

国家骨干高职院校重点建设专业教材
安徽省高等学校“十二五”省级规划教材



高职机械类
精品教材

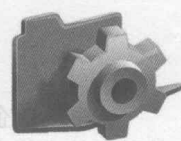
焊接结构的 装焊技术

主编 王小平 胥 锴

HANJIE JIEGOU DE
ZHUANGHAN JISHU

中国科学技术大学出版社

国家骨干高职院校重点建设专业教材
安徽省高等学校“十二五”省级规划教材
高职机械类精品教材



焊接结构的 装焊技术

HANJIE JIEGOU DE
ZHUANGHAN JISHU

主 审 杨海卉

主 编 王小平 胥 锴

编写人员 (以姓氏笔画为序)

王小平	王立跃	王恒伯
王德伟	杨化雨	李国强
张书权	张帅谋	沈 旭
胥 锴	顾 伟	韩丙寅
谭言松		

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书以校企合作制定的《焊接制造岗位职业标准》为依据,针对高职焊接专业培养学生焊接结构装焊技术能力的需要,通过校企合作、校校合作编写而成。

本书按照制造业焊接产品的实际生产过程,以典型的焊接结构为载体,以焊接结构生产工艺流程为主线进行编写。全书共分8个项目,包括焊接结构基础知识、备料、放样和号料、加工成型、连接、典型焊接结构化工设备的制作工艺与质量检验、大型储罐的现场装焊、典型焊接结构的制作实例。

本书在编写过程中广泛吸纳了国内企业焊接结构制造的成熟技术和生产实际经验,贴近生产、贴近工程实践。使学生学习后初步掌握现代化焊接结构生产工艺流程,明确工艺工作的内容及工艺人员的职责,熟悉焊接结构的装焊方法,为学生以后走上工作岗位打下良好的基础。

本书可作为高职高专院校焊接专业教材使用,也可作为企业有关焊接人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

焊接结构的装焊技术/王小平,胥锴主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2014.7
ISBN 978-7-312-03448-0

I. 焊… II. ①王…②胥… III. 焊接结构—焊接工艺 IV. TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 127454 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
网址:<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 合肥市宏基印刷有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 787 mm×1092 mm 1/16
印张 13.5
字数 345 千
版次 2014 年 7 月第 1 版
印次 2014 年 7 月第 1 次印刷
定价 28.00 元

前 言

本书为高职院校焊接技术与自动化专业工学结合规划教材,是针对高职焊接专业培养学生焊接结构装焊技术能力的需要,以行业主导、校企合作制定的《焊接制造岗位职业标准》为依据,组织国家骨干高职院校教师和企业专家共同编写的。

“焊接结构的装焊技术”是一门涉及多种焊接相关知识及多种工程技术、理论与实际结合极为紧密的课程。本书按照制造业焊接产品的实际生产过程,以典型的焊接结构为载体,以焊接结构加工工艺流程为主线,以点带面、点面结合地编排内容。在编写过程中广泛吸纳了国内企业焊接结构制造的成熟技术和生产实际经验,贴近生产、贴近工程实践,体系完整。通过对焊接结构装焊过程中各个环节相关知识的学习、典型焊接结构制作等的训练,学生将初步掌握现代化焊接结构生产工艺流程,明确工艺工作的内容及工艺人员的职责,熟悉焊接结构的装焊技术,培养学生理论联系实际、分析问题和解决问题的能力。

本书教学内容分为 8 个项目,共 23 个任务。按照校企合作、校校合作原则,由安徽机电职业技术学院副教授王小平和安徽机电职业技术学院讲师胥锴任主编,负责整体策划、设计和校企编审人员整合与组织协调。王小平编写了项目一、项目二和项目五中的任务三与任务四,胥锴编写了项目三、项目四和项目六;项目五中任务一和任务二由安徽机电职业技术学院讲师王立跃和合肥聚能电物理高技术开发有限公司焊接工程师沈旭编写;项目七由胥锴和中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所博士生张书权编写;项目八中任务一由安徽机电职业技术学院副教授顾伟和安徽海螺川崎节能设备制造有限公司焊接工程师韩丙寅编写;项目八中任务二由安徽机电职业技术学院讲师张帅谋和安徽金鼎锅炉股份有限公司技师谭言松编写;项目八中任务三由安徽机电职业技术学院高级工程师李国强和安徽博瑞特热能设备有限公司技师王恒伯编写;项目八中任务四由安徽机电职业技术学院技师杨化雨和安徽金鼎锅炉股份有限公司焊接工程师王德伟编写。全书由胥锴统稿,由安徽机电职业技术学院杨海卉教授主审。

本书在编写过程中,参阅了有关同类教材、书籍和网络资料,并得到参编学校和企业的全力支持,在此向他们致以深深的谢意!

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在某些需要改进和进一步完善的地方,恳请广大读者批评指正。

编 者

2014 年 3 月

目 录

前言	(1)
项目一 焊接结构基础知识	(1)
任务一 焊接结构简介	(1)
一、焊接结构在工业中的应用及特点	(1)
二、典型焊接结构的类型及制造特点	(3)
任务二 焊接应力与变形	(7)
一、焊接应力与变形的产生	(8)
二、焊接残余变形	(12)
三、焊接残余应力	(24)
练习题	(35)
项目二 备料	(37)
任务一 钢材的基本知识	(37)
一、钢和钢材的分类	(37)
二、钢板	(39)
三、钢管	(44)
四、型钢	(45)
五、钢丝	(48)
六、钢材的质量计算	(48)
七、钢材的检验和验收	(49)
八、钢材的堆放和保管	(51)
任务二 钢材的矫正	(51)
一、矫正原理	(51)
二、手工矫正	(52)
三、机械矫正	(60)
四、火焰矫正	(66)
五、高频热点矫正	(70)
练习题	(70)
项目三 放样和号料	(71)
任务一 放样	(71)
任务二 号料	(88)
练习题	(101)

