

现代电子制造
系列丛书



电子装联操作工 应会技术基础

◎ 王 毅 等编著

Modern
Electronics



Manufacturing



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

现代电子制造系列丛书

电子装联操作工应会 技术基础

王 毅 周 杨 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书详细介绍了现代电子装联工艺过程中,各个工序常见的技术要求及对异常问题的处理方法,包括从 PCB 到 PCBA 及最终产品的每一个主要过程,如 PCB 清洁、印锡、点胶、贴片、回流、AOI 检测、手工焊接、压接、电批使用、三防涂覆、返修技术、各类设备的维护保养等,贯穿整个单板加工的工艺流程,同时还介绍了各个环节对从业者的基本要求,所涉及的案例都是实际生产过程中经常发生的,贴近实际生产,避免了生硬的理论知识灌输,采取了图文并茂的形式,便于读者理解,对从业者的技能提升很有帮助。

本书既可作为中兴通讯电子制造职业学院的教学用书,也可作为相关企业员工的专业技能培训教材,还可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电子装联操作工应会技术基础 / 王毅, 周杨编著. —北京: 电子工业出版社, 2016.1

(现代电子制造系列丛书)

ISBN 978-7-121-27752-8

I. ①电… II. ①王… ②周… III. ①电子装联—生产工艺 IV. ①TN305.93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 295003 号

策划编辑: 宋 梅

责任编辑: 谭丽莎

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 21 字数: 538 千字

版 次: 2016 年 1 月第 1 版

印 次: 2016 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 68.00 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。

总 序

当前,各种技术的日新月异以及这个时代的各种应用和需求迅速地推动着现代电子制造技术的革命。各门学科,比如,物理学、化学、电子学、行为科学、生物学等的深度融合,提供了现代电子制造技术广阔的发展空间,特别是移动互联网技术的不断升级换代、工业4.0技术推动着现代电子技术的高速发展。同时,现代电子制造技术将会在机遇和挑战中不断变革。比如,人们对环保、生态的需求,随着中国人口老龄化不断加剧,操作工人的短缺和生产的自动化,以及企业对生产效率提高的驱动,将会给现代电子制造技术带来深刻变革。不同的时代特征、运行环境和实现条件,使现代电子制造的发展也必须建立在一个崭新的起点上。这就意味着,在这样一个深刻的、深远的转折时期,电子制造业生态和电子生产制造体系的变革,为增强制造业竞争力提供了难得的机遇。

对于中国这个全球电子产品的生产大国,电子制造技术无疑是非常重要的。而中兴通讯作为中国最大的通信设备上市公司,30年来,其产品经历了从跟随、领先到超越的发展历程,市场经历了从国内起步扩展到国外的发展历程,目前已成为全球领先的通信产品和服务供应商,可以说是中国电子通信产品高速发展的缩影。在中兴通讯成功的因素中,技术创新是制胜法宝,而电子制造技术也是中兴通讯的核心竞争力。

无论是“中国智造”,还是“中国创造”,归根到底都依赖懂技术、肯实干的人才。中兴通讯要不断夯实自身生产制造雄厚的技术优势和特长,以更好地推动和支撑中兴通讯产品创新和技术创新。为此,2013年中兴通讯组建了电子制造职业学院,帮助工程师进修学习新知识和新技术,不断提升工程师的技术能力。为提升学习和培训效果,我们下功夫编写供工程师进修学习的精品教材。为此,公司组织了以樊融融教授为首的教材编写小组,这个小组集中了中兴通讯既有丰富理论又有实践经验的资深的专家队伍,这批专家也可以说是业界级的工程师,这无疑保证了这套教材的水准。

《现代电子制造系列丛书》共分三个系列,分别用于高级班、中级班、初级班,高级班教材有4本,中级班教材有6本,初级班教材有2本。本套丛书基本上覆盖了现代电子制造所有方面的理论、知识、实际问题及其答案,体现了教材的系统性、全面性、实用性,不仅在理论和实际操作上有一定的深度,更在新技术、新应用和新趋势方面有许多突破。

