

实用焊接技术丛书

钎焊技术及应用

赵越等编著



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

实用焊接技术丛书

钎焊技术及应用

赵 越 等编著

化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

钎焊技术及应用/赵越等编著. —北京: 化学
工业出版社, 2004. 3
(实用焊接技术丛书)
ISBN 7-5025-5352-5

I. 钎… II. 赵… III. 钎焊 IV. TG454

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 024934 号

实用焊接技术丛书

钎焊技术及应用

赵越等编著

责任编辑: 任文斗

文字编辑: 韩庆利

责任校对: 郑捷

封面设计: 潘峰

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

http: //www. cip. com. cn

*

新华书店北京发行所经销

聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市海波装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 10 $\frac{1}{4}$ 字数 240 千字

2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5352-5/TG·6

定 价: 23.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

钎焊技术作为实现材料连接的一类重要方法，在国民经济的各个领域获得了日益广泛的应用。随着新材料和新工艺的不断涌现，对钎焊技术提出了越来越高的要求。由于被连接材料和钎焊材料的多样性以及钎焊连接工艺所具有的广泛适应性，这就要求从事钎焊工作的工程技术人员和操作人员应具备一定的理论知识和比较丰富的实际工作经验。

目前，国内已经出版了几种有关钎焊技术方面的书籍，但专门为钎焊操作人员撰写的着重于操作技术方面的书籍还是不多。本书撰写的目的是为钎焊技术人员和第一线的操作人员提供一本在实际工作中具有参考价值、能够指导钎焊生产，而且使用方便的工具书。

本书的特点是既有一定的钎焊基础理论知识，又给出各种不同类型材料的钎焊应用示例；对工程中常用的钎焊工艺方法进行了较详细的论述，同时又对钎焊材料的分类及选用作了比较全面的介绍。本书的第1、2、3、5、6、8、9章由赵越编写，第7、10章和插图由张永约编写和整理，第4、11、12章由吕瑛波编写。在本书的编写过程中，袁宪锦、王岩、左铁军、孙德兴、王娟、张永兰、刘鹏、郭国林、马海军、张燕、石海玉、黄海啸等参与了部分工作。全书由赵越统稿和定稿，并由山东大学李亚江教授审阅。

本书是以从事实际操作的钎焊技术人员和工人为主要读者对象的小型工具书。内容着重于工程应用，适合在家电、机械、轻工、电子等行业从事钎焊工作的工程技术人员和工人阅读，也可供大专院校师生和相关技术与管理人员阅读、参考。

在本书编写过程中参阅了国内外同行大量的参考文献，在此，仅向这些文献的作者表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，错误和疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2004年2月10日

内 容 提 要

本书以钎焊工艺为主线，着重介绍了各种常用钎焊方法的基本原理、工艺要求、操作技术和各种常用材料的钎焊注意事项。本书在选材上以实用为主，在介绍钎焊材料时以国内标准为主，同时介绍了美国焊接学会（AWS）的有关内容，可以开阔读者的视野。本书共分为12章，文字叙述较为通俗，在选材和撰写中注重应用技术。比较系统地介绍了常用的钎焊材料、工艺及常用材料的钎焊连接问题，给出一些工程应用中典型的实例，内容着重于工程应用。

