

솔더 페이스트의 용융현상 연구

김문일 · 안병용* · 정재필

서울시립대학교 재료공학과, LG 전자*

A Study on Melting Phenomena of Solder Paste

Moon-Il Kim, Byung-Yong Ahn* and Jae-Pil Jung

University of Seoul, Department of Material Science and Engineering, LG Electronic Co.*

초 록: SMT(Surface Mount Technology) 패키징 공정에서 발생하는 솔더 페이스트의 용융거동과 브릿지 현상을 관찰하였다. 이를 위하여 Cu 패드위에 Sn-37%Pb 조성의 솔더 페이스트를 인쇄하였으며, 인쇄된 PCB기판을 솔더의 용점(183°C)이상으로 가열하였다. 이 때에 페이스트의 용융거동을 조사하기 위하여 CCD 카메라를 이용하여 근접촬영하였다. 솔더링시 솔더 페이스트가 용융·응집되는 과정을 규명하기 위하여 동일한 조성의 0.76 mm 직경을 갖는 두 개의 솔더 볼을 사용하여 모델링 하였다. 솔더 페이스트의 용융거동을 관찰한 결과 페이스트는 인쇄된 부분의 가장자리에서 안쪽으로 녹아들어가는 모습을 보였다. 또한, 페이스트의 높이는 가열 초기 270 μm 에서 가열후 약 35초 경과시 200 μm 로 줄어들었다가 최종적으로 250 μm 로 다시 증가하였으며, 이 때 용융된 페이스트 내에서 기포가 방출되었다. 솔더볼의 용융모델에서 용융온도가 280°C인 경우에 솔더볼의 접촉면적과 솔더링 시간 사이에는 $\chi^2/t=4r/\eta=7.56 \text{ m}^2/\text{s}$ 의 관계식이 성립됨을 알 수 있었다.

Abstract : Melting behavior and bridge phenomenon of solder paste, which is essential for surface mount technology in packaging, were investigated. Solder paste of Sn-37%Pb was printed on Cu-pattern of PCB, and heated over melting point. Melting behavior of the paste was observed using CCD-camera. In order to modelize the melting and agglomeration phenomena of paste, two solder balls of 0.76 mm diameter were used. As experimental results, the paste start to melt from the margin of the printed shape. The height of the melted paste decreased from 270 μm to 200 μm firstly, and finally recovered to 250 μm . During the melting procedure, pores were evolved from the molted paste. Concerning melting model of solder ball, relationship between contact area of solder ball and soldering time was derived as $\chi^2/t=4r/\eta=7.56 \text{ m}^2/\text{s}$ at 280°C.

Keywords : Solder paste, Solderbility, Print, Two particle model, Neck, Self alignment, Bridge

1. 서 론

전자기기의 소형화·경량화·고기능화 추세에 따라 반도체 및 전자부품의 제조·실장 기술이 고밀도화·미세화로 급속히 진행되고 있다. 이에 따라, 전자·정보통신 기기에는 각종 마이크로 접합법이 활용되고 있는데, 저융점 접합 합금인 솔더를 사용한 마이크로 솔더링 기술은 전자부품 실장의 핵심기술이라 할 수 있다.¹⁾ 미세한 전자부품의 솔더링에 사용되는 대표적인 솔더로 페이스트(solder paste)가 있다. 솔더 페이스트는

솔더분말과 플럭스, 바인더 등으로 구성되어 있는데, 가열에 의해 솔더 분말이 용융되어 기판상의 패드(pad)와 전자부품의 리드 혹은 단자를 접합시킨다. 페이스트의 용융과정에서는 솔더 분말의 용융 이전에 바인더와 플럭스가 용융·증발되고, 그 후 분말이 용융되며 이러한 일련의 과정에서 복잡한 양상을 띤다. 이 때 발생된 가스는 솔더가 완전히 응고될 때까지 솔더 외부로 빠져나가지 못하면 기포로 솔더 접합부에 잔류하여 부품의 결함을 일으키는 원인이 된다.

