



典型工件加工系列丛书

典型工件焊接

DIANXING GONGJIAN HANJIE

李淑华 等著

汇集焊接经验、技巧、实例

展现新技术、新材料、新工艺



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

典型工件加工系列丛书

典型工件焊接

李淑华 等著



机械工业出版社

本书针对近几年来工程中经常遇见的一些典型难焊接材料与难焊接结构工件,介绍了焊接方法、焊接工艺、焊接中应注意的问题以及焊后处理措施等。主要内容包括板材的焊接、梁的焊接、柱的焊接、钢架的焊接、管道的焊接、低温合金的焊接、铸钢的焊接、铸铁的焊接、铅的焊接、镁合金的焊接、钛及钛合金的焊接以及其他高熔点金属的焊接。

本书适合于从事焊接工作的一线操作人员阅读,也可供机械加工工艺技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

典型工件焊接/李淑华等著. —北京:机械工业出版社, 2011.7

(典型工件加工系列丛书)

ISBN 978-7-111-35389-8

I. ①典… II. ①李… III. ①焊接 IV. ①TG4

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第145652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:王英杰 侯宪国 责任编辑:侯宪国

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:鞠杨 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012年1月第1版第1次印刷

140mm×203mm·8.5印张·225千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-35389-8

定价:25.00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

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

我国是一个焊接大国，我国的焊接工作量已达到世界焊接强国的水平，且随着航空、航天、机械、电子、纺织、汽车等行业的发展，焊接的自动化程度得到迅速提高，大部分金属材料、部分复合材料和陶瓷材料业已实现了可靠连（焊）接。但由于发展的不平衡和部分地区技术人才的限制，部分技术人员和焊接操作人员仍对目前广泛涉及的焊接中的一些特殊位置、典型构件或难焊接材料的焊接不知如何入手。

为指导生产一线的操作人员更好地完成焊接工作，也为工程技术人员制定焊接工艺提供参考，针对困扰技术人员和操作者在工程与生产中经常遇见的难焊接材料与典型构件，我们特编写了本书，旨在为广大焊接工作者提供更好的指导与帮助，使焊接技术人员与焊接操作者能方便地解决一些难焊接材料与典型工件的焊接问题，更好地完成焊接生产任务。

本书在写作过程中融入了作者多次参加压力容器（锅炉、高温高压管道）和大型钢结构焊接及多年焊接教学和焊接培训工作的经验体会，亦学习了现有同类书籍的长处，并结合了目前新材料、新技术和新工艺的应用特点。

为帮助读者迅速掌握这些典型难焊接工件和难焊接材料的焊接，针对所涉及的大部分问题，本书也简单地介绍了与之相关的基础知识和焊接中应该注意的问题。

全书由李淑华统稿，参加写作的人员有李淑华（第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第六章、第七章、第八章）、沈大为（第九章）、祖媛媛（第十章、第十一章、第十二章）。其中，解放军军械工程学院张龙教授和哈尔滨工业大学牛济泰教授对本书的写作也给予了指导与帮助，在此谨致以诚挚

的谢意。

限于作者的水平 and 经验，加之时间仓促，书中错误和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 板材的焊接	1
一、极薄钢板的焊接	1
(一) 极薄钢板焊接中存在的问题	1
1. 烧穿	1
2. 焊接变形	2
3. 防止烧穿和控制焊接变形的办法	2
(二) 极薄钢板的焊接	3
1. 极薄钢板的焊条电弧焊	4
2. 极薄钢板的二氧化碳气体保护焊	8
3. 极薄钢板的钨极氩弧焊	13
4. 脉冲 TIG 焊焊接极薄钢板	15
5. 极薄钢板的高能量密度焊	15
6. 极薄钢板的搅拌摩擦焊	16
二、特厚钢板的焊接	17
(一) 特厚钢板焊接中存在的问题	17
1. 热影响区组织性能不均匀	17
2. 产生残余应力与焊接变形	18
3. 层状撕裂	19
(二) 特厚钢板的焊接	21
1. 特厚钢板的焊条电弧焊	22
2. 特厚钢板的混合气体保护焊	23
3. 特厚钢板的 CO ₂ 气体保护焊	24
4. 特厚钢板的氩弧焊	28
5. 特厚钢板的埋弧焊	31
6. 特厚钢板的窄间隙焊	33
三、复合钢板的焊接	34

