

CD 스테드 용접공정의 해석 및 결함 분석

Analysis of CD stud welding process and defects

오현석, 유중돈

한국과학기술원, 기계공학과

ABSTRACT

In this study, modeling of the CD stud welding system was conducted considering mechanical and electrical components. The electrical components such as arc resistance, cable resistance, capacitance, internal resistance and cable inductance were found to affect the output waveform significantly. The calculated results showed good agreements with the experiment results within 20% error. The main defect of CD stud welding with 1010 steel stud and SS400 steel plate was the void trapped between stud and base metal. The effect of the spring force and stud tip size on void formation was investigated.

1. 서 론

CD (Capacitor Discharge) 스테드 용접은 커패시터에 저장된 전기 에너지를 방전시켰을 때 발생하는 아크 열을 이용하여 스테드와 모재의 표면을 용융시키고 힘을 가해 접합하는 공정이다. 이 공정은 커패시터를 전원 공급 장치로 사용하고 압력을 가한다는 점에서 일반적인 아크 용접과는 차이가 있다.

CD 스테드 용접은 입열량이 작기 때문에 잔류 응력과 열변형이 작고, 용융부가 좁아서 모재 뒷면에 자국이 발생하지 않는다. 이종 재료 간의 접합도 가능하고 생산성이 높아서 산업현장의 적용에도 유리하다. 또한, 아크 용접에 비해 숙련된 기술을 요구하지 않으며 설정한 용접 조건을 이용하기 때문에 자동화가 용이하다[1]. CD 스테드 용접은 이러한 다양한 장점에도 불구하고 접합부의 신뢰성이 떨어지기 때문에 강도가 중요하지 않은 곳에만 선택적으로 사용되고 있다 [2]. 이를 극복하고자 용접 현상을 규명하고 최적 용접 조건을 찾기 위한 연구가 수행되고 있다 [3-5].

본 연구에서는 CD 스테드 용접 시스템에 대한 모델을 구성하여 각각의 인자들이 출력 파형에 미치는 영향을 파악하고자 한다. CD 스테드 용접에서는 아크 발생과 동시에 압력이 가해지기 때문에 시스템의 기계적, 전기적 인자들이 함께 고

려되어야 한다. 이러한 과정을 통해 CD 스테드 용접에서 각 공정 변수의 변화에 대한 출력 전압, 전류 파형 예측이 가능할 것으로 판단된다.

2. CD 스테드 용접 시스템 모델링

2.1 기계적 모델링

CD 스테드 용접의 출력 파형은 Fig. 1과 같이 크게 세 구간으로 구분된다. 첫번째, 팁 용융 구간에서는 스테드 팁이 용융되면서 아크가 발생하는데 팁의 용융 및 기화에 필요한 열량과 저항 열에 의해 발생하는 열량이 동일하다고 가정하여 팁 용융 시간을 계산하였다. 두번째, 아크 지속 구간에서 스테드 건 내부 전극이 스프링 힘에 의해 가속도 운동한다고 가정하여 아크 지속 시간을 계산하였다.

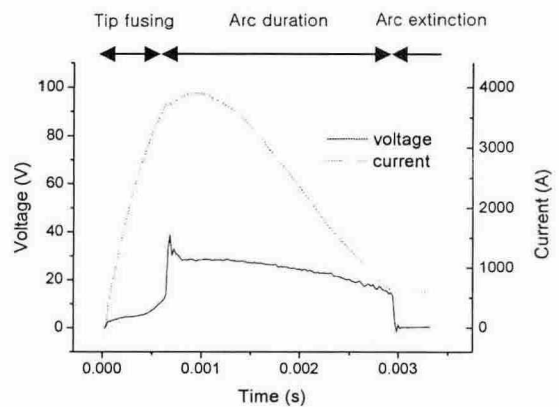


Fig. 1 Typical output waveform

2.2 전기적 모델링

CD 스테드 용접 시스템의 RLC 등가 회로를 Fig. 2에 나타내었다. 이 회로를 바탕으로 비선형 2차 미분 방정식을 구성하고 Fig. 1의 세 구간에 대하여 출력 파형을 계산하였다.

