

## 스테인리스강 Spot 용접부의 산화방지에 관한 연구

허 동 운<sup>\*,†</sup> · 이 세 현<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>현대로템

<sup>\*\*</sup>한양대학교 기계공학부

### A Study on Anti-Oxidation of Stainless Steel Spot Weld

Dong Woon Huh<sup>\*,†</sup> and Sehun Rhee<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Car-Body Production Engineering Team, Hyundai-Rotem, Changwon 641-808, Korea

<sup>\*\*</sup>Dept of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 138-172, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author : huhdw@hyundai-rotem.co.kr

(Received August 23, 2011 ; Revised October 7, 2011 ; Accepted October 26, 2011)

#### Abstract

Stainless steels are alloy steels with a nominal chromium content of at least 11 percent, with other alloy additions. The stainlessness and corrosion resistance of these alloy steels are attributed to the presence of a passive oxide film on the surface. When exposed to conditions like Resistance Spot Welding (RSW) process that remove the passive oxide film, stainless steels are subject to corrosive attack. And exposure to elevated temperatures causes oxidation (discoloration) of areas around indentation in Spot welding. In this paper, deal with the effect of shielding gas (Ar) preventing the corrosion, oxidation of stainless steel. And find the optimal shielding gas flow rate. In addition, suggest effective purging method for direct/indirect spot welding process.

Key Words : Resistance Spot Welding(RSW), Anti-oxidation, Shielding gas, Stainless steel passive oxide film

## 1. 서 론

스테인레스 강은 일반 Fe에 Cr, Ni 등을 첨가하여 내 부식성을 향상시킨 재료이다. 고온강도, 피로강도, 내식성 및 용접성이 우수하여 철도차량에 적용 시 경량화가 가능하고 경제성, 안전성을 향상시킬 수 있다. 또한 표면의 부동태 피막( $Cr_2O_3$ ) 층으로 인해 방청성이 우수하여 철도차량 외판으로 주로 사용한다. 스테인레스 강을 이용한 철도 차량의 차체 조립 시 일반적으로 Spot 용접과 GMAW 용접을 이용하여 접합한다. 특히 Spot 용접의 경우 Fig. 1과 같이 (+)전극과 (-)전극이 떨어져 있는 형태의 간접 Spot 용접 (Indirect Spot welding), 1통전으로 2타점이 용접되는 직렬 Spot (Series Spot) 용접, 그리고 휴대형 Spot (Portable Spot) 용접 방법을 이용한다.

이상의 방법을 이용하여 Spot 용접 시 용접부 주변의 표면에 형성되어 있던 부동태 피막은 고온 열에 의해 파괴되면서 산화에 대한 저항성을 잃고 Fe, Mn 성분이 공기 중의 산소와 반응하게 되어 용접부 주변 영역에서 검은색, 갈색 등으로 산화된다<sup>1)</sup>. 이를 해결하기 위해 제거된 부동태 피막을 재생시키는 추가 공정이 요구된다. 본 연구에서는 이상의 문제점을 Ar(Argon) 가스와 적절한 Purging 장치를 이용하여 스테인레스 철도 차량 외판(outer panel) Spot 용접부의 방청성 및 외관 미려도와 제조 공정의 효율성을 향상시켰다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 실험 재료

실험 재료는 철도차량 외판으로 주로 사용되고 있는

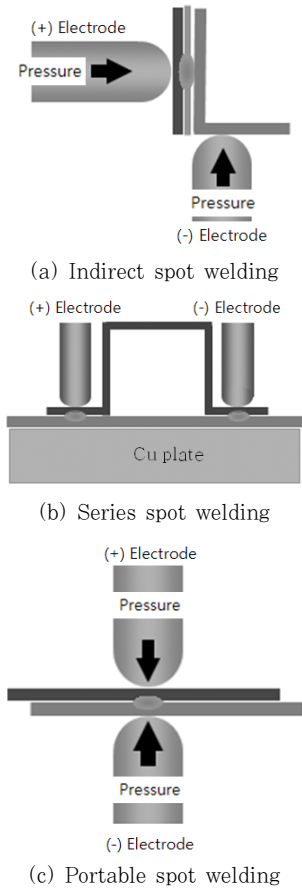


Fig. 1 Spot welding process types

Table 1 Chemical composition of STS 301L ST

STS 301L ST [%]	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N
	0.03	1.0	2.0	0.04	0.03	6.0	16.0	0.2