本书适合在家电、机械、轻工等行业从事钎焊工作的工程技术人员和操作人员阅读，也可供大专院校师生和相关技术与管理人员阅读参考。

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 钎焊加工原理及应用	1
1.1.1 界面润湿性	2
1.1.2 毛细流动	2
1.2 影响钎焊过程的因素	3
1.2.1 接头设计	3
1.2.2 钎料	3
1.2.3 残余应力	4
1.3 钎焊方法的分类	4
第 2 章 钎焊用钎料	6
2.1 钎料的熔化	6
2.1.1 金属的熔化和流动性	6
2.1.2 钎缝金属的成分偏析	7
2.1.3 钎料的温度要求	7
2.2 对钎料的基本要求及钎料的分类	8
2.2.1 对钎料的基本要求	8
2.2.2 钎料的分类	9
2.2.3 钎料的型号与牌号	9
2.3 钎料选择的影响因素	10
2.3.1 钎焊母材对选择钎料的影响	10
2.3.2 加热方式对选择钎料的影响	10
2.3.3 工件使用要求对选择钎料的影响	10
2.3.4 钎焊温度对钎料的影响	12
2.3.5 接头设计对选择钎料的影响	12
2.3.6 钎料形状对选择钎料的影响	13
2.3.7 接头外观要求对选择钎料的影响	13
2.3.8 施工安全对选择钎料的影响	13
2.4 常用钎料的成分与性能	13
2.4.1 铜钎料的成分与性能	13
2.4.2 银基钎料的成分与性能	16
2.4.3 铝基钎料的成分与性能	20
2.4.4 镍基钎料的成分与性能	22
第 3 章 钎剂和控制气氛	24
3.1 钎焊用钎剂	24
3.1.1 钎剂的作用	24

3.1.2	对钎剂的基本要求	24
3.1.3	钎剂的分类及型号、牌号	25
3.1.4	有机钎剂	26
3.1.5	钎剂的选用	27
3.1.6	钎剂应用的形式及焊后清理	29
3.1.7	气体钎剂	30
3.2	钎焊控制气氛	31
3.2.1	钎焊控制气氛的成分	31
3.2.2	钎焊控制气氛的作用	33
3.3	真空	35
3.3.1	真空的单位	35
3.3.2	钎焊真空气氛的质量	35
第4章	钎焊接头设计及焊前处理	36
4.1	钎焊接头的形式	36
4.1.1	钎焊接头的基本形式	36
4.1.2	典型的钎焊接头	36
4.1.3	搭边长度	37
4.2	预置钎料的装配	38
4.3	钎焊接头的定位方法	39
4.3.1	接头的定位	39
4.3.2	钎料的定位	39
4.4	接头的装配间隙	39
4.5	钎料在各种接头钎缝中的流动性	40
4.6	钎焊前焊件的表面处理	41
4.6.1	钎焊件表面去油	41
4.6.2	母材表面的氧化膜去除机制	41
4.6.3	去除氧化膜的方法	43
4.7	焊件表面镀覆层	44
第5章	火焰钎焊	45
5.1	火焰钎焊的特点及应用	45
5.1.1	火焰钎焊的优点	45
5.1.2	火焰钎焊的应用	45
5.2	火焰钎焊的优点与应用的限制因素	46
5.2.1	火焰钎焊的优点	46
5.2.2	火焰钎焊应用的限制因素	47
5.3	火焰钎焊设备	47
5.3.1	储存气体的设备	47
5.3.2	气体压力调节器	48
5.3.3	钎焊用焊炬及喷嘴	48
5.3.4	火焰钎焊用夹具及其他辅助装置	49

5.4	自动化的火焰钎焊设备	49
5.4.1	自动化火焰钎焊设备应考虑的因素	49
5.4.2	自动化火焰钎焊设备的类型	50
5.5	钎焊用燃气	51
5.5.1	燃气的一般特点	51
5.5.2	燃气燃烧的特性	52
5.6	火焰钎焊接头设计与钎焊材料	53
5.6.1	火焰钎焊接头设计	53
5.6.2	火焰钎焊用钎料	54
5.6.3	火焰钎焊用钎剂	54
5.7	火焰钎焊方法与工艺	55
5.8	管路构件的火焰钎焊	56
5.8.1	管口质量控制	56
5.8.2	管口清洗	57
5.8.3	钎剂和助熔剂的使用	57
5.8.4	火焰钎焊的操作要求	58
5.8.5	火焰钎焊管路接头的检验	59
5.8.6	火焰钎焊的安全注意事项	59
5.9	空调两器自动火焰钎焊应用	59
第6章	感应钎焊	61
6.1	感应钎焊的特点	61
6.1.1	感应钎焊的加热方式	61
6.1.2	感应钎焊的优点	61
6.1.3	感应钎焊的缺点	62
6.2	感应钎焊应用	62
6.3	感应钎焊设备	64
6.3.1	感应钎焊加热线圈的设计	64
6.3.2	感应发生器的形式和规格	65
6.3.3	感应发生器尺寸	65
6.3.4	耦合装置	66
6.3.5	感应钎焊用夹具和工件的传输	66
6.4	感应钎焊用钎料和钎剂	66
6.4.1	感应钎焊用钎料	66
6.4.2	感应钎焊用钎剂	67
6.5	感应钎焊方法	67
6.5.1	感应钎焊的接头设计	67
6.5.2	接头的间隙	68
6.5.3	钎料成型	69
6.5.4	控制气氛的钎焊	69
6.5.5	顺序钎焊	69

