SAC305 无铅 BGA 凸点回流工艺研究

程翰林 ^a, 刘聪 ^a, 明忠正 ^a, 高颢洋 ^a, 夏大权 ^a, 甘贵生 ^{a,b}

(重庆理工大学 a. 材料科学与工程学院; b. 特种焊接材料与技术重庆市高校工程研究中心,重庆400054)

摘要:目的 优化不同直径的 SAC305 无铅 BGA 凸点回流曲线。方法 通过力学性能测试得到优化前后不同 直径凸点的剪切强度,对其进行方差分析;通过切片制样,对比优化前后不同直径凸点的显微组织变化。 结果 Φ0.3~0.6 mm 凸点的回流曲线峰值温度均稳定在 265 ℃最佳,时间维持 65 s 最宜。当 Φ0.3~0.6 mm 凸 点的回流曲线保温区时间分别延长 10,10,16,22 s 后,凸点的缺陷明显减少,剪切强度的平均值较原曲线分 别减少了 14.3,12.17,8.22,5.7 MPa,剪切强度有 8%~17%的降低,剪切强度的离散程度有 30%~60%的减少。 结论 优化后,凸点的缺陷显著减少,剪切强度略有下降,但凸点一致性得到了明显的提升。

关键词:SAC305;剪切强度;显微组织;方差分析

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2019.01.014

中图分类号:TG454 文献标识码:A 文章编号:1674-6457(2019)01-0086-07

Reflow Soldering on SAC305 Lead-Free BGA Bump

CHENG Han-lin^a, LIU Cong^a, MING Zhong-zheng^a, GAO Hao-yang^a, XIA Da-quan^a, GAN Gui-sheng^{a,b} (a. School of Materials Science and Engineering, b. Chongqing University Engineering Research Center for Special Welding Materials and Technology, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)

ABSTRACT: The work aims to optimize the reflow soldering process of SAC305 lead-free BGA ball with different diameters. The shear strength of bumps with different diameters before and after optimization was obtained by mechanical property test, and the variance analysis was carried out. The microstructure changes of bumps with different diameters before and after optimization were compared by slice preparation. The peak temperature of the reflow curve of $\Phi 0.3 \sim 0.6$ mm bumps was stable at 265 °C, and the time was maintained at 65 s. When the reflow curve of $\Phi 0.3 \sim 0.6$ mm bumps was extended by 10, 10, 16, 22 s respectively, the defects of solder bump were reduced significantly, the average shear strength decreased by 14.3, 12.17, 8.22, 5.7 MPa compared with the original curve, the shear strength was reduced by 8%~17% and the dispersion of shear strength was reduced by 30%~60%. After optimization, the bump defects are reduced obviously, the shear strength of the solder bump decreases slightly, but the consistency is improved significantly.

KEY WORDS: SAC305; shear strength analysis; microstructures; analysis of variance

随着人们环保意识不断提高, 钎料的无铅化逐渐 普及, SAC305 无铅钎料作为当今的主流钎料被广泛 应用^[1-3]。钎料的回流曲线对焊接质量有着十分重要 的影响, 很多学者对 SAC305 无铅钎料的回流曲线及 焊点性能进行了广泛的研究^[4—11]。随着封装密度的提高^[12—13],焊点尺寸的变小,对于其回流工艺的要求 也更为严格。林伟成^[14]、Sharma^[15]就真空、锡膏等 因素对 BGA 焊点性能的影响进行了研究,但对回流

收稿日期: 2018-12-03

基金项目:重庆理工大学 2018 科研立项(KLA18001); 2018 年大学生创新创业训练计划项目立项(2018CX024)

作者简介:程翰林(1997—),男,焊接技术与工程专业本科生。

通讯作者: 甘贵生(1982—), 男, 副教授, 主要研究方向为电子微连接材料与技术。

曲线受锡球尺寸影响的研究较少,因此,文中选取不同直径的 SAC305 无铅 BGA 锡球进行回流,通过性能测试,优化获得理想的工艺曲线。

1 实验方法

制作的 FR4 电路板见图 1,每块 PCB 板有焊盘 25 个,板厚为 1.653 mm,焊盘直径分别为 0.22, 0.30, 0.375, 0.45 mm,焊盘铜金属层厚度为 41.2~41.7 μm, 阻焊层厚度为 19.6 μm,焊盘圆心间距为 1 mm。



图 1 PCB 尺寸及凸点分布 Fig.1 PCB size and bump distribution

用棉签蘸取质量分数为 10%的 HCl 在焊盘表面 涂抹均匀,依次用乙醇及蒸馏水冲洗后吹干。使用针 筒吸取 4 mL 的松香型助焊膏均匀涂覆在焊盘上,分 别取 25 颗 Φ0.3~0.6 mm 的 SAC305 BGA 锡球植于焊

