연구논문

0402칩의 무연솔더링 최적공정 연구

방정환*,† · 이세형* · 신의선* · 김정한* · 이창우*

*한국생산기술연구원

Research of Optimum Reflow Process Condition for 0402 Electric Parts

Junghwan. Bang*,†, Sehyung. Lee*, Yueseon. Shin*, Jeonghan. Kim* and Changwoo. Lee*

*Advanced Welding & Joining Service Center, Korea Institute of Industrial Technology, Incheon 406-130, Korea

†Corresponding author : nova75@kitech.re.kr

(Received November 5, 2008 ; Revised November 7, 2008 ; Accepted February 19, 2009)

Abstract

Reflow process conditions were investigated for 0402 electric parts with Sn-3.0Ag-0.5Cu solders. Circle hole shape metal mask with 100 m thickness showed excellent printability. Self alignment abilities were 71% for 1005 chips, 52% for 0603 chips, and 3% for 0402 chips. Average joining strengths were 1990 gf for 1005 chips, 867 gf for 0603 chips, and 525 gf for 0402 chips. As mis-mounting angle increased, joining strength decreased. Considering self-alignment ability, mounting angle had to be under 5° and contact area of the chips had to be over 40% for Pb-free soldering process for 0402 chips.

Key Words : Surface mount technology, Pb-free soldering, Joining strength, 0402 chips, Self alignment

1. 서 론

오늘날 전자제품 시장은 다기능, 초소형, 고신뢰성을 요구하고 있다. 초소형화의 경우 전자부품의 소형화, 초정밀 실장기술이 필요하다. 현재 실장산업에서 대표적 소형부품은 1005, 0603칩이다. 2010년에는 기술로드맵 상 0402 칩 및 0201 칩의 실장을 요구하고 있다. 초소형 부품의 실장은 기존실장에 비해 Bridge, 솔더 미접착, 부품탈락, 정밀도 저하 등의 문제점을 안고 있다. 이중 대표적으로 발생하는 무연솔더링의 문제는 솔더 인쇄성과 장착 정밀도를 보상할 수 있는 자기배열능이다. 본 연구에서는 두 가지 주요공정 변수를 다양화하여 최적의 0402 칩 부품의 리플로우 실장조건을 규명하였다. 특히 자기배열능의 경우 0603, 1005와의 비교를 통해 기존 소형 칩과 동시에 실장할 수 있는 공정조건을 규명하였다.

2. 사용 재료

2.1 PCB와 솔더크림

Fig. 1과 같이 PCB는 전자산업에서 많이 사용되는 FR4 타입을, 무연솔더는 S사(Sn 3Ag 0.5Cu)조성을

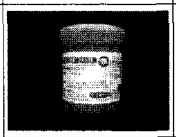
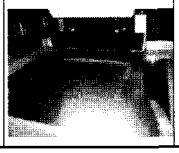
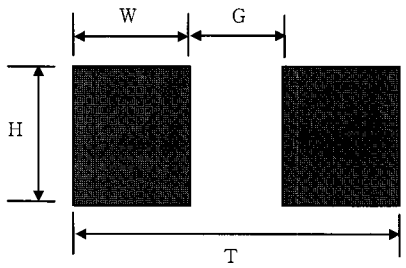
PCB		PCB Material Type: FR4 Surface Finish : ENIG
Solder cream		S.Metal(Sn3.0Ag 0.5Cu)
Stencil		Thickness : 100㎛ Mask Hole Shape : Corcle

Fig. 1 Test board & Solder cream



TYPE	H	W	G	T	mm
A	**0.2**	**0.23**	**0.14**	**0.6**	**Maximum strength**
B	0.18	0.18	0.14	0.5	Reduce of H, fillet
C	0.18	0.155	0.14	0.45	

Fig. 2 Test board design in this work

사용하였다. 메탈 마스크 재질은 SUS304 강종이며 두께는 100㎛를 적용하였다. PCB 솔더링 패드의 설계는 Fig. 2와 같이 사전 실험을 통하여 솔더링 후 칩의 접합강도가 우수하고 Bridge, Tombstone등의 공정불량을 최소화 할 수 있는 A 타입을 채택하였다.