项目四 加工成型	(102)
任务一 钢材的切割	(102)
任务二 零件的预加工	(111)
任务三 弯曲成型	(116)
任务四 压制成型	(126)
练习题	(130)
项目五 连接	(131)
任务一 螺栓连接	(131)
任务二 焊接	(135)
任务三 铆接	(140)
任务四 胀接	(142)
练习题	(145)
项目六 典型焊接结构化工设备的制作工艺与质量检验	(146)
任务一 典型化工设备制造工艺	(146)
一、化工设备制造的特点	(146)
二、化工设备组对技术要求	(146)
三、几种典型设备的制造工艺	(150)
任务二 化工设备的质量检验	(170)
一、原材料的检验	(170)
二、无损探伤	(173)
三、在制件和产品的检验操作技能	(178)
练习题	(180)
项目七 大型储罐的现场装焊	(181)
任务一 大型储罐的现场制作与安装	(181)
任务二 大型储罐的制作安装程序	(187)
任务三 大型储罐制作安装过程的其他工作	(188)
练习题	(190)
项目八 典型焊接结构的制作实例	(191)
任务一 工作实例——灰斗的制作	(191)
任务二 工作实例——铁砂扫炭炉底的制作	(196)
任务三 工作实例——翘腿裤形管的制作	(200)
任务四 工作实例——支承座的制作	(203)
练习题	(209)
参考文献	(210)

项目一 焊接结构基础知识

任务一 焊接结构简介

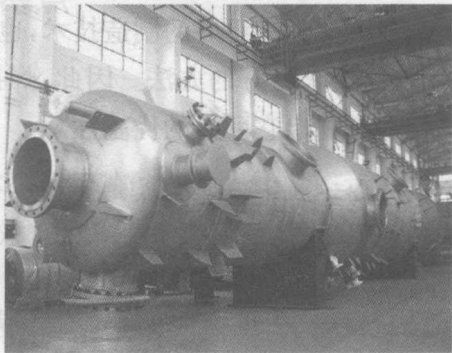
一、焊接结构在工业中的应用及特点

(一) 焊接结构的应用及发展

随着国民经济的发展,焊接结构的应用日益广泛,尤其在桥梁建筑、重型机械、压力容器、舰船制造、化工和石油设备、核容器、航天飞行器和海洋工程领域中,焊接结构的应用更为广泛,见图 1.1。



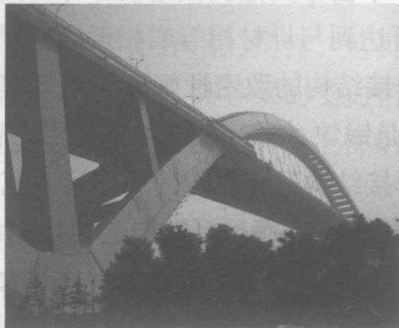
(a) WY32液压挖掘机



(b) 氨精馏塔



(c) LNG船



(d) 上海卢浦大桥(全焊钢结构)

图 1.1 焊接结构的应用

焊接是金属连接的一种工艺方法,特别是在钢铁连接方面,也是一门古老的综合性应用技术,焊接技术从近代史以后随着科学技术的整体进步而快速发展。焊接技术是随着金属的应用而出现的,古代的焊接方法主要是铸焊、钎焊和锻焊。中国商朝制造的铁刃铜钺,就

是铁与铜的铸焊件,其表面铜与铁的熔合线蜿蜒曲折,接合良好。春秋战国时期曾侯乙墓中的建鼓铜座上有许多盘龙,是分段钎焊连接而成的。经分析,所用的材料与现代软钎料成分相近。19 世纪初,英国的戴维斯发现电弧和氧乙炔焰两种能局部熔化金属的高温热源,1885~1887 年,俄国的别纳尔多斯发明碳极电弧焊钳,开始了电弧焊的应用。20 世纪前期发明和推广了焊条电弧焊,中期发明和推广了埋弧焊和气体保护焊;随着现代科学的发展和进步,各种高能束(电子束、激光束)也在焊接上得到应用。到了 20 世纪 70 年代,在世界范围内,焊接技术已经成为机械制造业中的关键技术之一。特别是 20 世纪后期,随着世界新技术革命的到来和电子技术及自动控制技术的进步,焊接产业开始向高新技术方向发展,出现了焊接机器人和高智能型的焊接成套设备及焊接新技术,焊接技术更加突出地反映了整个国家的工业生产发达水平和机械制造技术水平。

由于世界工业化进程的加快,钢铁产量大幅提高,钢铁应用不断扩大,促使焊接技术不断发展和进步。钢铁作为主要金属的焊接结构的应用越来越广泛,目前各国的焊接结构用钢量,均已占其钢材消费量的 40%~60%。焊接结构几乎渗透到国民经济的各个领域,如工业中的重型与矿山机械、起重与吊装设备、冶金建筑、石油与化工机械、各类锻压机械等;交通航务中的汽车、列车、舰船、海上平台、深潜设备的制造;兵器工业中的常规兵器、炮弹、导弹、火箭的制造;航空航天技术中的人造卫星和载人宇宙飞船如“神六”、“神七”等。对于许多产品和工程,例如用于核电站的工业设备和三峡水电站的闸门以及开发海洋资源所必需的海底作业机械或潜水装置等,为了确保加工质量和后期使用的可靠性,均采用了焊接结构,因为很难找到比焊接更好的制造技术,也难以找到比只通过焊接工艺保证这些机械结构满足其使用性能要求更好的方法。因此,焊接结构的应用无论是现在或者是将来仍会在相当长的时间内,展现出它巨大的优越性。

(二) 焊接结构的特点

1. 焊接结构的优点

焊接结构具有一系列其他结构无法比拟的优点,主要体现在以下几个方面:

(1) 焊接结构的整体性强。由于焊接是一种金属原子间的连接,刚度大、整体性好,在外力作用下不会像其他机械连接那样因间隙变化而产生过大的变形,因此焊接接头的强度、刚度一般可达到与母材相等或相近,能够随基本金属承受各种载荷的作用。

