

实用

工程材料

焊接手册

浙江省机械工程学会焊接分会 编

主编 杜国华

实用工程材料焊接手册

浙江省机械工程学会
焊接分会 编

主编 杜国华
参编 金鹏超 李铭棠
翟宗仁 程亦程
姚寿山 (特邀)
审校 王 钹 (主审)
顾曾迪



机械工业出版社

本书较系统地叙述了常用工程材料的分类、性能和用途，着重介绍其焊接性、焊接工艺以及对量大而广的应用实例作了详细分析，供读者借鉴。其中焊接工艺方法突出手册的通用性、准确性和可靠性，并适当介绍一些国内外最新成果。对焊接变形、缺欠及其防止也作了必要阐述。

本手册共分4篇21章，主要内容为：导论（后续各章的基础）；各类常用金属材料的熔焊、压焊、钎焊、堆焊和喷涂；主要非金属材料间及其与金属材料间的连接以及大量工程应用实例。

手册所列数据资料大多取自最新国标、法规、部标和生产实践，具有内容新、覆盖全、编著系统、表述翔实、取材先进实用、查阅方便之特点。

本手册可作为各工业部门中从事焊接生产、科研、设计人员的常备手册，也是中、高级焊工、焊接技师和职业院校师生解决实际问题时的有力工具。

图书在版编目（CIP）数据

实用工程材料焊接手册 / 杜国华主编. —北京：机械工业出版社，2004.9
ISBN 7-111-14411-2

I. 实… II. 杜… III. 金属材料—焊接—技术手册 IV. TG457-62

中国版本图书馆CIP数据核字（2004）第040363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：俞逢英

责任编辑：俞逢英 版式设计：冉晓华 责任校对：姚培新

封面设计：姚毅 责任印制：洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年8月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·66.5印张·3插页·2287千字

定价：110.00元

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、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书之称为《实用工程材料焊接手册》，目的是力求从“实用”角度，对常用工程材料的焊接，进行比较系统的介绍。为此，本书所涉及的工程材料品种及其焊接方法也以“实用”为主。材料方面，着重介绍低、中碳钢，各类低合金钢，不锈钢和耐热钢，高锰钢，灰铸铁和球墨铸铁，铜和铜合金，铝和铝合金，钛和钛合金，镍和镍合金，工程陶瓷和常用塑料。焊接方法则以焊条电弧焊、埋弧焊、电渣焊、各类气体保护焊、电阻焊、火焰钎焊、浸渍钎焊、炉中钎焊（含真空钎焊）等为主，同时介绍了热喷涂、喷熔（焊）和粘接。对非常用材料和使用面不广的焊接方法，则仅有选择性地予以简单介绍，以免误导读者。

我国材料焊接方法和焊接工艺的现状与未来发展趋势，以及近年来国际焊接新方法和新工艺的相关进展，各篇中都有所提及，以使读者对相关领域的发展动向有所了解。

本书的最大特色是从“实用”出发，引用了大量不同材料的焊接、钎焊、喷涂、喷焊和粘接的实例。这些实例来自不同行业，大部分取材于20世纪90年代以来国内公开发表的专著及技术文献，具有符合国情、时效性强（三分之一的实例取材于1998~2001年的出版物）、分布面广的特点。相信读者可从相关实例中得到一些启发，并举一反三，从而延伸到更广泛的范围。编者深信，读者诸君哪怕只能从其中一个例子中受到启发，为生产所用，则其所创造的价值，无论社会效益或经济效益，也远胜于购买这本手册所花费的区区代价了。这也是本书之所以不惜篇幅，大量引用诸多实例的初衷。

本手册内容分四篇，共21章。其中第1篇“导论”是后续各章的基础，主要介绍各类焊接方法和焊接材料。鉴于后续各章所叙述的各种材料的熔焊、压焊、钎焊和喷涂，除了非金属材料粘接以外，无不涉及到这些方法和焊接材料。这样编排，既可免去各章重复介绍的繁琐，也有助于读者系统了解各类焊接方法和焊接材料的全貌。

手册第2和第3篇则分别从焊接方法角度（包括熔焊、压焊、钎焊）叙述了各类常用金属材料的熔焊、压焊、喷涂或喷熔（焊）。第4篇主要是非金属材料及其与金属材料之间的连接，包括焊接连接与粘接连接。

附录部分列有本手册所引用的406个焊接实例索引、焊接及其相关标准目录、本书引用的术语（代号）及缩写词以及焊缝无损检测符（代）号，以供读者方便检索。

本书撰稿人名录如下：第1、2章——金鹏超、翟宗仁、杜国华；第3、4、5章——杜国华；第6章——李铭棠、杜国华；第7章——金鹏超、杜国华；第8章——李铭棠、杜国华；第9章——李铭棠；第10、11章——程亦程；第12、13、14、15、16章——金鹏超、杜国华；第17章——翟宗仁；第18章——翟宗仁、杜国华；第19、20、21章——姚寿山。各篇概述及绝大部分实例由杜国华编写。

本书由浙江省机械工程学会焊接分会组织编写，并特邀上海交通大学姚寿山教授为第4篇撰稿。全书由杜国华统编成册后，经上海交通大学王铨教授和上海工程技术大学顾曾迪教授精心审阅。本书在编写过程中得到二位教授的多方指导和出版社的大力支持，编者由衷表示感谢。尽管在编写过程中编者已尽其所能，但错误或不当之处终究难免，敬请有识之士予以斧正，编者感谢不尽。倘能有幸再版，当商请出版社再予以一一改正。

编 者

编写说明

1. 本手册采用中华人民共和国法定计量单位，个别无对应单位的，则选用行业通用单位表示。
2. 本手册尽可能选用最新的国家标准或行业标准。
3. 本手册采用的名词术语尽可能遵守国家相关部门所核定的名称，未作规定的术语名称则按惯例表示。其中焊接名词术语均按 GB/T 3375—1994 “焊接术语”表示。
4. 本手册有关材料的化学成分%，均指质量分数（化学成分质量百分数，%）。为此，不再在手册各表格中一一注明。
5. 本手册所列出的各项工艺参数，凡取自相关文献的大都已列出引用的文献号。编者对本书所引用过的所有专著和文献作者表示由衷感谢。

