

软钎焊

手册

美国焊接学会钎焊委员会 编著



机械工业出版社

TG 425-62

M 45

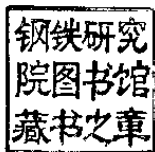
C.1

软钎焊手册

美国焊接学会钎焊委员会 编著

崔殿亨 译

章瑞溥 校



机械工业出版社

210302

本书系统地介绍了：软钎焊(钎料熔点低于450°C)原理，各种软钎料、钎剂，钎焊工艺、设备；铜、钢、不锈钢、镍、铝、镁、铸铁、锡、铅、等各种材料的钎焊特点，以及印刷线路、贵金属镀层和薄膜的钎焊；焊件的检查和试验；安全和健康防护以及软钎焊接头的机械性能和物理性能等内容。

本书可供电子、汽车、航空、航天、轻工食品、电线电缆等机电行业从事钎焊工作的技术人员和工人参考，也可供焊接、电器专业师生阅读。

SOLDERING MANUAL

(Second Edition, Revised)

American Welding Society Committee on
Brazing and Soldering
American Welding Society, Inc. 1978

* * *

软钎焊手册

(修订第二版)

美国焊接学会钎焊委员会 编著

崔殿亨 译

章瑞溥 校

*

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

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经销

*

开本787×1092 1/32 印张7 1/2 · 字数162千字

1987年1月北京第一版·1987年1月北京第一次印刷

印数0,001—3,880 · 定价：1.60元

*

统一书号：15033·6174

序

软钎焊是发展最早、应用最广的金属连接方法之一。自从1959年《软钎焊手册》第一版出版以后的这些年间，软钎焊在技术上、理论上都不断地取得了进步。在电子工业中，要用软钎焊连接印制线路板上的数百个元件，这种革命性的变革给软钎焊的发展以巨大的促进。现在，在微电子线路的生产中，软钎焊用来钎接小至 $150\mu\text{m}$ 的接头。不论是一般的汽车散热器，还是尖端的电子计算机接头，也不管是在家庭中或在外层空间环境中，都要求具有可靠性。在不同领域中大量应用的结果，出现了许多关于钎焊方面的新的技术资料。如钎料、钎料与基体金属之间的相互作用，以及钎焊接头性能等方面的资料。本《钎焊手册》第二版，除软钎焊工艺基础外，还收入了上述许许多多的新成就和新数据。

美国焊接学会把软钎焊定义为“把材料加热到适当温度、用填充金属使之结合的一类焊接工艺；所用填充金属的液相线低于 450°C ，并低于基体金属的固相线温度。填充金属借助毛细作用在密切配合的表面间扩散。”软钎料和硬钎料以液相线 450°C 为界。

美国焊接学会钎焊委员会认为，本手册中收录的资料，适合于研究软钎焊工艺各个方面的读者的需要。熟悉软钎焊基本知识的读者，也可以通过查阅本手册有关特定金属或应用的章节，获得所需资料。

尽管编者想方设法地提供软钎焊方面最新、最可靠的资料，钎焊委员会仍感到本手册并不能满足专家们的一切要求。但是，希望本手册能为指导他们较全面地解决问题提供必要的资料。

自美国工业界趋向于改用米制单位以来，所有美国惯用计量[⊖]都已改为米制。本手册所采用的米制单位是国际上承认的单位制(SI)。在误差无关紧要的地方，米制计量把最后一位数四舍五入。例如，150℃(≈300°F)——符号“≈”表示近似值。在涉及商业产品时(大多仍以美国惯用单位购买)，米制单位也四舍五入，并在其前加上“标称”两字。例如，标称1.5kg(3英磅)钎焊棒。

为了搞好本手册再版时的修订工作，欢迎对本手册提出批评和建议。

⊖ 美国惯用单位(U. S. Customary Units)即英制单位，英磅、英寸等。——译者注

译 序

软钎焊是一种古老的连接方法，也是应用最广、家喻户晓的一种连接工艺。随着科学技术的进步，特别是近代电子工业的发展，软钎焊已经从一种操作技艺发展成为一个专门的学科。

软钎焊是连接金属的一种方法。熔点低于 450°C 的软钎料在金属间润湿、漫流，并借助毛细作用填入金属间的缝隙，钎料凝固后，形成软钎焊接头。由于软钎焊的这种方便性和易拆性，以及软钎焊接头所具有的适当的物理和机械性能，使它在国民经济各部门，例如机电、食品罐头、电线电缆，特别是电子工业中得到了非常广泛的应用，甚至成为某些工业部门的关键工艺。近代印制电路板技术平面组装和微电子组装技术要求同时钎焊千百个焊点，这对钎焊工艺、材料和设备都提出了新要求，出现了钎焊接头的冶金相容性、钎焊性与可靠性、接头应力和断裂、质量检查等新课题。不断开发出新型钎焊材料（例如膏状钎料和新型钎剂等），新工艺方法（例如汽相再流钎焊），和各种新设备，促进了软钎焊学科不断进步。