(2) 焊接结构的致密性好。由于焊缝的致密性,焊接结构能保证产品的气密性和水密性要求,这是锅炉、储气罐、储油罐等压力容器在正常工作时不可缺少的重要条件。

(3) 焊接结构适宜制作的外形尺寸范围特别宽。焊接结构不仅可以制造微型机器零件(采用微焊接技术),而且可以制造现代钢结构,特别适用于几何尺寸大而形状复杂的产品,如船体、桁架、球形容器等。对大型或超大型的复杂工程,可以将结构分解,对分解后零件或部件分别进行焊接加工,再通过总体装配焊接连接成一个整体结构。

(4) 焊接结构比较经济实惠。在使用一些型材时,采用焊接结构比轧制更经济。例如用宽扁钢与钢板焊成的大型工字钢(高度大于 700 mm)往往比轧制的型钢成本更低。

(5) 焊接结构的零件或部件可以直接通过焊接方法进行,不需要附加任何连接件,与铆接结构相比,具有相同结构的质量可减轻 10%~20%。

2. 焊接结构的不足

焊接结构的不足之处,集中表现在以下几个方面:

(1) 由于焊接接头要经历冶炼、凝固和热处理三个阶段,所以焊缝中难免产生各类焊接缺陷,虽然大多焊接缺陷可以修复,但修复不当或缺陷漏检则可能带来严重的问题,最终形成过大的应力集中,从而降低整个焊接结构的承载能力。

(2) 由于焊接结构是整体的大刚度结构,裂纹一旦扩展,就难以被制止住,因此焊接结构对于脆性断裂、疲劳、应力腐蚀和蠕变破坏都比较敏感。

(3) 由于焊接过程是一个不均匀的加热和冷却过程,焊接结构必然存在焊接残余应力和变形,这不仅影响焊接结构的外形尺寸和外观质量,同时给焊后的继续加工带来很多麻烦,甚至直接影响焊接结构的强度。

(4) 焊接会改变材料的部分性能,使焊接接头附近变为一个不均匀体,即具有几何形状的不均匀性、力学性能的不均匀性、化学成分的不均匀性以及金相组织的不均匀性。

(5) 对于一些高强度的材料,因其焊接性能较差,容易产生焊接裂纹等缺陷。

根据以上这些特点可以看出,若要获得优质的焊接结构,必须做到合理地设计结构,正确地选择材料和具备合适的焊接设备,制定正确的焊接工艺和进行必要的质量检验,才能保证合格的产品质量。

二、典型焊接结构的类型及制造特点

(一) 焊接结构的类型

焊接结构形式各异,繁简程度不一,类型很多。但焊接结构都是由一个或若干个不同的基本构件组成的,如梁、柱、框架、箱体、容器等。分类的方法有好几种:按半成品的制造方法可分为板焊结构、铸焊结构、锻焊结构、冲焊结构等;按结构的用途则可分为车辆结构、船体结构、飞机结构、容器结构等;按材料厚度可分为薄壁结构、厚壁结构;按材料种类可分为钢制结构、铝制结构、钛制结构等。现在国内通用的分类方法是根据焊接结构的工作特性来分类的,主要分为以下几种类型:

(1) 梁及梁系结构。梁是在一个或两个主平面内承受弯矩作用的构件。这类结构的工作特点是结构件受横向弯曲,当多根梁通过焊接组成梁系结构时,其各梁的受力情况变得比较复杂。如大型水压机的横梁,桥式起重机架中的主梁以及大型栓焊钢桥主桥钢结构中的“I形”主梁等。

(2) 柱类结构。柱类结构是轴心受压和偏心受压(带有纵向弯曲的)的构件。柱和梁一起组成厂房、高层房屋和工作平台的钢骨架。这类结构的特点是,承受压力或在受压同时又承受纵向弯曲。与梁类结构一样,其结构的断面形状大多为“I形”、“箱形”或管式圆形断面。

(3) 桁架结构。桁架结构常用于大跨度的厂房、展览馆、体育馆和桥梁等公共建筑中。这里的桁架指的是桁架梁,是格构化的一种梁式结构。由于大多用于建筑的屋盖结构,桁架通常也被称作屋架。其主要结构特点在于,各杆件受力均以单向拉、压为主,通过对上下弦杆和腹杆的合理布置,可适应结构内部的弯矩和剪力分布。由于水平方向的拉、压内力实现

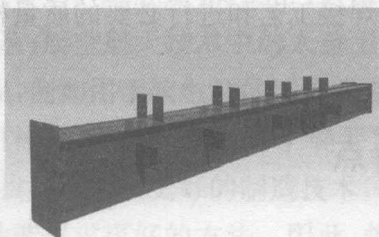
了自身平衡,整个结构不对支座产生水平推力。结构布置灵活,应用范围非常广。如用于大中型工业和民用建筑、大跨度的桥式起重机、门式起重机等。

(4) 壳体结构。这类结构承受较大的内压或外压载荷,因而要求焊接接头具有良好的气密性,如容器、锅炉、管道等,大型储罐和运送液体或液化气体的罐车罐体等均由钢板焊成。

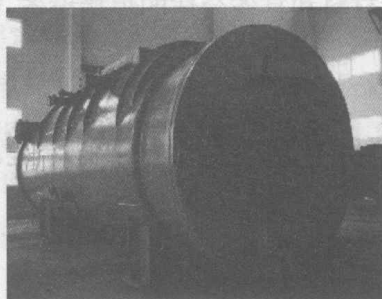
(5) 骨架结构。这类结构的作用同动物骨骼,大多数用于起重运输机械,通常承受动载荷,故要求具有最小的重量和较大的刚度。如奥运“鸟巢”、船体肋筋、客车棚架、列车和汽车箱体等,均属此类结构。