目 录

前言 编写说明

第 1 篇 导 论

第 1 章 焊接方法及设备简介	1	2.1.1 压焊的分类	60
1 熔焊	1	2.1.2 电阻焊设备概述	60
1.1 焊条电弧焊 (缩写 SMAW、 代号 111)	1	2.2 点焊 (缩写 RSW、代号 21)	61
1.1.1 工作原理	1	2.2.1 工作原理	61
1.1.2 工艺特点	1	2.2.2 点焊设备	61
1.1.3 焊接设备	2	2.2.3 点焊工艺	62
1.1.4 焊条电弧焊工艺	7	2.3 缝焊 (缩写 SW、代号 22)	63
1.1.5 焊接应力与变形	17	2.3.1 工作原理	63
1.1.6 焊接缺欠 (焊接缺陷)	20	2.3.2 缝焊设备	64
1.2 埋弧焊 (缩写 SAW、代号 12)	23	2.3.3 缝焊工艺	64
1.2.1 工作原理	23	2.4 凸焊 (缩写 PW、代号 23)	65
1.2.2 埋弧焊设备	24	2.4.1 凸焊原理	65
1.2.3 埋弧焊焊接材料	25	2.4.2 凸焊设备	65
1.2.4 工艺特点及应用范围	26	2.4.3 凸焊工艺	66
1.2.5 焊接工艺	27	2.5 对焊 (缩写 BW)	67
1.2.6 操作技术	38	2.5.1 电阻对焊 (缩写 UBW、 代号 25)	67
1.2.7 焊接缺欠	43	2.5.2 闪光对焊 (缩写 FBW、 代号 24)	67
1.3 气体保护电弧焊 (缩写 GSAW、代号 13、14)	43	3 钎焊	69
1.3.1 钨极氩弧焊 (缩写 TIG、 代号 141)	43	3.1 概述	69
1.3.2 熔化极氩弧焊 (缩写 MIG、 代号 131)	45	3.2 钎焊工艺特点	70
1.3.3 二氧化碳气体保护焊 (缩写 MAG-C、 代号 135、136)	46	3.3 钎焊工艺基础	70
1.3.4 混合气体保护电弧焊 (缩写 MAG-M、 代号 135、136)	50	3.4 钎焊接头设计与钎焊间隙	71
1.4 等离子弧焊 (缩写 PAW、 代号 15)	53	3.4.1 钎焊接头形式及特点	71
1.5 电渣焊 (缩写 ESW、代号 72)	54	3.4.2 钎焊间隙	72
1.6 窄间隙电弧焊 (缩写 NG-AW)	55	3.4.3 钎焊装配定位	72
1.7 气焊 (缩写 OFW、代号 3)	56	3.5 钎焊材料	72
1.8 热剂焊 (缩写 TW、代号 71)	59	4 喷涂与喷熔	72
2 压焊 (缩写 PW、代号 2)	60	4.1 概述	72
2.1 压焊的分类和电阻焊设备概述	60	4.2 热喷涂工作原理	73
		4.3 热喷涂方法及设备	73
		4.3.1 热喷涂方法	73
		4.3.2 热喷涂设备	73
		4.4 热喷涂工艺	74
		4.5 劳动保护	74

第2章 焊接材料	75	2.1.10 特殊用途焊条	137
1 焊接材料牌号及型号的编制方法	75	2.2 焊丝	137
1.1 焊条牌号及型号的编制方法	75	2.2.1 埋弧焊焊丝	137
1.1.1 焊条牌号的编制方法	75	2.2.2 电渣焊焊丝	143
1.1.2 焊条型号的编制方法	79	2.2.3 气体保护焊焊丝	144
1.2 焊丝牌号及型号的编制方法	94	2.3 焊剂	149
1.2.1 实芯焊丝牌号的编制方法	94	2.3.1 熔炼焊剂	149
1.2.2 实芯焊丝型号的编制方法	98	2.3.2 烧结焊剂	149
1.2.3 药芯焊丝牌号的编制方法	104	2.3.3 气焊熔剂	149
1.2.4 药芯焊丝型号的编制方法	104	2.4 钨极	159
1.3 焊剂牌号和型号的编制方法	113	2.5 焊接用气体	160
1.3.1 焊剂牌号的编制方法	113	2.5.1 氩气	160
1.3.2 焊剂型号的编制方法	114	2.5.2 氮气	160
1.3.3 气焊熔剂牌号的编制方法	117	2.5.3 二氧化碳气	161
1.3.4 钎剂牌号的编制方法	117	2.5.4 可燃气体	161
1.4 合金粉末牌号编制方法	117	2.5.5 氧气	162
1.5 钎料牌号及型号编制方法	118	3 钎焊材料	162
1.5.1 钎料牌号的编制方法	118	3.1 钎剂	162
1.5.2 钎料型号的编制方法	118	3.1.1 钎剂的作用	162
1.6 钨极(不熔化电极)牌号的编制方法	118	3.1.2 软钎剂	162
2 熔焊焊接材料	119	3.1.3 硬钎剂	163
2.1 焊条电弧焊焊条	119	3.1.4 气体钎剂	165
2.1.1 结构钢焊条	119	3.2 钎料	165
2.1.2 钨和钨钼耐热钢焊条	122	3.2.1 对钎料的基本要求	165
2.1.3 低温钢焊条	124	3.2.2 常用软钎料	165
2.1.4 不锈钢焊条	124	3.2.3 常用硬钎料	167
2.1.5 堆焊焊条	129	3.2.4 钎料的选择原则	174
2.1.6 铸铁焊条	134	4 热喷涂材料	176
2.1.7 镍及镍合金焊条	135	4.1 耐磨喷涂材料	176
2.1.8 铜及铜合金焊条	136	4.2 耐腐蚀喷涂材料	176
2.1.9 铝及铝合金焊条	136	4.3 打底结合层材料	188
		参考文献	189

第2篇 金属材料的熔焊

概述	190	3.1.2 埋弧焊	208
第3章 碳素钢的熔焊	194	3.1.3 钨极气体保护电弧焊	210
1 碳素钢的分类、性能和用途	194	3.1.4 熔化极气体保护电弧焊	210
2 碳素钢的焊接性	206	3.1.5 等离子弧焊	211
2.1 低碳钢的焊接性	206	3.1.6 电渣焊	214
2.2 中碳钢的焊接性	207	3.1.7 气焊	215
2.3 高碳钢的焊接性	207	3.2 中碳钢焊接工艺	215
3 碳素钢焊接工艺	207	3.2.1 焊条电弧焊	215
3.1 低碳钢焊接工艺	207	3.2.2 埋弧焊	216
3.1.1 焊条电弧焊	207	3.2.3 电渣焊	216

