Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers 27:2 (2018) 99~103

https://doi.org/10.7735/ksmte.2018.27.2.99

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.
ISSN 2508-5107(Online)

SPFC 590 강재의 저항 점 용접 특성에 관한 연구

김대환[a], 강태종[b], 신석우[c], 박상흡[b*]

Resistance Spot Welding Characteristics of SPFC 590 Steels

DaeHwan Kim[a], TaeJong Kang[b], SeokWoo Shin[c], SangHeup Park[b*]

[a] *Chungnam Institute for Regional Program Evaluation, 277, Cheonan-daero, Dongnam-gu, Cheonan, Chungnam-do, 31212, Korea*
[b] *Department of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University, 1223-24, Cheonan-daero, Seobuk-gu, Cheonan, Chungnam-do, 31080, Korea*
[c] *Korea Institute of Industrial Technology, 89, Yangdaegiro-gil, Ipjang-myeon, Seobuk-gu, Cheonan, Chungnam-do, 31056, Korea*

ARTICLE INFO

Article history:

Received	18	September	2017
Revised	3	January	2018
Accepted	8	March	2018

Keywords:
Current
Dynamic resistance pattern
SPFC 590
Resistance spot welding
Waveform

ABSTRACT

Fossil fuel depletion and environmental pollution have led to the enforcement of strict regulations. In many countries, there is a need to improve fuel efficiency by more than 40% to achieve the carbon emission reduction target to be imposed in 2025. To improve fuel efficiency, the weight of automobiles is being reduced by using lightweight material such as aluminum or magnesium alloys for the body, developing molding and machining technologies, and optimizing the shape of existing parts. Body weight reduction is the most efficient way to reduce the automobile weight, thereby saving fuel by maximizing the engine efficiency. High strength steel can also be used to save weight, as it can be made thinner, and therefore lighter. Herein, the welding characteristics of SPFC590 1.2 t steel were analyzed. The quality of the resistance spot welded part was predicted by analyzing the dynamic resistance pattern.

1. 서 론

1.1 개요

지난 수십 년간 자동차 업계에서 저항 점용접 공정은 차체를 접합하기 위한 핵심 공정으로 각광받아 왔으며, 보통 차체 한 대당 3000에서 5000타점의 용접이 이루어지고 있다. 최근 화석 연료 고갈 및 환경오염 문제가 대두되면서 환경오염에 대한 규제가 강화되었고, 각 국에서는 2025년 탄소배출량 감축목표의 달성을 위해 완성차업체에게 40 % 이상의 연비 개선을 요구하고 있다[1].

이러한 연비 개선의 방안으로 자동차 경량화를 진행하고 있다. 자동차의 경량화를 위해 크게 3가지의 방법이 있으며, 첫째는 기존 차체에 적용되는 소재의 무게를 줄이는 방법, 둘째 성형 및 가공기술을 개발하는 방법, 셋째 기존 부품의 형태를 최적화 설계하는 방법으로 분류된다. 이 중 첫 번째 차체의 무게를 줄이는 방법이 자동차 중량절감에 가장 효율적이며 경량화는 엔진 효율을 극대화하여 연료 절감에 가장 적합한 방법이다[2]. 차체의 경량화를 위하여 저중량인 알루미늄 합금이나 마그네슘 합금과 같은 가벼운 소재나

* Corresponding author. Tel.: +82-41-521-9283
Fax: +82-41-521-9418
E-mail address: weldpark@kongju.ac.kr (SangHeup Park).

강도가 높은 고강도의 강재를 사용하여 두께를 줄여 중량을 줄이는 방법 등이 있다[3]. 본 연구에서는 자동차 차체 경량화를 위한 자동차 차체에 적용되는 SPFC 590 1.2t 소재의 저항 점용접 공정 변수에 대한 용접특성을 파악하고 동저항 패턴을 분석하여 용접부의 품질을 예측하고자 한다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

본 실험에서 사용된 판재는 약 600 MPa의 인장강도와 1.2 mm의 두께를 가지는 SPFC 590 소재를 사용하였다. 이들 시험편의 형상은 Fig. 1에 나타내었다. 시험편의 치수는 길이 100 mm, 폭 30 mm로 가공하여 저항 점용접을 실시하였다. Table 1은 본 연구에 사용된 강재의 화학성분과 기계적 성질을 나타낸 것이다. 본 연구에 사용된 전극은 KS D 5579 저항 점용접용 동합금 전극 재료 2종에 해당하는 것으로 전극 형상은 직경 16 mm, 선단직경이 6 mm인 Cu-Cr재의 표준전극을 사용하였다.