이와 같이 솔더 페이스트의 용융과정과 그 현상은 솔

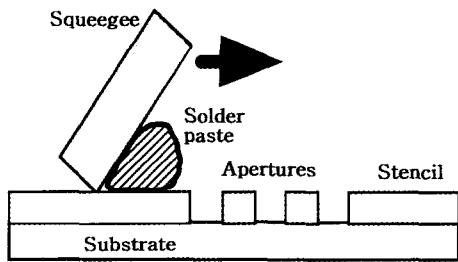


Fig. 1. Schematic diagram of solder printing on the pad.

더링 접합부에 큰 영향을 미침에도 불구하고²⁾, 솔더 페이스트의 다른 부분의 모델링에 관한 연구^{3,4)}는 진행되어 있으나 용융과정에 관한 연구는 없다.

이에, 본 연구에서는 솔더 페이스트의 용융현상을 조사하였으며, 그 현상을 두 개의 솔더 볼(solder ball)을 모델로 사용하여 검토하였다.

2. 실험방법

2.1 실험 재료

솔더 페이스트의 용융현상을 관찰하기 위하여, 9wt%의 RMA (Rosin Mildly Activated) 플럭스를 함유한 Sn-37%Pb 페이스트를 실험재료로 사용하였다. 이 페이스트를 Fig. 1에 보인 바와 같이 QFP (Quad Flat Package)의 Sn-37%Pb 솔더가 도금된 Cu-패드에 인쇄하였다. 또한, 솔더 페이스트의 용융현상을 단순한 모델로 검토하기 위하여 Sn-37%Pb 조성의 직경 0.76 mm BGA (Ball Grid Array)용 솔더 볼을 사용하였다.

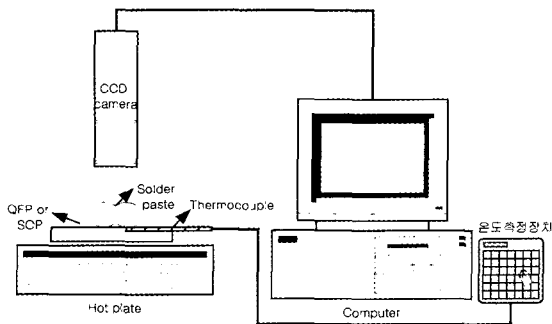


Fig. 2. Experimental unit for observing soldering phenomena.

