

现代电子装联工艺技术丛书



# 现代电子装联 再流焊接技术

樊融融 编著

再流焊接作为SMT流程中的一个关键性工序，对电子产品组装质量的影响是举足轻重的。

本书在深入分析驱动再流焊接技术不断发展和完善的动力基础上，全面而系统地介绍了再流焊接设备的构成特点及未来的发展走向。同时也探讨了其工艺技术的研究方向、再流焊接质量控制的方法和要求，以及对实际应用中可能出现的各种缺陷的形成机理和抑制对策也作了全面的介绍。

现代电子装联工艺技术丛书

# 现代电子装联再流焊接技术

樊融融 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

再流焊接作为 SMT 流程中的一个关键性工序,对电子产品组装质量的影响是举足轻重的。

本书在深入分析驱动再流焊接技术不断发展和完善的动力基础上,全面、系统地介绍了再流焊接设备的构成特点及未来的发展走向,同时也探讨了其应用工艺技术的研究方向和内容、再流焊接质量控制方法和要求,对应用中可能出现的各种缺陷的形成机理和抑制对策也做了全面的介绍。

撰写本书的目的,是为从事再流焊接设备的设计工程师们提供一本如何最大限度地满足用户要求的参考性读物,为从事再流焊接工艺应用的工程师们提供一本工艺实践指南。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代电子装联再流焊接技术 / 樊融融编著. —北京:电子工业出版社, 2009.9

(现代电子装联工艺技术丛书)

ISBN 978-7-121-09249-7

I. 现… II. 樊… III. 电子产品—组装—焊接—技术 IV. TN05 TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 116921 号

策划编辑:李 洁

责任编辑:贾晓峰

印 刷:北京市海淀区四季青印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:15 字数:384 千字

印 次:2009 年 9 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线:(010) 88258888。

## 序

现代电子产品制造是连接现代电子产品设计和市场营销之间的桥梁，任何一种先进的产品设计，均需经过产品制造这一环节，变成设计所赋予的全部功能的产品实体后，再通过市场营销手段转变为社会商品。显然产品制造是一个企业生产实践活动的核心，是企业赢取利润的重要环节。

随着芯片封装技术多功能化和微小型化日新月异地发展，现代电子产品制造技术已与传统电子产品制造技术有了很大的不同，这种不同就在于前者中的板级电子装联部分愈来愈占据主导地位，它成了决定现代电子产品制造质量好坏和制造可靠性高低的基础。

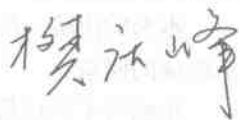
现代电子装联工艺技术，是研究如何以最优化的工艺流程，最适宜的工艺技术手段，力求以最低的成本，最少的人力、物力消耗，以最快的时间来响应市场的需求，向社会提供制造质量好、可靠性高的现代化的电子产品的一门技术。因此可以说：产品的高质量、低成本既是设计出来的，更是制造出来的。

产品制造中的高质量、低成本策略的实施，要以人为本。造就一批既精通现代电子装联技术理论，又有丰富实践经验的现代电子装联工艺工程师群体，是企业工艺文化的核心，是市场竞争的需求，也是企业产品不断发展与创新的需要。

笔者根据现代电子产品生产实际的需要，撰写了这套“现代电子装联工艺技术丛书”，目的是让电子装联工艺工程师们，在面对现代电子产品生产制造过程中的问题时，不仅知道如何去处理，还要知道为什么要这样处理。

期待这套书的出版，能对国内从事现代电子装联工艺工程师们的工作有所助益。

中兴通讯股份有限公司执行副总裁



## 前 言

随着 PCB 安装方式由传统的穿孔插入安装 (THT) 方式迅速向表面安装 (SMT) 方式转变, 再流焊接技术也正在迅速发展成为现代电子设备自动化软钎接 (以下均简称焊接) 的主流技术之一。

再流焊接技术的本质是: 通过加热将覆有焊膏区域内的球形粉粒状钎料熔化、聚集, 并利用表面吸附作用和毛细作用将其填充到焊缝中而实现冶金连接的工艺过程。随着 SMT 的迅猛发展, 再流焊接技术正逐渐取代 THT 时代的波峰焊接技术, 进而成为高档电子产品板级组装互连中的关键性技术。尽管 SMT 的大量普及应用还是 20 世纪 80 年代末才开始的事, 然而再流焊接设备在电子生产行业的拥有量, 已超过了波峰焊接设备的拥有量。例如, 2004 年日本“阿尔派 (株)” 下属的从事电子组装、测试的 OEM 子公司“大仓阿尔派株式会社” 配备的再流焊接设备与波峰焊接设备的比率当时就达到了 16:1。国内一些大型电子设备生产公司, 其比率也基本上达到了 (3~5):1 的水平。由此可知, 再流焊接技术的发展速度是惊人的。

从应用角度看, 现代电子组装焊接技术是由焊接设备技术、焊接工艺技术两大领域共同构成的。它们作为整个系统的硬件和软件, 是共同决定着电子组装焊接技术发展的两个轮子, 只有两大体系相互关联、相互促进, 才能同步地推进现代电子组装焊接技术的不断发展和完善。从整体水平评价, 目前国内在这两个领域的现状是: 前者核心技术水平低, 长期运行的可靠性差, 缺乏创新性; 而后者研究水平也是很粗放的。

