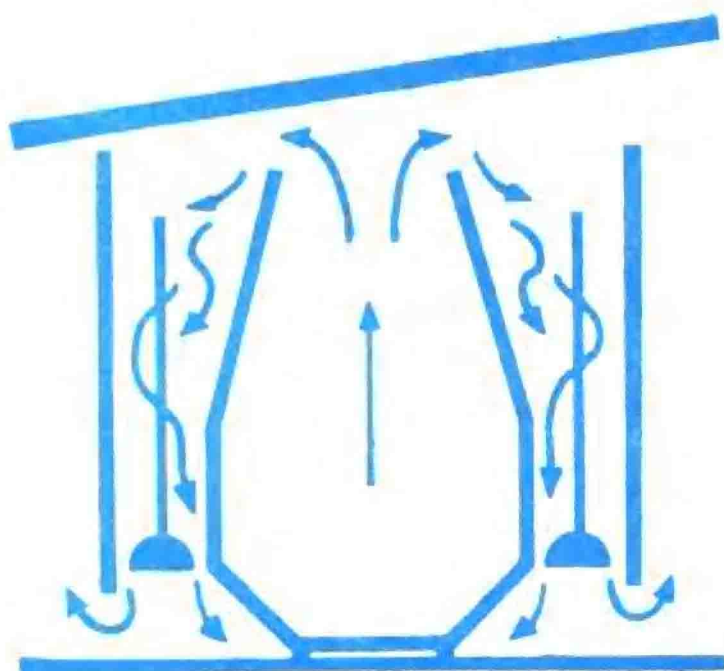


机器软钎焊手册

〔美〕 拉尔夫·W·伍德盖特 编



机械工业出版社

机 器 软 钎 焊 手 册

〔美〕 拉尔夫·W·伍德盖特 编

张 寿 梅仲勤 译
崔殿亨 郦 刚 校



机 械 工 业 出 版 社

机器软钎焊是生产优质电子器件的关键工艺, 本书是一本全面论述机器软钎焊技术原理、设备、工艺的著作。作者以总结实践经验为主, 介绍了波峰焊设备的选型、安装调试、操作、培训教育等问题, 特别强调了质量控制环节的重要性及具体做法。此外, 对钎剂、钎料、特殊钎焊系统以及机器软钎焊的发展趋势等也有简明的介绍。本书内容先进、资料丰富、实用性强。全书附有插图 110 余幅。

本书可供印制线路生产、焊接、机械制造行业工程技术人员、技工及有关专业大专院校师生参考。

Handbook of Machine Soldering
A Guide for the Soldering of Electronic
Printed Wiring Assemblies

Ralph W. Woodgate
John Wiley & Sons, Inc., 1983

* * *

机 器 软 钎 焊 手 册

(美) 拉尔夫·W·伍德盖特 编

张 寿 梅仲勤 译

崔殿亨 郦 刚 校

* *

责任编辑:方婉莹 版式设计:胡金瑛
封面设计:郭景云 责任校对:熊天荣

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $8^{7/8}$ · 字数 191 千字
1990 年 1 月北京第一版 · 1990 年 1 月北京第一次印刷
印数 0,001—1,335 · 定价:7.50 元

*

ISBN 7-111-01676-9 / TG · 431

译 序

软钎焊虽然是一门古老的连接金属的技艺，但随着现代科学技术的迅速发展，新材料、新工艺的不断涌现，已对软钎焊技术在质量可靠性及生产效率方面提出了愈来愈高的要求。多年来，在机电、轻工、食品、电线电缆、仪器仪表制造、电子工业等国民经济部门，软钎焊得到了广泛地应用。在其中某些部门，软钎焊已成为影响整机质量与使用寿命的关键工艺。例如近代印制电路板平面组装和微电子组装技术，不但对焊点可靠性要求高，而且焊点装配密度大，往往需要钎焊千百个焊点，从而促使钎焊技术在工艺方法、材料、设备方面得到了日新月异的发展。为了适应软钎焊技术发展的形势需要，国际焊接学会第 I 委员会于 1981 年设立了软钎焊工作组；中国机械工程学会焊接学会于 1982 年也在第 I 委员会中设立了软钎焊专业学组。

