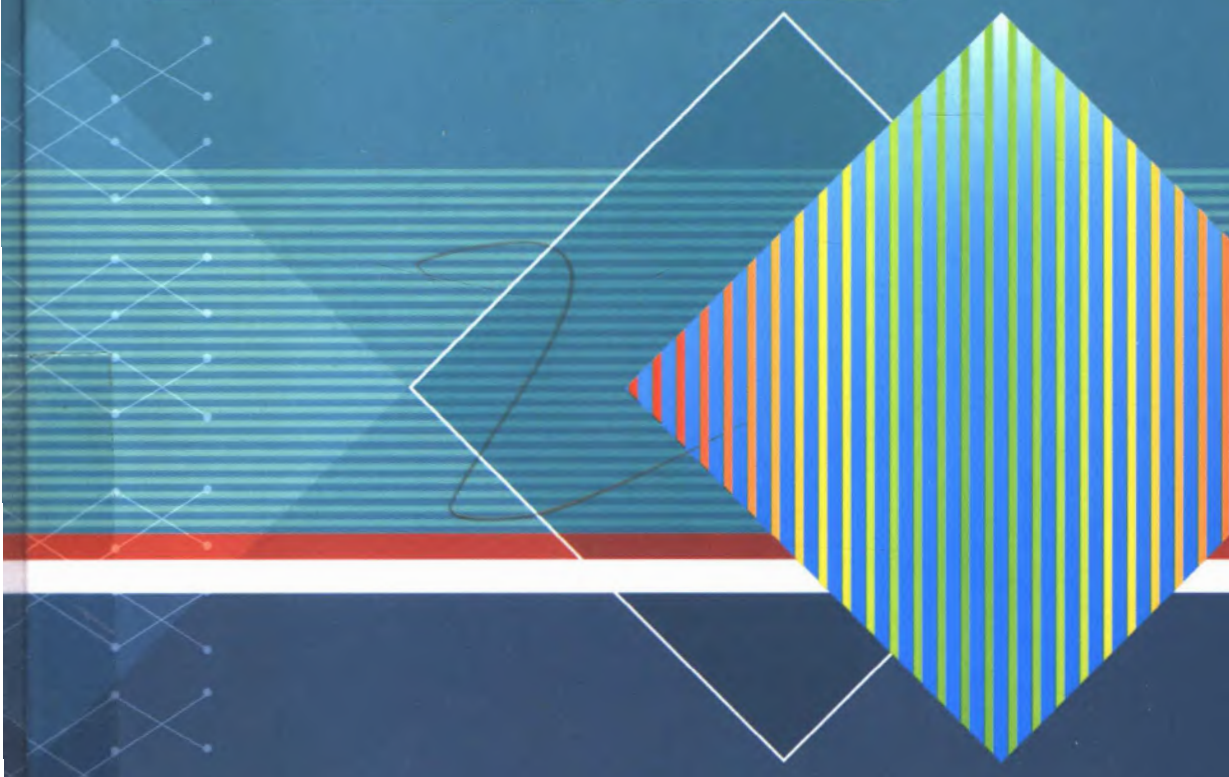
www.789pdf.com 789书库网

SMT
连接技术手册

中国电子科技集团电科院
电子电路柔性制造中心　编著



電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

内 容 简 介

本书在系统地介绍电子电路表面组装技术（SMT）中常用的各种连接方法的原理及应用要领，即电子电路电气互连技术简介及烙铁焊、再流焊、波峰焊、压焊、黏接、陶瓷与金属连接、印制板组件焊后的清洗和三防处理的基本原理、操作技巧的基础上，突出讲述了面向无铅组装的设计和印制板组件的无铅焊接技术。

本书既可作为电子产品结构工艺、电子材料、SMT等专业的大中专课程的教材或参考书，也可供电子产品研究、设计、制造单位相关工程技术人员和生产一线人员参考。

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连接技术手册/中国电子科技集团电科院电子电路柔性制造中心编著. —北京：电子工业出版社，2008.1

ISBN 978-7-121-04101-3

Ⅰ. S… Ⅱ. 中… Ⅲ. 印刷电路-组装-技术手册 Ⅳ. TN410.5-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第171411号

责任编辑：富 军 文字编辑：周宏敏
印 刷：北京机工印刷厂
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：720×1 000 1/16 印张：21.5 字数：431.38千字
印 次：2008年1月第1次印刷
印 数：5000册 定价：58.00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zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010)88258888。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

序　言

表面组装技术(SMT)是当今各种电子电路电气互连的先进技术。20多年来,这一多学科、综合性的电子制造基础工艺技术得到了极为迅速的发展。目前,我国正在运行中的SMT生产线数量数以万计。为我国电子设备的微小型化和高可靠性已经并继续做出重要贡献。

随着电子产品,特别是IT产业的快速发展,SMT面临着三大挑战:一是组装高密度;二是焊接无铅化;三是质量高可靠。以印制电路板上一个焊点的体积为例,它的尺寸已小到$10^{-5}mm^3$,对如此微小焊点的焊接技术,特别是在无铅条件下的焊接技术,其可靠性已成为世界各国电子工业,特别是军用电子产品发展的瓶颈技术之一。

电子电路的表面组装技术是个系统工程,主要包括PCB和元器件的选择与配置、焊膏和贴片胶的分配、片式元器件贴装、通孔插装元器件的成形和插装、焊接、清洗、三防和质量检测等工序。其中的焊接是个热工与化工联合作用的过程,对这一特殊的工艺过程的监控又难以做到精准和实时,这就使以焊接为代表的SMT中的连接技术成为影响整个SMT制程质量的核心因素。

中国电子科技集团公司电子科学研究院电子电路柔性制造中心在总结六年来SMT研究与生产的基础上,为适应电子电路高密度组装和PCB无铅焊接的需要,以SMT中的连接技术为切入点,较为全面系统地总结了SMT中的各种连接方法、原理及应用要领,这对推进我国SMT人才的培养和提高SMT应用水平,特别是对加速实现绿色电子制造,突破国际电子市场新的技术壁垒,攻克电子产品无铅制造的难题,提高电子产品整机可靠性都将发挥积极的作用。

信息产业部科技委副主任
中国工程院院士　王小谟

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

前　言

电子产品电气互连的基本要求是其连接点必须同时具备良好的机械和电气连接性能。随着电子产品向小型、可靠、低价方向的发展，作为电子产品制造基础工艺的电子电路表面组装技术(SMT)也得到了惊人的发展。实践表明：SMT 中的连接技术是影响整个 SMT 工艺流程实施质量和成本的关键因素。特别是在电子组装必须实现无铅化的严峻形势下，学习和掌握 SMT 中各种连接方法的原理与操作要领，已成为实现电子电路高密度、高可靠组装和无铅焊接的当务之急。

中国电子科技集团公司电子科学研究院电子电路柔性制造中心在总结六年来从事 SMT 研究和生产实践的基础上，为适应 SMT 高密度、高可靠、无铅化的需要，以 SMT 中的关键工序——连接作为切入点编著了本书。全书共分 10 章：第 1 章概述，主要介绍电气互连的定义、重要性和分类；第 2 章至第 4 章，分别介绍目前 SMT 中常用的烙铁焊、再流焊和波峰焊，为适应 SMT 无铅化的急需，在这 3 章中均用较大篇幅介绍了无铅焊接技术；第 5 章、第 6 章分别介绍印制板组件的焊后清洗和三防处理技术；第 7 章介绍金属粘接技术，以适应无铅组装的需求；第 8 章介绍压接连接，为当前 SMT 中常用的压接提供理论指导；第 9 章介绍陶瓷及其与金属的连接，以适应汽车电子、光电器件和高频电路组装的需要；第 10 章介绍面向无铅组装的设计。本书在介绍 SMT 中各种连接方法基本原理的同时，突出实际应用要领，并尽可能给出典型的参考工艺条件或参数。全书将 SMT 无铅化摆到了突出的位置。本书可作为电子产品制造、SMT 等专业教育培训教材，也可供从事 SMT 研究、生产、检验、管理的工程技术人员和生产一线员工参考。

本书由任博成高级工程师、刘艳新工程师编著，由冯志刚高级工程师、白云高级工程师、张文杰高级工程师担任主审；朱云鹤高级工程师为本书的技术顾问，朱良、方咏秋参加了本书文稿的计算机录入工作；中国电子科技集团公司电科院领导、中国电子科技集团公司预研部王政、华云山、柯建波、李怀霞及电子工业出版社对本书的编著和出版给予了多方帮助和指导；在编著中参阅了许多同行专家的著作，对此一并深致感谢。

由于时间仓促，加之编著者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者和同行专家不吝赐教。

编著者

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

目　录

第 1 章　概述 …… 1
1.1　电气互连的重要性 …… 1
1.2　电气互连的分类 …… 1
1.3　电气互连的发展 …… 2
1.4　电气互连的核心——板级电路互连 …… 3
第 2 章　烙铁焊接 …… 5
2.1　烙铁焊接方法的定义及其重要性 …… 5
2.1.1　钎焊和软钎焊的定义 …… 5
2.1.2　印制板组件烙铁焊接的重要性 …… 6
2.2　焊点形成的基本原理 …… 7
2.2.1　焊点形成过程 …… 7
2.2.2　钎料的润湿与铺展 …… 8
2.2.3　熔融状液态钎料的毛细填缝 …… 11
2.2.4　钎料和母材间的相互作用 …… 12
2.2.5　焊点的组织形态 …… 14
2.2.6　钎焊性的测量与评定 …… 17
2.3　印制板烙铁焊接五要素 …… 20
2.3.1　钎焊基础理论和操作技能 …… 21
2.3.2　母材 …… 22
2.3.3　助焊剂 …… 27
2.3.4　焊料 …… 30
2.3.5　电烙铁 …… 33
2.4　烙铁焊接的操作技能 …… 38
2.4.1　焊前准备 …… 38

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2.4.2 印制板(PCB)的拿法 …… 38
2.4.3 电烙铁的使用 …… 38
2.4.4 海绵的使用 …… 39
2.4.5 吸锡带的使用 …… 39
2.4.6 热风枪的使用 …… 39
2.4.7 电子元器件烙铁焊接技术 …… 40
2.5 元器件引线的成形 …… 43
2.6 元器件插装 …… 44
2.6.1 印制电路板插装工艺的基本要求 …… 44
2.6.2 元器件在印制板上的插装方法 …… 46
2.6.3 印制板插装工艺流程 …… 49
2.7 印制板无铅烙铁焊接 …… 52
2.7.1 什么是无铅烙铁焊接 …… 52
2.7.2 无铅烙铁焊接的重要性 …… 53
2.7.3 无铅烙铁焊接的主要困难 …… 53
2.7.4 无铅烙铁焊接的对策 …… 54
第3章 再流焊 …… 55
3.1 再流焊原理 …… 55
3.1.1 再流焊定义 …… 55
3.1.2 气相再流焊 …… 55
3.1.3 激光再流焊 …… 60
3.1.4 红外、热风(红外+热风)再流焊 …… 62
3.2 再流焊炉的选用 …… 71
3.3 再流焊的缺陷及其解决方法 …… 74
3.3.1 缺陷分类 …… 74
3.3.2 再流焊的主要缺陷及产生原因 …… 75
3.4 无铅再流焊 …… 81
3.4.1 什么是无铅再流焊 …… 81
3.4.2 实施再流焊无铅化的主要困难 …… 82
3.4.3 无铅化的兼容性问题 …… 92
3.5 再流焊的某些发展趋势 …… 93
3.5.1 不需要助焊剂的再流焊工艺 …… 93
3.5.2 再流焊温度曲线形状仿真 …… 94

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第4章 波峰焊 …… 101
4.1 概述 …… 101
4.1.1 波峰焊的定义及基本原理 …… 101
4.1.2 波峰焊的主要特点 …… 102
4.2 波峰焊技术 …… 102
4.2.1 波峰焊机 …… 102
4.2.2 波峰焊工艺与材料 …… 104
4.3 波峰焊的主要缺陷及解决办法 …… 122
4.4 无铅波峰焊 …… 125
4.4.1 无铅波峰焊的主要困难 …… 125
4.4.2 实施无铅波峰焊的主要方法 …… 126
4.5 元器件引线的成形 …… 128
4.5.1 手工插装元器件引线的成形要求 …… 128
4.5.2 常用元器件引线成形参考尺寸 …… 129
第5章 印制电路组件的清洗 …… 133
5.1 印制电路组件清洗的重要性 …… 133
5.2 印制电路组件的清洗机理 …… 133
5.2.1 污染物的来源和种类 …… 134
5.2.2 污染物与组件之间的结合(附着) …… 135
5.2.3 清洗机理 …… 135
5.3 清洗剂与清洗方法 …… 135
5.3.1 清洗剂 …… 135
5.3.2 清洗方法 …… 139
5.4 影响清洗的因素 …… 148
5.4.1 PCB设计 …… 148
5.4.2 元器件类型 …… 149
5.4.3 元器件布局 …… 149
5.4.4 焊接条件 …… 150
5.4.5 焊后停留时间 …… 150
5.4.6 喷淋压力和速度 …… 150
5.5 清洗质量标准及其评定 …… 151
5.5.1 清洗质量标准 …… 151
5.5.2 清洗质量检测方法 …… 152

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5.6 PCBA清洗总体方案设计 …… 153
5.7 免清洗技术 …… 154
5.7.1 免清洗技术的现状 …… 154
5.7.2 免清洗技术的未来 …… 155
第6章 印制板组件的三防技术 …… 157
6.1 三防技术的重要性 …… 157
6.2 三防技术的内容 …… 157
6.2.1 环境影响 …… 158
6.2.2 防护措施 …… 158
6.2.3 环境试验技术 …… 159
6.2.4 三防技术管理 …… 159
6.3 环境因素对电子设备的影响 …… 159
6.3.1 温度 …… 160
6.3.2 潮湿 …… 162
6.3.3 盐分 …… 162
6.3.4 微生物和动物 …… 163
6.3.5 臭氧和腐蚀气体 …… 166
6.3.6 辐射 …… 172
6.3.7 沙尘 …… 173
6.3.8 压力 …… 173
6.3.9 机械环境条件 …… 174
6.3.10 人为的侵蚀环境 …… 174
6.3.11 复合环境的影响 …… 175
6.4 电子设备的三防 …… 177
6.4.1 电子整机三防 …… 177
6.4.2 印制板组件的保护涂覆 …… 177
第7章 金属粘接技术 …… 189
7.1 金属粘接在微电子组装中的重要性 …… 189
7.2 粘接机理 …… 190
7.2.1 吸附理论 …… 190
7.2.2 机械结合理论 …… 190
7.2.3 相互扩散理论 …… 190
7.2.4 化学结合理论 …… 191

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7.2.5 配位键理论 …… 191
7.2.6 各向异性导电胶应用机理 …… 191
7.3 导电胶粘接技术 …… 192
7.3.1 导电胶粘剂的分类和组成 …… 192
7.3.2 常用导电胶粘剂 …… 195
7.3.3 国外导电胶粘剂简介 …… 198
7.3.4 粘接基本工艺 …… 201
7.3.5 安全与防护 …… 202
第8章 压接 …… 209
8.1 冷压焊机理 …… 209
8.2 冷压焊接的特点及其适用范围 …… 210
8.2.1 冷压焊的特点 …… 210
8.2.2 冷压焊的优、缺点 …… 210
8.2.3 冷压焊的适用范围 …… 211
8.3 冷压焊工艺与设备 …… 212
8.3.1 冷压焊工艺 …… 212
8.3.2 冷压焊设备及模具 …… 215
8.4 铝－铜冷压焊 …… 219
8.4.1 铝－铜对接冷压焊 …… 220
8.4.2 铝－铜搭接冷压焊 …… 220
8.5 冷压焊质量检测 …… 221
第9章 陶瓷及其与金属的连接 …… 223
9.1 陶瓷的组成和性能 …… 223
9.2 陶瓷的连接 …… 223
9.2.1 陶瓷连接的特点 …… 223
9.2.2 陶瓷与陶瓷和陶瓷与金属的连接方法 …… 227
第10章 面向无铅组装的设计 …… 259
10.1 无铅组装的基本要素 …… 259
10.2 无铅组装设计 …… 259
10.2.1 无铅钎料选择 …… 259
10.2.2 无铅助焊剂的选择 …… 265
10.2.3 基板选择 …… 266
10.2.4 元器件引线(焊端)表面镀层选择 …… 268

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

10.2.5 无铅组装中的兼容性 …… 268
10.2.6 工艺条件的选择 …… 272
附录A 电子信息产品污染控制管理办法 …… 279
附录B WEEE和RoHS指令所涉及的电力电子产品种类 …… 286
附录C 日本工业标准JIS Z 3198:无铅焊料试验方法 …… 290
附录D 印制电路板组件装焊后的洁净度检测及分级 …… 311
附录E 印制电路板组件装焊后的清洗工艺方法 …… 319
参考文献 …… 325

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



第1章 概 述

1.1 电气互连的重要性

电气互连是电子设备制程中涉及众多技术领域的综合性基础工艺技术，广义地讲，电气互连是指在电、磁、光、静电、温度等效应及环境介质中任何两点或多点间的电气连通技术，即由电子元器件、光电子元器件、电路基板、连接器、线缆等零部件在电磁介质环境中经布局布线制成可承载所设定之电气功能的工程化实体的制造技术。随着电路频率、功率及功率密度的不断提高，电气互连就显得越发重要了。

电气互连作为电子设备制造的前沿技术，其主要内容如下：

① 特种互连基板制造技术；

② 高密度封装技术(包括 MCM、SIP)；

③ 高密度组装技术(包括立体组装)；

④ 新型元器件组装技术；

⑤ 以无铅焊接为中心的绿色互连技术；

⑥ 以焊点应力和寿命分析为代表的电气互连可靠性技术。

1.2 电气互连的分类

电子设备按其电气互连顺序由芯片、板级电路、整机、分系统和系统组成，与此相应，可将电气互连分为四级：

① 一级：芯片级互连；

② 二级：板级电路互连；

③ 三级：部件级(分系统)互连；

④ 四级：整机级(系统)互连。

以往将电气互连限定在板级及其以下级别(即二级至四级)的范围。近年来，由于芯

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

片技术的快速发展，特别是芯片的封装条件与板级电路组装时的结果之间的相互影响加剧，因而使芯片封装（一级互连）与其后的各级互连特别是板级电路互连的关系更为密切，从而往往将一级至四级互连作为一个整体加以研究。

板级电路电气互连是在互连基板上按要求组装元器件从而构成电路组件的工艺技术，也就是平常所说的印制板组装。这一级电气互连所要达到的目的是：使印制板组件能承受低电平，具有局部功能的电气模型。

部件级（分系统）电气互连是以板级电路为单元的在三维空间布局、布线的互连技术。这一级互连结果所要达到的目的是能承载电平较高、功能较大的电气模型。随着频率和电平的提高，电磁兼容与信息传输速度是这一级互连需要重点解决的问题。

整机级（系统）电气互连是多维互连技术（包括“无线”互连），其目的是实现产品最终的电气模型。这一级互连所针对的电气模型的电平高、规模大、限定性差，主要借助专用工具辅助的手工操作实现。如何实现数字化是研发的重点之一。

1.3 电气互连的发展

体积小、重量轻、质量可靠、环境友好始终是电子设备制造技术的推动力。继球栅阵列封装 BGA（ball grid array）、芯片尺寸封装 CSP（Chip Size Package）、系统级封装 SIP（system in package）和多芯片模块 MCM（multi chip module）之后，又推出了 POP（package on package）堆叠技术。如果说集成电路技术的发展让人惊叹不已，那么电气互连技术的变化同样令人目不暇接。

为适应市场需要，美国、日本、法国、瑞典等国家先后建立了专门的电气互连研发机构并卓有成效地推进了三维高密度电气互连技术的开发和应用。在军用与民用电子产品的市场竞争中取得了显著效果。

在分析国内外电子设备电气互连技术发展趋势时，必须要关注作为电气互连技术核心的微连接技术的动向。

微连接是指由于被连接对象尺寸的微小精细，在传统焊接技术中可忽略的因素（如溶解量、扩散层厚度、表面张力、应变量等）将对材料的焊接性、焊接质量产生不可忽视的影响，这些必须考虑结合部尺寸效应的焊接方法总称为微连接。采用微连接技术形成的焊点十分细小，一般为 $1mm^3$ 以下，最小焊点体积可达 $10^{-5}mm^3$。集成电路芯片内引线与其承载基板连接中所采用的再流焊、热压焊、超声焊以及板级电路组装中广泛采用的再流焊、波峰焊、导电胶粘接等均属于微连接。

微连接一词问世于 1961 年硅平面工艺诞生之时，自此之后，每一类新微电子器件的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

研发成功都伴随着连接技术的新突破，而微连接技术的新发展又有力地推动着微电子器件向更高的目标发展。正是在这种背景下，国际焊接学会(IIW)于20世纪80年代后期成立了微连接特设委员会(Selected Committee Microjoining)，日本、德国和中国也相继成立了专门的研究委员会，规划和推动微连接技术的发展。如今，微连接技术已成为一门独立的重要技术。

1.4 电气互连的核心——板级电路互连

2006年2月14日《北京晚报》署名文章“一个虚焊点引起的风波”详细披露了神舟号宇宙飞船在一次进行轨道舱有效载荷试验时，发现因一个控制箱的一个电源模块输出端的一个焊点虚焊，导致整个试验受挫，震动发射场，经上下总动员，逐一解体分析查找原因，急聘焊接专家现场指导，并经过两天的紧张工作后，才排除了故障。这个实例再一次说明一个焊点对整个电子控制系统可靠性的影响之大。据统计，板级电路互连的连接点(主要是焊点)一般要占整个电子设备连接点数的90%以上，不仅焊点数量多，而且不能保证焊点100%合格，因为一个焊点必须要在加热和化学反应(助焊剂作用)等众多工艺条件的合理配置下方能形成。其中随机发生的不可控因素难以全部消除，焊接零缺陷目前还只是个奋斗目标。以上种种因素充分说明板级电路互连的技术水平不仅对整个电子设备的可靠性有着举足轻重的影响，而且还直接决定着电子设备的体积、重量乃至制造成本和生产周期。

板级电路互连的主要方法是表面组装SMT(surface mount technology)和通孔插装THT(through hole technology)。随着电子设备轻小化和片式元器件的发展，SMT备受人们的关注。SMT工艺和设备得到日新月异的快速发展，SMT在板级电路互连中的应用不断扩大，几乎已成为板级互连方法的代名词。

SMT包括焊膏印刷、元器件贴装、再流焊等工序，但对互连可靠性影响最大的是连接。这是因为连接处于后部工序，而且影响连接质量的因素又比较多(如温度、化学反应等)。由此可知，SMT中的连接不仅是板级互连可靠性的关键技术，也是整个电子设备电气互连的核心技术。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第2章 烙铁焊接

2.1 烙铁焊接方法的定义及其重要性

烙铁焊接是一种具有100多年历史的焊接方法，在印制板组件(PCBA，printed circuit board assembles)的组装中仍有着广泛的应用。烙铁焊接是电子行业的习惯称呼，它的正确术语是烙铁钎焊，即使用烙铁进行加热的软钎焊。其英文表述是 iron soldering。PCBA 烙铁焊接示意图如图 2.1 所示。为了了解烙铁焊接方法的本质，下面介绍软钎焊的定义。

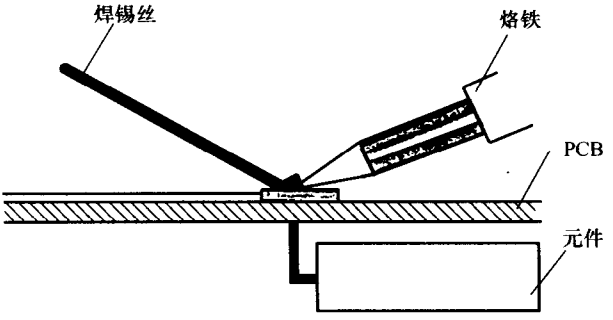


图 2.1 PCBA 烙铁焊接示意图

2.1.1 钎焊和软钎焊的定义

焊接的方法虽多达数十种，如氩弧焊、电弧焊(电焊)、氧乙炔焊(气焊)、点焊、激光焊、电子束焊、等离子焊、真空钎焊、气相焊等，但若从焊接连接机理可分为熔焊、压焊和钎焊三大类。PCBA 组装采用的烙铁焊接就属于钎焊。

钎焊的定义是：采用比母材熔点低的金属材料作为钎料，将母材和钎料加热到高于钎料熔点但低于母材熔点的温度，利用液态钎料润湿母材，填充接头间隙，并与母材相互

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

扩散而实现连接焊件的方法。根据使用钎料的不同熔点，将使用熔点高于450℃的钎料进行的钎焊称为硬钎焊(brazing)，而将使用熔点低于450℃的钎料进行的钎焊称为软钎焊(soldering)。显然，PCBA组装中所用的烙铁焊接均属于软钎焊。由于软钎焊所用的钎料大多是Sn基合金(通常所说的焊锡)，所以又称锡焊。

上述关于钎焊的定义中涉及润湿、间隙、扩散等许多概念，这些概念对了解烙铁焊接的基本理论十分重要，将在下面陆续介绍。

2.1.2 印制板组件烙铁焊接的重要性

目前，在PCBA的焊接中，尽管有不少生产效率高、焊接质量一致性好的焊接方法，如再流焊、波峰焊等方法在印制板(PCB，printed circuit board)的组装中得到广泛应用，但作为独具特色的烙铁焊接技术仍处于重要地位。

(1) 在下列场合，烙铁焊接仍处于不可缺少的地位

① 产品返修。

② 小批量试制或生产。

③ 一块PCB上对特殊的、个别的(少数的)焊点的焊接，可代替高代价的选择性波峰焊或高成本掩模夹具的波峰焊。

④ 工艺边范围内元器件的焊接。

⑤ 热敏感元器件的焊接。

⑥ 其他为节约制造成本或节省制造时间而进行的焊接。

(2) 设备简单，一次性投资少

(3) 操作灵活，可达性好

(4) 节能，节约材料

但是，手工焊也存在诸多局限与不足，主要包括：

① 生产效率低；

② 焊接质量容易受操作者技能和情绪的影响，质量一致性差；

③ 焊接0402等微型元件比较困难；

④ 容易产生焊盘损坏、焊球等缺陷。

克服烙铁焊上述缺陷的办法之一是加强烙铁焊技术的培训，掌握烙铁焊接的基础理论，练好烙铁焊接的操作技能。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2.2 焊点形成的基本原理

2.2.1 焊点形成过程

1. PCB烙铁焊接的工艺步骤

烙铁焊接的操作虽然比较简单，但也应按步骤施焊，否则难以保证焊接质量和效率。印制板烙铁焊接的一般操作步骤如下：

① 准备印制板和元器件；

② 将元器件安装(或插入)印制板上相应的焊盘(或通孔)；

③ 焊接；

④ 清除残留的助焊剂(如果有必要)；

⑤ 检查焊接质量。

2. 焊点形成过程

钎焊过程比较简单，但其物理化学反应却相当复杂。为了更好地了解钎焊过程中焊点形成的原理，可以将钎焊中焊点的形成划分为以下五个阶段：

① 将母材(印制板焊盘/通孔、元器件引脚/焊端)加热，使其达到钎料熔化的温度；

② 钎料(焊料、焊锡)熔化；

③ 熔化的钎料润湿母材表面并沿母材表面漫流，有时在毛细管力的作用下，熔化钎料流入连接零件的间隙；

④ 靠近熔化钎料的母材向熔化钎料中溶解，熔化钎料的元素向母材扩散；

⑤ 熔化的钎料冷却、结晶。

以上五个阶段不是截然分开的，而是交叉进行的。

下面，对上述焊点形成中的核心内容(即润湿、毛细填缝、钎料与母材相互作用等问题)进行进一步的阐述，以便了解焊点形成的基本原理。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2.2.2 钎料的润湿与铺展

1. 润湿与铺展

润湿与铺展这两个概念对掌握钎焊原理十分重要。

关于润湿的表述方法有多种，最简单的表述是："钎焊时，液态钎料对母材浸润和附着。"铺展的表述则是："液态钎料在母材表面上流动展开。"

钎焊时，熔化的钎料对固态母材表面的润湿是最基本的过程。因此，要保证得到良好的焊点，就必须保证熔化钎料良好地润湿母材。只有这样，熔化钎料才能顺利地填充钎缝间隙。所以，一般情况下，希望熔化了的液态钎料在固态母材上的接触角（润湿角）要小于20°。

接触角是润湿性好坏的量化表示方法，其含义是：固体和液体的表面及固－液相界面间都存在着表面张力或界面张力。严格地说，固体的表面张力应称为固－气相界面张力，液体的表面张力应称为液－气相界面张力。它们与固－液相界面张力的相对大小决定了液态钎料在固态母材上润湿和铺展的行为。当构成这一系统的材料的物理化学性质不相同时，所表现的润湿和铺展情况也不相同。例如，在清洁的玻璃板上滴一滴水，水滴可在玻璃板上完全铺展；如果滴的是一滴油，则油滴会形成一个球块，形成有限铺展；若滴一滴水银，则水银将呈一个球体在玻璃板上滚动，如图2.2所示。

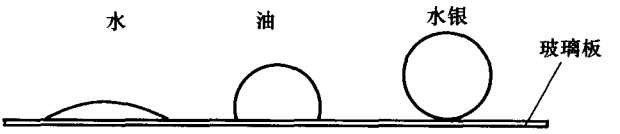


图2.2 不同的润湿性情况

对于一个确定的体系（液体、固体均一定），当其液体铺展后的最终形状可由杨氏（Young）方程（或称润湿平衡方程）来描述，如图2.3所示。

$$\sigma_{sg} - \sigma_{sl} - \sigma_{lg}\cos\theta = 0$$

式中，σ_{sg}——固－气相界面张力；

σ_{lg}——液－气相界面张力；

σ_{sl}——固－液相界面张力；

θ——平衡状态下的接触角。

从杨氏方程可以推导出接触角与各界面张力的关系，如图2.3所示。

接触角的大小与体系的润湿和铺展能力成反比，即

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

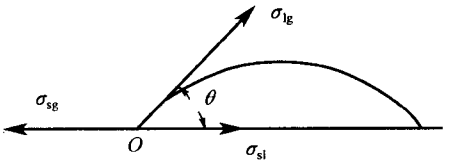


图 2.3 铺展时界面张力平衡示意图

$\theta=0°$为完全润湿；

$0°<\theta<90°$为润湿；

$90°<\theta<180°$为不润湿；

$\theta=180°$为完全不润湿。

2. 影响钎料润湿的因素

在钎焊中，关于影响钎料对母材润湿性的因素及其改善方法是钎焊技术研究中的核心内容之一，涉及的内容很多、很深，这里只给出基础性的简单介绍。

(1) 钎料和母材成分的影响

不同成分的金属材料具有不同的表面自由能，而表面自由能又与表面张力和界面张力密切相关。因此，当钎料和母材的成分变化时，其界面张力值也必然发生变化，从而直接影响到钎料对母材的润湿和铺展。一般来说，如果构成钎料和母材的各元素之间可以发生相互作用从而形成固溶体、共晶体或金属间化合物的，则会有良好的润湿性；反之则不然。例如，我们经常使用的焊锡是 Sn－Pb 合金，能够焊接 Cu，但却不能焊接 Al，道理即如此。为此要切记，一定成分的钎料只能焊接一定成分的母材，胡乱使用必出问题。

(2) 温度的影响

各种液态金属的表面张力大体上都是随温度升高而下降的。图 2.4 为 Sn 的表面张力随温度变化的实测结果。

所以，一般来说，温度升高，润湿性变好。但如果温度过高，就可能导致母材晶粒过分长大、过热、过烧等问题。并且，钎料的铺展能力过强时，容易造成钎料的过分流失，不易填满钎缝。同时也容易造成溶蚀等缺陷。因此，在实际钎焊中，钎焊温度的设定方法是：

钎焊温度＝钎料液相线温度＋20～40℃

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

或

钎焊温度＝钎料液相线温度的 1.05～1.15 倍

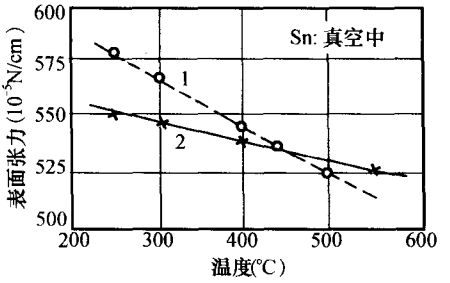


图 2.4　Sn 的表面张力随温度变化的实测结果

(3) 金属表面氧化物的影响

在常规条件下，大多数金属表面都有一层氧化膜(物)，氧化物的熔点一般都较高，在钎焊温度下为固态，其表面张力值很低，钎焊时将导致 $\sigma_{sg}<\sigma_{sl}$，产生不润湿现象，使钎料成球，不铺展。

去除氧化膜最有效的方法是采用助焊剂(钎剂)。当助焊剂去除了母材和钎料表面的氧化膜后，熔化了的液态钎料和固态的母材金属表面直接接触，从而可改善润湿效果。另外，当母材和钎料表面覆盖了一层液态钎剂后，如图 2.5 所示，系统的界面张力就发生了变化，当铺展达到平衡时，其杨氏方程为：

$$\sigma_{sf}-\sigma_{sl}-\sigma_{lf}\cos\theta=0$$

$$\cos\theta=(\sigma_{sf}-\sigma_{sl})/\sigma_{lf}$$

式中，σ_{sf}——母材与助焊剂间的界面张力；

σ_{sl}——母材与钎料间的界面张力；

σ_{lf}——钎料与助焊剂间的界面张力。

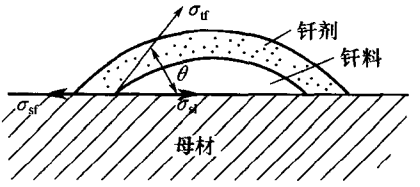


图 2.5　使用钎剂使母材表面上液态钎料所受的界面张力

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

与无助焊剂相比，只要满足 $\sigma_{lf}<\sigma_{lg}$ 或 $\sigma_{sf}>\sigma_{sg}$ 的条件，就可增强钎料对母材的润湿。

(4) 母材表面状态的影响

母材表面的粗糙度在许多情况下会影响到钎料对它的润湿，其原因之一是毛细管作用因素。

此外，母材表面手印沾污也会降低润湿，因为手印中含有水、肤油、氯化钠等物质。

2.2.3 熔融状液态钎料的毛细填缝

熔化的液态钎料能够润湿母材只是钎焊连接的一个最基本的前提条件，要获得优质的焊点，还需要使熔化状的液态钎料能够自动流入到钎缝的间隙中，这样才能真正实现被焊件之间的连接。液态钎料自动填充间隙的作用力来源于毛细作用。

毛细作用是液体在狭窄间隙中流动时所表现出来的固有特性。例如，当将两块相互平行的金属板垂直插入液态钎料中时，由于毛细作用使金属板间隙内的液态钎料液面的高度与板外侧的液面高度不同。如果液态钎料能够润湿金属板，则间隙内的液面高度比板外侧的液面高，如图 2.6(a)所示；反之，则间隙内的液面高度比板外侧的液面低，如图 2.6(b)所示。

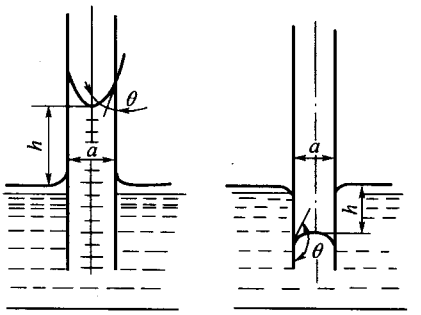


图 2.6 平行板间液体的毛细作用

毛细作用力的强弱可以用间隙内液面的爬升高度来评价。液态钎料在处于垂直位置的平行间隙中的最大爬升高度在假设金属板无限大、钎料量无限多的前提下，可按下式计算：

$$h = 2(\sigma_{sg} - \sigma_{sl})/\rho ga$$
$$= 2\sigma_{lg}\cos\theta/\rho ga$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中，h——钎料最大爬升高度，$h>0$ 表示间隙内液面升高，$h<0$ 表示间隙内液面降低；

a——平行板的间隙；

ρ——液态钎料的密度；

g——重力加速度。

由上式可知，液态钎料的爬升高度与液－气相界面张力 σ_{lg} 及润湿角的余弦值 $\cos\theta$ 成正比，而与间隙的大小 a 成反比。也就是说润湿性越好和间隙值越小时，爬升高度越大；反之爬升高度越小。当间隙不平行时，液态钎料将首先填充小间隙部分，然后再从小间隙处向大间隙部分推进。

在实际钎焊中，液态钎料的流动和爬升不是在瞬间完成的，而是需要一定时间，这就是说在毛细力作用下，液态钎料具有一定的流动速度 v：

$$v = \sigma_{lg} a\cos\theta / 4\eta h$$

式中，η——液态钎料的粘度。

由上式可知：

① $\eta\uparrow$，$v\downarrow$；

② $\theta\uparrow$，$v\downarrow$；

③ h 与 v 成反比，液态钎料填缝初期 h 小，v 大。以后 v 减慢，这说明若要保证钎料填满间隙，需要足够长的保温时间。

2.2.4 钎料和母材间的相互作用

钎焊中，在液态钎焊毛细填缝的同时会与母材发生相互作用，如图 2.7 所示，这种相互作用的推动力来源于钎料和母材间成分的浓度梯度所造成的扩散。可以将这种相互作用分为两类：一是母材向液态钎料中的溶解；二是钎料组分向母材中的扩散。这些相互作用的结果将对钎焊焊点的质量带来决定性的影响。例如，在印制板的组装焊接中，通常采用的钎料是 Sn－Pb 合金，而母材则大多为 Cu。在钎焊中，由于 Sn－Pb 合金和 Cu

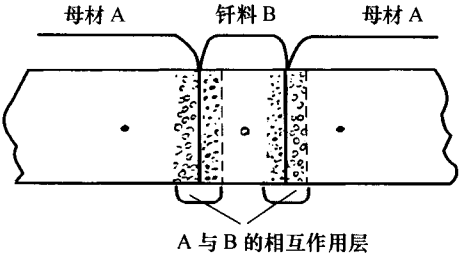


图 2.7 钎料与母材的相互作用

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的相互作用，生成 Cu_6Sn_5（η 相）和 Cu_3Sn（ε 相）金属间化合物层，适当厚度的 Cu_6Sn_5、Cu_3Sn 是实现连接的象征，但由于这种金属间化合物层较脆，如其厚度太厚，则反而会危害焊点质量。

1. 母材向液态钎料中的溶解

在钎焊中，母材向液态钎料中的溶解比较普遍。母材的适量溶解一般可改善焊点的成分，有利于提高连接强度。但母材的过分溶解会造成以下不良后果：

① 使液态钎料的熔点和粘度升高；

② 使液态钎料的流动性变差；

③ 钎料不能填满间隙，形成未焊透缺陷；

④ 使母材产生溶蚀或溶穿。

影响母材向液态钎料溶解的因素主要有两类，现介绍如下。

(1) 材料因素

材料因素是指母材组分在液态钎料中的极限溶解度和极限固溶度。在钎焊温度下，极限溶解度越大，溶解量越多。为了减少母材的溶解，可在钎料中加入母材金属的组分。例如，在 Sn－Pb 钎料中加入少量的 Cu 或 Ag 可减弱母材中 Cu 或 Ag 向钎料中的溶解。

(2) 工艺因素

① 温度的影响。随着钎焊温度的升高，母材在液态钎料中的溶解速度增加。如果钎焊时在母材与钎料的交界面上形成金属间化合物，虽然总体趋势仍是随温度升高使母材向钎料中的溶解速度加快，但在某一温度区间内会出现溶解速度下降的现象。例如，Cu 在 Sn 中的溶解速度是：在温度低于 340℃时，随钎焊温度的升高，母材的溶解速度增大。但在 340～410℃之间，随温度的升高，母材的溶解速度减小。正是在这一温度区间内，在钎料与母材的交界面处开始形成金属间化合物，从而阻碍了母材向钎料的溶解。当超过 410℃时，界面处金属间化合物层已达到一定的厚度，此时的溶解已成为金属间化合物层向液态钎料中的溶解。

② 加热保温时间的影响。在达到极限溶解度之前，一般是随保温时间的延长，母材向液态钎料中的溶解量增加。

③ 钎料量的影响。按照上述概念，钎料量的增加必然引起溶解量的增加。这就说明为什么在熔融钎料中浸焊时母材容易产生溶蚀，而在钎缝间隙较小的情况下，母材的溶解很快达到饱和状态。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 钎料向固态母材中的扩散

钎焊过程中，在钎料润湿母材的同时伴有扩散，且在此后的过程中扩散继续进行。

原子由于热运动而导致其位置的转移，在存在浓度梯度和化学位梯度的情况下，原子的热运动可以造成物质的宏观流动，这种现象称为扩散。

金属扩散理论很深奥。扩散可分为自扩散和互扩散(异扩散、化学扩散)。互扩散又可分为“下坡扩散”、“上坡扩散”、“原子扩散”、“反应扩散”。

根据扩散定律，钎焊时钎料向母材中的扩散遵守如下规律：

$$d_m = -DS(d_c/d_x)d_t$$

式中，d_m——钎料组分的扩散量；

D——扩散系数；

S——扩散面积；

d_c/d_x——在扩散方向上扩散组分的浓度梯度；

d_t——扩散时间。

由上式可知，钎焊时，钎料组分向母材中的扩散量与该体系中金属组分的浓度梯度、扩散系数、扩散时间和扩散面积有关。扩散从高浓度向低浓度方向进行。当钎料中某组分的含量比母材中的含量高时，就会发生该组分向母材金属中的扩散。浓度梯度越大，扩散量就越多。

2.2.5 焊点的组织形态

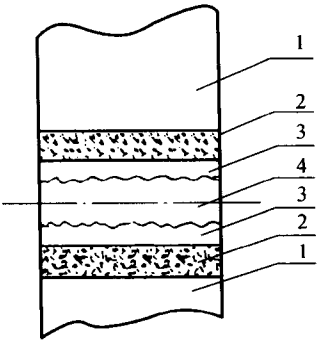
焊点是异种材料之间的冶金结合，由于钎料和母材间的相互作用，在连接处的金属组织形态比较复杂，从而对焊点性能产生很大影响。

1. 焊点组织的特点——不均匀性

由于钎料与母材的相互作用，从而使焊点的成分和组织与钎料的原始成分和原始组织都有所差异。焊点成分的组织常常是不均匀的，一般由三个区域组成，如图 2.8 所示，即母材上靠近界面的扩散区、与之相邻的焊点界面区和焊点中心区。

扩散区是钎料组分向母材中扩散所形成的；界面区是母材组分向钎料中溶解并冷却后形成的；焊点中心区是由于母材的溶解和钎料组分的扩散以及结晶时的偏析形成的，其组织也不同于钎料的原始组织成分。钎焊间隙较大时，该区的组织形态与钎料原始组织形态比较接近；而间隙较小时，则两者间可能存在极大差别。

www.789pdf.com 789书库网



1—母材；2—扩散区；3—界面区；4—焊点中心区

图 2.8 焊点组织示意图

2. 连接区的组织形态

焊点连接的组织形态对焊点性能的影响很大。不同母材和钎料材质体系的连接可以形成不同的组织形态(必须注意这个概念)。在构成焊点组织形态的三个连接区中，界面区的情况最为复杂。下面就以界面区的组织形态来介绍焊点连接区的组织形态。

(1) 固溶体类型的界面组织

晶格类型相同、原子半径相近的元素间大多可以形成固溶体。当钎料与母材为同基的合金时，在界面区也常常形成固溶体组织。例如，钎料和母材在相图上可形成固溶体时，焊点的界面区也极可能出现固溶体。固溶体组织的机械性能和电气性能与母材比较接近，从而有利于保证焊点性能。

(2) 共晶体类型的界面组织

如果母材和钎料能构成共晶体相图，则焊点中可能出现共晶体组织。这种利用钎料与母材接触溶解而形成共晶体焊点(焊缝)的方法称为接触反应钎焊。例如，Ag－Cu 可在 779℃时进行接触反应钎焊，只要满足 Cu 的含量达到 28% 即可(Ag 的熔点为 960℃，Cu 的熔点为 1 083℃)。Al－Cu 可在 548℃实现接触反应钎焊，只要保证 Cu 的含量达到 33% 即可。

(3) 金属间化合物类型的界面组织

金属间化合物(IMC，intermetallic compounds)是金属与金属或金属与类金属之间形成的化合物相。这种化合物不能用普通化学的原子价概念来解释，其成分也不能用化学

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

计量来确定。两种金属连接时，如在界面处形成金属间化合物相，就如同一种新的物质（新相）在被连接金属之间起作用。

母材和钎料在界面处形成化合物的过程是：在温度为 T 时，以 B 为钎料，母材为 A，A 向 B 中迅速溶解，界面区的浓度可达到 C，冷却凝固时，首先在界面处析出金属间化合物。例如，在 250℃时以 Sn 钎焊 Cu 时，在界面处就形成 Cu_6Sn_5 化合物相（η 相）。如果 A－B 体系存在几种化合物，在这个条件下（如钎焊温度过高），母材向钎料中的溶解使得界面区生成含母材成分较少的一种化合物后仍未达到该温度下的平衡状态，则 A 和 B 之间将继续扩散，冷却凝固后就可能出现几种化合物。例如，在 350℃下用 Sn 钎焊 Cu 时，在界面区除形成 Cu_6Sn_5 外，在 Cu_6Sn_5 与母材间又出现了 Cu_3Sn（ε 相）。ε 相是含 Cu 较高的化合物。

除了上述由扩散作用而形成化合物外，界面区的化合物也可能直接由母材与钎料间的化学反应而形成。

能形成金属间化合物的母材－钎料体系有：Ag－Cd、Ag－Ca、Ag－Ti、Ag－Sb、Ag－Zn、Ag－Sn、Ag－Al、Al－Ti、Cu－Zn、Fe－Zn、Al－Cu、Al－Mg、Cu－P、Fe－Si、Ti－Sn 等。

以上介绍的是纯金属母材与纯金属钎料钎焊时的情形，而实际钎焊时使用的都是合金钎料，此时的情况要复杂得多，目前还不太清楚其规律。从现有资料来看，用合金钎料进行钎焊时钎料组分能否与母材金属形成金属间化合物，除了取决于该组分与母材的相图外，还取决于它与母材金属和钎料其他组分金属之间的亲和力对比以及其在钎料中的浓度。

金属间化合物相硬而脆会对焊点的力学性能产生不利影响。当金属间化合物相呈分散不连续分布时，其影响较小，且可能由于弥散强化作用而强化焊点。但是，当金属间化合物层形成连续层而夹在母材与钎料之间且厚度较大时，其影响较大，会使焊点明显变脆，强度显著下降。所以，在采用 Sn－Pb 钎料钎焊 Cu 时，希望金属间化合物层的厚度不超过 4μm。

为减缓界面处金属间化合物相的生成，可采取以下措施：

① 在钎料中加入不与母材和钎料基体金属形成金属间化合物相的组元。例如，在 Sn 中加入 Pb 钎焊 Cu 时，可使 Cu_6Sn_5 层减薄。当 Pb 的质量达到 70%时，金属间化合物层可完全消失。

② 在钎料中加入只能与钎料基体金属形成化合物而不与母材形成化合物的组元。例如，在 Sn 中加入 Ag 钎焊 Cu 时，可在焊点中形成 Ag_3Sn 金属间化合物，从而使 Cu_6Sn_5 层减薄。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(4) 附着型界面组织

附着型界面组织是一种不发生扩散而且无论是固相还是液相都不能互溶的金属，个别的也可进行附着连接，即附着型连接，如 Fe 和 Pb、Fe 和 Bi。最早提出此理论的是前苏联学者拉实柯，日本学者田中和吉也持相同观点。

2.2.6 钎焊性的测量与评定

钎焊性习惯上被称为可焊性，它体现了熔融钎料对母材的润湿性能，是钎料的重要工艺性能指标。因此在工程上需要对其进行评定，尤其是希望能进行定量的评定。但目前还无法从理论上完全精确地确定实际工程体系的润湿性优劣。其原因之一是缺乏各种材料匹配(钎料与母材的组合)之间的润湿角数据。此外，实际钎焊过程中的条件比较复杂、影响因素众多也是原因之一。因此，一般只能借助于实验方法来评定其润湿性。下面介绍几种工程上常用的方法。

1. 润湿角测量法

将一定量的钎料放在给定尺寸的母材上，采用相应的去除氧化膜的措施(如施加钎剂)，如图 2.9(a)所示。加热到规定的温度，保温一定的时间，使钎料在母材上铺展。冷却后，沿铺展钎料的中心线截取剖面，并从剖面上来测量钎料与母材的接触角 θ，如图 2.9(b)所示。以 θ 角的大小作为指标来评定钎料润湿性的优劣，较小的 θ 值表示钎料润湿性能良好。

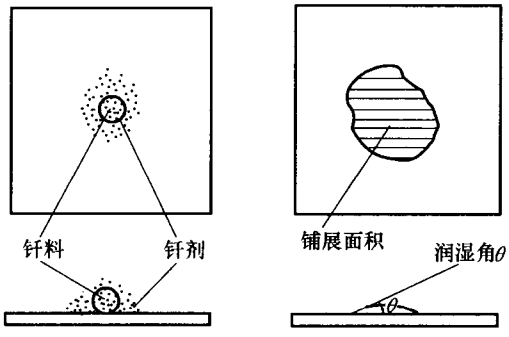


图 2.9 润湿角及铺展面积的测量

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 铺展面积测定法

试件的制备方法与测量接触角时相同，在冷却后的试件上直接测量钎料的铺展面积（见图 2.9）。铺展面积越大则表示钎料的润湿性越好。对于钎料铺展后的形状比较规则且外表轮廓近似于球冠的试件（如 Sn、Pb 在 Cu 上铺展的情况）可采用下式计算铺展面积：

$$S = \pi(D_1 + D_2)/16$$

式中，D_1、D_2——沿母材表面两垂直方向上的球冠直径。

对于钎料铺展形状不规则的体系（如 Zn 在 Al 上铺展的情况），则需要实测铺展面积。

3. 填缝长度的测定

取两块规定尺寸的平板构成 T 形接头，在试件的一端放置一定量的钎料和钎剂，在规定温度下保温一定的时间，然后冷却并测量钎料填充间隙的长度 L（即钎料流动的距离）（见图 2.10）。可按 L 值来评定钎料的润湿及流动性能，L 值越大，则表明润湿填缝性能越好。注意，在进行对比时，应保证各试件的间隙大小相同。

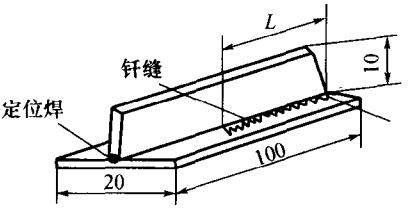


图 2.10　填缝长度的测量方法

4. 复合板流动系数的测定

对表面涂有钎料合金的复合板可采用如图 2.11 所示的 T 形接头进行钎焊。钎焊后采用流动系数 K 来表征钎料的润湿性：

$$K = V_1/V = A_S n/l\delta$$

式中，V_1——单位长度钎缝圆角的总体积；

V——单位长度复合板上钎料总体积；

A_S——钎缝圆角的截面积[$A_S \approx (1-\pi/4)R^2 = 0.125R^2$]；

n——钎缝圆角数。取单侧时为 1，取双侧时为 2；

l——复合板的宽度；

δ——钎料涂层的厚度。

流动系数 K 值大，表示钎缝圆角的半径（R）大，即钎料的润湿性能好。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

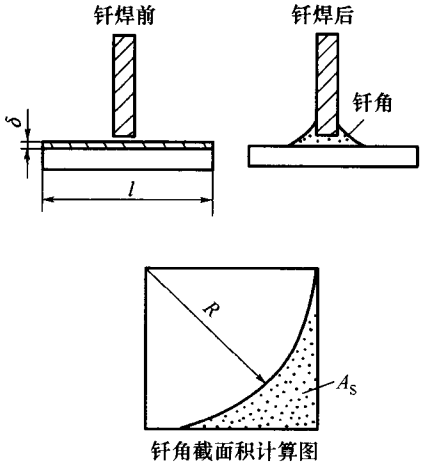


图 2.11 复合板 T 形接头钎焊时的流动系数

5. 润湿时间的测定(焊球法)

焊球法测定润湿时间的过程如图 2.12 所示。将一定重量的钎料球放在测试台上加热熔化,将丝状母材置于测试探针的下方(与探针尖端的间隙约为 0.50mm)。在测试时,将探针和丝状母材一起压向熔化的钎料球。当丝状母材与钎料球接触时,测试仪器开始记时,而当钎料完全润湿并包敷丝状母材从而与其上方的测试探针相接触时,停止测试。从丝状母材与钎料接触到完全被钎料润湿并包敷所需的时间 t 为润湿时间。t 越小,说明熔融钎料对母材的润湿作用越迅速,润湿性越好。该方法的优点在于可以给出定量的数据,缺点是只适用于加热温度较低的情况,当钎料的熔点较高时,该方法会受到限制。

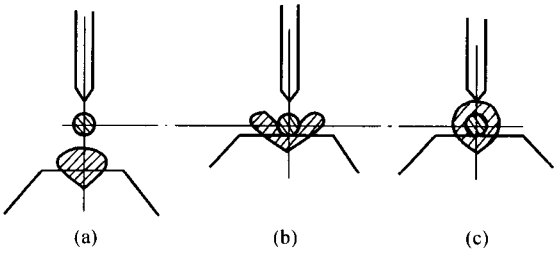


图 2.12 润湿时间测量示意图

6. 润湿力的测定

将丝状或片状母材以一定的速度插入到规定温度的熔融钎料槽中,当插入深度达到规定值(一般为 3mm)时停止试件的运动,使被测试件端部在液态钎料中停留一段时间后,将

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

其提取出来。测试方法的过程示意图如图 2.13(a)所示。在此过程中通过一个类似于电子天平的装置来测量试件上所受作用力的变化情况，其测量曲线的典型形状如图 2.13(b)所示。

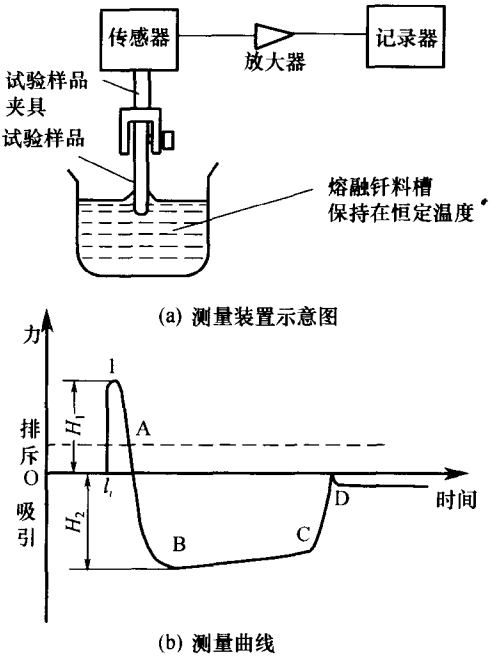


图 2.13　润湿力的测量

测量过程中，当试件端部与液态钎料接触并向下插入时，试件受到浮力的作用，浮力的大小等于试件端部所排开的钎料的重量。随着钎料对线材的逐渐润湿，浮力的作用逐渐被抵消，曲线由正向负变化。当合力为零时，记录其时间，该时间称为零交时间 t_0。测试过程继续进行时，合力负值继续增大，将浸入时间 $t=3\text{s}$ 时的合力记为 F_3。当合力不再随时间变化时，将该时刻的合力记为 F_{max}，然后将试件从钎料槽中取出，完成测试。t_0 越短，说明润湿作用越迅速；F_{max}越负(负值越大)，说明 σ_{sl}和 σ_{lg}值越大。t_0 越小，F_3 越负，说明钎料对母材的润湿性越好。

2.3　印制板烙铁焊接五要素

所谓五要素，是指在印制板烙铁焊接中形成一个合格焊点所必须具备的五个基本条件。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

上面介绍的钎焊机理告诉我们，一个焊点的形成过程是：在一定条件下（如温度、助焊剂、焊料等），熔融状的液态钎料自行注入固态母材间的间隙，并依靠毛细作用保持间隙内的液态钎料与固态母材间发生相互作用（溶解、扩散），经冷却后，钎料凝固形成钎焊接头，即焊点。为了顺利实现上述焊点的形成过程，保证焊接质量，必须具备如图 2.14 所示的五要素。

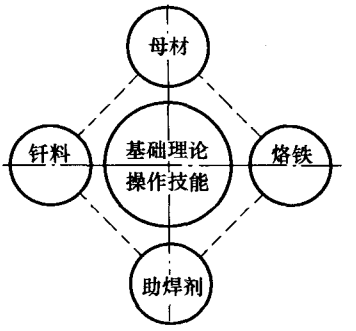


图 2.14 印制板烙铁焊接五要素

这五要素是：

① 要掌握一定的钎焊基础理论和熟练的烙铁焊接的操作技能；

② 母材要有良好的可焊性；

③ 符合要求的助焊剂；

④ 性能优良的钎料；

⑤ 温控性能好、寿命长、轻便灵活的电烙铁。

要求相关人员在作业中时刻记住这五要素，特别是当遇到焊不上、焊不好、效率低、产生焊接缺陷时，应根据五要素寻求解决措施。

2.3.1 钎焊基础理论和操作技能

印制板烙铁焊接属于钎焊范畴。钎焊作为三大类焊接方法之一，在微电子互连中的应用相当广泛。从集成电路封装（BGA、CSP 等）到板级电路组装乃至分系统及系统的互连都离不开钎焊。钎焊作为一门科学有其本身的规律，为使钎焊操作高效、钎焊结果优质并在实践中有所创新，掌握钎焊基础理论是十分重要的。

钎焊不仅是一个金属冶金过程，其间还伴有化学反应。因此，除了掌握钎焊连接的基本原理外，对从事印制板烙铁焊接的从业人员而言，还应学习并掌握如下知识：金属学、化学、热传输、PCB 制造和元器件制造等。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

我们国家正在全国范围内实施加速培养“高级蓝领”的宏伟工程，希望大家认清形势，立志成才。

印制板烙铁焊接是一种具有显著技能性的工作，在基础理论指导下，必须苦练钎焊操作的技能。有关印制板烙铁焊接的技能训练将在本书的操作技能部分予以详细介绍。

2.3.2 母材

母材就是被连接的构件，因此它的材质和表面状况对助焊剂、钎料的选用以及钎焊加热规范的设定等都有十分重要的影响。确认母材性质及其可焊性是实施钎焊的第一步。

对印制板烙铁焊而言，它所面对的母材主要有 PCB 焊盘和元器件引脚(焊端)。

1. PCB 焊盘

PCB 上为连接元器件和印制导线而制作的导电图形称为 PCB 焊盘，习惯称其为焊盘。与印制板烙铁焊接直接有关的是焊盘的结构和焊盘表面的保护层。

(1) 焊盘的类型和结构

焊盘的类型如图 2.15 所示，可分为表面贴装焊盘与通孔插装焊盘。

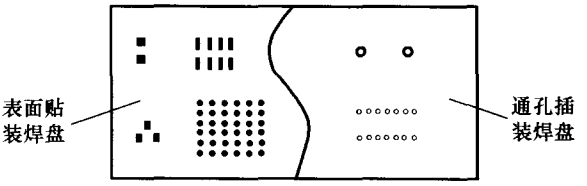


图 2.15 印制板焊盘分类

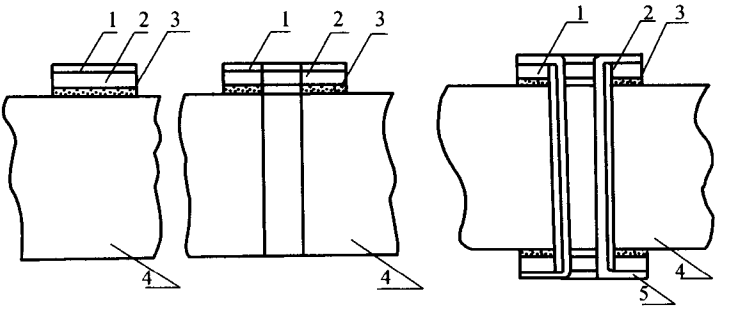
焊盘的结构示意图如图 2.16 所示，表面贴装焊盘和单面板的插装焊盘比较简单，双面板和多层板的插装焊盘相对复杂。了解焊盘结构对于保证焊接质量、避免产生焊接缺陷是十分有利的。

(2) 焊盘表面保护层(又称可焊性层)

焊盘一般是纯 Cu 的，而纯 Cu 在空气中容易氧化从而降低可焊性，所以纯 Cu 焊盘的表面必须制作保护层。目前，PCB 焊盘表面常用的保护层及其性能见表 2.1。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



(a) 表面贴装焊盘　　(b) 单面板插装焊盘　　(c) 双面板插装焊盘

1—焊盘表面保护层；2—焊盘；3—焊盘与基板间的黏结层；
4—基板；5—通孔插装焊盘的金属化层(保护层)

图 2.16　焊盘结构示意图

表 2.1　焊盘表面保护层种类及性能

种　　类	性　　能
Sn－Pb－HASL (Sn－Pb 合金热风整平)	可焊性好，储存时间长，涂层坚固，但表面欠平整，难以满足细间距器件的要求，成本低
ENiG (化学镀 Ni＋浸 Au)	可焊性不及 Sn－Pb－HASL 的好，表面平整，无铅，成本较低
OSP (有机可焊保护层)	可焊性较好，保护层欠坚固，无铅，成本低
水金 (电镀 Ni＋电镀 Au)	可焊性不及 Sn－Pb－HASL 的好，保护层很薄，无铅，成本较高

目前常用的是 Sn－Pb HASL，但垂直式热风整平方法制得的涂层表面平整度差，影响元器件贴装。解决这一问题的方法是采用水平式 HASL。

(3) 焊盘

焊盘的材质一般是纯铜，其厚度很薄且已标准化(见表 2.2)。烙铁温度过高或加热时间过长、用力过猛均会导致焊盘翘起，甚至脱落，从而产生焊接质量事故。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 2.2 铜箔的公称厚度和质量厚度

公称厚度(mm)	质量厚度(g/m^2)	允许公差	
		质量厚度公差(g/m^2)	参考厚度公差(mm)
0.018	152	±15	+0.008, -0.004
0.035	305	±30	+0.010, -0.005
0.070	610	±61	+0.018, -0.008

(4) 基板

PCB 基板的耐焊和耐热性不仅对再流焊、波峰焊具有重要意义,PCB 烙铁焊接时同样要十分关注基板的耐焊性能。

PCB 基板主要分为有机类和无机类两类。有机类基板是指采用增强材料(如玻璃纤维布、玻璃毡、纤维纸等)浸以树脂(如酚醛、环氧等)粘合剂烘干成坯料,再在其表面覆上铜箔,并经高温高压压制而成。这类基板常称为覆铜箔层压板(CCL,copper clad laminatos),又称覆铜板,是制造 PCB 的主要材料。无机类基板主要是陶瓷板和瓷釉包覆钢基板。

CCL 品种较多,我们经常见到的是纸基 CCL、玻璃布基 CCL 和复合基(CEM)CCL:

① 纸基 CCL:常见牌号是 XPC、XXXPC、FR-1、FR-2、FR-3。"FR"代表板材具有阻燃性能。这类基板性能较差,主要用于一般产品中的单面板。

② 玻璃布基 CCL:这是 SMT 产品中主要的基板材料,其主要牌号有:FR-4、FR-5、G10、G11。FR-4 占总用量的 90%以上。G11、FR-5 的耐热性优于 G10、FR-4。

③ 复合基 CCL:是指基板的增强材料是由不同材料构成的。复合基的代号是 CEM(composite epoxy material)。CEM 主要有两个品牌:CEM-1 和 CEM-3。CEM-1 是由 FR-3 改进而来,其机械强度、耐潮性、平整度、耐热性、电气性能等比纸基 CCL 的好,是 FR-3 的替代产品。CEM-3 是由 FR-4 改进而来,在钻孔性等方面比 FR-4 好,且价格比较便宜。但其厚度、精度不及 FR-4,焊后的扭曲程度比 FR-4 大。

以上几种常用基板的耐热、耐焊性见表 2.3。

表 2.3 常用基板耐热、耐焊性

基板 / 项目	纸基覆铜板				玻璃布基覆铜板					复合基覆铜板	
	XPC	XXXPC	FR-2	FR-3	FR-4	FR-5	G10	G11	FR-6	CEM-1	CEM-3
耐浸焊性	板厚 0.8~1.6mm, 246℃/10s 板厚 1.6mm 以上, 260℃/5s			260℃/5s	260℃/20s					260℃/20s	260℃/120s

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

基板 / 项目	纸基覆铜板				玻璃布基覆铜板					复合基覆铜板	
	XPC	XXXPC	FR－2	FR－3	FR－4	FR－5	G10	G11	FR－6	CEM－1	CEM－3
耐热性（空气中）	120℃，30min			120℃，60min	140℃，60min					120℃，60min	
耐热性					230℃，60min						230℃，60min

2．元器件引线/焊端

一般元器件的引线(lead)和片式元件的焊端(termination)也都是印制板焊接的母材，了解它们的材质及其表面保护层金属种类对保证烙铁焊接的质量同样具有关键作用。

(1) 片式元件

早期的片式元件焊端为 Ag－Pd 结构，焊接时 Ag－Pd 容易被 Sn－Pb 合金溶蚀，后来改成如图 2.17 所示的焊端，从而缓解了焊接时的溶蚀现象(见图 2.18)。尽管如此，当烙铁焊接片式元件时，还应严格控制加热温度和加热时间。

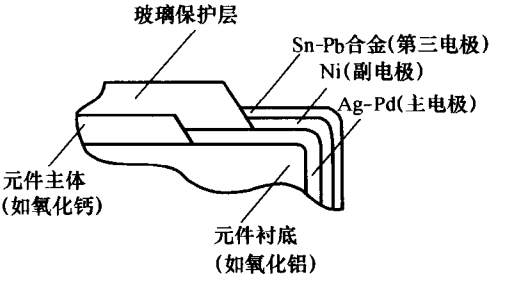


图 2.17 片式元件焊端结构示意图

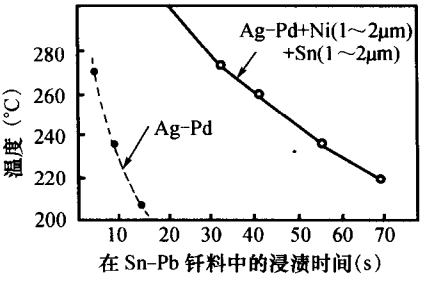


图 2.18 焊端被蚀开始时间与钎料温度的关系

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) SOIC、QFP 等集成电路

SOIC、QFP 等集成电路引线的材质一般是 42 合金(Ni42 - Fe 合金),其表面保护层为 Sn - Pb 合金,只要器件未超储存期,保存良好,未弄脏引线表面,烙铁焊接是可以顺利进行的。但当引线间距小于 0.5mm 时,烙铁焊接时容易出现连焊。在无铅条件下,这类器件引线表面保护层金属(或合金)的熔点往往高于 Sn - Pb 且可焊性也有所降低,因此烙铁焊接的困难较大。

(3) 有引线分立元件(插装用 R、C、L 等)

有引线分立元件引线的材质一般是纯 Cu 线或 CP 线(Cu 包钢线),其表面保护层为 Sn - Pb 合金,采用烙铁焊接比较容易。

(4) 晶体管和二极管

晶体管和二极管的引线一般采用 29Ni - 17Co - Fe 合金,其表面镀层为 Sn - Pb 合金。只要引线表面清洁是比较容易焊的,但因有些二极管的引线较粗,焊接时需要较多热量。

综上所述,常用元器件对焊接方法的适应性见表 2.4。

表 2.4 元器件对焊接方法的适应性

元器件 \ 焊接方法		波峰焊	再流焊	烙铁焊
插装分立元件(R、C、L)		最常用	很少用	常用
晶体管、二极管		最常用	很少用	常用
片式元件	矩形	最常用	最常用	有时用
	圆形	最常用	最常用	很少用
SOIC、QFP		常用	最常用	常用
机电元件		最常用	很少用	常用

3. 母材的可焊性

可焊性的规范用语应称为钎焊性,它是指母材对钎焊加工的适应性,即在一定的钎焊条件下获得优质焊点的难易程度。优质焊点意味着焊后质量的持久性,因此,完全的可焊性应包括:

① 钎焊的难易程度;

② 焊后质量的持久性。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

印制板组装中的可焊性问题是一个涉及面很广、理论性很强的问题,20世纪80年代,电子行业曾就此问题组织了全国性的科技攻关。从可焊性机理、母材可焊性的改进及可焊性的测试技术等方面进行了全国性高等院校、研究院所和企业的大协作攻关,并取得了一批科研成果。对印制板烙铁焊而言,经常遇到的母材可焊性不良的主要原因如下:

① 母材(PCB焊盘、元器件引线/焊端)表面的镀/涂层质量不良(镀/涂层太薄、多孔、清洗不净等);

② 储存时间超期或储存条件不良;

③ 运输过程中被污染;

④ 在SMT、THT过程中被污染。

这里需特别指出的是:因不戴洁净手套而用手触摸母材所产生的质量事故时有发生,这种教训应时刻牢记。

母材可焊性好坏的最简单直观的评定是施焊困难与否。准确而定量的测定方法有焊球法、润湿平衡(称量)法等。上面介绍的润湿性测定方法原则上均可用于可焊性评定。

2.3.3 助焊剂

1. 助焊剂的作用

助焊剂是决定印制板烙铁焊接成败的关键之一,我们应牢记:没有性能优良的助焊剂就不可能顺利进行焊接,也不可能获得高质量的焊点。助焊剂的主要作用如下:

① 去除母材表面的氧化膜,如常用的助焊剂松香在一定温度下被分解而产生松香酸,它与铜的氧化物发生化学反应并将氧化铜还原成铜,从而实现焊接;

② 防止在焊接过程中母材表面和焊料表面重新生成新的氧化膜;

③ 降低熔融状态焊料的表面张力,使其沿母材表面能够良好润湿、漫流、填隙;

④ 传递热量。由于母材表面实际是不平整的,从而影响烙铁的温度向母材传递。液态助焊剂可"填平补齐",强化热量的传递。

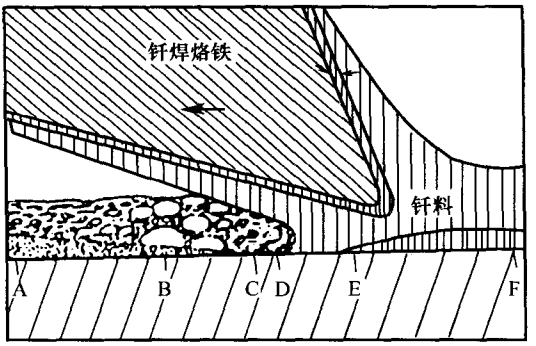
烙铁焊接时助焊剂的作用机理如图2.19所示。

2. 助焊剂的组成及分类

助焊剂的组成比较复杂,其主要成分是成膜物质、活化物质、助剂、溶剂。具体成分和配比要针对不同使用要求进行设计和制备,而且一般属于商业秘密,制造商不予公开。某些软钎焊助焊剂的组成见表2.5。印制板烙铁焊接常采用以中等活化松香作为成膜剂和活化剂的助焊剂,中等活化松香的表示方法是RMA。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



A—钎剂覆盖氧化的金属；B—沸腾钎剂除去氧化物；C—钎焊金属与熔融钎料接触；D—熔融钎料代替熔化的钎剂；E—钎料与钎焊金属合金化；F—钎料凝固

图 2.19　烙铁焊接时助焊剂的作用机理

表 2.5　软钎焊常用助焊剂的组成

	助焊剂的组成		典型原材料
不挥发性物质	成膜物质	矿脂 天然树脂 合成树脂	矿物油、凡士林、石脂等 松香 改性酚醛树脂、聚氨基甲酸酯 改性丙烯酸树脂、聚合松香 改性环氧树脂等
	活化物质	无机酸 无机金属盐 有机酸	盐酸、正磷酸、氢氟酸、氟硼酸等 $ZnCl_2$、$SnCl_2$、$CdCl_2$、$CuCl$、$PbCl_2$、$NaCl$、氟硼酸镉、氟硼酸锌等 乳酸、硬脂酸、柠檬酸、松香酸、苯二甲酸、水杨酸、谷氨酸、油酸、安息香酸、草酸、十二烷酸等
		有机卤化物	溴化水杨酸、溴化肼、盐酸联胺、盐酸苯胺、盐酸乙二胺、盐酸谷氨酸、氢溴酸肼、盐酸肼、十六烷基溴化吡啶、溴化胺、十六烷基三甲基溴化胺、二乙基二甲基十六烷溴化胺等
		胺、酰胺及其他	乙二胺、三乙醇胺、苯胺、联胺、磷酸苯胺、磷酸联胺、环己烷二胺、环丁烷二胺、二乙烯肼、二乙烯三胺、甘油、脲、氟碳等
	助剂		乳剂、甘油、润湿剂等
挥发物质	熔剂与稀释剂		水、乙醇、丙三醇、甲醇、异丙醇、聚乙二醇、乙醚、松节油等

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

助焊剂的分类方法较多且尚不统一，目前常用的分类有：按焊后是否需要清洗可分为免清洗助焊剂和清洗助焊剂；按活化剂种类可分为有机助焊剂、无机助焊剂和胺类助焊剂；按溶剂类型可分为溶剂型助焊剂和水基助焊剂；按焊后清洗助焊剂残留物所用的清洗剂类型可分为水溶性助焊剂和非水溶性助焊剂。

这里应引起注意的两个问题是：其一，助焊剂与其焊后残留物的清洗剂必须匹配，否则不仅清洗不净，有时还会产生新的污染；其二，在采用免清洗助焊剂的条件下，往往对其焊后残留物还需进行清洗。导致这一问题的原因有二：一个是对免清洗助焊剂的免清洗效果不放心，总认为不经清洗质量就不可靠，这主要是人们认识上的问题；另一个原因则是由于实现免清洗的其他条件（如助焊剂的涂布量和涂布均匀性，PCB 和元器件的可焊性和洁净度等）达不到要求，从而使焊出来的 PCBA 的离子污染度和表面干净度达不到规定标准，因此必须进行清洗。这种情况下的清洗往往比通常的清洗更困难，应严格按照免清洗助焊剂供应商提供的清洗剂和清洗方法谨慎实施清洗。

3．助焊剂的选用

助焊剂的成分比较复杂，种类、型号很多，在选用时的主要原则如下：

① 熔点、特别是助焊剂中活性物质的作用温度应比焊料的熔点低；

② 助焊能力（活性）强；

③ 残渣要少，而且不粘；

④ 残渣的腐蚀性符合要求；

⑤ 助焊剂中活性物质的作用温度区间较宽；

⑥ 无刺激味，烟雾少；

⑦ 价格合理，供货及时；

⑧ 管状焊锡丝中的助焊剂与滴瓶中助焊剂或焊剂笔中的助焊剂应兼容；

⑨ 助焊剂应与焊后清洗剂兼容并同时选定。

助焊剂分为免清洗的或清洗的，应根据具体工艺确定。

4．助焊剂使用注意事项

助焊剂是化工产品，品种很多，性能各异，均各有严格的应用范围，有敏感的储存期限，因此，使用时应注意如下几点：

① 不同型号、不同性能的助焊剂不能混用；

② 助焊剂不能滴落溢流，用后随时加盖；

③ 能少用则少用，尽可能少加助焊剂；

④ 使用时间长了，液态助焊剂中溶剂不断挥发，性能发生变化，应予更换。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2.3.4 焊料

1. 焊料的作用

所谓焊料，就是烙铁焊接时经常使用的管状焊锡丝，它的正确名称是软钎料（钎料的一种），是重要的工艺材料之一。它的作用主要是：

① 构成焊点的金属材料；

② 承担焊点的机械和电气连接作用。

2. 焊料的成分和性能

焊料是由两种或两种以上金属按一定比例配制冶炼而成的合金。在印制板烙铁焊接中所用的焊料一般是由 Sn（锡）和 Pb（铅）按一定比例冶炼而成的，称为锡铅钎料。

锡铅钎料的品种很多（见表 2.6），为了了解其主要的物理性能和力学性能与成分和温度的关系，可简单分析一下锡铅合金的平衡相图（见图 2.20）。由相图可知，锡铅二元合金构成的是典型的共晶相图，其共晶成分是 w(Sn)61.9%，w(Pb)38.1%，共晶温度为 183℃，共晶体由面心立方的 α(Pb)相和体心立方的 β(Sn)相组成。在共晶温度下，Sn 在 Pb 中的溶解度为 19.5%，随着温度的下降，其溶解度降低，同时析出 β(Sn)固溶体，室温时 Sn 在 Pb 中仅能溶解 2%～3%。共晶温度时，Pb 在 Sn 中的溶解度为 2.5%，该温度下降析出 α(Pb)固溶体，室温时 Pb 在 Sn 中的溶解度仅为万分之几。

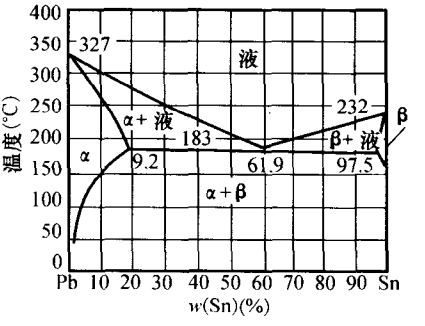


图 2.20 锡铅二元合金平衡相图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 2.6　锡铅钎料的物理性能和力学性能

钎料成分（%）		熔化温度（℃）		密度	与纯铜电导率之比	电阻率	热导率	线膨胀系数	抗拉强度	抗剪强度	冲击韧度	伸长率	硬度
w(Sn)	w(Pb)	固相线	液相线	(g/cm^3)	(%)	($m\Omega \cdot cm$)	(4.18 W/m·k)	($\times 10^{-6}$/℃)	(9.8MPa)	(9.8MPa)	($10J/cm^3$)	(%)	(MPa)
100	0	232	232	7.31	13.9	12.85	0.157	22.4	1.9	2.19	5.29	43	6.2
90	10	183	220	7.75	—	—	0.15	26.0	4.3	2.70	1.85	25	13.0
80	20	183	208	7.87	—	—	—	—	4.5	5.01	1.37	22	13.5
75	25	183	196	8.02	—	—	—	—	4.4	4.13	2.23	22	14.9
62	38	183	183	8.35	11.9	14.13	—	24.7	4.1	4.34	2.75	34	10.5
50	50	183	209	8.87	11.0	15.82	—	—	3.6	3.54	4.59	32	15.6
40	60	183	235	9.31	10.2	17.07	0.095	25.0	3.2	3.67	4.75	63	12.6
33	67	183	250	9.61	9.7	—	—	—	3.2	3.35	4.36	66	15.6
30	70	183	256	9.69	9.5	—	0.094	26.5	3.3	2.90	4.67	58	10.1
25	75	183	265	9.94	9.1	—	—	—	2.8	2.85	3.68	52.1	10.5
20	80	183	277	10.2	8.6	20.50	—	26.5	2.8	2.52	3.86	67	10.5
18	82	183	277	10.2	8.6	—	0.093	26.0	2.8	2.52	3.86	67	10.5
15	85	225	287	10.3	8.3	—	—	—	2.4	2.52	3.60	47	9.7
10	90	265	302	10.8	—	—	—	24.6	3.2	2.46	3.49	32	9.7
5	95	300	314	11.0	—	—	—	—	—	2.35	2.51	21	8.1
0	100	327	277	11.4	7.9	20.00	0.08	29.5	1.1	1.27	2.11	45	3.3

锡铅合金成分与其主要力学和物理性能的关系如图 2.21 和图 2.22 所示。

锡铅钎料对铜等多种金属均有良好的润湿性能和铺展能力，尤其是共晶成分（通常所说的含 Sn 63%、含 Pb 37% 的 63/37 焊料）的锡铅合金，在适当温度下其铺展面积明显增大（见图 2.23），而且其表面张力小，流动性好，力学性能也十分优异，成为印制板组装焊接中应用最广泛的焊料合金。

3. 焊料的形状

焊料的形状有丝状（线状）、条状、粉状、球状、环状等。印制板烙铁焊接常用的是丝状的焊锡丝。图 2.24 是一种三芯焊锡丝的结构示意图。质量良好的焊锡丝沿焊锡丝长度方向的助焊剂分布应均匀、连续。焊锡丝外径越细，助焊剂芯数越多，制造越难，成本

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

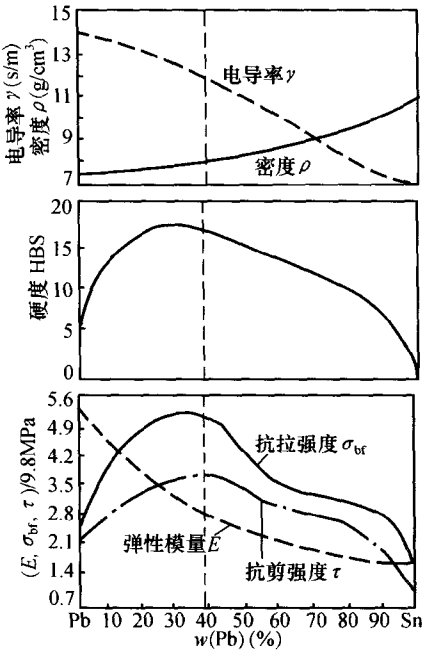


图 2.21　锡铅钎料的性能与成分的关系

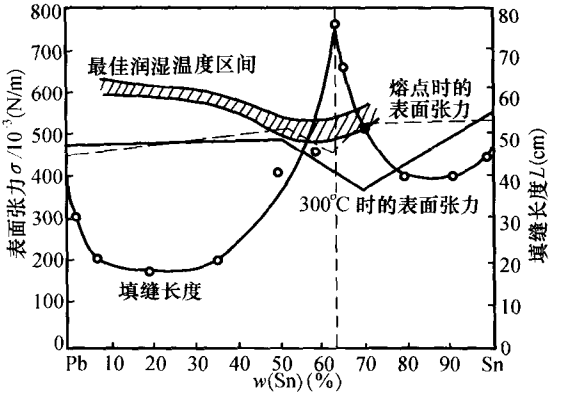


图 2.22　锡铅钎料的流动性和表面张力

越高。目前，焊锡丝外径最细已达到 0.38mm，助焊芯达到 5 个。

4. 焊料的选用

针对不同的母材和不同的焊接方法，应选择不同的焊料，这是保证焊接质量的关键之一。

www.789pdf.com 789书库网

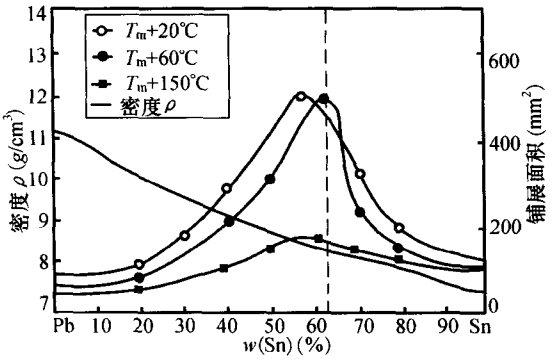


图 2.23　锡铅钎料的铺展面积

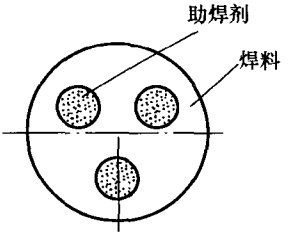


图 2.24　三芯焊锡丝的结构示意图

焊料的选用原则如下：

① 对母材的润湿性好；

② 所形成焊点的性能符合要求；

③ 与拟采用的焊接方法兼容；

④ 熔点(或液相线温度)尽可能低；

⑤ 最好具有共晶成分，若是非共晶的，则固液相温差范围尽量小；

⑥ 有配套的助焊剂；

⑦ 焊料及配套助焊剂的价格合理；

⑧ 小焊点应采用细焊丝，但焊丝越细价格越贵，所以能用粗的焊锡丝就不用细的，从而节省成本。

2.3.5　电烙铁

1. 电烙铁的功能及应具备的条件

电烙铁是决定烙铁焊接成功与否的重要工具，其作用是对母材和钎料进行加热。电

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

加热式烙铁诞生于 1893 年，至今已使用 100 多年了，它应具备如下条件：

① 温度稳定快，热量充足；

② 耗电少，热效率高；

③ 温度下降少，可连续焊接；

④ 重量轻，便于操作；

⑤ 可以换头，容易修理；

⑥ 结构坚固，寿命长；

⑦ 漏电少；

⑧ 静电弱；

⑨ 对元器件没有磁性影响。

2．电烙铁的结构和工作原理

电烙铁由能量转换（加热器）、储能（烙铁头）和手把三部分组成，现代高性能电烙铁还配置有温度设置与控制系统。

（1）能量转换部分

能量转换部分的作用是将电能转换成热能。通常采用在云母或其他绝缘体上缠绕 Ni－Cr 丝、然后接上电线并通以电流的方法。另有一种陶瓷加热器，它是将电阻浆料印刷在耐热陶瓷上经烧结而成。对加热器的要求是：寿命长，绝缘电阻高，静电容量小。云母加热器和陶瓷加热器的绝缘性和静电容量特性如图 2.25、图 2.26 所示。