6.5.6	同时进行钎焊和淬火的工艺	70
6.6	感应钎焊的安全事项	70
第7章	炉中钎焊	71
7.1	炉中钎焊的基本特点	71
7.1.1	炉中钎焊的分类及工序	71
7.1.2	炉中钎焊的优缺点	72
7.1.3	炉中钎焊的适用范围	73
7.2	空气炉中钎焊	73
7.3	保护气氛炉中钎焊	73
7.3.1	保护性的炉内气氛	74
7.3.2	炉内气体流通方式	76
7.3.3	保护气氛钎焊	77
7.3.4	活性气氛钎焊安全事项	78
7.4	真空炉中钎焊	79
7.4.1	真空炉中钎焊的设备	79
7.4.2	真空钎焊工艺	80
7.4.3	真空保护气氛钎焊的应用范围	80
7.4.4	真空钎焊的优缺点	81
7.5	用铜钎料和银钎料的炉中钎焊	81
7.5.1	用铜钎料的炉中钎焊	81
7.5.2	用银基钎料的炉中钎焊	85
7.6	钎焊炉的安全操作	87
7.6.1	气体的特性	87
7.6.2	冷室	89
7.6.3	可燃气流受阻时的应急操作步骤	89
7.6.4	漏气	89
7.6.5	一氧化碳中毒和窒息危险	90
7.6.6	炉内气体的净化方法	90
第8章	碳钢、低合金钢和不锈钢的钎焊	93
8.1	碳钢和低合金钢的钎焊	93
8.1.1	母材	93
8.1.2	钎料	93
8.1.3	接头设计	93
8.1.4	工艺和设备	93
8.1.5	钎焊后的处理	95
8.1.6	检验	95
8.1.7	典型的应用	95
8.2	不锈钢的钎焊	95
8.2.1	不锈钢的分类	95
8.2.2	不锈钢的钎焊特点	96

8.2.3	钎料、钎剂和保护气体	96
8.2.4	钎焊工艺	100
8.2.5	钎焊后处理	100
第9章	有色金属的钎焊	102
9.1	铜及其合金的钎焊	102
9.1.1	铜的分类及钎焊特点	102
9.1.2	母材	103
9.1.3	钎焊材料	106
9.1.4	接头设计和钎焊方法	107
9.1.5	预清洗和表面准备	108
9.1.6	钎焊工艺	109
9.2	铝和铝合金的钎焊	113
9.2.1	材料	113
9.2.2	工艺准备	116
9.2.3	接头形式与固定及接头准备	117
9.2.4	钎焊工艺	118
9.2.5	钎焊后的清理	119
第10章	工具钢、硬质合金及铸铁的钎焊	120
10.1	工具钢的钎焊	120
10.1.1	母材及钎焊材料	120
10.1.2	工具钢的钎焊工艺及设备	121
10.2	硬质合金的钎焊	122
10.2.1	材料的分类	122
10.2.2	硬质合金钎焊特点	123
10.2.3	钎料、钎剂和保护气体	123
10.2.4	钎焊工艺	124
10.3	铸铁的钎焊	125
10.3.1	铸铁的分类	125
10.3.2	钎焊特点	126
10.3.3	钎料和钎剂	126
10.3.4	钎焊工艺	126
第11章	钎焊接头的质量检验	128
11.1	钎焊接头的缺陷及防止	128
11.1.1	致密性低的缺陷	128
11.1.2	钎焊接头的裂纹	128
11.1.3	钎焊接头的溶蚀	129
11.2	钎焊接头的质量检验方法	129
11.2.1	钎接头强度试验方法	129
11.2.2	钎接头弯曲试验及撕裂试验方法	131
11.3	钎接头金相检验方法	132

