

主办单位

- 中国科协学会工作部
- 中国科协普及工作部
- 中国科协继续教育中心
- 中央电视台
- 中国质量管理协会
- 中国电子学会
- 中国仪器仪表学会
- 中国通信学会

吴念祖 蔡钧达 编著

锡焊技术与可靠性

人民邮电出版社

ISBN7-115-03815-5/Z·136

定 价： 7.00元

“400”

《可靠性工程与管理》电视讲座函授班教材八

中国科协

中国科协普及工作部

中国科协继续教育中心 中 央 电 视 台

主办单位 中国质量管理协会 中国电子学会

中国仪器仪表协会 中国通信学会

锡焊技术与可靠性

吴念祖 蔡钧达 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书是《可靠性工程与管理》电视讲座和函授班教材之八。书中系统讲述锡焊理论、锡焊料、助焊剂、锡焊工具与设备、锡焊前处理、锡焊工艺、锡焊缺陷、锡焊检测方法与仪器以及锡焊可靠性管理与对策事例。内容通俗实用，便于自学。

本书适于锡焊技术工作人员、可靠性与质量管理人员以及院校有关专业师生阅读。

锡焊技术与可靠性

吴念祖 蔡钧达 编著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北京市兴华印刷厂印刷

人民邮电出版社发行

开本：787×1092 1/16 1989年9月第一版

印张：9 4/16 页数：74 1993年3月北京第2次印刷

字数：223千字 印数：12 001—17 000

ISBN7-115-03815-5/Z·136

定价：7.00元

《可靠性工程与管理》电视讲座和函授班

主办单位

中国科协学会工作部	中国科协普及工作部
中国科协继续教育中心	中央电视台
中国质量管理协会	中国电子学会
中国仪器仪表学会	中国通信学会

教育委员会

顾问:

盛树仁 高镇宁 宋季文 刘 恕 张五球 叶柏林 陈保定 马怀祖 刘源张
主任委员:

宋直元

副主任委员(以姓氏笔划为序):

丁俐丽 牛田佳 邓震垠(常务) 朱玉龙 成银生 李传卿 陆廷杰
罗国英 林振申 苑郑民 钟 良(常务) 魏学兴

委 员(以姓氏笔划为序):

马 林 马桂夫 么子臣 王圣媛 王相龙 宁云鹤 史定华 汪元江
刘宗仁 过元柄 庄异君 陈 刚 陈章豹 牟致忠 何国伟 郎锋军
杨为民 周 济 周维田 杨定亚 林中强 单永铮 茆侍松 陆洪时
徐运忠 张庆龙 殷鹤林 程光辉 傅光民 裘履正

承办教学单位

上海电子学会可靠性与质量管理专业委员会
上海第二工业大学
中国电子产品可靠性与环境试验研究所
《电子技术》杂志社

教 研 组

组 长: 教育录像和教材主编:

傅光民

副组长:

裘履正

成 员(以姓氏笔划为序):

马怀祖 史定华 许 康 庄异君 牟致忠 罗 威 林中强 卓礼章
郁时霜 茆侍松 费鹤良 倪正铭 夏春镗

编 者 的 话

长期以来，锡焊技术作为一门优秀的接合技术，一直未被其他方法所取代。它对各个时代工业的发展起到了明显的辅助作用。

近代，由于电子工业、宇航工业的发展，要求电子产品具有极高的可靠性。电子产品由各种元器件组成，单独的元器件不具有产品的功能，只有把它们接合起来，才具有产品功能。由于电子产品的许多故障是焊接时焊点不良和缺陷所引起的，所以必须建立高可靠性锡焊技术。

作者长期从事锡焊技术工作，认为只有深入研究锡焊理论和实践，才能建立高可靠性锡焊技术；只有将锡焊技术作为可靠性系统工程来抓，才能降低焊点不良率，保证产品的可靠性。与之相应，必须进行锡焊技术与可靠性的教育，这对提高产品的可靠性具有非常重要的意义。

