



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高 职 高 专 规 划 教 材

焊接结构生产

国家机械职业教育热加工类专业教学指导委员会 组编

邓洪军 主编

第2版



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是根据国家机械职业教育热加工类专业教学指导委员会制定的
的高等职业学校焊接专业教学计划和“焊接结构生产”课程教学大纲
编写的,是适合三年制高等教育焊接专业使用的国家规划教材。

本书的主要内容包括焊接结构基础知识、焊接结构的生产过程和
焊接结构生产安全技术等三个部分。全书共分八章,包括焊接应力与
变形、焊接结构强度的基本理论、焊接结构备料及成形加工、焊接结
构的装配与焊接工艺、焊接结构生产工艺规程的编制、典型焊接结构
的生产工艺、装配—焊接工艺装备和焊接结构生产的安全技术。

本书在编写过程中,从现代高职人才培养目标出发,注重教学内
容的实用性,结合焊接专业技术岗位特点,尽量贴近焊接生产实际组
织教学内容,以达到让学生掌握焊接结构生产的基本知识和基本技能
的目的。全书通俗易懂,实用性强,便于组织教学。本书也可作为有
关技术人员、管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

焊接结构生产/邓洪军主编.—2版.—北京:机械工业出版社,
2009.6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材.高职高专规划教材
ISBN 978-7-111-27009-6

I. 焊... II. 邓... III. 焊接结构—焊接工艺—高等学校:技
术学校—教材 IV. TG44

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第066780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:王海峰 责任编辑:王海峰 于奇慧

责任校对:陈延翔 封面设计:陈沛 责任印制:邓博

北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)

2009年8月第2版第1次印刷

184mm×260mm·14.25印张·348千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-27009-6

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

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379756

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，是根据高等职业学校焊接专业教学计划和“焊接结构生产”课程教学大纲编写的，并结合当前高等职业教育的发展需求，在《焊接结构生产》第1版的基础上修订而成的。

本书在修订过程中，始终坚持以学生就业为导向，以企业用人标准为依据，在专业知识的安排上，坚持实用、够用的原则，摒弃“繁难偏旧”的理论知识，增加与职业能力有关的新技术和新工艺。课程的内容紧紧扣住培养学生现场工艺实施的职业能力来阐述，将必需的理论知识点融入到能力培养的过程中，注重实践教学和操作技能培养。本书适合高等职业教育各类学校焊接专业使用，也可供从事焊接工作的工程技术人员参考。

本书包括焊接结构基础知识、焊接结构生产过程、焊接工艺装备及焊接结构生产安全技术等三个部分，共分为八章。焊接结构基础知识包括第一、二章，主要介绍典型焊接结构基本构件、焊接接头形式、焊接结构生产过程简介、焊接应力与变形、消除焊接应力和预防变形的措施，以及焊接接头疲劳破坏和脆性断裂等问题。焊接结构生产过程包括第三、四、五、六章，分别介绍焊接结构零件加工、焊接结构装配、焊接结构工艺性审查和典型焊接结构的生产工艺，这部分内容是本教材的重点。最后两章介绍装配—焊接工艺装备和焊接结构生产的安全技术。

本书的绪论、第三、六章由邓洪军编写，第一、四章由李莉编写，第二章由李丽茹编写，第五章由赵艳艳编写，第七、八章由夏金迪编写。邓洪军担任主编，李莉担任副主编，王宗杰担任主审。

本书在编写过程中，尽可能借鉴了其他专业教材的有益做法和焊接技能鉴定方面的成功经验，并充分考虑通过什么样的教学内容和组织方式来实现专业能力培养的问题，但是由于编者水平有限，书中难免有疏漏和欠妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

第 1 版前言

根据全国机械职业教育专业教学指导委员会关于“深化高等职业技术教育人才的改革，加强高职教材建设”的精神，结合市场需要，于 2002 年 8 月我们与机械工业出版社共同邀请了全国十几所开办焊接专业的高职高专院校召开了编写这套教材的启动会，在会上大家就焊接专业的课程体系、教材的编写目的和要求、教材书目，以及编写人员的分工进行了研讨，最终达成共识。

高等职业技术教育是我国高等教育的重要组成部分，是培养适应生产、建设、管理、服务于第一线需要的高等技术应用性专门人才的摇篮。高职学生应具有基础理论知识适度、技术应用能力强、知识面较宽、素质高等特点。我们应以“应用”为主旨和特征构建课程和教学内容体系，突出应用性、实践性的原则重组课程结构、更新教学内容。高职教学内容要突出基础理论知识的应用和实践能力的培养，基础理论教学要以应用为目的，以“必需、够用”为度；专业课教学要加强针对性和实用性。在此共识的基础上，我们组织广西机电职业技术学院、内蒙古工业大学、四川工程职业技术学院、包头职业技术学院、承德石油高等专科学校、沈阳职业技术学院、陕西工业职业技术学院、渤海船舶职业技术学院、湖南张家界航空工业职业技术学院、新疆机电职业技术学院、内蒙古机电职业技术学院等十余所高职院校编写了这套高职高专焊接专业规划教材。这套教材首批包括：《金属学与热处理》、《焊接结构生产》、《焊接方法与设备》、《焊接生产管理与检测》、《金属熔焊原理》、《金属材料焊接》、《焊接技能实训》、《热加工专业英语》。