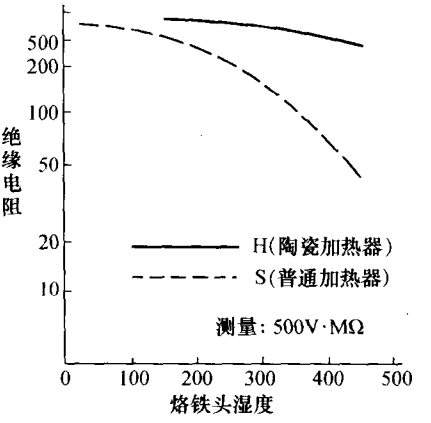


图 2.25　温度和绝缘电阻

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

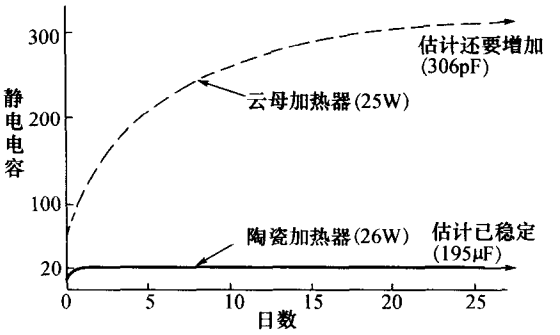


图 2.26 静电容特性

电烙铁的能量转换可用下式表述,其等效图见图 2.27。对电烙铁加热器(R)施加一定电压可产生电流 I,I 流经 R 产生电阻热,经加热一定时间(t)后,产生热量 Q。即

$$Q = (1/4.2) \times I^2Rt \quad (卡)$$

式中,Q——发热量;

I——电流;

R——电阻;

t——时间。

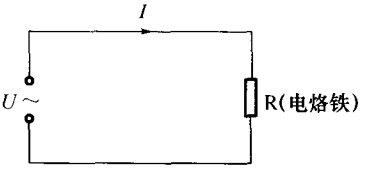


图 2.27 电烙铁的工作原理等效图

(2) 储能部分

储能部分的作用是将从加热器电能转换过来的热能存储起来。烙铁头负责热能的存储,其存储热能由下式计算:

$$储热量 = 热容量 \times 温度 \quad (卡)$$

因为热容量与烙铁头金属的重量成正比,即

$$热容量 = 重量 \times 比热$$

所以

$$储热量 = 重量 \times 比热 \times 温度 \quad (卡)$$

因为一般都采用铜烙铁头,所以利用 Cu 烙铁头的重量和 Cu 的比热即可算出储热量。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

作为储能的烙铁头还兼有向被焊件传输热能的功能，为此应具备如下条件：

① 同钎料的亲和性(吃锡)：烙铁头必须与钎料具有亲和性，这是因为被焊金属是固体，烙铁头也是固体金属，由于固体表面的粗糙和不平，要使固体与固体之间实现面接触是很困难的，因此必须通过液态钎料来完成这种接触。如果采用不亲和钎料的烙铁头，则钎料就会从烙铁头上滴落下来，形成两个固体金属间的接触，降低导热效率，导致升温缓慢。

② 导热性：保证迅速有效地将热量从储热部分传送给连接处。

③ 损耗：烙铁头一般采用 Cu 材质，当 Cu 与 Sn－Pb 钎料和助焊剂在钎焊温度下接触时，由于 Cu 向 Sn 中溶解和助焊剂腐蚀等原因，使烙铁头很快消耗。为此，一般采用在 Cu 表面镀 Fe 的复合烙铁头，它的工作面上镀有 Ag，如图 2.28 所示。

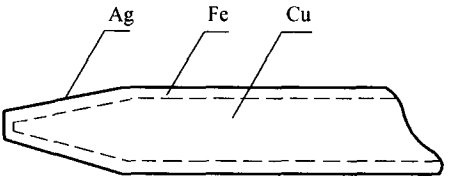


图 2.28　电镀烙铁头

④ 价格便宜，容易买到。

(3) 手柄

手柄是操作人员直接接触的部分，它便于操作，握起来有舒适感，其温升要低。

(4) 温度设置与控制系统

① 烙铁头温度的设置。电烙铁的加热器以一定速度传给烙铁头的热量存储到一定数量后，就会从烙铁头表面向空气中辐射热量，或以对流形式向空气中放出热量，当向烙铁头传入的热量与从烙铁头输出的热量相等时，烙铁头就会保持一个恒定的温度，而保持这个恒定温度的热量取决于烙铁头的重量和温度。

电烙铁必须在短时间内向被连接的金属提供所需的热量。作为提供该热量的热源可由两种方法获得：提高温度，减轻重量；降低温度，增加重量，即

一定热量＝高温×小质量＝低温×大质量

从使用方便的角度，一般采用高温×小质量的方法。但是，烙铁尖的温度不能无限提高，这是因为：

• 烙铁尖的消耗：温度达到 400℃ 左右时，Cu 的消耗加速，温度越高越严重。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

• 烙铁尖变软:温度高,Cu 呈退火状态而变软,容易弯曲。如达到完全退火状态,则晶粒变大,钎料不易润湿。

• 导热性降低:粘附在烙铁尖上的钎料呈颗粒状,表面氧化,热传导不稳定,温度波动范围加大,如图 2.29 所示。

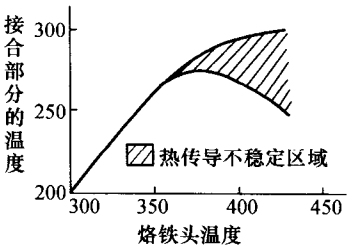


图 2.29 从烙铁头传到接合部分的温度

• 助焊剂劣化:导致松香系助焊剂的劣化加速,焊点出现针孔,甚至导致助焊剂失效而无法进行焊接。

基于上述四个原因,电烙铁的温度一般设定为 330～370℃。

② 电烙铁的温度控制。为了顺利焊接集成电路、光电器件、多层印制板、刚挠印制板等热敏感元器件,要求电烙铁头的温度能够正确控制。目前常用的电烙铁控温方法有两种类型,即开关式控温方法和 PID 控温方法。

开关式控温方法利用不同居里点的 Fe－Ni 合金作为磁性开关元件,将其安装在烙铁头上的适当位置,当温度达到设定值时,Fe－Ni 合金失去磁性,开关释放,断开电源,停止加热;当温度低于设定值时,Fe－Ni 合金又恢复磁性,开关闭合,重新接通电烙铁的供电电源,进行升温加热。如此反复,实现控温,其控温过程如图 2.30 所示。这种控温方法的缺点是温度波动大,特别是当焊接热容量大的焊件时,升温较慢。为此,可以采用 PID 控温方法,从而使实际焊接温度始终迫近设定温度,其示意图如图 2.31 所示。

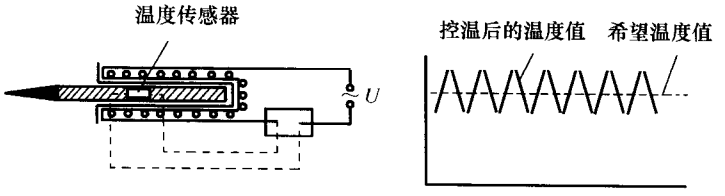


图 2.30 一般开关式控温电烙铁原理示意图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

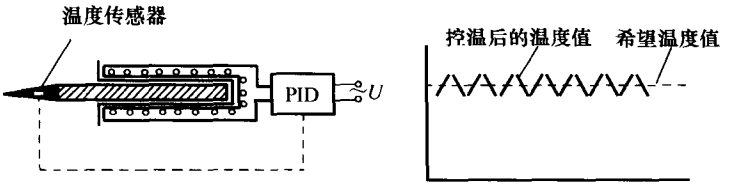


图 2.31　PID 控温电烙铁工作原理示意图

2.4　烙铁焊接的操作技能

2.4.1　焊前准备

① 戴好防静电腕带。

② 检查电烙铁接地是否良好，功率是否符合要求(SMT 中常用 20～30W 的功率)。

③ 座位调节到适合自己的高度(操作时烙铁头距鼻子的距离约为 300～400mm)。

④ 将烙铁加热到规定的温度并清洁和保护好烙铁头。

2.4.2　印制板(PCB)的拿法

① 戴好干净的防静电手套才能触摸 PCB 的板面。

② 裸手拿 PCB 时，应拿 PCB 的四个角或边缘。

2.4.3　电烙铁的使用

① 根据需要，选用合适的电烙铁拿法。电烙铁的拿法一般分为正握法、反握法和握笔法，如图 2.32 所示。



图 2.32　电烙铁的拿法

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 使用电烙铁时，不要用力过大，不要使劲压烙铁头，不要磕碰烙铁头。

③ 烙铁头不能接触水和腐蚀性物质。

④ 换烙铁头时要切断电源。

⑤ 工作结束或休息时，切断电烙铁的电源并立即对烙铁头进行清洁并加焊锡保护。

2.4.4 海绵的使用

① 海绵不能太干、也不能太湿。

② 早、晚两次用清水冲洗，但不能用肥皂或洗涤剂搓洗。

2.4.5 吸锡带的使用

① 将烙铁头在海绵上清理干净。

② 向吸锡带加助焊剂并在助焊剂挥发前贴紧焊盘。

③ 将烙铁头放在吸锡带上，待吸锡带被加热到要吸附焊盘上的焊锡熔化后，慢慢地从焊盘的一端向另一端轻压拖拉，焊锡即被吸入带中，作业结束后，将烙铁头与吸上了锡的吸锡带同时撤离焊盘，此时如果吸锡带粘在焊盘上，千万不要用力拉吸锡带，而是再向吸锡带上加助焊剂并重新用烙铁头加热后再轻拉吸锡带使其顺利脱离焊盘。

④ 作业时要防止烫坏周围元器件。

⑤ 吸锡带长度方向一般应与被吸焊盘的长度方向平行。

2.4.6 热风枪的使用

① 打开电源，单手握住喷枪手柄，对准要加热的部位垂直匀速旋转。

② 工作时，切勿将喷嘴静止在 PCB 上，否则 PCB 将因局部烧焦而报废。

③ 温度和风力应慎重调节，面积较大或散热较快的元器件可适当调高温度，但温度不能过高，否则元器件及 PCB 将因过热而损坏。

④ 加热时，热风枪出风口与被加热工件间的距离应为 5～10mm。

⑤ 有的热风枪工作一段时间后可能会出现热风枪上的红灯停止闪烁的现象，这说明热风枪正在进行自我保护，降低内部温度。此时需要关掉电源或将风力调到最大，使热风枪渐渐冷却下来。过 1min 左右，左侧红灯会亮，此时可打开电源或恢复原来的风力继续工作。

⑥ 工作间隙时可将风力调至相对较大、温度较低的状态（不必关掉电源），避免随时

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

使用时等待时间过长，提高焊接效率。

⑦ 使用完毕后应及时关闭电源。

⑧ 元器件刚被拆卸下来时，先冷却一下 PCB 再吹焊盘，否则 PCB 温度过高，焊盘很容易脱落。

⑨ 不要用热风枪焊接耐热性较差的元器件，否则元器件将因温度较高而被损坏。

2.4.7 电子元器件烙铁焊接技术

1. 片式电阻、电容类元件的焊接

① 焊盘检查和预处理：检查焊盘是否受损或被污染，认可后将焊盘清理干净并涂锡。

② 预加锡：在其中一个焊盘上加少量焊锡。

③ 定位：用镊子将待焊元件放在相应的位置上，并用烙铁加热加了焊锡的焊盘，使该元件定位。

④ 检查：确认元件是否放在了两个焊盘的中间并紧贴 PCB 的表面，如未对准则加热加了锡的焊盘，从而使焊锡熔化以重新定位。

⑤ 加锡：用烙铁头小心接触焊盘加热。防止烙铁头碰到元件本体上，向被加热的焊盘上添加适量(少)焊锡，要防止将焊锡加到烙铁头上。

⑥ 冷却：待添加适量的焊锡后，先将焊锡丝移开，再移开烙铁。在焊点完全冷却前不可使焊点受到震动，否则将给焊点质量带来隐患。

⑦ 焊点外观检查：良好的焊点外形是表面光滑发亮(无铅化焊点除外)、焊锡流满焊盘并沿焊端上爬呈弯月面状，如图 2.33 所示。

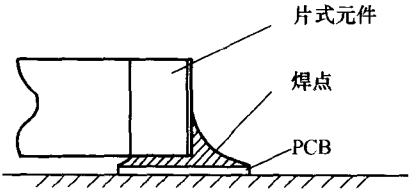


图 2.33 片式元件焊点外观

2. IC 的焊接技术

① 焊盘检查和预处理：检查焊盘是否受损或被污染，认可后将焊盘清理干净并涂焊锡。

② 加锡：在对角焊盘的其中一个焊盘上加少量焊锡。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③ 定位:用镊子将待焊器件放在相应的位置上,并用烙铁加热加了锡的焊盘,使该器件定位。确认器件是否放在焊盘的中间并紧贴 PCB 的表面,然后再在相对的另一引脚上加锡,如图 2.34 所示。在定位时,如发现引脚不良或共面性不良,则不予定位。

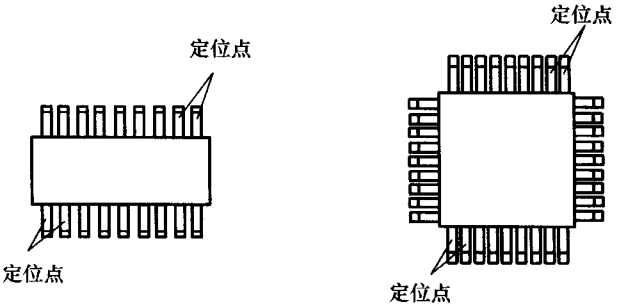


图 2.34 IC 焊接定位

④ 拉焊:在焊接 IC 器件时,可以逐个引脚进行焊接,但在多数情况下,为提高生产效率,在掌握了较熟练的焊接技术条件下,可采用拉焊方法。

拉焊的作业方法是:向待焊部位加助焊剂,用合适形状的烙铁头(如弯形)加热待焊的焊盘,添加焊锡丝(少量,不够再加),然后从左向右在焊盘上轻拉烙铁头。若发现焊锡不能被烙铁头向前带动,则立即停止,再添加助焊剂后继续轻拉。如发现有桥连,则将多余的焊锡尽量用烙铁头带至最后一个引脚处,并再添加助焊剂后向外挑开桥连。若最后一个引脚周围有元器件不能采用上述方法挑开桥连时,则可将构成桥连的多余焊锡用烙铁头带至有足够空间的地方加以去除。

⑤ 如条件许可,先焊 IC 的接地端、输出端、电源端,再焊其输入端。

⑥ 检查:用目视(必要时用显微镜)检查每个引脚是否有虚焊(冷焊)、连焊等缺陷,焊锡是否流满焊盘,引脚后面的脚跟部位是否有焊锡填充,芯片是否紧贴 PCB,如图 2.35 所示。

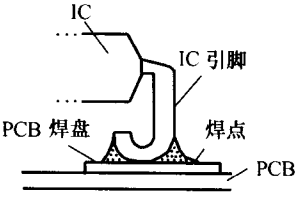


图 2.35 IC 焊点外观

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. 通孔插装元件(THD)的焊接技术

(1) 基本焊接方法——五步法

由于 THD 相对于 SMD(表面贴装元件)而言一般体积较大,所以大多采用五步法焊接,如图 2.36 所示。

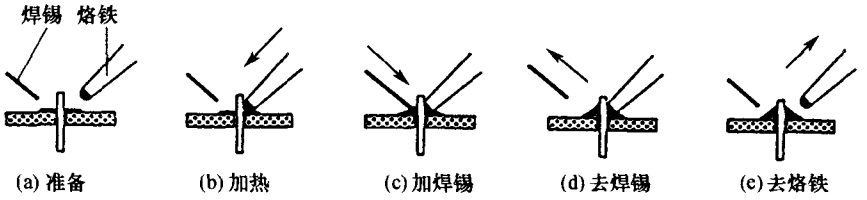


图 2.36 通孔元件焊接五步法

① 准备施焊:准备好焊锡和烙铁,此时特别强调的是烙铁头要保持干净,即可以沾锡(俗称吃锡)。

② 加热焊件:将烙铁接触焊接点,注意,首先要保持烙铁加热焊点各部分,如焊件引脚及相应焊盘都要受热;其次要让烙铁头的扁平部分(较大部分)接触热熔量较大的焊件,烙铁头的侧面或边缘部分接触热熔量较小的焊件,以保持焊件均匀受热。由于良好的接触只能通过熔化的焊料获得,故焊料必须加在烙铁端头前与焊件之间的空隙中。

③ 熔化焊料:当焊件加热到能熔化焊料的温度后将焊丝置于焊点,焊料开始熔化、焊接。焊料熔化时以带芯焊锡丝中的焊剂能在被焊表面自由流动为最佳。

④ 移开焊锡丝:当熔化一定量的焊锡后将焊锡丝移开。焊料量应使焊点符合要求,焊点应保持弯月形。焊锡丝移开时应保证焊锡量适中,焊点以一次性成形最佳。

⑤ 移开烙铁:当焊锡完全形成焊点后移开烙铁,移开烙铁的方向大致是 45°的方向。

上述过程对一般焊点而言大约需要两三秒钟。对于热熔量较小的焊点,如印制电路板上的小焊点,可根据经验调整五步法中步骤②、③、④、⑤之间的间隔时间,或是将它们合为一步。需要注意的是:各步骤之间的停留时间对保证焊接质量至关重要,只有通过实践才能掌握。

(2) 焊接作业中的主要注意事项

① 注意元件的极性。

② 注意色标元件方向排列的一致性。

www.789pdf.com 789书库网

③ 严格保证元件板上的高度尺寸适宜。

④ 正确掌握透锡标准(修板时更为重要)。

⑤ 尽量少加助焊剂。

⑥ 对于特别怕烫的元器件,应采用金属钳和酒精棉球冷却法进行焊接。

2.5 元器件引线的成形

在印制板组装焊接前,除了对元器件进行测试筛选外,还要进行两项准备工作:一是对可焊性不符合要求的元器件引线进行涂锡处理;二是根据元器件在PCB上的安装要求进行成形,使之符合在PCB上插装孔尺寸的要求。

(1) 元器件的预处理:引线校直、表面清洁、涂锡。

(2) 引线成形,其主要要求是:

① 元器件引线开始弯曲处离元器件本体端面的最小距离大于1.5mm,如图2.37所示。

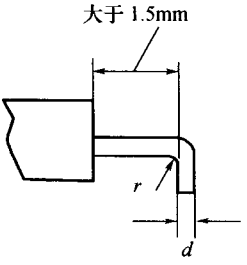


图2.37 引线弯曲尺寸

② 引线弯曲半径≥引线直径的2倍,即 $r \geqslant 2d$。对轴向元器件的两根引线打弯后要相互平行。

③ 对怕热的元器件,应将其引线绕成环状或卷发状,从而增加引线长度,提高散热能力。

④ 元器件标称值及文字标记应处于便于查看的位置,以便检查和维修。

⑤ 引线成形后无机械损伤。

⑥ 如有引线成形工艺文件,则必须按工艺文件的要求成形。

⑦ 保持成形中引线表面的清洁。

⑧ 严防混料。对成形完的元器件应及时包装并标注型号规格、数量及责任人。

(3) 成形方法:数量大时用成形机,数量小时采用手工方式(借助钳、镊子等工具)成形。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2.6 元器件插装

2.6.1 印制电路板插装工艺的基本要求

印制电路板插装质量的好坏直接影响到产品的电路性能和安全性能，因此，印制电路板插装工艺必须遵循以下基本要求：

(1) 各插件工序必须严格执行设计文件规定，认真按工艺作业指导卡操作。

(2) 插装流水线各工序的设置要均匀，防止某些工序电路板的堆积，确保均衡生产。

(3) 按整机装配准备工序的基本要求做好元器件的筛选、引线成形、表面清洁、浸锡、装散热片等准备工作。

(4) 做好印制基板的准备加工工作：

① 印制基板铆孔：对于体积、重量较大的元器件，要用铜铆钉对其基板上的插装孔进行加固，防止元器件插装、焊接后因运输、振动等原因而发生焊盘剥落损坏的现象。

② 印制基板贴胶带纸：为防止波峰焊将暂不焊接元器件的焊盘孔堵塞，在元器件插装前，应先用胶带纸将这些焊盘孔贴住。波峰焊接后，再拆下胶带纸、插装元器件、进行手工焊接。如采用先进的免焊工艺槽，则可改变贴胶带纸的烦琐方法。图 2.38 为免焊工艺槽。

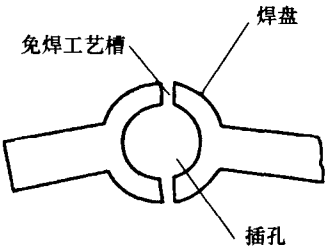


图 2.38 免焊工艺槽

(5) 严格执行元器件安装的技术要求：

① 元器件插装应遵循先小后大、先低后高、先里后外、先易后难、先一般元器件后特殊元器件的基本原则，如先插卧式电阻、二极管；其次插立式电阻、电容和三极管；再插大体积元器件，如大电容、变压器等。

② 对于电容器、三极管等立式插装元件，应保留适当长的引线。引线太短会造成元

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

器件焊接时因过热而损坏，太长会降低元器件的稳定性或者引起短路。一般要求离电路板面 2mm。插装过程中，应根据元器件的极性标记方向决定插装方向，必要时可在不同电极处套上相应的套管。

③ 元器件引线、导线在接线端子上安装时圈数最少为 1/2 匝，但不应超过 3/4 匝。

④ 有些情况下，元器件引线穿过焊盘后应保留 2～3mm 的长度，以便沿着印制导线方向将其打弯固定。为使元器件在焊接过程中不浮起和脱落，同时又便于拆焊，引线弯的角度最好在 45°～60°之间，如图 2.39 所示。

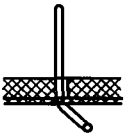


图 2.39 引线穿过焊盘后成形

⑤ 装接高频电路的元器件时应十分注意设计文件和工艺文件的要求，元器件之间尽量靠近，连线与元器件的引脚尽量短，以减少分布参数。

⑥ 诸如集成电路、集成电路插座、微型插孔、多头插头等多引线元件在插入印制板前，必须用专用平口钳或专用设备将引线校正，不允许强力插装，力求将引线对准孔的中心。

⑦ 装配中如两个元器件相碰，应调整或采用绝缘材料进行隔离。

⑧ 电阻、电容、晶体管和集成电路的插装应使标记和色码朝上，从而易于辨认。元器件的插装方向在工艺图样上没有明确规定时，必须以某种基准来统一元器件的插装方向。例如，设定 $X-Y$ 轴方向，如图 2.40 所示。所有以 X 轴方向插装的元器件读数从左到右，所有以 Y 轴方向插装的元器件读数从下到上。

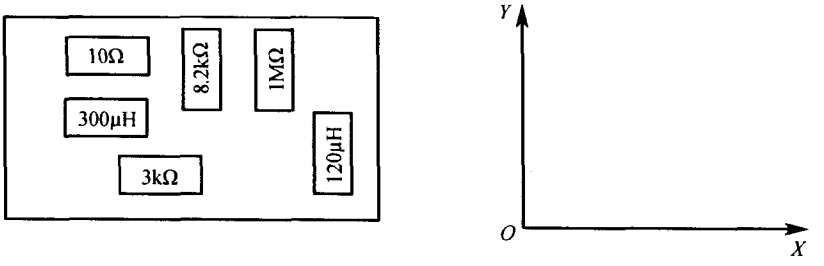


图 2.40 元器件插装方向的确定

⑨ 功率小于 1W 的元器件可贴近印制电路板平面插装，功率较大的元器件要求元件体距离印制电路板平面 2mm，以便于元件散热。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

⑩ 印制板组装件的每个连接盘只允许连接一根元器件引线，不允许在元器件引线上或印制导线上搭焊其他元器件或导线(高频电路除外)。

⑪ 装联在印制板上的元器件不允许重叠，并在不必移动其他元器件情况下就可以拆装元器件。

⑫ 插装体积、重量较大的大容量电解电容器时，应采用胶粘剂将其底部粘在印制电路板上或用加橡胶衬垫的办法防止其歪斜、引线折断或焊点焊盘的损坏。

⑬ 插装 CMOS 集成电路、场效应管时，操作人员必须戴防静电腕套进行操作。已经插装好这类元器件的印制电路板，应在接地良好的流水线上传递，以防元器件被静电击穿。

⑭ 元器件的引线直径与印制板焊盘孔径应有 0.2～0.3mm 的间隙。间隙太大会影响毛细作用，焊接不牢，机械强度差；间隙太小，元件难以插装。对于多引线集成电路，可将两边的焊盘孔径间隙做成 0.2mm，中间的孔径做成 0.3mm，这样既便于插装，又有一定的机械强度，如图 2.41 所示。

⑮ 凡不宜采用波峰焊接工艺的元器件，一般先不装入印制板，待波峰焊之后再按要求装联。

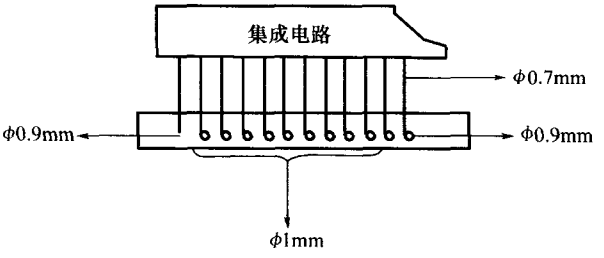


图 2.41　多引线集成电路的焊盘孔径

2.6.2　元器件在印制板上的插装方法

1. 卧式插装法

卧式插装法是将元器件水平地紧贴印制电路板插装，也称水平安装。元器件与印制电路板的距离可根据具体情况而定，如图 2.42 所示。卧式插装法的优点是稳定性好，受振动时不易脱落。

www.789pdf.com 789书库网

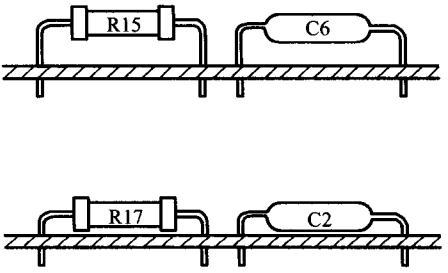


图 2.42　卧式插装

2．立式插装法

立式插装法如图 2.43 所示。它的优点是安装密度大，占用印制电路板面积小，拆卸方便。电容、三极管的安装常采用此法。

电阻器、电容器、半导体二极管等轴向对称元件常采用卧式和立式两种插装方法。采用何种插装方法与印制电路板的设计有关。应视具体要求，分别采用卧式或立式插装法。

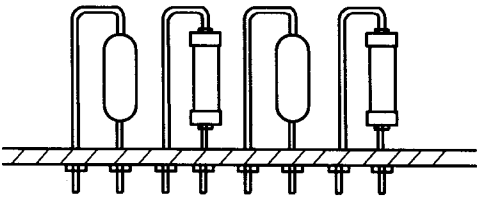


图 2.43　立式插装

3．其他常用元器件的插装方法

① 半导体三极管、TO 集成电路、延时线等同方向引线元器件的插装方法如图 2.44 所示，图 2.44(a)为正向插装，图 2.44(b)为反向插装，图 2.44(c)为正向贴板插装，图 2.44(d)为反向埋头插装。一般采用正向插装法。装配前应判断引脚极性，最好装上规定的色标套管，以防错装。

② 双列直插式集成电路(DIP)的插装方法如图 2.45 所示，图 2.45(a)为直接插装集成电路的方法，图 2.45(b)为安装插座后插接集成电路的方法。

③ 扁平型封装集成电路(PAC)的安装方法如图 2.46 所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

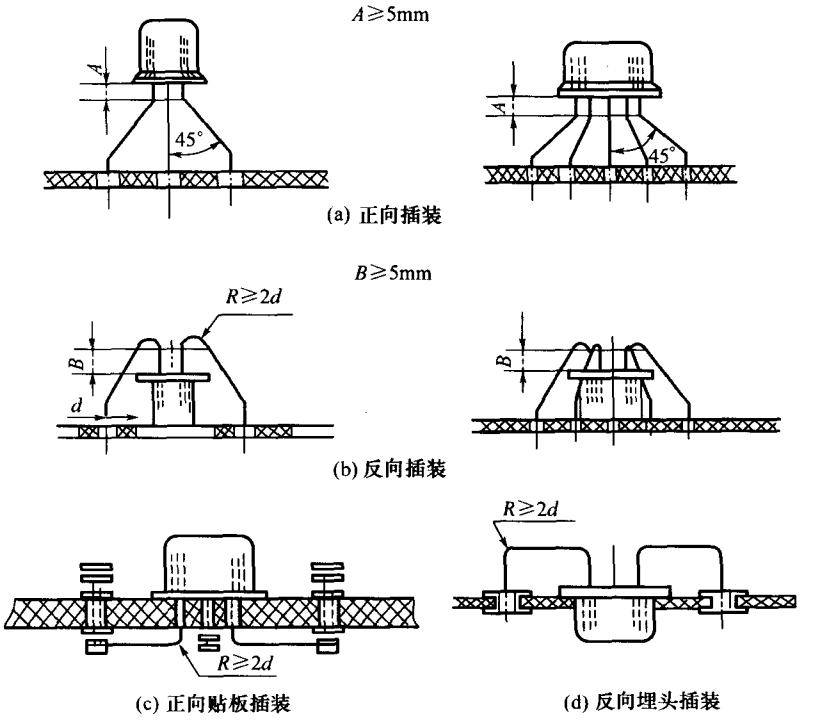


图 2.44　同方向多引线元器件的插装方法

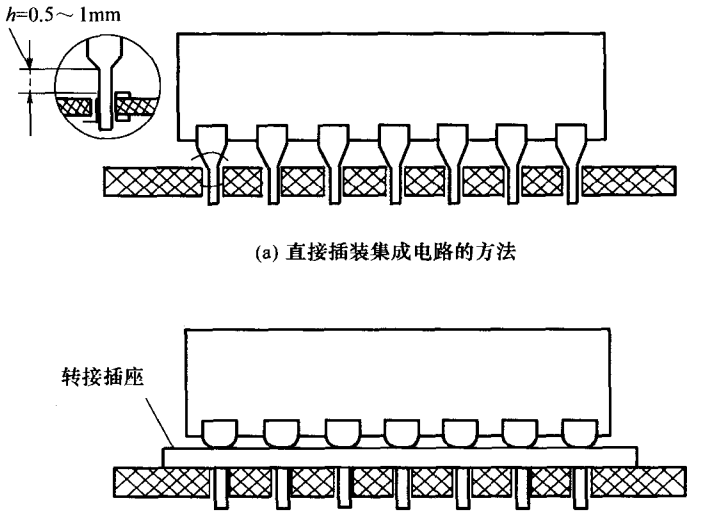


图 2.45　双列直插式集成电路的插装方法

www.789pdf.com 789书库网

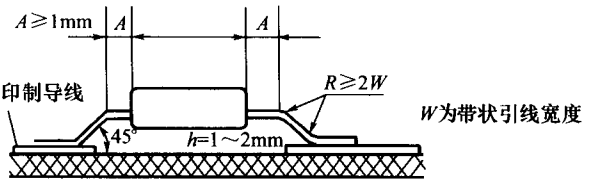


图 2.46 扁平型封装集成电路的安装方法

④ 变压器、大电解电容器、磁棒的安装：这些元器件的体积、重量均比半导体管、集成电路大而重，如果安装不妥，会影响整机质量。中频变压器及输入、输出变压器本身带有固定脚，安装时将固定脚插入印制电路板的孔位，然后进行锡焊即可。对于较大的电源变压器，就要采用螺钉将其固定，最好在螺钉上加弹簧垫圈，以防螺母或螺钉松动。磁棒安装一般采用塑料支架固定，先将支架插到印制电路板的支架孔位上，然后从反面用螺钉将支架紧固。对于较大的电解电容器，可用弹性夹固定，如图 2.47 所示。

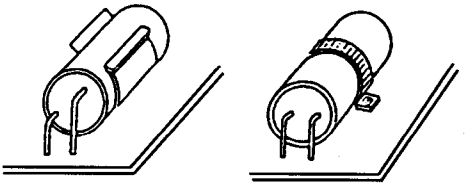


图 2.47 大电解电容的固定

2.6.3 印制板插装工艺流程

根据电子整机产品的生产性质、生产批量、设备条件等情况的不同，采用的印制电路板组装工艺也不同。常用的印制电路板装配工艺有手工装配工艺和自动装配工艺。

(1) 手工装配工艺

印制电路板的手工装配可用于产品研制和批量生产，它有两种方法：一种是由一人负责一块印制电路板上全部元器件的插装，即手工独立插装；另一种是采用传送带的方式由多人插装，即手工流水线插装。

① 手工独立插装：手工独立插装常用于产品的样机试制或元器件较少的印制板插

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

装,元器件的插装和焊接通常由操作者一人完成。操作者根据工艺作业指导卡,把构成某一功能单板上的所有元器件逐个插装到印制基板上。其操作过程为:待装元件准备→引线成形→插装→元器件整形→焊接→剪切引线→检验。独立插装方式要求操作者从头插到尾,效率低,差错率高。

② 手工流水线插装:手工流水线插装适用于设计稳定、批量生产的产品,它可以提高印制电路板的装配效率和质量。对于一些元器件较少的印制板,可以设计成拼板后再上流水线进行插装。

插件流水作业是把印制电路板的整体装配分解为若干道简单的装配工序,每道工序固定插装一定数量的元器件,从而使操作过程大大简化。印制电路板上元器件的分解有两种不同的方法:一种是按元器件的类型、规格插装;另一种是按元器件在电路板上的布局分块插装。前一种方法因元器件品种、规格趋于单一,不易插错,但插装范围广,速度低;后一种方法的插装范围小,工人容易熟悉电路的插装位置,插件差错率低,常用于大批量生产。工艺人员在分配每道工序的工作量时,应根据产品的复杂程度、日产量、工人技能水平等因素确定,使每道工序插装的元器件数适量、时间基本相等,从而确保流水线均匀移动,充分发挥流水线的插装效率。图 2.48 所示为印制板手工插装的一般工艺流程。

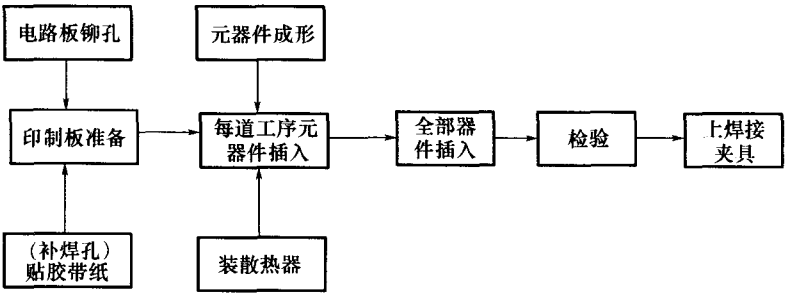


图 2.48 印制板手工插装的一般工艺流程

(2) 自动装配工艺流程

手工装配使用灵活、操作方便、设备简单,广泛应用于中小规模的生产。但其速度慢、效率低、差错率高,不适应现代化的生产。因而对于设计稳定、规模大、产量高而又无须特殊元器件选配的产品,宜采用先进的自动装配方式。采用自动装配机可大大提高插装速度,改善插装质量,减轻操作人员的劳动强度,提高生产效率和产品质量。

自动插装是采用先进的自动插装机插装元器件。根据印制板上元器件的位置编制出相应的程序以控制自动插装机的插装。插装机的插件夹具有自动打弯功能,能将插入

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的元器件牢固地固定在印制电路板上，提高了印制电路板的焊接强度。自动插装工艺流程如图 2.49 所示。

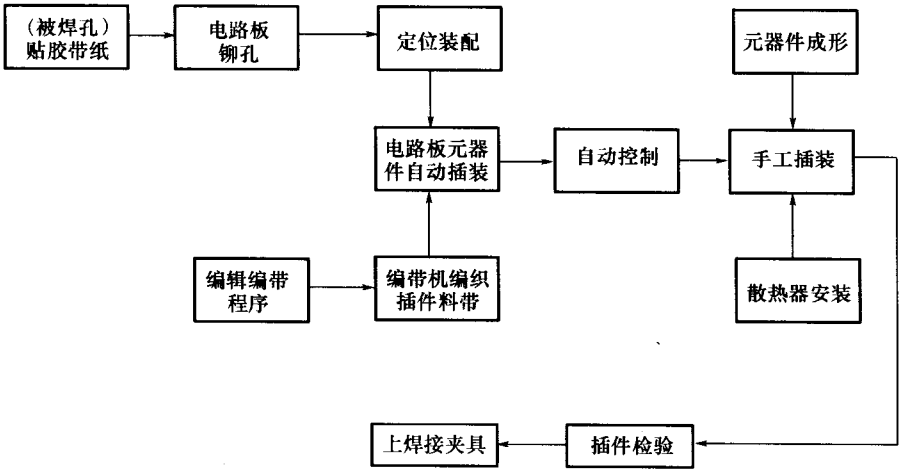


图 2.49 电路板自动插装工艺流程

自动插装对设备要求高，对元器件的供料形式也有一定的限制，自动插装机的使用步骤及有关要求如下：

① 并非所有的元器件都可进行自动装配。一般用于自动装配的元器件外形和尺寸要求尽量简单一致，方向易于识别，有互换性（如电阻和短接线）。在自动插装后一般仍需手工插装不能自动插装的元器件。

② 在自动装配过程中，要求元器件排列取向沿着 x 轴或 y 轴方向。

③ 自动插装需要编辑编带程序。元器件自动插装前，首先要按照印制板上元器件自动插装的路线模式，在编辑机上进行编带程序的编辑。插装路线走向一般为“Z”字形，编带程序应反映各元器件按此插装路线插装的程序。

④ 编带机编织插件料带。在编带机上，将编带程序输入编带机的控制电脑，编带机根据电脑发出的指令运行，并把编带机料架上放置的不同规格的元件料带自动编织成以插装路线为顺序的料带。编带过程中若发生元件掉落或元件不符合程序要求的情况，编带机电脑自动监测系统会自动停止编带，纠正错误后再继续运行，从而保证编出的料带质量完全符合程序要求。元件料带的编排速度由电脑控制，编排速度可达每小时 30 000 个。图 2.50 为电阻器料带。

⑤ 元器件的自动插装。编织好的元器件料带放置在自动插装机料带架上，印制电路板放置在插装机 $x-y$ 旋转工作台上，将已经编辑好的元器件插装程序输入到插装机的电脑中，由电脑控制插装机将元件一个一个地插装到印制板上。印制板 x 轴方向的元件

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

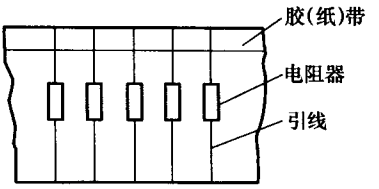


图 2.50　电阻器料带

插装完毕后旋转工作台会按照程序指令,自动旋转 90°,再完成 y 轴方向元件的插装。插装过程中出现错误或元件未插装到位,插装机控制盘上的指示灯会发出声光报警信号并自动停机,待检查补正后,插装机再继续运行。自动插装机能自动完成元件的引线切脚、引线成形、元件移动、元件插入、引线弯角等动作。

⑥ 在自动插装过程中,印制电路板的传递、插装、检测等工序都由计算机按照程序来控制的。

印制电路板插装完毕即可进行焊接,焊接形式可采用手工焊接、浸焊和波峰焊等方式。

2.7　印制板无铅烙铁焊接

2.7.1　什么是无铅烙铁焊接

狭义地讲,焊接 PCB 时所用的焊锡中不允许含有 Pb,而目前常用的焊锡中 Pb 的含量高达 40%。

广义地讲,对一个焊点而言,其 Pb 量不能超过 1 000ppm(即 1/1 000)。由于构成一个焊点的材料中除焊锡外,还与 PCB 焊盘表面保护层材料和元器件引线或焊端表面保护层材料有关,因此,广义上(完整意义上)的无铅烙铁焊接包括焊锡无 Pb 化,以及 PCB 焊盘镀层无 Pb 化和元器件引线(焊端)镀涂层无 Pb 化。更进一步引申下去,在电子产品制造中禁用 Pb 的同时,还禁用 Cd、Hg、Cr^{6+} 和多溴联苯醚(PBDES)、多溴联苯(PBDS)。这就是近 20 年来震动全球的绿色电子制造风暴。

由上可见,印制板手工焊接的无 Pb 化是绿色电子制造的核心任务之一。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2.7.2　无铅烙铁焊接的重要性

资料显示，一个钮扣电池能污染 600 吨水，相当于一个人一生的饮水量。上述六种有害元素给人类生命安全带来的危害是相当严重的。为此，欧盟出台了禁用六种有害物质的 ROHS 指令，该指令规定从 2006 年 7 月 1 日起，在视听、照明、家用器具、IT、玩具、自动售货机、电气和电工工具等范围内的电子产品中不允许含有六种有害物质，并且严厉实施“一点否决”办法，就是一台电子设备中只要有一个零件中的一种材料限值超标，就判定整批产品不合格。

由于欧盟 ROHS 指令的实施，从而影响到我国 560 亿元机电产品的出口。目前，中国家电出口量的 1/3 销往欧盟，欧洲 25% 的家电市场被中国产品占有。为此，我国信息产业部已制定了“电子信息产品污染控制管理办法”，并于 2007 年 3 月 1 日起正式实施，它在禁用有害物质上与 ROHS 指令一致。

由于烙铁焊接制造的 PCB 在废弃时与广大人群直接接触，且回收困难，是一种量大面广、与人密切相关的有害物质，因此在全球范围都备受关注。

2.7.3　无铅烙铁焊接的主要困难

实现无 Pb 烙铁焊接的关键是要寻找一种能替代目前有铅焊锡的不含铅的无 Pb 焊锡。有铅焊锡已使用上百年了，就是因为这种焊锡具有一系列优越的性能且价格便宜、储量充足。

近 20 年来，全世界电子业界和相关科技界都倾注大量人力、物力去研究开发无 Pb 焊料。但是，由于这种新型电子材料的要求苛刻，因而进展并不理想。目前，只能将相对性能较好的 Sn－Ag－Cu 系合金作为 Sn－Pb 合金的暂时替代品来使用。

Sn－Ag－Cu 焊锡是目前无 Pb 烙铁焊接使用的主打品种。Sn－Ag－Cu 系合金常用 SAC305－Sn－3.0Ag－0.5Cu、SAC405－Sn－4.0Ag－0.5Cu。

SAC305、SAC405 与 63/37Sn－Pb 焊锡相比，其致命缺陷如下：

① 熔点高（SAC 为 220℃ 左右，Sn－Pb 为 183℃ 左右）；

② 润湿性差（SAC 的润湿性相当于 Sn－Pb 的 70% 左右）。

无铅焊料熔点的提高带来的主要问题是缩小了工艺窗口，如图 2.51 所示，即从 Sn－Pb 焊料时的 57～67℃（A）下降至 23～33℃（B），从而使烙铁焊接操作温度的可变范围明显缩小。这不仅给工艺带来困难，还容易因超温而危及基板及元器件的性能，再加上无铅焊料的润湿性不良，从而又增加了无铅烙铁焊接的难度。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

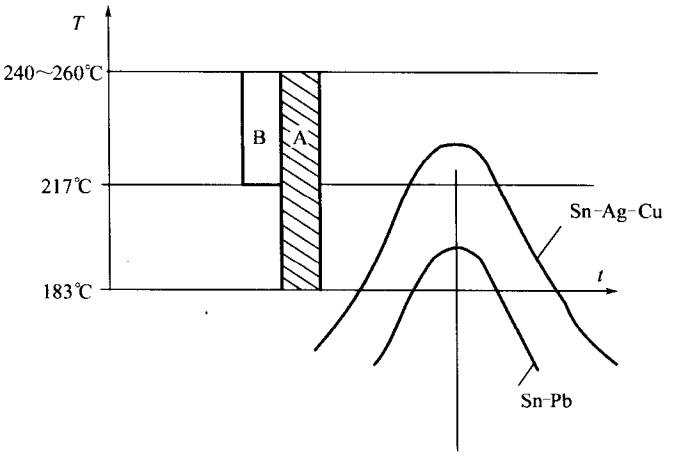


图 2.51　工艺窗口示意图

2.7.4　无铅烙铁焊接的对策

为适应无铅烙铁焊接的需要，当前的主要对策如下：

① 对操作员工进行技术培训，先从理论上了解无铅烙铁焊接的特点，做好意识上的充分准备。

② 采用 PID 控温的电烙铁，确保电烙铁温度的稳定、正确。

③ 选好焊锡丝。优选 Sn－Ag－Cu 系焊锡丝，其中含 Ag 量可以是 1%，不一定要求 3%～4%。焊锡丝直径能粗则粗。必要时可选用 Sn－Ag－Cu－In－X 系焊锡丝。

④ 练好操作技能。施焊时，给母材一定的预热时间(一般不大于 3s)再添加焊料。操作时要全神贯注，小心谨慎。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



第3章 再流焊

3.1 再流焊原理

3.1.1 再流焊定义

再流焊的定义在现行国家相关标准中尚未编列。公认度较高的表述是:将事先涂以钎料(常用膏状钎料)的焊件置于加热的环境中,待钎料熔化流入间隙并形成钎焊接头的一种钎焊方法。根据加热方式的不同具有相应的名称,如气相再流焊、热风再流焊、红外热风再流焊、激光再流焊、热板再流焊、光束再流焊、电接触平行间隙再流焊等。

再流焊早期称为重熔焊,有时也称回流焊,其英文表述是 Reflow Soldering。

再流焊目前主要用在印制板的表面组装(SMT)中,而 SMT 中用的再流焊主要是气相再流焊、热风红外再流焊和激光再流焊。下面对这三种再流焊的基本原理进行简单介绍。

3.1.2 气相再流焊

1. 气相再流焊原理

气相再流焊是利用高沸点工作液体的饱和蒸气的气化潜热,经冷却时的热交换进行加热的再流焊,简称气相焊(SJ/T10668—1995)。它的英文表述是 Vapor Phase Soldering,简称 VPS。

这种焊接方法 1973 年由美国 Wester 电气公司开发成功。它具有升温速度快和温度恒定均匀的优点,被广泛应用于一些高难度电子产品(如厚膜集成电路)的焊接中。但是由于在焊接过程中需要大量使用 FC-70 和 FC-113 化学液体作为形成气相场的传热介质,这些传热介质不仅价格昂贵,而且是高空臭氧层的损耗物质(ODS-Ozone Depleting

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

Substances)，因此，这种焊接方法未能在 SMT 生产中得到大量推广使用。但是，近年来，随着板级电路装联焊接无铅化的进展，VPS 又得到重视，这是因为在无铅焊条件下，工艺窗口变窄了，要求再流焊设备提供的温度更准备、恒定、均匀。

根据传热学原理：运动着的流体（气体、液体）与介质表面存在温度差时所发生的换热称为对流导热。这种导热过程是由分子的随机运动和流体的平均运动产生能量传递的结果。

对流的导热量可以用牛顿冷却方程表示：

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta t$$

式中，A——参与对流的换热面积（m^2）；

h——对流传导系数（$W/m^2 \cdot K$）。

h 的计算比较复杂，与工件形状和流体的性质有关，常用介质的对流传热系数见表 3.1。

表 3.1　常用介质对流传热系数 h

流体	换热方式	对流传热系数 h（$W/m^2 \cdot K$）
空气	自然对流	3～12
空气	强迫对流	50～100
水	强迫对流	3 000～7 000
焊料	流动	10 000～20 000

流体的运动状态可分为层流与紊流，它对导热效果有很大影响。层流是指流体各部分呈分层流动，互不干扰；紊流则指流动的流体处于剧烈的扰动状态，因此影响导热效果。流体的运动状态在工程中用雷诺数（R_e）来衡量：

$$R_e = \frac{\rho v D}{\mu}$$

式中，ρ——流体的密度（kg/m^3）；

v——流速（m/s）；

D——特征尺寸；

μ——流体动力粘度（Pa·S）。

通常，$R_e < 2\ 300$ 时，流体为层流；$R_e > 10^4$ 时，流体为紊流。不同流体的 R_e 可查阅流体导热的相关资料。

气相焊正是基于上述对流导热的原理，它是利用加热 FC－70 类高沸点液体作为转换介质，使转换介质沸腾后产生的饱和蒸气遇冷却工件放出汽化潜热，从而使工件本身

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

升温并达到焊接所需的温度，蒸气本身却转化为同温度的流体，利用相变热来实现焊接。

2. 气相焊的优缺点

与红外(红外热风)再流焊相比，气相焊的优缺点如下：

① 由于被焊的印制板组件置于温度恒定的气相场内，由气相潜热释放而产生的温升对印制板组件的物理结构和几何形状不敏感，可以使组件均匀地加热到焊接所需温度，这对大型的 BGA 及结构复杂组件的焊接非常有利。

② 不必采用复杂的温控手段即可实现恒定的焊接温度，不会产生过热危险。

③ 采用不同沸点的加热介质可以获得不同的加热温度，满足不同焊接温度的要求。

④ VPS 的气相场是介质的饱和蒸气，密度比空气大很多，氧含量低，有利于形成高质量的焊点，这对 BGA、CSP 等器件的焊接十分有利。

⑤ 热转化效率高，在相变传热中，热转换效率 Q 为：

$$Q = \alpha \cdot A \cdot \Delta T$$

式中，α 为热转换系数，由于蒸气的 α 是静止空气的 1 000 倍，因此在 VPS 中加热速度快。

⑥ 加热介质材料昂贵。由于 VPS 存在一定缺点，尽管其推广应用较慢，但对军工等重要组件的焊接仍不失为是一种可选用方法，特别是在电子产品装联的无铅焊接中，很可能会有新的发展。

3. 气相焊用热转换介质

热转换介质是气相焊的关键材料，它应满足下列基本要求：

① 沸点应高于所用焊料的熔化温度 30～40℃。

② 应具有较高的化学稳定性和热稳定性，不能与印制板组件和不锈钢等金属发生化学作用。

③ 应对目前印制板组件中常用的电子材料具有良好的润湿性，并且不会在被焊组件的表面留下导电的和有腐蚀性的残留物。

④ 不易燃，无气味，低毒性。

⑤ 价格合理。

早期用于 VPS 的加热介质材料是 1975 年美国 3M 公司推出的全氟三胺液体 FC－70，其物理性能见表 3.2。

表 3.2 FC－70 的物理性能

沸点(℃)	平均分子量	汽化(cal/g)	密度/25℃	表面张力/25℃(dyn/cn)	表面电阻(Ω·cm)
213～224	820	16	1.94	18	2.3×10^5

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

尽管FC-70具有较高的热稳定性和化学稳定性,但在长时间的高温下(通常为80小时VPS运行后),仍会或多或少地发生低级别的分解,从而分解出氢氟酸(HF)和各种多氟烯类物质,其中之一就是多氟异戊烯(PFIB),它对人体有害,因此限制了它的推广应用。

4. 气相焊设备

(1) 立式气相焊炉

典型的立式VPS炉的结构原理如图3.1所示。

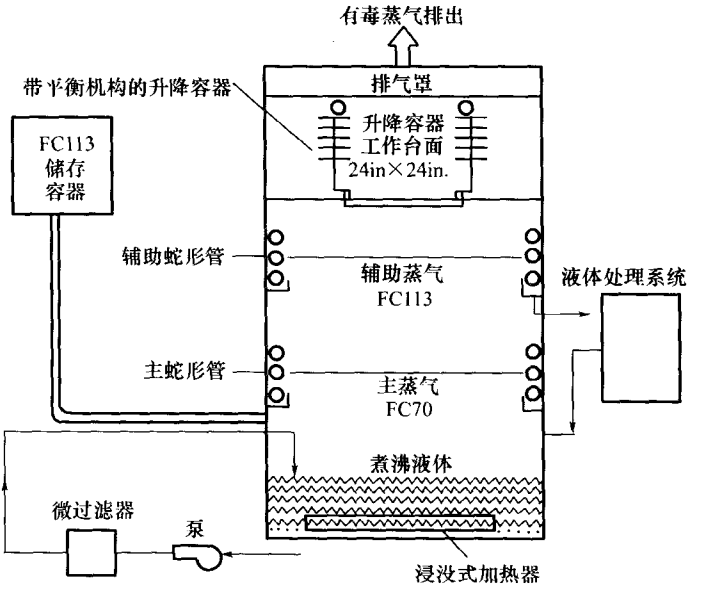


图3.1 典型的立式VPS炉的结构原理图

① 结构特点。最初的VPS炉是直接将FC-70在敞开的加热设备中加热沸腾,使FC-70蒸气大量挥发,致使成本过高,无法实现商业运行。后来美国Western电气公司研制出一种可防止FC-70蒸气逃逸的技术,即在VPS炉的蒸气上方安放第一级主蛇形管,从而有效地使FC-70蒸气回流到溶液中,同时还将低沸点FC-113液体投放到FC-70液体中。由于FC-113的沸点是47℃左右,故FC-113迅速汽化并在FC-70蒸气场上方形成一个“气盖”,将FC-70密封在下方。通常第一级主蛇形管的温度为50℃,它一方面可使过热的FC-70冷凝回流;另一方面又能使FC-113加热汽化并形成

www.789pdf.com 789书库网

“蒸气盖”。在一级主蛇形管的上方设置二级辅助蛇形管，管中通入7～15℃的冷却水，这样又可防止上述“蒸气盖”的逃逸，使其始终稳定在FC－70蒸气的上方。此外还有增加第三级冷凝管的。

② 过滤净化系统。用来除去运行中产生的FC－70分解物（金属氯化物、氟化物）和焊膏中的助焊剂残留物。

③ 焊接工艺。焊接时，首先将待焊的组件在预烘设备中预烘130～150℃/1～1.5min，然后装入VPS专用的吊篮中，并浸到VPS设备的主蒸气区，经设定时间后再将吊篮吊出。焊接温度曲线如图3.2所示。

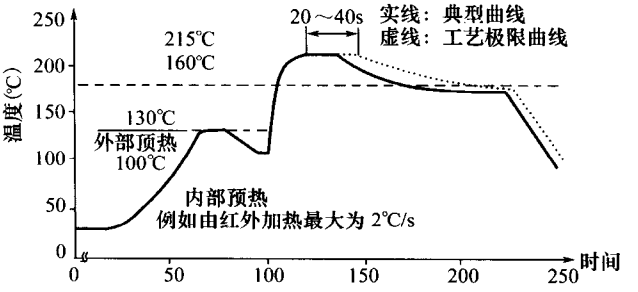


图3.2 批装式气相再流焊接温度—时间曲线

这种设备只能进行间歇式生产，仅供小批量和特种场合下使用。

(2) 传送带式气相焊设备

传送带式在线式VPS设备能实现连续式生产，典型产品由美国HTC公司开发成功，其原理如图3.3所示。它的主要特点是：传送带装载待焊印制板组件直接经过主气相区实现连续焊接。FC－70加热槽原理与上述的立式VPS设备类似，但其冷却系统很复杂且效果较差，这是因为待焊组件的进出口就位于主气相区，冷凝管安装在传送带出入口附近，其难度明显增大，加上二次“气盖”的形成也很困难。为此，必须增设加热介质的补给系统，以防止产生“干烧”。故传送带式VPS设备运行中加热介质的使用量会明显增加。

传送带式VPS设备同样应配备预热烘道，待焊的印制板组件进行预烘后方可进入VPS炉，否则大的温差会使焊膏中的助焊剂汽化而出现锡珠过多和立碑现象。此外，在VPS工艺中，元器件被快速加热，升温速率无法控制，因而会导致器件开裂。为此，在生产中应注意元器件的防潮问题。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

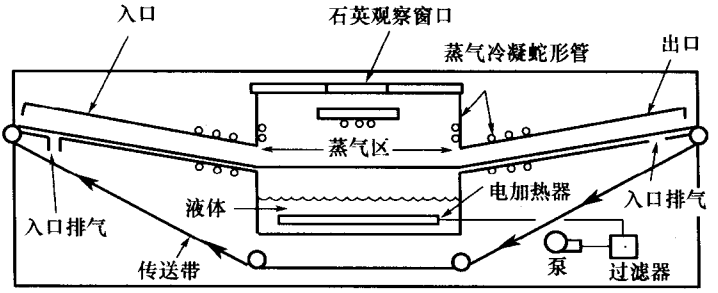


图 3.3　在线 VPS 原理图

(3) VPS 设备操作注意事项

由于 VPS 需要使用加热介质,因此它的管理与操作要比红外再流炉复杂得多,其注意事项如下:

① 加热介质应超过加热器的高度,并要定期过滤。

② 冷却系统及冷却介质应定期检查和更换,保证安全工作。

③ 应连续监控蒸气和液体的沸点,保证焊接质量。

④ 更换下来的加热介质和冷却试剂应妥善处理,不能随便丢放。

3.1.3　激光再流焊

激光再流焊(Laser Reflow Soldering)是将激光束通过光学系统聚焦到很小的区域并在很短的时间内使待焊处被加热而实现焊接的一种方法。

激光束是由激光器发射的高相干性的、几乎是单色的、高强度的、直径很细的电磁辐射波束,它能聚焦在直径仅为 1～10μm 的小面积中,最小加热面积达到 $10^{-7}cm^2$,最大热流密度可达 $1\times10^9W/cm^2$。

当激光束照射在材料表面时,一部分被材料表面反射,其余部分进入材料内部被吸收。吸收的这部分能量转化为材料晶格的热振动,使其温度升高。如果照射到材料表面的激光功率密度为 q_o,则材料内部距离表面 χ 处的功率密度为 $q(\chi)$ 可由下式确定:

$$q(\chi) = q_o(1 - R)\exp(-a\chi)$$

式中,R——材料对激光的反射率;

a——材料的吸收系数。

对于金属材料来说,由于吸收系数很大,因而趋肤深度很小,可将激光作为表面热源

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

来考虑，即激光能量在材料表面转化为热量，然后通过热传导对材料进行加热。

可用于焊接的激光器有 CO_2 气体激光器和 YAG－Nb(钇铝石榴石－钕)固体激光器。由于 CO_2 气体激光器可以产生较大功率(数千瓦)，因而多用于激光熔化焊。对于再流焊来说，因被焊件的尺寸较小，并且钎料对 YAG－Nb 激光能量的吸收率要大于对 CO_2 激光能量的吸收率，加热效率高，不易损坏基极和元器件，因而一般采用 YAG－Nb 激光器。但是，近来国外有人采用波长为 808nm 的半导体激光器来进行无铅再流焊，它与 YAG－Nb 相比具有电光转化效率更高、结构简单等优点。

上述三种激光器主要性能的对比见表 3.3。

表 3.3 三种激光器主要性能的对比

种类	波长(nm)	电/光系统转换效率(%)	金属吸收	光纤
CO_2	10 600	8	少	无(医用除外)
YAG	1 064	12	良	有
半导体	808	33	良	有

激光再流焊系统一般由 YAG 激光器、控制系统、光纤传输与聚焦单元、X－Y 工作平台和外部接口等组成，如图 3.4 所示。由于该系统自动化程度较高，因此其焊速可达到手工焊的 10 倍以上。但由于它是逐点焊接，故比 VPS、红外再流焊的效率低很多。但是，逐点焊接可避免元器件整体受热，特别有利于对热敏感元器件的焊接。逐点焊接还可与激光检测系统结合起来，在焊接过程中完成对焊点质量的检测，这对要求高可靠焊接的航空、航天和军用电子产品尤为重要。图 3.5 是激光再流焊/检测系统的工作过程。

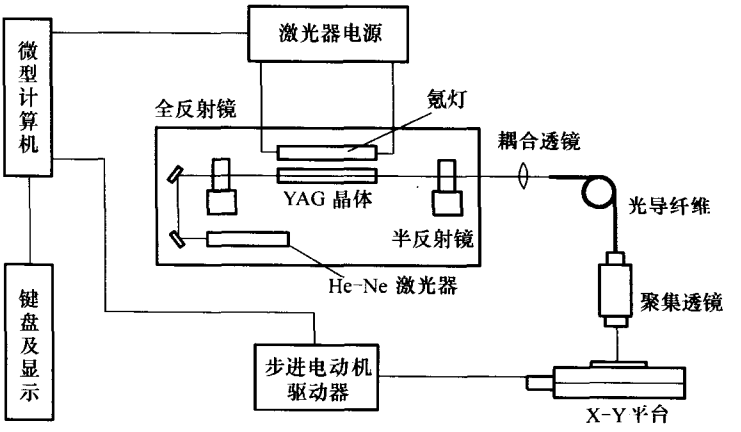


图 3.4 激光再流焊系统示意图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

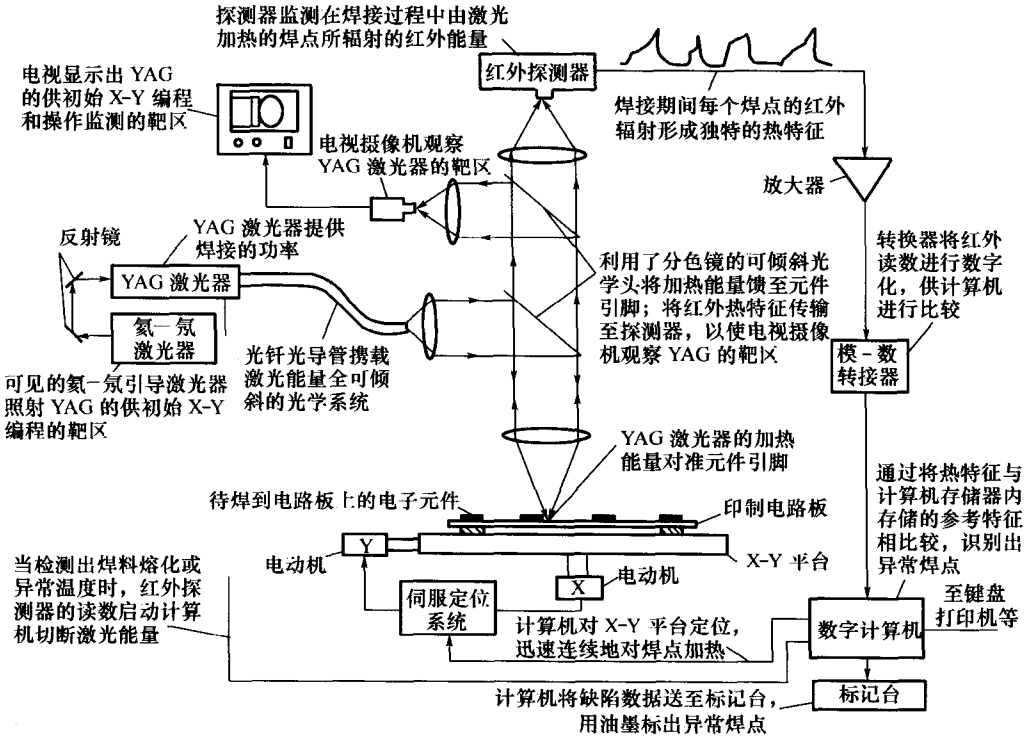


图 3.5　激光再流焊/检测系统的详细工作过程

3.1.4　红外、热风(红外＋热风)再流焊

1. 红外再流焊

(1) 什么是红外线

平时所说的红外严格地讲应称为红外线(infrared)。红外线是一种电磁波，其波长范围是 0.72～1 000μm，又可细分为近、中、远红外线(见表 3.4)。红外线很容易被物体吸收，在通过有悬浮粒子的物质时不易发生散射，具有较强的穿透能力，因此，在工业上被广泛用做热源。

表 3.4　红外线在电磁波中的位置

电磁波	紫外线	可见光	红外线		
			近红外线	中红外线	远红外线
波长(μm)	0.4	0.72	1.5	5.6	1 000

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 红外再流焊炉

波长在1.5～10μm的红外线辐射能力最强,约占红外总能量的80%～90%。红外辐射能的传递一般以非接触方式进行,被辐射的物体可迅速升温。其升温的机理是:当红外线波长的振动频率与被其辐射物体分子的振动频率一致时,被辐射物体的分子就产生共振,引发激烈的分子振动。分子的激烈振动意味着物体的升温,这就是红外再流焊的基本原理。

隧道式红外再流焊炉通常设有预热、再流、冷却三个温区,每个温区有上下加热器,加热器由优良的红外线辐射材料制作,能发射波长1～8μm的红外线。作为被焊对象的PCB基材、焊膏中的有机助焊剂和元器件的塑料本体等具有吸收波长1～8μm红外线的能力,并在吸收红外线后升温,致使焊膏中的助焊剂发挥作用以清除掉焊区和焊料颗粒表面的氧化物,促使焊料润湿焊区,完成焊接过程。

红外再流焊的优点是:红外线能使焊膏中的助焊剂以及有机酸和卤化物迅速活化,助焊剂性能可充分发挥,保证焊膏的润湿能力;红外线波长与印制板组件的吸收波长近似,基板升温快,温差小,温度曲线控制方便;红外加热器效率高,成本低。

红外再流焊也存在显著缺点:其一是当红外线辐射到物体上时,除了被吸收的能量外,还有一部分能量被反射出去,而反射的量与物体的颜色、光洁度和几何形状有关,由于元器件表面颜色、体积、外表光亮度不一样,从而使加热不均匀;其二是红外线不能穿透物体,在焊接PLCC、BGA等器件时,由于器件本体的遮挡,引脚处的升温速度慢于其他部位,产生所谓的"阴影效应",从而难以焊接这类器件。

为克服上述弱点,在红外再流炉中增加了热风循环功能,从而研制出红外热风再流焊炉。

2. 红外热风再流焊

(1) 热源构成

在红外热风再流焊中,作为对流传热媒介的是空气或氮气,对流传热的快慢取决于热风的速度,但强制对流的风量不能太大,以防元器件被吹移位,并防止助长焊点的氧化。因此,通常风速被控制在1.0～1.8m/s。适当的风量对PCB上过热的元器件可起到散热的作用,而对热量需求大的元器件又可迅速补充热量。因此,适当风量的热风可起到热的均衡作用。在红外热风再流焊中,如采用的是波长在2.5～5μm的红外线,则大约只有输入热量的40%辐射在被焊件上,其余60%的热量则由热空气对流提供。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 热风产生方式

① 由轴向风扇产生。这种热风产生方式的特征是:各温区的加热板开有一定数量的孔,风扇装在加热板的后方,风扇转动形成的风通过加热板上的孔吹到炉腔内,如图 3.6 所示。这种方式有助于温度的均匀化。但轴向风扇形成的气流速度不同,且在不同的加热区中风压不同,并在加热隧道中形成一个薄的层流,导致各温区的温度分界不清,不利于温度曲线的正确设置,甚至会使元器件位移。此外,由于电动机装在最热的部位,因此容易损坏。

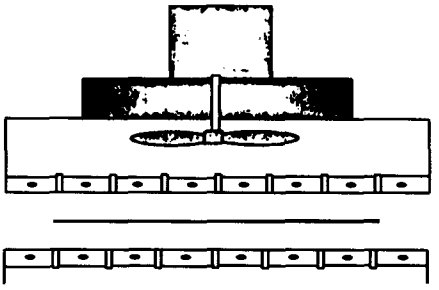


图 3.6 由轴向风扇产生的热风

② 由切向风扇产生。切向风扇装在加热器的外测产生板面涡流,热风的吹入与返回在同一个温区内,前后温区的温度不会出现混合,在被焊件传送方向上没有层流,只在加热板上产生涡流,故每个温区的温度可精确控制。

总之,红外热风再流焊炉是一种将热风对流和红外线辐射结合在一起的加热设备。它集中了两者的长处,是一种比较理想的再流焊加热方式。

(3) 红外加热器

红外加热器的种类很多,再流焊采用的有两类:一类是红外灯和石英灯加热器,它们可直接辐射热量,称一次辐射体;另一类是陶瓷板、铝板、不锈钢板式加热器,加热元件铸造在板内,热能首先通过传导转移到板面上来。灯管式加热器具有工作温度高、辐射波长短和热响应快的优点,但因加热时有光的产生,故在焊接不同颜色的元器件时有不同的反射效果而影响焊接质量的稳定性,而且也不利于与强制热风配套。板式加热器的热响应慢,效率稍低,但由于热惯性大,通过穿孔有利于热风的加热,对被焊件颜色的敏感性小,阴影效应较小。此外,板式加热器的整体性强,便于装卸和维修,在测温热偶配置上也比较方便。因此,目前市售再流焊炉中大多采用铝板或不锈钢板加热器,有的还在其表面涂以红外涂层,增加红外发射能力。每片板式加热器的功率可达 3~4kW。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(4) 传送系统

再流焊传送系统主要有三种结构：

① 耐热四氟乙烯玻璃布：它以厚度为0.2mm左右的四氟乙烯纤维布为传送带，运行平稳，导热性好，但不能连线，仅适应于小型的热板红外型再流焊炉。

② 不锈钢网：刚性好，运行平稳，但也不能连线，较难适用于PCBA双面焊接。

③ 链条导轨：这是目前采用较多的结构，导轨宽度调节方便，PCBA放置在链条导轨上，可与流水线连线生产，也可方便地进行PCBA的双面焊接。导轨材料应耐热并带有加热器。为防止因导轨一致性差而造成PCBA脱落，在导轨下方可再安装不锈钢网带，形成网链混合结构。

(5) 温控系统

再流焊炉可采用仪表控温，也可采用计算机控制，两者均能做到高精度控温。

(6) 红外热风再流焊炉的结构

一般功能的再流焊炉主要包括加热系统、温控系统和传送系统。不同要求的再流焊炉其温区数量一般为3～8个。五温区红外热风再流焊炉结构示意图如图3.7所示。从第一温区至第四温区配置了热风加热器，并在第一、四温区配置了红外加热器。第一温区使PCBA温度从室温升至150℃左右，第四温区为焊接温区，第二、三温区起保温均温作用。

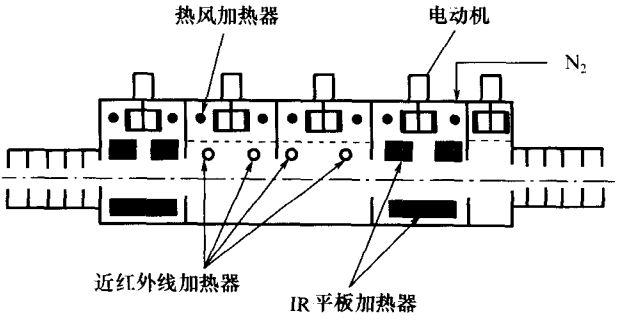


图3.7 五温区热风红外再流焊结构示意图

3. 焊接温度曲线的设置

焊接温度曲线是指被焊的印制板组件表面从进入再流焊炉的加热隧道直到焊完后

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

出离再流焊炉全过程中温度随时间的变化过程，它是最重要的焊接工艺条件。实际设置时，是将测温的热电偶固定在 PCBA 表面上（一般选择 3 个点）吸热最大和最小的位置，并以它们的温度显示来表示 PCBA 实际的焊接温度。通过改变传送带速度和每个温区的温度设定来改变 PCBA 表面的温度变化，并最终使其达到预定曲线形状参数的要求，完成温度曲线的设置。在红外热风再流焊炉中，PCBA 表面温度对炉温很敏感，只要适当调整热源的温度即可方便地调节 PCBA 表面的温度。在红外再流焊炉中，理想的温度曲线通常由四个温区组成，即预热区、保温（活化）区、再流区和冷却区。再流焊炉的温区越多越能使温度曲线调节到理想状态，如图 3.8 所示。温度曲线历经的各温区参数和主要功能见表 3.5。

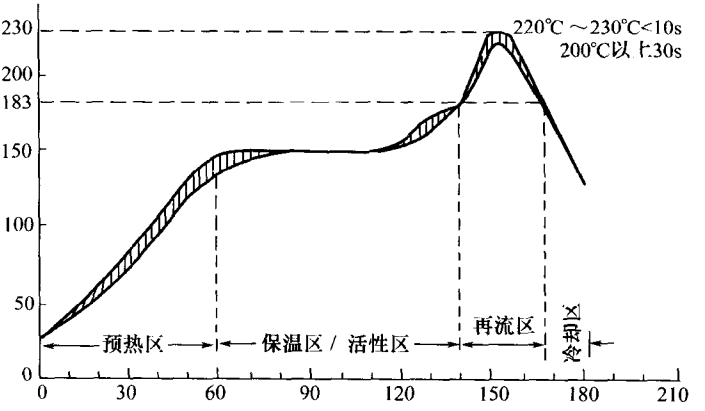


图 3.8　热风红外再流焊工作曲线图

表 3.5　再流焊各温区的基本参数和主要功能

温区	基本参数	主要功能
预热区	室温升至 150℃、2～3℃/s、60～90s	①挥发掉焊膏中部分溶剂 ②使元器件缓慢升温以适应以后的高温
保温区	维持 150～160℃、70～80s	①进一步去除焊膏中的溶剂并激活活化剂 ②PCBA 表面温度均匀化，使 ΔT 最小
再流区	225～230℃（5～10s） >200℃（30～35s）	完成再流焊接
冷却区		焊点迅速冷却，可使焊料结晶细化，连接强度高，焊点光亮

注：在实际生产中，每个产品的实际温区参数应视产品的具体情况而确定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4. 再流焊温度曲线的控制

再流焊温度曲线反映了 PCBA 板面实际温度的变化，而不是指再流焊炉的表温或计算机屏幕显示的温度。由于不同再流焊炉的加热种类和热电偶安放位置不同，因此很难找出它们与 PCBA 板面温度之间的对应关系。必须实际测量 PCBA 的焊接温度曲线。

目前，对 PCBA 再流焊温度曲线的控制主要有两种方法：一是通过对 PCBA 表面温度的实际测量，将它与再流焊炉的表温对应起来，通过再流焊炉表温的改变来相应确定 PCBA 的表面温度，并根据被焊产品要求和焊炉状况定期实测 PCBA 表面温度，予以校准。另一种方法是采用炉温实时控制技术。美国 KIC 的 PROPHET 实时控制系统可以 24h 对炉子进行监视记录。PROPHET 系统有两组包含 15 个热电偶的传感器组并将其中一组装在炉子加热器附近，另一组装在 PCBA 附近。30 个热电偶持续不断地监控炉内和 PCBA 上的温度变化，并将温度曲线即时显示在电脑屏幕上，如图 3.9 所示，将数据记录在硬盘上。

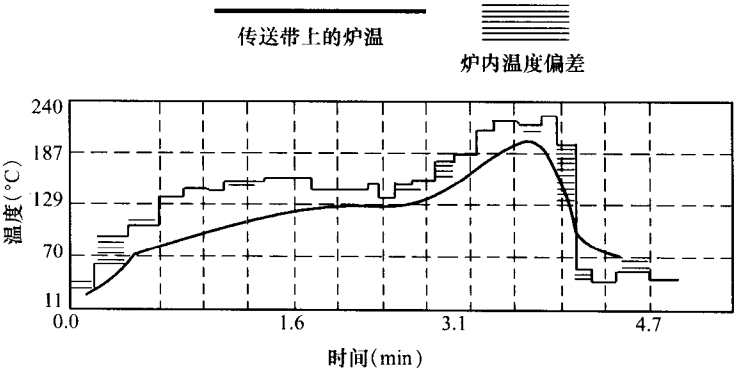


图 3.9 受监控的炉内温度曲线与 PCBA 虚拟温度曲线

由于 PROPHET 不是炉子本身的控制系统，所以它可揭示 PCBA 在传送带上的温度变化情况，而这一点往往是炉子本身的加热器热电偶所无法做到的。如对 PCBA 进行条码管理，则可对因异常炉温变化而引起的焊接缺陷进行及时查找。通常，再流焊炉的工作状态仅靠有限的热电偶测温系统来控制，有了 PROPHET 系统，就能有效地控制焊接质量，实现量化管理。

PCBA 第一次温度曲线是根据 PCBA 的实测温度结果转换的，并通过 PROPHET 软件建立炉温曲线与 PCBA 温度的关系。从而建立起基础温度曲线，模拟出 PCBA 的温度曲线——虚拟温度曲线，30s 更新一次。如果虚拟温度曲线超出限定范围，则系统就会报警；若配合扩展软件包，还可实现关闭送板机构。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5. 通孔再流焊

一般情况下,通孔插装元件是采用波峰焊来实现与 PCB 的装联的,但由于波峰焊的缺陷率要比再流焊高 10 多倍,因此对一些微小型产品(如电子调谐器)来说不仅波峰焊的缺陷率更高,有时甚至显得无能为力。通孔插装元件不用波峰焊而改用再流焊正是在这种背景下诞生的。

通孔再流焊(PIHR,Pin - In - Hole Reflow)不仅可提高直通率,还能增加 50% 以上的产量。在无铅化装联中,PIHR 将得到进一步应用,这是因为无铅波峰焊的实施难度要比无铅再流焊大。

(1) PIHR 工艺流程

① 单面板 PIHR 工艺流程。贴装元件与插装元件在同一侧的单面板 PIHR 工艺流程(如图 3.10 所示)如下:

- 在 B 面的表面安装元件的焊盘和通孔插装元件的焊盘上同时印焊膏;

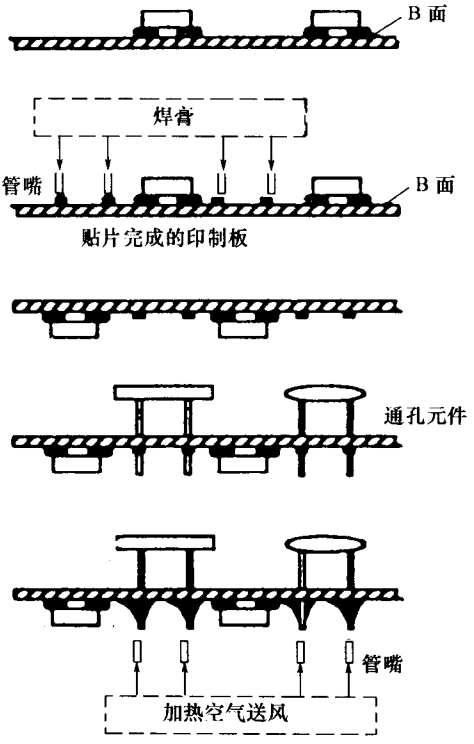


图 3.10 单面板 PIHR 工艺流程

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

- 贴放 SMD/SMC；
- 反转 PCB；
- 插装通孔插装元件；
- 再流焊。

② 双面板 PIHR 工艺流程如下：

- 在 PCB 的 A 面与 B 面印焊膏→贴装→再流焊，完成 SHD/SMC 的焊接；
- 在 PCB 的 B 面通孔插装元件焊盘上涂布焊膏；
- 反转 PCB 并插装通孔插装元件；
- 第三次再流焊，完成 PCBA 装联。

(2) 通孔插装元件焊盘上焊膏的涂布

① 对于 THC 和 SMC 焊盘布置在 PCB 同一侧(面)的产品，可以对所有焊盘一次性印制焊膏。此时，通孔插装元件焊盘的设计应严格控制焊盘孔径，通常将元件引线直径加长 0.2～0.15mm；若为方孔，对角线加长 0.1～0.15mm，其原则是尽可能缩小焊盘孔径。焊盘外径为孔径的 2～2.5 倍；模板厚度应考虑到 SMC 焊盘的焊膏量，通常可取 0.2～0.25mm，即尽可能增加模板厚度。

对应通孔插装元件焊盘的模板窗口，应将焊盘直径加长 0.05～0.1mm，确保焊膏印满焊盘；而对 SMD 焊盘所对应的模板窗口尺寸，考虑到模板厚度已做适当增加的因素，应适当减小窗口尺寸。

② 对于 PCB 的两个面上都需焊 SMC/SMD 的产品，无法采用一次印刷焊膏的方法来实现对通孔插装元件焊盘的焊膏涂布。此时，一是可采用点胶机逐点涂布焊膏，焊膏的形状与大小都可准确控制。这种方法灵活方便，不必制作模板，但生产速度较慢，适用于小批量多品种生产。

二是可采用管状针模板印刷法。这种方法是通过带管状针的模板来实现对通孔插装元件焊盘的焊膏涂布。涂布的形状、大小也可准确控制，而且速度较快。它一般借助专用印刷机进行，即在传统的模板窗口处安放针管，针管的高度超过已贴 SMD 的高度，故 SMD 不会妨碍印刷，其示意图如图 3.11 所示。

当模板上的针状漏管对准焊盘后，用滚轮滚压焊膏，使焊膏涂布到通孔插装元件的焊盘上。焊膏的涂布量由滚轮运行速度和压力来调控。这种方法适用于多种情况下的焊膏涂布，包括机插通孔插装元件的焊膏涂布，适用于大批量生产。

三是可采用预制焊料片。预制片是一种环状的焊料合金，其尺寸可根据需要选择。它可事先放在元件引脚上，也可在元件插装后再放到其引脚上。此法可获得较好的焊接结果，但生产速度较慢，仅适用于试制或小批量生产。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

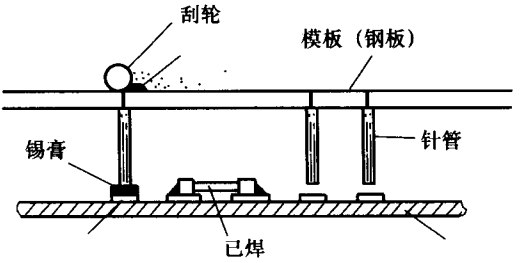


图 3.11　管状印刷法示意图

(3) 通孔插装元件再流焊方法

通孔插装元件再流焊目前主要有两种方法：

① 局部加热法。只对通孔插装元件焊盘部位进行加热，可避免对已经再流焊好的SMD再次加热。因此，通孔插装元件即使不耐高温，也不会影响其性能。此法需要专用焊接设备，其原理如图 3.12 所示。这种方法对周围焊盘的热影响很小，但不适用于大批量生产。