本书是参阅了国内外著作，并依据作者实践经验编写而成的。全书共10章，1~9章由吴念祖编写、蔡钧达审核，第10章由蔡钧达、吴念祖共同编写、傅光民审核。在编写过程中得到上海一〇一厂、上海无线电二厂领导的大力支持以及潘积惠、蔡有才、丁伟达同志的具体帮助，在此一并表示衷心的感谢。

作者

1988年9月

前 言

可靠性 (Reliability), 是产品的重要质量指标。可靠性高, 意味着寿命长、故障少; 可靠性低, 意味着寿命短、故障多。电视机的平均无故障工作时间, 汽车的平均无故障行驶公里数, 运载火箭的发射成功率等都是产品的可靠性指标。

可靠性工程与管理是40年代以来迅速发展起来的新兴综合学科, 涉及数学、物理、化学、电子、机械、环境、管理以及人机工程等各个领域。它致力于研究提高产品可靠性, 包括从原材料、元器件、零部件到整机及系统的各个环节。从研究、设计、制造到使用及维修的全寿命周期, 是一个十分复杂的系统工程。国内外的实践表明, 可靠性工程与管理技术的应用, 为企业与社会带来了巨大的经济效益, 因而引起世界各国的普遍重视与关注, 纷纷投入大量人力物力进行研究和推广应用。产品的可靠性, 已经成为当今国际和国内市场竞争的焦点。

1987年9月, 国家经委、国家机械委、国防科工委、劳动人事部、广播电影电视部、中国科协联合发文决定, 由中国科协、中央电视台、中国质协、中国电子学会、中国仪器仪表学会、中国通信学会联合主办全国性的可靠性工程与管理电视讲座和函授班。中国通信学会为牵头单位, 承担组织工作。上海电子学会可靠性与质量管理专业委员会、上海第二工业大学、中国电子产品可靠性与环境试验研究所、《电子技术》杂志社承办教学工作。聘请上海市第二工业大学可靠性研究室主任傅光民同志、上海自动化仪表研究所高级工程师裘履正同志负责组成教研组, 承担制订电视讲座及函授班的教学大纲、提出课程设置及详细提纲、组织编写剧本及全套书面教材的工作。经教学双方共同努力, 第一期教学取得了良好成果。

近几年来, 产品可靠性工作开始得到重视和加强, 产品可靠性规划、设计、试验、失效分析、评审、鉴定、指标考核和相应的管理、监督逐步开展, 特别是国标、行(部)标和产品质量分等标准中对产品可靠性作为限期必须考核的项目实行以来, 机电产品质量有了一定程度的提高。但是, 发展极不平衡, 我国产品与工业先进国家的同类产品相比, 仍有较大差距。开展可靠性工作要从人才培养入手。为了进一步在全国范围培养大批可靠性工程技术人才和可靠性管理人才, 促进可靠性工作的全面开展, 大幅度提高我国产品可靠性质量, 1992年9月, 人事部、中国科协、机械电子部、国防科工委、广播电影电视部、航空航天部、邮电部、国家技术监督局联合发文决定, 由中国科协学会部、普及部、继续教育中心, 中央电视台和上述四个全国性学会(协会)联合主办第二期可靠性工程与管理电视讲座和函授班。中国通信学会为牵头单位, 承担组织工作。为了加强组织领导, 聘请国家计委、国务院电子信息推广办公室、上述发文单位、主办单位和有关院校、研究所、企业等单位的领导干部、专家、学者组成可靠性工程与管理电视讲座和函授班教育委员会(第二届)。教学承办单位、教研组负责人同上届。

联合发文指出: “提高产品质量, 是国民经济和社会发展的一项长期战略任务, 在加快改革开放和经济发展的新形势下, 尤为重要。提高产品可靠性是提高产品质量和提高产品社

