

第3版

影响钎焊界20年的经典工具书

钎焊手册

Handbook of Brazing and Soldering

张启运 庄鸿寿◎主编



凝聚了24位钎焊专家多年的研究心得和生产经验



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



钎焊手册

Handbook of Brazing and Soldering

第 3 版

张启运 庄鸿寿 主编



机械工业出版社

这是一本应用理论和实际工作经验总结并重的工具书。全书以被钎焊的母材为主线进行叙述：对铝、铜、碳钢、铸铁、不锈钢、高温合金、难熔金属、钛、锆、铍、镁、硬质合金、金刚石工具、半导体、陶瓷、贵金属、复合材料、特种材料的钎焊，包括部分材料的软钎焊都进行了详尽的介绍。参加本手册每一章编写的作者，都是在该领域中有多年工作经验和科研成果的专家和技术人员，他们在第2版的基础上，收集了大量的资料，进行了修订或重写，因此本书内容有一定的深度和广度。

书中还加强了应用理论的阐述，特别是在第1章绪论中将界面传质理论通俗地引入钎焊领域，并用以阐明和控制钎焊过程，有较新的意义。

本手册适用于机械、电子、家电等部门从事金属材料精密连接技术工作的科研、生产技术人员使用，并可供大专院校相关专业师生参考。

This handbook is a reference book for brazing and soldering which are thoroughly discussed both in theory and practice. Treatment of the subject follows after the materials to be brazed or soldered rather than method and technique. Aluminum, copper, carbon steel, cast iron, stainless steel, high temperature alloy, refractory metal, titanium, zirconium, beryllium, magnesium, carbide, diamond tool, semiconductor, ceramic, precious metal, composite metal, advanced material etc and their alloys to be brazed and soldered are described in detail. At the same time, the related materials together with the information are comprehensively collected. The authors are all experts or engineers with broad knowledge and specialized experience in the various fields of brazing and soldering in China. The contents of this manual have a remarkable depth and breadth.

In Chapter 1, the theory of interfacial mass-transfer is introduced into this field for the first time. It is helpful towards contribution to explain and control brazing and soldering process.

The handbook is a suitable reference for producers and engineers who are engaged in the corresponding manufacture and investigation and also teachers and students interested in brazing and soldering.

图书在版编目 (CIP) 数据

钎焊手册/张启运, 庄鸿寿主编. —3版. —北京: 机械工业出版社, 2017.9
ISBN 978-7-111-57708-9

I. ①钎… II. ①张… ②庄… III. ①钎焊-技术手册 IV. ①TG454-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 195801 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 吕德齐 责任编辑: 吕德齐 李含杨

责任印制: 常天培 责任校对: 任秀丽 李锦莉

北京京丰印刷厂印刷

2018 年 1 月第 3 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·49.5 印张·2 插页·1523 千字

0 001—2 500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-57708-9

定价: 198.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

第3版前言

Preface of the Third Edition

《钎焊手册》第1版1999年问世，9年后的2008年出版了第2版，如今是2017年，距离第2版出版又是9年过去了。值得全体编者欣慰的是，这本手册无论是在钎焊研究领域还是在实际生产中都起到了良好的作用，在发表的科研论文上有较高的引用率。鉴于此，机械工业出版社有意延续这本手册的思路，修订出版第3版。

这本《钎焊手册》广泛集合了国内许多学校、研究机构和生产单位的学者、专家和工程师，共同打造出这样一个平台，列出了与钎焊材料有关的物理、化学和力学性能的资料数据，阐述了钎焊材料的构成和钎焊的工艺过程，介绍了和钎焊有关的原理、工作机制以及世界钎焊领域内研究的最新进展。特别是编者还毫无保留地贡献出了自己多年来的研究心得和钎焊的生产经验。因此这本《钎焊手册》不单纯是一本手册，更确切地说是有关钎焊科技领域的一本专著。全体编者都衷心希望这些努力能够有助于我国钎焊科技事业的进一步发展。

时光流逝，我们当中的一些年老的专家学者，逐渐淡出了自己终身从事的钎焊科技事业。特别使我们怀念的是钎焊科技界的元老，哈尔滨工业大学的钱乙余教授。他2016年的离世是中国钎焊科技界不可弥补的损失，多年来他曾为本手册的编辑出版提出过许多有益的建议。在现今的编者群中，有的仍在老骥伏枥，有的正处于一生工作的辉煌时期，更使我们感到欣慰的是有了一批年轻的学者加入了这次编辑的行列，衷心祝愿这些中青年编者在钎焊领域取得更大的成就。同时，对支持和关心本手册的钎焊工作者们表示衷心的感谢。

《钎焊手册》的第3版继续由张启运、庄鸿寿担任主编。各章的编写分工如下：

- 第1、2章 张启运（北京大学）
- 第3章 庄鸿寿（北京航空航天大学）、虞觉奇（湖南大学）
- 第4章 吴懿平（华中科技大学）
- 第5章 庄鸿寿（北京航空航天大学）、张雷（郑州机械研究所）
- 第6、7章 庄鸿寿（北京航空航天大学）
- 第8章 庄鸿寿（北京航空航天大学）、田招弟（北京真空电子技术研究所）
- 第9章 李晓红（中国航空研究院）、陈波（北京航空材料研究院）
- 第10章 庄鸿寿（北京航空航天大学）、李红（北京工业大学）
- 第11章 钟素娟（郑州机械研究所）、沈元勋（郑州机械研究所）
- 第12章 马佳（郑州机械研究所）、龙伟民（郑州机械研究所）
- 第13章 张青科（中国科学院宁波材料技术与工程研究所）、田招弟（北京真空电子技术研究所）
- 第14章 吴爱萍（清华大学）
- 第15章 张永清（中国科学院电子学研究所）、陈沛生（北京真空电子技术研究所）
- 第16章 刘泽光（昆明贵金属研究所）

