

钎 焊

邓 键 编 著

机 械 工 业 出 版 社

本书比较全面地叙述了钎焊的必要知识，包括钎焊接头设计，钎焊接头的性质，钎料及钎剂，钎焊工艺方法，钎焊接头的缺陷及检查方法，各种材料的钎焊及典型的钎焊实例。适合于钎焊工作者及设计人员阅读，也可供高等院校焊接专业师生参考。

钎 焊

邓 键 编 著

*

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明字第 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 $7^{3/4}$ · 字数 170 千字
1979年9月北京第一版·1979年9月北京第一次印刷

印数 00,001—36,000 · 定价 0.73 元

*

统一书号：15033·4498

目 次

前 言

绪 言 1

第一章 钎焊接头的设计 3

第一节 钎焊接头设计基础 3

第二节 典型的接头形状 5

第三节 钎焊接头的间隙 6

第四节 接头的固定和钎料的安置 7

第二章 钎焊接头的性质 9

第一节 钎焊接头的形成过程 9

第二节 钎焊接头的金属学性质 15

第三节 钎焊接头的强度 18

第四节 钎焊接头的腐蚀及防护 23

第三章 钎料 28

第一节 钎料的要求和分类 28

第二节 软钎料 32

第三节 硬钎料 43

第四节 钎料的选择 63

第四章 钎剂 69

第一节 钎剂的功用和要求 69

第二节 软钎剂 70

第三节 硬钎剂 76

第四节 铝用钎剂 79

第五节 气体钎剂 87

第六节 钎剂的选择 89

第七节 钎焊后钎剂的去除	91
第五章 钎焊工艺方法	94
第一节 钎焊前工件表面的准备	94
第二节 烙铁钎焊	98
第三节 火焰钎焊	100
第四节 炉中钎焊	102
第五节 感应钎焊	119
第六节 电接触钎焊	124
第七节 浸渍钎焊	127
第八节 其它钎焊方法	132
第九节 钎焊方法的选择及过程的自动化	135
第六章 钎焊接头的缺陷及检查方法	139
第一节 钎焊接头的缺陷	139
第二节 钎焊缺陷的检查方法	142
第七章 各种材料的钎焊	146
第一节 材料的可钎焊性	146
第二节 碳钢和低合金钢的钎焊	149
第三节 不锈钢的钎焊	153
第四节 工具钢和硬质合金的钎焊	159
第五节 铸铁的钎焊	162
第六节 镍及镍合金的钎焊	164
第七节 铜及铜合金的钎焊	168
第八节 铝及铝合金的钎焊	173
第九节 钛及钛合金的钎焊	185
第十节 钼和钨的钎焊	192
第十一节 其它金属的钎焊	194
第十二节 石墨和陶瓷的钎焊	199
第八章 典型的钎焊应用	202
第一节 硬质合金钻头的感应钎焊	202

V

第二节	钢叶轮的盐浴浸渍钎焊	203
第三节	铜管翅式散热器的软钎焊	205
第四节	铜弯头的火焰钎焊	206
第五节	铜电缆接头的电接触钎焊	207
第六节	不锈钢零件的干燥氢气炉中钎焊	208
第七节	钛-钢零件的氩气气氛炉中钎焊	209
第八节	铝电缆的软钎焊	211
第九节	大型铝板翅式换热器的盐浴浸渍钎焊	213
第十节	铝零件的真空无钎剂钎焊	215

附录

一	国外钎料规格	217
二	钎焊接头的金相研究方法	236
三	熔化温度的测定方法	239

绪 言

钎焊是利用熔点比母材低的钎料和母材一同加热，在母材不熔化的情况下，钎料熔化并润湿及填充两母材连接处的间隙，形成钎缝。在钎缝中，钎料与母材相互溶解和扩散，从而得到牢固的结合。

过去曾把钎焊称为“钎接”、“钎焊”、“低温焊接”等，它与熔化焊接在许多方面相似，但也有其不同点。首先，钎焊时母材不熔化，而只有钎料熔化。其次在钎焊接头中，钎料的成分和性能与母材有着明显的差别。此外，钎焊是靠熔化的钎料在毛细管作用下填充接头的间隙，而熔化焊接却没有这些现象。

