Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 18, No. 12 pp. 644-649, 2017

https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.12.644
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

SGAFC1180 TRIP강재의 저항 점용접성 평가

신석우[1*], 이종훈[2], 김대환[3], 박상흡[4]
[1]한국생산기술연구원, [2](주)가진테크, [3]충남지역사업평가단, [4]공주대학교 기계자동차공학부

Evaluation of Resistance Spot Weldability of SGAFC1180 Steel

Seok-Woo Shin[1*], Jong-Hun Lee[2], Dae-Hwan Kim[3], Sang-Heup Park[4]
[1]**Korea Institute of Industrial Technology**
[2]**GajinTech Co., Ltd.**
[3]**Chungnam Institute for Regional Program Evaluation**
[4]**Department of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University**

요 약 자동차 산업에서는 환경 문제와 국제 유가 상승 등으로 인한 차량 경량화에 대한 요구가 증대되고 있다. 이에 따라 알루미늄 합금과 특수 소재 등이 차량 중량을 줄이는데 활용되고 있지만 비용과 강도 측면에서 철강소재를 극복하기 에는 여전히 많은 어려움이 있다. 따라서 강도와 성형성이 좋은 AHSS(Advanced High Strength Steel) 소재의 적용이 증가하고 있다. 특히 운전자 보호를 위한 안전 규제가 강화되면서 센터필러 (Center Pillar), 루프레일 (Roof Rail) 부분에 1.2GPa급 초고강도 강재의 적용이 점차 늘어나고 있으며 이종강재에 대한 자동차 차체 적용 또한 점차 증가하고 있다. 본 연구에서는 SGAFC1180 1.2t 강재의 저항 점용접성 및 용접부의 특성을 파악하였다. 시뮬레이션을 이용하여 너깃의 생성 및 성장 거동을 관찰하였으며 예측 성능은 오차율 10% 이내에서 유사한 경향을 나타내었다. 또한 이러한 거동이 공정변수인 동저항에 미치는 영향을 파악하였고 전단인장강도 및 너깃 직경과의 상관관계를 고찰하였다. 본 연구를 통하여 동저항의 패턴을 인식하여 패턴의 형태에 따라 용접 상태를 분류하고 용접 품질을 판단하는 시스템도 제안할 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract In the automobile industry, there is growing demand for lightweight vehicles due to environmental problems and rising oil prices. Therefore, aluminum alloys and special materials are being used to reduce the weight of vehicles, but there are still many difficulties to overcome in terms of cost and strength. Therefore, the application of advanced high strength steel (AHSS)is increasing. AHSS has good strength and formability.Safety regulations are becoming stricter, and 1.2-GPa super-high-strength steels are gradually being applied for the center pillar and roof rails. Thus, the application of different kinds of steels in automobile bodiesis also increasing gradually. This study evaluates the resistance point weldability and the characteristics of a welded part of SGAFC1180 1.2t steel. A simulation was used to observe the nugget formation and its growth behavior. The prediction performance showed a similar tendency within an error rate of 10%. Also, the effect of this behavior on the process resistance and dynamic resistance was investigated,along with the correlation between the shear tensile strength and nugget diameter.

Keywords : AHSS, Current, Resistance spot welding, SGAFC1180, Waveform

1. 서론

자동차 산업에서는 환경 문제와 국제 유가 상승 등으로 인한 차량 경량화에 대한 요구가 증대되고 있다. 이에 따라 알루미늄 합금과 특수 소재 등이 차량 중량을 줄이는데 활용되고 있지만 비용과 강도 측면에서 철강소재를 극복하기에는 여전히 많은 어 려움이 있다. 따라서 강도와 성형성이 좋은 AHSS(Advanced High Strength Steel) 소

*Corresponding Author : Seok-Woo Shin (Korea Institute of Industrial Technology)
Tel: +82-41-589-8585 email: swshin@kitech.re.kr
Received September 4, 2017 Revised October 11, 2017
Accepted December 8, 2017 Published December 31, 2017

재의 적용이 증가하고 있다. 특히 운전자 보호를 위한 안전 규제가 강화되면서 센터필러 (Center Pillar), 루프레일 (Roof Rail) 부분에 1.2GPa급 초고강도 강재의 적용이 점차 늘어나고 있으며 이종강재에 대한 자동차 차체 적용 또한 점차 증가하고 있다[1].