相比之下，软钎焊简单易学，容易掌握，但要想设计并制造出优良的软钎焊接头，必须了解软钎焊基本原理，掌握钎焊材料和工艺，学习各种金属材料的软钎焊工艺特点，特别是正确认识软钎焊接头的机械性能和物理性能。这就是翻

译本手册的动机。

本书是美国焊接学会钎焊委员会组织许多专家共同编写的，包括软钎焊原理、钎焊材料、钎焊工艺和各种材料的钎焊等，内容提纲挈领、简明扼要，不论对初学者还是软钎焊工艺人员都有很好的参考价值。

《软钎焊手册》初版于1959年，1978年的修订第二版作了修改和补充，增加了“软钎焊接头的物理性能和机械性能”一章，特别就软钎焊接头的蠕变和持久强度问题，提供了许多数据。这是很重要的，因为许多人对此尚缺少足够的认识。本书是根据修订第二版翻译的。

为了适应近年来软钎焊技术发展的新形势，国际焊接学会第 I 委员会在1981年设立了软钎焊工作组。中国机械工程学会焊接学会第二届理事会1982年在第 I 委员会中设立了软钎焊组。软钎焊技术将不断取得进步。

在本书翻译过程中，金忠华同志校阅了初稿，提出了许多宝贵意见，谨此致谢。

译者

1986年12月

目 录

序

译序

第一章	软钎焊原理	(1)
第二章	钎料	(5)
第三章	钎剂	(20)
第四章	接头设计	(37)
第五章	钎焊前清洗与表面准备	(58)
第六章	设备、钎焊方法	(66)
第七章	钎剂清除	(81)
第八章	检查和试验	(84)
第九章	铜及铜合金	(102)
第十章	钢	(110)
第十一章	敷层钢	(113)
第十二章	不锈钢	(120)
第十三章	镍及高镍合金	(125)
第十四章	铅及铅合金	(129)
第十五章	铝及铝合金	(138)
第十六章	镁及镁合金	(148)
第十七章	锡及锡合金	(152)
第十八章	铸铁	(157)
第十九章	贵金属敷层和薄膜	(159)
第二十章	印制电路	(163)
第二十一章	安全和健康防护	(169)
第二十二章	管子钎焊	(174)
第二十三章	软钎料和软钎焊接头的物理性能和 机械性能	(192)
	主要英中技术名词对照	(221)

第一章 软钎焊原理

一 般 过 程

软钎焊[⊙]是把被钎焊材料加热到适当温度，采用钎料使材料产生结合的一类焊接工艺方法。钎料的液相线低于450℃，且低于钎焊金属的固相线。钎料借助毛细吸引力分布于密切配合的连接表面之间。

润湿、合金化和毛细作用

当熔融钎料在钎焊表面上形成连续而恒定的薄层时，就说钎料[⊙]润湿了那个表面。常常把润湿错误地称为“吃锡”(tinning)。实际上，“吃锡”的意思是把钎料预敷在钎焊金属上，而不管钎料中是否含有锡。没有润湿就不可能有钎焊过程。为了产生润湿，钎料的某些原子与钎焊金属原子之间的吸引力，必须比钎料本身原子间的吸引力大。在钎料与钎焊金属的界面上，一般会发生金属间的相互作用。从本质上说，这种润湿作用一部分是化学作用，

钎料与钎焊金属形成合金的能力大大地促进润湿。例

⊙ soldering 软钎焊。为习惯起见，本书中有时译为“锡焊”，除硬钎焊(brazing)特别指出外，凡“钎焊”两字皆指软钎焊。

⊙ solder 软钎料。为习惯起见，本书中有时译为“钎料”，除硬钎料(brazing filler metal)特别指出外，凡“钎料”两字皆指软钎料。

如，纯铅不易润湿（或附着）铜和钢，而锡铅钎料就容易润湿它们。铅不能与铜或铁生成合金，而锡就能。某些别的金属也能提高铅的润湿性，例如铋。

润湿率同易于生成金属间化合物有关。加热虽然能促进润湿，但用某些钎料钎焊一定金属时，必须防止加热时间过长。因为长时间加热发生金属间过分的相互作用，会引起脆性或降低接头强度。