2.2 솔더 용융실험

인쇄된 솔더 페이스트를 대기분위기의 가열판(hot

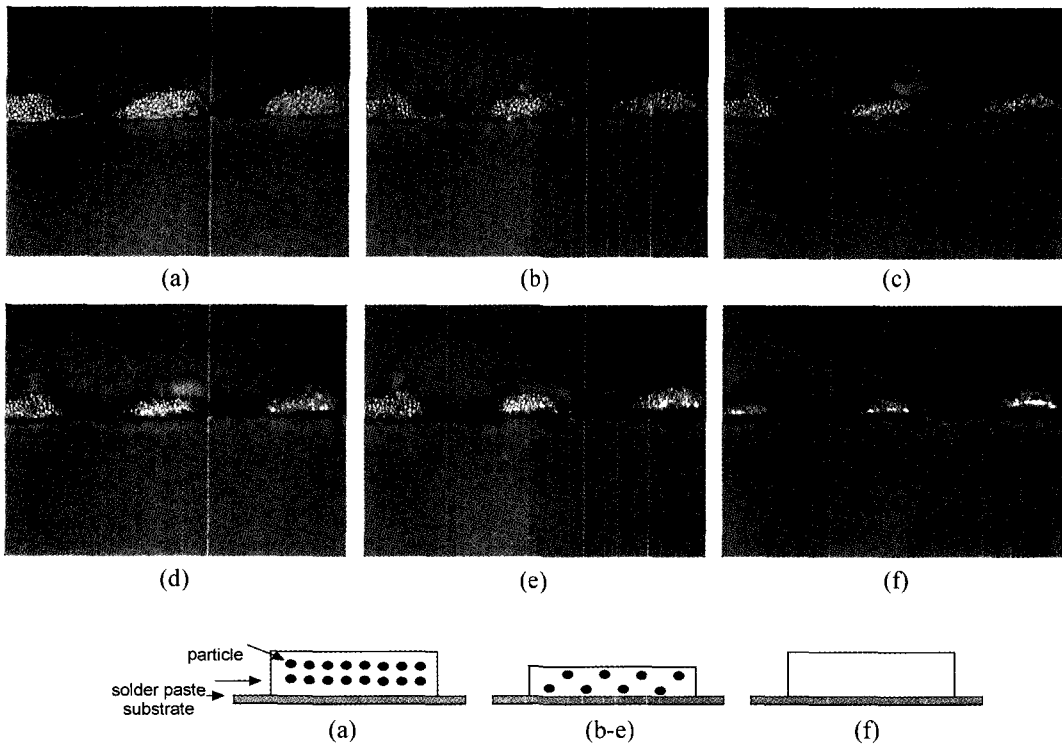


Fig. 3. Melting Phenomena of solder paste (a) before heating, (b) heated for 32 sec., (c) for 36 sec., (d) for 38 sec., (e) for 40 sec., (f) for 55 sec.

plate)위에 두고 솔더가 용융될 때까지 가열하였다. 솔더 볼의 경우는 두 개의 솔더 볼을 알루미늄 기판상에 두고 페이스트와 동일한 방법으로 가열하며, 플럭스의 도포조건만 변화시켰다. 즉, 플럭스를 사용하지 않은 경우와 가열전에 도포한 경우, 솔더 볼이 완전히 용융될 때까지 지속적으로 플럭스를 가하며 가열하는 경우 등 3가지로 변화시켜가며 용융현상을 관찰하여 그 결과를 비교하였다.

솔더 볼의 용융현상을 관찰하기 위하여 CCD카메라를 사용하여 용융과정을 근접촬영하였으며(Fig. 2 참조), 촬영된 데이터는 PC에 저장한 후 분석하였다.

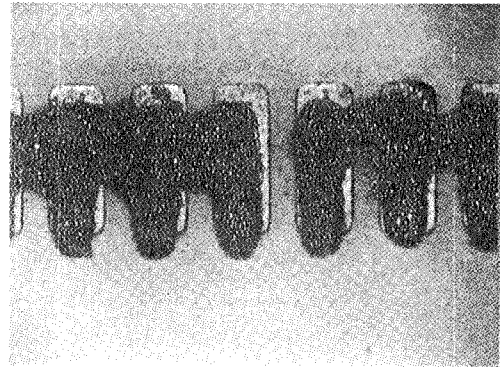
3. 실험 결과 및 고찰

3.1 솔더 페이스트의 용융현상

Fig. 3은 솔더 페이스트의 가열시간 경과에 따른 페이스트의 용융거동을 보인 것이다. Fig. 3(a)에 가열전 패드상에 솔더 페이스트가 인쇄된 모습을 보인 것이다. 가열후 32초(b), 36초(c)의 시간이 경과함에 따라 바인더, 플럭스 등이 휘발되고 있으며, 미세하게 솔더가 용융되기 시작하였다. 이에 따라 솔더 페이스트의 인쇄된 높이가 조금씩 감소하였으며, 가열 중 페이스트 중에 함유된 플럭스가 기판상으로 번져나오는 것을 육안으로도 확인할 수 있었다. 페이스트를 가열한지 38초 경과하였을 때(d) 솔더는 용융이 더욱 진행되며, 가열시간 40초 경과시(e)에는 용융된 솔더가 표면장력에 의해 응집되면서 패드상에서 솔더의 높이가 높아지고 있다. 이러한 현상은 솔더 페이스트의 인쇄 후 스텐실을 떼어 낼 때 페이스트의 인쇄 형태가 무너지면서 페이스트끼리 단락현상이 발생하더라도, 가열 중 용융솔더가 각각의 패드상으로 되돌아오면서 브릿지현상이 방지될 수 있다는 것을 추측가능하게 해주고 있다. 즉, Fig. 4에 보인 바와 같이 비록 페이스트 인쇄 후 스텐실 제거 과정에서 인쇄된 페이스트가 단락되어도 용융된 솔더 페이스트가 패드상으로 되돌아 오으로써 브릿지 현상이 방지되는 것이다.