본 연구에서는 Inverter DC 저항 용접기를 사용하여 SGAFC1180 1.2t TRIP강재의 저항 점용접성 및 용접부 특성을 도출하고자 한다. CAE(Computer Aided Engineering)를 이용하여 너깃의 생성 및 성장 거동을 예측하였으며, 이러한 거동이 저항 점용접의 공정 변수인 동저항에 미치는 영향을 파악하였고 전단인장강도 및 너깃직경과의 상관관계를 고찰하였다.

2. 본론

2.1 사용재료 및 실험방법

본 연구에서 사용된 피용접재는 초고강도강 중 자

동차용 강재로 많이 쓰이는 SGAFC1180 1.2t를 사용하였다. 이들 시험편의 형상은 Fig.1과 같다. 시험편의 치수는 길이 100mm, 폭 30mm로 선단경 6mm인 Cu-Cr 소재의 전극을 사용하여 저항 점용접을 실시하였다. Table 1은 본 연구에 사용된 강재의 화학성분과 기계적 성질을 나타낸 것이다.

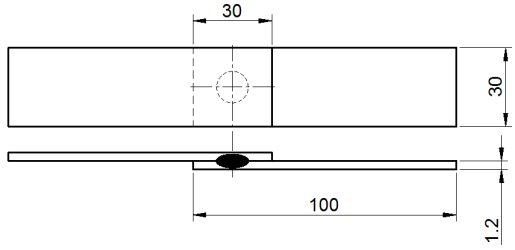


Fig. 1. Schematic drawing of the specimen(Unit: mm)

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

Wt(%)					UTS (MPa)	YS (MPa)	EL (%)
C	Si	Mn	P	S			
0.12	0.1	2.4	0.01	0.002	1229	835	10

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

Table 2. Welding condition

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

2.2 저항 점용접 시뮬레이션

2.2.1 시뮬레이션 방법

저항점용접 시뮬레이션을 위해서 CAE (Computer Aided Engineering)을 수행하였고 열 해석 및 금속학적 해석이 요구된다. 열 해석에 있어서는 발열에 가장 중요한 요소인 접촉 저항의 계산은 매우 중요하다[3].

발열의 가장 큰 요소인 저항은 접촉저항에서 가장 높게 나타나며 시뮬레이션 상에 쓰이는 저항 모델은 식 (1)과 같다.

$$\rho_{contact} = 3\left(\frac{\sigma_{s-soft}}{\sigma_n}\right)\left(\frac{\rho_1+\rho_2}{2}+\rho_{contaminant}\right) \quad (1)$$

여기서, $\rho_{contact}$는 접촉저항을 나타내며 ρ_1, ρ_2는 맞닿아 있는 금속 재료의 고유저항을 나타내고 $\rho_{contaminant}$는 접촉부 표면의 오염에 의한 저항을 나타낸다[4]. 또한 σ_n는 계면의 접촉 수직응력을 나타내며 σ_{s-soft}는 접촉된 두 금속 중에 경도가 약한 금속의 응력을 나타낸다.

2.2.2 시뮬레이션 조건

저항 점용접 시뮬레이션을 위한 조건으로 사용된 용접기는 Inverter DC 저항 용접기로 설정하였으며, 사용된 전극은 일반적인 저항 점용접에 많이 쓰이는 돔형(R Type) 전극으로 직경 16mm, 선단경 6mm인 Cu-Cr소재의 전극을 이용하였다. 냉각수는 20℃로 4 ℓ/ min의 유량으로 전극에 흐르도록 경계조건을 설정하였다. 저항 점용접 시뮬레이션을 위하여 시뮬레이션 프로그램 (SORPAS) 상에 Fig. 2와 같이 모델링을 하였다.

Fig. 2를 살펴보면 시뮬레이션 할 강판이 중앙에 겹쳐 있으며 상하부로 전극이 맞닿아 있는 형태이다.

