

研究論文

Pb Free 솔더를 사용한 솔더 접합부의 접합 강도 향상에 관한 연구

신 영 의* · 김 영 탁**

Study on Joining Strength Improvement of Solder Joint with Pb Free Solder

Young-Eui Shin* and Young Tark Kim**

Key Words : Initial strength, Solder joint, Lead free solders, Thermal EMF, Reflow soldering.

Abstract

In this paper, stability of initial strength at solder joint with lead free solders, such as Sn-In (52-48%) and Sn-Ag (96.5-3.5 wt%) was studied.

To obtain at solder joint with high quality, it is very important to control the temperature at the interface of solder joints. It is found that the thermal EMF (electro motive force) occurs between lead frame and copper pad on a substrate during reflow soldering process using heated tip.

As a result of control the temperature at interface of solder joints, variation of initial strength at solder joint decreases from about $\pm 40\%$ to $\pm 20\%$, and it is realized Pb free soldering process using Sn/In and Sn-Ag solder paste.

1. 서 론

솔더 (solder) 접합부는 Sn-Pb 계열의 재료가 가장 많이 사용되어 왔으며, 현재도 이 계열의 재료가 바 (bar) 혹은 페이스트¹⁾ (paste) 상으로 공급되

어, 고집적 회로인 소자와 기판 상의 전극 패턴과를 기계적·전기적으로 접속하는 것이 일반적이다. 그러나, 최근 들어 선진국(미국, 일본, 유럽)에서는 Pb가 인체에 미량으로 들어가도 신경 세포 및 소화 기관에 치명적인 손상을 준다는 보고에 기인하여 금세기 내에 선진국의 각종 공장 및 생산

* 정회원, 중앙대학교 기계공학부

** 비회원, 중앙대학교 기계공학부

라인에서 사용이 크게 제한될 전망이다.

한편, 전기·전자 산업에 있어서도 Sn-Pb계열의 솔더 페이스트(solder paste)가 주종을 이루고 있지만, Pb에 대체되는 재료가 개발되고 있고, 부분적이나마 상품화된 비납 솔더 재료²⁻⁴⁾(Lead free solder metal)도 있다. 그러나 국내에서는 어떠한 종류의 솔더 페이스트도 개발 완료되어 생산 라인에 적용되고 있는 사례는 없는 실정이다. 따라서, 소재 개발 측면에서 연구소 및 산업계에서 많은 연구 투자가 이루어져야 할 것이다.

이러한 배경으로부터, 본 연구에서는 비납 솔더에 착안을 두어, 현재 선진국에서 연구 개발된 Sn-In(52-48 wt%) 솔더, Sn-Ag(96.5-3.5 wt%) 솔더를 이용하여 기판·상에 형성된 전극 패턴과 패키지의 아웃터 리드를 솔더링(soldering)하여, 종래의 Sn-Pb(63-37 wt%) 솔더 페이스트를 이용한 경우의 접합 강도와 비교·검토하여 비납 솔더의 실현 가능성을 제시하였다. 특히, 본 연구에서는 초기 강도의 재현성 및 안정성을 확보하기 위하여 솔더 접합부 중에서 접합 계면 온도를 가열 시간과 함께 제어할 수 있는 시스템을 개발하였다. 그 결과 초기 강도의 변동율을 내폭적으로 감소시켜, 솔더 접합부의 품질 향상을 꾀할 수 있었다.

2. 시험재 및 실험 방법

2.1 시험재

접합·접속을 위한 솔더 재료는 Sn-Pb(63-37 wt%) 솔더 페이스트와 비납 솔더인 Sn-In(52-48 wt%), Sn-Ag(96.5-3.5 wt%) 솔더 페이스트를 사

용하였으며, Table 1에 사용한 솔더의 물리적 특성을 나타내었다. 아울러 솔더 공급 방법은 스크린 프린트 법으로 프린트 기판 상에 형성되어 있는 전극 패턴(Cu pad) 위에 공급을 하고, 솔더의 두께는 약 0.18mm(변동율 $\pm 10\%$)이다. Fig. 1에 본 실험에 사용한 기판과 기판 상에 형성되어 있는 전극 패턴(구리)의 형상과 치수를 나타내었다. 또한, 리드 프레임은 현재 산업계에서 많이 사용되고 있는 42합금 리드를 사용하였으며, Fig. 2에는 본 실험에 사용한 리드의 형상과 치수를 나타내었으며, 이 리드 프레임이 기판 상에 형성되어 있는 전극 패턴과 접합하게 되어 있다.

