

工程材料焊接技术问答

王宗杰 臧汝恒 李德元 编著



机械工业出版社

本书从工程实际需要出发,以问答的形式较系统地介绍了包括碳素结构钢、低合金高强度结构钢、合金结构钢、低温钢,低合金耐蚀钢、低、中合金耐热钢、不锈钢、高合金耐热钢、铸铁、高温合金、铝及铝合金、铜及铜合金、钛及钛合金、镁及镁合金、镍及镍基耐蚀合金、难熔金属、贵金属、异种金属材料间、金属与非金属材料间以及非金属材料间等在内的各种工程材料的焊接性和焊接技术问题,并列举了一些工程焊接实例。同时还扼要地介绍了有关材料焊接性的基础理论和试验方法,以及有关焊接工艺和焊接材料的基础知识。

本书理论联系实际、取材先进、简明实用,可供广大焊接工程技术人员、大中专院校师生和中、高级焊工参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料焊接技术问答/王宗杰等编著. —北京:机械工业出版社, 2002.8

ISBN 7-111-10294-0

I. 工… II. 王… III. 工程材料-焊接-问答 IV. TG457-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 031149 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:俞逢英 版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:姚毅 责任印制:付方敏

北京忠信诚胶印厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₃₂·23.125 印张·517 千字

0001—4000 册

定价:33.00 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、68326677—2527
封面无防伪标均为盗版

前 言

材料是社会发展和科技进步的物质基础。当今，人们已把材料看成是与能源、信息技术相并列的现代文明的三大支柱之一。与此同时，也向材料加工行业提出更高的要求，即要求材料加工行业不断地提高加工技术，及时提供与各种新材料加工相配套的技术，以满足材料广泛应用的需要。

在各种材料的加工技术中，焊接是一门重要的技术。在国民经济和国防建设各个部门中使用的许多结构和产品，都是采用焊接技术制造的。焊接的应用遍及能源、交通、建筑、化工、机械制造、航天、航空、海洋工程等各个领域。特别是在焊接工程结构日益向高参数、大型化发展的今天，人们对焊接技术给予了越来越高的重视。

材料工业发展得很快。据统计，当前世界各国已注册的材料品种已达 25 万种之多，包括各种金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料以及由上述两者结合形成的复合材料。而且，随着科学技术的进步，各种新型材料还会不断地出现。而焊接技术也发展得很快，自 19 世纪末期发明了电弧焊以来，经过一百多年的发展历程，出现了许多新的焊接方法、新的焊接材料、新的焊接设备和新的焊接工艺，使许多原来被认为不可焊的材料变成能够焊的材料，使许多原来被认为不好焊的材料变成焊接性良好的材料，焊接质量也在不断地提高。通过人们大量的研究和实践，对于各种工程材料的焊接，已发展了很多理论和积累了很多成熟的生产经

验。这些理论和经验对于从事焊接工作的工程技术人员和刚刚走上工作岗位的大、中专毕业生无疑是十分宝贵的。为此，本书就是从工程实际需要出发，以问答的形式介绍这些在焊接生产中经常可能遇到的理论和实践问题。

本书比较简明系统地介绍了碳素结构钢、低合金高强度结构钢、合金结构钢、低温钢、低合金耐蚀钢、低中合金耐热钢、不锈钢、高合金耐热钢、铸铁、高温合金、铝及铝合金、铜及铜合金、钛及钛合金、镁及镁合金、镍及镍基耐蚀合金、难熔金属、贵金属、异种金属材料间、金属与非金属材料间以及非金属材料间的焊接性和焊接技术问题，并对每种材料都列举了一些工程焊接实例。此外，还扼要地介绍了有关工程材料焊接性的基础理论和试验方法，以及有关焊接工艺和焊接材料的基础知识。本书力求做到理论联系实际，简明实用，采用最新的国家标准、法规和吸收国内外最新的研究成果和先进技术。本书可供广大的焊接工程技术人员、大中专院校师生和中、高级焊工参考使用。

本书第 1、2、5、7、8、9、11、12 章由王宗杰编写，第 3、4、13、14 章由臧汝恒编写，第 6、15、16 章由臧汝恒和王宗杰合编，第 10、17、18、19 章由李德元编写。全书由东北大学机械工程与自动化学院张云麒教授审阅。

