



BGA 封装器件低空洞真空汽相焊接技术研究

王文智 毛海珂 张绍东 薛萍 邱静萍

(上海航天电子有限公司, 上海 201821)



摘要: 在高速信号和热应力载荷作用下, 球栅阵列封装 (BGA) 器件存在的焊点空洞大和焊接强度差等高发缺陷, 极易导致焊点破裂并引发器件故障。针对有铅焊球的 BGA 器件, 通过真空汽相焊接技术从汽相液注入方式与升温速率之间的平衡规律入手, 系统探讨了不同焊接阶段真空抽压以及调控真空度对焊点空洞的抑制机理。结果表明, 在保温区真空度 50mbar 时 BGA 焊点具有较低的空洞率为 0.9%, 均匀的微观组织分布以及良好的焊接质量, 可有效解决焊点空洞率过大而引发的可靠性问题。

关键词: 球栅阵列封装; 真空汽相焊; 真空度; 空洞率

中图分类号: TN605 **文献标识码:** A

Research on Vacuum Vapor Phase Soldering Technology of BGA Package Components with Low Void

Wang Wenzhi Mao Haike Zhang Shaodong Xue Ping Qiu Jingping

(Shanghai Aerospace Electronics Co., Ltd., Shanghai 201821)

Abstract: Ball grid array (BGA) devices have been widely applied in aerospace electronic products. High-incidence defects such as solder joint void and poor soldering strength of BGA devices can easily lead to solder ball cracking and device failure under the action of high-speed signal and thermal stress load. For BGA devices with lead solder balls, vacuum vapor phase soldering technology is utilized to master the balance between the injected vapor phase liquid and heating rate. Moreover, the suppression mechanism of solder joint void via vacuum pumping at various soldering stages and adjusting the vacuum degree has been systematically investigated. The experimental results exhibit that such BGA device owns a lower void rate of 0.9%, more uniform microstructure distribution and better soldering quality under the soldering insulation zone with a vacuum degree of 50 mbar, which effectively solves the reliability caused by excessive void ratio of solder joints.

Key words: ball grid array; vacuum vapor phase soldering; vacuum degree; void rate

1 引言

随着宇航型号向小型化和集成化发展, 使用的各类封装元器件也逐渐面向高密度化和微型化方向设计。目前, 广泛应用的柱栅阵列封装 (CCGA)、BGA 等面阵列封装器件, 具有尺寸更小、引脚数更多和高

性能等优势。对于 BGA 器件而言, 密间距排列的球形焊点不仅要求保证良好的机械支撑强度, 而且还作为电气互联和高效散热通道^[1, 2]。由于宇航型号产品需要在复杂的空间环境下长期在轨可靠服役并且具有不可维护性, 因而对 BGA 器件的质量可靠性要求十分严格。存在焊点空洞等缺陷的 BGA 器件在热冲击和高强

作者简介: 王文智 (1996), 硕士, 应用化学专业; 研究方向: 宇航产品电子装联工艺与材料分析。

收稿日期: 2021-12-02

度震动等极端条件下会导致焊点开裂和焊接强度降低,进而造成产品失效。

受回流焊接设备的局限性,BGA器件在焊接过程中产生的缺陷都集中表现在焊点上。BGA器件焊点空洞现象是在绝大部分表面贴装技术(SMT)中常见的严重缺陷,与焊膏选用、气氛环境、回流曲线设置等工艺参数以及助焊剂的合理释放途径都密切相关^[3-4]。但空洞现象尚且无法通过优化常规的回流焊接工艺彻底解决,影响了BGA器件的高焊点质量和焊接可靠性。研究表明,真空再流焊接技术不仅实现了BGA器件的焊点低空洞化,而且能够对焊点有空洞的BGA器件进行返修^[5]。