2.2 실험 방법

접합 실험을 위한 열원은, 가열 시간과 더불어 전극 팁(Mo)의 온도를 제어할 수 있는 국부 가열 방식의 하나인 펄스 히트 방식⁵⁾(pulse heat tip)을 이용하였다. 그러나, 가열 팁의 온도를 제어하여도 접합 면의 표면 상태(표면 거칠기, 오염 상태, 산화 피막 등)에 따라 접합 계면 온도의 차가 생겨, 초기 접합 강도의 변동율이 $\pm 40\%$ 나 된다는 결과⁶⁾에 착안하여, 본 연구에서는 이와 더불어 접합 계면 온도를 가열 시간과 함께 제어할 수 있는 계면 온도 제어 시스템을 별도로 제작하였다. Fig. 3에 본 실험을 위해 설계, 제작한 계면 온도 제어 시스템의 블록 선도(block diagram)를 나타내었다. 이 시스템의 특징은 전극 팁(Mo)에 흐르는 전류를 제어함으로써 원하는 접합 계면 온도를 가열 시간과 더불어 제어할 수 있다는 것이다. 그림과 같이 리플로우(reflow)용 헤드에 부착된 전극 팁의 가압력이 설정값에 도달되면 리플로우용 헤드의

Table. 1 Physical properties of solder alloy

Alloy composition	Density (g/cm ³)	Thermal Conductivity (W/M·K)	Electrical Conductivity (IACS%)	TEC ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	Hardness (HB)
Sn-Pb (63-37 wt%)	8.3	50.9	11.8	21.4	17
Sn-In (52-48 wt%)	7.3	28	11.9	29.6	15.0
Sn Ag (96.5-3.5 wt%)	7.4	33	16.0	28.7	14.8

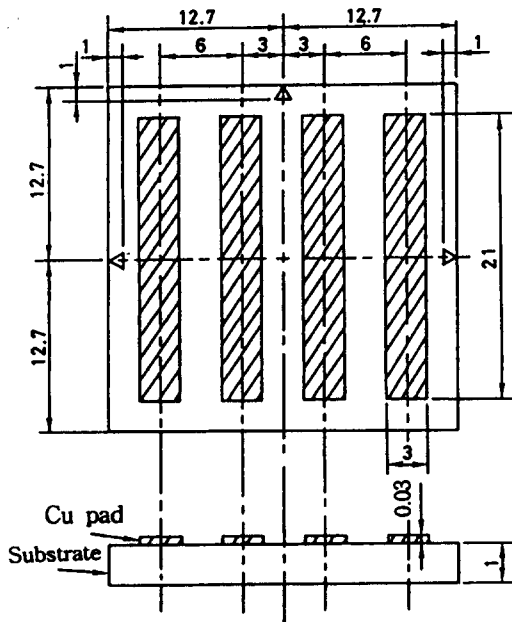


Fig. 1 Configuration of Cu pattern on the substrate

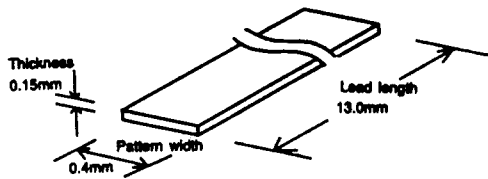


Fig. 2 Shape and size of lead frame

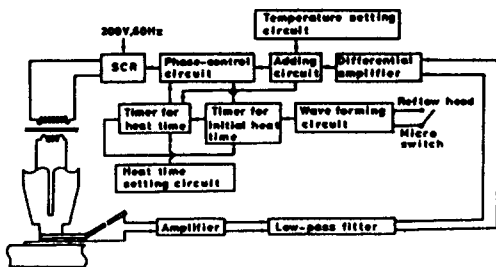


Fig. 3 Block diagram of interface temperature control circuit.

