

特种焊接技术

主 编 张应立
副主编 周玉华

金盾出版社

内 容 提 要

本书在介绍特种焊接方法的分类、选择等基本知识的基础上,较系统地阐述了各种焊接方法的应用特点、设备使用、焊接参数和操作要点。主要内容包括:等离子弧焊,电子束焊,激光焊,电渣焊,电阻焊,高频焊,超声波焊,扩散焊,摩擦焊,爆炸焊,螺柱焊,冷压焊,热压焊,铝热剂焊,水下焊接和特殊条件下的焊接等。每章后面均附有焊接工程应用实例。

本书的特点是突出先进性,立足实用性。适合焊接操作人员和相关的工程技术人员使用,也可供相关专业的职业院校师生、科研院所的研究人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

特种焊接技术/张应立主编. -- 北京:金盾出版社,2012.12
ISBN 978-7-5082-7914-5

I. ①特… II. ①张… III. ①焊接—技术 IV. ①TG456

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 230833 号

金盾出版社出版、总发行

北京太平路 5 号(地铁万寿路站往南)

邮政编码:100036 电话:68214039 83219215

传真:68276683 网址:www.jdcbs.cn

封面印刷:北京精美彩色印刷有限公司

正文印刷:北京万友印刷有限公司

装订:北京万友印刷有限公司

各地新华书店经销

开本:705×1000 1/16 印张:24.25 字数:590 千字

2012 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

印数:1~4 000 册 定价:58.00 元

(凡购买金盾出版社的图书,如有缺页、
倒页、脱页者,本社发行部负责调换)

前 言

特种焊接技术是在科学技术不断进步的推动下,为满足对焊接技术越来越高的要求而发展起来的。在通常情况下,把焊条电弧焊、气焊、埋弧焊、气体保护焊等之外的焊接方法称为特种焊接。例如,等离子弧焊、电子束焊、激光焊等高能密度焊接,于 20 世纪中期相继问世,其功率密度达 $10^5 \sim 10^{13} \text{ W/cm}^2$, 比电弧高出好几个数量级,可以焊接许多原先非常难焊的材料,填补了常规方法无法进行焊接的空白。

随着科学技术的不断进步,许多新产品、新结构的不断出现,以及各种新材料、新工艺的应用,对焊接质量、接头性能和生产率不断提出新的更高要求。在许多情况下,任何一种常规焊接方法都不可能完全满足机械结构的使用要求,因此,寻求采用特种焊接方法,越来越受到企业和焊接技术人员的高度重视。

实践证明,特种焊接技术的应用,产生了明显的经济效益和社会效益,符合优质、高效、低耗、无污染生产的发展方向,是值得大力推广的先进焊接技术,鉴于此,我们在焊接专家的指导和帮助下,编写了《特种焊接技术》一书。本书全部采用焊接现行标准和国家统一法定计量单位。本书的特点是理论联系实际,突出新颖性、先进性和实用性,对各种特种焊接技术的工作原理、工艺特点、应用范围、焊接参数、操作要点及劳动安全作了较系统的阐述,并附有特种焊接方法的工程应用实例,可供特殊场合的焊接生产和开发新产品借鉴。

本书由张应立任主编、周玉华任副主编,参加编写的还有张莉、耿敏、唐猛、周玉良、钱璐、薛安梅、徐婷、李守银、王海、梁润琴、周琳、李家祥、王丹、张峥、周玥、刘军、程世明、吴兴莉、吴兴惠、王正常、杨再书、谢美、车宣雨、陈洁等。本书由高级工程师张梅审定。在编写过程中曾得到贵州路桥工程有限公司的领导、焊接专家的支持与帮助,特向各位领导、专家、审定者和参考文献的编著者表示感谢。