本书在深入分析驱动再流焊接技术不断发展和完善的动力的基础上, 全面而系统地介绍了再流焊接设备的构成特点、设计要求及未来的发展走向; 同时也探讨了其应用工艺技术的研究方向和内容、再流焊接质量控制方法和要求, 对应用中可能出现的各种缺陷的形成机理和抑制对策也做了较全面的分析。

撰写本书的目的, 是为国内从事再流焊接设备设计的工程师们在自己的设计工作中, 如何最大限度地满足用户的应用要求; 为从事再流焊接工艺应用的工程师们提供一个实践指南。

本书的出版, 得到了中兴通讯股份有限公司执行副总裁樊庆峰先生的热情支持, 在此特表示深深的谢意。

在编写本书过程中也得到了中兴通讯股份有限公司高级顾问马庆魁先生、工艺技术部部长冯力博士、部件生产部部长钱国民先生及工艺专家贾忠中先生的关心和支持。基础工艺科科长刘哲高级工程师及我的技术助手邱华盛、孙磊、钟宏基、曾福林等高级工程师校阅了书稿, 在此也向他们表示衷心的感谢。

由于时间仓促, 作者水平有限, 书中错误难免, 敬请广大读者批评指正。

编著者

2009 年 4 月于中兴通讯股份有限公司

# 目 录

第 1 章 再流焊接技术概论	(1)
1.1 定义和特征	(1)
1.1.1 定义	(1)
1.1.2 特征	(1)
1.2 再流焊接的基本工艺过程	(3)
1.2.1 再流焊接的基本工艺过程与设备配置	(3)
1.2.2 关键工序简介	(4)
1.3 再流焊接设备概述	(6)
1.3.1 对再流焊接设备的基本要求	(6)
1.3.2 再流焊接法的演变及其特点	(6)
1.3.3 再流焊接炉的炉型结构	(11)
1.4 再流焊接炉的设计参数	(16)
1.4.1 热转换效率	(16)
1.4.2 供氮系统	(17)
1.4.3 助焊剂挥发物的管理	(17)
1.4.4 能源效率	(18)
1.4.5 传送系统	(18)
1.4.6 无铅再流焊接温度曲线	(18)
1.4.7 热传导	(18)
1.4.8 炉温调控能力	(19)
1.5 如何评价再流焊接设备的性能	(19)
1.5.1 再流焊接炉性能表征	(19)
1.5.2 对再流焊接设备的质量要求	(20)
1.5.3 测试要求	(20)
1.5.4 测试方法	(21)
1.5.5 焊接炉温度变化曲线	(21)
1.5.6 再流焊接炉的性能测试和评估举例	(21)
第 2 章 现代再流焊接设备技术的发展	(26)
2.1 现代再流焊接设备技术发展的驱动力	(26)
2.1.1 无铅应用推动了再流焊接技术的进步	(26)
2.1.2 市场对电子产品微小化需求日益高涨的驱动	(26)
2.2 无铅再流焊接对再流焊接炉的适用性要求	(27)
2.2.1 无铅再流焊接需要研究解决的问题	(27)
2.2.2 无铅再流焊接的技术特点	(28)
2.2.3 无铅再流焊接设备技术面临的挑战	(30)

2.3	元器件封装的高密度化对再流焊接设备的要求 .....	(35)
2.3.1	元器件封装的高密度化带来的问题 .....	(35)
2.3.2	元器件封装的高密度化对再流焊接炉的要求 .....	(36)
2.4	过程监控和工艺 .....	(43)
2.4.1	自动过程监测 .....	(43)
2.4.2	再流炉内的氧气浓度控制 .....	(43)
2.4.3	双面再流焊接 .....	(44)
2.4.4	柔性基板 .....	(44)
2.4.5	设备运行的可靠性 .....	(44)
2.4.6	水平强制热风对流焊接设备 .....	(44)
2.5	气相再流焊接(VPS)将东山再起 .....	(46)
2.5.1	气相再流焊接原理及应用 .....	(46)
2.5.2	气相再流焊接的优点 .....	(47)
<b>第3章</b>	<b>再流焊接设备加热方式的传热效率及对BGA的适用性 .....</b>	<b>(48)</b>
3.1	再流焊接设备加热技术的发展 .....	(48)
3.1.1	工程应用中基本的热量传递方式 .....	(48)
3.1.2	再流焊接炉常见的加热方式及特征 .....	(48)
3.2	再流炉加热方式的加热机理及应用效果 .....	(51)
3.2.1	对流(热风)加热 .....	(51)
3.2.2	红外线(IR)辐射加热 .....	(52)
3.2.3	热风加热和红外线加热的比较 .....	(55)
3.3	适合 $\mu$ BGA、CSP再流焊接的加热方式及效果评估 .....	(57)
3.3.1	问题的提出 .....	(57)
3.3.2	BGA封装形式对再流焊接效果的影响 .....	(57)
3.3.3	适合 $\mu$ BGA、CSP再流焊接加热方式的效果评估(一) .....	(60)
3.3.4	适合 $\mu$ BGA、CSP再流焊接加热方式的效果评估(二) .....	(63)
3.3.5	“IR+热风”复合加热方式的应用工艺性 .....	(67)
<b>第4章</b>	<b>再流焊接用焊膏 .....</b>	<b>(68)</b>
4.1	概述 .....	(68)
4.1.1	定义和特性 .....	(68)
4.2	焊膏中常用的钎料合金成分及特性 .....	(68)
4.2.1	焊膏中常用的钎料合金成分 .....	(68)
4.2.2	焊膏中常用的钎料合金的特性 .....	(70)
4.3	焊膏中的糊状助焊剂 .....	(72)
4.3.1	焊膏中糊状助焊剂的组成及其要求 .....	(72)
4.3.2	糊状助焊剂各组成部分的作用及作用机理 .....	(73)
4.3.3	黏合剂 .....	(77)
4.3.4	触变剂 .....	(77)
4.3.5	溶剂 .....	(78)

