

HANJIE YU QIEGE
CAOZUO JISHU

焊接与切割 操作技术

第二版

李亚江 王娟 刘冬梅 等编著



化学工业出版社

HANJIE YU QIEGE
CAOZUO JISHU

焊接与切割 操作技术

第 3 版

李亚江 王 肩 荆冬梅 等编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

定价：35.00元

元 00.00 个 宝

图书在版编目 (CIP) 数据

焊接与切割操作技术/李亚江, 王娟, 刘冬梅等编
著. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2009. 4

ISBN 978-7-122-04774-8

I. 焊… II. ①李…②王…③刘… III. ①焊接-技术
②切割-技术 IV. TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 016969 号

责任编辑: 周 红

文字编辑: 陈 喆

责任校对: 王素芹

装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市延风装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张 13½ 字数 361 千字 2009 年 4 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

前 言

焊接技术广泛用于机械制造、石油化工、电力、造船、建筑、桥梁、锅炉及压力容器制造等各工业领域。并且随着科学技术的发展,焊接的应用范围不断扩大。近年来“焊接操作技术”在焊接生产中的重要性越来越突出,对操作者的技术要求也越来越严格。很多焊接新产品的开发和生产都离不开技术熟练的操作者,特别是锅炉压力容器、管道及化工容器等,对焊接操作者的技能要求更高(需持证上岗),焊接质量直接涉及社会、企业生产和人员的安全。

操作技能在焊接生产中是一个很重要的方面,不掌握各种焊接操作技能,许多重要的焊接工作是无法完成的。目前实用的焊接与切割操作技能方面的技术书籍不多,而近年来的市场经济发展迫切需求阐述简明、深入浅出、可操作性强的焊接与切割操作方面的技术书籍。《焊接与切割操作技能》2005年出版后得到社会和众多读者的欢迎。本书面向的是焊接操作人员,对焊接与切割操作技术要点作了简明的阐述,突出实用性等特色。本书的特点是未涉及系统的理论阐述,注重实践、工艺和操作技术的讲解,有助于帮助读者,特别是操作者和工程技术人员,提高焊接与切割技能,掌握焊接与切割操作技术的方法和一些特殊的技巧。

本书是《焊接与切割操作技能》的修订版,第二版改名为《焊接与切割操作技术》,除了保持原书的实用性特色外,更加注重实

践和技术要点的阐述，更新和补充了新的操作应用实例和焊接生产中成功的经验，更适于实际应用。本书适用面广泛，主要供从事与焊接技术相关的焊接操作人员和工程技术人员、培训人员、管理和质量检验人员使用，特别是中、高级技术工人，也可供高等院校、技工学校和科研单位的有关教学和科研人员参考。

参加本书撰写的还有济南锅炉集团焊接培训中心高长田高级技师、朱明兴技师、济南锅炉压力容器检验所刘强高级工程师，以及马海军、沈孝芹、张永喜、夏春智、黄万群、蒋庆磊、杜红燕、赵康培、张永兰等。

书中内容难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

第1章 概述	1
1.1 焊接方法及适用性	1
1.1.1 焊接过程的基本特点	1
1.1.2 焊接结构生产的一般步骤	3
1.1.3 常用的焊接方法	7
1.2 焊接材料及选用	10
1.2.1 焊条的特点及选用	10
1.2.2 焊丝的特点及选用	16
1.2.3 焊剂的特性与选用	19
第2章 焊条电弧焊操作技术	25
2.1 焊条电弧焊的特点及分类	25
2.1.1 焊条电弧焊的特点	25
2.1.2 焊条电弧焊的分类	29
2.2 焊条电弧焊设备与辅助工具	30
2.2.1 对焊条电弧焊电源的要求	30
2.2.2 焊条电弧焊机的型号及技术特征	33
2.2.3 常用的焊条电弧焊机及辅助工具	36
2.2.4 焊条电弧焊机的选用与维护	43
2.3 焊条电弧焊工艺	46
2.3.1 坡口形式与焊接位置	47
2.3.2 焊接工艺参数	49
2.3.3 焊接的基本步骤	55
2.4 焊条电弧焊操作技术要点	56

