

普通高等教育“十一五”重点规划教材

焊接结构 制造技术与装备

沈阳大学 宗培言 主编

WELDING



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”重点规划教材

焊接结构制造技术与装备

主编 宗培言

参编 闵庆凯 段志刚

主审 宇永福

机械工业出版社

本教材以焊接结构制造工艺过程为主线,全面论述焊接结构制造中的工艺规程编制、备料加工、装配焊接及装备、典型焊接结构的制造技术、质量控制与检测、焊接生产环保和安全等五大板块,共8章。本教材较全面地反映了焊接结构制造的新技术、新方法和新装备。

本教材可作为普通高等学校材料成形及控制工程、材料加工工程(焊接方向)、焊接技术与工程的专业课教材,同时也可作为焊接结构制造企业及与焊接技术相关的工程技术人员的参考书。

本书的“电子课件”位于机械工业出版社教材服务网(www.cmpedu.com)上,向本书授课教师免费提供,请需要者填写书末的“信息反馈表”寄回出版社索取。

图书在版编目(CIP)数据

焊接结构制造技术与装备/宗培言主编. —北京:机械工业出版社, 2007.3
普通高等教育“十一五”重点规划教材
ISBN 978-7-111-21051-1

I. 焊… II. 宗… III. ①焊接结构—焊接工艺—高等学校—教材②焊接设备—高等学校—教材 IV. TG4

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第026847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:冯春生 责任编辑:董连仁 版式设计:冉晓华
责任校对:申春香 封面设计:王伟光 责任印制:洪汉军
北京瑞德印刷有限公司印刷
2007年4月第1版第1次印刷
184mm×260mm·21 25印张·506千字
标准书号:ISBN 978-7-111-21051-1
定价:32.00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) 88379711
封面无防伪标均为盗版

普通高等教育“十一五”重点规划教材 编审委员会

主任：哈尔滨工业大学

吴 林

副主任：哈尔滨工业大学

方洪渊

委员：（排名不分先后）

华南理工大学

黄石生

山东大学

李亚江

沈阳工业大学

王宗杰

哈尔滨工业大学

刘会杰

沈阳大学

宗培言

清华大学

朱志明

北京工业大学

栗卓新

吉林大学

任振安

河南科技大学

朱锦洪

天津大学

李 桓

华中科技大学

熊建钢

太原理工大学

王文先

内蒙古工业大学

董俊慧

西北工业大学

刘金合

西南交通大学

戴 虹

江苏科技大学

邹家生

北京航空航天大学

张彦华

上海交通大学

王 敏

兰州理工大学

李鹤岐

大连交通大学

史春元

中国石油大学（华东）

王 勇

秘 书：机械工业出版社

冯春生

序

焊接作为先进制造技术的重要组成部分在国民经济的发展和国家建设中发挥了重要的作用。焊接技术的优秀成果在航空航天、核能、船舶、电力、电子、海洋钻探、高层建筑等领域得到广泛应用。

随着科学的发展和技术的进步，焊接已经逐渐脱离了单纯工艺和技术的层面而走向科学的范畴，并且在与其他科学知识的不断碰撞和交融中，展现出来旺盛的生命力。新材料的不断产生、新能源的不断开发和新结构的不断涌现，对焊接技术提出了新的挑战。

20 世纪末期，教育部对我国高等学校的学科专业进行了合并调整，“厚基础、宽口径”的人才培养模式已经成为潮流。许多高校已将原焊接专业并入材料科学与工程专业或材料成形及控制工程专业，而有一些学校则将焊接作为特色专业保留下来。多年的教学实践证明，本着“突出特色、分类指导”的原则，由于地域、行业、学校类型、办学条件、专业基础的不同，制定不同的专业人才培养模式、培养计划、课程体系、教学内容是完全必要的。在这种新的形势下，对专业人才的培养和专业教材的建设提出了新的要求，原有焊接专业的教材已经难以满足当前焊接专业（方向）人才培养的需要。而各种客观因素的影响，使得焊接专业教材的水平已跟不上当今科技的发展水平，不能满足新时期人才培养的需求。为尽快扭转这种不利局面，建立起质量优异、特点突出、适应不同类型专业人才培养需要的专业教材体系，中国机械工业教育协会材料加工工程学科教学委员会和机械工业出版社联合组织了国内多所著名高等学校的一些知名专家、学者，编写出版了这套“普通高等教育‘十一五’重点规划教材”。