会、经济效益的基础，也是繁荣市场，促进出口，保证产品上台阶，在商品竞争中赢得主动权的必要条件。”“各级经济管理部门，各有关部门，各企业和相关的科研、设计、生产、监督、试验、使用、维修等部门，应当把可靠性技术培训列为专业技术人员和管理人员在职教育和岗位培训的一个重要内容，要充分利用举办电视讲座和函授班的有利条件，结合实际情况组织本系统本地区有关人员积极报名参加学习。已经建立继续教育登记制度的单位，可将参加本次教学的学员考试成绩登记入册。并将这次培训作为考核审查可靠性工作开展情况的一个方面的依据。”

根据岗位培训的实际需要，教学分设管理班与工程班。管理班学员是有关企业、研究所以及主管部门的领导干部与管理人员。学员应收看中央电视台第一套节目播出的22集电视教学片（每集50分钟），自学《可靠性工程与管理电视讲座教材》、《可靠性管理》一书；工程班学员是工程技术人员及可靠性与质量管理工作人员。学员除收看电视讲座，学习《可靠性工程与管理电视讲座教材》、《可靠性数学》、《可靠性物理》、《可靠性管理》外，选学《可靠性设计》、《锡焊技术与可靠性》、《可靠性试验》、《环境试验》、《机械可靠性》等五门课程中的一门。《可靠性教学辅导教材》作为参考。

教学认真贯彻理论联系实际、学以致用方针，注重系统性、实用性，着重阐明物理概念，给出定性分析、定量计算方法及运用实例，避免繁琐的数学推导。内容以民用电子设备为重点，讲授可靠性通用技术，兼顾仪器、仪表、通信、航天、航空、轻工等系统的部分应用实例。通过电视讲座及函授学习，可以帮助学员了解可靠性工程与管理的发展历史与重要意义；掌握可靠性工程与管理的主要工作内容及本岗位的可靠性技术（可靠性设计、制造、试验及管理）；了解部分企业、研究所行之有效的实践经验；从而提高可靠性工程与管理技术水平，提高产品可靠性。为此，教材请国内有较丰富工程与教学实践经验的同志编写，总结国内外富有成效的可靠性工作案例，参考国内外可靠性书刊及论文，有较广泛的适用性和较高的实用性，可作为在职可靠性岗位培训的教材，也可作为大专院校可靠性与质量管理专业的参考教材。

在教材编写与出版以及电视教学片摄制过程中，得到中央有关部委、有关全国性学会（协会）、上海及各地工厂企业、研究所、大专院校、人民邮电出版社等50多个单位200多位同志的大力支持、指导和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于时间紧迫，工作量很大，组织编写、摄制系统性的可靠性教材及电视教学片尚属首次，缺乏经验，不妥之处，敬请读者批评指正。

可靠性工程与管理电视讲座和函授班教育委员会

1992年9月

目 录

第一章 概论	1
1.1 锡焊理论科学的发展	1
1.2 锡焊管理科学的发展	1
1.3 锡焊技术的发展	2
第二章 锡焊理论	3
2.1 锡焊现象	3
2.2 锡焊机理	3
2.3 锡焊要素及相互作用	5
第三章 锡焊料	12
3.1 锡焊料的意义	12
3.2 锡焊料合金学	12
3.3 锡焊料的标准	13
3.4 锡焊料的种类	13
3.5 锡焊料形状	31
3.6 锡焊料的选择	35
第四章 助焊剂	36
4.1 助焊剂的意义	36
4.2 助焊剂必备条件	36
4.3 助焊剂的作用	36
4.4 助焊剂种类	38
4.5 助焊剂形状	45
4.6 助焊剂的选择及配方	46
4.7 助焊剂残渣去除	48
第五章 焊接工具与设备	50
5.1 电烙铁	50
5.2 自动化焊接设备	53
第六章 锡焊前处理	59
6.1 前处理的意义	59
6.2 表面清洗	59
6.3 表面覆盖	62
第七章 锡焊工艺	68
7.1 基本锡焊操作	68
7.2 印制线路板的锡焊工艺	69
7.3 微锡焊工艺	89
7.4 导线的锡焊	96

