

21 世纪高职高专规划教材·机电类

焊 接 结 构 制 造

主 编 孙爱芳 吴金杰

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书为 2006 年度河南省高等学校青年骨干教师资助计划项目成果教材, 是根据“高职高专焊接专业人才培养目标及基本规格”的要求, 并结合编者在焊接生产中的工作和教学经验编写的。本书围绕焊接结构生产工艺, 分别介绍了焊接应力与变形、焊接结构制造工艺设计、焊接结构零件加工、焊接工装夹具和焊接变位机械、典型焊接结构的制造、焊接生产的质量保证体系、焊接安全生产与安全防护等相关内容。

本书可作为高职、高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院焊接专业的教材, 也可作为从事焊接工作的技术人员和操作人员的培训教材, 还可供有关技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

焊接结构制造/孙爱芳, 吴金杰主编. —北京: 北京理工大学出版社,
2007. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1086 - 7

I . 焊… II . ①孙… ②吴… III . 焊接结构 - 高等学校 - 教材
IV . TG403

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 105196 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http: //www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 15. 75

字 数 / 321 千字

版 次 / 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 4000 册

定 价 / 25. 00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 周瑞红

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

本书为 2006 年度河南省高等学校青年骨干教师资助计划项目成果教材，是根据“高职高专焊接专业人才培养目标及基本规格”的要求，并结合编者在焊接生产中的工作和教学经验编写的。

本书完全面向生产第一线所需要的应用性技术人才的工程素质培养要求，面向市场经济条件下制造业对焊接专业技术人员的知识、技能的需要，在全书的内容组织上紧密结合焊接专业技术岗位特点，接近生产实际，具有示范性。本书可作为高职、高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院焊接专业的教材，也可作为从事焊接工作的技术人员和操作人员的培训教材，还可供有关技术人员参考。

本书围绕焊接结构生产工艺，分别介绍了焊接应力与变形、焊接结构制造工艺设计、焊接结构零件加工、焊接工装夹具和焊接变位机械、典型焊接结构的制造、焊接生产的质量保证体系、焊接安全生产与安全防护等相关内容。在焊接结构基础理论知识部分（第一章），本着“必需、够用”为度，进行了精选和整合，重点从本质方面介绍了焊接应力和变形产生的原因，并介绍了减小和消除焊接应力和变形的措施，力争做到易懂、好学，学以致用。焊接结构的制造是本书的重点，包括第二、三、四、五章。在本部分以应用为主重点介绍了焊接工艺的制定；焊接工艺评定的一般知识；焊接结构的放样、号料、下料、坡口加工、成形方法等冷作方面的内容；介绍焊接生产中常用的焊接工装的分类、应用和结构特征；重点介绍了压力容器和梁的制造过程。为了拓宽视野，本书增加了质量管理和质量保证方面的内容（第六章）。结合焊接结构制造的特点，介绍了在焊接结构制造过程中保证制造质量的方式、方法以及 ISO 9000 和 ISO 3834 质量管理和质量保证系列标准。在焊接生产安全与防护部分，主要介绍在焊接生产中容易出现燃爆和触电事故产生的原因和预防措施。

本书的绪论部分、第三章、第四章（第三节）由河南机电高等专科学校的孙爱芳编

写；第五章由河南机电高等专科学校的吴金杰编写；第一章、第七章（第一节）由河南机电高等专科学校的李宏德编写；第二章（第一节）、第六章、第七章（第二节）由河南机电高等专科学校的周慧琳编写；第二章（第二节）、第四章由河南机电高等专科学校的公永建编写。全书由孙爱芳、吴金杰主编。本书承河南工业大学机电学院李风云教授审稿，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，恳请读者批评指正。

