

焊接 工程师 手册

第2版

陈祝年 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



焊接工程师手册

第2版

陈祝年 编 著



机械工业出版社

本书是焊接专业的综合性工具书,在保留了原版的精华和特色的基础上添加了新技术内容。全书分9篇共58章。第1篇汇集了焊接工程师最常用而又不易记忆的符号、公式和数据等资料;第2篇阐述了焊接过程中的物理行为和冶金行为,以及与金属焊接性密切相关的焊接裂纹问题;第3、4、5篇介绍工程中的各种焊接方法及设备,包括电弧焊、电阻焊和其他特殊焊接方法及其设备;第6篇以焊条、焊丝和焊剂为重点介绍了焊接材料的性能参数及选用方法;第7篇介绍了各种金属材料的焊接性能及其焊接工艺;第8篇重点介绍焊接应力与变形、结构强度和结构设计等;第9篇除介绍生产中常遇到的焊接工艺过程设计、焊接工艺评定和焊接质量检验外,还较全面系统地介绍了焊接工艺装备的设计和计算方法,以及常用的相关资料。书中许多技术资料是贯彻和执行现行国家或行业标准。

本书主要供从事焊接结构设计、制造和管理的工程师使用,也可供与焊接技术相关的各类工程技术人员以及大专院校焊接专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

焊接工程师手册/陈祝年编著. —2版. —北京:机械工业出版社, 2009.10
ISBN 978-7-111-28168-9

I. 焊… II. 陈… III. 焊接-技术手册 IV. TG4-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第184563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:吕德齐 责任编辑:吕德齐 申伟

版式设计:霍永明 封面设计:姚毅

责任校对:程俊巧 责任印制:乔宇
魏俊云

北京京丰印刷厂印刷

2010年2月第2版·第1次印刷

184mm×260mm·100.5印张·2插页·2502千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-28168-9

定价:188.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

《焊接工程师手册》出版已七年了，深受读者的欢迎。为了对广大读者负责，也为了使这本读者喜爱的书充满活力，保持其先进性和实用性，故决定进行本次修订。本次修订重点考虑3方面：①现代科学技术飞速发展，焊接工艺技术发展日新月异，对于在工程建设第一线工作的焊接工程师使用的工具书——《焊接工程师手册》来说，也应与时俱进，及时地把当前最先进且成熟的焊接技术吸纳进来，供工程师们选用；②在每一项焊接工程建设中都须执行相关国家标准，本书初版时贯彻的是当时颁布实施的国家标准。而近年来为了与国际接轨，不少焊接的国家标准参照国际标准（ISO）已进行重新修订，或颁布了新的国家标准，同时也废止了一批旧的标准，本书也须作相应调整和更新；③初版经验不足，书中尚有欠缺和遗漏，需要通过这次修订进行更正和增补，使之更完善。

出版发行以来，读者来信和咨询表明本书之所以受到欢迎，其主要原因是本书内容系统全面，具有综合性，正是焊接工程师工作中所需要的；在焊接工程中所遇到的主要技术问题，无论是理论知识还是实际应用，基本上都能在本书中方便、快速查找到主要答案；取材的深度和广度，以及对问题的阐述比较符合焊接工程师这一层次读者的需求；焊接工程师在工作过程中常用而易忘的资料汇集得比较齐全，若案头上有了此书，则可以方便地查到，节省不少时间。这些都是本书的特色，这次修订仍给予保留。

基本与常用同时兼顾先进是本书取材的基本原则。这次修订对过深、过细和过尖的技术问题，受篇幅限制没有过多编入，而是采取提及、点到为止，或采取推荐文献、提供来源出处的方式，让感兴趣的读者能进一步去求索。修订过程中仍着力于应用，使之更具操作性，适当考虑到理论与今后发展；阐述仍采取点面结合、突出关键的原则。对所引用的各种图表和数据，均经认真分析和核对，力求准确可靠。

在这次修订中，各篇修改的重点如下。

第1篇 综合资料。更换数学符号，更换新标准，并按新标准更新了焊接代号、增加焊缝工作位置符号、增加制图常用基础资料（含CAD）、增加钢铁产品牌号统一数字代号。

第2篇 焊接物理冶金。属基础部分，只增补拘束度概念及其计算和Z向钢性能测定等内容。

第3篇 弧焊方法及设备。强调弧焊电源发展方向；为适应“西气东输”管线建设需要，加强单面焊双面成形焊接技术介绍；氩弧焊加强薄板的焊接技术介绍；熔化极气体保护焊增补药芯焊丝及其应用内容，以及现代自动化焊接设备；现代高层钢结构建筑、造船、汽车制造大量采用螺柱焊，因此重写了螺柱焊这一章，增加了新内容。

第4篇 电阻焊方法及设备。这些年工艺和方法变化不大，只在设备控制方面的逐渐数字化上有一些新进展，内容上只增加些许。

第5篇 其他焊接方法及设备。为适应国内高层建筑钢结构焊接，增加管极电渣焊和压力电渣焊工艺和设备方面的内容；激光焊章已重写，充实激光产生的原理、特性与应用；为了熔化极气体保护焊机器人的顺利应用，发展了激光—电弧复合焊接技术，本篇增补了这方面的内容；搅拌摩擦焊出现，所以重写摩擦焊章，补充较多内容；钎焊章增加电子工业中新发展的表面组装连接新技术——再流钎焊的工艺和设备；高频焊完善了集肤效应描述；热切割增加精细

等离子弧切割和数控切割设备的介绍。

第6篇 焊接材料。重点增加药芯焊丝方面的介绍，新标准对焊剂与焊丝的组合配套有新要求，适当作了介绍；增补焊带内容，以适应表面埋弧堆焊的需要。

第7篇 金属材料的焊接。删去一些已经废止焊接性试验方法的标准；增加了钢铁产品牌号统一数字代号介绍；原名为“合金结构钢的焊接”章改为“低合金钢的焊接”，分类方法按《钢的分类》标准，其中按供应状态分类，突出介绍近年发展最快的控轧控冷钢的焊接；建筑钢结构量大面广，颁布了用钢的新标准，且从焊接角度对钢规定了新要求，现已增补了这方面的内容；考虑“西气东输”管线建设和其他大型金属结构越来越多地采用TMCP钢，增加了其焊接工艺特点的介绍；耐热钢方面重点增补了在建设超临界锅炉中已得到大量应用的细精强韧型耐热钢的焊接内容，这类钢属于近年新发展的微合金细晶粒高强韧钢；不锈钢的焊接一章则指出新标准已改变了牌号的标记和部分成分的调整。

