

너트 저항 프로젝션 용접 품질 모니터링을 위한 전문가 시스템의 개발

Development of the Expert System for the Monitoring of Nut Resistance Projection Welding

김 진우*, 임 성룡*, 박 찬우*, 이 광원**, 조 상명***

* 부경대학교 대학원 생산가공공학과

** 모니텍코리아

*** 부경대학교 재료공학부 생산가공공학 전공

1. 서 론

제조물 책임보험 즉 PL(Product Liability)의 적용으로 인하여 자동차 부품 제조과정에서의 품질 보증 문제는 중요한 기술적 화두로 되었다. 또한 최근에는 품질 불량률 3.4ppm 이하로 줄이기 위하여 6σ를 용접공정에 적용하는 추세도 늘어나고 있다.

한편, 자동차 조립 분야에는 피어싱(Piercing)한 판재에 너트를 저항 프로젝션용접해서 볼트를 체결하는 조립공정이 자주 적용된다. 이 때 판재와 너트의 용접 품질 확인은 중요하지만 토오크 렌치로 직접 강도 점검을 하는 것은 검사비용면에서도 불리하고, 대량 불량의 사전 예방도 곤란하다

따라서 너트 용접을 하면서 바로 그 품질을 모니터링할 수 있는 기술의 개발이 요구된다. 일반 강판의 저항 스폿용접 공정에 대한 품질 모니터링의 시도는 다양하게 이루어지고 있는 실정이지만, 너트프로젝션용접 시의 품질 모니터링을 위한 시스템 개발은 아직 그 사례를 찾아보기 힘들다.

본 연구에서는 너트의 저항프로젝션용접 중 센싱되는 전류와 전압에 의해 계산되는 동저항을 이용하여 품질 평가를 할 수 있는 전문가 시스템(Expert system)을 개발하기 위하여 수행되었다.

다양한 공정 불안정 및 부품 불량에 의해서 생기는 비정상 동저항의 패턴을 계산하기 위한 알고리즘을 개발하여 너트용접 품질 평가 전문가 시스템을 실제 공정에 적용할 수 있게 하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

Fig.1은 단상 AC 저항용접기(정격용량100kVA)를 써서 M8너트와 t1.2 냉간압연강판의 프로젝션용접 할 때의 각 부품 형식이다. 너트에 소성가공된 돌기(Embossing)는 90° 각도로 4개가 배치되었다.

Table 1은 표준용접 조건을 보인 것이고, Table 2는 불안정 공정과 부품 불량률 재현하기 위한 실험 조건들을 보인 것이다.

출력 전류, 전압 및 동저항은 스폿모니터링 시스템(WSM 3000 N)으로 측정하였으며 모든 데이터는 PC에 저장되어 생산일보 작성이 가능하게 하였다. 용접중의 가압력은 로드셀에 의하여 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig.2 (a), (b)는 너트의 프로젝션 용접 후에 파단시험(Peel test)을 하여 얻은 파단면을 보인 것이다. (a)는 저전류, 고가압력 등으로 인해서 자주 생기는 전단파단의 경우로서 용접부 강도가 부족해지는 품질 불량률의 한 예이다. (b)는 양호한 품질을 가지고 있어서 강도도 충분하고 파단시험 후의 파면은 전형적인 테어파단의 특징을 보이고 있다.

Fig.3은 정상조건으로 너트용접하여 양호한 품질을 얻었을 때의 동저항 파형이다. 동저항은 옴의 법칙을 써서 전류와 전압에 의하여 1/2사이클 단위로 계산하여 표시하였고, 통전시간이 7사이클이 있기 때문에 동저항은 모두 14개의 값으로 표현되었다. 일반 판재끼리의 저항 스폿용접하였을 때의 파형과는 다소 다른 패턴을 보이고 있다. 즉 저항은 초기부터 감소하는 특징을 보이고 있으며 3번째 반사이클 이후부터는 거의 변화를 보이지 않는 특징이 있다.

Fig.4 (a), (b), (c)는 너트용접부에서 불량 품질이 얻어졌을 때의 조건과 동저항 파형을 나타낸 것이다. (a)는 표준용접조건보다 현저히 낮은 전류로 용접하였을 때의 동저항 파형을 보인 것으로서 첫 번째 반사이클 이후에서 감소된 저항이 그다지 크게 변하지 않는 특징을 나타내고 있다.

