저항 점용접에서 동저항 및 전극 변위를 이용한 용접 품질 평가

The Quality Estimation of Welding using Dynamic Resistance and Electrode Movement in Resistance Spot Welding

박찬우*, 강태영*, 김우열*, 조상명*****

* 부경대학교 대학원 생산가공공학과

** 유니온스틸 기술연구소

*** 부경대학교 재료공학부 생산가공공학전공

1. 서론

저항 점용접에서 용접 품질의 좋고 나쁨은 육안으로 식별하기 어렵기 때문에 점 용접의 결함 및 품질을 판정하기 위해서는 X-ray나 초음파 등을 사용한 비파괴 검사법이 유용하다. 하지만, 실제 생산 공정에 이러한 비파괴 검사법을 적용하기에는 여러 가지 문제점이 있으며, 실시간 품질 검사는 거의 불가능하다. 최근에는 저항 점 용접 공정에서 전류, 전압을 계측하여 동저항 패턴과 용접 품질과의 관계 규명하고 있다.

본 연구에서는 저항 점용접시 저항 용접 모니터링 시스템을 이용하여 가압력, 용접 전류, 전극 형상 및 소재 강도의 변화에 따른 동저항과 전극 변위를 계측하여, 동저항과 전극 변위와의 관계를 규명하였고, 각 조건에 따른 오목 자국, 너깃 직경 및 인장 전단 강도를 실시간으로 평가하기 위한 실험을 수행하였다.

2. 사용 재료 및 실험 방법

본 연구에 사용한 재료의 화학 성분과 기계적 성질을 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다. 용접 시험편의 형상은 KS B 0851 점용접 이음의 인장 전단 시험 방법에 준하여 결정하였고, 두께 1.0mm, 폭 30mm, 길이 100mm인 시험편으로 저항 점용접을 하였다. 점 용접에 사용된 용접기는 75kVA의 단상 교류로서 공기압 조절 방식이고, 정치형 직상 가압형태이다. 용접에 사용된 전극은 KS D 5579 저항 용접용 동합금 전극 재료 2종에 해당하는 도전율 75%이상의 크롬동을 사용하였고, 전극 형상은 직경 16mm, 선단 직경 6mm으로 CF형(선단 각도 : 20°, 40°, 60°), DR형을 사용하였다. 용접 조건은 통전시간 10cycle로 하여 용접 전류를 6kA에서 13kA까지 0.5kA씩 증가시켰고, 가압력은 250kgf, 350kgf, 450kgf로 바꿔가면서 용접하여, 용접 전류, 전압 및 전극의 변위를 스폿 모니터링 시스템(WSM-3000N)으로 계측하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 용접 전류, 전압 및 전극 변위의 모니터링 파형을 나타내었고, Fig. 2에 용접 전류에 따른 동저항과 변위의 파형을 나타내었다. 용접시 피용접재와 전극의 온도 증가에 따라 전극의 변위가 증가함을 알 수 있고, 고전류 영역에서는 날림이 발생하고 동시에 전극의 변위가 급격하게 감소하였고, 동저항의 파형도 같은 패턴으로 감소함을 알 수 있다.

Fig. 3은 십자형 인장 시험 후 파단형상을 나타낸 것으로 가로, 세로 파단 직경을 측정하여 그 평균 값을 너깃 직경으로 하였다. Fig 4는 각 용접 조건의 너깃 직경 $4\sqrt{t}$, $5\sqrt{t}$가 얻어지는 전류와 날림 발생 전류를 표시하였다. 가압력이 증가할수록 너깃 직경이 되는 전류는 약간 증가하고, 날림 발생 전류도 증가함을 알 수 있다. 그리고 전극 선단 각도 변화에 따라 최소 너깃 직경이 되는 전류의 변화는 거의 없으나, 날림 발생 전류는 선단 각도가 커질수록 감소하였다. 즉 전극 선단 각도가 작을수록 적정 전류 범위가 커진다. 또한 DR형 전극인 경우 최소 너깃 직경이 되는 전류가 상당히 낮음을 알 수 있다.

