2005년도 추계 학술발표대회 발표논문, 2005년 11월, 경남 산청

인버터 AC 저항용접에서 순시동저항에 의한 동저항 패턴의 특징 분석

An analysis of feature on dynamic resistance pattern by instantaneous dynamic resistance in inverter AC resistance welding

고 미혜*, 김 진욱*, 손 준익, 이 영배**, 윤 창준***, 조 상명*****

* 부경대학교 대학원 소재프로세스공학과

** 매일정기(주)

*** 모니텍(주)

**** 부경대 신소재공학부 소재프로세스공학 전공, pnwcho@pknu.ac.kr

1. 서 론

저항용접은 자동차, 가전제품 등 박판산업에서 중요한 위치를 차지하고 있다. 그리고 일반 냉연강판에 비해 내식성과 내구성이 뛰어난 아연도금강판의 사용은 점차적으로 증가하고 있다.

그러나 아연도금강판을 저항용접 할 경우 다음과 같은 문제점이 있다. 아연도금강판은 일반 냉연강판에 비해 높은 용접전류를 필요로 하기 때문에 날림발생이 쉽고 낮은 융점의 아연금속이 전극을 오염(pick-up)시켜 전극 수명이 단축되고 생산성을 저하시킨다.[1)]

날림을 줄이고 용접부 신뢰성을 높이기 위해 용접전류, 용접전압, 발열량, 가압력, 전극변위, 피크동저항(peak dynamic resistance, DR_P)을 이용한 많은 연구가 진행되어 왔다.[2)]

최근에는 날림을 예측하여 용접 품질을 향상시키기 위한 연구가 변압기 2차측 동저항(DR_{2P})을 이용하여 진행되고 있다.[3)4)]

본 연구에서는 인버터 AC 저항 용접기를 사용하여 변압기 2차측에서 전류, 전압 순시치를 옴의 법칙에 의해 계산한 순시동저항(Instantaneous Dynamic Resistance, IDR)의 타당성을 검토하고 전류 cutoff 방식에 의해 디지털 처리된 순시동저항의 각 1/2사이클의 마이크로 패턴을 연결한 마크로 패턴 특징을 분석하여 기존의 피크동저항에 의한 마크로 패턴의 특징과 비교하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

본 연구에 사용된 피용접재는 두께 0.7mm, 합금화 용융 아연도금강판(GA: Galvannealed Steel Sheets, 35E)이었다. Table 1은 사용한 피용접재의 화학적 조성과 기계적 성질을 나타낸 것이다. 전극은 도전율 75%이상의 크롬동이였으며, 직경 16mm, 선단경 5mm인 DR type이었다.

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of GA sheet

(a) Chemical composition (wt.%)

C	Mn	P	S	Ti	B
0.004	0.6	0.04	0.01	0.06	0.0005

(b) Mechanical properties

Yield Strength	Tensile strength	Elongation
162MPa	357MPa	39%

2.2 실험방법

GA강판의 저항용접 특성을 평가하기 위해 인버터 AC 전원을 이용하였다. 2차측 주파수는 30Hz, 전극 가압력 200kgf, 통전시간 4cycle로 고정시키고 용접전류를 4000A에서 10000A까지 500A씩 증가시켜 용접하였다. 냉접 및 Tear 파단 유무는 필시험을 하여 평가하였다.

용접전류는 20kA급 홀센서를 사용하여 하부홀

더부에 부착하고, 용접전압은 10V 센서를 사용하여 양전극선단에서 약 10mm부분에 부착하여 나온 아날로그 신호를 A/D 변환기에 전송한 후 스폿 모니터링 시스템(WSM 3000N)에 의해 디지털 계측하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 동저항 계측에 의한 순시동저항 타당성 검증

AC 저항용접에서 동저항은 전류와 전압을 측정하여 옴의 법칙에 의해 계산된 값이다.

Eq.(1)에 나타낸 교류회로의 저항-코일 회로방정식에 의하면 인덕턴스(inductance, L) 성분이 크면 전압과 전류의 위상차(phase shift)가 커져 순수 동저항값이 크게 평가될 수 있다.

$$V = RI + L\frac{dI}{dt} \quad (1)$$

따라서, Eq.(1)에서 L=0에 가까우면 V=RI만 남게 되고, 전압 측정값과 전류 측정값으로 부터 R=V/I 식에 의해 저항을 알 수 있다.

즉, AC 용접기 회로에서 인덕턴스의 영향을 배제하여 동저항을 측정할 수 있는 간단한 방법은 인덕턴스 성분이 거의 없는 양전극선단에서 계측한 실효전압을 2차 회로에서 검출한 실효전류로 나누면 인덕턴스에 의한 위상차(phase shift)없이 순수한 실효저항을 얻을 수 있다고 하였다.[2] 한편, 기존의 피크동저항(DR_{2P}) 및 실효동저항은 1/2사이클 당 한점의 데이터가 얻어지므로 1/2사이클 내에서의 저항변동 특성을 알 수 없었다. 그래서 본 연구에서는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 양전극선단 10mm부에서 전압을 측정하여 인덕턴스 성분이 거의 포함되지 않도록 하였다.

