

# 전기저항 용접 시 발생하는 지그의 비정상 마모현상 원인 분석

김선호\*<sup>#</sup>, 조행득\*\*

\*동의대학교 메카트로닉스공학과, \*\*현대자동차 포항서비스센터

## Investigation of Abnormal Wear of Jig in Electric Resistance Welding

Sun-Ho Kim\*<sup>#</sup>, Hang-Deuk Cho\*\*

\*Dept. of Mechatronics Engineering, Dong-Eui University, \*\*Hyundai Motors Co., Ltd.

(Received 3 January 2015; received in revised form 9 January 2015; accepted 26 January 2015)

### ABSTRACT

This paper presents an investigation of abnormal wear of a contact jig between a nail and a nail fixture in electric resistance welding. To perform an analysis on the abnormal wear phenomenon, several methods are provided. Based on the theory of electric resistance welding, are analyzed. Using microscopic analysis, surface craters are observed. In the measurement of the electric current flow in the nail fixture, the current flow distribution is measured. From several analyses, the cause of abnormal wear in the contact jig is measured using the electric discharge of high current density at the inflow point of the electric supply to the nail fixture. An alternative shape for normal wear is proposed.

**Key Words:** Gun Nail(건 네일), Abnormal Wear(비정상 마모), Electric Resistance Welding(전기저항용접)

### 1. 서 론

못(nail)과 같은 체결용 기계부품의 경우에 단위 부품으로 생산이 이루어지고 사용되지만 자동화된 체결기구에 사용되는 경우에는 그에 적합한 건 네일(gun nail) 형태로 제작이 이루어지고 있다. 건 네일이란 Fig. 1과 같이 못을 체결 공구인 네일 건(nail gun)에 연속 공급이 가능하도록 용접 와이어를 이용하여 못을 일정한 간격으로 묶어 놓은 것을 말한다.

건 네일 형태의 못을 제작하기 위해서는 못을 일정한 간격으로 배열을 한 후에 이를 적당한 방법으로 체결을 해야 한다. 이를 위해 종전에는 각각의 못과 용접 와이어를 스폿 용접(spot welding)을 통해 묶었으나 최근에는 생산성을 높이기 위해 전기저항용접(electric resistance welding)이 이용되고 있다. 전기저항용접을 이용해서 못을 일정한 간격으로 와이어에 용접하기 위한 용접 시스템의 구조를 Fig. 2에 나타내었다. 전기저항 용접 시스템은 못을 일정한 간격으로 정렬하기 위한 못 정렬용 회전 지그(nail fixture jig), 용접 와이어를 연속적으로 못에 압력을 가하면서 전기저항용접이 이루어지게 하는 전극(electrode)으로 구성된다. 물론,

# Corresponding Author : sunhokim@deu.ac.kr  
Tel: +82-51-890-2259, Fax: +82-505-182-6821

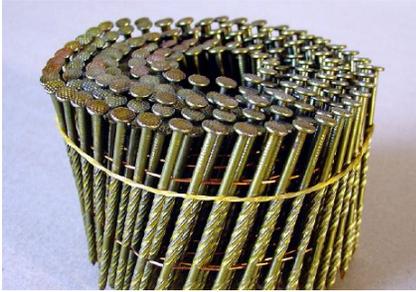


Fig. 1 Gun nail

전원공급장치에서 전극으로 적정한 DC 전기가 공급되는 구조를 가지고 있다.<sup>[1]</sup>

본 연구에서는 전기저항용접을 이용해 용접 와이어를 못에 용접을 할 때 못 정렬용 회전 지그에 비정상적으로 발생하는 마모현상의 원인을 분석하고 그 대안을 제시하고자 했다.

이를 위해 이론적 측면에서 전기저항용접의 이론을 정리하고 용접에 영향을 미치는 인자를 분석했고, 분석학적 측면에서 비정상 마모 부위의 표면을 현미경 분석하고 그 원인을 구명하고자 했으며, 전기공학 측면에서 전기의 흐름을 분석하고 전기의 흐름이 비정상 마모에 미치는 영향을 분석하고자 했다. 아울러 이러한 분석결과를 바탕으로 비정상 마모를 방지할 수 있는 대안을 제시하고자 했다.