Fig. 5는 용접 전류에 따른 너깃 직경, 오목자국 깊이(변위계 측정 값) 및 인장 전단 강도를 나타내었다. 용접 전류가 증가할수록 너깃 직경이 커지고, 인장 전단 강도가 증가하였다. 그러나 고전류 영역에서 날림이 발생하면 오목자국 깊이가 깊어져 인장 전단 강도가 감소하였다. 가압력, 전극 형

상 및 재료 경도의 변화에 관계없이 같은 경향을 보였다. 그러므로 동저항의 패턴을 이용하여 용접 조건에 따른 용접 품질 평가를 할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

냉간 압연 강판을 각종 용접 조건에 따라 동저항 및 전극 변위를 계측한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 용접시 피용접재와 전극의 온도 증가에 따라 전극의 변위가 증가하였다. 또한 고전류 영역에서는 날림이 생기는 동시에 전극 변위가 급격하게 감소하고, 동저항의 파형도 같은 패턴으로 변화함을 알 수 있다.

2) 가압력이 증가할수록 최소 너깃 직경이 되는 전류는 약간 증가하고, 날림 발생 전류도 증가함을 알 수 있다. 그리고 전극 선단 각도 변화에 따라 최소 너깃 직경이 되는 전류의 변화는 거의 없으나, 날림 발생 전류는 선단 각도가 커질수록 감소하여 적정 전류 범위가 작아진다.

3) DR형 전극인 경우 요구 최소 너깃 직경이 되는 전류가 상당히 낮아져 적정 전류 범위가 CF형 전극 보다 넓어졌다.

4) 가압력, 전극 형상 및 재료 경도의 변화에 관계없이 용접 전류 증가에 따라 너깃 직경이 커지고, 인장 전단 강도가 증가하고, 날림이 발생하면 오목자국 깊이가 깊어져 인장 전단 강도의 감소 경향을 보였다. 그러므로 동저항의 패턴을 이용하여 용접 조건에 따른 용접 품질 평가를 할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 1 Chemical composition of cold rolled steel sheets

Chemical composition(%)						
C	Mn	S	P	Al	Si	Fe
0.0392	0.2336	0.0079	0.0124	0.0359	0.0003	99.67

Table 2 Mechanical properties of cold rolled steel sheets(t=1.0)

Materials	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Remarks
High hardness SCP	850	3.8	As cold rolled
Low hardness SCP	330	53	Annealed

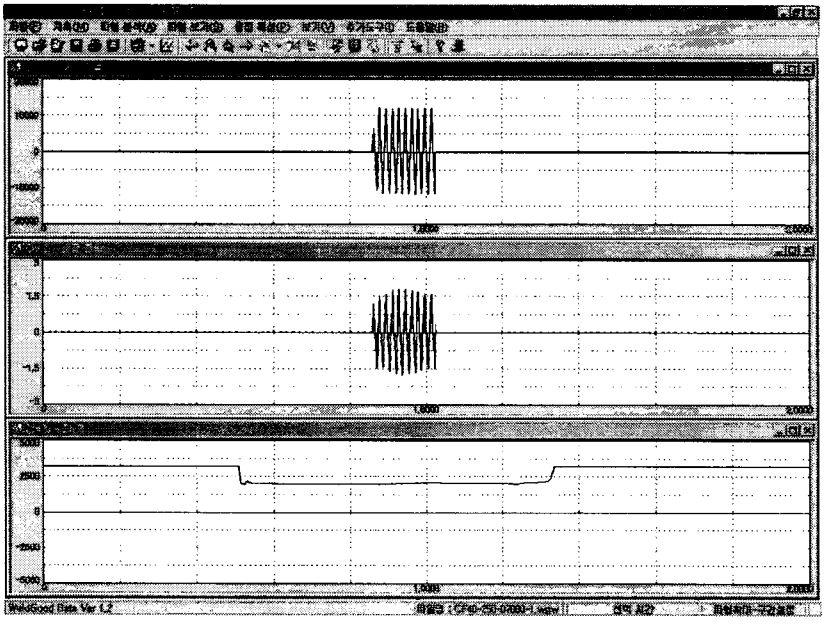


Fig. 1 Waveform by spot monitoring system(9,000A, 10cycle, 250kgf, CF 40°)