Fig. 3(f)에서 페이스트의 가열후 55초의 시간이 경과됨에 따라 용융된 페이스트는 패드상에만 젖어(wetted) 있으며, 그 높이는 Fig. 3(e)보다 높으면서 균일해짐을 알 수 있다.

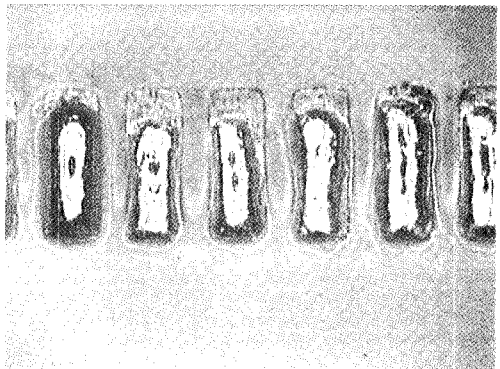
Fig. 5는 Fig. 3의 페이스트의 가열, 용융과정에서 페이스트의 높이 및 폭 변화를 가열시간에 따라 정량적으로 표시한 것이다. 페이스트의 폭은 처음에 약 810 μm 에서 가열이 시작되었는데, 가열이 진행됨에 따라 약 960 μm 까지 증가하였다가 점차 감소하여 최종적인 폭



(a)



(b)



(c)

Fig. 4. Separation phenomena of molten solder paste (a)the first stage, (b)the intermediate stage, (c) the final stage.

은 700 μm 가 되었다. 가열초기 인쇄된 페이스트의 폭이 증가한 것은 가열되어 번져나가는 플럭스와 함께 솔더 분말이 퍼져 나갔기 때문인 것으로 판단된다. 그 후 폭이 다시 감소한 것은 가열시간 증가에 따라 용융이 시작된 솔더가 표면 장력에 의해 응집되었기 때문인 것으로 사료된다.

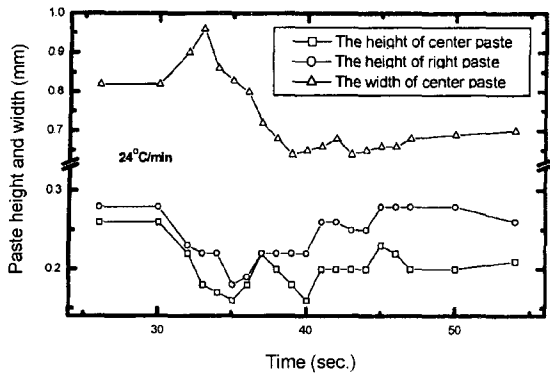


Fig. 5. Variation of height and width of Sn-37%Pb solder paste with time during melting.

한편, Fig. 5에서 인쇄된 페이스트의 높이는 가열 30초 후부터 감소하였다가 가열 40초 이후에 다시 증가하는 경향을 보였다. 가열 30초후 페이스트 높이 감소현상은 Fig. 3(b,c)에서 보듯이 페이스트내의 플럭스나 바인더가 기화되고, Fig. 3(d)에서 보듯이 솔더가 용융됨에 따라 솔더 분말 사이의 기포가 소멸되었기 때문인 것으로 믿어진다. 가열 40초 이후 페이스트의 높이가 다시 높아지는 것은 용융된 솔더가 표면장력에 의해 패드 위에 다시 응집되기 때문일 것이다.