11.4 钎焊接头无损检验方法	132
11.4.1 钎缝外观检查	133
11.4.2 钎缝致密性试验	135
11.4.3 钎缝缺陷的磁粉检验	135
11.4.4 着色检验与荧光渗透剂检验	135
11.4.5 X射线检验	136
11.4.6 超声波检验	136
11.4.7 其他检验方法	136
第12章 钎焊过程中的安全与防护	138
12.1 火焰钎焊操作安全与防护	138
12.1.1 乙炔的燃烧爆炸特性	138
12.1.2 液化石油气的燃烧爆炸特性	141
12.1.3 电石和乙炔发生器的安全使用	142
12.1.4 氧气瓶、乙炔瓶、液化石油气瓶的安全使用	144
12.2 感应钎焊操作安全与防护	147
12.3 炉中钎焊操作安全与防护	148
12.4 通风和对毒物的防护	148
参考文献	150

第 1 章 概 述

早在青铜器时代就出现了采用钎焊进行连接的物品，钎焊是人类最早使用的材料连接方法之一。除了机械连接方法外，钎焊或许是最古老的连接金属的技术。已有的证据指出，古代工匠已熟练使用由金属盐和有机还原剂的混合物（即氢氧化铜和有机树脂）作为钎料钎焊银和金的工艺。从埃及泽拜古墓中发现的壁画，可以考证出在公元前 1475 年以前古埃及就可以对金进行钎焊。在我国，明代宋应星所著《天工开物》中就有“中华小钎用白铜末，大钎则竭力挥锤而强合之”的记载。

人们今天所认识的钎焊方法起始于古代，发展于人们不断增加的对自然的了解，以及材料性能对技艺、工艺的影响和科学的进步。钎焊是依靠钎料的熔化、流动和凝固形成致密焊缝、牢固接头材料连接的方法。在钎焊过程中仅靠钎料的熔化形成冶金结合，而不是靠将要连接部件的熔化，是十分独特的工艺。钎焊早已是工业化方法，因为几乎所有的金属和陶瓷材料都能被钎焊，钎焊广泛应用于航天、航空、原子能、仪表、电子等工业部门。钎焊可以很容易地通过手工工艺完成，也较容易实现自动化。

美国焊接学会（AWS）对钎焊的定义是：“一组焊接方法，它通过把各种材料加热到适当的温度，通过使用具有液相温度高于 450°C 但低于母材固相线温度的钎料完成材料连接。钎料依靠毛细管吸附作用分布到接头紧密配合面上。”钎焊不同于熔化焊接，钎焊仅是钎料熔化，母材不熔化；在熔化焊接中焊材和母材都熔化。

为了在钎焊过程中得到性能优良的接头，钎焊以前，部件必须被彻底清理，在含有氧的环境中钎焊，必须使用钎剂或靠控制气氛进行保护。另外，设计的部件在经过适当的装配后，产生毛细管作用使得熔化的钎料能在其中流动。还有，必须选择加热方法，它们将产生合适的钎焊温度和热量分布。常用钎焊方法、接头设计及常用材料的详细特性将在本书中给出。这一章的目的是提供基本知识。

1.1 钎焊加工原理及应用

在钎焊过程中，将钎焊组件的温度提高到钎料熔点以上，组件之间的接头空隙如图 1.1 所示，在大多数场合熔化的钎料和母材的相互作用导致在钎料凝固时生成冶金结合。图 1.1 所描述的钎焊示意图相对简单，实际上复杂的冶金和化学过程发生在接头内部和所包含材料的表面。

在研究描述钎焊接头形成的诸多模型中，液滴在固体表面润湿现象和流动性是最基本的模型。母材被钎料润湿对于保证它们紧密接触并形成良好连接是必须的。

这些现象的驱动因素是表面能的热力学概念，以及发生在钎焊过程中化学反应生成相形成的自由能。在润湿条件被建立后，毛细现象导致液体钎料流动，起到了使用液态金属填充接头间隙的作用。无论润湿性还是流动性都受界面间的化学反应和钎料本身的影响，也受接头形