由于作者水平所限，书中难免有疏漏和不当之处，敬请读者指正。

作者向为本书编写和出版提供帮助的焊接界的同行及书中所援引文献的作者深表谢意。

编 者

目 录

前言

第 1 章 工程材料及其焊接性理论基础	1
1.1 材料是如何进行分类的?	1
1.2 黑色金属材料 and 有色金属材料分别包括哪些材料?	1
1.3 陶瓷材料和高分子材料分别包括哪些材料?	2
1.4 什么是复合材料?	2
1.5 什么是钢? 钢按照化学成分是如何分类的?	2
1.6 非合金钢、低合金钢和合金钢按照其主要性能及使用特性分别分为哪几类?	4
1.7 非合金钢按主要质量等级是如何分类的?	6
1.8 低合金钢和合金钢按主要质量等级是如何分类的?	8
1.9 低合金钢、中合金钢和高合金钢通常是如何划分的?	9
1.10 钢按照用途是如何分类的?	9
1.11 试述钢材强化和韧化的途径。	10
1.12 普通碳素结构钢的牌号如何表示?	11
1.13 优质碳素结构钢的牌号如何表示?	12
1.14 低合金高强度结构钢的牌号如何表示?	13
1.15 合金结构钢的牌号如何表示?	14
1.16 不锈钢和高合金耐热钢的牌号如何表示?	14
1.17 铸铁的牌号如何表示?	15
1.18 高温合金的牌号如何表示?	16
1.19 变形铝及铝合金的牌号如何表示?	17
1.20 铜及铜合金的牌号如何表示?	21
1.21 镁及镁合金的牌号如何表示?	22

1.22	镍及镍合金的牌号如何表示?	23
1.23	钛及钛合金的牌号如何表示?	23
1.24	什么是工程材料的使用性能和工艺性能?	23
1.25	什么是材料的力学性能? 常用的指标有哪些?	23
1.26	什么是金属组织? 钢中常见的显微组织有哪些?	24
1.27	什么是钢的热处理? 钢的热处理主要有哪些方式?	25
1.28	什么是焊接性? 有哪些影响因素?	26
1.29	什么是工艺焊接性? 什么是使用焊接性?	26
1.30	什么是冶金焊接性? 什么是热焊接性?	27
1.31	试述焊条电弧焊时, 焊缝和热影响区经历的冶金过程。 ...	28
1.32	熔焊时焊接区有哪些气体? 其来源如何?	29
1.33	为什么要对焊接区进行保护? 有哪些保护措施?	29
1.34	氧对焊缝金属有哪些有害作用? 如何防止?	30
1.35	氮对焊缝金属有哪些有害作用? 如何防止?	31
1.36	氢对焊缝金属有哪些有害作用? 如何防止?	31
1.37	什么是扩散氢? 什么是残余氢?	32
1.38	什么是焊接熔渣? 可以分为哪几类?	32
1.39	什么是酸性渣? 什么是碱性渣? 如何来判断?	33
1.40	硫对焊缝金属有哪些有害作用? 如何防止?	33
1.41	磷对焊缝金属有哪些有害作用? 如何防止?	34
1.42	什么是焊缝金属的合金化? 有哪些合金化的方法?	35
1.43	什么是合金过渡系数?	35
1.44	焊接熔池在凝固条件上有哪些特点?	36
1.45	什么是焊缝金属的一次结晶组织? 有什么特点?	36
1.46	什么是焊缝金属的二次结晶组织? 低合金高强度结构钢 和合金结构钢焊缝有可能产生哪些二次结晶组织?	37
1.47	什么是偏析? 焊缝中能产生哪几种偏析?	38
1.48	什么是焊缝金属连续冷却转变图 (WM-CCT)? 有何作用?	39
1.49	如何改善焊缝金属的一次结晶组织?	39