第8篇 焊接结构。焊接应力与变形章增补了数值分析方法的原理部分，以及减少薄板焊接应力与变形的新技术；焊接接头设计与计算介绍了新标准，更改建筑钢结构中连接计算部分；焊接结构设计方面按新标准重写了建筑结构设计的极限状态设计法；增补了结构设计基础和细部处理的内容。

第9篇 焊接结构生产。本篇各章近年均有一些新进展，这些新进展的技术含量高而复杂，且涉及学科多，在有限篇幅内只能从选用和应用角度作简要介绍。如焊接工艺过程设计可以采用现代的设计方法——计算机辅助工艺设计（CAPP）；焊接工艺评定按2005年国家颁布标准所规定5种方法中只重点介绍较成熟也具有代表性的一种，它和目前在锅炉压力容器生产中已采用的基本相同；对于焊接生产机械化和自动化，近年主要在自动控制方面及焊接机器人使用方面很活跃，与之密切配合的辅助设备——焊接工装显得更为重要，但是这次修订只作了强调，而未展开介绍；焊接质量检验方面，无损检测有较多新技术已被应用，这次增补了实时成像检测技术、工业CT检测技术、金属磁记忆检测技术、红外热成像检测技术和声发射检测技术，重点介绍它们的特点和如何选用。

书末增加新参考文献；附录中焊接标准部分已重新整理，删去已废止的，更换新修订的，增加新颁布的；鉴于国际贸易的增多，增加了国内外不锈钢和耐热钢牌号对照表。

本人能够完成本书的编写，接着又完成了这次修订工作，得益于下列两个方面：一是有诸多焊接前辈的经验总结和论著（书后“参考文献”仅是其中主要部分），吸取了他们的精华和要点，汇编到本手册中来，所以才能形成这本理论性和实用性较强的专业工具书。因此我首先得感谢被我引用其论著的前辈们，是他们为我提供了丰富的素材。二是本书的读者和我的同行朋友热心的支持。本书第1版出版以来，受到了他们的支持和鼓励，有些素不相识的读者，通过各种途径找到我的地址和电话，向我提出书中的问题或提出好的建议，如江全昌高级工程师还把他多年搜集到的实用资料无偿寄给我，等等，都让我十分感动。这些意见、建议和资料许多已成为我这次修订的素材、依据和参考，在此我要向关心和支持我的读者和我的朋友表示衷心的感谢！

本人力求跟上时代步伐，精益求精，为满足广大读者的需要而进行了这次修订，但个人的知识和能力是有限的，难免还有错漏或不尽人意之处，殷切希望广大读者批评指正。

编者

第1版前言

机械工业出版社计划出版4种关于热加工技术的“工程师手册”，本书是其中之一。

本书属中型的综合性焊接技术工具书。主要供焊接工程师查阅，也可供与焊接技术相关的各类工程技术人员以及大专学校焊接专业师生参考。

本手册是根据焊接工程师的工作特点和业务需要进行选材和编写的，力求实用、先进、简明和便查。为了充分发挥工具书的储存功能和备忘功能，本手册力图做到在有限的篇幅内含有尽可能多的技术信息，所以较全面地汇集了解决技术问题所需的基础理论、基本知识和最新的焊接工艺技术资料，并作了精选和合理的编排，供读者查阅。

本书有以下特色。

1. 便于查阅

焊接工程师常用但不易记忆的资料，如符号、公式和数据等，通常都分散在各种文献中，需用时难以查找。本手册把使用频率最高的这些资料都收集在一起，编成第1篇“综合资料”，读者可随时查阅以节约时间；其他篇章的编排均分出层次，且有大小标题，读者很容易查出所需要的资料。

2. 简明扼要

相对于现有大型焊接工具书，本手册较简明。在内容选择上是取其精华，摘其要点，深广度适中，以够用为度；在阐述上则以能揭示出事物本质、发展规律和关键之所在为限。力求简单、明确和扼要，以缩短查阅时间。

3. 适应性强

本手册与专用的焊接工具书相比，则是综合的和较为完整的。基本上涵盖了焊接学科的各个重要领域，如焊接方法、焊接工艺、焊接设备、焊接材料、焊接力学、焊接设计、焊接施工和焊接质量管理等。涉及了焊接结构在设计、制造和使用中常遇到的技术问题。基本上能满足焊接或与焊接相关的工程技术人员的需要，因而本书具有较强的适应性和实用性。

4. 适当说理

本手册在处理每一焊接的具体技术问题时，向读者交待解决问题的方法无疑是放在首位的。但是，并不简单地指出应该这样干，不应该那样干，而是还指出为什么要这样干。也即适度地引述一些与此问题有关的理论，尽量说清楚问题的来龙去脉，让读者既知其然，亦知其所以然，变被动为主动。

本手册编入“焊接物理冶金”篇的用意，不仅是为焊接工程师在处理焊接技术问题时提供分析问题的思路和解决问题的理论依据，而且也是为了适应那些改行从事焊接技术工作的工程师对焊接基础理论和基本知识的需求。

焊接工程师经常要进行工装设计，仅举几个典型工装结构例子是不够的。本手册编入“焊接机械装备及其设计”一章，较全面系统地介绍焊接工装设计与计算的原理和方法，以满足这方面的需要。

现代科学技术的发展日新月异，焊接技术领域中出现的新材料、新工艺和新设备，本手册在保证编入基本、常用的焊接技术的同时，也尽量把现阶段成熟的，并已用于生产的这些焊接先进技术编到手册中来。对那些尚未用于生产的新技术，手册中就作为发展趋势的信息来报