(6) 机器结构。这类结构通常是在交变载荷或多次重复性载荷下工作,要求有良好的动载性能和刚度。此外,它本身往往还需机械加工以保证尺寸精度和稳定性。主要包括机器的机身、机座、大型机械零件(如齿轮、滚筒、轴)等。大多数采用钢板焊接或铸焊、锻焊联合工艺,可以解决铸锻设备能力不足的问题,同时大大缩短了制造周期。这类结构有机座、机架、机身、机床横梁及齿轮、连杆和轴等。

各种结构形式如图 1.2 所示。



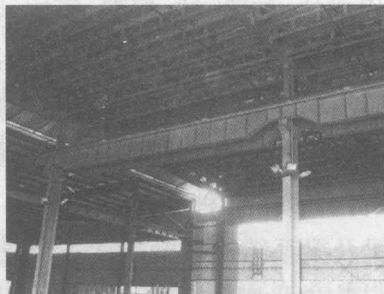
(a) 梁柱结构



(b) 发电厂的配套设备(凝汽器)



(c) CGH型桁架结构门式起重机



(d) 厂房骨架结构

图 1.2 焊接结构类型

(二) 焊接结构的制造特点

焊接作为一种特殊的加工工艺,企业在投产前,对于焊接工艺评定、焊接工艺规程、焊工资格及无损检测人员的资格尚需进行不同程度的认定。

焊接结构的制造是从焊接生产的准备工作开始的,它包括结构的工艺性审查、工艺方案和工艺规程设计、工艺评定、编制工艺文件(含定额编制)和质量保证文件、订购原材料和辅助材料、外购和自行设计制造装配—焊接设备和装备;然后从材料入库真正开始了焊接结构制造工艺过程,包括材料复验入库、备料加工、装配—焊接、焊后热处理、质量检验、成品验

收;其中还穿插返修、涂饰和喷漆;最后合格产品入库的全过程。典型的焊接制造工艺顺序,如图 1.3 所示。

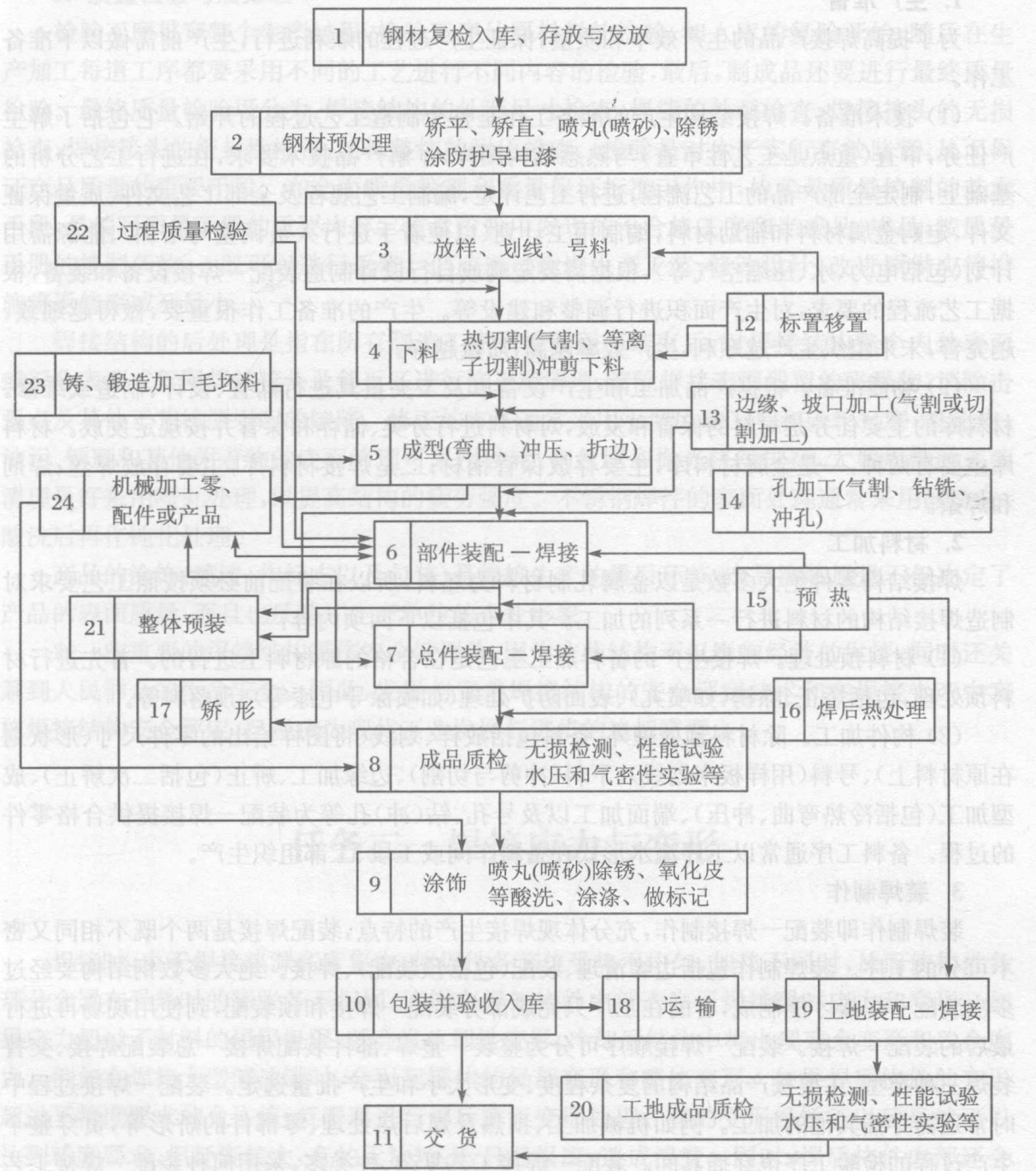


图 1.3 焊接结构制造工艺过程

图 1.3 中序号 1~11 表示焊接结构制造流程,其中序号 1~5 为备料工艺过程的工序,12~14 工序穿插其间。应当指出,由于热切割技术,特别是数字切割技术的发展,下料工序的自动化程度和精细程度大大提高,手工的划线、号料和手工切割等工艺正逐渐被淘汰。序号 6、7 以及 15~17 为装配—焊接工艺过程的工序。需要在结构使用现场进行装配—焊接的,还需执行 18~21 工序。序号 22 需在各工艺工序后进行,序号 23、24 表明焊接车间和铸、锻、冲压与机械加工车间之间的关系,在许多以焊接为主导工艺的企业中,铸、锻、冲压与

