

# 中国材料 工程大典

中国机械工程学会 中国材料研究学会

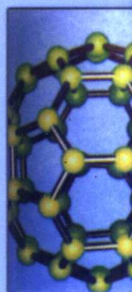


中国材料工程大典编委会

第**23**卷

材料焊接工程(下)

史耀武 主编



化学工业出版社

CHINA MATERIALS ENGINEERING CANON

# 中国材料 工程大典

中国机械工程学会 中国材料研究学会



中国材料工程大典编委会

第**23**卷

材料焊接工程(下)

史耀武 主编



化学工业出版社

·北京·

(京)新登字 039 号

## 内 容 简 介

中国材料工程大典是中国机械工程学会和中国材料研究学会共同组织全国 39 位院士、百余位各学科带头人、千余位材料工程专家共同执笔编写,全面反映当今国内外材料工程领域发展的最新资料和最新成果,集实用性、先进性和权威性于一体的大型综合性工具书。中国材料工程大典包括材料工程基础、钢铁材料工程、有色金属材料工程、高分子材料工程、无机非金属材料工程、复合材料工程、信息功能材料工程、粉末冶金材料工程、材料热处理工程、材料表面工程、材料铸造成形工程、材料塑性成形工程、材料焊接工程、材料特种加工成形工程、材料表征与检测技术等内容,涵盖了材料工程的各个领域,将最新的实用数据(特别是与国际接轨的标准数据)、图表与先进实用的科研成果系统地集合起来,并附应用实例,充分展示了材料工程各领域的现状和未来。中国材料工程大典不仅可以满足现代企业正确选材,合理用材,应用先进的材料成形加工技术,提高产品质量和性能,降低产品成本,增强产品市场竞争力的需要,而且对推动中国材料科学与材料成形加工技术的不断创新,促进制造业的发展,提高我国制造业的竞争能力,具有重要的现实意义。

本书为第 23 卷,材料焊接工程(下)。主要内容包括材料焊接、焊接生产过程自动化、焊接结构设计、焊接结构制造、焊接生产质量管理与无损检测、焊接结构服役与再制造等。

本书主要供具有大专以上学历,从事材料工程研究的工程技术人员在综合研究和处理材料焊接工程各类技术问题时使用,起备查、提示和启发的作用,也可供研究人员、理工院校的有关师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

中国材料工程大典.第 23 卷,材料焊接工程.下/史耀武主编.—北京:化学工业出版社,2005.8  
ISBN 7-5025-7325-9

I. 中… II. 史… III. ①材料科学 ②金属材料—焊接 IV. ①TB3 ②TG457

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 094412 号

## 中国材料工程大典

### 第 23 卷

### 材料焊接工程(下)

中国机械工程学会

中国材料研究学会

中国材料工程大典编委会

史耀武 主编

责任编辑:周国庆 陈志良 李骏带

责任校对:顾淑云

封面设计:雷嘉琦

\*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码:100029)

◆ 购书咨询:(010) 64982530

(010) 64918013

购书传真:(010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京蓝海印刷有限公司印装

开本 880mm×1230mm 1/16 印张 73¼ 字数 3436 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7325-9

定价:200.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

# 序

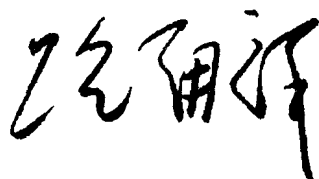
材料是当代社会经济发展的物质基础，也是制造业发展的基础和重要保障。进入 21 世纪以来，随着经济全球化的发展和中国的崛起，现代制造业的重心正不断向中国转移。据统计，今天中国制造业直接创造国民生产总值的 1/3 以上，约占全国工业生产的 4/5，为国家财政提供 1/3 以上的收入，占出口总额的 90%。但是与发达国家相比，我国制造业的水平不高、自主创新能力不足、高端市场竞争力还不强。我国虽然已是世界制造业大国，但还不是世界制造业强国。在有关因素中，材料工程基础薄弱是制约我国制造业发展的关键因素。广义的材料工程包括材料制备、测试和加工成形过程。为了提高我国制造业的水平和竞争力，突破材料工程这个薄弱环节，中国机械工程学会和中国材料研究学会牵头，会同中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会、中国复合材料学会共同组织编撰《中国材料工程大典》（简称《材料大典》），其目的是力图为我国制造业提供一部集科学性、先进性和实用性于一体的综合性专业工具书。以满足广大科技工作者的迫切需求，为科技自主创新和我国制造业的崛起加强技术基础。

经过 5 年多的艰苦努力，《材料大典》终将出版了。这部共 26 卷约 7000 万字的巨著，是 39 位两院院士和 1200 余位参编专家教授们辛勤劳动的智慧结晶。有的作者为此牺牲了健康，如一位退休了的总工程师，为了把他多年的研究成果和实践经验写成书稿，由于长时间写作，导致眼睛视网膜脱落……。这种敬业精神与坚强毅力是值得我们学习铭记的。借此机会，我们要感谢中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会、中国复合材料学会的支持。这些学会的众多专家教授积极参与了《材料大典》编写工作，与中国机械工程学会和中国材料研究学会的专家教授一起完成这项艰巨任务，从而使《材料大典》在完整性与先进性、科学性与实用性的结合上得到了加强；我们要感谢科学技术部、国防科学技术工业委员会、国家自然科学基金委员会、中国科学技术协会、中国科学院、中国工程院，以及各协作单位对编写工作的大力支持和积极帮助；我们也要感谢师昌绪院士等顾问的殷切指导，他们在编委会的两次工作会议上提出了许多重要的意见和建议，平时也给予了经常关心和指导，使我们少走了许多弯路；我们还要对关心和支持《材料大典》编写工作的科研院所、院校、企业以及有关人员表示感谢。没有大家的支持与协同，就不可能有《材料大典》的成功编写和顺利出版。

《材料大典》既总结了 10 多年来在材料工程方面的最新数据、图表及科研成果，还汇集了国内外在材料工程方面的成熟经验和先进理念，它体现了科学性、先进性和实用性的结合。可供具有大专以上文化水平的有关工程技术人员查阅使用，也可供理工院校的师生参考。

编撰《材料大典》涉及范围广，难度大，书中不可避免地会存在一些缺点和不足之处，恳请各位读者指正。

中国机械工程学会理事长  
中国材料工程大典编委会主任



2005 年 9 月 23 日

# 前 言

《材料焊接工程》卷是《中国材料工程大典》中的卷目之一。

焊接技术的应用涉及能源、交通、航空航天、建筑工程、电气工程、微电子等几乎所有现代制造业。焊接俗称钢铁裁缝。如40%的钢铁材料需经过焊接加工才能成为有用的结构或产品。可以想象焊接在国民的生产生活、财富创造、国防建设及劳动就业中将起到多么重大的作用。

随着冶金及材料科学的发展、计算机及网络技术的广泛应用,材料焊接理论及焊接制造技术得到了空前的迅猛发展,现代焊接技术已能基本满足当前生产的需求。但目前仍存在诸多迫切需要解决的问题,如焊接技术仍过分依赖经验和试验,需要科学的理论和方法指导;焊工的劳动条件仍较差,应大力推广焊接机器人的应用,开发灵巧并有智能的焊接机械或自动化焊接设备,使工作脱离艰苦的工作环境。为了实现清洁生产及可持续发展战略,需要开发节能、节材、无污染的焊接生产装备和焊接材料,降低焊接制造成本,提高企业管理水平和人员素质。特别是在新能源、太空及海洋的开发中,焊接技术仍面临巨大的挑战。为此,《中国材料工程大典》中的《材料焊接工程》卷的编写和出版,正是适应了这一形势发展的需求。

