

• 20多年SMT行业经验
• 54项核心工艺
• 103个典型案例

SMT

核心工艺解析与案例分析

贾忠中 著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

SMT 核心工艺 解析与案例分析

電子工業出版社。

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书分上下两篇。上篇汇集了表面组装技术的 54 项核心工艺,从工程应用的角度,全面、系统地对 SMT 的应用原理进行解析和说明,对深刻理解其工艺原理、指导实际生产有很大帮助;下篇精选了 103 个典型案例,较全面地讲解了实际生产中遇到的、由各种因素引起的工艺问题,对处理生产现场问题、提高组装的可靠性具有较强的指导、借鉴作用。

本书形式新颖,内容全面,重点突出,是一本不可多得的应用指导工具书,适合有一定经验的电子装联工程师使用,也可作为大专院校电子装联专业学生的参考书。

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

SMT 核心工艺解析与案例分析 / 贾忠中著. —北京: 电子工业出版社, 2010.11

ISBN 978-7-121-12259-0

I. ①S… II. ①贾… III. ①印刷电路—组装 IV. ①TN410.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 221737 号

策划编辑: 李 洁

责任编辑: 万子芬

印 刷: 北京市李史山胶印厂

装 订:

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: 787×1 092 1/16 印张: 18.25 字数: 467 千字

印 次: 2010 年 11 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 45.00 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 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

序

近年有关表面组装技术(SMT)的书多起来了,各种教材、译著、专著等已有数十种之多,这是我国 SMT 产业兴旺发达的重要标志之一。不过,目前已经面世的 SMT 书籍,来自产业第一线技术人员原创的还不多见,相当一部分其内容大多来源于译著和国内外技术刊物、会议论文和技术培训等资料的梳理、归纳和整理,作为 SMT 教育培训和入门级学习,发挥了很大作用,但是这些以技术普及为特征的著作,对于目前业界产业转型、技术升级等越来越高的要求,就显得捉襟见肘了。

从 1985 年起,我国的 SMT 产业经历了初期的小规模技术引进、消化吸收和学习探索;早期的技术积累和产业逐步走向规模化;继而在世纪之交进入中期的快速发展,产业规模急剧扩张,从业人员大量增加,技术人员供不应求,产能迅速扩大,成为电子制造“世界工厂”;之后开始步入调整充实阶段,并经历了百年不遇的世界经济危机的洗礼,产业蓄势待发;现在可以说已经迎来了产业转型,发展模式创新,由 SMT 大国向强国跨越式发展的历史新阶段。在这个阶段,学术界需要深入研究,企业界需要技术提高,非常需要来自产业一线的、经过真刀真枪检验的技术专著。

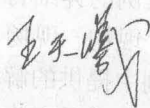
不谋万世者,不足谋一时;不谋全局者,不足谋一域。SMT 先进国家发展的历史经验值得注意。在规模化电子产业半个多世纪的发展中,日本电子产品以高品质著称于世,称雄全球几十年,迄今不衰,靠的是什么呢?靠的是他们对技术的精益求精,靠的是他们对行业的锲而不舍,靠的是他们对技术细节的精雕细刻,靠的是他们工作经验的日积月累,靠的是他们对高品质追求的孜孜不倦。产业转型、实现由大到强的跨越,不可不向日本人学习。不管高科技低科技,只要产业需要,认认真真钻研它,兢兢业业做好它,老老实实积累经验教训,力争少犯或不犯同样的错误,是日本企业一贯的做法,也是最容易学的一个“秘籍”。很多收集案例的日本技术书籍,可能在有些人眼里是没有什么学术水平的“雕虫小技”,但是解决实际问题,业界需要更多这样的适用、实用并且管用的著作。

目前,我国企业正处于转型的关键时期,SMT 产业也不例外。当低成本劳动力优势不再的时候,当单纯靠组装加工维持增长越来越艰难的时候,当制造大量低质产品压价竞争越来越不灵的时候,当粗放型管理和技术已经走到尽头的时候,只有一条路,就是自主创新,技术升级,靠高质量、高效率创自己的品牌。在这个时期,非常需要在业界打拼了多年、业绩卓著、丰富经验的技术专家把多年的积累整合提高,与业界同仁共享,为早日实现我国 SMT 强国目标贡献力量。

