

Sn-37%Pb solder를 도금한 Cu 박판의 점 용접성에 관한 연구

박창배, 김미진, 정재필

서울시립대학교 재료공학과

A Study on the Spot Weldability of Sn-37%Pb Coated Cu-sheet

Chang-Bae Park, Mi-Jin Kim and Jae-Pil Jung

Department of Materials Science and Engineering, The University of Seoul

(1999년 8월 18일 접수, 1999년 9월 8일 게재승인)

초 록 : 동(Cu)은 전기전자부품에 널리 사용되어 왔는데, 특히 점 저항용접된 동은 콘덴서나 저항의 리드부분에 사용되고 있다. 그러나, 일반적으로 동은 전기 저항이 낮아 저항용접이 어렵다. 본 연구에서는 동의 점 용접성을 개선하기 위하여, 상대적으로 전기 저항이 높은 Sn-37%Pb 솔더를 동 표면에 도금하였다. 실험변수로, 가압력은 100kgf에서 200kgf, 용접시간은 20ms에서 50ms, 용접전류는 100A에서 2500A까지 변화시켰다. 실험결과, 솔더 도금된 동박판은 용접전류 400~2200A, 가압력 100~200kgf, 용접시간 20~50ms범위에서 저항용접이 가능하였다. 점 용접부의 인장전단 강도는 임계 전류값까지는 용접전류가 증가함에 따라 증가하고, 임계 전류값 이후부터는 용접전류에 따라 인장전단 강도가 감소하였다.

Abstract : Copper has been widely used for the electronic parts, and especially spot welded one for the leads of condenser or resistor. However, copper is generally hard to be spot welded because of its low electrical resistivity. For this experiment, Sn-37%Pb solder which has relatively higher resistivity was coated on the Cu-sheet to improve the spot weldability of copper. As the experimental variables, welding pressure was varied from 100 to 200kgf, welding time from 20 to 50ms, and welding current from 100 to 2500A. Experimental results showed that the solder coated Cu-sheet can be spot welded under the conditions of 400~2200A welding current, 100~200kgf pressure and 20~50ms welding time. The tensile shear strength of the spot welded joint increased with welding current up to the critical current, and after the critical value decreased with current.

1. 서 론

19세기 후반 미국의 Elihu Thomson에 의하여 발명된 점 저항용접은 Hamad에 의해 실용화과정을 거쳐, 현재와 같은 전류제어방식과 하중의 전달방식 등 새로운 기술 개발을 이루어 여러 분야에 폭넓게 사용되고 있다¹⁾.

점 저항용접은 단순하고 용이한 공정으로 인해 여러 분야에서 사용됨에도 불구하고 동(Cu)과 같이 저항값이 낮은 재료에는 적용에 어려움이 많았다. 동은 우수한 전기전도성으로 인해 전자 및 기기 산업에 폭넓게 사용되고 있어서,

이를 위한 동의 적절한 접합방법이 요구되고 있다.

솔더는 동에 비해 저항이 높고 용점이 매우 낮아(Table 1. 참조), 전자제품의 PCB(printed circuit board)와 소자 접속에 많이 이용되고 있으므로 전기전도성 재료로서 검증되어 있다고 할 수 있다²⁾⁻⁴⁾.

주석 또는 솔더가 도금된 동 리드선은 콘덴서 등 전자부품 제조시 저항용접하여 많이 사용되고 있는데, 이에 관한 연구는 적은 편이다⁵⁾. 이에 본 연구에서는 Sn-37%Pb 솔더를 도금한 동 시편의 점 용접성과 인장전단 강도에 관해서 조사해 보고자 하였다.

Table 1. The electric resistivity and melting point of Cu and Sn-37%Pb

	Cu	Sn-37%Pb
Electrical Resistivity	$1.70 \times 10^{-8} \Omega m$	$1.46 \times 10^{-7} m$
Melting Point	1060 °C	183 °C

2. 실험방법

두께 0.1mm의 동판에 웨이브 솔더링 머신(wave soldering machine)을 사용하여, Sn-37%Pb 공정솔더를 두께 10 μ m로 양면 도금하였다. 도금된 동판은 50×5mm로 잘라 에탄올로 세척한 후 건조하였다. 건조된 시편을 5mm 겹쳐 점 저항용접 시편으로 사용하였다(Fig. 1 참조). 점 저항용접 방법은 Fig. 2에 나타내었다.

