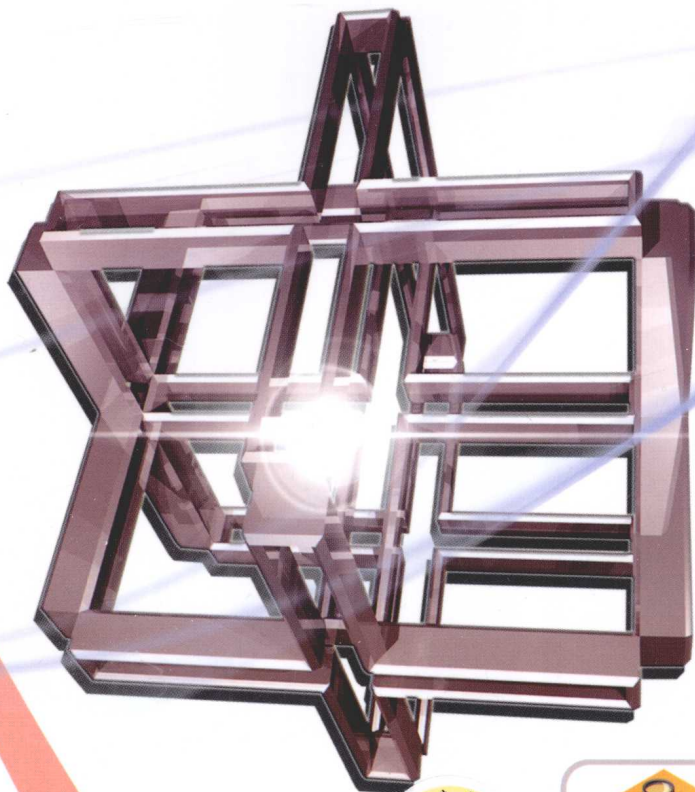




中等职业教育“十一五”规划教材（焊接专业）

焊接结构生产

王云鹏 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



教师免费下载
www.cmpedu.com

赠电子课件

全书共分八个单元,主要内容有焊接应力与变形、焊接接头及工作应力的分布、焊接结构备料及成形加工、焊接结构的装配与焊接工艺、装配—焊接工艺装备、焊接结构工艺分析与工艺编制、典型焊接结构的生产工艺、焊接结构生产的组织与安全技术等。

本书内容旨在突出职业教育特点,理论知识深度适宜,注重工程实用性,论述中以实际应用为着眼点;编写模式新颖,将需要掌握的知识点进行分解,按单元、综合知识模块、能力知识点分层次编写,每个单元开始部分安排有“学习目标”,每个模块末安排有“综合训练”,并兼顾了焊工考证的考点内容,以满足“双证制”教学需要。为便于教学,本书配备了电子教案和习题答案,选择本书作为教材的教师可来电索取(010-88379201),或登录 www.cmpedu.com 网站注册、免费下载。

本书可作为中职、各类成人教育焊接专业教材或培训用书,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

焊接结构生产/王云鹏主编. —北京:机械工业出版社,
2009.4

中等职业教育“十一五”规划教材. 焊接专业
ISBN 978-7-111-26797-3

I 焊… II 王… III 焊接结构—焊接工艺—专业学校—
教材 IV. TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 053785 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:齐志刚 版式设计:张世琴 责任校对:刘志文

封面设计:鞠 杨 责任印制:李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18.75 印张·459 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-26797-3

定价:31.00 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)88379201

封面无防伪标均为盗版

前 言

为了进一步贯彻《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》的文件精神,加强职业教育教材建设,满足职业院校深化教学改革对教材建设的要求,机械工业出版社组织召开了“职业教育焊接专业教材建设研讨会”。在会上,来自全国十多所院校的焊接专业专家、一线骨干教师研讨了在新的职业教育形势下焊接专业的课程体系,确定了面向中职、高职层次两个系列教材的编写计划。本书是根据会议所确定的教学大纲和中等职业教育培养目标组织编写的。

本书具有以下特点:第一,注重在理论知识、素质、技能等方面对学生进行全面的培养,掌握操作要领和安全技术;第二,注重新知识、新工艺、新标准等内容的介绍;第三,做到图解丰富、直观,内容通俗易懂;第四,编写模式新颖,将需要掌握的知识点进行分解,按单元、综合知识模块、能力知识点作为层次进行编写,每单元开始部分安排有“学习目标”,模块末安排有“综合训练”,各单元中穿插“想一想”、“小知识”等内容,引导学生积极思考。为便于教学,本书配备了电子教案和习题答案,选择本书作为教材的教师可来电索取(010-88379201),或登录 www.cmpedu.com 网站注册、免费下载。

本书由王云鹏(绪论,第一、二、三、四、八单元)、王静(第五、七单元)、王承辉(第六单元)共同编写;王云鹏任主编,由付书林主审。

本书编写过程中,得到了参编、参审单位以及许多学校和工厂有关人员的大力支持和热情帮助,并为本书提供了资料,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中一定存在错误和不妥之处,恳请使用本书的教师和广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