作为一个在 SMT 行业工作了 20 多年的 SMT 技术专家,作者总结了自己在生产实践中积累的经验,把实际工作中经常遇到的工艺问题整理为 54 个专题和 103 个案例,拿出来奉献给业界,正是当前急需的,可谓雪中送炭,十分难能可贵,在向作者辛勤工作和慷慨奉献表示敬意的同时,向业界推荐这本技术专著。

SMT 是实践性很强的工程技术,必须在实践中学习和提高。古人云“吃一堑,长一智”,这是对一般人而言的。对聪明人来说,应该少吃堑多长智,甚至不吃堑也长智,这就是借鉴别人的堑长自己的智。这本书就为我们提供了许多智的增长点,就看能否很好应用了。

清华大学 SMT 实验室



2010 年 6 月于清华园

前言

表面组装技术(SMT)是一门复杂且不断发展中的技术,从有铅工艺到无铅工艺,从大焊盘焊接到微焊盘焊接,挑战不断,但是,其基本的原理没有变,工艺工作的使命(工艺实现和工艺稳定的问题)没有变。重点掌握 SMT 的工艺要领、工程知识、常见焊接不良现象的产生机理与处置对策,对建立有效的工艺控制体系,快速解决生产工艺问题,具有十分重要的现实意义。

工艺要领,顾名思义就是指工艺技术或工艺方法与要求的关键点,掌握了这些关键点,就等于抓住了工艺技术的“魂”,在遇到千变万化的不良现象时就可沿着正确的方向去分析和解决。例如,如果不了解球栅阵列(BGA)焊接时本身要经历的“两次塌落”和“变形”这两个微观的物理过程,就很难理解 BGA 焊接的峰值温度与焊接时间的意义。因此,在学习工艺知识时,掌握要领非常重要,它是分析、解决疑难工艺问题的基础。

作为一名 SMT 的工程师,如果仅仅停留在了解书本知识的层次,绝对称不上合格。生产现场需要的是掌握基本工程知识的人。对装联工艺而言,工程知识包括工艺窗口、基准工艺参数与基本工艺方法,如钢网开孔,对某一特定的封装,采用多厚的钢网、开什么形状及多大尺寸的孔,这些应用知识,一般都是基于试验或经验获得的。

如果不了解每类元件容易发生的焊接问题、产生原因,就不能做到有效地预防。掌握常见焊接不良现象的产生机理与处置对策,最根本的途径是在实践中运用所学的理论知识分析问题、解决问题,把理论知识转化为处理问题的能力。工艺说到底是一门实践性很强的学问,靠经验的积累,正如医生看病,看的病多了,经验就丰富了。实践中,我们经常会碰到这样的情况,问工程师理论知识,如什么是芯吸现象,相信都能够回答出来,但在碰到由芯吸引起的问题时往往不会想到芯吸,这是因为没有把理论知识转为处理问题的能力。日本电子产品的质量著称于世,一条重要的经验就是“学习故障,消除预期故障”。从实践中汲取经验,把经验再用于指导实践,这是非常有效的方法。

装联工艺是系统工程问题,装联工艺质量涉及“人、机、料、环、法”五大方面。如果这些“入口”质量波动很大,那么,建立高质量、可重复的工艺就是一句空话。许多企业为了降低采购成本、规避风险,使用多品牌的物料,这对工艺却是一大隐患。不同品牌的物料,特别是标准化程度比较低的物料,常常重量不同、引脚宽度不同,这些往往是导致工艺不稳定的因素。因此,要打造一流的工艺,必须从物料选型、工艺设计、工艺试制、工艺优化、质量监控等方面系统思考、系统控制。

鉴于以上的认知,作者从应用角度筛选了 54 个核心工艺议题,对其进行总结与解析,指出要领,作为本书的上篇。同时,精心选编了 103 个典型案例,图文并茂地介绍了缺陷的特征、常见原因及改进措施,作为本书的下篇。