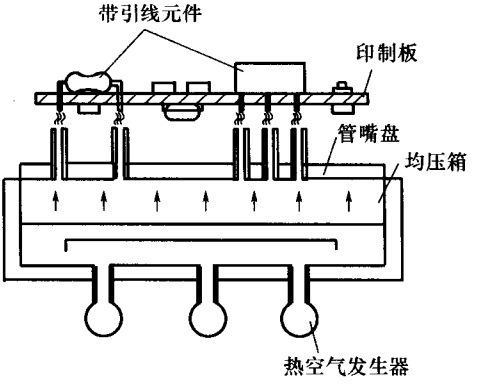


图 3.12　通孔插装元件局部加热原理图

② 利用现有再流焊炉的焊接法。对整个 PCBA 全面加热，相当于第二次再流焊。实施中，已焊好的片式元件焊点会出现再次熔化，但由于熔融焊料表面张力及其他一些冶金因素的作用，片式元件一般不会脱落。难点是一些通孔插装元件不能承受再流焊炉的温度，应采取保护措施。例如，调低（或关闭）再流焊炉上部加热器的温度，采用防热罩。最好采用耐热高的通孔插装元件。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3.2 再流焊炉的选用

再流焊炉是完成再流焊的关键设备，选择一台性能/价格比合适的再流焊炉的原则如下。

① 加热区数量及其配置。

• 加热区数量：不少于4个，对无铅再流焊炉一般不少于8个，最多可达11个。温区多，温度曲线可方便地调节，生产能力大，但一次投资及运行费用也大，而且占地大。

• 加热区配置：应设上、下加热器，至少在预热区和焊接区设置下加热器。

② 加热器类型。优先热风+红外(板式)加热器。

③ 炉温的均匀性和分辨率。

• 炉腔内横截面上温度均匀性为：空载时小于0.5℃，满载时为±1℃左右。

• 炉腔纵向(运动方向)温度分辨率。

取一块20cm×20cm的PCB，按如图3.13所示放置3个热电偶，进炉所测得的温度曲线应如图3.14所示，若能清楚地反映热电偶在PCB上的先后位置，则说明炉子纵向温度分辨率高。

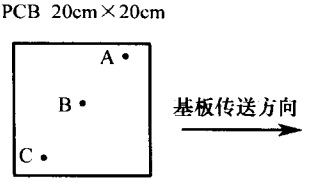


图3.13 PCB上热电偶位置图

④ 炉子保温性能。简易方法是用于触摸炉子外壳和排风管道，若烫手，则说明炉子保温性能差，耗能大。正常时人手稍有感觉(约50℃)。

⑤ 强制对流风速。适当风速有利于炉温均匀，风速太大则容易使小元件移位。可采用0402在不印焊膏的PCB上过炉进行试验。

⑥ 控制系统。该系统有仪表控制或计算机控制，更先进的是PHOFILER控制，应根据使用要求选定。

⑦ 传送系统。目前常用不锈钢网带+链条导轨(带加热)。双导轨传送可同时焊接不同宽度的PCB，但应与同类型的贴片机配套。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

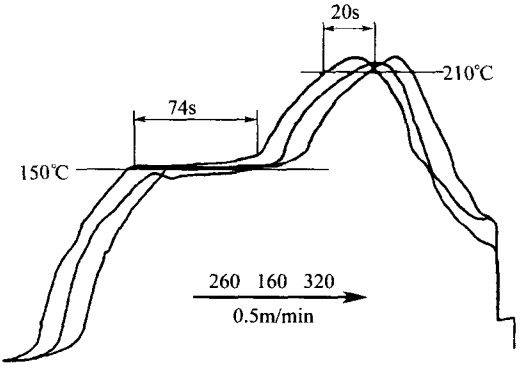


图 3.14 高分辨率的温度曲线说明炉内各温区控制好且温区之间干扰小

⑧ 冷却系统。冷却很重要,应作为炉子的组成部分来配置。有的炉子未予配置,应外接冷却系统。

⑨ 氮气保护系统。氮气保护再流焊具有提高焊接质量、减少环境污染等优点,特别有利于无铅再流焊的实施,但其设备比较复杂,运行成本较高。氮气耗量、保护区氧气浓度检测与控制、氮气接入方法等均为衡量该系统先进性的关键因素。

⑩ 安全保护。再流焊炉应具有过热报警并自动断电、传送系统自动润滑及自动链条清洁处理。有些再流焊炉还有故障自诊断程序。近来有些再流焊炉(特别是无铅再流焊炉)还带有助焊剂烟雾收集装置。

以上介绍了选择再流焊的原则,具体选择时,应从需要出发,并考虑性/价比要合理,对加热、温控、传送等关键部分应认真考虑。国外则采取对再流焊炉各部分功能进行加权定量分析、计分的方法,并以此作为选择依据,见表 3.6。

表 3.6 再流焊炉加权评分表

参 数	权重	评估详述	比值
热曲线变换等候时间	100	出色,无须等候,最大输出量	10
大量进板时温度控制反应时间	100	出色	10
温区温控精度	100	±0.1℃	10
单个 PCB 上的最大温差	100	±2℃	10
启动加热时间	50	10min(包括日期自动更新)	10
最大链条调节宽度	50	55.88cm(22″)	10

www.789pdf.com 789书库网

（续）

参　数	权重	评估详述	比值
最大轨道调节宽度	50	55.88cm(22″)	10
最小轨道调节宽度	50	5.08cm(2″)	10
自动宽度调整	90	在计算机控制下由用户选择	10
最大走板高度	50	5.842cm(2.3″)	9
噪声	50	＜75dB	8
氮气预留装置	70	有	10
氮气消耗量(25×10^{-6}氧气浓度时)	50	900ft^3/h(标准立方英尺每小时)	10
启动工作电耗	60	19kW(在整个15min启动加热时间内)	10
正常工作电耗	75	17kW(平均值)	9
加热的最高温度	70	300℃,如果需要可增加选项,使温度达到350℃	9
加热区/长度	100	8个温区,每个温区长13″	10
冷却区/工作能力	70	上、下温区各1个	10
灯塔	30	工作正常	10
后备电源	60	正常、断电时提供链条传动、炉盖升起和计算机操作的电源	10
进板	80	非常容易	10
自动链条润滑	80	工作正常	10
温度曲线测试能力	80	5个测试口,KIC测试软件	9.5
炉盖升起电动机	60	工作正常	10
出口处连接	50	工作正常	10
出口处传感器	40	工作正常	10
独立电动机失效报警	60	工作正常	10

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

参　数	权重	评估详述	比值
连续无故障工作时间	100	14 000h	10
技术支持	100	每周7天,24h免费	10
网络支持	60	正常	10
操作软件	100	Windows95及以上	10
维护软件	100	出色,包括详细的技术指导	10
保修期	100	1年,包括人工和备件	10
培训	100	进行	10
设备安装	30	正常,由供应商负责	10
价格	300		10

注:得分=Σ(权重×比值)。

3.3 再流焊的缺陷及解决方法

3.3.1 缺陷分类

焊接缺陷可分为主要缺陷和次要缺陷。凡能导致PCBA功能失效的缺陷称为主要缺陷;次要缺陷是钎料对母材的润湿尚好,不会引起PCBA功能丧失,但有影响产品寿命可能的缺陷。此外,还有不影响PCBA功能的表面缺陷。

主要缺陷必须进行修理,次要缺陷和表面缺陷是否要修理由缺陷的程度及产品的用途决定。电子产品按用途可分为:消费类设备,如TV、VCD;专用设备,如测量仪器和通信设备;高可靠性设备,如宇宙飞行器和心脏起搏器。

不同的生产部门对次要缺陷和表面缺陷可结合IPC—601D标准以及本单位产品的性质来决定是否修理,对于表面缺陷在要求某种特定外观时或尚未对它准备认定之前也应修理。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3.3.2 再流焊的主要缺陷及产生原因

1. 优良焊点的外观

优良焊点外观应达到下列要求：

① 润湿良好，润湿角一般应小于30°。

② 焊料铺展均匀连续。

③ 焊料量适中。

④ 焊接位置正确，元器件的焊端/引脚应处于焊盘的中心位置，不能超越焊盘(包括宽度和长度)。

⑤ 焊点表面连续、光滑并有金属光泽。

焊点外观的检测可分为自动光学检测(AOI)和X射线检测等方法。但在SMT生产中，常用目测检验(借助于放大镜、显微镜)，除BGA、CSP和POP外，基本能满足实际检测要求。

检查中还可借助金属针或牙签，以适当的力量和速度划过QFP类IC器件的引脚，依靠手感及目测来判断其是否有虚焊和桥连。

2. 再流焊常见质量缺陷及解决途径

(1) 吊桥

吊桥(drawbridging)是“两个焊端的表面组装元件在贴装或再流焊(特别是气相再流焊)过程中出现的一种特殊偏移现象，其一端离开焊盘表面，整个元件呈斜立或直立状，其形状如石碑”。也称立碑、墓碑现象(tomb stone effect)或曼哈顿现象(manhattan effect)。

产生吊桥的主要原因是元件两个焊端的润湿力不平衡，如图3.15所示。其中，$T_1 + T_2 + T_5$是阻碍吊桥产生的，$T_3 + T_4 + T_6 + T_7$是促使吊桥产生的。

图中，T_1——元件重力；

T_2——元件下端熔化焊膏的表面张力；

T_3——元件端部圆角处的表面张力；

T_4——惰性气体凝聚物的浮力；

T_5——焊膏的粘结力；

T_6——传输振动产生的力；

T_7——元件下端焊膏中产生的气体最大浮力；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

T_8——伴随元件另一端润湿时产生的阻力。

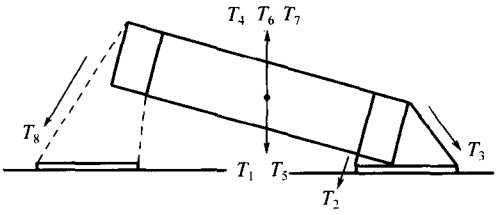


图 3.15 焊盘一侧焊膏未熔化，两焊盘张力不平衡会出现立碑现象

造成元件两端润湿力不平衡的原因及其改进措施如下：

① 焊盘设计与布局：

- 元件两侧焊盘之一与地相连；
- 元件一侧焊盘面积过大；
- PCB 表面各处的温度差过大导致焊盘吸热不均匀；
- 大型元器件 QFP、BGA 和散热器周围小型片式元件出现温度不均匀现象。

解决办法是改善焊盘设计与布局。

② 焊膏及印刷：

- 焊膏的活性差或元件的可焊性不好，焊膏熔化后表面张力不均匀；
- 两焊盘的焊膏印刷量不均匀，多的一侧因焊膏吸热量多，熔化时间滞后，从而也会导致润湿力不均匀。

解决办法是选用活性较高的焊膏，改善焊膏印刷参数，特别是模板的窗口尺寸。

③ 贴片：

- Z 轴方向受力不均匀，致使元件浸入焊膏深浅不一，造成焊膏熔化时间不一致，而使元件两侧的润湿力不均匀；
- 元件贴片移位，如图 3.16 所示。

解决办法是调整贴片参数。

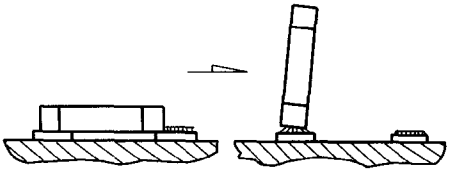


图 3.16 元件偏离焊盘，故两侧受力不平衡而产生立碑现象

④ 温度曲线。再流焊温度曲线不正确，如图 3.17 所示，导致 PCBA 表面温差过大。解决办法是优化温度曲线，使 PCB 和元器件受到的热应力最小，并保证焊膏充分熔化。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

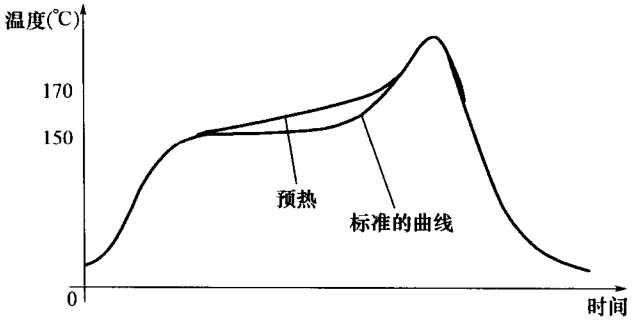


图 3.17 上面一条曲线容易产生吊桥缺陷

⑤ 氮气再流焊中的氧浓度。再流焊采用 N_2 保护,可增加焊料的润湿力,但有不少报道指出:在氧含量过低的情况下,吊桥现象反而增多。通常认为氧含量在 100ppm 左右为宜。

(2) 焊料球

焊料球是焊接时粘附在印制板、阻焊膜或导体上的焊料小圆球,清洗后不允许存在这种缺陷。

焊料球可以出现在片式元件侧面,也可以出现在 IC 引脚周围。

产生焊料球的原因主要有:

① 温度曲线设置的正确性。再流焊温度曲线分为 4 个区段,即预热、保温、焊接和冷却。预热和保温区段的作用是使 PCBA 表面在 60～90s 内升到 150℃ 左右,并保持约 90s。这样不仅可降低 PCB 及元器件进入焊接区段时的热冲击,更重要的是使焊膏中的溶剂被部分挥发掉,防止再流时因焊膏中大量溶剂的急剧挥发而引起飞溅,致使焊膏冲出焊盘而形成焊料球。

为此应采用如图 3.18 所示的再流焊温度曲线,即保持适当的升温速率和预热温度,并具有一个保温平台,便于焊膏中溶剂的适当挥发。

② 焊膏质量。焊膏中的金属含量的质量百分比通常为 90% 左右,金属含量过低意味着焊膏中的溶剂、助焊剂、触变剂等化学物质增加,当预热阶段未充分挥发掉这些化学物质时,在焊接时因化学物质的急剧挥发而使焊料金属飞溅而形成焊料球。

冷藏的焊膏从冰箱中取出后如回温时间不足,则造成焊膏中残存水蒸气;焊膏瓶的盖子在使用中如不及时盖紧,也会使水蒸气进入焊膏中。水蒸气中含有氧,进入焊膏后会使焊膏的含氧量增加,从而使焊膏中助焊剂的去氧能力不足,使焊料不能充分润湿和铺展,形成一个光滑的焊点,裂开后形成不规则的焊料球。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

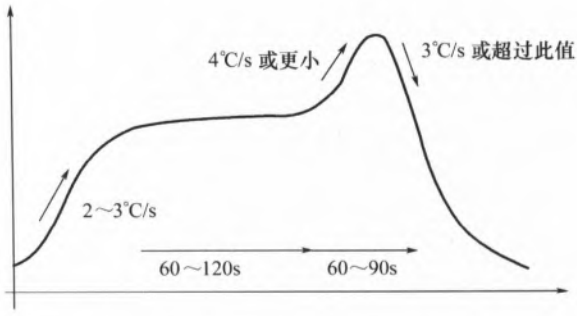


图 3.18　控制升温速率及保温时间(平台区)是防止产生焊料球的好方法

③ 焊膏的印刷与贴片：

• 模板与焊盘对中不好会将焊膏印刷到焊盘外，加热后形成焊料球。为此，应细调模板，确保对中，防止松动偏移。同时要注意：印刷焊膏应在 25℃ ± 3℃、RH50% ～65% 的环境下进行。

• 贴片中贴片头 Z 轴压力过大会将焊膏挤到焊盘外，从而产生焊料球。为此，应调整贴片压力。

④ 模板的厚度与开口尺寸。模板过厚和开口尺寸过大，印刷后焊盘上的焊膏体积就大。加热中焊膏容易漫流到焊盘外，从而形成焊料球。为此，应采用适当厚度的模板，开口尺寸一般为对应焊盘尺寸的 90%，并可采用如图 3.19 所示的开口形状。

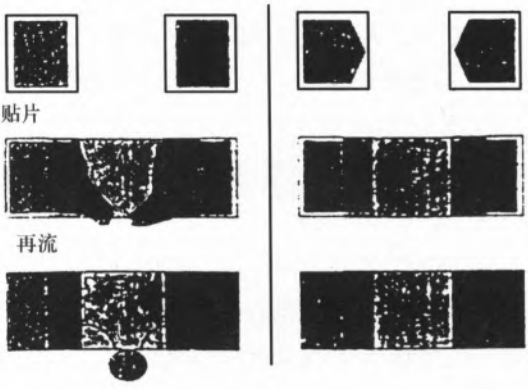


图 3.19　左侧钢板漏印焊膏较多，再漫流后易出现焊料球；
右侧钢板尺寸改进后不再出现焊料球

(3) 桥连

两个或两个以上不应相连的焊点之间的焊料相连或焊点的焊料与相邻的导线相连

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

称为桥连。它会引起元器件之间的短路。引起桥连的原因主要是：

① 焊膏原因：焊膏中金属含量偏高，特别是印刷时间过久后，更容易出现金属含量增高；焊膏黏度低，预热后漫流到焊盘外；焊膏抗塌落性差，预热后漫流到焊盘外等现象，从而导致IC引脚桥接，因此应采用合适的焊膏。

② 焊膏印刷原因：印刷机重复精度差、对位不准、焊膏印刷量偏移；此外，模板设计（窗口尺寸和厚度）和对位及PCB焊盘镀层不均匀等均会导致焊膏量偏多而产生桥连。为此，应调整印刷机，改善焊盘镀层。

③ 贴装原因：贴装压力过大，导致焊膏受压过度被挤出焊盘，从而形成桥连。应调整贴装头的Z轴高度。如果贴片精度不足而出现元器件偏移或IC引脚变形，也应及时纠正，否则也会产生桥连。

④ 预热原因：预热温度过高，升温过快。

贴装、预热对产生桥连的影响如图3.20所示。

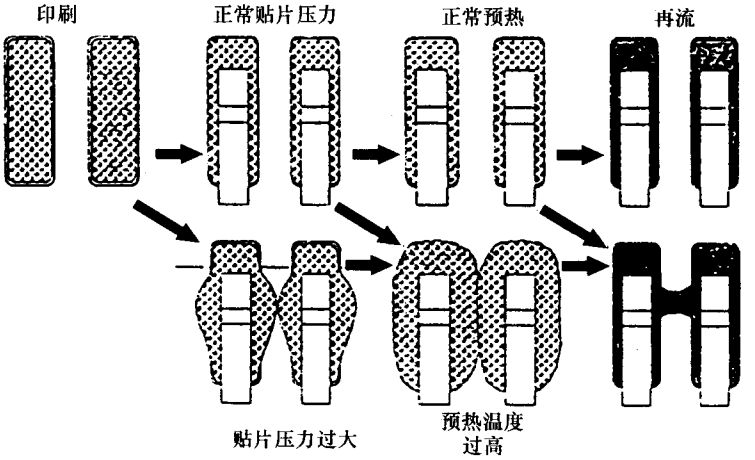


图3.20 桥连过程

(4) 虚焊

焊接后，焊端或引脚与焊盘之间有时会出现电隔离现象，这就是虚焊，有时称为开路或冷焊。其主要成因是：

① 器件引脚的共面性差，有些贴片机没有检查共面性的功能，在贴装时未被发现，从而产生虚焊，如图3.21所示。为此，应注意对器件的保管和检查。

② 引脚/焊端可焊性不好。生产中应检查元器件的可焊性，IC存放时间不应过长，保管时不宜置于高温、高湿环境，不随便打开包装。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

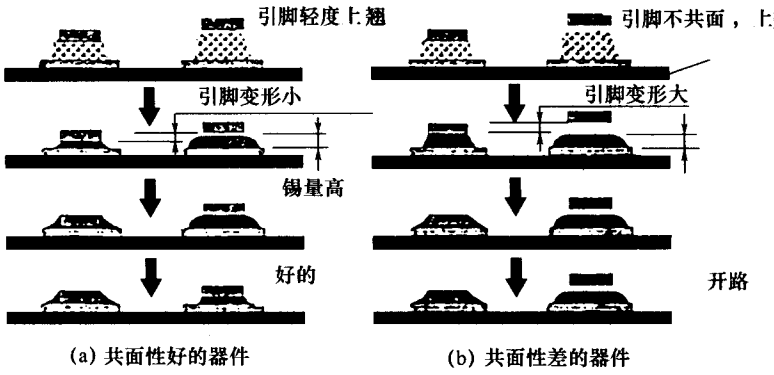


图 3.21　共面性差的器件焊接后出现虚焊

③ 焊膏质量差，金属含量低，可焊性差。用于 QFP 焊接的焊膏，其金属含量不应低于 90%。

④ 预热温度过高，容易引起 IC 引脚氧化，使可焊性变坏。

⑤ 模板窗口尺寸小，印刷后焊膏量不足。应检查模板窗口尺寸，使之与 PCB 焊盘相匹配。

再流焊的其他缺陷及其产生原因见表 3.7。

表 3.7　再流焊的其他缺陷及其产生原因

缺陷名称	产生原因
焊点不光亮(残留物多)	①焊膏中添加有消光剂(根据需要选用) ②焊膏中氧含量高(由焊膏供应商解决) ③再流焊峰值温度偏低 ④冷却速度慢 ⑤焊膏中金属含量低，化学物质不易挥发
阻焊膜起泡	阻焊膜与 PCB 基材间存在气体/水蒸气是由于在基板制造中干燥不充分所致。 解决办法： ①严格进行 PCB 进货检查 ②PCB 存放在通风干燥处，存期不超过 6 个月 ③PCB 在焊前进行 100～120℃/4～6h 预烘

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

缺陷名称	产生原因
基板起泡	基材内夹带水气（特别是多层板） 解决办法：贴片前预烘 105℃ /4h
芯吸	主要发生在 VPS 中，这是由于元器件引脚的导热率比焊盘大，升温快的缘故，因此在 VPS 中应先将 PCBA 预热再入炉
印制板扭曲	①PCB 材质差，T_g 低，为纸基 PCB ②PCB 设计不合理，元器件分布不均，PCB 两面铜箔保留量相差大 ③有外形较大的连接器、插座 ④再流焊温度过高
焊料润湿不良	①元器件引脚/焊端、PCB 焊盘已氧化/污染 ②焊膏质量差 ③再流焊温度过高
焊料量少	①模板窗口尺寸小 ②焊膏中金属含量低 ③芯吸

3.4 无铅再流焊

3.4.1 什么是无铅再流焊

图 3.22 是具有代表性的再流焊焊点构成示意图。所谓无铅再流焊，就是指一个再流焊的焊点中，铅的含量低到 ppm 级的程度，目前公认的焊点中的含铅水平是1 000ppm。由此引出无铅的概念是：焊点中的铅不是等于零，而是接近于零。无铅条件下焊点的含铅量是目前（有铅）的 1/400 左右。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

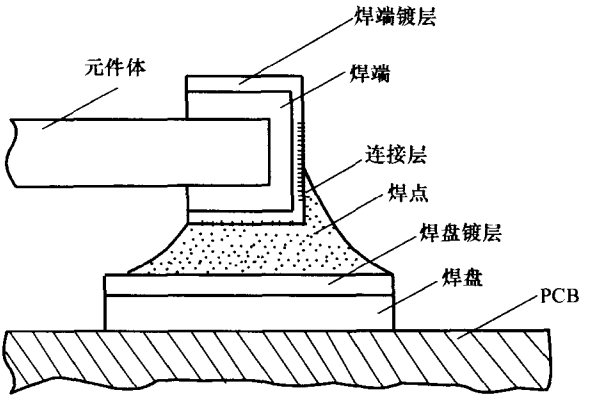


图 3.22　再流焊焊点构成示意图

3.4.2　实施再流焊无铅化的主要困难

从如图 3.22 所示不难理解：要获得一个合格的无铅焊点(以再流焊为例)，其必须具备的条件是：

① 要采用无铅焊膏；

② 元器件焊端镀层要无铅化；

③ PCB 焊盘镀层也要无铅化；

④ 再流焊工艺与设备也应相应地无铅化；

⑤ 相关标准和测试仪器要无铅化。

上述无铅化条件的全面建立非常不容易，这就是实施无铅再流焊的技术难题。

1. 无铅焊膏

无铅焊膏就是用无铅焊料合金配制而成的焊膏，它是实施无铅再流焊的首要关键材料。

无铅焊料合金简称无铅焊料，它与目前广泛使用的焊锡(有铅焊料合金)相比的最大区别就是合金成分中不含铅。

一种新型合金的研制是相当艰巨的任务，从 20 世纪 90 年代起，世界各国先后投入大量人力、物力来研制无铅焊料合金。10 多年来，虽然研制出了众多不同成分的无铅焊料合金，但至今还没有一种无铅焊料合金能在技术、经济性能上全面达到有铅焊料合金的水平。迫于全球无铅化形势的要求，只能将性能相对较好的 Sn－Ag－Cu 系合金作为当前无铅再流焊使用的主流无铅焊料合金。但是，Sn－Ag－Cu(简称 SAC)无铅焊料合

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

金与以往使用的 Sn－Pb 共晶焊料合金相比，不仅熔点提高了(SAC 为 217℃，Sn－Pbe 为 183℃)，而且其润湿性有所下降，如图 3.23 所示。这一升一降就是当前无铅再流焊面临的主要困难。解决这些困难的措施如下：

① 继续开发新的综合性能更好的再流焊用无铅焊料合金；

② 采用新型的再流焊设备和工艺。

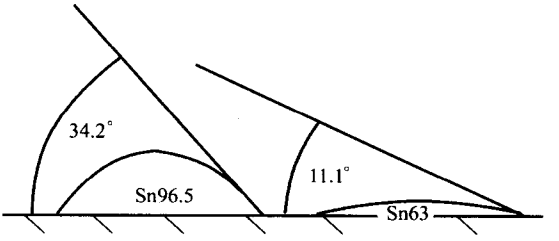


图 3.23 SAC 与 Sn－Pb 在铜上润湿性对比

2．元器件焊端镀层的无铅化

元器件焊端表面镀层的作用主要是提高可焊性，以往大多采用电镀或浸锡的方法形成 Sn－Pb 焊料为主体的表面镀层。为实现无铅化，必须试验各种不含铅的镀层。目前看比较有发展前途的焊端无铅镀层的种类主要是：纯 Sn、Sn－Bi、Sn－Cu、Ni－Pd、Sn－Ag 等。其中存在的问题是：新研制的这些无铅镀层在形成焊点后的可靠性如何还有待研究；另一点是无铅镀层的制取工艺及设备尚不成熟。

3．PCB 焊盘表面镀层的无铅化

PCB 焊盘表面要覆盖一个保护层(surface finish)，它的作用主要是：防止焊盘氧化，保证其可焊性。在以往传统的 PCB 制作工艺中，主要采用 Sn－Pb 焊料的热风整平(HASL，Hot Air Solder Leveling)技术。为实现完整意义上的无铅化，国内外对 PCB 焊盘表面保护层的无铅化进行了许多研究，其中应重点关注的是 OSP、浸 Ag、浸 Sn、ENIG。

(1) OSP

OSP(Organic Solderability Preservative)的基本原理是利用有机物与氧化铜之间的化学反应来生成聚合物保护层。其优点是成本低、表面平整。OSP 工艺流程及工艺参数见表 3.8。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 3.8 OSP 基本工艺流程及工艺参数

步骤	工　艺	工艺参数
1	酸洗	30～40℃,30～45s
2	水冲洗	
3	腐蚀	稀盐酸/硫酸/乙酸,25～30℃,30～45s
4	水冲洗	
5	酸冲洗	5～10%硫酸,20～25℃,15～30s
6	水冲洗	
7	沉积 OSP(BTA)	20～49℃,30～90s,pH>3.0,1.0～2.5%的浓度
	沉积 OSP(BAS)	40～45℃,45～90s,90～110%的浓度
8	去离子水冲洗	
9	烘干	60℃

OSP 是目前应用最广泛的一种无铅化 PCB 表面保护层。例如,美国的统计数字表明,1992 年 OSP 占 PCB 表面保护层的比例仅为 3%,而 1999 年则上升到了 30%(另外有 60%是 HASL)。OSP 工艺的优点如下:

① 焊盘表面平整度很高,有利于得到均匀一致的焊膏印刷效果。同时有利于减少在 HASL 情况下常见的桥连缺陷。

② 在波峰焊和回流焊应用中均表现出良好的可焊性。

③ 润湿直接发生于焊料与 Cu 焊盘之间,Sn－Cu 之间易于生成金属间化合物的特点保证了良好焊点的形成。

④ 可以承受至少 4 次的回流温度循环。

⑤ 容易返修。

⑥ 供应商的选择不会受到限制,因为大多数 PCB 制造商有能力采用 OSP 工艺。

⑦ 在合理的保存环境下存储寿命可达到一年。

OSP 工艺的主要缺点如下:

① 日常处置要特别小心,不能让手直接接触到 OSP 保护层,因为人体汗液中的盐会损害 OSP 保护层并导致可焊性变差。

② 对后续焊膏的印刷要求很高,不能出现印刷错误,因为清洗时会破坏 OSP 保护层。例如,醇类有机溶剂可以溶解 75%左右的 OSP,即使是水也可以溶解 15%左右的 OSP。

③ OSP 表面保护层可能不适用于射频电路的组装件。因为绝大多数射频电路组装

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

件需要在电路板上焊接一个与地线相连的金属屏蔽,但是在OSP保护层基础上焊接的金属屏蔽可能无法做到完全屏蔽,因为这不是金属与金属的焊接。

④ OSP保护层会给ICT测试带来困难。可能需要较为昂贵的多点探针,而且探针的清洗也会比较频繁。

⑤ 在包装和运输方面,每一块带有OSP保护层的印制电路板之间要使用隔离纸以防止相互之间的摩擦破坏OSP表面。

⑥ OSP不能用于引线链合。

(2) 浸Ag

由于Ag比Cu的标准电动势高,因此浸Ag实际上是一种电化学置换反应:

$$Cu + 2Ag^{+} \rightarrow Cu^{2+} + 2Ag$$

浸Ag工艺流程和工艺参数见表3.9,浸Ag槽内溶液的主要成分见表3.10。

表3.9 浸Ag工艺流程和工艺参数

工艺流程	温　度(℃)	时　间
酸洗	50	5min
表面微腐蚀	40	60s
预浸	30	30s
浸Ag	50	60s

表3.10 浸Ag沉积槽内溶液的主要成分

化学成分	功　能
Ag	沉积金属,与Cu之间存在0.46V左右的电位差
硝酸	产生Ag的阳离子,加速反应
Cu的络合剂	防止置换出来的Cu离子影响后续的置换反应
抑制剂	降低溶液对光的敏感度,保证均匀沉积
表面活化剂	防止电迁移和表面失去光泽
缓冲剂	调节溶液的pH值

浸Ag工艺成本相对较低,工艺容易实现且稳定性好。但是浸Ag工艺对通孔的覆盖率低,浸Ag保护层的焊点中有时会出现空洞缺陷。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 浸 Sn

浸 Sn 工艺已存在了很多年。由于老的浸 Sn 工艺所制得的保护层灰暗且可焊性较差,因此仅在低档次产品中得到一定应用。20 世纪 80 年代,IBM 公司对此工艺进行了重要改进,提高了浸 Sn 层的可焊性和储存寿命,使浸 Sn 工艺得到较多应用。

浸 Sn 用溶液的典型成分为 $Sncl_2$20g/L;硫脲 75g/L;次磷酸钠 16g/L;表面活性剂 1g/L;盐酸 50CC/L。作业温度为 70~73℃。浸 Sn 工艺的基本流程见表 3.11。

表 3.11 浸 Sn 工艺基本流程

步骤	工艺	工艺参数	
		例 1	例 2
1	酸洗	49℃,4min	29~43℃,2~4min
2	水冲洗	室温	1~2min
3	微腐蚀	27℃	30~60s,24~29℃
4	水冲洗	室温	1~2min
5	预浸	室温	1~2min,16~32℃
6	浸 Sn	66℃,8min	61~71℃,6~12min
7	温水冲洗	43℃,1min	2~4min
8	水冲洗		1~2min

浸 Sn 曾被看好,但未来走向不太明确。其主要问题是:

① 该工艺中用到的硫脲可能致癌。

② 浸 Sn 表面易长晶须。

③ Sn-Cu 间在常温下也会不断生长金属间化合物,从而降低焊盘的可焊性和 PCB 的储存寿命。

④ 成本不具优势,几乎与 ENIG 相同。

(4) ENIG

ENIG 是 Electroless Niskel/Immersion Gold 的缩写,表示由化学镀 Ni 工艺与浸 Au 工艺联合制成的保护层。在 HASL(热风整平)流行时,ENIG 就已得到大量的应用,其主要原因是 ENIG 具有如下优点:

- ENIG 保护层的表面平整,有利于后续的焊膏印刷和再流焊;

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

- 表面可焊性好；
- 与引线键合(Wire Bonding)工艺兼容，可替代成本高的电镀 Ni/Au；
- 在高温下也不易氧化，可用于大功率器件的散热通道。

① 化学镀镍(Electroless Ni)。用次磷酸盐作为还原剂，Ni 离子从次磷酸离子中获得 2 个电子而变成金属 Ni：

$$3NaH_2PO_2 + 3H_2O + NiSO_4 \rightarrow 3NaH_2PO_3 + H_2SO_4 + 2H_2 + Ni$$

或

$$Ni^{2+} + H_2PO_2^- + H_2O \rightarrow Ni + H_2PO_3^- + 2H^+$$

这里要指出的是：P 会与 Ni 同时沉积而形成事实上的 Ni－P 沉积层(P 含量在 6%～10%为宜)：

$$2H_2PO_2^- + H_{abs} \rightarrow H_2PO_3^- + H_2O + OH^- + P$$

$$3H_2PO_2^- \rightarrow H_2PO_3 + H_2O + 2OH^- + 2P$$

化学镀镍层的主要物理特性见表 3.12。

表 3.12 化学镀镍层的主要物理特性

特性	测 量 值	试 验 方 法
硬度	500～700HV_{100}	Vickers
	500～700HK_{100}	Knoop
	45～55RC	Rockwell
密度	7.9～8.3g/cm^3	注：纯 Ni 为 8.9
熔点	890℃	P 含量：7%＜P＜10%
热膨胀系数	12～15μm/m℃	0～100℃
摩擦阻力	14～18TWI	重量损失法，1 000rev，10N
电阻率	55～90μΩ·cm	
韧性	1%～2.5%的延伸率	Instron 拉伸试验
热导率	0.01cal/cms^{-1}	
磷含量	6%～10%	ICP AA
晶粒尺寸	0.001～0.01μm	X 射线衍射
拉伸强度	500～750N/mm^2	Instron 拉伸试验

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 浸 Au 工艺(Immersion Au)。浸 Au 工艺是一个自然发生的置换反应：

$$Ni + 2Au^{+} \rightarrow Ni^{2+} + 2Au$$

或

$$Ni + 2Au(CN)_2^{-} \rightarrow Ni^{2+} + 2Au + 4CN^{-}$$

③ 黑盘问题(Black Pad)。如前所述，ENIG 是一种具备很多优点的 PCB 表面保护层的形成方式。但是，ENIG 也存在一个重要的缺陷，从而制约了其进一步的广泛应用。这个问题就是黑盘问题。

黑盘问题表现在经过 ENIG 表面处理的焊盘会偶发性地出现可焊性不良，并导致随后形成的焊点强度不够，甚至出现焊点开裂现象。焊点裂开后会观察到焊盘表面呈深灰色或黑色，而且有明显的润湿不良迹象。Puttlitz 最先报道了这一现象，随后即被广泛证实。迄今为止，尽管关于黑盘发生机理的研究论文众多，但是尚未形成统一的结论。一般性的观点是：ENIG 形成的表面 Au 层厚度很小，这一薄层 Au 在焊接过程中会完全溶于 Sn 基的焊料之中并形成 Au－Sn 金属间化合物。[注：Au 层厚度增加，溶入焊料中的 Au 也增加，过量的 Au－Sn 金属间化合物将导致焊点脆化。]因此，所观察到的黑盘现象应是化学镀镍层的表面现象。如前所述，浸 Au 过程实际上是 Au 与 Ni 的置换反应。如同浸 Ag 一样，这种置换反应自身是具有“自动结束”效应的，即当界面被 Au 层所密封而无 Ni 可溶时，Au 层的沉积亦将停止。但是由于 Au 原子的半径较大，其在 Ni 原子表面的排列无法达到很好的致密性，反而会形成很多间隙疏孔，这就为置换反应的继续进行提供了通道；另外，浸 Au 用溶液可能埋藏在这些间隙之中，而当浸 Au 用溶液由于某种原因呈现过度活性(Hyperactive)时，将造成局部镀镍表面非规律性的过度氧化。纵使 Au 层沉积完成后，其与 Ni 的界面间事实上已经存在的 Ni 氧化物最终将导致黑盘现象的发生。借助扫描电镜、俄歇能谱、聚焦离子束探针等精密仪器对 ENIG 进行了仔细的表面观察，观察结果表明的确是由于在渗入镀镍层(特别是渗入晶界)的浸 Au 用溶液的作用下，Ni 的氧化速度远远超过了 Au 的还原速度，而氧化镍在未能全部水解之前即被 Au 层所覆盖，最终只好以黑盘形式附着于 Au 层之下。但是为什么这种过度的 Ni 氧化反应只是在局部区域偶尔出现则至今无法完全明了。

在生产实践中能够有效减少黑盘现象发生的一个主要措施就是频繁更新化学镀镍槽和浸金槽内的溶液，但是在基本原理没有完全弄清之前，这种方法只能是无奈之举。

另外，一家国外公司借鉴于浸 Sn 的原理，提出在浸 Au 用溶液中加入某些还原剂，从而得到半置换、半还原的复合金层。其各种试验数据表明该方法可以解决黑盘问题，代价是生产成本上升 2.5 倍以上。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(5) PCB 无铅保护层性能对比

ENIG、I－Ag、I－Sn、OSP 和 HASL 产生虚焊和不润湿缺陷的对比如图 3.24 所示。

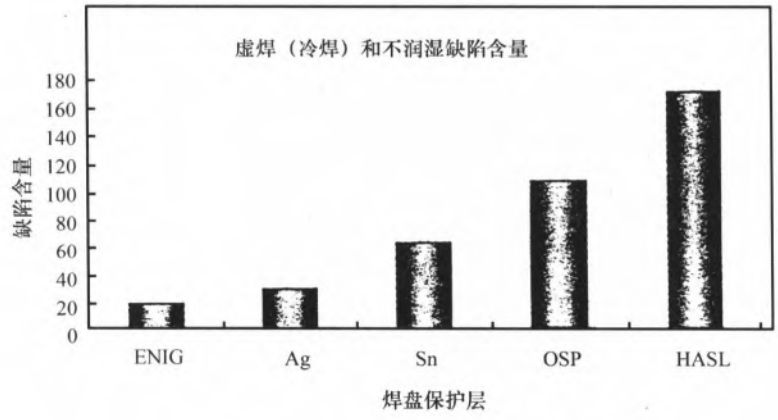


图 3.24 印制板无铅保护层产生缺陷的对比

I－Ag、HASL、OSP、ENIG 承受再流焊温度能力的对比如图 3.25 所示。

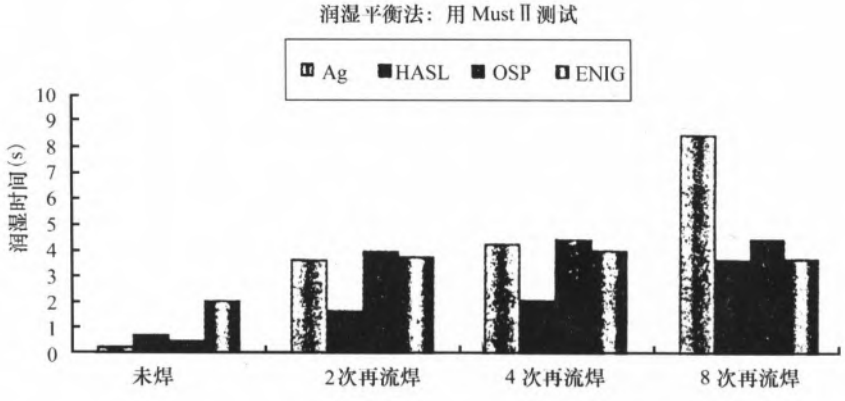


图 3.25 印制板无铅保护层承受再流焊次数能力的对比

4. 再流焊工艺与设备的无铅化

综上所述，由于到目前为止无铅焊料的性能还不如有铅焊料，其主要差距是熔点高、润湿性差。这是两个给无铅再流焊工艺和设备带来致命影响的因素。由于元器件耐热

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

性能的限制，目前再流焊的峰值温度不能超过 240℃。在采用 Sn63/Pb37 有铅焊料的情况下，焊料熔点仅为 183℃，因此，从 183～240℃存在 57℃左右的较宽工艺窗口，如图 3.26所示。工艺窗口宽表明工艺参数可变范围宽。但在无铅再流焊时，一般采用 Sn－3.0Ag－0.5Cu 焊料，其熔点高达 217℃，此时的工艺窗口变窄为 23℃，如图 3.26 所示。工艺窗口变窄给无铅再流焊提出的新要求是：温度设置要求更加精确，要求更高的温度稳定性和均匀性。

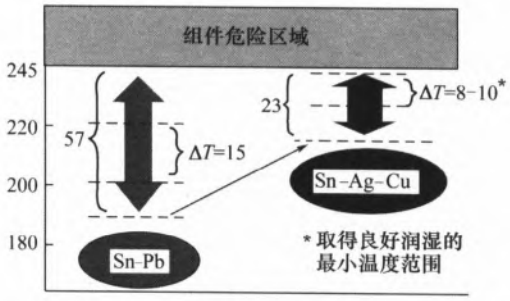


图 3.26　无铅回流焊的工艺窗口

为满足这些要求，新型无铅再流焊炉的主要特点如下：

① 温区数量增至 8 个以上，一般配置两个焊接区。

② 每个温区尺寸缩小，便于精确调整炉温曲线。

③ 改进对流加热介质流动模式，减少加热区之间的温度混杂，便于调整加热曲线，如图 3.27 所示。

④ 设置助焊剂回收系统，以免助焊剂残余物污染炉子和产品。

⑤ 增强焊后冷却功能，提高焊点质量。

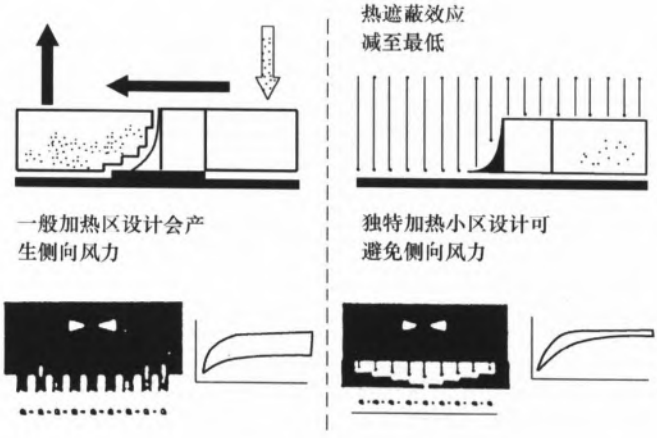


图 3.27　加热区介质循环设计

www.789pdf.com 789书库网

在实施无铅再流焊时，最重要工艺条件是温度曲线，而温度曲线的设定如图 3.28 所示，要全面考虑各种因素。焊膏供应商一般也会给出相关牌号焊膏的参考温度曲线，如图 3.29 所示。

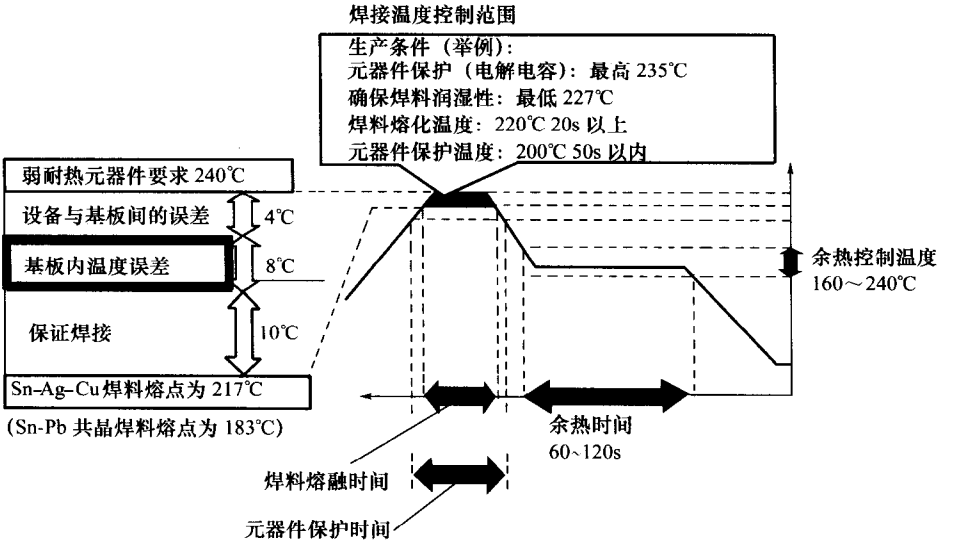


图 3.28 无铅再流焊温度曲线设置

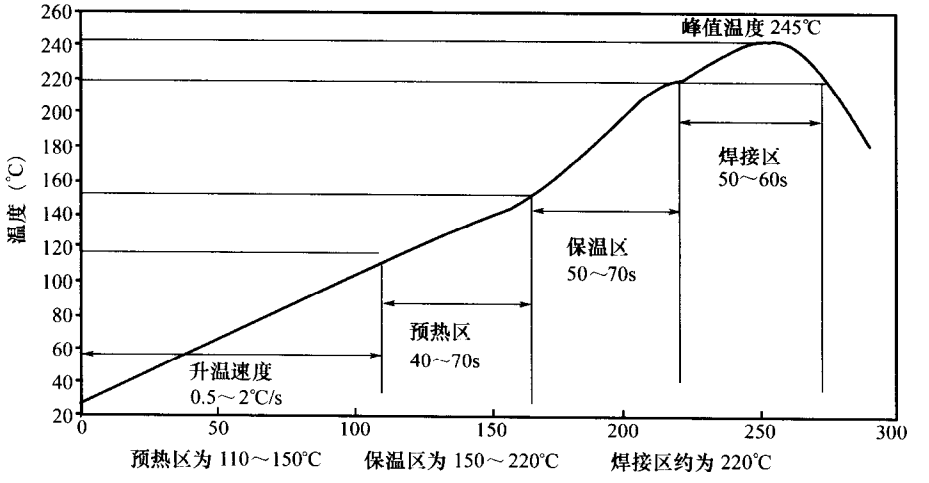


图 3.29 美国 Kester 公司 Sn－Ag－Cu 无铅焊膏再流焊温度曲线

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3.4.3 无铅化的兼容性问题

如上所述，完整意义上的PCB无铅化装联必须包括焊料合金无铅化、元器件引脚表面镀层无铅化及PCB焊盘保护层的无铅化，可将此称为无铅化三要素。由于电子产品装联无铅化涉及的范围很广，特别是无铅化三要素在不少场合（尤其是从有铅向无铅的过渡期内）往往不可能同时具备，而是出现有铅与无铅要素并存的局面，这就带来一个有铅和无铅材质兼容性的大问题，它直接关系到焊接的工艺性和可靠性。国内外已对这种兼容性进行了许多研究，但进展并不乐观。表3.13、表3.14列举了国外在兼容性方面研究的某些初步结果。

表3.13 PCB焊盘保护层与焊膏的兼容性试验结果

焊膏种类 / 兼容性试验结果* / 印制板焊盘保护种类 / 再流焊次数		63Sn37Pb (at210℃)			Sn3.4Ag4.8Bi (at235℃)			Sn3.8Ag0.7Cu (at235℃)			Sn3.5Ag (at245℃)			Sn0.7Cu (at245℃)		
		最大润湿力	润湿时间	铺展率	最大润湿力	润湿时间	铺展率	最大润湿力	润湿时间	铺展率	最大润湿力	润湿时间	铺展率	最大润湿力	润湿时间	铺展率
浸Sn	0次	1	5	1	4	4	2	4	2	2	5	1	3	3	3	5
	2次	5	1	1	1	4	2	2	3	2	1	2	3	4	4(5)	5
	4次	1	y.c.	1	y.c.	y.c.	2	y.c.	y.c.	3	y.c.	y.c.	4	y.c.	y.c.	5
ENIG	0次	5	4	1	2	5	5	3	3	2	4	1	3	1	1	4
	2次	2	4	1	5	5	3	1	1	4	2	2	5	3	3	2
	4次	3	4	1	5	5	3	1	1	5	2	2	4	4	3	2
浸Ag	0次	5	3	1	3	5	2	4	4	3	1	1	4	1	2	5
	2次	3	4	1	4	2	2	5	4	3	1	1	3	1	2	5
	4次	4	5	1	5	4	2	3	3	3	1	2	4	1	1	5
OSP	0次	1	4	1	4	5	2	3	1	3	2	2	4	5	2	5
	2次	1	1	1	4(5)	5	2	3	3	3	2	2	4	5	5	5
	4次	y.c.	y.c.	1	y.c.	y.c.	2	y.c.	y.c.	3	y.c.	y.c.	4	y.c.	y.c.	5

注：1为最好，5为最差，y.c.为试验各样品结果相同或试验结果数据溢出表格范围（都是不良结果）。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 3.14 Sn－Ag－Cu 无铅焊料与不同无铅化引线表面镀层之间的润湿性对比

引线框架材料	镀层材料	焊料成分（测试温度）	预处理条件	润湿平衡法试验结果 润湿时间(s)			润湿面积
				最大	最小	平均	
Fe－Ni	Sn－Cu	Sn－Ag－Cu(245℃)	A	0.4	0.3	0.36	≥95%
Cu	Sn－Cu	Sn－Ag－Cu(245℃)		0.8	0.4	0.56	≥95%
Fe－Ni	Sn－Cu	Sn－Pb(230℃)		0.4	0.2	0.30	≥95%
Cu	Sn－Pb	Sn－Pb(230℃)		0.8	0.4	0.5	≥95%
Cu	Sn－Bi	Sn－Ag－Cu(245℃)	B	0.45	0.34	0.39	≥95%
Cu	Sn－Bi	Sn－Pb(230℃)		0.53	0.38	0.48	≥95%
Cu	Ni/Pd/Au	Sn－Ag－Cu(245℃)		0.44	0.4	0.43	≥95%
Cu	Ni/Pd/Au	Sn－Pb(230℃)		0.49	0.45	0.47	≥95%
Cu	Sn－Pb	Sn－Pb(230℃)		0.61	0.33	0.44	≥95%

3.5 再流焊的发展趋势

3.5.1 不需要助焊剂的再流焊工艺

(1) 问题的提出

在未来微小型元器件的高密度组装中，如采用传统的焊接技术，就必须涂布助焊剂，焊后必须清洗助焊剂残余物。由于器件引脚和凸点之间的间距非常狭窄，从而使助焊剂的涂布和清洗成为难题，因此导致焊接达到了极限条件。为此，非常有必要寻找一种不用助焊剂的连接方法，这样不仅可以大大提高生产效率，而且有利于无 VOC 化及改善环境。

更值得关注的是：随着无铅化的推进，BGA、CSP 的焊球几乎都采用 Sn－3.0Ag－0.5Cu 无铅合金，如采用传统工艺的再流焊，就要求较高的焊接温度，这就给基板和元器件带来不利影响。采用本方法就可采用与 63Sn/37Pb 焊料相同的温度(230℃)进行再

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

流焊。

(2) 原理

不用助焊剂的再流焊方法如图 3.30、图 3.31 和图 3.32 所示，它是借助被高频激励后的氢气还原焊件及焊料表面上的氧化膜实现连接的。

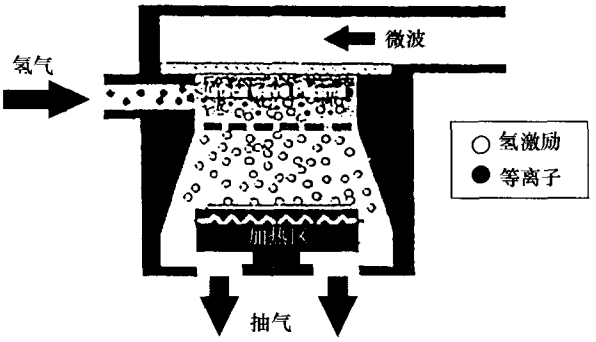


图 3.30 氢激励装置

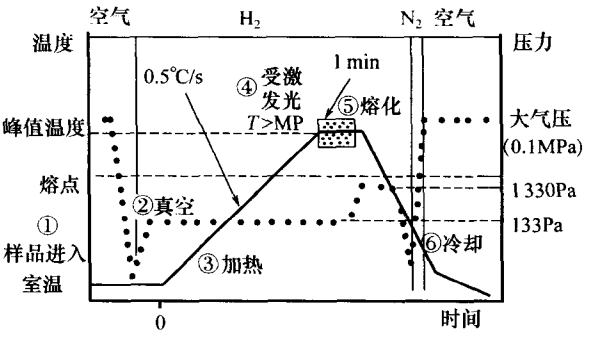


图 3.31 氢激励再流焊温度曲线

3.5.2 再流焊温度曲线形状仿真

1. 为什么要开发再流焊温度曲线仿真技术

随着印制板装联无铅化的推进，无铅焊料的熔点变高，工艺窗口变窄，给无铅再流焊

www.789pdf.com 789书库网

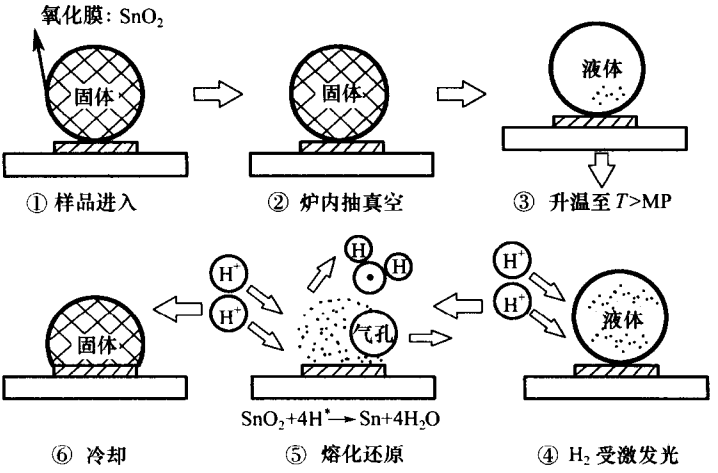


图 3.32 氢激励还原机理

温度曲线的设置带来了新的困难。有时设置一个产品的再流焊温度曲线需用 10 个小时的时间。设置时间还与作业人员的熟练程度有关。此外，由于每个作业人员即使对同一种印制板，设定的温度曲线也不一定相同，从而造成同一种产品依据不同温度曲线进行焊接。为此，松下公司开发了以产品生产条件为目标的可自动生成最佳温度曲线的热分析仿真系统(RGS，Reflow Graphical Simulation)。

2. RGS 概要

如图 3.33 所示，传统的再流焊温度曲线设定方法是在再流焊炉中第一次测出温度曲线后判定此温度曲线是否满足生产条件的要求，如果没有满足，则依靠作业人员的经验对温度和传送速度进行调整，并反复实测曲线和反复调整，这是最费时间的，即使最终设定了温度，也需要一个在炉中稳定的过程。

RGS 是将再流焊温度和传送速度的调整和温度曲线形状的确认在 PC 上进行，从而缩短了温度曲线的设置时间。

(1) 以往仿真软件的不足

以往的再流焊温度设置软件是将基板和元器件的物理量(尺寸、比热、导热系统等)实测后，将数据输入软件中，这样的软件在生产现场很难应用。

(2) RGS 的特点

在 RGS 中，以往的类似软件中所需输入的物理量已不再需要，而是基于牛顿冷却法

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

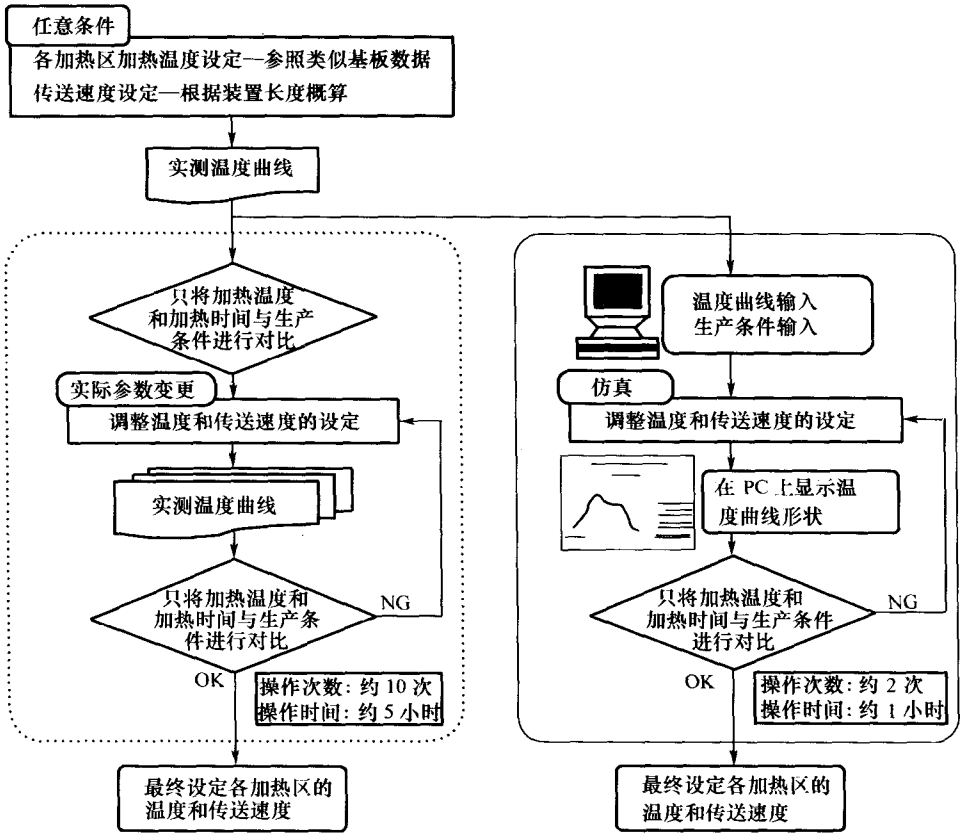


图 3.33　温度曲线设定方法的比较

则和温度上升的一般公式导出了方程(1),作为温度变化的定义,任意常数 m 作为方程(2)中被加热物体的物理量,它可由 T_e、T_s、T_a 导出,如方程(3)所示。m 值定义为考虑了被加热物体的物理量的热传导等效系数。

$$T_e = T_a - (T_a - T_s)^{at/Drc} \tag{1}$$

$$-\frac{\alpha}{Drc}t = m \tag{2}$$

$$m = \frac{1}{t}\ln\left[\frac{T_a - T_e}{T_a - T_s}\right] \tag{3}$$

式中,T_e——被加热物体到达的温度;

T_s——被加热物体的初期温度;

T_a——加热温度;

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

t——基板传送中的单位时间；

D——被加热物体的厚度(垂直热流)；

r——被加热物体的密度；

c——被加热物体的比热；

a——被加热物体热的传导率。

RGS的操作过程是：开始时将样品置入炉中并实测样品的温度曲线，由此曲线得到T_e、T_s并确定T_a，计算出m值，m值不仅包含基板和元器件的物理量，而且还包含再流焊炉的固有参数(炉子结构、热对流情况等)。而以往的仿真只输入被加热物体的物理量，所以RGS有可能生成精度更高的温度曲线。

RGS的操作流程如图3.34所示。

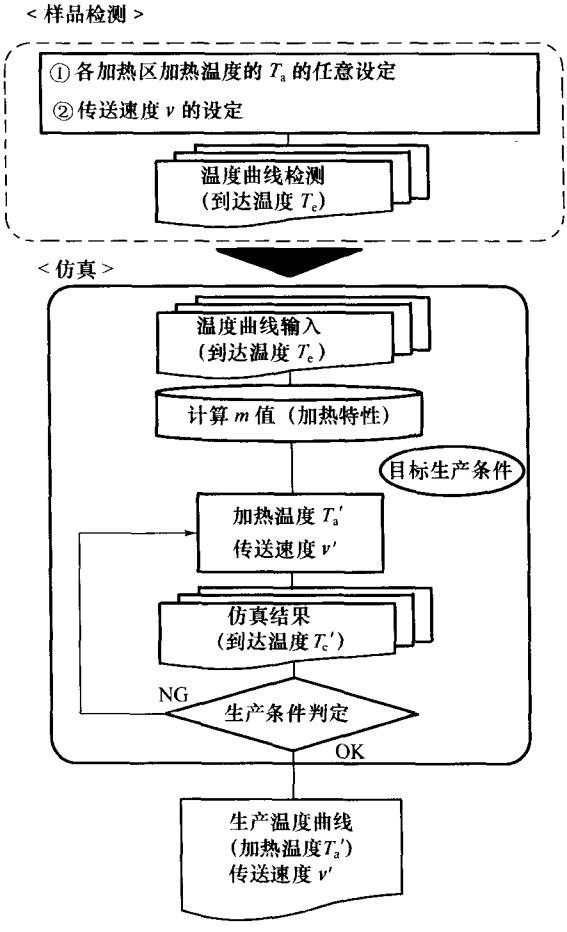


图3.34 RGS的操作流程

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. RGS 的效果

提到仿真，人们必然关心的是仿真值与实际值的符合程度问题。

对任何基板，均可按照 RGS 进行仿真并与实际生产条件比较而确认其差异。

下面举例说明。图 3.35 是所用再流焊炉的示意图。按如图 3.34 所示的 RGS 流程，以表 3.15 所列条件作为仿真前的任意给定条件对样品进行温度曲线的实测，其测定数据作为 RGS 的输入以计算 m 值。再将目标生产条件也作为 RGS 的输入参数输入，随后系统就能自动地调整温度和传送速度以达到目标生产条件的要求并得出温度曲线形状。

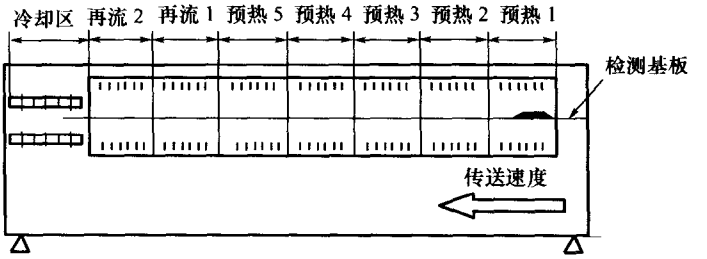


图 3.35　再流焊炉的示意图

系统输出的结果是：满足目标生产条件要求的温度曲线形状及由此得到的炉子的传送速度 v' 和温度设置 T_a'，见表 3.16；同时还可得到实际生产条件的仿真值，见表 3.17。

表 3.15　样品测定条件　　传送速度：0.9(m/min)

加　热　区	REF2	REF1	pH5	pH4	pH3	pH2	pH1
上面加热(℃)	240	240	190	190	190	190	190
下面加热(℃)	240	240	190	190	190	190	190

表 3.16　仿真结果(设备条件)　　传送速度：0.9(m/min)

加　热　区	REF2	REF1	pH5	pH4	pH3	pH2	pH1
上面加热(℃)	249	263	185	185	185	200	200
下面加热(℃)	249	263	185	185	185	200	200

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 3.17 仿真结果(生产条件)

项 目	仿 真 值		
	CH1	CH2	CH3
ΔT(℃)	6.0		
峰值温度(℃)	234.7	238.7	234.0
220℃以上时间(s)	31.7	20.5	28.1
220℃以上时间(s)	47.6	40.9	43.7
180±10℃时间(s)	71.5	61.4	73.8

为了比较仿真温度曲线形状与实际炉子的温度曲线的形状,采用根据 RGS 导出的表 3.18 给出的条件对炉子进行温度曲线的测定(验证测定)。由此而得到的生产条件(验证值)见表 3.18,仿真值与验证值的差值见表 3.19。

由表 3.19 可知,仿真温度曲线与炉子的实际温度曲线相比,峰值温度最大相差 1.9℃,加热时间最大相差 2.9s,由此可确认 RGS 可替代原来的手工反复调整的方法。

表 3.18 验证测定结果(生产条件)

项 目	验 证 值		
	CH1	CH2	CH3
ΔT(℃)	4.3		
峰值温度(℃)	234.9	230.6	234.5
220℃以上时间(s)	34.5	22.9	30.3
220℃以上时间(s)	50.0	42.0	42.8
180±10℃时间(s)	73.8	62.9	76.7

表 3.19 仿真值与验证值的比较

项 目	仿真值-验证值		
	CH1	CH2	CH3
ΔT(℃)	1.7		
峰值温度(℃)	-0.2	-1.9	-0.5
220℃以上时间(s)	-2.8	-2.4	-2.2
220℃以上时间(s)	-2.4	-1.1	0.9
180±10℃时间(s)	-2.3	-1.5	-2.9

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第4章 波峰焊

4.1 概 述

4.1.1 波峰焊的定义及基本原理

对于波峰焊的定义，目前有据可查的有两个：

① 中国机械工程学会焊接分会编《焊接词典》(第二版)中的定义是：熔化的钎料在一定压力下通过扁平喷嘴向上(或成一定角度)喷出，形成波峰，焊件以一定速度掠过波峰以完成钎焊过程的软钎焊。

② SJ/T 10668—1995 中国电子行业标准的定义是：将熔化的软钎焊料经电动泵或电磁泵喷流成设计要求的焊料波峰，使预先装有电子元器件的印制板通过焊料波峰，实现元器件焊端或引脚与印制板焊盘之间机械与电气连接的软钎焊。

以上两种定义的基本内容相近。由定义可知，波峰焊的基本原理就是利用熔融状态的焊料波峰作为对被焊件的加热热源，同时也作为提供给焊点的焊料，从而完成印制板的装联焊接。

波峰焊按波峰数来分，可分为单波峰、双波峰、多波峰。目前常用的是双波峰，其示意图如图 4.1 所示。

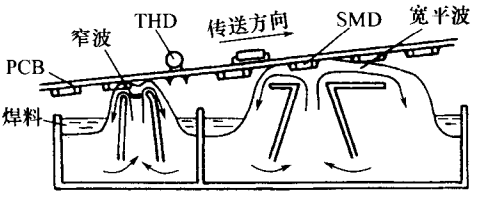


图 4.1 双波峰焊示意图

波峰焊于 20 世纪 50 年代由英国 Fry's Metal 公司(弗拉斯·梅特尔·凡德里兹公司)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

发明。与烙铁焊接比,它可大大提高生产效率(50 多倍),而且可节省人力和焊料,焊点质量高,因而至今仍在印制板装联生产中得到广泛应用。

4.1.2 波峰焊的主要特点

波峰焊作为印制板装联用的自动化群焊方法具有如下特点:

① 生产效率高。

② 焊点一致性好,焊点外形美观。

③ 波峰焊是一个热工、化工过程,不可控因素较多,所以操作人员的实际知识和经验对焊接质量影响较大。

④ 在焊接过程中,容易揭示被焊件的可焊性优劣,有利于及早发现焊接缺陷。

⑤ 波峰焊机的维护保养对其正常运行尤为重要。

⑥ 与再流焊比,焊接缺陷率较高。

4.2 波峰焊技术

4.2.1 波峰焊机

1. 波峰焊机的分类

波峰焊机可按不同条件进行分类,如图 4.2 所示。

2. 离心泵式波峰发生器工作原理

目前应用最多的是离心泵式波峰发生器。

离心泵的基本结构如图 4.3 所示。

当原动机(波峰焊常用的是电动机)带动泵轴和叶轮旋转时,由于此时压出壳内已充满了熔融状态的焊料液体,因此熔融焊料一方面随叶轮做圆周运动;另一方面在离心力作用下自叶轮中心向外周抛出熔融焊料,熔融焊料从叶轮获得了压力能和速度能,当熔融焊料流经压出壳(蜗壳)到排液口时,部分速度能将转变为静压能。此外,当熔融焊料从叶轮抛出时,叶轮中心部分造成低压区,与吸入液面的压力形成压力差,于是熔融焊料不断地从叶轮中心处被吸入并以一定的压力排出,由于排出口设计成扁长型,从而形成与排出口形状相似的液体(熔融焊料)波峰。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

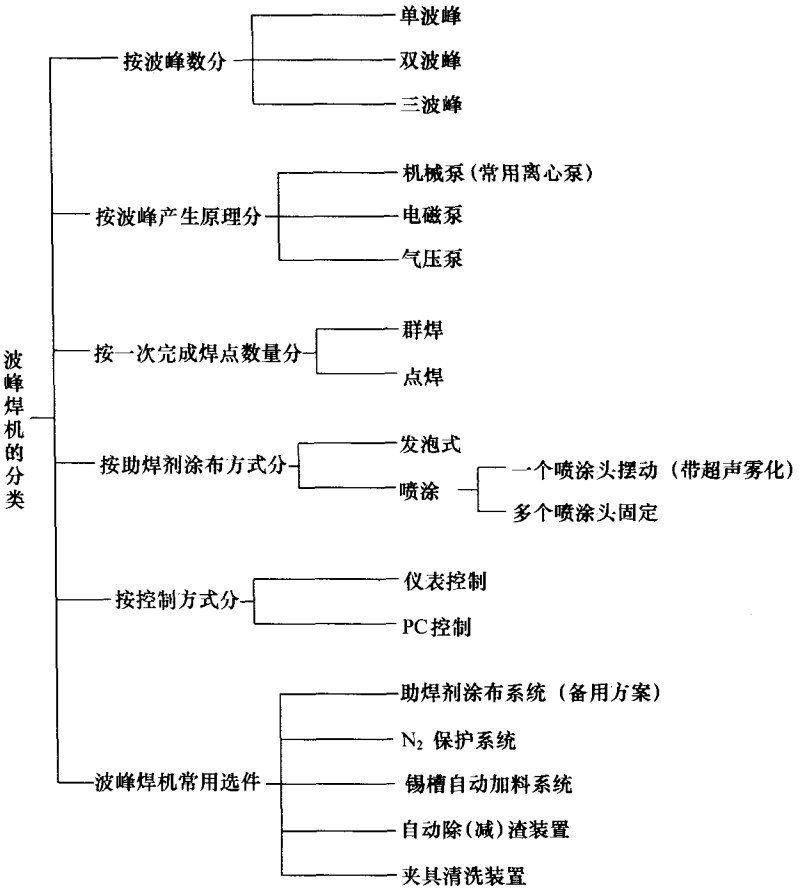


图 4.2 波峰焊机的分类

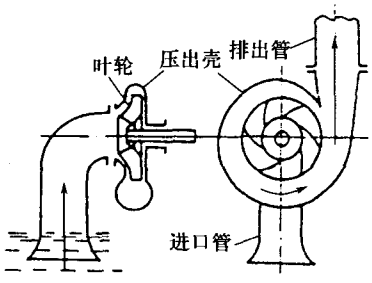


图 4.3 离心泵的基本结构

以上介绍的是离心泵工作的基本原理，要将其基本原理应用于实际并产生波峰，必须解决下列技术难题：

① 结构紧凑问题。在尽可能小的空间内获得足够宽的波峰。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 波峰平稳问题。这里所说的平稳包含两个要求：一是沿波峰喷嘴长度各处的波峰高度一致，如图 4.4 所示；二是波峰高度随着时间的延续不能忽高忽低，如图 4.5 所示。

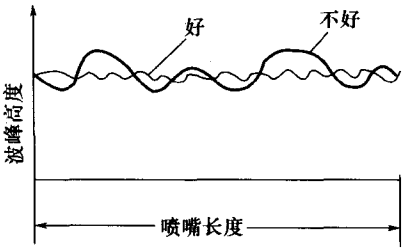


图 4.4　任一瞬间沿喷嘴长度的波峰高度

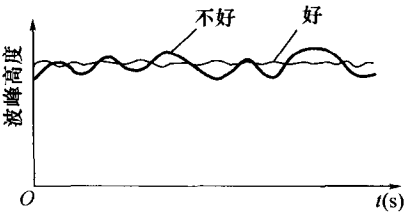


图 4.5　波峰高度随时间的变化

上述两个问题是离心泵式波峰发生器中的关键技术，国内外的相关科技人员为此进行了长期的研究并不断改进，其中有些已申请为专利技术，其关键点是稳流方法和匀波技术。

3. 波峰焊机的基本功能

波峰焊机能够完成的基本功能主要是涂布助焊剂、预热、焊接和冷却。

4.2.2　波峰焊工艺与材料

1. 波峰焊组线模式

波峰焊组线模式就是当波峰焊成为整个电子产品装联过程中一个环节时的作用方式。其常见的组线模式如下：

① 按与前后工序的连接方式可分为流水线式和批量式；

② 按工艺方法可分为长插二次波峰焊(见图 4.6)和短插一次波峰焊(见图 4.7)。

• 长插工艺：插装前元器件不必成形，插装容易，但切脚时对 PCBA 的平整度要求较

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

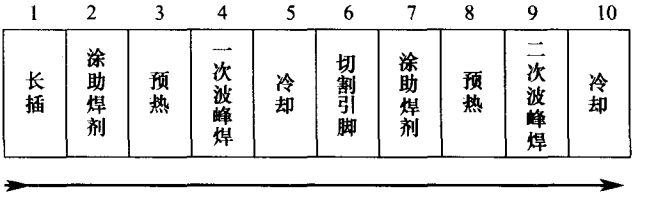


图 4.6 长插二次波峰焊流程

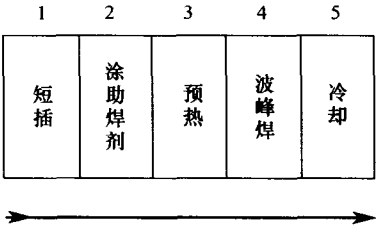


图 4.7 短插一次波峰焊流程

高,且占用设备多,占地面积大。

• 短插工艺:插装前元器件要成形,有的还要求打自锁弯,插装较难,但工艺流程短,只需要一台波峰焊机,节能,占地面积小,是目前普遍采用的工艺方法。

2. 波峰焊工艺

有关波峰焊工艺的内容已在前面做过介绍,其中包括长插二次波峰焊工艺和短插一次波峰焊工艺。由于目前普遍采用的是后者,所以下面主要介绍短插一次波峰焊工艺。

短插一次波峰焊工艺的主要内容包括元器件成形、插装、助焊剂涂布、预热、焊接和冷却。元器件成形和插装已在本书第 2 章中介绍,这里不再重复。

(1) 助焊剂的涂布

① 助焊剂的定义。电子行业中对助焊剂的习惯称呼和按学科(见《焊接词典》)的定义是不相同的。

中国机械工程学会焊接分会编写的《焊接词典》中有两条与我们对助焊剂的理解有关,即

• 钎剂:钎焊时使用的熔剂,分硬钎剂与软钎剂两种。它的作用是清除钎料和母材表面的氧化物,并保持焊件和液态钎料在钎焊过程中免于氧化,改善液态钎料对焊件的润湿性。也有称钎焊钎剂的。其英文表述为 brazing flux;soldering flux。

• 焊剂:焊接时能够熔化形成熔渣(有的也产生气体),对熔化金属起保护和冶金作

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

用的一种颗粒状物质。其英文表述为 flux;welding flux。

在电子行业中,普遍使用的焊剂或助焊剂的习惯用语正是《焊接词典》中的钎剂。区分并从本质上弄清上述概念是很有必要的,因为它既是行业习惯称呼,也是与国际接轨的标准用语。

这里,还应指出的是助焊剂与阻焊剂(或止焊剂)的作用是完全相反的,二者不可混淆。

② 助焊剂的作用。助焊剂的主要作用如下:

• 去膜作用:去除被焊件及焊料表面的氧化剂,为熔化成液态的焊料在被焊件上的铺展填缝创造必要条件;

• 保护作用:以液态助焊剂的薄层覆盖被焊件和焊料的表面,从而隔绝空气以起到防止氧化的作用;

• 活化作用:促进界面活化,改善液态焊料对被焊件表面的润湿能力。

此外,在烙铁焊接时还可改善烙铁对被焊件的传热作用。

由上可知,助焊剂的作用是焊接成败的关键条件。为了保证助焊剂的良好作用,对助焊剂的性能要求是很高的。

③ 助焊剂的性能要求。

• 去膜作用:通过物理化学作用,助焊剂应足以溶解或破坏被焊件表面的氧化膜。

• 润湿和保护性能:助焊剂在焊接温度范围内应该具有较小的表面张力、粘度低和流动性好,从而有利于助焊剂和液态焊料在被焊件表面的润湿和铺展;此外,助焊剂的作用产物的密度应小于液态焊料的密度,使助焊剂能均匀地呈薄层覆盖住焊料和被焊件,隔绝空气,起到保护作用。

• 熔化性能:助焊剂的熔点应低于焊料的熔点,且两者相差不能过大,这样才能保证助焊剂在焊料熔化之前有效地发挥作用,去除焊接处和焊料表面的氧化膜,为焊料的润湿铺展准备条件。

• 热稳定性能:助焊剂在焊接加热过程中应保持其成分和作用稳定不变,不能发生助焊剂组分的分解、蒸发或碳化而丧失其应有的作用。一般要求助焊剂具有不小于100℃的热稳定温度范围。

• 除渣性能:助焊剂及其作用产物的密度应小于液态焊料的密度,以利于液态焊料在填缝时将其从间隙中排出,防止其滞留在焊点中形成夹渣。

• 腐蚀性和毒性:助焊剂及其残渣不应对被焊件和焊点有强烈的腐蚀作用,也不应有毒性或在使用中析出有毒气体。

事实上,实际使用的助焊剂往往不能全面地满足上述性能要求,特别是在去膜能力和腐蚀作用两种性能之间可能会出现矛盾,一般只能在满足去膜能力要求的前提下依靠

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

工艺措施来防止其腐蚀作用。

④ 助焊剂的成分。助焊剂的成分比较复杂，其中不少还属于商业秘密，这里介绍一些与波峰焊相关的助焊剂成分，使读者对助焊剂的成分有一个概念性的了解(见表4.1)，关于助焊剂组成内容的划分尚不统一，这里只列举一种(见表4.2)，以供参考。

表4.1 常用有机助焊剂的组分和用途

牌号	组分的质量分数(%)	适用范围
—	乳酸15，水85	铜、黄铜和青铜
—	盐酸肼5，水95	铜、黄铜和青铜
—	松香100	铜、镉、锡和银
—	松香25，酒精75	铜、镉、锡和银
—	松香40，盐酸谷氨酸2，酒精余量	铜及铜合金
—	松香40，三硬脂酸甘油酯4，酒精余量	铜及铜合金
—	松香40，水杨酸2.8，三乙醇胺1.4，酒精余量	铜及铜合金
—	松香40，氯化铵10，溴酸20	铜、锌和镍
—	松香24，盐酸二乙胺4，三乙醇胺2，酒精余量	铜、锌和镍
201	树脂A20，溴化水杨酸10，松香20，酒精余量	波峰焊和浸渍焊
201—2	溴化水杨酸10，松香29.5，甘油0.5，酒精余量	波峰焊和浸渍焊
202—B	溴化肼8，甘油4，松香20，水20，酒精余量	引线搪锡
SD—1	改性酚醛55，松香30，溴化水杨酸15	印制电路板的波峰焊、浸沾焊和引线搪锡
HY—3B	溴化水杨酸12，松香20，改性丙烯酸树脂1.3，缓蚀剂0.25，酒精余量	印制电路板的波峰焊、浸沾焊和引线搪锡
氟碳B	氟碳0.23，松香23，异丙醇76.7	印制电路板的波峰焊、浸沾焊和引线搪锡
—	聚丙二醇40～50，正磷酸10～20，松香35，盐酸二乙胺5	镍铬丝的钎焊
RJ11	工业凡士林80，松香15，氯化锌4，氯化铵1	铜及铜合金

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

牌号	组分的质量分数(%)	适用范围
-RJ12	松香 30,氯化锌 3,氯化铵 1,酒精余量	镀锌铁皮、铜及铜合金
RJ13	松香 25,二乙胺 5,三肼乙基胺 2,酒精余量	钢、铜及铜合金
RJ14	凡士林 35,松香 20,硬脂酸 20,氯化锌 13,盐酸苯胺 3,水 9	钢、铜及铜合金

表 4.2　助焊剂的组成

助焊剂的组成部分			组　分
不挥发物质	成膜物质	矿脂	矿油、凡士林、石蜡
		天然树脂	松香
		合成树脂	改性酚醛树脂、聚胺基甲酸酯、改性丙烯酸树脂、聚合松香、改性环氧树脂
	活化物质	无机酸	稀盐酸、稀正磷酸
		无机盐类	$ZnCl_2$、NH_4Cl、CuO、$PbCl_2$、$NiCl_2$、$CoCl_2$ 等
		有机酸	松香酸、乳酸、硬脂酸、苯二甲酸、水杨酸、谷氨酸、柠檬酸、油酸、安息香酸、草酸、十二烷酸
		胺类	乙二胺、三乙醇胺、苯胺、联胺、磷酸苯胺、磷酸联胺、环丁烷二胺、环丁烷三胺
		有机卤化物	溴化水杨酸、溴化肼、盐酸联胺、盐酸二乙胺、盐酸吡啶、盐酸谷氨酸、16 烷基三甲基溴化胺、乙基二甲醛 16 烷溴化胺、16 烷基溴化吡啶
		其他	脲、氟碳、NH_4BF_4、$Cd(BF_4)_2$、$Zn(BF_4)_2$
	助剂		乳化剂、甘油
挥发物质	稀释剂与溶剂		乙醇、异丙醇、丙三醇、水、三甘醇、乙醚、松节油

对于波峰焊中常用的一些助焊剂的基本性能简介如下：

• RMA 型助焊剂：是中等活化程度的松香助焊剂，助焊性较好，其作用产物的腐蚀性较轻，发粘，工艺性欠佳。

• 免清洗助焊剂：焊接后可不清洗的助焊剂，其助焊性较弱，固含量一般不高于 4%，不含卤素。

• 水溶性助焊剂：焊后可用水清洗的助焊剂，但其溶剂不一定是水，它的助焊性一般比较好，但焊后应及时清洗。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

• 水基助焊剂：以水为溶剂配制的助焊剂，也称环保型助焊剂，不易引发火灾。但此类助焊剂使用时必须进行充分预热，否则焊后易残留锡珠。

• 无铅助焊剂：适合于无铅波峰焊使用的助焊剂，其助焊性比较强。

⑤ 助焊剂的选择。选择波峰焊助焊剂应考虑以下原则：

• 焊后是否清洗：凡焊后不清洗的应选用免清洗助焊剂。

• 被焊件可焊性：凡被焊件可焊性较好的，可选用活性较小的助焊剂。

• 被焊件复杂性：凡被焊件复杂、焊后难以清洗的，应选用免清洗助焊剂或腐蚀性小且容易去除的助焊剂。

• 涂布方法：有的助焊剂只宜发泡或只宜喷雾，应根据助焊剂涂布装置的类型选用匹配的助焊剂。

⑥ 助焊剂的涂布。当 PCBA 进行波峰焊时，必须首先在其焊接面上涂布一层助焊剂，涂布量与助焊剂的种类有关，一般要求 PCBA 焊接面上固态助焊剂的量为 0.5～3g/m^2。