与传统方法相比,引入具有温度稳定性、加热均匀性以及焊点防氧化等优点的真空汽相焊接技术以解决焊点的空洞现象。真空汽相焊接技术利用导热介质的相变原理调节制程温度,获得更精确且可复制性的焊接曲线,同时可控的真空技术能够提高润湿效果、促进气泡排出来改善焊点的可焊性和焊接效果。本文以有铅焊球的BGA器件为研究对象,从升温速率调控、阶段性真空抽压以及腔体真空度设置3个方面研究了真空汽相焊接工艺对BGA器件的焊点空洞率和焊接可靠性的影响,为真空汽相焊接技术的曲线优化原理以及抑制焊点空洞现象的机制提供了相应的研究思路。

2 实验

2.1 实验样品

实验所用BGA器件的有铅焊球成分为Sn63Pb37,标称熔点为183℃,粒径为0.6mm,焊球间距为1mm;焊锡膏为Sn63Pb37型共晶免清洗焊膏,其中金属质量分数为90.2%,标称熔点为183℃。印刷焊膏网板与印制板焊盘按1:1尺寸比例开孔,钢网厚度为0.2mm。

2.2 实验设备

实验焊接设备为Rehm Condensio XM型真空汽相焊接系统;X-Ray检测设备为YXLON Cougar EVO型检测仪;焊点金相组织使用AXIO Imager A2m型金相显微镜记录;焊点微观组织通过HITACHI SU8100型场发射扫描电子显微镜观察和X射线能谱分析仪分析元素分布。

2.3 BGA优良焊点标准

根据相关标准GJB 4907《球栅阵列封装器件组装通用要求》、QJ 165《航天电子电气产品安装通用技术

要求》和IPC-A-610《电子组件的可接受性》中对焊接后BGA器件的可接收性规定:在X射线检测下优良的BGA焊点应呈圆形,边界光滑,轮廓清晰,整个BGA封装器件的焊点大小均匀。BGA焊点应无桥接、错位、开路 and 焊球缺失等常见缺陷。根据QJ 3086《表面和混合安装印制电路板组装件的高可靠性焊接》中规定:焊点空洞面积总和小于焊球投影面积的15%。

3 真空汽相焊接工艺研究

3.1 升温速率调控分析

温度曲线设置是焊接工艺的核心管理工具,决定了元器件乃至整个印制电路板的焊接可靠性。真空汽相焊接技术可以实现升温速率的精准调控,凭借导热介质汽相液相变时放出热量对元器件均匀加热,热传导率和焊接时间与汽相液所提供的热量呈现良好的相关性。通常,焊接曲线由预热、保温、回流和冷却区4个部分组成。其中,预热区起到加热印制板组装件达到平衡状态,同时防止焊膏发生坍塌和焊料飞溅的作用。但较高的预热区升温速率会对元器件造成热冲击损害和热机械应力,低升温速率则会影响焊剂活化和焊点润湿效果。根据相关标准QJ 3173《航天电子电气产品再流焊接技术要求》,焊接预热区的升温速率应保持在0.5~2℃之间。

3.2 阶段性真空抽压分析

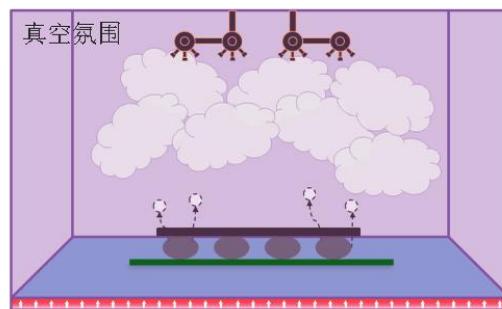


图1 焊点空洞抑制机理示意图

在控制焊膏使用、焊盘设计等变量的基础上,利用真空汽相焊接工艺核心的真空技术通过阶段性真空抽压和优化腔体真空度,以期降低焊料的氧化程度以及排出释放的气体,如图1所示。从本质上来讲,绝大多数BGA焊点中产生的空洞都是回流阶段熔融焊料包裹气体造成的,导致焊点表面层凝固后仍有气体截留在焊点内部,主要原因可分为以下4类^[6-7]:

