

电子装联技术

(修订本)

吴九辅

周红

陕西科学技术出版社

电子装联技术

吴九辅

陕西科学技术出版社

内容提高

这是一本讲述电子装联技术的书，此书深入浅出，理论、实践并重，适用面广。全书分为八章，分别介绍了电装的基本理论，技术基础，装联材料，电装用焊料，焊剂的特性，分类，电装设备原理，特性，技术方法，而且还特别介绍了波峰焊和 SMT 表面安装技术，装联的技术方法，检查方法，包括在线印制板组件的针床检测方法，以及人员的培训和管理。本书可作为从事电子产品，电气设备，电子计算机制造，家电维修，仪器仪表设计，工艺装配人员的培训教材，也是技术人员的参考书，也可作大专院校有关专业的教材。

这是一本理论性和实用性都很高的书。

电子装联技术

吴九辅

陕西科学技术出版社出版发行

(西安北大街 131 号)

陕西省新华书店经销 陕西省富平县印刷厂印装

787×1092 毫米 32 开本 13 印张 25 万字

1991 年 10 月第 1 版 1991 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 7-5369-1074-6/TN·9

定价：5.80 元

前 言

近年来，电子技术的飞速发展和进步，使世人应接不暇，无不惊叹它的日新月异。今天的电子技术，是20世纪人类取得的最伟大成就之一。正因如此，也促进了与其紧密相连的仪器、仪表、自动化装置、电子计算机、通讯设备、家电等的更新换代、飞跃进步。

就其宏观上讲，电子技术有两个方面。一个是电子学科技术的进步，新原理、新技术、新产品的发现和推出；还有一个，就是生产这些产品的技术手段，方法，系统组织。前一技术称作纵向技术；后一种则称横向（或称横断面）技术，是工业的基础和水平。正像先哲们讲的：不是讲生产什么，而是用什么手段生产的这一著名论断。电子装联技术已渐形成一门完整的、独立的技术科学，它是现代电子工业及其相关工业的基础，是一个国家和企业现代化的代表标志，是提高生产率，降低成本，保证质量，增加竞争力，提高可靠性的根本保证。我国与工业先进国家的差距，也主要表现在这些方面。正是如此，我国引进的先进技术中，占有相当大比重的就是装联生产技术，如现代生产线、成套生产设备等。

作者多年从事自动化仪表科研、教学，在国外学习时的耳闻目睹，深感电装技术的重要。为推动我国电装技术的发展，普及和深化这方面的技术知识，切望为我国四化大业补上这一空缺，经过几年的研究准备，终将这本书向读者奉出。

电子装联技术是在电子锡焊装联的基础上发展起来的。为此，我们这本书也遵循这个技术历史的沿革来论述。全书共分八章。第一章对电子装联技术作了概述。第二章是电子焊接装联的理论基础。第三章是装联焊料的特性、基本理论及选择方法。第四章是装联焊剂，包括助剂、阻剂等的机理、分类、研制方向、选择方法。第五章是分析研究各种电装工具、设备的作用原理及技术方法，包括波峰焊和 SMT 表面安装技术。第六章是装联技术，包括微焊技术和修焊技术。第七章是装联检查，包括材料、元件、印制板的可焊性检查原理、方法、设备，还着重介绍了印制板组件的针床计算机检查原理和方法。第八章讲述了装联技术的培训和管理，教育培训管理体系，提高工作人员素质的保证措施。最后电装术语，包括简写、缩写的中英文对照。

此书可作为电子产品设计、工艺人员、电装人员、维修人员的培训教材，大专院校有关专业的教材，也可供电装设备研制及焊料、焊剂、加热器等生产部门参考。

在本书的出版过程中，曾得到西安石油学院、中国电子学会电装学会、中国仪器仪表学会、仪表工艺情报网等单位的大力支持。周红、贾强二位老师参加了部分章节的编写和插图工作，左延祺老师对中英文对照作了检索和校对，在此一并表示衷心地感谢。

由于时间紧促，作者水平及知识所限，书中会有很多不妥，错误之外，敬请广大读者给予批评指正。

作者于西安

1991年6月

目 录

第一章 电子锡焊装联概述

1.1	电子装联锡钎焊接	1
1.2	锡焊接的重要性	4
1.2.1	焊接装联与可靠性	4
1.2.2	锡焊接与经济效益	6
1.2.3	提高生产效率,降低生产成本	6
1.3	我们的生活与锡焊接电子装联	6