本套教材根据 2001 年国家机械职业教育热加工类专业教学指导委员会和 2002 年 4 月、8 月的高职高专焊接专业规划教材的专题会议精神，于 2002 年 4 月成立了教材编写委员会，2003 年年初由各教材的主编、主审统稿，并进行初审，同年 8 月聘请了西南交通大学、内蒙古工业大学、沈阳工业大学、四川工程职业技术学院等院校的专家教授对此套教材进行了全面审编、定稿。

本套教材的编写以突出应用性、实践性的原则重组课程结构，破除原有各种课程的学科化倾向，删除与岗位群职业能力关系不大的内容，增加与职业能力关系有关的新技术、新工艺、新设备、新材料。课程内容紧紧扣住培养学生现场工艺实施的职业能力来阐述，将必需的理论知识点溶于能力培养过程中，注重实践教学，注重操作技能培养。本套教材深度适宜，文字简洁、流畅，深入浅出，非常适合高职学生学习。为与国际接轨，体现教材的先进性，本套教材采用了最新国家标准和国家施行的国际单位制。

本套教材在编写和审稿过程中，得到了各参编参审学校和许多兄弟院校领导及同仁的大力支持与热情帮助，在此一并表示衷心的感谢。

国家机械职业教育热加工类专业教学指导委员会

目 录

第2版前言	
第1版前言	
绪论	1
第一章 焊接应力与变形	7
第一节 焊接应力与变形的产生	7
一、焊接应力与变形的基本知识	7
二、研究焊接应力与变形的基本假定	8
三、焊接应力与变形产生的原因	8
第二节 焊接残余应力	11
一、焊接残余应力的分类	11
二、焊接残余应力的分布	12
三、焊接残余应力对焊接结构的影响	16
四、减小焊接残余应力的措施	17
五、消除焊接残余应力的方法	20
六、焊接残余应力的测定	22
第三节 焊接变形	22
一、焊接变形的种类及其影响因素	22
二、控制焊接变形的措施	28
三、矫正焊接变形的的方法	34
综合训练	36
第二章 焊接结构强度的基本理论	38
第一节 焊接接头的基本知识	38
一、焊接接头的组成	38
二、焊缝及焊接接头的基本形式	39
三、焊缝代号	42
第二节 电弧焊接头的工作应力	46
一、应力集中的概念	46
二、电弧焊接头的工作应力分布	47
第三节 焊接接头的静载强度计算	49
一、工作焊缝和联系焊缝	49
二、焊接接头强度计算的假设	49
三、电弧焊接头的静载强度计算	50
第四节 焊接结构的疲劳破坏	51
一、疲劳的概念	51
二、影响焊接结构疲劳性能的因素	52
三、提高焊接结构疲劳强度的措施	53
第五节 焊接结构的脆性破坏	57
一、焊接结构脆断的基本现象和特点	57
二、焊接结构脆断的原因	57
三、防止焊接结构脆性破坏的措施	62
综合训练	64
第三章 焊接结构备料及成形加工	66
第一节 钢材的矫正及预处理	66
一、钢材变形的原因	66
二、钢材的矫正原理	67
三、钢材的矫正方法	68
四、钢板及型钢的矫正	68
五、钢材矫正方法的选择	70
六、钢材的预处理	70
第二节 画线、放样与下料	71
一、识图与画线	71
二、放样	74
三、号料	75
四、下料	76
五、钢材的边缘加工	80
第三节 弯曲与成形	80
一、弯曲成形	80
二、机械压弯成形	82
三、板材、型材的展开长度计算	82
四、卷板	85
第四节 冲压成形	87
一、压延	87
二、旋压	88
三、爆炸成形	88
综合训练	89
第四章 焊接结构的装配与焊接	
工艺	91
第一节 焊接结构的装配	91

一、装配方式的分类	91
二、装配的基本条件	92
三、定位原理及定位基准	92
四、装配中的测量	93
五、装配用工夹具及设备	97
六、装配的基本方法	100
七、装配工艺过程的制定	104
八、典型结构件的装配	108
第二节 焊接结构的焊接工艺	111
一、制定焊接工艺的原则及内容	111
二、焊接方法、焊接材料及焊接设 备的选择	112
三、焊接参数的选定原则	112
四、焊接热参数的确定	113
五、焊接工艺评定	114
六、典型结构的焊接工艺评定程序	117
综合训练	119