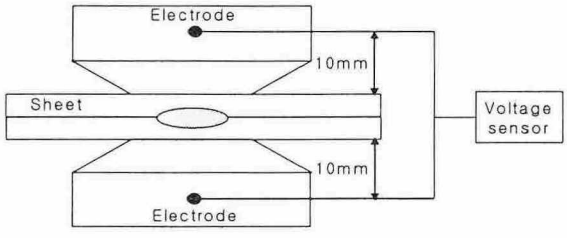


Fig. 1 distance of voltage sensors

Fig. 2는 피크동저항과 순시동저항의 개념도를 나타내었고 그에 대한 정의는 다음과 같다.

- 피크동저항 (Peak Dynamic Resistance, DR_{2P}) : dI/dt = 0 일 때 피크전류(I_{2P})와 같은 시각에 대응하는 피크전압(V_{2P})를 써서 옴의 법칙에 의해 계산한 저항값

$$V_2 = I_2(DR_{2P}) + L_2\frac{dI_2}{dt} : \frac{dI_2}{dt} = 0 \Rightarrow DR_{2P} = \frac{V_{2P}}{I_{2P}} \quad (2)$$

- 순시동저항 (Instantaneous Dynamic Resistance, IDR): 전류의 순시치와 같은 시각에 대응하는 전압의 순시치를 옴의 법칙에 의해 계산한 저항의 순시치로서 용접시에 동적으로 변하는 값

$$IDR_j = \frac{\text{전압의 순시치}(V_j)}{\text{전류의 순시치}(I_j)}, \ \Omega \quad \text{단, } j=1,2,\cdots n \quad (3)$$

따라서 피크동저항은 1/2 사이클 당 한점만 얻어지지만 순시동저항은 연속적인 형태로 표현할 수 있다.

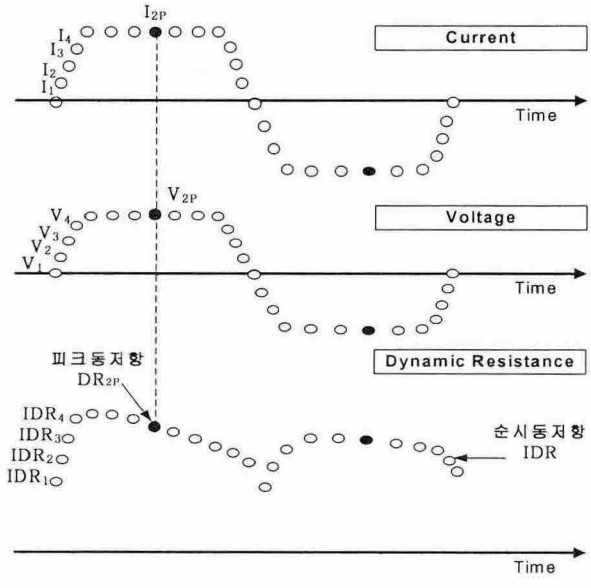
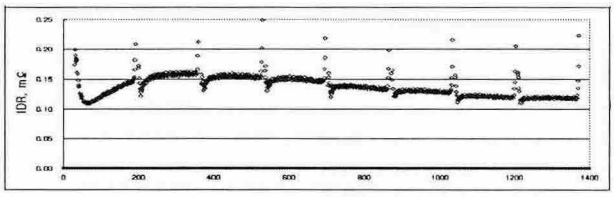


Fig. 2 The concept of DR_{2P} and IDR

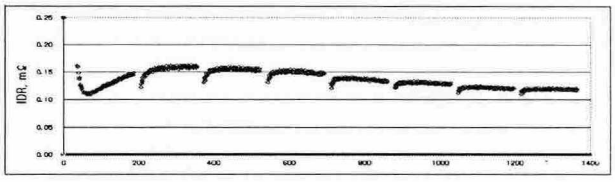
3.2 순시동저항에 의한 마크로 패턴 분석

순시동저항을 마크로 패턴으로 분석하기 위해서는 Fig.3(a)에 나타난 zero-cross 전, 후의 이상치를 제거해야 한다. 전류, 전압의 기울기 구간과 zero-cross 구간은 너깃형성에 영향을 그다지 미치지 않기 때문에 전류 cutoff 방식을 사용하여 제거하였다.

Fig. 3(b)는 전류 cutoff 방식을 사용한 후의 순시동저항이고 전류 cutoff 사용 전과는 다른 명확한 곡선을 이루고 있다.



