



焊工上岗 技能图解

HANGONG SHANGGANG JINENG TUJIE

钎焊

张元彬 主编

罗辉 刘鹏 副主编

注重技能实践 突出上岗就业



化学工业出版社



钎焊

张元彬 主编

罗辉 刘鹏 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是“焊工上岗技能图解”丛书之一。全书在简单阐述钎焊基本原理、钎焊特点的基础上,重点介绍钎焊工艺实用技术,包括钎焊接头设计、钎焊工艺过程技术要点、各种钎焊方法工艺要求和注意事项、常用材料钎焊时的钎焊材料选择和钎焊技术、电子组装中的无铅钎焊技术、钎焊接头的质量控制技术,并对钎焊过程的安全与防护注意事项进行了介绍。

本书内容实用、通俗易懂,适合作为初、中、高级钎焊技工的上岗技能读本,也可供技术人员从事钎焊工艺设计工作作参考。

图书在版编目(CIP)数据

钎焊/张元彬主编. —北京:化学工业出版社,
2014.1

(焊工上岗技能图解)

ISBN 978-7-122-18844-1

I. ①钎… II. ①张… III. ①钎焊-图解 IV.
①TG454-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 257163 号

责任编辑:张兴辉

文字编辑:项 激

责任校对:蒋 宇

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京云浩印刷有限责任公司

装 订:三河市前程装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张7 $\frac{3}{4}$ 字数207千字

2014年4月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686)

售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:36.00元

版权所有 违者必究



前 言

FOREWORD



随焊接技术是制造业的关键支撑技术之一，焊接技术工人是制造业的重要技术力量。随着我国经济的迅速发展，对焊接技术工人的需求不断增大，迫切需要一大批新的有生力量充实到焊工队伍中来。为满足焊接技术工人岗位技术培训，提高焊工的理论和实际操作技能的需要，化学工业出版社组织具有丰富理论知识和实践经验的有关专家编写了《焊工上岗技能图解》丛书，该套丛书包括《焊条电弧焊》、《钨极氩弧焊》、《熔化极气体保护焊》、《埋弧焊》、《钎焊》、《切割》等6本。本书为《钎焊》分册。

钎焊是一项精密的连接技术，在航天、航空、汽车、化工、机械、电子和家电等军用、民用工业中都得到广泛的应用。本书作为“焊工上岗技能图解”丛书之一，面向读者兼顾初、中、高级的技工，目的是为钎焊一线工作者提供具有理论参考价值、能够指导钎焊实际生产的工具书。本书重点在于钎焊的工程实际应用，同时兼顾一定的钎焊基础理论知识，书中辅以大量图表，内容实用、通俗易懂。

本书第1、2章由罗辉编写，第3~5章由张元彬编写，第6~8章由刘鹏编写。霍玉双、孙俊华、滕诚信、黄柏颖、杨凤琦等也参与了部分编写工作。全书由张元彬统稿，并由山东大学陈茂爱教授审阅。

本书编写过程中参阅了国内外同行大量的文献资料，在此仅向这些文献作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中欠妥之处在所难免，敬请广大作者不吝指教。

主 编



目 录

CONTENTS

第 1 章 钎焊概述	1
1.1 钎焊基本原理	1
1.1.1 钎焊接头的形成过程	2
1.1.2 影响钎焊过程的因素	8
1.2 钎焊特点及分类	14
1.2.1 钎焊特点	14
1.2.2 钎焊分类	14
1.2.3 钎焊的应用	17
第 2 章 钎料及钎剂	19
2.1 钎料	19
2.1.1 对钎料的基本要求及钎料分类	19
2.1.2 钎料的型号与牌号	20
2.1.3 钎料的选择	22
2.1.4 常用钎料成分与性能	25
2.2 钎剂	40
2.2.1 钎剂的作用	40
2.2.2 对钎剂的基本要求	41
2.2.3 钎剂的分类及型号	42
2.2.4 钎剂的选择原则	44
2.2.5 钎剂应用的形式及焊后清理	45
2.2.6 软钎剂	46
2.2.7 硬钎剂	49
2.2.8 铝用钎剂	51
2.2.9 气体钎剂	54
2.3 钎焊控制气氛	54