第五章 焊接结构生产工艺规程的

编制	121
第一节 焊接结构的工艺性审查	121
一、焊接结构工艺性审查的目的	121
二、焊接结构工艺性审查的步骤	122
三、焊接结构工艺性审查的内容	122
四、典型焊接结构的工艺性审查	128
第二节 焊接工艺规程	131
一、生产过程与工艺过程	131
二、工艺过程的组成	131
三、工艺规程的概念	132
四、工艺规程的作用	132
第三节 焊接工艺规程的编制	133
一、编制工艺规程的原则	133
二、工艺规程的主要内容	134
三、编制工艺规程的步骤	134
四、工艺文件及工艺规程实例	135
第四节 焊接结构生产工艺过程 分析	140
一、生产纲领对焊接结构工艺过程 分析的影响	140
二、工艺过程分析的方法及内容	141
综合训练	144

第六章 典型焊接结构的生产工艺

第一节 焊接结构制造工艺流程	146
一、板材焊接结构的制造工艺流程	146
二、型材焊接结构的制造工艺流程	149
三、管材焊接结构的制造工艺流程	150
第二节 桥式起重机桥架的生产 工艺	151
一、桥式起重机桥架的组成及主要部件的 结构特点和技术标准	151
二、主梁及端梁的制造工艺	154
三、桥架的装配与焊接工艺	159
第三节 船舶结构的焊接工艺	160
一、船舶结构的类型及特点	160
二、船舶结构的焊接工艺原则	162
三、整体造船中的焊接工艺	165
四、分段造船中的焊接工艺	165
综合训练	170

第七章 装配—焊接工艺装备

第一节 概述	171
一、焊接工装的作用	171
二、焊接工装选用的基本原则	171
三、焊接工装的分类及应用	172
四、焊接工装的组成	173
第二节 焊接工装夹具	174
一、零件在夹具中的定位原理	174
二、常用的定位方法及定位器	175
三、夹紧装置的作用及基本要求	178
四、典型夹紧机构	179
第三节 焊接工装夹具设计的基 本方法	190
一、夹具设计的基本要求	190
二、夹具设计的方法与步骤	191
三、夹具结构的实例分析	196
第四节 焊接变位机械	197
一、焊件变位机械	197
二、焊机变位机械	203
三、焊工变位机械（焊工升降台）	209
综合训练	210

第八章 焊接结构生产的安全技术 212

第一节 焊接结构生产中的安全技术 212

- 一、备料的安全技术 212
- 二、装配中的安全技术 213
- 三、焊接生产中的安全用电 213

第二节 焊接生产中的劳动保护与安全管理 214

- 一、焊接生产中的劳动保护 214
- 二、焊接生产安全管理 216

综合训练 217

参考文献 218

绪 论

学习目标：通过本单元的学习，了解焊接结构的特点、在工业发展中的作用以及焊接结构的生产工艺过程，熟悉本课程的性质和主要内容，明确学习本课程应该达到的能力目标及学习方法等。

1. 焊接结构在工业生产中的应用和特点

(1) 焊接结构的应用及发展 焊接是金属连接的一种工艺方法，也是一门综合性应用技术。

焊接技术历来都是随着科学技术的整体进步而发展和变革的。在 19 世纪初的电气产业革命中，电弧用于焊接，开始了电弧焊的纪元。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，焊接技术更加突出地反映了整个国家的工业生产水平和机械制造水平。

焊接结构是将各种经过轧制的金属材料及铸、锻等坯料采用焊接方法制成能承受一定载荷的金属结构。随着焊接技术的发展和进步，焊接结构的应用越来越广泛，焊接结构几乎渗透到国民经济的各个领域，如工业中的石油与化工机械、重型与矿山机械、起重与吊装设备、冶金建筑、各类锻压机械等；交通运输业中的汽车、船舶、车辆、拖拉机的制造；兵器工业中的常规兵器、火箭、深潜设备；航空航天技术中的人造卫星和载人飞船等。甚至对于许多产品，例如用于核电站的工业设备以及开发海洋资源所必需的海上平台、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，除了采用焊接结构外，难以找到比焊接更好的制造技术，也难以找到比通过焊接工艺保证这些机械结构满足其使用性能要求的更好的其他方法。因此，目前各国的焊接结构用钢量，均已占其钢材消费量的 40% ~ 60%。

(2) 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 通过焊接，可以方便地实现多种不同形状和不同厚度的钢材（或其他金属材料）的连接，甚至可以将不同种类的金属材料，如铸钢件、锻压件连接起来，从而使焊接结构的材料分布更合理，不同性能的材料应用更恰当。

例如大型齿轮轮缘可用高强度的耐磨优质合金钢制造，而其他部分可以通过焊接一般钢材来制造，这样既提高了齿轮的使用性能，又节约了优质钢材，降低了成本。

又如拖拉机的半轴，如图 0-1 所示。其一端有花键孔，如果使用整料就无法采用拉刀加工。若改用拼焊，可先用拉刀将花键孔加工完毕，然后采用焊接技术与另一端焊成一个整体，这样可以简化工艺并提高产品质量。

② 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，能够承受母材所能承受的各种载荷的作用。同时，焊接能保证产品的气密性和水密性要求，这是压力容器在正常工作时不可缺少的重要条件。