《材料焊接工程》卷(上、下卷)是一部集实用性、先进性和权威性于一体的焊接专业技术工具书。主要内容包括:概论、材料焊接加工技术基础、焊接方法与设备、材料焊接、焊接生产过程自动化、焊接结构设计、焊接结构制造、焊接生产质量管理与无损检测、焊接结构服役与再制造等9篇共67章,约600余万字。来自全国著名大学、研究院所及企业的80余位专家教授,历时3年多时间共同完成这部著作的编写工作。本书全面系统地反映了我国焊接技术的发展及取得的成就和经验,并介绍了国内外的先进焊接技术。在内容安排上,既立足全局,又突出重点。本书主要供从事制造业和材料工程的科技人员在工作中查阅使用,也可以供研究人员、管理人员和高等院校师生参考。

感谢中国机械工程学会、中国材料研究学会、中国材料工程大典编委会、中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会、中国复合材料学会对本卷编写工作的指导与大力支持,感谢有关单位及个人对编写工作的积极参与和热情帮助,使得编写工作能顺利完成。由于编写时间紧迫和编者水平所限,书中的不当之处,恳请读者指正并提出宝贵意见。

史耀武

2005年9月9日

# 目 录

<b>第4篇 材料焊接</b> .....	1
<b>第1章 碳钢的焊接</b> .....	3
1 常见焊接用碳钢的认识 .....	3
1.1 常见焊接用碳钢及碳钢铸件的成分和性能 .....	3
1.2 碳钢焊接适用的工艺方法及所用焊接材料的进展 .....	10
2 碳钢焊接用材料 .....	10
2.1 焊条 .....	10
2.2 埋弧焊焊丝和焊剂 .....	14
2.3 CO <sub>2</sub> 气保护焊用焊丝 .....	16
2.4 其他辅料 .....	19
3 碳钢的焊接性 .....	20
4 碳钢的焊接工艺 .....	20
4.1 低碳钢 .....	20
4.2 中碳钢 .....	26
4.3 高碳钢 .....	27
5 碳钢焊接材料牌号对照 .....	27
5.1 焊条 .....	27
5.2 焊丝 .....	29
5.3 焊剂 .....	29
<b>第2章 铸铁的焊接</b> .....	30
1 铸铁 .....	30
2 铸铁的焊接性 .....	31
2.1 焊接接头分区、成分组织及性能 .....	31
2.2 焊接裂纹 .....	33
3 铸铁焊接工艺、方法及材料 .....	34
3.1 铸铁型焊缝焊接工艺、方法 .....	34
3.2 非铸铁型焊缝的电弧冷焊 .....	34
3.3 铸铁焊接材料 .....	35
4 灰铸铁的焊接 .....	40
4.1 灰铸铁的电弧焊 .....	40
4.2 灰铸铁的气焊 .....	45
4.3 灰铸铁的火焰钎焊 .....	47
4.4 灰铸铁的火焰粉末喷焊 .....	47
5 球墨铸铁的焊接 .....	48
5.1 球墨铸铁焊接性 .....	48
5.2 球墨铸铁的电弧焊 .....	49
6 蠕墨铸铁的焊接 .....	53
7 可锻铸铁的焊接 .....	54
8 白口铸铁的焊补 .....	54
<b>第3章 低合金高强度钢的焊接</b> .....	55
1 低合金高强度钢的发展 .....	55
2 管线钢的焊接 .....	55
2.1 管线钢的发展 .....	55
2.2 管线钢的焊接性 .....	56
2.3 管线钢的焊接工艺 .....	58
3 400 MPa 级超细晶粒钢的焊接 .....	59
3.1 超细晶粒钢焊接热影响区的晶粒长大 .....	59
3.2 400 MPa 级超细晶粒钢板的电弧焊接 .....	63
3.3 400 MPa 级超细晶粒钢板的激光焊接 .....	72
3.4 400 MPa 级超细晶粒碳素钢筋的焊接 .....	79
4 800 MPa 级超细晶粒钢的焊接性 .....	87
4.1 弛豫热处理 (RPC) 超细组织钢的成分及组织特征 .....	87
4.2 800 MPa 级新一代钢焊接热影响区组织变化规律 .....	87
4.3 鞍钢 20 mm 厚 RPC 钢板焊接接头组织与性能 .....	93
4.4 RPC 超细组织低合金钢的激光焊接研究 .....	97
5 船舶用低合金高强度钢的焊接 .....	104
<b>第4章 耐热钢的焊接</b> .....	105
1 概述 .....	105
1.1 耐热钢的种类 .....	105
1.2 耐热钢的应用范围 .....	105
1.3 对耐热钢焊接接头性能的基本要求 .....	106
2 低合金耐热钢的焊接 .....	106
2.1 低合金耐热钢的化学成分、力学性能和热处理状态 .....	106
2.2 低合金耐热钢的焊接特点 .....	108
2.3 低合金耐热钢的焊接工艺 .....	109
2.4 低合金耐热钢接头性能的控制 .....	112
2.5 低合金耐热钢焊接实例 .....	114
3 中合金耐热钢的焊接 .....	116
3.1 中合金耐热钢的化学成分和力学性能 .....	116
3.2 中合金耐热钢的焊接特性 .....	117
3.3 中合金耐热钢的焊接工艺 .....	119
3.4 中合金耐热钢焊接接头的力学性能 .....	121
3.5 中合金耐热钢焊接实例 .....	123
4 高合金耐热钢的焊接 .....	125
4.1 高合金耐热钢的化学成分和力学性能 .....	125
4.2 高合金耐热钢的焊接特性 .....	132
4.3 高合金耐热钢的焊接工艺 .....	135
4.4 高合金耐热钢接头的性能 .....	141
4.5 高合金耐热钢焊接实例 .....	144
<b>第5章 不锈钢的焊接</b> .....	146
1 不锈钢的分类及其特性 .....	146
1.1 不锈钢的分类 .....	146
1.2 不锈钢的化学成分 .....	147
1.3 不锈钢的力学性能 .....	150
1.4 不锈钢的物理性能 .....	152
1.5 不锈钢的耐蚀性能 .....	153
1.6 不锈钢的耐热性能 .....	155
1.7 不锈钢的组织 .....	156
2 不锈钢的焊接性 .....	156
2.1 焊接接头的耐蚀性 .....	156
2.2 焊接接头的热裂纹 .....	157
2.3 焊接接头的冷裂纹 .....	158
2.4 焊接接头的脆化 .....	159
3 不锈钢的焊接方法和焊接材料 .....	159
3.1 不锈钢的焊接方法 .....	159
3.2 不锈钢的焊接材料 .....	160
4 奥氏体不锈钢的焊接 .....	176
4.1 奥氏体不锈钢焊接时的主要问题 .....	176
4.2 奥氏体不锈钢焊接工艺特点 .....	176
4.3 奥氏体不锈钢焊接实例 .....	181
5 马氏体不锈钢的焊接 .....	181
5.1 马氏体不锈钢焊接时的主要问题 .....	181