本套丛书的内容也可以说是中兴通讯的核心技术,现在与电子工业出版社联合将此丛书公开出版发行,向社会和业界传播电子制造新技术,使现在和未来从事电子制造技术研究的工程师受益,将造福于中国电子制造整个行业,对推动中国制造提升能力有深远的影响,这无疑体现了“中兴通讯,中国兴旺”的公司愿景和一贯的社会责任。

中兴通讯股份有限公司董事长

前 言

电子装联技术从 20 世纪 70 年代发展起来,到 90 年代发展为广泛应用的电子焊接技术。由于涉及多学科领域,其在发展初期较为缓慢,但随着各学科领域的协调发展,SMT 在 90 年代得到了迅速发展和普及,并在 21 世纪成为电子焊接技术的主流。大到汽车冰箱,小到智能穿戴设备,都离不开电子装联工艺的技术应用。可以说电子装联工艺的应用已经深入人们日常生活中的每一个细节。对于电子装联工艺的相关从业人员,必须全面掌握产品加工过程中各工序的基本要求,以及常见缺陷的原理和解决对策。为了给广大一线从业人员提供相关指导,特编写了此教材。

本书着重介绍了焊接理论及应用、电子装联过程各个环节的工艺控制和要求、SMT 和 THT 常见的异常及对策、返修技术及各类设备的维护保养,并在各部分重点讲述了与之对应的技能要求,讲解了实际生产过程中的常见问题解决,对从业人员全面掌握电子装联技术、提升认知和技能有着重要的意义。

本书共分为 9 章,分别是:第 1 章绪论,介绍电子装联各个工序的基本情况;第 2 章电子装联软钎焊原理和焊点可靠性分析,介绍了软钎焊的原理及相关的应用;第 3 章现代电子生产前操作应会,介绍了产品加工之前 PCB 和元器件的主要准备工作;第 4 章现代电子 SMT 工序操作应会,重点讲解了 SMT 主要工序的操作;第 5 章现代电子 THT 工序操作应会,主要介绍了插件和波峰焊接的相关操作;第 6 章手工焊接、压接、电批使用、分板、涂覆操作应会;第 7 章现代电子返修技术应会;第 8 章电子装联设备维护保养应会,介绍了各类设备的维护和保养技术;第 9 章现代电子 SMT、THT 常见焊接缺陷与对策,结合实际的案例讲解了 SMT、THT 常见的焊接缺陷及解决方法。

本书由王毅、周杨编著。在本书的编著过程中,中兴通讯股份有限公司董事长给予了大力支持、关心和鼓励,并在百忙之中为本系列丛书作序,笔者十分感谢!同时,该公司执行副总裁邱未召先生和高级顾问马庆魁先生也亲力亲为,为本书的按时出版提供了指导。

业界知名专家樊融融研究员亲自审核了全书,并为该书提出了很多好的指导、意见和建议,在此深表感谢!

在本书的编写过程中,还得到了制造中心工艺部汪芸部长、邱华盛总工程师、制造工程研究院工艺研究部刘哲总工程师、张加民、石一遑部长的关心和支持,在此表示感谢!

同时,作者在完成书稿过程中得到了制造工程研究院工艺研究部贾忠中资深工艺专家、制造中心工艺部孙磊和史建卫资深工艺专家的指导与协助,以及钟春志、杨日胜、唐世党、温粤晖、段数选、付红志等同志的帮助,在此也表示由衷的感谢。本书在编写过程中参考了一些专业书籍和网络文献,在此表示衷心感谢!