(b)는 지나치게 낮은 가압력으로 용접하였기 때문에 초기에 과도한 발열이 생겼고, 가압추종성이 나빠서 4번째 반사이클의 동저항이 급격하게 증가하는 특징을 보이고 있다. (c)는 돌기가 충분히 소성가공되지 못하여 높이가 낮고 초기 접촉면적이 심하게 증가한 경우에 얻어진 동저항 패턴으로서 초기의 동저항이 오히려 작고 그 후에 점차 증가하는 경향을 보인다.

Fig. 5는 설정전류 15300A, 7사이클로 용접하였을 때의 출력전류를 실효치로 환산하여 나타낸 것으로서 300개의 M8너트 용접을 행하여 얻은 전류의 변동 특성이다. 실효전류는 다소 변동하기는 하지만, 그 폭이 상당히 작은 편이며, 중심치에서 $\pm 100A$ 의 범위에서 안정된 출력전류의 산포특성을 가진 것을 알 수 있었다. 이 너트의 경우는 표준조건에서 1000A 이내의 범위에서 전류치가 벗어난다면 품질에는 영향이 그다지 없는 것으로 확인 되었다.

Fig.6은 초기발열 상태가 300번 용접 중에 어떻게 변하는지를 나타낸 것이다. 여기서 초기발열은 초기의 동저항을 적절한 시간단위로 미분한 값으로 삼았다. 초기발열은 상당히 크게 변하지만 중심치에서 $\pm 5(\mu\Omega/ms)$ 이상 벗어나는 경우는 거의 없었다.

Fig.7은 Table 2의 Experiment I(전류변화 시험)으로 용접했을 때 종료저항의 측정결과를 나타낸 것이다. 종료저항은 마지막 1사이클의 동저항을 평균한 값으로 삼았다. 설정전류에 따라 그 값이 각기 다를 수 있고, 이는 너트 프로세스 용접품질에 영향을 미치는 인자임을 알 수 있다.

4. 너트용접 전문가 시스템의 구성

Fig. 8에서 보이는 바와 같이 다양한 너트용접 품질 평가 실험의 결과를 바탕으로 M8너트의 저항프로세스용접에 대한 인라인 품질 모니터링을 위한 전문가 시스템을 다음과 같이 구성하였다.

1) 사용 언어: Delphi Enterprise 6.0

2) 평가 시간 단위: 1/2사이클(60Hz, 단상AC)

3) 평가 인자의 종류

-전류: 1/2사이클 단위의 실효전류(RMS)

-전압: 1/2사이클 단위의 전압

-동저항: 1/2사이클 단위의 동저항

-동저항 기울기: $\Delta R/\Delta t$ (단 Δt 는 목적에 따라 적절하게 결정)

4) 평가 알고리즘의 개요

㉠ 전류의 상하한 평가 \Rightarrow 실효전류

- if(상한치 초과): 과대전류

- if(하한치 미달): 과소전류

㉡ 초기접촉 상태평가 \Rightarrow 초기특정 저항기울기

- if(상한치 초과): 고가압력, 엠보싱 불량

- if(하한치 미달): 저가압력

㉢ 초기발열 상태평가 \Rightarrow 특정구간 저항기울기

- if(상한치 초과): 과소전류

- if(하한치 미달): 저가압력

㉣ 총발열 상태평가 \Rightarrow 일부구간 전압제곱 합

-if(상한치 초과): 저가압력

-if(하한치 미달): 고가압력, 엠보싱 불량

㉤ 가압추종성 평가 \Rightarrow 저항기울기

-if(상한치 초과): 가압추종성 불량

㉦ 최종 너트상태 평가 \Rightarrow 종료저항

- if(상한치 초과): 저가압력

- if(하한치 미달): 고가압력, 엠보싱 불량

Fig.8은 실제 현장에서 적용하고 있는 너트 저항프로세스용접 품질 모니터링을 위한 전문가 시스템을 보인 것이다. 주화면 위에 환경설정 화면을 겹쳐서 나타내고 있다. 이러한 전문가 시스템은 현장 용접기의 종류, 주변장치 및 지그의 구성 등에 따라 다소 다른 알고리즘을 개발 적용하는 것

이 요구된다. 또한 유사한 알고리즘을 적용하면서 중심치나 상하한치의 미세 조정에 의해서도 적절한 품질 평가가 가능한 경우도 있다.

