

# 焊接手册

材料的焊接

2



中国机械工程学会焊接学会 编



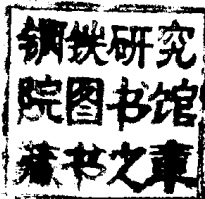
机械工业出版社

# 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



机 械 工 业 出 版 社

222318

(京)新登字054号

《焊接手册》是由中国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。手册内容选材广泛，具有较强的实用性、科学性、可靠性和先进性。全书共计三卷：第1卷 焊接方法及设备；第2卷 材料的焊接；第3卷 焊接结构。本书为其中的第2卷。

本卷共分5篇20章，插图784幅。主要内容包括材料的焊接性基础，铁与钢、有色金属、异种材料和非金属材料的焊接。本卷以材料的焊接性为理论基础，对各类材料的焊接工艺进行了全面而深入地论述。系统地介绍了国产焊条、焊剂与焊丝等焊接材料及其选配原则。为了联系生产实际还列举了各类材料采用不同焊接工艺的实例，包括近年来国内实际产品的制造与工程中的先进工艺，对焊接生产有重要指导意义。

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。

## 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

责任编辑：武江 方婉莹 责任校对：丁丽丽

封面设计：刘代 版式设计：霍永明

责任印制：卢子祥

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出字第117号)

人民交通出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张44<sup>3</sup>/<sub>4</sub>·插页2·字数1385千字

1992年12月北京第1版·1992年12月北京第1次印刷

印数 0 001—8 020·定价：30.00元

ISBN 7-111-03271-3/TG·713

# 《焊接手册》第2卷编审者

主 编 斯重遥

沈阳金属研究所研究员

副 主 编 周振丰

吉林工业大学教授

钱 百 年

沈阳金属研究所副研究员

(以下按姓氏拼音顺序)

包芳涵

清华大学

副教授

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

沈阳金属研究所

研究员

陈裕川

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

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

谭长焜

哈尔滨工业大学

教授级高级工程师

王 钺

上海交通大学

教授

王者昌

沈阳金属研究所

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

郑恩贵  
大连铁道学院  
教授

张修智  
哈尔滨工业大学  
教授

于尔靖  
沈阳金属研究所  
研究员

郑笔康  
沈阳金属研究所  
副研究员

张志明  
哈尔滨工业大学  
教授

雅文萃  
航空航天部703研究所  
高级工程师

张文钺  
天津大学  
教授

周昭伟  
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

## 序

机械制造业是国民经济的基础工业，它决定着整个国家的工业生产能力和水平；焊接技术则是机械制造业中的关键技术之一。例如很多工业产品以及能源工程、海洋工程、航空航天工程、石油化工工程等等，无不依靠机械制造业提供装备：对于各种压力容器、核反应堆器件、宇航运载工具等产品，如不采用焊接就不可能制造。我国的现代焊接科学技术是从新中国成立之后才起步的；随着国民经济的发展，它的进步极为迅速。建国初期，我国钢的年产量仅为数十万吨，40年后的今天已猛增至六千余万吨。据资料统计，工业发达国家一般钢产量的40%左右是经过焊接加工才成为工业产品的，由此亦可见焊接技术在工业生产中所起的作用。

目前，我国各地已普遍成立了高、中等焊接教育机构和焊接科研机构，焊接生产、科研和教育体系已在全国范围内建立起来，一支日益壮大的焊接生产、科研队伍已经形成，他们在为国民经济发展作出巨大努力的过程中积累了相当丰富的知识和经验。中国机械工程学会焊接学会自1962年成立以来，曾多次组织焊接科研成果与生产经验的交流活动以及学术论文、专著的出版工作。为了给焊接工作者在解决生产实际问题时提供系统的技术资料、减少不必要的重复性试验研究工作，焊接学会经过较长时间的酝酿，决定配合机械工业出版社的热加工系列手册出版规划，编写一套全面地总结这些经验、资料并适当反映现代国内外焊接科学技术水平的《焊接手册》。我们深信，这项编写工作将为实现机械电子工业部提出的“必须重视工艺，特别是热加工工艺水平的提高”的要求提供重要的条件。

焊接学会编辑出版委员会根据上述决定，筹备和组织了这项工作，对主编人选、读者对象、编写原则、篇幅、编例细则等进行了多次讨论，确定了下述事项。

《焊接手册》分为三卷编写、出版，其名称及主编为：

第1卷 焊接方法及设备，主编 潘际銮教授

第2卷 材料的焊接，主编 斯重遥研究员

第3卷 焊接结构，主编 田锡唐教授

三位主编均为国内外焊接界知名人士和学识渊博、经验丰富的老专家。

《焊接手册》的读者对象主要是从事焊接生产的工程技术人员。此外，本手册也可供从事焊接科研、设计和教学人员参考、使用。

《焊接手册》的编写原则是以总结国内生产实践经验为主，同时注意吸收国外先进经验。选材力求具有实用性、科学性、可靠性和先进性等特色。手册主要内容是介绍我国正在大量应用的焊接技术；对于国内已经应用的新技术、新工艺、新设备、新材料予以重点介绍；同时适当地介绍我国虽然还没有应用或刚开始应用，而在国外已行之有效的新技术。