2.4.1	焊条电弧焊的基本操作	56
2.4.2	各种焊接位置的操作技术	63
2.4.3	焊条电弧焊操作实例	75
第3章	气焊与气割操作技术	78
3.1	气焊与气割的特点及装置	78
3.1.1	气焊的火焰性质及特点	78
3.1.2	气割的原理及特点	81
3.1.3	气焊(气割)装置的组成	84
3.1.4	气焊焊丝与熔剂	98
3.2	气焊操作技术要点	101
3.2.1	气焊基本操作	101
3.2.2	不同位置接头的气焊操作	107
3.2.3	管子、管-板气焊的操作要点	112
3.3	气割操作技术要点	119
3.3.1	气割的工艺参数及影响因素	119
3.3.2	气割操作的工艺要点	122
3.3.3	气割缺陷及防止措施	126
3.4	碳弧气刨及操作	128
3.4.1	碳弧气刨的特点及适用范围	128
3.4.2	碳弧气刨装置及操作要点	130
3.4.3	碳弧气刨的应用	138
3.5	气焊与气割操作的实例	142
3.5.1	铝制储罐的气焊	142
3.5.2	铸铁齿轮的气焊焊补	144
3.5.3	异径三通钢管的气焊	144
3.5.4	焊接坡口的气割	146
3.5.5	钢板的气割	149
3.5.6	圆钢和钢管的气割	156
3.5.7	拐角和圆弧的气割	159

第4章 CO₂ 气体保护焊操作技术	162
4.1 CO ₂ 气体保护焊的分类及特点	162
4.1.1 CO ₂ 气体保护焊的分类	162
4.1.2 CO ₂ 气体保护焊的优缺点及熔滴过渡	164
4.1.3 CO ₂ 气体保护焊的冶金特点	166
4.2 CO ₂ 气体保护焊设备及附件	171
4.2.1 CO ₂ 气体保护焊设备组成	171
4.2.2 焊接电源和控制系统	173
4.2.3 送丝机构、焊枪及气路	175
4.3 CO ₂ 气体保护焊工艺	181
4.3.1 焊前准备及坡口设计	181
4.3.2 CO ₂ 气体保护焊的工艺参数	183
4.3.3 CO ₂ 气体保护焊操作要点	191
4.3.4 CO ₂ 气体保护焊的应用	206
4.4 药芯焊丝 CO ₂ 气体保护焊	212
4.4.1 药芯焊丝 CO ₂ 焊的特点	212
4.4.2 药芯焊丝 CO ₂ 焊机和工艺参数	216
4.4.3 药芯焊丝 CO ₂ 焊的应用	222
第5章 惰性气体保护焊工艺与操作	224
5.1 惰性气体保护焊分类及特点	224
5.1.1 惰性气体保护焊分类	224
5.1.2 惰性气体保护焊的工艺特点	226
5.1.3 惰性气体保护焊的适用范围	229
5.2 钨极氩弧焊工艺及操作	231
5.2.1 钨极氩弧焊电源特点	231
5.2.2 电极和保护气体	238
5.2.3 TIG 焊接过程的一般程序	242
5.2.4 TIG 焊工艺参数及选用	245
5.2.5 钨极氩弧焊操作技术	248
5.3 熔化极氩弧焊工艺及操作	261