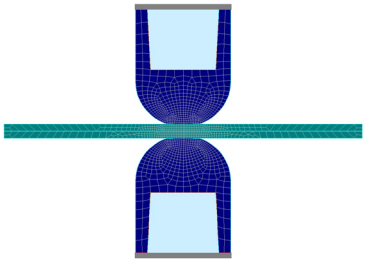
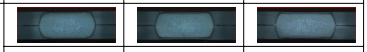


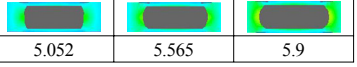
Fig. 2. Mesh of steel sheet and electrode for numerical simulation

2.2.3 실험과 시뮬레이션 비교

저항 점용접 시뮬레이션의 정확성을 판단하기 위하여 동종 강재인 SGAFC1180강재 1.2mm의 9개 용접 조건에 대하여 실험 및 시뮬레이션 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

Current[kA]	4		
Force[kgf]	300		
Cycle	15	20	25
Nugget[mm]			
	2.9	3.7	3.9
Current[kA]	6		
Force[kgf]	300		
Cycle	15	20	25
Nugget[mm]			
	4.7	4.7	5.0
Current[kA]	8		
Force[kgf]	300		
Cycle	15	20	25
Nugget[mm]			
	6.0	6.0	6.1

(a)

Current[kA]	4		
Force[kgf]	300		
Cycle	15	20	25
Nugget[mm]			
	-	-	-
Current[kA]	6		
Force[kgf]	300		
Cycle	15	20	25
Nugget[mm]			
	3.037	3.551	3.886
Current[kA]	8		
Force[kgf]	300		
Cycle	15	20	25
Nugget[mm]			
	5.052	5.565	5.9

(b)

Fig. 3. Comparison between experimental result and simulation result for SGAFC1180 1.2t sheet (a) Experimental Result (b) Simulation results

실험과 시뮬레이션의 비교는 너깃의 크기로 비교하였다. 오차율이 큰 영역은 입열량이 적은 저 전류의 영역대인 4kA인 것을 확인할 수 있었다. 시뮬레이션 상에서는 미세하게 용접부가 형성되었지만, 실제 용접에서는 너깃은 형성이 되나 용접 후 계면 파단이 발생하였다. 8kA의 적정 용접 조건에 대한 평균 오차율은 8.78%로 나타났으며 이를 통하여 적정용접조건 영역에 대한 시뮬레이션의 예측 성능은 오차율 10% 이내에서 유사한 경향이 나타남을 알 수 있었다.

2.3 용접조건 별 동저항 패턴 비교

동저항(전극 양단에서 용접사이클별로 측정된 전기저항)은 저항점용접 공정 중에 모니터링할 수 있는 중요한 공정 변수로 사용되어 왔다. 그래서 많은 범용 용접 모니터들이 용접 사이클 동안에 발생하는 열·물리적 변화를 반영하는 동저항 신호의 다양한 패턴들을 샘플링하기 위해 사용되었다[5].

용접부의 용접 품질과 밀접한 관계를 갖고 있는 2차 동저항을 측정하기 위하여 사용한 실험 장치를 Fig. 4에 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 20kA의 홀 센서를 용접기의 아래 팔에 위치시켜 2차 회로에 흐르는 전류를 측정하였다.

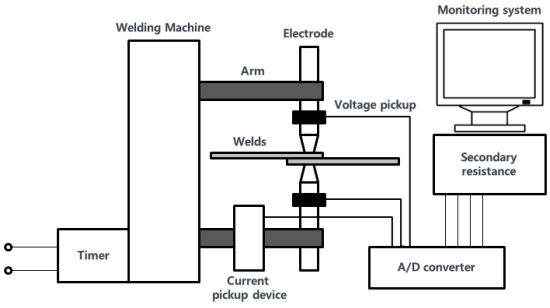


Fig. 4. Schematic diagram of the conventional secondary dynamic resistance monitoring system

고강도강판의 저항 점용접에서 나타나는 전형적인 동저항 패턴을 살펴보면 용접 초기 단계에서는 초기 전류의 통전과 동시에 금속 표면의 오염물질들이 붕괴되면서 급격한 저항감소를 보이고 이후 온도 증가에 의한 비저항(resistivity)의 증가로 동저항이 계속 증가하다가 접촉

부에서 용융이 시작된다. 이 단계에서는 모재와 접촉부의 온도 증가에 의한 비저항 증가가 용융부 확장에 의한 통전영역 증가 및 기계적 소성 변형에 의한 통전 거리 단축으로 인한 저항 감소와 평형을 이루어 극점(최대점)을 이루게 된다[5].