对于案例的选编,主要是以帮助读者提高分析问题的能力为主要考量(限于篇幅,略去了案例的详细背景和分析过程,待今后有机会再进一步交流)。对于案例提供的解决措施,限于“现物、现场、现象”的差异,仅供参考,不可盲目照搬。希望参考时注意到:第一,这些案例中提供的解决方法不是一个关于某问题的系统解决方案;第二,要认识到,一个工艺问题可能有多种产生原因,同样的原因也可能导致不同的缺陷,在采取措施之前,必须对问题进

行准确定位,对措施进行验证;第三,许多工艺措施具有两面性,例如,为减少密脚器件的桥连使用薄的钢网,但又会加大引脚共面性差元件的开焊概率,因此,在采取措施前必须进行权衡与评估。

需要说明的是,有个别案例出现在不同的章节,这不是简单的笔误,而是有意重复使用。有些工艺问题产生的原因,有时很难界定是设计问题、还是物料问题或操作问题,它们之间有时会转换,往往从不同的侧面入手都可以解决。对于此类问题的产生原因,可以说是A原因,也可以说是B原因。例如,BGA周围装螺钉容易引起BGA焊点拉断的问题,可以说是设计问题,也可以说是操作问题。本书案例篇之所以按问题产生原因进行分类,主要希望强化读者对这些工艺影响因素的认识,在分析问题想到它。

为了不给读者增加阅读负担,本书采用了图表格式编排,凡是图能够说明的问题就没有再用文字加以说明,即本书的许多有价值的信息包含在图中。另外,为了强调一些观点,本书采用了一些标识的方法,目的是希望读者抓住要领。

本书插图及文字中所用的数量单位,一般采用公制英文字符缩写,对于一些在行业内习惯使用英制单位的应用场合,如钢网厚度,本书在公制单位后也加注了英制单位的数值,以方便使用。

本书适合有一定SMT从业经验的人员使用,也可供大专院校电子装联专业的学生参考。

本书内容多为作者的经验总结,也就是基于事实的分析与判断,有些观点属于作者的一家之言,如微焊盘焊接,慎用湿擦网工艺,密脚QFP桥连主要是焊膏量多,BGA空洞主要取决于焊剂系统熔融状态时的黏度等。有些观点与传统的解释不同,如关于冷却速率的看法,这些是本书的价值所在。鉴于作者经验有限,有些观点可能不完全正确,敬请读者批评指正。

特别感谢樊融融教授、刘哲先生的审校。

特别感谢清华大学王天曦教授百忙中为本书作序。



2010年8月5日于深圳

目 录

上篇 表面组装核心工艺解析	1
第 1 章 表面组装核心工艺解析	
1.1 焊膏	3
1.2 失活性焊膏	8
1.3 钢网设计	10
1.4 钢网开孔、焊盘与阻焊层的不同组合对焊膏量的影响	16
1.5 焊膏印刷	17
1.6 再流焊接炉	21
1.7 再流焊接炉温的设定与测试	25
1.8 波峰焊	37
1.9 通孔再流焊接设计要求	55
1.10 选择性波峰焊	56
1.11 01005 组装工艺	61
1.12 0201 组装工艺	62
1.13 0.4mmCSP 组装工艺	64
1.14 POP 组装工艺	65
1.15 BGA 组装工艺	67
1.16 BGA 的角部点胶加固工艺	68
1.17 陶瓷柱状栅阵列元件 (CCGA) 的焊接	69
1.18 晶振的装焊要点	70
1.19 片式电容装焊工艺要领	72
1.20 铝电解电容膨胀变形对性能的影响评估	74
1.21 子板/模块铜柱引出端的表贴焊接工艺	75
1.22 无铅工艺条件下微焊盘组装的关键	77
1.23 BGA 混装工艺	78
1.24 无铅烙铁的选用	84
1.25 柔性板组装工艺	85
1.26 不当的操作行为	86
1.27 无铅工艺	88
1.28 RoHS	90
1.29 再流焊接 Bottom 面元件的布局考虑	91
1.30 PCB 表面处理工艺引起的质量问题	92
1.31 PCBA 的组装流程设计考虑	102
1.32 厚膜电路的可靠性设计	105
1.33 阻焊层的设计	107
1.34 焊盘设计尺寸公差要求及依据	108