机械加工车间为焊接车间提供毛坯,并且机械加工和焊接车间又常常互相提供零件、半成品。下面具体介绍各主要过程。

1. 生产准备

为了提高焊接产品的生产效率和质量,保证生产过程的顺利进行,生产前需做以下准备工作。

(1) 技术准备。焊接结构生产的准备工作是整个制造工艺过程的开始。它包括了解生产任务,审查(重点是工艺性审查)与熟悉结构图样,了解产品技术要求,在进行工艺分析的基础上,制定全部产品的工艺流程,进行工艺评定,编制工艺规程及全部工艺文件、质量保证文件,定购金属材料和辅助材料,编制用工计划(以便着手进行人员调整与培训)、能源需用计划(包括电力、水、压缩空气等),根据需要定购或自行设计制造装配—焊接设备和装备,根据工艺流程的要求,对生产面积进行调整和建设等。生产的准备工作很重要,做得越细致、越完善,未来组织生产越顺利,生产效率越高,质量越好。

(2) 物质准备。根据产品加工和生产设备以及工夹量具进行购置、设计、制造或维修。材料库的主要任务是材料的保管和发放,对材料进行分类、储存和保管并按规定发放。材料库主要有两种,一是金属材料库,主要存放保管钢材;二是焊接材料库,主要存放焊丝、焊剂和焊条。

2. 材料加工

焊接结构零件绝大多数是以金属轧制材料为坯料,所以在装配前必须按照工艺要求对制造焊接结构的材料进行一系列的加工。其中包括以下两项内容:

(1) 材料预处理。焊接生产的备料加工工艺是在合格的原材料上进行的。首先进行材料预处理,包括矫正、除锈(如喷丸)、表面防护处理(如喷涂导电漆等)、预落料等。

(2) 构件加工。除材料预处理外,备料包括放样、划线(将图样给出的零件尺寸、形状划在原材料上)、号料(用样板来划线)、下料(冲剪与切割)、边缘加工、矫正(包括二次矫正)、成型加工(包括冷热弯曲、冲压)、端面加工以及号孔、钻(冲)孔等为装配—焊接提供合格零件的过程。备料工序通常以工序流水形式在备料车间或工段、工部组织生产。

3. 装焊制作

装焊制作即装配—焊接制作,充分体现焊接生产的特点,装配焊接是两个既不相同又密不可分的工序。装焊制作包括边缘清理、装配(包括预装配)、焊接。绝大多数钢结构要经过多次装配—焊接才能制成,有的在工厂只完成部分装配—焊接和预装配,到使用现场再进行最后的装配—焊接。装配—焊接顺序可分为整装—整焊、部件装配焊接—总装配焊接、交替装焊三种类型,主要按产品结构的复杂程度、变形大小和生产批量选定。装配—焊接过程中时常还需穿插其他的加工。例如机械加工、预热及焊后热处理、零部件的矫形等,贯穿整个生产过程的检验工序也穿插其间。装配—焊接工艺复杂、种类多,采用何种装配—焊接工艺要由产品结构、生产规模、装配—焊接技术的发展决定。

4. 焊后热处理

焊后热处理是焊接工艺的重要组成部分,与焊件材料的种类、型号、板厚、所选用的焊接工艺及对接头性能的要求密切相关,是保证焊件使用特性和寿命的关键工序。焊后热处理不仅可以消除或降低结构的焊接残余应力,稳定结构的尺寸,而且能改善接头的金相组织,提高接头的各项性能,如抗冷裂性、抗应力腐蚀性、抗脆断性、热强性等。根据焊件材料的类别,可以选用下列不同种类的焊后热处理:消除应力处理、回火、正火+回火(又称空气调质

处理)、调质处理(淬火+回火)、固溶处理(只用于奥氏体不锈钢)、稳定化处理(只用于稳定型奥氏体不锈钢)、时效处理(用于沉淀硬化钢)。

5. 质量检验与后处理

检验工序贯穿整个生产过程,检验工序从原材料的检验,如入库的复验开始,随后在生产加工每道工序都要采用不同的工艺进行不同内容的检验,最后,制成品还要进行最终质量检验。最终质量检验可分为:焊接结构的外形尺寸检查;焊缝的外观检查;焊接接头的无损检查;焊接接头的密封性检查;结构整体的耐压检查。检验是对生产实行有效监督,从而保证产品质量的重要手段。在全面质量管理和质量保证标准工作中,检验是质量控制的基本手段,是编写质量手册的重要内容。质量检验中发现的不合格工序和半成品、成品,按质量手册的控制条款,一般可以进行返修。但应通过改进生产工艺、修改设计、改进原供应等措施将返修率减至最小。

焊接结构的后处理是指在所有制造工序和检验程序结束后,对焊接结构整个内外表面或部分表面或仅限焊接接头及邻近区进行修正和清理,清除焊接表面残留的飞溅物,消除击弧点及其他工艺检测引起的缺陷。修正的方法通常采用小型风动工具和砂轮打磨,氧化皮、油污、锈斑和其他附着物的表面清理可采用砂轮、钢丝刷和抛光机等进行,大型焊件的表面清理最好采用喷丸处理,以提高结构的疲劳强度。不锈钢焊件的表面处理通常采用酸洗法,酸洗后再作钝化处理。