盘,采用 T200N+无铅回流焊机进行回流。焊接完毕 后,当 PCB 板温度冷却到 100 ℃及以下取出,至室 温后放入洗板水中浸泡、清洗、烘干待用。利用金相 显微镜对凸点的显微组织进行分析。采用 FTR-1102 结合强度测试仪按照图 2 所示剪切方向(图中箭头方 向)进行凸点的剪切强度测试。凸点剪切强度通过公 式 *σ=F/S* 求得,其中 *F* 为凸点剪切力,*S* 为焊盘面积。



图 2 凸点剪切方向(箭头方向) Fig.2 Bump shear direction (arrow direction)

2 不同回流曲线下凸点性能分析

2.1 初始回流曲线及凸点性能

不同直径 BGA 凸点回流曲线见图 3, 整个焊接 曲线分为升温区(50~148 ℃)、保温区(148~170 ℃)、 快速升温区(170~217 ℃)、焊接区(217~265~217 ℃) 和冷却区(217 ℃~常温)。当凸点在保温区预热时,



Fig.3 Flow curves of BGA bump with different diameters

凸点吸收的热量随着直径的增大而增多,所以 Φ0.4~0.6 mm 回流曲线中保温区的时间也随着直径 依次增加,Φ0.3 mm 和Φ0.4 mm 保温区时间同为 86 s,Φ0.5 mm 和Φ0.6 mm 的保温区时间分别为 96 s 和 106 s。焊接区时间为 64~65 s,Φ0.3~0.5 mm 其最 高温度都依次增加 1 °C,分别为 263, 264, 265 °C。

回流后凸点的显微组织见图 4。凸点主要由焊料的基体组织、金属间化合物层以及铜焊盘组成。凸点总体完整,但凸点局部仍存在着或大或小的黑色斑点,这斑点是焊接过程中产生的气孔缺陷。尺寸为 0.3 mm 和 0.6 mm 的凸点中几乎没有气孔,而直径为 0.4 mm 和 0.5 mm 的凸点中明显存在着气孔。气

孔的存在会降低凸点的剪切强度以及后期服役过程 的可靠性,因此有必要进一步调整回流曲线以减少 气孔。

根据力学性能测试,进行数据分析后得到剪切强 度分布和平均值曲线见图 5,各尺寸的 BGA 凸点剪 切强度方差见图 6。 Φ0.3, Φ0.4, Φ0.5, Φ0.6 mm 凸点剪 切强度的平均值分别为 85.98, 79.73, 71.36, 67.09 MPa, Φ0.3 和 Φ0.4 mm、Φ0.4 和 Φ0.5 mm、Φ0.5 和 Φ0.6 mm 凸点的剪切强度平均值两两比较后发现,剪切强度平 均值随直径的增大依次减小 7.3%, 8.37%, 5.98%,但 是各个凸点的剪切强度均远大于无铅凸点的力学性 能要求。根据图 6 的方差分析来看, Φ0.3~0.6 mm 的





图 5 不同直径 BGA 凸点剪切强度 Fig.5 Shear strength of BGA bump with different diameters





方差值分别为 9.03, 6.52, 4.28, 4.89, Φ0.3~0.4 mm 的 凸点剪切强度较为离散,Φ0.5~0.6 mm 的相对较为集 中。整体来看,原始曲线凸点的剪切强度方差值都相 对偏大,凸点的剪切强度波动较大,一致性较差。

2.2 回流曲线的优化及其凸点性能

综合凸点显微组织、力学性能及其方差分析发现,原始回流曲线都存在明显不足,需要进一步优

化。优化后的回流曲线见图 7,可以发现 Φ0.3 mm 和 Φ0.4 mm 保温区时间同为 96 s, Φ0.5 mm 和 Φ0.6 mm 保温区时间分别为 112 s 和 128 s, Φ0.4 mm 在焊接区的时间增加 1 s 来提供更多的热量;随着 BGA 凸点直径的增加,其保温区的时间会越长,这 便有利于助焊剂和凸点的充分预热。在焊接区中,凸 点峰值温度均保持在 265 ℃最佳,焊接区时间基本维 持在 65 s 最宜。

回流曲线优化后的凸点显微组织见图 8。优化后 各凸点的金相显微组织较为完整、美观,各直径的凸 点中基本没有气孔,凸点整体清晰平整,表明优化后 的凸点内部缺陷减少甚至消失。