道。编者已经注意到国家标准正处在向国际通行标准接轨，旧的标准不断修订，新的标准不断颁布，所以本手册努力把现行的最新国家焊接标准贯彻到手册中来，以跟上时代发展的步伐。

本书在编写过程中得到了有关工厂、科研单位和各大专院校的大力支持，提供了许多实用的数据和资料。此外，编者还参阅和引用了许多技术文献中的大量数据和资料，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，错漏在所难免，尚望广大读者批评指正。

编者

目 录

前言

第1版前言

第一篇 综合资料

第1章 符号	3	2.4.1 米制倍数与分数单位换算	53
1.1 希腊字母	3	2.4.2 英制与米制单位换算	54
1.2 标准代号	3	2.4.3 市制单位换算	57
1.2.1 中国标准代号	3	2.4.4 温度换算公式	57
1.2.2 国外部分标准代号	5	第3章 常用公式、数据和资料	58
1.3 数学符号	5	3.1 基本与常用物理常数	58
1.4 物理量名称及其符号	10	3.2 化学元素周期表及各元素的物理性能	58
1.5 化学元素符号	10	3.2.1 化学元素周期表	58
1.6 图形符号	11	3.2.2 各化学元素的物理性能	58
1.6.1 机械图样中常用符号	11	3.3 工程制图常用基础资料	64
1.6.2 焊接图形符号	19	3.3.1 图纸幅面和格式	64
1.6.3 电工系统图常用图形符号	23	3.3.2 标题栏与明细栏	64
1.6.4 常用液压及气动图形符号	29	3.3.3 比例	64
1.7 我国钢铁产品牌号及其统一数字		3.3.4 字体及其在 CAD 制图中的	
代号中字母的涵义	32	规定	65
1.8 焊接材料型号牌号中的代号	34	3.3.5 图线及其在 CAD 制图中的	
1.9 电焊机型号中的符号	37	规定	66
1.9.1 电焊机型号的编制	37	3.4 常用计算公式及运算	67
1.9.2 电焊机型号中符号的含义	37	3.4.1 常用数学公式	67
1.10 焊接方法的英文缩写字母	39	3.4.2 常用平面图形的计算公式	70
1.11 焊缝无损检测符(代)号	41	3.4.3 常用几何体的计算公式	72
1.12 焊缝工作位置的符号	41	3.4.4 常用理论力学公式	74
第2章 单位及其换算	44	3.4.5 常用材料力学公式	75
2.1 单位与单位制	44	3.4.6 常用电工学公式	79
2.2 国际单位制及我国法定计量单位	44	3.5 钢铁材料基础资料	80
2.2.1 国际单位制及其构成	44	3.5.1 钢铁及其热处理基础资料	80
2.2.2 我国的法定计量单位	44	3.5.2 常用钢材的品种及规格	91
2.3 物理量的符号和单位	46	3.5.3 钢铁材料硬度及强度换算	93
2.3.1 常用空间、时间和周期的量和		3.6 常用材料的物理性能	96
单位	46	3.6.1 常用材料的线膨胀系数	96
2.3.2 常用力学的量和单位	47	3.6.2 常用材料的熔点、导热率及	
2.3.3 常用热力学量和单位	49	比热容	96
2.3.4 常用电学及磁学的量和单位	51	3.6.3 常用材料的密度	97
2.3.5 常用光学及声学的量和单位	52	3.6.4 材料的滑动摩擦因数	98
2.4 简易单位换算	53	3.7 常用有机与无机化工产品	
		及盐类的性质	99

第二篇 焊接物理冶金

第1章 焊接及其分类	103	3.2.4 熔池结晶的形态	160
1.1 焊接过程的物理本质	103	3.2.5 焊缝金属的化学成分不均匀性	163
1.2 焊接的分类	103	3.2.6 焊缝一次结晶组织的改善	165
1.3 各种焊接方法基本特点与应用	104	3.2.7 焊缝的固态相变组织	166
1.4 焊接方法的选择	106	3.2.8 焊缝中的气孔与夹杂	168
第2章 焊接物理	110	3.3 固相冶金	171
2.1 焊接热过程及其特点	110	3.3.1 焊缝金属的固态相变	172
2.1.1 概述	110	3.3.2 焊接热影响区的固态相变	172
2.1.2 焊接的热源	111	3.3.3 焊接连续冷却转变图及其 应用	178
2.1.3 焊接热传导	113	第4章 焊接裂纹	182
2.1.4 焊接热循环	118	4.1 概述	182
2.2 焊接电弧及其特性	123	4.1.1 裂纹的危害	182
2.2.1 焊接电弧	123	4.1.2 焊接裂纹的分类及其特点	182
2.2.2 电弧的构造及其电压分布	126	4.2 焊接热裂纹	184
2.2.3 焊接电弧的最小能量消耗特性	127	4.2.1 结晶裂纹	184
2.2.4 焊接电弧的热特性	127	4.2.2 液化裂纹	187
2.2.5 焊接电弧的电特性	128	4.2.3 多边化裂纹	188
2.2.6 焊接电弧的力学特性	130	4.3 焊接再热裂纹	188
2.2.7 拘束电弧	131	4.3.1 再热裂纹的发生及其特点	188
2.2.8 磁场对电弧的作用	131	4.3.2 再热裂纹的形成机理	189
2.3 焊丝的加热、熔化与熔滴过渡	132	4.3.3 再热裂纹的影响因素及其防治	190
2.3.1 焊丝的加热与熔化	132	4.4 焊接冷裂纹	191
2.3.2 熔滴过渡	133	4.4.1 冷裂纹的基本特征及其分类	191
2.4 母材的熔化与焊缝的形成	137	4.4.2 冷裂纹的形成机理	192
2.4.1 母材的熔化与熔池的形成	137	4.4.3 冷裂倾向的判据	195
2.4.2 熔池的形状与焊缝的形成	137	4.4.4 防止冷裂纹的措施	197
第3章 焊接冶金	140	4.5 层状撕裂	201
3.1 液相冶金	140	4.5.1 层状撕裂的特征与危害	201
3.1.1 液相冶金过程特点	140	4.5.2 层状撕裂的形成机理	201
3.1.2 焊接时对金属的保护	140	4.5.3 影响层状撕裂的因素	201
3.1.3 焊接冶金反应区及其反应条件	141	4.5.4 防止层状撕裂的措施	202
3.1.4 气相对金属的作用	142	4.6 应力腐蚀裂纹	203
3.1.5 熔渣及其对金属的作用	150	4.6.1 应力腐蚀裂纹的特征与形成 条件	203
3.2 凝固冶金	158	4.6.2 应力腐蚀开裂机理	204
3.2.1 焊接熔池凝固的特点	158	4.6.3 防止应力腐蚀裂纹的措施	205
3.2.2 熔池结晶的一般规律	159		
3.2.3 熔池结晶线速度	160		