③ 焊接结构的零件或部件可以直接通过焊接方法进行连接，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% 左右，如图 0-2 所示。

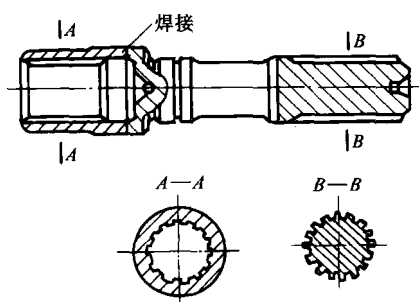


图 0-1 拖拉机半轴

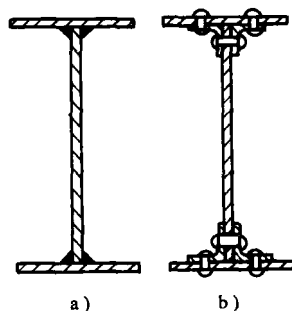


图 0-2 焊接工字钢与铆接工字钢比较

a) 焊接工字钢 b) 铆接工字钢

④ 与其他加工方法相比，焊接结构的生广一般不需要大型、特殊和昂贵的设备，结构生产厂投资少，见效快。同时容易适应不同批量焊接产品的生产，更换产品型号和品种也比较方便。

⑤ 焊接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。这时可以将几何尺寸大、形状复杂的结构分解，对分解后的零件或部件分别进行加工，然后通过总体装配焊接连接成一个整体结构。

⑥ 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 700mm）往往比轧制的型钢成本低。

又如大型锅炉的水冷壁管，如图 0-3 所示。如果采用图 0-3a 所示的无缝钢管 2 加焊板条 3 的方法来制造，往往比用图 0-3b 所示的轧制鳍片管来制造更为经济，因为鳍片管的价格比无缝钢管要高得多。

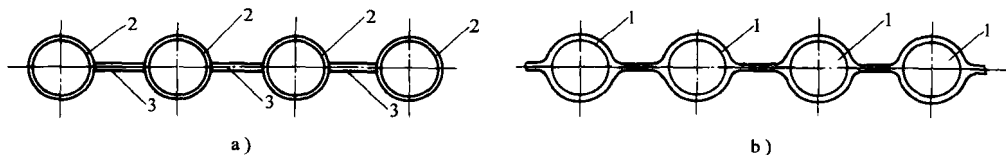


图 0-3 型材与焊接结构的比较

a) 无缝钢管加板条焊接 b) 轧制鳍片管焊接

1—鳍片管 2—无缝钢管 3—板条

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。即具有几何的不均匀性(包括截面的改变和焊接变形);力学的不均匀性(接头形式引起的应力集中和焊接残余应力);化学的不均匀性(成分不均匀)以及金属组织的不均匀性(即金相组织结构不均匀)。

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,采用合适的焊接设备,制定正确的焊接工艺和进行必要的质量检验。

2. 焊接结构的分类

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。

(1) 梁及梁系结构 梁是在一个或两个主平面内承受弯矩的构件。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,桥式起重机桥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。

(3) 桁架结构 桁架结构是承受弯矩并由许多杆件组成的大跨度结构。如用于大跨度的工业和民用建筑、大跨度的桥式起重机、门式起重机等,如图 0-4 所示。

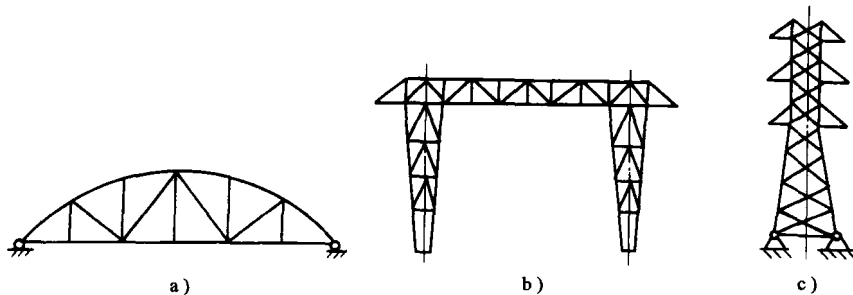


图 0-4 桁架应用实例

a) 厅、堂、馆用大跨度桁架 b) 门式起重机臂架 c) 高压电缆的塔式桁架

(4) 板壳结构 这一类结构主要承受内压或外压载荷。如要求密闭的压力容器、锅炉、

管道、大型储罐和运送液体或液化气体的罐车罐体等。另一类板壳结构主要用作运输装备,如大型船舶的船体、客车车厢和集装箱体等。

(5) 机械结构 机械结构主要包括机械的机身、机座、大型机械零件(如齿轮、滚筒、轴)等。

3. 焊接结构生产工艺过程

焊接结构生产工艺过程,是根据生产任务的性质、产品的图样、技术要求和工厂条件,运用现代焊接技术及相应的金属材料加工和保护技术、无损检测技术来完成焊接结构产品的各个工艺过程。由于焊接结构的技术要求、形状、尺寸和加工设备等条件的差异,使各个工艺过程有一定区别,但从工艺过程中各工序的内容以及相互之间的关系来分析,它们又都有着大致相同的生产步骤,即生产准备、材料加工、装配与焊接和质量检验与安全评定。