2.2 실험방법

동저항(전극 양단에서 용접사이클 별로 측정된 전기저항)은 저항점용접 공정 중에 모니터링할 수 있는 중요한 공정 변수로 사용되어 왔다[4]. 일반적인 동저항의 형태와 그에 따른 너깃 형성 거동을 Fig. 2에 나타내었다. 먼저, 용접이 시작됨과 동시에 급격한 저항 감소를 보이고 있는 I 단계에서는 초기 전류의 통전과 동시에 금속 표면의 오염물질들이 붕괴되면서 이러한 현상이 발생한다. II 단계에서는 접촉면의 요철부가 사라지면서 전류가 흐를 수 있는 접촉 면적이 증가해서 용접부의 저항이 감소함과 동시에 접촉부의 온도 상승으로 인하여 비저항(resistivity)은 증가한다. 이에 따라 두 가지 저항 변화가 평형을 이루어 α 피크(peak) 라고 하는 극점을 이룬다. 이후에는 온도 증가에 의한 비저항의 증가로 동저항이 계속 증가하다가 IV 단계에 접어들면서 접촉부에서 용융이 시작된다. 이 단계에서는 모재와 접촉부의 온도 증가에 의한 비저항 증가가 용융부 확장에 의한 통전영역 증가 및 기계적 소성변형에 의한 통전 거리 단축으로 인한 저항 감소와 평형을 이루어 β 피크라는 극점을 이룬다. 이 점을 지나면, 용융너깃의 성장과 소성변형에 의한 두께 감소는 더욱 두드러져 동저항은 현저한 감소경향을 보이다가 전극의 가압력를 받고 있는 너깃 주위 고상금속이 더 이상 용융 금속을 지탱하지 못하게 되면 중간 날림(expulsion) 현상이 발생하고 이로 인하여 순간적인 동저항의 불연속적 감소를 유발한다[5].

Table 2는 용접조건을 나타낸 것으로 가압력, 유지시간 등은 ISO 18278-2에서 추천하는 용접조건으로 고정하고, 용접전류와 용접시간을 변화하여 실험하였다[6].

용접부의 용접 품질과 밀접한 관계를 갖고 있는 2차 동저항을 측정하기 위하여 사용한 실험 장치를 Fig. 3에 나타내었다. 2차 회로의 실효값들을 측정하기 위하여 전압 계측 장치와 홀 센서를 사용하였다. 용접 전압은 전극 팁의 양 선단에 직접 클립을 부착하여 전압강하의 순시값을 계측하였으며, 최대용량 20 kA의 홀 센서를 용접기의 아래 팔에 위치시켜 2차 회로에 흐르는 전류를 측정하였다[7].

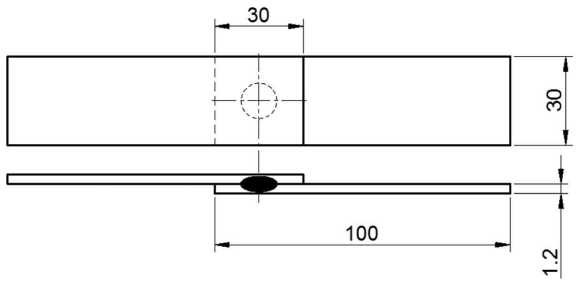


Fig. 1 Schematic drawing of the specimen (unit: mm)

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of the investigated base metal

Wt (%)					Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)
C	Si	Mn	P	S			
0.14	0.40	2.1	0.01	0.002	600	410	28

Table 2 Welding condition

Variables	Minimum value	Maximum value	Increase value
Current [kA]	4	8	2
Time [Cycle]	15	25	5
Force [kgf]	300		