4.4	焊膏的应用特性 .....	(78)
4.4.1	焊膏的应用特性 .....	(78)
4.4.2	焊膏组成及特性对应用特性的影响 .....	(78)
4.4.3	无铅焊膏应用的工艺性问题 .....	(79)
4.5	如何选择和评估焊膏 .....	(80)
4.5.1	选用焊膏时应注意的问题 .....	(80)
4.5.2	如何评估焊膏 .....	(80)
4.6	一种新概念焊膏——失活焊膏介绍 .....	(81)
4.6.1	基本概念 .....	(81)
4.6.2	“失活焊膏”的特性 .....	(82)
<b>第5章</b>	<b>PCBA 组装设计再流焊接的 DFM 要求 .....</b>	<b>(85)</b>
5.1	PCBA 再流焊接 DFM 要求对产品生产质量的意义 .....	(85)
5.1.1	概述 .....	(85)
5.1.2	DFM 是贯彻执行相关产品焊接质量标准的前提 .....	(85)
5.2	对电子产品的分类及组装的质量等级和要求 .....	(86)
5.2.1	电子产品的性能等级 .....	(86)
5.2.2	电子产品的最终使用类型 .....	(86)
5.2.3	电子产品的可生产性级别 .....	(86)
5.2.4	电子产品的组装类型 .....	(87)
5.3	SMT 的一般应用性问题 .....	(88)
5.3.1	选用 SMT 的原则 .....	(88)
5.3.2	元器件间隔 .....	(88)
5.3.3	单面板与双面板的比较 .....	(89)
5.3.4	焊膏模板设计 .....	(89)
5.3.5	用于清洁的元器件离板高度 .....	(89)
5.3.6	基准点标记 .....	(90)
5.4	布线设计的工艺性要求 .....	(92)
5.4.1	基本要求 .....	(92)
5.4.2	导线宽度与空隙 .....	(92)
5.4.3	表面导线 .....	(93)
5.4.4	内层导线 .....	(93)
5.5	再流焊接对 PCB 焊盘设计的要求 .....	(94)
5.5.1	焊盘设计的工艺性要求 .....	(94)
5.5.2	焊盘、导线、导通孔的连接 .....	(94)
5.5.3	图形的掩膜 .....	(94)
5.5.4	安装焊盘设计示例 .....	(95)
5.5.5	采用拼板结构时应注意的问题 .....	(97)
5.6	PCBA 安装设计的工艺性要求 .....	(98)
5.6.1	元器件布置 .....	(98)



5.6.2	元器件选型及其形状、尺寸和间距 .....	(98)
5.6.3	安装空间要求及制造要求 .....	(99)
5.7	球栅列阵 (BGA) 与芯片级封装 (CSP) 的安装设计 .....	(99)
5.7.1	球栅列阵 BGA 的封装结构参数 .....	(99)
5.7.2	采用 BGA 的 PCB 设计的工艺性 .....	(100)
<b>第 6 章</b>	<b>SMT 再流焊接焊点的可靠性工艺设计 .....</b>	<b>(104)</b>
6.1	THT 和 SMT 焊点结构的差异 .....	(104)
6.2	再流焊接接合部可靠性“工艺设计”概述 .....	(106)
6.2.1	接合部可靠性工艺设计目的和任务 .....	(106)
6.2.2	焊接接合部可靠性工艺设计的定义和内容 .....	(106)
6.3	片式元器件再流焊接接合部可靠性工艺设计及举例 .....	(108)
6.3.1	片式元器件焊点可靠性的工艺设计 .....	(108)
6.3.2	片式元器件焊点可靠性工艺设计举例 .....	(115)
6.4	QFP 再流焊接接合部可靠性工艺设计及举例 .....	(118)
6.4.1	QFP 接合部可靠性的工艺设计 .....	(118)
6.4.2	QFP 接合部可靠性的工艺设计举例 .....	(121)
6.5	BGA、CSP 再流焊接接合部可靠性工艺设计 .....	(124)
6.5.1	可靠性设计 (确定必要的钎料量) .....	(124)
6.5.2	焊盘设计 .....	(126)
6.5.3	印刷钢网开口尺寸的确定 .....	(128)
<b>第 7 章</b>	<b>再流焊接冶金学基础及再流焊接的物理、化学过程 .....</b>	<b>(129)</b>
7.1	再流焊接冶金学基础 .....	(129)
7.1.1	钎料的润湿作用 .....	(129)
7.1.2	扩散 .....	(132)
7.2	再流焊接工艺过程的描述 .....	(135)
7.3	焊接接合界面的金属状态 .....	(136)
7.3.1	焊接接合界面层的金属组织 .....	(136)
7.3.2	合金层 (金属间化合物) 的形成 .....	(138)
7.3.3	毛细现象 .....	(143)
7.3.4	界面层的结晶和凝固 .....	(143)
7.4	BGA、CSP 再流过程中典型的物化过程 .....	(144)
7.4.1	BGA、CSP 再流过程中典型的物化过程 .....	(144)
7.4.2	BGA、CSP 元器件在再流焊接中的沉降现象 .....	(144)
7.4.3	BGA、CSP 再流焊接温度控制的重要性 .....	(145)
<b>第 8 章</b>	<b>再流焊接工艺窗口设计及工艺过程控制 .....</b>	<b>(146)</b>
8.1	再流焊接工艺要素分析 .....	(146)
8.1.1	焊前应确认的调节条件及检查项目 .....	(146)
8.1.2	SMT 组装工艺影响因素 .....	(146)
8.2	再流焊接温度曲线 .....	(147)