群焊工艺 (Mass soldering)，特别是波峰钎焊工艺当前是电子组装的主要方法。不同于手工钎焊（火焰、烙铁），机器软钎焊包括波峰焊、红外、气相、热风加热等钎焊方法。我国电子工业已大量采用波峰钎焊；国外的电子组装目前绝大部分也是应用波峰焊。

近 10 年来，我国已引进了许多条钎焊生产线，大量使用波峰焊机，但是我国目前却没有一本专著来论述广泛采用的波峰焊技术的原理、设备和工艺，因而在合理使用设备、提高钎焊质量以及设备维修等方面存在许多困难。美国 1983 年出版的这本手册，以总结实践经验为主，详细介绍

了波峰焊设备的选型、安装、调试、操作、培训教育以及波峰焊原理和工艺，并特别强调了质量控制环节的重要性及具体作法，确是一本很有实用价值的参考书。

本书在论述波峰焊的发展方面，即在表面组装技术代替或部分代替插装组装的大趋势下如何进一步发展，只作了比较简要的讨论，略显不足。

本书作者拉尔夫 W. 伍德盖特早年受教育于英国，曾在英国皇家空军接受过技术培训，现在为美国公民。

1967 年他应邀参加联合飞机公司（现为联合技术公司），在汉弥尔顿标准部担任制造服务处经理，参与了许多复杂的航天航空电子器件制造工艺的开发工作，包括 F.15、F.14、747 以及阿波罗载人宇宙飞船等项目。离开联合技术公司以后，他花了数年时间，为美国政府和航天产品开发制造复杂的多层电路板的技术。现在他是一家面向整个电子行业的咨询公司的副总裁。

本书第一～第四章由梅仲勤翻译，前言及第五～第十章由张寿翻译。崔殿亨、酆刚同志对全书进行了校订，提出了许多宝贵意见，谨此致谢。

1989 年 8 月

前 言

机器软钎焊、群焊或波峰焊（波峰焊是更加通俗的一种叫法）是生产优质电子器件的关键工艺。如果能正确使用，这是生产电气接头的一种最廉价的工艺方法。但是如果控制不当，它可以是最昂贵的一种工艺，它之所以昂贵，不在于原始的生产成本，而在于由不正确的工艺方法带来的许许多多深远的影响。

尽管软钎焊对我们这一行业极端重要，但是迄今一直没有一本权威性的教科书，用实用的语言详细阐述机器软钎焊工艺及与其有关的各个方面。在行业中流通的许多数据是由各家公司提供的，他们从商业利益上考虑，以便宣传推销其产品。虽然这些资料通常都是高质量的，但是不可避免它们都带有倾向性，而且常常不介绍全面情况及对立面的观点。在讲授机器软钎焊时，我痛感缺乏单一信息资源的不便，人们常让我推荐一本合适的参考书，要求既可供初学者了解机器软钎焊的情况，也可供经验较为丰富的从事这项工作的人员参考。

虽然我直接参与了这一行业的工作，但我尽量设法使本书不掺杂进商业广告似的内容，只以不带倾向性的方法来陈述事实。为此目的，我从多种渠道收集数据，包括竞争对手的数据。在此我要衷心感谢他们为我的成书所作的贡献。我对读者的忠告是：“试一下市场上能买到的各种设备，让结果来决定你应该选用哪一种产品。竞争只能提高产品质量和性

能。”

在书末附有提供各种产品和服务的公司名称和地址。这个清单是为了方便读者，清单中是否包括某家公司，不应认为是对该公司或其产品的评价。

这本书的主要对象是选用、安装和使用机器软钎焊的人们。这是一本着重实用的书，不一定要要求必须具备有关软钎焊的化学和物理知识才能理解这一工艺的复杂性。这是为那些从事实际工作的人们而编写的书。正统派可能会对本书中将理论简单化的作法不甚满意，但是笔者在尽量避免使用复杂的科学术语的同时，力求保证技术上的准确性。