钎焊与熔化焊接相比，由于钎焊加热温度较低，焊件的组织和机械性能变化较小，变形不大，接头平整光滑，外表美观，可连接不同的材料，生产率高。然而，钎焊也有明显的缺点，就是钎焊接头的强度比较低，故常用搭接接头来提高承载能力。同时，钎焊的装配要求比熔化焊接高，要保证严格的间隙。

按钎料的熔化温度和钎焊接头强度的不同，钎焊可分为：

硬钎焊——钎料的熔点在 450°C 以上

软钎焊——钎料的熔点在 450°C 以下

硬钎焊比软钎焊得到较高的接头强度。但必须指出，以上划分硬钎焊和软钎焊的温度界线是相对的，它不止一次改变

过。

钎焊是一种古老的连接金属的工艺方法。几千年前，我国劳动人民就采用钎焊来连接金属。古书中记载“凡钎铁之法……，小钎用铜末，大钎则竭力挥锤而强合之。”这里的小钎，就是指钎焊。钎焊虽具有着悠久的历史，但长期以来，一直发展得很缓慢，自各种焊接方法发明后，曾出现用焊接代替钎焊的趋势。然而，近几十年，随着现代工业发展的需要，钎焊获得了迅速的发展。无论在钎焊方法上，还是钎料及钎剂成分上都不断有新的改进，从而推动钎焊应用到各工业部门中去。如电机制造业中，用钎焊来制造硬质合金切削工具、采矿用钻头、换热器、自行车架、导管、容器、发动机、电动机、变压器、触头、电缆、汇流排以及汽轮机的叶片和拉筋的连接等；在无线电及仪表制造业中钎焊在许多情况下还是唯一的连接方法，如用钎焊制造微波波导、电子管、电真空器件和无线电接线等；在航空工业中钎焊用于制造蜂窝结构、滤网、喷汽发动机叶轮及喷射器等。

但是，钎焊毕竟也是一门发展中的科学，不少问题还有待人们去努力解决，如某些钎焊过程的本质探讨，新钎料和钎剂的发明，新钎焊工艺方法的研究，钎焊过程自动化和机械化的进一步推广和完善化等，都需要我们付出艰巨的劳动。因此，要求全体钎焊工作者共同努力，不断取得新成就，以促进钎焊在国民经济建设中发挥更大的作用。

第一章 钎焊接头的设计

第一节 钎接头设计基础

钎焊接头是依靠液态钎料在毛细管作用下填充钎焊工件之间间隙而形成的。钎接头的基本型式如图 1-1 所示；可分为对接接头，斜接接头及搭接接头。

由于钎料的强度一般比钎焊金属低，采用对接的钎焊接头，强度比母材差，受力时主要是钎缝发生破坏。而斜接接头虽然接触面积较大，强度比对接接头高，但是加工工艺比较复杂。所以钎接头多采用搭接接头。它可以通过改变搭接长度达到钎接头与母材等强度，从而能够更充分地利用钎焊的所有优点。因此，设计钎接头时决不能照搬焊接接头的型式。焊接和钎焊时接头型式的比较如图 1-2 所示。