1.35	元件间距设计	109
1.36	热沉效应在设计中的应用	110
1.37	多层 PCB 的制作流程	111
1.38	常用焊料的合金相图	112
1.39	金属间化合物	114
1.40	黑盘	117
1.41	焊点质量判别	118
1.42	X 射线设备工作原理	122
1.43	元件的耐热要求	124
1.44	PBGA 封装体翘曲与湿度、温度的关系	125
1.45	PCB 耐热性能参数的意义	127
1.46	PCB 的烘干	128
1.47	焊接工艺的基本问题	129
1.48	工艺控制	131
1.49	重要概念	132
1.50	焊点可靠性与失效分析的基本概念	133
1.51	散热片的粘贴工艺	134
1.52	湿敏器件的组装风险	135
1.53	Underfill 胶加固器件的返修	136
1.54	散热器的安装方式引起元件或焊点损坏	137
下篇 典型工艺案例分析		139
第 2 章 由综合因素引起的组装不良		
2.1	密脚器件的桥连	141
2.2	密脚器件虚焊	143
2.3	气孔或空洞	144
2.4	元件侧立、翻转	145
2.5	BGA 空洞	146
2.6	BGA 空洞(特定条件:混装工艺)	148
2.7	BGA 空洞(特定条件:HDI 板)	149
2.8	BGA 虚焊	150
2.9	BGA 球窝现象	151
2.10	BGA 冷焊	152
2.11	BGA 冷焊(特定条件:有铅焊膏焊无铅 BGA)	153
2.12	BGA 焊盘不润湿	154
2.13	BGA 焊盘不润湿(特定条件:焊盘无焊膏)	155
2.14	BGA 黑盘断裂	156
2.15	BGA 焊点热机械应力断裂	157
2.16	BGA 焊点混装工艺型断裂	160
2.17	BGA 焊点机械应力断裂	177
2.18	BGA 热重熔断裂	180

2.19	BGA 结构型断裂	182
2.20	BGA 返修工艺中出现的桥连	184
2.21	BGA 焊点间桥连	186
2.22	BGA 焊点与邻近导通孔锡环间桥连	187
2.23	ENIG 盘/面焊料污染	188
2.24	ENIG 盘/面焊剂污染	189
2.25	锡球 (特定条件: 再流焊工艺)	190
2.26	锡球 (特定条件: 波峰焊工艺)	191
2.27	立碑	193
2.28	锡珠	195
2.29	插件元件桥连	196
2.30	PCB 变色, 但焊膏没有熔化	197
2.31	元件移位	198
2.32	元件移位 (特定条件: 设计/工艺不当)	199
2.33	元件移位 (特定条件: 较大尺寸热沉焊盘上有盲孔)	200
2.34	元件移位 (特定条件: 元件下导通孔塞孔不良)	201
2.35	通孔再流焊插针太短导致气孔	202
2.36	测试设计不当, 造成焊盘烧焦并脱落	203
2.37	QFN 虚焊与少锡 (与散热焊盘有关的问题)	204
2.38	热沉元件焊剂残留物聚集现象	205
2.39	热沉焊盘导热孔底面冒锡	206
2.40	热沉焊盘虚焊	208
2.41	片式电容因工艺引起的开裂失效	209
2.42	变压器、共模电感开焊	211
2.43	铜柱连接块开焊	212
2.44	POP 虚焊	213
第 3 章 由 PCB 设计或加工质量引起的组装不良		
3.1	无铅 HDI 板分层	214
3.2	BGA 拖尾孔	215
3.3	ENIG 板波峰焊后插件孔盘边缘不润湿现象	216
3.4	ENIG 面区域性麻点状腐蚀现象	218
3.5	OSP 板波峰焊时金属化孔透锡不良	219
3.6	OSP 板个别焊盘不润湿	221
3.7	OSP 板全部焊盘不润湿	222
3.8	喷纯锡对焊接的影响	223
3.9	ENIG 镀孔的压接性能	224
3.10	PCB 光板过炉 (无焊膏) 焊盘变深黄色	225
3.11	HDI 孔板制造异常引起空洞大孔化	226
3.12	超储存期板焊接分层	227
3.13	PCB 局部凹陷, 造成焊膏桥连	228