3.2.4 钨极氩弧焊	216	3.2.1 选择焊接材料的一般原则	254
3.2.5 熔化极气体保护电弧焊	216	3.2.2 低合金高强度结构钢焊接材料选择的准则	254
3.2.6 气焊	216	3.3 热轧、正火钢焊接工艺	255
3.3 高碳钢焊接工艺	216	3.3.1 常用焊接方法的适应性	255
3.3.1 焊条电弧焊	216	3.3.2 焊接材料选择的相关要求	256
3.3.2 气焊	217	3.3.3 焊接工艺参数的相关要求	258
3.3.3 钨极氩弧焊	217	3.4 低碳调质钢焊接工艺	258
3.3.4 热剂焊	217	3.4.1 焊接材料的选择	258
4 典型接头焊接实例	217	3.4.2 焊接方法的选择	258
4.1 低碳钢的焊接实例	217	3.4.3 焊接工艺参数的选择	259
4.2 中碳钢的焊接实例	224	3.5 中碳调质钢焊接工艺	260
4.3 高碳钢的焊接实例	230	3.5.1 中碳调质钢退火状态下焊接	260
第4章 低合金高强度结构钢的熔焊	233	3.5.2 中碳调质钢调质状态下焊接	261
1 常用低合金高强度结构钢的分类、性能和用途	234	4 典型接头焊接实例	262
1.1 常用低合金高强度结构钢的分类	234	4.1 热轧、正火钢的焊接实例	262
1.1.1 热轧、正火钢和微合金化控轧钢	234	4.2 低碳调质钢的焊接实例	271
1.1.2 低碳调质钢	235	4.3 中碳调质钢的焊接实例	281
1.1.3 中碳调质钢	235	第5章 不锈钢与耐热钢的熔焊	291
1.2 热轧、正火钢的成分、性能及其应用	235	1 常用不锈钢的分类、性能和用途	291
1.2.1 一般用途及专用热轧、正火钢的化学成分和力学性能	235	1.1 常用不锈钢的分类	291
1.2.2 热轧、正火钢在焊接结构中的应用	243	1.1.1 奥氏体型不锈钢	291
1.3 低碳调质钢的成分、性能及其应用	244	1.1.2 铁素体型不锈钢	292
1.3.1 低碳调质钢的化学成分和力学性能	244	1.1.3 马氏体型不锈钢	292
1.3.2 低碳调质钢在焊接结构中的应用	246	1.1.4 奥氏体-铁素体型双相不锈钢	292
1.4 中碳调质钢的成分、性能及其应用	246	1.1.5 沉淀硬化型不锈钢	292
1.4.1 中碳调质钢的化学成分和力学性能	246	1.2 常用不锈钢的性能	299
1.4.2 中碳调质钢在焊接结构中的应用	248	1.2.1 不锈钢的物理性能	299
2 低合金高强度结构钢的焊接性	249	1.2.2 不锈钢的力学性能	300
2.1 热轧正火钢的焊接性	249	1.2.3 不锈钢的耐蚀性能	305
2.2 低碳调质钢的焊接性	252	1.2.4 不锈钢的耐热性能	306
2.3 中碳调质钢的焊接性	254	1.3 常用不锈钢的用途	314
3 低合金高强度结构钢焊接工艺	254	2 焊接性	317
3.1 焊接方法的选择	254	2.1 奥氏体型不锈钢的焊接性	317
3.2 焊接材料的选择	254	2.1.1 焊接区的热裂纹	317
		2.1.2 焊接接头的脆化	317
		2.1.3 焊接接头的耐蚀性	318
		2.2 马氏体型不锈钢的焊接性	319
		2.2.1 不同类型马氏体型不锈钢的组织与性能	319
		2.2.2 不同类型马氏体型不锈钢的焊接性分析	320
		2.3 铁素体型不锈钢的焊接性	321
		2.3.1 铁素体型不锈钢的类型	321
		2.3.2 不同类型铁素体型不锈钢的焊接性	