a. 焊膏：焊膏中金属含量与和尺寸决定了挥发气体从紧密焊膏中逃逸的难度。通常，金属含量越高，焊粉粒径越细，BGA 焊点冷却后内部空洞的体积比例越高；

b. 助焊剂：吸纳在焊膏中的助焊剂沸点和粘度影响了焊接过程中助焊剂分解和挥发的时间和畅通性；

c. 焊盘设计：由于微孔和盲孔等焊盘的设计使 BGA 器件的底部位置容易产生空洞；

d. 焊接气氛：回流焊接过程中氧气气氛会加速氧化熔融焊点表面层和焊盘金属，导致 BGA 焊点的润湿性和焊盘的可焊性降低。

4 结果与分析

4.1 升温速率曲线结果

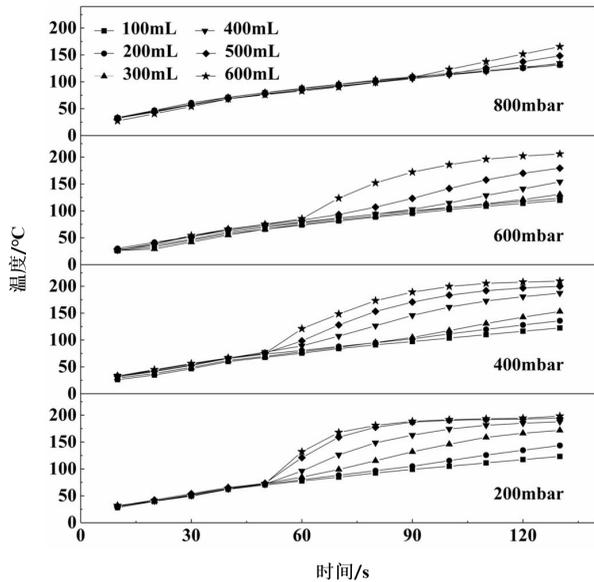


图2 不同汽相液注入方式的升温速率图

根据有铅焊料的熔点特性选用了相应的汽相液，其在腔体内达到沸腾状态则与汽相液注入量和腔体压强紧密相关。经过大量试验验证，合理的升温速率通过调节汽相液注入量与腔体真空度的平衡关系如图2所示。当100~600mL的汽相液注入后立即真空抽压至800mbar、600mbar、400mbar和200mbar时，升温速率在0.67~1.49°C/s范围内，均符合焊接标准的要求。从图2中看出，较少的汽相液注入量在相变过程中提供的热容无法使印制板组装件快速升温，温度呈现缓慢上升的状态。当汽相液注入量达到600mL时，

腔内温度至120°C后的升温速率明显提升，主要是由于大量的汽相液由液态完全转换为气态需要一定的时间，当完全转换后使印制板组装件的升温速率剧增。基于此，在注入300mL汽相液后真空抽压至200~400mbar区间内，具有最缓和且线性的升温速率为1.01~1.18°C/s，用于进一步指导真空汽相焊接工艺曲线的设置。

4.2 工艺曲线结果

由图3可知，预热区真空抽压以及保温区、回流区真空度为100mbar时的真空汽相焊接工艺在焊接过程中均呈现了与典型回流焊接相似的曲线趋势。3种真空汽相焊接工艺在预热区设置相同的工艺参数保证了约1°C/s的温和升温速率，其中，焊接峰值温度依次为222.1°C、219.7°C和214°C，符合BGA器件的焊接峰值温度标准。