优化后凸点剪切强度散点图以及平均值见图 9, 方差分析见图 10。可以发现,优化后 Φ0.3~0.6 mm 曲线的剪切强度平均值分别为 71.68, 67.56, 63.14, 61.39 MPa,Φ0.3 和Φ0.4 mm、Φ0.4 和Φ0.5 mm、Φ0.5 和Φ0.6 mm 凸点的剪切强度平均值两两比较后,其 剪切强度平均值随直径的增大依次减小 5.75%, 6.50%, 2.77%,但仍能满足使用要求。优化曲线后的 Φ0.3~0.6 mm 凸点剪切强度方差值分别为 4.68, 2.61, 2.73, 1.99,所有方差值均小于 5,离散程度较小,所 以凸点的一致性更好。



图 7 不同直径 BGA 凸点回流优化曲线 Fig.7 Optimized reflow curve of BGA bump with different diameters







图 10 回流曲线优化后凸点剪切强度的方差 Fig.10 Variance of bump shear strength after optimization of reflow profile

2.3 优化回流曲线及凸点性能分析

优化前后凸点回流曲线对比见图 11,其中黑色 曲线为优化前曲线,红色曲线为优化后曲线。升温区、 快速升温区及冷却区的时间前后保持一致;优化后, Φ0.3 mm 和 Φ0.4 mm 焊接区的温度相应增加 2 ℃和1 ℃,峰值温度均保持在 265 ℃最佳;调整后 <math>Φ0.3 mm和 Φ0.4 mm 保温区时间均延长了 10 s, Φ0.5 mm 和<math>Φ0.6 mm 保温区时间分别延长 16 s 和 22 s.

优化前后凸点剪切强度对比见图 12,黑色柱为 原始剪切强度平均值和方差,红色柱为优化后剪切强 度平均值和方差。根据剪切强度平均值对比和方差对 比可以发现,各直径的凸点优化后的剪切强度平均值 较原始曲线分别减少了 14.3,12.17,8.22,5.7 MPa,减 少幅度分别为 16.63%, 15.26%, 11.52%, 8.5%, 而在方 差值上前后有 30%~60%的减少。对比优化前后的剪 切强度及其方差,表明优化后凸点剪切强度有所下降,但凸点的一致性却明显提高。



图 11 优化前后凸点回流曲线对比 Fig.11 Comparison of bump reflow curves before and after optimization



图 12 优化前后凸点剪切强度对比 Fig.12 Comparison of bump shear strength before and after optimization

3 结论

1)初次回流发现, **Φ**0.3 mm 和 **Φ**0.4 mm 的回流 工艺曲线保温区时间同为 86 s, **Φ**0.5 mm 和 **Φ**0.6 mm 分别为 96 s 和 10 6s, **Φ**0.4~0.6 mm 凸点的峰值温度 依次增加1℃,焊接时间为64~65 s;凸点的金相界 面完整,但存在气孔; Φ0.3 和 Φ0.4 mm、Φ0.4 和 Φ0.5 mm、Φ0.5 和 Φ0.6 mm 凸点的剪切强度平均值 两两比较后,凸点的剪切强度平均值随直径的增大分 别减少 7.3%, 8.37%, 5.98%, Φ0.3~0.6 mm 的方差值 分别为 9.03, 6.52, 4.28, 4.89, 可发现凸点的剪切强度 波动较大,凸点的一致性较差。

2) 优化后, ϕ 0.3 mm 和 ϕ 0.4 mm 的回流工艺曲 线保温区时间同为 96 s, ϕ 0.5 mm 和 ϕ 0.6 mm 分别 为 112 s 和 128 s, 峰值温度基本保持为 265 °C最佳; 凸点几乎不存在缺陷,其可靠性较好;线的剪切强 度平均值分别为 71.68, 67.56, 63.14, 61.39 MPa, ϕ 0.3 和 ϕ 0.4 mm、 ϕ 0.4 和 ϕ 0.5 mm、 ϕ 0.5 和 ϕ 0.6 mm 凸点的剪切强度平均值两两对比后,其凸点的剪切强 度平均值依次减小了 5.75%, 6.50%, 2.77%; ϕ 0.3~ 0.6 mm 凸点的剪切强度方差值分别为 4.68, 2.61, 2.73, 1.99,所有方差值均小于 5,离散程度较小,所以凸 点的一致性较好。

3)当优化后的 Φ0.3~0.6 mm 凸点回流曲线保温 区时间较初次依次增加 10, 10, 16, 22 s, 各凸点峰值 温度与时间稳定在 265 ℃和 65 s; 优化后各直径凸点 剪切强度的平均值较原曲线分别减少了 14.3, 12.17, 8.22, 5.7 MPa, 且波动较小。综合表明, 优化后凸点 的力学性能略微下降, 但仍能满足实际生产要求, 而 且大幅度提高了凸点的一致性。

参考文献:

- 沈骏, 刘永长, 张培珍, 等. 无铅焊料研究现状与发展 展望[J]. 功能材料, 2004, 35(4): 403—406.
 SHEN Jun, LIU Yong-chang, ZHANG Pei-zhen, et al. Progress of the Lead-free Solder[J]. Journal of Functional Materials, 2004, 35(4): 403—406.
- [2] 张宇鹏,万忠华,许磊,等.元素掺杂的低银 SAC 无铅 钎料综合性能研究[J].材料工程,2010,38(10): 100—104.