第3章 钎焊接头设计及钎焊生产过程	58
3.1 钎焊接头的基本形式	58
3.2 钎焊接头设计原则	61
3.2.1 钎焊接头间隙	61
3.2.2 搭边长度	63
3.2.3 应力集中问题	64
3.2.4 工艺孔	65
3.3 钎焊前的表面处理	65
3.3.1 表面去油	66
3.3.2 清除表面氧化物	67
3.3.3 表面镀覆层	69
3.3.4 表面处理后零件的保存	70
3.4 接头的定位及装配	70
3.4.1 工件接头的定位	71
3.4.2 钎料的放置	71
3.5 钎焊工艺参数的确定	74
3.6 钎焊后的处理	75
3.6.1 钎焊后热处理	75
3.6.2 钎焊后清除	75
3.7 钎焊质量的检验	77
第4章 钎焊方法及设备	79
4.1 钎焊方法分类	79
4.2 火焰钎焊	81
4.2.1 火焰钎焊的特点	82
4.2.2 火焰钎焊设备	83
4.2.3 火焰钎焊用燃气	86
4.2.4 火焰钎焊接头设计	89
4.2.5 火焰钎焊用钎料	89
4.2.6 火焰钎焊用钎剂	90
4.2.7 火焰钎焊工艺操作技术	91
4.3 感应钎焊	92
4.3.1 感应钎焊特点	92

4.3.2	感应钎焊设备	94
4.3.3	感应钎焊用钎料和钎剂	95
4.3.4	感应钎焊工艺	96
4.4	炉中钎焊	101
4.4.1	炉中钎焊类型	101
4.4.2	空气炉中钎焊	101
4.4.3	保护气氛炉中钎焊	102
4.4.4	真空炉中钎焊	105
4.5	电阻钎焊	108
4.6	扩散钎焊	110
4.7	浸沾钎焊	112
4.7.1	盐浴钎焊	112
4.7.2	熔化钎料中浸沾钎焊	114
4.7.3	波峰钎焊	115
4.8	其他钎焊方法	116
4.8.1	电弧钎焊	116
4.8.2	烙铁钎焊	117
4.8.3	气相钎焊	118
4.8.4	红外钎焊	120
4.8.5	电子束钎焊	121
4.8.6	激光钎焊	121

第5章 常用材料的钎焊 122

5.1	铝及铝合金的钎焊	122
5.1.1	铝及铝合金	122
5.1.2	铝合金用钎料	123
5.1.3	铝合金用钎剂	125
5.1.4	钎焊工艺	129
5.1.5	铝钎焊中的一些特殊技艺	133
5.2	铜及铜合金的钎焊	135
5.2.1	铜的分类及钎焊特点	135
5.2.2	钎焊材料	138
5.2.3	接头设计和钎焊方法	142

5.2.4	预清洗和表面准备	143
5.3	碳钢、铸铁和不锈钢的钎焊	144
5.3.1	碳钢和低合金钢的钎焊	144
5.3.2	铸铁的钎焊	146
5.3.3	不锈钢的钎焊	148
5.4	高温合金的钎焊	153
5.4.1	钎焊特点	153
5.4.2	钎焊材料	154
5.4.3	钎焊工艺	155
5.5	工具钢和硬质合金的钎焊	157
5.5.1	钎焊性	157
5.5.2	钎焊材料	159
5.5.3	钎焊技术	162
5.6	陶瓷材料的钎焊	163
5.6.1	钎焊性	163
5.6.2	钎料	163
5.6.3	钎焊技术	165
5.7	复合材料的钎焊	171
5.7.1	金属基复合材料的钎焊	171
5.7.2	陶瓷基复合材料的钎焊	173
5.8	其他材料的钎焊	174
5.8.1	难熔金属的钎焊	174
5.8.2	活性金属的钎焊	178