第三篇 弧焊方法及设备

第1章 弧焊电源	211	1.1.1 弧焊电源的类型	211
1.1 弧焊电源的类型、基本特点及 其适用范围	211	1.1.2 弧焊电源的基本特点和适用范围	211
		1.2 对弧焊电源的基本要求	212

1.2.1 对弧焊电源外特性的要求	212	2.4.1 接头的设计与选用	266
1.2.2 对弧焊电源调节特性的要求	215	2.4.2 坡口的制备	268
1.2.3 对弧焊电源动特性的要求	216	2.4.3 焊接位置	269
1.2.4 对弧焊电源的其他要求	217	2.4.4 焊接衬垫与引出板	269
1.3 交流弧焊电源	217	2.4.5 装配与定位焊	270
1.3.1 弧焊变压器	217	2.5 焊条电弧焊的焊接工艺	271
1.3.2 矩形波交流弧焊电源	223	2.5.1 焊前准备	271
1.4 直流弧焊电源——弧焊发电机	224	2.5.2 焊接参数	271
1.5 直流弧焊电源——弧焊整流器	226	2.5.3 焊条电弧焊操作技术	275
1.5.1 弧焊整流器的分类	226	2.5.4 后热与焊后热处理	283
1.5.2 硅弧焊整流器	226	第3章 埋弧焊	285
1.5.3 晶闸管式弧焊整流器	231	3.1 概述	285
1.5.4 晶体管式弧焊整流器	235	3.1.1 基本原理	285
1.6 脉冲弧焊电源	236	3.1.2 优缺点	285
1.6.1 脉冲弧焊电源的基本原理	237	3.1.3 分类	286
1.6.2 脉冲弧焊电源的种类、特点与应用	238	3.2 适用范围	286
1.6.3 晶闸管式脉冲弧焊电源	238	3.2.1 材料范围	286
1.6.4 晶体管式脉冲弧焊电源	239	3.2.2 厚度范围	286
1.6.5 部分脉冲弧焊电源技术数据	240	3.3 埋弧焊的自动调节系统	286
1.7 逆变式弧焊电源	241	3.3.1 实现焊接过程自动化的一般要求	286
1.7.1 逆变式弧焊电源的基本原理及组成	241	3.3.2 电弧自身调节系统	287
1.7.2 逆变式弧焊电源的分类、特点及应用范围	242	3.3.3 电弧电压自动调节系统	288
1.7.3 逆变式弧焊电源的基本电路	243	3.3.4 等速与变速送丝系统性能的比较	289
1.7.4 典型逆变弧焊电源介绍	247	3.4 埋弧焊机	289
1.7.5 各类逆变弧焊电源的比较	252	3.4.1 组成与分类	289
1.7.6 部分逆变式弧焊电源的技术数据	252	3.4.2 通用埋弧焊机的主要技术要求	290
1.8 弧焊电源的现状与发展	255	3.4.3 埋弧焊机的电源	291
1.9 弧焊电源的选择、使用与维修	255	3.4.4 送丝和行走机构	292
1.9.1 弧焊电源的选择	255	3.4.5 焊接机头调整机构	295
1.9.2 弧焊电源的安装	257	3.4.6 易损件及辅助装置	295
1.9.3 弧焊电源的使用与维护	261	3.4.7 典型通用埋弧焊机	296
1.9.4 弧焊电源的故障与检修	262	3.4.8 现代先进埋弧焊机的基本特点	307
第2章 焊条电弧焊	264	3.4.9 国产埋弧焊机技术数据	307
2.1 概述	264	3.5 焊接材料——焊丝与焊剂	309
2.1.1 定义与工作原理	264	3.6 埋弧焊接工艺与技术	309
2.1.2 工艺特点	264	3.6.1 焊缝形状与尺寸及影响因素	309
2.1.3 适用范围与局限性	264	3.6.2 焊接接头设计与坡口加工	313
2.2 焊接设备	265	3.6.3 组装和定位焊	313
2.2.1 弧焊电源	265	3.6.4 引弧板与引出板	314
2.2.2 辅助器具	265	3.6.5 焊接衬垫与打底焊	314
2.3 焊接材料——焊条	266	3.6.6 焊前和层间的清理	316
2.4 焊条电弧焊接头的设计与准备	266	3.6.7 自动埋弧焊接常规工艺与技术	316
		3.6.8 高效埋弧焊接工艺与技术	322
		3.7 埋弧焊常见缺陷及防止	329
		第4章 钨极氩弧焊 (TIG 焊)	331