本套教材涵盖了高等学校焊接专业（方向）人才培养所要求的主要专业课程内容，同时兼顾相关和相近专业学生学习的需要。教材强调专业知识与基础理论的联系，注重新技术的进展，并强调其科学内涵，将对适应新形势的焊接专业人才的培养起到促进作用。

教育部高等学校材料成形及控制工程专业
教学指导分委员会主任

李春峰

前 言

本教材是根据 2005 年 7 月由中国机械工业教育协会, 以及教育部材料加工工程学科教育委员会与机械工业出版社共同组织的焊接专业(方向)教材编写工作会议的要求编写的, 作为高等工科院校材料成形及控制工程、材料加工工程(焊接方向)及焊接技术与工程专业本科生的教学用书。

我国的钢产量自 1996 年突破 1 亿 t 后, 连续十年居世界第一。如按 40% 的钢铁材料是经过焊接加工才能成为有用的构件和产品计算, 我国不仅是钢铁生产消费大国, 亦是世界上最大的焊接结构制造业大国。可以想象, 焊接结构制造业在国民生活、劳动就业、财富创造及国防建设中将起着多么重大的作用。因此, 为满足焊接结构制造企业对高级工程技术人才的需求, 开设“焊接结构制造技术与装备”课程是非常必要的。

“焊接结构制造技术与装备”是一门涉及多种学科、多种工程技术、理论与实践结合极为密切的专业课。所以在教材编写过程中广泛吸纳了国内焊接结构制造企业的成熟技术和生产实践经验, 最大限度地反映我国焊接结构制造技术和装备的现状及新技术、新装备。本教材以实现高等学校的工程科学教育, 特别是工程技术教育与企业生产技术实现对接为出发点, 突出了内容的实践性和实用性。

信息技术飞速发展, 已广泛渗透到工业生产各个领域。用信息技术改造产业, 可以减轻人们的工作量, 提高生产效率, 改进产品质量和可靠性。教材编写应尽力展示信息技术在改造、创新焊接结构制造技术和装备中的新技术和新成果, 为培养适应 21 世纪信息时代需求, 具有技术创新能力的学生, 提供必要的技术储备和支撑。

教材编写中借鉴了本课程教学改革成果, 力求教材贴近生产、贴近工程实践, 反映企业对从事焊接结构制造工程技术人才的需求, 体系完整, 内容简捷易懂。建议在本课程的讲授过程中, 结合专业实训、实习及课程设计等教学环节, 强化学生的工程实践能力培养, 使学生在具备扎实专业基础理论的同时, 又有较强的工程实践能力, 以满足企业对人才的要求。

本教材由沈阳大学宗培言教授主编。其中第 1 章、第 2 章、第 6 章由段志刚副教授编写; 第 3 章、第 7 章由宗培言编写; 第 4 章、第 5 章、第 8 章由闵庆凯副教授编写。全书由沈阳大学宇永福教授担任主审。

在教材编写过程中, 沈阳大学机械工程学院、沈阳大学研究生院等部门的有关领导给予了大力支持和帮助, 谨表谢意。另外, 中冶集团建筑研究总院刘景凤、宋世旭高级工程师, 沈阳大学焊接自动化研究所王刚、李景波教授, 沈阳大学申大网架有限公司赵寿权、臧春田高级工程师, 沈阳三洋重工集团姜欣、张辉工程师以及喜莹、车乃黎等同志, 为本书提供了资料和帮助, 在此, 向为本教材提供资料和帮助的各企业及所援引文献的作者表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限, 书中错误和不足之处在所难免, 敬请使用本教材的广大师生和读者批评指正。