本手册第一卷共6篇39章。其内容特点是焊接工艺与设备兼顾，原理与工艺(设备)密切联系，并提出了解决焊接工艺问题的基本途径，以期读者能正确选用焊接方法和设备。第一卷主要介绍各种焊接方法，包括电弧焊、电阻焊、高能束焊、钎焊以及较常用的其它焊接方法。此外还介绍了与焊接自动化技术有关的部分内容。

第二卷共5篇20章。主要包括材料的焊接性基础，铁与钢、有色金属、异种材料和非金属材料的焊接。本卷以材料的焊接性为理论基础，对各类材料的焊接工艺作了较全面而深入的论述，并对国产焊条、焊剂和焊丝等焊接材料及其选配原则进行了较系统的介绍。为了联系生产实际，还列举了各类材料采用不同焊接工艺的实例。

第三卷共3篇24章。第一篇介绍焊接结构的共性，包括焊接接头的应力集中、焊接应力和变形、焊接接头的力学性能和在高温腐蚀介质中的行为、焊接结构的脆性断裂、疲劳及其安全评定，基本焊接元件和接头的强度计算等。第二篇重点介绍焊接结构的设计，突出传力合理性和工艺性，并以多种实例说明。第三篇主要介绍与焊接结构生产有关的问题，包括典型结构的生产工艺、焊接生产机械化和自动化、焊接车间设计、生产组织和经济分析，焊接安全与劳动保护等。

本手册是建国40多年来由焊接学会组织编写的第一部综合性大型骨干工具书。参加编审者多达200余人，他们都是在各自专业领域中具有丰富学识和实践经验的专家。他们认真负责的态度、严谨的科学作风以及不分寒暑辛勤工作的忘我精神是保证高质量地完成这套手册编、审工作的基础。很多工矿企业、研究机构 and 高等学校鼓励、支持编审人员的工作并无偿地提供资料，为本手册总结经验创造了有利条件。机械电子工业部科技司和机械工业出版社给编写工作的有力支持和热情帮助，是完成本手册强有力的后盾。此外，还值得提出的是：焊接学会编辑出版委员会郭希烈同志，在确定主编人选、编审原则等重要事情的过程中，坚持保证手册质量的原则，始终关怀和支持本项工作；本手册的责任编辑方婉莹、武江同志在手册编写过程中做了大量深入细致的工作；机械电子部、机械工业出版社、湖北宜昌猴王焊接公司、北京燕山石化总公司建筑安装公司、上海电焊机厂、大庆石油管理局建筑材料公司、北京华光焊接工艺成套装备公司、大庆石油管理局焊接研究与培训中心、太原重型机器厂、中国人民解放军装甲兵工程学院、冶金部钢铁研究总院焊接研究室、内蒙古集宁电焊条厂、佳木斯市农业机械配件厂等单位，为焊接手册的编审工作提供了经费。我们谨向上述同志和单位表示衷心的感谢。

本手册内容涉及的范围非常广泛，参加编审工作的人员众多，编写时间短促，难免有不足之处，欢迎广大读者批评指正，以便再版时改进。

中国机械工程学会焊接学会

## 前 言

《焊接手册》第2卷材料的焊接，是在广泛收集国内数十年来各类材料的焊接生产实践和科研成果以及国外发表的资料与各国焊接手册的基础上编写的。

本卷以不同材料分章，用不同焊接工艺阐明各类材料的焊接。全卷共五篇二十章。第一篇“材料的焊接性基础”共三章，论述了焊接熔池凝固的全过程及其控制，焊接热影响区组织的转变，以及焊接性基本概念与试验方法。本篇是指导各类材料焊接的理论基础。第二篇“铁与钢的焊接”共六章，包括碳钢、低合金钢、耐热钢、不锈钢、其它高合金钢与铸铁的焊接。第三篇“有色金属的焊接”共七章，包括高温合金、镍基耐蚀合金、铜及其合金、铝、镁及其合金、钛及其合金、难熔金属与其它有色金属的焊接。以上两篇系统地论述了被焊材料的基本性能与焊接工艺。第四篇“异种材料的焊接”共三章，包括异种金属的焊接、金属材料堆焊、陶瓷与金属的连接。本篇介绍了异种金属不同组合的焊接性与工艺条件，堆焊材料与堆焊工艺以及主要用于电子工业的陶瓷与金属的连接工艺。第五篇“非金属材料的焊接”有“塑料的焊接”一章。该章论述了现代工业塑料力学性能的评定方法及焊接方法