4.1 概述	331	5.1.3 优缺点	366
4.1.1 原理与分类	331	5.1.4 适用范围	367
4.1.2 TIG 焊的工艺特点	331	5.2 保护气体	367
4.1.3 TIG 焊的优缺点	332	5.2.1 对保护气体的基本要求	367
4.1.4 适用范围	332	5.2.2 保护气体对电弧性能的影响	370
4.2 TIG 焊的极性、阴极清洗作用和 直流分量	333	5.3 焊丝	371
4.2.1 电弧的静特性	333	5.4 焊丝的熔滴过渡	371
4.2.2 阴极清洗作用	333	5.4.1 影响焊丝熔滴过渡形式的主要 因素	371
4.2.3 交流 TIG 焊的直流分量	334	5.4.2 各种熔滴过渡形式特性对比与 应用	372
4.3 钨极氩弧焊 (TIG) 焊机	335	5.5 熔化极气体保护电弧焊设备	373
4.3.1 TIG 焊接过程的一般程序	335	5.5.1 焊接电源	374
4.3.2 TIG 焊机的组成	335	5.5.2 焊枪	375
4.3.3 焊接电源	335	5.5.3 送丝系统	376
4.3.4 引弧和稳弧装置	338	5.5.4 供气与水冷系统	379
4.3.5 焊接电流衰减装置	339	5.5.5 控制系统	379
4.3.6 焊枪	339	5.5.6 熔化极气体保护焊机及其选用	381
4.3.7 供气系统和水冷系统	341	5.6 MIG 焊接工艺	383
4.3.8 送丝机构和焊接小车	341	5.6.1 工艺特点	383
4.3.9 典型的通用 TIG 焊机技术数据	341	5.6.2 焊接材料选择	383
4.4 焊接材料	342	5.6.3 焊接参数	384
4.4.1 钨极	342	5.6.4 典型 MIG 焊接参数	387
4.4.2 保护气体	343	5.7 MAG 焊接工艺	391
4.4.3 填充金属	344	5.7.1 工艺特点	391
4.5 焊接工艺与技术	345	5.7.2 常用氧化性混合气体及其适用 范围	391
4.5.1 接头形式与坡口	345	5.7.3 焊丝的选择	391
4.5.2 焊前清理	346	5.7.4 典型的焊接参数	391
4.5.3 装配	347	5.8 CO ₂ 气体保护焊	393
4.5.4 电流类型与极性选择	347	5.8.1 工艺特点	393
4.5.5 钨极的选择与使用	348	5.8.2 冶金特点	393
4.5.6 一般焊接工艺	349	5.8.3 焊接材料	394
4.5.7 停止焊接	354	5.8.4 CO ₂ 焊设备	395
4.6 特殊 TIG 焊接技术	355	5.8.5 CO ₂ 焊接参数	398
4.6.1 脉冲钨极氩弧焊	355	5.8.6 操作要点	403
4.6.2 TIG 点焊	358	5.8.7 CO ₂ 焊接常见缺陷及其产生 原因	406
4.7 典型应用	359	5.9 药芯焊丝气体保护电弧焊	406
4.7.1 奥氏体不锈钢薄膜板对接焊	359	5.9.1 药芯焊丝气体保护电弧焊的工艺 特点	406
4.7.2 固定管全位置 TIG 焊	360	5.9.2 药芯焊丝	407
4.7.3 管与管板焊接	363	5.9.3 药芯焊丝气体保护焊工艺	407
4.8 工艺缺陷、产生原因及防止措施	364	5.10 熔化极脉冲气体保电弧焊	411
4.9 安全技术	365	5.10.1 脉冲喷射过渡过程及其特征	411
第 5 章 熔化极气体保护焊	366		
5.1 概述	366		
5.1.1 基本原理	366		
5.1.2 分类	366		

5.10.2 工艺特点	412	6.3 等离子弧焊的分类	429
5.10.3 焊接参数	412	6.4 等离子弧焊设备	429
5.11 窄间隙熔化极气体保护电弧焊	415	6.4.1 设备组成	429
5.11.1 基本特征	415	6.4.2 焊接电源	430
5.11.2 优缺点及适用范围	415	6.4.3 焊枪	431
5.11.3 焊接工艺	415	6.4.4 国产等离子弧焊机及技术数据	434
5.12 CO ₂ 电弧点焊	418	6.5 等离子弧焊接的双弧问题	437
5.12.1 特点与应用	418	6.6 等离子弧焊工艺	437
5.12.2 常用接头形式	418	6.6.1 焊接接头	437
5.12.3 焊接工艺	418	6.6.2 装配与夹紧	438
5.13 气电立焊	419	6.6.3 等离子弧焊气体的选择	439
5.13.1 操作原理	419	6.6.4 焊接参数	440
5.13.2 优缺点	419	6.7 等离子弧焊常见缺陷及其产生原因	445
5.13.3 适用范围	420	第7章 螺柱焊	446
5.13.4 焊接设备	420	7.1 概述	446
5.13.5 焊接材料	421	7.2 拉弧式螺柱焊	446
5.13.6 焊接工艺	421	7.2.1 瓷环保护拉弧式螺柱焊	446
5.14 熔化极气体保护电弧焊的新发展	422	7.2.2 短周期拉弧式螺柱焊	454
5.14.1 高效熔化极气体保护焊	422	7.3 电容放电螺柱焊	456
5.14.2 波形控制熔化极气体保护焊	424	7.3.1 电容放电螺柱焊焊接过程	456
第6章 等离子弧焊	426	7.3.2 电容放电螺柱焊设备	457
6.1 概述	426	7.3.3 电容放电螺柱焊焊接工艺	460
6.1.1 等离子弧及其形成	426	7.4 螺柱焊材料的组合及其焊接性	461
6.1.2 等离子弧的特性	426	7.5 螺柱焊的发展方向	463
6.1.3 等离子弧的类型	427	7.6 螺柱焊方法的选择与应用	464
6.2 等离子弧焊的工艺特点与适用范围	428	7.6.1 螺柱焊方法的选择	464
6.2.1 工艺特点	428	7.6.2 螺柱焊方法的应用	465
6.2.2 适用范围	428		

第四篇 电阻焊方法及设备

第1章 电阻焊基础	469	2.1.1 分类	478
1.1 概述	469	2.1.2 电阻焊设备的基本构成	478
1.1.1 电阻焊的分类	469	2.1.3 电阻焊设备的型号编制方法	479
1.1.2 电阻焊的优缺点	471	2.1.4 电阻焊设备的通用技术条件	479
1.2 焊接的热量及其影响因素	471	2.1.5 电阻焊电源的负载持续率	482
1.2.1 焊接的热量	471	2.1.6 电阻焊机的技术经济指标	482
1.2.2 影响焊接热量的因素	471	2.1.7 电阻焊机的工作循环	482
1.3 热平衡及温度分布	473	2.2 各类电阻焊电源的电气性能	483
1.3.1 热平衡	473	2.2.1 单相工频电阻焊电源	483
1.3.2 温度分布	474	2.2.2 三相低频电阻焊电源	484
1.4 焊接循环	474	2.2.3 二次整流电阻焊电源	485
1.5 金属材料电阻焊的焊接性及其影响因素	475	2.2.4 电容储能电阻焊电源	486
第2章 电阻焊设备	478	2.2.5 逆变电阻焊机电源	487
2.1 概述	478	2.3 点焊机	488
		2.4 凸焊机	497