1.50	如何改善焊缝金属的二次结晶组织?	41
1.51	熔焊时如何调整焊缝金属的化学成分?	41
1.52	什么是熔合区? 有何特性?	42
1.53	什么是热影响区? 有何特性?	43
1.54	什么是焊接热循环? 有哪几个特征参数?	44
1.55	不易淬火钢的焊接热影响区可以划分为哪几个组织 区段?	45
1.56	易淬火钢的焊接热影响区可以划分为哪几个组织区段? ...	46
1.57	什么是模拟焊接热影响区连续冷却转变图 (SH - CCT)? 有何作用?	46
1.58	焊接热影响区产生脆化的原因是什么?	48
1.59	焊接热影响区产生软化的原因是什么?	49
1.60	熔焊焊接接头可能产生哪些焊接缺陷?	49
1.61	什么是焊接热裂纹? 结晶裂纹有哪些特征?	51
1.62	试述焊接结晶裂纹的产生原因和防止措施。	51
1.63	什么是焊接冷裂纹? 延迟裂纹有哪些特征?	52
1.64	试述焊接延迟裂纹的产生原因和防止措施。	53
1.65	什么是再热裂纹? 有哪些特征?	54
1.66	试述再热裂纹的产生原因和防止措施。	55
1.67	什么是层状撕裂? 有哪些特征?	56
1.68	试述层状撕裂的产生原因和防止措施。	56
1.69	什么是应力腐蚀裂纹? 有哪些特征?	57
1.70	试述应力腐蚀裂纹的产生原因和防止措施。	57
1.71	焊缝中能产生哪两类气孔? 它们产生的原因是什么?	58
1.72	如何防止焊缝中产生气孔?	59
第 2 章	焊接性试验方法	60
2.1	焊接性试验的目的是什么? 其目的不同时, 试验条件和 试件尺寸有哪些不同?	60
2.2	焊接性试验包括哪些内容?	60

2.3	利用焊接性试验如何确定焊接参数?	61
2.4	如何选用焊接性试验方法?	62
2.5	什么是焊接性间接试验方法? 什么是焊接性直接试验方法?	63
2.6	什么是碳当量法? 有哪些常用的计算公式?	63
2.7	什么是冷裂敏感指数? 如何用以确定预热温度?	65
2.8	焊接连续冷却转变图中 C'_z 、 C'_f 、 C'_p 、 C'_e 各代表什么含义?	67
2.9	利用 SH-CCT 图法如何评定钢的抗冷裂性?	68
2.10	利用再热裂纹敏感指数如何判断钢的焊接再热裂纹倾向?	69
2.11	试述焊接热影响区 (HAZ) 最高硬度法的试验方法。 ..	70
2.12	试述斜 y 形坡口焊接冷裂纹试验的方法。	72
2.13	试述搭接接头 (CTS) 焊接冷裂纹试验的方法。	75
2.14	试述刚性固定对接裂纹试验的方法。	77
2.15	试述插销冷裂纹试验的方法。	78
2.16	试述拉伸拘束裂纹试验 (TRC 试验) 的方法。	82
2.17	试述刚性拘束裂纹试验 (RRC 试验) 的方法。	83
2.18	试述 T 形接头焊接热裂纹试验的方法。	84
2.19	试述压板对接 (FISCO) 焊接热裂纹试验的方法。	86
2.20	试述斜 y 形坡口再热裂纹试验的方法。	88
2.21	试述插销再热裂纹试验的方法。	88
2.22	试述 Z 向拉伸层状撕裂试验的方法。	90
2.23	试述 Z 向窗口层状撕裂试验的方法。	90
2.24	试述焊接接头力学性能试验的取样方法。	91
2.25	试述焊接接头和焊缝金属拉伸试验的方法。	92
2.26	试述焊接接头弯曲试验的方法。	94
2.27	试述焊接接头冲击试验的方法。	96
2.28	评定焊接接头抗脆性断裂性能的试验方法有哪些?	96
第 3 章	焊接工艺及焊接材料	99
3.1	什么是焊接工艺? 什么是焊接参数?	99
3.2	焊接结构常用的焊接接头有哪些基本类型? 都有哪些坡	