한편, 본 연구에서는 M8 뿐만 아니라, M6, M10의 너트 저항프로젝션용접에 대한 품질평가 전문가 시스템도 함께 개발하여 현장 적용이 가능하게 되었다.

5. 결 론

PL법의 국내 적용에 따라 생산 현장의 품질 보증을 위한 디지털 품질 평가 기술의 적용 추세는 용접분야에서도 예외일 수 없는 실정이다.

자동차 부품의 조립공정에서 다양하게 응용되는 너트 저항프로젝션용접 시의 품질 모니터링을 위하여 용접중의 전류, 전압 및 동저항 패턴에 대한 정량적 인식 알고리즘을 개발하였다.

기본 알고리즘의 개발에 이어 현장의 너트 용접공정에 장기간 적용하면서 미세조정을 거쳐서 현재는 정상 생산에 적용하기 직전의 상태에 있다.

저항용접 공정은 대부분 같은 용접조건으로 대량 생산을 하지만, 일반적인 품질평가 알고리즘을 써서 모든 공정에 응용할 수는 없는 실정이다. 따라서 각 현장의 공정을 구체적으로 고려한 품질평가 알고리즘이 필요하고 이러한 접근방식이 금후 일반화 될 것으로 기대된다.

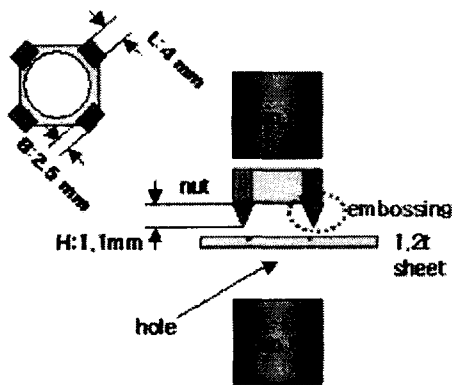


Fig.1 Schematic of Experiment(M8 nut)

Table 1 Standard Condition of Welding

Current(A)	Force (kgf)	Embossing(mm)
15300	511	B:2.5 L:4.0 H:1.1

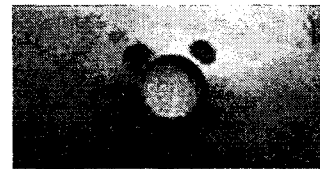
Table 2 Condition of Welding Experiment

(a) Experiment I				
Standard Embossing B:2.5 L:4.0 H:1.1				
Standard Force 511(kgf)				
Current (KA)				
10.3	11.3	12.3	13.3	14.3
16.3	17.3	18.3	19.3	

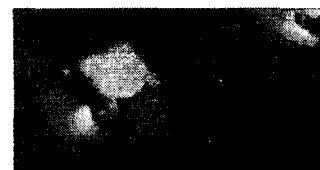
(b) Experiment II				
Standard Current 15.3(KA)				
Standard Embossing B:2.5 L:4.0 H:1.1				
Force (kgf)				
70	192	316	409	651

(c) Experiment III

Standard Current 15.3(KA)				
Standard Force 511(kgf)				
Embossing				
1-omitted	2-omitted	3-omitted	B:2.5 L:4.0 H:0.55	B:2.5 L:4.0 H:0



(a) Shear fracture(poor quality)



(b) Tear fracture(good quality)

Fig. 2 Appearance of the nuggets fractured by peel test

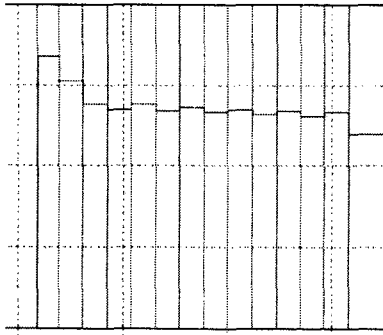


Fig.3 Dynamic resistance waveforms in case of the good quality nut projection welding by single phase AC resistance welding machine. (M8)