编者

目 录

绪论	(1)
一、焊接结构的优点	(1)
二、焊接结构的不足	(4)
三、焊接结构的分类	(4)
四、本课程主要内容及要求	(5)
五、教学方法及建议	(6)
 第一章 焊接应力与变形	(7)
第一节 内应力与变形的基本概念	(7)
一、内应力及产生原因	(7)
二、研究焊接应力与变形的若干假定	(8)
三、焊接应力与变形的产生原因	(9)
第二节 焊接残余应力	(13)
一、焊接残余应力的分布	(13)
二、焊接残余应力对焊接结构的影响	(16)
三、减小焊接残余应力的措施	(18)
四、消除焊接残余应力的方法	(21)
五、焊接残余应力的测定	(23)
第三节 焊接残余变形	(27)
一、焊接残余变形的分类及其影响	(27)
二、各种焊接残余变形的产生及变形值的估算	(29)
三、预防和消除焊接残余变形的措施	(36)
四、矫正焊接残余变形的的方法	(42)
思考题	(43)
 第二章 焊接结构制造工艺设计	(44)
第一节 焊接结构制造工艺设计的内容和方法	(44)

一、焊接结构制造工艺规程及其作用	(44)
二、编制工艺规程的依据	(49)
三、焊接结构生产工艺分析的方法及内容	(51)
四、制定焊接工艺的原则	(51)
五、制定焊接工艺的内容	(52)
六、焊接方法的选择	(52)
七、焊接热参数的确定	(54)
第二节 焊接工艺评定	(57)
一、焊接工艺评定的目的	(57)
二、焊接工艺评定条件与规则	(57)
三、焊接工艺评定的方法	(58)
四、焊接工艺评定程序	(58)
思考题	(62)
第三章 焊接结构零件加工	(63)
第一节 钢材矫正	(63)
一、钢板的机械矫正	(64)
二、型钢的矫正	(65)
三、钢材预处理流水线	(66)
第二节 放样与号料	(67)
一、放样	(67)
二、放样的程序	(68)
三、样板和样杆的制作	(71)
四、工艺余量	(72)
五、号料	(72)
第三节 展开放样	(74)
一、可展表面和不可展表面	(74)
二、展开的基本方法	(74)
第四节 板厚处理	(76)
一、板料弯曲时的展开长度计算	(76)
二、单件的板厚处理	(77)
三、相贯件的板厚处理	(78)
四、钢材弯曲时的料长计算	(78)
第五节 下料	(82)

一、剪切	(82)
二、气割	(84)
三、半自动气割	(87)
四、仿型气割机	(87)
五、光电跟踪气割机	(88)
六、数控切割	(88)
七、等离子弧切割	(88)
第六节 坡口加工	(89)
一、坡口的形状	(89)
二、坡口尺寸及精度	(90)
三、坡口加工方法	(92)
四、坡口的检查	(93)
第七节 压弯与滚弯加工	(93)
一、弯曲变形	(93)
二、材料的变形特点对弯曲加工的影响	(94)
三、机械压弯成形	(95)
四、压力设备	(96)
五、滚弯成形	(96)
第八节 板料拉深成形	(100)
一、拉深过程	(100)
二、拉深中的废品	(100)
三、毛坯尺寸及拉深力的确定	(102)
思考题	(103)
 第四章 焊接工装夹具和焊接变位机械	(106)
第一节 焊接机械装备	(106)
一、焊接工装夹具和变位机械的作用	(106)
二、焊接工装夹具和变位机械的分类	(106)
三、焊接机械装备的特点	(107)
四、焊接机械装备的设计原则和应注意的问题	(108)
第二节 焊接工装夹具	(109)
一、焊接工装夹具的分类与组成	(109)
二、对焊接工装夹具的要求	(110)
三、焊接工装夹具设计方案的确定	(110)