设计时，为了使钎接头与母材等强度，在钎缝完全钎

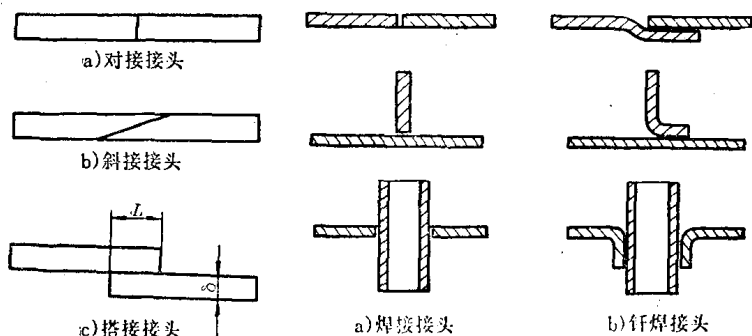


图1-1 钎焊接头的基本型式

图1-2 焊接接头与钎焊接头的比较

透的情况下，搭接长度 L 可按下式计算：

$$L = \frac{\sigma_b}{\sigma_r} \delta$$

式中 σ_b ——母材的抗拉强度 (公斤/毫米²)；

σ_r ——钎焊接头的抗剪强度 (公斤/毫米²)；

δ ——母材板厚 (毫米)。

在生产实践中，搭接长度常达母材厚度的 3 倍以上，但搭接长度很少超过 15 毫米，因为搭接长超过 15 毫米以上时，在钎焊操作时很难获得完满的钎缝。

钎接头强度受钎料的强度，钎料、钎剂与母材三者的配合，接头的间隙，缺陷的大小等多种因素所影响。因此，要同时兼顾材料的选择、接头的设计及钎焊操作三方面才能得到完善的接头。这就要求接头设计在满足强度要求的同时，必须考虑容易进行钎焊的操作。设计时应特别注意下列事项：

- (1) 接头中钎缝尽可能与受力方向平行；
- (2) 为了加热均匀，应力分布平均，接头区域的厚度尽可能接近；
- (3) 接头中不形成中断钎料毛细管作用的拐角；
- (4) 接头的间隙与钎料的体积配合恰当，防止由于钎料凝固收缩后产生不完整的钎缝或钎料的溢流。

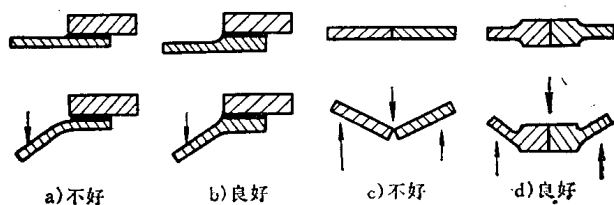


图1-3 避免应力集中的接头

最后，应特别强调钎焊接头设计时必须防止接头区域应力集中，图 1-3 为依靠邻近零件的加强来避免应力集中的接头设计例子。

第二节 典型的接头形状

钎焊接头的典型形状如图 1-4 所示。

设计要求气密、水密性的接头时，采用搭接接头，适当

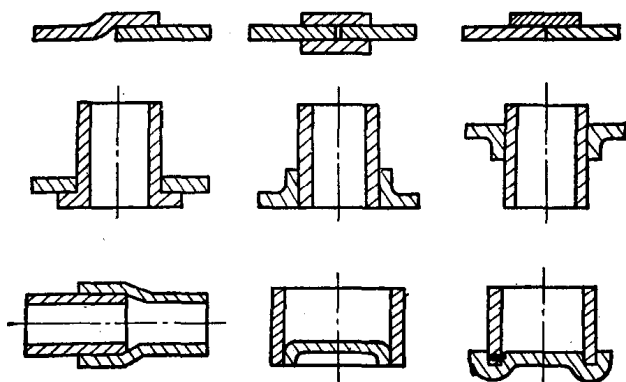


图1-4 典型的钎焊接头

增大搭接长度能提高钎缝强度及减少渗漏的可能性。这种钎焊接头，要特别设计排气孔，保证空气排出，才能让钎料完全填满钎缝，最后再封闭排气孔。图 1-5 为设计排气孔接头的例子。

