

스텐레스 철도차량 외판 압흔 깊이 감소를 위한 스폿용접용 전극팁 개발

Development of electrode tips for spot welding to reduce indentation of car body surface of stainless rolling stocks

서승일*

Seo, Seung- Il

ABSTRACT

Stainless rolling stocks are usually fabricated by spot welding process without painting. Indentation on the surface of the car body after spot welding injures the beauty of the stainless rolling stocks. In this study, electrode tips to reduce the indentation are developed and applied to the actual spot welding works. The developed tips are composed of head, neck, hole for cooling water, body and resistance material. They provide large surface contact area with the base materials during spot welding and enhance the current density by necking. Experimental results using the developed tips show that small indentation and sufficient tensile shear strength is produced due to large contact area and enhanced current density.

1. 서론

스폿용접은 전극팁의 가압력과 통전 전류에 의한 저항 발열에 의해 모재 사이의 접촉면에서 용융 너겟(nugget)이 형성됨으로 접합이 이루어지게 하는 용접 방법으로서, 효율적인 접합과 용접 변형 감소에 유리하므로 박판 구조로 이루어진 철도차량의 제작 시에 광범위하게 적용되고 있다. 특히 객차와 전동차용으로 활용되는 스텐레스 철도차량은 언더프레임의 일부를 제외하고는 대부분 스폿용접을 적용하여 차체 구조가 조립된다. 그런데 스텐레스 철도차량에서는 스텐레스 판재 표면의 광택을 살리기 위해 도장 작업을 생략하고 있으므로, 스폿용접에 의해 발생한 외판의 압흔(indentation)은 차체 미려도에 악영향을 미치므로 최소화시키는 것이 필수적이다. 압흔 깊이의 감소를 위해 스폿용접 시의 전류를 감소시키거나 가압력 또는 통전 시간을 변경시키는 개선책도 시도될 수 있으나[1], 접촉부의 충분한 저항 발열을 통한 접합부의 인장전단강도를 확보하면서 압흔 깊이를 효과적으로 감소시킬 수 있는 개선책을 얻기는 힘들다.



그림 1 스텐레스 전동차

*한국철도기술연구원, 정희원

본 연구에서는 인장전단강도를 만족시키면서 압흔 깊이를 획기적으로 감소시킬 수 있는 스폿용접 용 전극팁을 개발하여 그 효과를 제시하고자 한다.

2. 철도차량 차체 제작 시에 적용하는 스폿용접 방법

스테인레스 철도차량 차체의 제작 과정에서 적용하는 스폿용접 방법은 크게 직접 통전 방식, 시리즈 통전 방식, 간접 통전 방식으로 나누어 볼 수 있다. 직접 통전 방식의 용접은 가장 일반적인 스폿용접 방법으로서, 그림 2, 3 와 같이 상하 전극팁 사이에 모재를 놓고 가압을 한 후에 전류를 통전하여 모재 사이의 접촉면에서 저항 발열을 발생시키고 용융시켜 모재를 서로 접합하는 방법이다. 직접 통전 방식의 스폿용접 시에는 보통 상부 전극팁을 회전이 자유롭고 판재와의 접촉 면적이 넓은 Swival 팁을 사용하나 하부 전극팁은 통전 시의 전류 밀도를 높여 주기 위해 원형 또는 원추형 전극팁을 사용한다. 그림 4, 5 의 시리즈 통전 방식은 용접 효율을 높이기 위해 두개 이상의 전극팁과 하부 동판 사이에 전류가 흐르게 하고, 전극팁 하부 모재들 사이의 접촉면에서 저항발열에 의한 너겟(nugget)이 형성되어 용접이 이루어 지게 한다. 시리즈 스폿용접기는 보통 동판 위에서 수치제어 방식으로 자동용접을 수행할 수 있다. 간접 통전 방식은 모재 자체를 전류의 통로로 활용하여 가압 시 접촉점에서 용접이 이루어지게 하는 방법인데, 상하 전극팁의 가압 방향이 일치하지 않아도 되는 경우에 긴요하게 활용할 수 있다. 그림 6, 7 에서 볼 수 있는 바와 같이 상하 전극팁 사이에 모재를 놓고 가압을 한 후에 전류를 통전하여 모재 사이의 접촉면에서 저항 발열을 발생시키고 용융시켜 모재를 서로 접합한다.