口形式?	99
3.3 什么是焊接热输入?	102
3.4 什么是焊缝成形系数? 它对焊缝质量有何影响?	103
3.5 什么是焊缝的熔合比? 它对焊缝的化学成分和性能有何影响?	104
3.6 生产中应用的焊接方法有哪些?	105
3.7 什么是焊条电弧焊? 有何特点?	106
3.8 什么是埋弧焊? 有何特点?	106
3.9 什么是钨极惰性气体保护焊? 有何特点?	108
3.10 什么是钨极脉冲氩弧焊? 有何特点?	109
3.11 什么是熔化极氩弧焊? 有何特点?	110
3.12 熔化极脉冲氩弧焊的工艺特点如何?	111
3.13 什么是二氧化碳气体保护焊? 其特点如何?	113
3.14 什么是等离子弧焊? 其特点如何?	114
3.15 什么是电渣焊? 有何特点?	116
3.16 什么是气焊? 其特点如何?	117
3.17 什么是电子束焊? 其特点如何?	118
3.18 什么是热剂焊? 有何特点?	119
3.19 什么是电阻对焊和闪光对焊? 有何特点?	119
3.20 什么是电阻点焊、缝焊? 有何特点?	120
3.21 什么是摩擦焊、扩散焊? 其特点如何?	121
3.22 什么是钎焊? 与熔焊的主要区别是什么?	123
3.23 什么是预热、层间温度、后热和焊后热处理? 其主要作用是什么?	124
3.24 什么是平焊、立焊、横焊、仰焊和全位置焊?	125
3.25 什么是直流正接和直流反接? 各有何特点?	127
3.26 什么是焊接工艺评定? 其目的是什么?	128
3.27 试述焊接工艺评定的一般程序。	128
3.28 目前焊接工艺评定有哪些技术标准?	129
3.29 什么是焊接材料? 其作用如何? 生产中有哪些焊接	

材料?	130
3.30 焊条是如何分类的?	131
3.31 什么是焊条的工艺性能?	133
3.32 什么是焊条的冶金性能?	135
3.33 试比较酸性焊条和碱性焊条的工艺性能和冶金性能。	135
3.34 碳钢焊条的型号和牌号是如何编制的?	136
3.35 低合金钢焊条的型号和牌号是如何编制的?	139
3.36 不锈钢焊条的型号和牌号是如何编制的?	141
3.37 堆焊焊条的型号和牌号是如何编制的?	145
3.38 铸铁焊条的型号和牌号是如何编制的?	146
3.39 镍及镍合金焊条的型号和牌号是如何编制的?	148
3.40 铜及铜合金焊条型号和牌号是如何编制的?	151
3.41 铝及铝合金焊条的型号和牌号是如何编制的?	152
3.42 焊剂是如何分类的?	153
3.43 什么是熔炼焊剂、粘结焊剂和烧结焊剂?	154
3.44 非熔炼焊剂与熔炼焊剂相比有哪些特点?	155
3.45 如何计算焊剂碱度?	155
3.46 碳素钢埋弧焊用焊剂的型号是如何编制的?	156
3.47 低合金钢埋弧焊用焊剂的型号是如何编制的?	157
3.48 熔炼焊剂的牌号是如何编制的?	159
3.49 烧结焊剂的牌号是如何编制的?	160
3.50 试述焊剂型号和焊剂牌号的正确使用。	161
3.51 焊丝是如何分类的?	161
3.52 碳钢、低合金钢、合金钢、不锈钢实芯焊丝的牌号是如何编制的?	162
3.53 碳钢、低合金钢气体保护焊用实芯焊丝的型号是如何编制的?	163
3.54 碳钢药芯焊丝的型号和牌号是如何编制的?	163
3.55 铜及铜合金焊丝的牌号是如何编制的?	165

3.56	铝及铝合金焊丝的型号是如何编制的?	165
3.57	镍及镍合金焊丝的型号是如何编制的?	166
第4章	碳素结构钢的焊接	167
4.1	什么是碳素钢? 什么是低碳钢、中碳钢和高碳钢?	167
4.2	碳素钢按照用途可以分为哪几类?	167
4.3	简述普通碳素结构钢各种牌号钢的化学成分与力学性能。	168
4.4	简述优质碳素结构钢各种牌号钢的化学成分与力学性能。	169
4.5	简述船体用碳素结构钢的化学成分与力学性能。	169
4.6	简述焊接气瓶用碳素结构钢的化学成分与力学性能。	175
4.7	简述压力容器用碳素结构钢的化学成分与力学性能及其使用范围。	176
4.8	简述锅炉用碳素结构钢的化学成分与力学性能及其使用范围。	178
4.9	简述桥梁用碳素结构钢的化学成分与力学性能。	182
4.10	简述铸造碳钢的分类及其各种牌号的化学成分与力学性能。	183
4.11	为什么说低碳钢有优良的焊接性?	185
4.12	能使低碳钢焊接性变差的因素有哪些? 应采取哪些改善措施?	185
4.13	采用焊条电弧焊如何焊接低碳钢?	190
4.14	采用埋弧焊如何焊接低碳钢?	193
4.15	埋弧焊焊接低碳钢时如何实现对接接头的单面焊双面成形、双面焊和 T 形接头的角焊缝焊接?	197
4.16	采用埋弧焊如何焊接低碳钢筒形焊件的环缝?	198
4.17	采用 CO ₂ 气体保护焊如何焊接低碳钢?	200
4.18	如何减少 CO ₂ 气体保护焊时的金属飞溅?	205
4.19	采用电渣焊如何焊接低碳钢?	207

