

부분용융상태에서의 솔더링에 관한 연구(I)
-표면장력 및 젖음성 특성 분석
A Study on the Partial Melting Soldering(I)
-surface tension and wettability analysis

김문일*, 박재용**, 하준석**, 신규식*, 정재필*, 강준석**
* 서울시립대학교 재료공학과
** 서울대학교 재료공학부

1. 서 론

기존의 솔더링 기술은 납과 주석을 이용한 합금을 바탕으로 하였으나, 납에 대한 규제가 강화됨에 따라 납을 배제한 새로운 솔더를 개발하는데 많은 연구가 진행되어왔다. 전자부품이나 솔더링 공정의 특성상 낮은 온도에서 접합이 가능하여야 하므로, 젖음 특성이 좋은 주석을 바탕으로 하여, 인체 및 환경에 나쁜 영향을 주지 않는 금속과의 이원계 또는 삼원계 이상의 물질을 개발하여 기존의 솔더를 대체하려는 경향이다. 그러나, 완전 용융상태에서 접합하는 솔더링 공정의 특성상 용점이 낮고 젖음 특성, 접합 후 기계적 특성이 모두 좋은 대체물질을 개발하는 데에는 한계가 따르므로, Sn-Pb 공정합금을 완전히 대체할 수 있지는 못하고, 다만 공정 조건의 특수성에 맞는 대체 솔더가 개발된 것이 현실이다.

이러한 문제를 해결하기 위한 한 방안으로 저자 등은 기존의 솔더재료를 바탕으로, 공정조성에서 벗어난 합금의 부분용융상태에서의 솔더링 방법을 시도하였다(1). 부분용융상태에서의 솔더링이란, 액상과 고상이 공존하는 상태의 물질을 이용하여 접합하는 것을 말한다. 이 방법의 특징은, 합금의 용점이 높다 하더라도 공정점온도(Eutectic temperature)만 충분히 낮으면, 접합이 가능하다는 것이다. 또한, 고상과 액상이 공존하기 때문에, 접합부의 기계적 특성의 변화가 크지 않아서 원하는 접합강도를 얻기가 용이할 수 있다.

본 연구에서는 부분용융상태에서의 솔더링에 관한 첫 번째 연구로서, 부분용융상태 중 액체상태 솔더의 젖음 특성을 파악하고자 하였다. 이를 위하여 wetting balance를 이용하여 젖음력, 젖음시간을 측정하고 이를 바탕으로 표면장력 및 접촉각을 계산하여, 조성 및 온도에 따른 젖음 특성을 파악하였다.

2. 본 론

2.1 시편 준비

부분용융상태에서의 솔더링 실험을 위하여, 99.99% Sn과 99.99% Pb를 용융시켜, 공정, 아공정 및 과공정 조성의 Sn-Pb 2원계 합금을 제작하였다. 합금의 제작을 위하여 각각의 금속을 진공 용해로에서 완전 용융시킨 후, 500℃에서 3시간 동안 균질화 처리하였다. 표 1은 각각의 조성에 따른 용점과 리플로 온도를 나타내고 있다. 그림 1은 아공정과 과공정 조성의 Sn-Pb 2원계 합금의 상태도이다.

2.2 wetting balance

Wetting balance tester를 이용하여 실험을 행하였으며, PC를 사용하여 그 결과를 분석하였다. 솔더의 각종 젖음특성을 평가하기 위하여 시편은 Cu(99.99%) 8×20×0.3(mm)를 사용하였다. 이 때, 구리 시편 표면에 존재하고 있는 산화막 등의 이물질을 제거하기 위한 방안으로 아세톤 용액에서 초음파 세척을 하고 염산 희석액에 담근 후, 에탄올로 세정하였다. 구리판에는 RMA-type의 플럭스를 도포하였는데, 납조위에서의 예열을 통하여 플럭스의 활성화를 도모하였다.

본 실험에서 솔더의 온도는 185~300℃이고, 침지깊이는 3mm, 침지속도는 5mm/sec, 침지시간은 10~30초를 유지하였다.