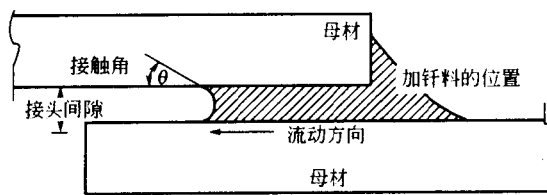


图 1.1 钎焊接头示意

状的影响。润湿性和流动性影响着最终接头的性能。

1.1.1 界面润湿性

决定界面润湿性的参数，可以用类似于液滴接触固体平面来表达。理想的场合下，在固体、液体、蒸气相之间没有化学反应，并且重力因素被忽略（相当于小的液滴）。液滴被假定处于表面自由能条件所确定的平衡状态，这些液滴的形状是由 θ 作为惟一特征值决定的。液滴在固体表面的接触角见图 1.2。在液体蒸气压 $\gamma_{L,V}$ 、固体蒸气压 $\gamma_{S,V}$ 和固液相蒸气压 $\gamma_{S,L}$ 的条件下，接触角与表面自由能之间的关系式如下，即

$$\cos\theta = (\gamma_{S,L} - \gamma_{S,V}) / \gamma_{L,V}$$

润湿与不润湿的分界线是 $\theta = 90^\circ$ ，当 $\theta < 90^\circ$ 润湿发生，而 $\theta > 90^\circ$ 不发生润湿。漫流可以被定义为液体完全覆盖在固体上的条件，当 θ 接近 0° 时，这种情况就会出现。对大多数钎焊系统 $10^\circ \sim 45^\circ$ 是 θ 的取值范围，并且取决于间隙和材料厚度，即 θ 小适合于薄的接头。应该注意，在钎焊过程出现明显的化学反应时，与表面能量接触角有关的方程式仅能作为定性指标来参考。

在图 1.2 表示的三种表面能中，任何一种表面能在活性杂质吸收作用下，固体和液体的表面自由能会明显降低。所有液体和固体的现实表面都在某种程度被表面活性元素，尤其是氧化物所改变。实际上，在固体金属表面上存在的氧化物抑制了润湿性，妨碍了液体金属在表面上的流布。因此，多数钎焊工艺通过清除材料氧化物，来减少可能发生的对润湿性不利的影

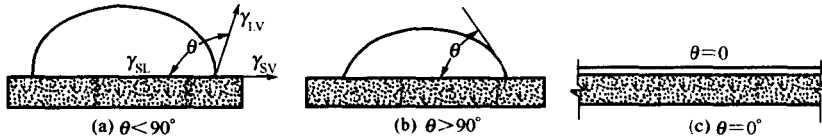


图 1.2 液滴在固体表面的接触角

1.1.2 毛细流动

没有简单的方法来描述钎料在钎焊中的流动，尽管流体动力学方面提供了定量分析的基础，它的复杂性超出本章讨论的范围，这里仅就流动的定量方法做一论述。

实验表明，影响钎料的流动的因素是毛细管驱动力、熔化金属的密度和黏度、接头的几何形状。其中黏度 η 是液体流动的阻力，通过实验发现温度 T 对黏度 η 的影响为

$$\ln\eta = A + B/T + C/T^2$$

式中 A 、 B 、 C ——液体常数。

图 1.3 所示为纯铁、镍和铜黏度随温度的变化，温度升至母材开始烧蚀为止。这种性能与其他金属和合金性能相同。温度严重地影响着黏度和钎料流动性，增加钎焊温度，接近线性的函数关系显示钎料的流动性明显提高。

准确的流动速度表达式，即使在简单的几何形状下也难以通过实验证明。然而，分析和实验说明，流动速度可能是高的（在 cm/s 级），并趋向于按照关系式 $(\gamma_{L,V} \cos\theta) / \eta$ 的量级增加。

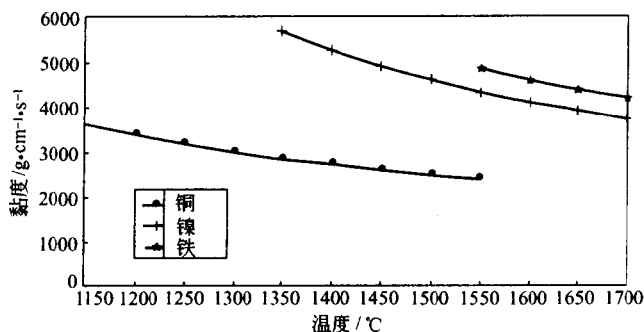


图 1.3 纯铁、镍和铜黏度随温度的变化

1.2 影响钎焊过程的因素

根据使用条件,可决定哪些环节是重要因素,例如接头的设计,钎料、钎剂的选择,以及为了获得所要求特性而采取的工艺参数。这些因素主要影响钎焊接头的外形和微观结构,实际上决定了接头的特性。