7.5	框架材料的锡焊	99
7.6	特殊金属材料的锡焊	101
7.7	玻璃和陶瓷的焊接	102
第八章	锡焊的缺陷	105
8.1	锡焊缺陷的种类	105
8.2	锡焊缺陷发生的要素	105
8.3	缺陷事例与预防措施	112
第九章	锡焊检查方法与仪器	115
9.1	锡焊检查的意义	115
9.2	可焊性的检查方法	115
9.3	焊点检查方法	121
9.4	激光红外检测仪	123
第十章	锡焊可靠性管理与对策事例	127
10.1	锡焊可靠性管理	127
10.2	锡焊对策事例	129

第一章 概 论

1.1 锡焊理论科学的发展

同任何科学理论的建立一样，锡焊技术理论的建立也经历了长期的实践、探索、总结、提高的过程。起初，人们对锡焊的本质虽然也作过一些探索，但只是到了近代，许多学者才有可能运用当代理论科学地解释锡焊现象，构成了锡焊技术的理论体系。

近代锡焊理论的特点是，从锡焊现象入手，详尽分析锡焊之要素，并运用近代科学理论对锡焊现象加以定性，进而作出定量解释，从本质上加深对锡焊现象的了解。

近代锡焊理论深入地探讨了锡焊母材和焊料之间的作用，对润湿、扩散、合金层的形成（特别是定量地得出在何种温度形成何种合金）以及熔蚀现象给出了定性和定量的解释；锡焊理论还进一步探讨了当介入助焊剂之后发生的变化，这就更接近于实践的过程，从而建立了三角关系，见图1—1。该图概括了近代锡焊理论的基本内容。

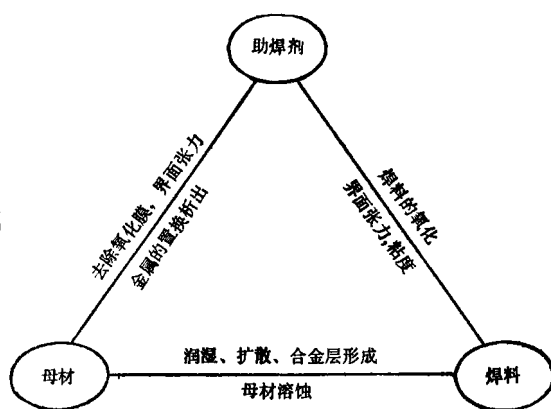


图1—1 母材—焊料—助焊剂之间的相互关系

由图1—1我们可以理解产生锡焊缺陷的原因，进而探索新的锡焊料、助焊剂和微锡焊技术。这些新的锡焊材料和技术的发展又进一步充实了锡焊理论。

1.2 锡焊管理科学的发展

随着电子工业的进步，大规模的工业自动化生产已取代了手工作坊的生产方式，从而促进了锡焊管理科学的发展。近代锡焊管理科学对电子产品的可靠性起着特别重要的作用。大量实践证明，哪个工厂能认真抓好锡焊技术系统工程，哪个工厂的焊点不良率就能大幅度下降。

我国从1978年以来，在锡焊可靠性管理方面做了大量的工作，1987年全国电子产品已普遍推行PPM管理。PPM管理的目标是使焊点不良率达到PPM水平。例如，据原上海广播电视工业公司统计通过对印制板锡焊技术可靠性的管理，焊接质量大幅度提高，焊点不良率大幅度下降。表1—1是该公司1984年抽查16家生产厂24种型号收音机、收录机、电视机及调谐器的印制板组件的质量情况。