2.3 표면장력 및 접촉각의 계산

측정한 젖음력을 이용하면, 솔더의 표면장력과 접촉각을 계산할 수 있다. 일반적으로 평형젖음력은 다음과 같이 나타낸다(2).

$$F = P\gamma \cos \theta_o - \rho g V_b \quad (1)$$

또한, 젖음 곡선 중 후반부에 보이는 인출력곡선의 최대점인 최대인출력은 다음과 같다(3).

$$F_{wf} = P\gamma + V_u \quad (2)$$

이상의 두 식을 이용하면, 솔더의 표면장력과 접촉각을 다음과 같이 계산할 수 있다(4).

$$\therefore \gamma = \frac{F_{wf} - \rho g V_u}{P} \quad (3)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{F_{wf} + \rho g V_b}{F_{wf} - \rho g V_u} \right] \quad (4)$$

2.4 솔더의 젖음성 평가

2.3절에서 사용되었던 Wetting balance tester를 사용하여 각각의 조성별로 온도에 따른 Wetting curve를 분석하였다. 그림 3,4,5는 각각 공정조성, 40Sn-Pb, 80Sn-Pb의 온도에 따른 분포를 나타내고 있다.

공정솔더의 실험결과인 그림 3을 보면, 일반적인 리플로우 온도인 235℃에서는 정상적인 곡선을 나타내고 있는데, 이는 솔더의 온도가 낮아짐에 따라 젖음성이 나빠지다가 솔더의 용점보다 10℃정도 높은 195℃에서는 거의 젖지 않는 것을 알 수 있다.

아공정합금인 40Sn-Pb(용점 : 234℃)의 그림 4를 보면, 용점보다 낮은 온도인 200℃에서부터 젖기 시작함을 알 수 있다. 온도가 상승함에 따라 젖음성이 좋아지다가 200℃에서는 정상적인 젖음곡선을 나타내고 있다. 이는 완전용융상태 이전에 생성된 액상에 의하여 솔더의 젖음특성이 용점 이상의 온도에서 측정된 젖음곡선과 유사한 분포를 나타낼 수 있다는 것을 보여준다.

과공정합금인 80Sn-Pb(용점 : 202℃)의 경우에는 190℃ 근처에서 침지초기에 젖음력이 큰 음의 값을 보이다가 역시 200℃를 지나면서 정상적인 젖음곡선 분포를 보이고 있는 것을 알 수 있다.

이와 같은 실험에서 각각의 솔더들의 조성과 용점은 각각 다르지만 공정점온도가 같기 때문에 공정점온도보다 15℃정도 높은 온도에서부터는 완전용융과 부분용융 모두 유사한 젖음특성을 보이고 있다는 것을 알 수 있다.

솔더의 온도에 따른 젖음력을 살펴보면(그림 6), 솔더의 온도가 205℃ 이하에서는 음의 값을 나타내다가 205℃를 넘어서면서 평형상태에 도달하는 것을 알 수 있다. 따라서, 젖음력을 기준으로 판단하면, 액상솔더의 온도 205℃를 기준으로 하여 젖음특성의 양상이 바뀔 수 있다. 또, 젖음곡선결과로부터 완전용융이나 부분용융 모두 젖음곡선의 형상이 유사함을 알 수 있다.

그림 7은 솔더의 온도에 따른 젖음시간의 변화를 보인 것인데, 그림 3,4 등에서 처럼 205℃를 기준으로 젖음특성이 양·불량으로 나뉘어진다. 이것은, 완전 또는 부분용융상태와는 무관함을 알 수 있다.

솔더의 온도에 따른 접촉각 변화도, 솔더의 온도가 205℃에 접근하면서 접촉각이 낮아짐을 알 수 있다. 따라서, 접촉각에 대한 평가기준 역시 205℃임을 확인할 수 있다.

이상을 종합하여 솔더의 조성 및 온도에 따른 젖음특성의 양·불량을 그림 9와 같이 나타낼 수 있다. 용점은 공정조성을 중심으로 크게 변화하는데 반하여 젖음특성은 그보다 작은 기울기를 가지면서 서서히 변화하는 것을 알 수 있다. 단, 70Sn-Pb를 제외한 모든 합금조성에서 용점보다 낮은 온도에서 젖음이 가능함을 알 수 있다. 특히 아공정 합금의 경우 용점보다 낮은 온도인 부분용융상태에

서의 젖음특성이 아주 우수하여 공정조성합금의 완전용융상태에서의 젖음특성과 거의 유사하였다.