与硬钎焊接头比较，软钎焊接头的强度低得多，所以在设计要求强度、气密、水密性的情况下，软钎焊时通常采用补强接头。

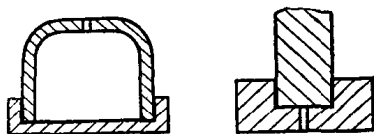


图1-5 带排气孔的接头设计

由于软钎焊的母材多数是薄板，端部很容易加工，使得这种补强很方便。图 1-6 为软钎焊补强接头的典型例子。

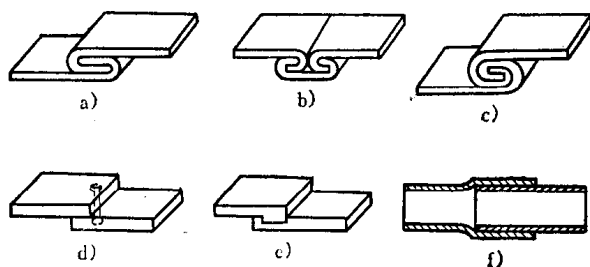


图1-6 软钎焊的补强接头

第三节 钎焊接头的间隙

在设计钎焊接头时，正确选择间隙的大小是决定钎缝的致密性及强度的重要因素。间隙太小，由于接触表面不均匀，会妨碍钎料的流入。反之间隙过大，则破坏钎料的毛细管作用，钎料不能填满接头的间隙。

表1-1 各种材料钎焊接头推荐的间隙

母 材 的 种 类	钎 料 的 种 类	钎 焊 接 头 间 隙 (毫 米)
碳 钢	铜钎料	0.01~0.05
	黄铜钎料	0.05~0.20
	银基钎料	0.02~0.15
	锡铅钎料	0.05~0.20
不 锈 钢	铜钎料	0.02~0.07
	镍基钎料	0.05~0.10
	银基钎料	0.07~0.25
	锡铅钎料	0.05~0.20
铜 及 铜 合 金	黄铜钎料	0.07~0.25
	铜磷钎料	0.05~0.25
	银基钎料	0.05~0.25
	锡铅钎料	0.05~0.20
铝 及 铝 合 金	铝基钎料	0.10~0.30
	锡锌钎料	0.10~0.30

间隙的大小与钎料和母材有无合金化、钎焊温度、钎焊时间、钎料的安置等有直接关系。一般说来，钎料与母材的相互作用较弱，则要求较小的间隙；母材与钎料的相互作用较强，间隙就要求较大。应该指出，这里所要求的间隙是指在钎焊温度下的间隙，与室温时不一定相同。质量大小相同的同种金属的接头在钎焊温度下的间隙与室温时差别不大，但质量相差悬殊的同种金属，以及异种金属的接头，由于加热时膨胀量不同，因此在钎焊温度下的间隙就与室温时不同，在这种情况下，设计时必须考虑保证在钎焊温度下的接头间隙。

间隙的数值是通过实践确定，表 1-1 列出常用金属的搭接接头间隙数值。

第四节 接头的固定和钎料的安置

钎焊接头在钎焊过程中，特别是钎料开始流动时，必须保持设计时的正确位置，并保证其要求的间隙。为此，在钎焊接头装配时用各种方法固定钎焊接头，如紧配合、点焊、

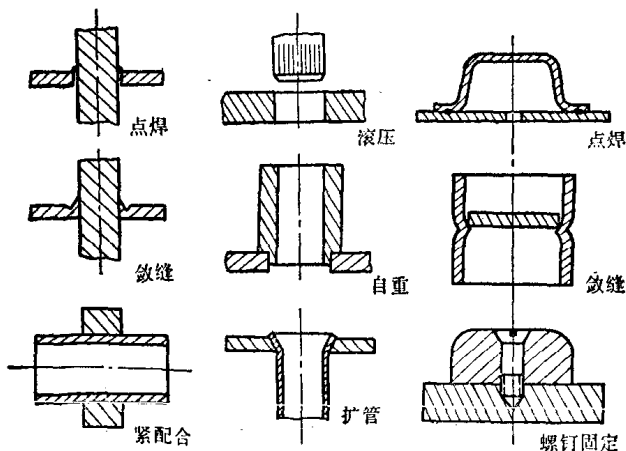


图1-7 钎焊接头固定方法

铆接及夹具定位等。图 1-7 为典型接头固定方法。

为了获得牢固的钎焊接头，钎料在接头上安放的位置具有重要的作用。从钎焊操作的要求来说，通常钎料应安置在容易流入间隙的位置，毛细管的作用尽可能与重力作用相符合，钎料应紧贴在不润湿或加热较慢的母材上。同时，钎料流入间隙的方向应使钎缝中的气体或钎剂有排出的通路。钎料从安放位置流动的距离一般不应大于 15 毫米，否则钎缝不易得到完全的填满。