四、焊件的定位及定位器	(111)
五、零件的夹紧机构	(115)
六、组合夹具	(115)
第三节 焊接变位机械	(118)
一、焊接变位机械的分类及作用	(118)
二、焊件变位机械	(119)
三、焊机变位机械	(123)
四、焊工变位机械	(126)
思考题	(130)
 第五章 典型焊接结构的制造	(131)
第一节 焊接结构的合理性	(131)
一、从满足使用方面分析结构的合理性	(131)
二、焊接结构的制造工艺性	(133)
第二节 焊接结构的装配	(138)
一、焊接结构装配的基本条件	(139)
二、焊接结构装配方法的分类	(140)
三、焊接结构装配工艺的制定	(142)
第三节 焊接容器的制造	(144)
一、焊接容器的分类	(144)
二、锅炉汽包的制造	(150)
三、多层容器的制造	(157)
四、球形容器的制造	(160)
第四节 焊接梁的制造	(170)
一、焊接梁的分类、用途及技术要求	(170)
二、工字形梁的制造	(174)
三、箱形梁的制造	(181)
思考题	(190)
 第六章 焊接生产的质量保证体系	(192)
第一节 焊接质量管理概述	(192)
一、质量管理的基本概念	(192)
二、焊接施工	(194)
三、焊接质量管理	(194)

第二节 焊接质量体系	(195)
一、质量体系的建立与发展	(195)
二、焊接质量保证体系的构建和运行方式	(200)
三、质量保证体系建立和健全的主要标志	(202)
四、质量保证体系正常运转的标志	(203)
第三节 焊接工序质量影响因素	(203)
一、操作人员因素	(204)
二、机器设备因素	(204)
三、原材料因素	(205)
四、工艺方法因素	(205)
五、环境因素	(205)
第四节 焊接结构制造的质量控制	(206)
一、材料质量保证系统	(206)
二、工艺质量保证系统	(207)
三、焊接质量保证系统	(208)
思考题	(214)
 第七章 焊接安全生产与安全防护	(215)
第一节 焊接防燃与防爆	(215)
一、火灾与爆炸的特点	(215)
二、焊接常用可燃易爆物质的燃爆特性	(216)
三、焊接气瓶安全技术	(224)
四、焊接车间防火防爆措施	(231)
第二节 焊接用电安全	(233)
一、焊接用电特点	(233)
二、焊接发生触电事故的原因及方式	(233)
三、预防焊接触电措施	(234)
四、触电急救	(238)
思考题	(240)
 参考文献	(241)

绪 论

所谓焊接结构就是以金属材料的板材、型材、铸件以及锻件为基本元件，用焊接方法连接起来的金属结构。目前焊接结构已广泛应用在许多行业和领域，如汽车制造、石油化工、压力容器、矿山机械、船舶制造、起重设备、航空航天、建筑结构、核动力设备等。随着焊接技术向机械化、自动化方面的发展，焊接结构的应用领域和范围将日益扩大。

目前，在工业发达国家，焊接结构的用钢量已占工业总用钢量的 50% 左右，焊接结构产量及用钢量占工业总用钢量的比例已经成为一个国家工业发展水平的重要标志。中国在 2004 年焊接结构的用钢量已经突破 1 亿吨，成为世界最大的焊接制造大国。目前，在我国许多行业的制造工厂，如造船厂、锅炉厂、车辆厂、矿山机械厂、石化机械厂、起重机厂等都建有专门的焊接生产车间，负责本企业有关焊接结构的制造工作。

自改革开放以来，我国利用焊接技术完成了许多具有标志性的重大产品，在国民经济建设中发挥着不可替代的重要作用。例如，长江三峡水利工程的水轮机转轮直径 10.7 m，高 5.4 m，重达 440 t，是世界最大、最重的不锈钢焊接转轮；三峡水电站的电机定子座和蜗壳也是巨大的焊接结构。电机定子座直径 22 m，高 6 m，重 832 t，是我国利用焊接技术制造的最大的钢结构机座。蜗壳进水口直径 12.4 m，总质量 750 t，为世界最重、最大的焊接蜗壳；具有“世界第一拱桥”之称的上海卢浦大桥（图 0-1），全长 3 900 m，跨度 550 m，为世界跨度最大的全焊钢结构拱桥，用厚度为 30 ~ 100 mm 的细晶粒钢焊接而成；在压力容器方面，我国焊接了总质量达千吨级、壁厚 280 mm 的大型热壁加氢反应器；在航空航天方面，建成了一个最大的空间环境模拟装置。它是一个大型不锈钢整体焊接结构，主舱是一个直径 18 m，高 22 m 的真空容器，辅舱直径 12 m，我国发射的第一个“神州”五号载人飞船就曾在这个模拟舱中进行。在船舶建造方面，中国首次建造出了 30 万吨超大型油轮 VLCC，实现了中国造船业在超大型油轮方面“零”的突破，这标志着中国造船工业进入了世界少数几个能设计建造超大型油轮国家的行列，宣告了世界造船强国在 VLCC 领域垄断历史的结束，使中国向着“世界第一造船大国”的目标有了实质性的进展。