(一) 不锈钢复合钢板的焊接	35
1. 不锈钢复合钢板焊接方法的选择	35
2. 不锈钢复合钢板每侧焊接材料的选择与焊法	35
3. 碳素钢侧用碳素钢焊条焊接	36
4. 复合钢板的角焊	36
5. 不锈钢复合钢板的应用与焊接工艺	37
(二) 钛复合钢板的焊接	39
1. 钛复合钢板的焊接性	39
2. 接头形式与钛复合钢板焊接	39
3. 钛复合钢板焊接时的注意事项	41
(三) 镍基合金薄板贴衬的焊接	41
1. 焊接性分析	41
2. 焊接方法的选择	42
3. 焊接材料及焊接工艺的选择	42
4. 接头质量控制与焊接注意事项	43
四、镀锌钢板的焊接	45
(一) 镀锌钢板的电阻焊	45
1. 焊接性分析	45
2. 焊接参数	46
3. 电极与头部形状	47
(二) 镀锌钢板的钎焊	47
1. 焊接性分析	47
2. 钎焊镀锌钢板的优点	48
(三) 利用脉冲电弧和保护气体焊接镀锌钢板	48
1. 熔滴过渡形式	48
2. 焊枪倾角	48
3. 送丝机构的注意事项	49
4. 焊丝的伸出长度	49
五、狭窄位置焊缝的焊接	49
(一) 躺放式焊接法的焊条电弧焊	50
1. 赤崎式焊接法	50
2. Z 字移动焊接法	50
3. 躺放式焊接法的适用范围	51

4. 躺放式焊接法焊条直径的选择	51
(二) 狭窄位置的熔嘴电渣焊	52
1. 电渣焊过程	52
2. 电渣焊特点	53
第二章 梁的焊接	54
一、通用梁的截面形式	54
1. 工字梁 (H 形梁)	54
2. T 形梁	54
3. 箱形梁	54
二、梁焊接过程中容易出现的问题及产生的原因	55
1. 梁焊接过程中容易出现的问题	55
2. 梁焊接变形产生的原因	55
3. 预防焊接变形的措施	56
三、梁变形后的矫正方法	59
1. 机械矫正法	59
2. 火焰矫正法	59
四、变形梁矫正的实例	61
1. 板梁常见的盖板内弯曲的矫正	61
2. 板梁的旁弯矫正	61
3. 板梁倾斜的矫正	63
4. 板梁立向弯曲的矫正	64
5. 板梁局部变形的矫正	65
6. 板梁的扭曲变形及矫正	65
7. 刺梁变形的矫正	66
8. 偏刺梁的变形与矫正	66
第三章 柱的焊接	68
一、十字型钢柱的焊接	69
二、双工字钢拼焊柱的焊接	70
三、柱类工件变形的矫正	70
1. 花格式立柱变形的矫正	70
2. 双拼立柱变形的矫正	71
3. 小型箱形立柱的变形与矫正	72
第四章 钢架的焊接	73

一、钢架焊接的要求	73
二、钢架变形的矫正	74
1. 简单框架钢结构变形的矫正	74
2. 楼梯结构钢架变形的矫正	75
3. 低刚度护板结构变形的矫正	76
4. 宽护板变形的矫正	78
5. 不对称护板变形的矫正	78
6. 护板扭曲变形的矫正	79
第五章 管道的焊接	83
一、管道的焊条电弧焊	83
1. 管道的转动焊接	83
2. 管道的固定焊接	85
3. 热交换器的焊接	93
4. 轧制管道的焊接	95
二、管道的气焊	95
1. 对接	96
2. 直角焊接	96
3. 支管与直管的焊接	96
4. 斜柱的焊接	96
5. 十字管接头焊接	97
6. 小直径管的焊接	97
7. 锅炉管的补焊	98
三、管道的钨极氩弧焊	99
1. 焊接电源及其接线方法	100
2. 焊接参数的选择	100
3. 操作技术要点	101
4. 钨极氩弧焊的现场焊接技术	102
四、复合管的焊接	104
1. 焊接性分析	104
2. 焊接材料的选择	105
3. 坡口准备	105
4. 焊接方法	105
5. 复合管的现场焊接	106