本卷对各类材料的焊接工艺的论述全面而深入，系统地介绍了国产焊条、焊剂与焊丝等焊接材料与选配原则，各类材料的施焊工艺原则与工艺程序，列举了各类材料采用不同焊接工艺的实例，包括近年来国内实际产品制造与工程中的先进工艺，对焊接生产有重要指导意义。

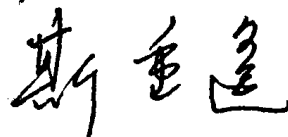
本卷内容新颖，介绍了近几年来发展的新理论、新材料与新工艺。例如焊接熔池的不平衡凝固的新理论，超高纯铁素体不锈钢与我国独创的15Mn26Al4超低温无磁钢等新材料的焊接，蠕墨铸铁与白口铸铁的焊接，这些内容在国外焊接手册中是没有的。全面介绍现代工业塑料的焊接在国内尚属首次。除了介绍常用的焊接工艺外，还介绍了先进的焊接工艺如脉冲惰性气体保护钨极电弧焊、等离子立焊、激光焊、电子束焊与扩散焊工艺等。

本卷对所收集的资料均经过认真核对。各章编写后又经过多次审查与修改，尽量做到数据可靠，论述正确。

本卷编写者与审阅者(见编、审者名单)都是国内有数十年焊接科研、教学与生产经验的教授与专家。他们为了写出一本具有我国特色的《焊接手册》，在繁重的本职工作下，认真负责、不辞辛劳地负起编审重任。经过三年多的时间，精心地完成了本卷的编写。

由于编写这本内容十分广泛又很重要的《焊接手册》第二卷、材料的焊接还是第一次，缺乏经验，有些资料难免收集不全，有些地方难免出差错，不足之处谨请各界广大读者批评指正，以期再版时更趋完善。

主编



1992年8月



## 本卷名词符号对照表

A——奥氏体	COD——裂纹张开位移(mm)
$A_{c1s}$ ——珠光体转变为奥氏体的开始转变温度( $^{\circ}\text{C}$ )	CST——临界应变速率(%)
$A_{c1f}$ ——珠光体转变为奥氏体的结束转变温度( $^{\circ}\text{C}$ )	$D$ ——扩散系数
$A_{KU}$ ——U型缺口冲击吸收功(J)	$D_L$ ——溶质扩散系数
$A_{KV}$ ——V型缺口冲击吸收功(J)	DBTT——塑性-脆性转变温度( $^{\circ}\text{C}$ )
$A_{KUS}$ ——时效后试样U型缺口冲击吸收功(J)	$d$ ——晶粒平均直径(mm)
$A_{KVS}$ ——时效后试样V型缺口冲击吸收功(J)	$d_e$ ——焊条或焊丝直径(mm)
$a_{KU}$ ——U型缺口冲击韧性值( $\text{J}/\text{cm}^2$ )	$E$ ——焊接线能量( $\text{J}/\text{cm}$ ) 弹性模量(MPa, GPa)电极电位(V)
$a_{KV}$ ——V型缺口冲击韧性值( $\text{J}/\text{cm}^2$ )	$E_a$ ——阳极电位(V)
$a_{KUS}$ ——时效后试样U型缺口冲击韧性值( $\text{J}/\text{cm}^2$ )	$E_c$ ——阴极电位(V)
$a_{KVS}$ ——时效后试样V型缺口冲击韧性值( $\text{J}/\text{cm}^2$ )	$E_i$ ——非均质形核能
B——贝氏体, 熔渣碱度	$E_p$ ——气泡非自发形核能
BL——下贝氏体	F——铁素体
Bu——上贝氏体	$F$ ——自由能, 气泡表面积
BTR——脆性温度区间	$f$ ——频率, 接头强度系数
$c$ ——比热容( $\text{J}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})$ ), 裂纹率(%) , 碳化物	$f_s$ ——短时抗拉强度系数
$CE_{IIW}$ ——国际焊接学会推荐的碳当量(%)	$f_p$ ——持久抗拉强度系数
$CE_N$ ——碳当量数(%)	$f_{ss}$ ——冲击吸收功系数
$C_{0.4(JIS)}$ ——日本JIS标准规定的碳当量(%)	FATT——断口准则脆性转变温度( $^{\circ}\text{C}$ )
$C_v$ ——U型缺口试样应变时效敏感系数(%)	FTE——落锤试验材料的弹性断裂转变温度( $^{\circ}\text{C}$ )
$C_v$ ——V型缺口试样应变时效敏感系数(%)	FTP——落锤试验材料的延性断裂转变温度( $^{\circ}\text{C}$ )
$C_o$ ——元素的平均浓度	$G$ ——温度梯度
$C_L$ ——元素在液相中的浓度	$G_L$ ——实际凝固温度
$C_s$ ——元素在固相中的浓度	[H]——扩散氢含量(mL/100g)
$C'_f$ ——出现铁素体的临界时间(s)	$h$ ——板厚(mm)
$C'_p$ ——出现珠光体的临界时间(s)	HB——布氏硬度
CCT图——连续冷却转变曲线	HV——维氏硬度
	HRC——洛氏硬度
	HAZ——焊接热影响区
	$I$ ——电流
	$J_{1c}$ ——延性断裂韧度( $\text{N}\cdot\text{mm}/\text{mm}^2$ )
	$K$ ——焊角高度(mm), 热扩散系数
	$K_p$ ——偏析度
	$K_I$ ——应力强度因子( $\text{N}/\text{mm}^{3/2}$ , $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ )

- $K_{Ic}$ ——平面应变断裂韧度  
( $N/mm^{3/2}$ ,  $MPa \cdot m^{1/2}$ )
- $K_{Isc}$ ——应力腐蚀的平面应变断裂韧度  
( $N/mm^{3/2}$ ,  $MPa \cdot m^{1/2}$ )
- $K_Q$ ——条件断裂韧度
- $L$ ——长度(mm)
- $L$ ——液相
- $l$ ——拘束度
- $M$ ——马氏体
- $M_s$ ——马氏体转变起始温度
- $M_f$ ——马氏体转变终了温度
- $m$ ——拘束系数
- MAG——熔化极活性气体保护焊
- MIG——熔化极氩弧焊
- $N$ ——循环次数
- NDT——落锤试验的材料无塑性转变温度
- $P$ ——载荷
- $P$ ——珠光体
- $P_c$ ——裂纹敏感性指数(%)
- $P_h$ ——富氢的裂纹敏感性指数(%)
- $P_{cm}$ ——化学成份的裂纹敏感性指数(%)
- $P_{HT}$ ——考虑有效扩散氢的裂纹敏感指数(%)
- $P_w$ ——裂纹敏感指数(%)
- $Q$ ——热能(J), 气体流量(L/min), 浸润角(°)
- $R$ ——电阻( $\Omega$ ), 结晶界面移动速度
- RRC——刚性拘束试验
- $S$ ——索氏体
- SAW——埋弧焊
- SMAW——手工电弧焊
- SHCCT图——模拟焊接热影响区连续冷却组织转变图
- $T$ ——托氏体, 温度(K)
- $t$ ——温度( $^{\circ}C$ )
- $T_d$ ——热分解温度
- $T_f$ ——粘态流动温度
- $T_g$ ——玻璃化转变温度
- $T_L$ ——液相线温度
- $T_M$ ——熔化温度
- $T_{max}$ ——焊接热循环峰值温度
- $T_b$ ——晶粒开始长大温度
- $t$ ——时间, 温度( $^{\circ}C$ )
- $t_f$ ——应力腐蚀试样的断裂时间
- $t_H$ ——焊接热循环的高温停留时间(s)
- $t_{8/5}$ —— $800 \sim 500^{\circ}C$ 的冷却时间(s)
- $t_{100}$ ——由峰值温度冷却到 $100^{\circ}C$ 时的冷却时间(s)
- $(t_{100})_{cr}$ ——由峰值温度冷却到 $100^{\circ}C$ 时的临界冷却时间(s)
- TIG——钨极氩弧焊
- TRC——拉伸拘束裂纹试验
- $Trs$ ——脆性转变温度
- $U$ ——电压(V)
- $vTrs$ ——变形特征准则脆性转变温度
- $\alpha$ ——线膨胀系数
- $\alpha$ ——铁素体(低温)
- $\varepsilon$ ——应变(%), 电极电位
- $\lambda$ ——导热系数, 热导率
- $\rho$ ——密度( $g/cm^3$ ) 电阻率( $\Omega \cdot m$ )
- $\sigma$ ——应力, 表面张力(N/m)
- $\sigma_b$ ——抗拉强度
- $\sigma_s$ ——屈服强度
- $\sigma_{cr}$ ——产生裂纹的临界应力
- $\sigma_w$ ——焊缝拘束应力
- $\psi$ ——断面收缩率(%)
- $\delta$ ——高温铁素体相
- $\delta$ ——伸长率(%)
- $\nu$ ——泊桑比
- $\delta_c$ ——脆性断裂临界COD值
- $\delta_{0.05}$ ——条件COD值
- $\delta_{ts}$ ——饱和启裂COD值
- $\delta_m$ ——最大载荷COD值
- $\omega_H$ ——加热速度( $^{\circ}C/s$ )
- $\omega_c$ ——冷却速度( $^{\circ}C/s$ )