4.20	电渣焊焊接参数对焊接过程和焊接质量的稳定性有何影响?	210
4.21	采用电渣焊如何焊接低碳钢筒形焊件的环缝?	211
4.22	采用钨极氩弧焊如何焊接低碳钢?	212
4.23	20g 钢制蒸汽锅炉锅筒的焊接实例。	215
4.24	中碳钢的焊接性如何?	217
4.25	试述中碳钢的焊接工艺要点。	218
4.26	试述 35 钢和 ZG270—500 铸造碳钢的焊接工艺。	220
4.27	试述 45 钢和 ZG 310—570 铸造碳钢的焊接工艺。	221
4.28	试述 55 钢和 ZG 340—640 铸造碳钢的焊接工艺。	221
4.29	试述热交换器的管板与管子焊接实例。	222
4.30	试述机轴的焊条电弧焊实例。	223
4.31	越野车的大梁与低碳钢的焊接实例。	223
4.32	高碳钢的焊接性如何?	224
4.33	试述高碳钢的焊接工艺要点。	224
4.34	试述铁道钢轨的电阻焊实例。	225
第 5 章 低合金高强度结构钢及合金结构钢的焊接		227
5.1	低合金高强度结构钢及合金结构钢按照热处理状态可以分为哪几类?	227
5.2	试述热轧及正火钢的冶金特点及用途。	228
5.3	试述低碳调质钢的冶金特点及用途。	229
5.4	试述中碳调质钢的冶金特点及用途。	229
5.5	热轧及正火钢的焊接性如何? 焊接时容易出现哪些问题?	236
5.6	试述热轧及正火钢的焊接工艺要点。	240
5.7	试述 Q295 (09Mn2)、Q295 (12Mn) 热轧钢的焊接工艺。	245
5.8	试述 Q345 (16Mn) 热轧钢的焊接工艺。	246
5.9	试述 Q390 (15MnV) 热轧钢和 Q390 (15MnTi) 正火钢	

的焊接工艺。	248
5.10 试述 Q420 (15MnVN) 正火钢的焊接工艺。	249
5.11 试述 13MnNiMoNb (或 BHW35) 正火钢的焊接 工艺。	250
5.12 试述 14MnMoVBRE 热轧钢的焊接工艺。	252
5.13 试述 18MnMoNb 正火钢的焊接工艺。	252
5.14 试述 14MnMoV 正火钢的焊接工艺。	254
5.15 试述船板用 E32、E36 和 WFG-E40 正火钢的焊接 工艺。	255
5.16 试述平台用 Z 向钢 D36 和 WFG-36Z 正火钢的焊接 工艺。	256
5.17 16MnR 热轧钢制液化石油气球罐的焊接实例。	260
5.18 18MnMoNb 正火钢大型化肥设备外壳的焊接实例。 ...	262
5.19 低碳调质钢的焊接性如何? 焊接时容易出现哪些 问题?	264
5.20 试述低碳调质钢的焊接工艺要点。	265
5.21 试述 14MnMoNbB 低碳调质钢的焊接工艺。	269
5.22 试述 HQ60 低碳调质钢的焊接工艺。	271
5.23 试述 HQ70 低碳调质钢的焊接工艺。	272
5.24 试述 HQ80C 低碳调质钢的焊接工艺。	274
5.25 试述 HQ100 低碳调质钢的焊接工艺。	276
5.26 试述 12Ni3CrMoV 低碳调质钢的焊接工艺。	277
5.27 试述 10Ni5CrMoV 低碳调质钢的焊接工艺。	278
5.28 14MnMoNbB 低碳调质钢热套高压容器的焊接 实例。	280
5.29 15MnMoVN 低碳调质钢球形高压容器环缝的焊接 实例。	281
5.30 20MnMoNb 低碳调质锻钢大厚度高压蓄势水罐的焊接 实例。	282
5.31 中碳调质钢的焊接性如何? 焊接时容易出现哪些	