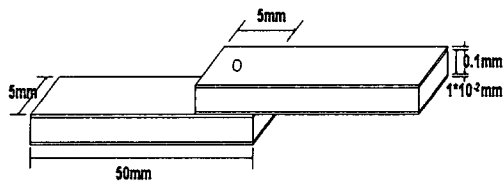


Fig. 1. Schematic diagram of spot welding specimen

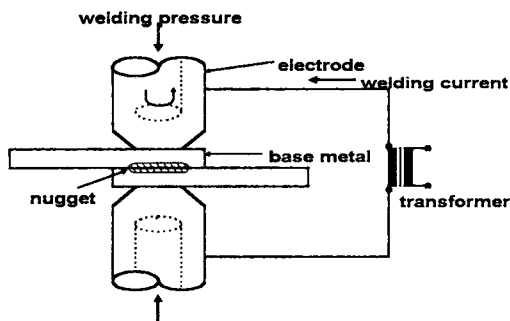


Fig. 2. Schematic diagram of spot welding system

점 저항용접기로는 열변형이 작고 비산이 작아 정밀 저항용접에 유리하며 효율이 뛰어난 고주

파 인버터형을 사용하였으며⁶⁾, 전극 끝의 직경은 1.5mm를 사용하였다. 실험변수로는 용접전류와 용접시간, 가압력을 택하였다. 용접전류는 100~2500A, 용접시간은 20~50ms, 가압력은 100~200kgf범위에서 변화시켰다. 1개의 시편당 용접된 수는 1점이며, 겹친 시편의 중앙에 용접하였다.

점 저항용접된 시편에 대해서는 SEM(Scanning Electron Microscope)을 사용하여 단면을 조사하였다. 점 저항용접된 3개의 시편에 대하여 마이크로 인장 시험기(micro tensile tester)를 이용하여 인장전단 강도실험을 행하였으며 측정된 인장전단 강도의 평균값을 인장전단 강도값으로 하였다. Fig. 1과 같이 저항용접된 시편의 양 끝에 지그를 물려 25mm/min의 속도로 인장전단 실험을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 적정 점 저항용접 조건

Fig. 3, 4는 각각 용접시간을 40ms, 50ms로 했을 때 용접전류 및 가압력 변화에 따른 적정 용접범위를 나타낸 것이다. 시편의 접합성은 미접합(non-welding), 접합(good welding), 표면 비산(surface flash), 그리고 burn-through의 발생 조건으로 구분하였다.

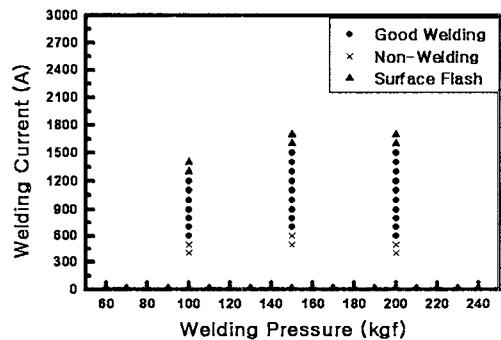


Fig. 3. Effect of welding current and pressure on the weldability of Sn-37%Pb coated Cu-sheet(welding time : 40ms)

Fig. 3에서 보듯이, 가압력 100kgf일 경우, 500~1200A의 용접전류에서 양호한 접합을 얻었으며, 500A미만에서는 미접합이 나타났다. 또, 1300A이상에서는 과대전류로 인한