一、焊接结构的优点

焊接结构之所以得到如此广泛的应用，是因为用焊接方法制造的金属结构与其他方法相比具有一系列的优点。

1) 节省金属材料。与铆接相比，焊接结构可以节省材料 10% ~ 30%。这是由于焊接结

构不必打铆钉孔,材料截面得到充分利用;另外,也不必使用铆接结构必须使用的一些辅助材料。一般情况下,钢材焊接毛坯比铸钢毛坯质量轻 20% ~ 30% 左右,比铸铁件毛坯轻 50% ~ 60% 左右。这主要是因为焊接结构的截面可以按设计的需要来选取,不必像铸造由于受工艺的限制而需增大尺寸和设置加强筋板。一般焊接件毛坯比锻造件毛坯轻 10% 左右。另外用焊接代替铸造和锻造还可以节省大量的燃料,所以将铸造、锻造结构改为焊接结构,或者改为铸-焊、锻-焊结构是一个节省材料和能源的重要方法。



图 0-1 正在合拢中的上海卢浦大桥

2) 生产周期短。与铸造相比,焊接结构生产不需要制模和造型,也不需要熔炼和浇注,工序简单,生产周期短,这一点对于单件小批生产尤其明显。另一方面,用焊接方法制造零件毛坯或部件,后续机械加工量少,甚至不需机械加工就能使用,劳动量少。与铸造和锻造件相比,投入的劳动量少,生产率高。在现代化造船厂里,一个自重 200 000 t 的油轮,可在不到三个月的时间里下水,而同样的油轮如用铆接制造,需要一年多的时间。

3) 通过焊接,可以很方便地实现多种不同形状和不同厚度的钢板(或其他金属材料)的连接,甚至可以将不同种类的金属材料连接起来。例如拖拉机的半轴(见图 0-2),其一端有花键孔,如果使用整料就无法采用拉削加工,生产率就会很低。如果改用拼焊的方法,先用拉刀将花键孔加工出来,然后用焊接技术与另一端焊接起来,就可以简化加工工艺,提高生产率。

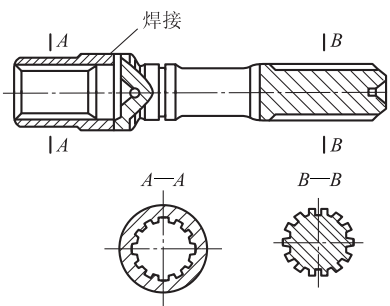


图 0-2 拖拉机半轴

4) 焊接结构的刚性大、质量轻。焊接是一种金属原子之间的永久连接方式,焊接结构中各部分是直接连接,与其他的连接方式相比,不需要附加的连接件;同时焊接接头的强度一般与母材相当,因此,焊接结构质量轻、刚度大、工作可靠。

5) 焊接结构生产一般不需要大型和贵重的机器设备。投建焊接结构制造工厂(车间)所需设备和厂房的投资少、见效快。同时,焊接车间适应不同批量的产品生产,而且结构的变更与改型快,所以转产(焊接结构产品)方便,而且并不因此而增加很多投资。

6) 有些结构,利用焊接结构比轧制更方便和经济。例如,用扁钢与钢板焊成的大型工字钢,往往比直接轧制成工字钢成本低。又如大型锅炉的水冷壁(图 0-3)采用无缝钢管

加焊板条的方法来制造（图 0-3（a））往往比用轧制的鳍片管（图 0-3（b））来制造更经济。

7) 焊接准备工作简单。近年，数控精密气割设备的发展，无论是多大厚度或形状多么复杂的待焊件，都可以不用预先画线而直接从板料上切割出来，并且一般不必再机械加工，就能投入装配和焊接。