5.2 马氏体不锈钢焊接工艺特点	182	2.4 镁及镁合金的钎焊	284
5.3 马氏体不锈钢焊接实例	184	2.5 镁及镁合金的搅拌摩擦焊	285
6 铁素体不锈钢焊接工艺特点	184	2.6 镁及镁合金的螺柱焊	285
6.1 铁素体不锈钢焊接时的主要问题	184	2.7 镁及镁合金焊接技术安全	285
6.2 铁素体不锈钢焊接工艺特点	186	<b>第8章 钛及其合金的焊接</b>	286
7 铁素体-奥氏体双相不锈钢的焊接	187	1 概述	286
7.1 双相不锈钢的特点及焊接性分析	187	2 钛合金的分类	286
7.2 Cr18型双相不锈钢的焊接要点	188	2.1 工业纯钛	286
7.3 Cr25型双相不锈钢焊接工艺要点	188	2.2 $\alpha$ 和近 $\alpha$ 钛合金	286
7.4 双相不锈钢焊接实例	188	2.3 $\alpha+\beta$ 钛合金	286
8 时效不锈钢的焊接	189	2.4 $\beta$ 钛合金	286
8.1 时效不锈钢的类型	189	3 钛及其合金的焊接性	289
8.2 时效半奥氏体不锈钢焊接要点	189	3.1 间隙元素沾污引起脆化	289
8.3 时效马氏体不锈钢焊接要点	190	3.2 焊接相变引起的性能变化	289
8.4 时效奥氏体不锈钢焊接要点	191	3.3 裂纹	291
<b>第6章 高温合金的焊接</b>	192	3.4 气孔	291
1 概述	192	3.5 相对焊接性	291
1.1 高温合金的发展及应用概况	192	4 焊接材料和工艺	291
1.2 高温合金的强化方法及合金元素的作用	192	4.1 焊接材料	291
1.3 高温合金的牌号和化学成分	193	4.2 焊前清理	291
1.4 高温合金的力学性能	193	4.3 焊接或钎焊中的保护	292
2 高温合金的焊接性	199	4.4 钨极气体保护电弧焊	292
2.1 高温合金焊接接头的裂纹敏感性	199	4.5 熔化极气体保护电弧焊	293
2.2 焊接接头组织的不均匀性	201	4.6 等离子弧焊	293
2.3 焊接接头的等强性	202	4.7 真空电子束焊	294
3 高温合金的惰性气体保护电弧焊	202	4.8 激光焊	295
3.1 钨极惰性气体保护电弧焊	202	4.9 摩擦焊	295
3.2 熔化极惰性气体保护电弧焊	212	4.10 电阻焊	295
4 高温合金的高能束焊接	212	4.11 闪光焊	296
4.1 等离子弧焊	212	4.12 高频焊	296
4.2 电子束焊	213	4.13 扩散焊和扩散钎焊	296
4.3 激光焊	214	4.14 钎焊	297
5 高温合金的电阻焊	215	5 焊缝缺陷及补焊工艺	298
5.1 电阻点焊	215	5.1 焊缝缺陷	298
5.2 电阻缝焊	217	5.2 补焊工艺	298
5.3 闪光焊	221	6 焊后热处理	298
6 摩擦焊	222	6.1 退火	298
6.1 焊接特点	222	6.2 淬火-时效处理	299
6.2 接头设计	222	6.3 时效处理	299
6.3 焊前准备	222	6.4 热处理制度的选取	299
6.4 焊接工艺	222	7 钛及钛合金的焊接实例	299
6.5 接头缺陷及防止	222	7.1 压力容器的焊接	299
6.6 接头组织与力学性能	222	7.2 管材对接	300
7 高温合金的钎焊和扩散焊	223	7.3 30万吨合成氨设备用工业纯钛焊接	300
7.1 钎焊	223	7.4 整流器叶片钎焊	300
7.2 大间隙钎焊	230	<b>第9章 铜及其合金的焊接</b>	301
7.3 固相扩散焊	232	1 铜及铜合金的焊接性	301
7.4 过渡液相扩散焊	232	2 铜及铜合金的熔焊方法	301
<b>第7章 铝、镁及其合金的焊接</b>	234	2.1 熔焊方法的选择	301
1 铝及铝合金的焊接	234	2.2 熔焊用材料	301
1.1 铝及铝合金概述	234	2.3 熔焊工艺注意事项	303
1.2 铝及铝合金的熔焊	234	3 铜及铜合金的钎焊	304
1.3 铝及铝合金的钎焊	267	3.1 铜及铜合金的硬钎焊	304
1.4 铝及铝合金的固相焊接	272	3.2 铜及铜合金的软钎焊	304
1.5 铝及铝合金的电阻焊	274	<b>第10章 难熔合金的焊接</b>	306
2 镁及镁合金的焊接	276	1 钨的焊接	306
2.1 镁及镁合金概述	276	1.1 钨的焊接性	306
2.2 镁及镁合金的熔焊	278	1.2 钨的焊接方法	306
2.3 镁及镁合金的电阻焊	284	2 钼的焊接	307