助焊剂的常用涂布方法有发泡法、喷雾法，此外还有浸渍法等。

• 发泡法：发泡法涂布助焊剂的原理如图 4.8 所示。

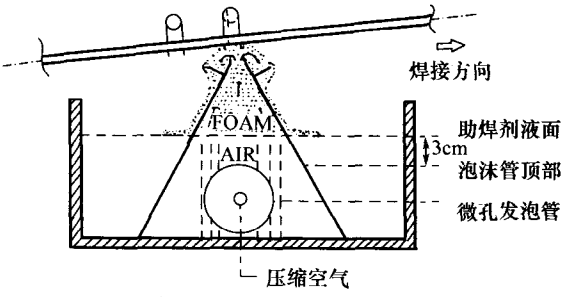


图 4.8 发泡法涂布助焊剂的原理

在液态助焊剂槽内埋置一根微孔发泡管，管内通入干净无油的压缩空气，挤出微孔的压缩空气，使助焊剂产生细小的气泡，气泡由特制金属喷嘴引出并成为凸出的峰顶状。待焊的 PCBA 掠过泡沫峰顶，PCBA 焊接面上就被涂布上了一层助焊剂。多余的助焊剂流回助焊槽中。此法的涂布质量与助焊剂密度、微孔发泡管孔径及其均匀性等因素有关。标准的泡沫直径约为 1～2μm。

发泡法的主要技术参数如下：

a. 助焊剂的液面必须高于微孔发泡管顶部 10～20mm；

b. 空气压力根据发泡管的孔径大小来调节，一般为 0.3～0.5MPa；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

c. 压缩空气必须严格去水、去油，以免污染助焊剂；

d. 喷嘴上部的泡沫高度一般不大于 15mm。

发泡法的主要优缺点如下：

优点：可靠性高；泡沫高度调节方便；PCB 的金属化孔能被助焊剂可靠润湿。

缺点：助焊剂易吸潮，需经常检查和调整；助焊剂中的溶剂易挥发，必须及时调整；低固含量的助焊剂发泡性差；PCB 上的堵孔胶会破坏泡沫并影响四周焊点；涂布量控制不精确。

• 喷雾法：喷雾法涂布助焊剂的原理示意图如图 4.9 所示，可分为单喷头摆动式和多喷头固定式两种方式。

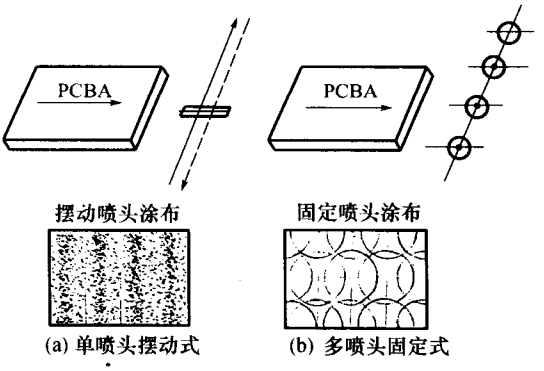


图 4.9 喷雾法涂布助焊剂的原理示意图

单喷头摆动式涂布是按照事先设置好的参数随 PCBA 往前移动，摆动头在 PCBA 宽度范围内在底面做往复运动喷雾，摆动头上一般附加超声波震动，可将助焊剂充分雾化。这种方法可比较准确地控制助焊剂的涂布量，而且可在较大范围内调节涂布量，有利于免清洗工艺的实施。其不足之处是摆动头频繁的往复运动容易造成机械疲劳。

多个固定喷头涂布是根据 PCBA 宽度设置应启动的喷头数量，当 PCBA 向前移动时，喷头按事先设定的涂布参数启喷、间歇喷和停喷，此法比较可靠。

助焊剂的涂布量和涂布均匀性对焊接质量至关重要。对涂布量的测量一般采用称重法，即首先准确称量一块铝板或不锈钢板的重量，然后按照设定参数涂布助焊剂，最后再次称重（要尽可能避免溶剂的挥发），所得的重量差 × 助焊剂的固体含量/PCB 的面积，即可得到表示涂布量的数据，其单位为 $\mu g/in^2$。通过统计过程控制方法，以相应的焊点质量作为评价标准，即可确认最佳的助焊剂涂布量。

助焊剂涂布均匀性的监测方法是：用两块金属板夹住一具有化学敏感性的纸张（如传真机用纸），并在面向喷涂头的那块金属板上预先开好特定的焊盘图案孔，如图 4.10 所示。喷涂中，助焊剂穿过焊盘图案孔涂布在纸张上并改变其颜色或灰度，由此可判断

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

涂布的均匀性及是否有严重的重复涂布。

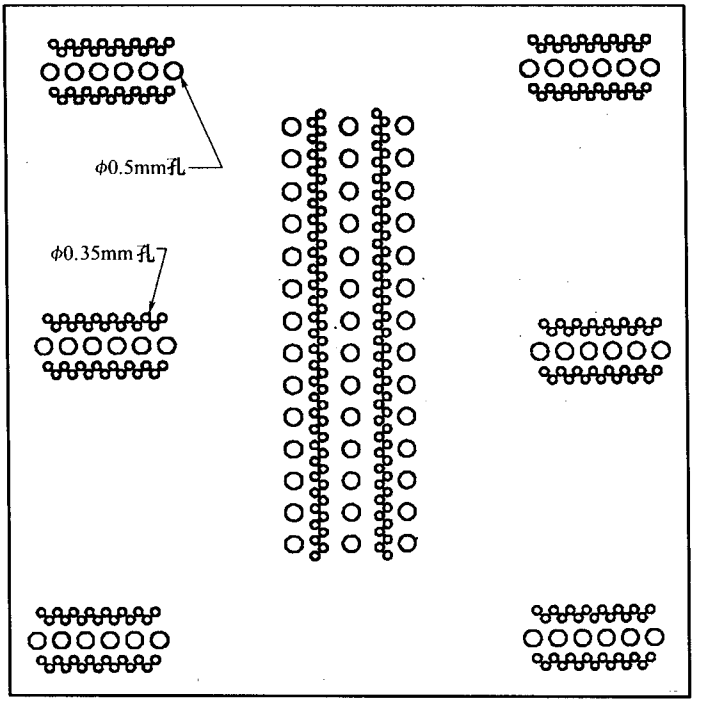


图 4.10 用于判断助焊剂涂布均匀性的开孔图案

(2) 预热

当待焊的印制板组件涂布了助焊剂后,必须经过适当预热方可进行焊接。

① 预热作用。

• 挥发掉助焊剂中的大部分溶剂和 PCB 制程中夹带的水分。如果不预热,则助焊剂中的溶剂依靠焊料槽的温度进行挥发,这不仅因溶剂挥发要损失热量,导致波峰液面温度下降,影响焊接质量,而且由于溶剂的剧烈挥发而发生飞溅,留下焊料球缺陷。

• 降低焊接时对 PCB 和元器件的热冲击。

② 预热温度。

最佳预热温度将取决于被焊件 PCBA 的结构、比热、助焊剂中的溶剂种类。例如,多层 PCB 一般需要较高的预热温度来干燥和活化金属孔中的助焊剂,以保证透锡良好;大型元器件、金属件、散热器等应均匀分布,以防吸热不均匀。PCBA 焊接面的预热温度见表 4.3。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4.3 不同类型 PCBA 预热温度要求

PCBA 类型	元 器 件	预热温度(℃)
单面板组件	通孔元器件与混装	90～100
双面板组件	通孔元器件	100～110
双面板组件	混装	100～110
多层板	通孔元器件	115～125
多层板	混装	115～125

③ 预热方法。

目前,波峰焊预热主要采用热空气对流或红外线辐射的方法,也有采用两者结合预热的方法。热空气对流预热方法对水基助焊剂预热效果较好,有利于减少焊接时焊料球的产生。

预热器的长度一般为 1 000～1 100mm,分为两段,在无铅波峰焊机中预热器的总长度增加到 1 800mm 左右。预热器的宽度一般与波峰焊机所能焊接的 PCBA 最大宽度相适应,大致为 300～500mm。

为了对预热器的温度进行调整和控制,在每个预热器的热源附近安装有测温热电偶。测温热电偶所显示的温度是热电偶测温点附近的温度,该温度要远远高于 PCBA 表面实际被预热的温度。

(3) 焊接

焊接是波峰焊的核心步骤,它关系到焊料及焊接工艺众多参数的设置与控制。

① 焊料。

波峰焊用的焊料除了作为构成焊点的金属材料以发挥电气－机械的连接作用外,还作为焊接的加热热源。

目前,波峰焊常用的焊料是 Sn－Pb 共晶型合金(习惯上称 63/37 焊料,即含锡 63%、含铅 37%的合金),其组织模型如图 4.11 所示。这种合金之所以适用于电子产品焊接,是因为其具有许多优点,最突出的优点是:

• 熔点低,只有 183℃。有利于在较低的温度下进行焊接(焊接温度一般是 183＋50℃左右),可以减轻对 PCB 和元器件的热冲击。根据 IPC－SM－782 规定,一般片式元器件的耐热条件是 260℃/10s,某些热敏元器件的耐热温度就更低了,所以焊料熔点低一些是十分重要的。

• 凝固时间短,或者说合金的固相线温度与液相线温度尽量接近,焊点出波峰后尽快凝固,以免在凝固过程中焊点受到扰动而影响焊点质量。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

- 对被焊件的润湿性好,有较好的导电性和足够的机械强度。
- 具有较高的耐高、低温和耐盐雾性能。
- 原料储量丰富,成本低。

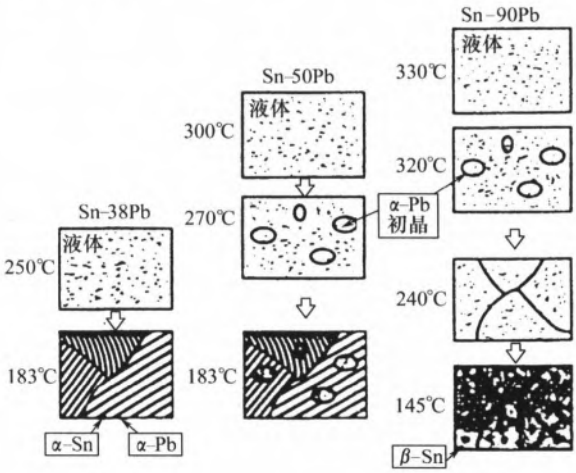


图 4.11 常用 Sn－Pb 合金组织模型

Sn－Pb 焊料的力学性能与焊点的强度密切相关,所以受到人们的关注。Sn－Pb 焊料的力学和物理特性见表 4.4。

表 4.4 Sn－Pb 焊料的力学和物理特性

焊料成分		焊料特性						维氏硬度	
锡(%)	铅(%)	熔化温度(℃)	密度(g/cm^3)	电导率(设铜为100%)	抗拉力(kg/mm^2)	延伸率(%)	剪切力(kg/mm^2)	10天后的表面硬度	1个月后的表面硬度
100	0	231.9	7.29	13.9	1.49	55	2.02	10	10
95	5	222	7.40	13.6	3.15	47	3.15	20	15
60	40	188	8.45	11.6	5.36	30	3.47	15	15
50	50	214	8.36	10.7	4.73	40	3.15	14	13
42	58	243	9.15	10.2	4.41	38	3.15	13	11
35	65	247	9.45	9.7	4.57	25	3.36	12.5	10
30	70	252	9.73	9.3	4.73	22	3.47	12	10
0	100	327	11.34	7.91	1.42	39	1.39	6	1

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表4.4告诉我们,无论是用块状焊料测出的抗拉强度,还是用搭接焊点进行抗剪试验,均可得到较好的结果。但在电子产品的实际工作中,焊点本身因存在电阻而发热。在这种温度循环下,焊点会产生蠕变与疲劳,从而严重削弱焊点的力学性能。例如,在20～110℃循环超过2 000次时,焊料的抗剪强度仅为正常值的1/10～1/5。

Sn－Pb焊料的高温性能见表4.5,低温性能见表4.6。

表4.5 Sn－Pb焊料在高温(150℃)时的拉伸性能

含锡量(%)	抗拉强度(kPa)	延伸率(%)
0	5 500	65
5	10 000	35
10	13 000	70
20	13 000	120
30	13 000	140
40	13 000	140
50	13 000	145
60	12 000	150

表4.6 Sn－Pb焊料的低温机械性能

含锡量(%)	试验温度(℃)	抗拉强度(kPa)	剪切强度(kPa)	延伸率(%)
10	－73	41 000	31 000	34
20	－73	48 000	37 000	32
40	－73	48 000	40 000	43
60	－73	59 000	54 000	48
10	－196	59 000	43 000	27
20	－196	85 000	58 000	30
40	－196	87 000	77 000	80
60	－196	130 000	110 000	10

在介绍Sn－Pb焊料的低温性能时,往往有人提出在低温下用Sn－Pb合金焊接的焊点会不会产生致命性崩裂,即所谓的“锡疫”,回答是否定的。如图4.12所示,当温度低于13℃时,锡发生同素异型转变,由β－Sn转变为α－Sn,称为锡的相变。相变时锡的体

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

积约增加27%并呈灰色粉末。这种致命性的故障(即“锡疫”)只发生在纯锡中,不会在Sn-Pb合金中发生。但电镀的纯锡层在低温下有可能发生β-Sn转变为α-Sn的相变,应引起关注。锡的相变除了受温度影响以外,还与纯度有很大关系。当添加0.1%~0.5%的铋、锑金属后,相变可完全被抑制。

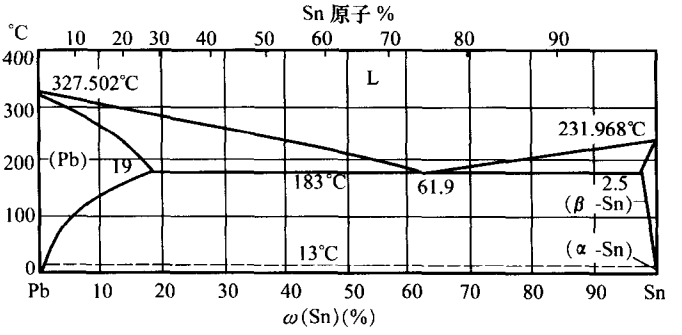


图4.12 Sn-Pb系相图

焊料中的杂质对焊接质量有十分重要的影响,必须严格控制,详见表4.7。焊料中的杂质主要来源于焊接过程中与印制板组件的不断接触,锡槽材料和波峰发生器材料与熔融焊料的长时间接触也是焊料杂质的来源之一。

表4.7 焊料中杂质的影响

杂质	最高容限	杂质超标时对焊点性能的影响
铜	0.300	焊料硬而脆,流动性差
金	0.200	焊料呈颗粒状
镉	0.005	焊料疏松易碎
锌	0.005	焊料粗糙呈颗粒状,起霜和多孔的树枝结构
铝	0.006	焊料粘滞,起霜,多孔
锑	0.500	焊料硬脆
铁	0.020	焊料熔点升高,流动性差
砷	0.030	小气孔,脆性增加
铋	0.250	熔点降低,变脆
银	0.100	失去自然光泽,出现白色颗粒状物
镍	0.010	起泡,形成硬的不溶解化合物

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 波峰组合配置。

目前常用的波峰焊机一般都是双波峰结构，其中一个波峰是片状外形的紊流波；另一个则是 Lambda 外形的层流波，它们的形状如图 4.13 和图 4.14 所示。

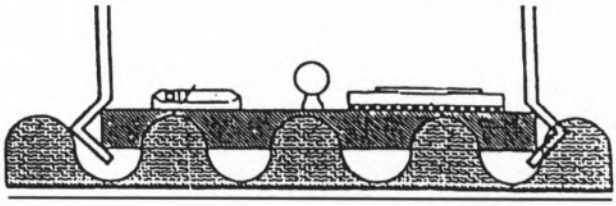


图 4.13　片状波峰示意图

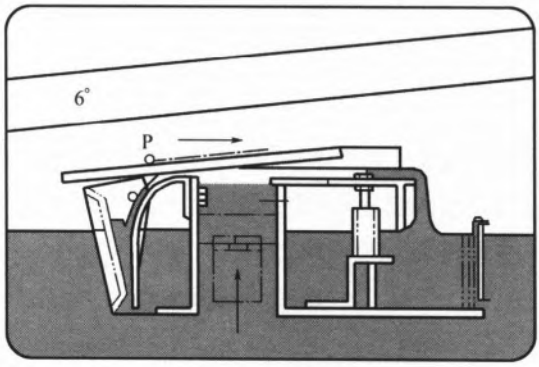


图 4.14　Lambda 波峰示意图

在实际焊接中，采用两个波峰、还是采用其中的一个波峰要根据被焊印制板组件的具体情况来确定。一般来说，焊接面上既有贴装焊点、又有插装件焊点的混装板，采用双波峰进行焊接，用片状紊流波峰来排除焊贴装件时产生的气体，减少因气体导致的虚焊，再用 Lambda 波峰去除拉尖等缺陷，如焊接面上只有插装件焊点的可只采用 Lambda 波峰进行焊接。

③ 波峰温度。

波峰温度（也称锡槽温度或焊接温度）是一个十分重要的工艺参数。波峰温度的确定与所用的焊料熔点和助焊剂有关。典型的双波峰焊温度曲线如图 4.15 所示。此外，波峰温度还与 PCBA 传送速度、预热温度、波峰数量配置等有关。在其他相关因素一定的条件下，适当提高波峰温度，有利于焊料对被焊件的润湿，如图 4.16 和图 4.17 所示。当然也不能把波峰温度提得过高，否则其润湿性能反而下降，同时对 PCBA 的热冲击加大，而且更容易产生氧化渣。这里要指出的是：波峰焊机显示的是锡槽温度，而实际到达焊点上的温度由于被焊件吸热和波峰从锡槽中抽出的热损失等因素，要低于锡槽温度。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

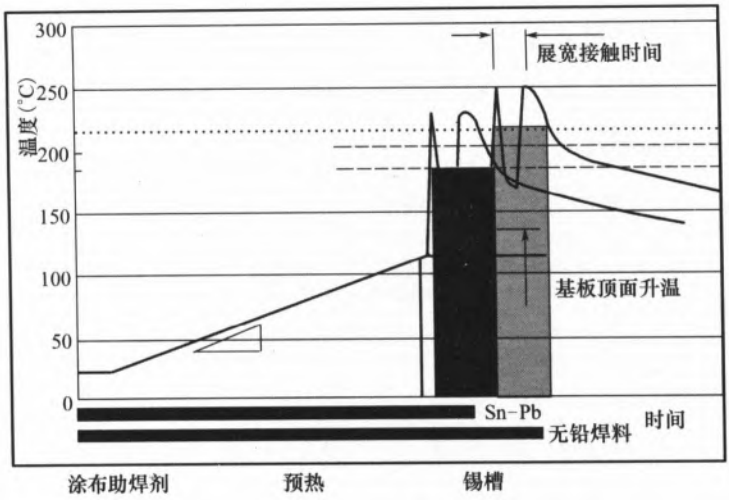


图 4.15　典型的双波峰焊温度曲线示意图

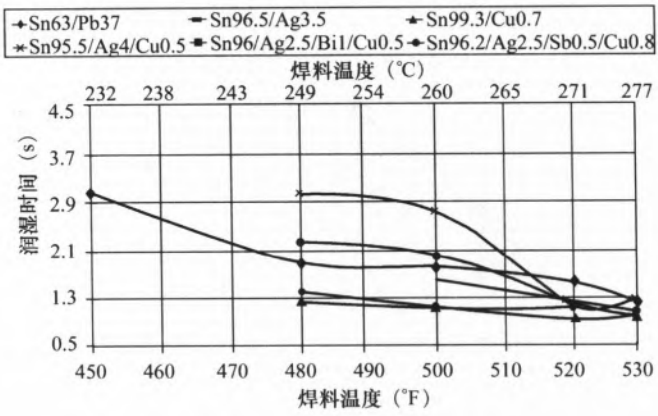


图 4.16　不同焊料合金在不同温度下的润湿时间

④ 波峰形状。

在波峰焊技术的研究中，对波峰形状的研究占有较大分量，其原因是：在早年单一插装时期，波峰形状影响焊点产生拉尖或连焊。后来到了贴装和插装相结合的混装时期，波峰形状又与虚焊等缺陷的产生有关。

波峰形状较多，这里介绍目前常用的几种波形。

• 片状波(Chip Wave)：片状波也称窄波，其形状如图 4.18 所示，一般由 3 排孔形喷嘴组成，焊接时，依靠垂直作用于 PCBA 的紊流波，加上波峰波谷相间排列的波形，有助于排除片式元件焊接中因助焊剂作用而产生的气体，使焊料顺利接触到片式元件的焊点

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

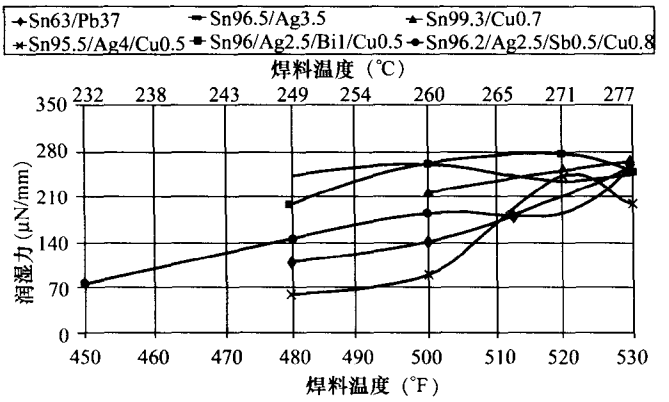


图 4.17　不同焊料合金在不同温度下的最大润湿力

处，避免了焊料无法接触到焊点处的所谓焊接死区而导致的虚焊等缺陷。

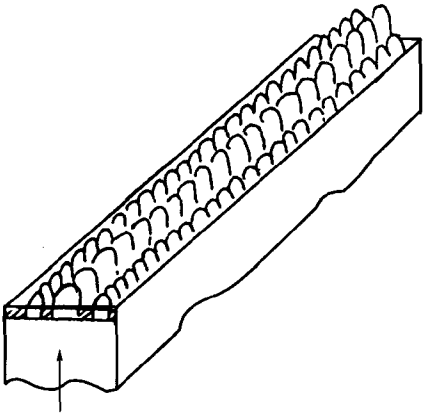


图 4.18　片状波形状示意图

片状波一般作为双波峰焊接中的前置波（初加工波）。

• λ（Lambda）波：因波的形状如同字母“λ”而得名，其结构示意图如图 4.19 所示。

这是使用比较广泛的一种波形，其波峰宽、属于层流波，波的流动状态可调性好，因此常用做双波峰焊接中的后置波（精加工波），为了使它真正发挥对焊点精加工的作用，应对 λ 波的零流速位置（常称零点）进行精心调整。

λ 波的“0”点是指 λ 波顶端焊料流体既不向前分流也不向后分流且流速为“0”的区域。当 PCBA 移出 λ 波时的焊点希望处在“0”点区域，这样有利于消除连焊和焊点拉尖等缺陷。这是一种理论上的说法，因为它忽略了 PCBA 向前移动时对焊料流体产生的所谓牵连影响。尽管如此，“0”点的作用还应予以重视。

• Ω 波（Omega Wave）：Ω 波也称振动波，它是由 λ 波演变而来的，由加拿大 Electrovet 公

www.789pdf.com 789书库网

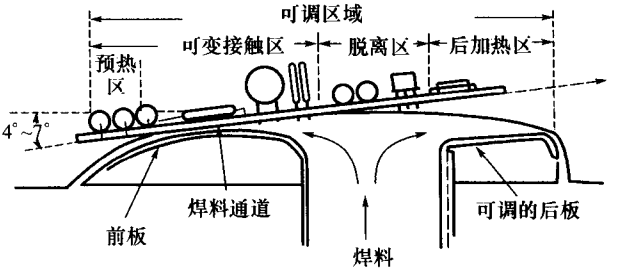


图 4.19 λ波结构示意图

司发明,其原理示意图如图 4.20 所示。其特点是在波峰喷嘴内装入振动源,使波峰表面产生小幅度振动,借此来消除焊点附近的气体,使焊料接触待焊点,从而可有效消除“焊接死区”。但对组装密度过高或元器件高低相差较大时,其效果较差。

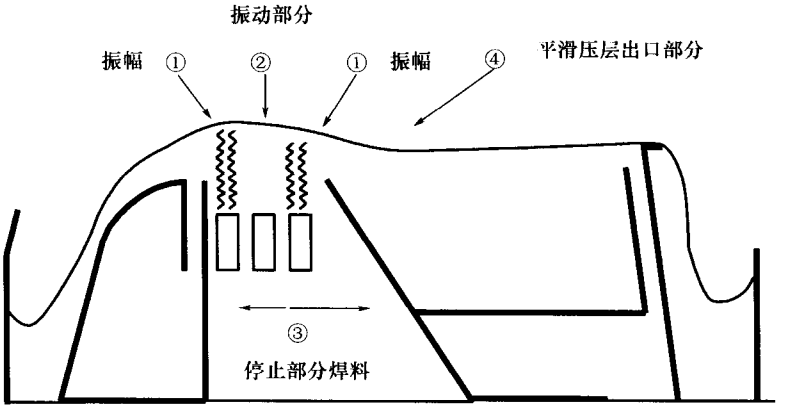


图 4.20 Ω波原理图

• 气泡式波峰(Bubble Wave):将空气或氮气充入锡槽中的气泡发生器,从而产生含小气泡的波峰,其原理示意图如图 4.21 所示。含小气泡的波峰带有较大的动能,可以打散包围在待焊处的气体,使焊料较易接触待焊处,其焊接原理如图 4.22 所示。

• “0”形旋转波:其设计思路是用一个波峰发挥双波峰之功能。具体做法是在波峰喷嘴中安装一组具有“S”形叶片的导流器,如图 4.23 所示,当它上下往复运动时,导致焊料波峰产生“0”形旋转运动。它能有效地使焊料接触贴装件待焊处,减少“焊接死区”。这种波形的特点是省去一个波峰系统,节约制造成本,而且可减少焊料的氧化。

• 针形波峰:主要用于选择性波峰焊(Selective Wave Soldering System)。波峰形状细如针,其最小内孔直径可达 3mm,如图 4.24 所示,并可根据被焊件的不同选择不同规格的针状波峰喷嘴。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

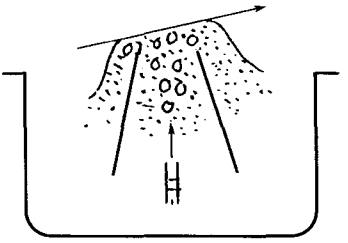


图 4.21　气泡式波峰原理图

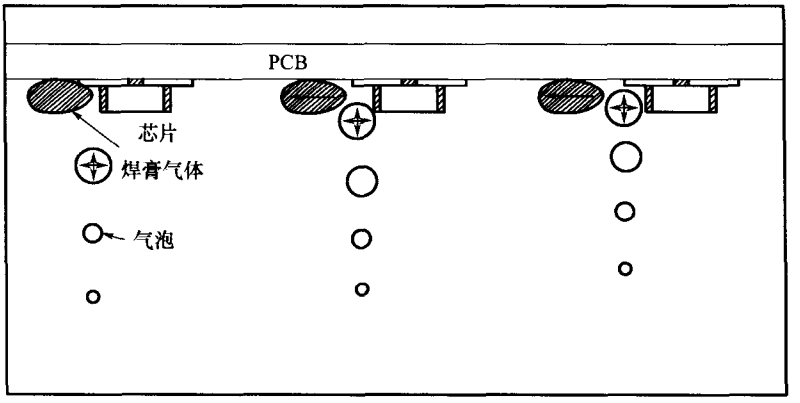


图 4.22　气泡式波峰焊接原理图

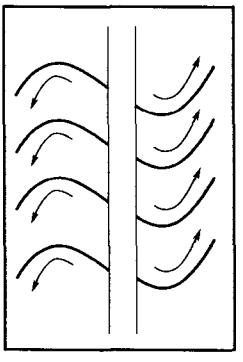


图 4.23　“0”形波用“S”形叶片导流器

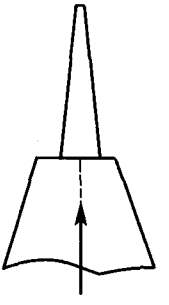


图 4.24　针形波峰示意图

⑤ 波峰高度(压锡深度)。

波峰高度是指波峰焊接中 PCBA 的压锡深度,一般为 PCB 厚度的 1/2～2/3(常用目测法)。压锡太深,熔融焊料容易漫到 PCBA 的元器件面,造成焊料大量堆积在元器件

www.789pdf.com 789书库网

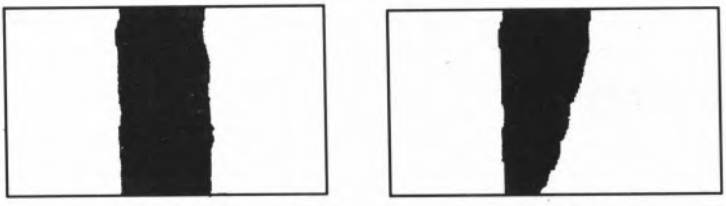
www.789pdf.com 789书库网

上，从而发生质量事故。此外，压锡越深，PCB对熔融焊料的挡流作用越明显，再加上板下元器件引脚的挡流作用，当PCBA掠过波峰流速“0”点区域时，会影响“0”点区流体流速的分布状态，不能保证PCB与焊料流的相对零速运动。对较宽且厚度较薄的PCB宜采用挡锡夹具。当然，压锡也不能太浅，否则会造成PCBA与熔融焊料接触不良，也会影响焊接质量。

(4) 传送带角度与传送带速度

传送带角度一般为5°～7°。传送角度越小，PCBA与波峰接触时间越长，焊点越饱满，但有时会出现焊料过多的现象；角度大，焊点会变薄。

常用的传送带速度是1.0～1.4m/min。速度快慢要综合生产效率、预热温度、掠过波峰时间等因素考虑。PCBA掠过波峰时的均匀性实质是PCBA接触波峰的时间是否相等。为检测这一均匀性，可以采用波峰焊参数检测仪。一种简单的测定方法是：采用一块耐热玻璃板，并如同正常波峰焊工艺过程一样，也对它实施涂布助焊剂、预热、焊接等步骤，所得结果如图4.25所示。借助此图，一方面可以通过测量接触宽度并除以传送带速度得到接触波峰时间；另一方面可通过目测简单地判断PCBA接触波峰的均匀性。



(a) 均匀接触　　(b) 非均匀接触

图4.25　采用耐热玻璃板检测焊料波峰对PCBA的接触均匀性

(5) 焊后冷却

波峰焊的最后一步就是冷却。冷却往往不被人们关注，实际上这一步还是很重要的。它的作用有：一是可改善焊点结晶(如细化晶粒等)；二是可减少对PCBA的热影响(如减少变形等)；三是便于后面工序的操作。

(6) 氮气保护

波峰焊采用氮气保护的主要优点是促进焊料对被焊件的润湿、降低焊接缺陷率、降低焊接温度、降低锡渣产生量。其主要缺点是一次投入大、运行成本高，好的充氮波峰焊

www.789pdf.com 789书库网

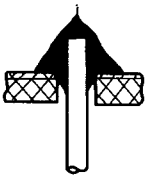
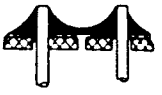
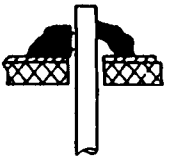
www.789pdf.com 789书库网

机耗氮量为 18～20m³/h，氧含量控制在 50×10^{-6}左右。目前在有铅波峰焊中采用氮保护的很少。

4.3 波峰焊的主要缺陷及解决办法

波峰焊的主要缺陷、产生原因及其解决办法见表 4.8。

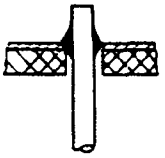
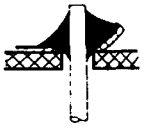
表 4.8 波峰焊的主要缺陷、产生原因及解决办法

缺陷名称	缺陷示意图	缺陷原因	解决办法
拉尖		传送速度不当 预热温度低 焊接温度低 传送角度小 波峰不良 助焊剂失效 元器件引脚可焊性差	调整传送速度 调整预热温度 调整波峰温度 调整传送角度 优选波峰喷嘴以调整波形 换助焊剂 提高引脚可焊性
连焊		预热温度低 波峰温度低 焊料中铜含量高 助焊剂失效或密度不当 PCB 布局不当 PCB 变形	调整预热温度 调整波峰温度 分析焊料中杂质量 调整助焊剂密度或换助焊剂 改进 PCB 设计 检查 PCB 变形等
虚焊		元器件引脚可焊性差 预热温度低 焊料中杂质超标 助焊剂活性低 焊盘孔太大 PCB 氧化，被污染 传送速度太快 波峰温度低	提高引脚可焊性 调整预热温度 分析焊料中杂质含量 调整助焊剂密度 设计小焊盘孔 清除 PCB 氧化物，清洗板面 调整传送速度 调整波峰温度

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

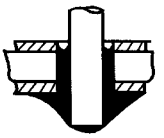
（续）

缺陷名称	缺陷示意图	缺陷原因	解决办法
焊料不足		元器件引脚可焊性差 焊盘太大 焊盘孔太大 传送角度太大 传送速度过快 波峰温度高 助焊剂涂布不匀 焊料含锡量不足	提高引脚可焊性 设计小焊盘 设计小焊盘孔 减小传送角度 调整传送速度 调整波峰温度 改进助焊剂涂布装置 分析焊料中杂质含量
印制板铜箔翘起		板材质量差 PCB储存条件不好 波峰温度过高 导线设计不合理	设计更改板材 加强PCB储存管理 调整波峰温度 改进设计
漏焊		引脚可焊性差 波峰不稳定 助焊剂失效或涂布不匀 PCB局部可焊性差 传送带抖动 PCB预涂助焊剂与助焊剂不相容	提高引脚可焊性 改进波峰发生器 更换助焊剂 解决PCB可焊性(清洗或退货) 调整传送带 检查助焊剂涂布装置
印制板变形		工装夹具不当 预热不匀,预热温度过高 波峰温度过高 传送速度慢 PCB材质不当 PCB受潮 PCB太宽	更改设计 加强工艺纪律 修理、调整预热器 调整波峰温度 调整传送速度 另选PCB材质 波峰中间位置加支承

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

缺陷名称	缺陷示意图	缺陷原因	解决办法
透锡不良（小于75%）		焊盘孔太大或可焊性差 助焊剂活性差 预热温度低 波峰温度低 传送速度太快 引脚可焊性差	改进焊盘孔设计 更换助焊剂 调整预热温度 调整波峰温度 适当降低传送速度 改善引脚可焊性
PCBA板面脏		PCB表面污染 助焊剂涂布量多或反应不充分 预热温度低 波峰温度低 传送速度太快 压锡深度太浅	去除PCB表面污染 减少助焊剂涂布量 更换助焊剂 提高预热温度 提高波峰温度 适当降低传送速度 调整压锡深度 严格工艺卫生纪律
PCBA板面发白		残留松香 PCB制作中残留杂质 PCB制作中固化不正确 PCB制作中使用溶剂不当 助焊剂未及时更换 清洗剂清洗能力弱	减少或不使用松香 改进PCB制造工艺 尽量缩短PCB储存期 按规定更换助焊剂 更换清洗剂
PCBA板面发绿		助焊剂活性太强或含卤量过高 助焊剂中松香含量太高 PCB制作中的残留物	更换助焊剂 调整助焊剂 改进PCB制作工艺
PCBA板面发黑		清洗型助焊剂焊后未立即清洗 助焊剂活性太强或含卤量过高 助焊剂中有机物高温烧焦	焊后立即清洗 更换助焊剂 改变焊接温度

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

缺陷名称	缺陷示意图	缺陷原因	解决办法
针孔/气孔		PCB有潮气 PCB材质不良，钻孔粗糙 PCB被污染 元器件引脚被污染 电镀时使用的光亮剂太多	焊前120℃烘干两小时 增加通孔镀层厚度至25μcm以上 清洗PCB 清洗引脚 减少光亮剂用量
焊料球（Solder Ball）		焊接时气体挥发	烘干PCB 充分预热助焊剂

4.4 无铅波峰焊

4.4.1 无铅波峰焊的主要困难

无铅波峰焊的主要困难源自目前无铅波峰焊使用的无铅焊料，即Sn－Cu和Sn－Ag－Cu的性能还不能真正替代传统的有铅焊料。

Sn－Cu和Sn－Ag－Cu无铅焊料的相图如图4.26和图4.27所示。

这两种无铅波峰焊使用的无铅焊料的熔点分别是227℃和217℃，与以往有铅波峰焊采用的Sn－Pb共晶焊料熔点183℃相比，分别高出44℃和34℃，这是一个不小的温度差距。而焊接温度一般又要比所用焊料的熔点高出50℃左右，因此无铅波峰焊的焊接温度高达260℃以上，这就给PCB和元器件的耐热性带来严重挑战。这是无铅波峰焊中的第一个难题。

第二个难题是Sn－Cu和Sn－Ag－Cu无铅波峰焊焊料的润湿性比以往Sn－Pb焊料的润湿性差。

第三个难题是Sn－Cu和Sn－Ag－Cu无铅波峰焊焊料的含锡量都在90%以上，称为高锡焊料，这种高锡合金对波峰焊的锡槽和波峰发生器等材质有很强的溶蚀作用。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

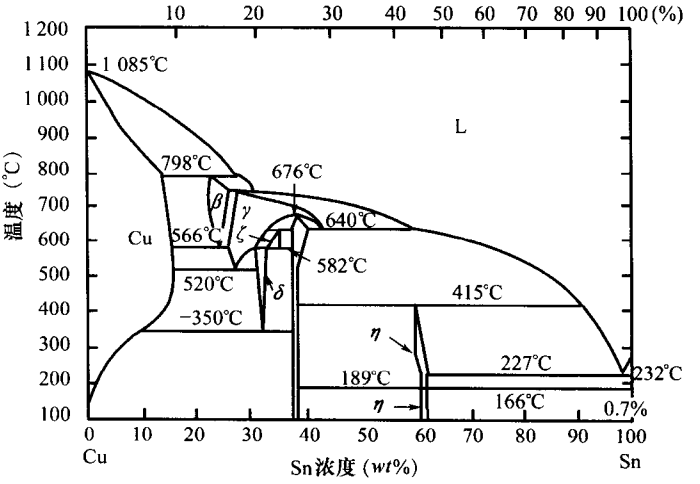


图 4.26　Sn－Cu 二元状态图

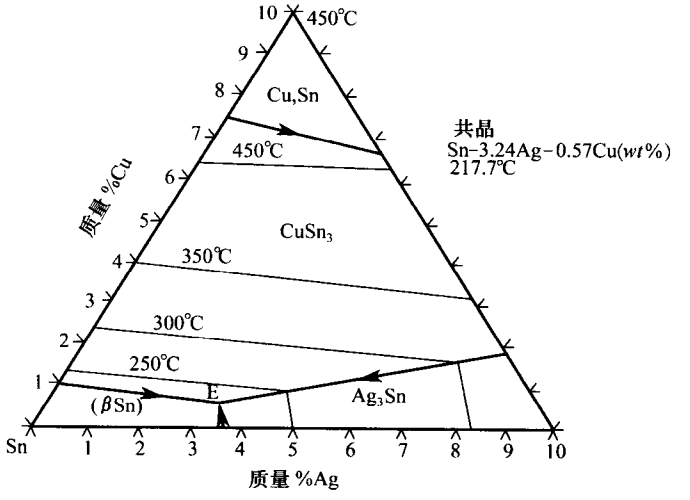


图 4.27　Sn－Ag－Cu 合金三元相图

4.4.2　实施无铅波峰焊的主要方法

1．配置无铅波峰焊焊机

为适应无铅波峰焊的工艺要求，新型无铅波峰焊机应具备的主要功能如下：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 凡与熔融无铅焊料接触的零部件材质具有抗高锡合金溶蚀的能力(如钛合金等);

② 预热器总长不小于1 800mm,保证充分预热,减少焊接时的热冲击;

③ 助焊剂涂布应采用喷涂方式,以便准确控制涂布量和涂布均匀度;

④ 应设有焊后冷却系统,保证焊点质量,减少对PCB和元器件的热损伤;

⑤ 温度控制、尤其是波峰温度控制应有较高的精度;

⑥ 双波峰中的宽波喷嘴上应设有可调的支撑,防止PCBA变形;

⑦ 预热段与波峰段之间应设置辅助加热热源,保证较高的焊接温度;

⑧ 双波峰的两个波峰间的距离不能太大(一般在100mm以内),保证必要的焊接温度;

⑨ 应有N_2保护系统,弥补无铅焊料润湿性的不足。

国内外已推出了不少符合上述要求的无铅波峰焊机。虽有专门从事将有铅波峰焊机改造成无铅波峰焊机的机构,但见诸实用的还较少。

2. 确定无铅焊料和相应的助焊剂

目前无铅波峰焊采用Sn-Cu焊料的居多,也有采用Sn-Ag-Cu的。前者价格便宜一些,但熔点比后者高10℃左右,这要根据所焊产品的具体条件确定。

由于无铅焊料的润湿性比有铅焊料差,因此应选用活性稍大的助焊剂以提高润湿性。

3. 精心设定工艺参数

在PCB和元器件的耐热性能没有得到根本性的提高之前,由于无铅波峰焊焊接温度比原来有铅的焊接温度要高出20~30℃,从而大大增加了对PCB和元器件热损伤的可能性。为此,对焊接温度的设置和监控要十分小心谨慎。此外,助焊剂的涂布量也应适当增加。

4. 有铅与无铅要素的兼容

完整意义上的无铅化是焊点中的含铅量不高于1 000ppm。为实现这一要求,除焊料无铅化外,构成焊点的PCB焊盘镀层材料和元器件引脚(焊端)镀层材料也都必须无铅化。在实际实施中,尤其是在无铅化的初期,由于无铅化的这些要素不可能在任

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

何条件下都同时具备，而往往出现有铅要素与无铅要素并用的情况，从而带来了一个非常严峻的问题，即构成焊点的有铅要素与无铅要素能否并用？在什么条件下可并用？并用对焊接质量有何影响？这就是当前国内外学术界、产业界正在广泛研究的兼容性问题。

兼容性带来的问题可分为显在的(焊接缺陷)和潜在的(焊点长久可靠性)。显在的问题容易发现并可采取相应措施进行弥补，严重的问题在于焊点服役后的可靠性，这是目前研究的重点。

5. 有铅与无铅制程的隔离

电子装联无铅化是一个渐进的过程，从有铅制程转变为无铅制程一般都是在同一个生产现场内展开。为了防止有铅与无铅的混杂、打乱生产流程、给产品质量带来不良影响，必须做好生产现场的隔离管理，其主要内容如下：

① 隔离重要性教育，使相关人员都知道为什么要隔离的道理；

② 区域隔离，可分为无铅区与有铅区；

③ 标识隔离，凡生产、存放无铅产品的设备、器具、工具、材料，都贴上明显的标识，使人一目了然，不致引起混淆。

4.5 元器件引线的成形

4.5.1 手工插装元器件引线的成形要求

手工插装元器件引线的成形要求如下：

① 必须严格按工艺文件的规定进行元器件成形；

② 为确保成形正确无误，每种元器件首件成形后应在 PCB 相应位置上试插合格后方可继续成形；

③ 成形中不能有扭曲、明显刻痕，并严格保持形状、尺寸的一致性；

④ 防止元器件(特别是尺寸、外形类似的)在成形中混淆；

⑤ 成形中要保护元器件引脚表面不受沾污。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4.5.2　常用元器件引线成形参考尺寸

常用元器件引线成形的参考尺寸如图 4.28～图 4.31 所示。

(1) 电阻器

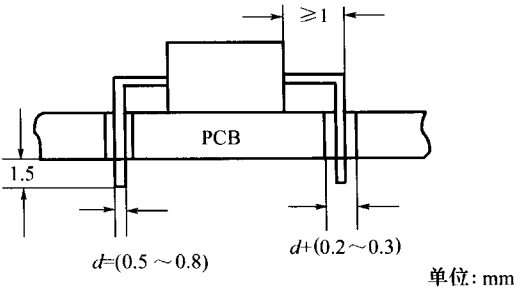
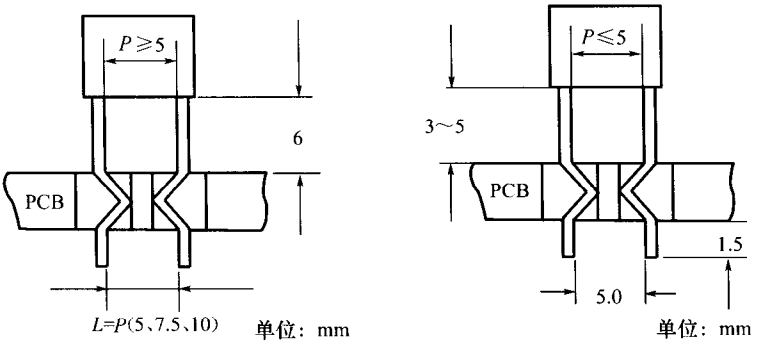


图 4.28　电阻器引线成形的参考尺寸

对功率 2W 以上的电阻器，需制作架空弯，以利散热。

(2) 电解电容器



(a) 对元件本体直径≥8mm 引脚≥5mm 的元件宜贴板安装

(b) 对元件本体直径≥8mm 引脚≥5mm 的元件宜架安装

图 4.29　电解电容器引线成形的参考尺寸

(3) 金属化薄膜电容器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

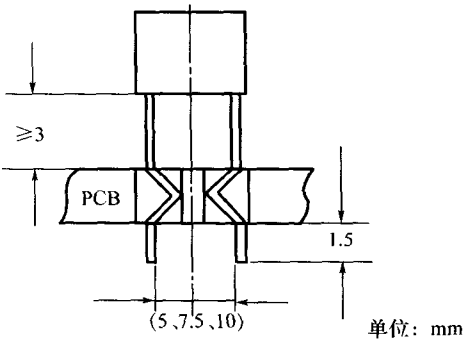


图 4.30　金属化薄膜电容器引线成形的参考尺寸

引线成形的架空高度必须超过引脚上的涂漆长度。

(4) 瓷介电容器

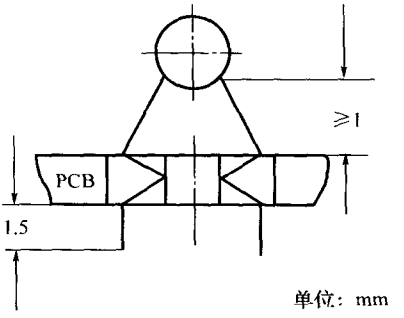


图 4.31　瓷介电容器引线成形的参考尺寸

引线成形的架空高度必须超过引脚上的涂漆长度。

(5) 三极管

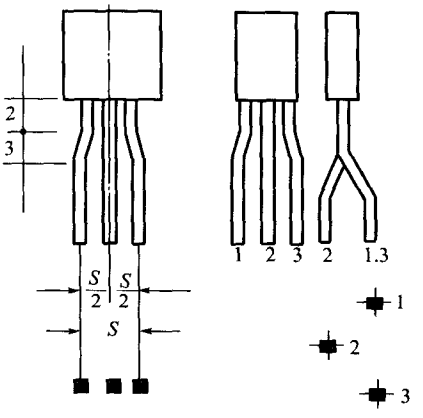


图 4.32　三极管引线成形的参考尺寸

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(6) 电阻器立式成形自锁弯参考尺寸

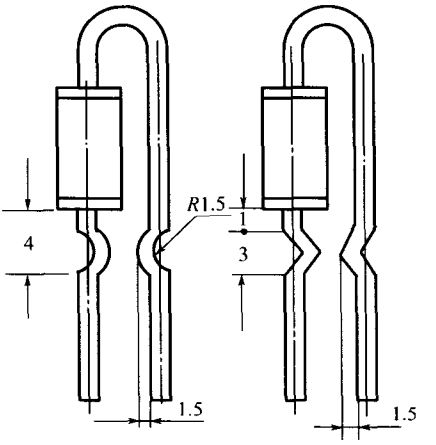


图 4.33 电阻器立式成形自锁弯参考尺寸

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



第5章　印制电路组件的清洗

5.1　印制电路组件清洗的重要性

板级电路制程中的清洗是一个十分重要的工序，它不仅直接影响印制板组件的质量和可靠性，而且还与环境保护与操作人员的身体健康与安全密切相关。

印制板组件清洗的重要性主要是：

① 清除助焊剂残余物、残胶、尘埃、油脂、微粒、汗迹等污染物，防止对元器件、印制导线和焊点产生腐蚀和其他损坏，提高组件的性能和可靠性；

② 保证组件电气性能测试的顺利进行，焊点上过多的助焊剂残余物会使测试探针不能良好地接触焊点，从而影响测试结果的准确性；

③ 组件板表面的污染物（特别是油污）会妨碍三防涂覆层的结合力，严重时会使涂布层与组件板表面分离；

④ 印制板组件焊接后，如表面上有带粘性的污染物，不仅会给后道工序带来麻烦，而且还会影响组件的外观；

⑤ 在印制板组装中，表面贴装呈日益取代通孔插装之势。而与通孔插装相比，表面贴装的组件清洗更加困难，这是因为表面贴装组件中，元器件之间的间距、元器件与基板之间的间距大大缩小了，从而使清洗溶液更难到达欲清洗的部位，因此增加了清洗的难度。

5.2　印制电路组件的清洗机理

要了解印制电路组件的清洗机理，应首先弄清组件上污染物的来源和种类及污染物与组件表面的结合机理。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5.2.1 污染物的来源和种类

印制电路组件表面的污染物来源较广，主要包括PCB制作和储运、元器件制作和储运以及组件装联过程中形成的污染。对于印制电路组件而言，所谓污染物，是指使元器件或组件的物理、化学或电气性能受到有害影响的表面沉积物、微粒等。一般将组件表面的污染物分为极性或离子污染物、非极性或非离子污染物和微粒状污染物，详见表5.1。

表5.1 印制电路组件上的污染物种类

类1(极性的或离子的)	类2(非极性的或非离子的)	类3(微粒)
活性助焊剂 活性残留物 焊接产生的残留物 指纹(钠和钾的氯化物) 电镀层残留物 蚀刻残留物 中和剂 腐蚀剂 表面活性剂	树脂助焊剂 松香助焊剂 植物油脂 动物油脂 蜡状物(石蜡) 合成聚化物 焊料油脂 金属氧化物 指纹皮肤油脂 聚(乙)二醇降解副产品 手上油污 润滑油 有机化合物 表面活性剂(非离子的)	钻孔、冲孔操作中产生的玻璃纤维，水解或氧化的松香 机械操作中产生的金属或塑料屑、灰尘 手上的污物(微粒状) 纤维 绝缘材料屑 毛发或皮肤屑

极性污染物是指在一定条件下可电离为离子的物质，如卤化物、酸及其盐，它们的主要来源是助焊剂中的活化剂。在一定电压作用下，极性污染物的离子将向相反极性的导体迁移，引起导线的腐蚀。极性污染物具有吸潮性，它吸收水分并在空气中二氧化碳的作用下加速自身的溶解。这种离子载体的连锁反应会引起导电作用，从而引起PCB上导线的腐蚀。

非极性污染物主要是指助焊剂中残留的有机物(如松香)本身的残渣、波峰焊锡槽用的防氧化油、残留胶带和肤油等。这类污染物本身较粘，吸收灰尘。松香覆盖在焊点上有时还会妨碍测试探针接触焊点。

微粒污染物主要是尘埃、烟雾、静电粒子等，它们同样会影响组件的性能。

www.789pdf.com 789书库网

5.2.2 污染物与组件之间的结合(附着)

为了合理选择清洗剂和清洗方法,应了解污染物与组件之间的结合或附着状态。

污染物与组件之间的结合或附着,其实质是原子与原子或分子与分子之间的结合。前者又称为化学键结合,后者又称为物理键结合,在有些结合中,这两种键能够并存。污染物与组件之间的结合除上述两种机理外,污染物还可能以一种"夹杂"的形式存在,如污染物以颗粒状态嵌入PCB阻焊膜或电镀沉积材料中。

5.2.3 清洗机理

清洗机理的核心就是破坏污染物与印制电路组件之间的化学键或物理键的结合力,从而实现将污染物从组件上分离出去的目的。由于这个过程是吸热反应,因此必须供给足够的能量方可达到上述目的。

采用适当的溶剂并给溶剂与污染物之间的溶解反应提供足够的能量,可使组件上的污染物被溶解在溶剂中而被洗净,这种溶剂清洗方法已得到广泛应用。

采用特定的水虽可以去除水溶性助焊剂给组件留下的污染物,但对松香类助焊剂残余物的清洗却很困难,这主要是因为松香中的主要成分松香酸和海松酸几乎完全不溶于水,为此,采用表面活性剂与水一起与松香残余物发生皂化反应可使松香残余物转化成可溶于水的脂肪盐(皂)。一种典型的皂化反应如图5.1所示。

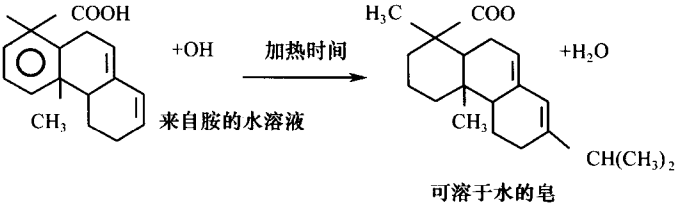


图5.1 典型的皂化反应

5.3 清洗剂与清洗方法

5.3.1 清洗剂

由于印制电路组件在装联焊接后被污染的情况不同和组件清洗后对洁净度的要求

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

不同,因此用于清洗的清洗剂的种类也较多。对于清洗剂的具体选用将在下面结合清洗方法来介绍,这里主要介绍对清洗剂的基本要求。

1. 润湿性

一种溶剂要能溶解并去除组件上的污染物,首先必须能够润湿并渗透到被污染的组件部位,否则不可能洗掉组件上的污染物。

与前面介绍的钎焊原理一样,衡量润湿性的好坏常采用润湿角 θ,在采用溶剂清洗组件的条件下,润湿角 θ 可用下式表示

$$\cos\theta = (r_s - r') / r'$$

式中,r_s——基板表面自由能;

r'——溶剂的表面张力;

θ——溶剂对基板的润湿角。

实验表明,$\theta > 90°$时为不润湿,$0° < \theta < 90°$时为局部润湿,最佳清洗条件是 θ 接近于 0°。

利用上式确定润湿角时难以确定基板的自由能,为此引入了固体临界自由能,见表 5.2。溶剂的表面张力见表 5.3,如小于固体的临界自由能,将呈现为完全润湿。

表 5.2 某些聚合物(固体)的临界自由能

聚合物	临界自由能 r_s(N/cm)
聚四氟乙烯	1.85×10^{-4}
聚丙烯	2.90×10^{-4}
聚乙烯	$3.1\sim3.15\times10^{-4}$
聚苯乙烯	$3.0\sim3.6\times10^{-4}$
聚氯乙烯	3.9×10^{-4}
聚碳酸酯纤维	2.9×10^{-4}
酰胺—表氯醇树脂	5.2×10^{-4}
脲甲醛树脂	6.1×10^{-4}
环氧玻璃	3.8×10^{-4}

表 5.3 某些溶剂的表面张力

溶　剂	表面张力 r'(N/cm)
三氯三氟乙烷(含氟烃)	1.77×10^{-4}
三氯乙烷	2.51×10^{-4}
乙醇	2.23×10^{-4}
水	7.27×10^{-4}

www.789pdf.com 789书库网

2. 毛细作用

用做组件清洗的溶剂除了应具有良好的润湿性外，还应具有足够的毛细渗透能力，以便顺利地进入到组件的所有待清洗部位，特别是狭窄的部位，并能快速地从这些狭窄部位排出来，畅通无阻地进行反复循环，从而将污染物从组件上清洗掉。某些常用清洗剂的毛细渗透率见表5.4，由表5.4可知，水在狭窄缝隙中的毛细渗透率最大，但其表面张力高，难以从狭窄缝隙中排出，致使水在清洗部位的渗入(排出)循环慢，清洗效率低。含氟烃混合物的毛细渗透率虽然较低，但其表面张力也低，综合考虑其两种性能，此类溶剂对于组件污染物的清洗效果较好。

表5.4 溶剂渗入水平毛细管的渗透率

溶 剂	T(℃)	$r\cdot\cos\sigma/n$
含氟烃混合物	25	26.4
含氯烃混合物	25	31.4
水	25	40.4
含氟烃混合物	40	28.0
含氯烃混合物	73	40.34
水	70	112.7

3. 粘度

在其他条件相同的情况下，溶剂的粘度越高，在组件待清洗缝隙中的渗入和排出循环越困难，意味着需要更大的力才能使溶剂从待清洗的缝隙中排出。因此，采用低粘度溶剂有利于清洗的顺利进行。

4. 密度

在满足其他要求的前提下，应采用密度高的溶剂来清洗组件。这主要是因为在清洗过程中，当溶剂蒸气凝聚在组件上时，重力有助于凝聚的溶剂向下流动，提高清洗效果；对于水平放置的组件，溶剂密度越高，溶剂在组件上的扩展越均匀，也有利于改善清洗质量。此外，溶剂密度高还有利于减少向大气的散发，从而节省材料。

5. 沸点

清洗温度对清洗效率有一定影响，而清洗温度一般设置在溶剂的沸点附近，因此，溶剂沸点高，即意味着可在较高温度下清洗，并在短时间内去除大量的污染物，这对流水线生产中清洗速度与波峰焊传送带速度相匹配具有重要意义。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6. 溶解能力

在清洗组件(特别是高密度组件)时,由于元器件与基板之间的间距和元器件之间以及元器件的 I/O 端子之间的距离都非常狭小,因此只能有微量的清洗液接触到这些狭窄的待清洗部位,这就要求用于清洗的溶剂应有足够高的溶解污染物的能力,对于配置于流水线中的清洗工序而言,还要求在规定时间内完成清洗,以满足整个流水线生产节拍的匹配需求。但是,溶解能力高的溶剂对组件的腐蚀性也大,因此要给予充分注意。

组件装联焊接中使用的助焊剂多数含有松香,因此,对松香残余物的溶解能力是选择溶剂的重要条件之一。松香酸是松香残余物的主要成分,某些溶剂对松香酸的饱和可溶性如图 5.2 所示。

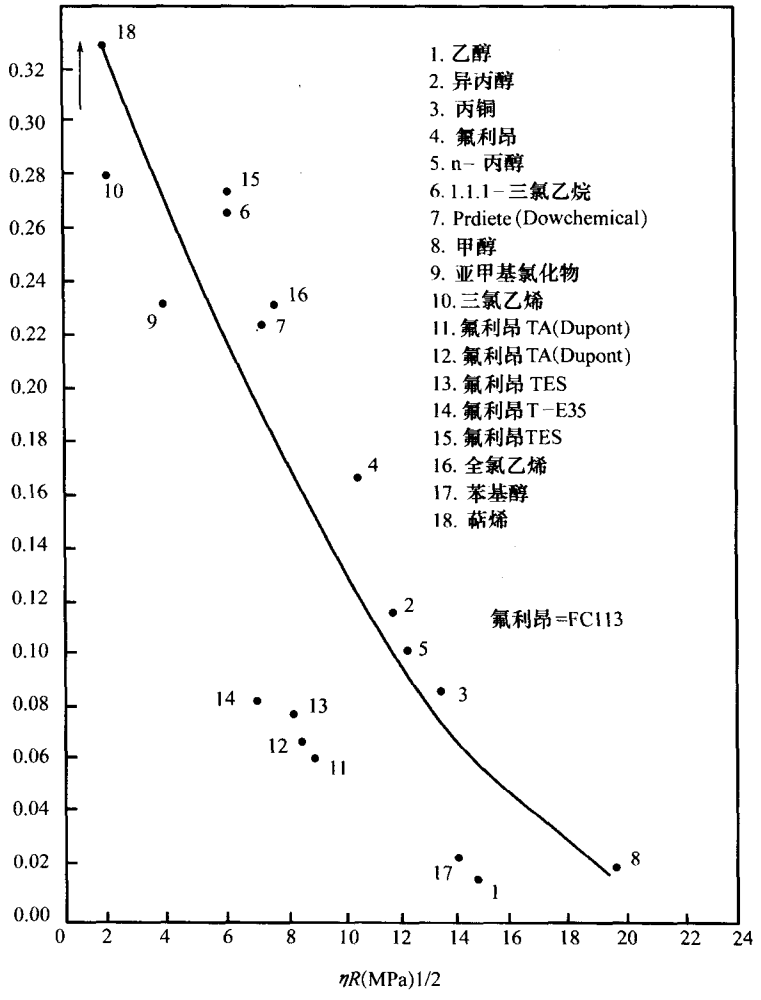


图 5.2 在不同溶剂中松香(松香酸)的克分子可溶性

www.789pdf.com 789书库网

7. 臭氧层破坏系数(ODP)

由于人们环保意识的增强,在评价溶剂清洗能力的同时也应考虑其对臭氧层的破坏程度,这就是引入 ODP 的原因。现在是以氟利昂(CFC－113)对臭氧层的破坏系数作为基准的,即 $ODP_{CFC-113}=1$。

8. 最低限制值(TLV)

TLV(Threshold Limit Value)表示人体与溶剂接触时能承受的最高限量值,通常以10^{-6}表示。TLV 又称暴露极限。操作人员每天工作中不允许超出该溶剂的 TLV。

选择清洗用溶剂时,除考虑上述性能外,还应兼顾经济性、操作性与设备元器件的兼容性等因素。

5.3.2 清洗方法

印制电路组件的清洗方法大多以清洗时所用液体介质的性质来分类,主要可分为溶剂清洗法、水清洗法和半水清洗法。

1. 溶剂清洗法

(1) 溶剂清洗法的发展

这是最早也是比较成熟的清洗印制电路组件表面污染物的一种方法,常用的溶剂是氯氟烃化合物,即三氯三氟乙烷(CFC－113)。CFC－113 具有脱脂效率高,对助焊剂残余物溶解力强,无毒、不燃不爆、易挥发、对元器件和 PCB 无腐蚀以及性能稳定等优点,在超声波、喷淋以及温度的作用下,可以获得满意的清洗效果,较长时间以来,一直是印制电路组件焊后清洗的理想溶剂。但是近年来发现 CFC 对高空臭氧(O_3)层有破坏作用,由于高空臭氧层是吸收太阳发出的波长大于 175 毫微米对地球环境造成伤害的紫外线的主要阻挡层,因此,高空 O_3 层的破坏将给人类带来巨大的灾难。由于太阳光中紫外线特别是中长波段紫外线对地球的辐射量急剧增加,从而破坏了生物生态环境,造成人类的免疫力下降,使感染性病症增加和恶化,在室外长时间活动的人们增加患皮肤癌的危险,恶性黑色素瘤和白内障等疾病增加,陆上和海洋生物的生态系统平衡被打破,某些物种有灭绝的危险。此外,O_3 层的破坏也是产生温室效应的因素之一。

CFC 破坏臭氧层的机理是氯氟烃类化合物(氟利昂)的化学性能非常稳定,在大气中几乎不分解,但当在大气中大量积累飘浮到高空臭氧层时,受强紫外线作用,其分子中的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

氯被分离成氯原子，成为臭氧分子分离的触媒剂，氯原子与臭氧分子反应形成氯的氧化物，其生成物又分离出氯原子并重复上述过程（这个过程见下面的描述）：

$$Cl^- + O_3 \rightarrow ClO + O_2$$

$$ClO + O \rightarrow Cl^- + O_2$$

$$Cl^- + O_3 \rightarrow ClO + O_2$$

……

一个氯原子可以破坏数以千计的臭氧分子，其结果是造成地球两极上空臭氧层的极大破坏，出现臭氧层破洞。为保护地球环境，国际社会在联合国环境规划署的协调下，于1985年签署了《保护臭氧维也纳公约》，由于这个问题对人类关系重大，于1987年9月16日又在加拿大的蒙特利尔由43个国家签订了一个更为具体的保护臭氧层的议定书——《蒙特利尔议定书》，该议定书规定到2010年全面停用CFC。正是在这种背景下，世界各国展开了新型清洗剂的研发。

作为CFC的代替溶剂，已研制出改性CFC。这种溶剂是在氯氟烃分子中引入了氢原子代替部分氯原子，以促进其在大气中的迅速分解，从而减轻对臭氧层的破坏。这类CFC的替代溶剂以HCFC表示，如HCFC123、HCFC1416等，它们对O_3层的破坏程度仅为CFC的1/10。另一类CFC的替代溶剂是1.1.1－三氯乙烷与乙醇的混合物。但以上两类CFC替代溶剂因为仍有氯原子存在，故对O_3层仍有破坏作用，只能作为过渡性的清洗溶剂。

(2) 溶剂清洗工艺

① 间歇式清洗工艺。

间歇式清洗又称批量式清洗工艺，其工艺流程是：将欲清洗的印制电路组件置于清洗机的蒸汽区内（蒸汽区四周设有冷凝管），当位于蒸汽区下部的溶剂被加热而形成蒸汽并上升至冷却的组件表面时又被冷凝成溶剂，并与组件表面之污染物作用后随液滴下落而带走污染物。被清洗之组件在蒸汽区停留5～10min之后，再用溶剂蒸汽经冷凝而回收到的洁净液对组件进行喷淋，冲刷污染物，一直停留在蒸汽区内的组件当其表面温度达到蒸汽温度时，表面不再产生冷凝液滴，此时组件已洁净干燥，可以取出。上述清洗工艺过程如图5.3所示。这种清洗方法清洗的组件洁净度高，适合于污染不严重而洁净度要求较高的场合使用。

② 沸腾超声清洗工艺。

沸腾超声清洗也是常用的溶剂清洗工艺方法之一，其工艺流程主要是：将被清洗的组件浸入超声清洗槽中的溶剂内，将溶剂加热至沸点，启动超声波发生器，使之以25～100kHz频率的高频振荡转换成机械振荡来激励溶剂，借助超声波在溶剂中产生空化作

www.789pdf.com 789书库网

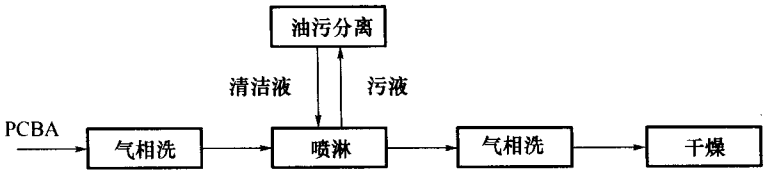


图 5.3　间歇式清洗工艺过程

用使溶剂对组件被清洗部位形成很大的冲击压力，从而增强去除污染物的效果。超声作用后，再用溶剂喷淋被清洗组件，冲刷污染物。最后对清洗件进行干燥处理。以上工艺过程如图 5.4 所示。这种清洗工艺的清洗效果较好，适用于污染较严重的组件的清洗。但由于超声波具有一定的穿透能力，早在 1956 年就有人指出超声波会透过器件的封装进入器件内部而破坏晶体管或集成电路芯片上的焊点。国内也有超声波清洗造成微动开关、继电器等大量损坏的实例。1965 年美国军标规定军用电子产品不得使用超声波清洗。我国 GJB3243—1998 军标也规定军用电子产品不允许用超声波清洗印制电路组件。

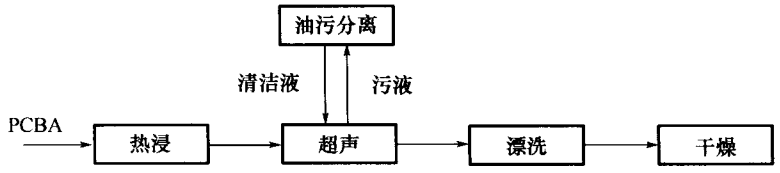


图 5.4　沸腾超声清洗工艺过程

③ 连续式溶剂清洗工艺。

连续式溶剂清洗工艺流程如图 5.5 所示，它的工作原理与间歇式溶剂清洗相同，即组件先在蒸汽区清洗，然后进行高压喷淋（或超声波清洗），最后再经蒸汽清洗并进行干燥处理。整个工艺过程连续完成，适用于大批量和流水线生产，清洗质量比较稳定，不受人为因素的影响，蒸汽损失较小。

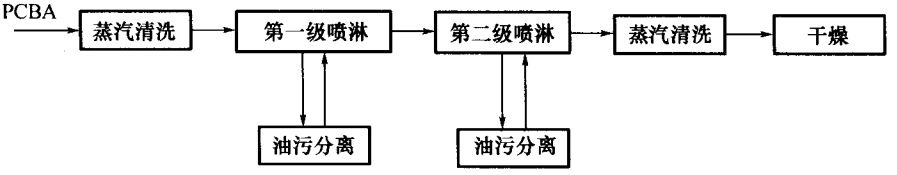


图 5.5　连续式溶剂清洗工艺流程

2．水清洗法

水清洗工艺可分为皂化水清洗和净水清洗。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 皂化水清洗工艺

对于采用松香助焊剂焊接的印制电路组件，不能采用净水清洗，而应采用皂化水清洗。这是因为松香中的主要成分松香酸不溶于水，而必须以水为溶剂，在皂化剂的作用下，将松香变成可溶于水的松香脂肪酸盐，如图 5.1 所示，在高压水喷淋下，才可去除松香脂肪酸盐，最后再用净水清洗才能达到清洗目的。

皂化水清洗工艺的优点是：可清除的污染物范围较广，可根据所用的助焊剂来选用相应的皂化剂进行清洗。但它的清洗效果比 CFC 差，皂化剂及残渣又带来新的污染。对非松香类的助焊剂残余物，其清洗效果不稳定。

皂化水清洗工艺流程如图 5.6 所示，其基本工艺参数如下：

① 皂化剂：ALP1－1；

② 粘度：6.5MPa·S；

③ 表面张力：28.8N/m^2；

④ 配制用水电阻率不小于 2MΩ；

⑤ 皂化剂浓度：5%～9%；

⑥ 皂化剂 pH：12～13。

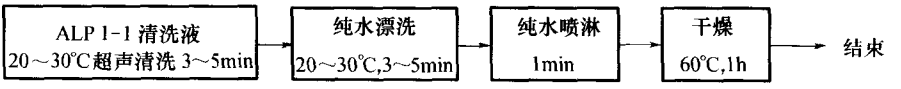


图 5.6　皂化水清洗工艺流程

(2) 净水清洗工艺

净水清洗工艺主要适用于采用水溶性助焊剂焊接的印制电路组件。所谓净水清洗，就是清洗时洗涤和漂洗都采用净水或纯水。这种清洗方法比较简单，成本低，但水溶性助焊剂质量不够稳定，工艺不易控制。净水清洗工艺流程如图 5.7 所示，净水清洗设备的原理如图 5.8 所示，其一般工艺条件如下：

① 净水清洗工艺应采用水溶性助焊剂；

② 清洗水温为 60～75℃；

③ 清洗、预清洗可用砂滤水；

④ 冲洗用水净度为 2～3MΩ，二次冲洗水净度不小于 5MΩ；

⑤ 冲洗水压为 0.1～0.2MPa。

www.789pdf.com 789书库网

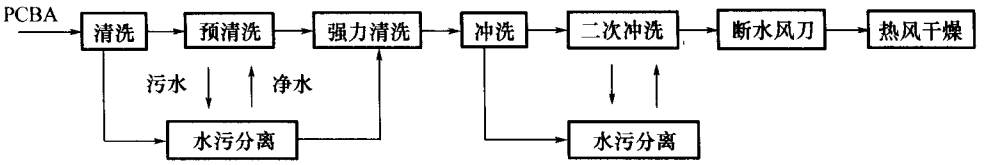


图 5.7　净水清洗工艺流程

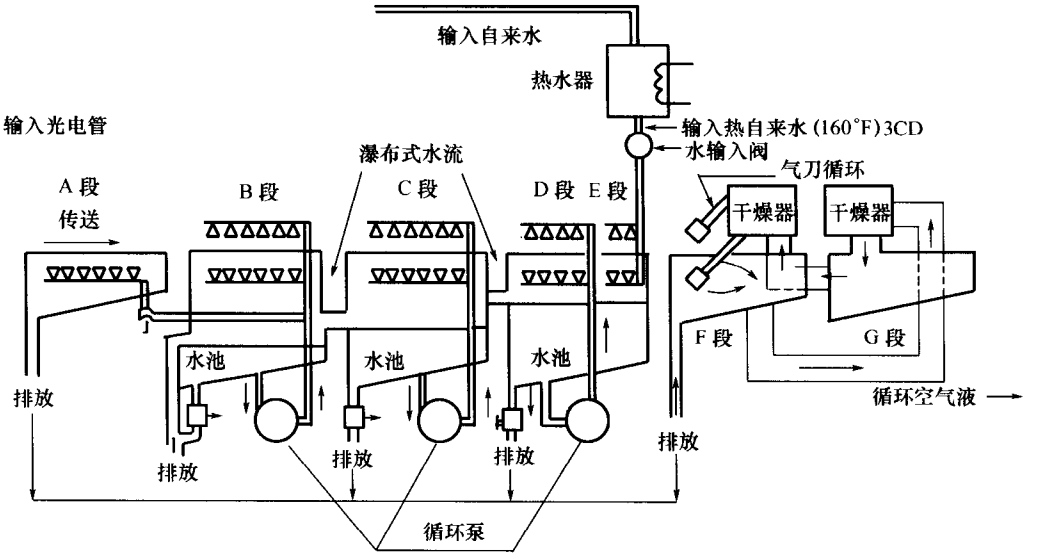


图 5.8　净水清洗设备的原理图

3. 半水清洗

半水清洗是介于(兼顾)上述溶剂清洗和水清洗工艺之间的一种清洗方法,即先用溶剂清洗组件,再用水进行漂洗,最后烘干清洗的组件。半水清洗方法采用的溶剂是一种关键材料,它既能溶解松香,又能溶解在水中。清洗时,它首先快速地溶解组件上的松香残余物,然后再用水清洗组件,溶剂与水互溶,此时松香残余物就会脱离组件而浮在水中,实现去除污染物的目的。由于半水清洗中的溶剂价格贵,故采用溶剂与水的分离技术,实现溶剂的循环使用。

(1) 半水清洗用溶剂

用于半水清洗的溶剂主要有萜烯类溶剂和烃类混合物溶剂。

① 萜烯类溶剂。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

萜烯的主要成分是烃和有机酸，它可以生物降解，不会破坏高空臭氧层、无毒、无腐蚀、对助焊剂残余物有很好的溶解能力。由美国 Petroferm 公司生产的 EC－7 就属于这类溶剂，其主要物理性能见表 5.5。

表 5.5　用于半水清洗溶剂的物理性能

名　　称	EC－7	EC－7	Axarel 38	Axarel 32
化学成分	萜烯＋添加剂（橘皮中提取）	萜烯＋添加剂改进型	非卤化物的烃剂＋活化剂混合物	非卤化物的烃剂＋活化剂混合物
沸点(℃)	171		240	240
闪点(℃)	71		71	99
蒸汽压(25℃)(mmHg)	1.6		0.2	＜0.1
粘度(25℃)(CP)	0.8		1.4	2.8
表面张力($\times10^{-5}$N/m)	33		28	27
生化耗氧量(g/L)	1 500		423	
化学耗氧量(g/L)	2 500		1 600	
生产公司	Petroferm	Alpha Metals	DuPont	DuPont
评估	①清洗效果好 ②无毒，可生物降解，更易于水处理 ③浮洗应彻底 ④烘干时能耗大	①清洗效果好 ②无毒，可生物降解，更易于水处理 ③漂洗应彻底 ④烘干时能耗大	①清洗效果好 ②无毒，可生物降解，更易于水处理 ③漂洗应彻底 ④烘干时能耗大	①清洗效果好 ②无毒，可生物降解，更易于水处理 ③漂洗应彻底 ④烘干时能耗大

当 EC－7 与助焊剂残余物接触时，助焊剂残余物很快被 EC－7 溶解，溶解了助焊剂残余物的 EC－7 遇到水时，又立即与水互溶，使助焊剂残余物浮到水面上，经过水/污分离而达到清除污染物的目的。

EC－7 的缺点是沸点只有 47.2℃，易燃，只能用于冷洗或在氮气保护下使用。清洗后的废液必须采用分离器回收 EC－7 后方可排放，以防发生火灾。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 烃类混合物溶剂。

烃类混合物溶剂由美国 Du Pont 公司生产，商品名为 Axarel 38，其主要成分是烃类混合物，并含有极性和非极性成分，因此提高了对各种污染物的溶解能力。其物理性能见表 5.5。

Axarel 38 用于半水清洗的原理与 EC－7 类似，由于 Axarel 38 的沸点高，因此可以被加热，增加它的渗透性，促使助焊剂残余物浮于水面而被清除掉。Axarel 38 对清洗“白色污染物”特别有效。由于 Axarel 38 与水的互溶性较低，从而有利于其与水的分离。Axarel 38 与多种助焊剂残余物相适应，因此是一种较理想的半水清洗用溶剂。

我国也已研制成半水清洗用溶剂，一种国产的半水清洗用溶剂(MDF)的性能及清洗效果见表 5.6 和表 5.7。

表 5.6 国产半水清洗用溶剂的性能

密度(kg/L)	0.983 6
运动粘度(NS/m^2)	3.08
pH	7.18
电导率($\mu s/cm$)	490
卤素含量(%)	<0.01
腐蚀性	20℃时 PCBA 无腐蚀现象

表 5.7 MDF 清洗效果

项 目	空白 PCB	CFC113	MDF
表面离子污染度($\mu gNaCl/cm^2$)	<0.1	0.4	<0.1
表面绝缘电阻(Ω)	3.4×10^{12}	4.9×10^{12}	1.3×10^{13}

(2) 半水清洗工艺

半水清洗工艺流程如图 5.9 所示，其主要工艺条件如下：

① 常用溶剂：EC－7/EC－7R 或 Axarel 38/32；

② 溶剂喷淋：流速为 220～300L/min；

压力为 0.24～0.36MPa；

温度为 20～22℃；

N_2 保护。

③ 一次漂洗水：流速为 115～150L/min；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

压力为 0.12～0.24MPa；

温度为 65℃。

④ 二次漂洗水：流速为 10L/min；

压力为 0.05～0.1MPa；

水温为 35～40℃；

水净度≥3MΩ。

⑤ 特殊需要时：二次漂洗水可采用 75%的醇＋25%的水；

⑥ 皂化剂：一般为氨类碱性溶液，pH 为 11 左右。

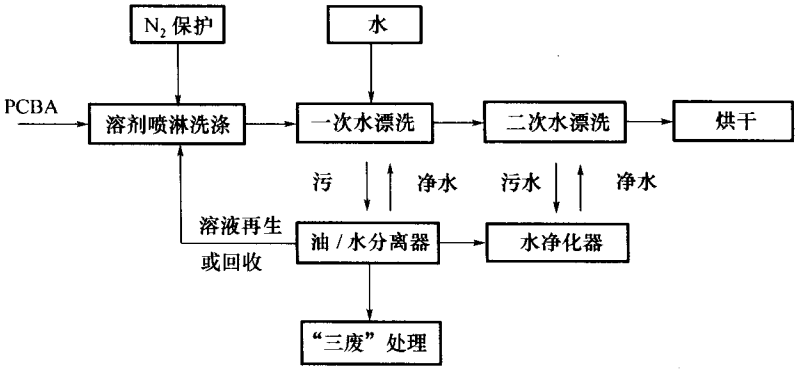


图 5.9　半水清洗工艺流程

4．返修印制电路组件的清洗方法

对于返修或清洗后又要添加特殊元器件而采用烙铁焊接的组件，一般采用手工刷洗进行清洗。

手工刷洗的基本要求是：采用防静电刷子将待清洗组件浸入用不锈钢容器盛装的清洗液中（必要时可对清洗液进行适当加热），反复刷洗组件表面，然后用吸附性好、不起毛的织物擦去组件表面上的清洗剂和助焊剂残余物，最后用棉球蘸上适当的挥发性溶剂涂敷于组件的表面，起漂洗和干燥作用。这里应注意的是：因毛刷摩擦易产生静电，故对装有 CMOS 器件的组件不宜采用此种清洗方法。

5．各种清洗方法及其与免清洗的对比

各种清洗方法及其与免清洗的对比见表 5.8。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 5.8 各种清洗方法与免清洗的对比

工艺方案评估	优 点	缺 点
传统的 CFC 清洗	①现有的配方 ②用户熟悉的蒸汽清洗 ③适合于小批量清洗系统 ④产品呈干燥性 ⑤与产品、元件有良好的相容性 ⑥无易燃危险、低毒	①消耗臭氧 ②使全球气候变暖 ③挥发性有机化合物 ④短期方法,很快会被废止
HCFC 清洗	①接近于 CFC－113 配方 ②用户容易接受 ③产品呈干燥性 ④与产品、元件有良好的相容性 ⑤无易燃危险、低毒	①消耗臭氧,最终 HCFC 也要被废止 ②易挥发性有机化合物 ③缺少使用经验
半水清洗	①对松香助焊剂有较好的溶解力 ②当溶剂变脏时,溶解力保持不变 ③为增强性能,可混合大量的萜烯 ④既适用于批量系统,也适用于在线系统 ⑤低毒 ⑥有益于环境,气氛的扩散是无害的,封闭系统使水的使用和液体废物降到最低程度	①要求烘干组件,能源昂贵 ②对于 SMT 组件要喷射清洗 ③有易燃的可能 ④具有相对较低的离子溶解力 ⑤溶剂和设备仍在发发展中 ⑥有异味 ⑦具有污水后处理问题
水清洗 (皂化法/净水法)	①已有广泛的使用经验 ②适合于批量和在线系统 ③较高的活性,增强了工艺灵活性 ④既可选择水溶性助焊剂,又可选择皂化的松香助焊剂 ⑤无易燃危险、低毒 ⑥排出物可实现天然降解	①由热风烘干、耗能 ②对 SMT 组件需采用高压喷射 ③批量系统中,高压喷射较困难 ④元件的相溶性 ⑤必须软化水以防喷枪生锈 ⑥如果不用空气刀,则必须用纯度很高的水 ⑦具有污水后处理问题

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工艺方案评估	优　点	缺　点
免清洗	①没有清洗要求 ②有益于环境 ③松香和树脂有高电阻率 ④离子活化剂由松香和树脂隔开 ⑤看不见助焊剂残留物，与测试探测器不粘合 ⑥最廉价的替代物	①不成熟的替代工艺 ②失去了清洗其他杂质的机会 ③在恶劣环境下可靠性降低 ④有时不利于测试
N_2 保护焊	①免清洗或很低的清洗要求 ②提高了焊接质量 ③改进了现有设备（波峰焊和再流焊）	①要求气氛控制和设备 ②设备昂贵 ③必须密封气氛 ④由于不清洗，仍不适用于高可靠性的电子产品

5.4　影响清洗的因素

要使清洗工艺顺利进行并取得良好的清洗效果，除了解清洗机理、清洗剂和清洗方法之外，还应了解影响清洗的各种因素。影响清洗的因素主要是元器件类型和排列、PCB设计、助焊剂类型、焊接工艺参数及焊后停留时间、溶剂喷淋参数等。

5.4.1　PCB 设计

为了顺利去除组件上的助焊剂残留物和其他污染物，在 PCB 设计时应考虑如下因素：

① 尽量避免在元器件下面设置金属化通孔，或采用阻焊膜将元器件下面的金属化孔覆盖，以免波峰焊时助焊剂渗入元器件与基板之间，给焊后清洗带来困难。

② 阻焊膜要有足够的耐温性能，防止在焊接时产生微裂纹和皱褶。

③ PCB 的厚度与宽度尽量匹配，对宽度大而厚度小的 PCB，为防止在波峰焊时变形，往往要采用支撑筋等措施，这就增加了助焊剂的残留物，不利于清洗。

www.789pdf.com 789书库网

5.4.2　元器件类型

总的来说，对有 SMD 的组件的清洗要比对有 THD 组件的清洗更加困难，这主要是因为 SMD 封装体的面积越来越大，与 PCB 之间的距离越来越小，器件 I/O 端子间的间距越来越细，从而使清洗剂对狭窄部位的渗入和排出更加困难，大大降低了清洗效率和清洗质量。