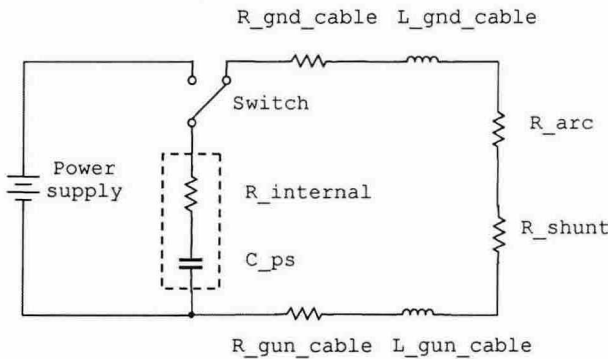


Fig. 2 RLC equivalent circuit modeling

3. 결과 및 고찰

3.1 시스템 상수값 및 변수값 결정

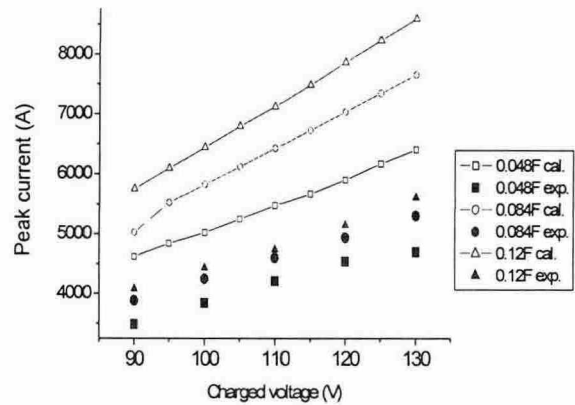
모델링에 필요한 상수값을 로드셀, LCR 미터, DAQ 보드 등의 장비를 이용하여 측정하였고 그 결과값을 Table. 1에 나타내었다. 스테드 건 내부 전극은 통전 케이블에 연결되어 있어서 측정값이 부정확하므로 실험을 통해 등가 질량을 구하였다. 아크 저항에 영향을 주는 인자는 다양한데 전력의 변화에 따른 이온화도가 가장 주요하다고 가정하고 곡선 맞춤을 통해 상수값을 결정하였다. CD 스테드 용접기 내부에 12000 μF 커패시터 10개가 병렬로 연결되어 있고 충방전 횟수에 따라 초기 용량과 차이가 있으므로 커패시턴스 값을 재측정하였다.

Table 1 Constants for calculation

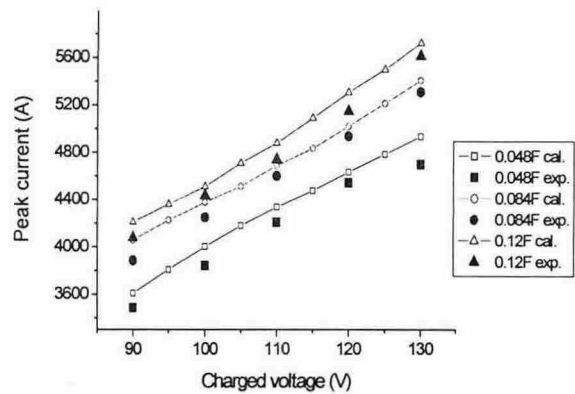
m_{eq}	0.127 kg
$R_{arc} = m(P)^n$	$m = 38.1$ $n = -0.763$
R_{gun_cable}	6.3 mΩ
L_{gun_cable} (triangular form)	7.1 μH
R_{gnd_cable}	3.5 mΩ
L_{gnd_cable} (triangular form)	6.9 μH
R_{shunt}	0.1 mΩ
C_{ps}	11300 μF
$R_{internal}$	9.0 mΩ

3.2 공정 변수 연구(Parametric study)

앞서 제안한 CD 스테드 용접 시스템의 모델을 이용하여 출력 파형을 계산하였으며 그 타당성 여부를 검증하기 위해 공정 변수 연구를 실시하였다. 계산과 실험을 통해 얻은 출력 파형에서 피크 전류값을 비교하였다. Fig. 3은 커패시터의 내부저항을 고려하지 않았을 경우(a)와 고려하였을 경우(b)에 CD 스테드 용접 시스템 회로의 피크 전류값 변화를 나타낸다.