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,诚望使用本书的读者和专家批评指正。

作 者

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 焊接方法的分类和焊接能源	1
一、焊接方法的分类	1
二、焊接能源	2
第二节 常用焊接方法的选用	4
一、常用焊接方法的特点及其应用范围	4
二、选用焊接方法应考虑的因素	7
三、特种焊接方法的适用范围	10
第三节 焊接技术的发展趋势	11
一、提高焊接生产效率	11
二、提高焊接自动化水平	11
三、扩大计算机的应用	12
四、扩大焊接机器人的应用	12
五、开发新热源推动焊接工艺的发展	12
六、新兴工业的发展不断推动焊接技术进步	12
第二章 等离子弧焊	14
第一节 等离子弧焊基础	14
一、等离子弧的形成	14
二、等离子弧的类型	14
三、等离子弧焊的特点	14
四、等离子弧焊的应用范围	15
第二节 等离子弧焊设备和焊接材料	15
一、等离子弧焊机的分类	15
二、等离子弧焊机的组成	16
三、等离子弧焊机的型号及技术参数	21
四、等离子弧焊机的正确使用	25
五、等离子弧焊机常见故障及排除方法	25
六、焊接材料	25
第三节 等离子弧焊工艺	28
一、等离子弧焊的基本方法	28

二、等离子弧焊的焊前准备	29
三、等离子弧焊焊接参数的选择	30
四、等离子弧焊操作要点	34
五、各种位置上的等离子弧焊操作要点	37
六、等离子弧焊时的双弧现象及预防措施	39
七、等离子弧焊常见缺陷及预防措施	39
第四节 微束等离子弧焊和脉冲等离子弧焊工艺	40
一、微束等离子弧焊的特点	40
二、获得微束等离子弧的三要素	40
三、微束等离子弧焊的焊接参数	41
四、微束等离子弧焊的工艺要点	41
五、脉冲等离子弧焊的特点	44
六、脉冲等离子弧焊的焊接参数	44
第五节 常用材料的等离子弧焊	44
一、高温合金的等离子弧焊	44
二、铝及铝合金的等离子弧焊	46
三、钛及钛合金的等离子弧焊	47
四、银和铂的微束等离子弧焊	48
第六节 等离子弧焊应用实例	48
一、不锈钢筒体的等离子弧焊	48
二、厚 8mm 的 30CrMnSiA 大电流等离子弧焊	49
三、双金属锯条的等离子弧焊	50
四、直管对接的等离子弧焊	52
五、TA2 工业纯钛板自动等离子弧焊	53
六、超薄壁管子的微束等离子弧焊	53
第三章 电子束焊	56
第一节 电子束焊基础	56
一、电子束焊的原理	56
二、电子束焊的特点	56
三、电子束焊的应用范围	57
第二节 电子束焊设备	58
一、电子束焊机的分类	58
二、电子束焊机的组成	59
三、电子束焊机的型号及主要技术参数	61
四、真空测量和真空检漏	62
五、电子束焦点的观察、测量和焊缝对中	63

第三节 电子束焊工艺	64
一、电子束焊的焊接性	64
二、电子束焊的焊前准备	65
三、电子束焊焊接参数的选择	69
四、电子束焊的工艺要点	71
五、获得深熔焊的工艺措施	73
六、常用金属材料的电子束焊	73
七、电子束焊操作要点	75
八、电子束焊常见缺陷及预防措施	76
第四节 电子束焊应用实例	77
一、双金属带锯的电子束焊	77
二、陶瓷与金属的电子束焊	78
三、高温合金的电子束焊	79
第四章 激光焊	81
第一节 激光焊基础	81
一、激光焊的原理	81
二、激光焊的特点	81
三、激光焊的分类	81
四、激光焊的应用范围	81
五、材料的激光焊接性	82
第二节 激光焊设备	83
一、固体激光焊机	83
二、气体激光焊机	85
第三节 激光焊工艺	88
一、脉冲激光焊工艺	88
二、连续激光焊工艺	94
第四节 常用金属材料的激光焊	101
一、钢铁材料的激光焊	101
二、非铁金属的激光焊	103
三、高温合金的激光焊	104
第五章 电渣焊	105
第一节 电渣焊基础	105
一、电渣焊的原理	105
二、电渣焊的特点	105
三、电渣焊的应用范围	106
第二节 电渣焊设备	107
一、电渣焊设备的基本组成及要求	107