3. 결론

과공정 및 아공정 Sn-Pb합금을 대상으로 실험한 본 연구에서 표면장력과 젖음특성을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 부분용융상태에서의 wetting balance test 결과, 공존하는 액상의 작용으로 완전용융된 솔더에서와 유사한 형태의 젖음곡선을 얻을 수 있었다. 아공정, 공정 그리고 과공정 솔더들의 조성과 용점이 각각 다르지만 공정점온도가 같기 때문에 공정점온도보다 15°C 정도 높은 온도에서부터는 완전용융과 부분용융 모두 유사한 젖음특성을 보였다.

(2) 평형젖음력, 젖음시간, 접촉각에 대한 분석결과, 액상솔더의 온도 205°C를 기준으로 하여 젖음특성의 양상이 바뀌었다. 또, 완전용융이나 부분용융의 젖음곡선은 유사한 형태를 나타내었다.

(3) 70Sn-Pb를 제외한 모든 합금조성에서 용점보다 낮은 온도에서 젖음이 가능하였다. 특히 아공정합금의 경우, 용점보다 낮은 온도인 부분용융상태에서의 젖음특성이 우수하여 공정조성합금의 완전용융상태에서의 젖음특성과 거의 유사하였다.

참고문헌

1. 특허출원, 2000-044400-1, 2000년
2. R. J. Wassink, *Soldering in Electronics*, Electrochemical publication, Oxen, 1989, pp. 300~330.
3. J. Y. Park, C. S. Kang, J. P. Jung, JEM vol. 28, No. 11, 1999, pp. 1256~1262.
4. 박재용, 서울대학교 박사학위 논문, 2000년, pp. 69.

Table 1. Melting and eutectic temp. for composition of solders

composition(wt%)	melting temp.(°C)	eutectic temp.(°C)
Sn-30Pb	257.8	183
Sn-40Pb	234.3	183
Sn-50Pb	210.8	183
Sn-70Pb	190.3	183
Sn-80Pb	201.5	183
Sn-90Pb	215.9	183

