

# 초소형 부품의 마이크로 스폿용접기술

장 희 석 · 박 승 규

## Micro Spot Welding Technology for Microminiature Parts

Hee-Seok Chang and Seung-Kyu Park

### 1. 서 론

오늘날 IT산업의 괄목할 만한 성장으로 IT관련 휴대 장비의 시장은 폭발적으로 증가하고 있다. 전통 제조업 분야에서도 IT산업과 메카트로닉스의 발전 덕분에 경량화, 소형화된 전자소자나 전기소자 및 관련 센서, 액츄에이터를 활용할 수 있게 됨에 따라 기계 장비 및 장치가 점점 더 소형화되고 있다. IT산업이 아무리 발전해도 이를 통하여 우리 인간의 삶의 질을 향상시킬 수 없으려면 IT가 우리에게 어떤 형태를 띤 장비나 기기 또는 시스템을 통하여 다가 올 수밖에 없다. 따라서 앞으로 IT가 발전 할 수 록 IT와 우리 실생활을 연결해 주는 소형장비나 기기의 제작기술은 발달 할 것이고 IT관련 전자소자들의 집적도가 높아질 수 록 초소형 기기나 장치를 제작해야 하는 경우가 많아질 것이다. 거의 모든 초소형 기기나 장치의 제작공정은 프레스가공 전후에 용접공정을 거치게 된다. 부품의 크기가 작아질 수록 생산성과 신뢰성 측면에서 용접품질을 보장하기가 어렵다.

최근 초소형 부품의 용접에는 마이크로 레이저용접과 마이크로 스폿용접 두 방법이 대표적으로 활용되고 있다. 마이크로 레이저용접방법은 간편하게 초소형 부품을 용접(fusion welding)은 할 수 있으나 근본적으로 압접(forge welding)이 불가능하고 생산성이 낮기 때문에 대량생산 공정에는 부적합하다고 할 수 있다. 이에 비하여 마이크로 스폿용접은 고상접합(solid state bonding)이나 용접(fusion welding)이 가능한 압접 공정이기 때문에 소형부품의 고속 이송에 따른 프레스 공정과 이에 연동된 대량생산 공정에 적합하기 때문에 상당히 광범위하게 소형부품 및 기기 제조공정에 널리 사용되고 있다.

본 원고에서는 초소형 부품을 용접하기 위하여 점차 활용도가 높아지는 마이크로 스폿용접기에 대한 핵심사

향을 기술하고 최신 모델을 중심으로 최근 동향을 알아보고자 한다.

### 2. 마이크로 스폿용접의 개요

마이크로 스폿용접은 일반적인 저항용접에 비하여 다음과 같은 특이점이 있다.

① 모재의 재료가 다양하다. 접합대상 재질은 리드 프레임에 포함된 Cu합금계, Mo, W 등의 고용점 재료 및 Au, Ag, Pt 등의 귀금속 재료들이다.

② 접합대상의 형상은 IC리드, 직경 수십 $\mu$ m의 W 와이어, 각종 후막(Ag/Pd, Ag/Pt, Al 등) 및 박막이다.

③ 접합강도 이외에도 모재의 압흔이 없어야 하는 등의 요구사항이 다양하다.

④ 동종재료 간 마이크로 스폿용접에서는 용접(fusion welding)이 진행되고 너깃(nugget)의 크기 및 형상이 용접품질을 좌우한다.

⑤ 이종재료 간 마이크로 스폿용접에서는 두 재료의 용접이 서로 다르기 때문에 용접이 어려워 대개 압접(forge welding or solid state bonding)이 진행되며 이 공정을 전후하여 프레스 공정을 거치면서 최종 제품이 완성된다.(각종 초소형 마이크로 S/W의 접점 등)

마이크로 스폿용접도 저항 점용접(resistance spot welding)의 범주에 속하므로 용접품질을 결정하는 3대 요소는 용접전류, 용접시간, 전극 가압력이다. 여기서 용접전류와 시간은 여러 종류의 파워소스(power source) 가운데 용접대상인 모재의 특성에 적합한 것을 선택하면 된다. 최근 높은 품질이 요구되는 경우에는 인버터 파워소스가 이용된다. 전극 가압력은 보통 용접기 헤드(head)라 칭하는 작은 가압장치를 이용하는데 주로 스프링, 공기압 실린더, 챔 등의 기구를 통하여 가압력을 발생시키는 헤드가 널리 쓰인다. 최근에는 서보모터를 가압 동력원으로 이용하는 헤드도 찾아

볼 수 있다.

전력전자공학의 눈부신 발달로 인하여 출력전원의 성능은 더 이상 개선의 여지가 없을 정도이므로 출력전원 때문에 요구되는 용접품질을 얻어내지 못하는 경우는 거의 없다고 볼 수 있다. 그러나 마이크로 스폿용접에서 아직 문제가 되는 것은 용접기 헤드의 정밀 가압성능이다. 주로 스프링을 가압동력원으로 이용하고 있으나 스프링은 히스테리시스(hysteresis)특성을 가지고 있으므로 가압 설정치를 바꾸는 과정에서 가압력의 반복성능(repeatability)이 문제가 아니 될 수 없다. 또한 공기압 실린더도 적절히 유지·보수 되지 못하면 가압성능에 문제가 있을 수 있다. 왜냐하면 초소형 부품의 마이크로 스폿용접에서 헤드 가압력은 대략 2kgf 내외인 경우가 대부분이므로 가압기구의 마찰력에 치명적인 영향을 받기 때문이다.