2.1 钨的焊接性	307	4.3 微波连接	334
2.2 钨的焊接方法	307	4.4 其他连接方法	334
3 钒、铌、钽及其合金的焊接	308	<b>第 14 章 金属间化合物的连接</b>	335
3.1 钒、铌、钽及其合金的焊接性	308	1 金属间化合物的类型和特征	335
3.2 钒、铌、钽及其合金的钨极惰性气体保护焊	308	1.1 Ni-Al 系金属间化合物	335
3.3 钒、铌、钽及其合金的电子束焊	308	1.2 Ti-Al 系金属间化合物	335
3.4 钒、铌、钽及其合金的其他焊接方法简述	308	1.3 Fe-Al 系金属间化合物	335
<b>第 11 章 稀有有色金属的焊接</b>	310	2 Ni-Al 系金属间化合物的连接	336
1 稀有有色金属的特点	310	2.1 Ni <sub>3</sub> Al 合金的焊接	336
2 稀有有色金属的焊接性	310	2.2 NiAl 合金的连接	337
3 银及其合金的焊接	310	3 Ti-Al 系金属间化合物的连接	337
3.1 银及其合金的熔化焊	310	3.1 Ti <sub>3</sub> Al 合金的连接	337
3.2 银及其合金的压力焊	310	3.2 TiAl 合金的连接	338
3.3 银及其合金的钎焊	311	4 Fe-Al 系金属间化合物的连接	341
4 金及其合金的焊接	311	<b>第 15 章 复合材料的连接方法</b>	342
4.1 金及其合金的熔焊	311	1 复合材料的分类及特点	342
4.2 金及其合金的压焊	311	1.1 复合材料的分类	342
4.3 金及其合金的钎焊	311	1.2 复合材料的特点	342
5 铂及其合金的焊接	311	1.3 复合材料的应用	343
5.1 铂及其合金的熔焊	311	2 金属基复合材料的连接	343
5.2 铂及其合金的压焊	312	2.1 金属基复合材料的制备	343
5.3 铂及其合金的钎焊	312	2.2 金属基复合材料的连接	343
<b>第 12 章 异种金属焊接</b>	313	3 树脂基复合材料的连接	348
1 概述	313	3.1 树脂基复合材料的连接特性	348
1.1 异种金属焊接性特点	313	3.2 树脂基复合材料的连接	349
1.2 异种金属焊接的冶金问题	314	4 C/C 复合材料的连接	349
1.3 异种金属焊接工艺特点	317	5 陶瓷基复合材料的连接	350
2 异种钢焊接	317	<b>第 16 章 塑料的焊接</b>	351
2.1 异种钢焊接的应用及其分类	317	1 概述	351
2.2 同类型组织的异种钢焊接	318	2 塑料焊接的特点	352
2.3 不同类型组织的异种钢焊接	319	3 塑料焊接方法	352
3 钢与有色金属焊接	320	3.1 热气焊	352
3.1 钢与铜及其合金的焊接	320	3.2 热工具焊	355
3.2 钢与镍及其合金的焊接	321	3.3 挤塑焊	358
3.3 钢与铝及其合金的焊接	321	3.4 超声波焊	359
3.4 钢与钛及其合金的焊接	322	3.5 摩擦焊	360
3.5 钢与难熔金属及其合金的焊接	322	3.6 振动焊	362
4 异种有色金属焊接	323	3.7 高频电焊	363
4.1 铝与其他有色金属的焊接	323	3.8 激光焊	364
4.2 铜与其他有色金属的焊接	323	3.9 焊接方法选择	365
4.3 异种难熔金属的焊接	324	4 塑料焊接质量检验	365
4.4 难熔金属与其他有色金属的焊接	325	4.1 塑料焊接缺陷的检测	365
<b>第 13 章 陶瓷的连接</b>	326	4.2 塑料焊接接头力学性能的测试	366
1 工程结构陶瓷的种类、性能及应用	326	5 塑料焊接的应用	369
1.1 概述	326	5.1 塑料管道	369
1.2 工程结构陶瓷及陶瓷基复合材料的种类、性能及用途	326	5.2 塑料容器	370
2 陶瓷材料的焊接性问题	329	5.3 塑料衬里	370
2.1 陶瓷材料焊接的一般问题	329	5.4 其他应用	371
2.2 陶瓷基复合材料的连接问题	329	<b>第 17 章 金属材料的堆焊</b>	372
3 陶瓷连接的方法	329	1 概述	372
3.1 直接钎焊法	329	1.1 堆焊及其类型	372
3.2 陶瓷的固相扩散连接	330	1.2 堆焊在生产中的应用	372
3.3 陶瓷的过渡液相连接	330	1.3 堆焊中需注意的几个问题	372
3.4 反应成形法连接陶瓷	332	2 金属材料堆焊	373
4 陶瓷基复合材料的连接方法	333	2.1 堆焊工艺方法	373
4.1 钎焊	333	2.2 堆焊材料的形状	374
4.2 无压固相反应连接	333	2.3 堆焊金属的使用性能	374
		2.4 堆焊合金的分类	375
		2.5 铁基堆焊合金	376



2.6 其他堆焊合金 .....	392	设计 .....	483
2.7 堆焊合金的选择 .....	402	4.2 翅片管自动焊机微机控制系统设计 .....	484
参考文献 .....	404	4.3 螺旋焊缝自动跟踪系统设计 .....	487
<b>第5篇 焊接生产过程自动化</b> .....	409	<b>第5章 焊接机器人及其工程应用</b> .....	490
<b>第1章 焊接生产自动化现状与发展</b> .....	411	1 焊接机器人产品分类及性能特点 .....	490
1 现代焊接自动化技术与装备的主要特点与我国 发展概况 .....	411	2 焊接机器人系统配置 .....	491
2 焊接自动化弧焊设备分类 .....	412	2.1 焊接机器人 .....	491
2.1 专用型自动弧焊设备 .....	412	2.2 弧焊机器人系统焊接装置 .....	492
2.2 焊接机器人 .....	413	2.3 点焊机器人系统焊接装置 .....	494
3 典型产品的自动化焊接技术 .....	413	2.4 焊接机器人系统的外围设备 .....	494
3.1 天然气管道的自动化焊接技术 .....	413	3 焊接机器人路径规划 .....	496
3.2 储罐自动化焊接技术 .....	415	3.1 焊接机器人无碰路径规划 .....	497
3.3 船舶焊接自动化技术 .....	420	3.2 焊接机器人路径自主规划 .....	497
3.4 机器人焊接集管接头技术 .....	421	4 焊接柔性制造单元(WFMC)和焊接柔性制造 系统(WFMS) .....	499
4 焊接生产自动化发展方向与关键技术 .....	422	4.1 柔性制造单元(FMC)和柔性制造系统(FMS) 的定义及特性 .....	499
4.1 发展方向 .....	422	4.2 焊接柔性制造单元(WFMC) .....	500
4.2 进一步发展焊接自动化的关键技术 .....	422	4.3 焊接柔性制造系统(WFMS) .....	500
<b>第2章 焊接过程信息检测技术</b> .....	425	5 焊接机器人工程应用及其若干举例 .....	501
1 概论 .....	425	5.1 焊接机器人工作站的一般设计原则 .....	501
2 焊接过程的信息及传感方法 .....	425	5.2 焊接机器人生产线的设计原则 .....	502
2.1 弧焊过程信息的传感 .....	425	5.3 焊接机器人工作站举例 .....	502
2.2 电阻焊信息的传感 .....	430	5.4 焊接机器人生产线举例 .....	505
2.3 激光焊接的信息传感 .....	432	参考文献 .....	508
2.4 电子束焊接的信息传感 .....	433	<b>第6篇 焊接结构设计</b> .....	511
2.5 摩擦焊的信息传感 .....	433	<b>第1章 焊接结构设计的原则与方法</b> .....	513
2.6 钎焊过程的信息传感 .....	434	1 焊接结构的特点 .....	513
3 焊接过程信息的处理与分析 .....	434	2 焊接结构设计的基本要求和基本原则 .....	513
3.1 焊接过程传感信息的判读 .....	434	2.1 设计的基本要求 .....	513
3.2 工业化的焊接质量监测系统 .....	434	2.2 设计的基本原则 .....	513
<b>第3章 焊接过程质量自动控制技术</b> .....	435	3 焊接结构设计的基本方法 .....	514
1 焊缝自动跟踪技术 .....	435	3.1 许用应力设计法 .....	514
1.1 传统附加式传感器及其在焊缝跟踪中的 应用 .....	436	3.2 可靠性设计法 .....	515
1.2 视觉传感器及其在焊缝跟踪中的应用 .....	437	3.3 许用应力、安全系数和强度设计值 .....	517
1.3 电弧传感器及其在焊缝跟踪中的应用 .....	443	<b>第2章 焊接结构设计基础</b> .....	521
1.4 智能机器人视觉系统 .....	447	1 材料的选择 .....	521
2 焊缝成形质量控制技术及其应用 .....	453	2 结构形状的选定与设计 .....	521
2.1 焊接熔滴控制技术的研究进展 .....	453	2.1 静载条件下的结构设计 .....	521
2.2 焊接熔池几何形状检测与控制 .....	456	2.2 动载条件下的结构设计 .....	526
2.3 焊接过程热输入控制 .....	461	3 考虑可达性的结构设计 .....	529
2.4 熔深检测与控制 .....	463	3.1 焊接的可达性 .....	529
2.5 焊接过程综合性能评价专家系统 .....	466	3.2 焊缝质量检验的可达性 .....	530
3 焊接缺陷无损检测技术简介 .....	469	4 焊接结构设计中的细部处理 .....	531
3.1 焊接缺陷的超声波自动检测技术 .....	470	4.1 考虑受力合理的细部设计 .....	531
3.2 焊接缺陷的X射线自动探伤技术 .....	471	4.2 避免或减小应力集中的结构细部处理 .....	533
<b>第4章 焊接生产自动化设备设计要点与实例分析</b> .....	473	4.3 焊接结构中肋板设计的细节处理 .....	534
1 焊接自动化设备设计步骤与设计要点 .....	473	4.4 防止层状撕裂的结构措施 .....	534
2 自动化焊接设备整机设计实例 .....	474	<b>第3章 焊接接头的设计</b> .....	537
2.1 球罐全位置焊接机器人设计 .....	474	1 概述 .....	537
2.2 汽车后桥壳自动焊设备设计 .....	477	1.1 弧焊接头的基本类型 .....	537
2.3 全位置自动焊机构设计 .....	480	1.2 弧焊接头的组成 .....	537
3 自动焊接设备的改造设计实例 .....	480	1.3 弧焊接头的基本特点 .....	539
3.1 大直径钢薄壁长筒体自动焊装置设计 .....	480	2 常用焊接接头的工作特性 .....	539
3.2 抽油机驴头圆弧焊专机设计 .....	481	2.1 对接接头 .....	539
3.3 罐体新型探臂焊车研制 .....	482	2.2 搭接接头 .....	539
4 自动焊设备微机控制系统设计实例 .....	483	2.3 T形接头和十字接头 .....	541
4.1 弧焊设备通用一元化调节微机系统		2.4 角接头 .....	541