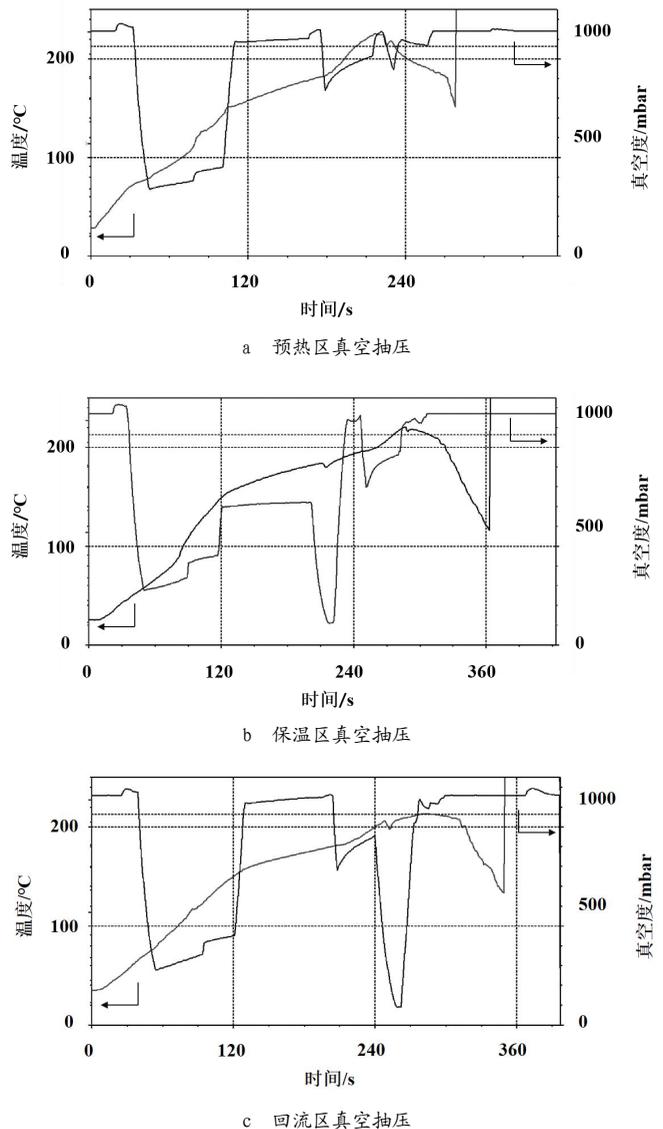


图3 不同真空汽相焊工艺和温度实测曲线图

4.3 焊点剖面检测结果

由图4可知,3种真空汽相焊接工艺所得BGA焊点的边界圆滑、清晰且高度一致,呈现了典型的鼓状形貌,并且未检测到锡珠、焊点偏移等缺陷。此外,BGA焊球与印刷的焊膏在焊接过程中良好融合,未观测到焊球分层现象。对于仅预热区真空抽压的焊点而言,由于预热区尚未达到焊料的熔化温度,助焊剂挥发的气体被截留在焊点内部,焊点冷却后在焊盘与焊球间形成了影响润湿性的较大空洞以及若干微小空洞

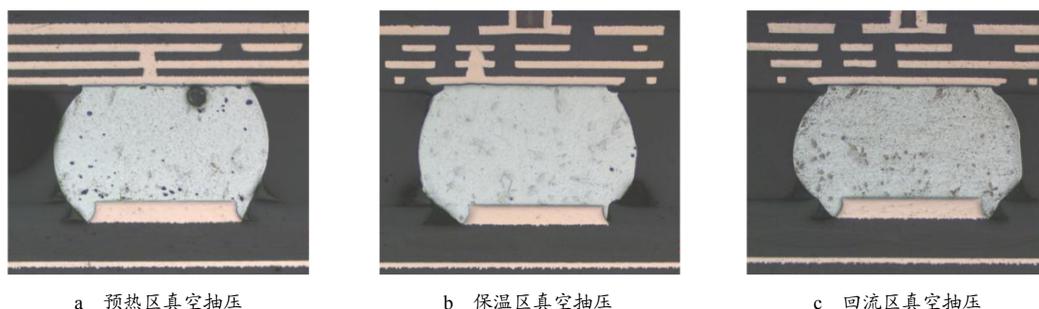


图4 BGA焊点金相剖切图

4.4 焊点 X-Ray 检测结果

真空汽相焊接后BGA器件的底部焊点将通过X射线进一步检测空洞率。由图5可知,大小一致的黑色圆为BGA焊球,其中杂乱无章的白色圆为产生的气泡。预热区真空抽压后BGA焊点形成的空洞数量较多,经过计算后焊点空洞率约为11.9%,其中部分焊点的内部空洞已超过焊球投影面积的最大值25%。在保温区真空抽压至100mbar时所得BGA焊点的气泡显著减少,大幅度抑制了焊点空洞现象至2.6%的空洞率。随后,在焊接曲线峰值温度的回流区真空抽压时,BGA焊点的整体空洞率进一步降低为1.8%,但存在2个BGA焊球桥连在一起形成短路的严重缺陷。焊接温度与