分析	321	实例	375
2.4 奥氏体-铁素体型双相不锈钢的 焊接性	322	4.1.3 MIG 与 MAG 焊焊接实例	378
2.4.1 奥氏体-铁素体型双相不锈钢的类型 及特性	322	4.1.4 SAW 及 SMAW + SAW、 TIG + SAW 焊焊接实例	380
2.4.2 奥氏体-铁素体型双相不锈钢的 焊接性分析	325	4.1.5 等离子弧焊焊接实例	384
2.5 沉淀硬化型不锈钢的焊接性	326	4.1.6 激光焊焊接实例	385
2.5.1 马氏体沉淀硬化和时效硬化型 不锈钢的焊接性	326	4.2 马氏体型不锈钢的焊接实例	386
2.5.2 半奥氏体沉淀硬化型不锈钢的 焊接性	327	4.3 铁素体型不锈钢的焊接实例	388
2.5.3 奥氏体沉淀硬化型不锈钢的 焊接性	328	4.4 奥氏体-铁素体型双相不锈钢的 焊接实例	391
3 焊接工艺	328	4.5 沉淀硬化型不锈钢的焊接实例	392
3.1 各类不锈钢焊接方法综述	328	第 6 章 低温用钢、耐候钢、耐海水 腐蚀钢及镀层钢的熔焊	395
3.2 各类不锈钢熔焊使用的焊接材料 综述	329	1 低温用钢的熔焊	395
3.2.1 焊条电弧焊	329	1.1 低温用钢的分类、性能和用途	395
3.2.2 气体保护焊	329	1.1.1 低温用钢的分类	395
3.2.3 埋弧焊	329	1.1.2 低温用钢的性能	395
3.2.4 电渣焊	340	1.1.3 低温用钢的用途	400
3.2.5 电子束焊、激光焊和等离子弧焊 (缩写 EBW、LBW 和 PAW、代号 76、 751 和 15)	340	1.2 低温用钢的焊接性	400
3.3 奥氏体型不锈钢的焊接工艺	341	1.2.1 低温用材的评定要求	400
3.3.1 焊条电弧焊	341	1.2.2 低温用钢焊接接头的要求	400
3.3.2 埋弧焊	344	1.2.3 低温用钢焊接的主要问题	400
3.3.3 钨极惰性气体保护电弧焊	346	1.3 低温用钢的焊接工艺	401
3.3.4 熔化极惰性气体保护电弧焊	352	1.3.1 低温用钢对焊接工艺的要求	401
3.3.5 等离子弧焊	358	1.3.2 无镍低温钢的焊接工艺	401
3.3.6 电子束焊 (EBW)	361	1.3.3 含镍低温钢的焊接工艺	402
3.3.7 激光焊 (LBW)	361	2 耐候钢及耐海水腐蚀钢的熔焊	407
3.4 其他不锈钢的焊接工艺	363	2.1 耐候钢及耐海水腐蚀钢的分类、性能和 用途	407
3.4.1 铁素体型不锈钢的焊接工艺	363	2.1.1 耐候钢及耐海水腐蚀钢的分类和 用途	407
3.4.2 马氏体型不锈钢的焊接工艺	366	2.1.2 耐候钢及耐海水腐蚀钢的 性能	409
3.4.3 奥氏体-铁素体型双相不锈钢的 焊接工艺	369	2.2 耐候钢及耐海水腐蚀钢的焊接性	409
3.4.4 沉淀硬化型不锈钢的焊接 工艺	372	2.3 耐候钢及耐海水腐蚀钢的焊接 工艺	409
4 典型接头焊接实例	373	2.3.1 焊接工艺要点	409
4.1 奥氏体型不锈钢、耐热钢的焊接 实例	373	2.3.2 09MnCuPTi 钢的焊接	410
4.1.1 焊条电弧焊焊接实例	373	2.3.3 10MnPNbRE 钢的焊接	410
4.1.2 TIG 及 TIG + SMAW 焊焊接 实例	375	3 镀层钢的熔焊	410
		3.1 镀层钢的分类、性能及用途	410
		3.1.1 镀层钢的分类	410
		3.1.2 镀层钢的性能和用途	411
		3.2 镀层钢的焊接性	412
		3.3 镀层钢的焊接工艺	412

3.3.1 镀锌钢的焊接工艺	412	1.1.3 铸造镍基合金	441
3.3.2 渗铝钢的焊接工艺	412	1.2 铁基高温合金	448
4 典型接头焊接实例	414	1.2.1 固溶强化铁基合金	448
4.1 低温钢焊接实例	414	1.2.2 沉淀强化铁基合金	448
4.2 耐候钢焊接实例	420	1.3 钴基高温合金	448
4.3 镀层钢焊接实例	420	2 高温合金的焊接性	449
第7章 高锰钢和二次硬化型高合金超		2.1 合金元素的影响	449
高强度钢的熔焊	424	2.2 焊前合金状态的影响	449
1 高锰钢的熔焊	424	2.3 焊前表面清理	449
1.1 高锰钢的分类、性能和用途	424	2.4 焊后热处理	449
1.1.1 高锰钢的分类	424	2.5 熔焊方法的选择	449
1.1.2 高锰钢的性能	424	3 高温合金的焊接工艺	450
1.1.3 高锰钢的用途	425	3.1 钨极氩弧焊	450
1.2 高锰钢的焊接性	425	3.1.1 焊接材料	450
1.2.1 焊接热裂纹	425	3.1.2 焊接接头形式	454
1.2.2 碳化物析出和热影响区脆化	426	3.1.3 高温合金钨极氩弧焊通用工艺	454
1.3 高锰钢的焊接工艺	426	3.1.4 几种高温合金手工钨极氩弧焊的	
1.3.1 焊接方法的选择	426	工艺参数	454
1.3.2 焊接材料的选用	426	3.1.5 钴基高温合金的钨极氩弧焊	456
1.3.3 焊接工艺条件的选择	427	3.2 熔化极氩弧焊	457
1.3.4 推荐的焊接工艺措施	427	3.3 等离子弧焊	457
1.4 典型高锰钢接头焊接实例	428	3.4 高能量束焊接	458
2 二次硬化型高合金超高强度钢的		4 典型接头焊接实例	458
熔焊	430	第9章 铸铁焊补	463
2.1 马氏体时效钢的熔焊	431	1 铸铁的种类、性能和用途	463
2.1.1 马氏体时效钢的分类、性能和		1.1 铸铁的种类	463
用途	431	1.1.1 白口铸铁	464
2.1.2 马氏体时效钢的焊接性	433	1.1.2 灰铸铁	464
2.1.3 马氏体时效钢的焊接工艺	434	1.1.3 球墨铸铁	465
2.1.4 马氏体时效钢的焊接实例	436	1.1.4 可锻铸铁	470
2.2 Ni-Co系高合金超高强度钢的		1.1.5 蠕墨铸铁	472
熔焊	437	1.1.6 其他铸铁	474
2.2.1 Ni-Co系高合金超高强度钢的		2 铸铁的焊接性	478
分类、性能和用途	437	2.1 灰铸铁的焊接性	478
2.2.2 Ni-Co系高合金超高强度钢的		2.1.1 焊接区的白口及淬硬组织	478
焊接性	438	2.1.2 焊接区的裂纹	478
2.2.3 Ni-Co系高合金超高强度钢的		2.2 球墨铸铁的焊接性	478
焊接工艺	439	2.3 其他铸铁的焊接性	478
2.2.4 Ni-Co系高合金超高强度钢的		3 铸铁补焊工艺	479
焊接实例	440	3.1 铸铁补焊方法	479
第8章 高温合金的熔焊	441	3.1.1 电弧冷焊法	479
1 高温合金的分类、性能和用途	441	3.1.2 电弧热焊法和半热焊法	479
1.1 镍基高温合金	441	3.1.3 气焊法	479
1.1.1 固溶强化镍基合金	441	3.1.4 手工电渣焊法	479
1.1.2 沉淀强化镍基合金	441	3.1.5 CO ₂ 气体保护焊法	480