2.2 장비 설정조건

스크린 프린터와 칩마운터의 프로그래밍 조건은 Table. 1과 같다. 이는 100장의 PCB를 연속 투입하여 Bridge, Poor solder의 불량현상을 최소화할 수 있는 조건이다.

리플로우 온도의 설정은 솔더크림 제조사의 MSDS (Matrial Safety Data Sheet)를 근거로 작성되었으며, Fig. 3은 본 연구에 사용된 3원계(Sn 3Ag 0.5Cu) 무연 솔더크림의 리플로우 온도 프로파일이다.

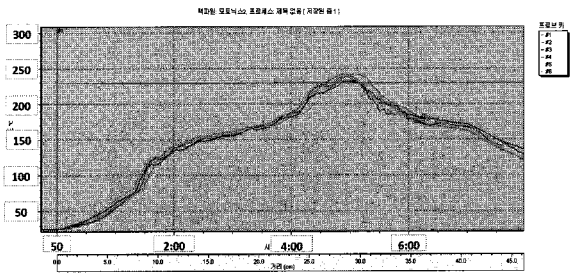
3 실험 방법

3.1 분석 방법

스크린 프린터를 이용하여 정밀인쇄 후 0402전용 칩마운터에서 장착하였다. 무연 리플로우공정의 온도조건은 Fig. 3과 같이 설정하였다. 칩의 장착각도는 0°(정상장착), 5°, 10°, 20°, 30°의 다섯단계로 설정하였다. 30°초과의 장착각도에서는 칩마운팅 공정에서 부품이탈이 발생할 수 있으므로 무의미하다고 판단하였다. 틀어

Table 1 Condition of chip mounter and Printe

Screen printer	Print speed	20mm/sec
	Force control	$8kg_f$
Chip mounter	Pick up delay	50msec
	Mount delay	20msec



Probe	Positive Gradient (℃/sec.)	Positive Gradient time (mm:ss.t)	Ramp time (150.0-200.0℃) (mm:ss.t)	Peak (℃)	Δ T(℃)	Negative Gradient (℃/sec.)
#1(℃)	2.79	01:33.0	01:57.0	241.5	5.5	-1.81
#2(℃)	2.71	01:24.0	01:51.0	239.5		-2.07
#3(℃)	3.97	01:30.0	01:49.0	239.0		-2.22
#4(℃)	2.92	01:24.0	01:35.0	236.0		-1.38
#5(℃)	2.95	01:37.0	01:56.0	240.5		-2.09
#6(℃)	3.26	01:26.0	01:55.0	241.5		-1.76

Fig. 3 Reflow temperature profile

짐 장착 각도별 자기배열능은 각 조건 당 10개 칩의 평균값으로 산출하였다. 자기배열능은 장착각도 대비 리플로우 후 복원된 각도비율로 측정하였으며, 복원 후의 접합강도를 일반적 0402 정축 접합된 평균접합강도와 비교하여 평균접합강도의 60%이상일 경우 적정 조건한으로 규명하였다. 접합강도는 솔더 내부의 기공, 젖음성에 따라 다르게 나타날 수 있는데 이는 X-Ray 측정을 통해 동일조건임을 확인하였다.

4. 실험 고찰

4.1 인쇄성 및 자기배열능 결과

0402칩 최적의 인쇄 메탈 마스크 개구부 형상 및 크기를 알아내기 위해 90%, 100%, 110%, 원형, 오각형, 팔각형등 총 6개 타입으로 인쇄성 시험을 한 결과 Fig. 4와 같이 메탈 마스크의 개구부 형상은 원형에서 Poor solder, Bridge와 같은 인쇄불량이 가장 낮은 양호한 인쇄성을 얻을 수 있었다.