5.4.3　元器件布局

元器件引脚（焊端）的伸出方向对组件的可清洗性有很大影响，正确的布局应如图 5.10(a)所示，元器件引脚（焊端）的伸出方向应与清洗时被洗组件的向前传送方向垂直，这种布局使清洗困难的部位时可获得较佳的清洗条件。

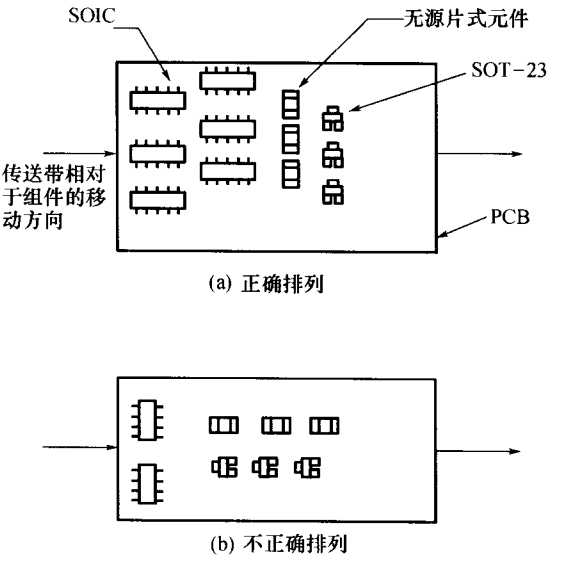


图 5.10　元器件排列对清洗的影响

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5.4.4 焊接条件

焊接条件中助焊剂类型和再流焊的热规范是影响清洗的重要因素。

助焊剂中不挥发物含量越高，活性越强，则焊后对其残余物的清洗越困难，因此，必须结合具体组件，综合考虑可焊性和焊后清洗洁净度的要求来选用适当的助焊剂类型。

再流焊热规范不当(温度过高，加热时间过长)将使助焊剂产生炭化，其残余物更难清洗。

5.4.5 焊后停留时间

这是一个容易被人忽视而实际上对清洗有着重要影响的因素。在清洗溶剂允许的温度下，组件焊接完成后应立即清洗，否则会增加清洗难度，而且还是导致组件表面特别是焊点周围产生“泛白”的原因之一。

5.4.6 喷淋压力和速度

为了提高清洗效率和清洗质量，在采用静态溶剂或其蒸气清洗的基础上，大多采用喷淋冲刷。其喷淋压力一般为 343～1 715Pa，但对表面贴装组件，由于 SMD/C 与 PCB 之间的间隙很小，这种低压(低速)喷淋就难以奏效了。

溶剂喷淋对清洗的影响主要取决于喷淋速度对污染物颗粒上的曳力。曳力 F_d 与溶剂喷淋速度 v 的关系为

$$F_d = CP(v^2/2)A$$

式中，F_d——污染物颗粒上的曳力；

C——曳力系数；

P——溶剂密度；

v——溶剂喷淋速度；

A——污染颗粒的正投影面积。

由上式可知，采用高密度溶剂和高速喷淋可使污染物颗粒受到大的曳力而容易被清

www.789pdf.com 789书库网

除。但当溶剂选定后，溶剂的密度已不再是可以调节的参数，剩下唯一可调的参数就是溶剂喷淋速度。由于SMD/C与PCB之间的区域是最难清洗的部位，因此，该部位的溶剂喷淋速度具有特殊意义，它可用下式表示，即

$$v = (p_1 - p_2)y^2/(12ux)$$

式中，v——SMD/C与PCB间的溶剂速度；

p_1——溶剂的入口压力；

p_2——溶剂的出口压力；

y——SMD/C与PCB间的距离；

x——SMD/C的长度；

u——溶剂的动态粘性。

以上两个公式给出了SMD/C与PCB间的污染物颗粒受到的曳力和溶剂喷淋时的冲刷流速，但上述曳力和溶剂速度基于SMD/C与PCB之间存在从一侧到另一侧有溶剂冲洗通道的条件。然而对片式元件在焊接后一般不存在这种通道，因为片式元件与PCB间的间隙仅为0.025～0.076mm，助焊剂残余物已充满了这一间隙。喷淋时能清除这里的助焊剂残余物是由于首先去除片式元件周围的助焊剂残余物，随着溶剂升温，此处的助焊剂残余物软化、溶解，在喷淋溶剂冲刷力的作用下，开始去除助焊剂残余物并逐渐形成通道，溶剂冲洗SMD/C与PCB间的间隙，直至助焊剂残余物被去除。

由于SOIC、PLCC等器件与PCB之间的间距与片式元件相比相对较大，故喷淋一开始就可使溶剂冲洗通道，从而使清洗相对容易一些。

5.5 清洗质量标准及其评定

5.5.1 清洗质量标准

印制电路组件装焊后的洁净度应符合中华人民共和国电子行业军用标准SJ20896—2003的规定，其洁净度的分级及洁净度指标见表5.9。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 5.9 印制电路组件洁净度分级及洁净度

等级	洁净度指标要求			适用范围
	溶剂萃取电阻率 ($\Omega \cdot cm$)	离子污染物当量 ($\mu gNaCl/cm^2$)	助焊剂残留量 ($\mu gNaCl/cm^2$)	
Ⅰ	$>2\times10^6$	<1.5	<40	高可靠电子产品
Ⅱ	$>2\times10^6$	1.5~3.0	<100	耐用电子产品
Ⅲ	$>2\times10^6$	3.0~5.0	<200	一般电子产品

与印制电路组件洁净度有关的国外标准有：

① MIL—P—28809：该标准规定离子污染物含量小于 2.3$\mu gNaCl/cm^2$；

② MIL—STD—2000A：该标准规定离子污染物含量小于 1.56$\mu gNaCl/cm^2$；

③ J—STD—601B：该标准规定离子污染物含量小于 1.56$\mu gNaCl/cm^2$。

5.5.2 清洗质量检测方法

印制电路组件(也称板级电路)是电子设备系统中的关键部件之一，其质量好坏对整个电子设备的可靠性有着十分重要的影响。为此，当组件装焊完毕或经过清洗后，必须对组件的洁净度进行检测。目前常用的组件洁净度检测方法主要有目测法、溶剂萃取的电阻率检测法、表面污染物的离子检测(动态)法。

1. 目测法

对清洗后的组件采用 5~10 倍的放大镜进行检查，观察组件表面特别是焊点四周是否有助焊剂残余物和其他污染物的痕迹。这种方法虽简单易行，但无法检查元器件底部的污染情况。

2. 溶剂萃取的电阻率检测法

该法的原理是：用一种特制溶液冲洗待检测的印制板组件，如组件含有污染物，则冲洗过组件的溶液(收集液)因溶入了组件上的污染物而使其电阻率比溶液原始电阻率有所降低。下降的幅度与组件上污染物的量成正比，从而可定量测出组件的洁净度，这一检测结果对衡量组件在服役后的电气可靠性具有重要意义。

根据 SJ—20896—2003 标准的规定，上述检测中所用的特制溶液的成分是：75%(体

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

积比)的溶剂级异丙醇,25%的蒸馏水,其最小电阻率为 $6.0\times10^6\Omega\cdot cm$,按每 $250mm^2$ 面积的印制电路组件配制 100ml 的溶液要求进行配制,以保证检测结果的正确性。

用电桥或等同量程和精度的仪器,测得冲洗溶液(收集液)的电阻率并按下式计算单位面积上的氯化钠当量,即

$$W_r = 1.56\times 2/\rho$$

式中,W_r——组件每平方厘米面积上的氯化钠(NaCl)当量,单位为 $\mu gNaCl/cm^2$;

2——当被测组件含有 $1.56\mu gNaCl/cm^2$ 时的电阻率,单位为 $M\Omega\cdot cm$;

ρ——收集液的电阻率,单位为 $M\Omega\cdot cm$;

1.56——电阻率为 $2M\Omega\cdot cm$ 时被测组件单位面积所含的氯化钠(NaCl),单位为 $\mu g/cm^2$。

3. 表面污染物的离子检测(动态)法

离子检测法又称离子污染度检测法,主要用来检测极性污染物。其原理是:将待检测的印制电路组件浸入离子污染度动态测试仪的测试溶液中,测试溶液由 75%的异丙醇+25%的去离子水组成,它具有很低的导电率,当组件浸入测试溶液之后,由于组件上极性污染物的离子溶入测试溶液而使其导电率增加。动态测试仪记录与极性污染物量成线性关系的导电率增加值,经换算最终以单位组件面积上的等效 NaCl 含量(单位为 $\mu gNaCl/in^2$)来表示检测结果。常用的检测仪器见表 5.10。

表 5.10 PCBA 离子污染度常用检测仪器

仪器名称	制造厂家	Mil—P—28809 认可的限值($\mu gNaCl/in^2$)
Contaminometer	Protonique	—
Ion Chaser	Dupont	32.0
Ionograph	Alpha Metals	20.0
Omega Meter	Kinco Industries	14.0

5.6 PCBA 清洗总体方案设计

PCBA 清洗涉及的因素较多,其清洗总体方案设计如图 5.11 所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

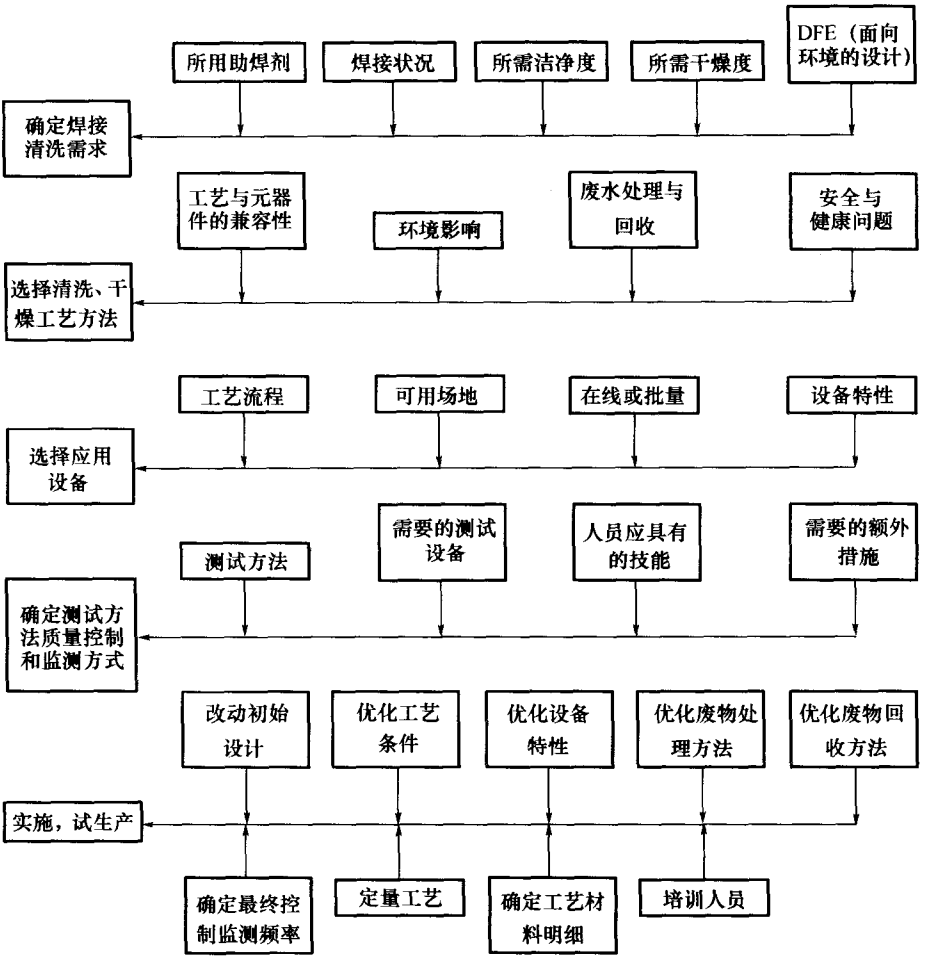


图 5.11　PCBA 清洗总体方案设计

5.7　免清洗技术

5.7.1　免清洗技术的现状

所谓免清洗，是指印制电路组件装焊结束后，受污染的程度轻微，不经清洗即可达到清洁度标准的要求。由于 PCBA 免清洗是绿色电子制造的重要内容之一，对保护环境具

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

有重要意义，因而受到业界的高度重视。以采用免清洗助焊剂进行装联焊接为代表的PCBA免清洗技术得到广泛应用。然而，免清洗技术是一个系统工程，需要多方面协同努力才能真正做到免清洗。因此，免清洗技术的现状是应用较广、问题不少。

当前PCBA免清洗技术存在的主要问题如下：

① 免清洗助焊剂的性能差，焊后板面欠干净，导致大多数采用免清洗助焊剂焊接（特别是波峰焊、烙铁焊）的组件仍需清洗，而这种清洗比采用非免清洗助焊剂更难；

② PCBA裸板制程中留下污染物，阻碍免清洗的实现；

③ 免清洗技术对助焊剂涂敷量和涂布均匀性以及焊接热规范的要求比较严格，要求采用比较高级的焊接设备和精细的工艺调整；

④ 重视表面质量有余，重视内在质量不足，基于传统认识，往往对免清洗组件的表面质量难以认可。

5.7.2 免清洗技术的未来

随着印制电路组件的装联密度日益提高，对组件可靠性的要求也越来越高，这是今后电子产品发展的总趋势，因此对组件装联后的洁净度提出了更高的要求，其应对策略主要是：

① 开发研制高性能免清洗助焊剂，力争做到高活性、低残留、作用（活化）温度范围大、价格合理、有利于环境保护等；

② 研究、试验不用助焊剂的焊接方法，如氢气中的再流焊、超声波波峰焊等。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



第6章　印制板组件的三防技术

6.1　三防技术的重要性

电子设备的防潮、防霉、防盐雾习惯上称为三防技术。三防性能的好坏不仅对电子产品而且对所有工业产品性能的稳定性和使用寿命具有重要影响。在20世纪30～40年代，工业产品的范围还局限于一般的机电产品，使用地区以温带为主，当时影响产品性能的环境因素主要是温度。在第二次世界大战期间，在远东湿热地区使用的电信设备由于三防性能差，经受不住高温、高湿、盐雾、霉菌、日光、震动、冲击等环境条件的影响，因而使50%的电信设备遭到损坏。美国在朝鲜战争期间，由于包装、运输、使用不当使武器装备的损失高达45%。1971年，美国在对机载电子设备全年故障进行的分析中，发现50%以上的故障与各种环境有关，其中由温度、湿度和震动三项环境条件造成的电子设备故障率占43.58%。我国许多产品因耐湿热能力弱，常发生光学镜头发霉、金属件锈蚀、塑料件变形、电气绝缘下降等情况；电器、仪表、自控设备经不起恶劣环境的影响，事故多、寿命短、维修量大；而环境条件对军用电子装备性能和服役寿命的影响显然更加敏感和重要。

由上可见，三防技术（更准确地说应该是产品的环境技术）已成为衡量一个国家工业发展水平和产品质量的重要标志之一。

6.2　三防技术的内容

电子设备三防技术是针对电子设备开展的有关环境影响、耐环境设计、防护技术、试验技术等方面的试验研究和工程应用的一项系统技术，它是考核产品对于环境的适应性与可靠性、研究产品故障或失效机理并提出提高产品质量办法的重要手段。三防技术的主要内容简述如下。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6.2.1 环境影响

电子产品的环境影响是指在产品的制造、储存、运输和使用中可能遇到的一切外界影响，包括自然环境（如气象条件和辐射等）影响和诱发环境（如震动冲击、电磁辐射等）影响。三防技术的首要在务就是弄清楚环境因素对电子产品在制造、储存、运输和使用全过程中的影响规律，为产品的结构设计、材料选择和表面防护等三防考虑提供依据。

6.2.2 防护措施

为保证电子产品的三防性能，从产品设计阶段开始，在考虑产品的电性能、机械强度的同时，还应从以下4个方面采取相应措施，提高产品的三防性能。

1. 材料优选

在满足产品结构要求的同时，合理的材料选择是防止产品被腐蚀、劣化和变质的重要手段之一。当然，合理选材是一个需要综合考虑各种因素的过程。在选用能抵御有害环境条件材料的同时，必须满足产品的电气、机械、物理、化学、制造、成本、资源等要求。

2. 工艺防护

采用热处理、机加工工艺可改善金属的金相组织，消除应力，改变零件的形状与表面粗糙度；表面钝化可提高金属的耐蚀性；电镀、油漆、金属及塑料喷涂也是常用的防护方法；绝缘密封和灌封处理都是有效的防潮、防腐蚀措施。

3. 结构防护

当材料优选和工艺防护尚不能达到三防要求或为了考虑经济因素，可采用相应的结构设计来提高电子产品的三防效果。

4. 隔离防护

采用密封、封闭等方法来控制腐蚀环境，改善电子设备的耐蚀性能。

www.789pdf.com 789书库网

6.2.3 环境试验技术

环境试验技术的研究和应用主要有两个目的：一是研究各种环境对产品的影响，以便为产品的结构设计、材料选用提供依据，提高产品预期使用环境的适应性；二是对研制成熟和生产的产品进行鉴定和验证，以便确定其对环境的适应能力，检查投产后产品对环境的适应能力是否有变化。

环境试验根据其在产品研制、生产各个阶段的目的可分为环境适应能力增长试验、环境合格鉴定试验、环境验收试验。

6.2.4 三防技术管理

为保证在产品寿命各阶段三防技术工作的顺利实施，应在产品研制时就制订三防工程管理大纲并加强实施过程的监督。

6.3 环境因素对电子设备的影响

在各类环境条件的作用下，电子设备中的材料、零部件、元器件都可能发生腐蚀和其他环境效应，从而降低设备的使用可靠性。

随着电子设备向微电子化、组装高密度化方向发展，以及电子线路的高阻抗和放大特性，金属稍有腐蚀，即会对整机机电性能产生比较明显的影响。

金属腐蚀的直接影响是电导、磁导、电感、电容、电子发射、电磁屏蔽等参量的变化。其间接影响有使金属表面氧化、沾污导致电位器出现噪声、开关元件接触不良、引线虚焊等。

环境因素对电子设备的影响程度视具体情况而定，如在储存环境中，产品受包装或仓库的保护，不会受到雨淋和太阳的辐射，随着储存时间延长，本来作用慢的影响因素（如臭氧和盐雾）反而成为主要的影响因素。在运输中，机械因素是主要的，作用慢的因素几乎不产生影响。在使用中，由于产品充分暴露于自然和诱发环境中，不仅起作用的因素更多，其严酷程度也更高。各种环境对产品在不同条件下影响的重要程度见表6.1。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6.1 各种环境因素对产品在不同条件下影响的重要程度

产品所处环境条件		环境因素																				
		地表	温度	湿度	压力	太阳辐射	淋雨	固体沉降物	雾	风	盐	臭氧	生物	微生物	大气污染物	沙尘	震动	冲击	加速度	噪声	电磁辐射	核辐射
储存		O	A	A	C	O	O	O	O	O	C	C	B	B	C	C	C	B	O	O	O	O
运输	公路	A	B	B	O	C	B	B	B	C	O	O	O	O	O	C	A	A	C	O	O	O
	铁路	A	B	B	O	C	C	B	C	C	O	O	O	O	O	C	A	A	C	O	O	O
	船	O	C	B	O	C	C	O	B	C	B	O	C	O	O	O	B	C	C	O	O	O
	飞机	O	B	O	C	O	C	C	A	B	O	O	O	O	O	C	B	B	B	O	O	O
使用	冷区	A	A	A	O	B	A	A	B	B	C	O	C	A	C	C	B	B	O	C	B	C
	湿热	A	A	A	C	B	A	O	O	B	B	O	C	O	O	O	B	B	O	C	B	C
	干热	A	A	O	O	A	O	O	O	B	B	O	O	O	O	A	B	B	O	C	B	C
	适中	A	A	A	C	B	A	B	B	B	B	C	C	B	C	B	B	B	O	C	B	C
	户内使用	O	B	B	O	O	O	O	O	O	O	O	C	C	C	B	C	O	O	O	B	C
存放		O	A	A	O	B	B	B	O	C	B	C	B	B	C	C	O	C	O	O	C	C

注:A——最重要;B——重要;C——不重要;O——不会遇到的环境。

设计和工艺人员应掌握各种环境条件对电子设备的影响规律,并做好三防设计和工艺防护,提高产品的环境适应能力。

影响电子设备三防性能的因素较多,下面介绍其主要的影响因素。

6.3.1 温度

温度可导致元器件物理损伤、参数漂移或性能下降,可以改变材料性能和几何尺寸并增加化学活性。化学侵蚀、腐蚀及其他有害过程都会因高温的作用而加快,许多绝缘材料在高温下会释放出有机挥发气氛,改变本身的电气特性,并对邻近的零部件、元器件产生腐蚀作用。具体影响如下。

(1) 高温效应

① 设备过热导致电路稳定性下降、元器件损坏、着火、低熔点焊缝开裂、焊点脱开,从

www.789pdf.com 789书库网

而缩短设备工作寿命。

② 因热老化，使橡胶、塑料产生裂纹和膨胀，导致绝缘失效。

③ 材料膨胀系数不一，使不同的零件黏结。

④ 降低润滑剂黏度，或润滑剂外流使连接处丧失润滑特性。

⑤ 改变材料的局部或全部尺寸。

⑥ 引起机械性故障或破坏完整性，包装、衬垫、密封、轴和轴承变形、粘结或失效。

⑦ 变压器和机电组件过热。

⑧ 改变继电器和磁动/热动装置的通/断范围。

⑨ 金属氧化，接点接触电阻增大，金属材料表面电阻增大。

高温对电子设备也有有利的一方面，如高温可以防止冷凝、驱赶湿气、保证设备的可靠性，高于40℃的温度还有抑制或灭杀微生物的作用。

(2) 低温效应

低温几乎对所有材料都会产生有害影响，因物理性能产生变化，使其功能受到暂时的或永久性的损伤，具体影响如下：

① 材料发硬、发脆，结构强度减弱，电缆损坏，蜡变硬，橡胶变脆。

② 温度瞬变过程因材料或零部件膨胀系数的差异使零件互相咬死。

③ 润滑剂粘度增加，流动性降低，减少或丧失润滑特性。

④ 元器件性能变化，如铝电解电容器损坏，石英晶体不振荡，蓄电池容量降低。

⑤ 结构失效，增大滑动件的磨损，衬垫、密封垫弹性消失，引起泄漏破裂，冲击强度降低。

⑥ 减震支架的刚性增加。

⑦ 受约束的玻璃产生静疲劳。

⑧ 水冷凝和结冰。

⑨ 穿保护服的操作人员的灵活性、听力、视力降低。

(3) 温/湿度的并存作用

温度和湿度的并存作用往往是影响电子设备性能、引起腐蚀的主要原因。在洁净的大气中，金属腐蚀与温/湿度的关系为

$$\text{大气侵蚀度} = \frac{(\Psi - 65)}{10} \times 1.045 \times t$$

式中，Ψ——大气的相对湿度；

t——大气温度(℃)。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

由上式可见，当大气相对湿度等于或小于65%时，在任何温度下金属都不易腐蚀；当相对湿度大于65%时，即便在洁净的大气环境中，金属也会生锈。实验结果表明，铁的腐蚀临界湿度为65%，锌的腐蚀临界湿度为70%。

温度下降而相对湿度升高，则会发生凝露。例如，在湿热地区，夜间温度较低，导致水汽凝结，而在温带，寒冷的夜晚可能引起湿气结霜。如在25℃且相对湿度为50%的情况下，当温度急降到10℃时，水汽会凝结成液态水，影响甚至破坏设备电气性能，或加速金属和非金属的腐蚀。

6.3.2 潮湿

设备和工程材料腐蚀过程中，水往往是主要的腐蚀物质。水是一种电解质，而且能溶解大量的离子，从而引起金属腐蚀；水还可以离解成 H^+ 和 OH^-，pH 的不同对金属的腐蚀具有明显的影响：在一定条件下，水还原的氢或氢原子渗入高强度钢和钛合金材料内，从而促进材料变脆和应力腐蚀开裂。

产品在大气条件下存放或工作时发生的大气腐蚀实质上是水膜下的电化学腐蚀，因此，无论是湿气、蒸汽还是液态水，它总要侵蚀金属和非金属，促进微生物的生成，潮湿是引起电子设备腐蚀的最主要因素。

潮湿对电子设备的环境效应如下：

① 金属氧化或电化学腐蚀降低机械强度，或因腐蚀或润湿剂变质使活动零部件卡死。

② 有机材料吸湿后降低或丧失机械强度，或发生膨胀而失去形状稳定性。

③ 绝缘材料电性能和热性能降低，如介电常数、点火电压、绝缘电阻、损耗角正切值增加等。

④ 表面有机涂层产生化学或电化学破坏。

⑤ 加速电化学反应。

⑥ 玻璃或塑料光学元件的透射能力降低。

⑦ 提供微生物繁殖条件，对玻璃、金属、有机材料产生侵蚀。

⑧ 设备内元器件、印制板、连接件等可因密封破坏形成电泄漏路径、降低介电强度和绝缘，或造成短路、断路。

6.3.3 盐分

盐是地球上普遍存在的化合物之一，大气中、地面上、江河湖海里都有它的踪迹。所

www.789pdf.com 789书库网

有的电子装备在其寿命周期内都有可能暴露在某种形式的盐分环境中，当盐分与潮湿空气结合形成盐雾时，其中所含的氯离子活性强，对金属保护膜有穿透作用，从而加速点蚀、应力腐蚀、晶间腐蚀和缝隙腐蚀等局部腐蚀，影响设备性能。

溶解在水中的盐分是电子设备加速腐蚀的另一个重要因素，特别在沿海地区和海洋环境中，海洋含有 3.5%～3.9%的盐，其严酷度达到最大值。空气中含盐量与离海岸距离的关系见表 6.2。

表 6.2　空气中含盐量与离海岸距离的关系

离海岸距离(km)		中低(0.01～0.1)	中(0.1～1)	大(大于 1.0)
空气中含盐量 (mg/m^3)	极地	1.92	—	—
	温带	19.2	1.92	例外
	热带	198.4	49.6	0.96

在零件加工、部件组装、整机装配以及运输存放过程中，产品都要与人接触，人的汗水既含盐分又含尿素、乳酸，这些均为腐蚀性介质，也可引起各种腐蚀。

电子设备裸露在盐雾环境中的效应大体可以分为腐蚀效应、电效应和物理效应：

(1) 腐蚀效应

① 电化学腐蚀。
② 加速应力腐蚀。

(2) 电效应

① 盐的沉积使电子设备损坏。
② 产生导电层。
③ 腐蚀绝缘材料及金属。

(3) 物理效应

① 机械部件及组合件活动部分阻塞或卡死。
② 由于电解作用导致漆层起泡。

6.3.4　微生物和动物

微生物侵蚀一般是指真菌、细菌及霉菌的危害。菌类以水、氧和氢作为养料，不仅

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

棉、毛织物和皮革可以作为霉菌的养料，合成材料（如层压板、灌封材料、包封树脂等）也可成为霉菌的养料。

霉菌生长会改变设备的物理性能、损害设备使用功能。微生物的影响包括：

(1) 损害效应

对材料产生直接破坏和间接损害：

① 设备表面在制造、储存、使用时会沉积汗迹、灰尘等污染物，促进霉菌生长，即使底材是耐霉材料也能引起底层材料的损坏。有机材料强度降低、损坏，活动部分受阻塞。霉菌吸附水分导致其他形式的腐蚀，如电化学腐蚀。

② 霉菌代谢的有机酸能造成金属腐蚀和氧化，光学透镜表面薄膜侵蚀，塑料和其他材料发暗或剥蚀。

③ 生长在易长霉材料上的霉菌与邻近抗霉材料相接触造成间接损坏。

(2) 物理影响

① 对电气和电子系统，霉菌的直接或间接破坏作用能损坏电气和电子装置，霉菌跨越绝缘材料表面繁殖生长时会破坏或降低绝缘强度，引起短路，影响精密调节电路的电气性能。

② 对光学装置的损害主要由间接破坏引起，长霉能影响光线通过，阻塞可动部分，使不潮湿的表面变成潮湿，从而导致表面性能下降。

③ 从健康与审美的角度考虑，设备上长霉能引起过敏等健康问题，或使人感到不愉快。

④ 破坏密封，引入潮气。

⑤ 微生物生长形成扩展性堆积物，造成保护层破坏、松动、裂缝和起泡。

⑥ 起泡时，下面的微生物堆积，形成半渗透层，引起金属表面的缝隙腐蚀。

⑦ 霉菌通过消耗固态和气态物质，破坏金属表面的电化学平衡，损坏抗蚀的钝化膜。

(3) 昆虫的影响

在热带、湿热地区，白蚁、昆虫等会带来如下影响：

① 毁坏结构。

② 破坏绝缘。

③ 引起短路。

电子材料的抗霉菌能力、白蚁的侵蚀作用分别列于表6.3和表6.4中。

www.789pdf.com 789书库网

表 6.3 各种材料的抗霉性能

Ⅰ组 不生霉材料(所有改性状态和等级均不生霉)	
丙烯酸树脂	聚碳酸酯
丙烯腈－苯乙烯	聚酯玻璃纤维层压制品
石棉	高密度聚乙烯(高于0.940)
陶瓷	聚乙烯对苯二甲酸酯
氯化聚酯	聚酰胺
氯化乙烯和丙烯的共聚物(FEP)	聚酰亚胺
玻璃	聚三氟氯乙烯
金属	聚丙烯
云母	聚苯乙烯
塑料层压材料	聚砜
聚硅烷玻璃纤维	聚偏二氯乙烯
酚醛尼龙纤维	硅树脂
磷苯二甲酸二丙烯酯	硅氧烷聚苯乙烯
聚丙烯腈	硅氧烷聚烯烃共聚物
Ⅱ组 生霉材料(经防潮、防霉处理后,材料可具有抗霉性能)	
丙烯腈－丁二烯－苯乙烯共聚物(ABS)	聚二氯苯乙烯
缩醛树脂	低中密度聚乙烯(0.940以下)
醋酸纤维素	有机玻璃
醋酸纤维素丁酯	聚氨酯
环氧玻璃纤维层压制品	聚蓖麻油酸酯类
环氧树脂	聚乙烯苯
润滑剂	聚氯乙烯醋酸乙烯酯
三聚氰胺甲醛	聚氟乙烯
多硫化合物	天然和人造橡胶
酚醛树脂	脲甲醛树脂

注:①霉菌试验按 GJB150.10 规定进行。经 28 天试验后,试样生霉等级 0 级或 1 级为合格;

②在某些条件下,部分微生物可侵蚀聚酰胺,但在军用材料分类中,聚酰胺划归Ⅰ组。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6.4 白蚁对材料的侵蚀倾向

无 侵 蚀	轻微侵蚀	显著侵蚀
陶瓷	聚三氟氯乙烯	聚酰胺
环氧树脂	聚四氟乙烯	聚丙烯
玻璃	橡胶	聚乙烯醇缩丁醛
三聚氰胺	软金属	聚氯乙烯
酚基塑料		
聚甲基丙烯酸甲酯		
硬聚氯乙烯		
合成蜡		

6.3.5 臭氧和腐蚀气体

1. 臭氧

臭氧在常温下为蓝色爆炸性气体，有特臭，是已知的最强氧化剂，具有广谱杀菌作用，其毒性和腐蚀性可损坏多种物品，加速绝缘材料的氧化，降低绝缘性能，发生跳弧、破裂、裂纹、脆化、粒化等现象，机械强度下降，影响材料功能。

2. 工业废气

随着工业的发展，全世界大气中含有的有害物质总量是十分惊人的，见表 6.5。

表 6.5 全世界大气中有害物质总量

污染物质	污 染 源	有害气体量($\times 10^8$t)
煤粉尘	烧煤设备	1.00
二氧化硫	烧煤、烧油设备	1.46
二氧化碳	汽车、工厂设备，不完全燃烧时排放的废气	2.20
二氧化氮	汽车、工厂设备，高温燃烧时排放的废气	0.35
碳氢化合物	汽车、烧煤、烧油设备和化工厂废气	0.88
硫化氢	化工厂排放的废气	0.03
氨	工厂排放的废气	0.04

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

受工业废气污染容易形成酸雨，一般农村雨水的pH为6.5，沿海地区为6.9，工业区为4.8，大工业区为4.2或4.0。据报道，1997年广东省因酸雨造成的直接经济损失超过40亿元。在含有工业废气污染的环境中，雨水、云雾、雪、露、霜和灰尘内都带有较大浓度的腐蚀介质，二氧化硫和其他硫酸盐明显地加速金属材料的大气腐蚀，硫的氧化物可使银变色发黑，增加导电接点之间的电阻，甚至引起打火，硝酸盐可以加速金属表面的腐蚀，等等。

3. 有机气氛腐蚀

设备、包装所用的木材、塑料、橡胶、油漆、胶粘剂等非金属材料在不同时间内会散发出微量的甲酸、乙酸、醛、酚、氨等挥发物，引起金属及镀层的腐蚀。气氛腐蚀比一般的大气腐蚀要严重得多，在温度为30℃、相对湿度为100%的条件下，乙酸含量的质量分数仅达到0.05×10^{-6}就能大大加速锌的腐蚀，而达到$0.5\sim10\times10^{-6}$时，会导致镁、锌、钢的严重腐蚀，镍、铜、铝的轻微腐蚀，在密闭空间内，还容易形成腐蚀性气氛源，黑色及有色金属处于甲醛、甲酸污染的空间内，其腐蚀产物是可溶的，腐蚀能够持续进行。典型有机材料挥发气氛对锌、镉镀层腐蚀程度的分类见表6.6。

表6.6 典型有机材料挥发气氛对锌、镉镀层腐蚀程度的分类

序号	类别	有机材料名称	腐蚀程度	
			镀镉层	镀锌层
1	涂料	虫胶漆	不	不
2		丙烯酸漆(溶剂)	不	不
3		聚氨酯漆	不	不
4		缩醛漆	不	不
5		环氧硝基漆	不	不
6		胺固化环氧树脂漆(双组分)	不	不
7	涂料	有机硅漆	不	不
8		硝基漆	轻	轻
9		氨基醇酸漆	轻	轻
10		环氧酯漆	轻	轻
11		沥青漆	轻	轻
12		过氯乙烯漆	腐	轻
13		油基天然树脂漆(酯胶漆)	腐	腐
14		不饱和聚酯绝缘漆	重	腐
15		酚醛树脂漆	重	腐－重
16		醇酸树脂漆	重	腐－重
17		油脂漆	重	重

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	类别	有机材料名称	腐蚀程度	
			镀镉层	镀锌层
18	浸渍制品	有机硅玻璃漆布	不	不
19		醇酸玻璃漆布	轻	轻
20		绝缘黄漆管	重	轻
21		黄漆绸(布)	重	重
22	塑料	聚酯薄膜(2820)	不	不
23		聚乙烯薄膜	不	不
24		聚丙烯塑料	不	不
25		聚氨基甲酸酯泡沫塑料(PAZ－1)	不	不
26		聚四氟乙烯	不	不
27		聚砜塑料	不	不
28		ABS塑料	不	不
29		聚甲醛塑料	不	不
30		聚氟乙烯耐寒管(5111)	不	不
31		聚苯酚醚塑料	不	不
32		聚碳酸酯塑料	不	不
33		有机硅树脂(1053)	不	不
34		环氧酚醛层压玻璃布板(3240)	不	不
35		环氧酚醛层压玻璃布板(3027)	不	不
36		酚醛压塑料(4013)	不	不
37		酚醛压塑料(17－1)	不	不
38		酚醛压塑料(35－1)	不	不
39		酚醛压塑料(FS202)	不	不
40	塑料	酚醛压塑料(FS501)	不	不
41		酚醛树脂玻璃纤维塑料(FS501)	不	不
42		酚醛层压纸板(3020)	不	不
43		导磁塑料板(349)	不	不
44		有机玻璃(甲级)	不	不
45		尼龙(1010)	不	不
46		铝塑薄膜	不	不

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	类别	有机材料名称	腐蚀程度	
			镀镉层	镀锌层
47	塑料	聚苯乙烯泡沫塑料(PBI－7)	不	不
48		酚醛压塑料(32－5)	轻	不
49		聚苯乙烯泡沫塑料(PBI－15)	轻	不
50		邻苯二甲酸二丙烯酯	不	轻
51		塑 11－10	不	轻
52		酚醛压塑料(FS602)	重	重
53	橡胶	硅凝胶(512)	不	不
54		硅氟橡胶	不	不
55		硅橡胶(6144)	不	不
56		丁苯生胶	不	不
57		丁苯橡胶(3308)	不	不
58		丁锂橡胶(284)	不	不
59		丁腈橡胶(5171)	不	不
60		丁腈生胶	不	不
61		丁腈氯丁橡胶(5860)	不	不
62		氯丁橡胶(4161)	不	不
63		天然橡胶(1142、1147)	不	不
64		乙丙橡胶(464)	不	不
65		海绵橡胶	不	不
66		氟橡胶	不	不
67		硬橡胶板	不	不
68		耐油石棉橡胶板	不	不
69		丁腈橡胶(5461)	轻	不
70		氯丁生胶	轻	轻
71		天然生胶	腐	轻
72		室温硫化硅橡胶(107)	轻	不

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	类别	有机材料名称	腐蚀程度	
			镀镉层	镀锌层
73	木材	软木	轻	不
74		椴木	轻	轻
75		杨木	轻	轻
76		桦木	轻	轻
77		白松	腐	不
78		红松	腐	轻
79		柳桉	重	轻
80		水曲柳	重	轻
81		榆木	重	轻
82	纸和纸板	醛胶桦木胶合板Ⅰ	轻	不
83		脲醛水曲柳胶合板Ⅱ	腐	不
84		脲醛椴木胶合板Ⅱ	腐	轻
85		加纳克隆胶合板Ⅰ	重	不
86		脲醛榆木胶合板Ⅱ	重	不
87		豆胶桦木胶合板Ⅳ	重	不
88		牛皮纸	不	不
89	纸和纸板	聚酯薄膜青壳纸	不	不
90		电话纸(DH－50)	不	不
91		马粪纸板	不	不
92		白色仿羊皮纸	不	不
93		电绝缘纸板	不	不
94		电容器纸(DK－1)	不	不
95		19#气相防锈纸	不	不
96		桑皮棉纸	不	不
97		三醋酸纤维纸	轻	不
98		电缆纸(K－12)	轻	不
99		夹纸胶纸(3020)	轻	不
100		硬钢纸板	轻	不
101		石蜡纸	轻	不
102		软钢纸板	腐	不

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	类别	有机材料名称	腐蚀程度	
			镀镉层	镀锌层
103	润滑脂	润滑脂(ZT7007)	不	不
104		低温润滑脂(2#)	不	不
105		二硫化钼特种润滑脂(3#)	不	不
106		精密润滑脂(特 7)	不	不
107		洗涤汽油(180#)	不	不
108		防锈油(53#)	不	不
109		防锈油(101)	不	不
110		防锈油(217)	不	不
111		精密仪表油(16#)	不	不
112		变压器油(DB－25)	不	不
113		乙基硅油(4#)	不	不
114		仪表滑油(HY－8)	不	不
115		高温仪表油(4116)	不	不
116		机油(HJ－20)	不	不
117		润滑脂(KK－3)	轻	不
118		航空液压油(YH－10)	轻	不
119		润滑脂(ZT221)	轻	不
120	胶粘剂	橡胶液(XY401)	不	不
121		环氧树脂(6101)	不	不
122		环氧树脂(618 咪唑固化)	不	不
123		聚氨酯胶粘剂	轻	不
124		胶粘剂(502)	腐	腐
125		甲醇胶	重	腐
126	腻子	多硫密封腻子(211)	轻	不
127		多硫密封腻子(102)	轻	不
128		硝基腻子(Q07－5)	轻	轻
129	纤维品	苎麻线	不	不
130		油鞣革	不	不
131		工业毛毡(白色)	轻	不
132		细原色棉线	轻	轻

注：不——不腐蚀；轻——轻腐蚀；腐——腐蚀；重——重腐蚀。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6.3.6 辐射

1. 太阳辐射

在地面和低大气层中使用无遮蔽储存的设备时，太阳辐射所产生的效应如下：

(1) 热效应

太阳光谱的红外部分(7 800Å)可以产生热效应，其热吸收量或放射量与被照射物体表面的粗糙程度和颜色有关。除了不同材料之间的膨胀有差异外，太阳辐射强度的变化还可以导致设备各个部件以不同的速率膨胀或收缩，引起严重的应力和降低结构的完整性。太阳辐射的热效应有：

① 活动机件卡死或松动。
② 焊接和胶粘零件强度降低。
③ 强度和弹性发生变化。
④ 联动装置准确度下降或失灵。
⑤ 密封完整性降低。
⑥ 元器件性能发生变化。
⑦ 电接触过早动作。
⑧ 色标部件褪色。
⑨ 合成橡胶和聚合物的性能发生变化。
⑩ 涂层和其他保护层起泡和脱落。
⑪ 封闭化合物软化。

(2) 光化学效应

太阳辐射造成的某些损坏可归因于光谱的其他成分，尤其是紫外部分(3 800Å)。其反应速率随温度升高而加快。非金属尤其是有机物和合成材料最易受太阳辐射的影响，天然和合成橡胶会受到短波长辐射的光化学作用，导致性能迅速劣化，塑料失去光泽，油漆龟裂、褪色，聚合物的强度和韧性降低等。

2. 核辐射

核环境会产生中子、β射线、γ射线，某些中子及γ射线还会穿透屏蔽物，加速中子会引起永久性损坏，二次辐射的中子及γ射线会引起瞬时效应。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. 宇宙射线辐射

宇宙射线由质子及α射线组成，其中90%为质子，7%为α射线，1%为电子，另外还有γ射线等。宇宙射线对材料损坏较轻，但其中α射线的直接辐射对设备损坏较大。

6.3.7　沙尘

干热地区空气中悬浮的沙尘在其他地区也有季节性的存在，而且是影响电子设备环境适应性的重要因素之一。

尘埃往往在工业地区出现，其中包含大量焦油产物、灰及煤烟，风刮起的干燥粉末状沙石也是尘埃的一部分。

设备暴露在海洋和尘埃环境时引起的问题如下：

① 表面磨蚀，机械卡死，轴承损坏。

② 渗入密封结构中，吸附水分，降低材料的绝缘性能。

③ 电路劣化，静电荷增多，产生电噪声。

④ 活动部件和过滤器阻塞，影响功能，电气性能发生变化。

⑤ 配合部件受到物理性干扰。

⑥ 高温下粘土颗粒产生放热效应，放出的热能引起高温腐蚀，产生硬的且有腐蚀性的颗粒。

6.3.8　压力

潜艇使用的电子设备除构件受应力腐蚀外，通常没有特殊的腐蚀问题。但对于航天、航空等电子设备，在非密封舱工作时会出现以下问题：

① 在较低气压下出现绝缘击穿、跳弧、电弧、电晕等放电现象，产生臭氧，电气设备工作不稳定或出现故障。

② 冷却不良，设备温度升高，缩短工作寿命。

③ 在高空飞行及返回地面的多次循环中，气压变化可引起密封泄漏，产生冷凝，导致腐蚀，电气性能变化，机械强度下降。

④ 低气压下发生容器破裂、爆裂膨胀。

⑤ 真空环境下，产生有机材料分解、蜕变、放气、蒸发、冷焊等现象。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6.3.9 机械环境条件

1. 风

风可引起机械强度下降,结构失效,影响功能或发生机械堵塞,加速磨损,加速高/低温影响。

2. 震动

震动引起机械应力疲劳,导致晶体管外引线、固体电路的引脚、导线折断,金属构件断裂、变形、结构失效,连接器、继电器、开关的瞬间断开,电子插件性能下降,陀螺漂移增大或出现故障,加速度表精度降低,输出脉冲数超过预定要求,导头特性和引信装置的电气功能下降,粘结层和键合点脱开,电路中产生噪声或瞬时短/断路现象。

3. 冲击

冲击应力使结构失效,机件断裂或折断,电子设备瞬时短路。

4. 噪声

低频噪声影响与震动相同。高频噪声影响设备、元件的谐振,电子管、波导管、速调管、磁控管、压电元件、继电器、传感器活门、开关、扁平的旋转天线等均会受影响,可能导致失效。

5. 加速度

加速度产生机械应力,使结构变形和破坏,或由于液压增加造成漏液。

6. 爆破环境

爆破环境可造成严重的机械应力,使设备破裂或结构损坏。

6.3.10 人为的侵蚀环境

电子设备在制造、储存、运输、维修和使用期间,都有可能受到各种类型的人为侵蚀,详见表6.7。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6.7 人为的侵蚀

环境条件	产生条件	腐蚀阶段	侵蚀材料
腐蚀液	洗涤	制造	绝缘、元件
高温	包封料放热	制造	绝缘、元件
高温	包封料固化	制造	绝缘、元件
高温	无冷却或短路	试验或使用	绝缘、元件
臭氧	焊接	制造或储存	橡胶
酸	洗涤不彻底	制造	金属
空气	不适当的包装	制造或储存	导体表面
腐蚀气体	纸中的硫	制造或储存	银
腐蚀气体	未充分固化的有机物	储存	金属、塑料
腐蚀气体	包装材料	储存	镉、其他金属
腐蚀气体、酸	过热的绝缘材料	试验或使用	金属、导体
腐蚀气体	推进剂	试验或使用	塑料、金属
油或油脂	泄漏	储存或维修	镉、油漆
积水	设计不良	储存	任何材料
双酯油	润滑油	储存	氯丁橡胶、塑料

6.3.11 复合环境的影响

各种环境因素往往会综合作用于产品，因此对环境防护也要采取综合性措施。表6.8介绍了各种环境因素相互作用的可能影响。

表 6.8 各种环境因素的互作用的影响

高温和低温	高温和低压	高温和盐雾
高温将提高湿气浸透速度，从而加大湿度的锈蚀影响	压力降低时，材料的放气现象增强，温度升高，放气速度加快，因此，这两种因素起相互强化的作用	增大盐雾可造成锈蚀速度加快

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

高温和太阳辐射 增大对有机材料的影响	高温和生霉 微生物生长需要一定的温度，但超过71℃后，则难以出现生霉现象	高温和沙尘 沙尘的腐蚀作用由于高温而加速
高温和臭氧 从150℃开始，臭氧减少，在约270℃以下，通常压力下臭氧不能存在	高温和冲击震动 相互强化对方的影响，聚合物要比金属更容易受这种综合作用的影响	高温和爆炸空气 温度对爆炸空气的点燃影响很小，但作为一种重要的因素，空气中水蒸气的确有影响
低温和低压 加速密封等环境下的漏气	低温和太阳辐射 低温将减少太阳辐射的影响；反之亦然	低温和盐雾 低温可以减缓盐雾的侵蚀速度
低温和湿度 湿度随温度的降低而减小，但低温会造成湿气冷凝，温度更低还会出现霜冻和结冰现象	低温和沙尘 低温可以增大沙粒的侵透性	低温和霉化 低温可减少生霉作用，在0℃以下，霉化现象呈不活动状态
低温和臭氧 较低温度下，臭氧影响减弱，但随着温度的降低，臭氧的浓度会增大	低温和冲击振动 低温会强化冲击和震动的影响，但这只是在非常低的温度下出现	低温和爆炸空气 低温对爆炸空气的影响极小，但作为一种重要因素，空气－水蒸气比则有影响
湿度和生霉 湿度有助于微生物的生长，但对它们的影响无促进作用	湿度和低压 湿度可以增大低压影响，特别对电子或电气设备更是如此，影响的程度取决于温度	湿度和盐雾 高湿度可以冲淡盐雾浓度，但它对盐侵蚀作用没有影响
湿度和震动 增大电子材料的分解速度	湿度和沙尘 沙尘对水具有自然的亲和性，因而增大磨蚀作用	湿度和太阳辐射 湿度可以增大太阳辐射对有机材料的侵蚀影响
低压和震动 对所有的设备都会起到强化影响的作用，电子和电气设备的影响最为明显	低压和加速度 伴随高温环境，这种综合才是重要的	盐雾和沙尘 这种综合可以增大磨蚀作用
盐雾和震动 将增大电气材料的分解速度	沙尘和震动 振动有可能增大沙尘的磨损效应	加速度和震动 在高温和低气压下，这种综合会增大各种影响

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6.4 电子设备的三防

6.4.1 电子整机三防

电子整机三防包括电子设备所有零部件的三防设计、材料选择和三防工艺防护，涉及的内容很多且不属于本书介绍的范围。下面主要介绍印制电路组件的三防技术。

6.4.2 印制板组件的保护涂覆

1. PCBA保护涂覆的目的

PCBA三防处理的主要方法是保护涂覆，也称覆形涂覆，其目的是：抵御恶劣环境对电路和元器件的影响；增加元器件与基板之间连接的机械强度和可靠性，不仅达到长期防潮、防霉、防盐雾侵蚀，还可防止因温度骤变而造成的“凝露”以及使印制导线或焊点间漏电增加、短路甚至击穿的缺陷。对于工作在高电压或低气压条件下的PCBA或组装密度高、元器件I/O端子间间距细小的PCBA，保护涂覆尤为重要。

根据电子产品使用时对环境的要求，美国IPC(The Institute for Interconnecting an Packaging Electronic Circuits)将电子产品分为三类：

① Class1——消费类电子产品(一般电子产品)；

② Class2——工业电子产品(计算机、通信设备等)；

③ Class3——高可靠电子产品(军用电子产品、高密度组件等)。

对高可靠电子产品，一般均应进行保护涂覆。

2. 涂覆材料

(1) 对涂覆材料的要求

PCBA的保护涂覆材料属于特种涂料，应具备如下要求：

① 有较好的电性能，即 $\tan\delta$ 和 ε 值要小，ρ_v 和 E_b 值要高，涂料的电性能随温度、湿度的变化要小；

② 防潮性能好，受潮后在正常条件下能迅速恢复原有性能；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③ 抗霉、耐盐雾；

④ 对基板及元器件有良好的粘接性和柔韧性，能承受 -60～+125℃反复温度冲击(20 次以上)，不开裂不脱层；

⑤ 涂料应是聚合型的，以减少溶剂挥发留下针孔的可能。聚合条件应在 70℃，3h 以内；

⑥ 涂料不能引起 PCB、金属镀层、焊料、元器件表面变色、起皱、溶蚀；

⑦ 涂层应无色透明(可添加附加物使其发荧光)，不掩盖或减弱元器件上的标志，涂层光滑、连续、均匀，不应有气泡、针孔、起皱、龟裂、脱层等现象；

⑧ 有良好的工艺性，可采用浸涂、喷涂、刷涂等工艺，表干速度快。

(2) 常用涂覆材料

根据 MIL—46058C(1982)、BS5917(1980)、IPC—CC—830(1984)标准，PCBA 用保护涂覆的涂料可分为：

① AR：丙烯酸树脂；

② ER：环氧树脂；

③ SR：有机硅树脂；

④ UR：聚氨酯；

⑤ XY：聚对二甲苯(气相沉积)；

⑥ FC：氟碳树脂。

国内外 PCBA 常用保护涂料对照表见表 6.9。PCBA 常用保护涂料的性能见表 6.10。

表 6.9 国内外 PCBA 常用保护涂料对照表

名称	国际通用标号	涂料牌号(厂家)	生产厂	国外同类典型牌号	国外生产厂家
丙烯酸树脂	Type AR	B01-4 B01-34 B01-30 B01-15	上海油漆厂 天津油漆厂 西北油漆厂	Conap CE-1170 Conap CE-1171 Amicon UV-920 TB31 TB73 PC20M PC20-35M PC21M PC-725	Conap, Inc Conap, Inc W.R.Grace&Co Humi Seal Div Humi Seal Div Hysol Div Hysol Div Hysol Div 3M

www.789pdf.com 789书库网

（续）

名称	国际通用标号	涂料牌号（厂家）	生产厂	国外同类典型牌号	国外生产厂家
环氧	Type ER	H31－3（EM－1504）	上海开林油漆厂 甘肃油漆厂	R84－G EPOCAST 8122－31A/B 2A53 PC12－007M PC16M PC7M ENVTBAR UV1244T	Co－polymer Chemicals. Inc Furane fRoducta Div Hvimseal Div Hysol Div Hysol Dic Hysol Div Vnion Carbode Co.
有机硅	Type	GT－912 GN522 DC1－2577	晨光二厂 晨光研究所 电子部十所（分装） 上海南科电子有限公司（代理）	1－2577 X3－6614 1－2620 3140－RTV With 1204 Prirner 1－2577 UVI 1－2620 UVI 3－6614 UVI SR－900 R－1075 SWS－T－81	Dow Corning Corp Dow Corning Corp Dow Corning Corp G.E.Co. McGhan Nvsil Co. SWS Silicones Co.
改性聚丁二烯		GPSF－9203 GPSF－8301	上海闵华精细化工厂 哈尔滨化工研究所		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

名称	国际通用标号	涂料牌号（厂家）	生产厂	国外同类典型牌号	国外生产厂家
聚胺酯	Type UR	S31－1 S01－3 S01－6 PPS 7385 7182	天津油漆厂 西北油漆厂	AVCAPtype TC 538A Conathane CE－1155 CE－1164 CE－1166 Uralane 5750A/B(LV) 2A64 PC29M 361 PR1566	Capsvlated Systems. Inc Conap. Inc Conap. Inc Conap. Inc Furane Products Div Hurniseal Div Hysol Div Loctite Conporation And Chemical Corp
聚对二甲苯	Type XY	派拉纶 C 派拉纶 N	江苏化工研究所 上海三吉电子有限公司（电子 20 所）	GALXYL“C” GALXYL“N” Parylene C Parylene N Parylene D Parylene E	Monteflvos S.P.A Monteflvos S.P.A Specialty Coating Systems, Inc Specialty Coating Systems, Inc Specialty Coating Systems, Inc Specialty Coating Systems, Inc

表 6.10　PCBA 常用保护涂料的性能

性能＼材料	丙烯酸	聚氨酯	环氧	有机硅	聚酰亚胺	聚对二甲苯	改性聚丁二烯
体电阻率 ρ_v(Ω·cm)	$10^{12}\sim10^{14}$	$10^{11}\sim10^{14}$	$10^{12}\sim10^{15}$	$10^{13}\sim10^{15}$	$10^{15}\sim10^{16}$	$10^{15}\sim10^{16}$	$10^{12}\sim10^{14}$
介电系数 ε	3.8～4.2	3.8	3.4	2.6～2.8	3.2～3.8	2.65	2.5～2.8

www.789pdf.com 789书库网

（续）

性能 \ 材料	丙烯酸	聚氨酯	环氧	有机硅	聚酰亚胺	聚对二甲苯	改性聚丁二烯
损耗角正切 tanδ	3.5×10^{-2}	3.4×10^{-2}	2.3×10^{-2}	3.5×10^{-3}	5.7×10^{-3}	8×10^{-4}	5×10^{-3}
CET (10^{-5}/℃)	5～9	10～20	4.5～6.5	6～9	4～5		
耐热性(℃)	120	120	130	180	220	130	120

(3) 涂覆材料的选择原则

涂覆材料的理化性能和工艺性能各有差异，应根据具体使用要求和具备的工艺条件慎重选定相应的涂覆材料。

① 丙烯酸树脂(AR)：电性能好、工艺性好，适用于室内使用的 PCBA，可浸涂、喷涂、刷涂；

② 环氧树脂(ER)：有良好的电性能和优良的附着力，工艺性良好，但在聚合时会产生应力，对易脆裂的元器件需进行特殊保护，可浸涂、喷涂、刷涂；

③ 有机硅树脂(SR)：电性能优良，防潮性好，适用于高频和高温工作 PCBA 的涂覆，可浸涂、喷涂、刷涂；

④ 聚氨基甲酸酯树脂(UR)：耐湿热和耐盐雾腐蚀性好，双组分，两个组分配合之后的使用时间小于 30min，可浸涂、喷涂、刷涂；

⑤ 聚对二甲苯树脂(XY)：由环二体对二甲苯，在特定的真空设备中，气相沉积聚合，以 6～12μm 厚的极薄的膜覆于 PCBA 上，适用于高频组件；

⑥ 改性聚丁二烯涂料(GPSF－9203、GPSF－8301)：高频性能好，适用于高频组件。

3. 涂覆工艺

印制板组件三防保护涂覆工艺流程如图 6.1 所示，其主要工序包括准备、清洗、保护、驱潮、涂覆、检查、聚合、元件加固、检验。PCBA 的三防处理是一个比较复杂、细致的工艺过程。

(1) 准备

准备工序的主要内容如下：

① 按照面向制造的原则，与电路设计师共同确定便于实施三防处理的印制板组件设计方案；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

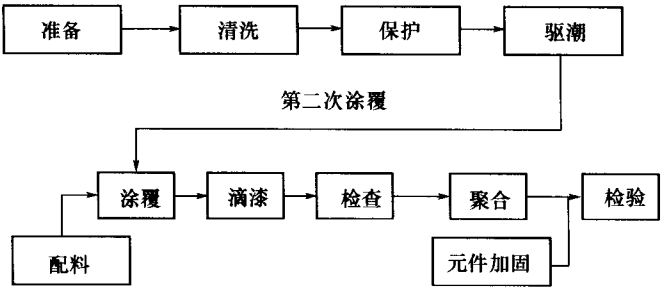


图 6.1 印制板组件三防保护涂覆工艺流程

② 确定需局部保护的部位及保护用器材;

③ 准备挂具;

④ 确定实施工艺:涂覆方法、驱潮温度、聚合温度、时间等。

(2) 清洗

在印制板组件的制造过程中,从基板上的电路图形制造到元器件组装,不可避免地要在组件表面留下各种污染物,如不彻底清除,定会对组件的可靠性产生严重影响,所以清洗是涂覆前一道十分重要的工序。

① 污染物的影响。

印制板组件表面残留的各种污染物及其产生的不良影响见表 6.11。

表 6.11 各种污染物对 PCBA 的影响

污 染 物	对 PCBA 的影响
极性物或离子型(氯化物、活化剂)	降低绝缘电阻,漏导增加,元件或电路被腐蚀,吸湿性增加
非极性物或非离子型(松香、油脂)	外观差,可通过尘埃吸附极性污染物,与保护涂覆层粘接力差,粉化

② 清洗剂与清洗方法。

• 清洗剂。

清洗剂的选择主要应根据污染物的种类而定,见表 6.12,此外,还应兼顾经济性、与基板的兼容性、安全性,与环境的兼容性、操作性,斑痕特性等因素。

www.789pdf.com 789书库网

表 6.12　污染物和清洗剂的一般分类

污　染　物	清洗剂
极性污染物(离子型)	极性溶剂 水或乙醇
非极性或非离子型污染物	非极性溶剂 1,1,1－三氟乙烷 ＊氯氟烃 F113

注：＊表示被禁用。

由于大多数污染物都是极性和非极性物质的混合物，为了保证将污染物完全除去，需采用极性与非极性溶剂配成的共沸液清洗剂。常用的是在氯氟烃 F113 中加入 2.8%～6.1%的乙醇，使清洗剂中有极性与非极性的溶剂，而且还要添加少量(0.2%)的稳定剂，如硝基甲烷等，以防止金属表面被腐蚀。

• 清洗方法。

由上述可知：F113 被禁用，它消耗高空臭氧(O_3)层，破坏环境，所以清洗方法主要是替代 CFC 清洗、半水清洗和水清洗，如图 6.2～图 6.4 所示。

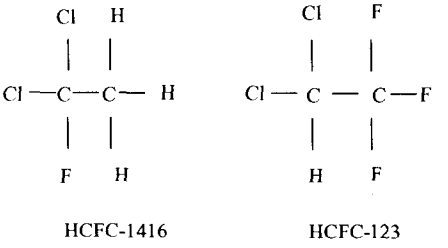


图 6.2　替代 CFC 的化学结构式(与 F113 相近)

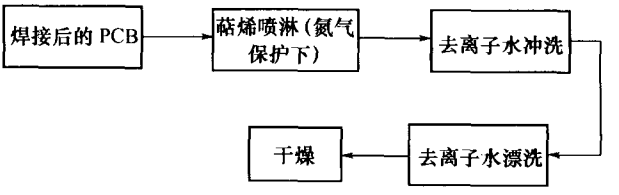


图 6.3　半水清洗工艺流程

③ 清洗质量评定方法。

• 目测法。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

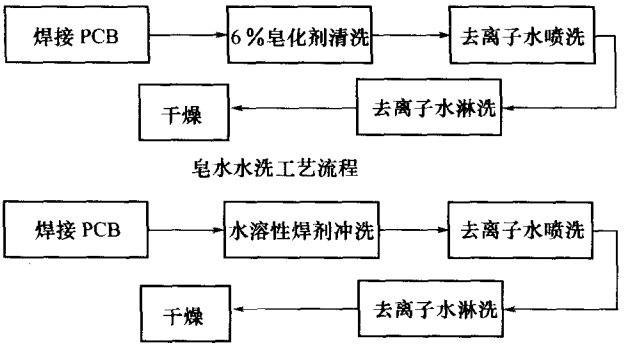


图 6.4　水清洗工艺流程

采用 2～10 倍的光学显微镜观察印制板组件表面的污染物。此法很简便,但只能检测较大的污染物,且不能检测组件表面的绝缘性能。

• 溶剂萃取法。

将组装好的印制板组件浸入测试溶液中,再测试出该溶液的电导率并计算出组件单位面积含有的氯化纳含量(以微克表示)。

• 表面绝缘电阻(SIR)法。

采用此法必须在印制板上附加测试电极图形或采用标准电极样板。IPC 规定的印制板组件的 SIR 值见表 6.13,其测试条件(等同生产环境)如下

a. 相对湿度:RH=85%～95%;

b. 温度:65℃ ±2℃(对军用产品),50℃ ±2℃(对民用产品);

c. 测试电压:100V,直流;

d. 在测试室中的滞留时间:最长为 1h;

e. 在潮湿测试室中,采用电阻率大于 4MΩ 的纯水。

表 6.13　印制板组件表面清洁度值

类别	SIR(Ω/□)
Ⅰ(民用)	1×10^8
Ⅱ(工业)	1×10^8
Ⅲ(军用/高可靠)	5×10^8

(3) 保护

对印制板组件上不允许涂覆的部位(如印制插头、微调磁芯、微调电容和电位器等),必须采用保护膜或专用夹具等办法进行保护。保护器材既不能妨碍涂覆的实施,又不能

www.789pdf.com 789书库网

在被保护部位残留痕迹。

进行局部保护的组件需经检查确认无误后，方可进入下道工序。

(4) 驱潮

经清洗，局部保护的印制板组件在涂覆之前必须进行预烘驱潮。根据组件的不同耐热情况，可选用下列不同的预烘规范：

① 80℃、2h；

② 70℃、3h；

③ 60℃、4h；

④ 50℃、6h。

(5) 涂覆

目前，印制板组件的三防涂覆方法除了 XY 型聚对二甲苯需采用真空气相沉积工艺外，一般采用的方法是浸涂、喷涂、刷涂和选择性喷涂。

① 涂覆环境。

需要涂覆的印制板组件在经清洗和驱潮后，应保持干燥和清洁直至进行涂覆。涂覆时固化场所应保持无尘，操作人员必须穿戴工作衣、帽、手套，并注意通风、防火、防爆。

② 浸涂。

将要涂覆的印制板组件缓慢地浸入液态涂料槽中，使涂料完全取代环绕组件的空气，鼓泡停止后即可取出，保证组件表面获得一层均匀一致、一定厚度和连续不间断的覆盖层。

浸涂方法的关键是涂料的粘度和组件从涂槽中提起的速度。速度太快会使涂覆层产生气泡，速度太慢又会因溶剂的蒸发使涂覆层无法流平。通常的速度不超过 1m/min。

对装有可调电容器、可调磁芯、可调电位器及不密封器件(如晶振)的组件不能采用浸涂工艺。

③ 喷涂。

喷涂法又分为手工喷涂和机器涂覆，它们都是目前对印制板组件进行三防涂覆中应用最多、效率最高、适合于大批量生产的方法。

喷涂法可将涂料/稀释剂、喷射压力、喷涂模式等参数进行综合优化设置，因而可得到可靠的、连续的涂覆结果。

此法适用于组装密度不太高、需局部保护部分不太多且要求不十分苛刻的组件。

④ 刷涂。

刷涂法效率很低，涂覆层质量差，厚度不均匀，有气泡，适用于小批量或样机生产、返修/返工后的涂覆，以及组装密度高、结构复杂、要求苛刻的组件。刷涂工艺消耗的材料

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

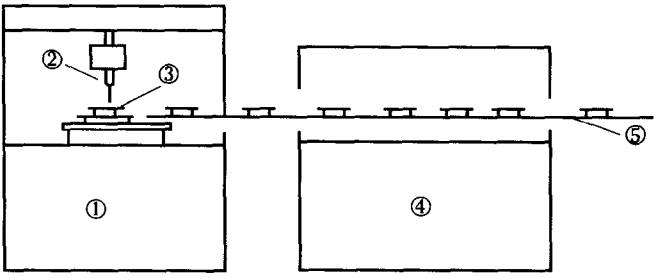
最少，最适用于双组分涂料和价格较贵的高频涂料的涂覆。

刷涂工艺对操作者要求较高。施涂前要仔细了解该涂与该保护的部位，做到不遗漏、不误涂、不沾污。

⑤ 选择性涂覆。

选择性涂覆是一种比较先进的采用数控系统的喷涂设备，其主要特点是：

- 对组件上不应涂覆的部位不再需要加以保护，省料省时；
- 用计算机控制以对组件板上所有需涂覆的部位进行喷涂；
- 有多种喷涂头，根据产品需要选用；
- 可精确控制喷涂位置，不污染邻近的非涂覆区；
- 适合于批量的流水线生产，如图 6.5 所示。



①—选择性喷涂设备；②—喷射分配器；③—PCB 组件；④—UV 固化或热固化隧道炉；⑤—传送带

图 6.5　选择性喷涂系统示意图

(6) 检查

在涂覆完毕但涂料尚未聚合之前，必须进行检查，其目的如下：

① 不允许涂覆的部位是否被污染；

② 元器件间是否有变形移位和短路现象；

③ 已表干，只涂覆一次(或已是第二次涂覆)；

④ 除去保护膜，防止保护膜污染元器件。

(7) 聚合

涂覆层聚合温度和聚合时间的确定要十分慎重。对聚合温度的设定，一是要满足涂覆层聚合条件的要求，同时还要不超过组件板上元器件所能允许的最高温度。常用的聚合温度为 80℃、70℃、65℃、55℃。聚合时间以涂料标准聚合温度为依据，聚合温度每降低 10℃，则增加一倍的聚合时间。对添加了光固引发剂的涂料，必须严格按产品说明书上规定的温度和时间执行。

www.789pdf.com 789书库网

对要求二次涂覆的涂覆层，必须在第一次涂覆层完全达到聚合温度和时间后，才能按规定工序实施第二次涂覆，以防止未聚合的涂覆层遇溶剂后产生溶蚀、溶胀或起皮。

(8) 元件加固

元件加固虽不属于三防处理范围，但必须在三防涂覆完成后进行。需局部加固的场合及注意事项如下：

① 设计文件规定需局部加固的元器件；

② 依靠自身引线支撑的元器件，为防止遇到冲击、震动时发生共振而产生歪斜，应予以局部加固；

③ 元器件质量大于 7 克，靠自身引线支撑的电阻、电容等元件；

④ 需加固的某些直立元件。

⑤ RJ 1/4W 和 RJ 1/8W 空心电阻，不能与加固材料接触，以免因热膨胀量差异引起电阻断裂。

局部加固一般采用单组分透明硅橡胶 GD404 或 GD401，其性能对比见表 6.14。

表 6.14　局部加固材料的性能对比

材　料	工艺过程	优　点	缺　点
GD404	从软管中挤到被封装元件上，自行流到基板上，形成支撑物 24 小时后，以 60℃ 烘半小时，使副产物逸走	透明，粘接性好	熟化过程中有醋酸释放，但对涂覆 PCB 无腐蚀
GD401		透明，熟化过程副产物无腐蚀	粘接力差

(9) 检验

最后一道工序是检验，其主要内容是：不该涂覆的部位是否被污染；应该涂覆的区域是否全部涂覆好了。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



第7章　金属粘接技术

7.1　金属粘接在微电子组装中的重要性

粘接技术是利用胶粘剂以及有效的粘接工艺，达到对粘接物进行连接的技术。如果被连接的是金属，则称为金属粘接，它是粘接技术中的一个重要领域。

在电子产品制造中，粘接技术特别是金属的粘接技术早已得到广泛应用。随着电子器件微小型化和组装无铅化的推进，采用导电胶来进行电子器件的封装（一级互连）和板级电路的装联（二级互连）已备受人们的关注。

当前，导电胶（特别是各向异性导电胶）在微电子组装中的应用是金属粘接技术在高技术领域中应用的一个十分重要的方面，其重要意义如下：

① 无铅、无毒、低挥发，有利于环境保护。

② 适用于细间距器件的电气互连，与采用传统的 Sn－Pb 焊料的电气互连相比，被互连的器件引脚（凸点）间距至少可以小一个数量级，可达到 40μm，有利于电子产品电气互连性能的提高和电气互连尺寸的进一步微型化。

③ 施工温度较低。采用传统的 Sn－Pb 焊料进行电气互连时的施工温度一般在 225℃以上，如采用无铅焊料，则其施工温度更高，因而给耐热较低的器件和材料的电气互连带来困难。热固化导电胶的互连温度为 150～170℃，光固化和微波固化导电胶的固化（互连）温度还要低一些。这不仅有利于热敏感元器件和材料的互连，还可降低对基板造成的热应力，从而节省能耗。

④ 简化了电气互连工序。在一级互连中，省略了底部填充工序。对于二级互连，则免去了助焊剂涂布和清洗工序。

⑤ 使互连图形简单化，免去了在互连基板上制作掩膜。

⑥ 互连缺陷少，互连接点柔性好，有利于抗蠕变。

⑦ 成本低。

基于上述特点，各向异性导电胶在细间距器件倒装芯片互连中得到了广泛应用。例如，金属粘接已用于液晶显示面板、硬盘驱动器磁头、高频通信、存储器模块、等离子体显

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

示器、光耦合器件、表面安装等封装/组装的互连中。

7.2 粘接机理

粘接是通过粘接界面产生的粘附力来实现的，对于其粘接机理有如下几种理论。

7.2.1 吸附理论

吸附理论认为：粘接力的主要来源是胶粘剂与被粘物表面分子间的作用力，这种作用力的作用过程是：

① 胶粘剂分子通过运动接近被粘物的表面。在这一接近过程中，如有加热、加压等外部条件，则对该过程会产生一定的促进作用。

② 当胶粘剂分子与被粘物表面接近从而达到一定距离时，胶粘剂与被粘物表面的分子会产生吸附力。根据理论计算，当两个理想的平面相距 1nm 时，吸附力可达 10～100MPa；当相距为 0.3～0.4nm 时，吸附力可达 100～1 000MPa。当然，理论计算只是在理想条件下的粘接强度，并不等于实际的粘接强度。

由于分子间的力在粘接中普遍存在，所以吸附力在粘接中也是普遍存在的。但它不是唯一的因素，也不是在任何情况下都是主导因素。

7.2.2 机械结合理论

机械结合理论是：任何被粘接物表面都是凹凸不平的，当液态粘接剂流于被粘物表面后，其凹凸不平的表面就会被填平。胶粘剂固化后就可使被粘物表面相互咬合而连接起来。这种机械咬合力的实质是一种摩擦力。为了提高粘接接头的粘接力，可以对粘接物表面进行适当的粗化处理。

7.2.3 相互扩散理论

这种理论认为，当胶粘剂涂覆在被粘物表面时，如被粘物表面是可以被胶粘剂溶解或溶胀的高分子材料，则胶粘剂与被粘物会越过界面相互扩散，从而产生扩散交织力。但对被粘金属表面，很难有扩散交织现象发生。

www.789pdf.com 789书库网

7.2.4 化学结合理论

胶粘剂中的化学活性基团与被粘物表面发生化学反应,形成化学键,产生化学键力,并在分子间力的共同作用下,实现被粘物的粘接。

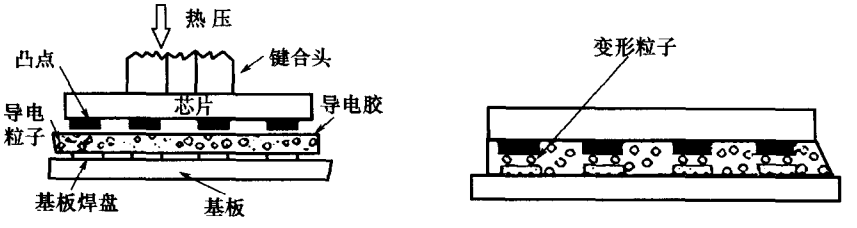
7.2.5 配位键理论

配位键理论的基础是酸碱理论:凡是在反应过程中能接受电子对的任何分子或离子都是酸;凡是在反应过程中能够提供电子的任何分子、离子都是碱。酸和碱的反应就是通过配位键生成酸碱综合物。

配位键成键的条件是成键的一方提供电子对,另一方提供接受电子对的空轨道。配位键一旦形成,就具有较大的结合能,成为粘接力的最普遍、最重要的来源。

7.2.6 各向异性导电胶应用机理

导电胶按其在各个方向上的导电性能分为各向同性导电胶(ICA, Isotropic Conductive Adhesive)和各向异性导电胶(ACA, Anisotropic Conductive Adhesive)。ACA 由高分子聚合物和均匀分布在其中的导电粒子组成。ACA 在电气互连中有着重要的应用,由 ACA 形成的电气互连结构原理如图 7.1 所示。在 IC 芯片凸点与基板上对应的焊盘之间夹着一定数量的 ACA 的导电粒子,借助这些变形的导电粒子可实现上凸点与下焊盘间的电气互连。而其他区域的导电粒子互不接触且密度分布很小,不足以形成导电通路,



(a) ACA 互连过程　　(b) ACA 互连结构

图 7.1　由 ACA 形成的电气互连结构原理

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

从而实现了各向异性电气互连。而且IC芯片与基板整体被ACA填充包封、固化，对电子封装起到了机械支撑和散热作用。

7.3 导电胶粘接技术

采用既有导电功能又有粘接功能的导电胶粘剂(也称导电胶)进行粘接的技术称为导电胶粘接技术，这种技术在电子器件封装和板级电路装联中得到了重要应用。

7.3.1 导电胶粘剂的分类和组成

1. 导电胶粘剂的分类

导电胶粘剂的分类如图7.2所示。

2. 导电胶粘剂的组成

导电胶粘剂由导电粒子、粘料和增韧剂等配合剂组成。

(1) 导电粒子

导电胶粘剂用导电粒子有金粉、银粉、铜粉、镍粉、羰基镍、钯粉、铝粉、锆粉、钴粉、镀银金属粉、镀银二氧化硅粉、镀银玻璃微珠、石墨、炭黑、银的硅化物、碳化硅、碳化钨、碳化镍、碳化钯等。部分导电粒子的电阻率见表7.1。

表7.1 部分导电粒子的电阻率

材料名称	电阻率(Ω·cm)	相当于汞电导率的倍数
银	1.62×10^{-6}	59
铜	1.69×10^{-6}	56.9
金	2.40×10^{-6}	39.6
铝	2.62×10^{-6}	36.1
锌	5.92×10^{-6}	16.0
镍	7.23×10^{-6}	13.8
锡	1.14×10^{-5}	8.3
铅	2.06×10^{-5}	4.6
汞	9.58×10^{-5}	1.0

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

材料名称	电阻率(Ω·cm)	相当于汞电导率的倍数
铋	1.06×10^{-4}	0.8
石墨	$10^{-3}\sim1$	$9.5\times10^{-2}\sim9.5\times10^{-5}$
炭黑	$10^{-2}\sim1$	$9.5\times10^{-2}\sim9.5\times10^{-5}$

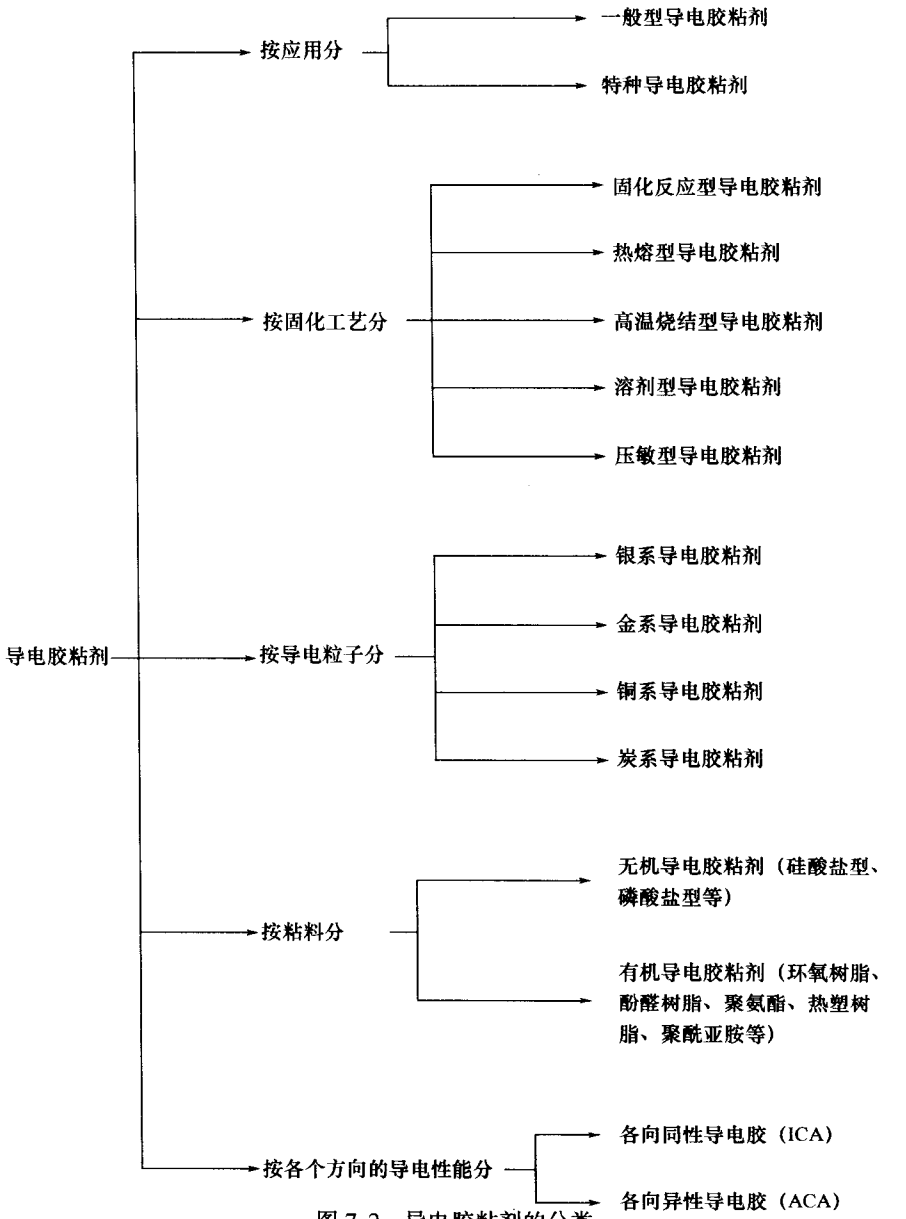


图 7.2 导电胶粘剂的分类

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 银粉具有优良的导电性和化学稳定性，可用于重要场合；其不足之处是价格较高，密度大，易沉淀，在潮湿环境中有迁移现象。但它仍是一种比较理想的应用最多的导电胶粘剂用导电粒子。

② 金粉也具有优良的化学稳定性和导电性，是导电胶粘剂中最理想的导电粒子；但其价格昂贵，只能用于可靠性要求非常高的产品上。

③ 铜粉、铝粉和镍粉具有较好的导电性，成本低；但在空气中易氧化，从而影响导电性，因此在使用时应加入相应的助剂，除去粉体表面的氧化层，提高导电性。

④ 炭粉、石墨粉成本低，密度小，分散性好；但导电性差，一般只用于屏蔽和防静电。

⑤ 将金属离子与树脂混合，经固化（或硫化）后粉碎可形成复合导电粒子，用这种粒子配置的导电胶具有较好的粘接强度。

此外，还有铜粉镀银粒子，炭粉、铝粉和中空玻璃球镀银粒子等导电粒子，这些粒子都各具特点和不同的应用。

（2）粘料

导电胶粘剂中粘料的作用是将导电粒子粘连成链状，使导电胶粘剂获得稳定的导电性并能使导电粒子与被粘物良好地接触。粘料性能对导电胶粘剂的粘接强度、耐热性、热老化性和固化工艺等有重要影响。

粘料有合成树脂、合成橡胶和一些无机盐等。

（3）配合剂

① 增韧剂。加入增韧剂可提高胶层的粘接强度。常用的增韧剂有聚乙烯缩醛、聚丁二烯环氧、丁腈橡胶和尼龙等。

② 固化剂。某些导电胶粘剂中需加入固化剂，有时也加入固化促进剂、稀释剂和偶联剂。

③ 溶剂。当采用酚醛树脂或热塑性高分子化合物为粘料时，需加入溶剂。选用的溶剂一定要对粘料有良好的溶解性，否则将使粘料发生凝聚。采用网板印刷的导电胶粘剂为防止涂膜干燥而使网眼堵塞，应采用挥发较慢的溶剂。

④ 非导电粒子。为减少导电粒子的用量，降低导电胶粘剂的热膨胀系数，可在导电胶粘剂中放入一定量的非导电性粒子，如玻璃粉、二氧化硅粉和氧化铝粉等。配胶时，应将非导电粒子与粘料和其他配合剂混合均匀后，再加入导电粒子，以保证较好的导电性。

⑤ 氧化物还原剂。当采用铜粉作为导电粒子时，为除去粒子表面的氧化层，应加入叔胺或酚类还原剂，使铜粉表面的氧化物还原。同样，采用镍粉为导电粒子时，也应加入相应的还原剂。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

⑥ 银迁移防止剂。选用银粉作为导电粒子时，为防止或减少银迁移缺陷，应加入适量的五氧化二钒或采用银和铜、银和镍、银和钯、银和钒、银和铟等混合粒子。

7.3.2 常用导电胶粘剂

常用导电胶的基本性能及应用范围见表7.2，国内其他环氧导电胶的组分、性能特点和施工工艺见表7.3。

表7.2 常用导电胶的基本性能及应用范围

类别		牌号	性能特点	电阻率 ($10^{-4}\Omega\cdot cm$)	固化条件	应用
环氧导电胶	银粉环氧导电胶	DAD-87	含有溶剂，单组分，糊状；导电、导热性好；耐热；使用方便；杂质少			① 可在 -60～175℃使用，短期可耐350℃ ② 用于塑封集成电路、中/小功率晶体管、二极管引线和PTC陶瓷等
		307	改性环氧树脂，多组分，无溶剂	2～3	150℃，1.5h	① 可一直在-45～100℃使用 ② 用于电刷引线、石英伺服加速计元件等
		DAD-8-3	室温固化	$1\times10^{-3}\Omega\cdot cm$ (A) $1\times10^{-2}\Omega\cdot cm$ (B)	室温，24h	用于电缆接地、电极引出、压电陶瓷、仪器仪表屏蔽、微波器件等
		DAD-54	单组分，配置容易，使用方便，导电性好，工艺性优良；可用于点涂或丝网印刷	1	120℃，3h或150℃，1～2h	可用于发光二极管、激光二极管、晶体管、集成电路等小片、小节点的导电连接