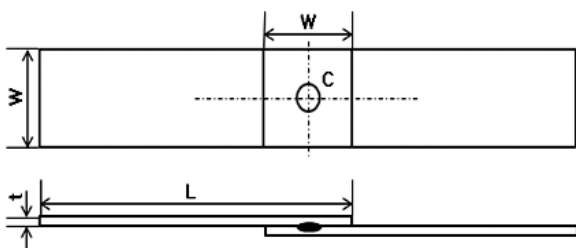


Fig. 2 Dimension of spot welding specimen

스테인리스(STS 301L ST) 강으로 표면에  $Cr_2O_3$ 의 형태로 얇은 부동태 피막(passivity layer)이 형성되어 있다. 두께는 t1.5, t2.0, t4.0을 사용하였으며 인장 전단강도 평가를 위한 용접 시험편은 길이(L) 100mm, 폭(W) 40mm로 용접부 중심(C)에 용접하여 제작하였다. 소재의 성분은 Table 1과 같으며 시험편 형상은 Fig. 2와 같다. 전극 팁은 선단이 Round형

인 Cu-Cr 성분의 직경  $\varnothing 19$  전극을 사용하였다.

## 2.2 산화방지 방법

### 2.2.1 전해연마(electrolytic polishing) 방법

전해연마는 전기 화학적 반응을 이용한 연마 방법으로 제품을 양극(+), 전극을 음극(-)으로 하여 양극 표면에서의 금속 용출을 이용해 표면 평활도, 광택도, 내식성 등을 향상시키는 연마법이다. 전해연마 방법은 Fig. 3과 같이 Fronius社의 cleaner를 이용하여 전해액( $H_2SO_4$ ,  $H_3PO_4$ )을 묻힌 전극봉을 산화부 표면에 접촉 후 연마시킨다.

### 2.2.2 산화방지 장치

스테인레스 강의 산화는 Spot 용접 시 전극팁 주변의 노출된 영역이 대기 중의 산소와 용접 열에 의해 반응하기 때문이다.<sup>(2),(3)</sup> 따라서 기존 Spot 용접 건에 장착이 가능하며 완전 밀폐가 가능하도록 전극 길이보다 길게 제작한 후 스프링 완충장치로 Ar 가스의 용접부 외부로 유출되지 않도록 하는 장치를 고안하였다. Purging 장치의 세부 그림은 Fig. 4와 같다.

Series Spot 장비의 경우 다른 Spot 용접과 달리 폐구간 내에서 용접이 이루어진다. 따라서 하부측의 집전용 동판을 가공하여 Ar 가스를 용접부에 주입시킨다. purging 될 수 있도록 Fig. 5와 같이 가공하여 산화방지가 가능하도록 하였다.

## 2.3 분석 방법

산화방지의 효과를 확인해보기 위해 산화된 용접 시편, 전해연마 시편, 산화방지 시편을 제작하였다. KS B 0850 규격에 따라 강도와 너깃 사이즈는 허용 기준 이상을 만족하는 용접 조건으로 시편을 제작하였다. 인장 전단강도 시험은 Zwick사의 Z100시험기를 이용하여 강도를 측정 하였으며 속도는 25mm/min으로 수행하였다. 너깃 사이즈는 Fig. 6과 같이 시편의 용접부 단면을 잘라 polishing 한 후 etching하여 광학현미경