- 第 17 章 李晓红 (中国航空研究院)、陈波 (北京航空材料研究院)
第 18 章 李晓红 (中国航空研究院)、毛唯 (北京航空材料研究院)
第 19 章 刘秀忠 (山东大学)
第 20 章 曲文卿 (北京航空航天大学)、庄鸿寿 (北京航空航天大学)
第 21 章 庄鸿寿 (北京航空航天大学)
第 22 章 邱惠中 (航天材料及工艺研究所)
第 23 章 邱惠中 (航天材料及工艺研究所)、毛建英 (航天材料及工艺研究所)
第 24 章 孙华为 (郑州机械研究所)、陈沛生 (北京真空电子技术研究所)
第 25 章 薛松柏 (南京航空航天大学)

编 者

第2版前言

Preface of the Second Edition

自从《钎焊手册》第1版1999年问世以来,在我国钎焊技术领域发挥了一定的作用,产生了较好的影响,有比较高的引用率。一些读者反映,这本手册无论形式和内容都比较新颖和丰富,但也存在许多缺陷和不足。转眼间几年过去了,国内外钎焊技术、工艺和设备又有了长足的进展,机械工业出版社有意将本手册修订再版。

本次修订的任务是:①补充手册初版发行以来钎焊领域进展的新资料;②增加初版中未涉及的必要的新内容;③修订初版中的叙述和改正版面上的错误;④对某些章节进行重写。

这次修订编写的原则仍和初版相同:①重实践,丰富资料数据;②重视国内外有关参考文献的引用,作为了解有关内容的进一步延伸;③尽可能描述实践和操作,使实际工作者得以从中获取有用的资料和经验。

修订版采用了分栏的格式。和初版相同,主要标题以及图和表均附英文。

由于作者众多,写作风格各异,每章重点和版式都会有所不同,但这并未妨碍本手册成为一个圆满的整体。多人分工撰写,某些个别内容前后可能会有重复,由于本手册的读者大多一次翻阅只集中于某个别章节,不太会感到全书有内容的重复,反而由于各章自成体系,行文顺畅,避免了因统筹全文而产生“见前”、“见后”的累赘。

初版的撰写有来自全国12位作者共襄盛举。每一位作者都是相关领域从事多年研究和实践工作的学者专家。这本手册是集体创作的结晶,没有大家共同的热心和努力,这种规模的手册便不可能问世,也不可能具有如此丰富和深入的内容。时光流逝,初版的一些作者有的已经退休且长期脱离了有关钎焊的实践;有的虽然仍在工作,但已改弦更张,很久没有涉足原来的钎焊领域,他们表示难于进一步参加手册的修订工作。有鉴于此,本次的修订工作特别邀请了一些正在从事有关科研的、有经验的新作者担纲,在初版的基础上进行修订或重写。感谢他们对编写本手册工作的热心支持。与此同时,也深深感谢初版的作者,他们为本手册有关章节的撰写奠定了坚实的基础。

应该指出,由于某些原因或必要性,个别章节保持了原内容,基本未作更动。

第2版撰写的作者已扩充到了16人,仍由张启运、庄鸿寿主编,各章的编写分工如下:

第1、2章 张启运(北京大学)

第3章 庄鸿寿(北京航空航天大学)、虞觉奇(湖南大学)

第4章 吴懿平(华中科技大学)

第5、6、7章 庄鸿寿(北京航空航天大学)

第8章 田招弟(北京真空电子技术研究所)

第9章 李晓红(北京航空材料研究院)

第10章 庄鸿寿(北京航空航天大学)

第11、12章 龙伟民(郑州机械研究所)

第13章 吴坦(北京电子管厂)、田招弟(北京真空电子技术研究所)

- 第 14 章 吴爱萍 (清华大学)
- 第 15 章 张永清 (中国科学院电子学研究所)、陈沛生 (北京真空电子技术研究所)
- 第 16 章 刘泽光 (昆明贵金属研究所)
- 第 17 章 李晓红 (北京航空材料研究院)
- 第 18 章 李晓红 (北京航空材料研究院)、毛唯 (北京航空材料研究院)
- 第 19 章 刘秀忠 (山东大学)、张启运 (北京大学)
- 第 20 章 曲文卿 (北京航空航天大学)、庄鸿寿 (北京航空航天大学)
- 第 21 章 庄鸿寿 (北京航空航天大学)
- 第 22、23 章 邱惠中 (航天材料及工艺研究所)
- 第 24 章 陈沛生 (北京真空电子技术研究所)
- 第 25 章 薛松柏 (南京航空航天大学)

最后,我们全体作者还要向广大的读者和关心本手册的学者、专家致意:当今钎焊技术和其他学科一样,发展日新月异,尽管我们已经竭尽所能,将自己所知、所熟悉的知识写出来,看来还是很难跟上国内外发展的步伐。加上我们个人所处环境和学识的局限,总会存在孤陋寡闻,又会发表些一孔之见,衷心希望广大读者和专家、学者对书中的缺陷、不足和错误提出批评指正。