(a) Before current cutoff



(b) After current cutoff

Fig. 3 Current cutoff to remove the abnormal points in IDR

Fig. 4는 인버터 AC 용접전원에서 1/2 cycle 동안의 마이크로 패턴의 순시동저항을 연결한 마크로 패턴의 순시동저항이다. 마크로 패턴 인자는 동저항시작점에서 최대동저항까지 도달시간 T_m과 최대동저항에서 동저항종료점까지 저항차 ΔR이다. 발열패턴에 따른 현상은 다음과 같다.

$T_{mC}>T_{mT}>T_{mS}$, $\Delta R_C<\Delta R_T<\Delta R_S<\Delta R_{SE}$

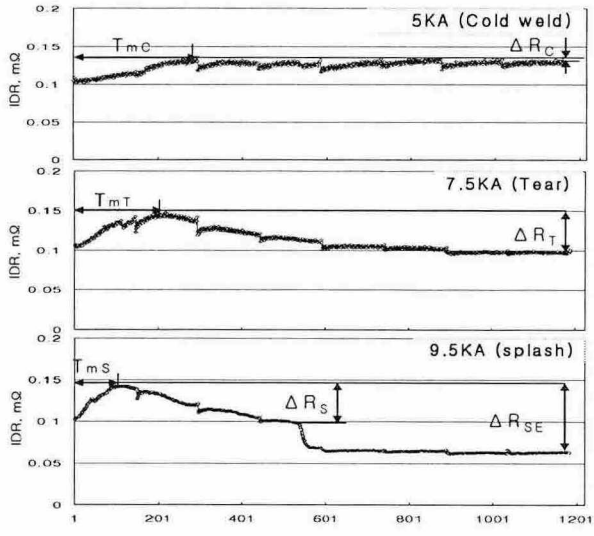


Fig. 4 Macro pattern of IDR in inverter AC power source(30Hz, 4cycle)

Fig. 5는 순시동저항과 그에 따른 피크동저항의 날림 발생과 판단시점을 나타내었다. 1/2사이클 당 한 점이 얻어지는 피크동저항은 날림발생 후 다음 1/2사이클 피크치 이후에 판단이 가능하지만, 순시동저항은 날림발생 직후에 판단이 가능하다. 순시동저항의 T_m, ΔR의 변동특성은 피크동저항의 변동특성보다 매우 정밀하게 평가할 수 있었다.

Table 2는 피크동저항과 순시동저항의 마크로 패턴을 비교한 것이다. 순시동저항은 피크동저항에 비해 1/2사이클 당 연속적인 형태로 표현되기 때문에 순시적인 온도변화 센싱과 날림제어가 가능하다.

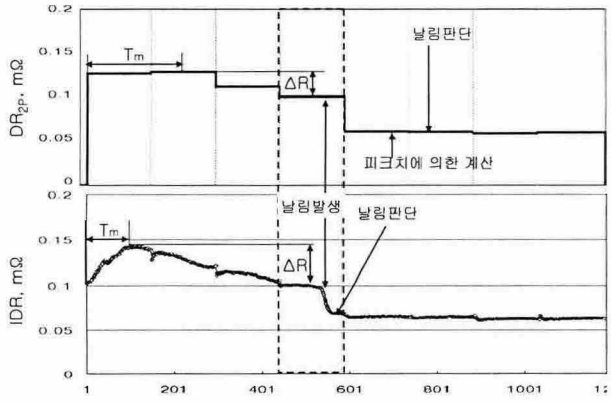


Fig. 5 The splash judgment of IDR and DR_{2P}

Table 2 The comparison of macro pattern between DR_{2P} and IDR

	DR_{2P}	IDR
Data sampling during 1/2 cycle	1 point	continuous
Sensing of instantaneous temperature change	Impossible	Possible
Splash control in 1/2 cycle	difficult	Possible

4. 결 론

1) 단상 AC 저항용접에서는 순시동저항의 마이크로 패턴에 의해서 용접상태를 평가할 수 있었지만 인버터 AC 저항용접에서는 마크로 패턴을 활용하는 것이 보다 바람직하다.

2) 기존의 1/2사이클 당 한점이 얻어지는 피크동저항 및 실효동저항의 마크로 패턴에 의해서는 동저항의 순간적인 변동특성을 정밀하게 평가하기 곤란하지만, 본 연구에서 개발한 순시동저항의 패턴을 활용하면 매우 정밀하게 동저항의 변동 특성을 평가할 수 있다.

참 고 문 헌

1. M. Ohara, T. Saito : 日本溶接學會誌 63-4(1994) 1
2. 조용준, 이세헌, 신현일, 배경민 : 대한용접학회지, 제17권, 제2호(1999)
3. S. A .Gedeon, C. D. Sorensen, K .T. Ulrich, T. W. Eagar : AWS, (1987)
4. S. M. Cho : 대한용접학회지, 제15권, 제2호(1997)