3.14	BGA 下导通孔阻焊偏位	229
3.15	导通孔藏锡珠现象及危害	230
3.16	单面塞孔质量问题	231
3.17	PTH 孔口色浅	232
3.18	丝印字符过炉变紫	233
3.19	CAF 引起的 PCBA 失效	234
3.20	元件下导通孔塞孔不良导致元件移位	236
第 4 章 由元件封装引起的组装不良		
4.1	银电极浸析	237
4.2	片式排阻虚焊（开焊）	238
4.3	QFN 虚焊	239
4.4	元件热变形引起的开焊	240
4.5	SLUG-BGA 的虚焊	241
4.6	BGA 焊盘下 PCB 次表层树脂开裂	242
4.7	片式元件两端电镀尺寸不同导致立片	244
4.8	陶瓷板塑封模块焊接时内焊点桥连	245
4.9	全矩阵 BGA 的返修（角部焊点桥连或心部焊点桥连）	246
4.10	铜柱引线的焊接（焊点断裂）	247
4.11	堆叠封装焊接造成内部桥连	248
4.12	片式排阻虚焊	249
4.13	手机 EMI 器件的虚焊	250
4.14	FCBGA 的翘曲	251
4.15	复合器件内部开裂（晶振内部）	252
4.16	连接器压接后偏斜	253
4.17	引脚伸出 PCB 太长，导致通孔再流焊“球头现象”	254
第 5 章 由设备引起的组装不良		
5.1	再流焊后，PCB 表面出现坚硬黑色异物	255
5.2	再流焊接炉链条颤动引起元件移位	256
5.3	再流焊接炉导轨故障使单板烧焦	257
5.4	贴片机 PCB 夹持工作台上下运动引起重元件移位	258
5.5	贴片机贴放时使屏蔽架变形	259
第 6 章 由设计因素引起的组装不良		
6.1	HDI 板焊盘上的微盲孔引起的少锡/开焊	260
6.2	焊盘上的金属化孔引起的冒锡球现象	261
6.3	BGA 附近有紧固件，无工装装配时引起 BGA 焊点断裂	262
6.4	散热器螺钉布局不合理引起周边 BGA 的焊点断裂	263
6.5	模块电源的压合工艺引起片式电容器开裂	264
第 7 章 由手工焊接、三防工艺引起的组装不良		
7.1	焊剂残留物引起的绝缘电阻下降	265
7.2	焊点表面残留焊剂白化	266

7.3	强活性焊剂引起焊点间短路	267
7.4	焊点附近三防漆变白	268
7.5	导通孔焊盘及元件焊端发黑	269
第8章 由操作引起的焊点断裂和元件撞掉		
8.1	不当拆除连接器操作使 SOP 引脚拉断	270
8.2	机械冲击引起 BGA 焊点脆断	272
8.3	多次弯曲造成 BGA 焊盘被拉断	273
8.4	PCBA 无支撑时安装螺钉导致 BGA 焊点拉断	274
8.5	散热器螺钉引起周边 BGA 焊点压扁或拉断	275
8.6	元件被周转车导槽撞掉	276
8.7	手工焊接时元件被搓掉	277
附录 缩略语·术语		278
参考文献		281

上 篇

表面组装核心工艺解析

1.1 焊膏 (1)