마이크로 스위치가 작동하게 되고 입력신호는 파형성형회로(wave forming circuit)를 통하여 초기

가열 시간용 SCR(silicon controlled rectifier)에 신호를 보낸다. 이 순간에 SCR은 ON으로 되어, 변압기(transformer)의 1차측은 전파(full wave)에 가까운 교류전압이 인가되어, 2차측의 리플로우 헤드에 부착된 전극 팁에 전류가 흐르기 시작한다. 이것에 의하여 전극 팁의 온도는 상승하여 열전도에 의하여 리드가 가열되어 접합 계면 온도도 상승하게 된다. 또한, 접합성 평가는 인장 전단 강도로 평가하였으며, Fig 4. 에 인장전단강도 시험방법을 나타내었다.



Fig. 4 Illustration of tensile shear test.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 접합 계면 온도 시스템

펄스 히트 방식(pulse heat tip)의 전극 팁(tip)의 온도를 제어하여 접합을 하였을 때의 초기 강도의 변동율이 약 $\pm 40\%$ 나 된다는 결과⁶⁾에 따라, 본 연구에서 설계, 제작한 계면 온도 제어 시스템을 이용하여 접합 실험을 수행하였다. 접합 계면 온도는 리드와 패턴 간의 전압에 의하여 검출되며 비반전 증폭기(본 연구에서는 증폭도를 10)로 증폭하여 저주파수 통과 여파기(low pass filter, 차단주파수 10Hz)로 전압에 포함되는 잡음(noise, 교류 60Hz 포함)을 제거하여 차동 증폭기(differential amplifier)를 통하여 가산 회로에 입력된다. 가산 회로는 온도 설정 회로로부터의 설정 온도에 대응하는 전압과 차동 증폭기에 의한 전압과를 가산, 연산하여 2개의 온도차에 따른 전압을 출력하게 된다. 이 출력중 하나는 위상 제어 회로에 들어가게 되고, SCR-ON 제어를 하여 전극 팁에 흐르는 접합 전류를 제어하게된다. 즉 접합 계면 온도의 상승과 더불어 전류를 제어하여 온도가 일정하게 유지되도록 동작을 하게된다. 또 하나의 신호는 가산 회로의 다른 출력 가산 시간용 타이머에 입력된다. 본 시스템에 있어서의 계면 온도 설정은 온도 설정 디지털 스위치에 의하여 이루어지며, 여

기서 설정된 온도에 대한 크로멜 아르멜(CA) 열전대의 열기전력(기준 접점 온도 293K)에 해당되는 전압이 온도 설정 회로로부터 가산 회로에 출력되도록 구성되어 있다. 따라서, 온도 설정 회로로부터 가산 회로에 출력되는 전압이 원하는 접합 계면 온도에 해당되는 리드와 패턴 간의 전압 값의 10배(비반전 증폭기의 증폭도)가 되도록 온도 설정 디지털 스위치를 설정함으로써 접합 계면 온도를 가열 시간과 함께 일정하게 유지할 수가 있다. Fig. 5는 계면 온도를 543K로 제어했을 때의 가열 시간(5s)에 따른 계면 온도와 접합 전류와의 관계를 나타낸 것이다.

그림과 같이 접합 계면 온도를 543K로 하고자 할 때에는, 이 온도에 해당되는 리드와 패턴간의 전압 값은 1.75mV이므로 CA(크로멜 아르멜) 열전대의 열기전력(기준 설정 온도 293K) $1.75\text{mV} \times 10$ (증폭도) = 17.5mV에 대한 온도인 623K로 온도 설정 디지털 스위치를 설정하면 된다.