五、带压管道的焊接堵漏	107
1. 带压焊接堵漏的难点及焊接性分析	107
2. 带压焊接堵漏的操作方法	108
3. 不同位置的带压焊接堵漏	110
4. 带压补焊减小压力的三种方法	112
5. 带压补焊的注意事项	112
第六章 低温合金的焊接	114
一、低温合金的焊接性能	114
1. 焊接裂纹	115
2. 磁偏吹	115
3. 焊接接头的低温韧性	115
二、焊接材料选择	116
三、9% Ni 钢的焊接要点	117
1. 9% Ni 钢的焊接工艺措施	117
2. 9% Ni 钢的焊接方法	117
3. 焊接 9% Ni 钢的热输入控制	118
第七章 铸钢的焊接	119
一、碳素铸钢及低合金铸钢的焊接	119
1. 铸钢的特性	119
2. 铸钢的焊接性	120
3. 铸钢件的组装焊接	122
4. 焊接前的准备	123
5. 焊接方法的选择	125
6. 铸钢焊接的实施	128
7. 铸钢件焊接变形的控制	130
8. 铸钢件的焊后热处理	131
9. 铸钢件铸造缺陷的修补	131
二、高合金铸钢的焊接	138
1. 不锈钢铸件的焊接	138
2. 耐热钢铸件的焊接	142
3. 高锰钢铸件的焊接	142
第八章 铸铁的焊接	144
一、铸铁的种类与性质	144

1. 白口铸铁	144
2. 灰铸铁	144
3. 可锻铸铁	144
4. 球墨铸铁	145
5. 合金铸铁	145
二、铸铁的焊接特点	145
1. 焊接接头处易产生白口和脆硬组织	146
2. 焊接接头容易产生裂纹	146
3. 焊缝易产生气孔	146
4. 焊缝易产生粗大组织	146
三、铸铁的焊接方法	146
1. 铸铁的焊条电弧焊	146
2. 铸铁的气焊	155
3. 铸铁的钎焊	158
4. 铸铁的 CO ₂ 气体保护焊	159
四、铸铁焊接中容易出现的问题及防止方法	159
1. 裂纹	160
2. 白口	161
3. 气孔	163
4. 焊接应力与变形	163
五、典型焊接方法与典型铸铁的补焊	165
1. 采用“加热减应区”法补焊铸件	166
2. 典型铸铁材料件的补焊	169
第九章 铅的焊接	200
一、铅焊工作室与各种铅焊工具	200
1. 铅焊工作室	200
2. 铅焊所用设备与工具	200
二、铅焊热源的选择	201
1. 温度适宜	201
2. 热量要集中	201
3. 应使用还原性的火焰	201
4. 保持熔池稳定	201
三、铅的焊接性分析	203

1. 铅的熔点低	203
2. 铅的流动性好	203
3. 铅的密度大	203
4. 铅在空气中能生成氧化膜	203
5. 铅的热胀系数大	204
四、铅焊前的准备	204
1. 焊缝方面的准备工作	204
2. 对焊条的要求及选用	205
五、铅焊接的种类	206
1. 铅板的焊接	206
2. 铅管的焊接	216
3. 其他铅管件的焊接	222
第十章 镁合金的焊接	227
一、镁合金及其性能特点	227
1. 密度低	227
2. 比强度高	227
3. 阻尼性好	227
4. 导热性好	227
5. 电磁屏蔽性好	228
6. 加工性优异	228
二、镁合金的焊接性分析	228
1. 粗晶	228
2. 氧化和蒸发	228
3. 热应力	228
4. 焊缝下塌	228
5. 气孔	228
6. 热裂纹	228
三、镁合金的焊接方法	229
1. 氩弧焊	229
2. 电子束焊接	232
3. 搅拌摩擦焊	233
4. 超声波焊接	234
5. 激光焊接	235