### 3. 전극관련 사항

전극은 용접기 헤드에 장착되어 피용접 모재를 가압하며 전류가 흐르는 경로가 되며 단조가압 효과를 내는 아주 중요한 요소다. 피용접 재료의 물리적 성질에 따라 용접조건이 결정되는데 용접조건 결정보다 우선되어야 하는 것이 전극재료의 선택이다. 일반적으로 피용접 재료는 두 부류로 나뉘는데 알루미늄, 구리, 은, 금과 같이 도전율이 큰 재료(conductive material)와 철, 니켈, 인코넬, 티타늄, 텅스텐, 몰리브덴 등과 같은 저항이 큰 재료(resistive material)가 있다. 일반적으로 전기적 전도성이 큰 재료는 열 전도성도 크다.

이 분류기준에 의하여 용접하려는 두 모재에 따라 전극을 결정한다. 전기 저항이 높으면 많은 열이 발생하므로 용접이 잘된다. 그래서 전극 재료 선정에서 저항이 큰 모재에는 도전율이 높은 전극을 사용하고, 그 반대로 저항이 작은 모재에는 도전율이 낮은 저항이 큰

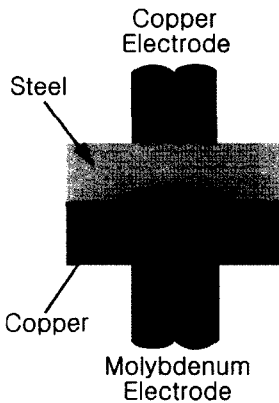


Fig. 1 이종재료 접합(철과 구리)에서 적당한 전극(구리, 몰리브덴)

전극을 사용한다. 아래 Fig. 1과 같이 이종재료를 용접할 때에는 상부전극과 하부전극을 위와 같은 원리에 따라 적절한 재료로 사용해야 한다.

전극은 저항용접에서 세 가지 역할을 한다. 모재의 표면피막이 제거되도록 스퀴즈 가압력을 가하고 균일한 전류 밀도를 유지하며 용접도중 열균형(heat balance)을 유지 시켜준다. 전극은 여러 가지 형상인데 일반적으로 Fig. 2에 도시된 것을 많이 사용한다.

전극재료와 모양은 모재의 열 전도성과 가압력 설정치를 고려하여 결정한다. 현재 자동차 용접라인에서 사용하는 건(gun)에 쓰이는 큰 전극은 구리함입으로 된 돔(dome)형상을 사용하며 수냉을 하지만 마이크로 스폿용접에서는 모재의 저항이나 전도성에 따라 매우 다양한 종류가 사용되며 공냉을 한다.

모재에서 접합 부위의 크기는 전극의 단면과 크기가 비슷하게 형성되므로 원하는 너그의 크기와 같은 지름의 전극을 쓰는 것이 중요하다. 모재의 전류밀도는 전극팁(tip)의 면적에 따라 달라진다. 모재와 접촉하는 전극의 위치도 중요하다. 전극은 용접이 될 곳에 위치되는데, 보통 모재(wire나 작은 터미널의 경우는 예외)의 모서리에 걸치거나, 구부러진 부분, 모재의 면과 직각을 이루는 부분은 피해야 한다. 전극팁의 표면에 이물질이 없어야 하며 정기적인 Dressing도 중요하다. Dressing의 경우 #600 실리콘 카바이드 페이퍼 또는 폴리싱 디스크를 사용한다.

전극 배치형태는 모재의 형상과 통전방향에 따라 결정된다. 다음의 Fig. 3은 네 가지 기본적인 전극의 배치형태를 나타낸다.

① 직접(opposed or direct) 용접 : 저항용접에서 일반적으로 사용하는 형태로 용접전류가 한쪽 전극에서 모재를 통과하여 다른 전극으로 흐른다.

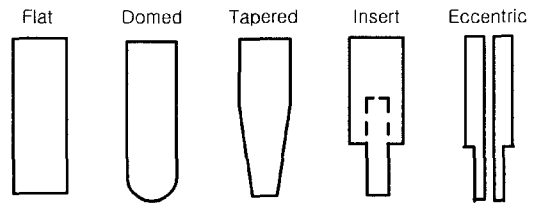


Fig. 2 일반적인 마이크로 스폿용접용 전극의 형상



Opposed Welding Step Welding Series Welding Seam Welding

Fig. 3 전극배치에 따른 분류

② 간접(step or indirect) 용접 : 모재의 형상이 하나의 전극만이 접촉할 수 있는 형태이거나 큰 열적 불균형이 있을 때 종종 사용된다. 용접전류는 한쪽 전극에서 모재를 통과하여 용융시킨 후 하부 모재를 통해 다른 전극으로 흐르게 된다.