编 者

目 录

序

前言

第1章 绪论 1

1.1 焊接结构的特点及应用 2

1.1.1 焊接结构的应用及分类 2

1.1.2 焊接结构生产的特点 4

1.2 焊接结构制造的发展趋势 6

1.2.1 焊接结构的发展 6

1.2.2 焊接材料的发展 6

1.2.3 焊接生产自动化的发展 7

第2章 焊接结构制造工艺规程及焊接专家系统 10

2.1 焊接工艺评定 10

2.1.1 焊接工艺评定概述 10

2.1.2 焊接工艺评定试验简述 15

2.2 焊接工艺规程 21

2.2.1 焊接工艺规程概述 21

2.2.2 基本术语 21

2.2.3 编制工艺规程的依据 22

2.2.4 工艺规程的内容与编制 23

2.3 焊接结构生产工艺流程及控制 27

2.3.1 生产前的准备 28

2.3.2 金属加工 29

2.3.3 装配—焊接 30

2.3.4 成品加工 30

2.4 焊接专家系统及应用 30

2.4.1 专家系统简介 30

2.4.2 焊接专家系统的类型和应用 33

第3章 零件的加工工艺 37

3.1 钢材准备 37

3.1.1 钢材加工概述 37

3.1.2 钢材的表面预处理 41

3.1.3 钢材的矫正 43

3.1.4 放样、划线与号料 52

3.2 钢材的下料 62

3.2.1 机械切割 62

3.2.2 热切割 66

3.2.3 边缘加工与制孔 89

3.3 成形 94

3.3.1 板材的压弯 94

3.3.2 管材和型材的弯曲 103

3.3.3 板材的卷制 113

3.3.4 板材的压延 121

3.3.5 特种成形技术简介 130

第4章 焊接结构的装配及工艺

装备 135

4.1 装配的基本条件及工件的定位 135

4.1.1 装配的基本条件 135

4.1.2 工件的定位 136

4.2 焊接结构的装配 142

4.2.1 对焊件装配质量的要求 142

4.2.2 装配前的准备 143

4.2.3 装配 143

4.2.4 装配的质量检验与公差 145

4.3 装配焊接夹具及装备 148

4.3.1 概述 148

4.3.2 装焊夹具 149

4.3.3 夹紧夹具的设计 155

4.3.4 焊接夹具计算机辅助设计 169

4.4 焊接变位机械 174

4.4.1 焊件变位机械 175

4.4.2 焊机变位机械 187

4.4.3 焊工变位机械 195

第5章 焊接生产的机械化与

自动化 198

5.1 概论 198

5.1.1 焊接生产过程的机械化与自动化 198

5.1.2 机械化与自动化焊接装备的种类 199

5.1.3 机械化与自动化焊接装备的功能与组成 200

5.2 焊接变位机械组合 200

5.2.1 梁柱的焊接变位机械组合 201

5.2.2 焊接圆形容器的焊接变位 机械组合	201
5.3 焊接中心和焊接自动机	202
5.3.1 中等直径管节纵缝焊接 中心	203
5.3.2 中等直径管体环缝焊接 中心	203
5.3.3 汽车车轮合成内缝或外缝 焊接中心	205
5.3.4 柴油机水套的焊接自动机	205
5.3.5 大型储罐的气电立、横焊 自动焊接机	207
5.4 焊接机器人	208
5.4.1 焊接机器人基础	208
5.4.2 点焊机器人	215
5.4.3 弧焊机器人	218
5.4.4 焊接机器人的选择	223
5.5 焊接生产线	225
5.5.1 刚性焊接生产线	226
5.5.2 柔性焊接生产线	230
第6章 典型焊接结构的制造 技术	233
6.1 容器结构	233
6.1.1 压力容器结构及特点	233
6.1.2 薄壁圆柱形容器的制造	235
6.1.3 多层厚壁高压容器的制造	242
6.1.4 球形容器的制造	245
6.2 建筑焊接结构	256
6.2.1 焊接梁与柱的制造	256
6.2.2 金属网架的制造与安装	267
6.3 起重机焊接结构	271
6.4 车辆焊接结构	278
6.4.1 铁路客车车体的制造	278
6.4.2 铁路货运敞车的制造	280
6.4.3 载货汽车车箱的制造	282
第7章 焊接生产质量的控制 与检验	285
7.1 焊接生产质量管理	285
7.1.1 质量管理的概念与发展 历程	285
7.1.2 ISO 9000 ~ ISO 9004 族标准 概述	286
7.1.3 焊接生产质量管理体系	286
7.2 焊接生产质量控制	290
7.2.1 焊前质量控制	290
7.2.2 焊接过程中的质量控制	291
7.2.3 焊接成品的质量检验	292
7.3 焊接质量检验	297
7.3.1 焊接质量检验程序	297
7.3.2 焊接缺陷	299
7.3.3 焊接质量检验方法	302
第8章 焊接清洁生产和生产 安全技术	310
8.1 焊接清洁生产及节能技术	310
8.1.1 焊接清洁生产的意义	310
8.1.2 清洁生产的实施途径	310
8.1.3 焊接清洁生产的内容 与现状	311
8.2 焊接生产中的污染及卫生 防护技术	312
8.2.1 焊接中的污染	312
8.2.2 卫生防护技术	315
8.3 焊接生产中的安全	319
8.3.1 焊接防火与防爆	319
8.3.2 焊接用电安全	323
参考文献	326