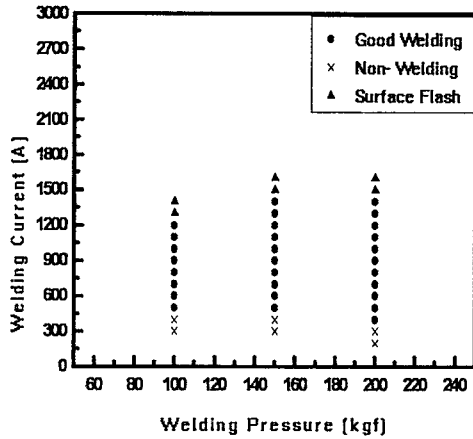


Fig. 4. Effect of welding current and pressure on the weldability of Sn-37%Pb coated Cu-sheet(welding time : 50ms)

표면 비산현상이 발생하였으며, 1500A 이상에서는 강한 표면 비산으로 burn-through가 나타났다. 용접압력을 150kgf에서 200kgf로 증가시키기에 따라 양호한 접합을 얻을 수 있는 전류범위는 각각 700~1500A에서 600~1500A로 100kgf의 경우(500~1200A)에 비해 증가되었다. 이러한 현상의 원인은, 압력이 증가됨에 따라 용접부 솔더에서의 소성변형이 증가되어 접촉면적이 증가되고⁷⁾, 이로 인해 용접부의 전류밀도가 낮아져서 발열량이 감소되므로 표면 비산 및 burn-through가 보다 높은 전류에서 발생한 것으로 판단된다.

한편, 시편이 처음 접합되기 시작하는 하한 전류값은, 100kgf의 경우가 200kgf 경우보다 전류밀도가 높음에도 불구하고, 100kgf일 때 600A, 150kgf일 때 700A, 그리고 200kgf일 때 600A로 거의 차이가 없었다. 그리고, 하한 전류값(600A)에서의 인장전단 강도는 100kgf일 경우(2.3N)보다 200kgf일 경우(4.3N)가 높게 나타났다. 이러한 현상은, 하한 전류값에서는 전류에 의한 발열이 불충분하여 가압력에 의해 솔더간에 압접이 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다. 따라서, 가압력에 따른 하한 전류값의 차이가 거의 없고, 하한 전류값에서의 인장전단 강도는 100kgf일 때 보다 200kgf일 때 높게 나타난 것으로 판단된다. 이것은 용접

시간 50ms일 경우에도 같은 경향을 보였다 (Fig. 4 참조).

동에 솔더를 도금함으로써 점 저항용접이 가능했던 것은 솔더의 저항이 동에 비해 약 8.6배 크기 때문에 이에 의한 저항 발열 증가가 중요한 원인이 되었던 것으로 사료된다.

3.2 인장전단 강도

Fig. 5~7은 일정 가압력 및 용접시간에서 용접전류에 따른 용접부의 인장전단 강도의 변화를 나타낸 것이다. 용접전류의 증가에 따라 인장전단 강도는 증가하다가, 인장전단 강도가 최대가 되는 임계 전류값 이후에서는 다시 감소하는 것을 볼 수 있다. 예를 들어 가압력 200kgf, 용접시간 20ms인 경우(Fig. 6참조), 임계전류 2000A에서 가장 높은 인장전단 강도값(11.6N)을 갖고 그후 인장전단 강도가 감소하는 것을 볼 수 있다. 다른 조건(가압력, 용접시간)에서도 같은 경향을 보였다(Fig. 5, 7 참조).

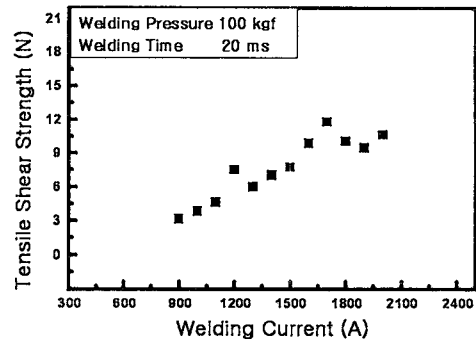


Fig. 5. Relation between tensile shear strength and welding current (welding time : 20ms, welding pressure : 100kgf)