1984年11月对电视机、收录机印制板组件补焊前的焊接缺陷进行检查，结果是：

电视机焊接不良率平均水平1.11%，

收录机焊接不良率平均水平2.4%。

表 1—1

印制板组件评分表

得分 项 目 行 业	设计评价 (35分)	装联工艺评价 (20分)	操作质量评价 (35分)	基板评价 (10分)	加分项目 (10分)	总 分 (110分)
电 视 机	31.52	18.63	30.83	9.67	2.28	92.93
收音机录音机	26.12	13.91	27.85	8.71	0.74	77.33
调 谐 器	27.85	13.72	30.83	8.57	0.79	80.16

电视行业加强了锡焊技术管理，到1985年底，印制板组件补焊前的焊点不良率平均为5000PPM，其中上海电视一厂及上海无线电十八厂为2000—3000PPM水平。补锡后平均焊点不良率为45PPM，上海电视一厂和上无十八厂为20~30PPM。

事实证明，把锡焊技术作为一门管理科学来抓，开展PPM管理，是我国锡焊技术管理科学发展的正确道路。

1.3 锡焊技术的发展

国际电子工业的激烈竞争，要求进一步提高电子产品的可靠性，建立新的锡焊技术，以达到PPM水平。同时，锡焊理论科学的发展，为新的锡焊技术发展提供了理论基础。它是近代锡焊新技术发展的原动力。

我国锡焊新技术的发展还很落后，有必要建立相应的锡焊技术研究中心，发展我国的新型锡焊材料和工艺技术，赶上国际先进水平。

当前，国际上先进的锡焊技术有引线可焊性技术、蒸汽凝缩锡焊技术、激光红外检测焊点技术以及微锡焊技术等。此外，新型助焊剂、焊料、带微机自动焊接装置和焊接修补装置等都在不断发展。

第二章 锡焊理论

2.1 锡焊现象

锡焊是一门科学,从宏观上看,其原理非常简单,只不过是熔融焊料与母材表面的润湿现象而已。但究其微观机理,则是非常复杂的,它和物理学、化学、金属学、电学、材料力学有关,见图 2—1。

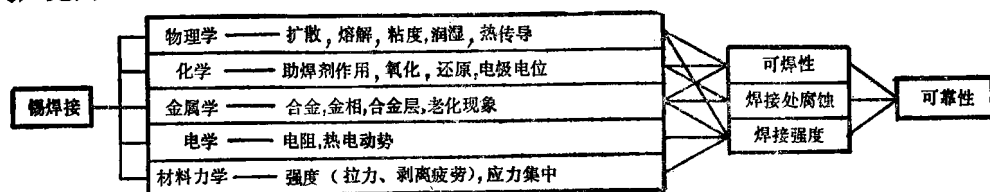


图 2—1 同锡焊相关的学科及其内容

锡焊学从学科分类属于钎焊学。所谓钎焊,简而言之,就是将比母材熔点低的金属材料熔化,使其与母材结合到一起。而锡焊就是采用锡—铅系焊料的钎焊。

从温度来区分、熔点在 450°C 以下的焊料称为软钎料,熔点在 450°C 以上的钎料称为硬钎料。用硬钎料焊接称硬钎焊,使用锡—铅系软钎料焊接称为软钎焊。

用锡—铅系焊料焊接铜和黄铜等金属时,焊料在金属表面产生润湿,作为焊料成分的锡金属就向母材金属扩散,在界面上形成合金层,即金属化合物,使两者结合在一起。上述锡焊过程即是润湿—扩散—冶金结合过程。

2.2 锡焊机理

2.2.1 润 湿

润湿是熔融焊料在被焊母材表面进行充分的扩展并形成一个附着层。

熔融焊料润湿母材表面,必须要求焊料和母材表面清洁。只有清洁才能使焊料与母材原子相互接近,达到原子引力起作用的距离。图 2—2 表示作用于原子间的各种力的关系。

如图所示,当母材表面或熔融金属表面附有氧化物或污物时,将阻碍熔融焊料原子自由地接近 B 点或 A 点,这样就不会发生润湿作用。因此,为了使焊料产生润湿作用,金属表面必须保持清洁。