焊膏由焊料合金粉（以下简称焊粉）和焊剂（以下简称焊剂）组成（图 1-1），而焊剂又由溶剂、成膜物质、活化剂和触变剂等组成。

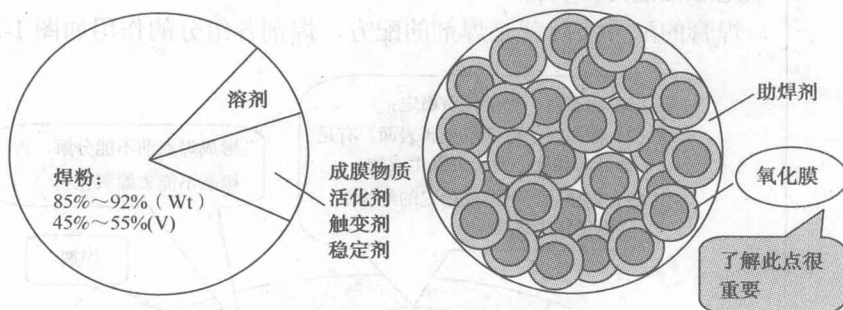


图 1-1 焊膏的组成

焊剂各组分所占焊膏质量比及成分：

- (1) 成膜物质：2%~5%，主要为松香及衍生物、合成材料，最常用的是水白松香。
- (2) 活化剂：0.05%~0.5%，最常用的活化剂包括二羧酸、特殊羧基酸和有机卤化盐。
- (3) 触变剂：0.2%~2%，增加黏度，起悬浮作用。这类物质很多，优选的有蓖麻油、氢化蓖麻油、乙二醇—丁基醚、羧甲基纤维素。
- (4) 溶剂：3%~7%，多组分，有不同的沸点。
- (5) 其他：表面活性剂，偶和剂。

组分对焊接质量的影响

焊料（膏）飞溅、焊剂飞溅、球栅阵列（BGA）空洞、桥连等焊接不良与焊膏的组成有很大的关系！焊膏的选用应根据印制电路板组件（PCBA）的工艺特性进行选择。

焊粉所占比重对塌落性能和黏度有很大的影响，焊粉含量越高，塌落度也越小，因此，用于细间距元件的焊膏，多使用 88%~92% 焊粉含量的焊膏。

活化剂决定焊膏的可焊性或润湿能力。要实现良好的焊接，焊膏中必须有适当的活化剂，特别是在微焊盘焊接情况下，如果活性不足，就有可能引发葡萄球现象和球窝缺陷。

成膜物质影响焊点的可测性及焊膏的黏度和黏性。

溶剂主要用于溶解活化剂、成膜物质、触变剂等。焊膏中的溶剂，一般由不同沸点的溶剂组成，使用高沸点溶剂的目的是为了防止再流焊接时焊锡和焊剂飞溅。

触变剂用来改善印刷性能和工艺性能。

市场上的焊膏类别

市场上的焊膏一般按照应用需求进行划分，例如：
 适合高速印刷的焊膏；
 适合细间距印刷的焊膏；
 BGA 空洞少的焊膏；
 活性比较强的焊膏。

1.1 焊膏 (2)