很长时间以来，软钎焊一直被认为部分是科学，部分是魔术，而且是完全不可预测的。在本书中，我希望证明，机器软钎焊是一种工艺，如同其它任何一种工艺一样，如能正确地控制，其工艺结果是前后一致的、连贯的。这须要做出许多艰苦的努力。但是这种努力可以降低产品的总成本，提高产品的质量。出于这一原因，我在书中一再强调控制及记录是毫不过分的。

拉尔夫 W. 伍德盖特

1982 年 11 月于加拿大卡里格南

目 录

第一章 机器软钎焊的历史和其它软钎焊方法简述	1
第二章 软钎焊原理	10
软钎焊接头	10
润湿	14
钎焊接头与印制电路板	18
第三章 钎剂	20
选择钎剂	23
钎剂种类	27
松香基钎剂	27
有机钎剂	30
钎剂概述	32
极性与非极性污染物	33
第四章 软钎料	35
锡-铅合金	35
钎料合金的选择	36
污染物含量与控制	38
铜	41
铝	41
金	41
镉	42
锌	42
铟	42

铁	43
银	43
镍	43
其它杂质	43
钎料杂质的控制	44
其它钎料合金	49
第五章 软钎焊机	51
钎剂涂布装置	51
泡沫钎剂涂布装置	52
波峰式钎剂涂布装置	57
喷涂式钎剂涂布装置	59
压缩空气喷涂法	60
无空气喷涂法	60
滚筒和空气刀喷涂	61
喷嘴微滴喷涂	62
钎剂喷涂设备的通风	64
毛刷式钎剂涂布设备	66
钎剂涂布装置的操作规则	68
钎剂密度的控制	70
密度自动控制装置	73
预热器	78
预热器的种类	80
热板	81
热管加热器	83
热空气预热器	83
石英板预热器	85
石英管预热器	85

灯式红外加热器	86
加热、波长和红外	87
预热工艺的自动化	89
如何选择预热器	90
钎焊工位	91
钎料槽	92
钎料的自动补充	98
健康和安全报警	99
钎料泵	101
钎料波峰	104
对称波峰	106
对称宽波峰	108
可调式对称波峰	109
非对称波峰	110
可调式非对称波峰	112
双重波峰	114
熔渣和熔渣槽	116
正确选择喷嘴	118
钎料波峰里的油	119
钎焊中的空气刀	121
静态钎料槽钎焊	125
冷却	130
输送带	132
托架输送带和托架	134
无托架输送带或指爪输送带	139
其它输送系统	143
控制系统	151

温度控制装置	151
钎剂密度控制器	158
输送带速度的控制	159
辅助控制器及显示器	160
软钎焊机的计算机控制	161
综述	165
用油还是不用油	171
第六章 调试与操作	176
整定参数	176
工艺控制	181
工艺控制文件——钎焊涂布工位	182
工艺控制文件——预热	184
工艺控制文件——钎焊工序	187
工艺控制文件——喷油	188
软钎焊机的工作参数	189
维修	191
软钎焊机的质量控制	193
第七章 无缺陷软钎焊	195
软钎焊的成本	196
钎焊接头的可靠性和返修	198
软钎焊接头的检验——一项无法完成的任务	199
检验用的接头显微切片	203
软钎焊性——成功之关键	206
软钎焊性试验	208
软钎焊性的问题	217
全面工艺控制	224
培训	232

排除工艺缺陷	235
无钎料	236
钎料过多	237
反湿润	238
钎料不足	240
钎料孔洞	243
接头扰动	244
无光泽接头	245
合乎逻辑的方法	247
第八章 专用软钎焊系统	248
钎焊—切断—钎焊	249
石蜡固定系统	254
第九章 机器软钎焊的未来	258
第十章 有用的资料	261

第一章 机器软钎焊的历史和其它

软钎焊方法简述

软钎焊并不是一种新工艺，它的起源大概可追溯到青铜器时代，那时的某些金属加工工人就发现锡-铅混合材料对干净的铜表面有亲合力。在普利尼 (Pliny) 的著作中记载着，古罗马人的确采用了 60 / 40 锡-铅混合材料来钎焊他们的铅制水管。许多这种类型的软钎焊实例目前还可以找到。