8.2.1	再流焊接工艺过程中的温度特性 .....	(147)
8.2.2	再流焊接过程中影响温度曲线的因素 .....	(148)
8.2.3	正确设置再流温度曲线的意义 .....	(151)
8.2.4	如何设定再流温度曲线? .....	(151)
8.2.5	目前流行的再流温度曲线的类型 .....	(156)
8.3	再流焊接工艺窗口设计 .....	(158)
8.3.1	再流焊接工艺参数 .....	(158)
8.3.2	再流焊接工艺过程控制 .....	(160)
8.4	再流焊接中的其他相关问题 .....	(162)
8.4.1	使用惰性气体和还原性气体进行焊接 .....	(162)
8.4.2	双面 PCB 再流 .....	(163)
8.4.3	柔性基板的再流焊接问题 .....	(163)
第 9 章	异型元器件组装中的 PTH 孔再流焊接 (PIHR) .....	(164)
9.1	PTH 孔再流焊接简介 .....	(164)
9.1.1	概述 .....	(164)
9.1.2	PIHR 工艺的适应范围 .....	(164)
9.2	PTH 孔再流焊接 (PIHR) 接合部可靠性的工艺设计 .....	(165)
9.2.1	采用 PIHR 工艺时应考虑的因素 .....	(165)
9.2.2	影响 PIHR 接合部可靠性的因素 .....	(166)
9.2.3	对应焊膏体积的计算 .....	(167)
9.3	PCB 焊盘、元器件安装及网板设计 .....	(168)
9.3.1	PTH 孔与焊盘设计 .....	(168)
9.3.2	异形元器件在 PCB 上的安装设计 .....	(169)
9.3.3	网板设计 .....	(169)
9.4	PIHR 工艺焊膏施加方法 .....	(170)
9.4.1	网板印刷 .....	(170)
9.4.2	自动点焊膏 .....	(172)
9.4.3	预留钎料 .....	(172)
9.5	组件设计和组装问题 .....	(173)
9.5.1	组件设计 .....	(173)
9.5.2	组装问题 .....	(173)
9.5.3	质量标准和评估方法 .....	(174)
第 10 章	再流焊接常见缺陷及其抑制 .....	(175)
10.1	影响再流焊接成功率的因素 .....	(175)
10.1.1	再流焊接中的常见缺陷 .....	(175)
10.1.2	影响再流焊接成功率的因素 .....	(175)
10.2	常见的缺陷现象 .....	(178)
10.2.1	脱焊 .....	(178)
10.2.2	焊膏再流不完全 .....	(179)