(a) Without capacitor internal resistance



(a) With capacitor internal resistance

Fig. 3 Effect of internal resistance

3.3 시뮬레이션 및 실험 결과

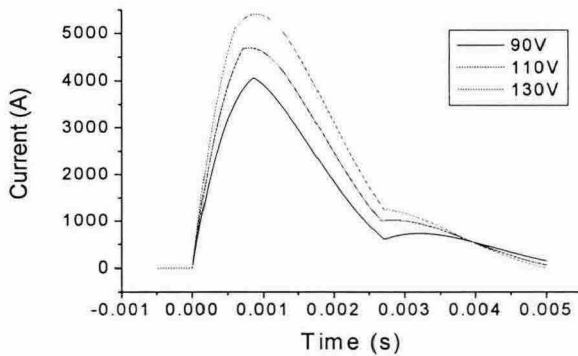
시뮬레이션 프로그램을 이용하여 출력 파형을 계산하고 시뮬레이션의 출력 파형이 실제 실험에서의 출력 파형과 유사성을 지니는지를 평가하고자 한다. 계산과 실험을 통해 구한 출력 전류 파형을 충전 전압에 따라 Fig. 4에 비교하여 나타내었다.

4. 결 론

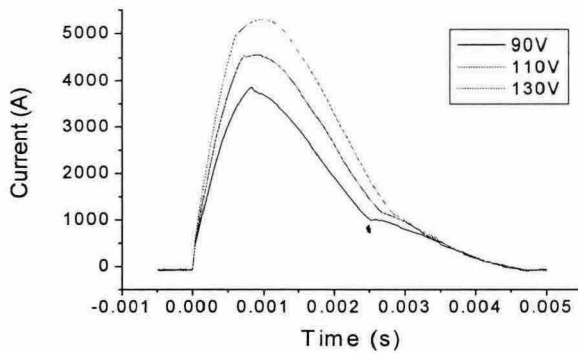
CD 스테드 용접 시스템의 모델을 제시하였으며 계산 결과는 실험 결과와 잘 일치하였다. 커패시터의 내부저항, 케이블 저항, 케이블 인덕턴스는 그 값이 비록 작지만 CD 스테드 용접 시스템에서 그 영향이 무시될 수 없음이 밝혀졌다. 접합부에서 주요 결함은 기공으로 확인되었고 용접 조건을 변화시켜 기공을 감소시킬 수 있지만, 대부분의 경우에 접합부에서 기공이 발생하였다.

참 고 문 헌

1. Welding Handbook (8th Edition) vol.2, American Welding Society, 1991
2. W. Nishikawa : The Principle and Application field of Stud Welding, Welding International 17-9 (2003), 699-705
3. S. Venkataraman, J. H. Devletian : Rapid Solidification of Stainless Steels by Capacitor Discharge Welding, Welding Journal, 67-6 (1998), 111s-118s
4. B. K. Paul, R. D. Wilson, E. McDowell, J. Benjarattananon : Study of Weld Strength Variability for Capacitor Discharge Welding Process Automation, Science and Technology of Welding and Joining, 6-2 (2000), 109-115
5. S. Ramasamy : Drawn Arc aluminum stud welding for automotive applications, The Journal of the Minerals, 54-8 (2002), 44-46



(a) Calculation result



(b) Experiment result

Fig. 4 Output waveform

3.4 접합부 단면 관찰

1010 스틸의 M5 스테드와 SS400 1.2t 판재를 용접한 결과, 일반적인 용접조건에서 Fig. 5 (a)와 같이 접합부 단면에서 기공이 관찰되었다. 스프링 힘이 약할 경우 (b)와 같이 스테드와 모재 간의 큰 간극이 형성되었으며 스테드 팁이 클 경우 (c)와 같이 팁이 완전히 용융되지 못하고 남아서 잔류 팁 주위에 기공을 형성하였다.



(a) Normal condition



(b) Low spring force



(b) Large tip volume

Fig. 5 Defects of CD stud welding