19 世纪末期和 20 世纪初期，在软钎焊工艺的发展和改进以及软钎焊基本原理的研究等方面，人们进行了大量的工作。查阅图书、论文，特别是那时的专利会发现，早在电子工业发展之前很久，人们就已清楚地了解了软钎焊的绝大部分知识。从本世纪初至今，虽然软钎焊用的材料和机器有了很大改进，但它们几乎没有本质上的变化。

直到出现了印制电路板（常常称为 PWB）后，人们才有可能研制出各种适用于电子工业的自动软钎焊装置。PWB 将所有的钎焊接头置于一个板上，从而使现代软钎焊装置钎焊这些接头成为可能（图 1.1）。最初，电路板用手工浸入钎料槽。对于当时的那种开式组装和宽电路，熟练的钎焊工能获得相当满意的结

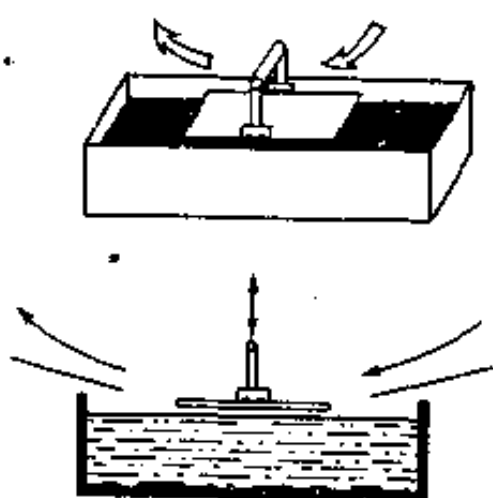


图 1.1 · 手工浸沾软钎焊

果。出现一些有缺陷的接头、短路、桥接和其它缺陷是不可避免的，然而，用常规烙铁很容易修理这些缺陷。这当然就是钎焊接头检验和修理工作的开始。

由此开始，印制电路板工业与机器软钎焊工业共同发展起来——它们为了各自的迅速发展而相互依赖——并且，人们已几乎普遍认为，印制电路和机器软钎焊是组装和互连电子电路的一种最经济的方法。

机器钎焊或群焊能在几秒钟内钎焊几千个接头，提供电路的连接并同时机械固定电子元件。目前，人们还没有开发出一种能够如此经济的互连电子电路的其它工艺。

从手浸电路板的原始概念，人们萌生了泵送钎料的想法，即：从喷口或喷嘴泵送钎料形成钎料波峰或稳定移动的无渣钎料堤，而电路板则可在它们上面通过。这种方法有许多优点：钎料表面总是干净的，不需要在钎焊前撤除浮渣；泵送作用