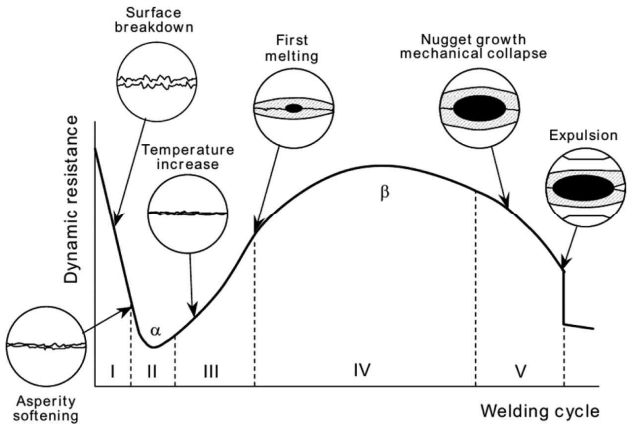


Fig. 2 Dynamic resistance curve and it's physical meaning

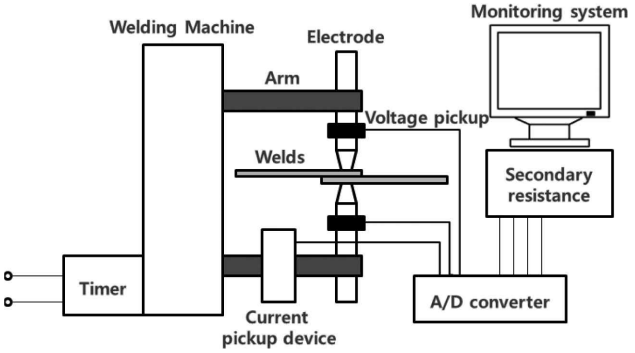


Fig. 3 Schematic diagram of the conventional secondary dynamic resistance monitoring system

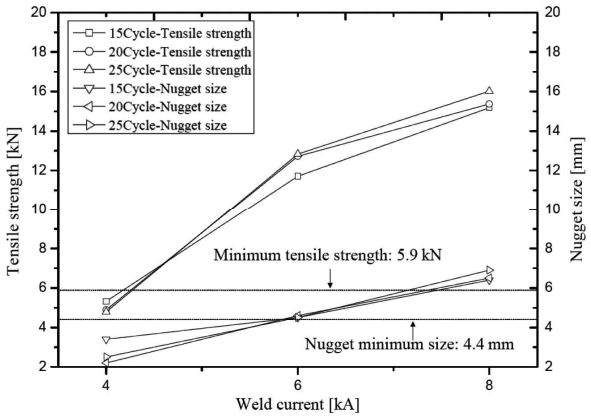


Fig. 4 Relationship between tensile shear strength and nugget size

3. 실험결과 및 고찰

3.1 용접 강도 및 너깃 지름 측정

저항 점용접부의 품질을 나타내는 기준으로는 여러 가지가 사용되고 있지만, 본 연구에서는 한국 공업 규격 KS에 명시되어 있는 방법에 따라 용접부의 전단인장강도와 너깃 지름을 용접부 품질 판단 기준으로 삼았다. 용접 전류가 증가할 때 용접부 너깃 사이즈와 전단인장강도를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. 적정 용접 영역인 4 kA, 6 kA에서 용접 전류가 증가할수록 전단인장강도와 너깃 사이즈가 증가하였고 용접부 최소 전단인장강도와 너깃 사이즈를 만족하였다.

Fig. 6에 용접 조건 별 저항 점용접부의 전단인장 파단형태의 변화를 나타내었다. 파단 형태를 관찰한 결과 용접 전류가 4 kA일 때 계면파단이 관찰되나 6 kA 이상에서는 접합부에 버튼이 존재하는 PIF (Partial Interfacial Fracture) 파단으로 파단 형태로 개선되었다.