Fig. 5~7에 용접 조건 별 2차 회로의 전극에서 검출한 실효 전압과 실효 전류에 의해 측정된 동저항 패턴을 나타내었다. 용접시간을 각각 15cycle, 20cycle, 25cycle로 고정하고 용접전류를 각각 4kA, 6kA, 8kA로 증가시켜 용접을 실시하였다.

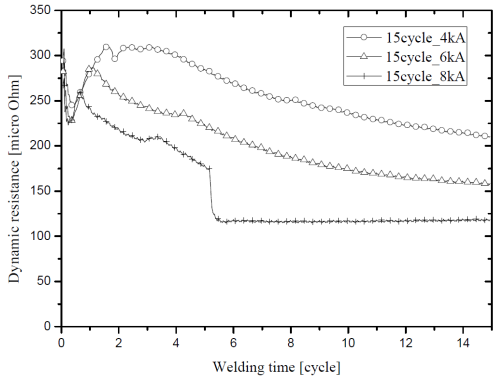


Fig. 5. Dynamic resistance pattern (15cycle)

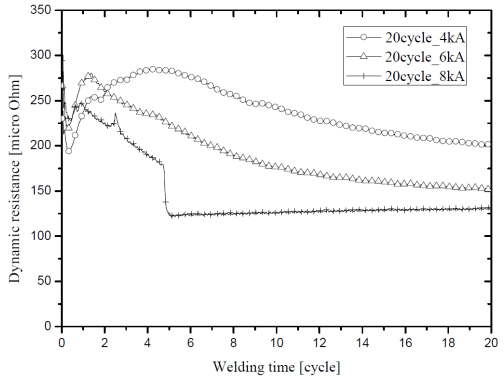


Fig. 6. Dynamic resistance pattern (20cycle)

각 조건별 동저항 패턴은 저전류에서 상대적으로 완만한 저항의 증가를 보이다가 전류가 증가함에 따라 저항의 상승 속도가 증가하여 고전류에서는 최대 동저항 이후에 급격한 저항 감소를 보여 날림 현상이 발생하였음을 짐작할 수 있다.

4kA의 경우 완만한 동저항의 증가 속도와 최대 동저항 극점(동저항 최대값)은 관찰되지만, 극점 이후에 너깃을 성장시킬 입열이 부족하여 원하는 너깃을 얻을 수 없었다[Fig. 3(b)].

적정 용접 조건이라고 볼 수 있는 6kA의 경우 초기의 저항 증가는 다른 사이클의 경우와 비슷하지만 최대 동저항 이후에 너깃 성장에 필요한 충분한 사이클이 유지되었기 때문으로 사료된다[Fig. 3(a)].

8kA의 경우는 날림(expulsion)에 의한 급격한 동저항의 감소가 관찰되었고 좀 더 확대된 크기의 너깃과 오목자국을 관찰 할 수 있었다[Fig. 3(a)].

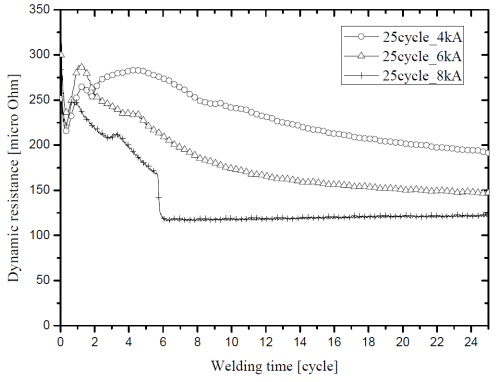


Fig. 7. Dynamic resistance pattern (25cycle)

2.3 용접 강도 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. 8에 나타내었다. 용접 전류가 증가할수록 전단인장강도와 너깃 사이즈가 증가하였고 일정 전류 이상의 조건에서 용접부 최소 전단인장강도와 너깃 사이즈를 만족하였다.

4kA, 6kA에서는 용접전류가 증가할수록 전단인장강도가 증가하였으며 적정 용접영역에서는 용접전류가 증가하여도 유사하게 나타났다.