问题?	284
5.32 试述中碳调质钢的焊接工艺要点。	285
5.33 试述 30CrMnSiA 中碳调质钢的焊接工艺。	289
5.34 试述 30CrMnSiNi2A 中碳调质钢的焊接工艺。	290
5.35 30CrMnSiA 中碳调质钢管制桁架结构的焊接实例。	292
第 6 章 低温钢的焊接	294
6.1 什么是低温钢? 低温钢最重要的性能是什么?	294
6.2 低温钢是怎样分类的?	294
6.3 什么是脆性转变温度? 它与哪些因素有关?	297
6.4 低温钢的焊接性如何? 焊接时容易产生哪些问题?	302
6.5 试述低温钢的焊接工艺要点。	303
6.6 试述 09Mn2VDR 低温钢的焊接工艺。	305
6.7 试述 06MnNbDR 低温钢的焊接工艺。	305
6.8 试述 06AlNbCuN 低温钢的焊接工艺。	306
6.9 试述 09MnNiDR 低温钢的焊接工艺。	306
6.10 试述 3.5Ni 低温钢的焊接工艺。	306
6.11 试述 9Ni 低温钢的焊接工艺。	307
6.12 低温钢制压力容器的焊接实例。	308
第 7 章 低合金耐蚀钢的焊接	310
7.1 低合金耐蚀钢按照用途可以分为哪几类?	310
7.2 金属腐蚀有哪几种形式?	314
7.3 如何提高金属的耐腐蚀性?	314
7.4 耐大气、海水腐蚀用钢的焊接性如何? 其焊接工艺要点 是什么?	315
7.5 试述 09MnCuPTi 耐大气腐蚀用钢的焊接工艺。	316
7.6 试述 08CuPVRE 耐大气腐蚀用钢的焊接工艺。	317
7.7 试述 09CuPTiRE 耐大气腐蚀用钢的焊接工艺。	318
7.8 试述 WSPA 耐大气腐蚀用钢的焊接工艺。	318
7.9 试述 10MnPNbRE 耐海水腐蚀用钢的焊接工艺。	320

7.10	试述 08PVRE 耐海水腐蚀用钢的焊接工艺。	320
7.11	耐石油腐蚀用钢的焊接性如何？其焊接工艺要点是什么？	321
7.12	试述 15MoVAlTiRE 耐石油腐蚀用钢的焊接工艺。	322
7.13	试述 12AlMoV 耐石油腐蚀用钢的焊接工艺。	323
7.14	试述 15Al3MoWTi 及 15Al2Cr2MoWTi 耐石油腐蚀用钢的焊接工艺。	324
7.15	试述 12SiMoVNBAl 耐高温硫腐蚀用钢的焊接工艺。 ...	325
第 8 章	低、中合金耐热钢的焊接	327
8.1	何谓耐热钢？	327
8.2	何谓低合金耐热钢、中合金耐热钢和高合金耐热钢？ ...	327
8.3	何谓蠕变、蠕变极限？	330
8.4	何谓持久强度？	333
8.5	何谓高温短时强度？	334
8.6	耐热钢焊接接头的性能应满足哪些基本要求？	334
8.7	低、中合金耐热钢的焊接性如何？焊接时容易出现哪些问题？	335
8.8	试述低合金耐热钢的焊接工艺要点。	336
8.9	试述中合金耐热钢的焊接工艺要点。	340
8.10	试述低合金耐热钢 15Mo (0.3Mo) 的焊接工艺。	342
8.11	试述低合金耐热钢 12CrMo (1Cr-0.5Mo) 的焊接工艺。	342
8.12	试述低合金耐热钢 15CrMo (1Cr-0.5Mo) 的焊接工艺。	343
8.13	试述低合金耐热钢 12Cr1MoV (1Cr-0.5Mo-V) 的焊接工艺。	344
8.14	试述低合金耐热钢 12Cr2Mo (2.25Cr-1Mo) 的焊接工艺。	345
8.15	试述低合金耐热钢 12Cr2MoWVTiB 的焊接工艺。	346