Fig. 3 Electro-polishing method

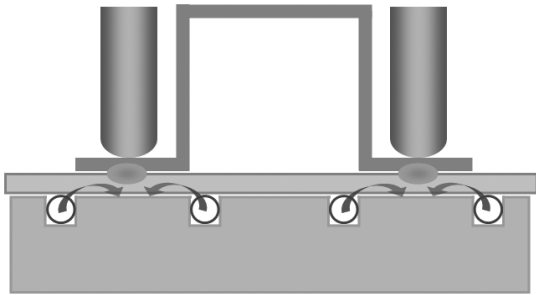


(a) Purging tool for portable spot process



(b) Purging tool for Indirect spot process

**Fig. 4** Purging tool



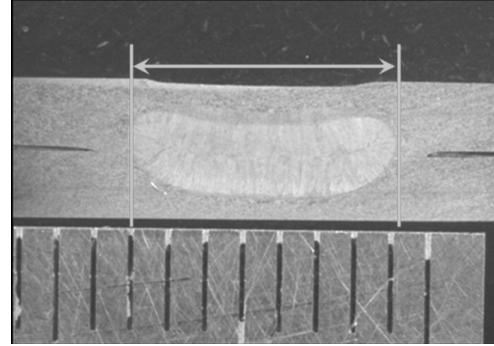
**Fig. 5** Series spot purging method

으로 측정하여 기계적 성질을 평가하였으며, Ar 가스를 이용하여 산화 방지를 한 경우 실제 표면의 부동태 피막이 파손되었는지 여부를 확인하기 위해 전해 연마한 시편과 산화 방지한 시편을 NaCl (40g/l) 용액이 담긴 시험조에서 pH 6.5~7.2, 온도 35±2℃를 유지하면서 72h 동안 시편 표면에 분무하여 발청 정도를 평가하는 염수분무 시험을 실시하였다<sup>4,5)</sup>. 또한 육안 검사를 통하여 외관 미려도를 비교하여 감성품질의 향상 정도를 판단하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 산화방지 전, 전해연마 비교

산화방지 전과 전해연마 후의 차이는 아래 Fig. 7과

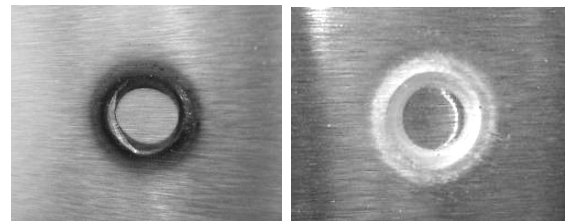


**Fig. 6** Nugget size

같다. 산소와 접촉하는 부위가 변색이 되는 것을 알 수 있으며, 전해연마 실시 후에는 부식액(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)에 의해 표면이 연마되어 주변부가 하얗게 변색되어 외관미려도가 저하된다.

#### 3.2 용접 품질 평가 및 염수분무 시험

다양한 용접 조인트와 용접 조건에 대한 산화방지 성능을 평가하기 위해 Table 2와 같이 4종류의 시편 겹침 두께에 대한 실험을 실시하였다. 용접 품질(용접 강도, 너깃 사이즈)은 거의 동일한 것으로 보아 산화방지에 의한 품질 저하는 없다. 또한, Table 3은 염수분무 시험 결과이다. Rating No.가 10에 해당되면 발청 면적은 0%이며, 수치가 낮을수록 발청 면적이 증가하고 0은 발청 면적 50.0% 이상을 의미한다. Rating No.



(a) Oxidation (b) Electro-polished

**Fig. 7** Before preventing oxidation

**Table 2** Comparison of welding quality

Weld Joint	Nugget Diameter(mm)		Tensile shear Strength(N)	
	E	A	E	A
t4.0+t1.5+t2.0	9.35	9.40	4,598	4,705
t4.0+t4.0	9.40	9.45	5,564	5,834
t2.0+t2.0	7.50	7.35	2,992	2,805
t2.0+t2.0+t2.0	8.65	8.25	3,004	3,105

(E: Electro-Polishing, A: Anti-Oxidation)

**Table 3** Salt water spray test

Test No.	Electric Polishing [Rating No.]	Anti-Oxidation [Rating No.]
1	bad [9.8]	good [10]
2	good [10]	good [10]
3	bad [9.8]	good [10]

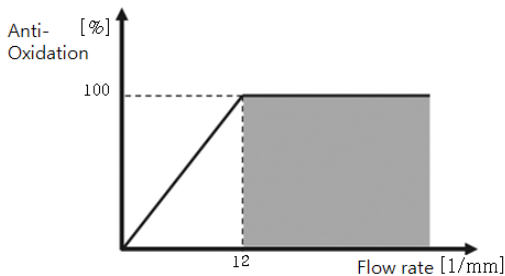
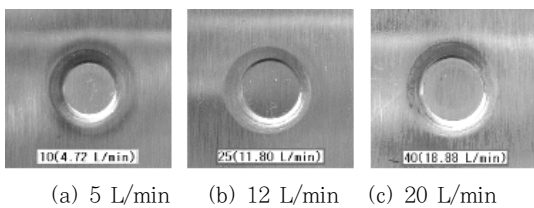
수치를 통해 Ar Purging을 실시한 산화방지 시편이 전해연마 시편보다 발청이 느리게 진행된다고 판단할 수 있으며 전해연마 방법을 이용하여 부동태 피막의 손상을 재생시켰다 하더라도 방청 성능에 문제가 존재한다고 할 수 있다<sup>6,7)</sup>.