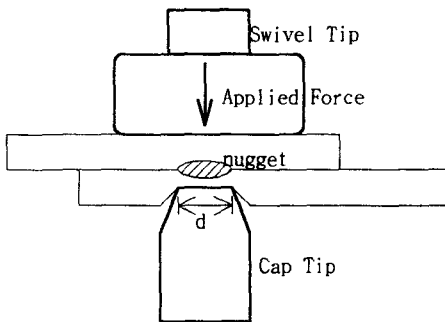


그림 2 직접 통전 방식 스폿용접기의 원리



그림 3 직접 통전 방식의 스폿용접기

스폿용접 시의 중요한 용접 조건으로는 통전전류, 통전시간, 가압력이라 할 수 있는데, 스폿용접 과정의 저항 발열은 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$Q = I^2 R t \quad (1)$$

여기서, Q = 발열량

I = 통전전류

R = 저항

t = 통전시간

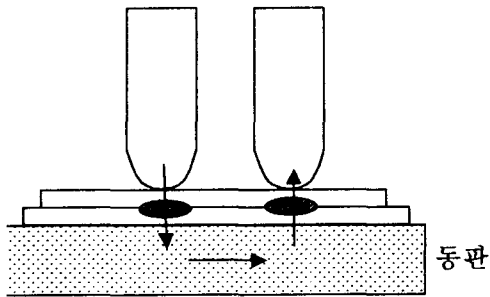


그림 4 시리즈 통전 방식 스폿용접기의 원리

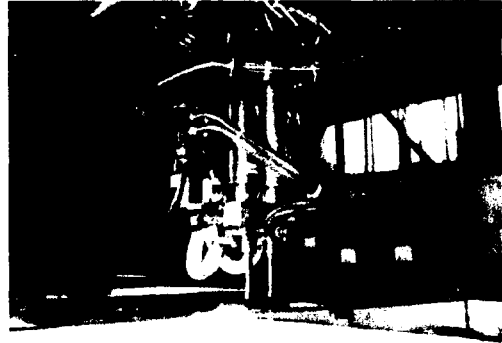


그림 5 시리즈 통전 방식의 스폿용접기

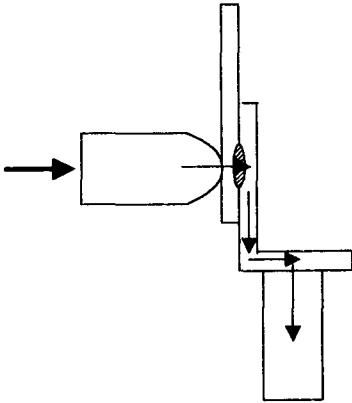


그림 6 간접 통전 방식 스폿용접기의 원리

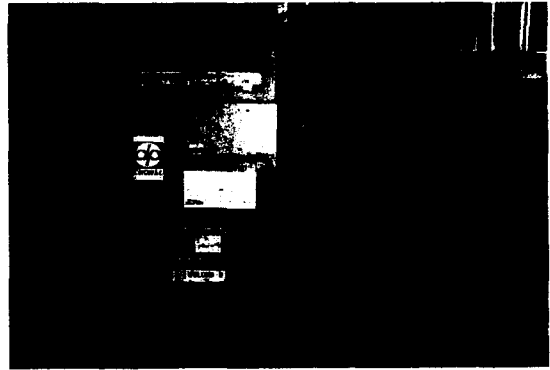


그림 7 간접 통전 방식의 스폿용접기

(1)식과 관련하여서 가압력이 저항과 관계가 있다. 스폿용접 시의 저항은 주로 재질의 비저항 (specific resistance)과 접촉저항으로 이루어지는데 접촉 저항은 보통 가압력에 역비례하는 경향을 보인다[2]. 가압력의 크기를 감소시키면 접촉저항이 증가하여 발열량이 증가하여 압흔깊이가 증가하는 결과가 초래되고, 접촉저항을 감소시키기 위해 가압력을 증가시키면 전극팁과의 접촉하는 부분의 압력을 증가시켜 표면응력 증가에 의한 압흔깊이 증가 결과가 나타나게 된다. 가압력에 따라 나타나는 상반된 효과를 제어하는 것은 현실적으로 상당한 어려움이 따르게 되고, 전류밀도를 증가시키기 위한 원형 또는 원추형상의 전극팁은 과도한 압흔 깊이를 불가피하게 유발시키게 된다. 