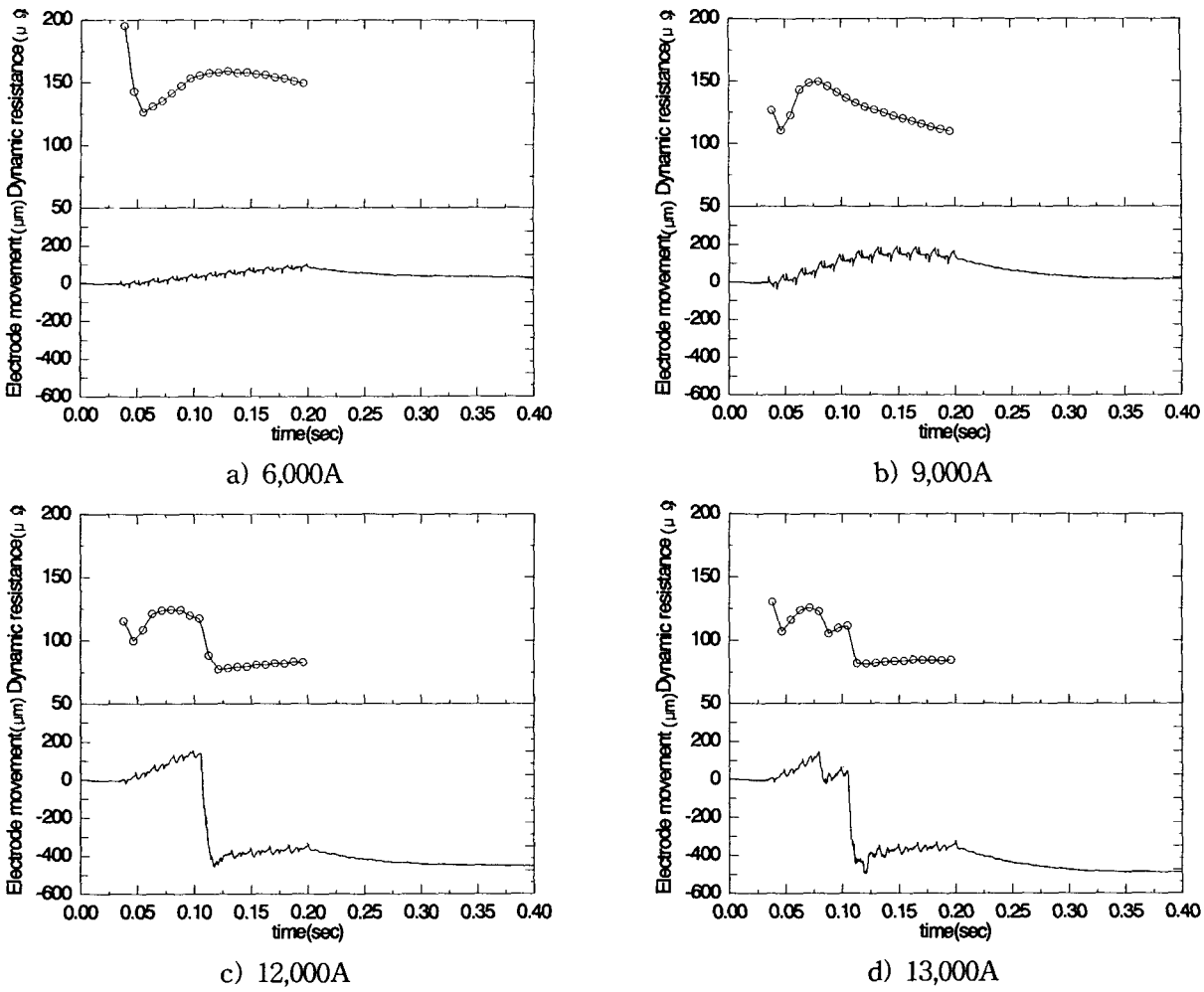


Fig. 2 Waveform of dynamic resistance and electrode movement by welding current (High hardness SCP, 10cycle, 250kgf, CF 40°)