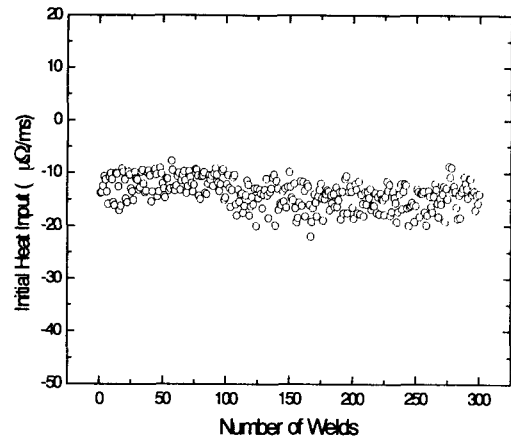
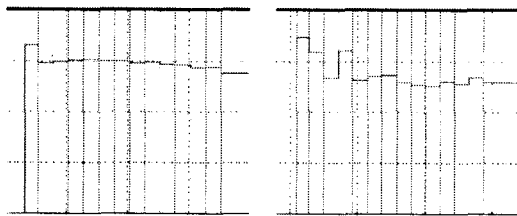
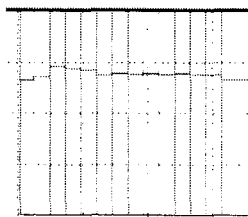


Fig. 6 Variation of initial heat input ($Q_i = \Delta R / \Delta t$) for long term use.



(a) Low current(10600A) (b) Low force(70.31 kgf)



(c) Poor Embossing

Fig.4 Dynamic resistance waveforms in case of the poor quality nut projection welding

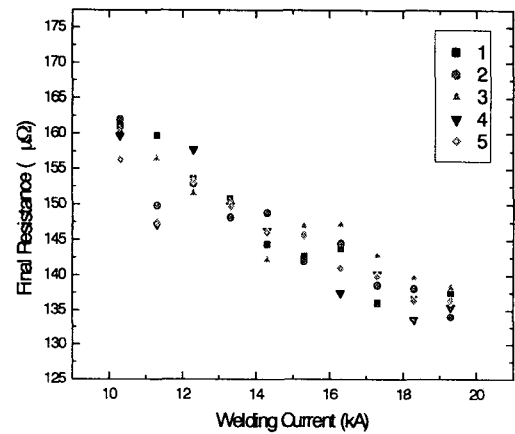


Fig. 7 Variation of final resistance by Experiment I

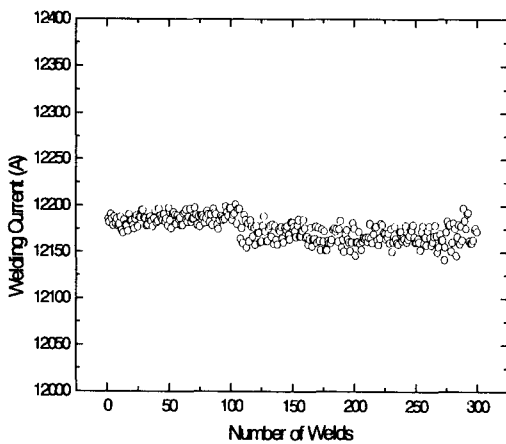


Fig.5 Variation of Welding current for long term use.(15.3kA, M8)

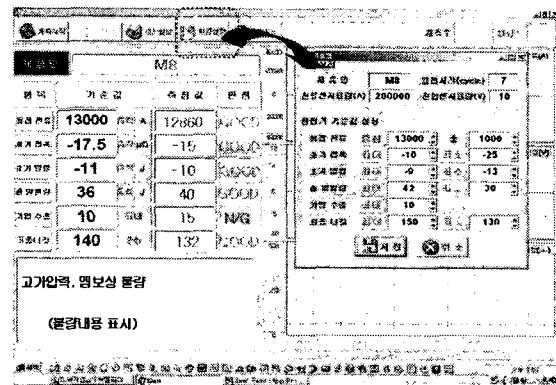


Fig.8 Expert system for quality monitoring in nut projection welding line.