③ 시리즈(series) 용접 : 피용접물의 한쪽 방향으로 전극이 접근할 수 있을 때 사용된다. 이 용접 형태는 한 공정에서 두 개의 너짓이 생기는 이점이 있지만 series 용접은 일반적으로 용접전류의 shunt 현상이 심하여 균일한 용접품질을 얻기 어렵다.

④ 심(seam) 용접 : 다른 저항용접과는 다른 형태로 전극이 모재에 달린 바퀴형상이다. 얇은 판의 모재를 겹쳐 연속 seam 용접을 하게 되면 기밀이나 수밀이 유지되는 용접부를 얻을 수 있다.

### 4. 이종재료의 용접성

서로 다른 이종재료를 마이크로 스폿용접 할 경우 각종 재료의 조합에 대한 용접성을 알아보려면 다음 페이지의 Table 1을 참조하면 된다.

### 5. Power source

점용접 공정의 3대 요소 중 용접전류와 시간은 파워소스 성능에 따라 좌우되는데 다음은 마이크로 스폿용접용 각종 파워소스의 특징에 관해 살펴보기로 한다 (Fig.4, Table 2 및 Table 3 참조).

콘덴서 방전 방식은 빠른 rise time으로 짧은 시간의 용접전류펄스를 한쪽 방향으로 흘려주는 것이 일반적이다.

전도성이 높은 모재의 용접에 적합하며 변색, 변형을 피해야 하는 부품의 접합에 알맞다. 모터 브러쉬 등의 용접에 많이 이용된다.

교류식은 교류를 위상 제어하는 방식으로 설정된 전류값에 따라 SCR의 점화각이 조절되는 형식이다. 용접

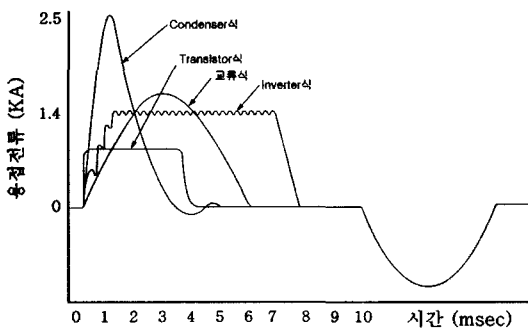


Fig. 4 각종 power source의 용접전류 파형

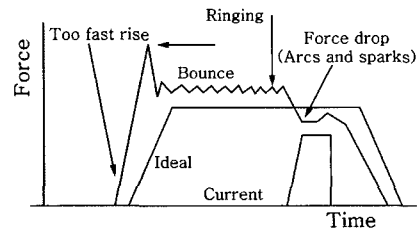


Fig. 5 전형적인 용접기 헤드의 가압력

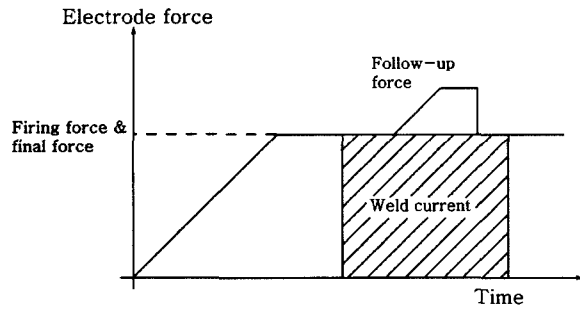


Fig. 6 이상적인 헤드의 가압력 파형

성이 양호한 판과 판사이의 접합에 유리하다. 자기 테이프의 리더인 자기 헤드에 이용된다.

고주파 inverter방식은 5 kHz 내외의 PWM방식에 의해 펄스단위로 전류제어가 가능하므로 정밀 전류제어와 그 반복성능이 우수하며, 높은 전류용량과 높은 duty cycle이 특징이다. 스패터를 피해야 하는 부품의 접합에 사용된다.

트랜지스터 방식은 빠른 voltage rise time과 square wave의 용접전류 펄스로 얇은 박판이나 미세한 와이어의 비정질 금속재료의 용접에 적합하다. 미세한 선재의 접합이나 sensor lead의 접합에 이용된다. 그러나 유지, 보수비가 높은 것이 단점이다.

### 6. 용접기 헤드에서 요구되는 가압성능

저항 용접의 3대 요소 중 가압력 제어는 용접전류와 시간의 제어만큼 중요하다. 파워소스의 성능이 아무리 우수해도 헤드의 가압성능이 만족스럽지 못하면 원하는 용접품질을 얻을 수 없다. 일반적으로 스퀴즈 가압력에 해당하는 가압력이 가해지면 모재 표면의 산화 피막이 제거되면서 전극이 모재에 자리잡고 모재와 모재의 interface가 접촉하며 모재 표면의 작은 돌기가 파괴되며 전기적으로 저항이 작아지도록 접촉이 이루어지게 된다. 이어서 통전이 시작되면 모재와 모재의 interface에 통전 경로가 형성되며 열이 발생하여 용융이 시작된다. 통전이 끝나면 너짓이 응고하며 용접부 주위가 수축을 하게 된다. 그런데 금속에 따라서는 응고시 수축률이 아주 높은 경우(알루미늄 합금은 연강보다 약 3배