绪论 1

第一单元 焊接应力与变形 4

综合知识模块一 焊接应力与变形的

概念 4

能力知识点 1 应力与变形的基本知识 ... 4

能力知识点 2 焊接应力与变形产生的原因 5

能力知识点 3 焊接应力与变形对焊接结构的影响 7

【综合训练】 8

综合知识模块二 焊接残余变形 9

能力知识点 1 焊接残余变形的基本形式 9

能力知识点 2 控制焊接残余变形的工艺措施 14

能力知识点 3 矫正焊接残余变形的的方法 20

【综合训练】 23

综合知识模块三 焊接残余应力 24

能力知识点 1 焊接残余应力的分类 24

能力知识点 2 焊接残余应力的分布 25

能力知识点 3 控制焊接残余应力的措施 26

能力知识点 4 消除焊接残余应力的方法 29

能力知识点 5 焊接残余应力的测定 31

【综合训练】 32

第二单元 焊接接头及工作应力的分布 ... 36

综合知识模块一 焊接接头的基本

知识 36

能力知识点 1 焊接接头的组成与基本形式 36

能力知识点 2 电弧焊焊缝与坡口基本形式 40

能力知识点 3 焊缝符号 42

【综合训练】 50

综合知识模块二 常用焊接接头的工作

应力分布 51

能力知识点 1 应力集中 51

能力知识点 2 电弧焊接头的工作应力分布 51

能力知识点 3 电阻焊接头的工作应力分布 54

【综合训练】 55

综合知识模块三 焊接接头的静载

强度 55

能力知识点 1 焊接接头的设计 55

能力知识点 2 焊缝许用应力 58

能力知识点 3 电弧焊接头的静载强度计算 59

能力知识点 4 点焊接头静载强度计算 ... 66

【综合训练】 68

综合知识模块四 焊接结构的脆性

断裂与疲劳破坏 ... 69

能力知识点 1 焊接结构的脆性断裂 69

能力知识点 2 焊接结构的疲劳破坏 71

【综合训练】 72

第三单元 焊接结构备料及成形加工 ... 73

综合知识模块一 焊接结构概述 73

能力知识点 1 焊接结构的基本构件 73

能力知识点 2 焊接结构生产工艺过程 ... 78

【综合训练】 80

综合知识模块二 钢材的矫正及

预处理 80

能力知识点 1 钢材变形的原因 80

能力知识点 2 钢材的矫正原理和方法 ... 81

能力知识点 3 钢材的预处理 89

【综合训练】 90



综合知识模块三 划线、放样与 下料	90	能力知识点 5 焊接工艺评定	142
能力知识点 1 识图与划线	90	【综合训练】	144
能力知识点 2 放样与展开	94	第五单元 装配—焊接工艺装备	146
能力知识点 3 下料	101	综合知识模块一 焊接工装概述	146
能力知识点 4 坯料的边缘加工	105	能力知识点 1 焊接工装的作用与 分类	146
【综合训练】	107	能力知识点 2 焊接工装的基本组成	147
综合知识模块四 弯曲与成形	108	【综合训练】	147
能力知识点 1 弯曲成形	108	综合知识模块二 装配—焊接夹具	148
能力知识点 2 压弯与卷弯成形	109	能力知识点 1 焊件的定位及定位器	148
能力知识点 3 板材、型材展开长度 计算	111	能力知识点 2 焊件在夹紧机构中 夹紧	151
【综合训练】	114	【综合训练】	160
综合知识模块五 拉延和旋压	115	综合知识模块三 装配—焊接夹具 设计的基本知识	161
能力知识点 1 拉延	115	能力知识点 1 夹具设计的基本要求 与依据	161
能力知识点 2 旋压	116	能力知识点 2 夹具设计的内容与 步骤	162
能力知识点 3 爆炸成形	116	能力知识点 3 夹具制造精度	165
【综合训练】	117	能力知识点 4 夹具结构工艺性	166
第四单元 焊接结构的装配与 焊接工艺	118	能力知识点 5 夹具结构实例分析	167
综合知识模块一 焊接结构的装配 工艺	118	【综合训练】	168
能力知识点 1 装配基本条件及装配 基准	118	综合知识模块四 焊接变位机械	169
能力知识点 2 装配用量具与 设备	120	能力知识点 1 焊件变位机械	169
能力知识点 3 装配中的测量	124	能力知识点 2 焊机变位机械	175
能力知识点 4 焊接结构的装配工艺	127	能力知识点 3 焊工变位机械	178
能力知识点 5 装配基本方法	129	能力知识点 4 焊接变位机械的 组合应用	179
能力知识点 6 典型结构的装配工艺	133	【综合训练】	180
【综合训练】	136	综合知识模块五 其他装置与装备	181
综合知识模块二 焊接结构的焊接 工艺	137	能力知识点 1 装焊吊具	181
能力知识点 1 焊接工艺制订的原则 和内容	137	能力知识点 2 焊接机器人简介	183
能力知识点 2 焊接工艺方法的选择	138	【综合训练】	187
能力知识点 3 焊接参数的选定	141	第六单元 焊接结构工艺分析与 工艺编制	188
能力知识点 4 确定合理的焊接热 参数	141	综合知识模块一 焊接结构工艺性分 析的目的与步骤	188
		能力知识点 1 焊接结构工艺性分析	