(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,生产前需做好以下准备工作:

1) 技术准备。首先研究将要生产的产品清单。因为在清单中按产品结构进行了分类,并注明了该产品的年产量,即生产纲领。生产纲领确定了生产的性质,同时也决定了焊接生产工艺的技术水平。其次研究和审查产品施工图样和技术条件,了解产品的结构特点,进行工艺分析,制定整个焊接结构生产工艺流程,确定技术措施,选择合理的工艺方法,并在此基础上进行必要的工艺试验和工艺评定,最后制定出工艺文件及质量保证文件。

2) 物质准备。根据产品加工和生产工艺要求,订购原材料、焊接材料以及其他辅助材料,并对生产中的焊接工艺设备、其他生产设备和工夹量具进行购置、设计、制造或维修。

(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) 金属材料的预处理。主要包括验收、储存、矫正、除锈、表面保护处理和预落料等工序,其目的是为基本元件的加工提供合格的原材料,并获得优良的焊接产品和稳定的焊接生产过程。

2) 基本元件加工。主要包括画线(号料)、切割(下料)、边缘加工、冷热成形加工、焊前坡口清理等工序。基本元件加工阶段在焊接结构生产中约占全部工作量的40%~60%,因此,制定合理的材料加工工艺,应用先进的加工方法,保证基本元件的加工质量,对提高劳动生产率和保证整个产品质量有着重要的作用。

(3) 装配与焊接 装配与焊接在焊接结构生产中是两个相互联系又有各自加工内容的生产工艺。一般来讲,装配是将加工好的零件,采用适当的加工方法,按照产品图样的要求组装成产品结构的工艺过程。而焊接则是将已装配好的结构,用规定的焊接方法和焊接工艺,使零件牢固连接成一个整体的工艺过程。对于一些比较复杂的焊接结构,总是要通过多次装配、焊接的交叉过程才能完成,甚至某些产品还要在现场进行再次装配和焊接。装配与焊接在整个焊接结构制造过程中占有很重要的地位。

(4) 质量检验与安全评定 在焊接结构生产过程中,产品质量十分重要,因此生产中的各道加工工序中间都采用不同方法进行不同内容的检验。焊接产品的质量包括整体结构质量和焊缝质量,整体结构质量是指结构产品的几何尺寸、形状和性能,而焊缝质量则与结构的强度和安全使用有关。不论采用工序检查还是成品检查,都是对焊接结构生产的有效监督,也是保证焊接结构产品质量的重要手段。

焊接结构的安全性, 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。

图 0-5 所示即是一般焊接结构生产的主要工艺过程。

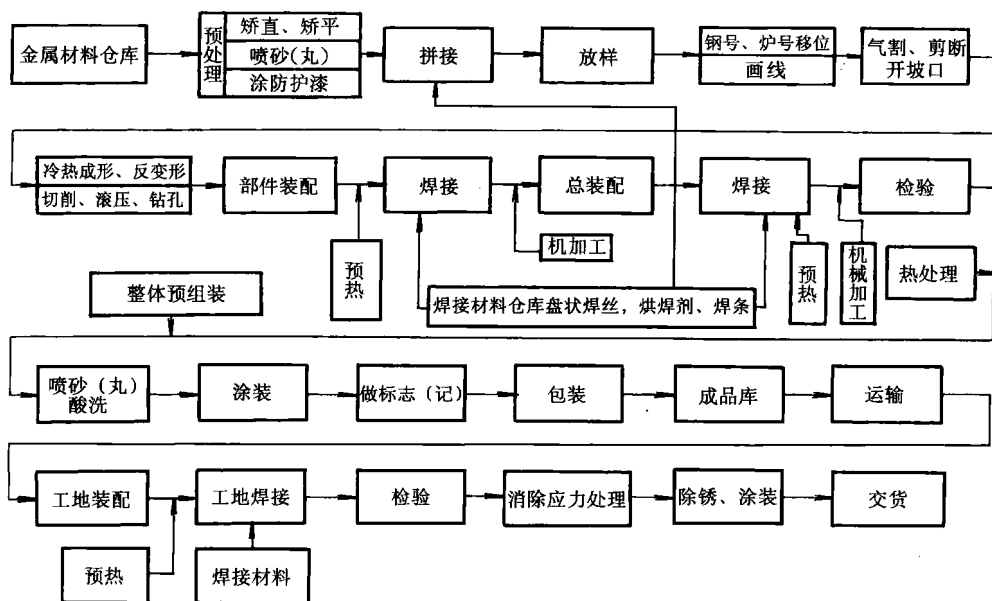


图 0-5 一般焊接结构生产的主要工艺过程

4. 本课程的性质和讲授的主要内容

“焊接结构生产”是高等职业学校焊接技术专业的一门主干课程。它的主要任务是使学生具备焊接生产的基础知识和基本技能, 为今后从事焊接专业或相关专业的的工作打下基础。本书根据课程的教学需要, 编入了焊接结构的基本知识和焊接结构生产工艺过程的专业理论知识, 并以焊接结构、接头形式、焊接变形和焊接应力为基础, 全面介绍了焊接结构零件的加工工艺、装配与焊接工艺及其所用工艺装备、典型产品加工工艺过程、焊接结构生产组织与安全技术等方面的知识。