## 2. 전기저항용접의 기본원리

도체에 전류를 흐르게 하면 도체 내부의 전기저항에 의하여 열 손실을 일으킨다. 일반적으로 전기회로에서는 이와 같은 손실을 최소화하는 방향으로 기술을 발전시키고 있으나, 저항용접은 발열 손실을 오히려 적극적으로 활용하는 용접기술이다.

즉, 저항용접이란 압력을 가한 상태에서 큰 전류를 흘려주어 금속끼리의 접촉면에서 생기는 접촉저항과 금속의 고유저항에 의하여 열을 얻고, 이로 인하여 금속이 가열 또는 용융하면 가해진 압력에 의하여 접합이 이루어지도록 하는 공법을 말한다.

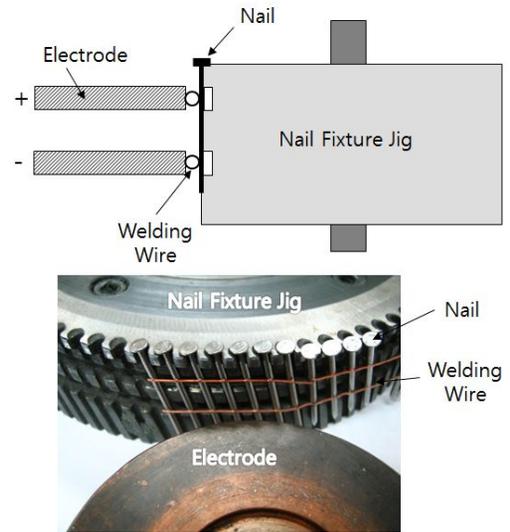


Fig. 2 Electric resistance welding system

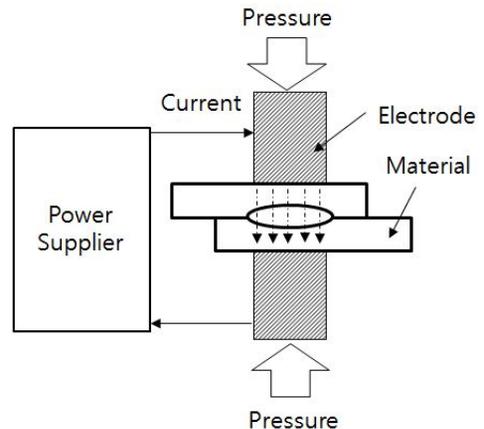


Fig. 3 Configuration of electric resistance welding system

저항용접의 3대 요소는 가압력, 전류, 통전시간이다. 저항 발열의 원리는 저항을 가진 금속에 전류가 흐를 때 발생하는 열량 즉, 저항열  $Q$ 에 의하여 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$Q = I^2 R t (J) = 0.24 I^2 R t \text{ [cal]} \quad (1)$$

$I$  : 전류 [A]  
 $R$  : 저항 [ $\Omega$ ]  
 $t$  : 통전시간 [sec]

또, 저항발열량  $Q$ 는 다음과 같이 전류밀도의 향  
 으로 표현할 수도 있다.

$$Q = I^2 R t = I^2 \rho (L/A_s) t = \rho \delta^2 L A_s t = \rho \delta^2 V t \quad [J] \quad (2)$$

$\rho$  : 고유저항 [ $\Omega$ -cm]  
 $L$  : 도체의 길이 [cm]  
 $A_s$  : 도체의 단면적 [ $cm^2$ ]  
 $V$  : 도체의 체적(=  $V = L A_s$ ) [ $cm^3$ ]  
 $\delta$  : 전류밀도(=  $\delta = I/A_s$ ) [ $A/cm^2$ ]

식 (2)로부터 발열량은 전류밀도의 제곱에 비례  
 하며, 도체의 단면적에 비례함을 알 수 있다. 즉,  
 도체의 단면적이 작으면 작을수록 전류밀도가 커  
 짐을 알 수 있다.