10.2.3	不润湿和反润湿 .....	(179)
10.2.4	钎料小球 .....	(180)
10.2.5	“墓碑”现象 .....	(183)
10.2.6	“芯吸”现象 .....	(186)
10.2.7	“桥连”现象 .....	(187)
10.2.8	封装体起泡和开裂 .....	(187)
10.2.9	钎料残渣 .....	(188)
10.2.10	球状面阵列器件 (BGA、CSP) 钎料再流不完全 .....	(188)
10.2.11	元器件焊点破裂 .....	(188)
<b>第 11 章</b>	<b>再流焊接中的爆板、空洞和球窝现象 .....</b>	<b>(189)</b>
11.1	再流焊接中的爆板现象 .....	(189)
11.1.1	爆板的定义 .....	(189)
11.1.2	影响爆板的因素 .....	(189)
11.1.3	爆板发生的机理 .....	(193)
11.1.4	预防爆板的对策 .....	(195)
11.2	空洞现象 .....	(196)
11.2.1	空洞的分类和特征 .....	(196)
11.2.2	空洞的形成机理 .....	(197)
11.2.3	空洞的检验和控制 .....	(200)
11.2.4	空洞是问题吗? .....	(201)
11.3	球窝现象 .....	(202)
11.3.1	概述 .....	(202)
11.3.2	球窝现象的分类 .....	(202)
11.3.3	球窝现象发生机理的争议 .....	(203)
11.3.4	再流过程中与球窝相关的事件 .....	(204)
11.3.5	球窝发生的机理 .....	(206)
11.3.6	球窝现象的抑制措施 .....	(209)
<b>第 12 章</b>	<b>再流焊接质量控制及可接受性要求 .....</b>	<b>(210)</b>
12.1	再流焊接的质量控制 .....	(210)
12.1.1	现代高密度再流焊接技术特点 .....	(210)
12.1.2	要“零缺陷”不要 AQL .....	(211)
12.1.3	影响再流焊接焊点质量的因素 .....	(212)
12.2	如何评估再流焊接焊点的完整性 .....	(213)
12.2.1	评估焊点完整性的方法 (以 BGA 焊点为例) .....	(213)
12.2.2	BGA 元器件焊点检测中存在的问题 .....	(214)
12.2.3	BGA 元器件检测方式的探索 .....	(214)
12.2.4	两种常见的 BGA 焊点缺陷 .....	(216)
12.3	再流焊接焊点的可接受性条件 .....	(216)
12.3.1	PCBA 再流焊接质量控制标准 .....	(216)
12.3.2	再流焊点的可接受性要求 .....	(217)
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>(228)</b>

# 第1章 再流焊接技术概论

## 1.1 定义和特征

### 1.1.1 定义

再流焊接是通过加热将覆有焊膏区域内的球形粉粒状钎料熔化、聚集，并利用表面吸附作用和毛细作用将其填充到焊缝中而实现冶金连接的工艺过程。

随着 PCB 安装方法由传统的穿孔插入安装 (THT) 方式迅速向表面安装 (SMT) 方式转变，再流焊接法也正迅速发展成为现代电子设备自动化软钎接 (以下均简称焊接) 的主流技术之一。

### 1.1.2 特征

#### (1) 主要工艺流特征

再流焊接法的主要工艺特征是：先将膏状钎料印涂在 PCB 基板的焊盘区域，再将 SMC/SMD 搭载在膏状钎料上，并靠膏状钎料的黏性将其定位和固定。再加热使膏状钎料熔化，依靠重熔钎料自身的润湿力和表面张力将 SMC/SMD 的电极与焊盘熔合在一起，从而完成焊点的连接过程。其主要工艺流程如图 1.1 所示。

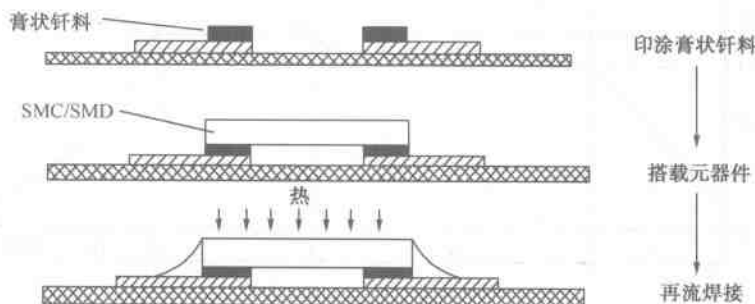


图 1.1 工艺流程

#### (2) 再流焊接的物理过程

当将焊膏置于一个加热的环境中时，焊膏再流分为 5 个阶段。

① 首先，用于调节所需黏度和印刷性能的溶剂开始蒸发，温度上升必须慢 (大约  $3^{\circ}\text{C}/\text{s}$ )，以限制沸腾和飞溅，防止形成小钎料珠。另外，一些元器件对内部应力比较敏感，如果元器件外部温度上升太快，会造成断裂。

② 助焊剂开始激活，化学清洗行为开始，水溶性助焊剂和免洗型助焊剂都会发生同样的清洗行动，只不过温度稍微不同。将金属氧化物和某些污染物从即将结合的金属和钎料颗粒上清除，以获得冶金学上所要求的良好焊点的清洁表面。

③ 当温度继续上升时，钎料颗粒首先单独熔化，并通过表面的芯吸过程聚合在一起，

以有利于在所有可能的表面上覆盖，并开始形成焊点。

④ 当单个的钎料颗粒全部熔化后聚合在一起形成液态钎料时，表面张力发挥作用开始形成焊脚表面，如果元器件引脚与 PCB 焊盘的间隙超过 0.1mm，则极可能由于表面张力使引脚和焊盘分开，即造成焊点开路。

⑤ 冷却阶段，如果冷却快，焊点强度会稍微大一点，但不可太快以避免引起元器件内部的温度应力。

### (3) 焊膏的再流行为

再流焊接过程中焊膏的再流行为，对焊接效果有决定性意义。对焊膏的再流行为的描述如下。

① 室温——稳定印刷，粉粒间的助焊剂固住钎料粉粒。

② 大约 90℃——胶黏剂迅速丢失，树脂软化变成流体，可塑性树脂溶解。

③ 大约 150~170℃——树脂熔化流动；金属表面被洁净，并迅速地再氧化；溶剂丢失现象变得非常明显。

④ 钎料合金熔化——钎料粉结合；钎料合金在已有助焊剂的基体金属表面润湿，钎料以毛细方式进行流动。

⑤ 室温——在冷却期，钎料氧化；树脂残留物固化。

### (4) 再流焊接过程中的温度特性

一种焊膏在再流过程中温度曲线的建立，是在综合考虑了焊膏、PCB 和设备等诸因素之后的结果。对不同厂家生产的焊膏、不同的再流设备及不同的组装件，其再流的温度曲线都不是唯一的。尽管其曲线形状各有差异，但通常其温度区域的划分大致如图 1.2 所示。