3.2 솔더 볼의 용융 모델

솔더 페이스트 중 솔더분말이 용융·응집되는 현상을 보다 자세히 검토해 보기 위하여, 직경 0.76 mm의 솔더 볼을 이용하여 용융과정을 조사하였다.

먼저, 페이스트내에 플럭스가 거의 함유되어 있지 않은 경우를 가정하여, 플럭스 없이 두 개의 솔더 볼을 가열하였다(Fig. 6 참조). 가열 결과, 두 개의 솔더 볼은 용융되지 않았으며, 가열에 의해 솔더 볼 상부에 균열만 발생하였다(Fig. 6(c)). 이러한 현상은 Fig. 7에 보인바와 같이, 플럭스없이 가열함에 의해 솔더 볼 표면의 SnO 등의 산화막이 제거되지 않기 때문이며, 솔더 볼 상부의 균열현상은 산화막 내부의 용융된 솔더가 팽창되면서 발생한 것으로 판단된다.

한편, Fig. 8은 가열전에 플럭스를 도포한 후 솔더 볼을 가열한 결과를 보인 것인데, 이는 페이스트에 플럭스의 함량이 부족한 경우를 가정한 것이다. Fig. 6의 결과와는 달리 두 개의 솔더 볼을 190°C로 가열하였을 때, 가열에 의해 접촉부가 녹기 시작하면서 네킹(necking) 현상이 발생하였다(Fig. 8(b)). Fig. 8(c)는 두 솔더 볼을 260°C까지 가열한 모습인데 불완전하지만 두 개의 솔더 볼이 응집되는 현상을 관찰할 수 있었다.

Fig. 9는 솔더 볼을 가열하는 동안 두 볼의 접촉부에 플럭스를 계속 가한 경우의 결과를 보인 것인데, 이는 솔더 페이스트에 플럭스 함량이 충분한 경우를 상정한 것이다. 이 경우, 가열시간이 증가됨에 따라 두 솔더 볼은 네킹과정을 거쳐 완전히 하나의 볼로 응집되는 것을 보여주고 있다. 이러한 현상은 Fig. 10에 보인 바와 같이 두 볼의 접촉부에 플럭스가 투입되면서 솔더 볼의 산화막이 제거되고 솔더의 재산화가 방지되었기 때문인 것으로 판단된다⁵⁾.

두 개의 솔더 볼이 하나로 응집되는 현상은 금속 분말의 소결기구 중 점성유동(Viscous flow)으로 설명될

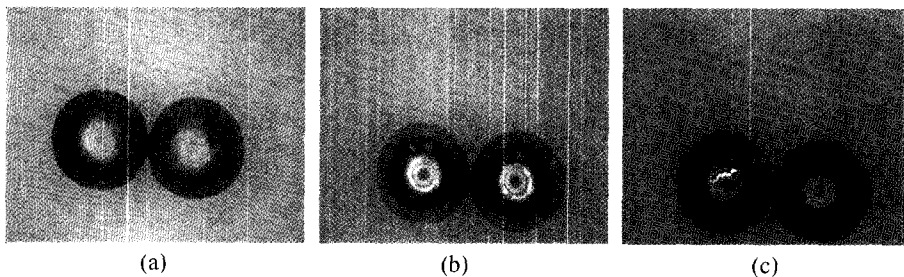


Fig. 6. Two solder balls heated without flux.

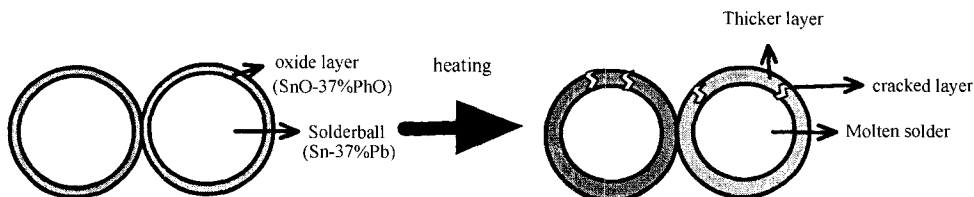


Fig. 7. Schematic illustration of two solder balls heated without flux.