3.2 减小焊接应力与预防焊接裂纹的措施	480	4.3 青铜焊接实例	511
3.3 铸铁补焊用焊接材料	481	4.4 白铜焊接实例	512
3.3.1 气焊焊丝及熔剂	481	第 11 章 铝及铝合金的熔焊	514
3.3.2 焊条电弧焊用铸铁焊条	482	1 铝及铝合金的分类、性能和用途	514
4 铸铁件补焊实例	483	1.1 铝及铝合金的性能	514
第 10 章 铜及铜合金的熔焊	489	1.2 铝及铝合金的分类	516
1 铜及铜合金的分类、性能和用途	489	1.3 铝及铝合金的用途	519
1.1 铜及铜合金的分类	489	2 铝及铝合金的焊接性	519
1.2 铜及铜合金的性能	489	3 焊接工艺	520
1.3 铜及铜合金的用途	490	3.1 焊前准备和焊后清理	520
2 焊接性	491	3.1.1 焊前准备	520
2.1 纯铜和无氧铜的焊接性	491	3.1.2 焊后清理	521
2.2 黄铜的焊接性	491	3.2 焊接材料的选择	521
2.3 青铜的焊接性	492	3.2.1 焊丝	521
2.4 白铜的焊接性	492	3.2.2 保护气体	523
3 焊接工艺及焊接方法	492	3.2.3 钨极	523
3.1 纯铜和无氧铜的焊接工艺及方法	494	3.2.4 熔剂	523
3.1.1 焊前准备	494	3.3 焊接方法及焊接工艺	524
3.1.2 纯铜的气焊	495	3.3.1 气焊	524
3.1.3 纯铜的碳弧焊(缩写 CAW、代号 181)	497	3.3.2 钨极氩弧焊	526
3.1.4 纯铜的焊条电弧焊	497	3.3.3 熔化极氩弧焊	531
3.1.5 纯铜的手工钨极氩弧焊	498	3.3.4 铝及铝合金的脉冲氩弧焊(缩写 P TIG)	535
3.1.6 纯铜的埋弧焊	499	3.3.5 等离子弧焊	535
3.1.7 纯铜的熔化极氩弧焊	500	4 典型接头焊接实例	537
3.1.8 纯铜的等离子弧焊接	501	4.1 纯铝焊接实例	537
3.2 黄铜的焊接工艺及方法	501	4.2 铝合金焊接实例	539
3.2.1 黄铜的气焊	501	第 12 章 钛及钛合金的熔焊	547
3.2.2 黄铜的碳弧焊	502	1 钛及钛合金的分类、性能和用途	547
3.2.3 黄铜的焊条电弧焊	502	1.1 钛及钛合金的分类	547
3.2.4 黄铜的手工钨极氩弧焊	503	1.2 钛及钛合金的性能和用途	549
3.2.5 黄铜的等离子弧焊	503	2 焊接性	553
3.2.6 黄铜铸件的补焊	503	2.1 工业纯钛和钛合金焊接性评价	553
3.3 青铜的焊接工艺及方法	503	2.2 工业纯钛焊接时的主要问题	554
3.3.1 锡青铜的焊接	503	2.3 钛合金焊接时的主要问题	554
3.3.2 铝青铜的气焊和碳弧焊	504	3 焊接工艺	555
3.3.3 铝青铜的焊条电弧焊	504	3.1 焊接方法选择	555
3.3.4 铝青铜的手工钨极氩弧焊	505	3.2 典型焊接工艺简介	555
3.3.5 铝青铜的熔化极氩弧焊	505	3.2.1 手工钨极氩弧焊	555
3.3.6 硅青铜的焊接	506	3.2.2 自动钨极氩弧焊	559
3.4 其他铜合金的焊接工艺及方法	506	3.2.3 熔化极氩弧焊	562
4 典型接头焊接实例	507	3.2.4 等离子弧焊	563
4.1 纯铜焊接实例	507	3.2.5 真空电子束焊	565
4.2 黄铜焊接实例	510	3.3 焊后热处理	566
		3.3.1 退火	566

3.3.2 淬火-时效处理	566	4.1 锌及锌合金的分类、性能和用途	606
3.3.3 时效处理	566	4.1.1 锌及锌合金的分类和用途	606
4 典型接头焊接实例	567	4.1.2 锌及锌合金的性能	606
第 13 章 其他金属材料的熔焊	572	4.2 锌及锌合金的焊接性	607
1 镍及镍基耐蚀合金的熔焊	572	4.3 锌及锌合金的焊接工艺	607
1.1 镍及镍基耐蚀合金的分类、性能和用途	572	4.4 典型接头焊接实例	608
1.1.1 镍及镍基耐蚀合金的分类	572	5 银及银合金的熔焊	608
1.1.2 镍及镍基耐蚀合金的性能	572	5.1 银及银合金的分类、性能和用途	608
1.1.3 镍及镍基耐蚀合金的用途	575	5.1.1 纯银	608
1.2 镍及镍基耐蚀合金的焊接性	577	5.1.2 银合金	608
1.2.1 气孔倾向	577	5.2 银及银合金的焊接性	613
1.2.2 裂纹倾向	577	5.3 银及银合金的焊接工艺	613
1.2.3 晶间腐蚀倾向	577	5.3.1 银及银合金的气焊	613
1.2.4 其他焊接问题	577	5.3.2 银及银合金的 TIG 焊	613
1.3 镍及镍基耐蚀合金的焊接工艺及方法	577	6 金及金合金的熔焊	613
1.3.1 焊条电弧焊	577	6.1 金及金合金的分类、性能和用途	613
1.3.2 钨极氩弧焊	579	6.2 金及金合金的焊接性	616
1.3.3 熔化极氩弧焊	582	6.3 金及金合金的焊接工艺	616
1.3.4 等离子弧焊	584	7 铂及铂合金的熔焊	617
1.3.5 真空电子束焊	584	7.1 铂及铂合金的分类、性能和用途	617
1.4 典型接头焊接实例	585	7.2 铂及铂合金的焊接性	618
2 镁及镁合金的熔焊	588	7.3 铂及铂合金的焊接工艺	618
2.1 镁及镁合金的分类、性能和用途	588	8 铈及铈合金的熔焊	618
2.1.1 镁及镁合金的分类和性能	588	8.1 铈及铈合金的分类、性能和用途	618
2.1.2 镁及镁合金的应用	594	8.1.1 铈及铈合金的分类	618
2.2 镁及镁合金的焊接性	594	8.1.2 铈及铈合金的性能和用途	618
2.3 镁及镁合金的焊接工艺及方法	595	8.2 铈及铈合金的焊接性	619
2.3.1 焊前准备	595	8.3 铈及铈合金的焊接工艺	619
2.3.2 气焊	596	8.3.1 钨极氩弧焊	619
2.3.3 钨极氩弧焊	596	8.3.2 真空电子束焊	620
2.3.4 熔化极氩弧焊	598	8.3.3 激光焊	620
2.3.5 真空电子束焊	598	9 钨及钨合金的熔焊	621
2.4 典型接头焊接实例	599	9.1 钨及钨合金的分类、性能和用途	621
3 铅及铅合金的熔焊	600	9.1.1 钨及钨合金的分类和性能	621
3.1 铅及铅合金的分类、性能和用途	600	9.1.2 钨及钨合金的用途	622
3.1.1 铅及铅合金的分类	601	9.2 钨及钨合金的焊接性	622
3.1.2 焊接用铅及铅合金的化学成分和用途	601	9.3 钨及钨合金的焊接工艺	623
3.1.3 焊接用铅及铅合金的性能	601	10 钼及钼合金的熔焊	623
3.2 铅及铅合金的焊接性	603	10.1 钼及钼合金的分类和用途	623
3.3 铅及铅合金的焊接工艺	603	10.2 钼及钼合金的性能	624
3.4 典型接头焊接实例	604	10.3 钼及钼合金的焊接性	625
4 锌及锌合金的熔焊	606	10.4 钼及钼合金的焊接工艺	625
		10.4.1 焊前清理、预热及焊后热处理	625
		10.4.2 钼及钼合金的 TIG 焊与 MIG 焊	626