2.5 缝焊机	498	4.2.2 凸焊电极	545
2.5.1 缝焊机类型	498	4.2.3 凸焊的焊接参数	546
2.5.2 缝焊机滚轮的传动	498	4.2.4 常用金属的凸焊要点	547
2.5.3 缝焊机滚轮的导电	499	第5章 缝焊工艺	551
2.5.4 部分国产缝焊机的技术数据	499	5.1 概述	551
2.6 对焊机	500	5.1.1 缝焊的基本形式及其工艺特点	551
2.6.1 对焊机的组成与分类	500	5.1.2 缝焊的优缺点	551
2.6.2 机架与导轨	501	5.1.3 缝焊的应用	551
2.6.3 送进机构	501	5.2 缝焊用的电极	553
2.6.4 夹紧机构	503	5.2.1 电极的形状	553
2.6.5 部分国产对焊机的技术数据	504	5.2.2 电极尺寸	554
2.7 电阻焊机的控制器	506	5.2.3 电极材料	554
2.7.1 控制器的功能	506	5.2.4 电极的正确选择与使用	554
2.7.2 控制器的分类、特点和选用	506	5.3 缝焊的焊接参数及其对焊接质量的影响	555
2.7.3 控制器的基本单元线路	507	5.4 缝焊的接头设计	557
2.7.4 国产点、凸、缝焊机控制器技术数据	512	5.5 常用金属材料缝焊工艺要点	558
第3章 点焊工艺	515	5.5.1 低碳钢的缝焊	558
3.1 熔核的形成及其质量的一般要求	515	5.5.2 镀层钢的缝焊	558
3.1.1 熔核的形成	515	5.5.3 不锈钢与高温合金的缝焊	560
3.1.2 对熔核质量的一般要求	515	5.5.4 铝合金的缝焊	561
3.2 点焊方法的种类	516	5.5.5 钛合金的缝焊	561
3.3 点焊接头的设计	517	第6章 对焊工艺	563
3.4 点焊电极及电极握杆	518	6.1 电阻对焊工艺	563
3.4.1 点焊电极	518	6.1.1 接头的形成与所需的基本条件	563
3.4.2 电极握杆	524	6.1.2 电阻对焊的特点与适用范围	563
3.5 点焊工艺	526	6.1.3 焊接工艺	563
3.5.1 焊前工件表面清理	526	6.2 闪光对焊工艺	565
3.5.2 点焊的焊接参数	527	6.2.1 闪光对焊的工作原理	565
3.5.3 点焊时电流的分流	532	6.2.2 闪光对焊的特点及其适用范围	566
3.5.4 不等厚或异种材料点焊	533	6.2.3 焊接工艺	569
3.5.5 常用金属材料点焊工艺要点	534	6.2.4 闪光对焊新技术	576
第4章 凸焊工艺	543	6.3 典型零件的对焊	577
4.1 概述	543	6.3.1 线材的对焊	577
4.1.1 凸焊的工艺特点	543	6.3.2 型材的对焊	578
4.1.2 凸焊的优缺点	544	6.3.3 管材的对焊	578
4.1.3 凸焊的适用范围	544	6.3.4 板材的对焊	580
4.2 凸焊工艺	544	6.3.5 环形零件的对焊	581
4.2.1 凸焊接头设计	544		
		第五篇 其他焊接方法及设备	
第1章 电渣焊	585	1.1.2 电渣焊的特点	585
1.1 概述	585	1.1.3 电渣焊的种类	586
1.1.1 电渣焊的过程	585	1.1.4 电渣焊的适用范围	587

1.2 电渣焊设备	587	3.1.2 激光焊的分类	630
1.2.1 丝极电渣焊设备	587	3.1.3 激光焊的主要应用	630
1.2.2 熔嘴电渣焊设备	589	3.2 激光焊设备	631
1.3 电渣焊工艺	590	3.2.1 激光器	631
1.3.1 焊接材料	590	3.2.2 光束传输和聚焦系统	635
1.3.2 焊接接头设计与制备	592	3.2.3 气源	636
1.3.3 丝极电渣焊工艺	595	3.3 激光焊接原理	636
1.3.4 熔嘴电渣焊工艺	603	3.3.1 激光与材料间的相互作用	636
1.3.5 板极电渣焊工艺	611	3.3.2 材料对激光的光谱反射因数和 光谱吸收因数	637
1.3.6 焊后处理	612	3.3.3 影响金属材料对激光吸收的 主要因素	637
1.3.7 电渣焊接头的缺陷及质量检验	612	3.3.4 焊接过程中的几种效应	638
1.4 电渣压力焊	613	3.4 连续激光焊工艺	639
1.4.1 焊接原理和过程	613	3.4.1 连续激光焊熔池的特点	639
1.4.2 电渣压力焊的特点和适用范围	614	3.4.2 连续激光焊设备的选择	639
1.4.3 电渣压力焊设备	615	3.4.3 连续激光焊接头的设计	640
1.4.4 焊剂	615	3.4.4 影响连续激光焊接质量的主要 因素	641
1.4.5 焊接工艺	616	3.4.5 焊接参数	643
1.4.6 焊接质量与检验	616	3.5 脉冲激光焊	644
第2章 电子束焊	618	3.6 激光与其他热源复合焊接技术	645
2.1 概述	618	3.7 激光安全知识	647
2.1.1 电子束焊的工作原理	618	3.7.1 激光对人体的危害	647
2.1.2 电子束焊的特点	618	3.7.2 激光的安全防护	648
2.1.3 电子束焊的分类	619	第4章 摩擦焊	649
2.1.4 电子束焊的适用范围	620	4.1 概述	649
2.2 焊接设备与装置	620	4.1.1 基本原理	649
2.2.1 电子枪	620	4.1.2 摩擦焊的种类及其工艺特点	649
2.2.2 供电系统	621	4.1.3 摩擦焊的特点	653
2.2.3 真空系统	621	4.1.4 适用范围	654
2.2.4 传动系统	622	4.2 摩擦焊设备	657
2.2.5 电气控制系统	622	4.2.1 旋转式摩擦焊机	657
2.2.6 国内外部分电子束焊机技术数据	622	4.2.2 搅拌摩擦焊机	658
2.3 焊接工艺	623	4.3 摩擦焊工艺	661
2.3.1 接头设计	623	4.3.1 旋转式摩擦焊工艺	661
2.3.2 焊前准备	624	4.3.2 搅拌摩擦焊工艺	666
2.3.3 焊接参数	625	4.4 摩擦焊接质量及其控制	667
2.4 常用金属材料的焊接要点	627	4.4.1 旋转式摩擦焊接质量及其控制	667
2.4.1 钢的电子束焊	627	4.4.2 搅拌摩擦焊接质量及其控制	668
2.4.2 有色金属的电子束焊	627	4.4.3 摩擦焊接质量的检测	669
2.4.3 难熔金属的电子束焊	628	4.5 摩擦焊安全技术	670
2.4.4 异种金属的电子束焊	628	第5章 扩散焊	671
2.5 焊接缺陷	628	5.1 概述	671
2.6 安全技术	629	5.1.1 扩散焊的原理	671
第3章 激光焊	630		
3.1 概述	630		
3.1.1 激光焊及其特点	630		