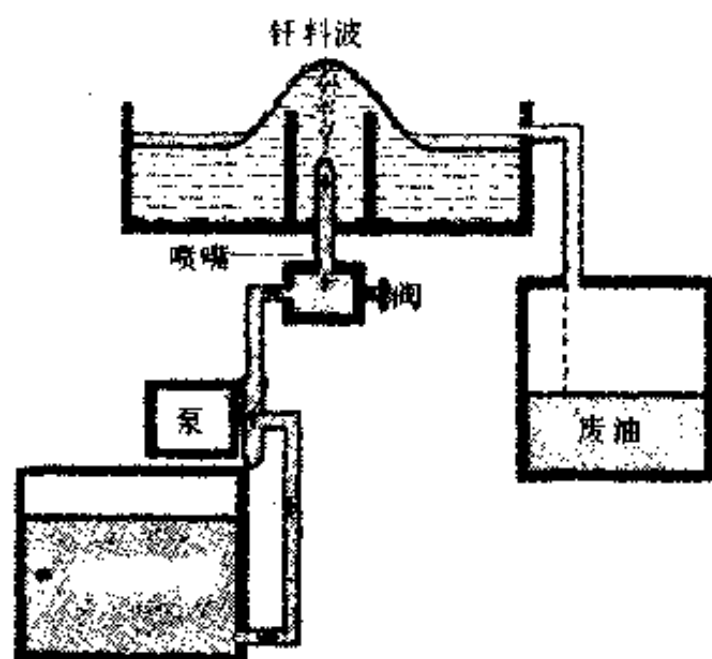


图 1.2 喷油装置简图

可以使钎料温度均匀；高出槽面的钎料波峰，为增加一条使印制板在钎料上自动移动的传送系统提供了方便。钎料波峰一旦出现，人们也就必然采用同样的方法来施加钎剂，于是，出现了基本的软钎焊机。这些原始的钎焊机是相当粗糙的，它由几个单独的组件组成，在组件上方有一条独立的传

送带，并且用户还常常自添一些传送带。当时，还几乎没有人做过尝试，把各部分联成一个系统，而烟尘则通过悬挂在钎焊机上方的“自制”排烟罩被送进工厂的排气装置。

这个时期，人们对具体的波峰形式做了大量研究工作，以便提高钎焊速度并减少短路和拉尖。钎料溢流装置 (Solder weir)、双波峰和阶梯波都已得到初步推广。阶梯波是排成列的几层钎料波，它是上述三种钎料波中比较有趣的一种。这种钎料波，使用时采用倾斜式传送装置。按照钎料波原理，一些大公司制造了一些自用钎焊机；然而，这种阶梯波从未获得广泛应用。当时另一发展是用超声波来形成钎料波，其用意是在钎焊处引起空化作用而不必使用钎剂，或至少是可选用活性较差的钎剂。人们曾制造过一些实验型钎焊机，但成本较高，钎焊效果并不比普通泵送波获得的效果更好。并且，超声波的功率必须很高，以致用于激励钎料槽的匹配头很快就被侵蚀掉。随着半导体器件的出现，又发现超声波有时会引起器件的损坏。目前，在工业软钎焊中，超声波主要应用在组装前给元件浸锡的超声波浸锡槽中。这一时期，人们开始在钎料波中使用油，这是极其有效的方法之一，也是多年来某些钎焊机的一个特点 (图 1.2)。

油以各种不同的方法喷到钎料波峰中，但其基本原理是相同的。钎料波峰表面的油可以降低钎料的表面张力，有助于润湿待连接的部件；当基板离开钎料槽时，它还有助于过量的钎料流回钎料槽中。因此，采用油可以减少短路和防止拉尖，并可以减少钎料用量。但是，也有一些不太理想的效果。至于“油或无油”的整个问题——即所谓“干式波峰”的问题——将在第五章给予详细论述。毫无疑问，当时油的采用是在机器软钎焊方法的发展中前进了重要的一步。

多年来人们一直认为，波型主要是通过喷嘴泵送钎料时形成的抛物线型波峰。近年来，基本波型设计已有了许多改进，但最主要的进步无疑是“可调非对称波峰”的采用——它借助一个可调挡板来调节钎料波峰的引出部分，以获得一个几乎平静的钎料槽。对这些更为复杂的钎料波峰的研究表明，波型对软钎焊机的性能有很大影响；事实上，对于元件组装密度很大的现代高密度集成电路板，采用这些改进波型进行钎焊是非常有效的。目前，在钎焊机工业中，作为一种工程手段，已完善地作出了针对各种具体应用的波型设计（图 1.3）。