编者

2008年10月

第 1 版前言

Preface of the First Edition

钎焊是当今高技术中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、民用工业中得到广泛的应用。我国目前正处于钎焊技术迅速发展的阶段，在高校、研究单位和工厂中从事科研和应用的工作者以十万计。

世界发达国家如美国、日本、前苏联等都有自己的《钎焊手册》出版，其中美国焊接学会钎焊委员会编的《钎焊手册》和《软钎焊手册》在我国已有中译本。我国多年来尚未有比较完善充实、专门的钎焊手册出版。在国外出版的有关钎焊的手册中，虽各有特色但多有不尽人意之处，例如有的只偏重于综述，具体的钎焊内容只一带而过；有的又过于偏重设备和装置的叙述而较少重视钎焊过程的各个重要环节和重要数据、资料的交代。鉴于这种情况，在机械工业出版社的倡导下，邀请了国内多位在高校、研究单位和工厂工作多年的、有钎焊实践经验的学者和专家来共同编写了这本具有中国特色的《钎焊手册》，它资料丰富、内容翔实、原理与实际并重，而且能充分反映我国钎焊的水平并力争能跟上世界前进的步伐。

本手册特点是便于读者获得钎焊有关的资料、信息和知识；它具有一定的起点而又不是是一本多篇论文的专著；本手册条目分明，易于查找，每一部分又以一定深度（包括原理、材料和工艺）进行叙述，既适用于不同水平的工作者解决生产问题，又适用于有关单位进一步开展研究工作的需要。书中以被钎焊的母材为主线展开各个章节的叙述，而不用那种以方法和材料为主线的横向写作方式。我们认为所采取的这种方式既有利于读者的查找，又有利于作者充分展开自己的专长和经验介绍。当然这种写作方式难免会出现一些重复，我们已尽力进行了协调。

本手册还努力评述、汇集了世界钎焊科技近 20 年来的最新成就并引入文献，以备那些想进一步深入研究的读者得以索引。

本书还有一个特点是对标题和图表均注入了英文，我们衷心希望这本书能走向世界。此外，在华人世界里不乏广大的专家同行，但由于多年的隔离，名词术语多不统一，我们也希望英译文能使大家取得更多的沟通。

经过各位作者一年多的共同努力，这本手册终于和读者见面了，反观起来，和我们原先的设想还有相当的距离，也还有不少欠妥之处，希望对本手册感兴趣的读者不吝指教，使这本手册能够更臻于完善。

编者

1998 年 10 月

目 录

Contents

第3版前言 Preface of the Third Edition

第2版前言 Preface of the Second Edition

第1版前言 Preface of the First Edition

第1章 绪论 Chapter 1 Introduction	1
1.1 钎焊方法的原理和特点 Principle and Characteristic of Brazing and Soldering Technique	1
1.2 熔态钎料对固体母材的润湿和铺展 Wetting and Spreading of Molten Filler Metal on a Solid Base Metal	1
1.2.1 固体金属的表面结构 The Surface Structure of Solid Metal	1
1.2.2 熔态钎料与固体母材的润湿 Wetting of Molten Filler on Solid Base Metal	2
1.2.3 熔态钎料在钎剂(第二液体)中与母材间界面张力的变化 Change of Interfacial Tension between Molten Filler and Base Metal Immersed in a Fused Flux (a second liquid)	4
1.2.4 金属母材表面的氧化膜及其去除机制 Oxide Film on Base Metal and its Removal Mechanism	6
1.2.5 熔态钎料在固体母材上的铺展 Spreading of Molten Filler Metal on Solid Base Metal	7
1.3 熔态钎料与固体母材的相互作用 Reaction of Molten Filler with Solid Base Metal	9
1.3.1 熔态金属与固体金属的相互作用 Reaction of Molten Metal with Solid Metal	9
1.3.2 钎料的构成 Construction of Filler Metals	11
1.3.3 熔态钎料在母材间隙中的流动和钎缝结构的不均匀性 Flowing of Molten Filler Metal in the Clearance of Base Metals as well as Inhomogeneity of the Formed Fillet	14
1.3.4 熔析与熔蚀 Liquation and Erosion	15
1.4 钎缝中熔态钎料的凝固和钎缝的金相组织 Solidification of Molten Filler Metal in Clearance and the Micrographic Structure of the Fillet	16
1.4.1 共晶钎缝组织 The Structure of Eutectic Fillet	16
1.4.2 晶间渗透组织 The Fillet Structure with Intercrystalline Penetration	16
1.4.3 有化合物生成的钎缝组织 The Fillet Structure with Intermetallics	17
1.5 钎剂、钎料的选择与搭配 Selection and Matching of Fluxes with Filler Metals	18
1.5.1 钎剂的选择 Selection of Fluxes	18
1.5.2 钎料的选择 Selection of Filler Metals	20
1.5.3 钎剂和钎料的搭配 Matching of Filler Metal with Flux	21
1.6 钎焊工艺 Technology of Brazing and Soldering	21
1.6.1 接头的形式与钎料在钎缝中的流动性 Joint Types and Flowability of Molten Filler Metal in the Clearance	21
1.6.2 加热方法 Methods for Heating	22
1.6.3 工件的升温速度和冷却速度 Heating and Cooling Rate of Workpieces in Brazing Process	23
1.6.4 钎焊接头的保温处理和结构的弥散 Annealing for Brazed Joints and Structure Dispersion in the Fillet	23
参考文献 References	25