10.4.3 钼及钼合金的真空电子束焊	626	2.2.6 铁素体钢与奥氏体钢间的 焊接性	641
10.5 典型接头焊接实例	626	2.2.7 复合钢的焊接性	641
11 铌及铌合金的熔焊	628	2.3 焊接工艺	641
11.1 铌及铌合金的分类、性能和 用途	628	2.3.1 低合金钢及低碳钢与其他低合金 钢或碳钢的焊接	641
11.1.1 铌及铌合金的分类和用途	628	2.3.2 珠光体耐热钢与碳钢、低合金钢的 焊接	642
11.1.2 铌及铌合金的性能	629	2.3.3 不同高铬钢间的焊接	643
11.2 铌及铌合金的焊接性	630	2.3.4 不同奥氏体钢间的焊接	644
11.3 铌及铌合金的焊接工艺	630	2.3.5 珠光体钢与高铬钢的焊接	645
11.3.1 焊前清理和焊后热处理	630	2.3.6 珠光体钢与奥氏体钢的焊接	646
11.3.2 铌及铌合金的 TIG 焊	630	2.3.7 高铬钢与奥氏体钢间的焊接	647
11.3.3 铌及铌合金的真空电子束焊	630	2.3.8 复合钢的焊接	648
11.4 典型接头焊接实例	631	2.4 典型接头焊接实例	651
12 锆及锆合金的熔焊	633	2.4.1 碳素钢与低合金钢间的焊接	651
12.1 锆及锆合金的分类、性能和 用途	633	2.4.2 异种低合金钢间的焊接	654
12.1.1 锆及锆合金的分类和用途	633	2.4.3 珠光体钢与奥氏体不锈钢、 耐热钢间的焊接	658
12.1.2 锆及锆合金的性能	633	2.4.4 珠光体钢与马氏体不锈钢、 耐热钢间的焊接	662
12.2 锆及锆合金的焊接性和焊接 工艺	633	2.4.5 其他异种钢间的焊接	664
12.2.1 钨极氩弧焊	634	3 钢与有色金属的熔焊	668
12.2.2 真空电子束焊	634	3.1 焊接性	669
12.2.3 激光焊	634	3.1.1 钢与铝及其合金的焊接性	669
12.4 典型接头焊接实例	635	3.1.2 钢与铜及其合金的焊接性	669
第 14 章 异种金属材料的熔焊	637	3.1.3 钢与镍及其合金的焊接性	669
1 异种金属熔焊简介	637	3.1.4 钢与钛及其合金的焊接性	670
1.1 异种金属的焊接性	637	3.2 焊接工艺	670
1.1.1 材料物理性能的差异	637	3.2.1 钢与铝及其合金的焊接	670
1.1.2 材料力学性能的差异	637	3.2.2 钢与铜及其合金的焊接	670
1.1.3 材料金相组织的差异	637	3.2.3 钢与镍及其合金的焊接	671
1.1.4 材料在冶金上的相容性	637	3.2.4 钢与钛及其合金的焊接	672
1.2 异种金属焊接时焊接方法的选择	638	3.3 典型接头焊接实例	672
1.3 异种金属焊接时焊缝的稀释与 合金化	638	3.3.1 钢与铝及其合金的焊接实例	672
2 异种钢的熔焊	639	3.3.2 钢与铜及其合金的焊接实例	673
2.1 适于异种钢焊接的钢种分类及 焊接组合	639	3.3.3 钢与镍及其合金的焊接实例	676
2.2 异种钢的焊接性分析	640	3.3.4 钢与钛及其合金的焊接实例	679
2.2.1 不同珠光体钢间的焊接性	640	4 异种有色金属的熔焊	679
2.2.2 不同高铬钢间的焊接性	640	4.1 焊接性	679
2.2.3 不同奥氏体钢间的焊接性	640	4.1.1 铜与铝的焊接性	679
2.2.4 珠光体钢与铁素体钢间的 焊接性	640	4.1.2 铜与钛的焊接性	679
2.2.5 珠光体钢与奥氏体钢间的 焊接性	640	4.1.3 铝与钛的焊接性	679
		4.1.4 铜与镍的焊接性	679
		4.2 焊接工艺	679