的目的	188	能力知识点 2 主梁及端梁的制造	
能力知识点 2 焊接结构工艺性分析		工艺	241
的步骤	189	能力知识点 3 桥架的装配与焊接	
【综合训练】	191	工艺	248
综合知识模块二 焊接结构工艺性		【综合训练】	249
分析的内容	192	综合知识模块二 压力容器的生产	
能力知识点 1 从减小焊接应力与变形的		工艺	250
角度分析结构的合理性	192	能力知识点 1 压力容器的基本知识	250
能力知识点 2 从降低应力集中的角度		能力知识点 2 中、低压压力容器的	
分析结构的合理性	194	制造工艺	256
能力知识点 3 从焊接生产工艺性的角度		能力知识点 3 高压容器的制造工艺	
分析结构的合理性	197	特点	261
能力知识点 4 从焊接生产经济性的角度		【综合训练】	261
分析结构的合理性	201	综合知识模块三 船舶及舾装件的	
【综合训练】	206	生产工艺	263
综合知识模块三 典型焊接结构工艺		能力知识点 1 船体结构的类型及	
性分析	207	特点	263
能力知识点 1 轮的结构工艺性分析	207	能力知识点 2 船舶结构焊接的基本	
能力知识点 2 型钢桁架的结构工艺性		原则	264
分析	210	能力知识点 3 整体造船中的焊接	
【综合训练】	214	工艺	267
综合知识模块四 焊接结构生产工艺		能力知识点 4 分段造船中的焊接	
规程的基本知识	214	工艺	268
能力知识点 1 生产过程和工艺过程	215	【综合训练】	269
能力知识点 2 工艺过程的组成	216	第八单元 焊接结构生产的组织与	
【综合训练】	217	安全技术	272
综合知识模块五 焊接结构工艺规		综合知识模块一 焊接车间的组织	
程的编制	217	与管理	272
能力知识点 1 焊接工艺规程的作用	218	能力知识点 1 焊接车间的组织形式	272
能力知识点 2 编制工艺规程的依据	219	能力知识点 2 焊接车间的生产管理	275
能力知识点 3 编制工艺规程的步骤	220	【综合训练】	276
能力知识点 4 焊接工艺规程的编制内容		综合知识模块二 焊接结构车间及	
与要求	230	平面布置	277
【综合训练】	235	能力知识点 1 焊接结构车间的	
第七单元 典型焊接结构的生产工艺	237	厂房建筑	277
综合知识模块一 桥式起重机桥架的		能力知识点 2 焊接车间的类型与	
生产工艺	237	组成	277
能力知识点 1 桥式起重机的组成、主要		能力知识点 3 焊接车间平面布置	
部件的结构特点及技术		基本知识	278
标准	237	能力知识点 4 车间平面布置举例	280



【综合训练】	283	能力知识点 2 焊接生产中的劳动	
综合知识模块三 焊接生产中的劳动		保护	284
保护与安全	283	能力知识点 3 焊接生产中的安全	287
能力知识点 1 焊接清洁生产的内容		【综合训练】	288
与现状	283	参考文献	289

绪 论

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。

焊接结构是将各种经过轧制的金属材料及铸、锻件等坯料采用焊接方法制成能承受一定载荷的金属结构。

1. 焊接结构的应用与发展

焊接结构的应用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，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，也难以找到比只有通过焊接工艺才能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。例如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。

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，开始了电弧焊的新纪元。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。

一个国家焊接结构用钢量的多少，在一定意义上能说明其工业化的先进程度。在先进的工业国中，焊接结构产品的用钢量已达到总用钢量的 50% 以上，我国现已达到 40%~45%。我国 2005 年钢产量达 3.4 亿 t，已成为世界第一钢铁大国，同时也成为焊接结构(主要是钢结构)制造大国。随着改革开放和世界经济一体化进程的加快，我国焊接结构制造所用钢材越来越多。表 0-1 为 2005 年我国 6 个与焊接相关的行业用钢量统计表，可见焊接结构生产制造任务的艰巨性。为了制造如此庞大数量的焊接结构产品，需要建立大量专门制造焊接结构的工厂(例如集装箱制造厂、压力容器制造厂等)，而在更多的工厂(例如锅炉厂、起重机厂、造船厂)中均设有焊接车间，并且是工厂的主要生产车间。焊接车间完成任务的好坏，直接关系到整个工厂的经济效益和产品质量的优劣。

表 0-1 2005 年 6 行业用钢统计表

(单位:万 t)