5. 学习本课程应达到的能力目标

本书是根据高等职业学校焊接技术专业三年制“焊接结构生产”课程的教学大纲编写的, 通过教学, 学习者应达到以下能力目标要求:

- 1) 掌握焊接应力与变形的概念、产生的原因、分布规律以及防止措施, 能对简单的焊接变形进行矫正。
- 2) 了解焊接接头的组成、焊缝的种类以及焊接接头的基本形式, 能够识读焊缝代号和焊接结构图。
- 3) 了解焊接结构生产中常用的备料和成形加工方法, 能够根据产品图样及生产规模分析备料及成形加工工艺, 并会选用相应的焊接设备和工艺装备。
- 4) 具有理解焊接结构的装配—焊接工艺规程的能力。
- 5) 能理解焊接结构的工艺性分析(审查)及典型的焊接工艺规程, 能够对一般焊接结

构进行工艺性分析。

6) 掌握焊接结构生产中常用工艺装备的功用、结构特点、使用范围和使用要求, 并初步具有选用装焊夹具的能力。

7) 了解一般焊接生产安全技术方面的基本知识。

6. 学习本课程的方法和教学建议

“焊接结构生产”是一门实践性很强的专业课程, 学习本课程除了综合应用本专业已经学过的有关知识外, 还应调整和总结自己的学习方法。首先是要注意理论与实践的联系, 在认识理解基础知识的基础上, 善于捕捉焊接结构中的每一个实际问题, 从中学习分析解决工程实际问题的基本方法; 其次, 注意总结焊接结构生产的共同特点和规律, 逐步提高自己的认知水平; 最后, 要特别注意动手能力的训练, 结合实训要求, 广泛参与多种焊接结构的生产实践。

教学过程中, 一是要针对基础知识的教学, 组织学生进行现场参观学习, 或通过多媒体教学手段, 让学生对焊接结构生产的全过程有一定的感性认识; 二是在理论教学中, 根据每一种能力目标要求, 精心进行课堂设计, 加强对学生实践意识和应用能力的培养。除此以外, 还应结合专业知识的教学, 加强与焊接结构有关的新知识、新技术、新工艺和新设备的介绍, 以开阔学生的视野和开发学生的创新思维。

第一章 焊接应力与变形

学习目标：通过本单元的学习，了解有关应力与变形的基础知识，掌握焊接应力与变形产生的原因，熟悉焊接应力的分布规律及焊接变形的种类，掌握控制焊接应力与变形的工艺措施和焊后消除焊接残余应力、矫正焊接变形的办法。

焊接过程中，由于局部高温加热而造成焊件上温度分布不均匀，最终导致在结构内部产生了焊接应力与变形。焊接应力是引起脆性断裂、疲劳断裂、应力腐蚀断裂和失稳破坏的主要原因。另外，焊接变形也使结构的形状和尺寸精度难以达到技术要求，直接影响结构的制造质量和使用性能。

第一节 焊接应力与变形的产生

一、焊接应力与变形的基本知识

1. 焊接变形

物体在外力或温度等因素的作用下，其形状和尺寸发生变化，这种变化称为物体的变形。当使物体产生变形的力或其他因素去除后变形也随之消失，物体可恢复原状，这样的变形称为弹性变形。当外力或其他因素去除后变形仍然存在，物体不能恢复原状，这样的变形称为塑性变形。物体的变形还可按拘束条件分为自由变形和非自由变形。在非自由变形中，有外观变形和内部变形两种。

以一根金属杆的变形为例，当温度为 T_0 时，其长度为 L_0 ，均匀加热，温度上升到 T 时，如果金属杆不受阻，杆的长度会增加至 L ，其长度的改变 $\Delta L_T = L - L_0$ ， ΔL_T 就是自由变形，见图 1-1a。如果金属杆件的伸长受阻，则变形量不能完全表现出来，就是非自由变形。其中，把能表现出来的这部分变形称为外观变形，用 ΔL_e 表示；而未表现出来的变形称为内部变形，用 ΔL 表示。在数值上， $\Delta L = \Delta L_T - \Delta L_e$ ，见图 1-1b。