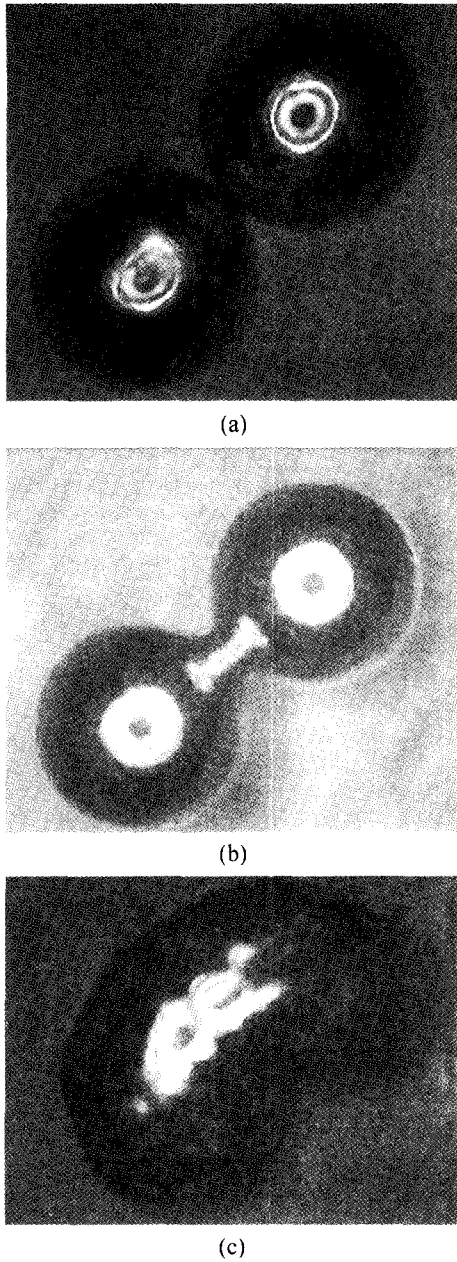


Fig. 8. Unifying procedure of two solder balls when flux was added before heating (a)the first stage, (b)the intermediate stage, (c) the final stage.

수 있을 것이다. 즉, 솔더 볼의 응집과정이 점성유동만 따른다고 가정한다면, 솔더가 완전 용융상태에 이르는 온도중 280°C를 기준으로 한 구동력(driving force)은 다음과 같이 계산할 수 있다(Fig. 11 참조).⁶⁻¹⁰⁾

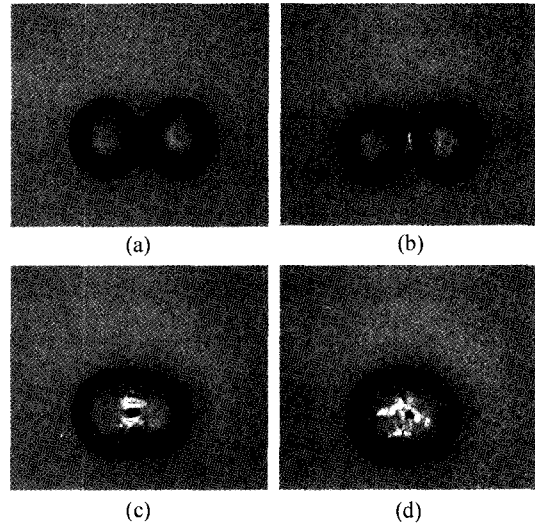


Fig. 9. Unifying procedure of two solder balls when flux was added during heating.