따라서 용전조건의 제어에 의한 압흔 깊이 감소 방안은 한계가 있으므로 좀더 획기적인 압흔 깊이 감소 방안이 필요하다. 본 연구에서는 스폿용접 시에 압흔 깊이를 획기적으로 감소시키기 새로운 전극팁을 개발하고자 하였다.

3. 일체형 절연팁의 원리

압흔 깊이를 획기적으로 감소할 수 있는 새로운 전극팁을 본 연구에서는 일체형 또는 링(ring)형 절연팁이라 이름을 붙였는데, 일체형 절연팁의 원리와 형상은 그림 8, 9 과 같다.

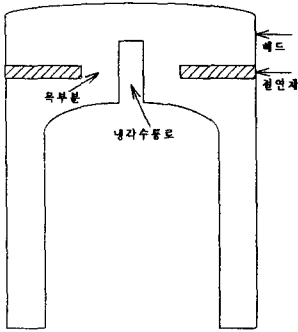


그림 8. 일체형 절연팁의 상세

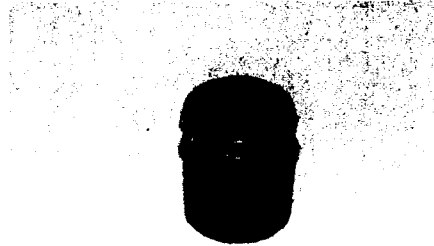


그림 9. 일체형 절연팁 사진

일체형 절연팁은 본체와 목부분, 헤드, 절연재, 냉각수 통로로 구성되어 있다. 절연팁의 목부분은 본체를 통해 흐르는 전류의 밀도를 높여주어 너겟에서 충분한 용융이 일어나도록 하는 역할을 한다. 헤드부분은 도재와 접촉 면적을 넓혀 줌으로써 표면응력을 대폭적으로 감소시키는 역할을 하게 된다. 절연재는 목부분으로만 전류가 흐르도록 헤드와 본체와의 전류 흐름을 차단하고 집중시키는 역할을 하게 된다. 냉각수 통로는 헤드까지 냉각수가 흐르게 함으로써 전극팁의 마모를 방지하고 수명을 연장시키는 역할을 하게 된다.

4. 절연팁의 성능

4.1 압흔 감소 효과

절연팁으로 용접한 경우와 원형 팁을 사용하여 용접을 경우를 비교해 본 사진은 그림 10. 및 그림 11.과 같다. 두 사진을 비교해 보면 팁이 접촉한 부분의 압흔 깊이에서 상당한 차이를 보이고 있다. 절연팁을 사용하는 경우 압흔 깊이는 1/10 로 감소되는 효과를 확인할 수 있다.