3.2 용접 조건 별 동저항 패턴 비교

Fig. 7~9에 용접 조건 별 2차 회로의 전극에서 검출한 실효

Current [kA]	4		
Cycle	15	20	25
Nugget [mm]			
	3.4	2.2	2.5

(a) 4 kA

Current [kA]	6		
Cycle	15	20	25
Nugget [mm]			
	4.5	4.6	4.5

(b) 6 kA

Current [kA]	8		
Cycle	15	20	25
Nugget [mm]			
	6.4	6.5	6.9

(c) 8 kA

Fig. 5 Nugget formation of various welding conditions

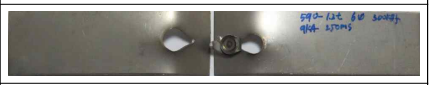
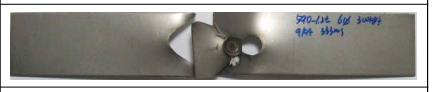
Current [kA]	Cycle	As-welded samples
4	15	
	20	
	25	
6	15	
	20	
	25	
8	15	
	20	
	25	

Fig. 6 Result of tensile shear strength

전압과 실효 전류에 의해 측정된 동저항 패턴을 나타내었다. 용접시간을 각각 15 cycle, 20 cycle, 25 cycle로 고정하고 용접전류를 각각 4 kA, 6 kA, 8 kA로 증가시켜 용접을 실시하였다. 모든 조건에서 초기의 용접 사이클에서 접촉저항에 기인한

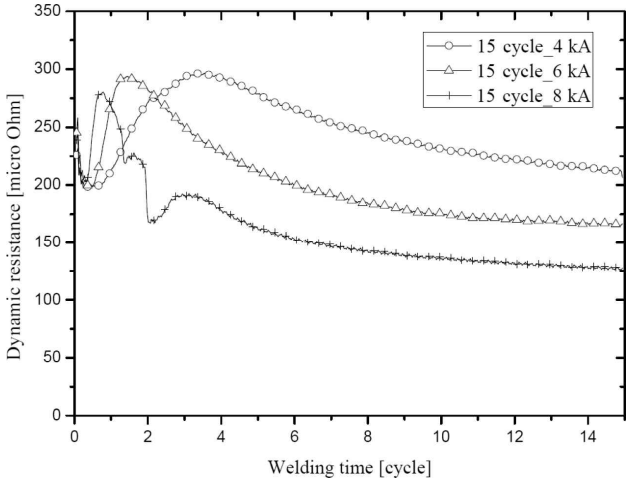


Fig. 7 Dynamic resistance pattern (15 cycle)

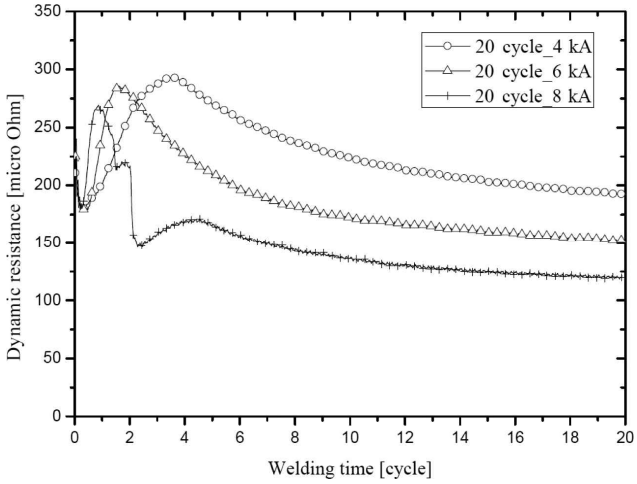


Fig. 8 Dynamic resistance pattern (20 cycle)

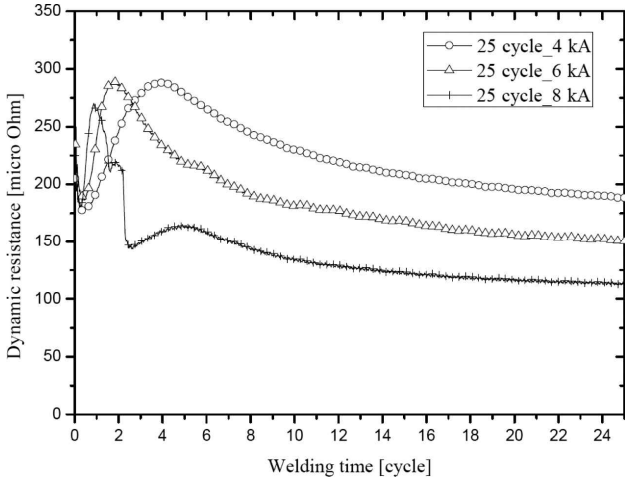


Fig. 9 Dynamic resistance pattern (25 cycle)