二、对电渣焊焊接电源的要求	107
三、常用电渣焊机	108
第三节 电渣焊材料	114
一、电极材料	114
二、焊剂	115
三、管极涂料	115
第四节 电渣焊工艺	117
一、焊前准备	117
二、焊接参数	120
三、直缝丝极电渣焊工艺	122
四、环缝丝极电渣焊工艺	124
五、板极电渣焊工艺	126
六、熔嘴电渣焊工艺	127
七、管状熔嘴电渣焊工艺	130
八、电渣焊焊后热处理	132
九、电渣焊常见缺陷及预防措施	132
第五节 电渣焊应用实例	133
一、立辊轧机机架的熔嘴电渣焊	133
二、250mm 轧机中辊支架的板极电渣焊	135
三、轧钢机机架的板极电渣焊	136
四、厚度为 30mm、40mm16Mn 板材直缝管极电渣焊	137
第六章 电阻焊	139
第一节 电阻焊基础	139
一、电阻焊的分类	139
二、电阻焊的特点及应用范围	139
三、电阻焊设备	140
四、电阻焊电极和附件材料成分及性能	144
五、常用金属材料的电阻焊焊接性	147
第二节 点焊	147
一、常用电阻点焊的特点及应用范围	147
二、点焊设备	148
三、点焊工艺要点	154
四、常用金属材料的点焊	163
五、点焊焊接结构的缺陷及改进措施	172
第三节 缝焊	173
一、电阻缝焊的特点及应用范围	173
二、缝焊的基本形式	173

三、缝焊设备	174
四、缝焊工艺要点	177
五、常用金属材料的缝焊	180
六、点焊和缝焊常见缺陷及排除方法	185
第四节 凸焊	188
一、电阻凸焊的特点及应用范围	188
二、凸焊设备	189
三、凸焊工艺要点	190
四、常用金属材料凸焊焊接参数	191
五、凸点位移原因及预防措施	194
第五节 对焊	194
一、对焊的特点及应用范围	194
二、对焊设备	197
三、对焊工艺要点	200
四、常用金属材料的对焊	203
五、对焊常见缺陷及预防措施	208
第六节 电阻焊应用实例	209
一、铝合金轿车门的点焊	209
二、钛框构件的闪光对焊	209
三、低碳钢筋的电阻对焊	210
第七章 高频焊	212
第一节 高频焊基础	212
一、高频焊的原理	212
二、高频焊的特点	213
三、高频焊的分类和应用范围	213
第二节 高频焊设备	213
一、高频焊设备的组成	213
二、高频焊机	214
三、常用高频焊管机型号及主要技术参数	215
第三节 高频焊工艺	216
一、接头形式与坡口形状	216
二、焊接参数的选择	217
三、高频焊管工艺要点	218
四、高频焊常见缺陷及预防措施	218
第四节 高频焊应用实例	219
一、散热片与管的高频焊	219
二、型钢的高频焊	220

三、锅炉钢管的高频对焊	220
四、平板的高频对焊	221
五、金属结构的高频焊	221
第八章 超声波焊	223
第一节 超声波焊基础	223
一、超声波焊的原理	223
二、超声波焊的分类	223
三、超声波焊的特点	226
四、超声波焊的应用范围	226
第二节 超声波焊设备	227
一、超声波点焊机	227
二、超声波缝焊机	228
三、超声波焊机型号及主要技术参数	229
第三节 超声波焊工艺	229
一、接头设计	229
二、结合面清理	230
三、焊接参数	230
四、超声波焊工艺要点	233
第四节 超声波焊应用实例	235
一、集成电路元件的超声波焊	235
二、塑料的超声波焊	235
第九章 扩散焊	236
第一节 扩散焊基础	236
一、扩散焊的原理	236
二、扩散焊的分类	237
三、扩散焊的特点	238
四、扩散焊的应用范围	238
第二节 扩散焊设备	239
一、扩散焊设备的组成	239
二、真空扩散焊机	239
第三节 扩散焊工艺	240
一、接头形式	240
二、焊前准备	240
三、中间层的选择	241
四、焊接参数	242
五、瞬态液相(TLP)扩散焊	246
六、陶瓷与金属的扩散焊	247