洞。随着温度不断升高至焊料的熔化温度时,保温区和回流区真空抽压后焊点的空洞数量明显减少,表明真空抽压一方面降低熔融焊点的表面张力,另一方面真空负压更容易将残留的气体排出,进而改善BGA焊点的空洞问题。不过,相比于微观组织更均匀的保温区真空抽压的BGA焊点,回流区真空抽压后BGA焊点的微观组织粗糙且尺寸偏大,归因于更长的高温焊接时间使微观组织持续成长的缘故。

气体压强关系的解释可以依据式(1)克拉伯龙方程^[8]:

$$PV=nRT \quad (1)$$

式中: P 为气体压强; V 为气体体积; n 为物质的量; R 为气体常数; T 为热力学温度。即在等真空度过程中回流区真空抽压相对于保温区的温度更高,产生等量气体的体积与温度呈正比关系,较高峰值温度下气泡的体积会随之增大以维持压强平衡。具有相同物质的量的气泡在等温过程中体积与压强呈反比关系,当腔体抽压至较低真空度时产生的气泡越大。进一步说明处于峰值温度时,完全熔融的BGA焊球经真空抽压后气泡从焊点内部排出的过程,极易导致熔融焊料产生流淌趋势,造成焊点桥连等缺陷。

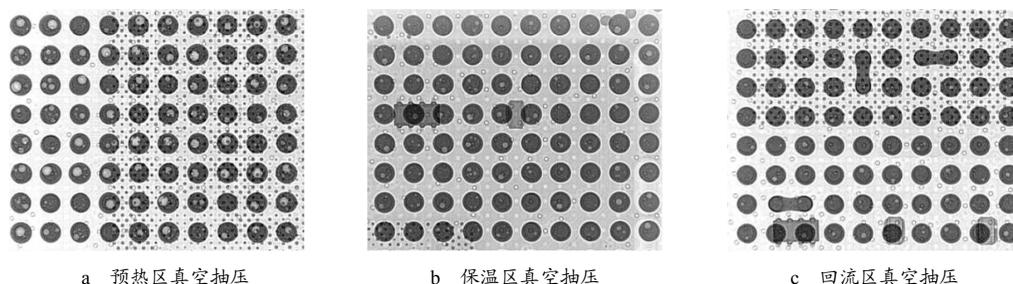


图5 BGA焊点X射线检验图

4.5 真空度优化检测结果

基于上述分析结果,将保温区真空度设置为50mbar时对比不同真空度下焊点的空洞现象。由图6

可知,优化后真空汽相焊接工艺的温度实测曲线具有217.4℃的峰值温度,可实现BGA焊点良好的焊接质量。检查焊点形貌时,BGA焊点边界圆润光滑,微观

组织尺寸细小且均匀, 呈现最佳的焊料状态。根据 X 射线检验结果可知, 仅在 BGA 的部分焊点中观察到小尺寸气泡的存在, 实现了较低的焊点空洞率为 0.9%,

焊点空洞现象得到了进一步改善。由图 7 可知, BGA 焊点在保温区真空抽压提升了焊点的润湿效果, 其中 Sn 和 Pb 元素分布均匀, 实现良好的焊接效果。

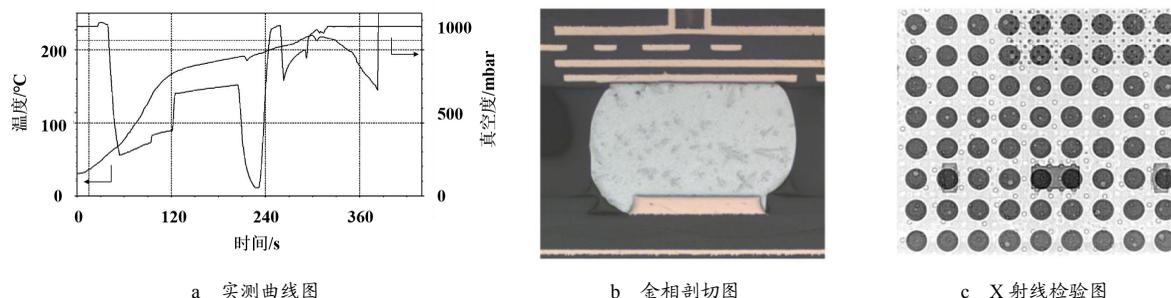


图 6 保温区真空度 50mbar 焊接效果图

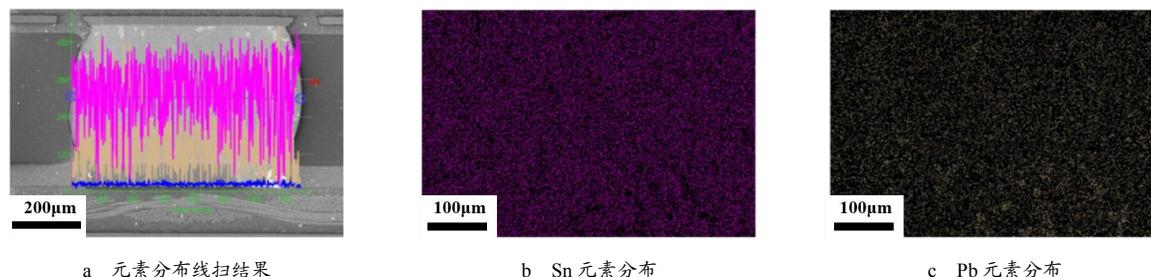


图 7 BGA 焊点微观组织分布图