5.3.1	熔化极氩弧焊的熔滴过渡特点	261
5.3.2	熔化极氩弧焊设备及材料	263
5.3.3	熔化极氩弧焊的工艺参数	270
5.3.4	熔化极氩弧焊操作实例	277
第6章 等离子弧焊接与切割		283
6.1	等离子弧焊的特点及分类	283
6.1.1	等离子弧焊的特点	283
6.1.2	等离子弧及焊接分类	287
6.1.3	等离子弧焊的适用范围	291
6.2	等离子弧焊接设备及工艺	292
6.2.1	等离子弧焊设备的组成	292
6.2.2	等离子弧焊工艺及参数	298
6.2.3	微束等离子弧焊工艺	304
6.2.4	等离子弧焊接的应用	309
6.3	等离子弧切割操作技术	315
6.3.1	等离子弧切割的特点	315
6.3.2	等离子弧切割方法分类	318
6.3.3	等离子弧切割设备的组成	321
6.3.4	等离子弧切割操作要点	327
第7章 堆焊操作技术		336
7.1	堆焊的工艺特点及堆焊合金	336
7.1.1	堆焊方法及工艺特点	336
7.1.2	堆焊材料的选用	339
7.1.3	堆焊技术的应用范围	347
7.2	堆焊技术的操作要点	349
7.2.1	焊条电弧堆焊	349
7.2.2	氧-乙炔火焰堆焊	356
7.2.3	气体保护堆焊	358
7.2.4	等离子弧堆焊	361
7.2.5	堆焊操作实例	364

第 8 章 焊接缺陷及检验	374
8.1 常见焊接缺陷及防止措施	374
8.1.1 外部缺陷和内部缺陷	374
8.1.2 常见焊接缺陷的特征	375
8.1.3 不同焊接操作中缺陷的产生及防止	379
8.2 焊接接头的检验	383
8.2.1 焊接接头的外观检验	383
8.2.2 焊接接头的无损检验	384
8.2.3 焊接接头的力学性能检验	386
8.2.4 焊缝的致密性检验	390
第 9 章 焊接安全与防护	392
9.1 焊接安全用电	392
9.1.1 焊接安全电压	392
9.1.2 触电的原因及防护措施	393
9.2 焊接操作安全	396
9.2.1 熔焊的操作安全	396
9.2.2 气焊和气割的操作安全	406
9.3 焊接防护措施	410
9.3.1 焊接防护的工艺措施	410
9.3.2 个人防护措施	411
参考文献	413

第1章 概 述

焊接是一种应用广泛的永久性连接的方法，广泛用于机械制造、造船、建筑、石油化工、电力、桥梁、锅炉及压力容器制造等各工业领域。在生产中有时以焊接取代铆、锻、铸等加工方法，制造比较复杂的金属结构，不但可以节省工时，提高产品质量，还可以大量地节约材料。随着科学技术的发展，焊接工艺的应用范围不断扩大，受到各行各业的极大关注，对国民经济建设有重要的影响。

1.1 焊接方法及适用性

传统的金属连接主要采用铆接工艺。自 19 世纪以来，由于焊接技术的成功应用及迅速发展，逐步取代了铆接。焊接技术具有节省金属材料、减轻结构重量、简化加工与装配工序、接头密封性好、能承受较大载荷、容易实现自动化和生产效率高等一系列特点，在工业生产中占有重要的地位。

1.1.1 焊接过程的基本特点

焊接是通过加热或加压（或者两者并用），采用或不用填充材料，使焊接接头处达到原子结合的一种加工方法。为了达到焊接的目的，大多数焊接方法都需要借助加热或加压，或同时实施加热和加压，以实现原子结合。

对实现焊接过程的能源要求是：能量密度大、加热速度快，以减小热影响区，避免接头过热。具有工程意义的焊接用的能源主要

有电弧、火焰、电阻热、化学能等。常用焊接热源的主要特性见表 1.1。将工件加热至熔化状态（一般不加压）以实现焊接的方法，通称为熔焊；凡必须施加压力（加热或不加热）以实现焊接的方法，通称压焊。