第6章 电子组装中的无铅钎焊技术..... 181

6.1	无铅化电子组装基本概念	181
6.2	无铅钎料及钎剂的选择	182
6.2.1	无铅钎料合金体系	182
6.2.2	无铅钎料合金成分、性能及选择	184
6.2.3	无铅钎焊钎剂的选择	188
6.3	电子组装无铅钎焊技术	192
6.3.1	无铅化手工烙铁焊	192
6.3.2	无铅化波峰焊	195

6.3.3	无铅回流焊	198
6.3.4	无铅化浸焊	200
6.4	无铅电子组装焊点的可靠性	201
6.4.1	无铅化电子组装与 Sn 晶须问题	202
6.4.2	焊点剥离缺陷问题	203
6.4.3	“曼哈顿”现象	204
第 7 章	钎焊接头的质量控制	205
7.1	钎焊接头的缺陷及防止	205
7.1.1	钎缝的不致密性	205
7.1.2	钎焊接头的裂纹	206
7.1.3	钎焊接头的溶蚀	207
7.2	钎焊接头的质量检验	207
7.2.1	钎焊材料的试验方法	207
7.2.2	钎焊接头的质量检验方法	213
7.3	常用国内外钎焊标准	219
第 8 章	钎焊过程的安全与防护	231
8.1	火焰钎焊的安全与防护	231
8.2	感应钎焊的安全与防护	234
8.3	浸沾钎焊的安全与防护	235
8.4	炉中钎焊的安全与防护	236
8.5	通风和对毒物的防护	236
参考文献	239	

第 1 章

Chapter 01

钎焊概述

1.1 钎焊基本原理

钎焊就是在低于母材熔点、高于钎料熔点的某一温度下加热母材金属，通过液态钎料在母材金属表面或间隙中润湿、铺展、毛细流动填缝、最终凝固结晶而实现原子间结合的一种材料连接方法。它与熔焊、压焊一起构成现代焊接技术三大组成部分。

钎焊过程同其他任何工艺过程一样，与在固相、液相、气相中进行的还原和分解、润湿和毛细流动、扩散和溶解、蒸发和升华等物理化学现象的综合作用有关。而元素的电子结构、原子半径比、电负性状态、化合价和离子化趋势是决定形成接头时固液金属间相互作用性质的主要因素。与之相应的钎焊可分为三个基本过程：一是钎剂的熔化及填缝过程，预置的钎剂在加热熔化后流入母材间隙，并与母材表面氧化物发生物理化学作用，从而去除氧化膜、清洁母材表面，为钎料填缝创造条件；二是钎料的熔化及填满钎缝的过程，随着加热温度的继续升高，钎料开始熔化并润湿、铺展，同时排除钎剂残渣；三是钎料同母材相互作用过程，在熔化的钎料作用下，小部分母材金属原子溶解于钎料，同时钎料原子扩散进入母材当中，在固液界面还会发生一些复杂的化学反应。当钎料填满间隙、保温一定时间后，开始冷却凝固形成钎焊接头。

同熔焊方法相比，钎焊具有以下优点：①钎焊加热温度较低，对母材组织和性能的影响较小；②钎焊接头平整光滑，外形美观；

③焊件变形较小，尤其是采用均匀加热（如炉中钎焊）的钎焊方法，焊件的变形可减小到最低程度，容易保证焊件的尺寸精度；④某些钎焊方法一次可焊成几十条或成百条钎缝，生产率高；⑤可以实现异种金属或合金、金属与非金属的连接。