8.16	试述中合金耐热钢 1Cr5Mo (5Cr-0.5Mo) 的焊接工艺。	347
8.17	试述中合金耐热钢 12Cr9Mo1 (9Cr-1Mo) 的焊接工艺。	348
8.18	15CrMo (1Cr-0.5Mo) 低合金耐热钢压力容器的电渣焊实例。	348
8.19	12Cr2Mo (2.25Cr-1Mo) 低合金耐热钢压力容器的埋弧焊实例。	349
8.20	10CrMo910 (2.25Cr-1Mo) 低合金耐热钢电站高温高压管道的混合气体保护焊实例。	350
8.21	A213-T11 (1.25Cr-0.5Mo) 低合金耐热钢膜式水冷壁的熔化极气体保护焊实例。	351
8.22	12Cr1MoV (1Cr-0.5Mo-V) 低合金耐热钢锅炉联箱的埋弧焊实例。	352
8.23	1Cr5Mo (5Cr-0.5Mo) 中合金耐热钢压力容器厚壁管环缝的焊接实例。	353
第 9 章	不锈钢及高合金耐热钢的焊接	355
9.1	什么是不锈钢? 它在化学成分和性能上与高合金耐热钢有哪些异同点?	355
9.2	不锈钢和高合金耐热钢按照所含主要合金元素种类的不同可以分为哪几类?	355
9.3	不锈钢和高合金耐热钢按照钢的组织特征可以分为哪几类?	356
9.4	在工业上如何评定不锈钢的耐腐蚀性?	365
9.5	何谓 475℃ 脆性?	366
9.6	何谓 σ 相脆性?	366
9.7	马氏体钢的焊接性如何? 焊接时容易出现哪些问题? ...	367
9.8	试述马氏体钢的焊接工艺要点。	368
9.9	试述 1Cr13 和 2Cr13 马氏体钢焊条电弧焊工艺。	370

9.10	试述 1Cr11MoV 马氏体钢焊条电弧焊工艺。·····	371
9.11	试述 X20CrMoV121 马氏体钢的焊接工艺。·····	371
9.12	3Cr13 马氏体钢压力阀套的焊条电弧焊实例。·····	373
9.13	4Cr13 马氏体钢煤仓漏斗的焊条电弧焊实例。·····	374
9.14	X20CrMoV121 马氏体钢主蒸汽管道的焊接实例。·····	375
9.15	铁素体钢的焊接性如何? 焊接时容易出现哪些问题? ·····	377
9.16	试述铁素体钢的焊接工艺要点。·····	378
9.17	1Cr17 铁素体钢自动钨极氩弧焊实例。·····	380
9.18	1Cr17Ti 铁素体钢焊条电弧焊实例。·····	380
9.19	奥氏体钢的焊接性如何? 焊接时容易出现哪些问题? ·····	381
9.20	奥氏体钢焊缝中容易产生结晶裂纹的原因是什么? 如何防止? ·····	383
9.21	奥氏体钢近缝区容易产生液化裂纹的原因是什么? 如何防止? ·····	384
9.22	奥氏体钢焊接接头产生敏化区腐蚀的原因是什么? ·····	385
9.23	奥氏体钢焊缝产生晶间腐蚀的原因是什么? ·····	386
9.24	如何防止在奥氏体钢焊缝和敏化区产生晶间腐蚀? ·····	386
9.25	什么是奥氏体钢和焊缝的一次稳定状态和二次稳定状态? ·····	388
9.26	为什么 18-8 型奥氏体焊缝形成 $\gamma + \delta$ 双相组织, 有利于防止结晶裂纹? ·····	388
9.27	为什么 18-8 型奥氏体焊缝形成 $\gamma + \delta$ 双相组织, 有利于提高耐晶间腐蚀性能? ·····	389
9.28	奥氏体钢焊接接头产生刀状腐蚀的原因是什么? 如何防止? ·····	390
9.29	试述奥氏体钢焊条电弧焊工艺要点。·····	391
9.30	试述奥氏体钢氩弧焊工艺要点。·····	393
9.31	试述奥氏体钢埋弧焊工艺要点。·····	399
9.32	试述奥氏体钢 CO ₂ 气体保护焊工艺要点。·····	401
9.33	焊接奥氏体钢是否需要预热和焊后热处理? ·····	401