表 1.1 常用焊接热源的主要特性

焊接热源	最小加热面积/cm ²	最大功率密度/W·cm ⁻²	正常温度/K
氧-乙炔火焰	10 ⁻²	2×10 ³	3470
电弧焊电弧	10 ⁻³	10 ⁴	6000
钨极氩弧(TIG)	10 ⁻³	1.5×10 ⁴	8000
埋弧自动焊电弧	10 ⁻³	2×10 ⁴	6400
电渣焊热源	10 ⁻³	10 ⁴	2273
熔化极氩弧(MIG)	10 ⁻⁴	10 ⁴ ~10 ⁵	—
CO ₂ 焊电弧	10 ⁻⁴	10 ⁴ ~10 ⁵	—
等离子弧	10 ⁻⁵	1.5×10 ⁵	18000~24000

焊接中最常用的热源是焊接电弧，它是由焊接电源提供的，在具有一定电压的两电极间或电极与母材金属之间，气体介质中产生的强烈而持久的放电现象。采用电弧焊接时，母材金属为电弧的一端，电极为另一端，多数情况下电极的一端被电弧熔化，形成液态金属熔滴过渡到熔池中。用电弧作为热源时，局部熔化了了的母材金属和焊接材料熔化形成的填充金属需进行必要的保护。保护方式的不同构成了不同的熔焊方法。有时电极也可以不熔化，如采用钨极。

用于熔化被焊金属和焊接材料的热源有很多种，有的用纯氧作氧化剂燃烧气体产生的热量作为焊接热源，如气焊。有的是利用高密度电流通过金属产生的电阻热作为热源，如电阻焊；有的是利用两个工件互相摩擦产生的热量作为热源，如摩擦焊；有的是利用聚焦成密度很高、很细并加速到高速的光束或电子束的动能转化成热能作为热源，如激光焊、电子束焊。

随着科学技术的发展，焊接结构越来越复杂，焊接工作量越来越

越大,对焊接技术和焊接生产效率的要求越来越高。例如,制造一辆小轿车要焊接 5000~12000 个焊点;30 万吨油轮要焊接 1000km 长的焊缝;一架飞机的焊点多达 20 万~30 万个。由此可见,没有现代化和高效率的焊接工艺,完成上述工作是难以设想的。

尽管大多数焊接方法的焊接质量均可满足实用要求,但不同方法的焊接质量,特别是焊缝的外观或内在质量有较大的差别。产品质量要求较高时,可选用氩弧焊、电子束焊、激光焊等。质量要求不高时,可选用焊条电弧焊、CO₂ 气体保护焊、气焊等。

可以说,没有任何一种焊接方法是完美无缺的,也没有一种方法能以最低成本,在各种位置焊接不同厚度的材料。焊接成本和焊件的质量与制造厂家的生产条件密切相关。最适合的焊接方法是制造厂家能针对具体产品用最低的成本和最高的效率生产出性能可以满足使用要求的焊件。

1.1.2 焊接结构生产的一般步骤

焊接结构的制造,除了焊接外,还需经过许多道工序,才能把各种类型的钢材制成符合设计要求的结构,达到使用性能的要求。尽管焊接结构形式各种各样,但生产工艺的一般步骤基本上是相似的。

焊接结构生产的工艺过程主要包括:备料(材料矫正、放样、下料、开坡口等)、装配、焊接、矫正变形及质量检验等工序。在焊接结构制造过程中,各工序之间有密切关系,切割、装配、焊接等工序对焊接质量影响很大。

(1) 备料、钢材矫正和划线

在焊接生产过程中,装配时所需零件的一切准备工作统称为备料。钢材在轧制及运输、堆放过程中,会出现表面凹凸不平或弯曲、扭曲等,特别是薄钢板及截面积小的型钢。这对要求平直的构件来说,会影响各道工序的正常进行。因此须矫平钢板和矫正型钢,这个工序称为钢材矫正。

生产中常用的矫正方法有手工矫正、多辊式矫直机矫正、压力

机矫正、火焰矫正等。手工矫正只需要少量简单工具,如铁锤、千斤顶等,一般在缺乏或不便使用矫正设备的情况下采用。多辊式矫直机可用于矫平钢板,不平整的板材通过矫正机上下辊之间的缝隙时发生反复弯曲和波浪形塑性变形,使缩短部分伸长,从而达到矫正的目的。