七、金属基复合材料的扩散焊	255
八、扩散焊常见缺陷及预防措施	258
第四节 扩散焊应用实例	259
一、同种材料的扩散焊	259
二、异种材料的扩散焊	261
三、石墨板与钢板的扩散焊	266
第十章 摩擦焊	268
第一节 摩擦焊基础	268
一、摩擦焊的原理	268
二、摩擦焊的分类	268
三、摩擦焊的特点	271
四、摩擦焊的应用范围	271
第二节 摩擦焊设备	272
一、摩擦焊机的类型	272
二、常用摩擦焊机的结构特点	273
三、常用摩擦焊机型号及主要技术参数	276
第三节 摩擦焊工艺	278
一、焊前准备	278
二、工艺特点和要求	281
三、连续驱动摩擦焊工艺要点	282
四、惯性摩擦焊工艺要点	283
五、摩擦焊常见缺陷及其产生原因	285
第四节 摩擦焊应用实例	285
一、铜与铝的摩擦焊	285
二、典型机械零件的摩擦焊	287
第十一章 爆炸焊	288
第一节 爆炸焊基础	288
一、爆炸焊的原理	288
二、爆炸焊的分类	288
三、爆炸焊的特点	289
四、爆炸焊的应用范围	290
第二节 炸药	291
一、炸药的选用原则	291
二、爆炸焊常用炸药	291
第三节 爆炸焊工艺	291
一、焊前准备	291
二、焊接参数	296

三、爆炸焊常见缺陷及预防措施	298
第四节 爆炸焊应用实例	298
一、不锈钢与铝合金的爆炸焊	298
二、架空电力线钢绞线的爆炸压接	299
三、钛-钢复合板的爆炸焊	300
第十二章 螺柱焊	303
第一节 螺柱焊基础	303
一、螺柱焊的分类	303
二、螺柱焊方法的选用	303
三、螺柱焊的特点	304
第二节 电弧螺柱焊	305
一、电弧螺柱焊的原理	305
二、电弧螺柱焊的特点	305
三、电弧螺柱焊设备	305
四、电弧螺柱焊材料	308
五、电弧螺柱焊工艺	312
第三节 电容放电螺柱焊	313
一、电容放电螺柱焊的原理	313
二、电容放电螺柱焊的特点	314
三、电容放电螺柱焊设备	314
四、电容放电螺柱焊用螺柱	315
五、电容放电螺柱焊工艺	316
第四节 短周期螺柱焊	318
一、短周期螺柱焊设备	318
二、短周期螺柱焊工艺	320
三、螺柱焊质量控制及缺陷预防	321
第十三章 冷压焊	322
第一节 冷压焊基础	322
一、冷压焊的原理	322
二、冷压焊的分类	322
三、冷压焊的特点	323
四、冷压焊的应用范围	324
第二节 冷压焊设备	324
一、冷压焊机	324
二、冷压焊模具	325
第三节 冷压焊工艺	328
一、材料的焊接性	328

二、工件待焊表面的要求及处理	329
三、焊接参数的选择	330
第四节 冷压焊应用实例	332
一、铜与铝的冷压焊	332
二、高真空金属壳的冷压焊	333
第十四章 热压焊	334
第一节 气压焊	334
一、热压焊的分类及特点	334
二、气压焊的分类、特点及应用范围	335
三、气压焊设备	335
四、闭式气压焊工艺	336
五、气压焊常见缺陷及预防措施	338
六、气压焊应用实例	340
第二节 锻焊和缝焊	348
一、锻焊工艺	348
二、缝焊工艺	349
第三节 微电子连接热压焊	349
一、微电子连接热压焊设备	349
二、微电子连接热压焊工艺	349
三、微电子连接热压焊在电子微型焊接领域的应用	350
第十五章 铝热剂焊	351
第一节 铝热剂焊基础	351
一、铝热剂焊的原理	351
二、铝热剂焊的特点	351
三、铝热剂焊的应用范围	351
第二节 铝热剂焊设备	352
一、设备组成	352
二、铸型(型模)	352
三、坩埚	352
四、浇注孔和堵片	353
第三节 铝热剂焊材料和工艺	353
一、铝粉	353
二、氧化物	353
三、铁粉	354
四、铝热剂焊工艺	354
第四节 铝热剂焊应用实例	354
一、钢轨的铝热剂焊	354

二、金属导体的铝热剂焊	356
三、机械零件修补的铝热剂焊	357
第十六章 水下和其他特殊条件下的焊接	360
第一节 水下焊接的特点和分类	360
一、水下焊接的特点	360
二、水下焊接的分类	361
第二节 水下焊接设备和材料	364
一、水下干法焊接设备	364
二、水下湿法焊接设备	364
三、水下焊接材料	364
第三节 水下焊接工艺	364
一、焊前准备	364
二、水下湿法焊接工艺要点	364
三、水下高压干法焊接工艺要点	365
四、水下焊接焊接参数的选择	367
第四节 特殊条件下的焊接	369
一、寒冷环境的焊接	369
二、核辐射条件下的焊接	370
三、输油管线的在线焊接	373