熔融钎料的浸渍性是一项重要的性能，它影响钎料在金属表面上的铺展，钎料的浸渍性或铺展性可以用各种方法测定，最简单的方法是用特定的钎剂，在一块标准金属板上均匀加热熔化一定体积的钎料，钎料的覆盖面积就是该钎料在该种金属上浸渍性的尺度。

钎料借助毛细吸引力流入狭窄的间隙也是重要的性能。已经设计出多种试验方法来确定这种性能。例如，可测量熔融钎料在标准绞合导线上，或在金属板之间的上升高度，板间间隙很小，且已经测量过。这些试验用于定量测量。

高速自动钎焊法的采用，要求增加新的钎料试验内容，除润湿、流动和毛细作用以外，有必要测量润湿速度。为了测定这些数据，已经研制出一系列全自动化仪器，即“钎焊性能测试仪”。仪器定量记录钎焊金属试样和熔融钎料间的作用力对时间的函数。记录下的数据是对这种钎料性能的定量评定。它不仅表示了静态特性，也表示出动态特性。该测

① 按国家标准GB 3376 82的规定，钎焊性(solderability)为材料对软钎料的反应性，指在一定钎焊条件下获得良好接头的难易程度，有人把钎焊性称为“焊性”，例如“电子元器件引线可焊性”等，这是不准确的。为了与creasability区别，有时也称为软钎焊性。——译者

量仪器可用于钎焊产品和改进钎焊工艺，并起控制质量的作用。

软钎焊的基本步骤

接头装配

钎焊零件间的间隙不应太小，钎料应能靠毛细作用吸入零件间的间隙中；但是间隙也不能大得使钎料填不满。除钎焊预敷钎料的金属外，对于大多数零件合适的间隙是0.15 mm，而在预敷钎料时，合适的间隙是0.025 mm，或更小些（进一步的说明见第四章）。

钎焊前清洗

为了保证钎焊质量均匀一致、接头牢固可靠，干净而无氧化膜的钎焊表面是绝对必要的。如果钎焊前从钎焊金属上仔细地除去油脂、油污、灰尘和氧化膜，就有可能得到可靠的接头，因为只有那样才能得到均匀一致的毛细吸引力。第五章将详细讨论清洗方法。

涂钎剂

涂到被钎焊的表面的钎剂应具有下列特性：

1. 钎剂应是液体，能有效地除去钎焊温度下可能存在的氧化物及其他非金属物质；
2. 钎剂应是一层覆盖剂，阻止清洗干净的金属表面再被氧化；
3. 钎剂应能被钎料取代；
4. 钎剂应促使钎料润湿钎焊面。

第三章将讨论各种常用的软钎剂。

加热

涂上钎剂之后，软钎焊下一步的操作一般是加热。所采

用的多种不同的加热方法，将在第六章讨论。

加钎料

钎焊分两步来完成：先使钎料润湿金属表面，然后使钎料填满表面间的缝隙。根据不同的钎焊条件，这两步能分别完成或一并完成。一般说来，每一步分别完成比较好。这样，钎焊条件更易于控制。常常希望给钎焊金属预敷钎料，或预镀能钎焊的金属，若材料难以钎焊，尤其如此。

接头冷却

当钎料润湿了接头表面、且填充了表面间的缝隙以后，下一步是把接头冷却到室温。

适当地淬火、装配、或控制冷却速度，可以防止接头过分变形，或在钎料凝固时损坏。钎料应当尽快地冷却并凝固，因为缓慢冷却会过分合金化而引起脆性，所以冷却速度应同采用的钎料和所钎焊的组件的要求相适应。从过高的温度快速冷却会引起翘曲变形，也会在钎料中引起微小的裂纹。