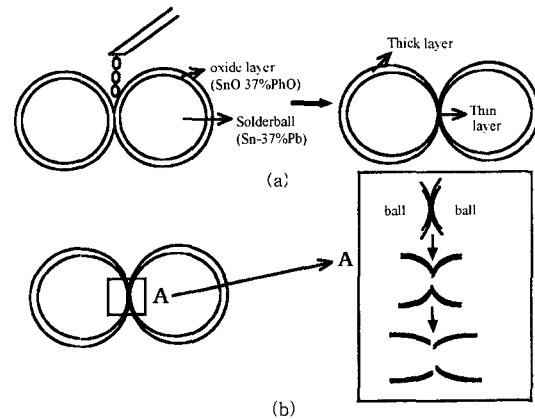


Fig. 10. Sintering mechanism between two balls encapsulated by oxide layer.

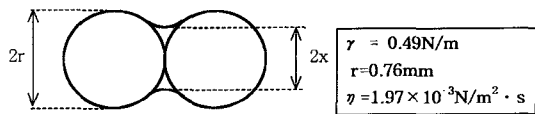


Fig. 11. Sintering model of two solder balls.

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{r} = 1.29\text{N} \tag{1}$$

(단, $r=760 \times 10^{-3}\text{ m}$, $\gamma=0.49\text{ N/m}^{11}$)

단, ΔP 는 점성유동의 구동력, r 은 솔더의 반경, γ 는 솔더의 표면장력

또한, A.K. Kakar¹²⁾가 제시한 방법에 따라 반응 속도

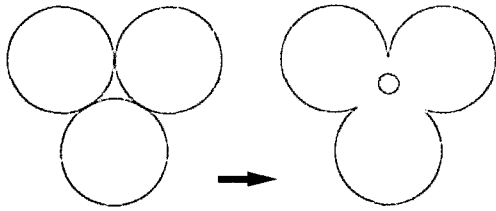


Fig. 12. Schematic illustration for the formation of isolated pore at the junction of three solder balls.

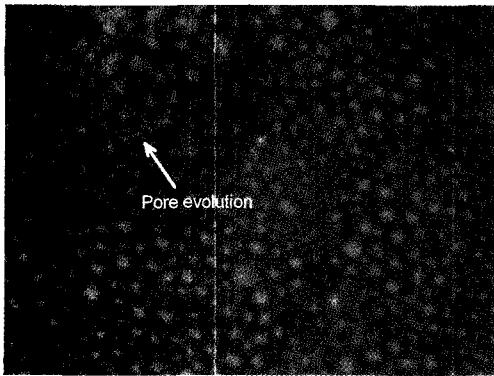


Fig. 13. Evolution of pore observed during melting of solder paste.

식(kinetics)을 계산할 수 있다.

점성유동시의 입자간 응력은 서로 다른 변수로 나타내어진 두 식이 식(2)에서 보인 바와 같이 동일한 값을 갖기 때문에¹⁰⁾, 아래의 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{2r}{x^2}\gamma = \eta \frac{dx}{xdt} \quad (2)$$

단, η 는 솔더의 점도(viscosity), x 는 접촉부 네크(neck)의 반경, t 는 반응시간

식 (2)의 양변을 적분하면, 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\int x dx = \int \frac{2r\gamma}{\eta} dt \quad (3)$$

식 (3)을 풀어서 정리하면, 식 (4)가 된다. 식 (4)에 본 실험조건에서의 값들을 대입하면, 식 (5)에서와 같이 솔더 페이스트에서의 입자들의 용융응집과 관련된 관계식을 유도할 수 있다. 또, 식 (5)로부터 솔더의 표면장력이 클수록 솔더 볼의 직경이 클수록 네크 반경이 커져서 용융된 솔더가 응집되기 쉬움을 알 수 있다.

$$\frac{x^2}{2} = \frac{2r\gamma}{\eta} \cdot t \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{x^2}{t} &= \frac{4r\gamma}{h} = \frac{4 \times 760 \times 10^{-3} \times 0.49 N/m}{0.0197 N/m^2 \cdot s} \\ &= 7.56 m^2/s \end{aligned} \quad (5)$$

Fig. 12는 페이스트의 용융과정 중 3개의 솔더 볼이 응집되는 것을 모식적으로 나타낸 것인데, 3개의 솔더 볼이 접촉되는 중앙부에는 작은 기포가 존재한다. 이러한 기포는 주위의 다른 작은 기포들과 합쳐져서 보다 큰 기포를 형성할 것으로 판단되는데, 이렇게 성장한 기포들은 부력에 의해 용융솔더 표면으로 떠오르게 된다. Fig. 13은 성장한 기포가 솔더 표면에서 방출되는 것을 관찰한 실험결과이다.