产品的涂饰(喷漆、作标志以及包装)是焊接生产的最后环节,产品涂装质量不仅决定了产品的表面质量,而且也反映了生产单位的企业形象。

对一些重要的焊接结构需作安全性评价,因为这些结构不仅影响经济的发展,同时还关系到人民群众的生命安全。因此,发展与完善焊接结构的安全评定技术和在焊接生产中实施焊接结构安全评定,已经成为现代工业发展与进步的迫切需要。

任务二 焊接应力与变形

焊接时,由于焊接热源高度集中,使焊件各部位受热不均匀,加热不同时,从而使构件各部分金属在受热时的膨胀各不相同,这样在焊接构件中就产生了焊接瞬时应力和变形。如果应力超过了材料的屈服极限,就会发生塑性变形,冷却后结构中将出现残余变形和残余应力。例如在焊接大型储油罐时,会引起罐体的局部变形和整体变形。如果焊后构件的变形超过了精度要求的允许值,就需要进行焊后矫正变形处理。有的变形经矫正以后虽然可以达到精度要求,但耗资较大,有的无法矫正,只好报废,造成浪费。同时,焊后构件内部还会产生焊接残余应力,这种应力会影响结构的承载能力,有的还会影响焊后机械加工的精度,而且也是引起焊接裂纹和脆断的主要因素。

由于焊接应力与变形直接影响到焊接结构的质量和使用安全,所以本章主要讨论焊接应力与变形的产生原因、预防和减少焊接应力与变形的措施、消除焊接残余应力和矫正焊接残余变形的的方法。

一、焊接应力与变形的产生

(一) 焊接应力与变形的一般概念

1. 应力与变形的基本概念

物体在受到外力作用时,会产生形状和尺寸的变化,这就称为变形。物体的变形分为弹性变形和塑性变形两种。当外力除去后能够恢复到初始状态和尺寸的变形称为弹性变形,不能恢复的就称为塑性变形。

在外力作用下物体会产生变形,同时其内部会出现一种抵抗变形的力,这种力称为内力。单位面积上的内力称为应力。应力的大小与外力成正比,与本身截面积成反比,应力方向与外力相反。如果没有外力作用,物体内部也存在应力,则称为内应力。这种应力存在于许多工程结构中,例如铆接结构、铸造结构和焊接结构等。内应力的特点是同一截面上的内应力合力及合力矩为零,即构成平衡力系。

2. 焊接应力的分类

焊接应力和变形的种类很多,可以根据不同的要求来分类。为了简便起见,这里先对焊接应力分类,焊接变形的分类将在下节详细介绍。焊接应力可从不同的角度来进行划分。

1) 按其分布的范围可分为三类。

(1) 第一类内应力:它们具有一定数值和方向,并且内应力在整个焊件内部平衡,故又称为宏观内应力,这种应力与焊件的几何形状或焊缝的方向有关。

(2) 第二类内应力:内应力在一个或几个金属晶粒内的微观范围内平衡,相对焊件轴线没有明确的方向性,与焊件的大小和形状无关,它主要由金相组织的变化引起。

(3) 第三类内应力:内应力在金属晶格的各构架之间的超微观范围内平衡,在空间也没有一定的方向性。

本课程重点分析第一类内应力产生的原因和防止措施。

2) 按引起应力的原因分为温度应力、残余应力和组织应力等。

(1) 温度应力:它也称热应力,是由于焊接时,结构中温度分布不均匀引起的。如果温度应力低于材料的屈服强度,结构中不会产生塑性变形,当结构各区的温度均匀以后,应力即可消失。焊接时,由于焊件不均匀加热和冷却而产生温度应力。焊接温度应力的特点是随时间在不断变化。

(2) 残余应力:当不均匀温度场(即温度在结构中的分布状态)所造成的内应力达到材料的屈服强度时,结构局部区域发生塑性变形,而当温度恢复到原始均匀状态后留在结构中的变形没有消失,焊件在焊接完毕冷却之后便残存着内应力,这种应力就是残余应力。

(3) 组织应力:焊接时由于金属温度变化而产生组织转变、晶粒体积改变所产生的应力。

3) 按应力作用的方向分为纵向应力和横向应力。

(1) 纵向应力:方向平行于焊缝轴线的应力。

(2) 横向应力:方向垂直于焊缝轴线的应力。

4) 按应力在空间作用的方向分为单向应力、双向应力(平面应力)和三向应力(体积应力)。

通常结构中的应力总是三向的,但有时在一个或两个方向上的应力值较另一方向上的应力值小得多时,内应力可假定为单向的或平面的。对接焊缝中的内应力,如图 1.4 所示。

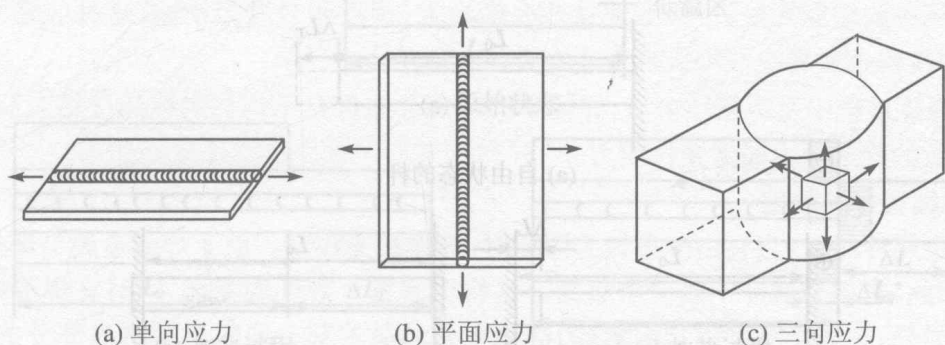


图 1.4 对接焊缝中的应力

通常,窄而薄的线材对接焊缝中的应力为单向的,中等厚度的板材对接焊缝中的应力为平面的,而大厚度板材对接焊缝中的应力为三向的。在这三种应力中,以三向应力对结构的承载能力影响最大,容易导致焊接接头产生裂纹,焊接中应尽量避免产生三向应力。