4.2.1 铜与铝的熔焊工艺	679	3.2.1 珠光体钢堆焊合金的堆焊 工艺	710
4.2.2 铜与钛的熔焊工艺	680	3.2.2 马氏体钢堆焊合金的堆焊 工艺	710
4.2.3 铝与钛的熔焊工艺	680	3.2.3 高铬不锈钢堆焊合金的堆焊 工艺	711
4.2.4 铜与镍的熔焊工艺	680	3.2.4 铬镍奥氏体不锈钢堆焊合金的 堆焊工艺	711
4.3 典型接头焊接实例	680	3.2.5 高速钢堆焊合金的堆焊工艺	713
4.3.1 铜与铝的焊接实例	680	3.2.6 高锰钢堆焊合金的堆焊工艺	713
4.3.2 铜与钛的焊接实例	681	3.2.7 合金铸铁堆焊合金的堆焊工艺	713
4.3.3 铝与钛的焊接实例	682	3.2.8 碳化钨堆焊合金的堆焊工艺	714
4.3.4 铜与镍的焊接实例	682	3.2.9 铜基堆焊合金的堆焊工艺	714
4.3.5 其他异种金属的焊接实例	682	3.2.10 镍基堆焊合金的堆焊工艺	714
5 复合金属板的焊接	685	3.2.11 钴基堆焊合金的堆焊工艺	714
5.1 复合板焊接简介	685	4 典型接头堆焊实例	715
5.2 不锈钢复合材料的焊接	685	4.1 阀门密封面的堆焊	715
5.2.1 不锈钢复合钢板的焊接	685	4.1.1 阀门密封面的堆焊要求	715
5.2.2 不锈钢衬里的焊接	688	4.1.2 堆焊实例	716
5.2.3 在基层上堆焊不锈钢	688	4.2 高锰钢铸件的堆焊和补焊	720
5.3 爆炸复合	690	4.2.1 高锰钢铸件焊条电弧堆焊和 补焊工艺要点	720
5.3.1 爆炸复合焊接的优越性	690	4.2.2 堆焊实例	721
5.3.2 爆炸复合焊接的应用范围	690	4.3 热锻模的堆焊修复	722
5.4 复合金属板焊接实例	690	4.3.1 手工堆焊修复的工艺要点	722
5.4.1 不锈钢复合钢板的焊接实例	690	4.3.2 堆焊实例	722
5.4.2 其他金属复合钢板的焊接实例	696	4.4 冷压模的堆焊修复	724
第 15 章 堆焊	700	4.4.1 冷压模具钢的焊接问题	724
1 堆焊用母材和焊接材料	700	4.4.2 冷压冲模的堆焊工艺	724
1.1 母材类型	700	4.4.3 合金模具钢的堆焊	725
1.1.1 堆焊零件的品种	700	4.5 轧辊的堆焊修复	725
1.1.2 堆焊件涉及的基体金属 (母材)	700	4.5.1 轧辊的焊条电弧堆焊	726
1.2 焊接材料	700	4.5.2 轧辊的埋弧堆焊	726
1.2.1 堆焊层的工作条件	700	4.5.3 轧辊的带极堆焊	729
1.2.2 堆焊合金的类型	701	4.6 齿轮类机械零件的堆焊修复	730
1.2.3 堆焊合金的选用	706	4.6.1 焊条电弧堆焊修复工艺要点	730
2 堆焊焊接性	706	4.6.2 堆焊实例	730
3 堆焊工艺	707	4.7 各类叶片的堆焊修复	733
3.1 堆焊方法	707	4.8 钴基耐磨合金堆焊	735
3.1.1 氧乙炔焰堆焊	707	4.9 耐磨合金堆焊在复合钢板上的 应用	739
3.1.2 焊条电弧堆焊	707	4.9.1 耐磨合金粉末埋弧堆焊工艺及 实例	739
3.1.3 气体保护电弧堆焊	707	4.9.2 薄板厚耐磨层药芯焊丝加合金粉块的 低稀释率堆焊技术	739
3.1.4 水蒸气保护振动电弧堆焊	707		
3.1.5 埋弧堆焊	707		
3.1.6 等离子弧堆焊	708		
3.1.7 电渣堆焊	708		
3.1.8 其他堆焊方法	708		
3.1.9 各种堆焊方法的比较和选用	709		
3.2 各种堆焊合金的堆焊工艺	710		

4.9.3 加粉埋弧堆焊耐磨合金复合钢板及应用实例	740	4.10 其他堆焊实例	740
		参考文献	747

第 3 篇 压焊、钎焊和喷涂

概述	748	1.2.1 材料的活性及表面氧化膜的性质	800
第 16 章 金属材料的压焊	753	1.2.2 液态钎料对材料的润湿能力	800
1 电阻焊焊接性	753	1.2.3 液态钎料与材料的相互作用及其产物	800
1.1 钢材的电阻焊焊接性	753	1.2.4 材料对钎焊热循环的敏感性	800
1.1.1 低碳钢的电阻焊焊接性	753	2 不同钎焊方法的工艺特点	800
1.1.2 淬火钢的电阻焊焊接性	753	2.1 烙铁软钎焊(缩写 IS、代号 952)	800
1.1.3 镀层钢板的电阻焊焊接性	753	2.2 火焰钎焊(缩写 TB、代号 912, 缩写 TS、代号 942)	801
1.1.4 不锈钢和高温合金的电阻焊焊接性	754	2.3 电阻钎焊(缩写 RB、代号 918, 缩写 RS、代号 948)	802
1.2 有色金属的电阻焊焊接性	754	2.4 感应钎焊(缩写 IB、代号 916, 缩写 IS、代号 946)	802
1.2.1 铝合金的电阻焊焊接性	754	2.5 浸渍钎焊(缩写 DipB、代号 914, 缩写 DipS、代号 944)	804
1.2.2 铜和铜合金的电阻焊焊接性	754	2.5.1 盐浴钎焊(缩写 SDB、代号 915, 缩写 SDS、代号 945)	804
1.2.3 钛合金的电阻焊焊接性	754	2.5.2 金属浴钎焊(缩写 MMBDB、MMBDS)	805
2 电阻焊焊接工艺	754	2.6 炉中钎焊(缩写 FB、代号 913, 缩写 FS、代号 943)	806
2.1 点焊、缝焊和凸焊焊接工艺	754	2.6.1 空气炉中钎焊(缩写 FBA、FSA)	806
2.1.1 低碳钢	754	2.6.2 保护气氛炉中的钎焊(缩写 FBCA、FSCA)	806
2.1.2 淬火钢	755	2.6.3 真空炉中钎焊(缩写 VB、VS)	807
2.1.3 镀层钢板	758	2.7 放热反应钎焊(缩写 ERB、代号 93, 缩写 ERS、代号 96)	808
2.1.4 不锈钢和高温合金	759	2.8 关于钎焊方法的选择	808
2.1.5 铝及铝合金	763	3 各类工程材料钎焊工艺要点	809
2.1.6 铜及铜合金	768	3.1 碳素钢及低合金钢的钎焊	809
2.1.7 钛及钛合金	770	3.2 不锈钢的钎焊	809
2.2 对焊焊接工艺	771	3.2.1 不锈钢的钎焊特点	809
2.2.1 对焊工艺概述	771	3.2.2 软钎焊	810
2.2.2 各类钢的对焊	771	3.2.3 硬钎焊	810
2.2.3 各类有色金属的对焊	775	3.3 铜及其合金的钎焊	811
2.3 异种金属的电阻焊	776	3.3.1 钎焊性	811
2.3.1 异种金属电阻焊概述	776	3.3.2 软钎焊	811
2.3.2 异种金属电阻焊工艺	778	3.3.3 硬钎焊	811
3 典型接头焊接实例	780		
3.1 点焊、缝焊和凸焊的焊接实例	780		
3.1.1 点焊焊接实例	780		
3.1.2 缝焊焊接实例	787		
3.1.3 凸焊焊接实例	790		
3.2 对焊的焊接实例	794		
3.2.1 电阻对焊的焊接实例	794		
3.2.2 闪光对焊焊接实例	795		
第 17 章 常用工程材料的钎焊	800		
1 材料的钎焊性	800		
1.1 材料钎焊性的定义	800		
1.2 影响材料钎焊性的主要因素	800		