* 1.2.1 接头设计

接头设计的变化对钎焊接头特性影响,充分表现在接头间隙对钎焊接头强度的影响。小的接头间隙,接头强度相当高,钎缝的强度甚至超过母材的强度。接头强度比钎料自身强度高许多的原因是薄的钎料层的截面收缩被抑制。因此,钎料处于非常高的三向应力状态,这将增加它的强度值。但随着接头间隙的增加,抑制收缩的能力减弱或消失,接头强度接近于钎料的自身强度。

1.2.2 钎料

钎料是复杂的合金,它的熔点在一个温度范围内。这种现象的含义可以从相图中推导出。图 1.4 所示为 Ag-Cu 平衡相图。除了共晶成分 (72Ag-28Cu) 外,其他如 50Ag-50Cu 的银铜合金的熔点在一个温度范围内发生,温度升至 780°C 时钎料开始熔化,只有当温度超过 850°C 时钎料才能全部熔化。在 780~850°C 温度范围内,有一个液体与固体

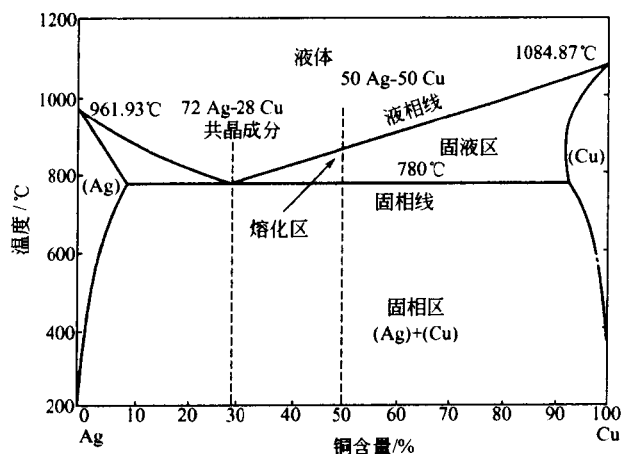


图 1.4 Ag-Cu 平衡相图

共存区域。其润湿和流动性与完全液体的合金在某种意义上截然不同。当钎料金属处于部分熔化的状态时，流动性降低。而低熔点液相在混合状态下，润湿性和扩散行为导致低熔点相从固体成分中分离的趋势。因为这种不充分或不均匀的填充接缝的现象导致缺陷接头的产生。

除了与钎焊钎料熔化特点有关的问题外，在钎焊过程中，合金化能够出现在液体钎料和母材之间。钎料的润湿性和流动性明显受到合金化的影响，合金化取决于钎料的熔点、母材被影响的程度以及新相形成的趋势。液体钎料能够引起母材过量的溶蚀（烧蚀）。改变钎料成分，就可以改变它的熔化特点。靠近接缝表面钎料元素的扩散也会改变母材有效成分。影响母材合金化程度的因素如下：钎料元素在母材中的溶解度、时间和温度、固态扩散的动力学、母材的晶粒尺寸以及它的成分。与润湿性和力学性能有关的问题是这些相互作用的结果。

合金化出现在几乎所有的钎焊过程，只是程度不同而已。因此，为了避免在接头微观结构和特性上有害的影响，一般来讲要控制合金化。然而，在某种情况下，合金化也能有好的方面，既增加了钎焊层的固相线温度，又改善了钎料内在的力学性能。

1.2.3 残余应力

当必须将两种不同的母材（如碳钢和奥氏体钢，奥氏体钢和陶瓷）钎焊连接在一起时，因为两种材料热膨胀系数的差别，在最终组件中会形成很大的残余应力。从钎焊温度上冷却时，由于接头中一个组件收缩速度与另一个不同，会产生残余应力。当被连接材料的热膨胀系数存在很大差别时，这些残余应力足以在材料上引起局部变形或裂纹，或引起钎焊组件的变形。残余应力可以通过规范钎焊温度冷却方式来控制，促进应力松弛。