建筑	机械制造	汽车	造船	石油和天然气 (管线钢)	集装箱
19793	4000	1429	422	480 (360)	500

2. 焊接结构的特点

焊接结构具有一系列优点，主要表现在以下几个方面：



1) 通过焊接, 可将多种不同形状与厚度的钢材(或其他金属材料)连接起来, 也可将不同类型金属材料(铸钢件、锻压件等)连接起来。与铸造结构相比, 焊接结构件的过载能力和承受冲击载荷能力较强, 从而使焊接结构的材料分布、性能的匹配更合理。

2) 焊接是一种金属原子间的连接, 刚性大、整体性好。焊接接头的强度、刚度一般可达到与母材相等或相近, 能够承受基体金属所能承受的各种载荷的作用。同时, 采用焊接能使结构有很好的气密性和水密性, 这是储罐、压力容器、船壳等结构必备的性能。

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, 相对铆接结构其接头效能较高, 相同结构的质量可减轻 10%~20%。以焊代铸或以焊代锻, 将铸造、锻造结构改为焊接结构或铸-焊、锻-焊联合结构, 节约了基建投资, 可以取得较大的经济效益。

4) 与其他加工方法相比, 生产焊接结构一般不需要大型、贵重的设备, 因而兴建焊接结构制造厂(车间)时, 设备投资较少, 投产快, 对产品的生产规模适应性强, 而且更换产品规格、品种也较方便。

5) 焊接特别适用于几何尺寸大而材料分散的制品, 可将大型、复杂的结构分解为许多小零件或部件分期加工, 然后通过焊接连成整个结构, “以小拼大”, 解决其他加工方法难于制造乃至无法加工的机器结构, 这是解决大型、复杂结构件加工的一个重要途径。

焊接结构的不足之处大多反映在焊接接头上的问题, 主要有以下几方面:

1) 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, 这不仅影响结构的外形和尺寸, 在一定条件下, 还将影响结构的承载能力, 如强度和刚度。对焊后加工也带来一些问题, 如尺寸的稳定性和加工精度等, 同时还是导致焊接缺陷的重要原因之一。

2) 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。

3) 焊接会改变材料的局部性能, 使焊接接头附近变为一个不均匀体, 即具有几何不均匀性(包括截面的改变和焊接变形)、力学不均匀性(接头形式引起的应力集中和焊接残余应力)、化学不均匀性(成分不均匀)以及金属组织的不均匀性。

为了设计和制造出优质的焊接接头, 关键要做到以下几点:

- 1) 合理的结构设计, 正确的材料选择。
- 2) 采用适宜的焊接设备和制订正确的焊接工艺。
- 3) 良好的焊接技艺以及严格的质量控制。

3. 本书讲授的主要内容

“焊接结构生产”是焊接专业的主干专业课程之一。根据中等职业教育的培养目标和学生的知识水平, 本课程的教学需要, 本书编入了焊接结构和生产工艺过程的基本理论知识, 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。

4. 学习本课程应达到的能力目标

本书是根据教育部颁布的中等职业学校焊接专业“焊接结构生产”课程的教学大纲编写的, 通过本教材的教学, 学习者应达到以下能力目标要求:



1) 初步掌握焊接应力与变形产生的原因以及控制、减小和消除焊接应力与变形的工艺要点。

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) 了解焊接结构制造的一般工艺流程,能够根据产品图样、技术要求和生产性质,合理选用相应的焊接设备和工艺装备。

4) 了解焊接结构生产中常用工装夹具的结构特点、适用范围和使用要求。

5) 了解一般焊接生产车间的平面布置、生产组织管理及安全生产方面的基本知识。

5. 学习方法与教学法建议

“焊接结构生产”是一门实践性较强的专业课程,要注意理论联系实际,善于综合运用基础课及专业课程多方面的知识去认识和分析焊接结构的每一个实际问题。教学过程中,既要针对基础知识的教学,组织学生进行现场参观教学,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,又要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;还要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。

第一单元 焊接应力与变形

【学习目标】 了解焊接应力与变形的基本概念及其产生原因；熟悉焊接变形的种类；掌握控制焊接变形的工艺措施和焊后如何矫正焊接变形；了解焊接应力的分布规律；掌握控制焊接应力的工艺措施和焊后如何消除或减小焊接残余应力的方法。

综合知识模块一 焊接应力与变形的概念

能力知识点 1

应力与变形的基本知识

1. 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。若使物体产生变形的外力或温度等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。当外力或温度等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。物体的变形还可分为自由变形和非自由变形。在非自由变形中，又存在外观变形和内部变形两种。

2. 应力

存在于物体内部的、受外力作用或其他因素影响引起物体内部之间相互作用的力，叫做内力。物体单位截面积上的内力叫做应力。根据引起内力的原因不同，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。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。

变形和应力通常是同时并存于物体内部的，下面以一根室温下长度为 L_0 的金属杆件受到均匀加热和冷却时的变化为例，分析变形和内应力产生的原理。不受约束的杆件在温度发生变化时，其变形属于自由变形，自由变形量用 ΔL_t 表示(图 1-1a)。受约束的杆件的变形属