3.4 铝及其合金的钎焊	812	1.1 火焰喷涂 (FLS)	839
3.4.1 钎焊性	812	1.1.1 粉末火焰喷涂	839
3.4.2 软钎焊	813	1.1.2 加填充丝的火焰喷涂	839
3.4.3 硬钎焊	813	1.2 电弧喷涂 (EAS)	840
3.5 钛及其合金的钎焊	815	1.3 等离子弧喷涂 (PS)	841
3.5.1 钎焊性	815	1.4 爆炸喷涂 (缩写 ES)	842
3.5.2 钎料	815	1.5 超音速火焰喷涂 (缩写 HVOF)	842
3.5.3 钎焊工艺	815	2 热喷涂工艺若干问题	843
3.6 工具钢及硬质合金的钎焊	815	2.1 表面制备	843
3.7 陶瓷与金属的钎焊	816	2.1.1 表面清洗	843
3.8 铸铁的钎焊	816	2.1.2 表面预加工	844
4 钎焊实例	817	2.1.3 表面粗化处理	844
4.1 火焰钎焊	817	2.1.4 喷涂打底结合层	844
4.2 炉中钎焊	824	2.2 预热	844
4.2.1 空气炉中钎焊 (H52, FBA)	824	2.3 喷涂工作层	844
4.2.2 保护气氛炉中钎焊	826	2.4 喷涂后处理	845
4.2.3 真空炉中钎焊	828	2.4.1 封孔处理	845
4.3 电弧硬钎焊 (缩写 AB)	832	2.4.2 喷涂层的机械加工	845
4.4 其他钎焊方法 (缩写 IB、IS、LB、 USW、DB、RS、CB)	834	3 热喷涂应用实例	846
第 18 章 金属材料的喷涂与喷熔	839	4 喷熔 (缩写 SF)	850
1 常用热喷涂方法及设备特点	839	4.1 喷熔原理	850
		4.2 喷熔实例	850
		参考文献	857

第 4 篇 非金属材料及其与金属材料的连接

概述	858	2.2.4 胶粘法	904
1 陶瓷材料的连接技术及其进展	858	3 典型接头连接实例	910
1.1 陶瓷与金属连接方法的局限性	858	3.1 陶瓷与陶瓷的连接	910
1.2 一些有发展潜力的陶瓷-金属连接 方法	858	3.2 陶瓷与金属的连接	912
1.3 陶瓷-金属接头的钎焊技术进展	859	3.2.1 Al_2O_3 陶瓷与金属的连接	912
1.4 陶瓷-金属接头的扩散连接技术 进展	860	3.2.2 SiC 陶瓷与金属的连接	915
2 塑料的连接技术及其进展	862	3.2.3 Si_3N_4 陶瓷与金属的连接	917
2.1 超声波焊接及其进展	862	3.2.4 其他陶瓷与金属的连接	918
2.2 其他连接方法及其进展	863	第 20 章 特殊材料与金属的连接	921
第 19 章 陶瓷及其与金属的连接	865	1 玻璃与金属的连接	921
1 陶瓷种类、组成和性能	865	1.1 玻璃的种类、组成和性能	921
2 陶瓷的连接	867	1.2 玻璃与金属的连接工艺	921
2.1 陶瓷连接的特点	867	2 石墨与石墨、石墨与金属的连接	924
2.2 陶瓷与陶瓷或金属的主要连接 方法	867	2.1 石墨的性能	924
2.2.1 钎焊法	867	2.2 石墨与石墨、石墨与金属连接 工艺	924
2.2.2 熔焊法	899	3 半导体材料与金属的连接	925
2.2.3 固相连接法	901	3.1 半导体材料的性能	925
		3.2 半导体材料与金属的连接工艺	925
		4 云母与云母、云母与金属的连接	926

4.1 云母的性能	926	2.2.2 溶剂胶粘剂的种类及其粘接 方法	937
4.2 云母与云母、云母与金属的连接 工艺	926	2.3 胶粘剂粘接法	938
5 特殊材料的连接实例	926	3 塑料与塑料、塑料与其他材料的 连接条件	946
第 21 章 塑料及其与金属的连接	931	4 塑料与塑料的连接实例	952
1 塑料的种类、性能和用途	931	参考文献	958
2 塑料的连接方法	932		
2.1 热熔粘接法	933	附 录	
2.1.1 热封	934	附录 A 本书引用的 406 个焊接实例 索引	959
2.1.2 加热熔接	935	附录 B 本书引用的焊接及其相关标准 目录	1042
2.1.3 气体焊接	935	附录 C 本书引用的术语(代号)及 缩写词	1043
2.1.4 摩擦熔接	935	附录 D 焊缝无损检测符(代)号	1045
2.1.5 热接触熔接(接触加热 焊接)	935		
2.2 溶剂粘接法	936		
2.2.1 溶剂的选择	936		