**3.3 Ar 가스 유량 최적화**

산화방지 장치를 이용하여 실험한 결과 Ar 가스가 장치 내부에 충분히 충전되지 못할 경우 부분적으로 산화가 되었다. 또한 용접부에 Ar 가스가 직분사 되는 경우 산화방지 장치 내에 와류가 형성되어 대기중의 산소가 혼입되고 산화방지가 적절하게 이루어지지 않았다. (ref) 효율적인 산화방지를 위해 용접 변수인 Squeeze Time 을 늘려 용접 전 장치 내에 Ar 가스 분위기가 형성될 수 있도록 하였고, 가스 유량을 0~20L/min까지 1L/min 단위로 변화 시켜가며 현상을 관찰하였다. 실험한 결과 Fig. 8과 같이 12L/min 이상의 유량에서 양호한 산화방지가 가능하였다.

**3.4 활성 기체의 산화방지 효과**

일반적으로 용접 시 사용하는 보호가스는 불활성 기



**Fig. 8** Anti-oxidation according to Ar gas discharge

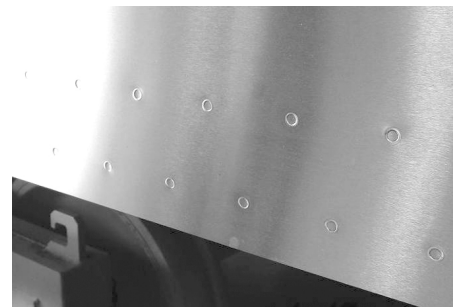
체인 Ar 가스를 많이 사용한다. 이 외에도 질소(N<sub>2</sub>), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 산소(O<sub>2</sub>) 등의 기체에 대한 산화방지 성능을 측정하였다. 산소의 경우 용접부 산화를 더욱 빠르게 촉진시켰고, 이산화탄소 역시 부동태 피막의 산화를 촉진시키는 결과를 나타내었다. 질소(N<sub>2</sub>)는 Ar 가스만큼의 충분한 산화방지는 이루어지지 않았지만 산소와의 차단 효과 때문에 미약하게 산화방지가 이루어졌다.

**3.5 Portable / Indirect Spot 용접 결과**

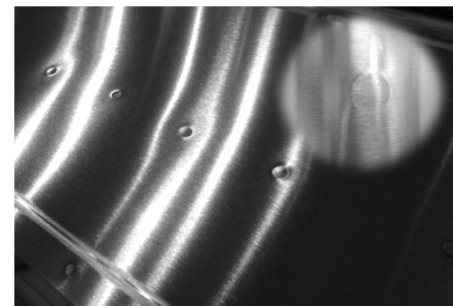
실제 철도차량의 하부와 상부 조립에 산화 방지를 적용한 결과는 Fig. 9과 같다. 그림에 나타난 바와 같이 용접부가 산화되거나 오염되지 않음을 확인하였다.

**3.6 Series Spot 용접 결과**

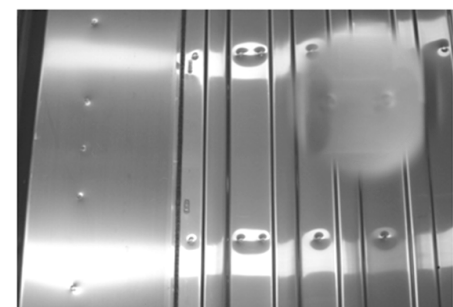
철도차량 차체 중앙부의 측면 블록을 제작할 때 사용되는 Series Spot 용접은 Spot 타점 위치 양 옆으로



