

浅析 SMT 回流焊接缺陷分析

胡毓晓¹ 赵雄明² 朱桂兵²

(1.南京南极星科技有限公司;
2.南京信息职业技术学院,江苏 南京 210046)

摘要: 表面组装技术(SMT)的应用是电子装联时代的一场革命,随着电子装联的小型化、高密度化的发展,随着无铅焊接工艺的应用,回流焊接的工艺方法受到了越来越多的挑战。要完成高质量和高直通率的电子产品,对焊接缺陷必须具备较强的诊断和分析能力,找出产生缺陷的相关因素,改善工艺过程,找出最好的办法有效地控制缺陷率。最大化提高产品的品质,最大化降低返工或返修造成的成本是 SMT 业者一个永远追求的目标。本篇论文着重讨论部分回流焊接缺陷,给大家一个针对相关缺陷分析的思路和方法。

关键词: 冷焊; 立碑; 偏移; 表面张力

中图分类号: TN305.93

文献标识码: A

文章编号: 1004-4507(2009)05-0011-05

SMT Reflow Soldering Defect Analysis

HU Yixiao¹ ZHAO Xiongming² ZHU Guibing²

(1.Nanjing NJStar Technology Co., Ltd;
2.Nanjing College of Information Job Technology, Nanjing 210046, China)

Abstract: SMT reflow process is facing more challenges as electronics assembly trend towards small-scale, high-density and the application of lead-free. It is required to have strong capability of diagnosis and analysis on welding defects in order to attain high quality and high yield products, to find the related causes of the defects to improve the manufacturing process and find the best solution to process and control efficiently the defects rate. It is a target for SMT industry to improve the product quality and reduce maximally the rework rate or minimize the cost of rework. This paper will focus on some defects of reflow jointing and provide ideas and methods to analyze related defects.

Keywords: Cold Solder; Stonehang; Skewing; Surface; Strain

收稿日期: 2009-03-20

作者简介: 胡毓晓(1972—),男,浙江平阳县,工程师,学士,民革成员,江苏南极星科技有限公司董事长、民革江苏省委经济委员会副主任,研究方向: 先进制造技术。

大规模的回流焊接,特别是在对流为主(强制对流 Forced convection)以及激光和凝结惰性的(Condensation-inert)(即汽相 Vapor phase)焊接中,在可见的未来将仍然是大多数表面贴装连接工艺的首选方法。尽管如此,新的装配工艺和那些要求整个基板均匀加热、温度变化很小且高温传导效率的新应用技术,在促进对流为主的回流焊接的进化。无数的因素,包括增加的装配复杂性、更新的互连材料和环境考虑,结合在一起对工艺和设备提出了额外的要求。更快更经济地制造产品,这个持之以恒不断增长的要求驱动这一切的前进。

作温度曲线(Profiling)是确定在回流整个周期内印刷电路板(PCB)装配必须经受的时间/温度关系的过程。它决定于锡膏的特性,如合金、锡球尺寸、金属含量和锡膏的化学成分。装配的量、表面几何形状的复杂性和基板导热性、以及炉给出足够热能的能力,所有这些都影响发热器的设定和炉传送带的速度。炉的热传播效率和操作员的经验,也影响反复试验所得到的温度曲线。

锡膏制造商提供基本的时间/温度关系资料。它应用于特定的配方,通常可在产品的数据表中找到。可是,元件和材料将决定装配所能忍受的最高温度。

涉及的第一个温度是完全液化温度(Full liquidus temperature)或最低回流温度(T_1)。这是一个理想的温度水平,在这点上,熔化的焊锡可流过将要熔湿来形成焊接点的金属表面。它决定于锡膏内特定的合金成分,但也可能受锡球尺寸和其它配方因素的影响,可能在数据表中指出一个范围。对 Sn63/Pb37,该范围平均为 200~225 °C。对特定锡膏给定的最小值成为每个连接点必须获得焊接的最低温度。这个温度通常比焊锡的熔点高出大约 15~20 °C。(只要达到焊锡熔点是一个常见的错误假设)。