8) 接头的强度高。与铆钉或螺栓结构的接头相比，焊接接头的强度高。这是由于铆接和螺栓连接接头，都必须预先在母材上钻孔，因而减小了接头的工作截面，使其接头的强度低于母材（大约低 20% 左右）。而现代的焊接技术已经能做到焊接接头的强度等于甚至高于母材的强度。

9) 焊接结构设计的灵活性大。

（1）结构的几何形状可以多种多样。焊接方法可以很方便地制造一些铆接、铸造和锻造等无法制造的空心封闭结构。

（2）结构焊接不受壁厚限制。焊接在一起的两构件的厚度，可厚亦可薄，厚与薄相差很大的两构件也能相互焊接。

（3）结构的外形尺寸不受限制。任何大型的金属结构，可以按起重运输条件允许的尺寸范围，把它划分成若干部件，分别制造，然后吊运到现场装焊成整体。而铸造或锻造结构受工艺和设备条件的限制，外形尺寸不能做得很大。

（4）可以充分利用轧制型材装焊成所需要的结构。这些轧制型材可以是标准的，也可以按需要设计成非标准（专用）的，这样的结构质量轻，焊缝少。

（5）可以和其他工艺方法联合。如可以任意设计成铸-焊、锻-焊、栓-焊、冲压-焊接等联合的金属结构。

（6）可以进行异种金属材料焊接。在一个结构上，可以按实际需要在不同部位焊接不同性能的金属材料，做到物尽其用。

10) 焊接接头密封性好。焊缝可以达到其他连接方法无法比拟的气密和液密性能，特别在高温、高压容器和船壳等需要高度密封的结构上，只有焊接才是最理想的连接形式。

11) 最适于制作大型或重型的、结构简单而且是单件小批量生产的产品结构。由于受设备容量的限制，铸造与锻造制作大型金属结构困难，甚至不可能。对于焊接结构来说，结构越大、越简单越能发挥它的优越性。

12) 容易实现自动化生产。如果在焊接结构上的焊缝很规则，就容易实现高效率的机械化和自动化焊接生产，其综合经济效益极为显著。

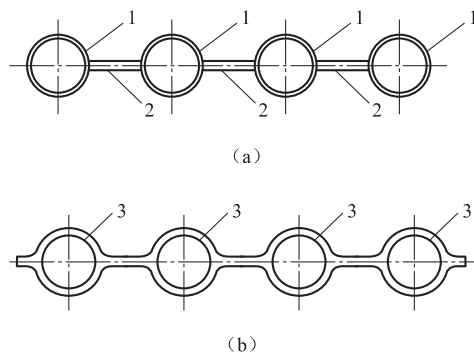


图 0-3 大型锅炉水冷壁制造方法比较
（a）无缝钢管加板条焊接；（b）轧制鳍片管焊接
1—无缝钢管；2—钢板条；3—鳍片管

13) 成品率高。一旦出现焊接缺陷, 修复容易, 很少产生废品。

二、焊接结构的不足

焊接结构的不足, 集中表现在以下几个方面:

1) 很多材料由于焊接工艺性差, 不适宜制造焊接结构。尽管焊接结构具有很多优点, 但是并不是任何金属材料都适宜制造焊接结构。比如铸铁、高碳钢、高合金钢等, 由于塑性低、强度大、淬硬倾向大等特点, 容易出现各种焊接缺陷, 不适宜制造焊接结构。

2) 焊接结构具有较大的性能不均匀性。焊缝金属是母材和填充金属在焊接热作用下熔合而成的铸造组织, 靠近焊缝金属的母材, 受到焊接热的影响而发生组织变化, 结果在整个焊接区出现了化学成分、金相组织、物理性质和力学性能不同于母材的情况。焊接结构的性能不均匀性, 远远大于铸件和锻件。这种性能不均匀性直接影响焊接结构的使用性能和寿命。