(二) 焊接引起的应力与变形的分析

产生焊接应力与变形的因素很多,其中最根本的原因是焊件受热不均匀,其次是由于焊缝金属的收缩、金相组织的变化及焊件的刚性不同所致。另外,焊缝在焊接结构中的位置、装配焊接顺序、焊接方法、焊接电流及焊接方向等对焊接应力与变形也有一定的影响。

1. 不均匀加热引起的应力与变形

焊接时,焊件上各个部位的温度各不相同,受热后的变化也不相同。这里我们从分析杆件在均匀加热时的应力和变形的情况着手,来研究焊接时周围的应力和变形问题。

1) 均匀加热引起的应力与变形

均匀加热时,杆件上各点的温度及变化都是相同的,其伸缩情况也相同,最后的应力与变形主要取决于加热温度和外部约束条件。

(1) 自由状态的杆件。自由状态的杆件在均匀加热、冷却过程中,其伸长和收缩没有受到任何阻碍,能自由收缩,当冷却到原始温度时,杆件恢复到原来的长度,不会产生残余应力和残余变形,如图 1.5(a)所示。

(2) 加热时不能自由膨胀的杆件。假定杆件两端被阻于两壁之间,如图 1.5(b)所示,杆件受热后的伸长受到了限制,而冷却时的收缩却是自由的。假设杆件在受纵向力压缩时不产生弯曲,两壁为绝对刚性的,不产生任何变形和移动,杆件与壁之间没有热传导。

当均匀受热时,杆件由于受热而要伸长,但由于两端受刚性壁的阻碍,实际上没有伸长,这相当于在自由状态下将杆件加热到温度 T ,杆件伸长了 ΔL ,然后施加外力将杆件压缩到原来的长度,这时杆件内部便产生了压应力 σ 及压缩变形 ΔL 。随着温度的增高,压应力和压缩变形都将随之增大。如果压应力 σ 没有达到材料的屈服强度 σ_s ,则杆件的变形为弹性压缩变形,此时若将杆件冷却,杆件的伸长没有了,压缩变形也消失了,杆中不再有压应力的存在,杆件恢复到原始状态。

继续进行加热,当压应力 σ 达到 σ_s 以后,杆件发生了塑性变形,这时杆件的压缩变形由

达到 σ_s 以前的弹性变形和达到 σ_s 以后的塑性变形两部分组成。此时若将杆件冷却,弹性变形可以恢复,塑性变形保留下来,杆件长度比原来缩短了,即产生了残余压缩变形,由于杆件能自由收缩,不产生内部压应力。

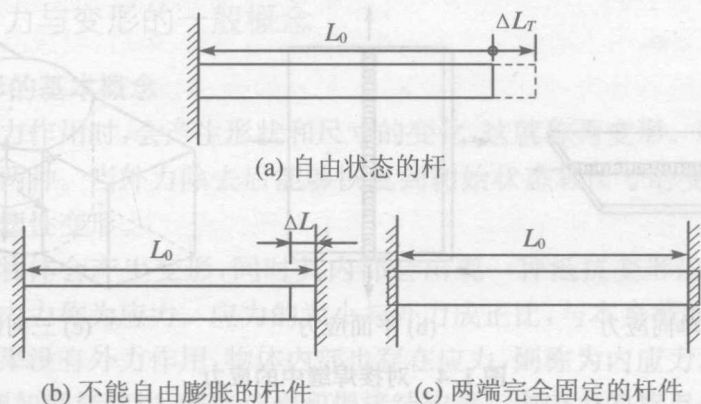


图 1.5 杆件在不同状态下均匀加热和冷却时的应力与变形

(3) 两端刚性固定的杆件。假定杆件两端完全刚性固定,如图 1.5(c)所示,杆件加热时不能自由伸长,冷却时也不能自由收缩。此杆件加热过程的情形与不能自由膨胀的杆件相同。冷却过程由于杆件不能自由收缩,情形就有所不同了。如果加热温度不高,加热过程没有产生塑性变形,则冷却后杆件与原始状态一样,既没有应力也没有变形。但若在加热过程有塑性变形产生,则冷却后杆件将比原始状态短一截,但由于杆件受固定端的限制不能自由收缩,这就产生了拉应力和拉伸变形。

2) 焊接(不均匀加热)引起的应力变形

焊接时温度场的变化范围很大,在焊缝处最高温度可达到材料的熔点以上,而离开焊缝温度急剧下降,直至室温,所以焊接时引起应力与变形的过程较为复杂。

图 1.6 所示为钢板中间堆焊或对接时的应力与变形情况。图 1.6(a)为长度为 L_0 ,厚度为 δ 的长板条,材料为低碳钢,在其中间沿长度方向上进行焊接。为简化讨论,我们将板条上的温度分为两种,中间为高温区,其温度均匀一致;两边为低温区,其温度也均匀一致。

焊接时,如果板条的高温区与低温区是可分离的,高温区将伸长,低温区不变,如图 1.6(b)所示。但实际上板条是一个整体,所以板条将整体伸长,此时高温区内产生较大的压缩塑性变形和压缩弹性变形,如图 1.6(c)所示。同时在板条内部也产生了瞬时应力,中间高温区为压应力,两侧低温区为拉应力。

冷却时,由于压缩塑性变形不可恢复,所以,如果高温区与低温区是可分离的,高温区应缩短,低温区应恢复原长,如图 1.6(d)所示。但实际上板条是一个整体,所以板条将整体缩短,这就是板条的残余变形,如图 1.6(e)所示。同时在板条内部也产生了残余应力,中间高温区为拉应力,两侧低温区为压应力。