Table 1 각종 재료에 대한 용접성(참고문헌 3에서 인용)

	W Mo	Ni alloy	Ni	SUS	Cr	Fe (Zn)	Tin (C.R)	Fe	PB	Ni-Ag	Cu-Ni	Bs (Y)	Bs (R)	Cu	Al alloy	Al	Ti (C.P)
Ti (C.P)																	A <sup>II,III</sup>
Al		E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>10</sub> E <sup>II</sup> <sub>10</sub> E <sup>II</sup> <sub>10</sub>	H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub>	H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub>	H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>					D <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	
Al-alloy		E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub>	H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub>	H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub> H <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>					D <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	V <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	
Cu	H <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> V <sup>II</sup> <sub>3</sub>
Bs (R)		V <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	V <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	V <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	V <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	V <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	V <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	V <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	V <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	V <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	V <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	V <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	V <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	V <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	V <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	V <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	V <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>
Bs (Y)		D <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	D <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	D <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	D <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	D <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	D <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	D <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	D <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	D <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	D <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	D <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	D <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	D <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	D <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	D <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>	D <sup>II</sup> <sub>6</sub> V <sup>II</sup> <sub>10</sub>
Cu-Ni		C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>
Ni-Ag		C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>	C <sup>II</sup> <sub>2</sub> C <sup>II</sup> <sub>2</sub>
PB		D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>
Fe (C.R)	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>
Tin	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>
Fe (Zn)	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>	E <sup>II</sup> <sub>2</sub> E <sup>II</sup> <sub>2</sub>
Cr	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>
SUS	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>
Ni	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>
Ni-alloy	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>
W · Mo	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>	D <sup>II</sup> <sub>2</sub> D <sup>II</sup> <sub>2</sub>

<범례>

용접성	전극
전극	특기사항

특기사항  
 1. 강도는 충분하다.  
 2. 특수한 조건으로 두어 용접가능  
 3. 강도적으로는 불충분하다.  
 4. Nugget이 생기나 Tip용착이 발생한다.  
 5. 용접조건을 정밀하게 조정해야 한다.  
 6. Tip용착이 발생하지 않게 전극을 Dressing해 줄 것.  
 7. 용접하기 전에 세척을 해 준다.  
 8. 변형을 방지하기 위해 평판 전극을 사용한다.  
 9. 피막을 녹이거나 태워 사용한다.  
 10. 극성에 특히 주의할 것.  
 주. 용접성의 기준(A)은 SUS 임.

- |                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| Al : 알루미늄            | Ni : 니켈           |
| Al-alloy : 알루미늄합금    | Ni-alloy : 니켈합금   |
| Bs (R) : 황동(아연25.4%) | Ni-Ag : 양은        |
| Bs (Y) : 황동(아연5.25%) | PB : 인청동          |
| Cr : 크롬도금            | SUS : 스테인레스강      |
| Cu : 동               | Ti (C.P) : 티타늄    |
| Cu-Ni : 구리니켈         | Tin : 주석도금판       |
| Fe (C.R) : 연마강       | W, Mo : 텅스텐, 몰리브덴 |
| Fe (Zn) : 아연도금강판     |                   |

Table 2 Power Source에 따른 특징(I)(참고문헌 3에서 인용)

power supply 형식	typical cycle time	repetition rate (반복용접 성능)	typical bond type (8항의 접합형태분류 참조)
capacitive discharge (condenser식)	1~16 msec	≤2/sec	solid state
direct energy (교류식)	>8 msec	≤5/sec	fusion, reflow braze
high frequency inverter	1000 msec	≤10/sec	fusion, solid state reflow braze
transistor or linear DC	0.01~9.99 msec	≤1/sec	solid state

Table 3 Power Source의 방식에 따른 특징(II)

방 식		(◎ 매우양호 ○ 양호 △ 보통)			
		Condenser식	교류식	Inverter식	Transistor식
성 능	Spatter 방지 성능	△	○	◎	◎
	전원변동에 대한 안정성	◎	△	◎	◎
	용접속도(tact time)	△	○	◎	△
입력설비		○	△	△	○
가격		○	◎	△	△

정도 높은 열전도율을 가지고 있어 용융 후 너짓이 응고될 때 체적 수축률이 6~7%에 달한다)가 많다. 이러한 수축으로 인한 용접불량 즉, 기공이나 균열발생을 방지하려면 용융부가 급격히 수축될 때 전극이 수축발생 방향으로 신속하게 움직이며 단조가압을 해 줄 수 있는 우수한 동특성을 가진 마이크로 스폿용접기 헤드가 필요하다.

Fig. 5에는 일반적인 용접기 헤드에서 볼 수 있는 가압력 파형이 도시되어 있다. 가압 설정치에 도달하는 rise time이 적을수록 overshoot 과 bounce가 심해지는 것은 피할 수 없는 mechanical dynamic system의 특성이라 할 수 있다.