第 2 章 铝及铝合金的钎焊	Chapter 2 Brazing and Soldering of Aluminum and its Alloys	27
2.1 概述	Introduction	27
2.2 铝及铝合金的编号	Designations of Aluminum and its Alloys	27
2.3 铝及铝合金的理化性能	Physical and Chemical Properties of Aluminum and its Alloys	28
2.3.1 铝及铝合金的物理性能	Physical Properties of Aluminum and its Alloys	28
2.3.2 铝及铝合金的化学性能	Chemical Properties of Aluminum and its Alloys	39
2.4 铝氧化膜的本质及其在加热时的变化	Nature of Oxide Film on Aluminum and its Change during Heating	40
2.5 铝钎剂	Fluxes for Aluminum Brazing and Soldering	41
2.5.1 铝的硬钎剂	Fluxes for Aluminum Brazing	41
2.5.2 铝的软钎剂	Fluxes for Aluminum Soldering	53
2.6 钎焊时铝氧化膜的脱除机制	Removal Mechanism of Oxide Film on Aluminum during Brazing	55
2.6.1 铝氧化膜与熔盐钎剂的相互作用	Interaction of Oxide Film on Aluminum with Molten Salt Flux	55
2.6.2 真空环境下金属蒸气对铝氧化膜的破坏	Disruption of Oxide Film on Aluminum by Metal Vapor in Vacuum Environment	57
2.7 铝钎料	Brazing Filler Metals and Solders for Aluminum Alloys	58
2.7.1 Al-Si 系钎料 (液相线温度范围 570 ~ 630°C)	Filler Metals of Al-Si Series (melting range 570 ~ 630°C)	58
2.7.2 Al-Si-Cu-Zn 系钎料 (液相线温度范围 500 ~ 577°C)	Filler Metals of Al-Si-Cu-Zn Series (melting range 500 ~ 577°C)	60
2.7.3 Al-Cu-Ag-Zn 系钎料 (液相线温度范围 400 ~ 500°C)	Filler Metals of Al-Cu-Ag-Zn Series (melting range 400 ~ 500°C)	61
2.7.4 Al-Ge-Si 系钎料 (液相线温度范围 425 ~ 500°C)	Filler Metals of Al-Ge-Si Series (melting range 425 ~ 500°C)	61
2.7.5 Zn-Al 系钎料 (液相线温度范围 382 ~ 400°C)	Solders of Zn-Al Series (melting range 382 ~ 400°C)	62
2.7.6 Cd-Zn 系钎料 (液相线温度范围 265 ~ 350°C)	Solders of Cd-Zn Series (melting range 265 ~ 350°C)	64
2.7.7 Sn-Zn 系钎料 (液相线温度范围 198 ~ 260°C)	Solders of Sn-Zn Series (melting range 198 ~ 260°C)	64
2.7.8 Sn-Pb 系钎料 (液相线温度范围 183 ~ 270°C)	Solders of Sn-Pb Series (melting range 183 ~ 270°C)	65
2.7.9 Pb-Bi 系钎料 (液相线温度范围 124 ~ 200°C)	Solders of Pb-Bi Series (melting range 124 ~ 200°C)	66
2.8 铝的复合钎焊材料	Composite Fillers for Aluminum Brazing or Soldering	66
2.8.1 铝钎焊板	Aluminum Brazing Sheets	66
2.8.2 药芯及药皮铝钎焊丝	Flux Cored and Flux Coated Filler Metals for Aluminum Brazing or Soldering	67
2.8.3 钎料-钎剂粉烧结的复合铝钎焊条 (丝)	Composites of Sintered Powder Filler Metals with Flux for Aluminum Brazing	68
2.8.4 铝钎料膏	Aluminum Brazing Paste	68
2.9 铝钎焊中的一些特殊技艺	Some Special Skills in Aluminum Brazing and Soldering	68

2.9.1	用金属镓来作为界面活性剂进行铝合金零件的精密扩散钎焊	Gallium Used as a Surfactant for Precise Soldering of Aluminum Alloy Parts	68
2.9.2	用锗粉进行铝合金的无钎剂扩散钎焊	Fluxless Diffusion Brazing of Aluminum Alloys with Germanium Powders	69
2.9.3	铝及铝合金的表面软钎焊钎涂改性	Surface Modification of Aluminum Alloys by Solder-coating	69
2.9.4	铝的自钎软钎剂	Self-soldering Flux Used for Soldering Aluminum Alloy Parts	69
2.9.5	铝合金面上敷以 Nocolok 钎剂-硅粉-合成树脂复合涂层	A Composite Coating on Aluminum Alloys Made by Resinized Silicon and Nocolok Flux	70
2.10	铝钎焊的焊前准备和焊后处理	Pre-brazing Preparations and Post-brazing Operations	70
2.10.1	接头和夹具的设计	Joint and Jig Design	70
2.10.2	工件的预清洗	Pre-cleaning of Workpieces to be Brazed	72
2.10.3	工件焊后的清洗	Post-braze Cleaning of Workpieces	74
2.10.4	镀覆	Finishing	75
	参考文献	References	76