### 3. 비정상 마모현상

Fig. 4(a)는 못, 용접 와이어 그리고 못 정렬용  
 회전 지그의 상세한 모습을 보여 준다. Fig. 4(b)는  
 용접 와이어를 못의 몸통에 전기저항용접을 할 때  
 못의 머리부가 놓이는 못 정렬용 회전 지그부의  
 마모부 형상을 보여준다. 그림에서 못 정렬 지그  
 에 발생하는 비정상 마모는 7시 방향에서 14시 방  
 향까지 나타남을 알 수 있다. 이것은 못이 15°각  
 도로 기울어져 지그에 걸려지기 때문에 발생하는  
 자연스런 현상으로 보인다. 용접이 진행될수록 마  
 모 부위의 반달 형상 면적은 커지는 현상을 가진  
 다.

#### 3.1 현미경 분석을 통한 현상분석

Fig. 5는 비정상 마모 부위를 현미경 분석한 사  
 진을 보여 준다. 마모면의 표면이 거북이 등처럼  
 균열이 발생한 것은 반복적인 방전현상의 결과로  
 보여진다. 이는 Fig. 6과 같은 일반적인 방전가공

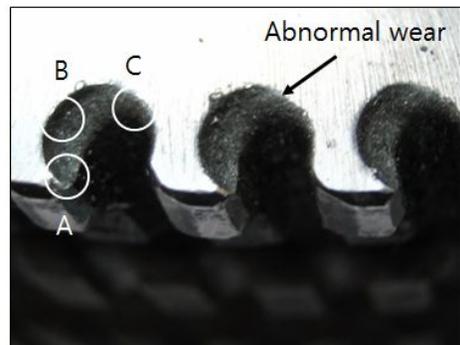
면과 비교함으로써 확인이 가능하다.<sup>[2,3]</sup>

방전가공(electrical discharge machining, EDM)이  
 란 스파크 가공(spark machining)이라고도 하는 데,  
 전기의 양극과 음극이 부딪칠 때 일어나는 스파크  
 로 가공하는 방법이다. 스파크에 의한 열 에너지  
 는 가공하고자 하는 재료를 녹이거나 기화시킨다.  
 가공전극과 공작물을 가공액 속에서 0.04~  
 0.05mm 정도의 간격을 두고 적당한 전압을 걸어  
 주면 표면의 작은 돌기부에서 방전이 일어난다.  
 이 방전 때문에 가공액과 가공물 표면이 용융하  
 고, 증발하여 용융부의 대부분을 날려버리고 그 일  
 부는 가공물의 바닥이나 주변에 부착하여 크레이  
 터를 생성한다.

Fig. 5에서 A, B, C부를 분석해 보면, A부는 균  
 열이 심하고, B부는 중간정도, C부는 균열이 덜  
 심하게 나타남을 알 수 있다. 이는 못의 접촉 면



(a) Nail fixture jig



(b) Abnormal wear detailed

Fig. 4 Nail fixture jig & abnormal wear detailed

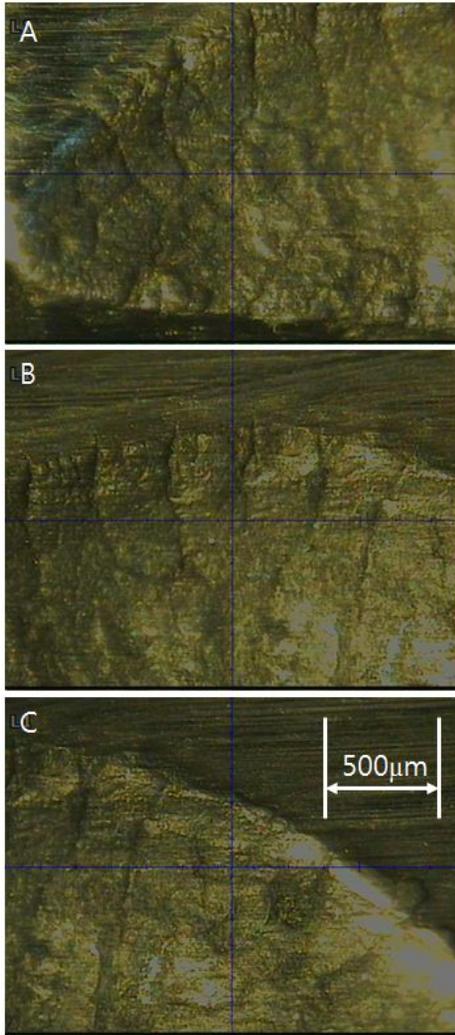
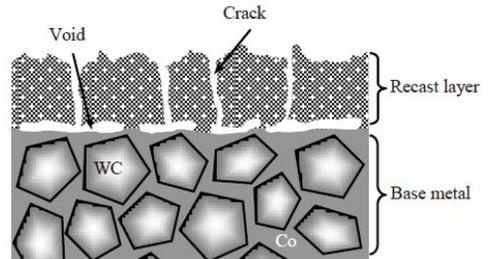