이상적인 헤드의 가압력 파형을 그려보면 Fig. 6이 될 것이다. 적당한 rise time이 경과한 후 가압력이 설정치에 도달하면 force firing 기능에 의해 통전이 시작되고 용접기 헤드의 속응성이 우수하여 용접 후반부에 적당한 단조가압 효과를 주기위해 “follow-up force”가 가해지는 것이 이상적인 헤드의 가압파형이 될 것이다. 현재 사용되는 공기압 실린더를 이용한 헤드나 캠 등의 기계기구를 이용하는 헤드는 이러한 동특성을 기대할 수 없으므로 스프링을 병용한다고 볼 수 있다. 공기압 실린더는 동력원 자체가 압축성 유체이고 실린더의 관성도 크므로 가압력의 속응성에 한계가 있으므로 여러 용접기 헤드 메이커들은 특수한 기계기구를 장착하여 이러한 문제를 해결하려고 노력하고 있다.

이와 같이 헤드 가압력은 전극을 통해 모재 접촉저항을 안정화시키고 통전경로를 제공하여 열량을 공급하는 역할을 하며 용접 후반부에는 단조가압 효과를 통해 용접 품질을 균일하게 하는 아주 중요한 역할을 한다.

최근 일부 제품에서는 가압력이 미리 설정해 놓은 값에 도달하면 용접전류를 흘려주는 경우방식을 채택하고 있는 이를 “force firing”이라고 한다(Fig. 6 참조). 가압력이 마이크로 스폿용접에서 얼마나 중요한가를 반증하는 예라 할 수 있다. 또한 마이크로 스폿용접기로

용접되는 모재는 대개 수십 마이크로미터 이하인 박판이므로 전극이 모재와 접촉할 때 충격적으로 접촉을 하여 모재에 압흔이 생기고 접촉저항이 불안해지는 것을 방지하기 위하여 soft touch 기능이 있는 용접기 헤드도 출시되고 있다.

대부분의 마이크로 스폿용접기 헤드는 선형적인 베어링을 이용한 기계적 가압 시스템 또는 공기압과 스프링을 이용해 힘을 조절하는데 최근 일부 회사에서는 서보모터와 볼 스크류 및 리니어 가이드를 이용한 서보가압식 헤드를 시판하고 있다. 어떠한 가압방식을 채택하더라도 공통적으로 중요한 사항은 전극홀더의 질량은 가능한 한 작게 설계해야 하고 가이드나 베어링의 마찰도 최소화되도록 노력해야 한다. 용접도중 모재의 팽창과 수축이 순식간에 발생하므로 용접기 헤드의 관성을 최대한 줄여 전극과 모재간의 안정된 접촉을 유지하고 hold time에서 단조가압을 할 수 있는 속응성도 있어야 한다.

일부 회사의 최신 모델 용접기 헤드는 헤드의 운동과 힘이 컴퓨터나 PLC를 통하여 전기적으로 정밀하게 제어되고 모니터링 될 수 있으며 soft touch, 다중 가압, 프로파일 가압 등의 기능을 갖추고 있다.

### 7. 최근 시판중인 헤드의 가압력 특성 분석

현재 많이 사용되고 있는 스프링과 공기압 실린더를 이용한 마이크로 스폿용접기의 가압 특성을 분석해 보고자 한다. 스프링을 이용한 방식은 스프링의 탄성을 예압 해 주는 나사와 너트의 길이조절을 통하여 가압력이 조절된다. 행정(stroke)은 공기압 실린더를 이용한다.

본 가압실험에서 외국산 마이크로 스폿용접기 헤드가 사용되었다. 시험과정은 스프링의 가압력 설정 눈금을 7, 8, 9 세 가지 단계로 노브(knob)를 조절하였고 각 설정치에서 50타점씩 반복실험을 시행하였다. 일단 시험이 끝난 후 다시 똑같은 실험을 하여 가압력의 재현성/

반복성을 분석해 보았다. Fig. 7에서 동일한 가압 설정치 즉, 같은 노브 세팅에서 가압력이 맥동(fluctuation)하는 것을 볼 수 있다. 또한 다시 시행한 재현성/반복성 검증시험에서 전에 시행한 가압데이터와 일정한 DC 값의 차이가 나는 것을 알 수 있는데 이는 스프링의 히스테리시스(hysteresis)에 기인한 것으로 판단된다. 이 방식은 스프링의 탄성만을 이용해 가압하므로 정밀가압이 어렵고 특히 스프링의 히스테리시스 특성 때문에 가압의 재현성/반복성(repeatability)에 문제가 있어서 균일한 용접품질을 보장하기 어렵다고 판단된다.

다른 스프링 가압식 헤드의 가압성능을 참고문헌 3을 인용하여 살펴보자. 이 헤드는 초소형 슬림형 헤드로 가압력 제어시스템을 통하여 Fig. 8의 좌측 파형과 같이 나타나는 가압력 문제를 우측 파형과 같이 해결하였다고 주장하고 있다.