Fig. 5에서 나타나듯 1005에서 0603, 0402로 칩 크기가 작아지면 자기배열능이 현저히 저하되는 것을 볼 수 있다. 5°틀어짐 장착의 경우 0603은 52%, 1005는 71%이나 0402의 경우 3%로 현저히 낮다.

4.2 0402칩의 접합강도

Fig. 6에서 나타나는 바와 같이 0402칩의 접합강도

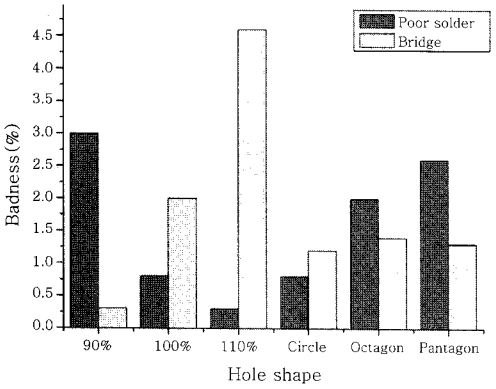
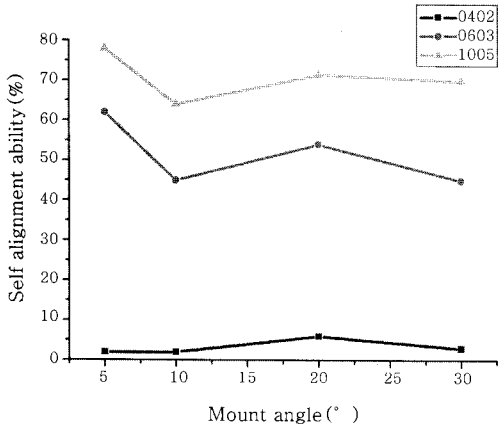


Fig. 4 Printability results with changing mask hole size and shape



0402 chip					
Mount angle(°)	5	10	20	30	Ave.
After reflow(°)	4.9	9.8	18.9	29	15.65
Self alignment(%)	2	2	6	3	3
0603 chip					
Mount angle(°)	5	10	20	30	Ave.
After reflow(°)	1.9	5.5	9.2	16.5	8.27
Self alignment(%)	62	45	54	45	52
1005 chip					
Mount angle(°)	5	10	20	30	Ave.
After reflow(°)	1.1	3.6	5.7	9	4.85
Self alignment(%)	78	64	71.5	70	71

Fig. 5 Self alignment ability with various chip size and mounting angle

는 정상장착 기준 약 525g$_f$이며 5°, 10°, 20°, 30°에서 400g$_f$, 248g$_f$, 231g$_f$, 202g$_f$로 24%, 53%, 56%, 62%의 강도저하를 보인다.

정상장착의 60%이상(약 315g$_f$)의 접합강도는 기계적 결함을 감수할 수 있는 영역이라 사료된다. Fig. 7

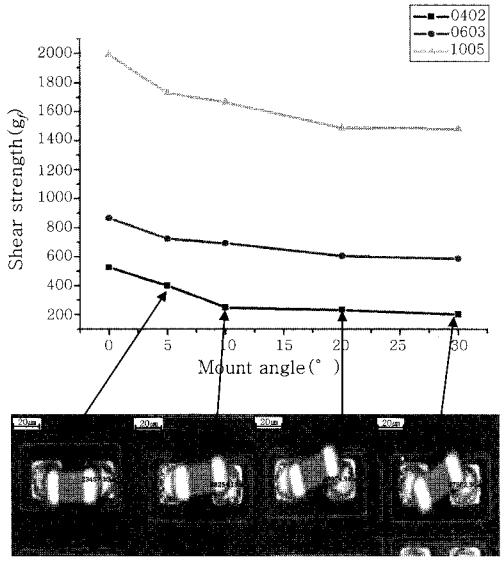
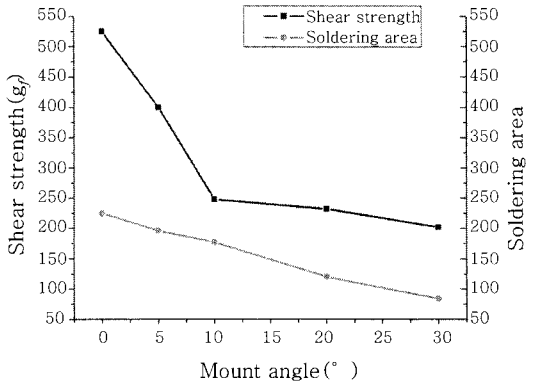