但是，钎焊也有它本身的缺点，如钎焊接头强度比较低，耐热能力比较差，由于母材与钎料成分相差较大而引起的电化学腐蚀致使耐蚀力较差及装配要求比较高等。

根据使用钎料的不同，钎焊一般分为以下两种。

① 软钎焊 钎料液相线温度低于 450°C 。

② 硬钎焊 钎料液相线温度高于 450°C 。

此外，某些国家将钎焊温度超过 900°C 而又不使用钎剂的钎焊方法（如真空钎焊、气体保护钎焊）称为高温钎焊。

1.1.1 钎焊接头的形成过程

固体纯金属的表面结构如图 1-1 所示，最外层表面有一层 $0.2\sim$

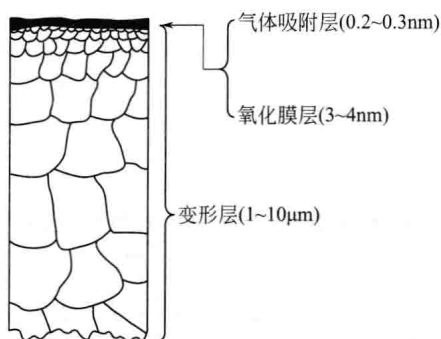


图 1-1 固体纯金属的表面结构

0.3nm 的气体吸附层，随金属性质的不同，吸附气体的种类和厚度有一定的差别，通常吸附的气体主要有水蒸气、氧气、二氧化碳和硫化氢。

在吸附层的下面是一层 $3\sim 4\text{nm}$ 厚的氧化膜层，氧化膜层并不是单纯的氧化物，它们常常是由氧化物的水合物、氢氧化物、碱式碳酸盐

等成分组成。根据膜的基本性质不同，钎焊前可分别采用还原性的酸（ HCl 、 HF 、稀硫酸、有机酸）、氧化性的酸（ HNO_3 ）或碱（ NaOH 、 KOH ）来除去。

（1）界面润湿

润湿是指由固-液相界面取代固-气相界面，从而使体系的自由能

降低的过程。也就是液态钎料与母材接触时，钎料将母材表面的气体排开，沿母材表面铺展，形成新的固体与液体界面的过程。液态钎料能够较好地润湿母材使钎料能够填充到钎缝的毛细间隙中去，并进而依靠毛细作用力保持在间隙内，经冷却凝固而形成钎焊接头。图 1-2 为固体表面上液滴的表面张力平衡示意图，图中 σ_{SG} 为固体和气体介质间沿边界作用于液滴上的表面张力， σ_{LS} 在液固边界上的表面应力。固体平界面上液滴发生铺展润湿后，最终会达到平衡状态，即体系三相边界点上表面张力达到力的平衡（图 1-1），亦即

$$\sigma_{SG} = \sigma_{LS} + \sigma_{LG} \cos\theta \quad (1-1)$$

式中 σ_{SG} —— 固体和气体介质间沿边界作用于液滴上的表面张力；

σ_{LS} —— 在液固边界上的表面应力；

σ_{LG} —— 与气体介质上液体表面张力。

将式（1-1）稍变换即可得到杨氏方程，即

$$\cos\theta = \frac{\sigma_{SG} - \sigma_{LS}}{\sigma_{LG}} \quad (1-2)$$

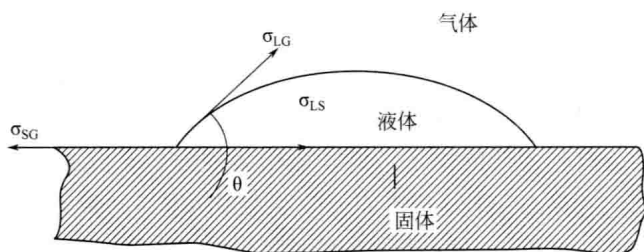


图 1-2 固体表面上液滴的表面张力平衡示意图

一般将 $\cos\theta$ 作为描述液体润湿能力的润湿系数， θ 是指平衡状态下的润湿角，其大小表征了体系润湿与铺展能力的强弱，当 $\theta = 0^\circ$ 时，称为完全润湿；当 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 时称为润湿；当 $90^\circ < \theta < 180^\circ$ 时称为不润湿，当 $\theta = 180^\circ$ 时称为完全不润湿。