第3章 铜和铜合金的钎焊 Chapter 3 Brazing and Soldering of

Copper and Copper Alloys 80

3.1	概述	Introduction	80
3.2	钎焊性	Brazability and Solderability	84
3.2.1	纯铜	Copper	84
3.2.2	普通黄铜	Brasses	84
3.2.3	锡黄铜	Tin Brasses	84
3.2.4	铅黄铜	Leaded Brasses	84
3.2.5	锰黄铜	Manganese Brasses	84
3.2.6	锡青铜	Tin Bronzes	84
3.2.7	铝青铜	Aluminum Bronzes	84
3.2.8	铍铜	Beryllium Copper	85
3.2.9	硅青铜	Silicon Bronzes	85
3.2.10	铬铜和镉铜	Chromium Copper and Cadmium Copper	85
3.2.11	白铜合金	Copper-nickel Alloys	85
3.3	钎焊接头间隙	Clearance of Brazed Joint	85
3.4	软钎料	Solders	88
3.4.1	镓基钎料	Gallium Based Solders	88
3.4.2	铋基钎料	Bismuth Based Solders	89
3.4.3	铟基钎料	Indium Based Solders	89
3.4.4	锡铅钎料	Tin Lead Solders	89
3.4.5	无铅钎料	Lead Free Solders	94
3.4.6	高温锡钎料	High Temperature Tin Solders	106
3.4.7	铅基钎料	Lead Based Solders	107
3.4.8	镉基钎料	Cadmium Based Solders	107
3.4.9	金基软钎料	Gold Based Solders	108
3.5	硬钎料	Brazing Filler Metals	108
3.5.1	对钎料的基本要求	Demands on Brazing Filler Metals	108
3.5.2	钎料的分类	Classification of Brazing Filler Metals	108

3.5.3	钎料的型号与牌号 Designations of Brazing Filler Metals	108
3.5.4	银钎料 Silver Filler Metals	109
3.5.5	低银钎料 Low Silver Based Filler Metals	123
3.5.6	铜磷钎料 Copper-phosphorus Filler Metals	130
3.6	钎剂 Fluxes	135
3.6.1	钎剂的功能 Functions of Brazing Fluxes	135
3.6.2	对钎剂的基本要求 Demands on Brazing Fluxes	135
3.6.3	钎剂的分类及型号 Classification and Type of Fluxes	136
3.7	软钎剂 Soldering Fluxes	136
3.7.1	腐蚀性钎剂 Corrosive Fluxes	137
3.7.2	弱腐蚀性钎剂 Medial Corrosive Fluxes	138
3.7.3	无腐蚀性钎剂 Non-corrosive Fluxes	139
3.8	硬钎剂 Brazing Fluxes	140
3.9	表面准备 Surface Preparation	143
3.10	接头设计 Joint Design	143
3.11	钎焊方法和工艺 Methods and Technology of Soldering and Brazing	144
3.11.1	铜 Copper	144
3.11.2	黄铜 Brasses	144
3.11.3	铜和黄铜软钎焊接头强度 The Strength of Copper and Brass Soldered Joints	144
3.11.4	锰黄铜 Manganese Brasses	147
3.11.5	铍铜 Beryllium Copper	148
3.11.6	铬铜 Chromium Copper	148
3.11.7	镉铜和锡青铜 Cadmium Copper and Tin Bronzes	148
3.11.8	硅青铜 Silicon Bronzes	148
3.11.9	铝青铜 Aluminum Bronzes	148
3.11.10	锌白铜和锰白铜 Copper-nickel Alloys	149
	参考文献 References	149
第4章 电子工业中的软钎焊 Chapter 4 Soldering in Electronic Industry		151
4.1	电子制造与软钎焊 Electronic Manufacture and Soldering	151
4.1.1	软钎焊在电子工业中的地位 The Position of Soldering Technique in Electronic Industry	151
4.1.2	电子制造与电子封装 Electronic Manufacture and Electronic Packaging	151
4.1.3	电子工业中钎焊连接的特点及发展历程 The Characteristic and Development Course of Soldering Technique in Electronic Industry	152
4.2	软钎焊连接的基本原理 Fundamental of Soldering	154
4.2.1	软钎焊的定义 Definition of Soldering	154
4.2.2	钎料与母材间的相互作用 Interaction Between Solder and Base Metal	155
4.2.3	软钎焊性 Solderability	159
4.2.4	影响电子元器件软钎焊性的因素 Influence Factors on Solderability of Electronic Components	160
4.2.5	钎焊性的测试与评价 Solderability Testing and Evaluation	160
4.3	软钎料合金 Solder Alloys	162
4.3.1	锡铅钎料 Tin-lead Solders	162
4.3.2	无铅钎料 Lead-free Solders	163
4.4	软钎剂 Soldering Fluxes	167