1.3 钎焊方法的分类

按照不同的特征和标准，钎焊方法有以下几种分类方式。

① 按照所采用钎料的熔点可将钎焊分为两类，钎料熔点低于 450℃ 时称为软钎焊，高于 450℃ 时称为硬钎焊。

② 按照钎焊温度的高低可分为高温钎焊、中温钎焊和低温钎焊，温度的划分是相对于母材熔点而言。例如：对钢件来说，加热温度高于 800℃ 称为高温钎焊，加热温度在 550~800℃ 之间称为中温钎焊，加热温度低于 550℃ 称为低温钎焊；但对于铝合金来说，加热温度高于 450℃ 称为高温钎焊，加热温度在 300~450℃ 之间称为中温钎焊，加热温度低于 300℃ 称为低温钎焊。

③ 按照热源种类和加热方法的不同可分为火焰钎焊、炉中钎焊、感应钎焊、电阻钎焊、浸渍钎焊、气相钎焊、烙铁钎焊及超声波钎焊等。

④ 按照去除母材表面氧化膜的方式可分为钎剂钎焊、无钎剂钎焊、自钎剂钎焊、气体保护钎焊及真空钎焊等。

⑤ 按照接头形成的特点可分为毛细钎焊和非毛细钎焊。液态钎料依靠毛细作用填入钎缝的情况称为毛细钎焊；毛细作用在钎焊接头形成过程中不起主要作用的称为非毛细钎焊。接触反应钎焊和扩散钎焊是最典型的非毛细钎焊。

⑥ 按照被连接的母材或钎料的不同，可分为铝钎焊、不锈钢钎焊、钛合金钎焊、高温合金钎焊、陶瓷钎焊、复合材料钎焊及银钎焊、铜钎焊等。常用的钎焊方法分类、原理及应用见表 1.1。

表 1.1 常用钎焊方法分类、原理及应用

钎焊方法	分 类		原 理	应 用
火焰钎焊	氧乙炔焰		用可燃气体与氧气(或压缩空气)混合燃烧的火焰来进行加热的钎焊,火焰钎焊可分为火焰硬钎焊和火焰软钎焊	主要用于钢的高温钎焊或厚大件钎焊 适用于铜以及低温钎料的硬钎焊,也可用于铝的火焰钎焊;薄壁小件的钎焊
	压缩空气雾化汽油火焰、氧液化石油火焰、氧天然气火焰等			
炉中钎焊	空气炉中钎焊		把装配好的焊件放入一般工业电炉中加热至钎焊温度完成钎焊	多用于钎焊铝、铜、铁及其合金
	保护气 氛 炉 中 钎 焊	还原性气氛炉 中钎焊	加有钎料的焊件在还原性气氛或惰性气氛的电炉中加热进行钎焊	适用于钎焊碳素钢、合金钢、硬质合金、高温合金等
		惰性气氛炉中钎焊		
	真空炉 中钎焊	热壁型	使用真空钎焊容器,将装配好钎料的焊件放入容器内,容器放入非真空炉中加热到钎焊温度,然后容器在空气中冷却	钎焊含有 Cr、Ti、Al 等元素的合金钢、高温合金、钛合金、铝合金及难熔合金
冷壁型		加热炉与钎焊室合为一体,炉壁作成水冷套,内置热反射屏,防止热向外辐射,提高热效率,炉盖密封。焊件钎焊后随炉冷却		
感应钎焊	高频(150~700kHz)		焊件钎焊处的加热是依靠在交变磁场中产生感应电流的电阻热来实现	广泛用于钎焊钢、铜及铜合金、高温合金等的具有对称形状的焊件
	中频(1~10kHz)			
	工频(很少直接用于钎焊)			
浸 渍 钎 焊	盐浴浸渍 钎 焊	外热式	多为氟盐的混合物作盐浴,焊件加热和保护靠盐浴来实现。外热式由槽外部电阻丝加热;内热式靠电流通过盐浴产生的电阻热来加热。当钎焊铝及其合金时应使用钎剂作盐浴	适用于以铜基钎料和银基钎料钎焊钢、铜及其合金、合金钢及高温合金。还可钎焊铝及其合金
		内热式		
	熔化钎料中浸渍钎焊(金属浴)		将经过表面清洗并装配好的钎焊件进行钎剂处理,再放入熔化钎料中,钎料把钎焊处加热到钎焊温度实现钎焊	主要用于以软钎料钎焊铜、铜合金及钢。对于钎缝多而复杂的产品(如蜂窝式换热器、电机电枢等)用此法优越、效率高
电阻钎焊	直接加热式		电极压紧两个零件的钎焊处,电流通过钎焊面形成回路,靠通电中钎焊面产生的电阻热加热到钎焊温度实现钎焊	主要用于钎焊刀具、电机的定子线圈、导线端头以及各种电子元器件的触点等
	间接加热式		电流或只通过一个零件,或根本不通过焊件。前者钎料熔化和另一零件加热是依靠通电加热的零件向它导热来实现。后者电流是通过并加热一个较大的石墨板或耐热合金板,焊件放置在此板上,全部依靠导热来实现,对焊件仍需压紧	