编著者

2015 年 12 月于中兴通讯股份有限公司

目 录

第 1 章 绪论	1
第 2 章 电子装联软钎焊原理和焊点可靠性分析	5
2.1 软钎焊简介	6
2.1.1 引言	6
2.1.2 焊接的定义和分类	6
2.1.3 软钎焊的定义和特点	7
2.2 软钎焊原理	7
2.2.1 软钎焊过程中的各种反应	7
2.2.2 软钎焊过程中的四个步骤	8
2.2.3 软钎焊料	12
2.2.4 PCB 表面焊盘的处理方式	17
2.2.5 元器件引脚的处理方式	19
2.2.6 软钎焊机理与金属的晶相显微结构	20
2.3 焊点可靠性分析	24
2.3.1 焊点可靠性概述	24
2.3.2 焊缝的金相组织	24
2.3.3 金属间结合层的厚度与强度的关系	25
2.3.4 焊料的组织与性质	27
2.4 锡基软钎焊应用中的几个典型问题和案例	29
2.4.1 偏析	29
2.4.2 Flit-lifting 和缩锡	31
2.4.3 球窝 (Head In Pillow)	33
2.4.4 金脆	35
2.4.5 浸析	36
2.5 总结	37
思考题	38
第 3 章 现代电子生产前操作应会	39
3.1 PCB 清洁作业	40
3.1.1 PCB 清洁的目的及意义	40
3.1.2 PCB 清洁作业步骤	40
3.1.3 注意事项	41
3.2 元器件成型作业	42
3.2.1 成型的目的及分类	42

3.2.2 各类元器件的成型要求及设备	42
思考题	62
第4章 现代电子 SMT 工序操作应会	63
4.1 锡膏印刷质量控制	64
4.1.1 锡膏印刷的意义	64
4.1.2 锡膏印刷质量检测及现场加工质量控制	64
4.1.3 注意事项	67
4.2 点胶工艺控制	68
4.2.1 名词定义	68
4.2.2 点胶机点胶工艺控制要求	68
4.2.3 钢网刮胶工艺要求	69
4.3 SMC&SMD 贴片作业及质量控制	71
4.3.1 名词定义	71
4.3.2 SMC/SMD 贴片质量控制要求	71
4.4 再流焊接作业及质量控制	73
4.4.1 名词定义	73
4.4.2 再流焊接作业及质量检测总体要求	74
4.4.3 各级产品常见元器件的焊接要求	75
4.4.4 炉后常见的焊接缺陷案例	87
4.5 自动光学检测设备的应用	92
4.5.1 自动光学检测设备种类	92
4.5.2 焊膏检测 AOI 设备的检验要求	92
4.5.3 炉前 AOI 检测设备的使用要求	94
4.5.4 再流焊后的 AOI 检测设备	97
4.5.5 AOI 可测试性设计	100
4.5.6 AOI 测试盲点	101
思考题	102
第5章 现代电子 THT 工序操作应会	103
5.1 元器件插装作业	104
5.1.1 名词定义	104
5.1.2 元器件插装作业要求及质量检测验收	104
5.2 波峰焊接质量控制	120
5.2.1 名词定义	120
5.2.2 波峰焊接质量检测要求及现场加工质量控制	120
思考题	128
第6章 手工焊接、压接、电批使用、分板、涂覆操作应会	129
6.1 电烙铁使用技术	130

6.1.1	教学目的	130
6.1.2	电烙铁和烙铁头的选用和适用范围	130
6.1.3	电烙铁使用方法	131
6.1.4	电烙铁的保养方法	138
6.1.5	电烙铁的管理	140
6.1.6	电烙铁焊接要求	140
6.1.7	安全注意事项	141
6.1.8	测温计使用注意事项	141
6.2	压接作业	141
6.2.1	半自动压接	141
6.2.2	全自动压接	143
6.2.3	压接工艺过程控制的意义	145
6.2.4	常见压接不良	145
6.2.5	压接工艺过程控制	146
6.2.6	对压接件的控制	146
6.3	电批使用	147
6.3.1	教学目的	147
6.3.2	电批使用要求	147
6.3.3	有源电批操作方法	149
6.3.4	无源电批操作方法	150
6.3.5	电批操作注意事项	151
6.3.6	电批扭矩设定和校验要求	151
6.3.7	电批日常检查与维护保养	152
6.3.8	电批使用安全注意事项	153
6.3.9	扭矩测试仪使用方法	154
6.4	分板作业	155
6.4.1	分板设备简介	155
6.4.2	走刀式分板机操作要求	156
6.4.3	铣刀式分板机操作要求	160
6.5	PCBA 组件三防涂覆	165
6.5.1	三防涂覆简介	165
6.5.2	三防涂覆质量标准	166
6.5.3	三防涂覆质量控制	168
6.5.4	常见缺陷及原因	169
	思考题	170
第 7 章 现代电子返修技术应会		171
7.1	概述	172
7.2	常见返修技术介绍	172