(a) Indirect spot welding



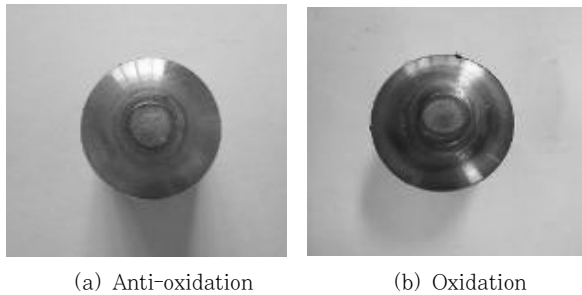
(b) Portable spot welding



**Fig. 9** Photos of Anti-oxidation



**Fig. 10** Application of anti-oxidation to rolling stock



(a) Anti-oxidation (b) Oxidation

**Fig. 11** Contamination of electrode tip

가공된 동판(Cu Plate)에서 Ar 가스 분위기를 조성시켜 산화방지를 하였다. 결과는 Fig. 10의 영역과 같이 우수한 산화방지가 가능하였다.

### 3.7 Spot 전극 팁 성능 평가

산화방지 분위기에서 전극 팁을 사용하는 경우 전극 팁 선단의 오염도가 저하된다. 전극 팁과 모재 표면의 접촉저항과 모재 사이의 용접부에서 발생하는 고온의 용접 열에 의해 일정한 주기로 전극 팁을 교체 또는 Dressing을 해야 하지만 Ar 가스 분위기에서는 전극 팁의 산화와 오염 정도가 줄어들어 수명이 길어지게 된다<sup>8,9)</sup>. 또한 연속 타점을 실시할 경우 용접 품질을 보다 균일하게 장기간 유지할 수 있는 장점이 있다. Fig. 11은 연속 타점 (300타점) 용접 후의 전극 팁 선단 오염 정도이다.

## 4. 결 론

스테인레스 Spot 용접부 산화 방지를 위해 불활성 기체(Ar)와 고안된 산화방지 장치를 이용하여 실험하였다.

1) 스테인레스강 Spot 용접 시 용접부 주위를 대기 중 산소와 차단시키면 스테인레스 표면의 산화 방지가 가능하고 전극 팁의 오염이 줄어든다.

2) 12L/min 이상의 Ar 유량으로 양호한 용접부 산화방지가 가능하다.

3) 산화 방지를 하지 않은 경우보다 한 경우의 스테인레스 표면 내식성이 더 우수하다.

## 참 고 문 헌

1. S.Y.Baek, E.S.Lee : A Study on the Micro Surface Electrochemical Machining for Aluminium Alloy, KSPE (2002), 214-217
2. Hajimu Horiuchi, Akira Sakaguchi : method for preventing the discoloration of areas around indentation in spot welding, US Patent (1984) No. 4536637
3. Kyoung-Chul Lee, Kyoung-Hee Ham, Woon-Sun Ahn : The Oxidized Surface of Stainless Steel 304 Analyzed with X-ray Photoelectron Spectroscopy, The Korean Institute of Surface Engineering (2003), 307-315 (in Korean)
4. Method of Neutral Salt Spray Testing - KS D 9502, 2005, Korean Industrial Standards
5. Method of Corrosion Resistance Test of Metallic Coating - KS D 8334, 1990, Korean Industrial Standard
6. Jaeho Shin, Donghun Lee : Evaluation of the Corrosion Resistance of Plated Ni and Ni-Cr Layers on Fe Substrate by using Salt Spray, CASS and EC Tests, Surface Engineering (2003), 307-315(in Korean)
7. W.B.Lee, S.H.Uhm, I.S.Woo : Effects of Oxygen Contents in Shielding Gas on the Properties of Ferritic Stainless Steel GTA Weld, Journal of KWS, **28**(2010), 585-590 (in Korean)
8. Hongyang Zhang, Jacek Senkara : Resistance welding Fundamentals and Application, Taylor & Francis, 2006, 51-104
9. Y. Choi, D. Huh, H. Lee, Y. Cho, S. Ryu, S. Rhee : A Study on Intelligent Spot Welding of Zinc-Coated Steel Sheet Part. II: Relationship between Welding Parameters and Weldability, Journal of KWS, **48**(2007), 97-99 (in Korean)