# 目 录

序

前言

本卷名词符号对照表

## 第一篇 材料的焊接性基础

<b>第一章 焊接熔池的凝固</b> ..... 3	区特点.....26
第一节 熔池的凝固..... 3	一、有同素异构转变的纯金属和单相合金的焊接热影响区特点.....26
一、熔池的凝固..... 3	二、有同素异构转变的多相合金的焊接热影响区特点.....27
二、晶体的生长..... 4	三、无同素异构转变的多相合金的焊接热影响区特点.....50
第二节 溶质传输与晶体生长..... 5	第四节 焊缝与热影响区之间有强烈扩散时热影响区的组织变化特点.....55
一、溶质传输..... 5	参考文献.....57
二、溶质浓度分布与晶体生长的关系..... 6	<b>第三章 焊接性试验方法</b> .....59
三、组成过冷度与晶体生长的关系..... 8	第一节 概述.....59
第三节 组成过冷区与凝固组织的形态..... 9	第二节 工艺焊接性试验方法.....60
一、组成过冷区..... 9	一、工艺焊接性的间接估算法.....61
二、凝固组织的形态.....10	二、焊接裂纹敏感性试验方法.....64
三、焊缝金属凝固组织.....12	第三节 使用焊接性的试验方法.....82
第四节 凝固过程中的缺陷.....16	一、焊接接头力学性能试验.....82
一、结晶裂纹.....16	二、焊接接头抗脆断性能试验.....86
二、气孔.....16	三、焊接接头疲劳及动载试验.....92
三、夹渣.....17	四、焊接接头的抗腐蚀试验.....93
四、偏析.....18	五、焊接接头的高温性能试验.....95
第五节 焊接凝固组织的控制.....19	第四节 焊接热、应力、应变模拟试验方法.....96
一、调节焊接工艺参数.....19	一、焊接热、应力、应变模拟试验原理.....96
二、变质剂处理.....19	二、焊接热(应力、应变)模拟试验装置.....97
三、熔池搅拌效应.....20	三、焊接热(应力、应变)模拟试验方法的应用.....97
四、高能束扫描.....20	参考文献..... 100
参考文献.....21	
<b>第二章 焊接热影响区组织转变</b> .....22	
第一节 概述.....22	
一、焊接热影响区的形成.....22	
二、影响焊接热影响区的主要因素.....22	
第二节 固态无相变材料的焊接热影响区特点.....23	
第三节 固态有相变材料的焊接热影响	

## 第二篇 铁与钢的焊接

<b>第四章 碳钢的焊接</b> .....	103	<b>第五章 低合金钢的焊接</b> .....	146
第一节 概述 .....	103	第一节 概述 .....	146
第二节 碳钢 .....	104	第二节 低合金钢用焊接材料 .....	146
一、碳钢的分类 .....	104	一、焊丝 .....	146
二、普通碳素结构钢 .....	104	二、焊条 .....	148
三、优质碳素结构钢 .....	106	三、焊剂及其与焊丝的组合 .....	158
四、专门用途的碳素结构钢 .....	108	四、低合金钢用焊接材料的选用原则 .....	162
五、碳钢铸件 .....	110	第三节 热轧、正火钢的焊接 .....	162
第三节 碳钢用焊接材料 .....	112	一、热轧、正火钢的成分和性能 .....	162
一、手工电弧焊焊条 .....	112	二、热轧、正火钢的焊接性 .....	165
二、埋弧焊焊丝和焊剂的配合 .....	121	三、热轧、正火钢的焊接工艺 .....	166
三、二氧化碳气体保护焊用焊 丝 .....	124	四、典型钢种的焊接 .....	173
四、电渣焊用焊丝及焊剂 .....	125	第四节 低碳调质钢的焊接 .....	176
第四节 碳钢的焊接性 .....	125	一、低碳调质钢的成分和性能 .....	176
第五节 低碳钢的焊接 .....	128	二、低碳调质钢的焊接性 .....	176
一、低碳钢的焊接性 .....	128	三、接头设计 .....	181
二、焊接材料的选用 .....	129	四、低碳调质钢的焊接工艺 .....	181
三、低碳钢在低温下的焊接 .....	130	第五节 中碳调质钢的焊接 .....	184
第六节 中碳钢的焊接 .....	131	一、中碳调质钢的成分和性能 .....	184
一、中碳钢的焊接性 .....	131	二、中碳调质钢的焊接性 .....	184
二、焊接材料的选用 .....	131	三、中碳调质钢的焊接工艺 .....	186
三、中碳钢焊接工艺要点 .....	131	第六节 低温用钢的焊接 .....	190
第七节 高碳钢的焊接 .....	132	一、低温用钢的成分和性能 .....	190
一、高碳钢的焊接性 .....	132	二、低温用钢的焊接 .....	193
二、焊接材料的选择 .....	132	三、3.5%镍低温用钢的焊接 .....	193
三、高碳钢焊接工艺要点 .....	132	第七节 耐候钢及耐海水腐蚀用钢的焊 接 .....	194
第八节 碳钢焊接举例 .....	132	一、耐候钢及耐海水腐蚀用钢的成分和性 能 .....	194
一、船体焊接 .....	132	二、耐候钢及耐海水腐蚀用钢的焊接 .....	195
二、大型钢铁企业重型装置及厂房结构安 装焊接 .....	134	第八节 镀层钢的焊接 .....	197
三、压力容器制造、锅炉制造以及电站安 装工程中的焊接 .....	136	一、镀锌钢及其焊接 .....	197
四、热剂焊 .....	137	二、渗铝钢及其焊接 .....	199
五、高频焊 .....	137	参考文献 .....	201
六、铁道钢轨焊接 .....	142	<b>第六章 耐热钢的焊接</b> .....	203
七、中碳钢的焊接 .....	143	第一节 概述 .....	203
八、高碳钢的焊接 .....	143	一、耐热钢的种类 .....	203
九、钎焊 .....	143	二、耐热钢的应用范围及其选择 .....	203
十、其他焊接方法 .....	144	三、对耐热钢焊接接头性能的基本要 求 .....	203
参考文献 .....	144	第二节 低合金耐热钢的焊接 .....	206