（2）钎料表面的铺展

钎料铺展的过程不但与熔融钎料性质有关，还与母材和钎料相互作用、钎料进入母材表面的扩散作用及最终的毛细流动等有关。

钎料铺展过程取决于钎料与母材间物理化学性能关系，甚至取决于钎焊条件。固体表面上熔融钎料的铺展是由液态钎料对母材表面的附着力和钎料原子或分子间结合力产生的内聚力的相互对比关系而决定的。

钎料对母材的润湿性取决于具体条件下三相间的相互作用，但不论情况如何， σ_{SG} 增大、 σ_{LG} 或 σ_{LS} 减小，都能使 $\cos\theta$ 增大、 θ 角减小，即能改善液态钎料对母材的润湿性。从物理概念上讲， σ_{LG} 减小意味着液体内部原子对表面原子的吸引力减弱，液体容易克服本身的引力趋向液体表面，使表面积扩大，钎料容易铺展。 σ_{LS} 减小，表明固体对液体原子的吸引力增大，使液体内层的原子容易被拉向固体-液体界面，即容易铺展。

(3) 影响钎料润湿与铺展的因素

从热力学观点来看，界面张力与各相的物性、成分、温度有关，所以润湿角必然受这些因素的影响。从动力学观点来看，润湿角必然受时间的影响。并且，在实际钎焊过程中，常常不可避免地发生母材向钎料中溶解及钎料与母材之间的扩散，而溶解过程及扩散过程都与母材及钎料的物性、成分、温度和时间有关。

① 钎料和母材成分的影响 界面张力是材料本身的特性之一，它反映的是材料内部的原子对原子吸引力的强弱，因此，对不同的材料来说，其界面张力显然不同。改变三相物质任一相的组成，就相应地改变了界面张力，这必然要影响到钎料对母材的润湿性。表 1-1 列出了主要液态纯金属在其熔点时的表面张力、表 1-2 所列为常用固态金属的表面张力。表 1-3 所列为部分合金系的界面张力的数据。

表 1-1 液态纯金属在其熔点时的表面张力

金属	$\sigma_{LG}/N \cdot m^{-1}$	金属	$\sigma_{LG}/N \cdot m^{-1}$	金属	$\sigma_{LG}/N \cdot m^{-1}$	金属	$\sigma_{LG}/N \cdot m^{-1}$
Ag	0.93	Cr	1.59	Mn	1.75	Sb	0.38
Al	0.91	Cu	1.35	Mo	2.11	Si	0.86
Au	1.13	Fe	1.84	Na	0.19	Sn	0.55

续表

金属	$\sigma_{LG}/N \cdot m^{-1}$	金属	$\sigma_{LG}/N \cdot m^{-1}$	金属	$\sigma_{LG}/N \cdot m^{-1}$	金属	$\sigma_{LG}/N \cdot m^{-1}$
Ba	0.33	Ga	0.70	Nb	2.15	Ta	2.40
Be	1.15	Ge	0.60	Nd	0.68	Ti	1.40
Bi	0.39	Hf	1.46	Ni	1.81	V	1.75
Cd	0.56	In	0.56	Pb	0.48	W	2.30
Ce	0.68	Li	0.40	Pd	1.60	Zn	0.81
Co	1.87	Mg	0.57	Rh	2.10	Zr	1.40

表 1-2 常用固态金属的表面张力

金 属	温度/℃	$\sigma_{SG}/N \cdot m^{-1}$
Fe	20	4.0
Fe	1400	2.1
Cu	1050	1.43
Al	20	1.91
Mg	20	0.07
W	20	6.81
Zn	20	0.86