通常，或是把热量传到钎焊组件的主体上进行冷却，或是用喷水、吹气来加快冷却。应当采用多种冷却方法，以适应各种各样的钎焊件。

钎剂残渣的清理

在钎焊接头焊好以后，接头上留有钎剂残渣，可以除去，也可以不除去，这取决于残渣的腐蚀程度。松香基无腐蚀性，钎剂一般不必除去，除非对外观有要求，或者接头区需要涂油漆或其他别的涂覆。反之，那些含氯化物或其他腐蚀性物质的腐蚀性钎剂，会留下一层熔化的残渣，如果不除去，多半会引起腐蚀。自中和钎剂的腐蚀性差别很大，有的腐蚀性轻微，有的腐蚀性很强，应当按去除残渣的要求作相应的处理。关于清除钎剂残渣的更详细资料，见第七章。

第二章 钎 料

概 要

测试金属、合金的熔化特点，能够更好地了解钎料的特性以及怎样为某项具体应用选择一种钎料。纯金属在某一温度下由固态变为液态，而合金的熔化比较复杂，因为它在一个温度区间内熔化。可以通过分析相图来更好地研究任何合金系统，相图表示熔化特性与合金化学成分的关系。

锡-铅相图

锡-铅相图示于图 2-1，所用术语的定义如下：

固相线温度 金属或钎料完全保持固态的最高温度（图 2-1，曲线 ACEDB）。

液相线温度 金属或钎料完全保持液态的最低温度（图 2-1，曲线 AEB）。

熔点和凝固点是两个已经通用的术语，但它们又常常不以同一种含义来使用。因此，采用固相线温度和液相线温度这两个术语，以便能更明确地给它们下定义。

共晶成分是那些特定的钎料成分，它们在某一温度熔化，而不是在一个温度区间内熔化。在这一方面，共晶钎料很像纯金属。在任何有共晶点的二元合金系统中，共晶成分就是两条下降的液相线相交点的成分。这样，共晶成分（图 2-1 的 B 点）的液相线温度就比其相邻成分的要低。

如图 2-1 所示，100% 的铅的熔点为 327°C (A 点)，而

100%的锡的熔点为232°C (B点)。

可以看出, 含锡19.5% (C点)至97.5% (D点)的锡-铅钎料的固相线温度相同——183°C。由图2-1看出, 共晶成分大约是Sn63%-Pb37% (E点)。这种成分在熔化时, 于183°C完全变成液态。不是共晶成分的任何其他成分, 在达到更高温度之前, 不会完全变成液态。例如: Sn60%-Pb40%钎料固相线温度为183°C, 液相线温度为216°C, 锡和铅的这种合金将在183°C开始熔化, 而在216°C完全变成液态。

在固相线与液相线温度之间, 部分钎料熔化。固相线 (ACEDB)与液相线 (AEB)间的区间称为熔化区间。

钎料种类

锡-铅钎料

锡-铅合金是应用最广泛的钎料, 可用于钎焊多种金属。

接头的最佳间隙为0.1~0.15mm, 在特殊情况下允许变动。当间隙大于0.25mm时, 使钎料填满缝隙的毛细引力就不起作用了。采用锡-铅钎料时, 可以采用所有的清洗方法和钎焊工艺。各种类型的钎剂可与这些钎料配合使用, 按被钎焊金属的种类来选择钎剂。对钎剂残渣的处理由所用的钎剂来决定。这些钎料对多数普通介质的耐腐蚀性良好。锡-铅钎料的某些特性列于表2-1中。

2A和5A钎料具有较高的固相线温度及狭窄的熔化区间^①。其润湿和漫流特性比含锡量更高的钎料差, 这势必要特别注意表面准备, 用于某些汽车散热器的高铅钎料在150°C时比含锡较多的锡-铅钎料有较好的强度特性。因为钎焊后

① 此文中所用钎料的分类符合ASTM B63的规定。

度高，很少使用松香或弱腐蚀性钎剂等有机钎剂（见第三章）。5A钎料特别适合于火焰钎焊、浸液钎焊、感应钎焊及炉中钎焊。低锡钎料用于预敷锡容器的密封、涂覆及连接金属，以及在温度不太高时使用。

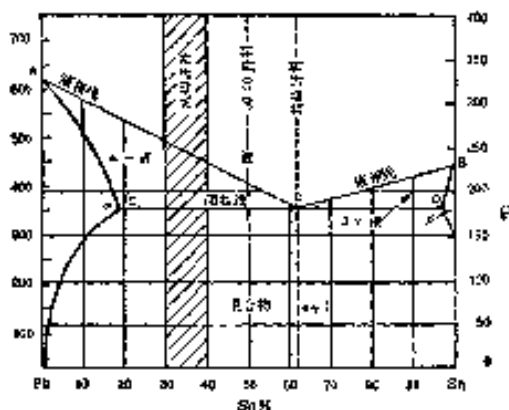


图2-1 锡-铅合金相图

10B、15B、20B钎料的液相线及固相线温度较低，但熔化区间比5A钎料的宽。润湿和浸流特性也较好。接头间隙与前述相同。为了防止热撕裂，钎焊时必须特别仔细，在钎料凝固时防止钎焊接头移动。可以采用所有钎剂和加热方法。这些钎料用来制造汽车散热器、金属涂覆和连接等具工作温度低到足以允许使用这些钎料的地方。

