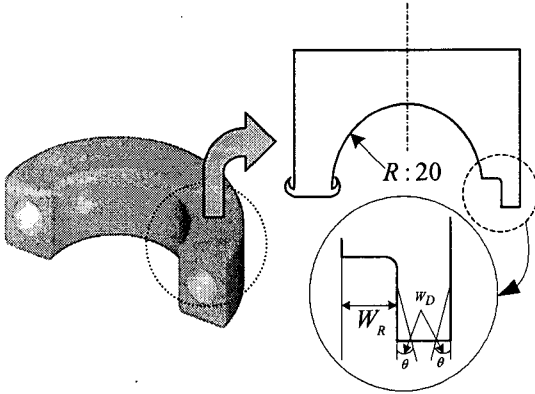


Fig. 3 Welding part model with flow gallery and Design parameter welding part

3.2 해석조건

해석프로그램은 DEFORM-2D 를 사용하였으며 Table1 같은 9 가지 형상에 대해 해석을 수행 하였다. 해석조건은 Table.1 과 같다.

Table 1 Analysis condition.

Material property		SCM440		
Welding Condition	Welding Speed	1000 RPM		
	Upset Force	5KN		
Model Parameter	Upset Length		2.5mm	
	2.5	W_R	W_D	Design parameter
			0	Model1-1
		5	5	Model1-2
	10		Model1-3	
	2	0	Model2-1	
			5	Model2-2
		10	Model2-3	
	1.5	0	Model3-1	
5			Model3-2	
10		Model3-3		

3.3 해석결과 및 고찰

용융온도까지 상승한 용접부에서는 업셋 압력으로 인해 소재가 외부로 밀려나와 플래시가 생성된다. 나머지 힘은 소재에 작용하기 때문에 너무 과도한 하중을 받을 경우 소재가 받는 응력이 항복값을 넘기는 경우가 발생하게 된다.

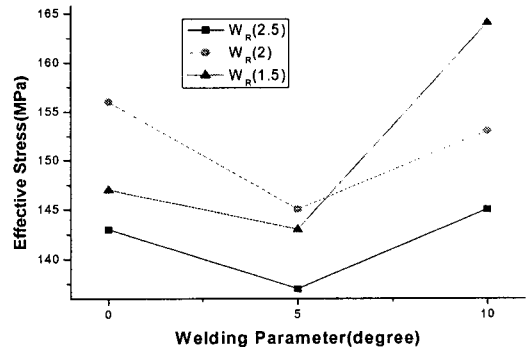


Fig. 4 Welding part model with flow gallery and Design parameter welding part

Fig4 는 설계변수 W_D 에 따른 용접부 부근에서 나타나는 최대 응력값의 변화를 나타내었다. W_R 이 2.5mm 인 형상의 모든 각 W_D 에서 응력이 작아 지는 것을 확인 할 수 있으며, 특히 W_D 가 5도 일 때 모든 단면형상에서 가장 작은 응력값을 나타내었다.

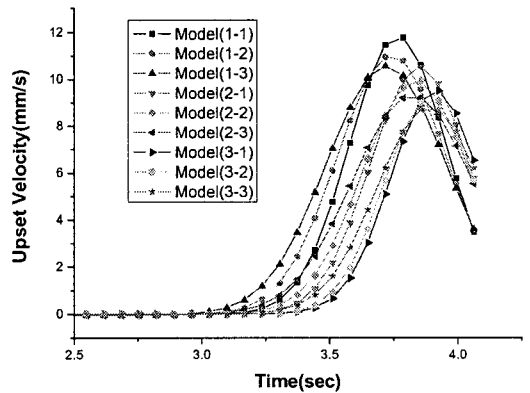


Fig. 5 Upset velocity at design parameter welding part

소재에 업셋 압력을 가압할 경우에 각 형상에서 소재가 가압되는 시점을 알 수 있다. Fig.5 는 업셋

압력을 가한 후 소재가 가압되는 속력을 데이터화 한 것으로 소재의 형상 W_R 2.5mm, W_D 10 도인 Model (1-3)에서 가장 먼저 가압되고 있으며 W_R 1.5mm, W_D 0 도인 Model (3-1)에서 가장 늦게 가압되고 있음을 확인 할 수 있다. 이는 소재의 용융온도 상승 시점이 마찰용접부 면적에 비례하여 나타나고 있기 때문이다. 그리고 W_R 이 같은 형상에서 W_D 가 0 도 일 때 가장 큰 속도를 나타내고 있다. 이는 가압되는 시점 온도 상승 속도는 느리지만 용접부의 부피가 상대적으로 많고 열의 발생량이 많기 때문에 최고속도를 나타남을 예상할 수 있다.

마찰용접 해석결과 용접부 주변의 응력은 소재의 항복점에 미치지 않았고 해석결과 생성된 플래시는 Fig6 과 같이 내부의 유동에 영향이 없기 때문에 Model(1-2),(1-3)에서 용접부 형상을 결정하였다.

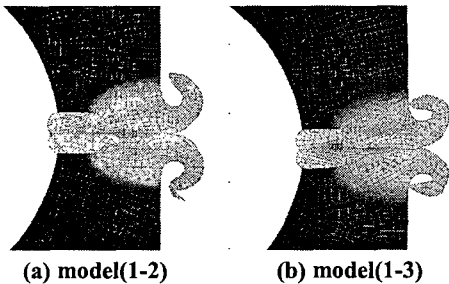


Fig. 6 Friction welding analysis result of welding part with flow gallery

4. 결론

마찰용접의 FEM 해석 수행과 내부에 유동부를 갖는 형상에 대한 해석을 수행하여 형상의 결정에 관한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1)마찰용접해석에서 온도 변화에 S-S Curve 를 수치해석법인 외삽법을 이용하여 구하였으며, 온

도 변화에 따른 마찰계수는 수식의 계산을 수행하여 해석에 적용하였다.

(2)내부 유동부를 갖는 용접부에 대한 마찰용접 변수로 소재의 회전수는 1000RPM,업셋 압력은 50KN 이 적당하였고, 가열시간은 약 3 초, 가압시 최고 속도에 도달하는 시저은 1.2 초가 합당하였다.

(3)유동부를 갖는 용접부의 형상은 W_R 2.5mm, W_D 5~10 도의 각을 가질 때 유동부의 유동에 영향을 미치지 않는 플래시가 생성되었다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 시행한 미래형 자동차 기술 개발 과제의 일환으로 (주)동서공업의 위탁 연구비 지원에 의해 수행된 결과의 일부입니다.

참 고 문 헌

- [1] H.S.Jeong, T.Shinoda,1997,Fundamentals and Basic Application of Friction Welding, 대한용접학회지, 제 15 권,제 6 호.
- [2] 박화순,김우열,강정운,1996,강/비철금속 이중금속간의 용접및접합,대한용접학회지,제 14 권,16 호
- [3] Kobayashi, S., Oh,S, & Altan T.,1989,Metal Forming and Finite-Element Method.New York; Oxford university press.
- [4] DEFORM-2D Ver.8.1 Manual.
- [5] 강성보,2000, W-30Cu 합금과 Cu 의 마찰용접 특성 및 혼합층에 관한 연구,충남대학교 박사 학위 논문.
- [6] M. J.Maron, R.J.Lopez, 1990, Numerical Analysis A Practical Approach, WADSWORTH
- [7] A. Sluzalec, 1990, Thermal Effect in Friction Welding, Int. J. Mech. Sci, Vol. 32, No. 6, pp. 467-478.