2.5 电阻点焊接头	541	6 电机机座焊接结构	656
3 焊接接头构造的设计与选择	542	6.1 卧式电机机座的焊接结构	656
3.1 设计与选择焊接接头需考虑的因素	542	6.2 立式电机机座的焊接结构	656
3.2 坡口焊缝的设计	542	<b>第6章 旋转体焊接结构</b>	658
3.3 角焊缝的设计	544	1 概述	658
3.4 部分熔透的焊缝设计	545	2 轮式旋转体焊接结构	658
3.5 标准的坡口形状和尺寸	545	2.1 轮缘	658
4 焊接接头的静载强度计算	546	2.2 轮辐	659
4.1 工作焊缝与联系焊缝	546	2.3 轮毂	660
4.2 焊接接头的许用应力设计法	546	2.4 轮缘、轮辐和轮毂的连接	661
4.3 焊接接头的极限状态设计法	551	2.5 轮式旋转体焊接结构设计实例	661
5 焊接接头的疲劳强度计算	555	3 筒式旋转体焊接结构	662
5.1 概述	555	3.1 筒身	662
5.2 焊接接头疲劳强度计算方法	556	3.2 端盖	663
6 焊缝符号及其在图样上的标注	561	3.3 筒身、端盖和轴颈的连接	663
6.1 焊缝符号	561	4 转子焊接结构	663
6.2 焊接方法在图样上的表示代号	562	4.1 汽轮机、燃气轮机转子的焊接结构	663
6.3 焊缝符号在图样上的标注方法	562	4.2 电机转子的焊接结构	664
6.4 各国焊缝基本符号对照	564	5 水轮机转轮的焊接结构	665
6.5 焊缝符号的尺寸、比例及简化表示法	566	5.1 整体式焊接转轮	665
6.6 焊缝无损检测符号及其在图样上的标注	573	5.2 分瓣式焊接转轮	666
<b>第4章 基本焊接构件的设计与计算</b>	576	6 其他旋转体焊接结构	666
1 焊接梁	576	6.1 转轴的焊接结构	666
1.1 梁的功能与作用力	576	6.2 风机叶轮的焊接结构	666
1.2 梁的构造形式	576	6.3 汽车轮心的焊接结构	667
1.3 焊接梁的设计与计算	576	<b>第7章 压力容器焊接结构</b>	668
1.4 焊接梁结构设计实例	586	1 概述	668
2 焊接柱	593	1.1 压力容器的工作特点和基本要求	668
2.1 柱的类型及其截面形式	593	1.2 压力容器的分类	668
2.2 焊接柱的设计与计算	594	1.3 压力容器设计的内容、准则和方法	669
2.3 焊接柱的构造要求	603	1.4 压力容器中的应力分类及其限制	669
2.4 焊接柱结构设计实例	604	2 钢制压力容器主要受压元件的强度计算	670
3 焊接桁架	607	2.1 设计压力与设计温度	670
3.1 桁架的工作特点和结构特点	607	2.2 设计载荷	671
3.2 焊接桁架的设计与计算	609	2.3 安全系数与许用应力	671
3.3 焊接钢桁架的节点设计与计算	611	2.4 壁厚附加量	671
3.4 焊接桁架结构设计实例	619	2.5 焊缝系数	672
4 焊接刚架	622	2.6 主要受压元件的强度计算	672
4.1 焊接刚架的一般特点	622	3 钢制压力容器用的钢材和焊接材料	673
4.2 门式焊接刚架结构的设计与计算	625	3.1 常用钢材	673
<b>第5章 机体的焊接结构</b>	631	3.2 焊接材料	674
1 概述	631	4 焊接压力容器常用的结构形式	680
2 减速器箱体焊接结构	631	4.1 圆筒形容器	680
2.1 箱体的结构	631	4.2 球形容器	681
2.2 箱体的致密性	633	5 压力容器常用焊接接头的设计	682
2.3 实例	635	5.1 设计要点	682
3 机床基础件焊接结构	637	5.2 容器壳体的对接接头设计	684
3.1 机床床身的焊接结构	637	5.3 平封头与筒体的焊接接头设计	687
3.2 机床立柱的焊接结构	640	5.4 接管、凸缘、法兰与壳体的焊接接头设计	687
3.3 机床横梁的焊接结构	641	5.5 管板与圆筒体的焊接接头设计	690
4 锻压设备机身焊接结构	642	5.6 管子与管板连接的接头设计	694
4.1 概述	642	6 支座与容器连接的结构设计	695
4.2 开式压力机的C形机身的焊接结构	643	6.1 悬挂式支座的焊接结构	695
4.3 框架式机身的焊接结构	644	6.2 支承式支座的焊接结构	696
4.4 组合式机身的焊接结构	645	6.3 裙式支座的焊接结构	696
5 柴油机机体焊接结构	652	6.4 鞍式支座的焊接结构	696
5.1 机体的工作特点及其设计要求	652	6.5 柱式支承的焊接结构	697
5.2 低速船用柴油机机体的焊接结构	652	6.6 多层容器与支座的连接结构	697
5.3 机车用柴油机机体的焊接结构	653	<b>第8章 薄壁焊接结构</b>	698