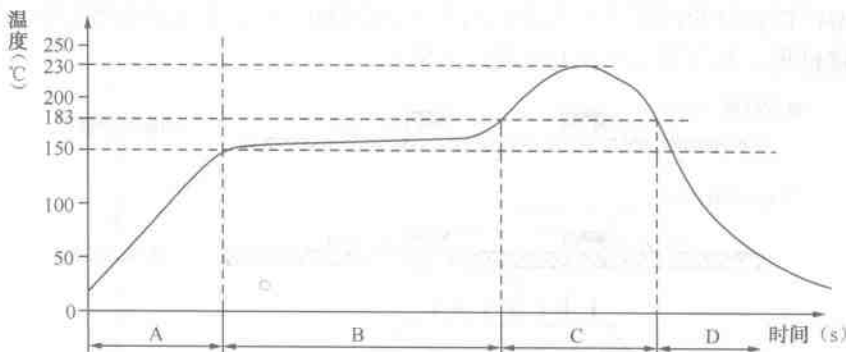


图 1.2 温度特性

① A 区（初始温度爬升区）。设置 A 区的目的是将 PCB 的温度尽快地从室温提升到预热温度，预热温度通常是略低于钎料的熔点温度。升温阶段的一个重要参数是升温速率，最理想的温度上升速率是 2~4℃/s。上升速率太快易对 PCB 和元器件造成伤害甚至导致助焊剂发生爆喷；上升速度过慢，则溶剂挥发不充分。由于助焊剂中的溶剂都是高沸点物质，不可能快速地蒸发掉。加热速率通常受到元器件制造商推荐值的限制，为防止热应力对元器件的损伤，一般规定最大速率不能超过 4℃/s，持续时间应在 2min 以内。

这一阶段 PCB 上不同的元器件的升温速率会有所不同，从而导致基板面上温度分布梯度的存在。但在此阶段，温度梯度的存在并无多大妨碍，因为此时所有点的温度均在钎料熔点温度之下。

② B 区（温度渗透区或保温区）。设置温度渗透区的目的是：确保整块 PCB 在进入再流

焊的钎料熔化区之前,其上的温度达到均匀一致。如果 PCB 是单一简单的设计,那么,在再流中热传导率是非常均匀的,此时就可以不需要温度渗透区。但是,通常情况是 PCB 上其中某一部分比另一部分更热。为了能让温度变得均匀,就不得不让温度保持为一个接近恒定的值,让较冷的部位通过热传导作用与较热的部分温度相同。对于温差小的 PCB,可能只需设定一个渗透区;而对于复杂的 PCB,则可能需要 2 个甚至 3 个渗透区。否则,在进入“钎料熔化区”前的渗透时间将不得不加长。PCB 达到钎料合金熔点时所需要的时间,要保证助焊剂溶剂得到足够的蒸发,同时保证树脂和活性剂能够充分发挥作用来清理焊接区域以便去除其上的氧化膜。

决定温度渗透次数和位置的主要因素是 PCB 的设计和再流炉能提供的热对流程度。一般选择温度为 70℃、100℃和 150℃。通常保温区的温度范围可从 120~175℃升至焊膏熔点的区域,此时,焊膏中的挥发物被去除,助焊剂被激活。理想情况是:到保温区结束时,焊盘、钎料球及元器件引脚上的氧化物均被除去,整个 PCB 的温度达到平衡。保温区的持续时间一般为 80~90s,最大不要超过 2min。

③ C 区(钎料熔化区或再流区)。使 PCB 达到焊膏中钎料粉末熔点以上的“钎料熔化区”(以下简称“再流区”)是再流焊接温度曲线的心脏区域。PCB 上任何没有达到钎料合金熔点的部位都将得不到钎接,而超过熔点太多的部位可能要承受热损伤,还可能引起焊膏残留物烧焦、PCB 变色或元器件失去功能。超过钎料熔点温度的目的是使钎料粉粒集成为一个球,润湿被焊金属的表面。润湿是通过快速发生的毛细注入现象来完成的。当然,由于所有金属表面的氧化物和再流焊炉中的氧的妨碍,粉末钎料再流时的聚集和润湿过程是在焊膏中助焊剂的帮助下进行的,温度越高,助焊剂效率就越高,但再氧化速度也越快。