为了良好地焊接,必须使用助焊剂。助焊剂的作用在于熔解氧化物并使金属表面活化,其最终目的是使焊料在母材表面产生良好的润

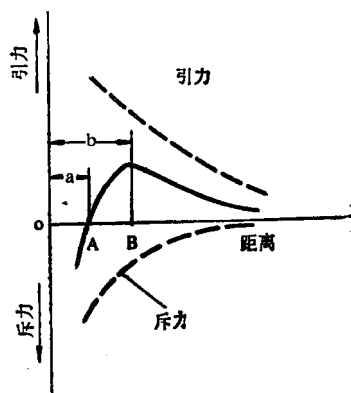


图 2—2 作用在固体金属和熔融焊料原子间的引力和斥力之间的关系

湿。

可以说，润湿是焊接的首要条件，没有润湿也就不可能焊接。

2.2.2 扩 散

用焊料焊接母材时，伴随着润湿现象，还会出现焊料向母材扩散的现象。

通常，金属原子在晶格点阵中处于热振动状态。一旦温度升高时，原子从一个晶格点阵中移动到另一个晶格点阵的现象称为扩散现象。此时的移动速度和扩散数量取决于加热温度和时间。

从现象上看，扩散可分为4类：表面扩散、晶内扩散、晶界扩散、选择扩散。

通过扩散而形成的中间层，将极大地影响接合部分的物理特性和化学特性，特别是机械特性和耐腐蚀性将发生很大变化。

1. 表 面 扩 散

熔融焊料的原子沿被焊母材表面的扩散称为表面扩散，见图2—3。

2. 晶内扩散

熔融焊料扩散到母材的晶粒中去的过程称做晶内扩散。焊料向母材内部的晶粒扩散，沿着不同的结晶方向，其扩散程度不同，在母材内部生成各种组份的合金。

当焊料的扩散超过母材的允许固溶度时，就会产生新的晶粒和母相分离。图2—4是晶内扩散模型图。

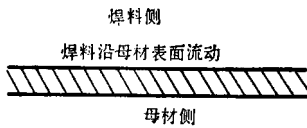


图2—3 表面扩散模型图

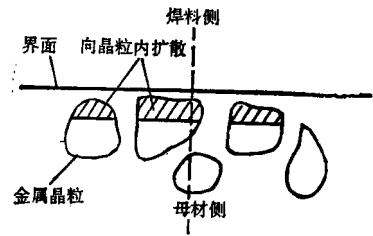


图2—4 晶内扩散模型图

3. 晶界扩散

熔融焊料原子向母材的晶界扩散，比较容易发生。在温度比较低的情况下，同晶内扩散相比，晶界扩散较易发生。这是由于晶界扩散激活能比晶内扩散激活能小。在高温的情况下，由于激活能的作用不占主导地位，所以晶界扩散和晶内扩散都很容易发生。

用焊料焊铜时，锡在铜中既有晶内扩散，又有晶界扩散。若对铜进行强加工，会造成晶界原子排列混乱，形成位错和空穴，则更易产生晶界扩散。图2—5是晶界扩散的模型图。

4. 选择扩散

用两种以上的金属元素组成的焊料焊接时，其中某一金属元素先扩散，或只有某一金属元素扩散。这种扩散称做选择扩散。

当锡—铅焊料焊接某一金属时，焊料成分中的锡向母材扩散，而铅不扩散，这就是选择

扩散。图 2—6 是这种扩散的模型图。

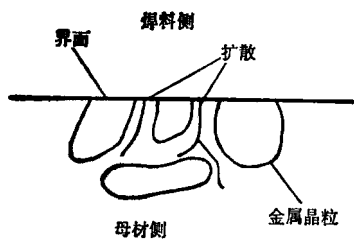


图 2—5 晶界扩散模型图

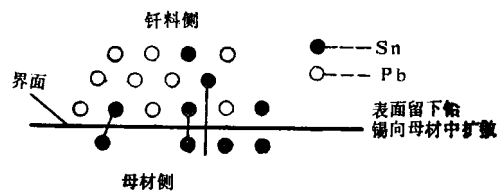


图 2—6 选择扩散模型图

2.2.3 冶金结合

要得到良好的焊接效果，必须生成适当的合金，即得到牢固的冶金结合状态，通常必须得到固熔体或金属间化合物。其冶金结合状态，生成何种合金、组织状态、厚度等，将决定焊点的强度和理化特性。