单位长度的变形量称为变形率，自由变形率用 ε_T 表示，其数学表达式为

$$\varepsilon_T = \Delta L_T / L_0 = \alpha(T - T_0) \quad (1-1)$$

式中 α ——金属的线膨胀系数，它的数值随材料及温度而变化。

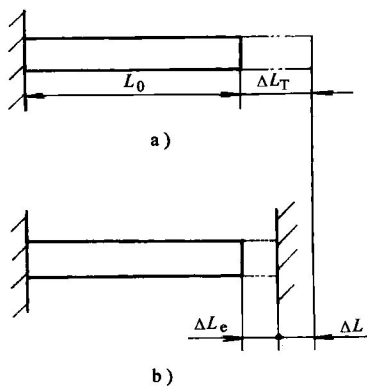


图 1-1 金属杆件的变形
a) 自由变形 b) 非自由变形

外观变形率 ε_e 可用下式表示

$$\varepsilon_e = \Delta L_e / L_0 \quad (1-2)$$

同样, 内部变形率 ε 可用下式表示

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 \quad (1-3)$$

2. 应力

物体受外力作用后所导致物体内部之间的相互作用力称为内力。另外, 在物理、化学或物理化学变化过程中, 如温度、金相组织或化学成分等变化时, 在物体内部也会产生内力。

作用在物体单位面积上的内力叫做应力。

根据引起内力原因的不同, 可将应力分为工作应力和内应力。工作应力是由外力作用于物体而引起的应力; 内应力是由物体的化学成分、金相组织及温度等因素变化, 造成物体内部的不均匀性变形而引起的应力。内应力存在于许多工程结构中, 如铆接结构、铸造结构、焊接结构等。焊接应力就是一种内应力。内应力的显著特点是: 在物体内部, 内应力是自成平衡的, 形成一个平衡力系。

3. 焊接应力与焊接变形

焊接应力是焊接过程中及焊接过程结束后, 存在于焊件中的内应力。由焊接而引起的焊件尺寸的改变称为焊接变形。

二、研究焊接应力与变形的基本假定

金属在焊接过程中, 其物理性能和力学性能都会发生变化, 给焊接应力的认识和确定带来了很大的困难, 为了后面分析问题方便, 对金属材料焊接应力与变形作以下假定:

(1) 平截面假定 假定构件在焊前所取的截面, 焊后仍保持平面。即构件只发生伸长、缩短、弯曲, 其横截面只发生平移或偏转, 截面本身并不变形。

(2) 金属性质不变的假定 假定在焊接过程中材料的某些热物理性质, 如线膨胀系数 (α)、热容 (C)、热导率 (λ) 等均不随温度而变化。

(3) 金属屈服点假定 低碳钢屈服点与温度的实际关系如图 1-2 实线所示, 为了讨论问题的方便, 我们将它简化为图中虚线所示。即在 500 °C 以下, 屈服点与常温下相同, 不随温度而变化; 500 ~ 600 °C 之间, 屈服点迅速下降; 600 °C 以上时呈全塑性状态, 即屈服点为零。我们把材料屈服点为零时的温度称为塑性温度。

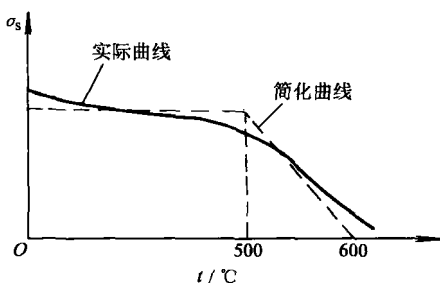


图 1-2 低碳钢的屈服点与温度的关系

(4) 焊接温度场假定 通常将焊接过程中的某一瞬间, 焊接接头中各点的温度分布称为温度场。在焊接热源作用下构件上各点的温度在不断地变化, 可以认为达到某一极限热状态时, 温度场不再改变, 这时的温度场称为极限温度场。

三、焊接应力与变形产生的原因

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度不同所致。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, 下面着重介绍几个主要因素。

1. 焊件的不均匀受热

金属的焊接是一个局部的加热过程，焊件上的温度分布极不均匀，为了便于了解不均匀受热时应力与变形的产生，下面对金属在不同条件下产生的应力与变形进行讨论。

(1) 不受约束的杆件在均匀加热时的应力与变形 根据前面对变形知识的讨论，不受约束的杆件在均匀加热与冷却时，其变形属于自由变形，因此在杆件加热过程中不会产生任何内应力，冷却后也不会有任何残余应力和残余变形。

(2) 受约束的杆件在均匀加热时的应力与变形 根据前面对非自由变形情况的讨论，受约束杆件的变形属于非自由变形，既存在外观变形，也存在内部变形。

如果加热温度较低 ($T < T_s$)，材料处于弹性范围内，则在加热过程中杆件的变形全部为弹性变形，杆件内部存在压应力的作用。当温度恢复到原始温度时，杆件自由收缩到原来的长度，压应力全部消失，既不存在残余变形，也不存在残余应力。我们把压应力达到屈服点 σ_s 时的温度称为屈服点温度 T_s 。