7.2.1	定义	172
7.2.2	常见返修技术	172
7.2.3	电烙铁返修技术	173
7.2.4	BGA 返修台返修技术	180
7.2.5	热风仪返修技术	183
7.2.6	小锡炉返修技术	185
7.2.7	热板炉返修技术	187
7.2.8	返修技术选取	187
7.3	返修技术应用及举例	188
7.3.1	返修技术应用分类	188
7.3.2	片式表贴元器件返修（电烙铁返修技术）	188
7.3.3	多引脚表贴元器件（QFP、SOP）返修（热风枪拆卸，电烙铁焊接）	191
7.3.4	BGA 封装元器件返修（BGA 返修台返修）	192
7.3.5	POP 封装元器件返修（BGA 返修台返修）	194
7.3.6	QFN 封装元器件返修（热风仪、BGA 返修台返修）	196
7.3.7	通孔插件元器件返修（小锡炉返修）	197
	思考题	198

第 8 章 电子装联设备维护保养应会 199

8.1	焊膏印刷机维护保养	200
8.1.1	适用说明	200
8.1.2	参考说明	200
8.1.3	维护、保养内容	200
8.2	贴片机维护保养	208
8.2.1	适用范围	208
8.2.2	引用文件	208
8.2.3	名词定义	208
8.2.4	贴片机维护、保养分类	209
8.2.5	贴片机维护、保养方法	209
8.3	再流焊接设备维护保养	227
8.3.1	适用范围	227
8.3.2	引用文件	227
8.3.3	名词定义	227
8.3.4	强化对再流焊设备保养的必要性	227
8.3.5	工具和物料	228
8.3.6	安全要求	229
8.3.7	再流焊设备通用维护、保养方法	230
8.3.8	BTU 回流炉维护、保养方法	234
8.4	自动光学检测设备维护保养	237

8.4.1	适用范围	237
8.4.2	VT-WINII 炉后 AOI 设备	237
8.4.3	SPI 设备维护保养	241
8.5	常用离线检测设备维护保养	247
8.5.1	适用范围	247
8.5.2	参考文件	247
8.5.3	名词定义	247
8.5.4	安全防护	247
8.5.5	X-RAY 系统构成及其功能	248
8.5.6	X-TEK X-RAY 检测仪维修、保养规范	250
8.5.7	PHOENIX 的 X-RAY 检测仪维修、保养规范	253
8.5.8	ERSASCOPE2 光学检查系统维护保养	256
8.5.9	LSM 300 焊膏厚度测试仪维护保养	258
8.6	波峰焊接设备维护保养	259
8.6.1	适应范围	259
8.6.2	名词定义	259
8.6.3	主要设备举例	259
8.6.4	波峰焊接设备系统的组成及工作原理	261
8.6.5	保养分级和配套工具	265
8.6.6	场地防护与安全文明要求	266
8.6.7	波峰焊接设备保养内容及其要求	266
	思考题	272
第 9 章	现代电子 SMT、THT 常见焊接缺陷与对策	273
9.1	SMT、THT 常见问题分类	274
9.2	印锡工序常见缺陷及解决方法	274
9.2.1	印锡工序主要参数	274
9.2.2	印锡工序常见缺陷及对策	274
9.3	贴片工序常见缺陷及解决方法	281
9.3.1	贴片工序主要参数及部件	281
9.3.2	贴片工序常见缺陷及对策	282
9.4	回流工序常见缺陷及解决方法	286
9.4.1	回流工序主要参数	286
9.4.2	回流工序常见缺陷及对策	287
9.5	波峰焊接常见缺陷及解决方法	304
9.5.1	波峰焊接工艺的关键参数	304
9.5.2	虚焊	305
9.5.3	不润湿及反润湿	306
9.5.4	焊点轮廓敷形不良	307