또 다른 헤드의 예로서 서보가압식 헤드의 가압특성을 실험을 통하여 살펴보자. 서보모터, 볼스크류, 그리고 리니어가이드로 구성된 헤드에서 가압 설정치는 모터의 토크값으로 실시간 제어를 통해 가해진다. 실제 측정된 가압력이 Fig. 9에 나와 있다. 서보모터 시스템의 특성인 댐핑(damping) 효과로 인하여 기계식 직결 가압방식임에도 우수한 댐핑 성능을 볼 수 있다. 이 시스템에서는 서보모터 드라이버의 파라미터(parameter)를 자유롭게 세팅 할 수 있으므로 헤드 가압력의 동특성을 어느 정도 조절할 수 있다.

### 8. 초정밀 마이크로 스폿용접의 실례

마이크로 스폿용접을 통하여 얻어진 용접부는 보통 다음의 세 가지 형태로 분류된다.

① Solid State Bonding : 압접(forge welding)이라고도 하는데 보통 이종재료간 접합에서 볼 수 있다. 금과 베릴륨동 또는 몰리브덴과 텅스텐 사이의 접합에서 매우 짧은 통전시간에 높은 열량과 가압력을 가하면 된다. 모재의 용융과 grain 성장은 거의 일어나지 않으며 선명한 접합 경계와 grain의 경계가 관찰된다. 즉 모재는 고체상태에서 접합되므로 solid state bond라 칭한다. 이 접합은 일반적으로 인장, 전단강도는 우수하지만 벗김강도(peel strength)는 약하다.

Solid state bond의 실례로 다음 사진은 마이크로 스폿용접기를 이용한 열전대와 구리 전극판의 용접조직이다(Fig. 10~Fig. 13). Fig. 11~Fig. 13에서 초소형 부품 및 재료의 용접에서 가압력이 결정적 역할을 함을 알 수 있다. 다음 실례로서 초소형 전자/기계 기구로 이루어진 전자스위치에서 기계식 접점을 구성하는 Ag

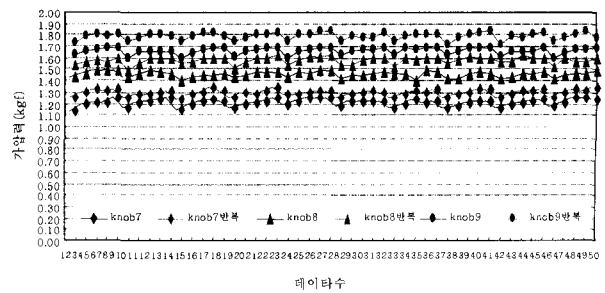


Fig. 7 스프링 작동식 가압헤드에 대한 가압력 실험

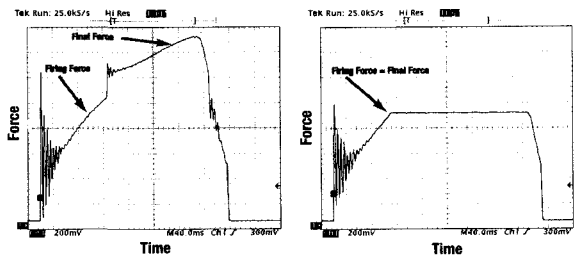


Fig. 8 전형적인 slim형 마이크로 스폿용접기 헤드에서 불안정한 가압력과 이를 제어한 경우의 가압력 파형 비교(참고문헌 3 인용)

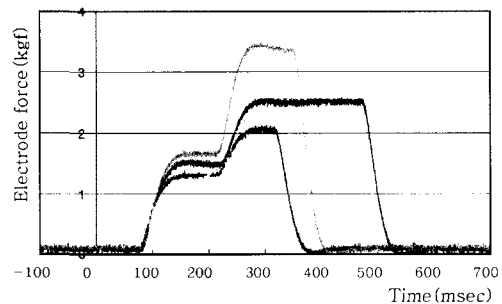


Fig. 9 서보모터를 이용한 마이크로 스폿용접기의 가압력 특성(2단 가압)

합금 선재(線材)에 부착된 Au돌기(projection)가 BeCu판에 용접된 단면을 보여주는 사진이 Fig. 14에 있다. Fig. 14(b)의 확대사진에서 선명한 solid state bond 경계를 관찰 할 수 있다. Fig. 15에는 알루미늄 박판을 필렛 용접을 시도한 것인데 역시 접합 경계가 뚜렷하게 관찰된다.

② Fusion Bond : 용접이라고 하며 동종 재료나 재료의 조직 구조가 비슷해 용접이 비슷한 이종재료의 용접시 나타난다. 용융된 후 응고될 때 두 모재의 합금으로 너깃이 생긴다. 전형적인 용접은 용융에 필요한 충분한 열량이 필요한 데 통전이 끝난 후 너깃응고 시 용접부의 수축으로 기공 및 균열이 발생하기 쉽다. 이를 방지하기 위하여 충분한 단조가압이 필요하다. 용접된 부위는 높은 인장, 전단강도를 나타낼 뿐만 아니라 벗김 강도(peel strength)도 높다.