1 概述	698	6.2 结构装配工艺	760
1.1 薄板及其工作特点	698	6.3 结构焊接工艺	762
1.2 薄壳及其工作特点	699	6.4 焊接热处理	763
1.3 薄壁杆及其工作特点	701	6.5 焊接过程检验	764
2 薄壁结构设计要点及连接	702	7 典型焊接结构制造工艺	766
2.1 薄壁结构设计要点	702	7.1 梁系结构的装焊工艺问题	766
2.2 薄壁结构的连接	704	7.2 壳体结构的装焊工艺问题	768
3 汽车中的薄壁焊接结构	705	7.3 桁架的装焊工艺问题	771
3.1 汽车车身及其结构特点	705	7.4 管子结构的装焊工艺问题	772
3.2 轿车车身的焊接结构	705	7.5 机器结构的焊接工艺问题	774
3.3 客车车身焊接结构	707	<b>第2章 焊接生产专家系统和 CAPP</b>	777
3.4 货车车身焊接结构	708	1 焊接工程应用软件概述	777
3.5 电阻点焊薄壁结构设计注意事项	710	1.1 计算机技术与焊接生产信息化	777
4 铁路车辆中的薄壁焊接结构	712	1.2 焊接工程应用软件的用途和分类	777
4.1 客车车体的组成及其工作特点	712	2 焊接专家系统的结构和原理	778
4.2 底架焊接结构	712	2.1 专家系统的基本特征	779
4.3 侧墙焊接结构	712	2.2 专家系统的一般结构	780
4.4 车顶焊接结构	712	2.3 专家系统的知识获取与表示	780
4.5 侧墙与底架和车顶的连接	713	2.4 专家系统的推理机制	782
5 船舶中的薄壁焊接结构	714	2.5 专家系统的适用领域与分类	783
5.1 船体结构及其特征	714	3 焊接专家系统的发展和典型应用	784
5.2 典型板架焊接结构设计	714	3.1 焊接专家系统的发展概况	784
6 水利工程中的薄壁焊接结构	720	3.2 焊接专家系统的现状和典型应用	784
6.1 水工闸门简介	720	3.3 焊接专家系统的发展趋势	790
6.2 闸门的工作特点及其结构特征	722	4 焊接专家系统开发技术及其实例	791
6.3 闸门结构设计的基本要求	723	4.1 焊接专家系统的开发与评价方法	791
6.4 闸门焊接结构的典型实例	723	4.2 压力容器焊接工艺专家系统	793
参考文献	729	5 计算机辅助焊接工艺规划 CAPP 系统	798
<b>第7篇 焊接结构制造</b>	731	5.1 CAPP 系统的发展	798
<b>第1章 焊接结构制造工艺</b>	733	5.2 CAPP 系统的类型和特征	799
1 概述	733	5.3 CAPP 系统的开发模式	799
1.1 焊接结构的特点	733	5.4 CAPP 系统的发展趋势	800
1.2 焊接生产发展趋势	733	6 焊接 CAPP 系统的开发及实例	801
2 制造工艺基础	734	6.1 焊接结构件的装焊工艺特征	801
2.1 生产过程和工艺过程	734	6.2 焊接 CAPP 系统的开发	801
2.2 工艺过程的组成	735	6.3 计算机辅助焊接工艺规划 WCAPP 系统	802
2.3 生产类型与特征	736	<b>第3章 焊接数据库系统</b>	808
2.4 生产纲领和工艺文件	737	1 焊接数据库系统的发展和應用	808
3 焊接结构生产中的备料加工	742	1.1 数据库技术的产生与应用	808
3.1 钢材预处理	742	1.2 数据库技术的新进展	808
3.2 钢材的矫正	742	1.3 焊接数据库系统的发展	812
3.3 划线、放样及号料	745	1.4 焊接数据库系统的典型应用	813
3.4 钢材的下料	746	2 焊接数据库应用系统分析和开发	818
3.5 钢材边缘的加工	748	2.1 关系数据库系统基本原理及其设计	818
3.6 钢材的弯曲及成形	748	2.2 结构化数据库查询语言 SQL	819
3.7 钢材的制孔	749	2.3 典型数据库管理系统	819
4 焊接结构生产工艺分析	750	2.4 典型应用程序开发工具	820
4.1 焊接工艺分析原则	750	2.5 焊接数据库应用系统设计与开发	822
4.2 焊接工艺分析方法	751	3 焊工技术档案管理系统	824
4.3 方案论证与生产准备	753	3.1 系统需求分析	824
4.4 提高劳动生产率	754	3.2 系统的总体结构	825
4.5 桥式起重机主梁生产工艺分析	755	3.3 数据库结构分析与设计	825
5 焊接工艺评定与规程编制	758	3.4 面向对象的事件驱动程序设计	825
5.1 焊接工艺评定程序	758	3.5 系统功能的实现	826
5.2 焊接工艺评定的规则	759	4 车身装焊质量信息管理系统	828
5.3 焊接工艺规程的编制	759	4.1 系统需求分析	828
6 焊接结构的装配与焊接	759	4.2 系统总体结构	828
6.1 焊前清理	759	4.3 基本功能模块	829
		4.4 工序质量统计分析过程控制和诊断	830