回流规格的第二个元素是最脆弱元件(MVC, most vulnerable component)的温度(T_2)。正如其名所示, MVC 就是装配上最低温度“痛苦”忍耐度的元件。从这点看,应该建立一个低过 5 °C 的“缓冲器”,让其变成 MVC。它可能是连接器、双排包装(DIP, dual in-line package)的开关、发光二极管(LED, light emitting diode)、甚至是基板材料或锡膏。MVC 是随应用不同而不同,可能要求元件工程人员在研究中的帮助。

在建立回流周期峰值温度范围后,也要决定贯穿装配的最大允许温度变化率(T_2-T_1)。是否能够保持在范围内,取决于诸如表面几何形状的量与复杂性、装配基板的化学成分、和炉的热传导效率等因素。理想地,峰值温度尽可能靠近(但不低于) T_1 可望得到最小的温度变化率。这帮助减少液态居留时间以及整个对高温漂移的暴露量。

传统的,作回流曲线就是使液态居留时间最小和把时间/温度范围与锡膏制造商所制订的相符合。持续时间太长可造成连接处过多的金属间的增长,影响其长期可靠性以及破坏基板和元件。就加热速率而言,多数实践运行在每秒 4 °C 或更低,测量为 20 s 的时间间隔。一个良好的做法是,保持相同或比加热更低的冷却速率来避免元件受温度冲击。

1 回流焊接缺陷

表面安装技术发展到现在,焊接工艺也越来越成熟。回流焊就本质上讲是一个热的传递过程,即将所有 SMA 上的焊点升温至焊料熔点以上使熔化的焊料流动形成焊点。在这过程中,如果对工艺控制不当,势必将产生一些焊接缺陷,归纳起来主要有:冷焊、立碑、偏移、桥接、空洞、芯吸、锡珠、开路、飞溅物质、龟裂等相关缺陷。

下面就冷焊、立碑、偏移这 3 种缺陷作具体分析:

1.1 冷焊

冷焊是指焊料没有完全熔化或焊料没有完全回流焊接的一种现象。焊点出现冷焊现象,焊点的外形则呈现出颗粒状、不规则状,焊料颗粒不能完全融合,且焊点的颜色很暗淡,其形成的机械抗拉强度也十分脆弱。如图 1 所示。

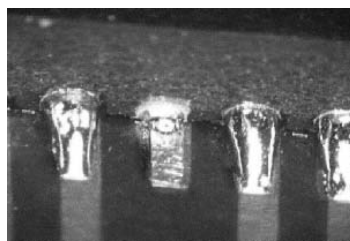
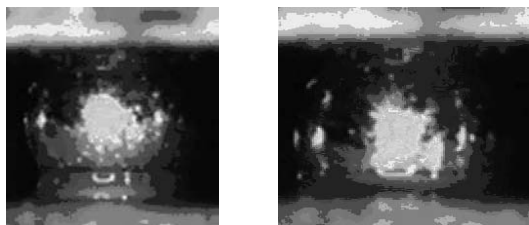