5 结束语

本文对真空汽相焊接技术升温速率的演变规律和阶段性真空抽压的作用机制进行研究, 掌握了一种适用于有铅 BGA 器件低空洞焊接的工艺方法。通过实测 BGA 器件的焊接曲线, 检验焊点质量以及分析微观组织, 在保温区真空抽压至 50mbar 的工艺方案在实际测试中获得了良好的焊点形貌, 温和且线性的升温速率、较低的焊点空洞率以及均匀的微观组织, 为航天电子产品的实际生产提供了一种有效方案。

参考文献

- 1 Peng Chitang, Liu Changmiu, Lin Jicheng, et al. Reliability and design for the fine-pitch flip chip BGA packaging[J]. IEEE Transactions on Components and Packing Technology, 2004(4): 684~693
- 2 徐伟玲, 杨晶, 李佳宾. 航天器上无铅 BGA 器件焊接工艺研究[J]. 航天制造技术, 2011(5): 39~41
- 3 Abas A, Ishak M, Abdullah M Z, et al. Lattice Boltzmann method study of BGA bump arrangements on void formation[J]. Microelectronics Reliability, 2011(56): 170~181
- 4 张永忠. 无铅 PBGA 用含铅焊膏焊接的工艺研究[J]. 航天制造技术, 2008(1): 25~28
- 5 林伟成. 用真空再流焊实现 BGA 的无铅无空洞焊接[J]. 电子工艺技术, 2008(6): 324~327
- 6 王文利, 梁永生. BGA 空洞形成的机理及对焊点可靠性的影响[J]. 电子工艺技术, 2007(3): 157~159
- 7 王会芬, 谢晓峰, 吴金昌. BGA 焊点气泡的分布与原因探讨[J]. 电子工艺技术, 2013(2): 96~99
- 8 张艳鹏, 王威, 王玉龙, 等. 回流焊峰值温度对混装 BGA 焊点的影响研究[J]. 电子元件与材料, 2020(5): 86~8