Fig. 9에 용접 조건 별 저항 점용접부 파단형태의 변화를 나타내었다. 파단 형태를 관찰한 결과 용접 전류가 4kA 일 때 계면파단이 관찰되나 6kA 이상에서는 접합부에 일부 버튼이 존재하는 PIF(Partial Interfacial Fracture) 파단으로 파단 형태로 개선되었다.

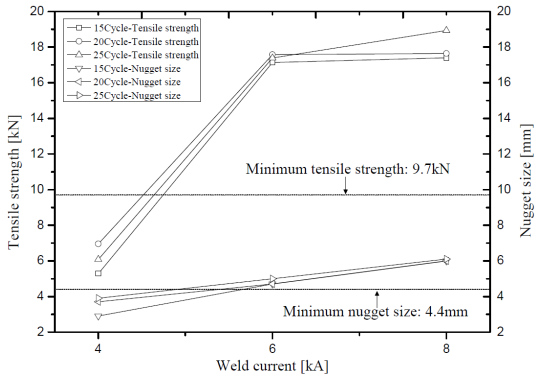


Fig. 8. Relationship between tensile shear strength and nugget size

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

Fig. 9. Result of tensile shear strength

3. 결론

SGAFC1180 1.2t 강재의 저항점용접 특성을 파악하기 위하여 Inverter DC 저항 용접기로 제시된 시편에 대한 용접변수 변화에 따른 동저항 및 전단인장 강도 분석을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 실험과 시뮬레이션의 비교 결과 8kA의 적정 용접조건에 대한 평균 오차율은 8.78%로 나타났으며 이를 통하여 적정용접조건 영역에 대한 시뮬레이션의 예측 성능은 오차율 10% 이내에서 유사한 경향이 나타남을 알 수 있었다.
2. 용접변수(용접전류, 용접시간)를 변화시켜 가면서 동저항 특성곡선을 얻은 결과, 용접변수에 따라 동저항 특성곡선의 패턴 및 동저항값의 차이가 있지만 동일한 용접전류의 경우 동저항 곡선은 거의 유사한 패턴으로 변화하였다.
3. 용접이 진행되는 동안 얻은 동저항 데이터값 중에 동저항값이 순간적으로 크게 변하는 경우 날림현상이 발생함을 확인하였다.

References

[1] Hyun Joon Yoon, Dong Cheol Kim, Moon Jin Kang, Resistance Spot Welding of 1.2GPa TRIP Steel Sheet, *Journal of KWJS*, pp. 164-164, 2012.

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

[3] S. Y. Lee, T. H. Ko, W. H. Kee, and Y. H. Jang : Weldability Evaluation of Resistance Spot Welding using CAE Methodology, *Journal of the 30th anniversary of the Korean Society of Automotive Engineers*, pp. 1351-1356, 2008.

[4] W. Zhang : Design and Implementation of Software for Resistance Welding Process Simulations, SAE Technical Paper, vol. 112, no. 5, pp. 556-564, 2003. DOI: https://doi.org/10.4271/2003-01-0978

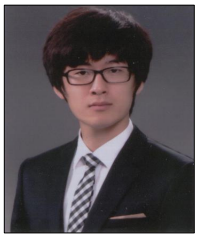
[5] Young Joon Cho, A Study of Dynamic Resistance Monitoring and Intelligent Quality Estimation for the Manufacturing Process Automation during Resistance Spot Welding, Ph.D. Thesis, Hanyang University, 2000.

신 석 우(Seok-Woo Shin) **[정회원]**

• 2012년 1월 ~ 현재 : 한국생산기술연구원 선임연구원

<관심분야>
용접공학, 특수용접

이 종 훈(Jong-Hun Lee) **[정회원]**



- 2017년 7월 : 공주대학교 기계자동차공학부 (박사수료)
- 2016년 1월 ~ 현재 : (주)가진테크 기술연구소 선임연구원

<관심분야>
용접공학, CAE

김 대 환(Dae-Hwan Kim) **[정회원]**

- 2002년 12월 ~ 현재 : (재)충남지역사업평가단 책임연구원

<관심분야>
용접공학, 특수용접

박 상 흡(Sang-Heup Park) **[정회원]**

- 2000년 2월 : 홍익대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 정교수

<관심분야>
용접공학, 특수용접