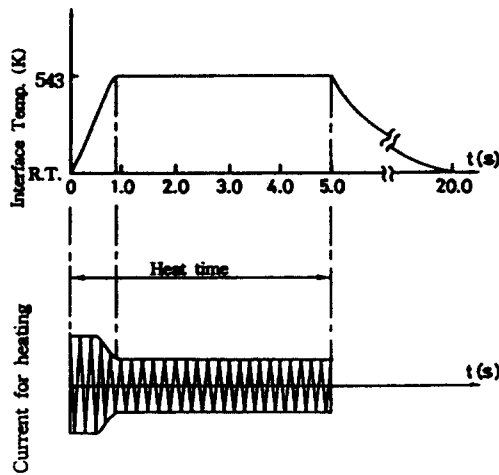


Fig. 5 Relation between interface temperature and heat time.

3.2 가열 온도와 Sn-Pb 솔더 접합부의 초기 강도

전극 팁의 온도를 제어했을 때의 솔더 접합부의 초기 강도인 인장 전단 강도의 변동율은 약 $\pm 40\%$ 였다. 이것의 원인으로 간주되는 것은 솔더의 공급

량의 제어, 용융된 솔더의 형상, 접합 계면 온도의 차 등에 기인된다. 따라서 본 연구에서는 특히 미세 부위 접합 시 문제로 되는 접합 계면 온도에 착안하여, 본 실험을 위하여 설계, 제작한 계면 온도 제어 시스템을 이용하여 동일 조건하에서의 초기 접합 강도의 변동율을 검토하였다.

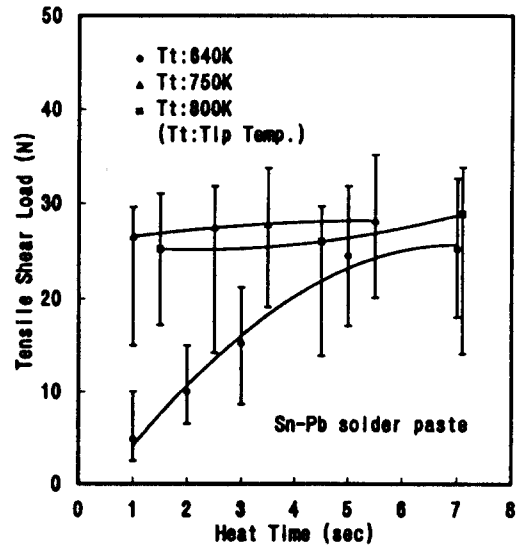


Fig. 6 Relation between tip temperature and tensile shear load with Sn-Pb solder paste

Fig. 6은 Sn-Pb(63-37 wt%) 솔더 페이스트를 이용하여, 전극 팁의 온도(Tt)를 제어 했을 때의 가열 시간과 인장 전단 강도와와의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 전극팁 온도가 비교적 낮은 640K인 경우에는 가열 시간의 증가와 더불어 접합 강도도 증가하는 경향을 보이고 있으며, 가열 시간이 5s에서 약 24N 전후의 접합 강도를 유지하고 있다. 또한, 전극 온도의 상승과 더불어 인장 전단 강도는 가열 시간과 더불어 점차적으로 증가하는 경향을 보이고 있으며, 전극팁 온도가 상대적으로 높은 800K인 경우는 가열 시간(1~6.5s)에 관계없이 접합 강도는 약 27N 전후의 값이 얻어지고 있음을 알 수 있다. 반면에 Fig. 7은 접합계면온도를 제어 했을때의 Sn-Pb(63-37 wt%) 솔더 접합부의 인장전단강도를 나타낸 것이다. 우선 계면 온도가 비교적 낮은 470K인 경우에는 가

열시간의 증가와 더불어 인장 전단 강도도 증가하고 있고, 계면온도의 상승과 더불어 인장 전단 강도도 증가하는 경향을 보이고, 계면 온도가 500K 인 경우에는 인장 전단 강도가 약 28N 전후의 강도가 얻어지고 있다.

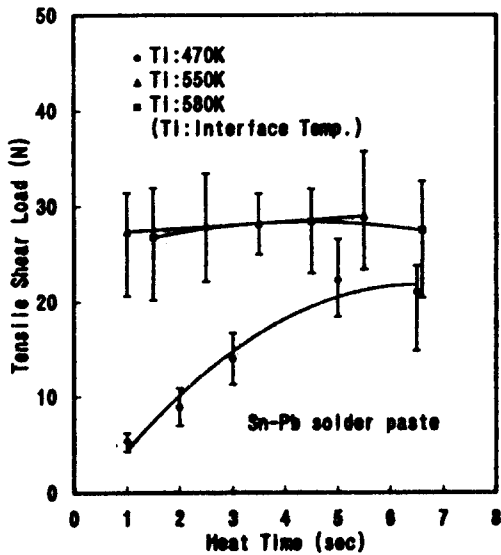


Fig. 7 Relation between interface temperature and tensile shear load with Sn-Pb solder paste

이와 같이 계면 온도와 초기 접합 강도와의 관계는 전극 팁의 온도와 접합 강도와의 관계와 동일한 경향을 보이고 있다. 그러나 온도 상승에 따른 초기 접합 강도의 변동율은 전극팁 온도를 제어했을 경우에는 약±40% 전후인 반면에, 계면 온도를 제어했을 때는 ±20%의 변동율로 대폭적으로 줄어 초기 접합 강도의 재현성, 안정성을 크게 개선시킬 수 있었다.

3.3 비납 솔더의 실현과 접합 품질의 향상

본 연구에 이용한 비납 솔더로는 Sn-In(52-48 wt%)과 Sn-Ag(96.5-3.5 wt%) 솔더 페이스트이며, Fig. 8은 Sn-In(52-48 wt%) 솔더를 이용한 경우의 가열 시간과 계면 온도에 따른 초기 접합 강도와의 관계를 나타낸 것이다. 그림과 같이 Sn-In

(52-48 wt%) 솔더 페이스트를 이용한 경우는 계면 온도가 약 430K 전후에서 접합이 가능했으며, 가열 시간의 증가와 더불어 초기 접합 강도도 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한, 계면 온도가 490K, 550K으로 비교적 높은 경우에는, 가열 시간(1.0~6.5s)과는 큰 상관 관계가 없이 약 20N 전후의 강도가 얻어지고 있음을 알 수 있다. 한편, Fig. 9와 같이 계면 온도 대신에 전극 팁의 온도를 제어했을 때에는 초기 접합 강도의 크기는 계면 온도를 제어했을 때와 같이 거의 같은 경향을 보이고 있지만, 동일 조건하에서 얻어지는 초기 접합 강도의 변동율이 약 ±40%로 편차가 큰 것에 반하여, 계면 온도를 제어했을 때에는 초기 접합 강도의 변동율이 약 ±20%로 약 ½로 줄어 품질의 안정성이 대폭 개선되었음을 알 수 있다.

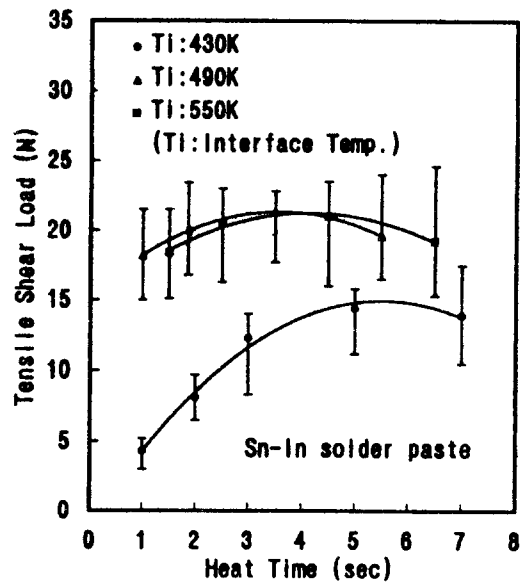


Fig. 8 Relation between interface temperature and tensile shear load with Sn-In solder paste

Fig. 10, 11은 Sn-Ag(96.5-3.5 wt%) 솔더 페이스트를 이용한 경우의 가열 시간과 계면 온도 및 전극 팁의 온도에 따른 초기 접합 강도와의 관계를 나타낸 것이다. Sn-Ag 솔더의 경우는 Sn-Pb(63-37 wt%) 솔더를 이용한 경우와 초기 접합 강도 측면에서는 거의 같은 경향을 보이고 있음을 알 수

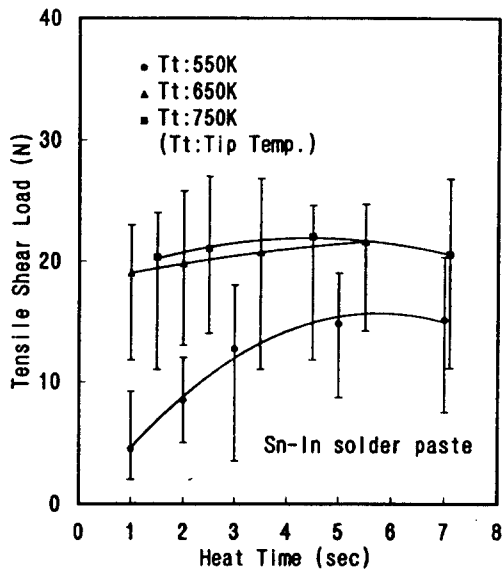


Fig. 9 Relation between tip temperature and tensile shear load with Sn-In solder paste

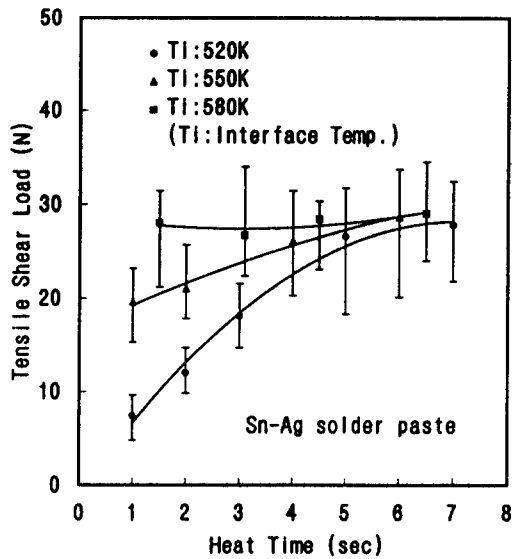


Fig. 10 Relation between interface temperature and tensile shear load with Sn-Ag solder paste

있다. 단 온도 측면에서는 Sn-Ag(96.5-3.5 wt%) 솔더의 액상선(494K)이 높은 것에 기인하여, 접합

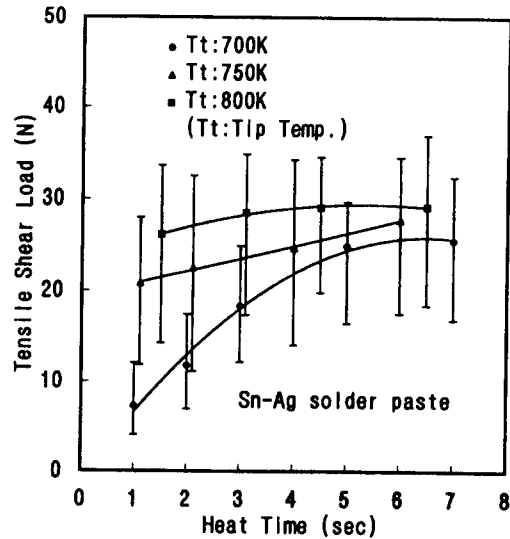


Fig. 11 Relation between tip temperature and tensile shear load with Sn-Ag solder paste