3) 焊接结构具有较大的焊接变形和应力集中。由于焊接加工是一个不均匀的局部加热和冷却过程, 焊后焊缝区的收缩将引起结构的各种变形和残余应力, 这将对结构的工作性能产生影响。焊接应力可能导致裂纹; 残余应力对结构强度和尺寸稳定性等有不影响; 超过允许范围的焊接变形会增加矫正或机械加工的工作量, 增加制造成本。

4) 焊接结构的整体刚度大。由于焊接结构具有整体性, 所以刚度大。这种刚度大的特性, 使焊接结构一经产生裂纹就很容易扩展, 而且一旦扩展就很难制止, 所以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。

对于焊接结构的优点, 结构设计时应充分利用和发挥; 而对于焊接结构容易出现的问题, 必须十分重视和认真对待。目前的焊接技术发展水平, 对这些问题是能够克服和解决的。

只有正确认识和切实掌握这些焊接结构的特点, 才能设计、制造出性能优良、结构合理的焊接结构, 才能保证焊接结构安全可靠地运行。

三、焊接结构的分类

焊接结构的形式很多, 但基本上都是由一个或若干个不同的基本构件组成的, 如梁、柱、框架、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。常见的有大型水压机的横梁, 桥式起重机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，如大跨度的桥式起重机、门式起重机等。

4. 板壳结构

板壳结构主要是承受内压或外压载荷。常见的板壳结构有两类：一类是要求密封的压力容器、锅炉、管道、大型储罐、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

机械结构主要包括焊接机身、机座、大型焊接机械零件等。

四、本课程主要内容及要求

《焊接结构制造》是高等职业学校焊接专业的一门主干课程，主要任务是使学生了解焊接结构生产的基本知识，具备生产焊接结构的基本技能，为从事焊接生产及其他相关方面的工作打下基础。

本课程的主要内容及基本要求：

1) 焊接应力与变形的基本知识。要求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、矫正方法。而对于应力的计算和测定可以根据需要选学或不学。

2) 焊接结构制造工艺规程的有关知识。要求掌握工艺规程的概念；对工艺规程的作用有一定的认识；了解工艺规程包含的内容、编制工艺规程的步骤和程序；能够编制简单的焊接工艺规程；了解工艺评定的意义及评定程序（熟悉 JB 4708—2000）。

3) 焊接结构零件加工。了解焊接结构生产中常用的备料和成形加工方法；能够对简单结构进行放样处理；能够根据结构制造需要，选用相应的加工设备。

4) 焊接工装夹具和焊接变位机械。了解焊接工艺装备的分类、作用，会选用常用的专用焊接工艺装备。

5) 典型焊接结构制造的有关知识。要求能够从使用性能和工艺性能方面大致分析焊接结构的合理性；了解压力容器的分类等有关知识；熟悉压力容器制造过程；熟悉焊接梁的制造过程。

6) 焊接生产的质量保证体系。了解质量保证体系的概念；了解焊接生产质量保证的环节和方法；认识目前使用的一些质量管理和质量保证的标准。

7) 焊接安全生产和安全防护。认识安全生产的重大意义；了解焊接生产中存在的安全问题以及应采取的措施。

五、教学方法及建议

《焊接结构制造》是一门实践性很强的焊接专业技术课。本课程是对其他焊接专业知识的综合应用。在讲授本课程第一章，即焊接应力与变形时，可以根据教学需要，本着“必需、够用、有用”的原则取舍内容。在教学过程中，应根据教学进度，组织学生进行必要的参观教学或通过多媒体教学手段，使学生对典型焊接结构的生产全过程有一定的感性认识。在组织课堂教学时，要注意紧密联系焊接专业其他专业课程的内容，重点讲授焊接专业知识在焊接结构制造中的应用，以培养学生对焊接专业知识的综合应用能力。在讲授过程中，还要注意结合焊接技术的发展，为学生介绍一些新技术、新工艺等，开阔学生的视野和思路。