表 1-3 合金系的界面张力

合金系	温度/℃	$\sigma_{SG}/N \cdot m^{-1}$	$\sigma_{LG}/N \cdot m^{-1}$	$\sigma_{LS}/N \cdot m^{-1}$
Al-Sn	350	1.01	0.60	0.28
Al-Sn	600	1.01	0.56	0.25
Cu-Ag	850	1.67	0.94	0.28
Fe-Cu	1100	1.99	1.21	0.44
Fe-Ag	1125	1.99	0.91	>3.40
Cu-Pb	800	1.67	0.41	0.52

一般来说,如果钎料与母材在液态和固态下均无相互作用,则

它们之间的润湿性就很差；若钎料和母材之间能相互溶解或形成金属间化合物，则液态钎料就能较好地润湿。此外，钎料中添加表面活性物质时，可明显减小液态钎料的表面张力，改善钎料对母材的润湿性。

② 母材金属表面氧化物的影响 在常规条件下，大多数金属表面都有一层氧化膜，氧化膜的熔点一般都比较低，在钎焊温度下为固态，其表面张力值很低，因此，钎焊时将导致 $\sigma_{SG} < \sigma_{LS}$ ，产生不润湿现象，表现为钎料成球而不铺展。

另外，许多钎料合金表面也存在一层氧化膜，当钎料熔化后被自身的氧化膜包覆，此时，钎料与母材之间是两种固态的氧化膜在接触，因此产生不润湿。例如当用 Al-Si 共晶钎料（熔点 577°C ）置于 Al 母材（熔点 660°C ）上加热到 600°C 时钎料熔化，但不在母材表面上铺展。液态钎料因受固态氧化膜的制约而成为不规则球形。此时用加热的钢针刺入钎料并刺破母材氧化膜，钎料就会在母材与其表面的氧化膜之间铺展，从而将 Al_2O_3 膜“抬起”，形成“皮下潜流”现象。所以在钎焊过程中必须采取适当的措施来去除母材和钎料表面的氧化膜，以改善钎料对母材的润湿。

③ 母材表面状态的影响 母材表面粗糙度在许多情况下会影响钎料对其润湿。在实际钎焊过程中，不同钎料在不同状态的表面上的润湿情况也不同。例如，将 Cu 和 LF21 铝合金的圆片分成四份，分别采用抛光、钢丝刷刷、砂纸打磨和化学清洗的方法处理。在 Cu 的中心位置放 Sn60Pb40 钎料，在 LF21 铝合金片中心放置 Sn80Zn20 钎料进行铺展实验。实验结果表明，在 Cu 试片上以钢丝刷刷过的区域处铺展面积最大，在抛光区域处的铺展面积最小；但在 LF21 铝合金试片上，各部分的铺展面积几乎相同。铜试片上铺展面积的差异显然是由于不同的表面处理方法产生不同的表面粗糙度，从而影响到铺展面积。而对 LF21 铝合金来说，由于 Sn80Zn20 钎料与母材之间的相互作用十分强烈，母材的显微不平处迅速溶解进入钎料，从而降低了表面粗糙度的影响，使得各部分的铺展面积基本相同。

由此可见，母材的表面粗糙度对与它相互作用弱的钎料的润湿性有明显的影响。这是因为较粗糙表面上的纵横交错的细槽对于液态钎料起到了特殊的毛细管作用，促进了钎料沿母材表面的铺展，改善了润湿性。但是表面粗糙度的特殊毛细管作用在液态钎料同母材相互作用较强烈的情况下不能表现出来，因为这些细槽会迅速被液态钎料溶解而不复存在。

④ 钎剂的影响 钎焊时使用钎剂可以清除钎料和母材的表面氧化膜，改善润湿性。当钎料和钎焊金属表面覆盖一层熔化的钎剂后，它们之间的界面张力发生了变化(图 1-3)。液态钎料终止铺展时的平衡方程为