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

类别		牌号	性能特点	电阻率 ($10^{-4}\Omega\cdot cm$)	固化条件	应　用
环氧导电胶	铜粉环氧导电胶	254－2	环氧树脂：450 固化剂：铜粉 = 1：0.33：3.5	9.4(室温) 12(140℃)	室温，24h 或 80℃，1h	用于电视机、收录机、半导体收音机电源的连接
		254－6	双组分，涂胶工艺性好，可替代导电银浆	1		用于电子表的表芯连接等
	镀银粒子环氧导电胶	CLD－5	成本低，相对密度小，单组分	4.99×10^{-3} $\Omega\cdot cm$(18℃) 6.94×10^{-3} $\Omega\cdot cm$(80℃)		
酚醛导电胶	热固化	301	单组分	2～5	150℃，2h，2～3MPa	可在－40～100℃范围内使用
	室温固化	303	三组分，室温固化	2～5	室温	① 可在－40～100℃范围内使用 ② 用于非金属导电材料的粘接、收发报机的维修等

表 7.3　国内其他环氧导电胶的组分、性能特点和施工工艺

品种	主要组成	电阻率 ($\Omega\cdot cm$)	剪切强度 (常温)(MPa)	特点	施工工艺
307 导电胶粘剂	环氧树脂、银粉	$(2\sim3)\times10^{-4}$	>15	无溶剂，导电性好	150℃时需 1.5h
DAD－5 导电胶粘剂	环氧树脂、银粉	$(1\sim10)\times10^{-3}$	≥12	无溶剂，导电性好，粘接强度高	压力 0.05～0.1MPa，100℃时需 3h

www.789pdf.com 789书库网

（续）

品种	主要组成	电阻率（Ω·cm）	剪切强度（常温）(MPa)	特点	施工工艺
DAD－6导电胶粘剂	环氧树脂、银粉	约 1×10^{-3}	≥10	无溶剂，导电性好，粘接强度高	压力 0.05MPa，60℃时需5h
DAD－8－1胶粘剂	环氧树脂、增韧剂、银粉	$(1\sim10)\times10^{-3}$	17.4	室温固化，粘接强度较好，耐水性较好	接触压力，250℃时需24～48h
DAD－8－3胶粘剂	环氧树脂、增韧剂、银粉	$(1\sim10)\times10^{-3}$	17.7	室温固化，粘接强度较好，耐水性较好	接触压力，250℃时需24～48h
DAD－24胶粘剂	环氧树脂、银粉	$(1\sim5)\times10^{-4}$	7.33	工艺性、导电性优良	压力 0.05MPa，150℃时需2h或130℃时需2h
DAD－40胶粘剂	环氧树脂、银粉	$(1\sim10)\times10^{-4}$	6.97	室温固化，工艺性好	接触压力，室温48h或100℃时需1h
DAD－54胶粘剂	环氧树脂、银粉	1×10^{-4}	6.72	单组分、无溶剂，导电性优良	接触压力，120℃时需3h
DAD－70胶粘剂	环氧树脂、稀释剂、银粉	9×10^{-3}	≥7	无溶剂，工艺性优良，耐热性好	压力为50kPa，150℃时需2h
DAD－90胶粘剂	改性环氧树脂、银粉	5×10^{-4}	≥5	粘接强度高，耐热性好	压力为50～100kPa，100℃烘30min，升温至200℃烘2h
HH－701导电胶粘剂	环氧树脂、增塑剂、还原银粉	$(1\sim30)\times10^{-2}$	21～24.5	室温固化，配置简单	接触压力，室温下需4～5h，80℃下需1h，再在150℃下处理2～3h

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

品种	主要组成	电阻率（Ω·cm）	剪切强度（常温）(MPa)	特点	施工工艺
HH－711导电胶粘剂	环氧树脂、增韧剂、还原银粉	$(1\sim10)\times10^{-4}$	27～30	强度高，耐大气曝晒	接触压力，80℃下需1h，再在150℃下处理2～3h
J－17导电胶粘剂	改性环氧树脂、银粉	3.28×10^{-3}	21.5	耐介质、耐候性良好	压力为0.05MPa，160℃时需3h
SD－101导电胶粘剂	环氧树脂、银粉	$(1\sim10)\times10^{-5}$	15	单组分，导电性良好	180～190℃下需15min

7.3.3 国外导电胶粘剂简介

部分国外导电胶粘剂的种类和性能见表7.4、表7.5和表7.6。

表7.4 日本导电胶粘剂部分品种及性能

牌号	主要成分	供应状态	固化条件	粘接强度（MPa）	电阻率（Ω·cm）	主要用途
A－1	环氧树脂、银粉		130℃，1h	6.2	10^{-3}	微型电动机，放电加工，电阻引线
D－362	丙烯酸树脂、银粉	二液	25℃，3h	10N	10^{-4}	—
D－723	环氧树脂、银粉	二液	25℃，24h	1.0	10^{-3}	—
D－723S	环氧树脂、银粉	二液银白色	100℃，3h	2.9	10^{-4}	微型电动机，石英谐振器，液晶
D－435	酚醛树脂、银粉	一液	100℃，1h	20N	10^{-4}	—
D－753	酚醛树脂、银粉	一液	100℃，1h 150℃，0.5h	3.1	10^{-4}	微型电动机，石英谐振器，液晶
XA－119	酚醛树脂、银粉	一液银白色	150℃，0.5h	3.8	10^{-4}	电阻引线，小片电容

www.789pdf.com 789书库网

表 7.5 俄罗斯导电胶粘剂部分品种及性能

牌号	主要成分	使用温度(℃)	最高使用温度(℃)	电阻率(Ω·cm)
K-8	环氧树脂,银粉	-60~125	—	3.5×10^{-4}
K-11	粘料,银粉	—	125	$(3\sim8)\times10^{-4}$
K-12	粘料,银粉	—	125	$(0.4\sim2)\times10^{-3}$
K-13	粘料,银粉	—	125	$(1\sim5)\times10^{-4}$
K-17	粘料,银粉	—	170~180	$(0.8\sim4)\times10^{-4}$
K-20	粘料,银粉	—	80	$(5\sim10)\times10^{-3}$
K-21	粘料,银粉	—	250~300	$(2\sim4)\times10^{-4}$
K-22	粘料,银粉	—	155~200	$(4\sim5)\times10^{-4}$
KⅡ-1	粘料,银和钯粉	—	155	$(1\sim2)\times10^{-3}$
KⅡ-3	粘料,钯粉	—	155	$(2\sim3)\times10^{-4}$
KH-1	粘料,镍粉	—	100	$(0.5\sim2)\times10^{-2}$
KH-3	粘料,镍粉	—	155~200	$(2\sim3)\times10^{-3}$
KM-2	粘料,铜粉	—	155	$(5\sim10)\times10^{-3}$
KT-2	粘料,铜粉	—	155	5×10^{-2}
3HKC-2	环氧树脂,镀银镍粉	-60~80	—	1.0×10^{-2}
KTⅡ-1	环氧树脂,羰基镍	-60~80	—	6.0×10^{-1}
BK-20	聚氨酯树脂,银粉	-196~400	—	1.0×10^{-4}
磷酸盐导电胶粘剂	磷酸盐,铝的二硅化物	-60~510	—	4.2×10^{-2}

表 7.6 美国导电胶粘剂部分品种及性能

牌号	主要成分	供应状态	固化条件	粘接强度(MPa)	电阻率(Ω·cm)	室温储存期	主要用途
Able bond 20-1	环氧树脂,银粉	一液糊状	150℃,30min	—	3×10^{-4}	2周	集成电路小片部件安装,可进行网状印刷
Able bond 36-2	环氧树脂,银粉	一液糊状	150℃,30min	—	1×10^{-4}	1周	集成电路小片部件安装,可进行网状印刷
Able bond 58-1	环氧树脂,银粉	一液糊状	150℃,30min	8.75	5×10^{-4}	4周	集成电路小片部件安装,可进行网状印刷

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

牌号	主要成分	供应状态	固化条件	粘接强度（MPa）	电阻率（Ω·cm）	室温储存期	主要用途
Able bond 55－1	环氧树脂，银粉	一液糊状	150℃，30min	14	1×10^{-4}	—	集成电路小片部件安装，可进行网状印刷
Able bond 77－1	环氧树脂，银粉	一液糊状	275℃，30min	—	1×10^{-4}	6个月	集成电路小片部件安装，可进行网状印刷，耐高温
Able bond 606－2	环氧树脂，银粉	二液糊状	125℃，60min	—	8×10^{-5}	—	集成电路小片安装
Able bond 163－4			93℃，1h 120℃，0.5h	9.5	4×10^{-3}	—	
Able bond 466－2			150℃，5min		$(5\sim7.5)\times10^{-4}$		
826－1			150℃，30min 200℃，5min 350℃，20s		2×10^{-4}		
Epo－Tek H20E			120℃，15min	10	$(1\sim4)\times10^{-4}$		
Epo－Tek H20F			120℃，20min		$(2\sim4)\times10^{-4}$		
Epo－Tek H20S			120℃，15min	10	$(1\sim4)\times10^{-4}$		
Epo－Tek H20D			150℃，1h		$(1\sim4)\times10^{-4}$		
Epo－Tek H31D			120℃，1h	7	$(1\sim5)\times10^{-4}$		MOS
Epo－Tek H31			120℃，1h	7	$(1\sim5)\times10^{-4}$		
Epo－Tek H41			120℃，1h	14	$(1\sim5)\times10^{-4}$		

www.789pdf.com 789书库网

（续）

牌号	主要成分	供应状态	固化条件	粘接强度（MPa）	电阻率（Ω·cm）	室温储存期	主要用途
Epo－Tek H81			120℃，15min	14	$(5\sim9)\times10^{-4}$		
Epo－Tek H410E			150℃，0.5h	7	$(1\sim5)\times10^{-4}$		

7.3.4 粘接基本工艺

具体粘接工艺的确定取决于被粘工件及所用粘接剂牌号等因素，这里只介绍其基本工艺。

1. 选用胶粘剂

金属粘接时，其导电胶选择的基本要求如下：

① 粘接强度高；

② 足够的导电能力；

③ 耐高/低温性能优良；

④ 耐久性长；

⑤ 施工工艺性好。

在选用导电胶粘剂时，除了要考虑上述导电胶粘剂的基本性能外，还要考虑粘接接头形式、被粘表面状态、工艺要求以及经济性和劳动保护等问题。目前，对导电胶粘剂的选用还主要依靠经验和实验数据确定。

2. 粘接接头设计

粘接接头设计对粘接接头的连接强度有很大影响。一般平板金属粘接的接头有对接、斜接、搭接等，但在微电子器件封装和板级电路组装中，限于被连接件的特殊结构，主要采用引脚平面与基板上焊盘平面的对接或器件的球形电极与基板上焊盘平面的对接。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. 粘接表面处理

对粘接件表面除了去油、去锈外，还应进行必要的粗化和活化处理，从而促进胶粘剂的润湿和粘附，提高粘接强度和使用寿命。

4. 配胶、涂胶和胶合

(1) 配胶

严格配比、搅拌均匀、所用器具干净，否则将影响胶的固化或使胶层变脆。

(2) 涂胶

涂胶速度不能太快并朝一个方向移动，以利于空气的排除，防止产生气孔。

(3) 胶合

涂胶后的被粘表面相互胶合时，对于液态无溶剂的胶粘剂，应错动几次，以便排除空气、紧密接触、准确对位。对于含挥发性溶剂的胶粘剂，要经过一定时间的晾置，待溶剂挥发后，一次对准位置，不能来回错动，并适当加压以排除胶层中的空气。

5. 固化

通过理化作用使胶粘剂变为固体并获得一定强度的过程称为固化。由于室温条件下固化反应往往不完全，胶层质量差，因此要求采用加热并加压的方法，使其完全固化。掌握好固化温度、时间、压力三要素是保证固化工艺顺利实施的关键。

6. 检验

对已完成固化的粘接件，根据需要，采用无损检测方法对粘接强度和粘接层质量进行检测。必要时，还应进行粘接质量的耐久性试验。

7.3.5 安全与防护

合成粘接剂中的粘料、固化剂、稀释剂、增韧剂等，有的对人体有毒害作用，有的易燃，有的具有腐蚀性。了解其性能并采取相应的防护措施，对保障操作人员健康和保护环境都是十分重要的。

www.789pdf.com 789书库网

1. 胶粘剂组分的毒性和防护

(1) 物质毒性等级划分

所谓毒性物质(毒物),是指侵入人体能与人体组织发生物理或物理化学作用,从而引起人体正常生理机能的破坏,使人体呈现病态(中毒)的物质。物质毒性的大小常以"半致死剂量"表示,其符号是 LD_{50}。LD_{50}表示实验动物一次吸入毒物后引起半数动物死亡的剂量数,其单位是"mg/kg",按每千克生物体体重吸入的毫克数计算。LD_{50}值越大,物质的毒性越小。但不同的实验动物(如白鼠、家鼠、兔、狗等),其 LD_{50}值不同。我国根据 LD_{50}值的大小将物质毒性分为6级,见表7.7。

表7.7 物质毒性等级表

毒性等级	大鼠经口 LD_{50}(mg/kg)	兔涂皮 LD_{50}(mg/kg)	人可能致死量(mg)
Ⅰ剧毒	<1	<10	0.06
Ⅱ高毒	1~50	10~100	4
Ⅲ中毒	50~500	100~1 000	30
Ⅳ低毒	500~5 000	1 000~10 000	250
Ⅴ实际无毒	5 000~15 000	10 000~100 000	1 200
Ⅵ基本无毒	>15 000	>100 000	>1 200

毒性物质危害人体的主要途径是:

① 呼吸道:胶粘剂成分中有刺激性的挥发物和填料粉尘等,吸入呼吸道后,被肺泡吸收,可不经肝脏的解毒作用直接进入血液,流经全身,危害很大。

② 皮肤和粘膜:胶粘剂污染皮肤,并可能经毛孔通过皮脂腺被吸收,有的腐蚀或烧伤皮肤后再渗入人体。经皮肤或粘膜侵入的毒物也不经肝脏的解毒作用,而随血液流遍全身;

③ 消化道:由于误食胶粘剂成分或从呼吸道吸入毒物粘附在鼻咽部被吞咽。此外,在施工现场饮食、喝水,因食物上粘有毒物从而进入肠道,被小肠吸收,一部分到肝脏,另一部分随粪便排出,只有一部分进入血液,毒性影响较小。

(2) 常用胶粘剂组分的毒性

① 环氧树脂。不同类型环氧树脂的毒性有较大差别,详见表7.8,其中以丁二烯环氧的毒性为最大。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7.8 不同类型环氧树脂的毒性

名称	LD_{50}(mg/kg)	毒性等级
双酚 A 环氧	11 400	Ⅴ实际无毒
丁二烯环氧	88	Ⅱ高毒,接近中毒
6201 环氧	4 920	Ⅳ低毒,接近无毒
Y－132 环氧(6206)	2 830	Ⅳ低毒
680 酚醛环氧	2 000～3 000	Ⅳ低毒

② 酚醛树脂。酚醛树脂的毒性主要来源于酚、醛和溶剂。苯酚的 LD_{50} 为 530mg/kg,属“Ⅳ低毒”,接近“Ⅲ中毒”,主要危害是灼伤皮肤及损害中枢神经。甲醛的 LD_{50} 为 500mg/kg,介于“Ⅲ中毒”与“Ⅳ低毒”之间。甲醛具有强烈的刺激作用,会引起鼻炎、咽炎和过敏性皮炎。

③ 聚氨酯树脂。常用的 2,4－甲苯二异氰酸酯的 LD_{50} 值为 5 800mg/kg,属于“Ⅴ实际无毒”,但具有强烈的刺激性气味,刺激呼吸道粘膜。

④ 环氧树脂的固化剂和其他助剂。环氧树脂常用的某些固化剂和助剂的毒性见表 7.9。固化剂均有一定的毒性,但当粘料、固化剂、增塑剂、溶剂、填料等混合在一起并经充分的固化反应形成不溶、不熔的坚硬物质后,没有游离单体逸出,因此基本无毒。如对固化的环氧树脂进行机械加工,产生的粉尘可能分解成有害物质,因此应采取相应的排风措施。

表 7.9 固化剂和助剂的毒性

名称	LD_{50}(mg/kg)	毒性等级
间苯二胺	80	Ⅲ中毒,接近高毒
4,4－二氨基二苯甲烷	126～252	Ⅲ中毒
顺丁烯二酸酐	400～800	Ⅲ中毒,接近低毒
乙二胺	620	Ⅳ低毒,接近中毒
二乙氨基丙胺	1 410	Ⅳ低毒
五乙烯六胺	1 600	Ⅳ低毒
二乙烯三胺	2 330	Ⅳ低毒
四乙烯五胺	2 100～3 900	Ⅳ低毒

www.789pdf.com 789书库网

（续）

名称	LD_{50}(mg/kg)	毒性等级
三乙烯四胺	4 340	Ⅳ低毒
β－羟乙基乙二胺	4 032	Ⅳ低毒，接近无毒
N－羟乙基乙二胺	4 800	Ⅳ低毒，接近无毒
邻苯二甲酸酐	800～1 600	Ⅳ低毒
六氢邻苯二甲酸酐	1 200	Ⅳ低毒
低分子聚酰胺		毒性可以忽略不计
MA水下环氧固化剂	2 950	Ⅳ低毒
GY－051缩胺	3 493	Ⅳ低毒
2－乙基－4－甲基咪唑	1 180	Ⅳ低毒
79－3固化剂	2 647	Ⅳ低毒
十二烯基琥珀酸酐	3 200	Ⅳ低毒
邻苯二甲酸二丁酯	8 000	Ⅳ低毒
甲基丙烯酸甲酯	3 600(白鼠)	Ⅳ低毒，接近中毒
	8 700(家鼠)	
丙酮	5 300①	Ⅴ实际无毒，接近低毒
乙酸乙酯	5 600①	Ⅴ实际无毒，接近低毒
810水下固化剂	5 000	介于Ⅳ低毒与Ⅴ实际无毒之间

注：①口服致死量。

(3) 防护措施

在使用有毒物质时必须采取防护措施，其防护的一般要求是：

① 工作场地必须有良好的通风、排风条件，以减小空气中有毒气体的浓度，并做到背风操作；加热操作必须在通风柜中进行。

② 必须严格遵守有机物和毒物操作的安全操作规程，尽量避免用手直接接触化学品，要戴口罩、穿工作服、戴防护手套或使用液体手套。工作结束后要立即洗手。

液体手套一般由干酪素经溶胀后加甘油等配成，涂抹于手部可防止化学品的腐蚀侵害，尤其适用于有机物的操作。液体手套的配方见表7.10。其配制方法是：将干酪素加

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

水，在70～80℃的水浴中恒温保持3h以上，使干酪素充分膨胀。然后加入溶解好的无水碳酸钠或氨水，搅拌均匀，再加入其他组分，充分搅匀。

表7.10 液体手套的配方

材料	配方一	配方二
干酪素	100g	60g
水	280cm^3	280cm^3
氨水	17cm^3	—
甘油	80cm^3	35～75cm^3
无水乙醇	360cm^3	280cm^3
苯甲酸钠	0.5～1g	—
无水碳酸钠	—	8g

液体手套的使用方法是：将手洗净、擦干，再将液体手套液均匀地涂在手上，伸屈手指，2～3min后胶液干燥，手上结成一层薄膜，从而起到防护作用。

③ 不准在工作场地进食、吸烟。

④ 保持工作场地的整洁，及时清除剩胶及其他污物。有毒物品必须储存在专用柜内，置于阴凉、干燥处，由专人保管。

⑤ 工作场地应有急救箱，内置绷带、纱布、棉花、凡士林、硫酸镁、醋酸溶液(1%)、碳酸氢钠溶液(1%)、酒精、甘油等。

如果毒物溅入口中且尚未咽下，应立即吐出，并用大量的水冲洗口腔；如果已咽下，则应根据情况服用不同的解毒剂，再送医院救护。

对于刺激性及神经性毒物，先用牛奶或鸡蛋清使之立即冲淡和缓和，再用30g硫酸镁溶于一杯水中催吐，再送医院。对于强酸，先大量饮水，再服用氢氧化铝膏、鸡蛋清。对于强碱，也应大量饮水，然后服用醋、鸡蛋清，禁用呕吐剂。

2. 胶粘剂组分的可燃性及防护

合成胶粘剂的许多组成物都容易燃烧，尤其是溶剂、稀释剂，不仅会燃烧，而且与空气混合到一定浓度时，遇明火还会引起爆炸。常用易燃溶剂的蒸气爆炸极限见表7.11。更值得注意的是：有机溶剂的密度都比空气大，会沿桌面或地面漂移至较远处，或沉积在低洼处，往往会导致火灾或爆炸。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7.11 常用易燃溶剂的蒸气爆炸极限

名称	沸点(℃)	闪点(℃)	与空气混合的爆炸范围(体积)(%)
甲醇	64.7	11	6.0～36.5
乙醇	78.4	12	4.0～18
乙醚	35.6	-45	1.8～40
丙酮	56.2	-7.5	2.5～12.8
苯	80.2	-11	1.4～8.0

为此,胶粘剂(尤其是溶剂型的)的各种操作必须在远离火源的地方进行,并要求强通风。废弃液的倾倒应在通风柜内操作,并远离火源。废液应倒入带盖的专用桶中并集中处理,绝不允许倒入水槽,任其漂流。

工作场地必须配置足够的灭火器材,以二氧化碳灭火器为最佳,也可用四氯化碳灭火器、泡沫灭火器,并配置沙箱或石棉毯等。相关人员均应能够熟练地使用这些灭火器材,以应对突发情况。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第8章 压 接

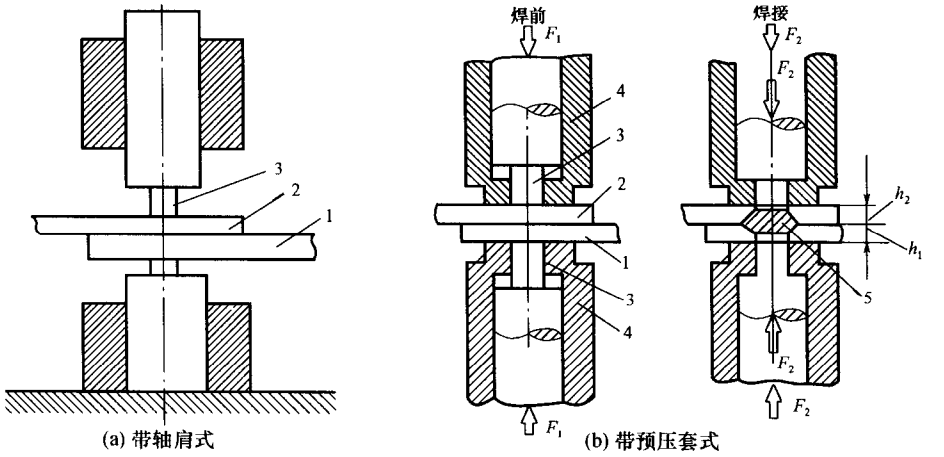
在板级电路制程中插座与印制板通孔的压接以及导线与端子的连接等都是压接的重要应用。压接的真正术语应是变形焊。而在板级电路装联中应用较多的又是变形焊中的冷压焊。

8.1 冷压焊机理

冷压焊是在没有外部热源或电流作用的条件下，仅仅利用在室温下对工件施加压力的方法，使金属产生塑性变形而实现固态焊接的一种方法。它的英文表示是 Cold Pressure Welding(CPW)。由于冷压焊的焊接过程是以产生塑性变形为特征的，故又称为变形焊，在 SMT 中习惯称为压接。

冷压焊时，工件在外加强大压力的作用下产生很大的塑性变形，这不仅破坏了工件表面的氧化膜，并且使破碎了的氧化膜和其他杂质随着塑性流动的金属被挤出焊件的界面，从而使干净、无氧化膜的工件表面紧密接触到原子间距($4\times10^{-8}\sim6\times10^{-8}$cm)范围之内，形成晶间结合，获得牢固的焊接接头。

冷压焊分为搭接和对接两种，其焊接接头的形成过程分别如图 8.1 和图 8.2 所示。



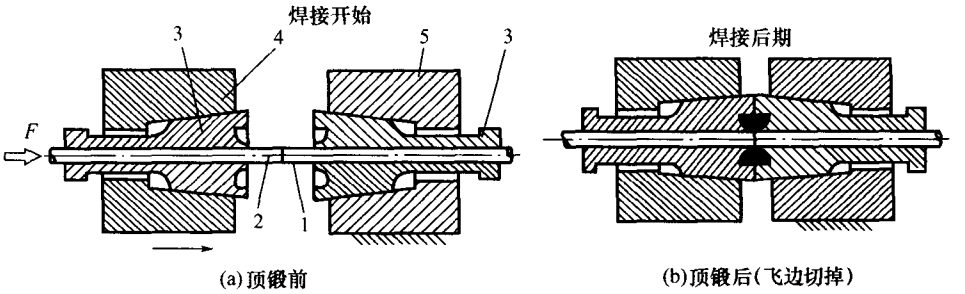
(a) 带轴肩式　　(b) 带预压套式

1、2—焊接件；3—压头；4—预压套环；5—焊接接头；h_1、h_2—焊接件厚度；F_1—预压力；F_2—焊接压力

图 8.1 搭接冷压焊过程

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



1、2—焊接件;3—钳头;4—活动夹具;5—固定夹具

图 8.2 对接冷压焊过程

8.2 冷压焊接的特点及适用范围

8.2.1 冷压焊的特点

冷压焊工艺的特点如下:

① 冷压焊的整个工艺过程是在室温下进行的,不需要外热,而且在冷压中工件所发生的变形速度一般也不会引起焊接接头的升温,因而不存在明显的工件接触界面之间原子的扩散,是一种晶间结合。

② 在外加压力下,工件的焊接区产生明显的塑性变形,因此,被焊的金属材料中至少有一种金属材料具有很高的延性,并且不会产生严重的加工硬化现象。

8.2.2 冷压焊的优、缺点

冷压焊的优、缺点如下:

① 异种金属中,无论互溶还是不互溶,只要其中有一种金属的延性满足冷压焊的要求,则大多可进行冷压焊。各种金属组合采用冷压焊的焊接性见表 8.1。

表 8.1 各种金属组合采用冷压焊的焊接性

材料	Ti	Cd	Pt	Sn	Pb	W	Zn	Fe	Ni	Au	Ag	Cu	Al
Ti	√√							√				√	√
Cd		√√		√	√								

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

材料	Ti	Cd	Pt	Sn	Pb	W	Zn	Fe	Ni	Au	Ag	Cu	Al
Pt			√√	√	√		√		√	√	√	√	√
Sn		√	√	√√	√								
Pb		√	√	√	√√		√		√	√	√	√	√
W												√	
Zn			√		√			√	√	√	√	√	√
Fe	√						√	√√	√			√	√
Ni			√		√		√	√	√√	√	√	√	√
Au			√		√		√		√	√√	√	√	√
Ag			√		√		√		√	√	√√	√	√
Cu	√		√		√	√	√	√	√	√	√	√√	√
Al	√		√		√		√	√	√	√	√	√	√√

注：√为焊接性良好（√√为同种金属焊接），空白为焊接性差或无报道数据。

② 冷压焊接接头中不存在焊接热影响区，不会产生软化区和脆性金属中间相，接头的导电性和抗腐蚀性等性能优良。

③ 在冷压焊过程中，由于焊接接头的形变硬化而使接头强化。在正常情况下，同种金属的冷压焊接头强度不低于母材的强度；而异种金属焊接的接头强度不低于被焊材料中较软的一种母材的强度。

④ 由于冷压焊不需要加热，也不必填充材料和助焊剂，因此，焊接工艺和设备都很简单，易于操作和维护，劳动卫生条件好。

⑤ 冷压焊的工艺简单且易于控制，因此焊接质量稳定。

⑥ 局部变形大，搭接接头上有压坑。

⑦ 对某些异种金属，如铜与铝焊后形成的焊接接头在高温下将会因扩散作用而产生脆性的化合物，使其塑性和导电性明显下降，因此，这类金属组合的冷压焊接头只适宜在较低温度下工作。

⑧ 受冷压焊机最大压力的限制，冷压焊焊件的搭接板厚度和对接断面不能过大。焊件的硬度也受模具材质的限制而不能过高。

8.2.3 冷压焊的适用范围

冷压焊的适用范围如下：

① 冷压焊主要适用于异种金属和利用加热方法无法焊接的金属材料的焊接。在模

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

具强度允许的前提下，很多不会产生快速加工硬化或未经严重硬化的塑性金属及其合金都适于冷压焊(详见表8.1)。

当焊接塑性较差的金属时，可在被焊工件间放入厚度大于1mm的塑性好的金属垫片并作为过渡材料，焊后的接头强度等于变形硬化后垫片的强度。

② 对接冷压焊可焊接的最小断面为0.5mm^2，最大断面为500mm^2。其断面形状为线材、棒材、板材、管材或异形材，一般用于材料的接长或双金属过渡接头。

③ 搭接冷压焊可焊接的厚度为0.01～20mm的箔材和带材。

④ 适用于焊接时不允许升温的产品或材料，如通信电缆的铝护套HL1、高强度变形时效铝合金等。

冷压焊的应用实例见表8.2。

表8.2 冷压焊的应用实例

应用领域	应用实例
电子、电气工业	圆形、方形电容器外壳的封装，绝缘箱外壳的封装，大功率三极管散热片，电解电容阳极板与屏蔽引出线，插座与印制板通孔压接，通信、电力电缆铝外导体管，护套管的连续生产：各种规格的铝－铜过渡接头；电缆厂、电机厂、变压器厂、开关厂铝线及铝合金导线的接长及引出线；铜排、铝排、整流片、汇流圈的安装焊；输配电站引出线；架空电线、通信电线、地下电缆的接线和引出线；电缆屏蔽带接地；铜式铝箔绕组引出线；石英振子盒封装，集成块封装，铌钛合金超导线的连接
制冷工程	热交换器
汽车制造业	小轿车暖气片、汽车水箱、散热器片、脚踏板
交通运输	地下铁路、矿山运输、无轨电车断面滑接对焊
日用品工业	铝壶、电热铝茶壶制造、铝容器、铝壶手把的螺钉支撑
其他领域	铝管、铜管、铝锰合金管、铝镁合金管、钛管的对接、封头等

8.3 冷压焊工艺与设备

8.3.1 冷压焊工艺

影响冷压焊质量的工艺因素主要有以下几种。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1. 工件的表面状态

冷压焊对被焊件待焊部位的表面清洁度和粗糙度有较高的要求，具体如下：

① 待焊部位表面的清洁度。

待焊部位表面上的油膜、水膜及其他有机杂质在冷压焊的挤压过程中只能被挤压成薄膜，而不能被挤出焊接结合面，从而严重降低焊接质量，因此焊前必须加以清除。

待焊部位表面上的氧化膜同样会影响冷压焊的质量，除了厚度较薄、脆性较大的氧化膜（如铝件表面的 Al_2O_3）在焊接件塑性变形量大于65%的条件下可不做焊前清除即可直接施焊外，其他情况都应进行焊前清理。

清理后的焊接件表面不允许有残渣或金属氧化膜碎屑，也不允许用手摸，以免产生二次污染。焊接件表面经过清理后，应立即施焊。

② 待焊部位表面的粗糙度。

一般情况下，冷压焊对被焊件待焊部位表面的粗糙度没有特殊要求，经过轧制、剪切或车削的金属表面均可进行冷压焊。带有微小沟槽的待焊件表面还有利于在冷压焊挤压过程中整个结合面的切向位移。但当焊接塑性变形量小于20%和精密真空冷压焊时，要求待焊部位表面具有较低的粗糙度。

2. 焊接压力

压力是冷压焊过程中唯一的外加能量。通过模具传递到待焊部位，使被焊金属产生塑性变形。焊接压力的确定与被焊金属种类、焊件截面积和焊接过程中某些变化因素有关。焊接压力的理论计算公式是：

$$F = PA$$

式中，F——焊接压力，单位是N；

P——单位面积压力，单位是MPa，见表8.3；

A——焊件横截面积，单位是 mm^2；对接冷压焊时，A 为焊件的横截面积，搭接冷压焊时，A 为压头端面积。

在冷压焊时，由于被焊材料塑性变形产生硬化和冷压焊模具对金属的拘束力，会使冷压焊的单位压力比被焊材料的屈服极限 σ_s 大许多倍。而在对接冷压焊时，由于被焊件随变形而被镦粗，使被焊件的名义断面积不断增大，因此，焊接末期所需的焊接压力比初始时的压力大很多。合适的焊接压力应以焊接末期最大的焊接压力为准。表8.3为几种常用金属的单位面积冷压焊所需的压力。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 8.3 几种常用金属的单位面积冷压焊所需的压力(MPa)

材料名称	搭接焊	对接焊
铝与铝	750～1 000	1 800～2 000
铝与铜	1 500～2 000	>2 000
铜与铜	2 000～2 500	2 500
铜与镍	2 000～2 500	2 500
HL1 型铝合金	1 500～2 000	>2 000

3. 变形程度

变形程度是指获得冷压焊接头最大强度所需的被焊件最小的塑性变形量,它是判断金属材料冷压焊的焊接性好坏和控制焊接质量的重要参数。所需的变形程度越小,冷压焊的焊接性就越好。

冷压焊接头形式不同,其变形程度的表示方法也不同。搭接的变形程度用压缩率 ε 表示:

$$\varepsilon = \frac{(h_1 + h_2) - h}{h_1 + h_2} \times 100\%$$

式中,h_1、h_2——分别为每一焊件的厚度,单位是 mm;

h——压缩后的剩余厚度,单位是 mm。

某些材料搭接冷压点焊的压缩率 ε 见表 8.4。

表 8.4 某些材料搭接冷压点焊的压缩率 ε

材料名称	压缩率(%)	材料名称	压缩率(%)
纯铝	60	铜	86
工业纯铝	63	铝与铁	88
W(Mg)2%的铝合金	70	锡	88
钛	75	镍	89
硬铝	80	铁	92
铅	84	锌	92
镉	84	银	94
铜与铝	84	铁与镍	94
铜与铅	85	锌与金	95
铜与银	85		

注:① 表中的压缩率是在材质相同、厚度相等、冷压点焊条件下测得的。

② 生产中为保证满意的焊接合格率并考虑到各种误差,选用压缩率时常比表中数据大 5%～15%。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

对接冷压焊的变形程度用总压缩量 L 表示：

$$L = n(L_1 + L_2)$$

式中，L_1——固定钳口一侧焊接件的每次伸出长度，单位是 mm；

L_2——活动钳口一侧焊接件的每次伸出长度，单位是 mm；

n——挤压次数。

总压缩量是保证对接冷压焊接头质量的重要参数。对于塑性好、形变硬化不强烈的金属，焊接件的伸出长度通常小于或等于其直径或厚度，可一次顶锻焊成；对于硬度较大，形变硬化较强的金属，其伸出长度一般等于或大于工件的直径或厚度，需多次顶锻才能焊成。但对于大多数材料，顶锻次数一般不超过 3 次。

某些常用材料对接冷压焊时的最小总压缩量见表 8.5。

表 8.5 某些常用材料对接冷压焊时的最小总压缩量

材料名称	每一工件的最小总压缩量		顶锻次数
	圆形件(直径 d)	矩形件(厚度 t)	
铝与铝	$(1.6\sim2.0)d$	$(1.6\sim2.0)t$	2
铝与铜	铝$(2\sim3)d$、铜$(2\sim3)d$	铝$(2\sim3)t$、铜$(2\sim3)t$	3
铜与铜	$(3\sim4)d$	$(3\sim4)t$	3
铜与镍	铜$(3\sim4)d$、镍$(3\sim4)d$	铜$(3\sim4)t$、镍$(3\sim4)t$	3~4
铝与银	铝$(2\sim3)d$、银$(3\sim4)d$	铝$(2\sim3)t$、银$(3\sim4)t$	3~4

为了减少顶锻次数，总希望伸出长度稍长些，但也不可过长。如果过长，顶锻时焊接件容易产生弯曲。对于直径(d)或厚度(h_1)越小的焊接件发生顶锻弯曲的倾向越大。因此，同种材料冷压焊时，其伸出长度一般取$(0.8\sim1.3)d$ 或$(0.8\sim1.3)h_1$，其中断面小的焊接件取下限值，大者取上限值；异种材料冷压焊时，各自的伸出长度以弹性模量(E)之比选取，较软者的伸出长度取得小一些。

8.3.2 冷压焊设备及模具

1. 冷压焊设备

常用冷压焊机和冷压焊钳的技术参数见表 8.6。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 8.6 常用冷压焊机和冷压焊钳的技术参数

冷压焊设备	压力(kgf)	可焊断面积(mm^2)			设备参考质量(kg)
		铝	铝与铜	铜	
携带式手焊钳	(1 000)	0.5～20	0.5～10	0.5～10	1.4～2.5
台式对焊手钳	(1 000～3 000)	0.5～30	0.5～20	0.5～20	4.6～8
小车式对焊手钳	(1 000～5 000)	3～35	3～30	3～20	170
气动对接焊机	5 000 800	2.0～200 0.5～7	2.0～20 0.5～4	2.0～20 0.5～4	62 35
油压对接焊机	20 000 40 000 80 120	20～200 20～400 50～800 100～1 500	20～120 20～250 50～600 100～1 000	20～120 20～250 50～600 100～1 000	700 1 500 2 700 2 700
携带式搭接手焊钳	(800)	厚度 1mm 以下	1.0～2		
气动搭接焊机	50 000	厚度 3.5mm 以下	250		
油压搭接焊机	40 000	厚度 3mm 以下	200		

注:括号内的压力值为计算值。

2. 冷压焊用的模具

冷压焊的模具十分重要,这是因为冷压焊是通过模具对焊接件加压以使待焊部位产生塑性变形而实现连接的。模具的结构、材质和尺寸决定了焊接接头的尺寸和质量。

(1) 对接冷压焊用的模具

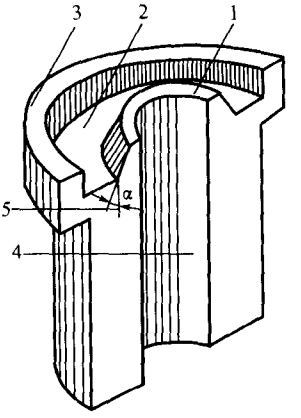
对接冷压焊用的模具是钳口。钳口由固定钳口和活动钳口组成,各夹持一个焊接件。钳口除夹持焊接件外,主要是传递压力以控制焊接件的塑性变形量和切除飞边。

钳口端部结构有槽形、尖形、平形和复合形。其中尖形钳口有利于金属的流动,能挤掉飞边,所需焊接压力较小,但容易崩掉刃口,为此在刃口外侧设置护刃环和溢流槽(容纳飞边),从而成为应用较多的复合钳口,如图 8.3 所示。

为防止在顶锻中焊接件在钳口内滑动,除依靠足够的夹紧力外,还需增加钳口内腔

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



1—刃口;2—飞边溢流槽;3—护刃环;
4—内腔;5—刃口倒角($\alpha \leqslant 30°$)

图 8.3 复合钳口的结构

的摩擦系数,通常是在内腔表面加工深度不大的螺纹沟槽。内腔的形状和尺寸与焊接件相适应,若焊接件规格改变,则需更换钳口。对接管材时,管材内应设置相应的心轴。

钳口的刃口形状十分重要,其厚度一般为 2mm 左右,楔角为 50°～60°,刃口表面必须进行磨削加工以减小顶锻时变形金属流动的阻力,从而不致卡住飞边。钳口工作部位的硬度控制在 HRC 45～55。硬度太高,韧性差,易崩刃;硬度太低,刃口会变形而成喇叭状,使压焊接头燉粗。

(2) 搭接冷压焊用的模具

搭接冷压焊用的模具分为搭接点焊用的压头和搭接缝焊用的压轮。

① 搭接点焊用的压头:冷压搭接点焊分单点点焊和多点点焊。单点点焊又分为双面点焊和单面点焊。搭接冷压点焊用的压头形状有圆形、矩形、菱形、环形等。

压头尺寸根据焊接件厚度(h_1)确定。圆形压头的直径 d 和矩形压头的宽度 b 必须适中,过大时金属变形阻力增加,在焊点中心将产生焊接裂纹,可能引起焊点四周金属较大的延展变形;过小时压头引起局部切应力过大而切割母材。典型的压头尺寸是:$d=(1.0\sim1.5)h$ 或 $b=(1.0\sim1.5)h_1$;矩形压头的长边为 $(5\sim6)b$;不等厚度焊接件冷压搭接点焊时,压头尺寸以较薄的焊接件厚度(h_1)来确定:$d=2h_1$ 或 $b=2h_1$,如图 8.4 所示。

冷压点焊时,焊接件的压缩率由压头压入深度来控制。其常用方法是:如图 8.1(a)所示,采用带轴肩的压头,从压头端头至轴肩的距离即为压入深度,以此可精确控制压缩率,还可防止焊接件翘起;另一种方法是:在轴肩外设套环,如图 8.1(b)所示,也可实现压

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

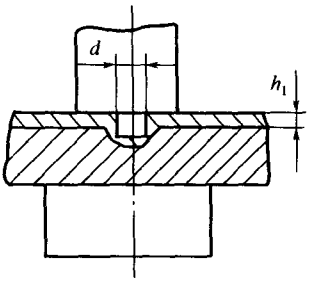


图 8.4　不等厚度冷压搭接点焊用的压头

缩率的控制。借助套环(弹簧或橡胶)对焊接件施加预压力(20～40MPa)。

② 搭接缝焊用的模具:冷压缝焊具有冷滚压焊、冷套压焊和冷挤压焊等形式,如图 8.5所示,其所用的模具各不相同。

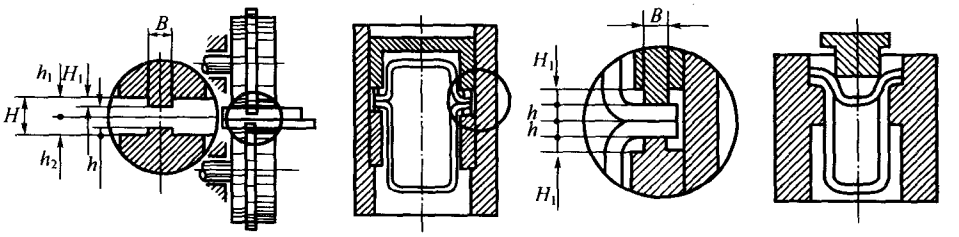


图 8.5　冷压缝焊的形式及工作原理

• 冷滚压焊压轮。

冷滚压焊时,被焊的搭接件在一对滚动的压轮间通过,焊接件在被滚轮连续加压往前输送的过程中形成一条连续的密闭焊缝。滚压焊的压轮是施加焊接压力、实现冷压焊的关键部件,它的直径和工作凸台尺寸对焊机选用、焊接参数和焊接质量等有着重要影响。

从减小焊接压力考虑压轮的直径 D 越小越好,但过小的压轮焊接件不能自然送入焊机。焊接件能自然入机的条件是 $D \geqslant 175H\varepsilon$,其中 H 为焊接件总厚度,ε 为最小压缩率。因此,选用压轮直径时,在首先满足焊接件自然入机的条件下,应尽可能选用小的压轮直径。

• 压轮工作凸台。

单面滚压焊的两个压轮中只有一个带工作凸台,另一个不带工作凸台;双面滚压焊则两个压轮均带工作凸台。压轮工作凸台的宽度 B 和高度 H_1[见图 8.5(a)]的作用与冷压点焊中的压头相似。工作凸台两侧也设有轴肩,起控制压缩率和防止焊接件边缘翘起

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的作用。

合理的工作凸台宽度 B 根据下式确定：

$$\frac{1}{2}h < B < 1.25H$$

合理的工作凸台高度 H_1 为：

$$H_1 = \frac{1}{2}(\varepsilon H + C)$$

式中，C——主轴间弹性偏差量，通常 $C=0.1\sim0.2$mm。

• 冷套压焊模具。

冷套压焊用的模具如图 8.5(b)所示，可根据被焊件的尺寸和形状设计相应结构与尺寸的上/下模。下模由模座承托，上模与压力机上的夹头相连接并作为活动模。两者的工作凸台设计与冷滚压焊压轮的工作凸台相当，也设有轴肩。冷套压焊的模具体积和质量较大，由于所焊面积较大，所需焊接压力比滚压焊大很多，故此种方法只适用于小件封焊。

• 冷挤压焊模具。

冷挤压焊用的模具如图 8.5(c)所示，根据被焊件的形状和尺寸设置相应的阴模(固定)和阳模(动)。阳模与压力机上的上夹头相连接。阴模的内径与阳模的外径之差与被焊件总厚度 H 和变形程度 ε 的关系为：

$$D_{阴} - D_{阳} = H(1-\varepsilon)$$

阴模与阳模的工作周缘需制成圆角，以免产生剪切，损坏焊接件。

8.4 铝－铜冷压焊

铝－铜冷压焊是异种金属冷压焊中最为普通且在电子产品组装中应用最多的一种连接方法。

铝－铜冷压焊时，在压力作用下，铜与铝发生塑性变形，接触面积随压力的增加而变大，接触面上的铜和铝向四周流动，不断造成新的纯金属间的相互紧密接触，铜、铝原子间的距离逐渐接近到原子间有效结合的程度而成为一体。铜、铝的塑性变形使其金属晶格发生滑移和变形，从而产生局部高热，这也促进了金属中不均匀质点的相互渗入，从而推动原子互换与扩散。

铝－铜冷压焊接头可在 200℃下工作，短期(1h)内可承受 300℃的温升。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

8.4.1 铝－铜对接冷压焊

对接冷压焊时，铝、铜的表面准备十分重要。焊前首先清除铝、铜表面上的油垢和其他杂质；其次将铝、铜的接触端面加工以使其规整、平直，尤其是铝、铜焊件的对准轴线不可有弯曲现象。此外，焊前还应对铝、铜件进行退火使之软化，增加焊接件的塑性变形能力。

对接冷压焊是在室温下进行的，铝与铜对接冷压焊时的变形程度 ΔL 常取：$\Delta L_{Al}:\Delta L_{Cu}=0.7:1$。铝－铜对接冷压焊的参考工艺参数见表 8.7。

表 8.7 铝－铜对接冷压焊的参考工艺参数

焊件直径(mm)	每次伸出长度(mm)		顶锻次数	顶锻力(MPa)
	L_{Cu}	L_{Al}		
6	6	6	2～3	≥1 960
8	8	8	3	3 038
10	10	10	3	3 332
5×25	6	4	4	≥1 960

8.4.2 铝－铜搭接冷压焊

铝与铜的板与板、线与线、线与板、箔与板、箔与线等形式的冷压焊一般采用搭接方式。焊前，首先将待焊部位的表面清理干净，不可有任何污垢与杂质，然后将焊接件装入夹具中，并对上、下压头施加压力，使铝、铜件各自都产生足够大的塑性变形而形成焊点。铝－铜搭接冷压焊有单面的，也有双面的；焊点形状有圆形的，也有矩形或方形的。圆形焊点的直径 $d=(1\sim1.5)\delta$，δ 为工件厚度；矩形焊点的尺寸为：宽度 $b=(1\sim1.5)\delta$，长度 $L=(5\sim6)b$。

如铝、铜两焊件的厚度相差较大，可采用单面变形方法焊接。此时圆焊点的直径 $d=2\delta$；矩形焊点尺寸为：宽度 $b=2\delta$，长度 $L=5b$。如果为多点，则应交错分布，其焊点中心距应大于 $2D$（D 为压头直径）。对于矩形焊点应倾斜分布。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

铝－铜搭接冷压点焊的参考工艺参数见表8.8。

表8.8 铜－铝搭接冷压点焊的参考工艺参数

焊件尺寸(mm)	搭接长度(mm)	焊点数(个)	压点直径(mm)		压头总长(mm)		压点中心距离(mm)	点与边距(mm)	压力(kN)
			Al	Cu	Al	Cu			
40×4	70	6	7	8	30	55	10	10	235.2
60×6	100	8	9	10	30	55	15	15	382.2
80×8	120	8	12	13	30	55	25	15	431.2

8.5 冷压焊质量检测

在冷压焊生产中，由于形成冷压焊接头所必需的焊接件变形程度是由模具决定的，因此只要焊接压力足够，焊接件表面清洁度和粗糙度满足冷压焊的要求，焊接质量就可得到保证。

生产中冷压焊接头的检查主要采取抽查的方法。对于搭接冷压焊接头应进行抗剥离试验。质量合格的冷压焊接头的被撕裂部位应在紧邻焊缝的母材上。对于对接冷压焊接头，因其对弯曲最敏感，故采用抗弯试验来评定其焊接质量。一种常用的方法是将焊接接头夹在虎钳上，焊缝在钳口以上约1～2mm处，用手弯曲90°，接头不在焊接结合面上开裂即为合格。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



第9章　陶瓷及其与金属的连接

陶瓷是以金属氧化物、氮化物、碳化物、硅化物为原料，经过配料、成形和高温烧结等工序人工合成的无机化合物。陶瓷是硬而脆的高熔点非金属材料，它具有低的导电性和导热性、良好的化学稳定性和热稳定性，以及较高的压缩强度和一些独特的性能，如电绝缘、半导体、磁性、化学吸附、生物适应性及耐辐射等，广泛用于机械、电子、宇航、能源、汽车、医学等领域。

陶瓷材料目前存在的主要缺点是延性低、加工性能差、抗机械冲击和热冲击性能差等。这就给陶瓷、陶瓷与金属的连接带来了困难。

9.1　陶瓷的组成和性能

陶瓷材料包括氧化物陶瓷、氮化物陶瓷、碳化物陶瓷、硼化物陶瓷以及特种陶瓷，如超导陶瓷等。常用陶瓷的组成和主要性能见表9.1。

9.2　陶瓷的连接

9.2.1　陶瓷连接的特点

1. 连接性能要求

陶瓷连接应用较多的是陶瓷与金属的焊接，其应用领域主要是电子、航空航天、核能、汽车等。由于服役于这些领域中的产品的工作条件恶劣，因此对陶瓷与金属焊接接头的性能提出如下要求：

① 必须具有较高的强度；

www.789pdf.com 789书库网

表 9.1　常用陶瓷的组成和主要性能

材料名称		氧化铝瓷			蓝宝石	氧化铍瓷	氧化镁瓷	氧化锆瓷	块滑石瓷	镁橄榄石瓷	堇青石瓷	氧化锆瓷	锆英石瓷	莫来石瓷
主要成分		Al_2O_3 92%	Al_2O_3 96%	Al_2O_3 99%	Al_2O_3	BeO	MgO	ZrO_2	$MgO \cdot SiO_2$	$2MgO \cdot SiO_2$	$2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$	ZrO_2 (PSZ)	$ZrO_2 \cdot SiO_2$	$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$
结晶构造		六方晶			—	—	立方晶	单斜晶	—	—	—	立方晶	六方晶 立方晶	—
体积密度 ρ(g/cm^3)		3.6	3.75	3.9	3.96	2.8	3.56	3.5	2.7	2.8	2.2	5.9	3.7	3.1
莫氏硬度		—	—	—	—	—	—	8.0	8.0	—	—	—	—	—
抗压强度 σ_{bc}(N/mm^2)		2 350	2 450	2 650	2 100	1 470	850	2 100	550	580	350	—	620	—
抗折强度 σ_{bb}(N/mm^2)		315	345	490	690	170	140	170	125	140	100	—	160	180
弹性模量 E(kN/mm^2)		305	305	380	385	295	345	170	88	—	—	—	170	100
断裂韧度 K_{1C}(kN/mm^2)		—	—	—	—	—	—	1～2	—	—	—	≈10	—	—
线胀系数 σ($\times 10^{-6}$/k)	25～300℃	6.6	6.7	6.8	7.8	6.8	10.0	4.5	6.9	10	2.2	—	4.3	4.0
	25～700℃	7.5	7.7	8.0	8.7	8.4	13.0	4.7	7.8	12	2.8		4.8	4.4
热导率 λ/W (cm·k)	25℃	0.168	0.218	0.314	0.461	1.592	0.419	0.019 5	0.025	0.034	0.012 6	0.03	0.050	0.042
	300℃	0.109	0.126	0.159	0.163	0.838	0.159	0.020 5						
熔点或分解温度(℃)		—	—	2 050	2 053	2 570	2 800	2 550	—	1 885	—	—	2 420	1 830

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

材料名称		氧化铝瓷			蓝宝石	氧化铍瓷	氧化镁瓷	氧化锆瓷	块滑石瓷	镁橄榄石瓷	堇青石瓷	氧化锆瓷	锆英石瓷	莫来石瓷
电阻率 ρ ($\Omega\cdot$cm)	20℃	$>10^{14}$	$>10^{14}$	$>10^{14}$	$>10^{14}$	$>10^{14}$	$>10^{14}$	$>10^{14}$	$>10^{14}$	$>10^{14}$	1×10^{14}		$>10^{14}$	
	300℃	1×10^{11}	3×10^{11}	$>10^{14}$	1×10^{14}	$>10^{14}$	$>10^{14}$	10^{11}	5×10^{10}	7×10^{11}	3×10^{7}	—	5×10^{11}	$>10^{14}$
	500℃	3×10^{8}	4×10^{10}	3×10^{12}	1×10^{11}	1×10^{13}	5×10^{12}	10^{8}	1×10^{8}	1×10^{10}	8×10^{5}		5×10^{8}	
T_e 值(℃)		960	1 000	>1 000	1 214	>1 000	>1 000	780	740	>1 000	485	—	780	650
相对介电常数 ε(1MHz)		8.5	9.0	9.8	10.5	6.5	8.9	—	6.0	6.0	5.3	—	8.8	6.5
介质损耗 $\tan\delta$($\times10^{-4}$/1MHz)		5	3	1	<1	1	1	—	4	5	50	—	10	40
介电强度(MV/m)		15	14	15	48	15	14	—	13	13	—	—	13	13

材料名称	普通瓷	氮化硼瓷	氮化硅瓷	氮化铝瓷	Sialon 瓷	碳化硅瓷	碳化硼瓷	碳化钛瓷	碳化钨瓷
主要成分	SiO_2	BN	Si_3N_4	AlN	Si—Al—O—N	SiC	B_4C	TiC	WC
结晶构造	—	六方晶 立方晶	六方晶	六方晶	六方晶	六方晶 立方晶	斜方晶 六方晶	面心晶 六方晶	六方晶
体积密度 ρ(g/cm^3)	2.35	1.7	3.2	3.26	3.16	3.22	2.52	4.92	15.8
莫氏硬度	7.0	—	—	—	—	9.2	9.3	—	9
抗压强度 σ_{bc}(N/mm^2)	590	56	3 450	2 100	—	2 010	—	—	—
抗折强度 σ_{bb}/(N/mm^2)	100	44	1 000	245	460	150	—	—	—

www.789pdf.com 789书库网

（续）

材料名称		普通瓷	氮化硼瓷	氮化硅瓷	氮化铝瓷	Sialon 瓷	碳化硅瓷	碳化硼瓷	碳化钛瓷	碳化钨瓷
弹性模量 E(kN/mm^2)		690	100	345	345	250	470	—	—	—
断裂韧度 K_{1C}(kN/mm^2)		—	—	4.8～5.8	—	—	3.5～4.5	—	—	—
线胀系数 σ(×10^{-6}/k)	25～300℃ 25～700℃	9.0	2.0	2.8 3.0	4.84	2.8	4.0	—	—	—
热导率 λ/W (cm·k)	25℃ 300℃	0.012 6	0.570	0.126 0.126	0.301 0.251	0.168	0.557	0.29	0.31～0.43	0.30
熔点或分解温度(℃)		—	3 000	1 900	2 200	—	>2 700	—	—	—
电阻率 ρ(Ω·cm)	20℃ 300℃ 500℃	1×10^{12} 5×10^{6}	>10^{14} 2.5×10^{11} 2.3×10^{10}	>10^{14} >10^{14} >10^{14}	2×10^{11} 7×10^{7}	—	5×10^{2}	—	—	—
Te^*值(℃)		400	>1 000	>1 000	—	—	—	—	—	—
相对介电常数 ε(MHz)		6	4.0	9.4	—	—	—	—	—	—
介质损耗 tanδ(×10^{-41}(MHz)		6	8	—	—	—	—	—	—	—
介电强度(MV/m)		13	—	10	—	—	—	—	—	—

注：① 表中成分，“%”均指该类物质的质量分数。

② N/mm^2 及 MPa 均为强度的法定单位制，其换算关系为：1N/mm^2 = 1MPa。

* 当材料电阻率达到 $10^6\Omega$·cm 时的温度。

www.789pdf.com 789书库网

② 具有真空气密性；

③ 接头的残余应力小；

④ 能耐热、耐蚀和有较好的热稳定性；

⑤ 焊接工艺较简单，工艺过程稳定，生产成本低。

2. 连接中的主要困难

陶瓷与金属在原子结构上存在着本质的差别，加上陶瓷本身特殊的物理化学性能，因此，无论是陶瓷与陶瓷或是陶瓷与金属的连接都有不少困难。陶瓷与金属的线胀系数相差很大，采用加热方法来连接陶瓷与金属时，会在连接接头中产生较大的残余应力，从而降低连接接头的力学性能，甚至导致接头开裂。陶瓷与金属焊接中会遇到不少困难，其中主要包括：

① 两者的热膨胀系统差别大：以 SiC 和 Si_2N_4 陶瓷为例，其线胀系数分别是 $4\times10^{-6}K^{-1}$ 和 $3\times10^{-6}K^{-1}$，而铝和铁的线胀系统则分别达到 $23.6\times10^{-6}K^{-1}$ 和 $11.7\times10^{-6}K^{-1}$。此外，陶瓷的弹性模量也很大，在焊接加热和冷却过程中，在接头区产生较大的应力，乃至在接头的陶瓷一侧产生裂纹。

② 陶瓷的润湿性差：现有一般钎料对陶瓷的润湿性很差，或者根本不润湿。解决这一困难的常用方法是：对陶瓷材料的焊接表面进行改性（如金属化处理），改善其润湿性；也可在钎料中添加活性元素（如添加钛），提高对陶瓷表面的润湿能力，实现陶瓷与金属的钎焊连接。

③ 结合界面复杂：由于陶瓷与金属连接处的结合界面存在着原子结构能级差，因此一般是借助过渡层（扩散层或反应层）而焊合的。陶瓷与金属间的结合界面的形成和性能对连接接头质量具有决定性的影响，这也是一个正在研究中的复杂问题。

9.2.2 陶瓷与陶瓷和陶瓷与金属的连接方法

陶瓷与陶瓷和陶瓷与金属的连接方法有钎焊法、熔焊法、固相连接法等。这些连接方法的原理与适用材料见表 9.2，其中钎焊、扩散焊和电子束焊应用得较多。

表 9.2 陶瓷与金属连接方法的分类、原理和适用材料

连接方法		原　理	适用材料	说　明
钎焊法	Mo－Mn	以 Mo 或 Mo－Mn 粉末（粒度为 3～5μm）同有机溶剂混合成膏剂作为钎料，涂于陶瓷表面，在水蒸气气氛中加热进行钎焊	陶瓷－金属连接	广泛用于 Al_2O_3 等氧化物系陶瓷与金属的连接，如各种电子管和电气机械中陶瓷与金属连接部位的密封

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

连接方法		原　理	适用材料	说　明
钎焊法	活性金属法	对氧化性的金属（Ti，Zr，Nb，Ta等）添加某些金属（如Ag，Cu，Ni等）配置成低熔点合金作为钎料（这种钎料熔融金属的表面张力和黏性小、润湿性好）加到被连接的陶瓷与金属的间隙中，在真空或Ar等惰性气氛炉内加热钎焊	陶瓷金属连接	所连接的工件形状任意，适合于产量大的场合，Al_2O_3与金属连接时，钎料可用Ti－Cu，Ti－Ni，Ti－Ni－Cu，Ti－Ag－Cu，Ti－Au－Cu等合金；要求良好高温强度的场合，钎料可用Ti－V系和Ti－Zr系添加Ta，Cr，Mo，Nb等合金，钎焊温度为1 300～1 650℃
	陶瓷熔接法	采用熔点比所连接的陶瓷和金属低的混合型氧化物玻璃质钎料，用有机胶粘剂调成膏状，嵌入接头中，在氢气中加热熔接	陶瓷金属连接	$Al_2O_3-CaO-MgO-SiO_2$钎料用于陶瓷与耐热金属的连接，加热温度在1 200℃以上，$Al_2O_3-MnO-SiO_2$钎料用于陶瓷与铁系合金和耐热金属的连接，加热温度在1 400℃以上
	一氧化铜法	用一氧化铜（CuO）粉末（粒度为2～5μm）作为中间材料，在真空或氧化性气氛中加热，借熔融铜在Al_2O_3陶瓷面上的良好润湿性与氧化物反应进行钎焊	氧化物系陶瓷（Al_2O_3，MgO，ZrO_2）之间连接及与金属的连接	通常的钎接条件是在真空度为667×10^{-5}Pa的真空炉中，温度为500℃左右，加热20min
	非晶体合金法	用厚约40～50μm、宽约10μm的非晶体二元合金（Ti－Cu，Ti－Ni或Zr－Ni）箔作为钎料并置于结合面中，然后在真空或Ar气氛炉中加热钎焊	Si_3N_4，SiC等陶瓷－陶瓷连接，Si_3N_4或SiC与金属连接	活性金属法的变异，用Cu－Ti合金箔作为钎料连接$Si_3N_4-Si_3N_4$，或SiC－SiC等非氧化物系陶瓷，可获得较高的接头强度

www.789pdf.com 789书库网

（续）

连接方法		原　理	适用材料	说　明
钎焊法	超声波钎焊法	利用超声波振动的表面摩擦功能和搅拌作用，同时用Sn－Pb合金钎料（通常添加Zn，Sb等）进行浸渍钎焊	玻璃、Al_2O_3陶瓷等的连接	纯度为99.6%的Al_2O_3难以用本法钎焊，纯度为96%的Al_2O_3用Sn－Pb钎料加Zn进行钎焊，可大大提高接头强度
	激光活化钎焊法	用氢氧化物系耐热玻璃作为中间层置于接头中，在Ar或N_2气氛下边加热边用激光照射，使之活化，进行钎焊	玻璃、Al_2O_3陶瓷等的连接	
熔焊法	激光焊法	利用高能量密度的激光束照射陶瓷接头区进行熔化连接的方法。激光器采用输出功率峰值大的脉冲振荡方式，焊前工件需预热以防止激光集中加热因热冲击而发生裂纹。预热时可利用非聚焦的激光束。为增大熔深，焊接速度宜慢，但过慢会使晶粒粗大	氧化物系陶瓷（Al_2O_3，莫来石等）Si_3N_4、SiC与陶瓷之间的连接	对Al_2O_3预热温度为1 027℃。因不采用中间层，可获得与陶瓷本身强度接近的接头强度
	电子束焊法	利用高能量密度的电子束照射接头区进行熔化连接	同激光焊法，此外还可以连接Al_2O_3与Ta、石墨与W	同激光焊法，必须在真空室内进行焊接

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

连接方法		原　理	适用材料	说　明
熔焊法	电弧焊法	用气体火焰加热接头区，当温度上升至陶瓷具有某种导电性时，通过气体火焰炬中的特殊电极在接头处加上电压，使结合面间电弧放电而产生高热以进行熔化连接	某些陶瓷-陶瓷连接，陶瓷与某些金属的连接（如ZrB_2与Mo，Nb，Ta，ZrB_2，SiC与Ta）	具有导电性的碳化物陶瓷和硼陶瓷可直接焊接，焊接时必须控制电流上升速度和最大电流值
固相连接法	气体金属共晶法	在陶瓷与金属的连接面处覆以金属箔，在稍具氧化性气氛（氧或磷、硫等）的炉中加热至低于金属熔点（Cu为1 065℃），利用气体与金属反应后的共晶作用实现连接	陶瓷与Cu，Fe，Ni，Co，Ag，Cr等金属的连接，尤其适用于Al_2O_3与Cu的连接	
	各向同时加压法（HIP法）	将连接表面加工到近似网状，把连接件组合后封入真空（真空度为133×10^{-3}Pa）容器中，在适当温度下于各个方向同时施加静水压（压力范围为50～250MPa），在较短时间内即形成连接（为促进界面连接，有时在界面上放置金属粉末或TiN等陶瓷粉末作为中间层）	陶瓷-陶瓷连接，陶瓷-金属连接，尤其适合于Al_2O_3，Zr_2O，SiC等与金属的连接	由于各向同时加压，在连接区塑性变形小的情况下使界面密接，接头强度较高，陶瓷粉末覆盖于金属表面能形成较厚且致密的表面层

www.789pdf.com 789书库网

（续）

连接方法		原　理	适用材料	说　明
固相连接法	附加电压连接法	在将接头区加热至高温的同时，通以直流电压使结合界面极化，通过金属向陶瓷扩散进行直接连接，通常在连接区附加0.1～1.0kV的直流电压，于温度500～600℃下持续40～50min	玻璃与金属；Al_2O_3与Cu，Fe，Ti，Al等金属连接；也适用于陶瓷与半导体的连接	若同时施加外压力，则在较低的电压和温度下就能实现连接
	反应连接法	借陶瓷与金属接触后进行反应而直接连接的方法，它又分为两种：在大气（有时在Ar或真空）中加热至金属熔点（热力学温度）的90%，仅施加使结合面产生物理接触的压力进行连接（非加压方式）；在氢气氛中加热（温度为金属熔点的90%）的同时再施加外压力使金属产生变形并形成连接（加压方式）	氧化物系陶瓷与贵金属（Pt，Pd，Au等）和过渡族金属（如Ni）的连接，陶瓷-金属连接	
	扩散连接法	在接头的间隙中夹以中间层（钎料）于真空炉中加热并加压的一种扩散钎焊法	陶瓷-金属连接	在柴油机排气阀中用于镍基耐热合金与Si_3N_4的连接

1．钎焊法

陶瓷的钎焊连接方法主要包括：烧结金属粉末法（又称两步法、陶瓷金属法、烧结法、多层法、高温法）、活性金属法（又称一步法、活性合金法、活性焊料法、单层法、低温法）、氧化物钎料法（又称玻璃钎料法、陶瓷钎料法）和表面包覆法。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 烧结金属粉末法

烧结金属粉末法是指用烧结的方法在陶瓷表面预先涂覆一层金属作为中间层，然后再用钎料把陶瓷表面上的涂层与金属钎焊在一起。陶瓷表面的金属化不仅可以改善非活性钎料对陶瓷的润湿性，还可在高温钎焊时保护陶瓷不发生分解而产生孔洞。

烧结金属粉末法分为 Mo－Mn 法、Mo－Fe 法、MoO_2 法和 Mo－Ti 法等。其中，Mo－Mn法应用得比较普遍，工艺比较成熟，其主要工艺流程如图 9.1 所示，具体工艺步骤如下：

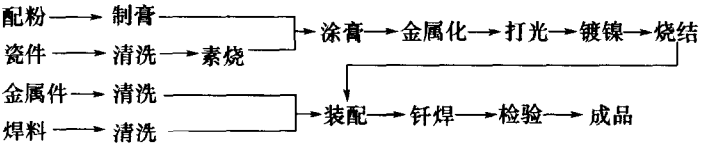


图 9.1　Mo－Mn 法陶瓷金属钎焊连接的工艺流程

① 零件清洗。

零件在钎焊前必须经过严格的清洁处理，才能保证钎焊产品的成品率要求。清洁处理的方法有很多种，包括机械清洗、化学清洗、电化学清洗、超声波清洗、热处理清洗以及粒子轰击清洗等。陶瓷件常用超声波清洗后再用去离子水清洗并烘干。金属件须经碱洗、酸洗去除其表面的油污和氧化膜，并用流动水清洗、烘干。清洗过的零件不得用裸手触摸，并应尽快转入下一道工序。

② 金属化膏剂的配制和涂覆。

膏剂由 Mo、W、Mn、Fe、Ti 等纯金属粉末和 MnO、Al_2O_3、MgO、Fe_2O_3 等金属氧化物组成(详见表 9.3)。粉末粒度在 1～5μm 之间，用有机胶粘剂调成糊状，用毛笔或喷涂、滚涂、丝网印刷、浸涂等方法均匀地涂覆在需要金属化的陶瓷表面上，涂层厚度约为 30～60μm。

表 9.3　常用的 Mo－Mn 法金属化配方和烧结工艺参数

配方组成(%)								适用陶瓷	涂层厚度(μm)	金属化温度(℃)	保温时间(min)
Mo	Mn	MnO	Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3				
80	20	—	—	—	—	—	—	75% Al_2O_3	30～40	1 350	30～60
45	—	18.2	20.9	12.1	2.2	1.1	0.5	95% Al_2O_3	60～70	1 470	60

www.789pdf.com 789书库网

（续）

配方组成(%)								适用陶瓷	涂层厚度(μm)	金属化温度(℃)	保温时间(min)
Mo	Mn	MnO	Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3				
65	17.5	95% Al_2O_3 粉 17.5						95% Al_2O_3	35～45	1 550	60
59.5	—	17.9	12.9	7.9	1.8 ($CaCO_3$)	—	—	95% Al_2O_3 (Mg－Al－Si)	60～80	1 510	50
50	—	17.5	19.5	11.5	1.5	—	—	透明刚玉	50～60	1 400～1 500	40
70	9	—	12	8	1	—	—	90% BeO	40～50	1 400	30
								95% Al_2O_3		1 500	60

③ 陶瓷金属化。

将已涂覆好膏剂的陶瓷件放入氢气炉中，并根据不同的膏剂配方和膏剂涂层厚度采用不同的热规范(见表9.3)进行烧结。

④ 镀镍。

Mo－Mn金属化层很难被钎料润湿，必须镀上一层4～5μm厚的镍。镀镍层的另一个作用是防止液态钎料对金属化层的侵蚀。

⑤ 装配。

将处理好的金属件与陶瓷件装配在一起，并在焊缝处装上钎料。钎料的选择应根据母材而定，使用最多的是BAg72Cu钎料。也可根据需要选用其他钎料。陶瓷与金属连接常用的钎料见表9.4。钎料用量必须经取样试验确定。

表9.4 陶瓷与金属连接常用的钎料

钎料	成分(%)	固相线(℃)	液相线(℃)	钎料	成分(%)	固相线(℃)	液相线(℃)
Cu	100	1 083	1 083	Ag－Cu	Ag(50)，Cu(50)	779	850
Ag	>99.99	960.5	960.5	Ag－Cu－Pd	Ag(58)，Cu(32)，Pd(10)	824	852
Au－Ni	Au(82.5)，Ni(17.5)	950	950	Au－Ag－Cu	Au(60)，Ag(20)，Cu(20)	835	845
Cu－Ge	Ge(12)，Ni(0.25)，Cu余量	850	965	Ag－Cu	Ag(72)，Cu(28)	779	779
Ag－Cu－Pd	Ag(65)，Cu(20)，Pd(15)	852	898	Ag－Cu－In	Ag(63)，Cu(27)，In(10)	685	710
Au－Cu	Au(80)，Cu(20)	889	889				

⑥ 钎焊。

钎焊在氢气炉或真空炉中进行，为保护陶瓷件与金属件之间的规定位置和尺寸，应

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

使用组装模具。模具材质采用陶瓷、石墨、高铬钢、Fe－Cr－Al合金、不锈钢、Mo等。

钎焊的最高温度应比所选用的钎料熔点(或液相线温度)高20～50℃,保温时间一般为几秒到几分钟之间。在钎焊过程中加热和冷却速度都不能过快,以保证接头质量。

⑦ 检验。

对陶瓷与金属的连接质量一般进行外观检验,对电真空器件等特殊产品还应进行气密性、热冲击和电绝缘强度等检验。

(2) 活性金属法

化学元素周期表中的过渡族金属(Ti、Zr、Hf、Nb、Ta等)具有很强的化学活性。这些金属元素对氧化物、硅酸盐等具有较大的亲和力,且易与Cu、Ni、Ag－Cu等在低于其各自熔点的温度下形成合金。这些合金在液相时又很容易与陶瓷表面发生反应,反应层主要由金属与陶瓷的复合物组成,这些复合物在大多数情况下能表现出与金属相同的结构,可以被熔化的钎料润湿,达到陶瓷与金属连接的目的,这就是活性金属法的基本原理。

活性金属法分为Ag－Cu－Ti法、Ti－Cu法、Ti－Ni法等。几种常用的活性金属法的特点比较见表9.5。由于过渡族金属元素比较活泼,因此,在钎焊中,对活性元素的保护十分重要。如果这些元素一旦氧化,就不能再与陶瓷发生反应了,从而无法实现与金属的连接。因此活性金属法一般都需要在优于10^{-2}Pa真空度的真空炉中或高纯度惰性气体保护中采用并一次完成钎焊连接。

表9.5 几种常用活性金属法的比较

方法	钎料及加入方式	钎焊温度(℃)	保温时间(min)	陶瓷材料	金属材料	特点及应用
Ag－Cu－Ti	Ag69%, Cu26%, Ti5%在陶瓷表面预涂厚度为20～40μm的Ti粉,然后用厚度为0.2mm的Ag72%, Cu28%钎料施焊	850～880	3～5	高氧化铝,蓝宝石,透明氧化铝\镁橄榄石、微晶玻璃、云母、石墨以及非氧化物陶瓷	Cu,Ti,Nb	对陶瓷润湿性良好,接头气密性好,工艺成熟,应用广泛,常用于大件匹配性封接和软金属和高强度陶瓷封接。缺点是钎料的Ag含量大,蒸气压高,易沉积于陶瓷表面,使绝缘性能下降

www.789pdf.com 789书库网

（续）

方法	钎料及加入方式	钎焊温度（℃）	保温时间（min）	陶瓷材料	金属材料	特点及应用
TiNi	Ti71.5%，Ni28.5%，用厚度为10～20μm的Ni箔作为钎料施焊	990±10	3～5	高氧化铝、镁橄榄石陶瓷	Ti	钎焊温度较高，蒸汽压较低，对陶瓷润湿性良好，特别适用于Ti与镁橄榄石陶瓷的匹配封接。缺点是钎焊温度范围窄，零件表面清理要求严格
Cu－Ti	Ti25%～30%，Cu余量，用符合上述匹配的Ti(Cu)箔或粉作为钎料施焊	900～1 000	2～5	高氧化铝镁橄榄石以及非氧化物陶瓷	Cu，Ti，Ta，Nb，Ni－Cu	钎焊温度较高，蒸汽压低，对陶瓷润湿性良好，合金脆硬，适用于匹配封接或高强度陶瓷封接

活性金属法一般以Ti作为活性元素，适用于钎焊氧化物陶瓷、非氧化物陶瓷以及各种无机介质材料。此法工艺比较简单，以Ag－Cu－Ti法为例，其工艺流程如图9.2所示，其主要工艺步骤如下：

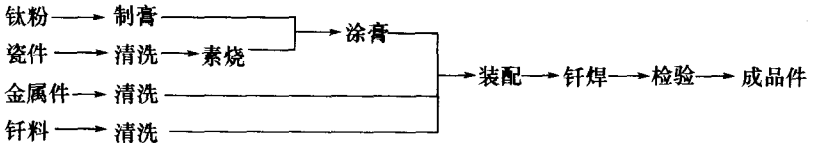


图9.2　活性法陶瓷钎焊工艺流程

① 零件清洗。

陶瓷件可在超声波清洗机中用清洗剂清洗后，再用去离子水清洗并烘干。金属件要用碱洗、酸洗的办法去除其表面的油污、氧化膜后再用流动水清洗、烘干。清洗过的零件立即进入下一道工序，中间不得用裸手触摸。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 膏剂制备。

膏剂所用的钛粉纯度应在 99.7% 以上，粒度为 270～360 目。取质量为钛粉一半的硝棉溶液，加上少量的草酸二乙酯稀释，与钛粉混合调成膏剂。

③ 膏剂涂覆。

用毛笔或喷涂、丝网印刷等方法将活性膏剂均匀地涂覆在陶瓷的待焊面上，涂层厚度控制在 25～40μm 左右。

④ 钎料选择。

用于活性金属法的活性钎料见表 9.6。应根据被焊件的不同情况慎重选用。

⑤ 装配。

将已涂上了膏剂并晾干的陶瓷件与金属件和钎料按要求装配在一起。

⑥ 钎焊。

在真空炉中进行钎焊。当真空度达到 5×10^{-3}Pa 时，逐渐升温到 779℃ 使钎料熔化（采用 7Ti－93(BAg72Cu)），然后再升温至 820～850℃，保温 3～5min 后降温冷却。在确定钎焊热规范中要特别注意的是：钎焊温度过高或保温时间过长都会引起活性合金与陶瓷件反应强烈，致使合金组织疏松、产生漏气。此外，加热或冷却速度不能过快，否则会造成陶瓷开裂。

表 9.6　用于活性金属法的活性钎料

钎料	熔化温度(℃)	钎焊温度(℃)	用途及接头性能
92Ti－8Cu	790	820～900	陶瓷－金属
75Ti－25Cu	870	900～950	陶瓷－金属
72Ti－28Ni	942	1 140	陶瓷－陶瓷，陶瓷－石墨，陶瓷－金属
50Ti－50Cu	960	980～1 050	陶瓷－金属
50Ti－50Cu(原子比)	1 210～1 310	1 300～1 500	陶瓷－蓝宝石，陶瓷－锂
7Ti－93(BAg72Cu)	779	820～850	陶瓷－钛
100Ge	937	1 180	自粘接碳化硅－金属(σ_b=400MPa)
49Ti－49Cu－2Be	—	980	陶瓷－金属
48Ti－48Zr－4Be	—	1 050	陶瓷－金属
68Ti－28Ag－4Be	—	1 040	陶瓷－金属
85Nb－15Ni	—	1 500～1 675	陶瓷－铌(σ_b=145MPa)

www.789pdf.com 789书库网

（续）

钎料	熔化温度(℃)	钎焊温度(℃)	用途及接头性能
47.5Ti－47.5Zr－5Ta	—	1 650～2 100	陶瓷－钽
54Ti－25Cr－21V	—	1 550～1 650	陶瓷－陶瓷，陶瓷－石墨，陶瓷－金属
75Zr－19Nb－6Be	—	1 050	陶瓷－金属
56Zr－28V－16Ti	—	1 250	陶瓷－金属
83Ni－17Fe	—	1 500～1 675	陶瓷－钽（σ_b=140MPa）

⑦ 检验。

检验的内容与上述烧结金属粉末法的焊后检验内容相同。

(3) 氧化物钎料法

氧化物钎料法又称玻璃钎料法、陶瓷钎料法或陶瓷玻璃钎料法，它利用钎料熔化形成的玻璃向陶瓷渗透并润湿金属表面从而实现陶瓷与金属的连接。

氧化物钎料分为高温和低温两类。前者的钎焊温度为1 400℃左右，后者为500～600℃或更低些。高温钎料主要由Al_2O_3、CaO构成。低温钎料又可分为玻璃态钎料，其组成以PbO、B_2O_3为主；微晶态钎料主要由PbO、ZnO构成。以上两类氧化物钎料的成分、钎焊温度及相关性能见表9.7和表9.8。

表9.7 常用高温氧化物钎料配方一览表

系列	配方号	典型配方组成（质量分数，%）			连接温度（熔制温度）(℃)	线胀系数（$\times10^{-7}$/K）
		Al_2O_3	CaO			—
Al－Ca	1	50	50		1 400	
	2	66.5	33.5		1 590	
		Al_2O_3	CaO	MgO		—
	3	73	26	1		
	4	54	38.5	7.5	1483	
Al－Ca－Mg	5	51.8	41.5	6.7	1345	
	6	49	42.7	8.3	1455	
	7	46	45.2	8.8	1513	
	8	42.3	51.5	6.2	1450	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

系列	配方号	典型配方组成（质量分数，%）	连接温度（熔制温度）(℃)	线胀系数（$\times10^{-7}$/K）
Al－Ca－B	9	Al_2O_3 30 CaO 30 B_2O_3 40	—	—
Al－Mn－Si	10	Al_2O_3 24 MnO 41 SiO_2 35	1 200(920～930)	—
	11	19 52 29	1 200(1 150～1 160)	
	12	13 52 35	1 160(1 070～850)	
	13	11 62 27	1 150(1 190～1 130)	
	14	7 46 47	1 200(1 070～890)	
Al－Dy－Si	15	Al_2O_3 15 Dy_2O_3 65 SiO_2 20	—	76～82
	16	20 55 25		
Al－Y－Si	17	Al_2O_3 31 Y_2O_3 42.5 SiO_2 26.5	—	—
Al－Ba－B	18	Al_2O_3 30 BaO 30 B_2O_3 40	1 450	—
Al－Ca－Mg－Ba	19	Al_2O_3 50 CaO 35 MgO 3 BaO 12	1 550	88
	20	49 36 11 4	1 410	
	21	45 36.4 4.7 13.9		
	22	40.4 14 5.3 40.3		
Al－Ca－Mg－B	23	Al_2O_3 46 CaO 44.1 MgO 6.1 B_2O_3 3.8		—
	24	41.8 49.2 7.5 1.5	1 500	
Al－Cu－Mg－Si	25	Al_2O_3 46.1 CaO 16 MgO 6 SiO_2 31.9	—	—
Al－Ca－Mg－Si	26	Al_2O_3 40.2 CaO 46 MgO 6.9 SiO_2 6.9	1 450	—

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

系列	配方号	典型配方组成（质量分数，%）	连接温度（熔制温度）(℃)	线胀系数（$\times10^{-7}$/K）
Al－Ca－Ba－B	27	Al_2O_3 46 CaO 36 BeO 16 B_2O_3 2	1 325	94～98
Al－Ca－Ba－Y	28	Al_2O_3 44.4 CaO 33.3 BeO 11.1 Y_2O_3 11.1	1 405	—
Al－Ca－Ba－Sr	29	Al_2O_3 44～50 CaO 35～40 BeO 12～16 SrO 1.5～5	1 500(1 310～1 350)	77～91
	30	Al_2O_3 47 CaO 34.4 BeO 15 SrO 3.6		
	31	Al_2O_3 40 CaO 35 BeO 15 SrO 10	1 500	95
Al－Ca－Ta－Y	32	Al_2O_3 45 CaO 49 Ta_2O_3 3 Y_2O_3 3	1 380	75～85
Al－Ca－Mg－Ba－B	33	Al_2O_3 40 CaO 45 MgO 3 BaO 2	—	—
	34	Al_2O_3 20 CaO 69.4 MgO 3.5 BaO 6.1		
Al－Ca－Mg－Ba－Sr	35	Al_2O_3 33.5 CaO 11 MgO 4.5 BaO 30.2	1 590	—
Al－Ca－Mg－Ba－Y	36	Al_2O_3 40～50 CaO 30～40 MgO 3～8 BaO 10～20 Y_2O_3 0.5～5	1 480～1 560	67～76
Al－Ca－Mg－Sr－Si	37	Al_2O_3 38 CaO 42 MgO 8 SrO 5 SiO_2 7		—
	38	Al_2O_3 37.1 CaO 43 MgO 6 SrO 1.5 SiO_2 11	1 500	
Al－Ca－Mg－Ba－B－Si	39	Al_2O_3 44 CaO 38 MgO 6 BaO 9 B_2O_3 2 SiO_2 1	1 450	—
	40	Al_2O_3 32.6 CaO 50.4 MgO 10.3 BaO 4.2 B_2O_3 1.8 SiO_2 0.5		
Al－Ca－Sr－Ba－B－Si	41	Al_2O_3 25 CaO 18 SrO 18 BaO 14 B_2O_3 5 SiO_2 20	—	—
Al－Ca－Sr－Ba－Mg－Y	42	Al_2O_3 44～50 CaO 35～40 SrO 1.5～5 BaO 12～16 MgO 0.5～1.5 Y_2O_3 0.5～1.5	1 500	—