第二章 电子锡焊装联理论基础

2.1	结合机理概述	9
2.2	漫流	11
2.3	浸润	11
2.3.1	产生浸润的条件	12
2.3.2	金属的结晶结构	13
2.3.3	原子间作用的力与连接	14
2.3.4	熔融金属的凝聚力与附着力	15
2.3.5	表面张力	17
2.3.6	毛细管现象	18
2.3.7	熔化焊料对固体金属的浸润	18
2.4	扩散	24
2.4.1	扩散的分类	25
2.4.2	Fick 定律与固相间扩散	29

2.5	边界面上的金属状态	31
2.6	边界层的结晶与凝固	37

第三章 软钎焊材料

3.1	软钎焊材料概述	39
3.2	锡——铅系钎料	40
3.2.1	锡	40
3.2.2	铅	43
3.2.3	锡—铅系钎焊料的状态图	45
3.2.4	铅在焊料中的作用	49
3.2.5	焊锡的物理特性	51
3.2.6	特性与温度环境的关系	55
3.2.7	钎焊料中的杂质及其影响	57
3.2.8	加入其它金属后特性得到改善的焊料	69
3.3	环境钎焊料	72
3.3.1	高温钎焊料	72
3.3.2	在低温环境下的钎焊料	75
3.3.3	低熔点钎焊料	75
3.3.4	易熔合金	76
3.4	玻璃、陶瓷用钎焊料	79
3.4.1	接合机理	79
3.4.2	陶瓷与金属的粘结强度	80
3.5	铝钎焊料	82
3.5.1	铝钎焊的必备条件	82
3.5.2	铝钎料分类	83
3.5.3	铝钎焊料	84

3.6	微钎焊接用的钎焊料	84
3.6.1	键合用接合材料的必要条件	87
3.6.2	各种微钎焊料的性质	91
3.6.3	钎焊料的形状	95
3.7	厚膜用钎焊膏	98
3.7.1	导电胶	98
3.7.2	玻璃浆料	99
3.7.3	树脂浆料	99
3.8	表面安装用焊浆(焊膏)	100

第四章 焊 剂

4.1	焊剂	101
4.2	焊剂的作用与功能	102
4.3	焊剂的必要条件	103
4.4	焊剂的组分	104
4.4.1	活性剂	104
4.4.2	成膜物质	106
4.4.3	添加剂	107
4.4.4	溶剂	110
4.4.5	松香	111
4.5	焊剂的分类	115
4.6	焊剂的物理、化学作用原理	122
4.6.1	焊剂的物理作用	123
4.6.2	焊剂的化学作用	124
4.7	焊剂的腐蚀作用	126
4.8	焊剂的测试	127

4.8.1	腐蚀性测试	127
4.8.2	焊剂的电气性能测试	128
4.8.3	其它特性测试	129
4.9	焊剂的选择方法	130
4.9.1	印制板用焊剂	130
4.9.2	铝的专用焊剂	132
4.9.3	国内常用焊剂典型配方举例	134
4.10	阻焊剂	136
4.11	防氧化剂	138

第五章 焊接装联器具, 设备及技术方法

5.1	电气烙铁	143
5.1.1	电烙铁的历史	143
5.1.2	电气烙铁具备的条件	144
5.1.3	一般电烙铁的构造	145
5.1.4	烙铁头的必要条件	148
5.1.5	烙铁头的材质和温度	149
5.1.6	其它电烙铁	156
5.2	加热器	161
5.2.1	加热器的一般情况	161
5.2.2	焊锡槽	161
5.2.3	其它加热器及焊接	164
5.3	焊接自动化系统	175
5.4	波峰焊机与波峰焊	181
5.4.1	波峰焊机的几种前身机器	181
5.4.2	波和波峰焊	182

5.4.3	单机式波峰焊机(一次焊接)	191
5.4.4	联动式波峰焊机(二次焊接)	193
5.4.5	用电子计算机控制的自动焊接装置	194
5.4.6	波峰焊工艺参数的最佳值	196
5.5	SMT 表面装联系统和表面装连技术	207
5.5.1	SMT 技术概述	207
5.5.2	SMT 技术关键	215
5.5.3	SMT 焊接工艺	219
5.5.4	SMT 自动装联生产系统	231

第六章 焊接装联技术

6.1	预备知识	235
6.1.1	锡焊接技术的重要性	235
6.1.2	良好的焊接	236
6.1.3	锡焊的操作要素	236
6.1.4	焊接前的准备	237
6.1.5	金属锡焊的难易程度	241
6.1.6	拿烙铁的方法	244
6.2	母材金属与金属表面处理	245
6.2.1	电镀中应注意的问题及其特性	246
6.2.2	其它电镀	250
6.3	锡焊加热温度和加热方法	252
6.3.1	加热温度	252
6.3.2	加热方法	255
6.4	端子焊接	256
6.4.1	预处理	257