25A和30A钎料的液相线温度比上述合金的更低，但固相线温度与20B钎料相同，因此熔化区间较窄。这两种钎料可

以采用所有标准的清洗方法、加钎剂方法和钎焊技术。广泛采用机械钎焊和手工钎焊。许多汽车散热器和罐头即采用这种钎料钎焊。

35A、40A、45A和50A钎料的液相线温度较低，钎焊很容易。这些钎料的固相线温度与20B~30A钎料相同，因此熔化工间相对较窄。这一组钎料具有润湿性、强度和经济性等最佳综合性能，因而得到广泛应用。这些锡-铅钎料是通用钎料，还用作风焊(wiping)和热熔钎焊(sweating)的钎料。钎焊汽车散热器芯子、电气接头、屋面接缝及加热元件等只是这些钎料的一部分典型应用。Sn40%-Pb60%钎料已成为最流行的通用钎料，广泛用于镀金工作业。无线电和电视生产中，使用这种合金成分的松香芯钎料丝。

60A和63A钎料通常称为优良钎料，用于对湿度要求很苛刻的地方。这两种钎料最常用于电子组件的波峰焊和浸渍钎焊。采用这些钎料钎焊时，可使用所有清洗方法、加钎剂方法和加热方法。

70A钎料是一种特殊用途的钎料，用于要求含锡量高的接头。它能用于各种软钎焊技术。

杂质对锡-铅钎料性能的影响

不仅金属精炼与制造钎料时不当心会给锡-铅钎料带进杂质，正常使用时也会因疏忽而带入杂质。但是，在许多种钎焊过程中就容易混入杂质。因为金属精炼需要专门设备和严格的冶金控制，所以一般不提倡使用者进行钎料提纯。

锌和铝。微量锌和铝剧烈地影响锡-铅钎料的钎焊性能，但或锌超过0.005%会引起结合不良、钎料呈砂性，或凝固时容易毁坏。美国材料试验标准(ASTM)和联邦规格规定锌和铝的最大含量为0.005%。

铁 尽管含量低于0.1%时，一般测不出有害影响，但存在铁-锡化合物会使锡-铅钎料变硬和粗粒化。所以ASTM和联邦规格规定铁的极限含量为0.02%。

铜 关于铜-铅钎料中的含铜量，英国标准和美国标准间有很大差别。英国标准规定铜最高含量为0.5%，而联邦规格和ASTM规定为0.08%。铜含量超过0.3%时，对钎焊接头外观有不利影响。

铋 铋在锡-铅钎料中起双重作用。根据钎料的不同用途，可以认为铋是杂质或是代替钎料中一部分锡。联邦规格QQ-S-571要求Sn70、Sn68、Sn62、Sn60、Sn50、Sn40等钎料中，含铋量最多为0.2~0.5%，但是Sn35、Sn30、Sn20等钎料要求含铋量高达含锡量的0%。ASTM B32 A类规定，含锡量高于35%的钎料的最大含铋量为0.12%；而规定B类钎料的含铋量为0.20~0.50%；C类为含锡20%~40%的钎料，规定含铋量不超过含锡量的1%。

砷 规定含砷量为0.02~0.03%，若超过太多（2~4倍），会使钎料在黄铜和铜上产生反润湿，钎料棒上产生麻点，但钎焊接头不泛白。

浸渍钎焊时的过量污染 钎料槽在正常温度下工作一段时间后，当需要显著地提高钎料槽温度来克服钎料的流动性变坏的问题时，通常就表明钎料槽中杂质太多了。粗糙面呈颗粒状的钎焊接头也说明杂质太多。用提高钎料槽温度来克服钎料流动性的降低仅仅是权宜之计，因为这会进一步加快污染。

① 原文中还包括Sn30、Sn20钎料。按级时，QQ-S-571的Sn60、Sn50含铋量为0.3~1.0%。——译者注