经过剪切或气割加工后发生变形的构件,也须进行矫正。较小的构件可放在预先矫平的厚钢板上,一起放入辊式矫直机将变形构件矫平。通常,钢板越弯曲,矫正时需要的轧辊数目越多。矫正中厚板的多辊式矫正机有5~9个工作辊,矫正薄钢板的有11~13个工作辊,也有专供矫正型钢用的多辊式矫正机。

缺少多辊式矫正机的情况下,可以用压力机矫正。火焰矫正是利用热胀冷缩的原理,用氧-乙炔火焰加热钢材弯曲的某一部分,使其局部受热后产生收缩变形来矫正原来的变形,可矫正型材、板材的变形。火焰矫正方法使用的工具简单,不像手工矫正那样耗费体力,但需要有丰富的经验。

对经过矫正的钢材,用钢丝刷、手动砂轮、喷砂或抛丸等方法,清除金属表面的污、锈和氧化物。大批量生产或大面积清理可采用喷砂、抛丸等方法。也可利用酸洗或其他化学方法去除金属表面的油污、锈蚀和氧化物。

对经过表面清理的钢板,在钢板毛坯或工件上用划线工具按图纸要求划出待加工部位的轮廓线或作出基准点和基准线。

(2) 切割下料

沿着划线把钢板切割成所需外形的构件,称为切割下料。切割下料可以采用冷加工工艺,如剪切、锯割等;也可以采用热加工工艺,如气割、等离子弧切割、空气碳弧切割等。

① 剪切 利用各种剪切设备完成剪切工作,例如压力剪切机、圆盘剪切机、型钢剪切机等,可按剪切要求选用。剪切机的工作部分是上下两片剪刀作相对运动,形成剪切过程。中薄板可以采用剪切下料。

② 气割 利用对钢板进行局部火焰预热,使其在高速氧流中

燃烧,然后吹去金属氧化物熔渣而将钢材切开。生产中应用较多的是氧-乙炔火焰气割。与剪切相比,气割的特点是可切割的板厚较大,而且不论形状如何复杂都能切割,但切割薄板及直线形构件的生产效率和经济性不如剪切。

③ 等离子弧切割 利用高温等离子弧进行切割的一种工艺方法,常用于一般气割方法不能切割的材料,如不锈钢、耐热钢、铸铁、有色金属等。

(3) 坡口加工和工件成形

焊接接头的坡口加工包括焊前坡口成形加工及焊缝根部的碳弧气刨清根等。

① 坡口加工 对焊件的坡口进行边缘加工,常采用气割、砂轮打磨以及刨削、铣削等机械加工方法。可利用改变割嘴的倾斜角度来气割加工焊接坡口,一般多采用半自动气割机。坡口机械加工多采用刨边机或铣边机,能加工复杂形状的坡口,获得较好的质量。圆形构件的端面加工可在立式车床或卧式车床上进行。

② 清理焊根 对接接头双面焊时,为了保证焊缝质量,特别是根部熔透,需对焊缝根部进行清理(俗称挑焊根),以清除焊缝根部的夹杂、裂纹等缺陷。清理焊根可以采用砂轮打磨的方法,但目前应用较多的是采用碳弧气刨挑焊根,特别是在返修有焊接缺陷的焊缝时,采用碳弧气刨容易发现和清除掉焊缝根部各种细小的缺陷。