9.5.5 针孔或吹孔309

9.5.6 拉尖310

9.5.7 溅钎料珠及钎料球311

9.5.8 桥连312

9.5.9 金属化孔填充不良315

思考题317

参考文献319

跋321

第1章 绪 论



随着电子制造装联工艺的高速发展,对电子装联行业从业者的专业技能也提出了更高的要求,本书从电子制造装联工艺中各个工序中的工艺要求入手,结合实际生产过程中产生的案例的分析与解决,重点讲述了电子制造装联工艺操作人员需要具备的职业基本技能,对从业人员提升专业技能有着重要的帮助。

本书按照一般的电子产品加工过程进行梳理,包含了电子产品 PCBA 涉及的主要工序。本书首先从基础的焊接理论知识入手,然后分别通过 SMT (印锡、贴片、回流)、AOI 检测、THT (元件插装、波峰焊接)、螺钉装配、压接装配、手工焊接、三防涂覆、分板作业等工序阐述了具体的工艺要求、质量控制要求,以及缺陷出现的机理和应对的解决措施。

表面组装技术 (Surface Mount Technology, SMT) 是目前电子组装行业里最流行的一种技术和工艺。它是一种将无引脚或短引线表面组装元器件 (简称 SMD) 安装在印制电路板 (Printed Circuit Board, PCB) 的表面或其他基板的表面上,通过回流焊等方法加以焊接组装的电路装联技术。SMT 的主要加工工序分为:印锡、贴片、回流。

印锡工序之前,需要首先对 PCB 单板进行清洁,去除表面的异物,避免因焊盘上的异物导致炉后焊接出现缺陷的情况。

印锡工序的作用是完成焊料的分配工作,最常见的方法是通过印锡设备上的刮刀,将锡膏通过印刷模版 (简称钢网 stencil) 漏印到 PCB 的焊盘上,为元器件的焊接做准备。

红胶工艺是针对贴片与 THT 器件混装的单板设计的一种工艺方法。在点完或印刷完胶水后,经过贴片、回流作业,将元器件固定在单板上,然后通过波峰焊接的方式实现元器件与 PCB 之间的焊接。

贴片工序的作用是将表面组装元器件准确安装到 PCB 的固定位置上。所用设备为贴片机,一般为高速机和泛用机按照生产需求搭配使用。

回流工序的作用是将焊膏融化,使表面组装元器件与 PCB 牢固焊接在一起。常见的设备为热风回流炉,该工序对温度的要求相当严格,需要严格按照规定进行温度测量。常见的热风回流炉通过对加热单元的温度、风力及传送带速度的设定,可以实现需要的时间-温度曲线。其总体结构主要分为加热区、冷却区、炉内气体循环装置、废气排放装置及 PCB 传送 5 大主体部分。

回流焊接之后的单板,需要进行焊接质量的检验,通常使用 AOI 设备进行操作。从业人员需要熟练掌握焊接质量的标准,以及对应的设备操作、维护和保养的技能。

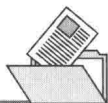
在进行元件插装之前,需要根据产品的需求,对元器件进行成型作业,得到所需的元件引脚长度、宽度或外形。

元件插装,即我们通常所说的插件,是指将成型后的器件插入对应的孔中,该工序需要保证元件正确,同时不能出现反向及漏插的情况。

波峰焊接 (Wave soldering) 即将熔融的液态钎料借助泵的作用,在钎料液面形成一特定形状的钎料波峰,使装载了元器件的 PCB 以某一特定角度、一定的浸入深度穿过钎料波峰而实现焊点的连接过程,可实现元器件与金属化孔的连接。

手工焊接是使用电烙铁进行元器件焊接的工序,需要从业人员具备专业的电烙铁使用技能,保证手工焊接质量的可靠和稳定。

压接技术是一种取代焊接技术的新兴技术,提供元器件端子和金属化孔之间的低成本、高品质的连接,一般采取半自动的方式。



螺钉装配是产品装配中的重要环节，产品依靠螺钉装配实现各个部件之间的紧固，而电批的使用技术是保证良好的螺钉装配的基本技能。此外，还要掌握电批工具基本的检验、维护和保养技能。

PCBA 组件的三防涂覆主要是指在 PCBA 上涂覆一层高分子绝缘保护膜的过程。三防涂覆是电子设备三防工艺技术中极为重要的一项关键工艺，通常应根据产品使用环境和特殊部位提出相应的三防等级，根据不同等级选择相应的材料和工艺以保证产品或部件达到三防设计要求，这对于提高产品的可靠性有着至关重要的意义。