ZHANG Yu-peng, WAN Zhong-hua, XU Lei, et al. Study on Properties of Low-silver Lead-free Solder Alloys with Alloy Element Doping[J]. Material Engineering, 2010, 38(10): 100—104.

- [3] 甘贵生, 杜长华, 甘树德. 电子微连接高温无铅钎料的研究进展[J]. 功能材料, 2013, 44(S1): 28—35.
 GAN Gui-sheng, DU Chang-hua, GAN Shu-de. Development of High-temperature Lead-free Solder in Electronic Micro-connection[J]. Journal of Functional Materials, 2013, 44(S1): 28—35.
- [4] 万忠华. 低银 Sn-Ag 系无铅钎料的研究[D]. 广州: 华南 理工大学, 2011.

WAN Zhong-hua. Investigations on Low Ag Content Sn-Ag-Cu Lead-free Solder Alloys[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011.

- [5] FAO F, ASHIKAGA H, TAKEOUT T, et al. Mechanical Properties Versus Temperature Relation of Individual Phases in Sn-3.0Ag-0.5Cu Lead-free Solder Alloy[J]. Microelectronics Reliability, 2015, 49(3): 296–302.
- [6] CHANTEUSE S, TSONGKHAPA P, LOOPHOLE T. Influence of Indium and Antimony Additions on Mechanical Properties and Micro structure of Sn-3.0Ag-0.5Cu Lead Free Solder Alloys[J]. Solid State Phenomena, 2017, 266: 196—200.
- [7] BIN B, BHANG X P, CHOU M B, et al. Geometry Effect on Mechanical Performance and Fracture Behavior of Micro-scale Ball Grid Array Structure Cu/Sn-3.0Ag-0.5Cu/Cu Solder Joints[J]. Microelectronics Reliability, 2015, 55(8): 1214—1225.
- [8] PYLAND J, PUCHA R, SITARAMAN S. Effect of Underfill on BGA Reliability[C]. International Symposium on Advanced Packaging Materials: Processes, Properties & Interfaces, IEEE, 2001.
- [9] OT_iHAL A, ADAM M, JANA V, et al. Investigation of the Mechanical Properties of Lead-Free Solder Materials[J]. Key Engineering Materials, 2014, 592/593: 453–456.
- [10] ZOU C D, GAO Y L, YANG B, et al. Nanoparticles of the Lead-free Solder Alloy Sn-3.0Ag-0.5Cu with Large Melting Temperature Depression[J]. Journal of Electronic Materials, 2009, 38(2): 351—355.
- [11] 陈丽丽,李思阳,赵金林. BGA 焊点可靠性研究综述[J]. 电子质量, 2012(9): 22—27. CHEN Li-li, LI Si-yang, ZHAO Jin-lin. Review of Reliability of BGA Solder Joints[J]. Electronics Quality, 2012(9): 22—27
- [12] JINYIM M, YILI, KYOUNG-SIKMOON, et al. Review of Recent Advances in Electrically Conductive Adhesive Materials and Technologies in Electronic Packaging[J]. Journal of Adhesion Science and Technology, 2008, 22(14): 38.
- [13] 傅岳鹏, 谭凯, 田民波. 电子封装技术的新进展[J]. 半导体技术, 2009, 34(2): 113—118.
 FU Yue-peng, TAN Kai, TIAN Min-bo. Recent Development of Electronic Packaging Technology[J]. Semiconductor Technology, 2009, 34(2): 113—118.
- [14] 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.
 LIN Wei-cheng. Void-free and Lead-free Soldering of BGA With Vacuum Reflow Soldering[J]. Electronics Process Technology, 2008(6): 324—327.
- [15] SHARMA A, JANG Y J, KIM J B, et al. Thermal Cycling, Shear and Insulating Characteristics of Epoxy Embedded Sn-3.0Ag-0.5Cu (SAC305) Solder Paste for Automotive Applications[J]. Journal of Alloys & Compounds, 2017, 704: 795–803.