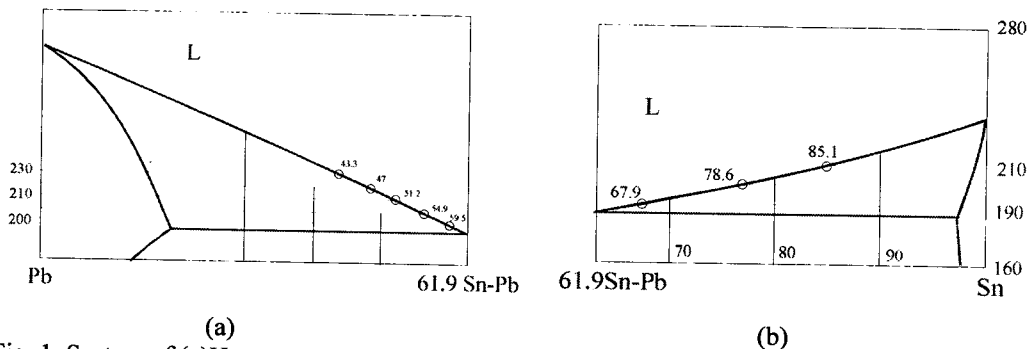


Fig. 1. System of (a)Hypo-eutectic solder, (b)Hyper-eutectic solder

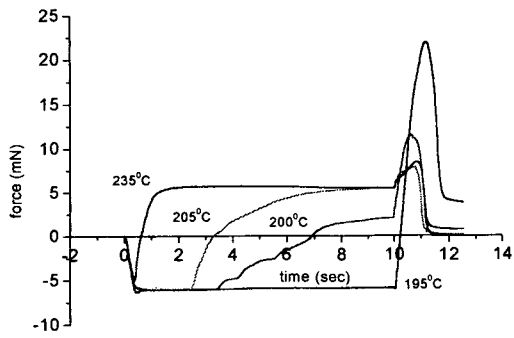


Fig. 3. Wetting curve of Eutectic Sn-Pb

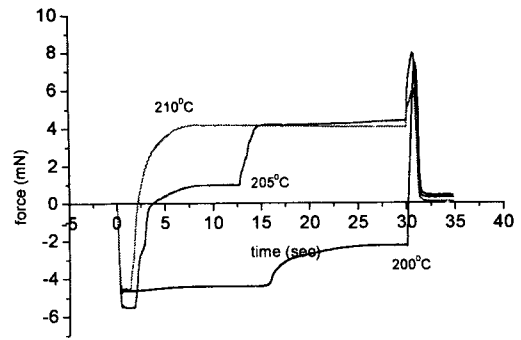


Fig. 4. Wetting curve of 40Sn-Pb

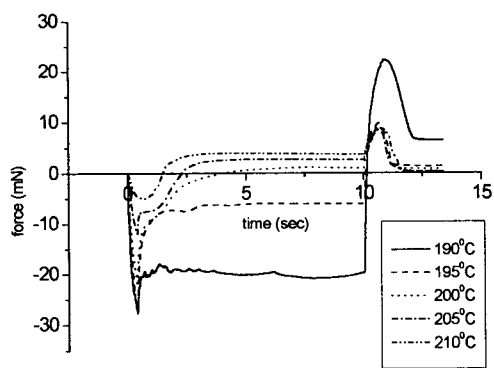


Fig. 5. Wetting curve of 80Sn-Pb

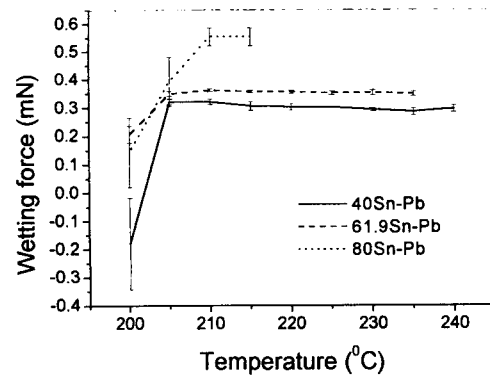


Fig. 6. Wetting force of Sn-Pb solders

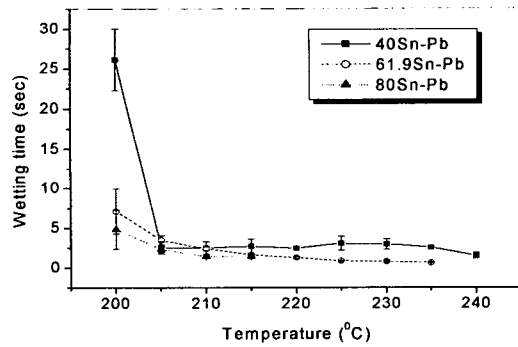


Fig. 7. Wetting time of Sn-Pb solders

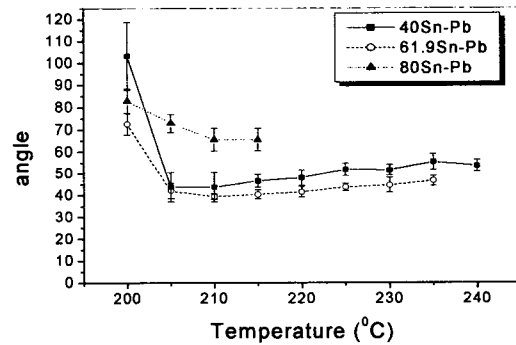


Fig. 8. Wetting angle of Sn-Pb solders

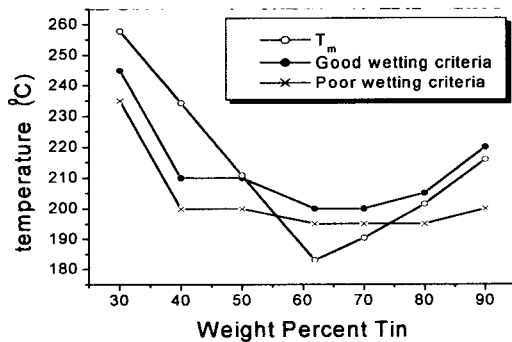


Fig. 9. Wettability for composition and temperature of solders