계면 온도가 약 520K 전후에서 접합이 가능하였다. 따라서, 가열 온도의 저온화 측면에서는 Sn-Ag(96.5-3.5 wt%) 솔더가 Sn-Pb(63-37 wt%) 공정(共晶) 솔더보다는 다소 불리하다고 할 수 있다. 아울러 초기 접합 강도의 변동을 측면에서는 Sn-Ag 솔더도 전극 팁의 온도를 제어하는 경우의 $\pm 40\%$ 의 변동을 나타내고 있지만, 계면 온도를 제어함으로써 초기 접합 강도의 변동은 Fig. 10에 나타낸 것처럼 $\pm 20\%$ 로 대폭 개선할 수 있었다.

4. 결 론

솔더 접합부의 접합 재료를 비납 솔더인 Sn-In(52-48 wt%) 및 Sn-Ag(96.5-3.5 wt%) 솔더를 이용하여 국부 가열 방식의 하나인 펄스 히트 방식(pulse heat tip)에 의해 접합을 하여, 접합부의 접합 강도를 인장 전단 강도로 평가하였다. 또한, 초기 접합 강도의 재현성 및 안정성을 확보하기 위해 계면 온도 제어 시스템을 설계·제작하여 그 시스템을 이용한 결과, 접합부의 품질을 향상시킬 수 있었다. 실험을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 접합 계면 온도 시스템을 설계, 제작하여 온도 프로 파일을 측정 한 결과, 가열 시간 (1.0~6.9s) 과 함께 계면 온도를 실시간으로 제어 할 수 있었다.

2) 초기 강도 측면에서는 Sn-Pb (63-37 wt%) 솔더와 Sn-Ag (96.5-3.5 wt%) 가 적정 접합 조건 하에서 약 25N의 접합 강도를 보였으며, Sn-In (52-48 wt%) 솔더를 이용한 경우에는 약 20N으로 다소 떨어졌지만, 계면 온도가 430K에서 접합이 가능하여 가열 온도의 저온화를 꾀할 수 있었다.

3) 전극 팁의 온도를 제어하여, 각종 솔더를 이용한 접합부는 초기 접합 강도 (인장 전단 강도)의 변동율이 약 $\pm 40\%$ 였으나, 접합 계면 온도를 제어하여 접합한 경우의 초기 접합 강도는 약 $\pm 20\%$ 로 대폭 줄어, 접합부의 품질의 안정성을 꾀할 수 있었다.

4) Sn-In (52-48 wt%) 솔더 및 Sn-Ag (96.5-3.5 wt%) 솔더 페이스트를 이용하여 접합부의 품질을 인장 전단 강도로 평가한 결과, 기존에 사용해 온 Sn-Pb 계열의 솔더를 이용한 경우와 필적할 만한 초기 접합 강도를 얻을 수 있어 비납 솔더의 이용 가능성을 제안하였다. 아울러 비납 솔더를 이용한 솔더 접합부의 신뢰성 문제는 실험을 수행하여 금 후 발표할 예정이다.

후 기

본 연구는 1995년도 교육부 학술연구조성비(기 계공학 : ME 95-(-18)에 의하여 연구되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Ulf. B: Production of Metal Powder by Ultrasonic Gas Atomization, Powder Metallurgy International, Vol. 6, No. 5, (1986), pp 125-133.
2. Timothy W.B: A Lead-Free Alloy for Electronics Soldering, Circuit Asm, (1993), pp. 53-60.
3. 日經 BB: 電子機器からハソダ鉛を追放, 日經エレクトロニクス, (1995), pp.91-107.
4. Bob. I: Host of New Lead-free Solders Introduced, Welding Journal, Oct. (1992), pp. 47-49.
5. 신영의: 열원 형태에 의한 전자 재료의 접합성에 관한 연구, 대한용접학회지, 제12권 제4호, (1994), pp. 458-464.
6. 신영의: Sn-Pb 솔더 접합부의 초기 강도에 관한 연구, 대한용접학회지, 제14권 제3호, (1996) pp. 185-191.