钎料可作成各种形状以备选用。通常为丝状、箔片状及粉末状等，有时还可作成双金属钎焊板。对于粉末状钎料，可用树胶或聚乙烯醇溶液作粘结剂，粘附在钎缝上。图 1-8 为钎料在接头上安置的例子。

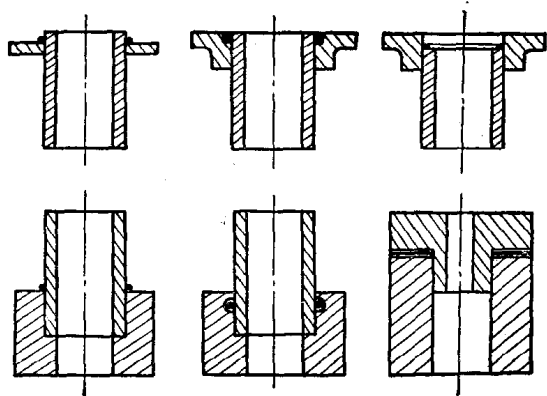


图1-8 钎料的安置

钎焊过程中，有时熔化钎料会流失，为此，可在接头旁加工一圆槽以破坏毛细现象；也可在钎缝周围涂上某种对钎料不润湿的涂料作阻流剂，如水玻璃，石灰液，石墨液等，钎焊后再把它们清除。

第二章 钎焊接头的性质

第一节 钎焊接头的形成过程

钎焊时，钎焊接头的形成过程一般是：母材及钎料加热到钎焊温度，钎料熔化后流入接头的间隙，此时熔化的钎料与母材发生相互作用，形成新的合金，钎料在钎缝中冷却和结晶，形成钎焊接头。

显然，上述过程不是截然分开的，而是交叉进行的。但分析整个过程可知，得到牢固接头的关键，首先是熔化的钎料能很好地流入接头的间隙；其次是钎料流入间隙后与母材的相互作用及随后的冷却结晶，形成牢固的接头。为此，下面对这两个过程进一步分析，以便了解和研究钎焊接头形成过程的规律性。

一、熔化钎料的填缝原理

为了得到良好的钎焊接头，钎料必须完全填满钎缝。钎缝的间隙是比较小的，钎焊时钎料是在毛细管作用下在钎缝间隙内流动，因此钎料的填缝作用取决于它的毛细管性质。虽然在高温下钎料的行为比较复杂，但可通过经典的毛细管作用原理加以说明。

把直径很小的管子插入液体中，液体会自动沿着管子上升到高于液面的一定高度，但也可能会下降得比原液面低（图 2-1）。这种现象称为毛细管作用。液体在毛细管作用下，上升或下降的高度 h 可由下式确定：

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{g\rho r} \quad (1)$$

式中 σ ——液相与气相之间的表面张力；

ρ ——液体的密度；

r ——毛细管的半径；

g ——重力加速度。

θ 角为润湿角，它的大小反映液体润湿固体的情况。在液体润湿固体的情况下，则 $\theta < 90^\circ$ ， $\cos \theta > 0$ ，由公式(1)液体在毛细管中上升。如果液体不润湿固体，则 $\theta > 90^\circ$ ， $\cos \theta < 0$ ，即液体在毛细管中下降。

把这经典的原理，推广到描述间隙很小的两平板母材之间液态钎料的流动情况。用两板之间的间隙 D 代替毛细管的半径 r ，可得到：

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{g\rho D} \quad (2)$$

这里， $\cos \theta$ 表示液态钎料润湿母材的能力，通常称润湿系数。

从公式(2)中可以看出，两平板之间间隙 D 的大小对液态钎料在间隙中上升的高度有很大的影响。在润湿的情况下，两者成反比例，即随着间隙的减小，上升高度增大。因此钎焊时要使液态钎料填满间隙，必须在接头设计及装配时保证小的间隙。但是应该指出，钎焊时钎料与母材或多或少地发生相互作用，此时毛细管现象比较复杂，不能一概认为间隙愈小愈好；特别是对干