Fig. 5 Surface condition of abnormal wear

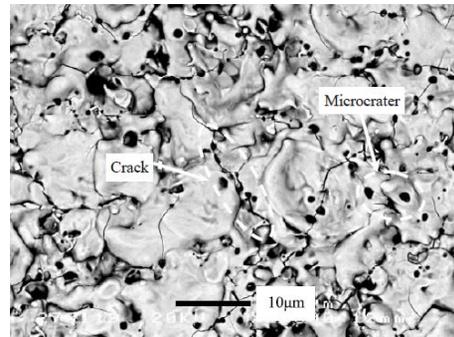
적의 변화에 따라 전류밀도가 다르기 때문인 것으로 보인다. 즉, A부가 C부에 비해 전류밀도가 높을 수 있다.

### 3.2 전기의 흐름 분석

Fig. 7은 전기저항 용접을 할 때 전기저항 용접기의 전원장치에서 용접선으로 인입되는 전류와 인출되는 전류를 측정하여 개념도를 정리한 것이다. 실험 대상으로 한 용접 시스템에서 접지로 흘



(a) Surface after EDM



(b) Surface subjected to EDM

Fig. 6 Electric discharge processed surface condition<sup>[2]</sup>

러가는 전류는 없었다. 그리고 인입 전류와 못 고정 지그 간에 발생하는 통전은 정상적인 현상으로 볼 수 있다.

전원장치로부터 용접선으로 인입된 350A의 전류는 대부분이 용접선 B로 인출이 되고 나머지는 용접선으로부터 떨어진 장소를 거쳐 다시 인출되는 현상을 가지고 있다.

전기저항용접 시스템에서 못 정렬용 지그와 용접선을 매개로 한 못이 접촉하는 부분은 Fig. 8(a)에서 몸통 접촉부 A, 몸통 접촉부 B 그리고 못 머리 접촉부로 나눌 수 있다. Fig. 8(b)에 보이듯이 몸통 접촉부 A, 몸통 접촉부 B는 정상 마모 현상을 보이고 있다. 그러나 Fig. 4와 같이 못 머리부에 방전현상이 발생하는 이유는 전기저항이 크기 때문이다. 즉, 몸통 접촉부 A, 몸통 접촉부 B와 같이 접촉면적이 넓고 접촉저항이 작으면 스파크가 생기지 않고 전기는 흘러버리는데 반해, 못 머리 접촉부의 경우 전류밀도가 높아 방전현상이 발

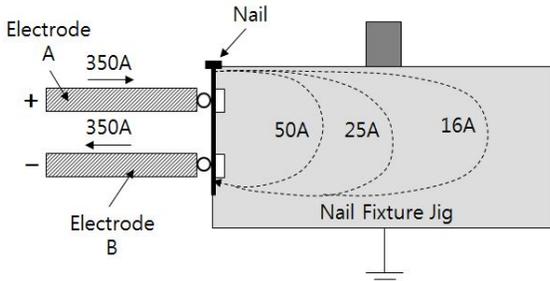
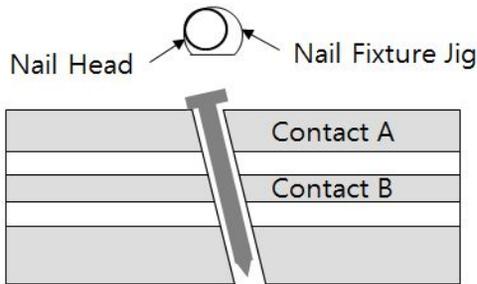