一、低合金耐热钢的化学成分和力学性能	206	第七节 不锈钢的钎焊	329
二、低合金耐热钢的热处理	206	一、钎焊金属	329
三、低合金耐热钢的焊接特点	206	二、钎料	329
四、低合金耐热钢的焊接工艺	211	三、钎剂	333
五、低合金耐热钢焊接接头的性能	219	四、钎焊方法和工艺	334
第三节 中合金耐热钢的焊接	226	参考文献	334
一、中合金耐热钢的化学成分和力学性能	226	<b>第八章 其它高合金钢的焊接</b>	335
二、中合金耐热钢的焊接特性	230	第一节 高合金低温用钢与无磁钢的焊接	335
三、中合金耐热钢的焊接工艺	234	一、概述	335
四、中合金耐热钢的焊接接头的性能	238	二、Ni9钢的焊接	335
第四节 高合金耐热钢的焊接	243	三、0Cr21Ni6Mn9N钢的焊接	342
一、高合金耐热钢的化学成分和力学性能	243	四、15Mn26Al4钢的焊接	345
二、高合金耐热钢的焊接性	255	第二节 马氏体时效钢的焊接	348
三、高合金耐热钢的焊接工艺	263	一、概述	348
四、高合金耐热钢接头的性能	272	二、化学成分	348
参考文献	275	三、合金元素的作用	349
<b>第七章 不锈钢的焊接</b>	277	四、热处理	350
第一节 不锈钢标准及性能	277	五、力学性能	351
一、不锈钢分类及组织	277	六、物理性能	352
二、不锈钢物理性能和力学性能	280	七、焊接性	352
三、不锈钢的耐腐蚀性能	283	八、焊接材料	354
四、不锈钢焊接用填充材料	287	九、焊接方法和焊接工艺	354
第二节 马氏体不锈钢的焊接	292	第三节 HP9Ni-4Co钢的焊接	357
一、马氏体不锈钢焊接特点	292	一、概述	357
二、马氏体不锈钢焊接工艺	294	二、化学成分	357
第三节 铁素体不锈钢的焊接	295	三、合金元素的作用	357
一、铁素体不锈钢焊接特点	295	四、热处理工艺及其性能	357
二、铁素体不锈钢焊接工艺	301	五、焊接性	358
第四节 奥氏体不锈钢的焊接	303	六、焊接方法及其焊接工艺	358
一、奥氏体不锈钢焊接特点	303	第四节 奥氏体高锰钢的焊接	359
二、奥氏体不锈钢焊接方法	307	一、概述	359
第五节 析出硬化不锈钢的焊接	320	二、化学成分	359
一、析出硬化半奥氏体不锈钢的焊接	320	三、合金元素的作用	359
二、析出硬化马氏体不锈钢的焊接	322	四、热处理和性能	361
三、析出硬化奥氏体不锈钢的焊接	323	五、物理性能	362
第六节 铁素体-奥氏体双相不锈钢的焊接	323	六、焊接性	362
一、铁素体-奥氏体双相不锈钢特点	323	七、焊接方法和焊接材料	363
二、铁素体-奥氏体双相不锈钢的焊接特点	326	参考文献	368
		<b>第九章 铸铁的焊接</b>	369
		第一节 铸铁的种类及性能	369
		一、白口铸铁	369
		二、灰铸铁	369