焊膏所用的活化剂多为有机酸、有机胺、有机卤化物。与无机系列焊剂相比,其活性比较弱,但具有加热迅速,分解留下的残留物基本呈中性,吸湿性小,电绝缘性能好等特点。

焊膏的配方实际就是焊剂的配方,焊剂各组分的作用如图 1-2 所示。

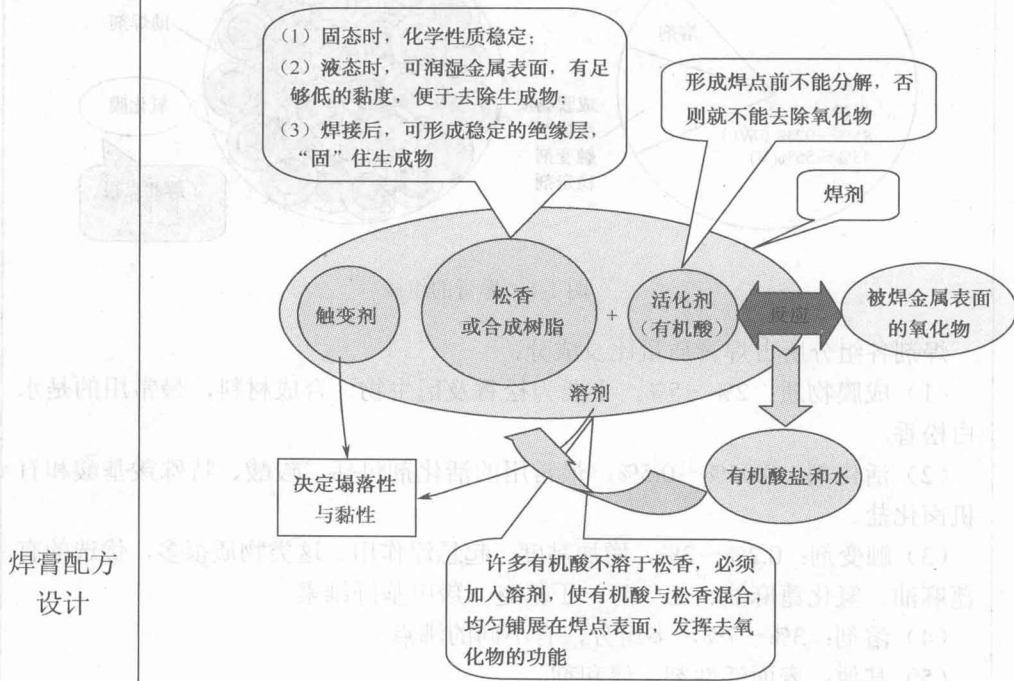


图 1-2 焊膏各组分的作用

焊剂的三大功能:

- (1) 化学功能 去除氧化物并在焊接过程中保护焊料表面不被再次氧化;
- (2) 热学功能 传热;
- (3) 物理功能 去除反应生成物并在焊接后“固”住它。

了解与认识焊剂设计的原理, 有利于分析焊接过程中发生的问题, 也有利于再流焊温度曲线的设计。

1.1 焊膏 (3)

在再流焊接工艺过程中,焊剂主要发挥两个作用,即去除氧化物和降低焊料的表面张力,帮助其润湿、扩散和形成焊点,了解其在再流焊接过程中的变化是设定温度曲线的重要基础。

焊膏在再流焊接过程中的状态变化如图 1-3 所示。

焊膏(主要为焊剂)在再流焊接过程中的变化

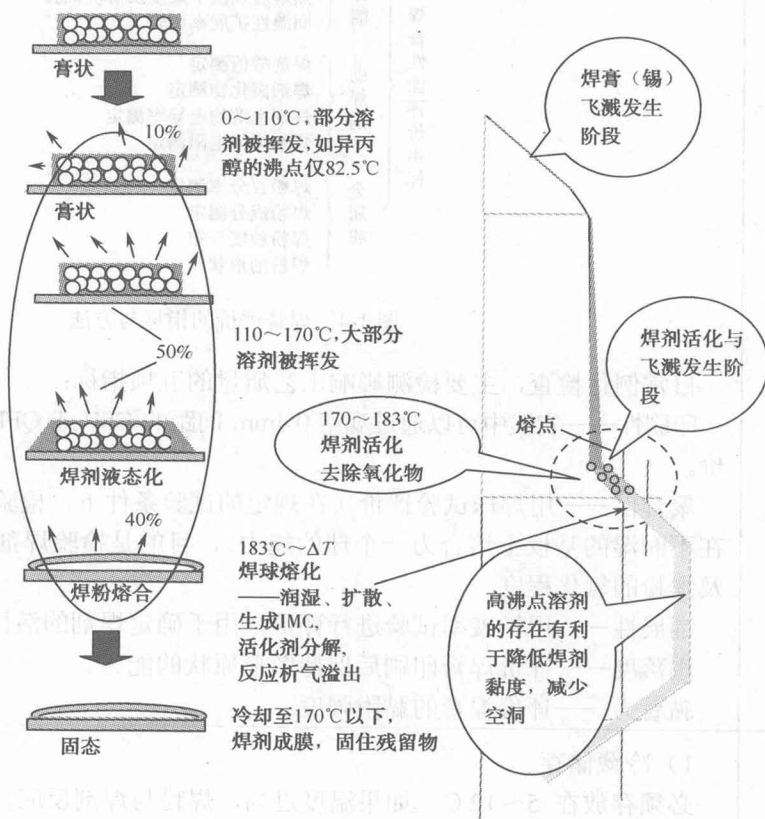
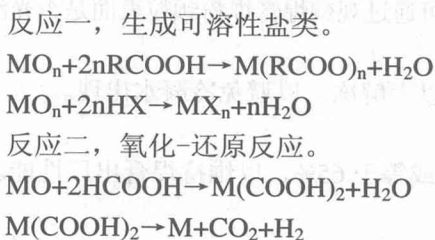