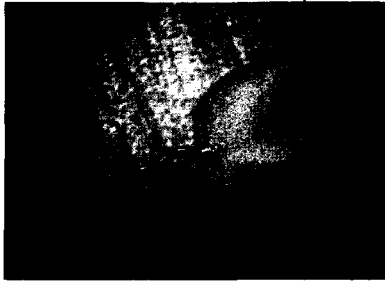


Fig. 10 열전대( $\varnothing 0.05$ )가 Cu 전극판에 용접된 외관

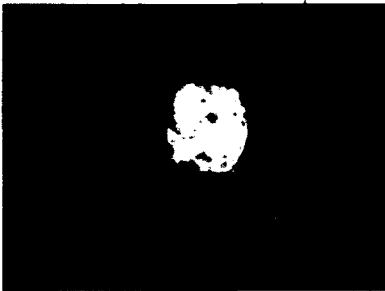


Fig. 11 Fig. 10의 용접부 단면조직사진 :solid state bond (가압력이 부족한 경우)

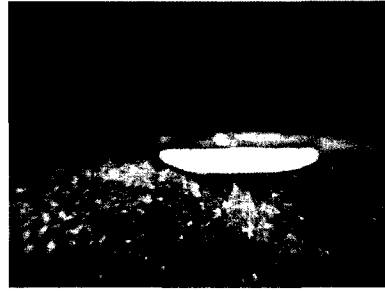


Fig. 12 Fig. 10의 용접부 단면조직사진 :solid state bond (가압력이 너무 큰 경우)

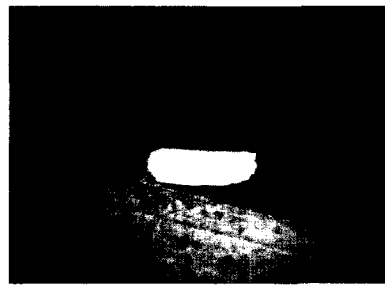


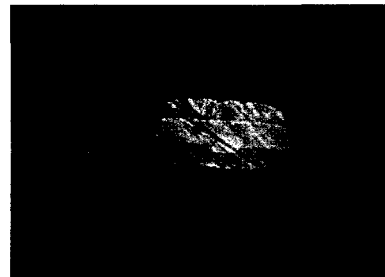
Fig. 13 Fig. 10의 용접부 단면조직사진 :solid state bond (가압력이 적당한 경우)

Fig. 16에는 스테인레스 박판이 용접된 사진이고 Fig. 17에는 CRT 소켓(socket) 핀을 제작하기 위하여 3종류의 선재가 서로 butt welding된 조직사진이 나와 있다. 보통 butt welding은 스폿용접으로 분류하지 않는 것이 보통이나 초소형 부품의 butt welding이 필요할 경우 마이크로 스폿용접기를 응용하여 전극 가압력을 효과적으로 제어하면 이와 같은 훌륭한 용접부를 얻을 수 있다.

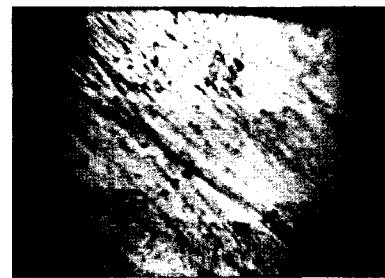
③ Reflow braze bond : reflow braze bond는 낮은 온도에서 금이나 납 같은 재료를 이용해 이종재료 또는 두꺼운 모재와 얇은 모재를 접합시킨다. 브레이징 재료는 두 모재의 용점보다 낮아서 접합 시 모재 각 부분이 충분히 젖어야(wetting) 한다. 일반적으로 브레이징 공정은 작은 열원과 긴(2~100ms) 열 공급 시간이 필요하다. 인장 강도는 좋으나 벗김과 전단 강도는 작다.

### 9. 용접품질 모니터링

모재에 따라 적당한 마이크로 스폿용접의 공정변수 선정도 중요하지만 용접과정의 모니터링도 중요하다. 우선 파괴시험(destructive test)은 공정변수를 제대로 선정했는지 검증하기 위한 목적으로 인장시험, 벗김 시험(peel test), 전단시험, 부식시험, 단면 마크로검사, 광학현미경 및 전자현미경을 통한 단면조직검사 등이 수행된다. 그러나 파괴시험은 대량생산되는 초소형 부품의 품질관리에는 적용될 수 없으므로 공정변수를 실시간으로 측정하는 인프로세스(in-process) 모니터링이 필요하다. 모니터링은 용접과정 동안 동적으로 변



(a)



(b)

Fig. 14 Ag합금 strip 아래 형성된 Au들기( $\varnothing=0.1\text{mm}$ )가 BeCu판에 용접된 조직: solid state bond

하는 하나 또는 그 이상의 특정한 전기적, 기계적인 파라미터를 측정하는 것이다. 측정대상은 용접전류, 전극 양단간의 전압강하, 용접부의 팽창 및 수축에 따른 가압력과 전극의 위치의 변화, 전극팁 단면의 크기, 용접도중의 acoustic emission, 그리고 모재의 온도 등이다. 마이크로 스폿용접공정은 전기에너지를 이용하여 열을 발생시키는 과정이므로 전기적 신호(electrical