第一章 概 述

焊接技术是指通过适当的手段,使两个分离的物体(同种材料或异种材料)产生原子或分子间结合,而连接成一体的连接方法。特种焊接是指除了焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护焊、气焊等常规焊接方法之外的一些先进的焊接方法,如激光焊、电子束焊、等离子弧焊、扩散焊等,用于一些特殊材料及结构的焊接。特种焊接在航空航天、电子、计算机、核动力等高新技术领域中得到广泛应用,并日益受到人们的关注。

第一节 焊接方法的分类和焊接能源

一、焊接方法的分类

科学技术的发展和焊接技术的不断进步,使新的焊接方法不断产生。具国内外文献使用最多的焊接分类法划分,焊接方法可分为熔化焊、压焊和钎焊三大类,再根据不同的加热方式、工艺特点,将每一大类焊接方法再细分为若干小类。焊接方法的分类见表 1-1。

表 1-1 焊接方法的分类

第一层次 (根据母材是否熔化)	第二层次	第三层次	第四层次	是否易于实现自动化
熔化焊:利用一定的热源,使构件的被连接部位局部熔化成液体,然后再冷却结晶成一体的方法称为熔化焊	电弧焊	熔化极电弧焊	手工电弧焊	△
			埋弧焊	○
			熔化极氩弧焊(MIG)	○
			CO ₂ 气体保护焊	○
			螺柱焊	△
		非熔化极电弧焊	钨极氩弧焊(TIG)	○
			等离子弧焊	○
			氢原子焊	△
	气焊	氧-氢火焰		△
		氧-乙炔火焰		△
		空气-乙炔火焰		△
		氧-丙烷火焰		△
		空气-丙烷火焰		△
	铝热剂焊			△
	电渣焊	丝极、板极		○
	电子束焊	高真空电子束焊		○
		低真空电子束焊		○

续表 1-1

第一层次 (根据母材是否熔化)	第二层次	第三层次	第四层次	是否易于实现自动化
熔化焊:利用一定的热源,使构件的被连接部位局部熔化成液体,然后再冷却结晶成一体的方法称为熔化焊	电子束焊	非真空电子束焊		○
	激光焊	YAG 激光焊		○
		CO ₂ 激光焊		○
	电阻焊	点焊、缝焊		○
压焊:利用摩擦、扩散和加压等物理作用,克服两个连接表面的不平度,除去氧化膜及其他污染物,使两个连接表面上的原子相互接近到晶格距离,从而在固态条件下实现连接的方法	电阻对焊			○
	冷压焊			△
	热压焊			○
	扩散焊			○
	摩擦焊			○
	超声波焊			○
	爆炸焊			△
钎焊:采用熔点比母材低的材料作为钎料,将工件和钎料加热至高于钎料熔点、但低于母材熔点的温度,利用毛细作用使液态钎料充满接头间隙,熔化的钎料润湿母材表面,冷却后结晶形成冶金结合	火焰钎焊			△
	感应钎焊			△
	炉中钎焊	空气炉钎焊		△
		气体保护炉钎焊		△
		真空炉钎焊		△
	盐浴钎焊			△
	超声波钎焊			△
	电阻钎焊			△
	摩擦钎焊			△
	放热反应钎焊			△
	红外线钎焊			△
	电子束钎焊			△

注:○易于实现自动化,△难以实现自动化。

二、焊接能源

焊接过程需要能源,焊接工艺对能源的要求是能量密度大、加热速度快,以减小热影响区,避免接头过热。焊接用的能源主要有电能、机械能、化学能、光能和超声波能等。

1. 电能

(1)电弧 电弧是一种气体放电现象。电弧空间的气体介质在电场和电弧热作用下电离为带电粒子,传导焊接电流。当焊接电流流过电弧时,电弧两端产生电压降。电压降与电弧电流的乘积即为电弧的功率。电弧实际上是一种气体电阻,与金属电阻不同的是,电弧电阻呈非线性特征,不符合欧姆定律。电弧具有能量密度高、电压小、电流大的特点。

电弧是应用最广的一种焊接能源,主要用于电弧焊,还可用于钎焊(电弧钎焊)、堆