焊接应力与变形

焊接结构生产中，由于受到局部高温加热而造成焊件上不同区域温度分布不平衡，从而使其产生不均匀受热膨胀，高温区的膨胀会受到低温区的束缚和制约而产生一定的塑性变形，并最终导致焊件在焊后产生残余应力和残余变形。这种在焊接结构生产过程中产生的焊接变形和应力不仅影响到焊接结构的加工精度，而且还会影响到焊接结构的使用性能。本章重点介绍焊接应力与变形产生的主要原因；焊接应力分布的一般规律；焊接过程中如何消除和降低焊接应力；预防焊接变形的方法和焊后矫正焊接残余变形的措施。

第一节 内应力与变形的基本概念

一、内应力及产生原因

（一）应力

物体所受的力分为外力和内力，内力是平衡于物体内部的作用力。而物体单位截面上所受的内力称为应力。根据引起内力的原因不同，应力分为工作应力和内应力。

1. 工作应力

物体由于受到外力的作用而在其内部单位截面上出现的内力称为工作应力。工作应力的特点是因物体受到外力的作用而存在，所以，没有外力就不会有工作应力。

2. 内应力

物体在没有受到外力作用的情况下而平衡于内部的应力称为内应力。内应力的产生原因很多。如物体内部成分不均匀、金相组织及温度的变化不均匀等。内应力存在于许多工程结构中，如焊接结构、铸造结构、铆接结构等。

内应力按其分布范围可分为宏观内应力和微观内应力。宏观内应力的分布范围较大，内应力在这一较大范围内平衡，该范围一般与结构尺寸相当。微观内应力存在和平衡于相当于原子大小的范围内。

内应力按其产生的原因不同又可分为热应力、相变应力和残余应力等几种。热应力又称为温度应力，它是在物体受到不均匀加热和冷却过程中产生的，其大小与加热温度的高低、温度分布的不均匀程度、材料的热物理性能及工件本身的刚度等有关。热应力比较广泛地出现在各种温度不均匀的工程结构中，如化工反应容器、热交换器、飞行器等；相变应力是金属相变时，由于不同组织的比容不同而引起的，如奥氏体分解为珠光体或奥氏体转变为马氏体时都会引起体积膨胀，而体积膨胀受到周围材料的拘束作用，结果就会产生应力；残余应力是由于物体受热不均匀引起的应力达到材料的屈服点，材料即发生局部塑性变形，当温度均匀化后，物体中仍然会残余一部分应力，这种应力是温度均匀后残存在物体中的，所以称为残余应力。

焊接应力属于内应力。它是由于焊接的不均匀加热和冷却而引起并存在于焊件中。焊接应力按其作用时间不同可分为焊接瞬时应力和焊接残余应力。焊接过程中某一瞬时存在于焊件中的内应力称为焊接瞬时应力，它是随时间而变化的；待焊件冷却后，残留于焊件中的内应力称为焊接残余应力。

（二）变形

物体在某些外界条件（外力或温度等因素）的作用下，其内部原子的相对位置发生改变，宏观表现为形状和尺寸的变化，这种变化称为物体的变形。

按物体变形的性质可分为弹性变形和塑性变形；按变形的拘束条件分为自由变形和非自由变形。

1. 弹性变形与塑性变形

物体在外力或其他因素作用下发生变形，当外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，物体不能恢复原状的这种变形称为塑性变形。

2. 自由变形与非自由变形

物体的变形不受外界任何阻碍自由地进行，这种变形称为自由变形。自由变形只与材料性质及温差有关，而与物体原长无关。如果金属杆件在均匀加热时变形局部受阻，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（或可见变形），把未表现出来的那部分变形称为内部变形。

焊接变形是由焊接而引起焊件的尺寸改变。其中焊接过程中的变形称为焊接瞬时变形；焊后残存于焊件中的变形称为焊接残余变形。

二、研究焊接应力与变形的若干假定

焊接过程中产生焊接应力与变形的原因比较复杂，为了研究问题方便，常作以下假定：