6. 点焊	235
7. 钎焊	236
第十一章 钛及钛合金的焊接	239
一、钛及钛合金的结构与牌号	239
二、钛及钛合金的特点及可焊性	239
1. 接头脆化倾向	239
2. 合金元素及焊接热输入变化对焊接接头性能的影响	242
3. 焊接接头裂纹	245
4. 焊缝气孔	246
三、钛及钛合金的焊接方法与焊接工艺	247
1. 氩弧焊	247
2. 等离子弧焊	249
3. 真空电子束焊	249
4. 埋弧焊	250
第十二章 其他高熔点金属的焊接	251
一、钨的焊接	251
二、钼的焊接	252
1. 钼的焊接性分析	252
2. 焊接方法	252
3. 焊前准备	253
4. 焊接工艺	253
三、铌的焊接	253
参考文献	255

第一章 板材的焊接

在焊接结构中，板材组成的结构占整个焊接结构的 60% 以上，尤其是随着科技进步，随着造船、车辆、石油、化工以及焊接在军事设施上的应用，薄板、厚板以及复合钢板的应用比例不断增加。然而，薄板、厚板及复合钢板在焊接中会产生一系列难题，本章主要针对板材焊接中的难点问题介绍其焊接方法和焊接工艺措施。

一、极薄钢板的焊接

极薄钢板一般是指板厚在 1.6mm 以下的钢板。这类钢板的应用随着航空航天、微电子工业、铁道车辆、汽车、家庭电气制品及建筑轻型构件的发展越来越多。因此，极薄板焊接中存在的问题及解决方法引起人们极大的关注。

（一）极薄钢板焊接中存在的问题

大量的生产实践证明，薄板电弧焊时的主要问题有两个：一是烧穿；二是焊接变形。

1. 烧穿

烧穿是薄板电弧焊时的主要问题之一，其产生与熔池受力密切相关。根据平焊时熔池烧穿前瞬间的受力情况，熔池主要承受以下几种力（见图 1-1）。

（1）熔融金属的重力 熔融金属的重力决定于熔池金属的多少和熔融金属高温支持强度的高低。

（2）电弧吹力 电弧吹力主要由焊接电流大小决定，也受焊接电弧的高低影响。

（3）熔池金属表面张力 熔池

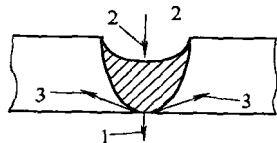


图 1-1 熔化焊平焊时熔池金属的受力状况

1—熔融金属的重力 2—电弧吹力

3—熔池金属表面张力

金属表面张力除与金属种类有关外，还与熔池表面状态有关。例如，氩弧焊薄板时，熔池金属受到气体的保护，不易氧化，再加上保护气流的冷却作用降低了熔池表面温度，都将使熔池金属的表面张力提高。

(4) 固液体金属的附着力和液体金属的内聚力 固液体金属的附着力和液体金属的内聚力都是保持熔池的内力，但它们相对较小，对烧穿的影响可忽略不计。

由此可见，重力和电弧吹力是促使熔池下塌或使之烧穿的力，而表面张力则是阻止熔池下塌或烧穿的力。如果熔融金属的重力、电弧吹力、熔池金属表面张力三者的合力大于熔池金属的强度，液体金属就会被拉断而出现烧穿。为了使薄件焊缝不致烧穿，应提高熔池的表面张力，降低其他力的作用，即减少由于热量积累而造成熔池金属量的增大，尽量减小焊接电流和热输入。

2. 焊接变形

薄板焊接的另一主要问题是焊接变形。焊接过程是一个局部加热和冷却的过程，在焊接热作用下，材料受到不均匀的加热和冷却，会产生不均匀的应力状态，造成不同程度的应力及变形。而薄板由于其自身拘束度小，焊接时变形较大，其中以波浪变形最为严重，且很难矫正。特别是对铝、镁、不锈钢等一些热胀系数较大的材料，变形尤为严重。

3. 防止烧穿和控制焊接变形的的方法

防止过烧氧化、烧穿，并获得美观的焊缝是焊接薄板结构首先要解决的问题。解决薄板焊件烧穿与变形的技术措施如下：

1) 严格控制焊接热输入与焊接参数。为了有效地控制热输入，首先要正确选择焊接方法。各种焊接方法对焊缝及热影响区的金相组织及力学性能影响程度不同，因此，也会不同程度地影响产品的使用性能。例如，焊条电弧焊焊接的工件厚度一般在 1.5mm 以上，厚度在 1.0mm 以下的薄板，不宜采用焊条电弧焊。能较好控制热输入的焊接方法主要有电子束焊、激光焊、