Fig. 6 Self alignment & shear strength by various mounting angle



	Mount angle(°)				
	0	5	10	20	30
Joining strength(g$_f$)	525	400	248	231	202
Joining area(μm^2)	22,543	19,686	17,746	12,026	8,498

Fig. 7 Soldering area and shear strength vs. mounting angle

에서 보듯 접합강도는 접합영역의 감소와 동일한 비율로 감소됨을 알 수 있다.

그러나 접합강도는 리플로우 후의 접합각도에 강하게 의존한다. 불량한 접합강도는 열충격시험, 열사이클링 시험, 진동시험 등의 가혹한 신뢰성시험에서 제품에 결함을 발생시킬 가능성이 크다. Fig. 8과 같이 30°로 틀어서 장착한 경우 리플로우 후에도 평균 29°로 거의 자기배열이 되지 않았다. 이 경우 솔더링 칩 전극부 면

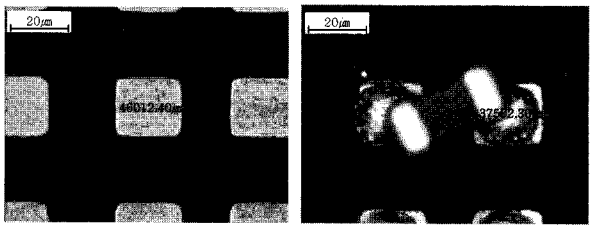


Fig. 8 Micrographs of 30° mis-alignment of 0402 chip

적은 전체면적의 약 20%였으며 접합강도는 202g_f로 정상 장착 대비 약 38% 수준이다. 보통 0402칩은 -40℃~125℃ 조건에서 500시간의 고·저온 열충격을 가할 경우 접합강도가 약 14% 저하한다. 무연조건에서 0402칩의 접합강도의 기준은 약315g_f로 설정하였다. 그 이하의 접합강도를 보이면 열충격 시험을 통과하지 못할 가능성이 높기 때문이다. 장착각도 5°조건의 경우 400g_f의 비교적 양호한 강도를 보이고 신뢰성 시험을 거치더라도 315g_f이상을 유지하게 된다. 이때의 칩 전극부의 접합 면적은 44%이다. 장착각도 10°이상의 조건에서는 이미 315g_f 이하의 낮은 접합강도를 보이며 칩 전극부 접합면적은 40%이하로 떨어진다. 즉, 장착각도 5°이내, 접합면적 40%이상에서 접합강도 315g_f 이상의 양호한 접합품질을 나타낸다는 결과를 얻을 수 있다.

Fig. 9의 (a)와 같이 열충격 시험전에는 IMCs layer가 약 4μm이하의 Columner structure의 형상이지만 열충격 시험 후에는 (b)에서 나타나듯 계면에서 IMCs layer가 성장한 모습을 보인다. 이때 솔더링 내부형상은 Fig. 10과 같이 일부 소량의 미세 기공을 제외하고는 전반적으로 양호한 상태를 보였다.