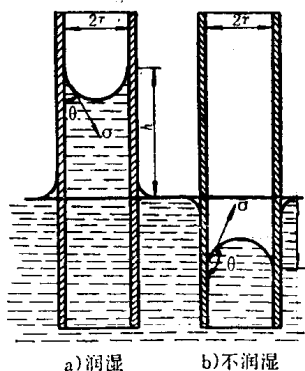


图2-1 毛细管现象

与母材相互作用强的钎料，接头间隙应取比作用弱的钎料大些。

从公式(2)还可看出，只有液态钎料能润湿母材，即 $\cos \theta$ 为正值， h 才为正值，液态钎料才能流入钎缝； θ 角愈小， h 值愈大，液态钎料填充的间隙愈长。反之，如果液态钎料不润湿母材， $\cos \theta$ 为负值， h 为负值，液态钎料将不能流入钎缝。故液态钎料能否流入接头间隙取决于其对母材的润湿性。

从大量实践的经验发现，影响钎料润湿性的因素有下列几方面。

1. 钎料和母材成分的影响

钎料和母材成分对润湿性的影响很大。一般说来，当液体钎料与母材在液态或固态下均不发生作用，则它们之间的润湿性很差。如果液体钎料能与母材相互溶解或形成化合物，钎料便能够较好地润湿母材。例如，银和铁互不作用，银在铁上的润湿性极差；银在 1000°C 时稍溶于镍（约 3%），所以银能润湿镍；而银在 779°C 时能溶解于铜（约 8%），故银在铜上的润湿性良好。又如铅与铜及钢都互不作用，故铅在铜及钢上的润湿性是很差的，但铅中加入能与铜及钢形成固溶体及化合物的锡后，钎料的润湿性改善，含锡量愈高，润湿性就愈好。由此，对与母材互不作用而润湿性差的钎料，可加入能与母材形成共同相的第三物质，改善对母材的润湿性。

2. 钎焊温度的影响

钎焊温度升高，有助于提高钎料对母材的润湿性。但是钎焊温度太高，钎料的润湿性太好，往往发生钎料流散现象。更重要的是温度过高，钎料对母材的溶蚀加重。所以必须合理地选择钎焊温度。

3. 金属表面氧化物的影响

金属表面氧化物的存在，妨碍了钎料的原子与母材直接接触，使液体钎料团聚成球状，形成不润湿现象。所以钎焊时必须充分去除金属表面的氧化物。

4. 钎焊母材表面状态的影响

钎焊母材表面的粗糙度，对与它相互作用较弱的钎料的润湿性有明显的影响。钎料在粗糙表面的润湿性比在光滑表面上好，这是由于纵横交错的细槽对液体钎料起特殊的毛细作用，促进了钎料沿钎焊面的流布。但钎料与母材相互作用很强烈时，则表面粗糙所引起的这种作用因这些细槽迅速被液体钎料所溶解而表现不明显。

钎料对母材的润湿性是钎料的重要工艺性能指标，因此常用下列方法评定：

将一定体积的钎料（及钎剂）安放在母材上，在规定的钎焊温度下保持一定的时间，冷却后测量钎料的流布面积 A ，以流布面积 A 的大小作为评定标准，流布面积愈大，钎料的润湿性愈好。或冷却后截取钎料的横剖面，测量钎料的润湿角 θ ，以 θ 角的大小作为评定标准， θ 角愈小，润湿性愈好。还可将上二项合并，即以钎料的润湿角 θ 的余弦与流布面积 A 的乘积 W 代表润湿性， $W = A \cos \theta$ ， W 称润湿指数， W 值愈大，润湿性就愈好。

钎料填充毛细间隙的能力可根据液体钎料在垂直或倾斜安置的母材板构成的缝隙之间上升的高度来衡量，一般认为上升高度愈高及填充的间隙愈大，则钎料充满间隙能力愈好。

二、钎料与母材的相互作用

钎焊时，熔化的钎料在填缝过程中与母材发生相互作用，这种作用可归结为两种：一种是固态的母材向液态的钎