第 2 章 钎焊用钎料

钎料是在钎焊过程中加入的一种金属或合金，它们的钎焊温度在液相线温度以上。钎料在钎焊过程中起着非常重要的作用。钎料是钎焊时的填充材料，钎焊件依靠熔化的钎料连接起来，钎料自身的性能及其与母材间的相互作用在很大程度上决定了钎焊接头的性能，因此钎焊接头的质量主要取决于钎料。

2.1 钎料的熔化

2.1.1 金属的熔化和流动性

纯金属在恒定温度下熔化，并具有非常好的流动性。例如，纯银在 961°C 熔化，纯铜在 1083°C 熔化。铜和银的二元合金，其熔化特性与纯金属有非常大的区别，这取决于两种金属的含量。

图 2.1 所示为银铜二元合金系的平衡状态图。图中固相线 $ADCEB$ ，表示系统中所有银铜合金开始熔化的温度。液相线 ACB ，在此线以上的温度区域所有合金完全成为液体。在 C 点，液相线和固相线相交，表示了一个特殊的合金熔点，一个恒定的温度代替了整个温度范围，这个温度被称为共晶温度。含铜量 28%、含银量 72% 的合金被称为具有共晶成分的合金。这种合金的液态特性实际上同纯金属相同。

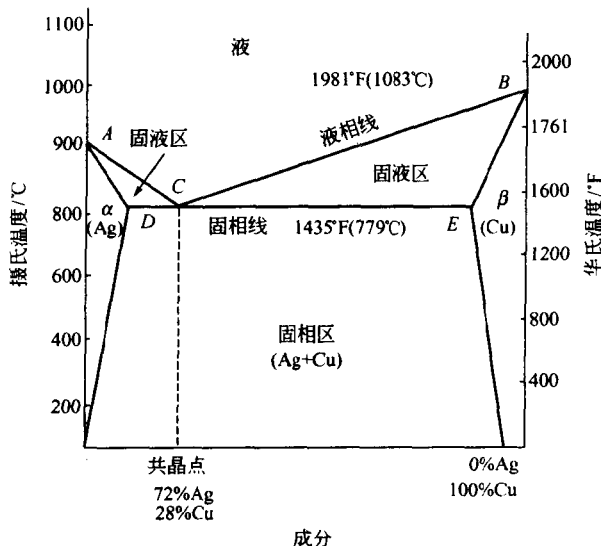


图 2.1 银铜二元合金系的平衡状态图

其他的非共晶合金成分，在固相线和液相线温度之间是固液相共存。一般情况下，具有非共晶成分熔化范围的合金在毛细管接头中的流动性不如共晶合金。事实上 50% 银和 50% 铜的合金具有 779°C 的固相线温度和 860°C 的液相线温度，在固相线开始熔化，但在到达液相线温度之前，它没有被完全熔化。在这个区间内，一部分合金具有液相线成分，而另一部分则是固相线成分。只有温度达到液相线才能使这个合金变成完全的液态。这个温度区间影