용접전류가 커짐에 따라 접합부의 발열량이 증가되어 임계 전류값까지는 양호한 접합부를 형성하지만, 임계 전류값 이상에서는 과도한 발열로 인한 모재의 중간날림(expulsion), 표면비산, burn through가 발생한다⁸⁾. 즉, 용접시간 20ms, 가압력 200kgf의 경우 표면 비산은 용접전류 2100A, burn-through는 2300A 이후부터 발생한다. 이들이 인장전단 강도에 미치는 영향을 살펴보면, 표면 비산이 발생한 경우

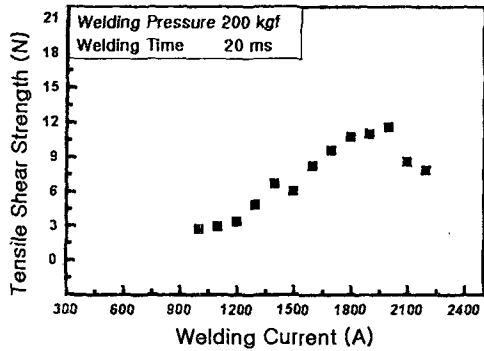


Fig. 6. Relation between tensile shear strength and welding current(welding time : 20ms, Welding Pressure : 200 kgf)

의 인장전단 강도는 8.5N, burn-through는 0N(전극과 닿는 부분의 시편에 구멍이 발생해 인장전단 강도 측정불능)으로 나타났다. 결국, 전류 증가에 따른 결함들이 인장전단 강도 감소에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

용접시간이 증가함에 따라 최대인장전단 강도값을 갖는 임계 전류값이 감소하는 것으로 나타났다(Table 2 참조). 이러한 현상이 나타나는 이유는, 용접시간이 증가함에 따라 용접부의 입열량이 많아지므로 표면 비산 등의 결함들이 보다 빨리 나타나기 때문인 것으로 판단된다.

Table 2. Effect of welding time and pressure on the critical welding current for the highest tensile shear strengt

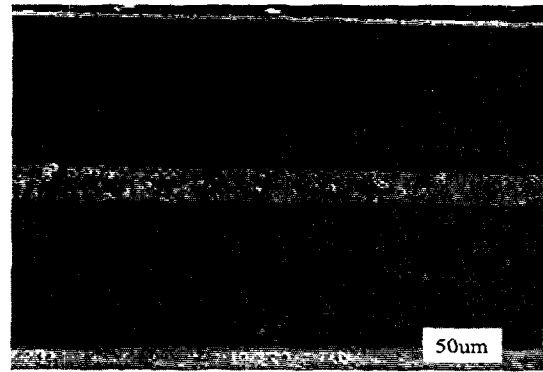
		$T_w=20ms$	$T_w=30ms$	$T_w=40ms$	$T_w=50ms$
Critical welding current (A)		1700	1400	1100	1100
	$P_w=150kgf$	1900	1800	1500	1300
	$P_w=200kgf$	2000	1600	1400	1400

T_w : welding time, P_w : welding pressure

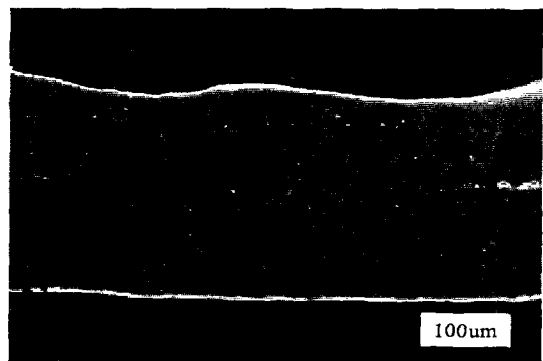
3.3 용접부의 단면 관찰

Fig. 8.(a)는 용접시간 20ms, 용접전류 1000A, 가압력 200kgf에서 용접한 시편의 단면사진이고, Fig. 8.(b)는 용접시간20ms, 용접전류 1600A, 가압력 200kgf에서 용접한 시

편의 단면사진이다. Fig. 9의 (a),(b)는 각각 Fig. 8의 (a),(b)를 확대한 사진이다.