图 1 典型的冷焊现象,焊点表面粗糙、颜色暗淡

一般来说,冷焊现象的产生主要是回流炉的温度偏低造成的,如图2、图3所示。

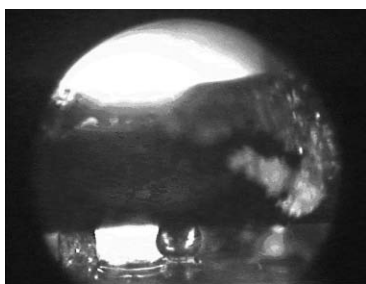


(a) BGA 焊点热融效果差,产生冷焊 (b) BGA 焊点热融效果好

图2 BGA 焊点热融效果比较



(a) 通过 ERSASCOPE 观察到不良的 Flip Chip 焊点,没有沉降



(b) 通过 ERSASCOPE 观察到不良的 Flip Chip 焊点;没有沉降

图3 Flip Chip 焊点热融效果比较

其实造成冷焊的原因还有:PCB 在冷却区域发生扰动;母材和焊料表面被污染;助焊剂的活性太低;焊膏本身被氧化或失效;PCB 在网带或链条上的传送速度较快。

在回流焊接过程中,PCB 在炉温偏低的情况下或者在合理的炉温下,在焊料熔融状态停留的时间太短,都会造成 PCB 不能够得到充足的热量,将导致焊膏颗粒不能完全融合。对于共晶 Sn/Pb 焊料,峰值温度一般设定在 210~225℃,超过液相线温度的

驻留时间一般在 30~60 s。无铅回流焊接炉的温区一般选择在七温区以上,以便于增加无铅焊接的热熔效果。无铅焊料峰值温度一般设定 235~245℃,超过液相线温度的驻留时间一般在 60~90 s,如图4所示。

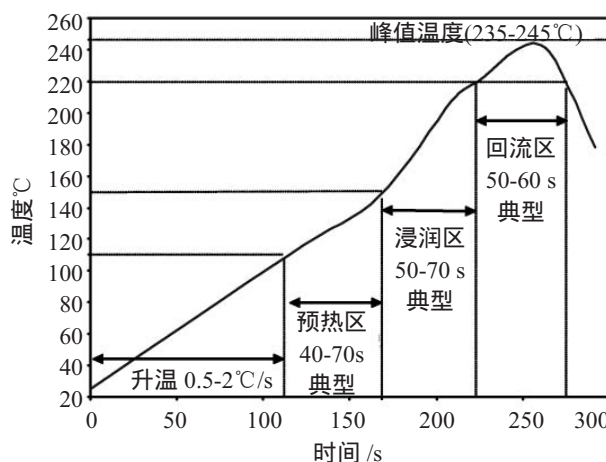


图4 SnAgCu 合金焊料温度曲线设置

PCB 在冷却阶段,如果受到扰动,焊点表面的起伏性较大呈现表面不平滑的现象,这主要是传送带或链条在传送过程中的抖动造成的,也有一部分原因是由强烈的冷却风造成的,尽管冷却速度快,焊点表面越细腻越光滑,但过度的冷却反而会起到相反的作用。

在焊盘或元器件的引脚以及其周边的表面污染对助焊剂的活性能力会起到抑制的作用,使得焊点不能完全再流焊接。这些污染物主要是电镀化学的残留物,对这些有污染的 PCB 必须在印刷焊膏之前分检出来,而不必要给后续的生产流程造成麻烦。

助焊剂的活性太低,使得金属表面的氧化层不能够完全清除干净,导致焊点的机械抗拉强度太低,并且在焊点的周围会产生细小的锡珠,不能够很好地融合在一起。所以应选择适当活性的焊膏,助焊剂的活性也不能太高,否则在焊点形成后,会在焊点边缘有很多残留物的生成。并且过高的活性对 PCB 以及元器件和焊盘会有腐蚀性。

焊膏一旦氧化或失效,在回流焊接时,热量的传递速度十分缓慢,焊膏颗粒很难融合在一起,而造成冷焊现象,所以必须起用品质优良的焊膏进

行再流焊接。

PCB 在网带或链条上传送速度较快,则会使焊点在液相线以上的温度下停留的时间较短,使得焊料不能充分热熔,造成冷焊的产生。应适当调整传送速度,以便于获得良好的焊点。