在生产中不可避免地会产生不良品，对不良品必须进行返修以保证产品性能的实现及后期产品运行的可靠性，因此返修质量的好坏尤为重要，这需要从业人员具备专业的知识和技能，避免产品后续出现功能异常。

电子制造装联工艺所涉及的设备种类较多，设备是实现电子制造装联的基本工具，其运行的稳定性是保证产品高质量、高效率生产的前提。在设备维护保养章节，本书分别从印刷设备、贴片设备、回流设备、AOI 设备、波峰焊接设备入手，重点讲解了各类主要设备的维护、保养技能。

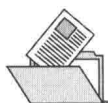
在本书的最后章节，重点讲述了 SMT 和波峰焊接工序常见的缺陷和对策，对于从业人员解决生产过程中经常出现的缺陷有重要的意义。

第2章 电子装联软钎焊原理和 焊点可靠性分析



本章要点

-  软钎焊简介
-  软钎焊原理
-  焊点可靠性分析
-  锡基软钎焊应用中的几个典型问题和案例
-  总结



2.1 软钎焊简介

2.1.1 引言

焊接是电子制造工艺中的关键工序。我们的质量目标是不但要提高生产中的直通率,减少肉眼看得见的缺陷,还要克服虚焊、焊点内部应力大、内部裂纹、界面结合强度差等肉眼看不见而影响产品长期可靠性的焊点缺陷。学习焊接理论、了解焊接过程,是为了从根本上采取措施,提高电子连接的可靠性。运用焊接理论指导生产实践,掌握正确的工艺方法,可提高产品的焊接质量。

电子装联的核心是连接技术,在单板的级别上,集中体现在焊接技术上。焊点是元器件与印制电路板电气连接和机械连接的连接点。焊点的结构和强度决定了电子产品的性能和可靠性。

2.1.2 焊接的定义和分类

焊接是两种或两种以上材质(同种或异种)通过加热、加压,或两者并用,使两工件产生原子间结合的加工工艺和连接方式。

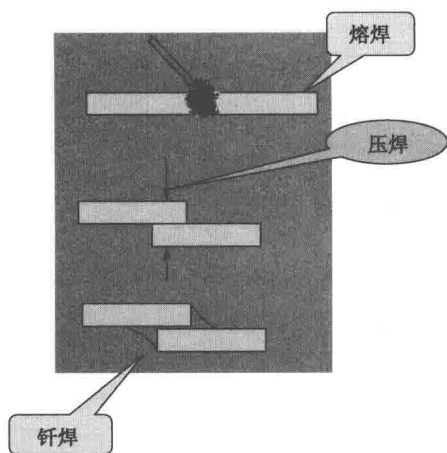


图 2.1.1 按焊接过程分类

目前实现焊接的方法有很多,按焊接过程的特点大致可归纳为三大类:熔焊、压焊和钎焊,如图 2.1.1 所示。

熔焊是在焊接过程中将工件接口加热至熔化状态,不加压力完成焊接的方法。熔焊时,热源将待焊两工件接口处迅速加热熔化,形成熔池。熔池随热源向前移动,冷却后形成连续焊缝而将两工件连接成为一体。这类焊接方法的特点是:将被焊金属的结合处局部加热到熔化状态,互相熔合,冷却凝固后彼此结合在一起。熔焊示例有气焊、电弧焊、埋弧焊、气体保护焊、电子束焊等。

压焊是在加压条件下,使两工件在固态下实现原子间的结合,又称固态焊接。这类焊接方法的特点是:在焊接过程中,对被焊金属施加一定的压力(也可同时加热或不加热),促使被焊件间的接合面精密接触,使原子间产生结合作用,以获得永久性的连接。压焊示例有电阻焊、摩擦焊、扩散焊等。

钎焊是使用比工件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、低于母材熔点的温度,利用液态钎料润湿母材,填充接口间隙并与母材实现原子间的相互扩散,从而实现焊接的方法。这类焊接方法的特点是:利用比母材熔点低的钎料和钎件一起加热,