<b>第4章 焊接工艺装备</b> .....	834	2.2 质量管理的发展 .....	945
1 概论 .....	834	2.3 ISO9000 族的构成 .....	945
1.1 焊接工艺装备的组成及分类 .....	834	2.4 质量管理的八项基本原则 .....	946
1.2 焊接工艺装备在焊接生产中的作用 .....	834	2.5 质量管理体系 .....	947
1.3 焊接工艺装备的设计原则和应注意的问题 .....	834	3 焊接生产质量管理 .....	948
2 焊接工装夹具 .....	835	3.1 焊接质量技术要求 .....	948
2.1 焊接工装夹具的分类与组成 .....	835	3.2 ISO3834-2 “完整质量要求”节选 .....	949
2.2 焊接工装夹具的特点 .....	836	3.3 ISO9000 族与 ISO3834 间的关系 .....	951
2.3 对焊接工装夹具的设计要求 .....	836	4 焊接企业质量管理要求实例 .....	951
2.4 焊接工装夹具设计方案的确定 .....	836	4.1 我国锅炉压力容器制造监督管理、制造许可、	
2.5 焊件所需夹紧力的构成及计算 .....	837	产品安全性能监督检验的规定 .....	951
2.6 焊件的定位、定位器及夹具体 .....	840	4.2 德国标准 DIN6700 《轨道车辆及其部件的焊接——	
2.7 焊接工装夹具的精度与焊接结构制造精度等		第2部分：部件分级、焊接企业的认证、一致性	
的关系 .....	840	的评定》简介 .....	955
2.8 夹紧机构 .....	842	4.3 德国标准 DIN18800-7 钢结构——生产实施和	
3 焊接变位设备 .....	872	焊接企业资格认证 (2002.9) .....	959
3.1 焊接变位设备的分类及其应具备的性能 .....	872	<b>第2章 焊接结构的无损检测方法</b> .....	962
3.2 焊接变位机 .....	873	1 概述 .....	962
3.3 焊接滚轮架 .....	879	2 焊缝射线照相 .....	964
3.4 焊接翻转机及回转台 .....	885	2.1 射线照相原理 .....	964
3.5 焊接操作机 .....	888	2.2 射线源的选择 .....	964
3.6 电渣焊立架 .....	895	2.3 射线胶片的选择 .....	964
3.7 焊工升降台 .....	896	2.4 增感屏的选择 .....	964
4 焊接工序设备 .....	898	2.5 射线透照布置 .....	964
4.1 设备用途及工艺目的 .....	898	2.6 射线照相检验级别 .....	967
4.2 部分焊接工序设备及机具的性能与参数 .....	898	2.7 射线照相的像质计灵敏度与裂纹的检出率 .....	967
5 焊接机器人用的焊件变位设备 .....	899	2.8 焊缝射线照相的一般程序 .....	969
5.1 焊件变位设备的运动精度及保证措施 .....	899	2.9 底片上缺陷影像的识别 .....	969
5.2 焊件变位设备及其在柔性加工单元中的		2.10 射线照相底片的评定——GB/T 3323 标准	
布置 .....	901	附录摘要 .....	971
<b>第5章 焊接安全与清洁生产</b> .....	906	2.11 国外焊缝射线照相标准 .....	973
1 焊接清洁生产 .....	906	2.12 焊缝射线照相工艺卡 .....	974
1.1 焊接清洁生产的意义和内容 .....	906	2.13 射线照相新技术——实时成像技术和工业	
1.2 清洁生产的定义和原则 .....	906	CT 技术 .....	974
1.3 清洁生产的实施途径 .....	907	3 焊缝超声波探伤 .....	975
1.4 清洁生产技术和方法 .....	907	3.1 超声波探伤原理和分类 .....	975
1.5 我国焊接清洁生产现状 .....	907	3.2 超声波探伤的探头 .....	975
2 焊接中的污染及卫生防护 .....	908	3.3 超声波探伤仪器 .....	976
2.1 焊接烟尘的污染 .....	908	3.4 检验级别 .....	977
2.2 焊接中的其他污染 .....	910	3.5 超声波探伤灵敏度 .....	977
2.3 降低污染的措施 .....	910	3.6 焊缝超声波探伤的一般程序 .....	978
3 焊接安全生产 .....	912	3.7 平板对接焊缝的超声波探伤 .....	979
3.1 气焊与气割安全 .....	913	3.8 其他焊接结构的超声波探伤 .....	979
3.2 电焊安全 .....	919	3.9 缺陷信号的特征及测量 .....	979
3.3 特殊焊接作业安全 .....	921	3.10 缺陷的评定——GB/T 11345—1989 标准	
<b>第6章 标准与法规</b> .....	924	摘要 .....	979
1 概述 .....	924	3.11 国外焊缝超声波探伤标准 .....	979
2 焊接标准体系现状 .....	924	3.12 超声波探伤工艺卡 .....	983
3 材料焊接的通用准则 .....	933	3.13 焊缝超声波探伤的新进展 .....	983
3.1 基础标准部分 .....	933	4 焊缝的磁性探伤 .....	985
3.2 焊接材料标准 .....	937	4.1 磁性探伤的原理与分类 .....	985
3.3 焊接试验及检验标准 .....	937	4.2 磁化方法和规范 .....	985
参考文献 .....	939	4.3 磁粉探伤设备 .....	987
<b>第8篇 焊接生产质量管理与无损检测</b> .....	943	4.4 磁粉及磁悬液 .....	987
<b>第1章 焊接生产的质量管理</b> .....	945	4.5 磁粉探伤灵敏度试片 (块) .....	988
1 概述 .....	945	4.6 缺陷引起的漏磁场 .....	989
2 质量管理和质量管理体系 .....	945	4.7 磁粉探伤的操作程序 .....	989
2.1 定义 .....	945	4.8 磁痕的观察与评定 .....	989
		4.9 国外焊缝磁粉探伤标准 .....	990

4.10 磁粉探伤工艺卡 .....	991	3.2 面型缺陷的评定 .....	1048
4.11 磁性探伤的新技术 .....	991	<b>第2章 焊接结构的疲劳与寿命</b> .....	1063
<b>5 焊缝的渗透探伤</b> .....	992	1 疲劳断裂过程及特性 .....	1063
5.1 渗透探伤的原理与分类 .....	992	2 疲劳载荷 .....	1064
5.2 渗透探伤剂与灵敏度试块 .....	993	2.1 应力循环特性与应力幅的概念及其相互 的关系 .....	1064
5.3 渗透探伤的一般操作程序 .....	994	2.2 应力分类 .....	1066
5.4 痕迹的解释与缺陷评定 .....	994	2.3 应力强度因子方法 .....	1072
5.5 国外渗透探伤标准 .....	994	3 疲劳强度 .....	1076
5.6 渗透探伤工艺卡 .....	995	3.1 以标称应力表征的典型焊接结构件及接头的 疲劳强度 .....	1076
5.7 渗透探伤的新技术 .....	995	3.2 按热点应力决定构件疲劳强度 .....	1093
<b>6 焊缝的涡流探伤</b> .....	996	3.3 按缺口应力给定的构件疲劳强度 .....	1095
6.1 涡流探伤的原理 .....	996	3.4 结构件疲劳强度的修正 .....	1095
6.2 涡流探伤系统和探头 .....	996	<b>4 断裂力学在焊接结构疲劳裂纹扩展中的应用</b> .....	1095
6.3 涡流探伤技术和过程 .....	996	4.1 裂纹的亚临界扩展 .....	1095
6.4 对比试样 .....	997	4.2 疲劳裂纹扩展特性 $da/dN - \Delta K$ 曲线的 一般关系 .....	1096
6.5 涡流探伤的一般操作程序 .....	997	4.3 疲劳裂纹扩展寿命的估算 .....	1096
6.6 探伤结果的评定 .....	997	<b>5 根据试验方法测定焊接构件的疲劳强度</b> .....	1098
6.7 涡流探伤技术的新发展 .....	997	5.1 方法 .....	1098
<b>7 焊缝无损检测的新方法</b> .....	998	5.2 数据统计 .....	1098
7.1 声发射 .....	998	<b>6 疲劳设计</b> .....	1099
7.2 金属磁记忆检测 .....	998	<b>7 提高疲劳强度的技术</b> .....	1101
7.3 红外热成像检测 .....	999	7.1 综述 .....	1101
7.4 长途输送管道的检测设备 .....	1000	7.2 改善方法的应用 .....	1101
<b>第3章 焊接资质人员培训与资格认证</b> .....	1001	7.3 方法 .....	1101
1 概述 .....	1001	<b>第3章 焊接结构的环境失效</b> .....	1107
2 国际焊接培训体系简介 .....	1001	1 焊接结构的腐蚀失效 .....	1107
3 焊接培训在我国的发展情况 .....	1001	1.1 焊接接头腐蚀破坏的基本形式 .....	1107
3.1 按国内相关标准及规程实施的焊接 技术培训 .....	1001	1.2 焊接结构在自然环境下的腐蚀 .....	1108
3.2 引入国际上先进的焊接培训体系 .....	1002	1.3 焊接结构的局部腐蚀 .....	1109
3.3 焊接培训与国际接轨 .....	1002	<b>2 介质环境作用下的断裂与疲劳</b> .....	1113
<b>4 国际焊接人员培训规程</b> .....	1002	2.1 应力腐蚀破裂 .....	1113
4.1 国际焊接工程师、技术员、技师、技士 (IWE/IWT/IWS/IWP) 四类人员培训规程 .....	1002	2.2 环境氢脆 .....	1117
4.2 国际焊接质检人员和国际焊工 (IWIP/IW) 培训规程 .....	1004	2.3 腐蚀疲劳 .....	1120
<b>5 我国国内焊接人员培训及考试部分规程</b> .....	1010	<b>3 焊接接头抗腐蚀性的评定及提高抗 腐蚀性的措施</b> .....	1121
5.1 中国职业焊接技能鉴定规范 .....	1010	3.1 焊接接头的腐蚀试验 .....	1121
5.2 我国锅炉压力容器管道焊工考试与 管理规则 .....	1013	3.2 常见焊接接头的抗蚀性 .....	1122
<b>6 国际资质焊接人员培训在我国的开展 情况</b> .....	1019	3.3 提高焊接接头抗蚀性的途径 .....	1123
6.1 国际资质焊接人员培训在我国的 开展情况 .....	1019	3.4 焊接结构的表面防护 .....	1123
6.2 国际培训及资格认证工作作用 .....	1020	<b>4 焊接接头的耐热性</b> .....	1125
<b>第9篇 焊接结构服役与再制造</b> .....	1021	4.1 高温下焊接接头的组织变化 .....	1125
<b>第1章 焊接结构的断裂及安全评定</b> .....	1023	4.2 焊接接头的高温性能 .....	1125
1 断裂分类及术语 .....	1023	4.3 焊接接头的高温蠕变 .....	1126
1.1 断裂性质 .....	1023	4.4 焊接接头的高温氧化 .....	1127
1.2 断裂机制 .....	1023	4.5 焊接接头的热疲劳 .....	1128
1.3 断口形貌 .....	1023	<b>5 环境加速焊接结构失效典型事例及其分析</b> .....	1128
<b>2 焊接结构的工作特点及防断设计</b> .....	1024	<b>第4章 焊接结构的再制造与延寿技术</b> .....	1130
2.1 典型的脆性事故举例 .....	1024	1 再制造工程概述 .....	1130
2.2 断裂机理及设计准则 .....	1025	1.1 再制造工程的概念 .....	1130
2.3 与防断设计准则相关的试验方法 .....	1026	1.2 再制造工程的地位、作用和影响 .....	1130
2.4 影响结构断裂的因素 .....	1043	1.3 再制造工程的国外发展现状 .....	1132
<b>3 基于“合于使用”原则的断裂评定</b> .....	1046	1.4 再制造工程的国内发展现状 .....	1132
3.1 “合于使用”原则及其发展 .....	1046	1.5 再制造工程的巨大效益 .....	1133
		1.6 再制造加工工艺及费用分析 .....	1133
		<b>2 再制造工程的设计基础</b> .....	1135
		2.1 废旧产品的再制造性评价 .....	1135