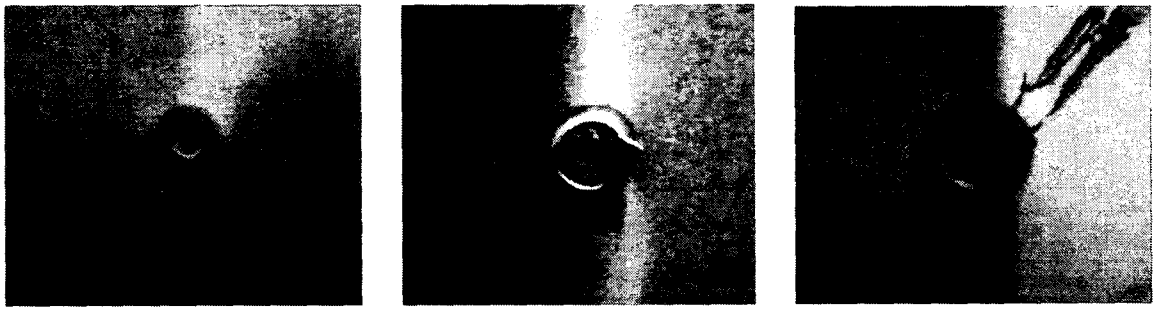
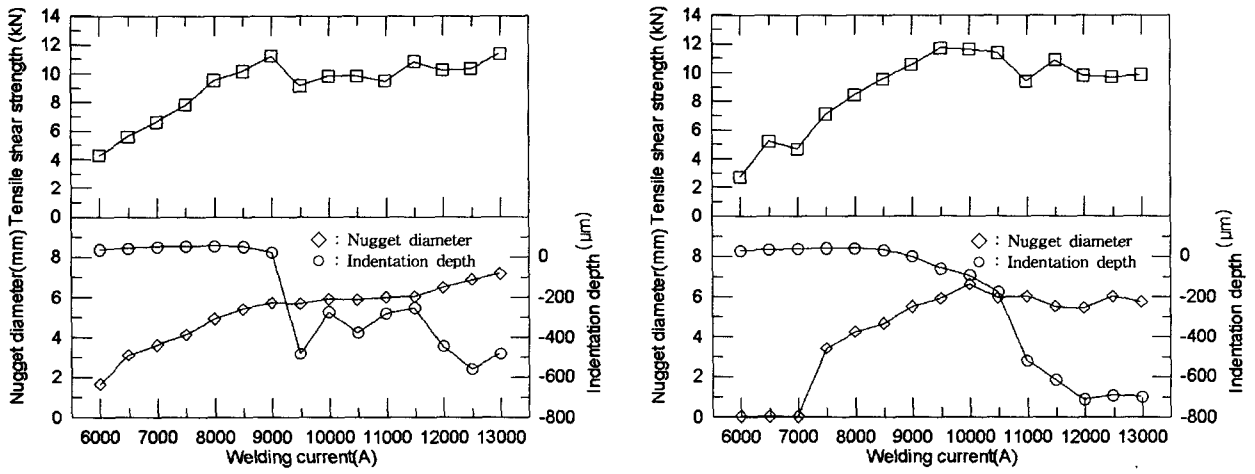


Fig. 3 Fracture shape by cross tension test

Tensile strength	Electrode force	Tip shape	Current(kA) 6 7 8 9 10 11 12 13
850MPa	250kgf	CF 40°	
850MPa	350kgf	CF 40°	
850MPa	450kgf	CF 40°	
850MPa	250kgf	CF 60°	
850MPa	250kgf	CF 20°	
850MPa	250kgf	DR	
330MPa	250kgf	CF 40°	
330MPa	250kgf	DR	$4\sqrt{t}$ $5\sqrt{t}$ expulsion

Fig. 4 Effect of welding condition on nugget size



a) High hardness SCP, CF-40°, 250kgf

b) High hardness SCP, CF-40°, 450kgf

c) High hardness SCP, DR, 250kgf

d) Low hardness SCP, CF-40°, 250kgf

Fig. 5 Nugget diameter, indentation and tensile shear strength by welding current(10cycle)