③ 工件成形加工 对有不同角度或曲面要求的构件,选用折边、弯板、压制、线状加热等方法,使钢板产生塑性变形,制成所需的形状,这个工序称为成形加工。在常温下对切割后的构件进行成形加工,称为冷成形;如果构件变形度大或刚度大,需把钢材加热到 $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 才能进行加工,这称为热加工。常用的工件成形加工包括以下几种。

a. 折边 即把钢板折个角度,折边加工可在专用的折边机或液压机上进行。

b. 弯板 把钢板弯制成圆柱或圆锥形,通常是在三辊弯板机

上进行；通过调整辊轴的相对位置，能弯制不同曲率半径的圆形构件。

c. 压制 分为模压或不用模子的压弯，都是用水压机或液压机进行；模压法用于球面、椭圆球及其他复杂曲面的成形，适用于批量生产；压弯法用于型钢的弯曲成形。

d. 水火成形 用氧-乙炔火焰进行局部加热，并在周围用水加以冷却，利用不均匀加热产生变形的原理，使钢材形成所需的形状。

(4) 装配

装配任务是利用紧固装置或点固焊，将加工好的构件按图纸要求连接成部件或整体结构。对一般大型单件生产的结构，多采用划线定位，按图纸要求确定构件的相互位置，用直尺、卷尺、角尺、水平尺、线锤等作为测量工具，先实现暂时定位或专用夹具固定，再用焊条电弧焊点固。成批生产的结构，通常采用挡板、紧固螺钉或样板装配，如在专用胎架上装配。

装配工作一般在平台或胎架上进行。对装配工序的基本要求有以下方面。

- ① 不应使构件在安装定位后出现移动、倾斜和扭转等现象。
- ② 保证装配结构符合图纸要求，接缝满足焊接装配工艺的要求。

- ③ 对装配结构进行质量检验，满足技术要求。

(5) 焊接

中小型结构件装配后可直接进行焊接。大型结构件的焊接工作可在胎架上进行，能起到抑制焊接变形的作用。也利于工件翻转，保证焊接质量。大型焊接结构的装焊过程可分为以下三个阶段。

① 部件装焊 将切割或成形加工好的构件装配、焊接成部件。部件形状随结构类型不同而变化，尽管形式多样，但把它们分解开，基本上都是由钢板及型钢组合成的。

② 分段装焊 把部分部件组合装焊成“分段”。分段实际上也是部件，但它的尺寸与体积要大些，构造也较复杂。如机车转向架

构架,主要由端梁、侧梁、横梁等几个部件组焊而成。结构分段的划分要考虑施工的方便性与合理性,保证分段本身的结构强度,不能因自重而产生永久变形,还要有利于分段装配与吊运。小型结构可以不采用分段装焊,直接对部件进行总体装焊。

③ 总体装焊 将分段组合装焊成整体结构。分段经焊接及质量检验后,吊运至现场或在平台上进行总装。总装时必须确定合理的装配顺序、焊接工艺,以减小焊接变形,使整体结构与尺寸符合图纸设计要求。

(6) 检验

应严格遵照工艺规程生产,从备料、钢材矫正、切割下料、坡口加工,到装配、点固、焊接,在结构制造的每一个工序间都必须进行质量检验工作,检验合格才能进行下一道工序。

1.1.3 常用的焊接方法

根据母材是否熔化及所加压力,人们将焊接方法分为熔焊、压焊和钎焊三大类。

① 熔焊 利用一定的热源,使焊件接头加热至熔化状态(不施加压力),然后冷却结晶形成焊缝。当被焊金属加热至熔化状态形成液态熔池时,原子之间充分扩散和紧密接触,冷却凝固后形成牢固的焊接接头。常用的熔焊方法主要有焊条电弧焊、埋弧焊、电渣焊、气体保护焊、等离子弧焊等。

② 压焊 焊接过程中必须对焊件施加压力(加热或不加热),一是将被焊金属接触部分加热至塑性状态或局部熔化状态,然后加一定的压力,使金属原子间相互结合而形成牢固的焊接接头,如锻焊、电阻焊、扩散焊、摩擦焊等;二是不加热,仅在被焊金属的接触面上施加足够大的压力,引起塑性变形,使原子间相互摩擦直至获得牢固的接头,如冷压焊、爆炸焊等。

③ 钎焊 采用熔点比母材低的材料作钎料,将焊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,熔化钎料润湿母材表面,冷却后结晶在接头处