钎料合金的黏度和表面张力随温度的提高而下降,这有利于促进钎料更快地润湿。因此,理想再流焊接是峰值温度与钎料熔融时间的最佳组合。设立的温度曲线目标是要尽力使温度曲线的“再流区”覆盖的体积最小。如有铅钎料 Sn37Pb 等合金的典型温度峰值范围为 210~230℃,钎料熔融时间为 30~60s,最长不得超过 1.5min。要特别注意的是:在再流焊接中进入“再流区”开始前,应尽可能使 PCB 上的每一个部位都趋于相同的温度是非常重要的。在再流区时间过短,助焊剂未完全消耗,焊点中会含有杂质,易产生焊点失效等问题;若时间过长,则焊点中会形成过量的金属间化合物而使焊点变脆,对元器件形成热劣化。

④ D 区(钎料凝固区或冷却区)。焊膏中的钎料粉末一旦已熔化,并且已润湿了被焊的基体金属表面,应尽可能快地冷却,这样,就可获得光亮、敷形好、接触角小的优良焊点。缓慢冷却将使更多的基体金属溶入钎料,生成粗糙而暗淡的焊点,在极端情况下,还可能溶解所有的基体金属,导致不润湿和不良的结合强度。基于上述因素,冷却速度快些较好,例如 5℃/s。然而冷却过快又易形成热应力而损坏元器件,因此冷却速度又不希望超过 4℃/s。故必须根据生产现场具体情况,灵活运用,折中处理。

## 1.2 再流焊接的基本工艺过程

### 1.2.1 再流焊接的基本工艺过程与设备配置

概括地说,表面安装组件(以下均简称 SMA)再流焊接工艺过程就是先将膏状钎料(以下简称焊膏)涂在 PCB 基板上,搭载元器件后再加热来熔化焊膏中的钎料而实现冶金连接的过程。根据上述定义,对 SMA 再流焊接工艺过程的描述与所用设备可表述于如图 1.3 所示。

分析如图 1.3 所示工艺过程可知, SMA 在安装过程中最关键的工序是焊膏印刷、贴装元器件 (SMC/SMD) 和再流焊接 3 个工序。下面分析这三个工序的基本要求。



图 1.3 SMA 安装工艺过程与所用设备

## 1.2.2 关键工序简介

### (1) 焊膏印刷

① 影响焊膏印刷质量的关键因素。

- 焊膏印制机的选择: 常用的焊膏印刷机有手动、半自动、全自动 3 种类型。
- 焊膏印刷条件的掌握。
- 刮刀的速度、压力和角度的正确控制。
- 钢网的清洗处理。
- 钢网离开 PCB 基板速度的正确运用。

② 焊膏的选定。焊膏选择中应关注的参数是:

- 焊膏成分。
- 焊膏熔点。
- 粉状钎料的粒度。
- 粉状钎料的形状。
- 糊状助焊剂的组成和特性。
- 焊膏的氧化率。

③ 钢网的设计。

- 开口大小: 开口与焊盘成一定比例。
- 钢网的种类: 金属钢网或尼龙网板及聚酯网板等;
- 钢网厚度: 0.1~0.4mm。
- 开口形状: 具体如图 1.4 所示。



图 1.4 开口形状

### (2) 贴装 SMC/SMD

- 贴装机的贴装速度: 贴装机按贴装速度可分为低速贴装机 (贴装搭载率 < 3000 只/H)、中速贴装机 (3000 只/H < 贴装搭载率 < 9000 只/H)、高速贴装机 (9000 只/H < 贴装搭载率 < 20000 只/H) 和海量贴装机 (搭载率 > 20000 只/H)。
- 贴装精度: 贴装机的贴装精度通常是指贴装精度、分辨率、重复精度 3 个含义的总称。
- 贴装机的适应性: 适应性是贴装机适应不同贴装要求的能力, 它包括能贴装的元器件类型、能容纳的供料器数目和类型及贴装机的可调整性等。