1.2 立碑

立碑也被称为曼哈顿效应,主要是指无引脚的片状电阻和电容一端被提起,矗立在另一端上的现象,如图 5 所示。

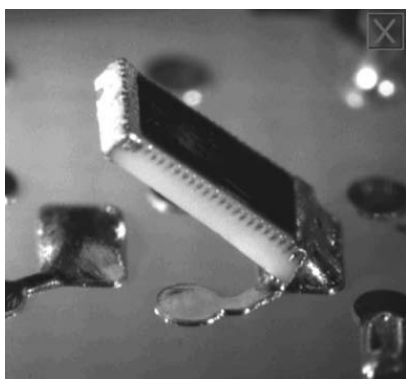


图 5 曼哈顿效应

引起立碑现象的原因主要有:元件两端的焊膏印刷量不均衡;元件两端焊盘的可焊性不同;元件局部发生氧化;元件体积太小,重量太轻;焊盘间隔以及焊盘尺寸设计;回流炉升温的速率以及腔体温度分布的均匀性;炉温设置较高,且网带或链条的传送速度较快。

在焊膏印刷过程中,由于和印刷关联的相关因素的原因,造成了焊膏印刷量的不均衡。在回流焊接时,两端焊盘上的焊料熔融之后,在表面形成的张力大小相差较大,对元件拉力大的一端足以克服拉力小的一端而把元件拉起脱离拉力小的焊盘,并在自身这一端矗立起来,形成立碑。而且,太厚的焊膏印刷厚度也容易产生立碑。由此可见印刷工艺的重要性。

由于元件两端焊盘的可焊性不同,可焊性差的一端对元件的拉力较小,可焊性好的一端对元件的拉力较大,这种情况也同样对元件在焊接过程中造成立碑现象。当然如果采用焊膏含有的助焊剂活性较强,则可相应地减少或避免立碑的产生。

元件的局部发生氧化,氧化严重的一端,熔融焊料对其拉力非常弱,氧化程度不太大的一端,焊料对其的拉力相应较大,这样也会造成立碑现象的产生。

现阶段贴装元件的发展是体积越来越小,质量越来越轻,例如 0201 或 01005 芯片质量非常轻,两端的拉力如有微小的差异,就很容易立碑。在回流炉中,如果炉子的热循环风速较大,小芯片也会被吹起,矗立在焊盘上产生立碑。所以对这种微小的芯片更要注重焊膏印刷的质量,在焊接过程中还要注重炉温曲线的设定。

焊盘间隔与焊盘尺寸也是产生立碑现象的一个重要因素,对于 1005 规格以下的焊盘,间隔太小将会使元件在熔融焊料之上产生漂移,太大的间隔距离则会使产生立碑的概率增大。一般来说,对于焊盘间隔的设计要小于两个端帽之间的间隔。对于焊盘的尺寸设计,多数情况下是将焊盘的长度向外延长一些,要超过元件的焊接端子,如果尺寸延长较少,则会增加焊接面上拉力的垂直矢量,加重立碑的可能性。当然焊盘也不能够太宽,否则,芯片在熔融焊料上产生漂移,元件两端的拉力也会失去平衡,也会使立碑的概率增加。

PCB 在回流焊接过程中,如果回流温度曲线升温的速率过高,而预热区域的驻留时间太短,那么产生的立碑概率会更大。这主要是由于急剧升温情况下,元件两端焊料的受热不均衡,使熔融焊料表面的张力有较大的差异而引起的。在回流炉中,如果腔体的温度分布不均匀,也会在元件两端熔融焊料表面张力不均衡,也易于产生立碑现象。

炉温设置较高,且网带或链条的传送速度较快,产品的产能虽然较高,但产生立碑缺陷也较多,这种情况类似于急剧升温的过程,同样会使元件两端熔融焊料的表面张力不均衡,产生严重的立碑。

此外,通过试验,可以看出 PCB 的焊盘金属层不同,产生立碑的概率也是不一样的,焊盘层如果是 Sn-Pb 合金,那么其产生的立碑概率要比焊盘是 Cu 或电镀 Au 要大一些,主要原因是 Sn-Pb 合金焊盘对温度梯度更加敏感,熔融焊料在其上面很容易润湿。