图 1.7 所示为钢板边缘堆焊时的应力与变形情况。图 1.7(a)为材质均匀钢板的原始状态,在其上边缘施焊。假设钢板由许多互不相连的窄条组成,则各窄条在加热时将按温度高低而伸长,如图 1.7(b)所示。但实际上,板条是一个整体,各板条之间是互相牵连、互相影响的,上一部分金属因受下一部分金属的阻碍作用而不能自由伸长,因此产生了压

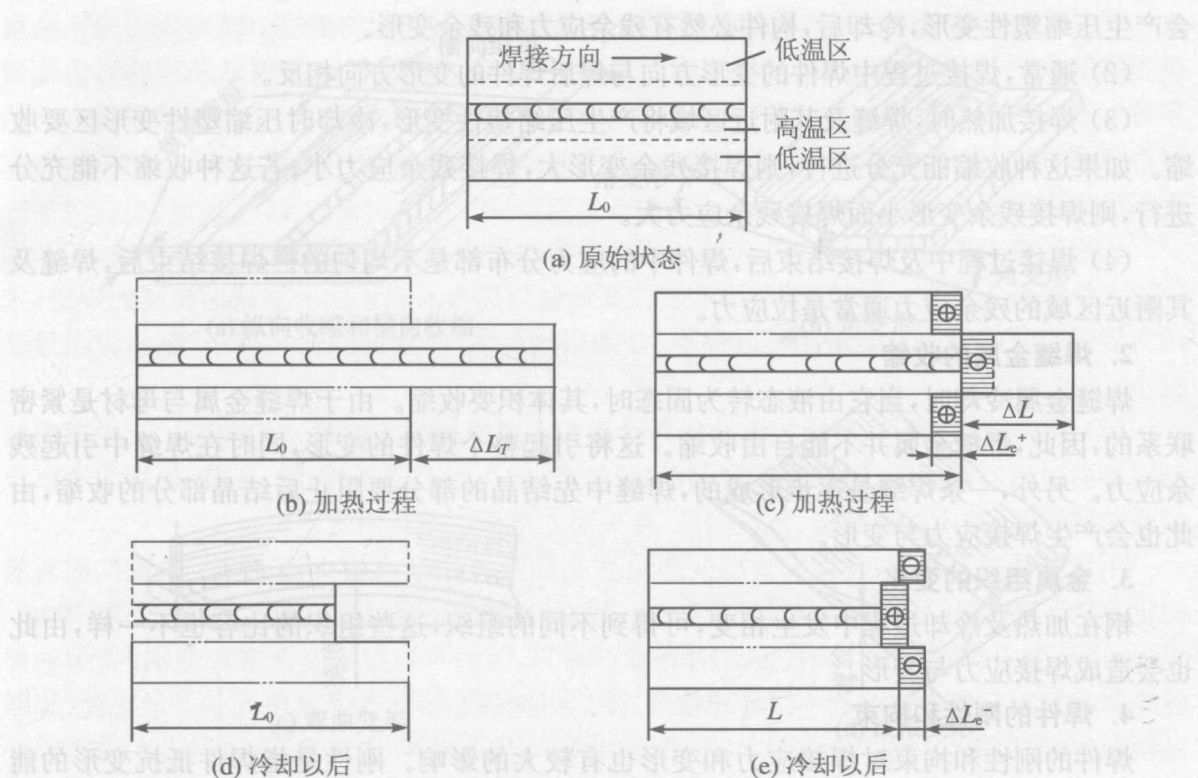


图 1.6 平板中间堆焊或对接时的应力与变形

缩塑性变形。由于钢板上的温度分布是自上而下逐渐降低,因此,钢板产生了向下的弯曲变形,如图 1.7(c)所示。同时在钢板内产生了瞬时应力,即钢板中部为拉应力,钢板两侧为压应力。

钢板冷却后,各板条的收缩应如图 1.7(d)所示。但实际上钢板是一个整体,上一部分金属要受到下一部分的阻碍而不能自由收缩,所以钢板产生了与焊接时相反的残余弯曲变形,如图 1.7(e)所示。同时在钢板内产生了如图 1.7(e)所示的残余应力,即钢板中部为压应力,钢板两侧为拉应力。

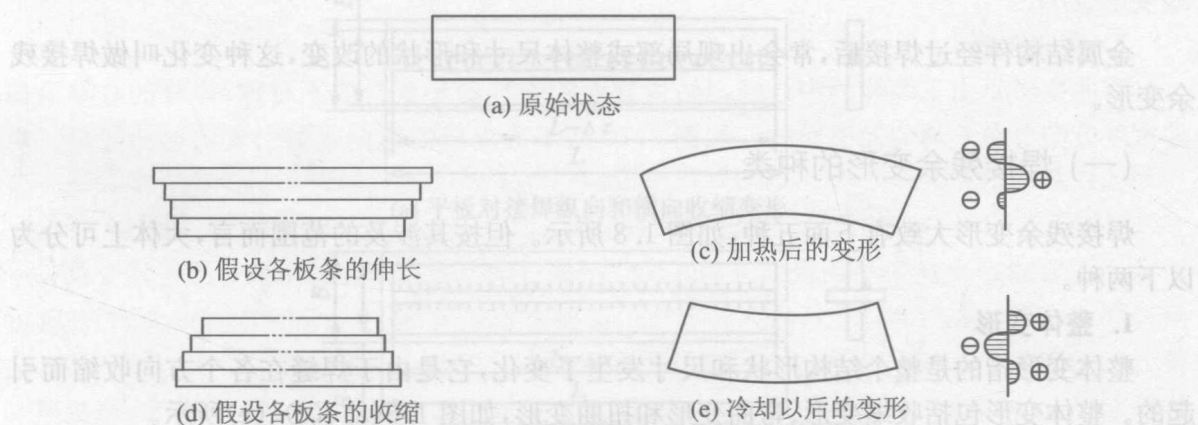


图 1.7 钢板边缘堆焊时的应力与变形

由此可见:

(1) 对构件进行不均匀加热,在加热过程中,只要温度高于材料屈服点的温度,构件就