以紫铜为例，当用锡—铅系焊料焊接时，由于锡和铜的互扩散，将在铜—锡界面生成 Cu_3Sn 、 Cu_6Sn_5 等金属间化合物。图 2—7 表示在铜—锡界面形成了合金。

2.3 锡焊要素及相互作用

与锡焊有关的系统由母材、焊料、助焊剂（或保护气氛及真空）等 3 个基本要素组成。在研究锡焊现象时，即使对每一个现象以及它们的物理特性有较好的了解，也不意味着对锡焊过程及其相关的诸现象有更深入的理解。

因此，为了真正了解锡焊的现象，不仅应知道个别的物性（强度、熔点、表面张力、粘度等），还必须对各要素的相互作用，如图 1—1 所示母材—焊料、焊料—助焊剂、助焊剂—母材的相互反应，进行认真探讨。这是非常重要的。

2.3.1 焊料与母材的反应

1. 润湿机理

进行锡焊的首要条件是熔融焊料能与母材良好的润湿。润湿是焊接的最基本的因素，没有润湿就不可能焊接。这已在 2.2.1 节作过叙述。

还可以进一步从两方面理解锡焊的润湿：一是母材与焊料的表面能、母材与焊料之间的界面能的大小；二是母材与焊料界面之间的合金层生成及固溶度大小来决定润湿是否容易。

放置一液滴在固体表面上（见图 2—8）时，根据固体与液体的性质液滴将具有一定的形状。

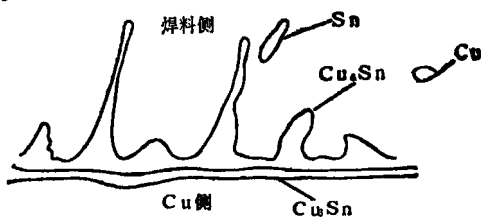


图 2—7 焊接断面的金属组织

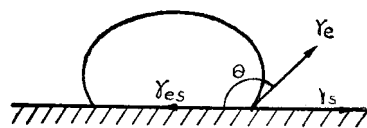


图 2—8 固体表面上的液滴的形状和表面张力

此时，把液体与固体接触处的夹角称为接触角。它是衡量润湿性的尺度。 $\theta = 0^\circ$ 时表示完全润湿的状态，液体在固体表面上进行扩展； $\theta = 180^\circ$ 时表示完全不润湿，液体成为液滴。通常 $\theta < 90^\circ$ 时称为润湿， $\theta > 90^\circ$ 时称为不润湿，见图 2—9。

由力学平衡条件知下式可以成立：

$$r_s = r_c \cos \theta + r_{cs} \quad (2-1)$$

式中， r_s 为固体的表面张力； r_{cs} 为固体与液体的界面张力； r_c 为液体的表面张力； θ 为接触角。

$$r_s - r_{cs} = r_c \cos \theta = A \quad (2-2)$$

A 称作附着张力。

一般用接触角表示比较直观，故多用 θ 角作为润湿性的尺度。严格地说，用 θ 角来表示润湿性的场合，必须对应于同一表面张力的液体。

锡焊时的润湿现象是这样的：母材与焊料接触时形成新的界面，引起自由能的减少而产生附着功。如静止液滴的情形，其附着功 W_A 相当于 r_s 、 r_c 之和减去 r_{cs} 。即