对于无铅焊料在焊接时,一般所产生的立碑要

比有铅焊料焊接少,这主要是无铅焊料的润湿性能要比有铅的差,并且无铅焊接比有铅焊接润湿时间缓慢,其对温度梯度敏感性不是太高。

1.3 偏移

偏移也称为漂移,对于片式元件造成偏移的原因主要是元件两端的焊料熔融之后表面张力的不平衡引起的,当然对于 0805 以下的芯片也与回流焊炉腔体内热循环的风速有关,对于部分片状元件以及 IC 类芯片还与贴片机的贴装精度有关,如图6所示。



图6 元件焊接之后发生偏移

归纳起来造成偏移的主要因素有:1)焊膏本身的性能;2)焊膏的印刷厚度和均匀度;3)焊接时炉子的升温速率;4)焊盘的设计尺寸;5)焊盘与元器件引脚的可焊接性能;6)贴片的精度;7)网带或链条传送 PCB 的平稳度;8)炉子内的高速气流。

回流焊接焊膏的金属含量一般选择在 89%~92.5%,金属含量在 89%以下的焊膏印刷之后容易引起焊膏图形的边缘塌陷,92.5%是焊膏允许的最大金属含量。超过此含量焊膏的黏度将会上升,影响焊膏的脱模效果,这将会使焊膏流变性能下降,在焊接过程中将会影响熔融焊料的扩展性能,导致自中心作用力的下降,影响熔融焊料表面张力对本身偏移的元件位置自动的修正。

一般来说,贴片之后芯片对焊盘中心的偏移率为 40%时,若熔融焊料具有良好的润湿性,自中心作用的驱动力都能修正偏移的元件,若在焊接过程中加入氮气,则效果会更加理想。如果选择的焊膏金属含量偏低,在焊接过程中,焊膏内过量的助焊剂将会发生喷气,导致元件偏移了原本良好的安装

位置。且低金属含量的焊膏黏度较低,贴片元件附着在上面不是很牢靠,在回流焊接时其活性较高,对温度梯度很敏感,很容易使芯片发生偏移或立碑。在 PCB 焊接时,若焊膏在熔融时具有短暂的迟滞性,则可以避免偏移或立碑的产生。

炉腔内轻微的影响,都会导致位置偏移,比如传送链条的轻微抖动、腔体内循环热风的影响。所以应根据元件大小选择合适厚度的金属模板印刷焊膏。若焊盘上焊膏印刷不均匀,则元件在焊接时两端的张力不平衡,也会使元件发生扭曲,导致位置偏移。

升温速率过高,元件两端焊料的受热不平衡,使熔融焊料表面的张力有较大的差异,使元件发生漂移,导致位置偏移。当然升温速率太慢,助焊剂会在自中心完成之前消耗殆尽,失去助焊剂的作用,润湿性能将会变得很差,熔融焊料的表面张力也会下降,失去自中心力的作用,偏移的元件也很难自行修正。焊盘的设计尺寸对元器件自对中力是有影响的,比元器件宽度窄的焊盘更容易产生偏移。焊盘与元器件引脚的可焊性差,焊接时必将影响元器件的润湿性能,造成焊料表面的张力不平衡,元件也会发生扭曲偏移。

元件的贴装精度对回流过程中的偏移是有影响的,若炉温曲线设定好了,轻微的偏移元件的自中心力是可以修正的,但在润湿状态不佳的情况下,或偏移的幅度较大的情况下,自中心修正是比较困难的,如图7所示。在这里值得一提的是:倒装芯片以及 BGA 芯片的自中心修正能力是很强的,甚至在倒装芯片错位 60%的情况下,自中心还能进行。当然,错位率超过 60%,修正精度将会很困难,缺陷率会迅速增加。