### (3) 再流焊接

再流焊接亦称重熔焊接或回流焊接。根据同时加热范围的不同和差别, SMA 的再流焊接法又可分为整体再流焊接法和局部再流焊接法两类, 如图 1.5 所示。

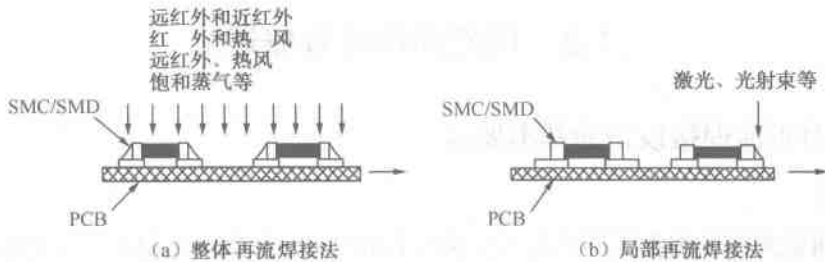


图 1.5 SMA 再流焊接法

① 整体加热再流焊接法。整体加热再流焊接法, 又可分为以下几类。

- 远红外线辐射加热再流焊接。红外线是一种电磁波, 其波长在  $0.7\sim 10\mu\text{m}$  之间, 其中大于  $2.7\mu\text{m}$  的称远红外线。远红外线热量的传递辐射只占 40%, 其余 60% 是靠对流得到的。
- 远红外加热和近红外加热并用的再流焊接。波长在  $0.75\sim 2.7\mu\text{m}$  之间的红外线称为近红外线。近红外线的能量传递形式与远红外线不同, 近红外线绝大部分是依靠红外线辐射传递能量的, 而对流成分不到 5%。因此采用远红外加热和近红外加热并用的方式可以提高加热效率。通常面源板式辐射体产生的红外线波长为  $2.5\sim 5\mu\text{m}$ , 能量传递方式以对流为主, 而灯源辐射体产生波长为  $1\sim 2.5\mu\text{m}$ , 其能量传递方式以辐射为主。
- 热风对流加热和远红外加热并用的再流焊接。随着 SMA 组装密度的提高和 PLCC 广泛的应用, 工业上出现了一种把热风对流加热和远红外加热组合在一起的再流焊接系统。它是以远红外辐射对流传热为基础, 通过耐热风扇或气体放大器等使炉内热空气循环。由于强力热空气循环导致 SMA 上方高温区温度下降, 低温区温度上升而使炉腔内温度变得均匀, 因而目前已成为再流焊接工艺中的主流技术。
- 热风对流加热和中、远红外加热并用的再流焊接。它是综合了中、远红外线(辐射和对流传热大致接近)和热风循环传热等固有特性而综合设计的一种再流焊接方式。
- 热风加热再流焊接。为适应 BGA、超窄间距 QFP、双面贴装 SMA 的工艺需要, 近年来国外开发成功一种全热风再流焊接设备。它是用鼓风机将被加热的气体从多喷嘴系统喷入炉腔。这种结构确保了工作区宽度范围内温度分布均匀, 能分别控制顶面和底面的热气流量和温度, 实现在整个长度和宽度范围内温度分布的均匀性。在冷却 SMA 底面时, 同时焊接 SMA 的顶面, 实现了 SMA 双面再流焊接的目的, 避免了已焊面上的焊点再熔化而使元器件掉下来。
- 饱和蒸气再流焊接 (VPS)。饱和蒸气再流焊接又称气相再流焊接, 与 IR、对流系统相比, 蒸气凝集气体具有更好的热交换性能。因而允许在 PCB 上以较大的热容量进行均匀的热转换。

② 局部加热焊接法。

- 激光再流焊接法。近年来军事和空间电子装备中普遍采用了金属芯电路组件和热管式 PCB。这些器件及 SMA 的热容量都比较大, 采用红外线、热风、VPS 等再流焊接法



需增加加热时间,这将构成影响电子装备可靠性变差、连接缺陷增多的因素。因此,采用激光再流焊接法可快速地在待焊区上局部加热使钎料再流即可消除上述缺陷。

- 光射束再流焊接法。如红外光射束等。

## 1.3 再流焊接设备概述

### 1.3.1 对再流焊接设备的基本要求

#### (1) 温区

- 有铅再流焊接炉根据不同产能的需求应具有 2~8 个独立控制区,小批量生产状况,温区数可靠近低端取值,而要求大产能时则应靠近高端取值。
- 无铅再流焊接炉根据不同产能的需求应具有 8~12 个独立控制区,小批量生产状况,温区数可靠近低端取值,而要求大产能时则应靠近高端取值。

#### (2) 炉内温度的波动量

再流焊接炉连续工作时,应具有快速加热被焊元器件表面的能力以确保炉温稳定,炉温波动应小于 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

#### (3) 炉内温度的均匀性

现代封装技术的发展,驱使再流焊接技术不断向微焊接技术逼近。因此,再流焊接炉温度不均匀性应小于或等于 $2^{\circ}\text{C}$ ,才能满足微焊点的焊接质量要求。

#### (4) 安装场地要求

再流焊接炉安装时应避开再流焊接炉的出、入口正对门窗或风源,以保证炉温稳定。

#### (5) 炉子排气量的选择

再流焊接炉排风能力的选择,应在不影响正常的焊接工艺过程的前提下,充分考虑抵御外部恶劣气候环境的影响能力。

#### (6) 防静电要求

- 再流炉应有完善的静电泄放能力,不会形成静电积累。
- 为防止设备运行时产生静电对元器件的损坏,设备的防静电接地不能和电网的地线混用。

### 1.3.2 再流焊接法的演变及其特点

再流焊接法的出现就其历史而言,并不短于波峰焊接法,其演变大致可分为如下几个阶段。

#### (1) 电阻炉加热再流焊接法

电阻炉是再流焊接法在发展初期所常用的一种加热工具,整个被焊装配件在电阻炉中被整体加热到钎接温度。把热量引入被焊工件的速度是非常重要的参数,此外,被焊工件应当在助焊剂活化温度下及焊点接头形成温度下保持足够长的时间。另外,还要特别注意,焊点在冷却过程中不允许被焊零部件相互移动,以避免形成扰动焊点。这就要求使被焊件通过加热炉的传输带运动要极为平滑,不能有任何的振动和抖动,而且钎接过程完成后,使焊点冷却的那一段运动距离要足够长,以使焊点有足够的时间冷却到钎料的固相线温度。

电阻炉再流焊接方式,炉内温度分布均匀性差,热效率低,温度控制精度较差。因此,现在采用纯电阻炉进行再流焊接已经极为罕见。