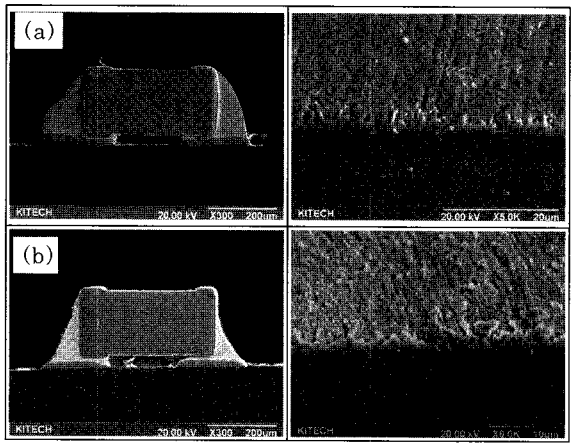


Fig. 9 SEM of 0402 chip soldering interface: (a) before thermal shock test and (b) after the thermal shock test

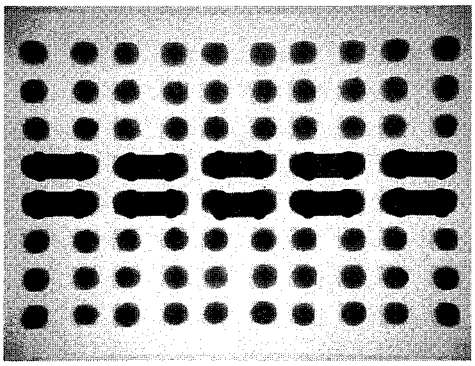


Fig. 10 X-ray image of reflowed 0402 chips

5. 결 론

본 연구에서는 무연솔더링 적용한 0402칩 실장공정의 최적화를 목표로 연구하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 메탈마스크 개구부 원형 형태에서 Poor solder, Bridge와 같은 인쇄불량이 가장 낮게 나타났다.

2) 무연솔더링에서의 0402칩 자기배열능은 기존의 소형칩인 0603, 1005칩에 비해 평균 5% 이하의 불량한 자기배열능을 보인다. 면적감소비보다 표면장력 감소비가 자기배열능에 더 큰 영향을 줌을 알 수 있다.

3) 접합강도에서도 5°이상의 장착각도에서 기존 소형칩과는 다르게 300g_f 이하의 급격한 강도저하를 보였다. 정상장착 접합강도 60%이상의 영역을 기계적 결함을 감수할 수 있는 영역으로 보았을 때 접합강도는 접합면적의 감소와 동일한 비율로 감소된다. 그러나 접합강도는 리플로우 후의 접합각도에 더 강하게 의존하게 된다. 0402칩의 자기배열능에서는 접합면적 40%이상, 장착각도 5°이내를 유지하면 정상장착 60%이상의 양호한 접합강도를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 지식경제부 산업기술기반조성사업의 일환인 마이크로조이닝 공동연구사업의 지원에 의한 것임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

1. D. Rocak, S. Macket, J. Sitek, M. Hrovat, K. Bukat and Z. Drozd: A reliability study of the lead-free solder connections of miniature chip components on hybrid circuits (2007), Microelectronics Reliability 47 (2007) 986-995
2. M. Ayob and G. Kendall: A survey of surface mount device placement machine optimisation: Machine classification (2007)., European Journal of Operational Research 186 (2008) 893-914

3. S. Amore, E. Ricci, G. Borzone, R. Novakovic: Wetting behavior of lead-free Sn-based alloys on Cu and Ni substrates, Material Science and Engineering A495 (2008) 108-112
4. Hwa-Teng Lee, Heng-Sheng Lin, Cheng-Shyan Lee, Po-Way Chen : Reliability of Sn-Ag-Sb lead-free Solder Joints(2005), Matrials Science and Engineering A 407 (2005) 36-44
5. A. Tavarez, J. E. Gonjalez : Modeling the Thermal Behavior of Solder Paste Inside Reflow Ovens(2002), J. Electron. Package.- September 2003 - 125, Issue 3, ASME,(12 pages)
6. Daijiao Wang, Ronald L. Panton : Experimental Study of Void Formation in Eutectic and Lead-Free Solder Bumps of Flip-Chip Assemblies(2005), J. Electron. Package.- September 2006 - 128, Issue 3, ASME,(6 pages)
7. Won-sik Hong, Whee-sung Kim, Noh-chang Park, Kwang-bae Kim : Activation Energy for Intermetallic Compounds Formation of Sn-40Pb/Cu and Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu Solder Joints(2007)-KWJS (82 pages) (In Korean)