图 1-3 焊膏在再流焊接过程中的状态变化

活化剂去除氧化物的原理



1.1 焊膏 (4)

图 1-4 表示了焊膏评价的指标和方法。

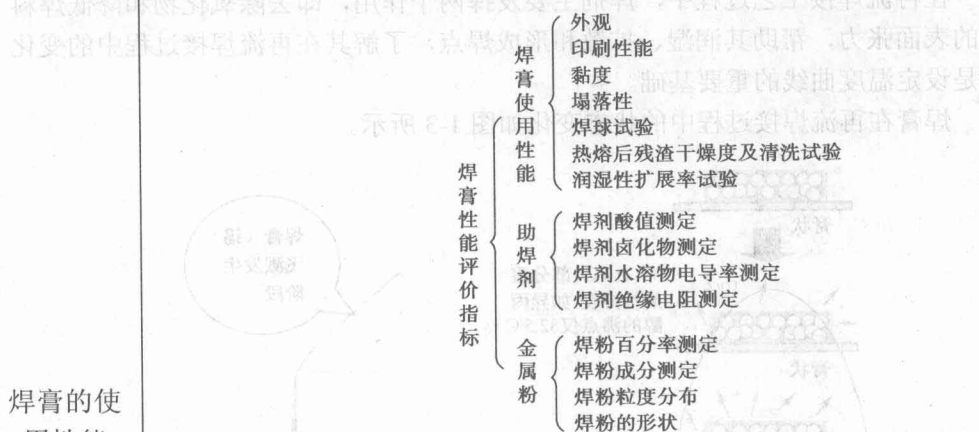


图 1-4 焊膏评价的指标与方法

日常例行检查，主要检测影响工艺质量的五项指标：

印刷性——实践中可以通过观察 0.4mm 间距的 CSP 或 QFP 焊膏印刷图形来评价。

聚合性——用焊球试验评价（在规定的试验条件下，检验焊膏中的合金粉末在不润湿的基板上熔合为一个球的能力），目的是检验焊剂短时去氧化物能力及焊粉的氧化程度。

铺展性——用扩展率试验进行评价，用于确定焊剂的活性。

塌落度——评价焊膏印刷后保持图形原状的能力。

黏着力——评价焊膏的黏附强度。

1) 冷藏储存

必须存放在 5~12℃。如果温度过高，焊粉与焊剂反应，会使黏度上升而影响印刷性；如果温度过低（0℃下），焊剂中的松香成分会产生结晶现象，使焊膏性能恶化。

活性比较强的焊膏，如果常温存放（如解冻）有可能发生焊粉与焊剂反应，使焊膏变黏、变稠、活性变低，可通过观察焊膏焊粉颗粒表面是否光滑予以确认。

2) 回温后开封使用

必须在操作环境下放置 4h 以上解冻，以避免冷凝水出现。

3) 印刷环境

(25±3)℃，相对湿度小于或等于 65%，以维持焊膏出厂性能。

4) 温度对印刷时间的影响

湿度在 60% 下，温度在 20℃、25℃、30℃ 时，可印刷时间分别为 12h、7h、2h。

5) 湿度对印刷时间的影响

25℃ 时，随湿度增加，印刷时间减少。