三、可锻铸铁	370
四、球墨铸铁	371
五、蠕墨铸铁	371
第二节 铸铁焊接性分析	371
一、焊接接头易出现白口及淬硬组织	371
二、焊接接头易出现裂纹	373
三、已变质的铸铁件出现不易焊上的情况	376
第三节 灰铸铁焊接	376
一、灰铸铁焊接方法分类	376
二、同质(铸铁型)焊缝的熔化焊	377

三、异质(非铸铁型)焊缝的电弧焊	385
四、钎焊	392
五、氧-乙炔火焰粉末喷焊	393
第四节 球墨铸铁、可锻铸铁、蠕墨铸铁及白口铸铁的焊接	393
一、球墨铸铁焊接	393
二、可锻铸铁焊接	396
三、蠕墨铸铁焊接	396
四、白口铸铁焊接	396
参考文献	398

### 第三篇 有色金属的焊接

<b>第十章 高温合金的焊接</b>	401
第一节 概述	401
一、镍基高温合金	401
二、铁基高温合金	408
三、钴基高温合金	410
四、合金元素对高温合金焊接性的影响	411
第二节 焊件表面清理及热处理	413
一、表面清理	413
二、焊前热处理	413
三、焊后热处理	415
第三节 电弧焊	415
一、钨极惰性气体保护焊	415
二、熔化极惰性气体保护焊	423
三、等离子弧焊	425
第四节 电子束焊和激光焊	425
一、电子束焊	425
二、激光焊	426
第五节 电阻焊	427
一、点焊	427
二、缝焊	430
三、闪光焊	431
四、点焊和缝焊接头的组织	434
第六节 扩散焊和摩擦焊	436
一、扩散焊	436
二、摩擦焊	437
第七节 钎焊	439
一、钎料	439
二、接头设计	443
三、钎焊工艺	443

四、接头性能	443
五、钎焊接头组织	443
参考文献	445
<b>第十一章 镍基耐蚀合金的焊接</b>	447
第一节 镍基耐蚀合金	447
一、镍基耐蚀合金的分类与牌号	447
二、镍基耐蚀合金的性能与用途	448
第二节 镍基耐蚀合金的焊接	451
一、镍基耐蚀合金的焊接特点	451
二、镍基耐蚀合金的钨极气体保护电弧焊	454
三、镍基耐蚀合金的熔化极气体保护电弧焊	455
四、镍基耐蚀合金的药皮焊条手工电弧焊	456
五、镍基耐蚀合金的埋弧焊	458
六、镍基耐蚀合金的等离子弧焊	459
第三节 镍基耐蚀合金的钎焊	459
一、镍基耐蚀合金的硬钎焊	459
二、镍基耐蚀合金的软钎焊	464
参考文献	464
<b>第十二章 铜及其合金的焊接</b>	465
第一节 常用的铜及其合金	465
一、紫铜	465
二、黄铜	465
三、青铜	468
四、白铜	469
第二节 铜及其合金的熔化焊	469
一、铜及其合金焊接性分析	469
二、焊接方法的选择	471

三、焊接材料的选择	472	第四节 焊接工艺	537
四、焊前预处理	475	一、钨极氩弧焊	538
五、气焊工艺	476	二、熔化极氩弧焊	541
六、碳弧焊工艺	477	三、等离子弧焊接	541
七、手工电弧焊工艺	477	四、真空电子束焊	541
八、埋弧焊工艺	478	五、闪光焊	541
九、电渣焊工艺	481	六、高频电阻焊	543
十、钨极惰性气体保护焊工艺	481	七、摩擦焊	543
十一、熔化极气体保护焊工艺	482	八、扩散焊	543
十二、等离子弧焊接工艺	487	九、钎焊	543
十三、电子束焊接工艺	488	十、电阻点焊和缝焊	544
第三节 铜及其合金的压力焊	489	第五节 焊后热处理	545
一、电阻点焊与缝焊	489	一、退火	545
二、闪光焊和摩擦焊	491	二、淬火-时效处理	546
三、扩散焊	491	三、时效处理	546
第四节 铜及铜合金的钎焊	492	参考文献	547
一、铜及铜合金的钎焊性	492	<b>第十五章 难熔金属的焊接</b>	549
二、钎料与钎剂	493	第一节 概述	549
三、钎焊方法与工艺	495	一、材料性能	549
参考文献	495	二、难熔金属的焊接性	555
<b>第十三章 铝、镁及其合金的焊接</b>	496	第二节 钨、钼及其合金的焊接工艺	558
第一节 铝及铝合金的焊接	496	一、钨的焊接工艺	558
一、概述	496	二、铝及其合金的焊接工艺	558
二、铝及铝合金焊接特点	502	第三节 钽、铌及其合金的焊接工艺	559
三、焊接方法选择	503	一、钽及其合金的焊接工艺	559
四、焊接材料	504	二、铌及其合金的焊接工艺	560
五、焊前准备及焊后清理	506	第四节 锆及其合金焊接工艺	562
六、焊接工艺	507	参考文献	563
七、安全措施	521	<b>第十六章 其它有色金属的焊接</b>	565
第二节 镁和镁合金的焊接	521	第一节 铀及铀合金的焊接	565
一、概述	521	一、铀及铀合金的成分和性能	565
二、镁合金的焊接特点	522	二、铀及铀合金的焊接特点	565
三、镁合金的焊接工艺	523	三、铀及铀合金的焊前处理	566
四、安全技术	529	四、焊接工艺	566
参考文献	529	第二节 银及银合金的焊接	566
<b>第十四章 钛及其合金的焊接</b>	530	一、银及银合金的成分和性能	566
第一节 概述	530	二、银及银合金的焊接特点	567
第二节 物理冶金及分类	531	三、焊接工艺	567
第三节 钛及其合金的焊接性	533	第三节 金及金合金的焊接	569
一、间隙元素沾污引起脆化	533	一、金及金合金的成分和性能	569
二、焊接相变引起的性能变化	534	二、金及金合金的焊接特点	569
三、裂纹	536	三、焊接工艺	569
四、气孔	537	第四节 铂及铂合金的焊接	570