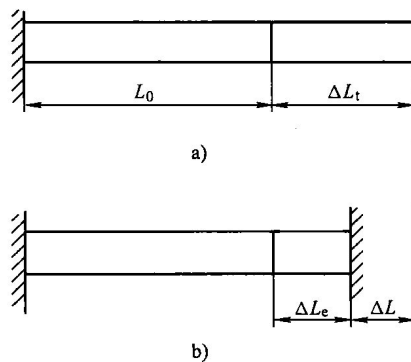


图 1-1 金属杆件的变形
a) 自由变形 b) 非自由变形



于非自由变形,即存在外观变形,外观变形量用 ΔL_e 表示。也存在内部变形,内部变形量用 ΔL_i 表示(图 1-1b)。

当加热温度超过材料屈服强度温度时,杆件中将产生压缩塑性变形,冷却收缩时,弹性变形恢复,塑性变形不可恢复,则可能出现以下三种情况:

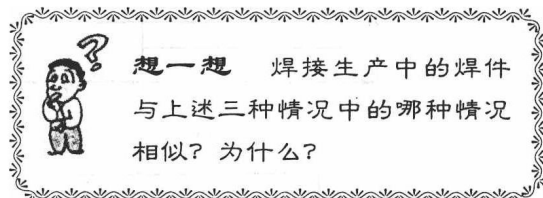
- 1) 如果杆件能充分自由收缩,那么杆件中只出现残余变形而无残余应力。
- 2) 如果杆件受绝对拘束,那么杆件中没有残余变形而存在较大的残余应力。
- 3) 如果杆件收缩不充分,那么杆件中既有残余应力又有残余变形。

3. 焊接应力与焊接变形

焊接时,加热是通过移动的高温电弧热源进行的,焊缝和焊缝附近的金属温度很高,受热金属要膨胀。其余大部分金属不受热,金属不膨胀,相当于刚性固定。于是,受热金属的膨胀受到阻碍和抑制,产生了压缩塑性变形。

焊完冷却后,焊缝和焊缝附近的金属因收缩而变短,却又受到周围未受热金属的限制,就使焊件产生了内应力,以致产生变形。

焊接应力是在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和形状的改变称为焊接变形。



能力知识点 2

焊接应力与变形产生的原因

焊件局部(焊缝和焊缝附近的金属)不均匀加热和冷却是产生焊接应力与变形的根本原因。另外,焊缝及热影响区金属的收缩、金属内部晶粒组织的转变以及焊件的刚性不同等因素对焊接应力与变形的产生都具有一定的影响。下面着重介绍几个主要因素。

1. 焊件的不均匀受热

为了便于了解不均匀受热时应力与变形的产生,下面对不同条件下产生的应力与变形进行分析。

(1) 钢板条中心堆焊引起的应力与变形 以长度为 L_0 、厚度为 δ 的低碳钢长板条为例,在其中间沿长度方向上进行堆焊。为简化分析,将板条上的温度分为两种,中间为高温区,两边为低温区,各区温度均匀一致(图 1-2a)。

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(图 1-2b),但实际上板条是一个整体,所以板条将整体伸长,在低温区的阻碍作用下,高温区内将产生较大的压缩塑性变形。此时,高温区为压应力状态,两侧低温区为拉应力状态(图 1-2c)。

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(图 1-2d)。因为板条是一个整体,所以板条将整体缩短,这就是板条的残余变形(图 1-2e)。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。

(2) 钢板条一侧边堆焊引起的应力与变形 如图 1-3a 所示的低碳钢板,在其上边缘沿板长进行堆焊。假设钢板由许多互不相连的窄条组成,则各窄条在焊接时将按温度高低而伸长(图 1-3b)。但实际上,板条是一整体,各板条之间是互相牵连、互相影响的,堆焊部分

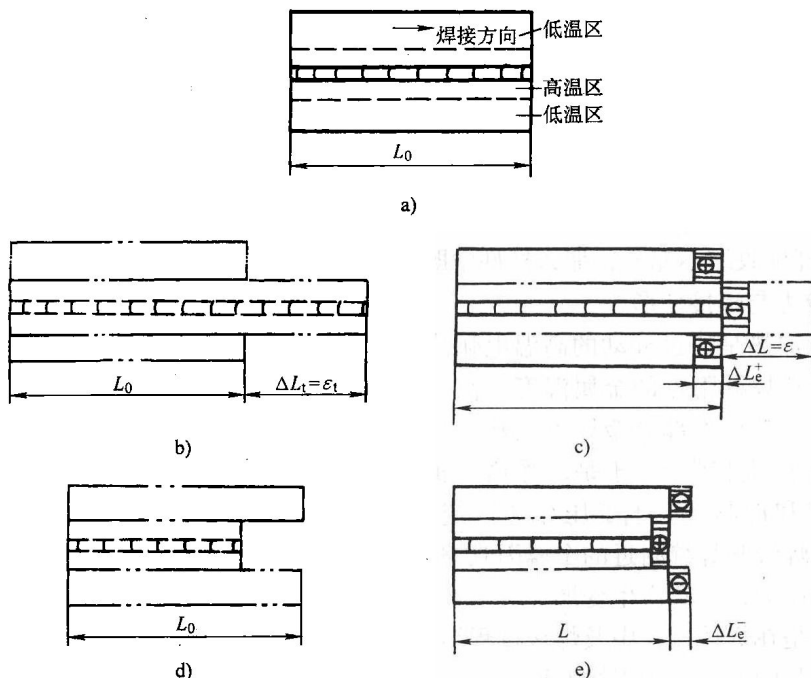


图 1-2 钢板条中心堆焊的应力与变形

a) 原始状态 b)、c) 焊接过程 d)、e) 冷却以后

的金属因受未加热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是自高温至低温逐渐降低，因此，钢板产生了向下的弯曲变形(图 1-3c)。