如果加热温度较高，达到或超过材料屈服点温度时 ($T > T_s$)，则杆件中产生压缩塑性变形，内部变形由弹性变形和塑性变形两部分组成，甚至全部由塑性变形组成 ($T > 600\text{ }^{\circ}\text{C}$)。当温度恢复到原始温度时，弹性变形恢复，塑性变形不可恢复，可能出现以下三种情况：①如果杆件能充分自由收缩，那么杆件中只出现残余变形而无残余应力；②如果杆件受绝对拘束，那么杆件中没有残余变形而存在较大的残余应力；③如果杆件收缩不充分，那么杆件中既有残余应力又有残余变形。

实际生产中的焊件，就与上述的第三种情况相同，焊后既有焊接应力存在，又有焊接变形产生。

(3) 长板条中心加热（类似于堆焊）引起的应力与变形 如图 1-3a 所示的长度为 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加热。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。

加热时，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 1-3b 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 1-3c 所示。

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 1-3d 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 1-3e 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。

(4) 长板条一侧加热（相当于板边堆焊）引起的应力与变形 如图 1-4a 所示的材质均匀的钢板，在其上边缘快速加热。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 1-4b 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，因此产生了压缩塑性变形。由于钢板上的温度分布自上而下逐渐降低，因此，钢板产生了向下的弯曲变形，如图 1-4c 所示。

钢板冷却后，各板条的收缩应如图 1-4d 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，所以钢板产生了与加热时相反的残余弯曲变形，如图 1-4e 所示。同时在钢板内产生了如图 1-4e 所示的残余应力，即钢板中部为压应力，钢

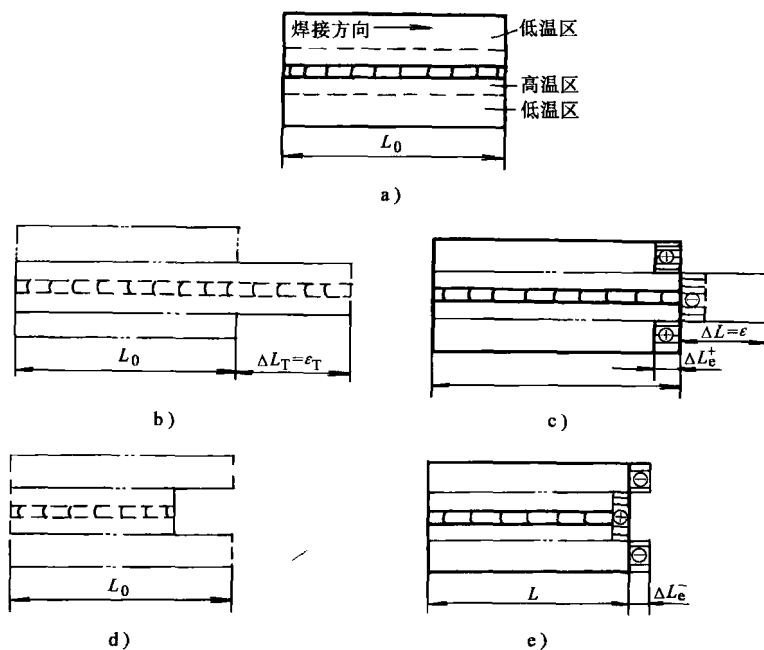


图 1-3 钢板条中心加热和冷却时的应力与变形

a) 原始状态 b)、c) 加热过程 d)、e) 冷却以后

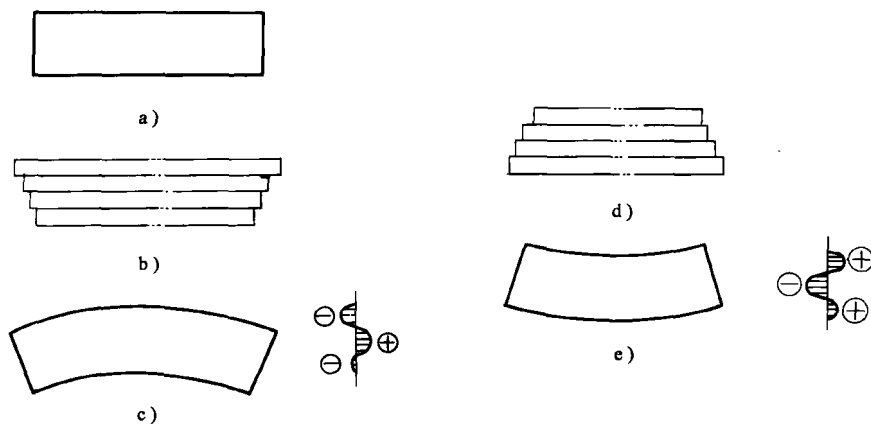


图 1-4 钢板边缘一侧加热和冷却时的应力与变形

a) 原始状态 b) 假设各板条的伸长 c) 加热后的变形

d) 假设各板条的收缩 e) 冷却后的变形

板两侧为拉应力。

由上述讨论可知：

- 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，构件就会产生压缩塑性变形，冷却后，构件必然有残余应力和残余变形。
- 2) 通常，焊接过程中焊件的变形方向与焊后焊件的变形方向相反。
- 3) 焊接加热时，焊缝及其附近区域将产生压缩塑性变形，冷却时压缩塑性变形区要收