等离子弧焊、微束等离子弧焊和 TIG 焊等。其次要正确选择焊接电流并保持其相对稳定性,合适的焊接电流可以减少和控制焊接时的热输入量。热输入小,氧化、烧穿及焊接应力与变形就小。

2) 保证电弧稳定燃烧。焊接时要采取各种措施防止电弧飘移,要根据熔池形成情况,控制电弧的高低及电弧燃烧的稳定性。

3) 采用刚性固定措施防变形。工装夹具必须在焊缝两侧均匀夹紧,同时也要保证板边公差、间隙等限制在允许的范围内。

上述措施的核心是热输入的控制问题,即若要减小并避免焊件的变形、过热及烧穿,最应注意的是严格控制焊接热输入,在完成焊缝焊接的前提下,尽量减少焊缝的热输入,从而减小焊接热影响区,减小焊接变形及其对接头性能造成不良的影响。另外,材料焊接性的许多方面也要求控制焊接热输入,如某些奥氏体不锈钢焊接时,焊缝有热裂倾向,近缝区有产生液化裂纹的倾向,解决这些问题都需要采用小的焊接热输入。

(二) 极薄钢板的焊接

使用极薄钢板焊接的对象主要是家庭电气制品、农机具、铁道车辆、汽车、建筑等轻型构件。此外,食品容器、微型机械、造纸机械、航空机械以及不锈钢、铝、钛等特殊材料的焊接,也多是使用薄板,所以说薄板的用途是相当广泛的。

一般情况下,薄板轻型构件多是体积小、批量生产、焊缝短、形状复杂、焊接自动化程度有限。而且大多数构件都是采用焊条电弧焊焊接。

近些年来,由于对产品的质量、性能要求的不断提高,尤其是为满足航空、航天产品的需要,为确保产品的高质量、高性能,电子束焊接、激光焊接、钨极氩弧焊、二氧化碳气体保护焊等焊接方法开始应用到极薄钢板的焊接上。例如,焊接碳钢时,由于焊缝较长,所以适于采用自动二氧化碳电弧焊;而不锈钢焊缝多是采用熔化极氩弧焊(MIG);极薄管壁的对焊则

采用钨极氩弧焊 (TIG) 等焊接方法。

极薄钢板的焊接与中、厚钢板的焊接不一样, 它的散热方式属于二维散热, 热容量非常小, 因此在焊接时常常出现熔穿和变形。对于构件的形状复杂, 对产品外观要求又很严格的构件, 焊接难度就更大。因此, 在极薄钢板施焊时应注意以下问题:

- 1) 为了防止熔穿和变形, 熔焊深度要浅。
- 2) 施焊方法要适合复杂的焊缝及焊接位置。
- 3) 焊缝成形要美观。
- 4) 焊接接头力学性能应优良, 密封性应良好。
- 5) 施焊效率要高。

为满足上述性能要求, 不同材料、不同构件、不同复杂程度的结构只用一种焊接方法是很难实现的。因此, 焊前要根据焊件的材质、接头形状、板厚、使用目的等采用适当的焊接方法。

1. 极薄钢板的焊条电弧焊

(1) 焊条电弧焊接薄板的一般特性 采用焊条电弧焊接薄板的应用十分广泛, 特别是对于极薄钢板的焊接时, 使用操作性能好的焊条, 有电弧稳定、熔焊深度浅、焊缝成形美观等优点, 因此它特别适合于极薄钢板的焊接。在选择焊接极薄钢板的焊条时, 一定要从板厚、接头形状、使用目的等方面来考虑。极薄钢板焊接时, 一般是使用钛铁矿型焊条、钛钙型焊条、氧化钛型焊条。在薄钢板结构中, 即使是最薄钢板组成的结构, 也可采用焊条电弧焊焊接。对于板厚为 $0.8 \sim 1.2\text{mm}$ 的钢板的焊接, 可采用氧化钛型焊条; 对于板厚为 $1.2 \sim 1.6\text{mm}$ 的构件可采用钛钙型焊条。

对不同的接头形状, 也应使用不同的焊条。如对接焊、角焊容易出现熔穿, 这时最好是选用氧化钛型焊条; T形焊、搭接填角焊等需用大焊接电流时, 最好选用钛钙型焊条或钛铁矿型焊条。