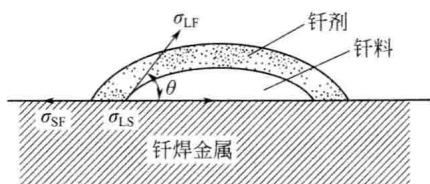


图 1-3 使用钎剂时母材表面上的液态钎料所受的界面张力

$$\sigma_{SF} = \sigma_{LS} + \sigma_{LF} \cos \theta \quad (1-3)$$

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{SF} - \sigma_{LS}}{\sigma_{LF}} \quad (1-4)$$

式中 σ_{SF} —— 固体同液态钎剂界面上的界面张力；
 σ_{LF} —— 液态钎料与液态钎剂间的界面张力；
 σ_{LS} —— 液态钎料与母材间界面张力。

由式 (1-4) 可以看出，要提高润湿性，即减小 θ 角，必须增大 σ_{SF} 或减小 σ_{LF} 及 σ_{LS} 。钎剂的作用，除能消除表面氧化物使 σ_{SF} 增大外，另一重要作用即是减小液态钎料的界面张力 σ_{LF} 。例如，用锡铅钎料钎焊时常用的一种钎剂是氯化锌水溶液。锡铅钎料同氯化锌界面的界面张力就比钎料本身的表面张力小得多，因而有助于提高润湿性。

⑤ 温度的影响 液体的表面张力随着温度升高而降低 (图 1-4)，因此升高温度有助于提高钎料的润湿铺展性能。钎料的润湿铺展性随温度提高而改善的原因，除了由于液态钎料本身的表面张力减小外，液态钎料与母材间的界面张力 σ_{LS} 降低也有较大作用，这两个

因素都有助于提高钎料的润湿铺展性。总之，温度越高，液态钎料对母材的润湿性越好，在母材表面的铺展面积也越大。

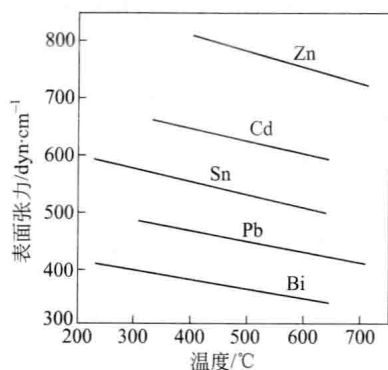


图 1-4 熔态金属的表面张力与温度的关系

但并非钎焊温度越高越好，温度过高，钎料铺展能力过强，会造成钎料流失，即钎料流散到不需要钎焊的部位，而不易填满钎缝。同时温度过高还可能造成母材晶粒长大、过热、过烧及钎料熔蚀母材等问题。因此必须综合考虑钎焊温度的影响，在实际钎焊过程中，通常钎焊温度较钎料液相线高 30~80℃。

⑥ 钎焊保温时间的影响

钎焊过程中，钎焊温度下保温时间增加到一定极限时会导致润湿角减小；进一步增加保温时间，不会影响润湿边界角的变化。

钎料成分对钎料的铺展性影响很大。在某些情况下，钎焊时沿母材表面钎料的铺展分为两个阶段：第一阶段是表面张力作用下的快速铺展，第二阶段是慢铺展（次铺展）。某些成分的合金会发生次铺展，例如用含 30%~70% 铅的钎料钎焊铜时会发生次铺展。这种现象的本质与母材和钎料之间形成比初始状态的钎料具有更高润湿能力的合金有关。有时在第二阶段铺展的钎料面积会发生某种程度的降低或次铺展的效果完全消失。这种情况与相互作用双方物质的物理化学性能及钎焊温度有关。如某些钎料在温度为 250℃ 时本身具有次铺展作用，而在 300℃ 时这种作用完全消失。

1.1.2 影响钎焊过程的因素

(1) 接头的形成

钎焊接头一般是异种材料之间的冶金接合。在钎焊过程中，液态钎料在毛细填缝的同时会与母材发生相互扩散作用，这种扩散作用包括母材原子向液态钎料中的扩散（即通常所说的溶解）以及钎