4.4.1	软钎剂反应原理	Fundamental of the Reaction of Soldering Flux	167
4.4.2	软钎剂的分类	Classification of Soldering Flux	168
4.4.3	软钎剂的组成	Composition of Soldering Flux	169
4.5	钎料膏与药芯软钎焊丝	Solder Paste and Flux-cored Solder Wire	171
4.5.1	钎料膏的分类	Classification of Solder Paste	171
4.5.2	钎料膏的组成	Composition of Solder Paste	172
4.5.3	典型钎料膏配方	Typical Compositions of Solder Paste	174
4.5.4	钎料膏的性能	Properties of Solder Paste	174
4.5.5	钎料膏的选用	Selection of Solder Paste	175
4.5.6	药芯软钎焊丝	Flux-cored Solder Wire	176
4.6	电子组装技术	Electronic Assembling Technology	176
4.6.1	电子组装概述	Introduction of Electronic Assembly	176
4.6.2	印刷技术	Solder Paste Print	180
4.6.3	贴片技术	Pick and Place	185
4.6.4	再流焊	Reflow	185
4.6.5	波峰焊	Wave Soldering	187
4.6.6	返修技术	Rework	191
4.6.7	选择性焊接技术	Selective Soldering	192
4.6.8	通孔再流焊接技术	Through-hole Reflow	195
4.7	倒装芯片技术	Flip-chip	196
4.7.1	倒装芯片简介	Introduction of Flip-chip	196
4.7.2	软钎料凸点	Solder Bump	196
4.7.3	倒装焊工艺	Flip-chip Bonded Process	200
	参考文献	References	202
第5章 碳钢、铸铁的钎焊 Chapter 5 Brazing and Soldering of Carbon Steels and Cast Iron			203
5.1	碳钢的钎焊性	Brazability and Solderability of Carbon Steels	203
5.2	碳钢的表面清理	Surface Preparation of Steels	203
5.3	碳钢的软钎焊	Soldering of Steels	203
5.4	碳钢的硬钎焊	Brazing of Steels	204
5.4.1	还原性气氛	Reduction Atmospheres	204
5.4.2	惰性气体	Inert Gas	207
5.4.3	真空	Vacuum	207
5.5	钎焊工艺	Technology of Brazing	209
5.5.1	铜钎料	Copper Filler Metals	209
5.5.2	铜锡钎料	Copper-tin Filler Metals	210
5.5.3	铜锌钎料	Copper-zinc Filler Metals	211
5.5.4	银钎料	Silver Filler Metals	213
5.5.5	复合钎料	Composite Brazing Alloys	213
5.5.6	钎焊接头强度	Strength of Brazed Joints	214
5.6	铸铁的钎焊	Brazing of Cast Iron	217
5.6.1	概述	Introduction	217
5.6.2	铸铁的钎焊性	Brazability of Cast Iron	217
5.6.3	钎焊工艺	Technology of Brazing	217

参考文献	References	219
第 6 章 不锈钢的钎焊	Chapter 6 Brazing and Soldering of Stainless Steels	220
6.1	概述 Introduction	220
6.2	不锈钢的钎焊性 Brazability and Solderability of Stainless Steels	220
6.3	表面准备 Surface Preparation	228
6.4	不锈钢的软钎焊 Soldering of Stainless Steels	229
6.5	不锈钢的硬钎焊 Brazing of Stainless Steels	229
6.5.1	银钎料 Silver Filler Metals	229
6.5.2	高温铜基钎料 High Temperature Copper Based Filler Metals	230
6.5.3	锰基钎料 Manganese Based Filler Metals	231
6.5.4	镍基钎料 Nickel Based Filler Metals	233
6.5.5	非晶态镍基钎料 Amorphous Nickel Based Filler Metals	242
6.5.6	铁基钎料 Iron Based Brazing Alloys	243
6.5.7	金基钎料 Gold Based Filler Metals	245
6.5.8	含钯钎料 Palladium-bearing Filler Metals	248
6.5.9	硬钎剂 Brazing Fluxes	249
6.5.10	硬钎焊工艺 Technology for Brazing of Stainless Steels	249
参考文献	References	261
第 7 章 高温合金的钎焊	Chapter 7 Brazing of High Temperature Alloys	262
7.1	概述 Introduction	262
7.2	钎焊性 Brazability	270
7.3	钎料 Brazing Filler Metals	270
7.3.1	银钎料 Silver Filler Metals	271
7.3.2	铜基钎料 Copper Based Filler Metals	271
7.3.3	镍基钎料 Nickel Based Filler Metals	271
7.3.4	活性扩散钎焊钎料 Activated Diffusion Brazing Filler Metals	271
7.4	钎焊工艺 Brazing Technology of High Temperature Alloys	274
7.5	TD-Ni 的钎焊 Brazing of TD-Ni	285
7.6	瞬态液相连接 Transient Liquid Phase Bonding	286
7.6.1	瞬态液相连接的过程 Transient Liquid Phase Bonding Process	286
7.6.2	瞬态液相连接的参数 Parameters of the Transient Liquid Phase Bonding	287
7.7	大间隙钎焊 Wide-gap Brazing	293
7.7.1	混合粉末法 Brazing with Mixed Powders	293
7.7.2	预填高熔点粉末法 Preplacement with High Melting Point Powders	295
参考文献	References	300
第 8 章 难熔金属钨、钼、钽、铌的钎焊	Chapter 8 Brazing of Refractory Metals: Tungsten, Molybdenum, Tantalum and Niobium	302
8.1	概述 Introduction	302
8.2	钨、钼、钽、铌及其合金的性能和牌号 Properties and Designations of Tungsten, Molybdenum, Tantalum, Niobium and its Alloys	302
8.2.1	钨、钼、钽、铌及其合金的物理及力学性能 Physical and Mechanical Properties of Tungsten, Molybdenum, Tantalum, Niobium and its Alloys	302
8.2.2	钨、钼、钽、铌及其合金牌号 Designations of Tungsten, Molybdenum,	

Tantalum, Niobium and its Alloys	303
8.3 钨、钼、钽、铌的钎焊性 Brazability of Tungsten, Molybdenum, Tantalum and Niobium	306
8.3.1 材料的再结晶温度 Recrystallization Temperature for Refractory Metals	306
8.3.2 周围介质的作用 Effect of the Atmosphere	307
8.4 难熔金属的焊前准备 Surface Preparation for Brazing Refractory Metals	308
8.4.1 脱脂 Degreasing	308
8.4.2 钨、钼金属的化学清洗方法 Chemical Cleaning Methods for Tungsten and Molybdenum	309
8.4.3 钽、铌金属的化学清洗方法 Chemical Cleaning Methods for Tantalum and Niobium	309
8.5 难熔金属的钎焊 Brazing of Refractory Metals	309
8.5.1 钨、钼及其合金的钎焊 Brazing of Tungsten, Molybdenum and its Alloys	309
8.5.2 钽及钽合金的钎焊 Brazing of Tantalum and its Alloys	312
8.5.3 铌及铌合金的钎焊 Brazing of Niobium and its Alloys	312
8.5.4 异种难熔金属以及难熔金属同其他材料的钎焊 Brazing of Dissimilar Refractory Metals and Brazing of Refractory Metals with Other Alloys	313
8.6 钨、钼、钽、铌钎焊接头的应用 Applications of Brazed Joints of Tungsten, Molybdenum, Tantalum and Niobium	314
参考文献 References	314
第9章 钛、锆及其合金的钎焊 Chapter 9 Brazing of Titanium, Zirconium and Their Alloys	315
9.1 概述 Introduction	315
9.2 钛、锆及其合金的理化特性及分类 Physical and Chemical Properties and Classifications of Titanium, Zirconium and their Alloys	315
9.2.1 钛及其合金的理化特性及分类 Physical, Chemical Properties and Classifications of Titanium and its Alloys	315
9.2.2 锆及其合金的理化特性及分类 Physical and Chemical Properties and Classifications of Zirconium and its Alloys	317
9.3 钛、锆及其合金钎焊特点 Brazing Characteristics of Titanium, Zirconium and their Alloys	318
9.4 钎料 Filler Metals	319
9.4.1 钛及其合金用钎料 Filler Metals for Brazing Titanium and its Alloys	319
9.4.2 锆及其合金钎焊用钎料 Filler Metals for Brazing Zirconium and its Alloys	330
9.5 钎焊方法和设备 Brazing Methods and Equipments	332
9.6 钎焊前清理和表面准备 Cleaning and Surface Preparation for Workpiece to be Brazed	332
9.7 钎剂和保护气氛 Fluxes and Protective Atmospheres	333
9.8 钛合金与其他材料的钎焊 Brazing of Titanium Alloys to other Materials	333
9.8.1 钛与铝的钎焊 Brazing Titanium to Aluminum	333
9.8.2 钛与不锈钢的钎焊 Brazing Titanium to Stainless Steel	334
9.8.3 钛与铜的钎焊 Brazing Titanium to Copper	335
9.8.4 钛与铍的钎焊 Brazing Titanium to Beryllium	335
9.8.5 钛与陶瓷的钎焊 Brazing Titanium to Ceramics	335
9.9 钛合金钎焊技术的发展 Developments in Brazing Technique of Titanium Alloys	336
9.9.1 焊接钎焊 Weld-brazing	336
9.9.2 瞬间液相扩散焊 Transient Liquid Phase Diffusion Bonding	337
9.9.3 液相界面扩散焊 Liquid Interface Diffusion Bonding	338
9.10 应用 Applications	343

9.10.1	钛及钛合金钎焊的应用	Applications of Brazing Titanium and its Alloys	343
9.10.2	锆及锆合金钎焊的应用	Applications of Brazing Zirconium and its Alloys	346
	参考文献	References	346
第10章 铍、镁合金的钎焊 Chapter 10 Brazing of Beryllium, Magnesium Alloys 349			
10.1	铍的钎焊	Brazing of Beryllium	349
10.1.1	铍的钎焊性	Brazability of Beryllium	349
10.1.2	铍的表面准备	Surface Preparation of Beryllium	350
10.1.3	钎焊铍用钎料	Filler Metals for Brazing Beryllium	351
10.1.4	钎剂和气氛	Fluxes and Atmosphere	353
10.1.5	铍的钎焊工艺	Brazing procedures of Beryllium	354
10.1.6	铍钎焊时应注意的问题	Notes on Brazing of Beryllium	355
10.1.7	铍钎焊的应用	Applications	355
10.2	镁和镁合金的钎焊	Brazing of Magnesium and its Alloys	356
10.2.1	镁合金的钎焊性	Brazability of Magnesium Alloys	357
10.2.2	镁合金钎焊用钎料	Filler Metals for Brazing Magnesium Alloys	358
10.2.3	镁合金钎焊用钎剂	Fluxes for Brazing Magnesium Alloys	359
10.2.4	钎焊前表面清理	Surface Cleaning before Brazing	361
10.2.5	镁合金的钎焊过程	Brazing Processes of Magnesium Alloys	361
10.2.6	焊后清洗	Post cleaning	363
	参考文献	References	364
第11章 硬质合金的钎焊 Chapter 11 Brazing of Carbides 365			
11.1	概述	Introduction	365
11.1.1	硬质合金的分类	Classification of Carbides	365
11.1.2	硬质合金的性能和用途	Properties and Applications of Carbides	366
11.1.3	硬质合金的冶金特性	The Metallurgical Characteristics of Carbides	372
11.2	硬质合金工具的钎焊	Brazing of Carbide Tools	373
11.2.1	硬质合金工具基体材料的选择	Selection of Substrate for Carbide Tools	373
11.2.2	硬质合金工具钎缝的设计	Joint Design of Carbide Tools	374
11.2.3	硬质合金工具钎缝的力学性能	Mechanical Properties of the Brazed Carbide Tools Joint	374
11.3	硬质合金的钎焊性	Brazability of Carbides	375
11.3.1	硬质合金的钎焊润湿性	Brazing Wettability of Carbides	375
11.3.2	硬质合金的钎焊内应力	Residual Stress of Brazing Carbides	375
11.4	钎料与钎剂	Filler Metals and Fluxes	375
11.4.1	硬质合金钎焊常用钎料	Conventional Filler Metals Used for Brazing Carbides	375
11.4.2	钎料性能的比较	Property Comparison of the Filler Metals	376
11.4.3	选择钎料的方法	Selection of Filler Metals	378
11.4.4	硬质合金钎焊用钎剂	Fluxes for Brazing Carbides	379
11.5	硬质合金钎焊工艺	Technique for Brazing Carbides	379
11.5.1	硬质合金工具常用钎焊方法	Usual Methods for Brazing Carbide Tools	379
11.5.2	钎焊工艺过程及参数确定	Brazing Technical Process and Selection of Technical Parameters	379