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

系列	配方号	典型配方组成（质量分数，%）	连接温度（熔制温度）(℃)	线胀系数 ($\times10^{-7}$/K)
Si－Zn－Al	43	SiO_2 ZnO Al_2O_3 30～60 25～35 2.5～10	1 000	—
Zn－B－Si－Li－Al	44	ZnO B_2O_3 SiO_2 Li_2O Al_2O_3 29～57 19～56 4～26 3～5 0～6	1 000	49
Si－B－Al－Na－K－Ba	45	SiO_2 B_2O_3 Al_2O_3 Na_2O K_2O BaO 70～75 20 4～8 4～7 6 0～2	1 000	—
Si－Ba－Al－Li－Co－P	46	SiO_2 BaO Al_2O_3 Li_2O CoO 55～65 25～32 0～5 6～11 0.5～1 P_2O_5 1.5～3.5	950～1 100	104
Sr－Al－K－Na－Ba－Sr－Ca	47	SiO_2 Al_2O_3 K_2O Na_2O BaO 63～68 3～6 8～9 5～6 2～4 SrO CaO 5～7 2～4 另含少量 Li_2O、MgO、TrO_2、B_2O_3	1 000	85～93

表 9.8 常用低温氧化物钎料的成分及性能

编号	主要成分（质量分数，%）	连接温度（℃）	主要性能	主要用途
1	PbO 77 Al_2O_3 3 B_2O_3 12 SiO_2 1 ZrO 7		软化点 315℃	可用于集成电路外壳类封装
2	PbO 75.1 ZrO 11.9 B_2O_3 8.8 SiO_2 2.0 BaO 2.2 $ZrSiO_4$ 0.5		线胀系数（98～99）$\times10^{-7}$/K，结晶化温度 430℃，90min	可用于彩色显像管屏、锥的连接

www.789pdf.com 789书库网

（续）

编号	主要成分（质量分数，%）	连接温度（℃）	主要性能	主要用途
3	PbO 70～90 B_2O_3 15 ZnO 0～10 CuO 0.1～3 Bi_2O_3 0.1～3 SiO_2 0.5～3 Al_2O_3 0.5～3	430		液晶显示器
4	PbO 83 B_2O_3 10 SiO_2 4 Al_2O_3 3	400～500		可用于录音机Mn－Zn磁头等磁性材料的连接
5	P_2O_5 45～65 ZnO 15～35 PbO 5～25 Li_2O 4～12 Al_2O_3 1～4 Sb_2O_3 0～7 Ag_2O 0～5 V_2O_5 2～10 （%，mol）	450～500	软化点350～450℃，线胀系数$(100\pm20)\times10^{-7}$/K，折射率为1.63～1.5	可用于玻璃激光器
6	Na_2O 40 BaO 10 Al_2O_3 1 P_2O_5 49 外加0.1SiO_2、ZrO_2、Y_2O_3、La_2O_3、Ta_2O_3时为玻璃陶瓷（%，mol）	450～500	线胀系数为235×10^{-7}/K	用于真空管、炸药雷管电气引线的连接
7	BaO 10 Al_2O_3 1 Na_2O 40 P_2O_5 49 （%，mol）	450～520		可用于Al和Al合金连接，2h可形成理想连接

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

编号	主要成分（质量分数，%）	连接温度（℃）	主要性能	主要用途
8	$PbO-B_2O_3-ZnO$ 系 玻璃：60～85 β锂霞石：10～30 锆石：0.5～1.5		$PbO-B_2O_3-ZnO$ 系玻璃的线胀系数为 110×10^{-7}/K。β锂霞石线胀系数为（$-60\sim-90$）$\times10^{-7}$/K，锆石（$ZrO_2\cdot SiO_2$）为 45×10^{-7}/K	大规模集成电路
9	SiO_2 65～75 Na_2O 9～13 K_2O 3～6 Al_2O_3 1～4 CaO 4～8 BaO 0～4 PbO 0～6 F 0～1 Li_2O 0～2	820～870	软化点 625～670℃，线胀系数（87～97）$\times10^{-7}$/K，250℃电阻率 $>10^7\Omega\cdot$cm，350℃电阻率 $>10^5\Omega\cdot$cm	放电管、灯头、显像管等电子器件的电气引线
10	SiO_2 55～65 Al_2O_3 0～5 Li_2O 6～11 BaO 25～32 CoO 0.5～1 P_2O_5 1.5～3.5	950～1 100	线胀系数 104×10^{-7}/K	电气引线、真空管绝缘子、炸药触发器、Fe－Ni 合金、不锈钢及 Inconel等的连接
11	SiO_2 70～75 B_2O_3 20 Al_2O_3 4～8 Na_2O 4～7 K_2O 6 BaO 0～2	约 1 000		Li 化学电池

www.789pdf.com 789书库网

（续）

编号	主要成分（质量分数，%）	连接温度（℃）	主要性能	主要用途
12	ZnO 25～35 Al_2O_3 2.5～10 SiO_2 30～60	1 000	耐KOH	Ni－Cd电池
13	SiO_2 4～26 B_2O_3 19～56 ZnO 29～57 Li_2O 3.0～5.0 Al_2O_3 0～6	1 000	线胀系数为49×10^{-7}/K	基片连线、半导体外壳输出线、陶瓷结构光电倍增管电极引线
14	SiO_2 63～68 Al_2O_3 3～6 K_2O 8～9 Na_2O 5～6 Li_2O 0～1.5 BaO 2～4 SrO 5～7 CaO 2～4 MgO 0.5～1.5 TiO_2 0.5～1.5 B_2O_3 0.5～1.5	1 000	线胀系数为（85～93）×10^{-7}/K	半导体器件封装
15	P_2O_5 40～75 BaO ≤55 CaO ≤55 ZnO ≤20 MgO ≤20 Na_2O 0～20 K_2O 0～20 Al_2O_3 0～10 B_2C_3 0～10 SiO_2 0～10			连接镁橄榄石瓷、顽辉石瓷、块滑石瓷、尖晶石瓷、TiO_2、MgO瓷及Cu、Pb、Ni、Fe、26Cr－Fe、Fe－Ni－Co等金属

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

氧化物钎料的制备方法是:按配方称量各氧化物原料,混合均匀后放入白金坩埚或刚玉坩埚中,用电热炉缓慢升温至900～1 000℃,保温一段时间后继续升温至1 500℃左右,保温1～2h。将坩埚从炉中取出并立即将坩埚中的熔融玻璃倒在不锈钢板上使其快速冷却。再将快冷形成的碎玻璃加热至800℃左右后倒入水中炸成小碎块。这些小碎块经研磨或球磨形成玻璃粉,经100目筛子过筛后即成为尺寸为0.154mm左右的氧化物钎料粉。低温氧化物钎料粉的制备方法与上述方法基本相同,只要在熔制温度等方面做些调整即可。

制成的氧化物钎料粉用硝棉溶液或乙醇调成膏状待用。直接用氧化物粉末加乙醇调成膏状,不必经过熔炼,也是一种常用的氧化物钎料配制方法。采用这种方法时,要把氧化物粉末混合均匀,并适当提高采用这种方法配制的钎料钎焊时的钎焊温度。

陶瓷与金属的钎焊方法除了以上介绍的烧结金属粉末法、活性金属法和氧化物钎料法外,还有气相沉积法,如真空蒸镀、溅射沉积、离子涂覆、等离子弧喷涂以及化学气相沉积等陶瓷金属化方法。

2. 熔焊法(电子束焊)

陶瓷熔焊法包括电子束焊、激光焊和电弧焊。这里主要介绍应用较多的电子束焊。

电子束焊接陶瓷的优点是:由于热量集中,所以焊件变形很小,几乎不产生应力,可有效防止焊接接头产生龟裂,且生产效率高。其缺点是焊接设备复杂,价格昂贵。焊接要求在真空室内进行,焊件形状和尺寸等都受到一定限制,目前只限于难熔金属与陶瓷以及陶瓷与陶瓷的焊接。

电子束焊机(低压)的结构原理如图9.3所示。以18－8型不锈钢与陶瓷的焊接为例,其工艺参数见表9.9。

焊接过程如下:

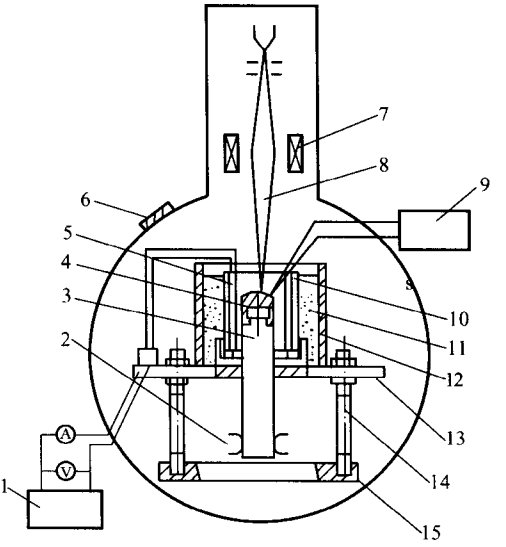
① 将清洗干净的焊件装配并置于电子束焊机内,焊接室内的真空度达到10^{-2}Pa后,以40～50℃/min的速度将被焊件预热到1 200℃,并保温4～5min,使陶瓷预热均匀。

② 按表9.9所列的工艺参数并以均匀的焊接速度施焊。因陶瓷的熔点比18－8型不锈钢高,故电子束加热的中心线应适当偏向陶瓷一侧。

③ 焊后缓慢冷却,以防陶瓷开裂。

陶瓷的电子束焊接质量主要取决于加速电压、束流、焊接速度、预热和焊后冷却速度。一般认为在一定的功率和焊速条件下,采用高的加速电压和小的束流,可获得比较满意的结果。较快而均匀的焊接速度有利于提高焊接质量,充分的预热和缓慢的焊后冷却可防止陶瓷开裂。

www.789pdf.com 789书库网



1—调压器;2—焊机卡盘;3—支杆;4—焊接件;5—加热丝;
6—观察窗;7—透境;8—电子束;9—热电偶束;10—预热炉;
11—保温层;12—保温套筒;13—托板;14—预热炉支杆;15—传动机构底层

图 9.3　电子束焊机的结构原理

表 9.9　18－8 型不锈钢与陶瓷的电子束焊接工艺参数

异种材料名称	母材厚度（mm）	焊接工艺参数				
		电子束流（mA）	焊接电压（kV）	焊接速度（m/min）	预热温度（℃）	缓冷速度（℃/min）
18－8 型不锈钢＋陶瓷	4＋4	8	10	62	1 250	20
	5＋5	8	11	62	1 200	22
	6＋6	8	12	60	1 200	22
	8＋8	10	13	58	1 200	23
	10＋10	12	14	55	1 200	25

注：真空度为 $1.333\ 2\times10^{-7}$MPa。

激光焊接与电子束焊接一样，均为高能束焊接，其主要优点是激光焊可不在真空条件下进行。激光焊可用于 W、Mo、Ta、Zr 等难熔金属和各种陶瓷的焊接。

3．扩散焊接法

陶瓷与陶瓷或陶瓷与金属可以用扩散焊接法进行连接。其中陶瓷与铜的扩散焊接

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

研究得较多,应用也比较广泛。

陶瓷扩散焊的优点是连接强度高,焊件尺寸容易控制,可连接异种材料。主要不足是:扩散温度高,时间长,焊接环境要求高,设备昂贵,成本高,焊件尺寸和形状受到限制。

陶瓷与金属的扩散焊既可在真空中,也可在氢气中进行。焊件表面有氧化膜时更容易产生相互间的化学作用,因此在焊接真空室中充以还原性的活性介质(使金属表面仍保持一层薄的氧化膜)会使扩散焊接头获得更高的连接强度。

(1) 陶瓷扩散焊工艺参数

影响陶瓷扩散焊质量的主要工艺参数是加热温度、保温时间、压力、焊件表面状态等。

① 加热温度。

陶瓷与金属扩散焊的加热温度一般为金属熔点的90%以上。加热温度对扩散焊质量的影响较大,在温度的作用下,促进焊件元素之间的相互扩散并形成化学反应层,获得足够的界面结合。反应层厚度 X 与加热温度的关系如下:

$$X = K_0 t^n \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right)$$

式中,K_0——常数;

t——焊接时间;

n——时间指数;

Q——扩散激活能;

T——热力学温度;

R——气体常数。

加热温度对扩散焊接头强度 σ_b 的影响可用下式表示:

$$\sigma_b = B_0 \exp\left(\frac{-Q_{app}}{RT}\right)$$

式中,B_0——常数;

Q_{app}——表观激活能,可以是各种激活能的总和。

② 保温时间。

保温时间对扩散焊接头强度的影响也很显著,在一定的加热温度下,保温时间存在一个最佳值。以 Al_2O_3 - Al 组合为例,其保温时间与扩散焊接头抗拉强度的关系如图9.4所示。用Nb作为中间层扩散连接SiC - SUS304不锈钢时,保温时间过长后使接头的抗剪强度下降,这是因为形成了线胀系数与SiC相差很大的 $NbSi_2$ 所致,如图9.5所示。

www.789pdf.com 789书库网

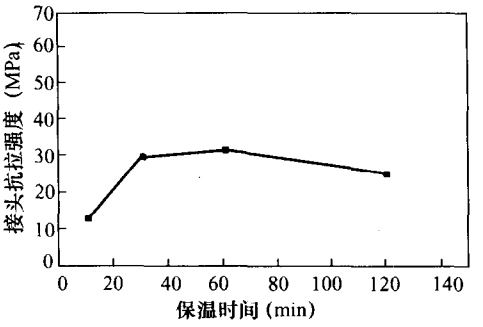


图 9.4 保温时间和 Al_2O_3 - Al 接头抗拉强度的关系

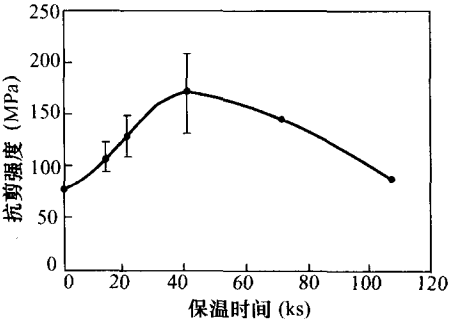


图 9.5 保温时间和 SiC - Nb - SiC 接头抗剪强度的关系

③ 压力。

对被焊件施加压力是为了使其接触面处产生塑性变形,减少表面不平整和破坏表面氧化膜,增加表面接触,为原子扩散提供条件。为防止焊接件产生过大的变形,压力不能太大,一般为 0～100MPa。压力对接头抗剪强度的影响存在着一个最佳值,超过此值时强度不再增加,甚至还会降低,如图 9.6 所示。压力的影响还与材料类型、厚度以及表面氧化状态有关。用贵金属(如金、铂等)连接氧化铝陶瓷时,金属表面的氧化膜非常薄,随着压力的增加接头强度会达到一个稳定值,如图 9.7 所示。

④ 表面粗糙度。

粗糙的表面会在陶瓷中导致局部应力集中,容易引起脆性破坏,如图 9.8 所示。

⑤ 界面化学反应。

在陶瓷与金属扩散焊时,两者接触的界面会发生化学反应,其反应所形成的化合物与扩散条件有关,扩散条件不同,反应的产物不同,从而直接影响接头性能。扩散焊气氛对接头抗弯强度的影响如图 9.9 所示,中间层材料厚度对接头残余应力的影响如图 9.10

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

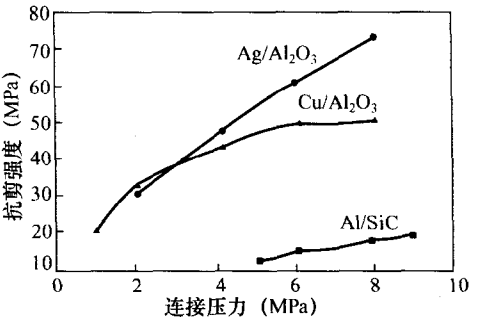


图 9.6　压力和接头抗剪强度的关系

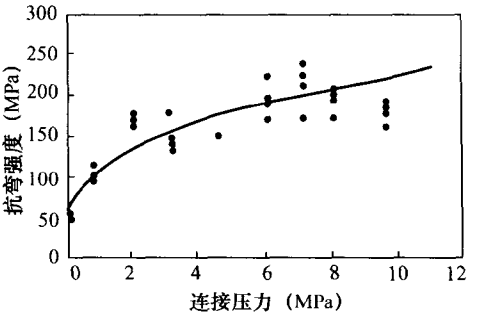


图 9.7　Al_2O_3 - Pt 扩散连接时压力和接头抗弯强度的关系

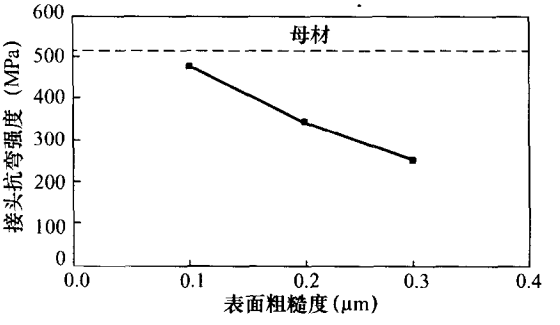


图 9.8　Si_3N_4 - Al 接头表面粗糙度和接头抗弯强度的关系

所示。

由图 9.9 可知，在大气中连接的接头强度比真空中（抗弯 500MPa）的低，接头沿 Al - Si_3N_4 界面脆性断裂，这可能是由于铝氧化的结果，加压虽能破坏氧化膜，但当焊接气氛中氧分压较高时会形成新的金属氧化膜，降低接头强度。在高温下直接扩散连接

www.789pdf.com 789书库网

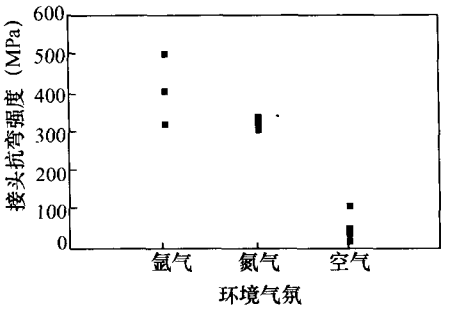


图 9.9 环境条件和 $Si_3N_4-Al-Si_3N_4$ 接头抗弯强度的关系

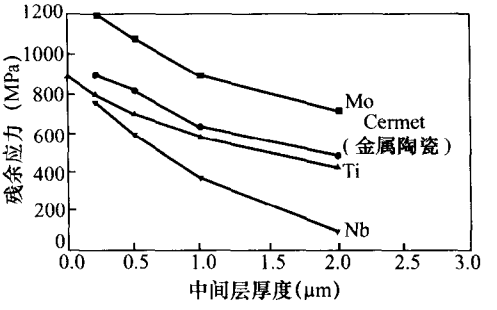


图 9.10 中间层厚度和 Al_2O_3 - AISI405 接头残余应力的关系

（1 300℃，100MPa，30min）

Si_3N_4 陶瓷时，Si_3N_4 陶瓷容易分解形成空洞，如此时采用氮气保护，则可提高接头强度。

扩散焊时采用中间层可降低扩散温度，减少压力和缩短保温时间，促进扩散，并可降低界面中的残余应力。但是，中间层的影响有时比较复杂，必须慎重选择。如果选择不当，可能因界面反应激烈产生脆性反应物而降低接头的抗弯性能，或由于线胀系数不匹配而增大接头中的残余应力或降低接头的耐腐蚀性能。

中间层能够以陶瓷金属化、粉末或箔材等形式加入。

4. 反应连接法

反应连接法是利用陶瓷与金属接触时进行反应而直接连接的方法。此法又分为：在大气、氩气或真空中加热至金属熔点（热力学温度）90%的温度，仅施加使结合面产生物理接触的压力进行连接的非加压方法；以及在氢气中加热至金属熔点 90%的温度，同时再施加一定压力，使金属产生变形而形成连接的加压方法。反应连接法可用于氧化物陶瓷与 Pt、Au、Ni 等金属的连接。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5. 粘接法

陶瓷与陶瓷或陶瓷与金属可采用粘接法进行连接，其主要工艺条件如下：

① 陶瓷与金属的表面处理。

连接前，对连接件的表面必须进行严格处理。对陶瓷可用细砂纸轻轻打磨，再用干燥空气吹净打磨下来的细粉；也可用酸处理法，即在重铬酸钠 3.5 份、浓硫酸 200 份（或铬酸 1 份、水 4 份）配成的处理液中，于室温下浸渍 10～15min，再用水洗净，在 65℃下干燥。对于金属件，其处理方法见表 9.10。

② 陶瓷与陶瓷或陶瓷与金属的粘接条件。

陶瓷与陶瓷、陶瓷与金属的粘接条件见表 9.11。

表 9.10 胶粘法金属表面处理方法一览表

金属种类	处理内容	处理溶液配方（质量分数，%）	工艺要点	备注
铝及铝合金	脱脂处理	三氯乙烯、醋酸丙酮、丁酮、汽油等	用脱脂棉沾湿溶剂擦拭金属表面，脱脂后再以清洁棉布擦拭几次	
	脱脂后化学处理	浓硫酸 27.3 重铬酸钾 7.5 水 65.2	在 60～65℃时浸渍 10～30min 后取出水洗，晾干或以 80℃烘干	
		磷酸 10 正丁醇 3 水 20	在左侧配方溶液中洗后晾干	
		氟化氢氨 3～3.5 氧化铬 20～26 磷酸钠 2～2.5 浓硫酸 50～60 硼酸 0.4～0.6 水 1 000	在 25～40℃下浸渍 4.5～6min 后水洗，干燥处理后 4h 内胶接	胶接强度较高，适用于环氧胶和环氧—丁腈胶的胶接

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

金属种类	处理内容	处理溶液配方（质量分数，%）	工艺要点	备注
铝及铝合金	脱脂后化学处理	磷酸 7.5 氧化铬 7.5 酒精 5.0 甲醛(36%～38%) 80	在15～30℃下浸渍10～15min，然后在60～80℃下水洗、干燥	
		重铬酸钾 66 硫酸(96%) 666 水 1 000	在70℃下浸渍10min，然后水洗、干燥	
		硝酸($d=1.41$) 3 氢氟酸(42%) 1	在20℃下浸渍3s，用冷水冲洗，再在65℃下热水洗，再用蒸馏水洗、干燥	适合含铜较高的铸造铝合金
		硅酸钠 10 非离子去垢剂 0.1	在65℃下浸渍5min，然后在65℃下水洗，再用蒸馏水洗、干燥	适用于铝箔的胶接
		氟化钠 1 浓硝酸 15 水 84	室温下浸渍1min，水洗后再转下述溶液中处理	
		浓硫酸 30 重铬酸钠 7.5 水 62.5	室温下浸渍1 min，水洗、干燥	
	脱脂后阳极化处理	浓硫酸 200g/L	在1～1.5A/dm^{2}的电流密度下浸渍10～15min，再在饱和重铬酸钾溶液中在95～100℃下浸渍5～20min，水洗、干燥	
	喷砂或打磨后阳极化	氧化铬 100 硫酸 0.2 氯化钠 0.2	在40℃下于100min内将电压从0升至10V，保持20min，再于5min内从10V升至50V，保持50min，水洗后以70℃干燥	游离氧化铬浓度不得超过30～35g/L

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

金属种类	处理内容	处理溶液配方（质量分数，%）	工艺要点	备注
镁及镁合金	脱脂处理	常用溶剂为三氯乙烯、丙酮醋酸乙酯和丁酮等	—	
	脱脂后处理	氢氧化钠 12 水 100	在左侧溶液中于70～75℃下浸渍5min，冷水洗后转下面溶液	
		氧化铬 10 水 100 无水硫酸钠 2.8	在配方溶液中于20℃下浸渍5min后用冷水洗，再用蒸馏水洗，以40℃干燥	
		氧化铬 13.8 硫酸钙 1.2 水 85	在质量分数为6.3%的NaOH溶液中于70℃下浸10min，水洗后于左侧溶液以55℃浸5min	
		氧化铬 10 硫酸钠 0.5 水 89.5	再用蒸馏水洗后置于左侧溶液，于55℃浸渍3min，水洗后以60℃干燥	
		氧化铬 16.6 硝酸钠 20 冰醋酸 105 水 100	20℃下浸渍3min后用冷水冲洗，再用蒸馏水洗净，以40℃干燥	
		重铬酸钠 10 硫酸镁 5 硫酸锰 5 水 80	60～70℃下浸渍3min，用温水冲洗，再用蒸馏水洗净，以70℃干燥	
		重铬酸钠 1.5 硫酸氨 3 氨水（$d=0.88$） 0.3 水 93.7	在沸腾溶液中浸渍20min，用温水冲洗，再用蒸馏水洗净，干燥	

www.789pdf.com 789书库网

（续）

金属种类	处理内容	处理溶液配方（质量分数，%）	工艺要点	备注
镁及镁合金	脱脂后阳极化处理	氟氢化氨 10%	30℃下，电流密度低于0.45A/dm^2，交流电压90～120V，水洗，干燥	
		氟氧化钾 12 铝 0.75 无水氟化钾 3.4 磷酸钠 3.4 高锰酸钾 1.5 水 80	20～30℃下，交流电压80V，电流密度为1.1～1.4A/dm^2，用冷蒸馏水洗净，干燥	
	脱脂后的碱洗	氢氧化钠 23～34 水 400	70℃下浸洗5～15min，再用冷水洗5min	
		氧化铬 57～68 硝酸钙 5 水 450	55℃下浸渍5～15min，用冷水洗2min	
		氧化铬 45 磷酸钠 8 水 450	55℃下浸渍3～12min，冷水洗2min，最后在40℃下干燥30min	
铜及铜合金	脱脂处理	常用溶剂有三氯乙烯、丙酮、丁酮、醋酸乙酯	—	
	脱脂后处理	浓硫酸 8 浓硝酸 25 水 17	在25～30℃下浸渍1min，然后水洗，在60～70℃下干燥	
		浓硫酸 40 硫磺铁 4.5 水 38	在60～70℃下浸渍10min，然后水洗，在60～70℃下干燥	
		浓硫酸 10 重铬酸钠 5 水 85	在25～30℃下浸渍10～15min，水洗，室温下干燥	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

金属种类	处理内容	处理溶液配方（质量分数，%）	工艺要点	备注
铜及铜合金	脱脂后处理	三氯化铁 15 浓硝酸 30 水 200	在25～30℃下浸渍1～2min，水洗，室温下干燥	
		硫酸铁 4.5 浓硫酸 3.4 水 450	在60～71℃下浸渍10min，然后用20℃水洗5min	用于黄铜和青铜的处理
		重铬酸钠 5 浓硫酸 10 水 85	浸亮后用冷水洗净，再浸入氢氧化氨（$d=0.85$）10min，用冷水洗5min，再用蒸馏水洗净，以40℃干燥	
	氧化	过硫酸钾 1.5 氢氧化钠 5 水 100	60～70℃下浸渍15～20min，表面即呈黑色，胶接前用CCl_4擦洗一次	用于铜箔处理
不锈钢	脱脂处理	常用溶剂：三氯乙烯，丙酮，丁酮，苯，醋酸乙酯		
	脱脂后处理	硅酸钠 6.4 焦磷酸钠 3.2 氢氧化钠 3.2 去垢粉 1 水 32	70～85℃下浸渍10min，冷水洗后在93℃下干燥	
		磷酸钠 8.5 焦磷酸钠 4.2 氢氧化钠 4.2 表面活性剂 1.4 水 380	80℃下浸渍10min，pH=12.65，取出水洗	
		氧化铬 20 水 380	再在左侧溶液中于65℃下浸渍3min，水洗后干燥	
		盐酸（37%） 2 六次甲基四胺 5 水 20	65～70℃下浸渍5～10min，然后加30%的双氧水，取出水洗，在93℃下干燥	

www.789pdf.com 789书库网

（续）

金属种类	处理内容	处理溶液配方（质量分数，%）	工艺要点	备注
不锈钢	脱脂后处理	重铬酸钾饱和液 0.35 硫酸（$d=1.84$） 10	50℃下浸渍10min，然后刷去炭渣，用蒸馏水洗净，在70℃下干燥	适宜要求达到最大剥离强度的场合
		草酸 37 硫酸 36 水 300	85～90℃下浸渍10min，经蒸馏水洗净，用暖空气干燥	
		盐酸（$d=1.19$） 52 双氧水（30%） 2 甲醛（38%） 10 水 45	65℃下浸渍10min，水洗	
		硫酸（$d=1.84$） 重铬酸钠 水	再在左侧溶液中于65℃下浸渍10min，用蒸馏水洗后，在70℃下干燥	
	脱脂后阳极化	硫酸浓度500g/L…① 5%～10%氧化铬溶液…②	在①中阳极化90s，电压为6V，水洗后再用蒸馏水洗，以70℃干燥，再在②中钝化20min	胶接件为阳极
碳钢及铁合金	脱脂处理	常用溶剂：三氯乙烯，丙酮，醋酸乙酯，汽油，苯，无水乙醇		
	脱脂后处理	10%水玻璃水溶液	60℃下浸渍10～15min，水洗，干燥	
		18%盐酸水溶液	室温下浸渍5～10min，冷水洗后再用蒸馏水洗，于93℃下干燥	
		50%浓磷酸－50%甲醛混合液	60℃下浸渍10～15min，水洗，干燥	
		3.5%的氢氧化钠溶液…① 5%的硝酸溶液…②	在60℃的①中浸渍20min，冷水洗后再在②中浸渍10min，用冷水洗	
		重铬酸钠 7.5 硫酸 24 水 77	然后在65℃的左侧溶液中浸渍20min，用60℃的热水洗，再用冷水洗后于70℃下干燥	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

金属种类	处理内容	处理溶液配方（质量分数，%）	工艺要点	备注
碳钢及铁合金	脱脂后处理	重铬酸钠 4 硫酸（$d=1.84$） 10 水 30	71～77℃下浸渍10min，水洗，再用蒸馏水洗，93℃下烘干	
		硅酸钠 30 烷基芳基磺酸钠 3 水 967	60～65℃浸渍5min，经水洗后，再用热蒸馏水洗，在100～105℃下干燥	
		磷酸 10 乙醇 20	60℃下浸渍10min，经流水冲去炭渣，用蒸馏水洗净，在120℃下干燥30min	
钛及钛合金	脱脂处理	脱脂溶剂：三氯乙烯，丙酮，丁酮，苯，醋酸乙酯，汽油，无水乙醇	—	
	脱脂后处理	氟化钠 2 氧化铬 1 硫酸 10 水 50	20℃下浸渍5～10min，水洗后再用蒸馏水洗，93℃下干燥	
		氢氟酸（浓） 84 盐酸（37%） 8.9 磷酸（85%） 4.3	20℃下浸渍2min，水洗后再用蒸馏水洗，93℃下干燥	
		硝酸（70%） 5 氟化氨 3 水 92	碱性水溶液洗后，在左侧溶液中于室温下浸渍4～6min，水洗	
		磷酸三钠 5 氟化钠 1 氢氟酸 1.5 水 92.5	然后在室温下的左侧溶液中处理2min，水洗后干燥	
		磷酸三钠 5 氟化钠 1.3 氢氟酸 2.9 水 90.8	用该溶液擦洗2～3min，经水洗后在60℃下干燥	

www.789pdf.com 789书库网

（续）

金属种类	处理内容	处理溶液配方（质量分数，%）	工艺要点	备注
锌及锌合金	脱脂处理	脱脂溶剂：三氯乙烯，丙酮，丁酮，醋酸乙酯，汽油	—	
	脱脂后处理	盐酸(37%) 10～20 水 80～90	室温下浸渍 2～4min，温水洗后用蒸馏水洗，在 66～71℃下干燥 30min	
		硫酸($d=1.84$) 2 重铬酸钠 1 水 8	38℃下浸渍 3～6min，经冷水冲洗后，用蒸馏水洗净，在 40℃下干燥	

注：经处理后的金属件应尽快胶接。

表 9.11 陶瓷与陶瓷、陶瓷与金属的粘接条件

材料名称	连接工艺	备注
陶瓷－陶瓷 陶瓷－金属	(1)环氧树脂胶粘剂 ①配方 A 组分为 E44 环氧树脂 100 份，液态聚硫橡胶 20 份，邻苯二甲酸二丁酯 10 份，气相白碳黑 5～10 份；B 组分为聚酰氨(200#)100 份，DMP305 份，KH550 1～3 份。取 A:B=100:(40～100)混合，涂胶后常温固化 24h，也可加温固化	配方为重量份（下同），也可粘接陶瓷与玻璃
	②配方 A 组分为 E－42 环氧树脂 100 份，邻苯二甲酸二丁酯 10～15 份，石英粉粒度为 0.056mm(270 目)适量；B 组分为三乙烯四氨 10 份。A、B 混合后使用	可用于陶瓷与镀锌件、陶瓷与铁氧体的粘接
	③配方 A 组分为 E－44 或 51 环氧树脂 100 份，邻苯二甲酸二丁酯 10 份，石英粉 40 份；B 组分为三乙醇氨 15～20 份。固化条件：80℃/2h＋100℃/2h＋120℃/2h	可用于压电陶瓷晶片与钢片以及磁棒的粘接
	④配方为 E－51 环氧树脂 100 份，液态聚硫橡胶(JLY－121)20 份，硅砂 0.071mm(200 目)50 份，KH－550 2 份，810 固化剂 33 份。涂胶后贴上两层玻璃布或棉白布加固，外层涂胶封闭，室温固化 8～12h	有较好的耐水性

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

材料名称	连接工艺	备注
陶瓷－陶瓷 陶瓷－金属	(2)有机硅胶粘剂 采用室温硫化硅橡胶。双组分：室温硫化硅橡胶有 SD－33、SDL－1－35、SDL－1－41、SDL－1－43、106 等；单组分：硫化硅橡胶有 D－10、GD－401、GD－403、D－20、南大－705 等	耐热、耐寒、耐潮、绝缘，用于无线电陶瓷元件、瓷砖的粘接以及防水密封
	(3)α氰基丙烯酸酯胶粘剂 国内牌号有 501、502 等，固化迅速，粘接力强	适合陶瓷元件小面积粘接定位
	(4)聚氨酯胶粘剂 国内牌号有 101、熊猫 404、405、717 等	尤其适合低温环境
	(5)酚醛－缩醛胶粘剂 国产酚醛－缩甲醛胶有 201、202、203 等。酚醛－缩丁醛胶有 JSF－1、JSF－2、JSF－4 等	也可用于陶瓷与其他材料的粘接
	(6)聚酰亚氨、聚苯并咪唑胶粘剂 聚酰亚氨胶可在 250℃下长期工作并保持较高强度，聚苯并咪唑胶在 300℃时强度可达 20N/mm^2	
	(7)硅酸盐无机胶粘剂 ①配方为硅酸钠（55^{0}Be）100 份，氟硅酸钠（320 目）100 份。于室温或 80～100℃下固化 2～4h ②配方为硅酸钠（40^{0}Be）100 份，玻璃质釉渣粉 50 份，Fe_2O_3（320 目）50 份，固化条件是：室温 3h＋80－100℃/3h＋120～150℃/5h	常用于高压灯头石英与陶瓷的粘接。气密性为 0.1～0.01Pa，使用温度为 800℃
	(8)磷酸－氧化铜无机胶粘剂 粘接后在室温下固化。高温性能好，固化后熔点高于 950℃	在我国被广泛应用
	(9)硫化铜－镧铬铁－硅砂胶粘剂 配制时将各组分混合，用有机溶剂调成稠状胶粘剂，夹在陶瓷与金属之间，经高温使硫化铜分解，产生铜的中间层，从而获得优异的粘接效果。可粘接磁流体发电设备的管道零件	陶瓷与铜板的粘接强度达 68.6MPa，耐高温 1 100℃

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



第10章　面向无铅组装的设计

面向无铅组装的设计就是在电子电路(极级电路)的设计时,充分考虑到组装该电子电路时顺利实现组装无铅化(其核心是无铅焊接)的要求,避免或减少由于设计不周而给电子电路组装无铅化带来的困难,从而缩短电子电路从设计到工艺的整个制造周期,提高电子电路的制造质量。实际上这是优化设计理念的一种实际应用,也是在电子电路组装中顺利导入无铅焊接的重要基础条件。

10.1　无铅组装的基本要素

按照美国 IPC 的定义,电子电路的组装就是将多个局部组装或任何组装的部件相互结合在一起。电子电路组装最典型的是印制电路板的组装,它是按照设计要求,将印制板(裸板)和电子元器件装配并连接成一个具有特定功能的组合体(组件)。无铅组装就是在上述组装过程中不允许使用铅(Pb),以达到保护环境的目的。由于组装是电子电路制造中综合性的工艺过程,因此,无铅组装涉及的要素也较多,其主要包括:

① 无铅组装设计;

② 无铅组装材料选择;

③ 无铅组装工艺与设备的应用;

④ 无铅组装的质量评定。

在本书相关章节中已就无铅连接(焊接、粘接)工艺与设备做了一些介绍,本章主要从设计角度对无铅组装中相关材料和元器件的选择以及组装方法的确定等方面进行介绍。

10.2　无铅组装设计

10.2.1　无铅钎料选择

从有铅组装转向无铅组装，其核心技术就是用无铅钎料来替代有铅钎料（习惯称

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

焊锡，即 Sn－Pb 钎料)。因此，无铅钎料选择得合理与否，直接关系到作为无铅组装中关键的焊接工艺与设备的选用和无铅焊接的质量。这是近 20 年来备受全球关注的焦点之一。

1．无铅焊膏(无铅再流焊用)

再流焊用无铅焊膏中无铅钎料合金的种类及熔化温度见表 10.1。

表 10.1　无铅焊膏中无铅钎料合金的种类及熔化温度

熔点低于 180℃			
Sn－52Bi	Sn－42In	Sn－50In	Sn－52In
熔化温度为 180～200℃			
Sn－8Zn－3Bi Sn－Zn－Bi	Sn－Zn－Bi－In Sn－8.8In－27.6Zn	Sn－20In－2.8Ag Sn－10.5In－2Ag－0.5Sb	Sn－9.5Bi－0.5Cu
熔化温度为 200～230℃			
Sn Sn－0.7Cu Sn－1Cu Sn－2.5Ag	Sn－3.5Ag Sn－4Ag Sn－5Ag Sn－3.4Ag－1.2Cu	Sn－3.4Ag－1.2Cu－3.3Bi Sn－3.5Ag－0.7Cu Sn－4Ag－0.5Cu Sn－4.7Ag－1.7Cu	Sn－Ag－Cu－Ge Sn－2.5Ag－0.8Cu－0.5Sb Sn－Ag－Bi Sn－1.5Ag－2Bi－0.5Cu
熔点高于 230℃			
Sn－1Sb Sn－3Sb	Sn－5Sb 80Au－20Sn	Sn－3Cu	Sn－25Ag－10Sb

2．无铅钎料棒(无铅波峰焊用)

无铅波峰焊用的无铅钎料合金棒(条)的种类及熔化温度见表 10.2。

表 10.2　无铅钎料棒(条)的种类及熔化温度

熔点低于 180℃			
Sn－30Bi Sn－40Bi	Sn－52Bi Sn－58Bi	Sn－50In Sn－52In	Sn－57Bi－2In
熔化温度为 180～200℃			
Sn－9Zn			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

熔化温度为 200～230℃			
Sn Sn－2Ag Sn－2.5Ag Sn－3Ag Sn－3.5Ag	Sn－3.6Ag Sn－3.65Ag Sn－4Ag Sn－4.65Ag Sn－5Ag	Sn－3.5Ag－0.5Cu Sn－12Zn Sn－0.7Cu Sn－1Cu Sn－1.7Cu－4.7Ag	Sn－3.4Ag－1.2Cu Sn－2.5Ag－0.8Cu－0.5Sb Sn－Ag－Cu－Ge Sn－0.7Cu－1.5Sb Sn－3Bi－5Sb
熔点高于 230℃			
Sn－2Sb Sn－2.5Sb Sn－3Sb Sn－5Sb Sn－3Sb－1Cu Sn－2Sb－1Cu－2Ag－2Zn Sn－4Sb－2Cu Sn－7.4Sb－0.5Cu	Sn－1Sb－3Cu－0.5Ag Sn－5Sb－3.5Cu－1Ni－0.25Ag Sn－20Zn Sn－25Zn Sn－30Zn Sn－40Zn Sn－9.68Bi－0.5Cu Sn－2Cu	Sn－3Cu Sn－4.5Cu Sn－3Cu－0.5In Sn－3.9Cu－0.1Ag Sn－4Cu－0.5Ag Sn－4Cu－0.8Ag Sn－2Cu－0.8Sb－0.2Ag Sn－4.7Cu－0.3Ge	Sn－6.8Cu－0.1Si－0.1Ag 80Au－20Sn Sn－5.6Ag Sn－10Ag Sn－10Ag－3Cu Sn－95Ag Sn－56Ag－22Cu－17Zn Sn－25Ag－10Sb

3. 无铅焊锡丝(无铅烙铁焊用)

无铅烙铁焊用的无铅焊锡丝的种类和熔化温度范围见表 10.3。

表 10.3　无铅焊锡丝的种类和熔化温度

熔点低于 180℃			
Sn－40Bi Sn－52Bi	Sn－58Bi Sn－50In	Sn－52In	Sn－57Bi－2In
熔化温度为 180～200℃			
Sn－9Zn			
熔化温度为 200～230℃			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

Sn Sn－2.5Ag Sn－3Ag Sn－3.5Ag	Sn－3.65Ag Sn－4Ag Sn－5Ag Sn－0.7Cu－1.5Sb	Sn－3.5Ag－0.5Cu Sn－4.7Ag－1.7Cu Sn－2.5Ag－0.8Cu－0.5Sb	Sn－1Sb Sn－12Zn Sn－0.7Cu
熔点高于 230℃			
Sn－5.5Ag Sn－6Ag Sn－10Ag Sn－8Ag－0.1In Sn－10Ag－3Cu Sn－25Ag－10Sb Sn－0.5Ag－1Cu	Sn－0.1Ag－0.2Ni－3Cu－5Sb Sn－95Ag Sn－56Ag－22Cu－17Zn Sn－2Sb Sn－2.5Sb Sn－3Sb Sn－5Sb	Sn－6Sb Sn－7.5Sb－3.5Cu Sn－15Zn Sn－20Zn Sn－40Zn Sn－20Zn－5Al Sn－9.5Bi－0.5Cu	Sn－2Cu Sn－3Cu Sn－1Cu－3Sb Sn－2Cu－0.8Sb－0.2Ag Sn－3Cu－0.5Ag－1Sb Sn－3.9Cu－0.1Ag Sn－3.9Cu－0.1Ag

4. 主流无铅钎料

由表 10.1、表 10.2、表 10.3 可知，截至目前，世界各国都推出了品种众多的无铅钎料，共计 100 多种。但是，全球至今还没有一种真正从技术、经济等综合性能上达到有铅钎料水平的无铅钎料。为了应对无铅组装快速发展的需要，人们只好将性能相对较好、实际应用较多的无铅钎料作为主流无铅焊料。这类无铅钎料的成分和用途见表 10.4。

表 10.4 主流无铅钎料的成分和用途

钎料合金体系	成分(%)	主要用途	熔化温度(℃)		备注
			固相温度	液相温度	
Sn－Ag－Cu	Sn95.5,Ag3.8,Cu0.7	焊膏、焊锡丝	217	e	IPC E1A J－STD－006A
Sn－Ag－Cu	Sn95.8,Ag3.5,Cu0.7	焊膏、焊锡丝	217	e	IPC E1A J－STD－006A

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

钎料合金体系	成分(%)	主要用途	熔化温度(℃)		备注
			固相温度	液相温度	
Sn－Ag－Cu	Sn96.4,Ag3.2,Cu0.4	焊膏、焊锡丝	217	e	IPC E1A J－STD－006A
Sn－Cu	Sn99.3,Cu0.7	钎料棒	227	e	IPC E1A J－STD－006A
Sn－Ag－Cu－In	密	焊膏	202	207	国外××公司

5. 无铅钎料性能

(1) 主流无铅钎料的基本性能

主流无铅钎料的基本性能与 Sn－Pb 共晶钎料性能的对比见表 10.5。

表 10.5　主流无铅钎料与 Sn－Pb 共晶钎料的性能对比

性能		Sn－3.5Ag	Sn－3.5Ag－0.7Cu	Sn－3.8Ag－0.7Cu	Sn－0.7Cu	Sn－37Pb
密度(g/mm^3)		7.5	7.5	7.5	7.3	8.4
电导率($\mu\Omega\cdot cm$)		12.3	—	13	—	14.5
BrineL 硬度(HB)		15	—	15	—	17
拉伸强度①(MPa)		58	48	48	—	40
接头剪切强度②(MPa)	20℃	27	—	27	21.5	23
	100℃	17	—	17	18.5	14
蠕变强度③(MPa)	20℃	13.7	13	13	8.6	3.3
	100℃	5.0	5	5.0	2.1	1.0

注：① 拉伸应变速率为 $0.004s^{-1}$；

② 剪切速率为 0.1mm/min；

③ 蠕变位移速率为 0.1mm/min。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 某些无铅钎料的拉伸性能

某些无铅钎料的拉伸性能见表 10.6。

表 10.6 某些无铅钎料的拉伸性能

合金成分	弹性模量(GPa)	屈服强度(MPa)	拉伸强度(MPa)	延伸率(%)
Sn-3.5Ag	26.2	22.5	26.7	24
Sn-5Sb	44.5	25.7	35.2	22
Sn-58Bi	11.9	49.1	60.4	46
Sn-52Bi	—	44.2	60.9	57
Sn-2Ag-46Bi-4Cu	—	67.6	69.4	3
Sn-56Bi-2In	—	49.8	58.1	116
Sn-3Ag-4Cu	—	43.3	48.3	22
Sn-3Ag-1Bi-1Cu-1.5Sb	—	57.6	63.8	21
Sn-3Ag-54Bi-2In-2Sb	—	34.9	80.3	13
Sn-3Ag-2Sb	—	39.6	42.2	25
Sn-3Ag-2Bi	—	37.7	54.7	30
Sn-9Zn	—	51.6	53.1	27
Sn-31.5Bi-3Zn	—	72.4	77.3	53
Sn-3.5Ag-1.5In	—	31.8	34.4	26
Sn-3Ag-41Bi	—	64	69.8	39
Sn-55Bi-2Cu	—	62	65.4	41
Sn-56.7Bi-0.3Cu-1In	—	57.6	62	38
Sn-37Pb	15.7	27.2	30.6	48

(3) 某些无铅钎料搭接接头的剪切强度

某些无铅钎料搭接接头的剪切强度见表 10.7。

www.789pdf.com 789书库网

表 10.7　某些无铅钎料搭接接头的剪切强度

合金成分	剪切强度		
	22℃		170℃
	A	B	B
Sn－3.5Ag	20.9	61.2	20.5
Sn－0.7Cu	—	39.8	15.1
Sn－3.6Ag－1.0Cu	54.0	67.0±2.4	24.4
Sn－3.8Ag－0.7Cu	—	63.8	25.1
Sn－3.8Ag－0.7Cu－0.5Sb	—	64.1	28.9
Sn－40Pb	37.4	36.5	4.5

注：试验条件：接头间隙为 0.0762mm，剪切位移速率为 0.1mm/min，四点弯曲。

A：接头冷却速率为 1.5℃/s。

B：接头冷却速率为 10℃/s。

6．无铅钎料的选用原则

无铅钎料的应用历史还很短，实际使用的经验还比较少。对无铅钎料应用性能的深入研究正在进行中，这里只能介绍无铅钎料选用的一些参考性意见：

① 尽量使用共晶型无铅钎料，从而有助于改善工艺性；

② 合金组元数宜少不宜多，有利于形成均匀的显微组织和稳定其性能；

③ 工艺窗口越窄，应选用熔点越低的无铅钎料；

④ 如综合性能相近，应采用价格便宜的无铅钎料；

⑤ 在考虑了以上无铅钎料选用的一般原则下，目前生产中普遍采用的方法是：在再流焊中，优选 Sn－Ag－Cu（含 305、405），也可选用 Sn－Ag 共晶；在波峰焊和浸焊中，优选 Sn－0.7Cu，当然也可选用 Sn－Ag－Cu 共晶；在烙铁焊中，优选 Sn－Ag－Cu 共晶，也可选用 Sn－0.7Cu。

10.2.2　无铅助焊剂的选择

一定的钎料必须配用一定的助焊剂，这是助焊剂设计与使用的基本原则。对于无铅钎料而言，它目前存在的主要缺陷是：其熔点比原用的有铅钎料高，而其润湿性又比原用的有铅钎料差。为弥补无铅钎料的上述不足，相应的无铅助焊剂应具备以下性能：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 足够的活性，以弥补无铅钎料润湿性的不足；

② 适当提高反应温度，以适应无铅钎料熔点高的需要；

③ 增加助焊剂的使用量，也是为了改善无铅钎料的润湿性。

根据上述助焊剂应具备的性能，目前对无铅助焊剂的选择方法如下：

① 对再流焊和烙铁焊而言：在选定了无铅焊料型号的同时也就选定了焊膏中和管状焊锡丝中的助焊剂。

② 对波峰焊和浸焊而言：不少供应商可提供相应的专用无铅助焊剂，可从中优选综合指标较优者。

10.2.3 基板选择

作为无铅组装对象和基础的基板，常用的主要是印制板（裸板），它的材质及其导电图形表面的保护层种类对无铅组装有着十分重要的影响。

1. 基板材质

由于无铅组装中所经历的工艺温度要比有铅组装时高，以无铅再流焊为例，其峰值温度高达 250℃，因此，对基板材质的首要要求是能承受无铅组装带来的高温影响，防止其发生变质和变形。

根据现有的使用经验，用于无铅组装的印制板材质耐热性应不低于 FR－4 的指标。

2. 导电图形表面保护层

PCB 导电图形表面保护层（下称 PCB 表面保护层）特别是焊盘表面的保护层种类是影响无铅组装能否达到无铅指标要求的关键因素之一，它必须是无铅的保护层。目前，还在研究和应用的 PCB 导电图形表面无铅保护层的种类较多，见表 10.8，其中应用较多的保护层是浸 Ag、浸 Sn、OSP 和 ENIG，Sn－pb 保护层和它们的性能对比见表 10.9。

表 10.8 PCB 导电图形表面无铅保护层种类

保护层种类	材料及工艺
OSP（Organic Solderability Preservative，有机物可焊性保护层）	苯并三氮唑（BTA，benzotriazole）
	烷基咪唑（Alktlimidazoles）
	苯并咪唑（Bas，Benzimidazoles）
	预涂助焊剂（Preflux）

www.789pdf.com 789书库网

（续）

保护层种类	材料及工艺
Ni－Au	电解电镀 Ni－Au,EG
	化学镀 Ni/浸 Au,ENIG
	化学镀 Ni/化学镀 Au(自身催化)
	化学镀 Ni/化学镀 Au(基板催化)
Ag	化学镀 Ag(浸银或者微电流电镀银)
Bi	浸 Bi
Pd	电解电镀 Pd 或 Pd 合金
	自身催化化学镀 Pd
	自身催化化学镀 Pd/浸 Au
Ni－Pd	化学镀 Ni/浸 Pd
	化学镀 Ni/自身催化化学镀 Pd
	化学镀 Ni/自身催化化学镀 Pd/浸金
Sn	电解电镀 Sn
	浸 Sn
	浸 Sn＋自身催化化学镀 Sn
Ni－Sn	电解电镀 Ni/电解电镀 Sn
Sn－Ag	电解电镀 Sn－Ag
Sn－Bi	电解电镀 Sn－Bi
	浸 Sn－Bi
Sn－Cu	电解电镀 Sn－Cu
Sn－Ni	电解电镀 Sn－Ni

表 10.9　Sn－pb 保护层和 4 种无铅化 PCB 导电图形表面保护层的性能对比

性能 \ 保护层种类	Sn－Pb HASL	浸 Ag	浸 Sn	OSP	ENIG
保存寿命(月)	12	12	12	12	6
可经历再流焊次数	4	5	5	≥4	4
成本	中等	中等	中等	低	高
工艺复杂程度	高	中等	中等	低	高

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

性能 \ 保护层种类	Sn－Pb HASL	浸 Ag	浸 Sn	OSP	ENIG
工艺温度(℃)	240	50	70	40	80
保护层厚度(μm)	1～25	0.05～0.20	0.8～1.2	0.005～0.02 0.2～0.5	Au 0.05～0.2 Ni 3～5
助焊剂兼容性	好	好	好	一般	好

注：具体工艺参数不同，上述评价可能略有差别。

在选择 PCB 导电图形表面保护层时，除参考表 10.9 给出的条件外，还应注意以下问题：

①OSP 保护层不适用于射频电路的组装件。这是由于大多数射频电路组件都需要在印制板上焊接与地线相连接的金属屏蔽件，但是在 OSP 保护层基础上焊接的金属屏蔽件可能无法做到完全屏蔽，因此时不是金属与金属的焊接，其连接界面存在较大的电阻。此外，OSP 还可能给在线测试带来困难。

②浸 Sn 表面容易生长晶须，从而有损可靠性。

③ENIG 能与引线键合(wire bonding)工艺兼容，可取代成本较高的电镀 Ni/Au。

10.2.4 元器件引线(焊端)表面镀层选择

元器件引线(焊端)表面镀层的主要作用是提高可焊性。在以往的有铅组装中，这一镀层大多采用电镀或浸锡的方法形成以 Sn－Pb 焊料为主体的表面镀层。但在无铅组装中，这一镀层同样也不允许含铅。作为新的无铅镀层的方案是采用纯 Sn、Sn－Cu 合金。这两种镀层的优缺点如下：

①纯 Sn：易于沉积，与无铅钎料兼容性良好。但一直存在晶须带来的可靠性问题。

②Sn－Cu：成本低，与无铅焊料的兼容性良好。但 Cu 含量的增减对镀层液相线温度的变化十分敏感。

10.2.5 无铅组装中的兼容性

由上述介绍可知：实现无铅组装的必要条件是钎料无铅化、PCB 导电图形表面保护层材料无铅化和元器件引线(焊端)表面镀层材料无铅化(可简称无铅组装材料三要素)。这就产生了一个十分严峻的问题：上述 3 种无铅化的材料是各不相同的，它们之间能兼

www.789pdf.com 789书库网

容吗?

无铅组装中的兼容性问题从内容上讲包括:无铅组装材料三要素之间的兼容性以及无铅组装材料与有铅组装材料之间的兼容性;从影响程度上讲,它直接关系到无铅组装焊接能否顺利实施(工艺可行性)以及焊点的长久可靠性。正因为如此,无铅组装中(其核心是 PCB 无铅焊接)的兼容性问题已成为全球相关产业关心的热点。但是,由于这一兼容性问题涉及的因素较多,有些结论还有赖于长期的实践数据方可最终获得。下面只能介绍不同种类的无铅钎料与不同种类的 PCB 导电图形表面保护层材料以及不同种类元器件引线表面保护层材料之间的润湿性的兼容情况。

如果钎料对被焊件(母材)的润湿性不良,则会使钎焊无法进行,当然也就谈不上焊点的可靠性了。因此,了解润湿性的兼容情况对确定无铅组装方案是十分重要的。

1. 各种钎料对 PCB 表面保护层的润湿兼容性

(1) 各种钎料对 PCB 浸 Sn 表面保护层的润湿性对比

4 种无铅钎料和 1 种有铅钎料(对比用)对 PCB 浸 Sn 表面保护层的润湿力对比如图 10.1所示。由图 10.1 可见:在初始状态下,PCB 浸 Sn 表面有很好的可焊性(润湿力正比于可焊性,下同),但经历过再流焊后,其可焊性急剧下降。经过两次再流焊后的浸 Sn 表面只有 Sn－Pb、Sn－Ag－Cu、Sn－Ag 钎料可勉强润湿,而经过 4 次再流焊后的浸 Sn 表面连 Sn－Pb 钎料也无法润湿了。

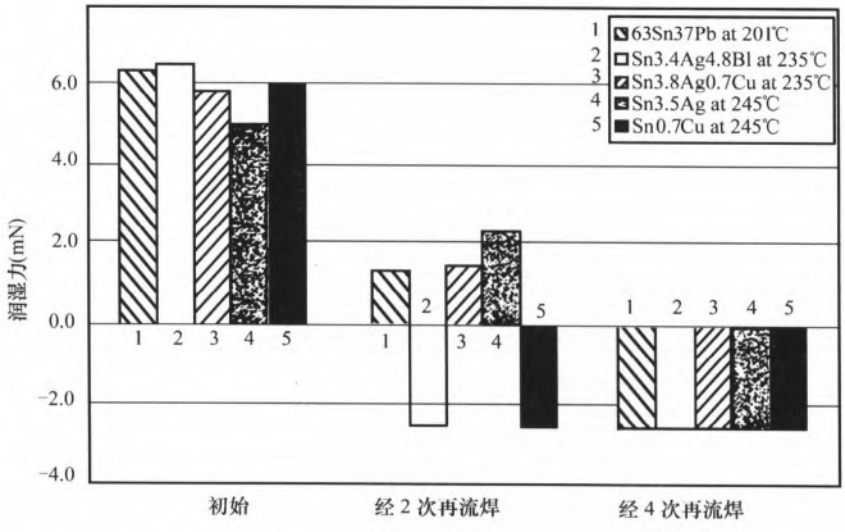


图 10.1　PCB 浸 Sn 表面保护层与不同焊料组合条件下的最大润湿力对比

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 各种钎料对 ENIG PCB 表面保护层的润湿性对比

ENIG 是 Electroless Niskel/Immersion Gold 的缩写，意即化学镀 Ni/浸 Au。

各种钎料对 ENIG PCB 表面保护层的润湿性对比如图 10.2 所示。由图可见，在初始状态下，所有钎料在 ENIG 表面均有很好的润湿。在经历两次和 4 次再流焊温度循环后，除 Sn－Ag－Bi 无铅钎料外，其他组合条件下的润湿力数据仍良好，这说明 ENIG 表面保护层能承受多次再流焊，这对 PCB 表面保护层而言具有重要意义。图 10.2 还表明 ENIG 表面保护层与 Sn－Cu、Sn－Ag、Sn－Ag－Cu 这 3 种主流无铅钎料之间在润湿性能上具有良好的兼容性。

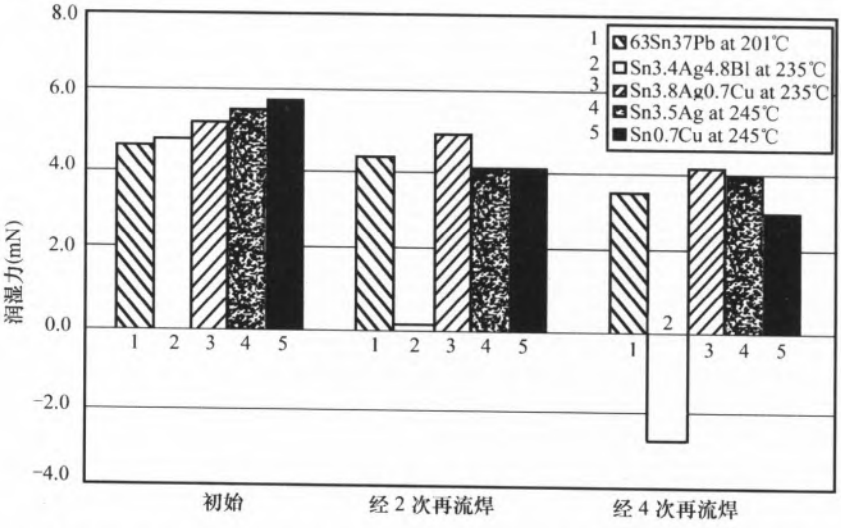


图 10.2 PCB 表面 ENIG 保护层与不同焊料组合条件下的最大润湿力对比

(3) 各种钎料对 PCB 表面浸 Ag 保护层的润湿性对比

各种钎料对 PCB 表面浸 Ag 保护层的润湿性对比如图 10.3 所示。由图可知，在所有组合条件下且历经两次和 4 次再流焊温度循环后，PCB 的浸 Ag 表面均呈现出良好的可焊性。这说明 PCB 表面的浸 Ag 层与试验中的无铅钎料在润湿性上具有良好的兼容性，并可承受多次再流焊，工艺性也很好。

(4) 各种钎料对 PCB 表面 OSP 保护层的润湿性对比

OSP 是利用唑类有机物与氧化铜之间的化学反应而生成的一种聚合物具有助焊性的保护层。各种钎料对 OSP 保护层的润湿性对比如图 10.4 所示。由图可知，在初始状

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

态下，PCB 表面的 OSP 保护层与 Sn－Pb、Sn－Ag、Sn－Ag－Cu 钎料之间虽有着较好的润湿性，但其润湿力数值比上述浸 Ag、浸 Sn 和 ENIG 保护层的都小。在经历再流焊温度循环后，其润湿性急剧下降。这说明 OSP 保护层不适用于要承受多次再流焊的场合。由于 OSP 的配方较多，上述对 OSP 的评价可能有局限性。

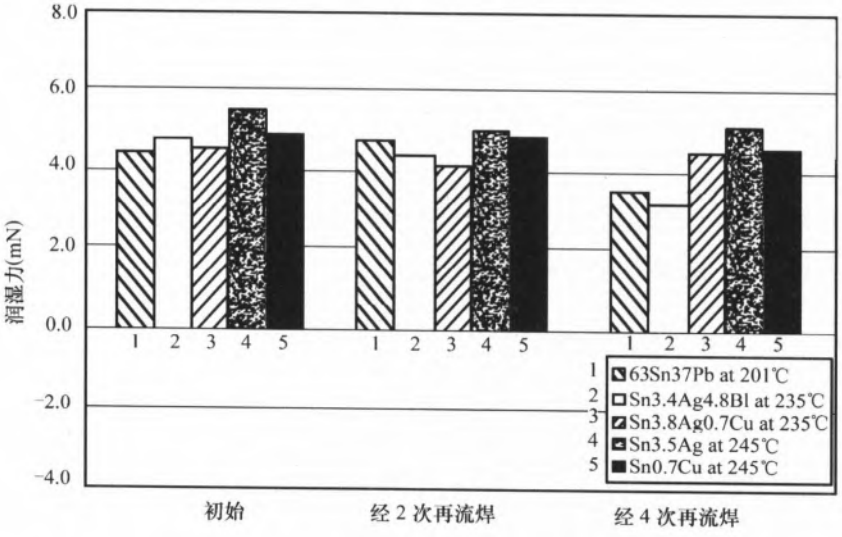


图 10.3　PCB 表面浸 Ag 保护层与不同焊料组合条件下的最大润湿力对比

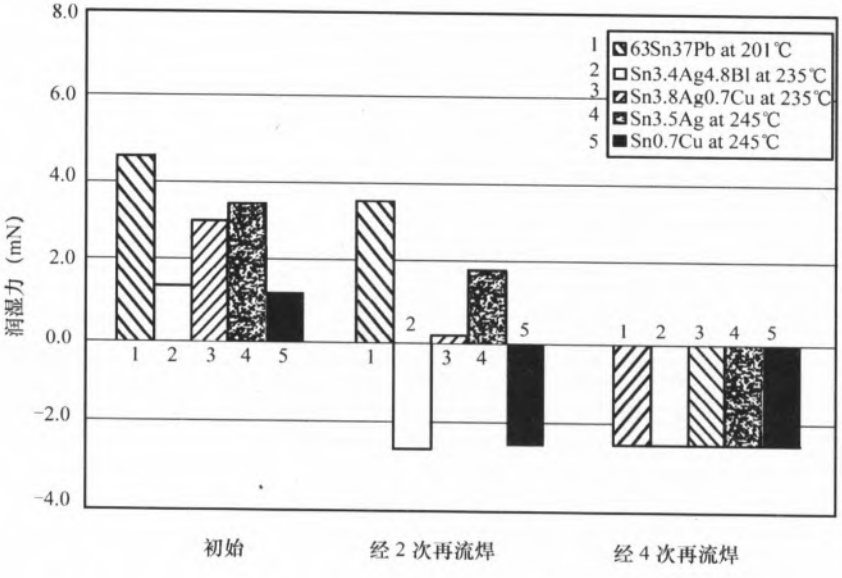


图 10.4　PCB 表面 OSP 保护层与不同焊料组合条件下的最大润湿力对比

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 各种钎料对元器件引线表面保护层的润湿兼容性

第3章中的表3.14列举了不同引线表面镀层与Sn－Ag－Cu无铅钎料组合条件下的润湿性能对比。其中，预处理条件A为105℃、100%RH下老化4h；B为100℃、100%RH下老化4h。

10.2.6 工艺条件的选择

无铅组装中，对于不同的工艺条件，其实施的技术难度、组装质量、制造成本都是不同的。设计时应综合考虑各种因素，慎重确定。

1. PCB组装焊接气氛的选择

即使钎料品牌与PCB表面保护层材质的组合条件相同，但如果再流焊的气氛不同（大气中或氮气保护中），则钎料对PCB表面保护层的铺展率也有所区别。各种组合条件下的铺展率数据如图10.5～图10.8所示。这里的铺展率定义为再流焊后焊点铺展直径与焊膏印刷后的直径之比。

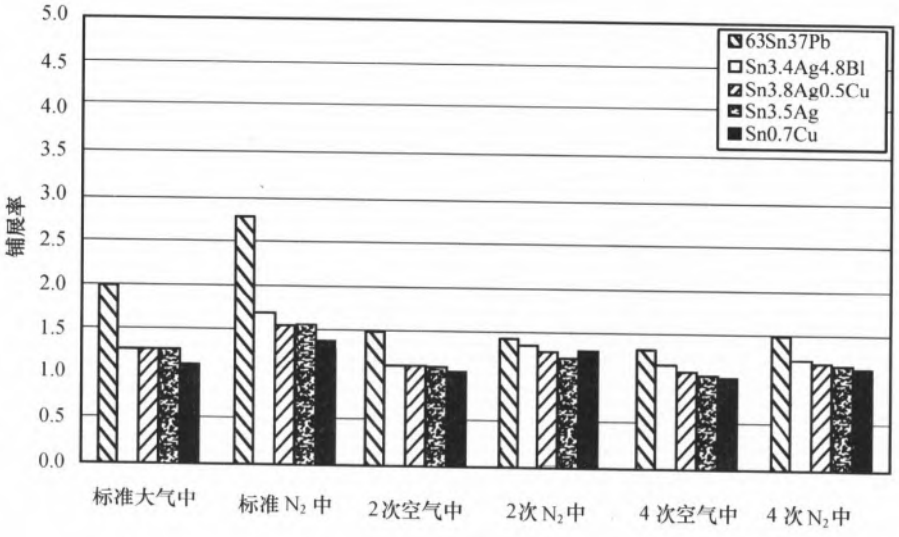


图10.5 PCB表面浸Sn保护层与不同焊料组合条件下的铺展率对比

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

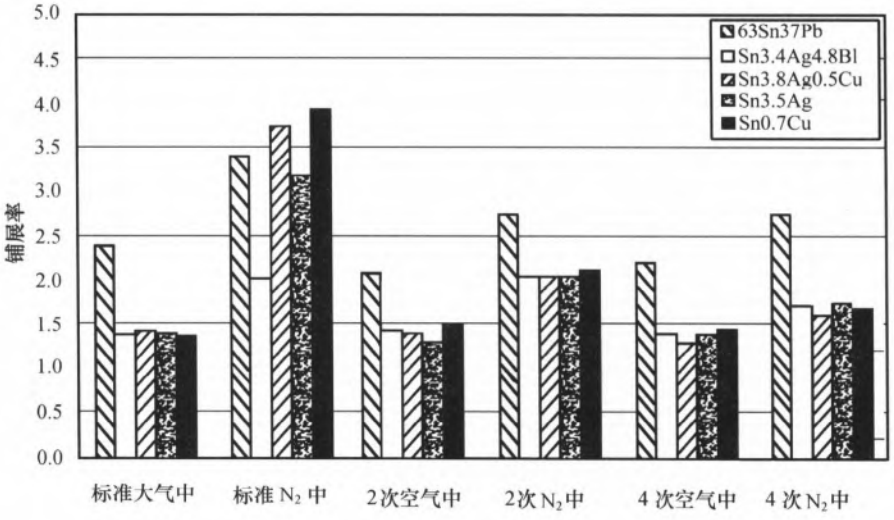


图 10.6　PCB 表面 ENIG 保护层与不同焊料组合条件下的铺展率对比

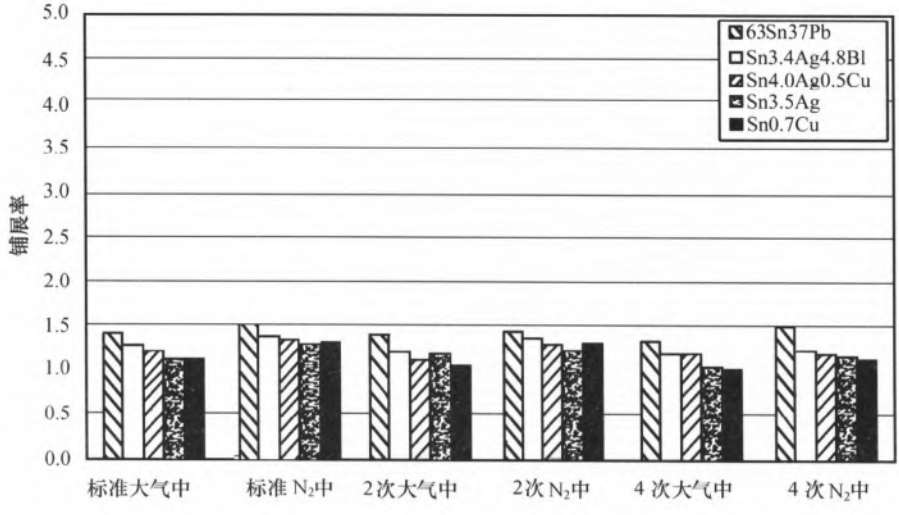


图 10.7　PCB 表面浸 Ag 保护层与不同焊料组合条件下的铺展率对比

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

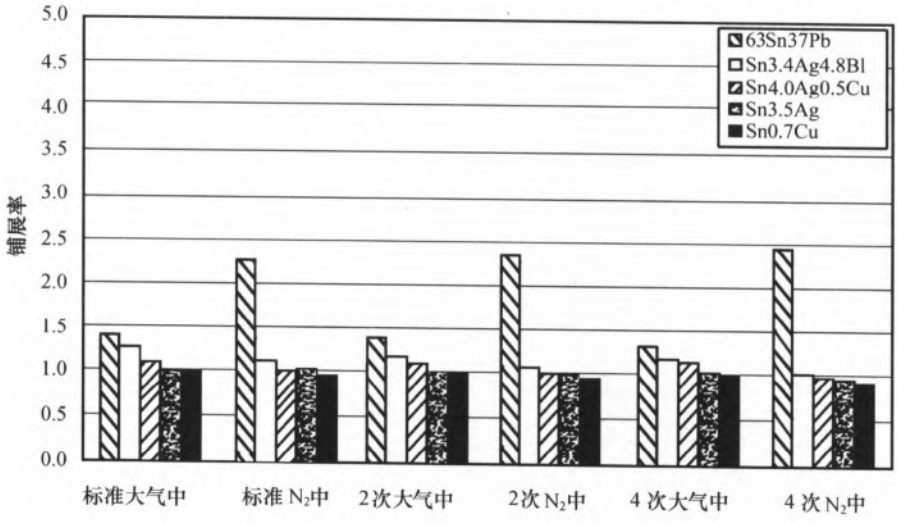


图 10.8　PCB 表面 OSP 保护层与不同焊料组合条件下的铺展率对比

2．对同一块 PCB 尽量避免采用再流焊后再波峰焊的工艺

如果 PCB 的 A 面采用贴装工艺和用再流焊焊接后，再在 PCB 的另一面（B 面）采用插装工艺进行波峰焊焊接，则往往产生类似焊点剥离的现象。

这种缺陷的产生机理如图 10.9 所示，在已经焊好的再流焊焊点中，由于合金成分存在偏析而产生低熔点相，进行波峰焊时，低熔点相发生熔化。如果以再流焊焊接的引线表面是带 Sn－Pb 合金镀层的为例，则在钎料与 PCB 焊盘的界面处容易形成 Pb 偏析，而产生熔点为 174℃ 的 Sn－Ag－Pb 低熔点合金层，在 PCB 的 B 面进行波峰焊时，由于传热而使再流焊焊点中界面处的低熔点合金层熔化并在 PCB 热变形产生的翘曲力作用下，使已焊好的再流焊焊点开裂，从 PCB 焊盘上剥离出来。

3．元器件耐热性的要求

无铅组装中，由于焊接温度比传统的有铅焊接高，因此，对元器件的耐热性要求也相应提高：

① 美国 IPC 在 J－STD－020B 标准中，将用于无铅组装中再流焊的元器件能承受的峰值温度提高了 10～20℃，见表 10.10。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

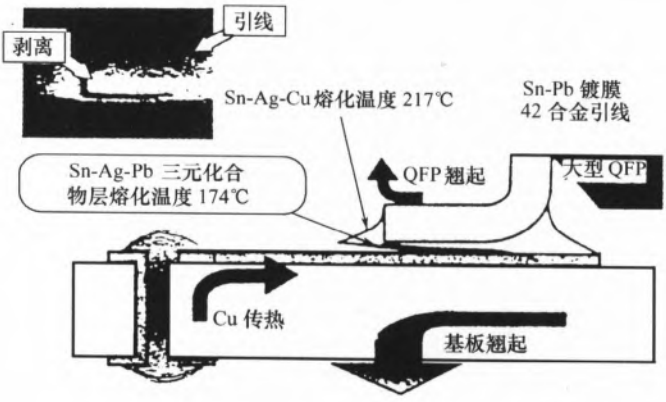


图 10.9　再流焊后再进行波峰焊时 QFP 发生剥离的机理

表 10.10　元器件要承受的无铅再流焊峰值温度

再流焊条件	封装厚度≥2.5mm 或 封装体积≥350mm^3	封装厚度≤2.5mm 或 封装体积＜350mm^3
Sn－Pb 共晶	225＋0/－5	240＋0/－5℃
无铅钎料	245＋0/－5℃	250＋0/－5℃

② 日本 JE1TA 要求通孔插装元器件和表面贴装元器件应满足 260℃ 条件下耐热 10s 的指标。

③ 国外某些公司对无铅组装时不同焊接方法对元器件的耐热性提出了不同的要求，如图 10.10～图 10.12 所示。

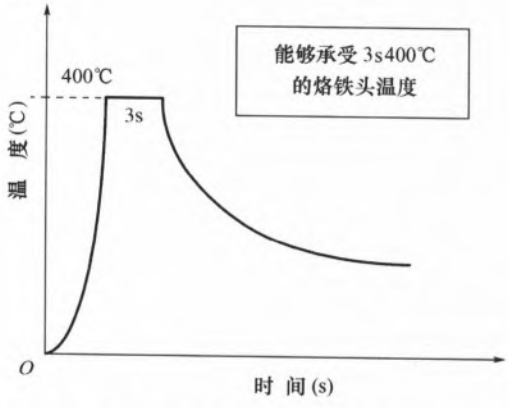
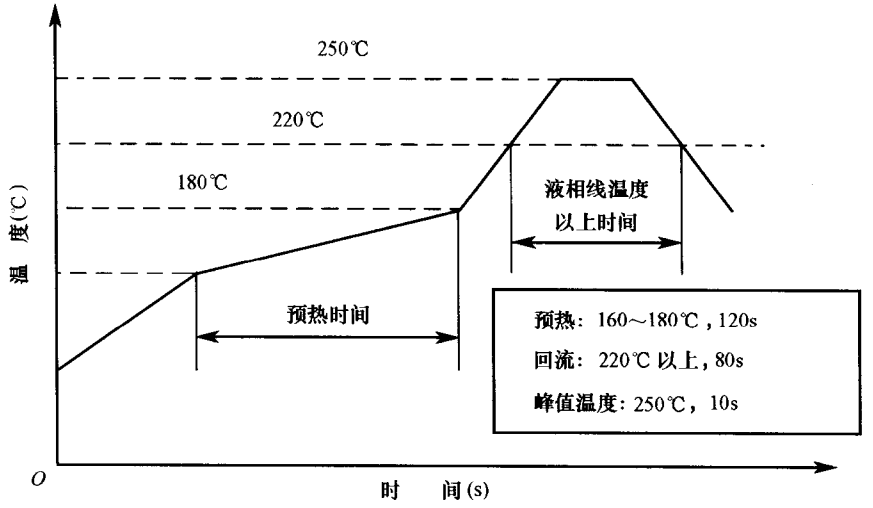


图 10.10　用于无铅手工烙铁焊接的元器件的耐热性要求

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



注:要能够承受2次或2次以上这样的再流焊温度循环

图 10.11 用于无铅再流焊的元器件的耐热性要求

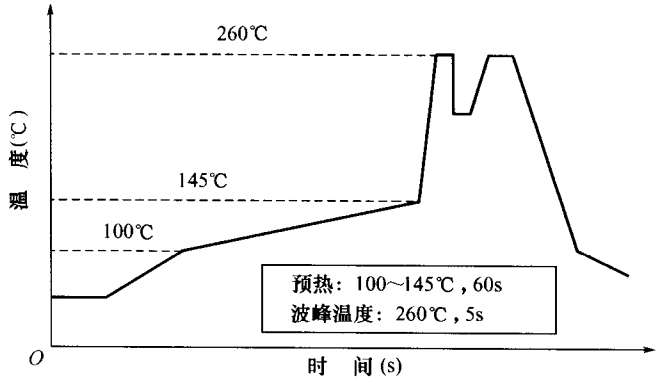
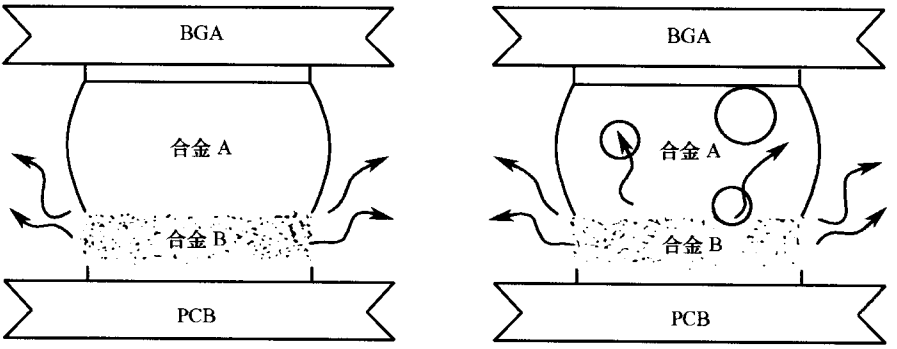


图 10.12 用于无铅波峰焊的元器件的耐热性要求

4. BGA 电极(凸点)材质的选择

BGA 电极(凸点)的合金尽可能选用熔点比 Sn－Pb 合金高的 Sn－Ag－Cu 合金,这样,即使在无铅导入期后向兼容工艺条件下,也有利于减少焊点中的气孔,其原理如图 10.13 所示。

www.789pdf.com 789书库网



(a) 熔点：合金 A＞合金 B　　(b) 熔点：合金 A＜合金 B

图 10.13　合金 A 作为焊球和合金 B 作为焊膏的 BGA 组装过程的空洞机理，如果合金 A 的熔点低于合金 B 的熔点，空洞会大量出现

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附录 A　电子信息产品污染控制管理办法

（信息产业部第39 号令）

《电子信息产品污染控制管理办法》现予公布，自 2007 年 3 月 1 日起施行。

信息产业部部长　　：王旭东
国家发展与改革委员会主任　　：马　凯
商务部部长　　：薄熙来
海关总署署长　　：牟新生
国家工商行政管理总局局长　　：王众孚
国家质量监督检验检疫总局局长：李长江
国家环境保护总局局长　　：周生贤

二〇〇六年二月二十八日

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电子信息产品污染控制管理办法

第一章 总 则

第一条 为控制和减少电子信息产品废弃后对环境造成的污染，促进生产和销售低污染电子信息产品，保护环境和人体健康，根据《中华人民共和国清洁生产促进法》、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》等法律、行政法规，制定本办法。

第二条 在中华人民共和国境内生产、销售和进口电子信息产品过程中控制和减少电子信息产品对环境造成污染及产生其他公害，适用本办法。但是出口产品的生产除外。

第三条 本办法下列术语的含义是：

（一）电子信息产品，是指采用电子信息技术制造的电子雷达产品、电子通信产品、广播电视产品、家用电子产品、电子测量仪器产品、电子专用产品、电子元器件产品、电子应用产品、电子材料产品等产品及其配件。

（二）电子信息产品污染，是指电子信息产品中含有有毒、有害物质或元素，或者电子信息产品中含有的有毒、有害物质或元素超过国家标准或行业标准，对环境、资源以及人类身体生命健康以及财产安全造成破坏、损害、浪费或其他不良影响。

（三）电子信息产品污染控制，是指为减少或消除电子信息产品中含有的有毒、有害物质或元素而采取的下列措施：

（1）设计、生产过程中，改变研究设计方案、调整工艺流程、更换使用材料、革新制造方式等技术措施；

（2）设计、生产、销售以及进口过程中，标注有毒、有害物质或元素名称及其含量，标注电子信息产品环保使用期限等措施；

（3）销售过程中，严格进货渠道，拒绝销售不符合电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准的电子信息产品等；

（4）禁止进口不符合电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准的电子信息产品；

（5）本办法规定的其他污染控制措施。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（四）有毒、有害物质或元素，是指电子信息产品中含有的下列物质或元素：

（1）铅；

（2）汞；

（3）镉；

（4）六价铬；

（5）多溴联苯（PBB）；

（6）多溴二苯醚（PBDE）；

（7）国家规定的其他有毒、有害物质或元素。

（五）电子信息产品环保使用期限，是指电子信息产品中含有的有毒、有害物质或元素不会发生外泄或突变，电子信息产品用户使用该电子信息产品不会对环境造成严重污染或对其人身、财产造成严重损害的期限。

第四条 中华人民共和国信息产业部（以下简称“信息产业部”）、中华人民共和国国家发展与改革委员会（以下简称“发展改革委”）、中华人民共和国商务部（以下简称“商务部”）、中华人民共和国海关总署（以下简称“海关总署”）、国家工商行政管理总局（以下简称“工商总局”）、国家质量监督检验检疫总局（以下简称“质检总局”）、国家环境保护总局（以下简称“环保总局”），在各自的职责范围内对电子信息产品的污染控制进行管理和监督。必要时上述有关主管部门建立工作协调机制，解决电子信息产品污染控制工作重大事项和相关问题。

第五条 信息产业部和国务院有关主管部门制定有利于电子信息产品污染控制的措施。

信息产业部和国务院有关主管部门在各自的职责范围内推广电子信息产品污染控制和资源综合利用等技术，鼓励、支持电子信息产品污染控制的科学研究、技术开发和国际合作，落实电子信息产品污染控制的有关规定。

第六条 信息产业部对积极开发、研制新型环保电子信息产品的组织和个人，可以给予一定的支持。

第七条 省、自治区、直辖市信息产业，发展改革、商务、海关、工商、质检、环保等主管部门在各自的职责范围内，对电子信息产品的进口、生产、销售的污染控制实施监督管理。必要时上述有关部门建立地区电子信息产品污染控制工作协调机制，统一协调，分工负责。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第八条 省、自治区、直辖市信息产业主管部门对在电子信息产品污染控制工作以及相关活动中做出显著成绩的组织和个人，可以给予表彰和奖励。