것으로 알려진 α 피크를 관찰할 수 있었고, 이러한 동저항의 패턴은 다른 사이클의 용접 조건에서도 유사하게 나타내었다. 각 조건별 동저항 패턴은 저전류에서 상대적으로 완만한 저항의 증가를 보이다가 전류가 증가함에 따라 저항의 상승 속도가 증가하여 고전류에서는 β 피크 이후에 급격한 저항감소를 보여 날림 현상이 발생하였음을 짐작할 수 있다.

Fig. 5(a)의 결과와 같이 4 kA의 경우 완만한 동저항의 증가 속도와 β 피크는 관찰되지만, 이후에 너깃을 성장시킬 입열이 부족하여 원하는 너깃을 얻을 수 없었다. Fig. 5(b)의 6 kA 용접 전류에서는 충분한 입열에 의한 급격한 동저항의 증가와 β 피크 이후의 충분한 지속시간으로 인하여 적절한 크기의 너깃을 얻을 수 있었다. Fig. 5(c)의 8 kA에서는 모든 사이클의 용접조건에서 날림에 의한 급격한 동저항의 감소가 관찰되었고 날림 이후에 계속되는 입열로 인하여 좀 더 확대된 크기의 너깃과 오목 자국을 관찰할 수 있었다.

4. 결 론

용접부 너깃 사이즈와 전단인장강도를 이용하여 2차 동저항의 패턴에 따른 너깃의 형성 거동을 파악하였다. 같은 용접 사이클의 경우, 용접 전류가 증가함에 따라 저항의 변화율이 증가하였으며 단면 사진에 의해 이러한 저항의 증가율이 용융 너깃의 형성에 중요한 인자임을 알 수 있었다. 또한 용접 사이클의 증가에 따라 너깃을 포함한 열 영향부의 지름이 증가되기 때문에 저전류에서는 용접 사이클이 용접성 향상에 필요한 중요 인자임을 알 수 있었다.

각 조건별 동저항 패턴은 저전류에서 상대적으로 완만한 저항의 증가를 보이다가 전류가 증가함에 따라 저항의 상승 속도가 증가하여 고전류에서는 β 피크 이후에 급격한 저항감소를 보여 날림 현상이 발생하였음을 짐작할 수 있었다. 그러므로 동저항 패턴을 이용하여 용접 조건에 따른 용접 품질 평가 방법으로 활용 할 수 있을 것으로 사료된다.

References

[1] Lee, M. Y., 2011, The High Strength Steels for Light Car Body and Welding Technology, Journal of KWJS, 22 :3 214-218.

[2] Hayat, F., 2011, The Effects of the Welding Current on Heat Input, Nugget Geometry, and the Mechanical and Fractural Properties of Resistance Spot Welding on Mg/Al Dissimilar Materials, Mater. Design 32, 2476- 2484.

[3] Yoon, H. J., Kim, D. C., Kang, M. J., 2012, Resistance Spot Welding of 1.2GPa TRIP Steel Sheet, Journal of KWJS, 2012-Autumn 164.

[4] Brown, B. M., 1987, A Comparison of AC and DC Resistance Welding

of Automotive Steels, Welding Journal, 66 :1, 18-23.

[5] Cho, Y. J., 2000, A Study of Dynamic Resistance Monitoring and Intelligent Quality Estimation for the Manufacturing Process Automation During Resistance Spot Welding, Doctoral Dissertation, Hanyang University, Republic of Korea.

[6] ISO, 2004, Resistance welding Weldability Part 2: Alternative Procedures for the Assessment of Sheet Steels for Spot Welding, ISO 18278-2:2004.

[7] Shin, S. W., Lee, J. H., Park, S. H., 2018, Strength estimation model of resistance spot welding of 1.2GP a Grade Ulter High Strength TRIP Steel for Car Body Applications, Journal of KWJS, 36:1 82-89.