一、铂及铂合金的成分和性能	570
二、铂及铂合金的焊接特点	570
三、焊接工艺	571
第五节 铅及铅合金的焊接	571
一、铅及铅合金的成分和性能	571
二、铅及铅合金的焊接特点	572

三、焊接工艺	572
第六节 锌及锌合金的焊接	575
一、锌及锌合金的成分和性能	575
二、锌及锌合金的焊接特点	576
三、焊接工艺	576
参考文献	577

#### 第四篇 异种材料的焊接

<b>第十七章 异种金属的焊接</b>	581
第一节 概述	581
一、异种金属焊接性的特有困难	581
二、异种金属的焊接性	582
三、焊缝金属的稀释和合金化	583
四、焊缝金属与母材金属界面的特点	586
五、不同焊接方法焊接异种金属时的特点	587
第二节 异种钢的焊接	588
一、异种钢焊接结构所用的材料	588
二、异种钢焊接的工艺原则	588
三、不同珠光体钢的焊接	593
四、不同马氏体-铁素体钢的焊接	595
五、珠光体钢与铁素体钢的焊接	595
六、不同奥氏体钢的焊接	596
七、珠光体钢与奥氏体钢的焊接	597
八、铁素体钢与奥氏体钢的焊接	601
九、异种钢焊接实例	602
第三节 钢与有色金属焊接	602
一、钢与铝及其合金的焊接	602
二、钢与铜及其合金的焊接	605
三、钢与镍及其合金的焊接	606
四、钢与钛及其合金的焊接	607
五、钢与有色金属焊接实例	609
第四节 异种有色金属焊接	609
一、铝与铜的焊接	609
二、铝与钛的焊接	610
三、钛与铜的焊接	611
四、钛与铌的焊接	612
五、异种有色金属焊接实例	613
参考文献	614

<b>第十八章 金属材料堆焊</b>	615
第一节 概述	615
一、堆焊及其在生产中的应用	615
二、堆焊合金的使用性能	615
三、堆焊件的母材及对堆焊工艺的影响	618
第二节 堆焊合金与堆焊工艺	619
一、堆焊合金的分类	619
二、铁基堆焊合金	620
三、其它堆焊合金	637
第三节 堆焊合金选择与应用实例	649
一、堆焊合金的选择	649
二、应用实例	650
参考文献	651
<b>第十九章 陶瓷与金属的连接</b>	652
第一节 概述	652
第二节 连接用材料	652
一、陶瓷	652
二、金属	656
三、钎料	656
第三节 连接工艺	658
一、通用工艺	658
二、烧结金属粉末法	658
三、活性金属法	660
四、其它连接方法	660
第四节 结构设计	666
一、结构的基本形式	667
二、结构设计要点	669
三、结构实例	671
参考文献	672

#### 第五篇 非金属材料的焊接

<b>第二十章 塑料的焊接</b>	675
第一节 塑料概论	675

第二节 塑料焊接接头的形成及其影响因素	676
---------------------	-----



第三节 焊接方法.....	678	七、高频电焊.....	693
一、热气焊.....	678	第四节 焊接接头的力学性能试验.....	694
二、超声波焊.....	682	一、焊接接头的抗拉试验.....	694
三、摩擦焊.....	684	二、焊接接头的冲击拉伸试验.....	695
四、挤塑焊.....	685	三、焊接接头的三点弯曲试验.....	696
五、光致热能焊接.....	688	四、持久拉伸试验.....	698
六、热工具焊.....	688	参考文献.....	699