第二章 电子信息产品污染控制

第九条 电子信息产品设计者在设计电子信息产品时，应当符合电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准，在满足工艺要求的前提下，采用无毒、无害或低毒、低害、易于降解、便于回收利用的方案。

第十条 电子信息产品生产者在生产或制造电子信息产品时，应当符合电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准，采用资源利用率高、易回收处理、有利于环保的材料、技术和工艺。

第十一条 电子信息产品的环保使用期限由电子信息产品的生产者或进口者确定。电子信息产品的生产者或进口者应当在其生产或进口的电子信息产品上标注环保使用期限，由于产品体积或功能的限制不能在产品上标注的，应当在产品说明书中注明。

前款规定的标注样式和方式由信息产业部和国务院有关主管部门统一规定，标注的样式和方式应当符合电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准。

相关行业组织可根据技术发展水平，制定相关电子信息产品环保使用期限的指导意见。

第十二条 信息产业部鼓励相关行业组织将制定的电子信息产品环保使用期限的指导意见报送信息产业部。

第十三条 电子信息产品的生产者、进口者应当对其投放市场的电子信息产品有毒、有害物质或元素进行标注，标明有毒、有害物质或元素的名称、含量、所在部件及其可否回收利用等；由于产品体积或功能的限制不能在产品上标注的，应当在产品说明书中注明。

前款规定的标注样式和方式由信息产业部商国务院有关主管部门统一规定，标注的样式和方式应当符合电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准。

第十四条 电子信息产品的生产者、进口者制作并使用电子信息产品包装物时，应

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

当依据电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准，采用无毒、无害、易降解和便于回收利用的材料。

电子信息产品的生产者、进口者应当在其生产或进口的电子信息产品包装物上，标注包装材料名称，由于体积或外表面的限制不能标注的，应当在产品说明书中注明。

前款规定的标注样式和方式由信息产业部商国务院有关主管部门统一规定，标注的样式和方式应当符合电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准。

第十五条 电子信息产品销售者应当严格进货渠道，不得销售不符合电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准的电子信息产品。

第十六条 进口的电子信息产品，应当符合电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准。

第十七条 信息产业部商环保总局制定电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准。

信息产业部商国家标准化管理委员会起草电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准。

第十八条 信息产业部和发展改革委、商务部、海关总署、工商总局、质检总局、环保总局编制、调整电子信息产品污染控制重点管理目录。

电子信息产品污染控制重点管理目录由电子信息产品类目和限制使用的有毒、有害物质或元素种类及其限制使用期限组成，并根据实际情况和科学技术发展水平的要求进行逐年调整。

第十九条 国家认证认可监督管理委员会依法对纳入电子信息产品污染控制重点管理目录的电子信息产品实施强制性产品认证管理。

出入境检验检疫机构依法对进口的电子信息产品实施口岸验证和到货检验。海关凭出入境检验检疫机构签发的《入境货物通关单》办理验收手续。

第二十条 纳入电子信息产品污染控制重点管理目录的电子信息产品，除应当符合本办法有关电子信息产品污染控制的规定以外，还应当符合电子信息产品污染控制重点管理目录中规定的重点污染控制要求。

未列入电子信息产品污染控制重点管理目录中的电子信息产品，应当符合本办法有

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

关电子信息产品污染控制的其他规定。

第二十一条 信息产业部和发展改革委、商务部、海关总署、工商总局、质检总局、环保总局，根据产业发展的实际状况，发布被列入电子信息产品污染控制重点管理目录的电子信息产品中不得含有有毒、有害物质或元素的实施期限。

第三章 罚 则

第二十二条 违反本办法，有下列情形之一的，由海关、工商、质检、环保等部门在各自的职责范围内依法予以处罚：

（一）电子信息产品生产者违反本办法第十条的规定，所采用的材料、技术和工艺不符合电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准的；

（二）电子信息产品的生产者和进口者违反本办法第十四条第一款的规定，制作或使用的电子信息产品包装物不符合电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准的；

（三）电子信息产品销售者违反本办法第十五条的规定，销售不符合电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准的电子信息产品的；

（四）电子信息产品进口者违反本办法第十六条的规定，进口的电子信息产品不符合电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准的；

（五）电子信息产品生产者、销售者以及进口者违反本办法第二十一条的规定，自列入电子信息产品污染控制重点管理目录的电子信息产品不得含有有毒、有害物质或元素的实施期限之日起，生产、销售或进口有毒、有害物质或元素含量超过电子信息产品有毒、有害物质或元素控制国家标准或行业标准的电子信息产品的；

（六）电子信息产品进口者违反本办法进口管理规定进口电子信息产品的。

第二十三条 违反本办法，有下列情形之一的，由工商、质检、环保等部门在各自的职责范围内依法予以处罚：

（一）电子信息产品生产者或进口者违反本办法第十一条的规定，未以明示的方式标注电子信息产品环保使用期限的；

（二）电子信息产品生产者或进口者违反本办法第十三条的规定，未以明示的方式标注电子信息产品有毒、有害物质或元素的名称、含量、所在部件及其可否回收利用的；

（三）电子信息产品生产者或进口者违反本办法第十四条第二款的规定，未以明示的方式标注电子信息产品包装物材料成分的。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第二十四条 政府工作人员滥用职权，徇私舞弊，纵容、包庇违反本办法规定的行为的，或者帮助违反本办法规定的当事人逃避查处的，依法给予行政处分。

第四章 附 则

第二十五条 任何组织和个人可以向信息产业部或者省、自治区、直辖市信息产业主管部门对造成电子信息产品污染的设计者、生产者、进口者以及销售者进行举报。

第二十六条 本办法由信息产业部和发展改革委、商务部、海关总署、工商总局、质检总局、环保总局解释。

第二十七条 本办法自2007年3月1日起施行。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附录 B　WEEE 和 RoHS 指令所涉及的电力电子产品种类

第一大类:大型家用电子设备	
大型冷却设备	冰箱
冰柜	其他用于制冷、保存食物的大型设备
洗衣机	衣物烘干机
洗碗机	烹饪用具
电炉	加热电板
微波炉	其他用于烹饪、处理食物的大型设备
电子加热装置	电暖器
其他用于房间供暖的大型设备	电扇
空调	其他用于空气流通、调节的大型设备
第二大类:小型家用电子设备	
吸尘器	地毯清洁器
其他清洁设备	缝纫机等纺织物处理机器
电熨斗及类似设备	烤箱
油炸锅	磨咖啡机
用于开启或密封容器的设备	电动刀具
理发、吹发、牙刷、剃须等人体护理设备	
钟表及各种计时设备	电子天平
第三大类:IT 及通信设备	
中央数据处理设备主服务器、微型计算机、打印设备	
个人计算设备	
	个人计算机(包括 CPU、鼠标、屏幕、键盘)
	台式电脑(包括 CPU、鼠标、屏幕、键盘)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

第三大类：IT及通信设备	
笔记本电脑	掌上电脑
打印机	复印机
打字机	计算器
其他用于采集、存储、处理、表达、传递信息的电子设备	
用户终端和系统：	
传真机	电报机
电话机	付费电话机
无绳电话	移动电话
语音答复系统	
其他用于传递声音、图像等信息的电子设备	
第四大类：消费类电子产品	
收音机	电视机
摄像机	录像机
高保真录音机	音响功放
音乐器材	
其他用于录制、再生或传播声音、图像等的设备	
第五大类：发光设备	
荧光灯光源，但不包括家用光源	荧光灯管
节能灯	高强度射电灯，包括高压钠灯和金属卤化物灯
低压钠灯	
其他用于传播和控制灯光的设备，但是不包括灯泡	
第六大类：电力电子工具（不包括大型固定工业工具）	
钻孔机	锯
锁线装订机	
用于旋转、铣、抛光、碾磨、锯、切割、剪、钻孔、冲压、折叠、弯曲或类似的处理木材、金属和其他材料的工具	
铆接、钉接、螺丝紧固或去除工具	焊接工具
用于喷涂、扩散、分散液体或气体物质的工具	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

第六大类：电力电子工具（不包括大型固定工业工具）	
除草或其他园艺工具	
第七大类：玩具、休闲运动器材	
电动火车、汽车	手持影像游戏控制台
骑车、潜水、跑步、划船等器具用计算机	
带有电力电子元件的运动设备	投币式自动贩卖机
第八大类：医疗器具（不包括所有的植入、感染类器具）	
放射线疗法设备	心脏病学用器具
透析设备	肺部呼吸器
核医疗设备	诊断用实验室设备
分析仪器	冷藏器具
授精测试用器具	
其他用于检查、预防、检测、处理、缓解疾病、伤痛或残疾的医疗设备	
第九大类：监视和控制仪器	
烟雾探测器	加热调节器
自动调温器	家用或实验室用测量、称重仪器
其他用于工业装置（如控制面板）的监视和控制仪器	
第十大类：自动售货机	
热饮料自动售货机	冷/热瓶装或罐装物品自动售货机
固体产品自动售货机	自动换币机
自动释放所有类型产品的所有设备	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2003年2月,欧盟RoHS指令中的豁免条款如下:

(1) 每个灯汞含量不超过5mg的节能灯;
(2) 汞含量不超过下述要求的荧光灯管: • halophophate:不超过10mg; • triphosphate:普通寿命型,不超过5mg; • triphosphate:长寿命型,不超过8mg。
(3) 特殊用途的荧光灯管中的汞;
(4) 本附录中未列出的其他灯具中的汞;
(5) 阴极射线管、电子元件、荧光灯管等所用玻璃中含有的铅;
(6) 含铅量不超过0.35Wt%的钢,含铅量不超过0.4Wt%的铝,含铅量不超过4Wt%的铜;
(7) 高熔点焊料中的铅(如:含铅量超过85Wt%的Sn-Pb焊料); 服务器、存储系统、存储阵列系统中所用焊料中的铅(这是例外,可保持到2010年); 用于切换、传输信号及网络通信管理的网络基础设施中所用的含铅焊料; 电子陶瓷部件中的铅(如压电陶瓷);
(8) 76/769/EEC指令及其91/338/EEC修正指令中禁止使用之外的镀铬镀层;
(9) 在制冷设备中为防止碳钢冷却系统腐蚀所使用的六价铬;
(10) 遵照章程7(2)的步骤要求,委员会将评估下列应用: • Deca BDE; • 特殊用途的荧光灯管中的汞; • 用于切换、传输信号及网络通信管理的网络基础设施中所用的含铅焊料; • 灯泡。 以上为优先审查项目以决定是否需要修改。

2005年10月,欧盟公布了最新增补的豁免条例(2005/747/EC),其中包括:

(1) 压接连接器(Compliant-Pin Connector)系统中的铅;

(2) 热导模块镀层材料中的铅;

(3) 光学与滤光玻璃中的铅和镉;

(4) 微处理器封装与引脚连接用多元焊料合金中的铅,其中铅含量为80Wt%~85Wt%;

(5) Flip-Chip封装中用于半导体芯片与载体之间可视电连接焊料中的铅。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附录C　日本工业标准JIS Z 3198：无铅焊料试验方法

第1部分　熔化温度范围测定方法(略)
第2部分　机械性能试验方法——拉伸试验(略)
第3部分　铺展率试验方法

1. 适用范围

本标准针对电气电子设备、通信设备等引线与部件连接时所使用的无铅焊料，规定其铺展率试验方法。

2. 引用标准(略)

3. 定义

本标准所使用的主要用语请参照JIS Z 3001。其余请参照如下内容：

a) 无铅焊料

作为合金成分，不含有铅的锡基焊料的总称。与电气、电子、通信设备的电子组装中使用的锡铅焊料相对应的“不含铅的焊料”。

4. 试验概要

在铜板上放置无铅焊料及助焊剂，经一定时间加热后使焊料熔化并测定其铺展率，进而评价焊料的润湿性能。

5. 材料及化学试剂

a) 铜板尺寸为30mm×30mm×0.3mm，JIS H 3100中规定的无氧铜板C1220P或C1201P。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

b) 松香

JIS K 5902 中规定的二级松香。

c) 异丙醇

JIS K 8839 中规定的异丙醇。

d) 清洗剂

钎焊后用于去除助焊剂残渣的溶剂。

e) 0.5%(质量百分比)的过硫酸氨溶液

将 250g 过硫酸氨溶于水,而后小心加入 5mL 浓硫酸(比重为 1.84),搅拌至充分溶解后冷却并稀释至 1L。

f) 5%(质量百分比)硫酸

将 50mL 浓硫酸(比重为 1.84)小心加入 400mL 水中,搅拌、冷却、并用水稀释至 1L。

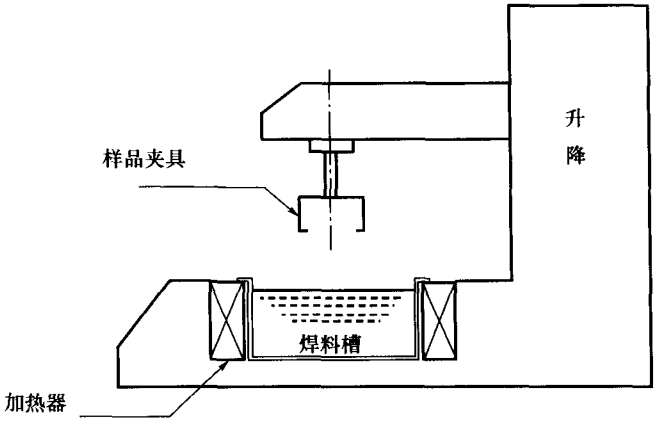
g) 丙酮

JIS K 8034 中规定的丙酮。

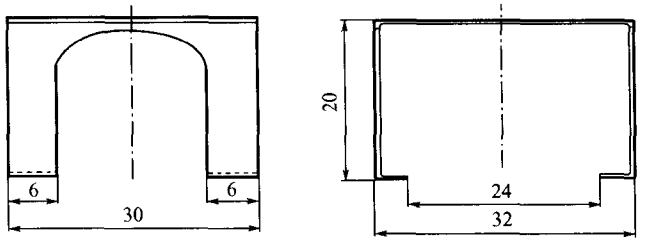
h) 精制水

20℃时电阻率大于 5kΩ·m 的蒸馏水或去离子水。

6. 装置及器具(见图 C.1)



(a) 基本构成图



(b) 试验件夹具

图 C.1 基本构成图及试验件夹具

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

a) 焊料槽

深度 30mm 以上,横截面积 100mm×150mm 以上,温度控制可满足规定:250℃ ±3℃。

b) 干燥器

空气循环型,可在 100℃ ±3℃下保持恒温。

c) 升降系统

可垂直移动系统,保证试验件与熔融焊料表面的接触和脱离。

d) 刮刀

可简单刮除焊料槽中熔融焊料表面的氧化膜。

e) 测微计

参照 JIS B 7502 标准。

f) 吸液管

精度在 0.02mL 以上。

g) 一般试验器具

本试验所用的所有玻璃器具均参照 JIS R 3503 中的规定。

7. 试验步骤

7.1 铜板的前处理

参照 JIS Z 3284 附属书 4－4(2)中的规定对铜板进行前处理。

7.2 焊料试验件形状

圆板形,直径 6.5mm,高 1.24mm(体积 0.041cm^3)。

7.3 助焊剂(含卤素活性松香助焊剂)

a) 将 JIS K 5902 规定的二级松香 25g ± 0.1g 加入到 JIS K 8839 中规定的异丙醇 75g ± 0.1g 中,加热溶解并搅拌至均匀混合。尔后加入二乙胺盐酸盐 0.39g ± 0.01g 并搅拌溶解。

b) 冷却后,精确称重并补充蒸发损失的异丙醇。

备注(1):二乙胺盐酸盐在使用前须在 110℃ ±2℃下干燥 2h。

备注(2):助焊剂应放入密闭容器中,置于阴凉处保存。

7.4 试验

a) 用吸液管将 0.02mL 助焊剂滴于铜板中央处,而后在其上方将焊料置于铜板中央处。

b) 在干燥器中 100℃下加热 2min,将助焊剂中的溶剂蒸发掉,进而制成试验件。一次试验需制备 5 个试验件。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

c) 将焊料槽温度设定为250℃±3℃。

d) 采用升降系统使试验件与焊料槽中的熔融焊料进行水平接触,接触之前须刮除焊料表面的氧化膜。

e) 试验件与熔融焊料接触后保持30s,使焊料在铜板上铺展开来。

f) 采用升降系统将试验件水平上移以脱离与焊料的接触,并自然冷却至室温。

g) 采用适当的清洗剂去除助焊剂残渣。

8. 铺展率的计算

采用测微计测量铺展之后的焊料高度,进而根据下式计算铺展率。本试验需重复5次,结果取平均值。

$$S_R=(D-H)/D\times 100$$

式中 S_R——铺展率;

H——铺展之后的焊料高度;

D——将试验用焊料看做是球形时对应的球直径(mm):

$D=1.24V^{1/3}$,V 为试验中使用的焊料的质量/密度。

第4部分 基于润湿平衡法及接触角法的润湿性试验方法

1. 适用范围

本标准针对电气电子设备、通信设备等引线与部件连接时所使用的无铅焊料,基于润湿平衡法及接触角法,规定其润湿性试验方法。

2. 引用标准(略)

3. 定义

本标准使用的主要用语,请参照JIS Z 3001。其余请参照如下内容。

a) 无铅焊料(同前)

b) 润湿力

熔融焊料沿着垂直方向的金属片浸润时产生的作用力,包括相应的浮力在内。

c) 接触角

从液态焊料与固态金属表面的接触边缘点起液态焊料曲表面的切线方向与固态金属表面方向之间的夹角。金属片向熔融焊料中垂直浸润时,液态焊料曲面的切线方向与垂直轴之间的夹角。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

d) 焊料槽

可盛装焊料,并具备加热附件以融化焊料且可在一定温度下持续保温的装置。

4. 试验方法

4.1 试验概要

本试验方法采用规定的试验件及标准助焊剂。采用如下两种方法比较无铅焊料与标准锡铅焊料的润湿性能。

(1) A 法(润湿平衡法)

测量焊料的润湿时间与润湿力

(2) B 法(接触角法)

测量润湿前沿的接触角

a) 将无铅焊料及用于比较的标准锡铅焊料分别放入不同的焊料槽中,加热使之熔化形成焊料浴槽。

b) 采用适当夹具将试验件吊挂在试验设备上。

c) 使熔融焊料表面与试验件接触并浸润规定的深度,即可以上升加热装置,也可以下降试验件。

d) 采用 A 法的场合试验件开始与熔融焊料接触到脱离熔融焊料为止,检测试验件上的作用力,并通过信号转换器连续记录该作用力 - 时间曲线数据。

e) 采用 B 法的场合试验件开始与熔融焊料接触到脱离熔融焊料为止,测定发生润湿的焊料的接触角,并记录。

4.2 化学试剂及材料

a) 去离子水

b) 丙酮(参照 JIS K 8034 标准)

c) 异丙醇(参照 JIS K 8839 标准)

d) 酸洗液

JIS K 8180 中规定的盐酸 5g(35%)在 95g 去离子水中的稀释液(1.75%)。

e) 标准助焊剂 A(非活性松香助焊剂)

将 JIS K 5902 中规定的二级松香溶于 25g ± 0.1g 加入到 JIS K 8839 中规定的异丙醇 75g ± 0.1g 中。

f) 标准助焊剂 B(含卤素活性松香助焊剂)

将 JIS K 5902 规定的二级松香 25g ± 0.1g 加入到 JIS K 8839 中规定的异丙醇 75g ± 0.1g 中,加热溶解并搅拌至均匀混合。尔后加入二乙胺盐酸盐 0.39g ± 0.01g 并搅拌溶解。冷却后,精确称重并补充蒸发损失的异丙醇。助焊剂应放入密闭容器中,并置于阴

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

凉处保存。

备注(1):应由试验委托人选择使用哪种助焊剂。

备注(2):二乙胺盐酸在使用前须在 110℃ ±2℃下干燥 2h。

g) 标准焊料

JIS Z 3282 中规定的 Sn63Pb37A 或 Sn63Pb37E。

4.3 装置及器具

适用于本试验的装置如图 C.2 所示。

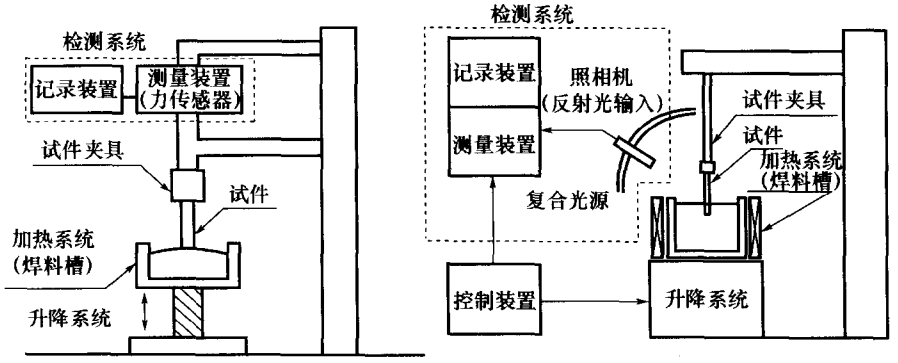


图 C.2 试验装置构成示例

a) 润湿平衡法及接触角法用焊料浴槽及辅助器具

焊料槽深度应在 15mm 以上,形状为四方形或圆筒形,试验件的任意部位距离焊料槽壁应在 15mm 以上。焊料浴槽的温度保持精度应在 ±3℃之内。

b) 记录设备应为计算机控制

c) 桌上型超声波清洗设备

d) 刮刀、镊子等

e) 蒸发皿类浅底盘、滤纸

f) 手套(不可直接用手接触试验件)

4.4 试验步骤

a) 试验件的调整

① 试验件。

润湿平衡法(A 法)及接触角法(B 法)所用的试验件材料应为 JIS H 3100 中所规定的片状无氧铜,即 C1201P 或 C1220P。另外,润湿平衡法(A 法)中采用的线状试验件应为 JIS H 3260 中所规定的 C1100W－0 或 C1100W－1/2H。试验件最先接触熔融焊料的端面应平滑、无伤痕。试验件的尺寸见表 C.1。应使用干净的镊子等工具夹取试验件。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 C.1　试验件的形状及尺寸

适用范围	形状	厚度(cm)	宽度(cm)	长度(cm)
A法及B法	板状	0.3±0.03	10±0.01	30±0.1
A法	线状	直径 0.6±0.03	—	30±0.1

② 试验件的酸洗处理。

首先用 JIS K 8034 中规定的丙酮进行脱脂清洗并在室温下干燥;尔后放入酸洗液中进行 1min 的超声波清洗。从酸洗液中取出后,在去离子水中充分清洗;最后在 JIS K 8034 中规定的丙酮中浸泡,而后在室温下干燥。

b) 试验(见图 C.3)

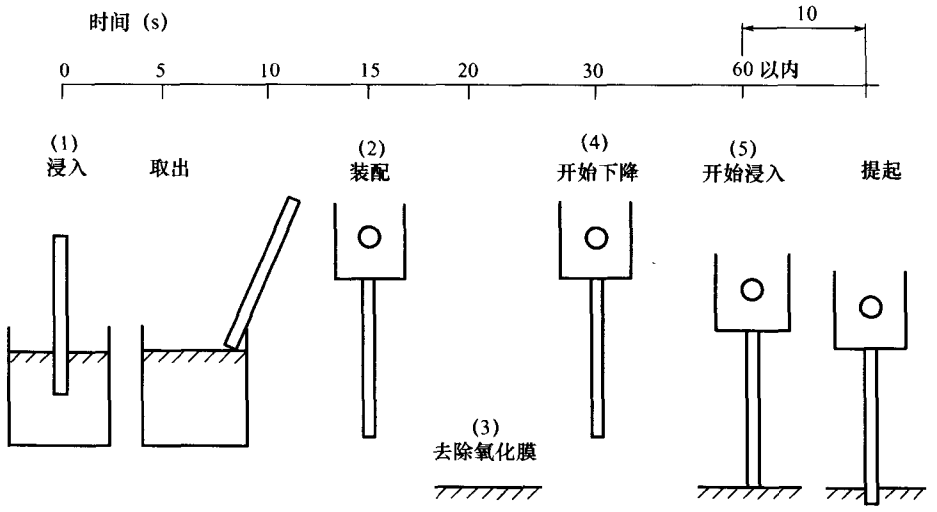


图 C.3　试验步骤及所需时间示意图

① 将焊料放入焊料槽内并加热熔化,焊料槽温度应设定为 250℃ ±3℃。当然,根据焊料种类的不同,试验温度应与试验委托者协商设定。

② 将助焊剂 A 和 B 分别倒入不同的蒸发皿中。

③ 将试验件浸入助焊剂中 5s,浸入深度为 4～5mm。需要注意的是该浸入深度不能超过后续熔融焊料中的浸入深度 3mm 以上。使用清洁的镊子等工具或带手套进行试验件的取放工作。

④ 将试验件从助焊剂中取出。为避免附着过剩的助焊剂,取出时试验件应呈倾斜方向。同时,如果可目测发现有多余助焊剂附着,应将试验件角部在干净的吸水纸上点一

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

下以去除多余的助焊剂。

⑤ 采用适当夹具将试验件装在实验设备上，其方向应与熔融焊料表面垂直。用刮刀去除熔融焊料表面的氧化膜。

⑥ A 法的场合：使焊料浴槽上升或使试验件下降以便使试验件与熔融焊料开始接触。与此同时，记录设备开始动作以记录载荷随时间的变化，动作条件的记录见表 C.2。

⑦ B 法的场合：使焊料浴槽上升或使试验件下降以便使试验件与熔融焊料开始接触，与此同时，记录设备开始动作以记录接触角随时间的变化。动作条件的记录见表 C.2。

表 C.2　实验装置的动作条件

项目	条件
浸入深度	2mm
浸入速度	2～5mm/s
浸入时间	10s

⑧ 为避免焊料浴槽的辐射热导致试验件温度上升及助焊剂挥发，试验件安装在实验设备上之后，应在 1min 之内开始实验。

⑨ 参照步骤①～⑧对标准锡铅焊料进行同样的试验。各步骤及所用时间的记录见表 C.3。每组试验应重复 5 次。

表 C.3　试验步骤及所需时间的记录

步骤	时间(s)	持续时间(s)
①浸入助焊剂	0	5
②采用夹具装夹试验件	15	—
③去除熔融焊料表面的氧化膜	20	—
④开始下降试验件或上升焊料浴槽	30	—
⑤浸入熔融焊料之中	60 以下	10

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4.5 实验条件

a) 实验装置的动作条件

实验装置的动作条件见表 C.2。

b) 温度条件

焊料浴槽的温度条件见表 C.4,分为 type Ⅰ 和 type Ⅱ 两种。

表 C.4 温度条件

类型	浸入时间(s)	温度(℃)
type Ⅰ	10	250
type Ⅱ	10	凝固开始温度 + 20

温度测量位置:在焊料浴槽的适当位置进行温度测量。该位置温度与试验件底端的温度差应在 ±3℃之内。

5. 试验结果的记录

a) A 法的场合

根据记录曲线(如图 C.4 所示)计算润湿开始时间及润湿完成时间。润湿开始时间为图 C.4 中点 0 与点 A 之间的时间距离,润湿完成时间为图 C.4 中点 A 与点 B(2/3 最大润湿力对应位置)之间的时间距离。如有需要,可计算最大润湿力。最大润湿力为基

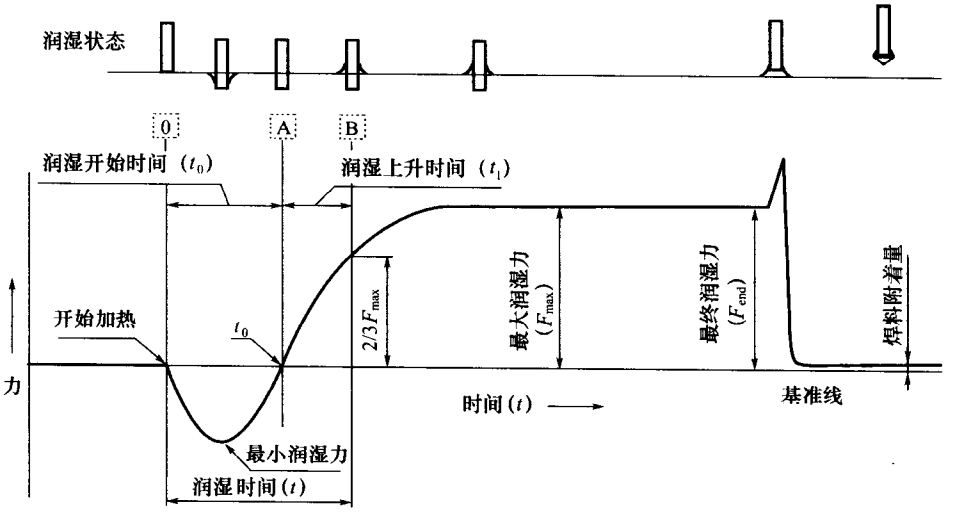


图 C.4 润湿性的评价—不考虑浮力的情况

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

准线与记录曲线之间幅差最大位置 F_{max} 与基准线之间的距离，单位为 mN。

b) B 法的场合

浸入停止 8s 之后，开始测定并记录接触角。

备注 1：润湿性的评价也可以采用润湿开始时间 t_0 与润湿完成时间 t_1 之和 t。

备注 2：采用铜线试验件时，建议使用较慢的浸入速度(2mm/s)；采用铜板试验件时，建议使用较快的浸入速度(4mm/s)。

6. 评价

就下列指标与标准锡铅焊料进行对比，用于润湿性的评价。

a) A 法的场合

润湿时间 t_0 或 t_1 或 t；

最大润湿力 F_{max}。

b) B 法的场合

接触角 θ；

评价结果表可参见表 C.5。

表 C.5 评价结果表

无铅焊料

	A 法						B 法
	润湿开始时间	润湿完成时间	润湿时间	2/3 最大润湿力	最大润湿力	最终润湿力	接触角
	t_0(s)	t_1(s)	t(s)	$2/3F_{max}$(mN)	F_{max}(mN)	F_{end}(mN)	θ
No.1							
No.2							
No.3							
No.4							
No.5							
最小							
最大							
平均							
标准偏差							

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

标准锡铅焊料

	A法						B法
	润湿开始时间	润湿完成时间	润湿时间	2/3最大润湿力	最大润湿力	最终润湿力	接触角
	t_0(s)	t_1(s)	t(s)	$2/3F_{max}$(mN)	F_{max}(mN)	F_{end}(mN)	θ
No.1							
No.2							
No.3							
No.4							
No.5							
最小							
最大							
平均							
标准偏差							

第5部分　焊点的拉伸及剪切试验方法

1. 适用范围

本标准针对电气电子设备、通信设备等引线与部件连接时所使用的无铅焊料，规定其焊点的拉伸及剪切试验方法。

2. 引用标准(略)

3. 定义

本标准所使用的主要用语请参照JIS G 0202、JIS Z 3001和JIS Z 3282。其余请参照如下内容。

a) 无铅焊料(同前)

b) 焊点圆角

从焊缝处向外伸出的焊点部分。

c) 空洞

焊点中的空洞缺陷。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

d) 拉伸强度

最大拉伸载荷除以试验件的横截面积。

e) 剪切强度

最大剪切载荷除以试验件的搭接面积。

f) 搭接面积

搭接焊点的搭接面积。

4. 试验件

4.1 试验件的种类

按照试验种类与试验形状分类,参见表 C.6。

表 C.6 试验件种类及形状

种类	形状
拉伸试验件	板材的对接焊点
1 号剪切试验件	板材的搭接焊点
2 号剪切试验件	圆形板材的搭接焊点

4.2 试验件的形状及尺寸

a) 拉伸试验件的形状及尺寸如图 C.5 所示。

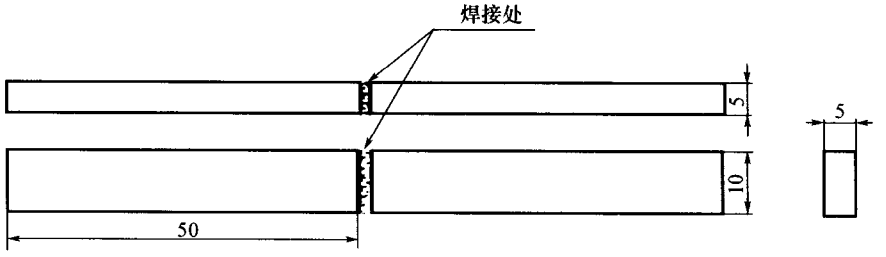


图 C.5 拉伸试验件的形状及尺寸

备注 1:试验件的焊点部分在钎焊后须经机械加工处理以完全去除圆角部分。

备注 2:焊点部分的表面粗糙度为 $R_{max}25S$。

备注 3:试验件须采用可均匀加热的钎焊设备进行焊接,必须保证完整填缝。

b) 1 号剪切试验件的形状及尺寸如图 C.6 所示。

备注 1:必须完全去除焊点的圆角部分。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

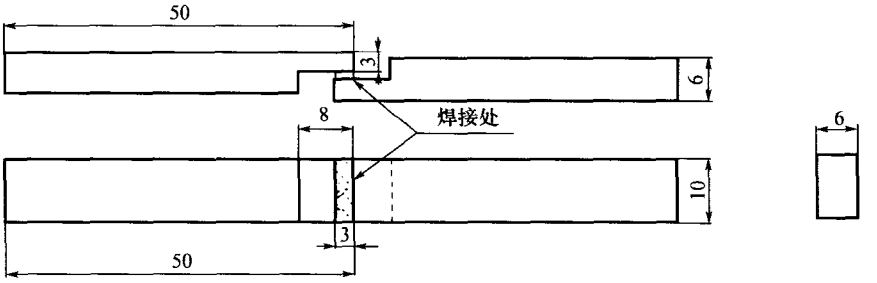


图 C.6　1 号剪切试验件的形状及尺寸

备注 2:焊点部分的表面粗糙度为 R_{max}25S。

备注 3:试验件须采用可均匀加热的钎焊设备进行焊接,必须保证完整填缝。

c) 2 号剪切试验件的形状及尺寸如图 C.7 所示。

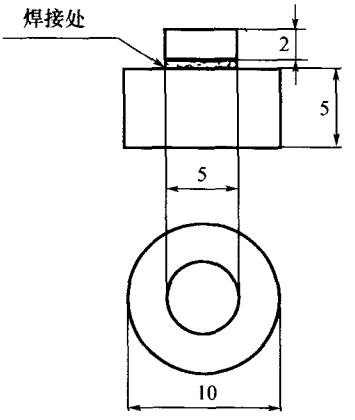


图 C.7　2 号剪切试验件的形状及尺寸

备注 1:必须完全去除焊点的圆角部分。

备注 2:焊点部分的表面粗糙度为 R_{max}25S。

5. 母材、焊料、助焊剂及钎焊时的保护气氛

5.1　母材

a) 根据试验目的确定所用母材,其形状及尺寸如图 C.8 所示。

b) 母材的待焊面应经过机械加工处理。

c) 母材待焊面应采用 JIS K 8034 规定的脱脂剂及 JIS K 8180 规定的酸洗液进行清洗。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

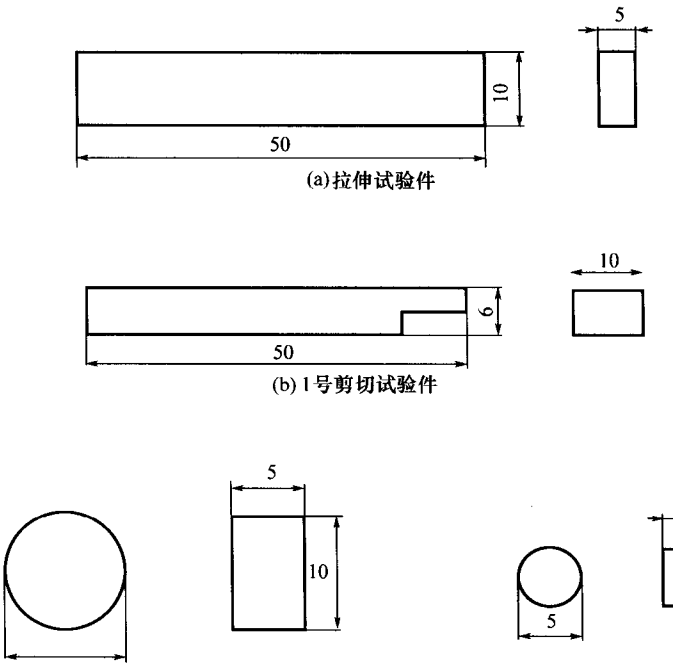


图 C.8　试验件形状及尺寸

d) 根据试验目的,母材待焊面可经过电镀处理。

5.2　焊料

a) 试验所采用的焊料种类、形状及供给方法,在保证形成良好焊点的前提下,应与试验委托人协商选择。

b) 试验所用的焊料量应能保证完全填缝。

c) 试验用焊料表面应采用适当方法洗净。

5.3　助焊剂及钎焊时的保护气氛

a) 针对所用母材及焊料特点,选择合适的助焊剂及保护气体。

b) 助焊剂须均匀涂覆在母材待焊面表面。

6. 试验件的钎焊

a) 钎焊时需使用适当的卡具以固定母材。

b) 焊缝间隙高度为 50～400μm,同时为比较试验结果,应确保焊缝间隙高度的一致性。

c) 钎焊装置无特殊规定,但所用装置需配备测温系统。

d) 钎焊温度根据所用焊料进行适当选择。

e) 根据试验目的,选择相应的加热、冷却速度和预热温度等试验条件。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

f) 应尽可能保证焊后的焊点高度一致且无变形。

g) 必须去除露出焊缝的圆角部分。

h) 焊后需采用适当的方法去除残留在母材表面的助焊剂。

i) 如焊后发现母材歪斜等情况,不需要进行矫正。

7. 试验件的热处理

a) 如需测定焊点经热处理后的强度,可对试验件进行热处理。

b) 对热处理装置无特殊规定,但所用装置应配备测温系统。

c) 根据试验目的确定热处理温度和保温时间等。

8. 试验方法

8.1 拉伸试验

a) 参照 JIS Z 2241 中规定的拉伸试验方法。

b) 试验中应避免发生试验件的弯曲。

c) 拉伸速度为 1～50mm/min。

d) 试验温度为 10～35℃,须记录。必要场合下试验温度为 23℃ ±5℃。

8.2 剪切试验

8.2.1 采用 1 号剪切试验件

a) 参照 JIS Z 2241 中规定的拉伸试验方法。

b) 试验中应避免发生试验件的弯曲。

c) 拉伸速度为 1～50mm/min。

d) 试验温度为 10～35℃,须记录,必要场合下试验温度为 23℃ ±5℃。

8.2.2 采用 2 号剪切试验件

a) 采用图 C.9 所示的试验装置,参照 JIS Z 2241 中规定的拉伸试验方法。

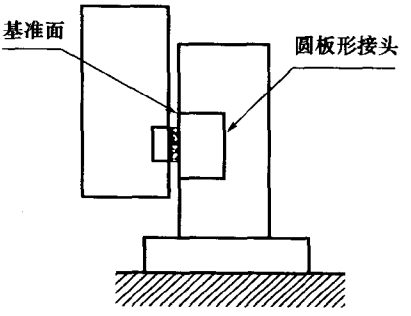


图 C.9 试验装置构成示例

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

b) 剪切夹具与试验件的接触面应为平面。

c) 剪切夹具的高度调整可精确到0.1mm。

d) 试验件应妥当固定,保证使其在加载时不发生移动。

e) 剪切夹具的高度应为从基准面开始的焊料层厚度0.2～0.7mm的范围之内。

f) 加载速度应为1～50mm/min。

g) 试验温度为10～35℃,须记录,必要场合下试验温度为23℃±5℃。

9. 测定值的计算方法

9.1 拉伸试验的场合

a) 使用适当仪器测量钎焊面积,焊点的宽度与厚度的测量精度为0.1mm。钎焊面积为焊点的宽度乘以焊点的高度。

b) 焊点的拉伸强度为 $\sigma = P/A$,其中:

σ——焊点的拉伸强度(N/mm^2);

P——焊点的最大破断载荷(N);

A——试验前的钎焊面积(mm^2)。

c) 观察破断位置是在焊料内部还是在焊点界面处。

9.2 剪切试验的场合

a) 使用适当仪器测量1号剪切试验件的钎焊面积。焊点的宽度与厚度的测量精度为0.1mm。钎焊面积为焊点的宽度乘以焊点的高度。

b) 使用适当仪器测量2号剪切试验件的钎焊面积的直径,测量精度需为0.1mm。钎焊面积为以此为直径的圆面积。

c) 焊点的剪切强度为 $\tau = P_s/A$,其中:

τ——焊点的剪切强度(N/mm^2);

P_s——焊点的最大破断载荷(N);

A——试验件的钎焊面积(mm^2)。

d) 观察破断位置是在焊料内部还是在焊点界面处。

10. 试验结果的记录

a) 试验时间——年、月、日。

b) 试验场所。

c) 母材的名称及种类。

d) 母材表面是否有镀层及镀层种类。

e) 试验件的种类。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

f) 焊料的种类。

g) 助焊剂的种类及钎焊时的保护气氛。

h) 钎焊条件(加热方法、预热温度、钎焊温度、保持时间、加热速度、冷却速度等)。

i) 有无经过热处理及热处理条件(温度及保温时间)。

j) 焊料层的厚度。

k) 焊点的拉伸强度及剪切强度。

l) 破断位置。

m) 试验温度。

第6部分　QFP引线焊点的45°角拉脱试验方法

1. 适用范围

本标准针对电气电子设备、通信设备等引线与部件连接时所使用的无铅焊料,规定其QFP引线焊点的45°角拉脱试验方法。

2. 引用标准(略)

3. 定义

本标准所使用的主要用语请参照JIS Z 3197、JIS Z 3283和JIS Z 3284。其余请参照如下内容。

a) 无铅焊料(同前)。

b) QFP(扁平封装)。

表面组装技术常用的一种封装形式。封装本体为厚度较薄的正方形或长方形,封装四周的外引线呈水平方向。

4. 试验概要

如图C.10所示,将采用无铅焊料的印制电路板级QFP组件固定于特定夹具上,而后沿45°角方向拉伸以测定其焊点强度。

5. 试验件

以下内容需与试验委托者协商确定:

a) 试验件(包括基板和QFP)的形状及尺寸;

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

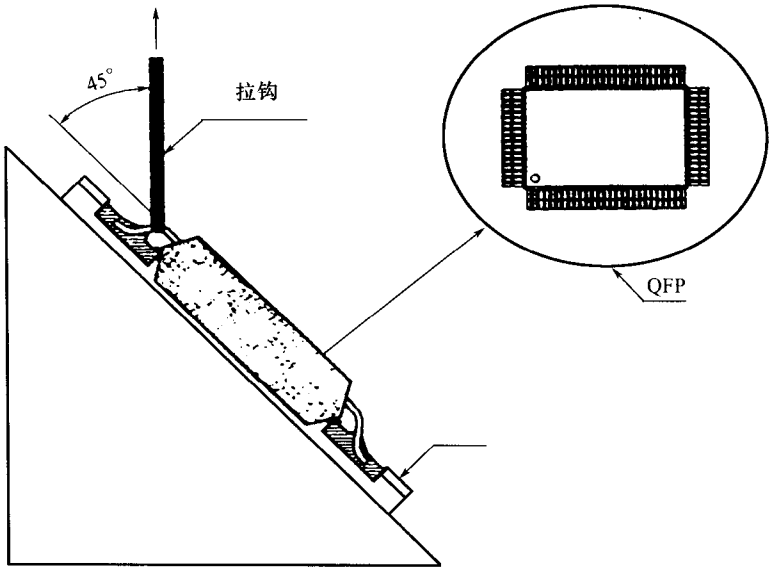


图 C.10　引线拉脱强度试验方法

b) 焊料、助焊剂和钎焊时保护气体的种类；

c) 钎焊方法。

6. 试验方法

a) 将试验件固定在如图 C.11 所示的夹具上。

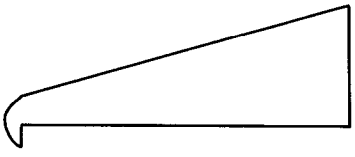


图 C.11　钩状夹具示例图

b) 固定后基板与垂直方向呈 45°角。

c) 试验用钩状夹具前端钩的尺寸应小于 QFP 引线的内部空间，同时该钩状夹具挂住引线之后，应不会错位且在试验过程中不发生变形。图 C.11 为推荐使用的勾状夹具的形状示意图。

d) 试验时，用如图 C.11 所示的钩状夹具挂住 QFP 引线的肩部，而后沿垂直方向上拉伸该钩状夹具，直至达到最大载荷。

e) 试验速度应在 10mm/min 以下。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7. 测定值的计算方法

a) 测定最大拉脱载荷。

b) 仔细观察破断位置并记录。

8. 试验结果的记录

a) 试验时间—年、月、日。

b) 试验场所。

c) 试验材料的名称及种类。

d) 基板上的焊盘及元器件引线是否有镀层及镀层种类。

e) 试验件的种类。

f) 焊料的种类。

g) 助焊剂的种类及钎焊时的保护气氛。

h) 钎焊条件(加热方法、预热温度、钎焊温度、保持时间、加热速度、冷却速度等)。

i) 焊点的拉脱载荷。

j) 破断位置。

第7部分　片式元器件焊点的剪切试验方法

1. 适用范围

本标准针对电气电子设备、通信设备等引线与部件连接时所使用的无铅焊料,规定片式元器件焊点的剪切试验方法。

2. 引用标准(略)

3. 定义

本标准所使用的主要用语请参照 JIS Z 3197、JIS Z 3283 和 JIS Z 3284。其余请参照如下内容。

a) 无铅焊料(同前)。

b) 片式元器件。

半导体 IC、片式电阻电容等。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4. 试验件

以下内容需与试验委托者协商确定：

a) 试验件(包括基板和元器件)的形状及尺寸；

b) 钎焊方法；

c) 试验件的热处理。

5. 试验方法(见图 C.12)

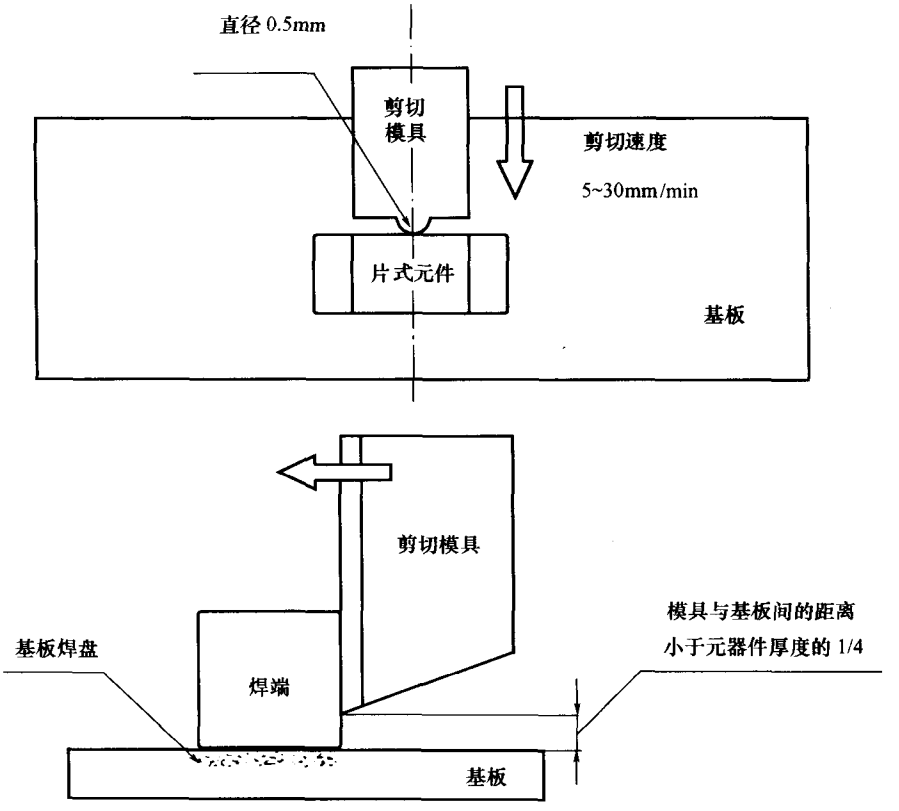


图 C.12　测定方法概念图

a) 试验采用加压剪切方法，在剪切夹具上安装直径为 0.5mm 的压子。

b) 剪切夹具与基板平行且与元器件垂直并对准元器件中央位置；需配合使用显微镜以保证剪切夹具与元器件相应位置的对准；剪切夹具与基板的间隙应在元器件的 1/4 厚度以下，但是剪切夹具与基板不能接触。

c) 剪切夹具首先与元器件轻微接触(所施加力应为焊点剪切强度的 1/10 以下)以避

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

免对元器件造成冲击，而后移动剪切夹具而进行加载并开始测定。

剪切夹具的移动速度为5～30mm/min。

6．测定值的计算方法

a）测定最大剪切载荷。

b）仔细观察破断位置、焊料内部或焊点界面处或元器件内部。

7．试验结果的记录

a）试验时间—年、月、日。

b）试验场所。

c）试验材料的名称及种类。

d）基板上的焊盘及元器件引线是否有镀层及镀层种类。

e）试验件的种类。

f）焊料的种类。

g）助焊剂的种类及钎焊时的保护气氛。

h）钎焊条件(加热方法、预热温度、钎焊温度、保持时间、加热速度、冷却速度等)。

i）焊点的剪切载荷。

j）破断位置。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附录D　印制电路板组件装焊后的洁净度检测及分级

中华人民共和国电子行业军用标准　SJ 20896－2003

1　范围

本标准规定了印制电路板组件(PCA)装焊后洁净度的分类、洁净度等级及洁净度的检测方法。

本标准适用于电子行业中印制电路板组件装焊后的洁净度检验与测试。

2　引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包含勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 3131　锡铅钎料

GB/T 8012　铸造锡铅钎料

GB 9491　锡焊用液态助焊剂

SJ/T 10565　印制板组件装联技术要求

3　一般要求

3.1　原材料质量要求

3.1.1　铅锡焊料

压力加工的锡铅焊料的化学成分应符合 GB/T 3131 的规定。

铸造锡铅焊料的化学成分应符合 GB/T 8012 的规定。

3.1.2　助焊剂

免洗类液态助焊剂应符合产品的指标规定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

松香基液态助焊剂应符合 GB 9491 的规定。

3.1.3 印制板装联

印制板装联应符合 SJ/T 10565 的规定。

3.2 检测环境的要求

3.2.1 检测环境应符合以下要求：

通风、防静电、无尘、无污染。

3.2.2 大气条件应符合以下要求：

温度：15～35℃

相对湿度：45%～75%

4 电子产品洁净度分级及洁净度指标

根据电子产品可靠性及工作性能要求将洁净度分为三个等级，应满足表 D.1 的规定。

表 D.1 电子产品洁净度分级指标

等级	洁净度指标要求			适用范围
	溶剂萃取电阻率 (Ω.cm)	离子污染物当量 ($NaCl\mu g/cm^2$)	助焊剂残留量 ($NaCl\mu g/cm^2$)	
Ⅰ	$>2\times10^6$	<1.5	<40	高可靠电子产品
Ⅱ	$>2\times10^6$	1.5～3.0	<100	耐用电子产品
Ⅲ	$>2\times10^6$	3.0～5.0	<200	一般电子产品

5 印制电路板组件洁净度标示

印制电路板组件洁净度标示如图 D.1 所示。

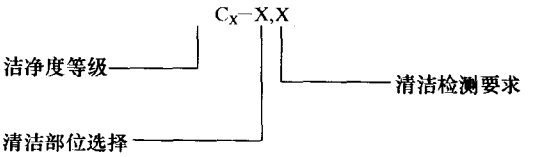


图 D.1 印制电路板组件洁净度标示

a) “C”(Cleanliness 的第一个字母 C)作为洁净度标示，右下标表示洁净度等级，后接两位数字表示电路板组件的洁净度要求。

b) 右下标表示洁净度等级：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

Ⅰ——洁净度指标应符合表 1 中等级Ⅰ的要求；

Ⅱ——洁净度指标应符合表 1 中等级Ⅱ的要求；

Ⅲ——洁净度指标应符合表 1 中等级Ⅲ的要求。

c) 第一个数字表示清洁部位的选择：

0——没有表面要清洗；

1——组装电路板单面要清洗；

2——组装电路板两面都要清洗。

d) 第二个数字表示清洁检测的要求：

0——不需要做洁净度检测；

1——用目测法检测；

2——要求对溶剂萃取电阻率做检测；

3——要求对表面离子残留物含量做检测；

4——要求对助焊剂残留物的表面有机污染物做检测；

5——要求对松香助焊剂残留物做 HPLC 检测；

6——由用户/制造商协商确定的其他检测。

C_I—2,3

e)——洁净度标识符号；

右下标Ⅰ表示洁净度应符合表 1 中等级Ⅰ的指标要求；

第一个数字“2”表示印制电路板两面都要清洗；

第二个数字“3”表示要对离子残留物含量做检测，当需注明两种以上检测方法时可用“/”表示。

6 印制电路板组件装焊后洁净度检测方法

6.1 目测法

清洗过的印制电路板组件在表面及焊点四周用 5～10 倍的放大镜进行观察，应看不到残留物或污染物的痕迹。

6.2 溶剂萃取的电阻率测试法

6.2.1 范围

该测试方法用于确定印制电路板组件表面是否存在污染物。它的基础是测量清洗印制电路板组件溶剂的电阻率的变化。当有污染物，如镀层盐分、焊锡残留物、蚀刻剂或洗涤剂被溶解后，溶剂的电阻率将降低。

6.2.2 试样

任何印制电路板组件都有足够的面积用足够的溶剂来测定其电阻率。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6.2.3 测试设备及工具

6.2.3.1 各种玻璃仪器,如烧杯、漏斗、容量瓶和洗瓶等。这些仪器可以是玻璃的也可以是塑料的,但在使用过程中必须要绝对清洁。

6.2.3.2 电导电桥或等同量程和精度的仪器。

6.2.3.3 清洗溶液的组成:75%(体积比)溶剂级异丙醇,25%的蒸馏水,其溶液最小电阻率为 6.0×10^6 欧姆·厘米(Ω.cm)。

6.2.3.4 线形测量仪,如卡尺。

6.2.4 测试步骤

6.2.4.1 确定印制电路板组件的表面尺寸,包括板两面和安装组件所需的大致面积。

6.2.4.2 将测试板悬挂在一个尺寸大小合适的漏斗上方,下面放一个收集器。

6.2.4.3 每 250mm^2 的印制电路板组件要用 100mL 冲洗溶液,以细流方式用溶液冲洗测试板的两面至少 1min。初始的洗液必须要测定电阻率。

6.2.4.4 用电桥或等同量程和精度的仪器测试冲洗液的电阻率。

6.2.4.5 按公式(1)可计算出其单位面积上的氯化钠当量。

$$W_r = 1.56\times2/\rho \tag{1}$$

式中:W_r——每平方厘米面积上的氯化钠(NaCl)当量,氯化钠当量的单位是微克每平方厘米(NaClμg/cm^2);

2——当试样含有 1.56NaClμg/cm^2 时的电阻率,单位是兆欧·厘米(MΩ·cm);

ρ——收集液的电阻率,单位是兆欧·厘米(MΩ·cm);

1.56——电阻率值为 2MΩ·cm 时试样单位面积所含相应的氯化钠(NaCl)当量,单位是微克每平方厘米(μg/cm^2)。

6.3 表面污染物的离子检测(动态法)

6.3.1 范围

该测试法是为了确定印制电路板组件表面离子污染物的数量,这些污染物必须溶于水、酒精或其混和物。

6.3.2 试样

任何印制电路板组件。

6.3.3 测试设备

6.3.3.1 动态测试仪

该设备从待测表面用溶剂萃取离子,然后测该溶剂的电导率。溶剂由一个带测试槽的循环回路用泵输送,电导池和离子交换柱在溶剂流回测试槽之前脱去所有离子。电导池采用温度补偿以避免由于温度变化而引起的读数偏差。计算泵以恒定的速度通过回

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

路来输送溶剂。记录仪记录电导率随时间的变化。

6.3.3.2 测试溶剂:75%的异丙醇加25%的去离子水。

6.3.4 测试步骤

6.3.4.1 校准

一旦设备系统中建立了稳定电导率的流体以后,向测试溶液中注入精确量的校准液,系统将对溶液的电导率的各种变量泵速率、样品面积和时间进行积分处理得到以氯化钠样品为基准的相对微欧值。

6.3.4.2 测试

当系统校准后,将样品浸到样品槽中。在测试过程中,溶液电导率会偏离电导率基准线,然后逐步趋近基准线,当到达基准线后,不会再有污染物析出,测试即告终止。样品曲线进行计分,校准用来确定污染物的量。所萃取离子的总的摩尔量符合公式(2)。

$$N = kV\int_0^{\infty}(1/\rho_t)dt \tag{2}$$

式中,N——测试液中离子量,单位是摩尔(mol);

k——实验常数;

V——测试循环回路中测试液的体积,单位是升(L);

ρ_t——t 时测试的电阻值,单位是欧姆·厘米(Ω·cm)。

6.3.4.3 测试数据的处理

从6.3.4.2得出的数据是印制电路板组件表面污染物相对于氯化钠溶液的相对微欧值,用这个值除以印制电路板组件的总面积,得出的是单位面积的相对微欧值。

6.4 助焊剂残留物检测——表面有机污染物的检测方法

6.4.1 范围

用于测定印制电路板组件表面是否存在有机的非离子性污染物。尽管测试液体会溶解少量无机化合物,但一般它的浓度会很低,相对于高浓度的有机污染物来说可以忽略。

6.4.2 试样

印制电路板组件,最小尺寸为长×宽=75mm×50mm。

6.4.3 测试设备及工具

6.4.3.1 显微镜载玻片:长×宽=75mm×25mm,玻璃。

6.4.3.2 带橡胶头、可清洗的玻璃滴管。

6.4.3.3 60mL滴管用橡胶头。

6.4.3.4 不起毛的手套。

6.4.3.5 测试液体:光谱级或高压液相色谱(HPLC)级氰化甲烷(乙腈)。其他经过

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

认可的适当的溶剂也可使用。

6.4.4 测试步骤

6.4.4.1 准备

a) 用测试液冲洗载玻片，参照 6.4.4.2 节中的方法干燥，参照 6.4.4.4 节中的方法确认其上面无残留物；

b) 拿住测试样品的边缘，在载玻片上方呈一定的角度，样品不能接触载玻片。

6.4.4.2 测试

a)在样品上缓慢滴下 0.25～10.50mL 的测试液体，让它流过试样表面的一小片区域，然后滴在载玻片上，滴管不要接触试样，如图 D.2 所示。

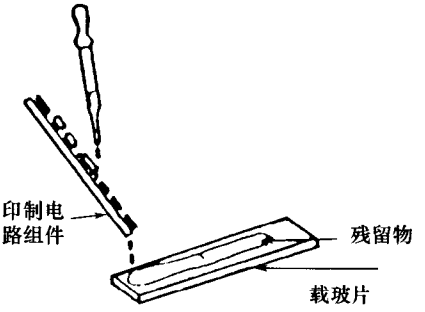


图 D.2 在载玻片上收集污染物

b) 在通风橱中用和缓的干燥空气或氮气将测试液体吹干蒸发。如果没有上述的压缩空气或氮气，可采用大的橡胶吹球或玻璃管来吹空气；

c) 应避免测试液体的快速蒸发，这是因为快速蒸发会使载玻片表面变冷，使空气在载玻片上结雾；

d) 如果用加热来蒸发水分，会挥发掉部分或全部的残留物，从而使结果无效；

e) 重复上述操作，用 2mL 测试液体冲洗试样的每个部分，并使液体全部积聚在载玻片上。

6.4.4.3 对照实验

a) 在另外一块同样的载玻片上加上等量的测试液，使其蒸发；

b) 如 6.4.4.4 节中所述观察载玻片，应看不到残留物；

c) 如果看得见残留物，则表示测试液不纯，不能用于测试；

d) 如果载玻片上可以看到微弱的痕迹，这不表示有污染物存在。

6.4.4.4 评价

拿住载玻片的边缘使其倾斜，让上方的灯光照在上面反射。这时如果有的话可以看

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

到从试样上冲洗下来的残留物。

6.5 松香助焊剂残余物分析——高效液相色谱法(简称 HPLC 法)

6.5.1 范围

高效液相色谱法(HPLC)用于印制电路板组件松香助焊剂焊后残余物的分析。这个测试用于评估过去常用的松香助焊剂的清洗过程。

6.5.2 试样

用于萃取的印制电路板组件。

6.5.3 测试设备及工具

6.5.3.1 高效液相色谱仪。

6.5.3.2 用适合萃取的容器或等同物来萃取印制电路板组件。

6.5.3.3 测溶剂的瓶子。

6.5.3.4 氰化甲烷(乙腈),HPLC 级。

6.5.3.5 去离子水,HPLC 级。

6.5.3.6 热水槽,80℃ ±5℃。

6.5.4 测试步骤

6.5.4.1 萃取

a) 确定印制电路板的面积。通常计算表面面积的方法为(长×宽×2)+10%;

b) 将处理后的印制电路板放入萃取容器或等同物中;

c) 测试溶液为 75%的异丙醇加 25%的去离子水(体积比);

d) 向萃取容器中加入 75~200mL 的测试溶液,足够覆盖印制电路板;

e) 放入测试样品后热密封容器并放入 80℃ ±5℃ 的热水槽中 1h(在容器上切一个小孔);

f) 用上述方法萃取未经处理的印制电路板组件。

6.5.5 残渣浓度的计算

a) 样品溶液中残留物浓度为

$$F = (A \times B \times C)/(D \times E) \tag{3}$$

式中,F——样品溶液中残留物浓度,单位是毫克每升(mg/L);

A——样品溶液峰值的面积,单位是平方厘米(cm^2);

B——标准样品的浓度,单位是毫克每升(mg/L);

C——标准样品的注入体积,单位是毫升(mL);

D——标准样品积分面积,单位是平方厘米(cm^2);

E——标准溶液的注入体积,单位是毫升(mL)。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

b) 残留物含量为

$$L=[(F\times G)/H]\times 1\,000 \tag{4}$$

式中，L——残留物含量，单位是微克每平方厘米（$\mu g/cm^2$）；

F——样品溶液中残留物浓度，单位是毫克每升（mg/L）；

G——样品溶液的体积，单位是毫升（mL）；

H——标准样品的面积，单位是平方厘米（cm^2）；

1000——实验常数，单位是微克每毫克（$\mu g/mg$）。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附录E　印制电路板组件装焊后的清洗工艺方法

中华人民共和国电子行业军用标准　SJ20883－2003

1　范围

本标准给出了军用电子装备印制电路板组件装焊后的清洗工艺方法选择指南。

本标准适用于军用电子装备装焊后的印制电路板组件。

2　引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期或版次的引用文件，其后的任何修订单(不包括勘误的内容)或修订版本均不适用于本标准，但提倡使用本部分的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡是不注日期或版次的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 4677.22—1998 印制电路板表面离子污染测试方法

GB 9491—1998 锡焊用液态助焊剂

GJB 3243—1998J 电子元器件表面安装要求

QJ/Z 158—1985 气相清洗工艺细则

SJ/T 10668—1995 表面组装技术术语

SJ/T 10565—1994 印制电路板组件装联技术要求

SJ 20896—2003 印制电路板装焊后的洁净度检测及分级

3　术语和定义

下列术语和定义适用于本标准

3.1　臭氧消耗化学物质/大气臭氧层损耗物质，(ODS，Ozone Depleting Substances)在大气同温层臭氧反应并消耗臭氧的化学物质。

3.2　表面润湿(Wetting of Surfaces)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

清洗介质在工件表面形成一种均匀、不破裂薄膜的过程即为表面润湿。

为了更好地润湿工件表面，必须使清洗介质的表面张力小于工件的表面张力，加入表面活性剂可以明显提高清洗介质的润湿性能。

3.3 离子性溶解 (ionic dissolution)

将污染物在水中溶解成离子的进程称为离子性溶解。离子性物质溶解后会使水的电导率提高。

电子元器件上典型的离子污染物包括：助焊剂中的活性物质、助焊剂中的活性物质与金属氧化物的反应产物、手印中的盐、不正确清洗元器件或裸板时产生的盐、印制电路基板制造中的预聚物及焊料掩膜产生的盐等。这类污染物极其有害，可能导致电子元器件性能不良或受腐蚀。

3.4 非离子性溶解(non－ionic dissolution)

非离子性溶解是指当某物质溶于水中且不会使水的电导率发生变化的溶解。

典型的非离子污染物包括：助焊剂载体，手中的污物，水中的糊状物及类似的化合物等。这些物质不导电，但会大量吸附湿汽，导致电性能变差。

4 要求

4.1 清洗溶剂

4.1.1 溶剂选取要求

当选取清洗溶剂时，要按以下要求完成：

a) 对操作人员没有危害；

b) 一般清洗能力与材质兼容性成反比，即清洗能力越强，又可兼容的塑胶类材质越少。故选用清洗剂前要根据电路板的组件情况做兼容性试验；

c) 具有良好的清洗能力，润湿性好；

d) 能同时去除极性污物和微粒杂质；

e) 符合生产设备的特点和工作区的要求；

f) 重复使用中具有稳定性。

4.1.2 选取的溶剂应具有的特性

4.1.2.1 润湿性

用做清洗剂的溶剂应有好的润湿性。表面张力越小，润湿性越好。一般20℃时，溶剂的表面张力在15.2～32.3达因/厘米(dyne/cm)范围内的润湿性较好。

4.1.2.2 溶解度

溶解清洗剂的溶剂应有好的溶解度，选取溶剂时要确保它能尽量多地溶解现有污物。溶剂和污物的分子结构应符合相似的容易相互溶解等原则，同时可以通过选择适当

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的设备和工艺，如采用搅拌、延长清洗周期、采用循环清洗等方法，提高溶剂的溶解度。不同溶剂的溶解度不同，具体参见附录E(资料性附录)中的表E.1和表E.2。①

4.1.2.3 浸蚀度

选用的溶剂清洗剂应与设备和元器件具有兼容性，不能因浸蚀度过高而对设备和清洗对象的部件造成任何损坏；不能浸蚀标签、标记。

4.1.2.4 混合性

极性物质和(或)非极性物质可作为混和成分通过混合而做成清洗剂。非极性成分可有效地除掉非离子杂质，如树脂、石油、手污等；而极性物质则可溶解离子杂质，如助焊活性剂、镀盐杂质或处理过的盐分。一般，饱和链烃类溶剂为非极性物质；醇类(如甲醇、乙醇、2－丙醇、1－丙醇)具有微极性；有机卤代烃类(包括不对称的多氯代烃、氯代烃、溴代烃、氯氟烃、氟烃)都或多或少带有极性，其中有的则极性较强(如1,1,1－三氯乙烷、CFC－113)。极性较强的卤代烃类常用来调节、平衡溶解度。

4.1.2.5 残留物

清洗剂在最终清洗后不应留下有害的溶剂残留物。

4.1.2.6 稳定性

清洗剂的稳定性(使用寿命)取决于其抵抗化学分解和热分解的性能。所选取的清洗剂应有好的稳定性。常用的溶剂清洗剂的物理性质见附录E(资料性附录)中的表E.1和表E.2。

4.1.2.7 安全性

溶剂清洗剂应具有不易燃、不易爆的性质，物理，化学性能稳定，无毒或低毒，对人体没有危害。

4.1.2.8 环保性

对环境无害，应选用非ODS类溶剂。

4.1.3 可选择的典型溶剂类型及其清洗效能

溶剂根据其化学性质的不同划分为三大类，具体见附录B(规范性附录)，它们对于不同残留物的清洗效能见附录A(规范性附录)，印制电路板装焊后需清洗的残留物类型见附录D(资料性附录)。

下面是常用的可选择的溶剂类型及其一般性质及使用时需特别注意的问题。

a) 卤化物溶剂，如HCFC、HFC、HFE。此类化合物具有以下性能：液体密度高，表面张力和黏度低；蒸发热低，干燥快；极好的化学稳定性和热稳定性；与各种材料的兼容性好，电气绝缘性极佳；清洗剂易回收；ODP值为零；全球变暖指数低。它们适用于气相清

① 指本标准的附录，下同。编者注

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

洗设备。使用此类溶剂时应注意维持工作区域内的空气中溶剂蒸发量低于闪点。这类溶剂能清除大多数非极性杂质,如油脂、焊迹、松香助焊剂和氧化膜。由于此类溶剂具有很强的溶解性,因此要对印制电路板的材料和组件做兼容测试。

b) 碳氢化合物类溶剂,如矿物油、煤油、石油溶剂油、环戊烷、环已烷等。醇类溶剂,如乙醇、异丙醇。此类溶剂属易挥发、易燃物。它们可以清除助焊剂和一些极性杂质。一般在通风的环境中少量应用。大量使用仅限于批量或在线式清洗设备。这类设备的设计应包括防火防爆系统,并应根据国家和地方法规,在设备周围设立隔离带。

c) 混合物和共沸混合物,一般由氟化物、氯化物或溴化物溶剂和乙醇组成。可以清除极性/离子、非极性/非离子污物。

此外还有如酮类、酯类、醚类和一些多种物质混合的溶剂。

4.2 清洗工艺方法的选择

4.2.1 常用的清洗方法

应根据残留物的类型来选择清洗溶剂(见规范性附录 A、B,资料性附录 D),在此基础上再选择适于这种溶剂的清洗方法。装焊后的印制电路板最常见的残留物是焊剂、焊膏的氧化物与聚合物。

4.2.1.1 喷洗

在闭合容器中,清洗剂以一定压力形成的漂洗流在大气中对被洗物进行冲洗。喷洗是批量清洗、在线清洗中常用的方法。要求被洗印制电路板上的元器件布局规则,有清洗的喷射路径;喷射出的液滴体积要小于元器件与基板间的距离。由于喷射压力的存在,要注意被洗物是否位移;喷洗要在通风好的区域进行。

水流的能量(压力和流量)直接影响清洗效果,在相同水流量下,压力高比压力低更有助于残留物的清洗。但压力过高,工件表面被喷流遮住,水流回溅大,会影响清洗效果。软水流(低压水流)相当于浸泡效果,有利于残留物的溶解。在清洗设备中,应采用软、硬水流的组合方式。喷洗的方式有批量清洗、连续清洗两种。

(1) 批量清洗

印制电路板上元器件布局越松散越适合此种方法。此方法使用批量清洗机。喷洗时要求印制电路板上最高的元器件位于距喷嘴最远的位置,最低的元器件位于离喷嘴最近的位置。

清洗时,无源元器件、圆柱形通孔插件要使其长轴与喷洗方向垂直;双列对称和 SOIC(小外形集成电路)元器件的长轴定位方向要与喷洗方向平行。四面有引线的方形元器件,如 QFP(扁平封装)和 LCCC(无引线陶瓷芯片载体的引线边与喷射方向成 90°角。

(2) 连续清洗

适用于印制电路板品种单一、数量大的情况。此方法使用在线清洗机。一般在线清

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

洗机或其他有传送装置的清洗设备中，喷嘴是垂直或近似垂直安装的，要求印制电路板清洗位置的放置以利于清洗液的排出为原则，印制电路板放置原则同4.2节(1)。

4.2.1.2 浸洗

在清洗槽中加入清洗液，将被洗物浸润其中的清洗方法。此方法仅靠清洗剂的化学作用清洗，浸洗对印制电路板的设计没有特殊要求。

(1) 浸入式喷洗(喷流清洗)

这种方法适用于清洗对超声波敏感的印制线路板。浸入式喷洗(喷流清洗)即浸泡式液面下水流冲洗。喷嘴安装在液面下相对位置，并留有一定的偏移量，保证水流互不干扰，形成涡流热浴效果。也适用于易燃、易爆、易挥发、易起泡沫的清洗剂，但在喷易燃清洗剂时会产生湿雾。被洗的印制电路板放置原则同4.2节(1)。

(2) 离心清洗

以贴装元器件为主的高密度印制电路板宜采用离心清洗方法。离心清洗的主要原理是利用原动机动力产生的转矩使被洗物产生离心力，并在离心力的作用下，使污染物离开印制电路板。被洗印制电路板上有较高元器件的一边放在外侧，其他放置原则同4.2节(1)节。

4.2.1.3 气相清洗

此方法的适用范围很广，它使用气相清洗机。气相清洗应注意如下问题：

a) 要保证蒸发槽的洁净度，否则污染物会影响清洗后的工序，如敷形涂覆、接插件的连接等。

b) 不要把设备放在有气流通过的位置。

c) 所有气相清洗设备要求印制电路板进/出速度不能超过3.05m/min。

d) 水是气相清洗剂的克星，因此由于冷凝进入的水一定要被清除。可以用机械水分离装置完成。

e) 气相清洗剂要远离热源。

4.2.2 少量印制电路板的清洗方法

印制电路板返修或清洗后要在添加敏感元器件等情况下需用手工焊接。手工焊后允许选用以下清洗方法。

4.2.2.1 手工刷洗

操作人员采用防静电的刷子浸入盛有溶剂的不锈钢容器中反复刷洗印制电路板表面，然后用吸附性好、不起毛的织物擦去印制电路板上剩余的焊剂和清洗溶剂。刷洗只起到粗略清除印制电路板上助焊剂的作用。使用时注意，因毛刷摩擦易产生静电，容易损坏CMOS电路，所以对于装有CMOS电路的板子不宜采用此种清洗方法。

4.2.2.2 组合型手工刷洗

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

加热不锈钢容器中的溶剂(如酒精/碳氢化合物的共沸混合),操作人员用防静电的刷子浸入溶剂中反复刷洗印制电路板表面,然后用吸附性好、不起毛的织物擦去印制电路板上剩余的助焊剂和清洗溶剂。最后用浸润了挥发性醇类溶剂(如2-丙醇)的棉签涂在印制电路板表面,从而起到漂洗和干燥的作用。

4.2.2.3 气相清洗

同4.2.1.3。

4.2.3 手工焊后的清洗要求

根据手工焊所使用的焊剂和焊膏的不同,清洗要求也不同,具体内容如下所列。

a) 松香类:主要成分是白松香。其残留物不导电、无腐蚀性。如后道工序要求涂覆则需清洗,否则可不清洗。

b) 松香类和轻度活性剂:有弱腐蚀性,只须清洗残留物存在的位置。

c) 免清洗类和轻度活性剂:有弱腐蚀性,只须清洗残留物存在的位置。

如有特殊洁净度要求,用以上原则不能满足时可采用其他清洗方法。

5 环境保护、安全、卫生

可燃的清洗剂挥发性大,闪点低,使用时必须对清洗设备和辅助设备采取防爆措施。对于有毒性的清洗剂要有防毒措施。所选用的清洗剂要求全球变暖指数低,温室效应小,排出物的排放应符合国家或地方法规的最低废物处理规定。

6 清洗质量检测

a) 清洗后的质量检测按SJ 20896—2003《印制电路板装焊后的洁净度检测及分级》中的要求完成。

b) 如使用本标准4.2.2中的少量印制电路板清洗方法达不到SJ 20896—2003《印制电路板装焊后的洁净度检测及分级》中的要求,可采用本标准中4.2.1的清洗方法。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

参考文献

[1] 电子科学研究院.电子设备三防技术手册.北京:兵器工业出版社,2000.

[2] 张立鼎,周志春.先进电子制造技术.北京:国防工业出版社,2000.

[3] 李志远,钱乙余,张九海等.先进连接方法.北京:机械工业出版社,2000.

[4] 游敏,郑小玲.连接结构分析. 武汉:华中科技大学出版社,2004.

[5] 方洪渊.简明钎焊手册.北京:机械工业出版社,1999.

[6] 张启运,庄鸿寿等.钎焊手册.北京:机械工业出版社,1999.

[7] C·A·哈珀.电子组装制造.贾松良,蔡 坚,王豫明等译.北京:科学出版社,2005.

[8] John H·Lan,C·P·Wang,Ning Cheng Lee等.电子制造技术.姜岩峰,张常年译.北京:化学工业出版社,2005.

[9] 菅沼克昭.无铅焊接技术.宁晓山译.北京:科学出版社,2004.

[10] 张文典.实用表面组装技术.北京:电子工业出版社,2006.

[11] 宣大荣,韦文兰,王德贵.表面组装技术.北京:电子工业出版社,1994.

[12] 郭福等.无铅钎焊技术与应用.北京:科学出版社,2006.

[13] 田中和吉.电子设备装配技术.朱云鹤,姚军等译.北京:国防工业出版社,1988.

[14] 周德俭,吴兆华.表面组装工艺技术.北京:国防工业出版社,2002.

[15] yoshiharu KARIYA. Mechanical Reliability of Solders in Small Volume. 实装学会誌.2006,9(3):138～142.

[16] katsuaki SUGANUMA. Current Staturs of Low Temperature Soldering. 实装学会誌.2006,9(3):134～137.

[17] Katsuaki SUGANUMA. Current Staturs of Low temperature Lead－Free Soldering Market. 实装学会誌.2003,6(5):369～374.

[18] Masa Fumi INOUE. High Density and High Quality Micro－Soldering Systen. 实装学会誌.2003,6(2):126～129.

[19] Kenji HIROHATA. Packaging Reliability Analysis by Use of Thermal－Stress Simulation. 实装学会誌.2004,7(7):581～587.

[20] Hideyuki TAKAHARA. Recent Standardization Activities of Optoelectronic Packaging in Japan. 实装学会誌.2006,9(2):82～85.

[21] Yoji OHASHI. Flip－Chip Assembly for Millimeter－Wave Circuits. 实装学会誌.2006,9(1):61～65.

[22] Kiyoshi ITO. Electroless Pure Ni Plating Having Higher Reliability of Joint Strength with Sn－Ag－Cu Solder. 实装学会誌.2006,9(1):52～56

[23] Hiroyuki MORIUCHI. The Current Situation and Challenges of Whisker Issues. 实装学会誌.2006,9(3):143～146.

[24] Kiyoshi TAKAGI. Reliability of Printed Wiring Boards For Lead Free Solder Application. 2006,9(3):147～156.

[25] 吴懿平.细节距各向异性导电胶技术.环球 SMT 与封装.2004,4(1):4～7.

[26] 白云,刘艳新.无铅条件下 PCBA 可制造性初探.电子工艺技术.2004,25(6):247～251.

[27] 刘艳新.无铅再流焊的兼容性研究.电子工艺技术.2006,27(1):14～18.

[28] G·Dreezen/G·Luyckx.无铅组装:导电胶带来了真正的变革.环球 SMT 与封装.2004,4(1):10～14.

[29] 何丽梅等.SMT——表面组装技术.北京:机械工业出版社,2006.

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

[30] 翁熙祥，梁志杰等. 金属粘接技术. 北京：化学工业出版社，2006.

[31] 刘联宝，戴昌鼎. 电真空器件的钎焊与陶瓷——金属封接. 北京：国防工业出版社，1978.

[32] John H Lau, Shi－wei Ricky Lee. 芯片尺寸封装. 北京：清华大学出版社，2003.

[33] B·M·艾伦. 锡焊手册. 金国樵译. 北京：人民邮电出版社，1979.

[34] 美国焊接学会钎焊委员会. 软钎焊手册. 崔殿亨译. 北京：机械工业出版社，1987.

[35] H·ф·拉实柯，C·H·拉实柯－阿瓦干. 金属的钎接. 北京：中国工业出版社，1963.

[36] 田中和吉. 电子产品焊接技术. 孟令国，黄琴香译. 北京：电子工业出版社，1984.

[37] 林建忠. 湍流的拟序结构. 北京：机械工业出版社，1995.

[38] 陈祝年. 焊接工程师手册. 北京：机械工业出版社，2002.

[39] 李亚江. 特种焊接技术及应用. 北京：化学工业出版社，2004.

[40] 杜国华. 实用工程材料焊接手册. 北京：机械工业出版社，2004.

[41] 林柏年，魏尊杰. 金属热态成形传输原理. 哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2000.

[42] 钟名湖. 电子产品结构工艺. 北京：高等教育出版社，2002.

[43] 邱成悌，赵惇殳，蒋全兴. 电子设备结构设计原理. 南京：东南大学出版社，2005.

[44] 姜兆华，孙德智，邵光杰. 应用表面化学与技术. 哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2002.

[45] 王从曾. 材料性能学. 北京：北京工业大学出版社，2001.

[46] takashi NAKAMORI. Fluxless Reflow Process Using Solder Bolls by Hydrogen Radical. 实装学会誌. 2005, 18(3): 225～232.

[47] megumi, NAGANO 等. Mehanical Properties and Micro Structure of Sn－Ag－Cu－Ni－Ge Lead Free Solder. 实装学会誌. 2005, 8(6): 495～501.

[48] toshi, mitusu, NAGAO 等. Effect of Cu Dissolution From Substrate and Ni Plating Layer on Bond Strength of Sn－3.5Ag Solder Microjoint. 实装学会誌. 2005, 8(3): 208～214.

[49] Hiroyuki TAKAHASHI 等. Evaluation of Peel Strength of Lead－free Solder Joints for Reflow－Flow Soldering. 实装学会誌. 2005, 8(4): 310～307.

[50] Itsuo WATANABE. Anisotropic Conductive Adhesive Films. 实装学会誌. 2005, 8(4): 346～351.

[51] akihiro, YAGUCHI 等. A Desigen Method for Estimating the Reliability of Lead Free Solder Joints in Ball－Grid Array－Type. 实装学会誌. 2003, 6(7): 573～580.

[52] john·H·Lan. 最新 RoHS 豁免条款. 环球 SMT 与封装. 2006, 6(4): 18～24.

[53] shigeru KOHINATA. Fundamentals of Isotropic Conductive Adhesive Paste(Part1) . 实装学会誌. 2006, 9(6): 495～505.

[54] tatsuya NISHIYAMA. Influence of Microstructure on Crrep Properties of Solders. 实装学会誌. 2006, 9(3): 162～170.

[55] megumi, NAGANO 等. Effect of Addition Elements on Crrep Properties of the Sn－Ag－Cu Lead Free Solder. 实装学会誌. 2006, 9(3): 171～179.

[56] masahiro TADAUCHI 等. Flow Soldering Properties of Sn－Zn Solder. 实装学会誌. 2005, 8(5): 400～403.

[57] hitoshi HOMMA. Development and the Application of Sn－Zn－Al Lead Free Solder. 实装学会誌. 2005, 8(5): 404～409.

[58] yoko, KASAI 等. Development of Examination of How to Identify Thermal Characteristic for Reflow Soldering. 实装学

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

会誌.2005,8(7):580～584.

[59] hideo MIURA. Experimental Methods for Inspection and Feliability Evaluation of Electronic Packages and Modules. 实装学会誌.2005,8(7):585～590.

[60] paul N. Houston et al. Taking the Pain of Out Pb-Free Reflow. Apex,2003.

[61] gert Schouten. Process Development for Lead－Free Selective Soldering. APEX,2002.

[62] 马鑫,钱乙余.无铅化电子组装技术.中国电子学会生产技术学分会论文集,2004.

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

SMT
连接技术手册

中国电子科技集团电科院
电子电路柔性制造中心　编著



责任编辑：富　军
封面设计：徐海燕

本书贴有激光防伪标志，凡没有防伪标志者，属盗版图书。

ISBN 978-7-121-04101-3
9 787121 041013 >
定价：58.00 元

www.789pdf.com 789书库网