2.2 废旧产品的失效机理和寿命评估 .....	1135	4 焊接结构再制造延寿技术应用实例 .....	1140
2.3 废旧产品的再制造建模 .....	1136	4.1 电弧喷涂技术在海洋船只钢板防腐延寿中的 应用 .....	1140
2.4 面向再制造的产品设计 .....	1136	4.2 油田储罐再制造延寿 .....	1143
3 焊接结构再制造延寿的关键技术 .....	1137	4.3 绞吸挖泥船绞刀片再制造技术及应用 .....	1144
3.1 热喷涂技术 .....	1137	4.4 发酵罐内壁火焰喷涂塑料再制造延寿 应用 .....	1145
3.2 电刷镀技术 .....	1138	参考文献 .....	1147
3.3 表面粘涂技术 .....	1139		
3.4 堆焊技术 .....	1140		

中国材料工程大典  
CHINA MATERIALS ENGINEERING CANON

第23卷 材料焊接工程(下)

第  
4  
篇

材 料 焊 接

主 编 史耀武 任家烈

编 写 任家烈 夏志东 杨建华 田志凌 陈裕川  
薛 锦 潘希德 毛 唯 魏祚伟 焦好军  
郭绍庆 张学军 包芳涵 何 鹏 冯吉才  
刘黎明 常保华 单际国 董祖珏 吴爱萍

审 稿 中国材料工程大典编委会

中国机械工程学会  
中国材料研究学会  
中国材料工程大典编委会





# 第 1 章 碳钢的焊接

## 1 常见焊接用碳钢的认识

力学性能。

### 1.1.2 优质碳素结构钢

### 1.1 常见焊接用碳钢及碳钢铸件的成分和性能

表 4.1-3 和表 4.1-4 分别为优质碳素结构钢的化学成分和力学性能。

#### 1.1.1 普通碳素结构钢

表 4.1-1 和表 4.1-2 分别为普通碳素钢的化学成分及其

表 4.1-1 普通碳素结构钢化学成分 (质量分数) (摘自 GB 700—1988)

牌 号	等 级	化 学 成 分					脱氧方法
		C	Mn	Si <sup>①</sup>	S	P	
Q195	—	0.06 ~ 0.12	0.25 ~ 0.50	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
Q215	A	0.09 ~ 0.15	0.25 ~ 0.55	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B				0.045		
Q235	A	0.14 ~ 0.22	0.30 ~ 0.65 <sup>②</sup>	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B	0.12 ~ 0.20	0.30 ~ 0.70 <sup>②</sup>		0.045		
	C	≤0.18	0.35 ~ 0.80		0.040	0.040	Z
	D <sup>③</sup>	≤0.17			0.035	0.035	TZ
Q255	A	0.18 ~ 0.28	0.40 ~ 0.70	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B				0.045		
Q275	—	0.28 ~ 0.38	0.50 ~ 0.80	0.35	0.050	0.045	b、Z

① 沸腾钢硅含量不大于 0.07%，半镇静钢硅含量不大于 0.17%，镇静钢硅含量下限为 0.12%。

② Q235 A 和 B 级沸腾钢锰含量上限为 0.60%。

③ D 级钢应有足够的形成细晶粒组织的元素。

表 4.1-2 普通碳素结构钢力学性能 (摘自 GB 700—1988)

牌 号	等 级	拉伸试验 ≥			冲击试验		冷 弯 试 验				
		屈服强度 $\sigma_s$ /MPa	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	伸长率 $\delta$ /%	温度 $t$ /°C	夏比 V 形 缺口冲击 吸收功 (纵向) /J	$b = 2a \quad 180^\circ$				
							弯心直径 $d$				
							钢材厚度 (直径)/mm	≤60	> 60 ~ 100	> 100 ~ 200	
Q195	—	195	315 ~ 430	33	—	—	纵	0	—	—	
Q215	A	215	335 ~ 450	31	—	—	横	0.5a	—	—	
	B				20	≥27	纵	0.5a	1.5a	2a	
Q235	A	235	375 ~ 500	26	—	—	试样方向	纵	a	2a	2.5a
	B				20	≥27					
	C				0			横	1.5a	2.5a	3a
	D				-20						
Q255	A	255	410 ~ 550	24	—	—	—	2a	3a	3.5a	
	B				20	≥27					
Q275	—	275	490 ~ 630	20	—	—	—	3a	4a	4.5a	

注：1. 屈服强度和伸长率要求数值，皆对钢材厚度不大于 16 mm 而言，厚度增加时，这些数值要求降低 (详见 GB700—1988)。

2. Q195 的屈服强度值仅供参考，不作交货条件。

3. 冷弯试验中， $b$  为试样宽度， $a$  为钢材厚度 (直径)， $d$  为弯心直径。以下其他表中涉及冷弯试验时符号含义相同。