Fig. 7 Electric current distribution



(a) Contact parts



(b) Normal wear parts

Fig. 8 Contact parts and normal wear parts

생하게 되는 것이다. Fig. 4에서 특히, A부에 방전 균열면이 크게 생기는 것은 접촉저항이 크기 때문으로 판단된다.

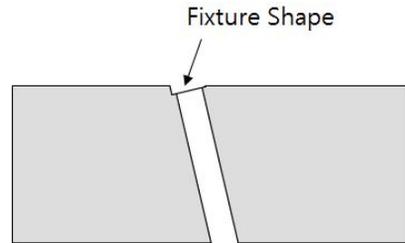
#### 4. 비정상 마모현상을 방지하기 위한 대안 제시

본 연구에서는 못 정렬용 지그에서 발생하는 비정상 마모현상의 원인을 바탕으로 이를 방지하기 위한 2가지 방안을 제시했다.

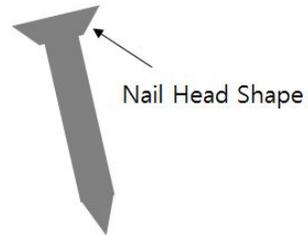
첫 번째 방법으로 못과 지그의 접촉면 형상을 변경하는 방법이다. 용접전류의 흐름 저항을 줄여 못과 못 정렬용 지그 접촉부의 전류밀도가 높아지는 현상을 완화시키기 위해 접촉면의 형상을 변경하는 방법을 제안했다. 이를 Fig. 9(a)에 나타내었다.

두 번째 방법으로서 못의 머리부 형상을 변경함으로써 못과 못 정렬용 지그 접촉부의 전류밀도를 완화시키는 방법을 제안했다. 이를 Fig. 9(b)에 나타내었다.

이러한 대안은 전기저항용접에서 못과 못 정렬용 지그의 접촉부에서 발생하는 비정상적인 마모현상을 제거하는데 매우 유효했다.



(a) Change of fixture shape



(b) Change of nail head shape

Fig. 9 Alternative shape for normal wear

## 5. 결 론

(ISEM), pp. 157-162, 2013.

본 연구에서는 전기저항용접을 할 때 못 정렬용 지그에 비정상적으로 발생하는 마모현상의 원인을 분석하고 그 대안을 제시하고자 했다.

현상을 분석하기 위한 방법으로 이론적 측면에서 전기저항용접의 이론을 정리함으로서 용접에 영향을 미치는 인자를 분석했고, 분석학적 측면에서 비정상 마모 부위의 표면을 현미경 분석하고 그 원인을 구명하고자 했으며, 전기공학 측면에서 전기의 흐름을 분석하고 전기의 흐름이 비정상 마모에 미치는 영향을 분석하고자 했다.

이러한 조사연구를 통해 비정상 마모가 발생하는 원인은 작은 면적을 통과하면서 발생하는 높은 전류밀도에 의한 방전현상으로 판단되었다.

아울러 이러한 분석결과를 바탕으로 비정상 마모를 방지할 수 있는 대안을 제시했다.

## 후 기

이 논문은 2014학년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었음(2014AA468)

## REFERENCES

1. Valentinčič J. and Junkar M., "On-line selection of rough machining parameters," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 149, pp. 256-262, 2004.
2. TAMURA T., "Development of on-the-machine surface modification technology in EDM," The Seventeenth CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM), pp. 117-122, 2013.
3. Maradiaa U., Scuderib M., Knaakb R., Boccadorob M., Beltramib I. and Stirnimannc J., "Super-finished surfaces using meso-micro EDM," The Seventeenth CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining