

焊接手册

材料的焊接

第2版

2

中国机械工程学会焊接学会 编

《焊接手册》是由焊接学会在全国范围内组织专家编著的一部综合性专业工具书，是学会为生产服务的具体体现。对手册内容的不断充实、完善是学会的长期工作任务。此次修订即第2版，是在第1版的基础上，依然保持内容选材广泛、突出手册的实践性、准确性、可靠性等特点；采纳近几年国内外焊接生产技术飞速发展的成果，新颁布的国内外标准。与第1版相同，全套手册共计3卷：（焊接方法及设备；材料的焊接；焊接结构），本书为其中的第2卷。

本卷共分5篇23章，主要内容包括：材料焊接性基础、铁与钢、有色金属、异种材料、新型材料的焊接。在表达方式上力求实用、精练、形象。一般按生产的需要提供母材性能及焊接特点、焊接材料、焊接工艺、缺欠及防止，特别强调给出并分析生产实例，使手册更为实用。

《焊接手册》的读者对象是以各个工业部门中从事焊接生产的工程技术人员为主，但同时这部手册对于焊接科研、设计和教学人员也是一部解决实际问题时必备的工具书。

图书在版编目（CIP）数据

焊接手册. 第2卷, 材料的焊接 / 中国机械工程学会焊接学会编. —
2版. —北京: 机械工业出版社, 2001.8
ISBN 7-111-03271-3

I. 焊... II. 中... III. ①焊接—技术手册②金属材料—焊接—技术手册③非金属材料—焊接—技术手册 IV. TG4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 042387 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 武江 周国萍

封面设计: 姚毅

责任印制: 路琳

中国建筑工业出版社密云印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 7 月第 2 版第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·30.625 印张·2 插页·1588 千字

28021—33020 册

定价: 78.00 元

本书内容如有更改或与实际操作不符, 恕不另行通知
凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

MA 76/06

《焊接手册》第2版 编委会

主 任 宋天虎

副主任 陈剑虹 吴 林 陈丙森

邹增大 单 平 崔树森

顾 问 潘际銮 斯重遥 田锡唐 关 桥

委 员 殷树言 刘金合 陈善本 周昭伟 任家烈

张修智 史耀武 苏 毅 陈祝年

《焊接手册》第2版第2卷编审者名单

主 编

陈剑虹 甘肃工业大学 教授

副主编

周昭伟

哈尔滨焊接研究所
教授级高级工程师

任家烈

清华大学
教 授

张修智

哈尔滨工业大学
教 授

作 者 审 者

(编审者按姓氏汉语拼音顺序排列)

包芳涵

清华大学
教 授

陈晓风

中国科学院金属研究所
研究员

陈裕川

上海市焊接协会
副秘书长、高级工程师

成炳煌

哈尔滨焊接研究所
教授级高级工程师

邓 键

上海斯米克焊材有限公司
教授级高级工程师

杜 兵

哈尔滨焊接研究所
教授级高级工程师

董祖珏

哈尔滨焊接研究所
教授级高级工程师

冯吉才

哈尔滨工业大学
教 授

胡永明

浙江大学高聚物工程公司
高级工程师

康 慧

北京航空航天大学
教 授

刘效方

北京航空材料研究院
研究员

牛济泰

哈尔滨工业大学
教 授

钱百年

中国科学院金属研究所
研究员

钱乙余

哈尔滨工业大学
教 授

孙大谦

吉林工业大学
教 授

施雨湘

武汉大学动力与机械学院材
料工程系
教 授

谭长瑛

哈尔滨焊接研究所
教授级高级工程师

王昱成

哈尔滨焊接研究所
高级工程师

王 钊

上海交通大学
教 授

王者昌

中国科学院金属研究所
研究员

武传松

山东大学材料连接技术研究所
教 授

熊第京

北京工业大学材料学院
教 授

益小苏

北京航空材料研究院
教 授

张显辉

哈尔滨焊接研究所
教授级高级工程师

张修智

哈尔滨工业大学
教 授

章应霖

武汉水利电力大学
教 授

张友寿

中国工程物理研究院
副研究员

张文钺

天津大学材料学院
教 授

周万盛

航天总公司 703 所
研究员

周 宣

华中科技大学
副教授

周振丰

吉林工业大学
教 授

《焊接手册》第1版第2卷编审者名单

主 编

斯重遥 中国科学院金属研究所 研究员

副 主 编

周振丰 吉林工业大学 教授

钱百年 中国科学院金属研究所 副研究员

作 者 审 者

(编审者按姓氏汉语拼音顺序排列)

包芳涵

清华大学
教 授

陈伯鑫

清华大学
教 授

陈沛生

机电部第12研究所
高级工程师

陈晓风

中国科学院金属研究所
研究员

陈裕川

机电部哈尔滨锅炉厂
高级工程师

陈忠孝

大连铁道学院
教 授

段世驯

航空航天部621研究所
研究员级高级工程师

郝世海

中国有色新金属公司
高级工程师

何康生

核工业部二院
高级工程师

黄文哲

机电部哈尔滨焊接研究所
教授级高级工程师

金恒昀

劳动人事部锅炉压力容器检测中心
高级工程师

刘云平

机电部第12研究所
高级工程师

刘世胄

广州有色金属研究院
教授级高级工程师

彭高峨

重庆大学
教 授

彭日辉

装甲兵工程学院
教 授

钱乙余

哈尔滨工业大学

教授

任家烈

清华大学

教授

谭长琰

机电部哈尔滨焊接研究所

教授级高级工程师

王 钊

上海交通大学

教授

王者昌

中国科学院金属研究所

副研究员

信英华

吉林工业大学

副教授

益小苏

浙江大学

教授

于尔靖

中国科学院金属研究所

研究员

雅文萃

航空航天部 703 研究所

高级工程师

郑恩贵

大连铁道学院

教授

郑笔康

中国科学院金属研究所

副研究员

张文钺

天津大学

教授

张修智

哈尔滨工业大学

教授

张志明

哈尔滨工业大学

教授

周昭伟

机电部哈尔滨焊接研究所

教授级高级工程师

责任编辑 武 江 方婉莹

第 2 版 序

古往今来，逢盛世修典编籍昭祥瑞，中国机械工程学会焊接分会恭循此例，于是，就有了这一部集百家智慧精心修订而成的《焊接手册》（第 2 版）。

回溯 20 世纪 90 年代初，来自全国近 200 名焊接工程技术专家齐心协力编撰了《焊接手册》（第 1 版），填补了我国焊接学科大型综合性工具书的空白，了却了几代焊接工程技术人员的夙愿，此善举博得了海内外读者的广泛称颂。此次修订再版更是中国机械工程学会焊接分会奉献给新世纪的一份厚礼。

中国改革开放步伐的突飞猛进和社会主义现代化建设的日新月异对作为现代先进制造技术之一的焊接技术提出了更高的要求，为我国焊接技术水平以及焊接生产能力的提高建立了一个良好的平台，同时也为我国焊接工程界跻身于世界先进焊接强国行列奠定了可靠的基础。在上一世纪最后十年间，焊接技术在我国国民经济建设各个领域的应用在广度和深度方面均产生了质的飞跃，呈现出新的群雄并存、共同繁荣的新格局：焊接机械化、自动化水平不断提高，具有高参数、高寿命、大型化、超微细等特征的焊接制品的不断出现；焊接结构设计革新程度迅速提升；焊接新工艺、新方法投入生产实际应用周期大为缩短；高效优质焊接材料、焊接设备系列化和国产化均攀上新台阶；焊接标准化体系日趋完整；合资和外资企业在中国市场上日益活跃，有力地推进了中国焊接技术与生产融入国际化发展的进程。

有鉴于此，及时全面修订、充实、完善《焊接手册》（第 1 版）的内容，使其真正成为广大焊接工作者不可或缺的工具书，从而全面满足现代焊接技术研发工作和生产实际的需要，就成为摆在中国机械工程学会焊接分会面前一项紧迫而必要的工作。令人欣慰的是我们没有辜负各

界同行的期望与嘱托，在较短的时间里完成了这一宏大的修订工作。

第2版《焊接手册》共分3卷，约500万字。在充分汲取国外先进经验、全面采纳国内外最新技术标准的基础上，完整展示了近十年来我国焊接工程技术领域的最新技术成就，全面总结了当今最新的焊接基础知识，包括焊接理论基础、焊接方法与设备、焊接自动化、各种材料的焊接、焊接结构的设计、生产、检验、安全评定、劳动安全与卫生等，并着意提供了焊接技术在各行各业的生产实际应用范例。焕然一新的《焊接手册》（第2版）学科布局齐全，内容丰富翔实，数据实用可靠，图文并茂，生动活泼，既是我国焊接技术文库中的一部恢弘巨著，又是一部具有极强实用性的工具书。我们有理由相信，新版手册将为我国焊接技术的蓬勃发展发挥不可替代的独特的作用。

中国机械工程学会焊接分会荣幸邀请到200余位来自大江南北的杰出专家学者加盟手册的修订工作，可谓群贤毕至，少长咸集。他们以认真负责的精神，一丝不苟的态度，科学严谨的作风，忘我地投入手册的修订工作中去。这沉甸甸的三卷手册凝聚着所有编、审、校人员的心血与汗水，是他们辛勤劳动的结晶。我谨代表中国机械工程学会暨焊接分会向所有参与手册修订工作的专家学者表示衷心的感谢。我还要借此机会，向所有给予手册修订出版以大力支持的单位与个人表示衷心的感谢。我更要向所有使用这部手册的广大读者和工程技术人员致以崇高的敬意和真诚的谢意，你们的信任和鼓励过去是、现在是、今后仍将是追求更高技术境界的强大动力。

中国机械工程学会
秘书长



2001年5月28日

第 2 版第 2 卷 前言

《焊接手册》第 2 卷自第 1 版 1992 年出版以来,为我国焊接工作者广泛应用,对焊接生产起了重要的、积极的推动作用。

近 10 年来,由于各种新技术的带动,新材料、新工艺、新设备的应用及信息技术在各个方面的渗入,使焊接技术得到了很大的发展,为了适应 21 世纪工业发展的需要,以最新的技术指导我国焊接生产,焊接学会决定对焊接手册进行修订。

这次修订的指导思想是:突出焊接手册的实践性,在原手册的基础上,采纳近 10 年国内外焊接生产技术飞速发展得到的成果,以新颁布的标准进行修订,使《焊接手册》能以当前的焊接制造技术水平指导生产实践,为此强调下面 5 个方面:①实践性;②先进性;③准确性;④广泛的覆盖性;⑤精练、准确和形象的表达方式。在保留原手册的框架和优秀内容的基础上,要求修订原手册内容 1/3 以上。

手册第 2 卷的修订遵照上述原则在保留了原版的总体框架的基础上进行了修订。

在章节安排上考虑到高校专业结构的改革,今后的读者可能未经过焊接专业的系统学习,有必要增加材料焊接基础知识,因而加强了第 1 篇材料焊接性基础,增设了焊接热过程和焊接缺欠两章,并把原焊接熔池凝固一章扩展为焊接冶金,使体系更为完整。

为了更好的反映新型材料焊接的技术发展和及时的指导生产技术,本版把原版第 5 篇非金属材料的焊接修订为新型材料的焊接,把原第 4 篇中的陶瓷与金属的焊接修改为陶瓷及陶瓷与金属的焊接一章,并增设了复合材料的焊接一章。

在各章节内容修订上,特别强调了实践性和先进性,要求从切实指导焊接生产的角度选择当前最先进的技术内容,包括各种新型材料和相

应的焊接技术，如在低合金钢的焊接中增加了石油天然气管道用 TMCP 钢的内容，耐热钢中增加 9CrMoWVNb 钢种的内容，不锈钢增加了双相钢内容，稀贵合金中增加了钎焊接的内容，铝镁合金一章中增加了铝-锂合金内容等。其它各章节新材料内容也都有增加，特别是引进新颁布的国内外标准和与其相应的新技术。在内容上同时要求准确和广泛的覆盖，以满足实际生产的需要，尽力体现全国焊接学会组织编写手册的权威性。在表达方式上要求实用、精练、形象，一般按生产的需要提供母材性能及焊接特点、焊接材料、焊接工艺、缺欠及防止，特别强调给出并分析生产实例，使手册更为实用。

第 2 卷修订聘请了三位国内焊接知名专家担任副主编，周昭伟教授负责铁与钢的焊接和异种材料的焊接两篇的主编工作；张修智教授负责有色金属焊接一篇的主编工作；任家烈教授负责新型材料焊接一篇的主编工作；本人承担材料焊接性基础一篇的主编工作。

各个章节的编写和审查都聘请了有深厚的理论基础和有长期、丰富的实践经验的相关领域专家承担。从章节设定到内容安排，各位主编和编者都进行了反复的研究，编写者进行了近二年精心地编写，编写内容经过审阅者和副主编的认真审查，反复磋商予以定稿。最后经主编进行了统审。经过编审者三年辛勤劳动完成了本卷修订工作。

《焊接手册》第 2 卷的修订，是在原版基础上进行的，继承了原版的总体框架和当前仍采用的技术内容，在此对原版的主编斯重遥教授，副主编周振丰、钱伯年教授及全体编审人员表示衷心的感谢。

本卷的修订工作由于种种主客观因素的限制必然存在许多不足之处，诚恳希望广大读者能提出批评建议，使今后手册的编写能更完善。

主 编

陈剑虹

2001 年 4 月

目 录

第2版序

第2版第2卷前言

第1篇 材料的焊接性基础

第1章 焊接热过程	3	2.2.1 焊接熔池凝固过程的特点	58
1.1 焊接热过程的特点	3	2.2.2 焊缝金属的结晶形态	60
1.2 焊接热源	3	2.2.3 焊缝金属的显微组织与性能	68
1.2.1 焊接热源的种类及其特点	3	2.2.4 焊接熔合区及其特性	77
1.2.2 焊接热效率	4	参考文献	79
1.2.3 焊件上的热量分布	5	第3章 焊接热影响区组织转变及其性能变化	81
1.3 焊接温度场	6	3.1 概述	81
1.3.1 焊接传热的基本定律	6	3.1.1 焊接热影响区的形成	81
1.3.2 热传导问题的数学描述	7	3.1.2 影响焊接热影响区组织和性能的主要因素	81
1.3.3 典型的焊接温度场	9	3.2 固态无相变材料的焊接热影响区组织和性能变化特点	82
1.3.4 影响焊接温度场的主要因素	14	3.3 固态有相变材料的焊接热影响区组织和性能变化特点	84
1.4 焊接热循环	16	3.3.1 有同素异构转变的纯金属和单相合金的焊接热影响区组织和性能变化特点	84
1.4.1 焊接热循环的主要参数	16	3.3.2 有同素异构转变的多相合金的焊接热影响区组织和性能变化特点	85
1.4.2 多层焊接热循环的特点	23	3.3.3 无同素异构转变的多相合金的焊接热影响区组织和性能变化特点	107
1.4.3 脉冲焊焊接热循环的特点	24	3.4 焊缝与热影响区之间有强烈扩散时热影响区的组织和性能变化特点	111
1.5 焊接热过程的数值模拟	26	参考文献	114
1.5.1 数值模拟的基本概念	26	第4章 焊接缺欠	115
1.5.2 焊接热传导的有限元分析	27	4.1 概述	115
1.5.3 焊接熔池流场与热场的数值模拟结果简介	29	4.1.1 焊接缺欠与焊接缺陷的定义	115
参考文献	31		
第2章 焊接冶金	33		
2.1 焊接化学冶金	33		
2.1.1 焊接化学冶金的特殊性	33		
2.1.2 焊接区内的气体和焊接熔渣	36		
2.1.3 焊接区内金属、气体与熔渣三相间的相互作用	43		
2.1.4 焊缝金属的合金化及其成分控制	54		
2.2 焊接熔池的凝固及焊缝相变组织	58		

4.1.2 焊接缺欠的分类	115	5.2.1 工艺焊接性的间接预测法	152
4.2 焊缝金属中的偏析和夹杂物	115	5.2.2 工艺焊接性焊接裂纹试验 方法	158
4.2.1 焊缝中的偏析	115	5.3 使用焊接性试验方法	173
4.2.2 焊缝中的夹杂物	116	5.3.1 焊接接头力学性能试验	173
4.3 焊缝中的气孔	117	5.3.2 焊接接头抗脆断性能试验	176
4.3.1 焊缝中气孔的分类	117	5.3.3 焊接接头疲劳与动载性能 试验	179
4.3.2 焊缝中气孔形成的机理	118	5.3.4 焊接接头抗腐蚀性能试验	180
4.3.3 影响焊缝形成气孔的因素	118	5.3.5 焊接接头高温性能试验	182
4.3.4 防止焊缝形成气孔的措施	120	5.4 焊接热、应力、应变模拟试验 方法	183
4.4 焊接裂纹	122	5.4.1 焊接热、应力、应变模拟 试验原理	183
4.4.1 焊接裂纹的分类	122	5.4.2 焊接热、应力、应变模拟 试验装置	183
4.4.2 焊接热裂纹	124	5.4.3 焊接热、应力、应变模拟 试验方法的应用	185
4.4.3 焊接冷裂纹	132	参考文献	187
4.4.4 层状撕裂	138		
4.4.5 再热裂纹	142		
4.4.6 应力腐蚀裂纹	144		
参考文献	148		
第5章 金属焊接性及其试验方法	150		
5.1 金属焊接性定义及其试验方法	150		
5.2 工艺焊接性试验方法	152		

第2篇 铁与钢的焊接

第6章 碳钢的焊接	191	6.5 中碳钢的焊接	222
6.1 碳钢的种类、标准与性能	191	6.5.1 中碳钢的焊接性	222
6.1.1 概述	191	6.5.2 焊接材料的选用	223
6.1.2 普通碳素结构钢	191	6.5.3 中碳钢焊接工艺要点	224
6.1.3 优质碳素结构钢	193	6.6 高碳钢的焊接	224
6.1.4 专门用途碳素结构钢	194	6.6.1 高碳钢的焊接性	224
6.1.5 碳素铸钢	197	6.6.2 焊接材料的选用	224
6.2 碳钢用焊接材料	197	6.6.3 高碳钢焊接工艺要点	224
6.2.1 电弧焊焊条	197	6.7 碳钢焊接举例	224
6.2.2 埋弧焊焊丝和焊剂的配合	208	6.7.1 船体焊接	225
6.2.3 气体保护电弧焊用碳钢焊丝	211	6.7.2 大型钢铁企业重型装置及厂房 结构安装焊接	227
6.2.4 电渣焊用焊丝及焊剂	214	6.7.3 压力容器制造、锅炉制造以及 电站安装工程中的焊接	228
6.3 碳钢的焊接性	215	6.7.4 高频焊	234
6.4 低碳钢的焊接	219	6.7.5 其他低碳钢产品焊接	234
6.4.1 低碳钢的焊接性	219	6.7.6 铁道钢轨焊接	234
6.4.2 焊接材料的选用	220		
6.4.3 低碳钢在低温下的焊接	222		

6.7.7 中碳钢产品的焊接	235	7.7.1 耐候钢及耐海水腐蚀用钢种类、 用途、标准和性能	295
6.7.8 高碳钢产品的焊接	236	7.7.2 耐候钢及耐海水腐蚀用钢的 焊接性	297
6.7.9 碳钢产品的钎焊	236	7.7.3 耐候钢及耐海水腐蚀用钢焊接 工艺	297
6.7.10 其他焊接方法	237	7.8 低合金镀层钢的焊接	298
参考文献	237	7.8.1 低合金镀层钢的种类、用途、 标准和性能	298
第7章 低合金钢的焊接	239	7.8.2 镀锌钢及其焊接	298
7.1 概述	239	7.8.3 渗铝钢的焊接	301
7.2 低合金钢用焊接材料	239	参考文献	303
7.2.1 焊条	239	第8章 耐热钢的焊接	305
7.2.2 气体保护焊焊丝及气体	248	8.1 概述	305
7.2.3 埋弧焊及电渣焊用焊丝焊剂	254	8.1.1 耐热钢的种类	305
7.2.4 低合金钢用焊接材料的选用 原则	258	8.1.2 耐热钢的应用范围	305
7.3 低合金高强钢的焊接	258	8.1.3 对耐热钢焊接接头性能的基本 要求	305
7.3.1 低合金高强钢的种类、用途、 标准和性能	258	8.2 低合金耐热钢的焊接	307
7.3.2 低合金高强度钢的焊接性	264	8.2.1 低合金耐热钢的化学成分， 力学性能和热处理状态	307
7.3.3 低合金高强度钢的焊接工艺	267	8.2.2 低合金耐热钢的焊接特点	310
7.3.4 典型钢种的焊接及实例	270	8.2.3 低合金耐热钢的焊接工艺	312
7.4 低碳低合金调质钢的焊接	272	8.2.4 低合金耐热钢接头性能的 控制	318
7.4.1 低碳低合金调质钢的种类、 用途、标准和性能	272	8.2.5 低合金耐热钢焊接实例	321
7.4.2 低碳低合金调质钢的焊接性	275	8.3 中合金耐热钢的焊接	324
7.4.3 低碳低合金调质钢焊接工艺	278	8.3.1 中合金耐热钢的化学成分和 力学性能	324
7.4.4 典型钢种的焊接实例	281	8.3.2 中合金耐热钢的焊接特性	327
7.5 中碳调质钢的焊接	282	8.3.3 中合金耐热钢的焊接工艺	330
7.5.1 中碳调质钢的种类、用途、 标准和性能	282	8.3.4 中合金耐热钢焊接接头的 力学性能	334
7.5.2 中碳调质钢的焊接性	284	8.3.5 中合金耐热钢焊接实例	337
7.5.3 中碳调质钢焊接工艺	286	8.4 高合金耐热钢的焊接	339
7.5.4 典型钢种的焊接及焊接实例	289	8.4.1 高合金耐热钢的化学成分和 力学性能	339
7.6 低合金低温用钢的焊接	291	8.4.2 高合金耐热钢的焊接特性	348
7.6.1 低合金低温用钢的种类、 用途、标准和性能	291	8.4.3 高合金耐热钢的焊接工艺	353
7.6.2 低合金低温用钢的焊接性	291	8.4.4 高合金耐热钢接头的性能	364
7.6.3 低合金低温用钢焊接工艺	291		
7.6.4 典型低合金低温钢的焊接及 实例——3.5%镍钢的焊接	294		
7.7 耐候钢及耐海水腐蚀用钢的 焊接	295		

8.4.5 高合金耐热钢焊接实例	368	9.7.2 析出硬化不锈钢的焊接特点 ...	424
参考文献	369	9.7.3 焊接工艺方法与焊接材料 的选择	426
第9章 不锈钢的焊接	371	9.7.4 产品焊接实例	426
9.1 不锈钢的概述	371	9.8 不锈钢的钎焊	427
9.1.1 不锈钢的种类、化学成分及其 用途	371	9.8.1 不锈钢钎焊的应用领域	427
9.1.2 不锈钢的组织特点	377	9.8.2 不锈钢钎焊特性	427
9.1.3 不锈钢的物理性能和力学性能	378	9.8.3 钎料	428
9.1.4 不锈钢的耐腐蚀性能	383	9.8.4 钎剂	431
9.2 不锈钢的焊接方法与焊接材料 ...	385	9.8.5 大间隙钎焊	431
9.2.1 不锈钢的焊接方法	385	9.8.6 不锈钢钎焊方法及工艺	432
9.2.2 不锈钢焊接用填充材料	385	参考文献	434
9.3 奥氏体不锈钢的焊接	391	第10章 其它高合金钢的焊接	435
9.3.1 奥氏体不锈钢的类型与应用 ...	391	10.1 中、高合金低温用钢与无磁钢 的焊接	435
9.3.2 奥氏体不锈钢的焊接特点	391	10.1.1 概述	435
9.3.3 焊接方法与焊接材料的选择 ...	395	10.1.2 Ni9 与 Ni5 钢的焊接	435
9.3.4 产品焊接实例	397	10.1.3 0Cr21Ni6Mn9N 低温无磁钢 的焊接	443
9.4 马氏体不锈钢的焊接	405	10.1.4 15Mn26Al4 低温钢的焊接	445
9.4.1 马氏体不锈钢的类型与应用 ...	405	10.2 马氏体时效钢的焊接	447
9.4.2 马氏体不锈钢的焊接特点	405	10.2.1 概述	447
9.4.3 焊接方法与焊接材料选择	407	10.2.2 化学成分	447
9.4.4 马氏体不锈钢的焊接工艺 要点	408	10.2.3 合金元素的作用	449
9.4.5 产品焊接实例	410	10.2.4 热处理	450
9.5 铁素体不锈钢的焊接	411	10.2.5 力学性能	450
9.5.1 铁素体不锈钢的类型与应用 ...	411	10.2.6 物理性能	450
9.5.2 铁素体不锈钢的焊接特点	411	10.2.7 焊接性	451
9.5.3 焊接工艺与焊接材料选择	414	10.2.8 焊接材料	452
9.6 铁素体-奥氏体双相不锈钢的 焊接	415	10.2.9 焊接方法和焊接工艺	453
9.6.1 铁素体-奥氏体双相不锈钢的 特点与应用	415	10.2.10 焊接应用实例	455
9.6.2 双相不锈钢的化学成分、 力学性能及组织特点	415	10.3 HP9Ni-4Co 钢的焊接	456
9.6.3 双相钢的焊接特点	418	10.3.1 概述	456
9.6.4 焊接工艺方法与焊接材料	419	10.3.2 化学成分	456
9.6.5 各类型双相钢的焊接要点	422	10.3.3 合金元素的作用	456
9.6.6 产品焊接实例	423	10.3.4 热处理工艺及其性能	456
9.7 析出硬化不锈钢的焊接	424	10.3.5 焊接性	457
9.7.1 析出硬化不锈钢的类型与应用	424	10.3.6 焊接方法及其焊接工艺	457
		10.4 奥氏体高锰钢的焊接	457
		10.4.1 概述	457

10.4.2 化学成分	458	11.2.3 已变质的铸铁不易熔合	478
10.4.3 热处理和性能	460	11.3 灰铸铁的焊接	478
10.4.4 物理性能	461	11.3.1 同质(铸铁型)焊缝的 熔化焊	478
10.4.5 焊接性	461	11.3.2 异质(非铸铁型)焊缝的 电弧焊	485
10.4.6 焊接方法和焊接材料	462	11.3.3 钎焊	493
10.4.7 轧制高锰钢的焊接	465	11.3.4 喷焊	494
10.4.8 高锰钢与碳钢或低合金钢的 焊接	465	11.4 球墨铸铁的焊接	495
10.4.9 应用实例	465	11.4.1 铁素体球墨铸铁的焊接	495
参考文献	466	11.4.2 珠光体球墨铸铁的焊接	497
第 11 章 铸铁的焊接	467	11.4.3 奥氏体-贝氏体球墨铸铁的 焊接	498
11.1 概述	467	11.5 蠕墨铸铁、白口铸铁及可锻 铸铁的焊接	499
11.1.1 铸铁的种类及性能	467	11.5.1 蠕墨铸铁的焊接	499
11.1.2 铸铁焊接的应用及铸铁焊接 方法简介	471	11.5.2 白口铸铁的焊接	499
11.2 铸铁的焊接性	472	11.5.3 可锻铸铁的焊接	501
11.2.1 铸铁焊接接头易形成白口铸铁 与高碳马氏体组织	473	11.6 铸铁与钢的焊接	501
11.2.2 铸铁焊接接头易形成冷裂纹 与热裂纹	475	参考文献	503

第 3 篇 有色金属的焊接

第 12 章 铝、镁及其合金的焊接	507	13.2.1 间隙元素沾污引起脆化	584
12.1 铝及铝合金的焊接	507	13.2.2 焊接相变引起的性能变化	585
12.1.1 概述	507	13.2.3 裂纹	587
12.1.2 铝及铝合金熔焊工艺技术	519	13.2.4 气孔	587
12.1.3 铝及铝合金点(缝)焊工艺	555	13.2.5 相对焊接性	588
12.1.4 铝及铝合金钎焊工艺技术	558	13.3 焊接材料和工艺	588
12.1.5 铝及铝合金焊接安全技术	569	13.3.1 焊接材料	588
12.2 镁及镁合金的焊接	570	13.3.2 焊前清理	588
12.2.1 镁及镁合金的种类成分和 性能	570	13.3.3 钨极氩弧焊	589
12.2.2 镁及镁合金的焊接特点	571	13.3.4 熔化极氩弧焊	591
12.2.3 镁及镁合金的焊接工艺	572	13.3.5 等离子弧焊接	591
12.2.4 镁及镁合金焊接安全技术	577	13.3.6 真空电子束焊	593
参考文献	577	13.3.7 激光焊	594
第 13 章 钛及其合金的焊接	580	13.3.8 闪光焊	594
13.1 概述	580	13.3.9 高频焊	594
13.2 钛及其合金的焊接性	584	13.3.10 摩擦焊	594
		13.3.11 扩散焊	595

13.3.12 扩散钎焊	595	14.2.9 等离子弧焊工艺	633
13.3.13 钎焊	596	14.2.10 电子束焊接工艺	634
13.3.14 电阻点焊和缝焊	596	14.3 铜及铜合金的压力焊	634
13.4 焊缝缺陷及补焊工艺	597	14.3.1 电阻点焊与缝焊	635
13.4.1 气孔	597	14.3.2 闪光焊及摩擦焊	636
13.4.2 裂纹	598	14.3.3 冷压焊	637
13.4.3 未焊透	598	14.3.4 扩散焊	638
13.4.4 钨夹杂	598	14.4 铜及铜合金的钎焊	638
13.4.5 焊缝背面回缩	598	14.4.1 铜及铜合金的钎焊性	638
13.4.6 保护不良引起的缺陷	598	14.4.2 硬钎焊	639
13.4.7 补焊工艺	599	14.4.3 软钎焊	641
13.5 焊后热处理	599	14.5 其他焊接方法	642
13.5.1 退火	599	参考文献	642
13.5.2 淬火-时效处理	600	第 15 章 高温合金的焊接	644
13.5.3 时效处理	600	15.1 高温合金的一般介绍	644
13.6 钛及钛合金的焊接实例	600	15.1.1 高温合金及其强化	644
13.6.1 压力容器的焊接	600	15.1.2 高温合金的化学成分	645
13.6.2 管材对接焊	602	15.1.3 高温合金的热处理制度及 性能	645
13.6.3 钛钢复合板焊接	602	15.1.4 高温合金的应用	652
13.6.4 管板焊接	605	15.2 高温合金的焊接性	653
13.6.5 30 万吨合成氨设备用工业 纯钛焊接	605	15.2.1 高温合金的裂纹敏感性	653
13.6.6 水翼船中部翼支柱焊接	605	15.2.2 接头组织的不均匀性	656
参考文献	607	15.2.3 焊接接头的等强性	658
第 14 章 铜及铜合金的焊接	608	15.3 高温合金的电弧焊	658
14.1 概述	608	15.3.1 钨极惰性气体保护电弧焊	658
14.1.1 常用铜和铜合金及其分类	608	15.3.2 熔化极惰性气体保护电弧焊	665
14.1.2 各种合金元素在铜中的溶解 度及国内外牌号对照表	608	15.3.3 等离子弧焊	666
14.1.3 铜及铜合金	610	15.4 高温合金的电子束焊和激光焊	666
14.2 铜及铜合金的熔焊	612	15.4.1 电子束焊	666
14.2.1 铜及铜合金的焊接性	612	15.4.2 激光焊	669
14.2.2 焊接方法的选择	617	15.5 高温合金的电阻焊和摩擦焊	669
14.2.3 焊接材料的选择	618	15.5.1 电阻点焊	669
14.2.4 焊接前后的处理及合理的 接头形式	621	15.5.2 电阻缝焊	671
14.2.5 焊条电弧焊工艺	622	15.5.3 闪光焊	674
14.2.6 埋弧焊工艺	623	15.5.4 摩擦焊	675
14.2.7 钨极气体保护焊工艺	626	15.6 高温合金的钎焊和扩散焊	677
14.2.8 熔化极气体保护焊工艺	629	15.6.1 钎焊	677
		15.6.2 大间隙钎焊工艺	684
		15.6.3 固相扩散焊	685