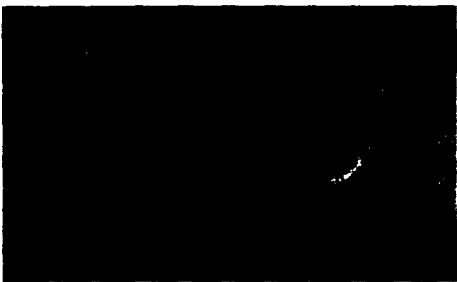


그림 10. 절연팁을 이용한 용접부의 단면

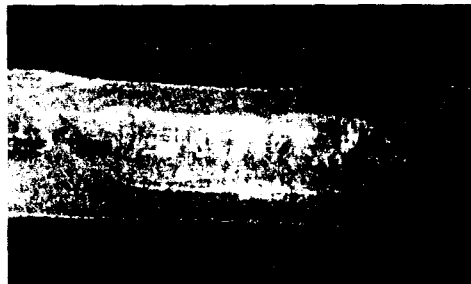


그림 11. Round 형 팁을 이용한 용접부 단면

4.2 절연팁을 사용한 경우의 강도

일체형 절연팁으로 시편에 대해 스폿용접을 실시하고 인장전단강도 시험을 수행한 결과는 표 1. 과 같다. 절연팁을 사용하여 용접을 수행한 경우의 인장전단강도는 원형(round) 전극팁을 사용한 경우와 같은 정도이며 기준치[3] 이상이었다.

표 1. 일체형 절연팁을 이용하여 용접한 시편의 인장전단강도

재질	시편의 크기	판두께	가압력 (kgf)	전류(A)	통전시간 (cycle)	인장강도 (kgf)	JIS 기준 강도(kgf)
SUS304	150×40	2t+3t	700	9000	34	2113	1200
SUS304	150×40	2t+3t	700	10000	8	1295	1200
SUS304	150×40	2t+3t	700	10000	15	1790	1200
SUS304	150×40	2t+3t	700	10000	10	2476	1200

5. 링(ring)형 절연팁

그림 6. 와 같은 간접통전 방식의 스폿용접 시에는 모재를 통과해서 전류가 흘러 하부의 전극팁으로 연결되므로, 일체형 절연팁을 사용하면 절연팁 헤드의 가장자리를 통해 전류가 흐르게 되어 적절한 너겟이 형성되지 않는다. 이런 문제를 보완하기 위해 그림 12.과 같은 링형 절연팁을 개발 하였다.

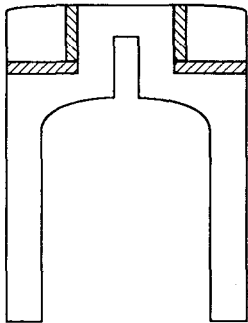


그림 11. Ring 형 절연팁의 상세



그림 12. Ring 형 절연팁 사진

링형 절연팁은 헤드의 중앙부분으로만 전류가 흐르고 가장자리로 전류가 흐르는 것을 막기 위해 링과 본체뿐만 아니라 링과 헤드사이에도 절연을 하였다. 링은 모재와의 접촉면적을 넓게 하여 표면 압력을 감소시키는 역할을 하고 절연에 의해 전류는 흐르지 않으므로 전류를 헤드 중앙으로 집중시키는 역할도 한다.

6. 결론

무도장의 스텐레스 철도차량 외관은 미려도가 중요한데, 스폿용접에 의한 압흔은 미려도에 악영

향을 미친다. 본 연구에서는 스텐레스 철도차량의 외판 미려도 향상을 위해 압흔 깊이 감소를 위한 전극팁을 개발하였다. 압흔 감소용 절연팁은 형상 변경과 절연재의 사용으로 인해 모재 표면 압력의 감소와 전류의 밀도 증가를 도모한 전극팁이라 할 수 있다. 표면 압력의 감소로 인해 고온 상태의 용접부 주위에서 소성변형도의 감소로 인한 압흔 깊이 감소 결과가 얻어지게 되고 전류 밀도 증가로 인해 적절한 강도를 가진 건전한 용접부가 얻어지게 된다. 개발된 절연팁은 실제 차체 제작 시에 적용된 실적이 있고, 압흔 감소가 필요한 다양한 구조물의 스폿용접 시에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 서승일, 이재근, 장상길, 차병우(1996), “점용접 시 압흔 깊이 감소를 위한 최적 용접 조건 선정에 관한 연구”, 대한용접학회지, 제 14 권, 제 2 호.
2. Nakane, K. and Torii, Y.(1973), “Study on Determination of Optimum Welding Condition in Resistance Spot Welding”, Journal of Japanese Welding Society, Vol. 42, No. 3, 1973 (in Japanese).
3. Japanese Industrial Standards(1990), “Welded joints of stainless steel for railway rolling stocks - Design Methods”, E4049.