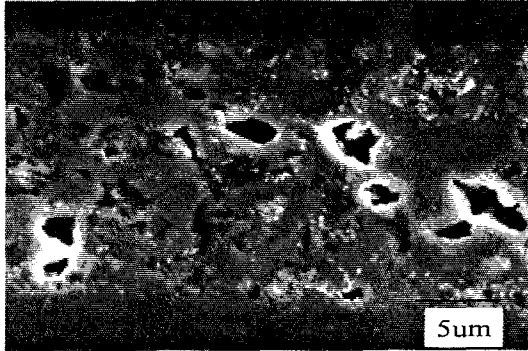
(a)



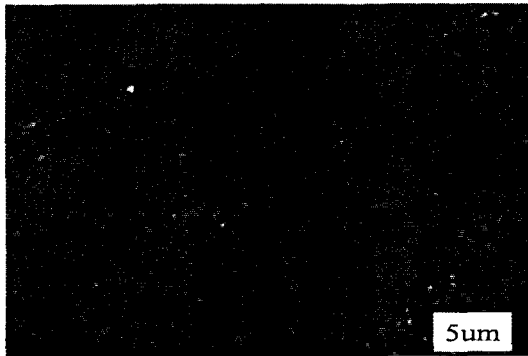
(b)

Fig. 8. Cross section of spot welded specimens, (a) welding current 1000A, welding

Fig. 8.(a)의 경우, 동 표면에 도금된 슬더층이 용융, 응고되어 용접되었고, Fig.8.(b)는 용접부에 슬더층이 없어진 것을 볼 수 있다. 이 두 시편의 용접조건을 살펴보면 용접시간과 용접전류가 Fig. 8.(a)에 비해 Fig. 8.(b)가 높다는 것을 알 수 있다. 따라서 총발열량은 용접시간과 용접전류에 비례하므로 Fig. 8.(a)의 경우에 비해 Fig. 8.(b)가 6.4배 높다는 것을 알 수 있다. Fig. 8.(b)의 경우, 상대적으로 높은 발열량으로 인해 슬더층 전체가 완전히 용융된 상태에서 가압력으로 인해 슬더가 용접부 바깥쪽으로 밀려나간 것으로 판단된다. 또한 높은 발열량으로 인해 전극 및 전극과 접촉하는 모재 표면의 슬더 도금층에서 비산이 발생되었으며,



(a)



(b)

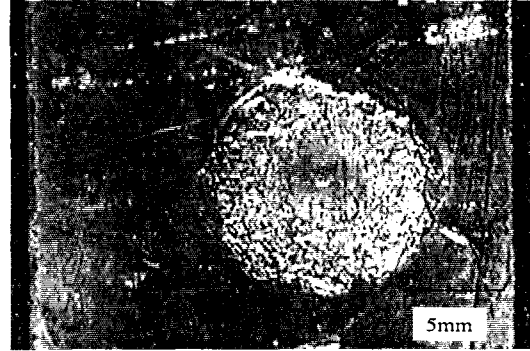
Fig. 9. Cross section of spot welded specimens, (a) welding current 1000A, welding time 50ms, welding pressure 200kgf, (b) welding current 1600A, welding time 50ms, welding pressure 200kgf

가압력으로 인해 모재에 변형이 발생한 것으로 사료된다.

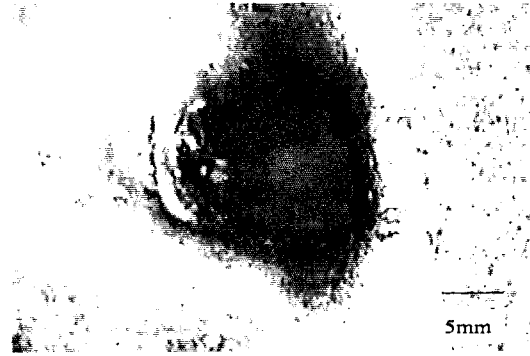
3.4. 전단인장 시험편 파면 관찰

Fig. 10은 인장전단 시험 후 용접부의 파면을 보인 것이다. Fig.10.(a)는 용접시간 20ms, 용접전류 1000A, 가압력 200kgf에서 용접한 시험편의 인장전단 시험 파면이고 Fig.10.(b)는 용접시간 20ms, 용접전류 1600A, 가압력 200kgf에서 용접한 시험편의 파면이다.

