

# 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



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

## 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:720×1000 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 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

# 序 言

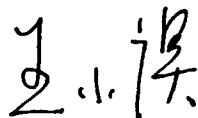
表面组装技术(SMT)是当今各种电子电路电气互连的先进技术。20多年来,这一多学科、综合性的电子制造基础工艺技术得到了极为迅速的发展。目前,我国正在运行中的SMT生产线数量数以万计。为我国电子设备的微小型化和高可靠性已经并继续做出重要贡献。

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 $10^{-5}\text{mm}^3$ ,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



# 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

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....	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
<b>第 2 章 烙铁焊接</b> .....	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

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
<b>第3章</b>	<b>再流焊</b>	<b>55</b>
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

<b>第4章 波峰焊</b> .....	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
<b>第5章 印制电路组件的清洗</b> .....	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

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
<b>第 6 章</b>	<b>印制板组件的三防技术 .....</b>	<b>157</b>
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
<b>第 7 章</b>	<b>金属粘接技术 .....</b>	<b>189</b>
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



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
<b>第8章</b>	<b>压接 .....</b>	<b>209</b>
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
<b>第9章</b>	<b>陶瓷及其与金属的连接 .....</b>	<b>223</b>
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
<b>第10章</b>	<b>面向无铅组装的设计 .....</b>	<b>259</b>
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

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
<b>参考文献</b> .....	<b>325</b>



# 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



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究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  $1\text{mm}^3$  以下,最小焊点体积可达  $10^{-5}\text{mm}^3$ 。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



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。





## 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 assemblies)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。

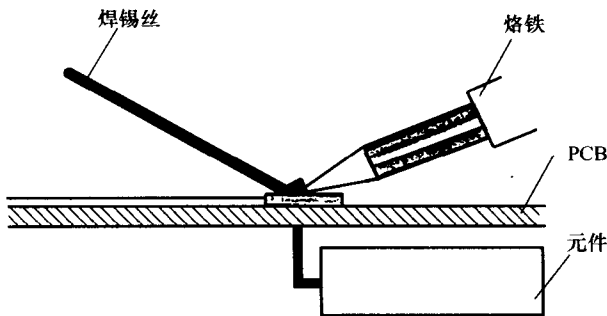


图 2.1 PCBA 烙铁焊接示意图

#### 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



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。





## 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。