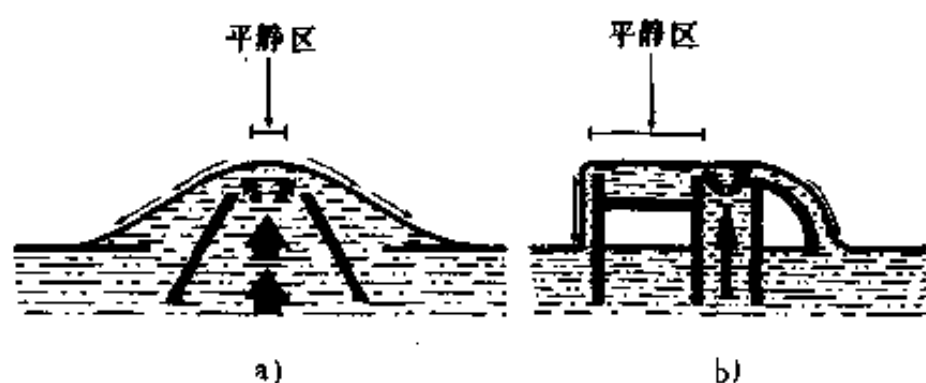


图 1.3 对称波峰与非对称波峰

a) 对称波峰——钎料在两个方向的流动相同，平静区小

b) 非对称波峰——大多数钎料流向一边，平静区较大

在完全不同的方向上，还开发了静态钎料槽软钎焊方法，并采用这种原理设计了钎焊机。例如，在所谓“拖焊”工艺中，拖焊机就是用这种原理设计的（图 1.4）。这些钎焊机已发展到先进的水平，尤其在欧洲和日本水平更高。当时，钎料波峰的发明专利限制较为常规的钎料波峰的自由使用，正是由于受到这种限制，人们才开始了静态钎料槽软钎

焊方法的研究；在钎焊机工业的发展史上，这种例子是很多的。因为这些限制强迫人们进行创造性的开发研究，而这些研究最终提高了产品质量，所以这些限制常常是对工业有益的。

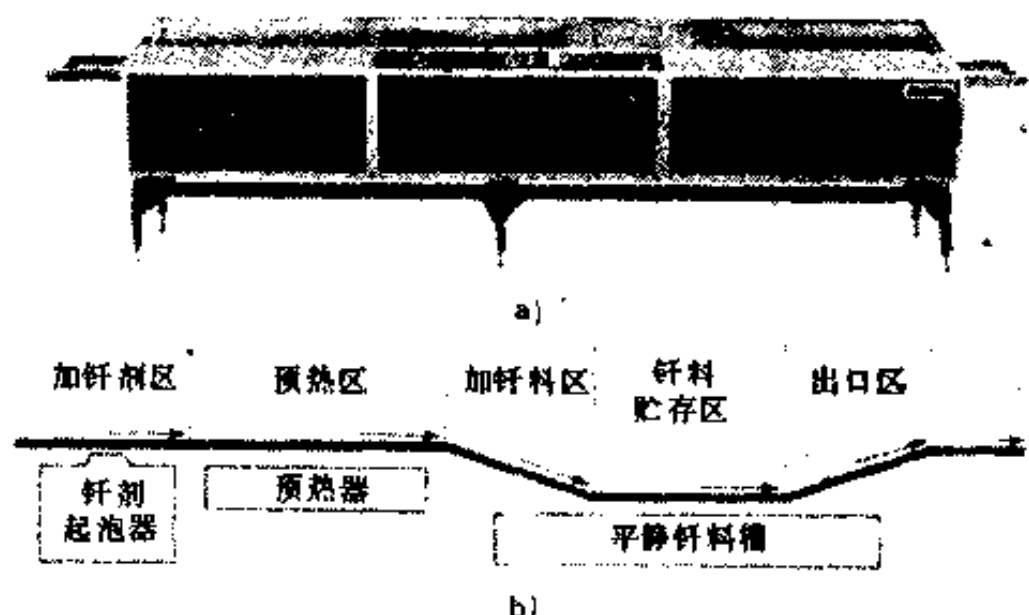


图 1.4 拖焊

a)现代拖焊机(Zevatron 公司) b)拖焊机的原理图

因此，目前许多工厂制造钎焊机，各有各的特色。总的说来，这些钎焊机一般都很坚固而且工作得很好。它们具有不同的技术水平和生产能力，既有小型试验室用焊机，又有用于大量生产的钎焊系统（这种系统还常常装有在线清洗、装配和返回传送装置）。目前生产的软钎焊机常常是完全配套的，有完善的控制装置和辅助装置自选件。它们通常带有通风装置。市场上可以买到由计算机控制操作和工艺参数的软钎焊机，实际上这就可以避免机器钎焊工艺的人为失误。后面几章将介绍可以买到的各种软钎焊机和附件，这样读者就可以根据实际应用进行正确选择（图 1.5）。