5.1.2 扩散焊的特点	672	第8章 超声波焊	692
5.2 扩散焊的优缺点	672	8.1 概述	692
5.2.1 优点	672	8.1.1 原理	692
5.2.2 缺点	672	8.1.2 接头形成机理	692
5.3 扩散焊种类	672	8.1.3 超声波焊分类	692
5.4 扩散焊工艺	673	8.1.4 优缺点及其应用	693
5.4.1 接头形式	673	8.2 超声波焊的焊接工艺	695
5.4.2 待焊表面的制备与清理	673	8.2.1 接头设计	695
5.4.3 中间层材料的选择	674	8.2.2 表面准备	695
5.4.4 止焊剂的应用	674	8.2.3 焊接参数	695
5.4.5 焊接参数	674	8.2.4 其他工艺因素	696
5.5 扩散焊设备	675	8.3 焊接设备	697
5.6 扩散焊的应用	677	8.3.1 超声波发生器	697
第6章 冷压焊	678	8.3.2 声学系统	697
6.1 概述	678	8.3.3 加压机构	698
6.1.1 冷压焊原理	678	8.3.4 程序控制器	698
6.1.2 冷压焊的优缺点	678	8.3.5 部分国产超声波点焊机的技术 数据	698
6.1.3 冷压焊的适用范围	679	第9章 气焊	699
6.2 冷压焊工艺	679	9.1 概述	699
6.2.1 焊接界面的清理	679	9.1.1 气焊特点	699
6.2.2 焊接参数	679	9.1.2 适用范围	699
6.3 冷压焊用的模具	680	9.2 气体	699
6.3.1 对接冷压焊的钳口	680	9.2.1 氧气	699
6.3.2 搭接冷压焊模具	681	9.2.2 可燃气体	699
6.3.3 模具材料	682	9.3 气焊设备	701
6.4 冷压焊的应用	682	9.3.1 氧气瓶	701
第7章 爆炸焊	683	9.3.2 减压器	701
7.1 爆炸焊的原理	683	9.3.3 乙炔瓶	702
7.1.1 爆炸焊接装置及焊接过程	683	9.3.4 乙炔发生器	702
7.1.2 基本原理	683	9.3.5 回火及回火防止器	703
7.1.3 结合面形态与结合区性质	684	9.3.6 焊炬	705
7.2 爆炸焊方法的分类	684	9.3.7 气焊辅助工具	706
7.3 爆炸焊的优缺点	684	9.4 焊接材料	706
7.4 爆炸焊适用范围	685	9.4.1 焊丝	706
7.4.1 可焊接的金属材料	685	9.4.2 熔剂	707
7.4.2 可焊接的产品结构	686	9.5 气焊工艺	708
7.5 爆炸焊工艺	687	9.5.1 接头设计	708
7.5.1 接头准备	687	9.5.2 气焊火焰	708
7.5.2 炸药	688	9.5.3 左焊法与右焊法	709
7.5.3 安装	688	9.5.4 焊接参数	709
7.5.4 焊接参数	688	第10章 钎焊	711
7.6 爆炸焊的缺陷和检验	689	10.1 概述	711
7.6.1 爆炸焊的缺陷	689	10.1.1 钎焊特点、类型和适用范围	711
7.6.2 爆炸焊质量检验	690	10.1.2 钎焊的基本原理	711
7.7 爆炸焊安全技术	691		