$$W_A = r_s + r_c - r_{cs} \quad (2-3)$$

$$W_A = r_c (1 + \cos \theta) \quad (2-4)$$

由上式可见，接触角 θ 越小，则附着功越大。

和润湿有关的因素有：

(1) 表面张力

润湿的程度是由 r_s 、 r_c 、 r_{cs} 值的相互关系来决定的。各自的表面张力变化时，接触角 θ 的变化如表 2—1 所示。接触角 θ 的变化，在 $\theta < 90^\circ$ 和 $\theta > 90^\circ$ 的情形是不相同的。根据表 2.1， r_s 大或 r_{cs} 小则润湿性好。为了改善润湿性，考虑这些条件是非常重要的。

表 2—1 对应于界面能的变化接触角的变化

界面能的变化		接触角 θ 的变化	
		$\theta < 90^\circ$ 的情形	$\theta > 90^\circ$ 的情形
r_s	减少	减少	增大
	增大	增大	减少
r_c	减少	增大	增大
	增大	减少	减少
r_{cs}	减少	减少	减少
	增大	增大	增大

r_s 影响润湿性的例子，可用加工母材和润湿性（扩展性）的关系来加以说明。例如表面能大的加工母材的扩展性比经再结晶后 r_s 小的母材的扩展性要大。因此，对母材进行强加工，是改善可焊性的方法之一。

(2) 金属学的相互作用

把一些熔融金属对固体金属的润湿性与它们之间的反应一起来加以考虑和比较,就可得出结论:一旦形成固溶体或金属间化合物,则其润湿性良好,见表2-2。

表 2-2 固体金属对于固体金属的润湿性 (H₂气氛)

固 体 金 属	液 体 金 属	温 度 (℃)	相 互 反 应	润 湿 性
α -Fe	Bi	400	没 有	-
α -Fe	Cd	400	没 有	-
α -Fe	Sn	400~750	化 合 物	+
α -Fe	Zn	500	化 合 物	++
Cu	Bi	350	没 有	-
Cu	Cd	350	化 合 物	++
Cu	Pb	350	没 有	-
Cu	Sb	600	化 合 物	++
Cu	Sn	>400	化 合 物	++
Cu	Zn	>300	化 合 物	++
Ni	Pb	358~700	固 溶 体	+
Ni	Sb	700	化 合 物	+++
Ni	Sn	>350	化 合 物	+++
Ag	Cd	400	化 合 物	++
Ag	Pb	400	固 溶 体	+
Ag	Sb	550	化 合 物	++
Ag	Sn	300	化 合 物	++
Ag	Zn	500	化 合 物	++
Au	Bi	300	固 溶 体	+
Au	Cd	350	化 合 物	++
Au	Pb	400	化 合 物	++
Au	Zn	275	化 合 物	++
Au	Sn	450	化 合 物	++

润湿性评价

+++好润湿, ++润湿, +稍微润湿, -不润湿

(3) 原料的还原作用

焊料的润湿还受到其本身还原作用的影响,例如在氧化铜板上的熔融锡及添加微量的Li、Na、P的锡合金,则含有Li、Na、P的锡合金还原Cu₂O作用大,故比纯锡扩展性好。就是说,焊料的扩展性不能单纯用表面张力来表示。

2. 毛细管现象

在焊接时,熔融焊料在焊盘间隙处短时间的浸透是很必要的。浸透性和润湿性一起成为可焊性的重要因素。熔融焊料的间隙浸透性受焊料的流动性与毛细管上升现象的影响。

(1) 熔融焊料的流动性

为了简单说明可考虑两个平板间隙焊料的层向流动情形,见图2-10。在 t 秒时,焊料进入距离为 l 。

$$l^2 = \frac{PD^3t}{6\eta} \quad (2-5)$$

式中, P 为单位面积的压力; D 为间隙; η 为焊料的粘度。

一旦熔融焊料的间隙流动 Δl ,则固体表面有 $2\Delta l$ 的润湿。固体表面自由能的变化成为2