6.4.2	端子的配线焊接	265
6.4.3	检查	269
6.5	印制板的焊接装联	270
6.5.1	印制板的安装	270
6.5.2	印制板的自动和半自动插装	279
6.5.3	印制板的手工焊接	296
6.5.4	浸焊焊接	300
6.5.5	波峰焊技术	302
6.6	微型焊技术	304
6.6.1	微型焊技术概况	304
6.6.2	微型焊若干技术问题和相应的措施	306
6.6.3	几种微型焊技术	308
6.7	锡焊修补——修焊技术	315
6.7.1	生产修焊	316
6.7.2	维修修焊	320
6.7.3	修焊注意事项	321
6.8	安全卫生	321
6.8.1	劳动安全卫生	322
6.8.2	安全生产	322
6.8.3	焊接装联作业的安全卫生守则	330
6.8.4	焊接的安全对策	331

第七章 装联的基本检查

7.1	装联的基本检查	333
7.1.1	装联检查概述	333
7.1.2	焊点和焊接的检查	333

7.1.3	优良焊点的特征	334
7.1.4	焊接不良和变质	335
7.1.5	端子配线不良及确认	335
7.1.6	印制板配线不良及确认	342
7.1.7	检查方法	346
7.1.8	单项指标测定法	347
7.1.9	焊接检查用显微镜	348
7.1.10	具体检测方法	348
7.1.11	红外/激光焊点检查测试仪	350
7.2	焊锡, 焊剂的检查	352
7.2.1	焊锡, 焊剂的劣化	352
7.2.2	焊锡, 焊剂的一般检查方法	353
7.3	可焊性测试方法	353
7.3.1	国际电工委员会(IEC)推荐的几种可焊性测试方法	354
7.3.2	几种常用的可焊性测试方法	359
7.3.3	可焊性测试仪器	365
7.4	印制板组件的检查及自动检测系统	369
7.4.1	印制板组件, 功能组件的测试检查	369
7.4.2	印制板组件的计算机检测系统	371
7.4.3	自动检测中的一些基本概念及理论	372
7.4.4	自动测试系统的基本结构原理	375

第八章 装联培训与管理

8.1	装联焊接技术训练	380
8.1.1	装联焊接技术培训的体系	381

8.1.2	装联焊接技术训练	382
8.2	装联焊接鉴定	390
8.3	装联焊接技术竞赛	392
附录	1. 术语缩写及中英文对照	395
附录	2. 主要参考文献	404

第一章 电子锡焊装联概述

1.1 电子装联锡钎焊接

科学技术的进步，使电子技术渗透到工业各种部门和生活各个领域。以电子技术为基础的电子计算机，电子仪表，电子自动化装置，它们是怎样由电子元器件装联构成的呢？不外乎是用压合，螺接，铆接，胶接，绕接，焊接等技术方法进行连接，达到电子线路，电气线路的联通，从而形成具有一定功能的电子机器。本来，焊接是机械制造工业部门经常使用的，是金属加工的一个技术手段，但从电子产品的角度，就不能当成单纯的加工问题，应当看成是整机构成的装联技术，它对产品的性能和经济效益都带来巨大的影响。

钎焊与其它焊接其最大的不同点，就是在金属连接时，钎焊不使母材金属熔化进行连接。这是指宏观的情况，若从微观角度来观察连接面，它也是熔解的。所以，英美有的书中将这种钎焊下定义：凡“金属工件借助在工件接合面之间流动的熔融焊料进行联接的，就称作钎焊。”

如果根据温度来加以区分，把熔点在 450°C 以下的焊料叫作软焊料(Soft Solder)，把熔点在 450°C 以上的焊料叫作硬焊料。使用这种硬焊料进行钎焊，就叫硬钎焊(Brazing)；使用软焊料进行钎焊，就叫软钎焊。当然，使用锡—铅系的钎焊料属于软钎焊。我们这本书主要是研究装联软钎焊及其在

电子产品上的应用,也就是电子锡钎焊接装联技术。

日本 JIS 工业标准对钎焊和锡焊是这样定义的:“所谓钎焊,就是使用焊料在不使母材熔化的情况下进行连接的方法。所谓锡焊,就是使用焊锡在不使母材熔化的情况下进行连接的方法”。美国 MIL SPEC 军用标准是以 800°F (429°C) 的金属焊料的熔点,作为界限来区别硬钎焊和软钎焊的。