10.1.3 钎焊接头的构成	713	11.3 典型焊接工艺	760
10.2 钎焊材料	713	11.3.1 连续高频焊	760
10.2.1 钎料	713	11.3.2 断续高频焊	764
10.2.2 钎剂	719	第12章 热切割	765
10.3 钎焊方法	731	12.1 切割及其分类	765
10.3.1 烙铁钎焊	731	12.2 气体火焰切割	765
10.3.2 火焰钎焊	731	12.2.1 氧乙炔切割	765
10.3.3 浸渍钎焊	731	12.2.2 氧-丙烷切割	774
10.3.4 电阻钎焊	733	12.2.3 氧-甲烷切割	774
10.3.5 感应钎焊	733	12.2.4 氧-燃气特种切割	774
10.3.6 炉中钎焊	734	12.2.5 氧-熔剂切割	775
10.3.7 波峰钎焊和再流钎焊	737	12.2.6 氧-氢切割	776
10.3.8 钎焊方法的选择	742	12.3 等离子弧切割	777
10.4 钎焊接头的设计	744	12.3.1 切割原理	777
10.4.1 钎接头的基本形式	744	12.3.2 等离子弧切割的种类	777
10.4.2 钎接头搭接长度计算	744	12.3.3 等离子弧切割的设备	780
10.4.3 接头间隙	744	12.3.4 等离子弧切割的工艺	783
10.4.4 接头的工艺性设计	745	12.3.5 安全与防护	785
10.5 钎焊工艺	746	12.4 碳弧气刨	785
10.5.1 工件的清理与表面准备	746	12.4.1 碳弧气刨的原理、特点与应用范围	785
10.5.2 预置钎剂和阻流剂	747	12.4.2 碳弧气刨用的设备与材料	785
10.5.3 装配、定位与放置钎料	748	12.4.3 碳弧气刨工艺及注意点	787
10.5.4 焊接参数	748	12.4.4 自动碳弧气刨	790
10.5.5 钎焊后处理	748	12.5 激光切割	790
10.6 各种金属材料的钎焊	749	12.5.1 激光切割的类型及原理	790
10.6.1 钎焊性	749	12.5.2 激光切割的特点	790
10.6.2 碳钢和低合金钢的钎焊	749	12.5.3 材料的激光切割性	790
10.6.3 铸铁的钎焊	749	12.5.4 激光切割的设备	791
10.6.4 不锈钢的钎焊	750	12.5.5 激光切割的工艺	791
10.6.5 铜及铜合金的钎焊	751	12.5.6 激光切割的安全与防护	794
10.6.6 铝及铝合金的钎焊	752	12.6 热切割方法的比较与选择	794
10.6.7 钛及钛合金的钎焊	752	12.6.1 主要热切割方法的技术经济特性比较	794
10.6.8 工具钢和硬质合金的钎焊	754	12.6.2 热切割方法的选择	794
第11章 高频焊	756	12.7 切割的机械化和自动化	796
11.1 概述	756	12.7.1 常用机械控制切割机	796
11.1.1 工作原理	756	12.7.2 光电跟踪切割机	797
11.1.2 高频焊接过程	757	12.7.3 数控切割机	798
11.1.3 高频焊的优缺点及基本应用	757		
11.2 高频焊设备	759		
第六篇 焊接材料			
第1章 焊条	805	1.1.2 对焊条的基本要求	807
1.1 概述	805	1.1.3 焊条的分类	807
1.1.1 焊条的组成及其作用	805	1.1.4 焊条型号与牌号的编制方法	809

1.2 焊条的配方设计与制造	822	第3章 焊接用保护气体	902
1.2.1 焊条的配方设计	822	3.1 概述	902
1.2.2 焊条制造简介	823	3.2 保护气体的特性	902
1.2.3 焊条质量及工艺性能评定	823	3.2.1 保护气体的物理性能	902
1.3 焊条的主要性能、用途及其选用	830	3.2.2 保护气体的化学性能及其应用	902
1.3.1 各类焊条的主要性能与用途	830	3.2.3 保护气体在弧焊过程中的工艺特性	903
1.3.2 焊条的选用	848	3.3 焊接用保护气体的技术要求	904
1.3.3 焊条的正确使用与管理	849	3.4 保护气体选用要点	905
第2章 焊丝、焊带与焊剂	852	第4章 电极	909
2.1 焊丝	852	4.1 概述	909
2.1.1 焊丝的作用与分类	852	4.2 弧焊用钨电极	909
2.1.2 实心焊丝	852	4.2.1 种类	909
2.1.3 药芯焊丝	866	4.2.2 承载电流的能力	909
2.2 焊剂	890	4.2.3 形状尺寸和表面质量	910
2.2.1 焊剂分类	890	4.2.4 钨极的选用	910
2.2.2 焊剂的型号与牌号	892	4.3 电阻焊用铜电极	910
2.2.3 焊剂的制造及技术要求	896	4.3.1 电极的功能及其损坏形式	911
2.2.4 焊剂选用要点	898	4.3.2 电极材料	911
2.2.5 使用焊剂的注意事项	899	4.3.3 电极材料的选用要点	916
2.3 焊带	900		
		第七篇 金属材料的焊接	
第1章 焊接性及其试验方法	921	2.2 碳钢的焊接性	960
1.1 焊接性	921	2.3 低碳钢的焊接	961
1.1.1 焊接性的概念	921	2.3.1 焊接特点	961
1.1.2 影响焊接性的因素	921	2.3.2 焊接材料	961
1.1.3 金属焊接性的研究方法	922	2.3.3 焊接工艺要点	964
1.2 焊接性的试验内容与方法分类	923	2.3.4 低碳钢焊接举例	964
1.2.1 焊接性试验内容	923	2.4 中碳钢的焊接	966
1.2.2 焊接性试验方法分类	924	2.4.1 焊接特点	966
1.2.3 选择或设计焊接性试验方法的 原则	924	2.4.2 焊接材料	966
1.3 常用焊接性试验方法	925	2.4.3 焊接工艺要点	966
1.3.1 工艺焊接性的间接估算法	925	2.5 高碳钢的焊接	967
1.3.2 工艺焊接性的直接试验法	928	2.5.1 焊接特点	967
1.3.3 使用焊接性的试验方法	939	2.5.2 焊接材料	967
1.3.4 焊接热(应力、应变)模拟试验 方法	951	2.5.3 焊接工艺要点	967
第2章 碳钢的焊接	953	第3章 低合金钢的焊接	968
2.1 概述	953	3.1 概述	968
2.1.1 碳钢的分类	953	3.1.1 低合金钢及其分类	968
2.1.2 碳钢的牌号及其统一数字代号	953	3.1.2 低合金高强度钢的牌号和统一 数字代号	969
2.1.3 碳钢的化学成分与力学性能	953	3.1.3 低合金高强度钢的化学成分和 力学性能	970
2.1.4 碳钢新的分类方法	959	3.1.4 低合金高强度结构钢的组织与 性能	981