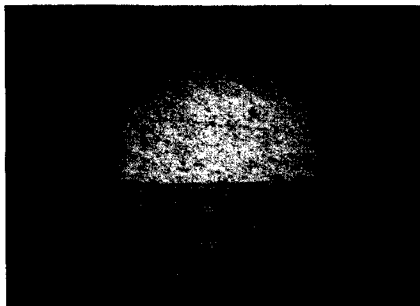


Fig. 15 알루미늄 합금 박판재료(0.3t 와 0.7t) 의 fillet 용접부: solid state bond



Fig. 16 Stainless steel(0.2t)의 용접에서 생긴 너깃

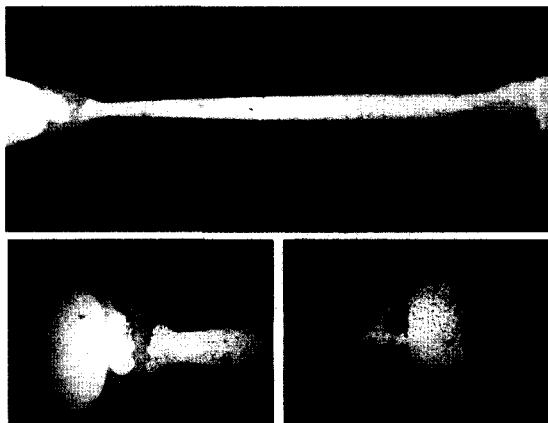


Fig. 17 CRT socket pin의 butt 용접부 ( 0.4 mm < 가운데 pin의 직경 < 1 mm )

measure)를 측정하는 것이 기계적 신호(mechanical measure)를 측정하는 것보다 수월하여 이를 기초로 모니터링 시스템을 구성하는 경우가 많은데 근본적으로 용접은 피용접 재료 내부에서 일어나는 열물리적 현상(thermophysical phenomena)이므로 기계적 신호까지 측정해야 완전한 모니터링 시스템을 구축할 수 있다.

이러한 모니터링을 통하여 양호/불량 기준의 초보 단계의 품질관리 체계로부터 SPC(statistical process control) 기법을 통한 통계적 품질관리로 이어질 수 있고 나아가서는 회귀법이나 인공신경회로망 등을 이용한 용접품질 추정(estimation)시스템을 구축할 수도 있다

## 10. 결 론

최근 전자, IT 및 가전 관련 제조업의 모든 분야에서 초소형 부품 용접에 자주 사용되는 마이크로 스폿용접기의 주요 사항에 대해 살펴보았다.

마이크로 스폿용접기의 파워소스는 오래 전부터 개발되어 왔고 최근 우수한 전력전자 소자들이 개발되면서 다양한 특성을 지닌 여러 모델들이 출시되면서 기술적으로는 더 이상 개선의 여지가 없을 정도이므로 장비의 구입비용과 피용접물의 물성을 고려하여 적당한 기종을 선택하면 된다.

반면 용접기 헤드는 아직 기술적으로 개선해야 할 점이 많다. 특히 피용접물이 초소형 부품인 경우 용접의 성패를 좌우하는 아주 중요한 공정변수는 크기가 2kgf 내외에 불과한 가압력이므로 가압헤드를 선정할 때는 반드시 가압성능 스펙에 대한 세심한 검토가 필요하다. 가능한 한 로드셀(load cell)로 가압력을 검증하는 절차가 필요하다.

초소형 부품의 정밀용접기술은 현재 대외의존도가 심각한 정도로 높다. 점차 경쟁력을 잃어가고 있는 국내 중소제조업 현장에서 전기, 전자, IT 및 정밀기계 분야에서 부가가치를 창출하는 아주 중요한 과정의 하나가 초소형 부품 용접기술을 완전한 국내기술로 확립하고 발전시키는 길이다.

## 참 고 문 헌

1. 대한용접학회편: 용접·접합 편람, 대한용접학회, 1998 (in Korean)
2. AMERICAN WELDING SOCIETY: WELDING HANDBOOK, "WELDING PROCESSES, Vol.2, 8th ed.,1991
3. UNITEK MIYACHI CORPORATION: GENERAL CATALOGUE, "FUNDAMENTALS OF SMALL PARTS RESISTANCE WELDING", 2004
4. 임창식: "마이크로 서보점용접기의 개발", 명지대학교 대학원 석사학위논문, 2003(in Korean)



- 장희석
- 1956년생
- 명지대학교 기계공학부 교수
- 저항점용접의 모니터링 및 제어 연구, 서보전 전용제어기 개발.
- e-mail: hschang@mju.ac.kr



- 박승규
- 1974년생
- (주)서보월드, 용접기술연구소 선임연구원
- 저항 점용접기의 가압기구 특성연구, 서보 마이크로 스폿용접기 헤드 개발
- e-mail: kumsim@servoweld.co.kr