钢板冷却时，各板条的收缩应如图 1-3d 所示。因为钢板是一个整体，低温部分金属将对高温部分金属的收缩起到阻碍作用，所以钢板产生了与加热时相反的残余弯曲变形(图 1-3e)。同时在钢板内产生了残余应力，即钢板中部为压应力，钢板两侧为拉应力。

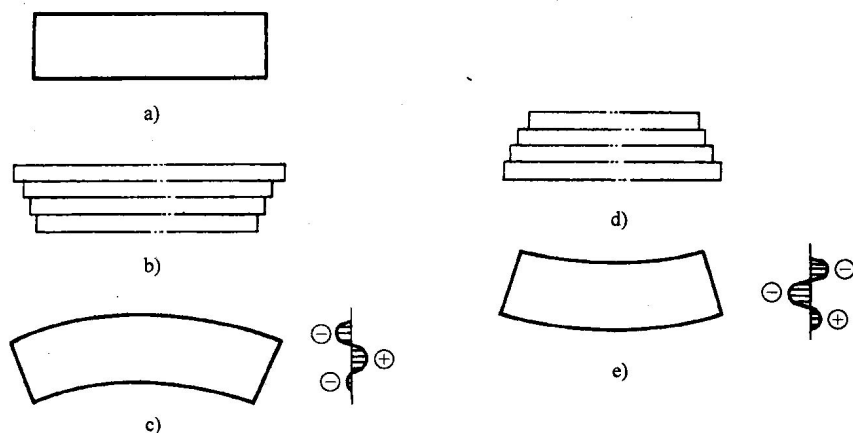


图 1-3 钢板条一侧边加热和冷却时的应力与变形

a) 原始状态 b) 假设各板条的伸长

c) 加热后的变形及应力 d) 假设各板条的收缩 e) 冷却以后的变形及应力



由上述分析可知,对构件进行不均匀加热,在加热过程中,只要加热温度高于材料屈服强度的温度,冷却后,构件必然有残余应力和残余变形。

2. 焊缝金属的收缩

焊接时,低碳钢熔池的平均温度达到 1700°C 以上,熔池周围温度迅速递减(图 1-4)。

焊缝金属冷却时,当它由液态转为固态,其体积要收缩。由于焊缝金属与母材是紧密联系的,因此,焊缝金属并不能自由收缩。这将引起整个焊件的变形,同时在焊缝中引起残余应力。

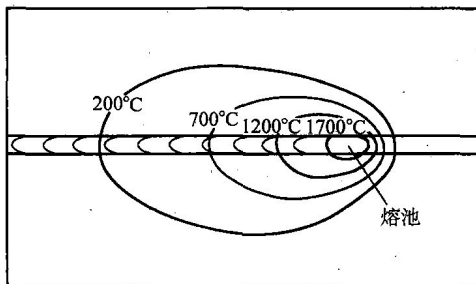


图 1-4 焊件上的温度分布

3. 金属组织的变化

钢在加热及冷却过程中发生相变,可得到不同的组织,这些组织的比体积也不一样,由此也会造成焊接应力与变形。钢中常见组织的比体积见表 1-1。

表 1-1 钢中常见组织的比体积

(单位: cm^3/g)

组织	奥氏体	铁素体	珠光体	渗碳体	马氏体
比体积	0.123 ~ 0.125	0.127	0.1286	0.130	0.127 ~ 0.131

4. 焊件的刚性和拘束

焊件的刚性和拘束对焊接应力和变形也有较大的影响。刚性是指焊件抵抗变形的能力;而拘束是焊件周围物体(如工装夹具)对焊件变形的约束。刚性是焊件本身的性能,它与焊件材质、焊件截面形状和尺寸等有关,而拘束是一种外部条件。焊件自身的刚性及受周围的拘束程度越大,焊接变形越小,焊接应力越大;反之,焊件自身的刚性及受周围的拘束程度越小,则焊接变形越大,而焊接应力越小。



想一想 一条焊缝是逐步形成的,先焊完的焊缝对后焊完的焊缝的收缩有什么影响?