4. 결 론

Sn-37%Pb 솔더 페이스트의 가열에 따른 용융 거동을 조사하였으며, 솔더 페이스트의 용융기구를 직경 0.76mm 솔더 볼을 사용하여 검토하였다. 이 결과를 요약하면,

① 기관의 패드에 인쇄된 솔더 페이스트는 가열에 의해 그 폭이 증가하다가 감소하였으며, 높이는 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보였다.

② 두 개의 솔더 볼을 가열하여 용융을 조사해 본 결과, 플럭스를 사용하지 않은 경우에는 볼 표면의 산화막에 의해 두 볼이 응집되지 않았으나, 플럭스를 사용한 경우에는 두 개의 솔더 볼이 네킹과정을 거쳐 하나로 응집되었다.

③ 두 솔더 볼의 응집과정과 관련하여, 용융솔더가 점성유동이라고 가정할 때 응집의 구동력과 속도에 대해 고찰하였다.

④ 본 실험의 범위 내에서, 솔더 접촉부의 네크(neck)의 반경 x , 솔더 입자간의 반응시간 t , 솔더 입자의 직경 r , 솔더의 표면장력 γ , 솔더의 점도 η 간에는 $x^2/t = 4r\gamma/\eta$ 의 관계식이 존재하였으며, 그 값은 솔더의 온도가 280°C일 때 7.56 m^2/s 였다.

참고문헌

1. 정재필, 신영의, 서창제, 황선효, "N2분위기 무세정 Wave soldering system 개발" 통상산업부연구보고서 (1999). pp8-11
2. 신영의, 정재필, 마이크로솔더링의 기초, 원창출판사 (1998) pp. 101-104
3. D.J. Xie, Y.C. Chan and J.K.L. Lai, An experimental

- approach to pore-free reflow soldering, *Components, Packaging, and Manufacturing Technology*, Vol. 19, No. 1 (1996), pp.148-153
4. N.N. Ekere, S.H. Mannan and M.A. Currie, Solder paste printing process modelling map, *Electronic Manufacturing Technology Symposium*, (1995), pp.137-141
 5. 지영아, 강석중. 소결의 기본현상과 이론, *요업재료의 과학과 기술*, Vol. 8, No. 3 (1993), pp.290-299
 6. Jae Yong Park, Jun Seok Ha, Moon Il Kim, Kyu Sik Shin, Jae Pil Jung and Choon Sik Kang, Study on the Soldering in Partial Melting State (1)-Analysis of surface tension and wettability, *J. of Electronic Materials*, Vol. 29, No. 10 (2000), pp. 1145-1152
 7. W.D. Kingery and M. Berg, Study of Initial Stages of Sintering Solids by Viscous Flow, Evaporation-Condensation, and Self-Diffusion, *J. Appl. Phys.*, Vol. 26, No. 10 (1995) pp. 1205
 8. B.H. Alexander and R.W. Balluffi, The Mechanism of Sintering of Copper, *Acta Metallurgica*, Vol. 5 (1937) pp. 666
 9. G.C. Kuczynski, Self-diffusion in Sintering of Metallic Particles, *Metals Transactions* (1949) pp. 169
 10. Latin. A., Capillary flow in the soldering process and some measure ments of the penetration coefficients of soft solders, *J. Institute of Metals* (1946), pp. 72
 11. American Welding Society, *Soldering Manual*, second edition (1978), pp.128
 12. A.K. Kakar and C.D. Chaklader, Deformation Theory of Hot-pressing, *J. Appl. Phys.* Vol. 38, No. 8 (1967)