我们可以给软钎焊下个定义,那就是:“在固体金属和固体金属之间,使用熔点比要结合的任一固体金属的熔点都低的焊料(也称钎料)熔化,通过毛细管效应,浸入结合固体间隙,并结合为一体,在被连接的固体金属与焊料之间,必须产生金属化学变化。将此称作软钎焊。”

在国防上,钎焊的分类为:

高温钎焊:焊接温度 950°C 以上,用 Ni、Au、Mn 作钎料。

低温钎焊(软钎焊):焊接温度小于 450°C ,用 Pb—Ag、Sn—Pb、Sn—Bi、Bi、In、Ga 作钎料,抗拉强度 $< 5\text{kg}/\text{mm}^2$ 。

浸钎焊:焊接温度大于 450°C ,用 Ag、Cu 作钎料。

电子装联中的锡焊就属于低温钎焊的一大类。

在国外,锡焊技术已发展成一门独立的技术科学,而且正在日新月异地向前发展着。目前,各国都在大力研究,通过对软钎焊机理作深入研究和探讨,寻找新的软钎焊理论,发展新的焊接技术;通过对钎料钎剂进行研究,探求新材料;通过对焊接工具,设备进行研究,探求新的软钎焊设备;研究和寻找检定测试方法,实现机电一体化,综合自动

化、提高生产效率，提高质量，获得经济效益。进行合理的管理和培训，以求全面提高锡焊接装联技术。目前，混合集成电路的制造和应用，微焊接的兴起，都对锡焊提出了更高的要求。美国贝尔电话研究所的 G·M 乌衣芦斯将锡焊接线和其它接线进行了比较，当在振动、冲击、极限温度、腐蚀、温度负荷等外界条件下，锡焊接和冲击焊接接近，比阻抗熔焊好得多。

我国是应用锡焊技术最早的国家之一，距今 3200~3700 年的河南安阳殷墟发现的锡铜器具；距今 2100 多年前的秦兵马俑的铜车马的金银装饰和连接，都是技术精湛的锡焊技术的先驱。还有许多出土的锡，铅器皿更是丰富多彩，而且，在理论上也先西方几百年。在 800 年前的宋朝沈括的《钱溪笔谈》一书中讲道：“以响铜专者为大焊，以锡专者为小焊。”已对锡及焊接作了分类定义。

我国过去的古锡器早已驰名海外，我国又是有色金属之邦，这都给我国的电子锡焊装联创造了良好的物质基础。

有证据表明，焊料从古埃及时代就开始使用。在古罗马时代就已有与现在相类似的锡钎焊料把金属同金属连接起来的钎焊方法。如在距今 1990 年前的意大利古城庞贝城废墟中发现，在各个家庭配置的水管接头处残留着白铁工用钎料进行施工的痕迹。当时所使用的钎料，其锡、铅之比为 1:2，与今天的白铁工焊料非常接近。在日本奈良的大佛像上，也使用了锡和铅。

我国目前锡焊装联技术处于学习国外先进技术的阶段，而标准制定的基础研究还尚未起步，但它的重要性和意义已日益被人认识，不久肯定会形成一支朝气蓬勃的装联锡焊技

术队伍，大大加速我国四个现代化。

电子锡焊装联这门技术科学，即有宏观上的问题，又有微观上的问题，它是多种边缘科学技术的相互渗透和综合。从事这项工作的人员应该具有电子学、机械加工、金属学、物理化学、半导体、计算机、自动控制、管理等知识，才能更好地工作。

1.2 锡焊接重要性

锡焊接装联是电子工业中十分重要的生产过程。从电子仪表装置发展的趋势来看，机械构件越来越少，纯电子装联越来越多，如 I 系列电子控制装置，本来机械构件就不多，而在 I 系列基础上发展起来的 ys-80 系列带微机的控制装置，其机械构件只为前者的 50%。很明显，主要的工作量乃是装联，所以它对提高生产效率，提高产品可靠性具有举足轻重的意义。

1.2.1 焊接装联与可靠性

目前影响电子产品的可靠性的主要原因有两个：一个是电子元器件；一个是锡焊装联。电子元器件可以通过筛选或选用高质量的元器件，在器件上，总可以达到产品设计要求，特别是元件日趋成熟，成本大幅度下降，或采用可靠性设计，这个问题不难解决。但是，电子装联却是一件很费神的工作。从可靠性试验分析知道：电子产品故障中，有 60% 是由于焊接装联引起的。所以，提高锡焊装联技术是提高可靠性的关键。目前，国外电视机有的寿命达 40,000