能力知识点 3

焊接应力与变形对焊接结构的影响

1. 焊接应力的影响

焊接应力对焊接结构的影响主要可以从以下几个方面考虑。

(1) 对结构强度的影响 没有严重应力集中的焊接结构,只要材料具有一定的塑性变形能力,焊接内应力对结构强度影响较小。但当材料处在脆性状态时,在结构应力集中或刚性拘束较大部位,存在着拉伸残余应力。这种残余应力导致产生裂纹并使裂纹迅速发展,最后使结构发生断裂破坏。

(2) 对焊件加工尺寸精度的影响 焊件中的内应力在机械加工时,因一部分金属从焊件上被切除而破坏了它原来的平衡状态,于是内应力重新分布以达到新的平衡,同时产生了变形,影响了加工精度。如图 1-5 所示为在 T 形焊件上加工一平面时的情况,当切削加工结



束后松开加压板, 工件会产生上挠变形。为了保证加工精度, 应对焊件先进行消除应力处理, 再进行机械加工。

(3) 对结构稳定性的影响 焊接工字梁或焊接箱形梁时, 腹板的中心部位存在较大的压应力, 这种压应力的存在, 往往会导致高大梁结构的局部或整体的失稳, 产生波浪变形。

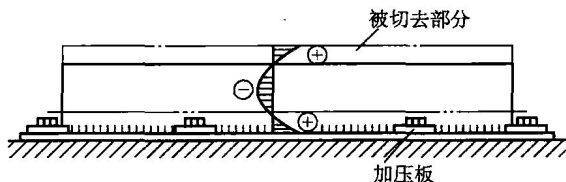


图 1-5 机械加工引起内应力释放和变形

焊接残余应力除了对上述的结构强度、加工尺寸精度以及对结构稳定性的影响外, 还对结构的刚度、疲劳强度及应力腐蚀开裂有不同程度的影响。因此, 为了保证焊接结构具有良好的使用性能, 必须设法在焊接过程中控制焊接残余应力, 有些重要的结构, 焊后还必须采取措施消除或减小焊接残余应力。



资料卡 应力腐蚀破坏是危害最大的一种灾难性腐蚀, 会在事先不易察觉的情况下使金属结构突然破坏, 引起各种不幸事故。如美国西弗吉尼亚州和俄亥俄州之间的一座桥梁, 于 1967 年 12 月的一天突然塌陷, 当时正在过桥的车辆连同行人坠入河中, 死亡 46 人。又如北京某厂用 8mm 厚的 Q345 (16Mn) 钢板制作了一台 $\phi 2500\text{mm} \times 5070\text{mm}$ 的 NaOH 储罐, 使用仅 32 天就发生了破裂, 经多次补焊, 越补越裂, 最后报废。此外, 应力腐蚀和腐蚀疲劳破坏在海洋平台、导管架、船舶、建筑物及核容器等上都会经常发生。因此, 应力腐蚀破坏也应是我們高度重视的问题之一。

2. 焊接变形的影响

焊接变形对焊接结构的影响主要可以从以下几个方面考虑。

(1) 降低装配质量 零件或部件的焊接变形, 如筒体纵缝横向收缩, 与封头装配时就会发生错边, 造成装配困难。错边量大的焊件, 在外力作用下将产生应力集中和附加应力, 使结构安全性下降。

(2) 增加制造成本、降低接头性能 焊件过大的变形需要进行矫正才能组装, 因此, 导致生产率下降、成本增加。冷矫形会使材料发生冷作硬化, 使塑性下降。

(3) 降低结构承载能力 由焊接变形产生的附加应力会使结构的实际承载能力下降。

实际生产中, 必须设法控制焊接变形, 使变形控制在技术要求所允许的范围之内。

【综合训练】



一、理论部分

(一) 判断题(对画√, 错画×)

1. 焊接变形和焊接应力都是由焊接时局部的不均匀加热引起的。 ()
2. 当焊件拘束度较小时, 冷却时能够比较自由地收缩, 则焊接变形较大, 而焊接残余应力较小。 ()



3. 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称为内应力。()

(二) 选择题

1. 焊接过程中焊件变形方向与焊接结束后变形方向()。
A. 相同 B. 相反 C. 相同或相反
2. 焊接结束后焊缝区的残余应力为()。
A. 残余拉应力 B. 残余压应力 C. 不存在残余拉、压应力

(三) 简答题

1. 产生应力与变形的主要原因有哪些方面?
2. 简述焊接应力对焊接结构的影响。
3. 简述焊接变形对焊接结构的影响。

二、实践部分

通过现场教学观察焊接生产中焊件的变形。

综合知识模块二 焊接残余变形

能力知识点 1

焊接残余变形的基本形式

焊接残余变形在焊接结构中的分布是很复杂的。按变形对整个焊接结构的影响程度,可将焊接残余变形分为局部变形(指结构的某一部分发生的变形)和整体变形(指整个结构的形状和尺寸发生变化);按照变形的外观形态来分,可将焊接残余变形分为如图 1-6 所示的 5 种基本变形形式,即收缩变形、角变形、弯曲变形、波浪变形和扭曲变形。下面,将分别讨论各种变形的形成规律和影响因素。