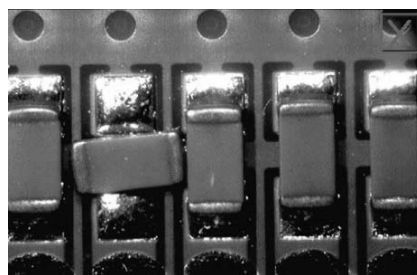


图7 偏移量太大,自中心力无法修正贴装位置

(下转第 29 页)

designers and technologists are turning to the vertical dimension of the substrate to maximize performance while minimizing chip size and power consumption. This technique of 3D interconnect leads to larger topographical steps on the substrate which are beyond the printing capabilities of conventional lithographic systems for coating and exposing such high steps. New methods have been proposed to meet this challenge which include spray coating of the photoresist layer, advanced imaging techniques to view and align the alignment fiducials, and printing optics with greater depth of focus. Apparatuses for these techniques have been proposed and applied to typical structures encountered within the field of lithography over high topography, with the results showing the ef-

fectiveness of these new methods for this 3D technology.

REFERENCES:

- [1] G. Moore. Cramming more components onto integrated circuits[J]. Electronics, Volume 38, number 8, April 19, 1965.
- [2] M.S. Bakir, B. Dang and J. Meindl. Revolutionary nanosilicon ancillary technologies for ultimate performance gigascale systems[M]. IEEE Custom Integrated Circuits Conference, 2007.
- [3] P. Ramm. 3D Integration[Z]. delivered in Advanced Packaging's 3D Integration Webcast, June 2008.
- [4] K. Cooper. Conformal Photoresist Coatings for High Aspect Ratio Features[Z]. Proc. IWLPC, Sept., 2007.

(上接第 15 页)

网带或链条传送 PCB 的过程中发生轻微的抖动,处在回流区末端熔融焊料状态下直至强风冷却区域的元件,很容易发生偏移,如图 8 所示。

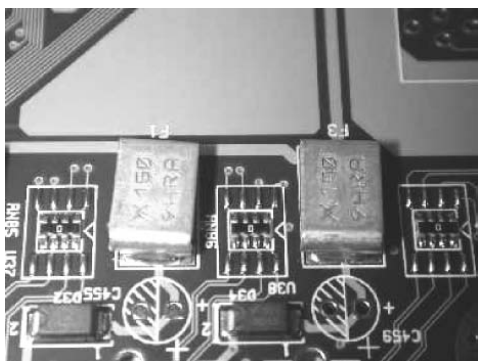


图 8 回流中链条轻微抖动发生的偏移

在回流焊接中由于片状元件的体积较小,重量较轻,炉内循环的热气流会将一些小的元件从贴片位置吹开,造成元件的偏移甚至丢失。所以必须降低炉内循环风的风速,在生产中采用一些黏度较高的焊膏,建议选择金属含量在 90.5%,以便于贴装元件具有较好的粘黏效果。

2 结论

在 SMT 回流焊接过程中时常会出现一些焊接缺陷,从上面几种焊接缺陷的分析,我们可以发现造成这些缺陷问题的因素是有一定的必然因素的,我们只要掌握焊接的机理,对相关的必然因素进行细心诊断和分析,完全可以把缺陷率降到最低,对企业产品品质的提升会起到积极的推动作用。

参考文献:

- [1] Smith.H.W. Technical Information on MICRO-FLO XG Forced Convection Reflow System [J]. Research Inc (Apr.,1993):43-48.
- [2] Henley Peter. Rheometric Pump Print Head Technology[J]. Research Inc (October 1997):22-28.
- [3] X.Bao, N.C.Lee. Engineering Solder Paste Performance Via Controlled Stress Rheology Analysis in Surface Mount International[J]. Surface Mount technology, September 1996:15-19.
- [4] N.C.Lee,G.P..Evans. Solder Paste Meeting the SMT Challenge[J]. SITE Magazine,June,1987:34-39.
- [5] IPC-9201, Surface Insulation Resistance Handbook[S], 1996.