Fig.10.(a)는 용접부 솔더층에서의 파단이 발생되었음을 보여 주고 있다. Fig.10.(b)는 용접부의 동 모재가 뜯겨져 나가 구멍이 생긴 버튼파단 형태를 보여 준다. Fig.10.(a)는 용



(a)



(b)

Fig. 10. Cross section of spot welded specimens, (a) welding current 1000A, welding time 50ms, welding pressure 200kgf, (b) welding current 1600A, welding time 50ms, welding pressure 200kgf

접부의 발열량이 상대적으로 낮은 경우에 발생하는 형태로, 솔더층에서의 압접 또는 솔더층이 완전히 용융되지 않고 일부분이 용융, 응고되어 너겟이 형성되는 것으로서, 솔더 자체의 강도가 동 모재에 비해 약하므로 솔더층내에서 파괴가 일어난 것이다. Fig.10.(b)와 같이 발열량이 높은 경우에는, 솔더층이 완전히 용융된 후 가압력에 의해 밖으로 밀려나가고 동 모재가 용융, 응고되어 용접되었다. 이 때에는 동 모재간에 양호한 용접이 이루어져 용접 모재가 파단(버튼파단)되는 우수한 인장전단 강도를 얻을 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 솔더로 도금한 동을 인버터

저항 용접기를 사용하여 점 저항용접하였다. 용접변수로는 가압력, 용접시간, 용접전류를 택하였으며, 용접특성을 평가하기 위해 인장시험, 용접부 단면관찰 및 인장전단 시험의 파면을 관찰하였다. 실험결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 동 모재에 솔더를 도금함으로써 용접시간 20~50ms, 가압력 100~200kgf, 용접전류 400~2200A 범위에서 점 저항용 접을 할 수 있었다. 이때, 가압력 증가(100kgf-200kgf)에 따라 접합 가능한 전류 범위가 커지는 것을 알 수 있었다.
2. 가압력 100, 150, 200kgf일 때, 용접전류를 약 600A이상에서 증가시킴에 따라 인장전단 강도가 높아지다가 임계 전류값 이상에서는 다시 감소하는 현상이 나타났다.
3. 가압력 200kgf, 용접시간 50ms 조건에서, 용접전류를 1000A처럼 발열량이 상대적으로 낮을 때는 솔더층에서의 용융, 응고가 발생해 너겟을 이루고, 용접전류 1600A와 같이 발열량이 상대적으로 높아진 경우에는 솔더층이 완전히 용융되어 용접부 밖으로 빠져나가고 동 모재가 용융, 응고된 것을 관찰할 수 있었다.
4. 인장전단 시험결과, 가압력 200kgf, 용접시간 50ms 조건에서, 용접전류 1000A일 때에는 솔더층 파괴, 1600A일 때에는 동 모재에서 파괴되는 버튼파괴가 일어났다.

참고문헌

1. 김명준, "저항용접", pp17-18, 기문사 (1993)
2. Hans Danielson, "Surface Mount Technology with Fine Pitch Components", pp16-29, Chapman & Hall, UK (1995)
3. Howard H. Manko, "Solder and Soldering", Ed. by Tyler G. Hicks, Elizabeth P. Richardson, pp47-51, Mcgraw-Hill Book co. (1979)
4. R. J. Klein Wassink, "Soldering in Electronics", pp135-139, Electrochemical Publications Limited, British Isles (1989)
5. Tetsuzo Ogura, Motojisa Miyafuji, Kouya Nomura, "Resistance Weldability of Copper Alloy Sheet" 4th symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics, pp109-112 (1998)
6. 최민환, 박영희, "저항용접기의 종류와 신개발 동향", 대한용접학회지, Vol. 15 No. 2 pp11-18 (1997)
7. 김명준, "저항용접", pp140-143, 기문사 (1993)
8. 조상명, "저항용접의 기초원리와 모니터링 결과의 분석", 대한용접학회지, Vol. 15 No. 2 pp1-10 (1997)