1. 收缩变形

焊件尺寸比焊前缩短的现象称为收缩变形,分为纵向收缩变形和横向收缩变形,如图 1-7 所示。

(1) 纵向收缩变形 纵向收缩变形是指焊件沿平行于焊缝方向上尺寸的缩短。这是由于焊缝及其附近区域在焊接高温的作用下产生纵向的压缩塑性变形,焊后这个区域要收缩,便引起了焊件的纵向收缩变形。纵向收缩变形量 Δx 的大小主要取决于焊缝长度、焊件的截面积等因素。焊缝的长度越长,纵向收缩量越大;焊件截面积越大,焊件的纵向收缩量越小。从这个角度考虑,在受力不大的焊接结构内,采用间断焊缝代替连续焊缝,是减小焊件纵向收缩变形的有效措施。

另外,焊件材料的线膨胀系数对纵向收缩量也有一定的影响,线膨胀系数大的材料,焊后纵向收缩量大,如不锈钢和铝比碳钢焊件的收缩量大。对于截面相同的焊缝,采用多层焊引起的纵向收缩量比单层焊小,如第二层的收缩量约是第一层收缩量的 20%,第三层的收缩量约是第一层收缩量的 5%~10%。可见,分的层数越多,每层的线能量越小,纵向收缩量就越小。表 1-2 列出了中等厚度低碳钢钢板对接焊缝和角焊缝纵向收缩量的近似值,供参考。

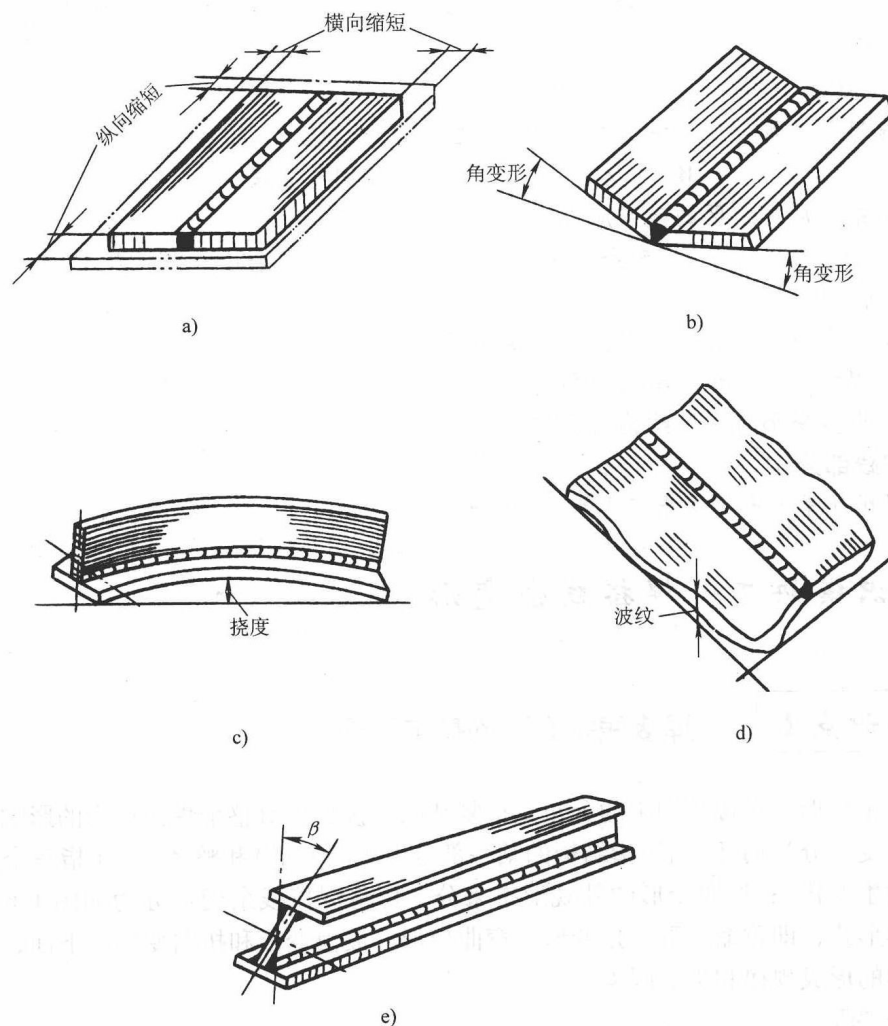


图 1-6 焊接变形的形式

a) 收缩变形 b) 角变形 c) 弯曲变形 d) 波浪变形 e) 扭曲变形

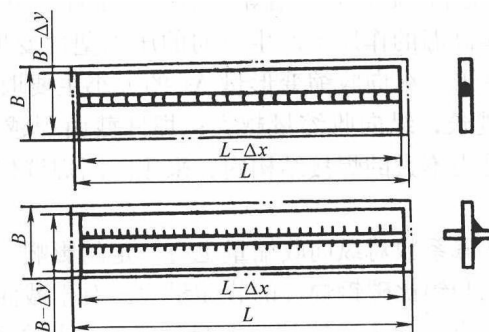


图 1-7 纵向和横向收缩变形