11.5.3	零件装配、定位与钎料添加	Assembling and Fixing of Accessories, Feed of Filler Metals	380
11.5.4	钎焊的预处理及焊后处理	Pretreatment and Post-treatment of Brazing Process	380
11.5.5	钎焊工艺规程内容	Regulations of Brazing Process	381
11.6	钎焊裂纹的产生机理与预防措施	Formation Mechanism of Cracks and Preventing Measures During Brazing Process	382
11.6.1	工具结构引发的裂纹	Cracks Caused by Tool Structure	382
11.6.2	热应力引发的裂纹	Cracks Caused by Thermal Stress	382
11.6.3	力学性能差异引发的裂纹	Cracks Caused by Difference of Mechanical Properties	382
11.6.4	前后处理导致的裂纹	Cracks Caused by Pre-treatment and Post-treatment	382
11.6.5	预防钎焊裂纹的措施	Preventing Measures for Brazing Cracks	383
11.7	防止脱焊及提高钎缝强度的措施	Measures for Preventing Brazing Failure and Improving Strength of Brazed Joint	383
11.7.1	硬质合金脱焊的原因	Failure Causes during Brazing Carbides	383
11.7.2	提高钎缝强度的设计方法	Designing Methods for Improving the Strength of Brazed Joint	384
11.7.3	提高钎缝强度的工艺方法	Technical Methods for Improving the Strength of Brazed Joint	384
11.7.4	提高钎缝强度的钎焊材料	Filler Metals for Enhancing the Strength of Brazed Joint	385
11.8	硬质合金工具钎焊实例	Examples of Brazing Carbide Tools	385
11.8.1	金属切削刀具的钎焊	Brazing of Metal Cutting Tools	385
11.8.2	非金属切削工具的钎焊	Brazing of Non-metal Cutting Tools	388
11.8.3	硬质合金模具的钎焊	Brazing of Carbide Dies	389
11.8.4	测量器具硬质合金的钎焊	Brazing of Carbides Measuring Instruments	390
11.8.5	矿用采掘工具的钎焊	Brazing of Excavating Tools Used in Mining	390
11.8.6	破碎工具的钎焊	Brazing of Fragmentation Tools	391
11.8.7	硬质合金钎具的钎焊	Brazing of Carbide Used in Rock Bit Drill	392
11.8.8	盾构机硬质合金工具钎焊	Brazing of Carbides Tools Used in Shield Tunneling Machine	395
11.8.9	眼镜板的钎焊	Brazing of Wear-Resisting Plate	396
11.8.10	硬质合金捣镐的钎焊	Brazing of Beater Pick	396
11.8.11	硬质合金修井工具的钎焊	Brazing of Work-over Tools	397
	参考文献	References	398
第12章	金刚石工具的钎焊	Chapter 12 Brazing of Diamond Tools	400
12.1	概述	Introduction	400
12.1.1	金刚石及其分类	Diamond and its Classification	400
12.1.2	金刚石的性能和用途	Properties and Applications of Diamond	401
12.1.3	常用金刚石工具简介	Brief Introduction of Usual Diamond Tools	403
12.1.4	金刚石及金刚石工具的钎焊性	Brazability of Diamond and Diamond Tools	404
12.2	金刚石工具的钎焊特点	Brazing Characteristics of Diamond Tools	405
12.2.1	金刚石工具的钎焊方法	Brazing Methods for Diamond Tools	405
12.2.2	金刚石工具的钎焊温度	Brazing Temperature of Diamond Tools	406
12.2.3	金刚石工具的钎缝强度	Strength of Brazed Joints in Diamond Tools	407
12.2.4	单晶金刚石及单层金刚石工具的钎焊	Brazing of Single Crystal Diamond and Single Layer Diamond Tools	409
12.2.5	PCD和PDC的钎焊	Brazing of PCD and PDC	410