第 1 章 绪 论

现代意义的焊接技术起源于 19 世纪初的西方国家,尤其在 1888 年俄罗斯人 Slavianoff 发明了金属极电弧焊后,焊接技术的应用得到了迅猛的发展,各种金属焊接结构产品应运而生,大到数十万 t 的油轮,小到微电子产品,用途极其广泛。

随着现代工业制造业的高速发展和焊接技术的不断进步,焊接作为一种金属连接的工艺方法,在金属结构制造和生产中已取代了大部分铆接连接工艺;焊接与铸造、锻压、切削加工和热处理等加工工艺方法的组合,也已成为机械制造业的主要加工方法;许多传统的铸造、锻造结构,也由焊接结构或铸—焊、锻—焊组合结构所代替。

焊接结构是由金属材料轧制的板材或型材作为基本元件,采用焊接加工方法,按照一定结构组成的并能承受载荷的金属结构。各种焊接结构产品被广泛应用于重型矿山机械、冶炼设备、起重运输设备、汽车和机车车辆、电站设备、建筑与厂房结构、航空与航天技术装备、石油化工设备、容器与管道、船舶与海洋结构、桥梁、集装箱、机器结构制造业和国防工业装备制造等领域中。有些产品,例如大型厚壁超高压容器,除了采用焊接加工技术外,是难以找到更好的制造方法的。

现代大型建筑结构均采用焊接金属结构形式。与其他建筑结构比较,焊接金属结构具有强度大、重量轻等优点,因此特别适用于工业厂房、高层建筑、大跨度结构,以及要求重量轻和可移动的承重结构等。

机器制造业是焊接结构可以推广应用的另一个广阔领域。矿山冶炼、石油化工、交通运输、能源宇航及海洋工程等各个工业部门所用的大型机器设备,仪器和仪表的机体、骨架及主要元、器件等,都越来越广泛的采用焊接结构。

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 1-1 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之艰巨。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 1-1 2005 年 6 行业用钢统计表

(万 t)

建 筑	机 械 制 造	汽 车	造 船	石油和天然气 (括号中为管线钢)	集 装 箱
19793	4000	1429	422	480 (360)	500



1.1 焊接结构的特点及应用

焊接结构主要是指焊接的金属结构,绝大多数是钢结构。由于焊接结构具有优良的使用性能,宜于适应各方面的使用要求,较少受尺寸和形状的限制,制造过程简单,结构重量轻,便于运输和安装。所以,焊接结构在国民经济中几乎所有的工业部门和广阔的生活领域中都有大量的应用。

焊接结构能够得到如此广泛的应用和高速发展,是因为其具有一系列优点:

1) 焊接结构中的焊接接头是一种金属原子间的连接,接头刚度大、整体性好,在外力作用下不会像机械连接那样因间隙变化而产生较大的变形。同时,产品的密封性容易保证。

2) 焊接结构可以由各种不同形状与厚度的金属材料连接组合而成,甚至可由不同种类的金属材料连接组合而成,还可以由铸钢件与锻钢件连接组合而成,从而使结构中不同性能的材料应用更恰当,充分发挥其性能特点,做到物尽其用。此外,焊接结构中各零部件间通常可直接用焊接连接,不需要采用附加的连接件,而焊接接头的强度一般可与母材相当。因此,比照其他结构,焊接结构既节约了材料,又减轻了产品的重量,还降低了生产成本,可谓一举三得。

3) 与其他加工工艺方法相比,焊接结构的制造生产一般不需要大型、贵重的设备,因而建设焊接结构生产厂时设备投资少、见效快,而且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。

4) “以小拼大”是焊接的优势之一。焊接加工特别适用于几何尺寸大而材料比较分散的制品,例如船舶的壳体、桁架结构等。焊接可以将大型、复杂的结构先分解为许多小零件或部件后分别加工,然后通过焊接连接成整体结构,从而扩大了工作面,简化了结构的加工工艺,缩短了加工周期。

5) 节约能源,利于环保。每吨焊接结构件比铸件大约节能 35%,与锻件相比也有节能优势,且焊接生产条件优于铸造和锻造生产条件,有害物排放量也比较少。

1.1.1 焊接结构的应用及分类

由于焊接结构种类繁多、千差万别,为了更好地了解焊接结构形式方面的特点,将焊接结构按原材料的不同粗略地分为两大类:即钢结构和有色金属结构。本课程重点讨论焊接钢结构。按钢材类型可将其分为板结构和格架结构。

板结构:板结构主要是用各种金属轧制板材作为基本原材料制成的结构,也是本书要重点论述的结构,例如各类容器、管道、船体、冶金炉体外壳、大型吊车主梁、吊车梁、部分铁路桥梁、机床床身及箱体等均属此类结构。板结构的主要特点为结构紧凑、占用空间少及易于封闭等,故应用广泛。焊缝一般较长,宜于采用机械化、自动化焊接方法进行焊接加工。但在结构制造上加工量大,焊接量大且工艺复杂,技术含量较高。

格架结构:格架结构主要是用各种具有一定断面形式的金属轧制型材制成的结构,例如工厂房屋架、广播电视发射塔、高压输电铁塔、大跨度铁路桥梁及各种支架均属此类结构。格架结构断面比较分散,整体刚性好,承载能力大,结构重量轻,节省材料,在制



造上也比较简单,加工量小,省工省时;但其占用空间大,局部刚性及稳定性差,进行防腐等防护比较困难,焊缝短小分散,故难于实现机械化、自动化焊接生产。

焊接结构的这种分类方法虽然反映了结构的某些特点,可以作为估量其制造过程的复杂程度、核算工程造价的一个依据,但显得过于粗略,不能全面反映出不同结构的特点,尤其是在使用性能方面的特点和要求。综合以上情况,从结构的多方面考虑,将焊接结构大体上分为以下几类:

1. 容器和管道结构

包括各类储罐、锅炉、压力容器及输送各种液体或气体的管道等。这类结构大都在一定的温度和压力下工作,且相当一部分结构的工作介质或内部充装物为易燃易爆,或具有强烈腐蚀性,或有毒的物质,一旦发生泄漏或者断裂破坏,就可能产生灾难性的后果,造成人民生命财产的严重损失。因此,必须保证该类结构在工作和运行中的安全可靠,必须按照产品设计的技术要求中专门的技术规范来进行制造生产,严格控制产品质量,并且要由专设机构来进行监督和检查。

世界各国对于压力容器的制造和使用都非常重视,均设有专门机构,制定了详细的技术规范和检查标准。例如美国的 ASME 规范、日本国家标准 JIS 中的 B8543 和 B8550 及德国的 AD 规范等,对压力容器的设计方法、选材、制造和试验及检查验收等都作了详细而明确的规定。自 1980 年以来,我国在压力容器的设计和制造方面也取得了长足的发展,陆续制定和完善了一系列相应的技术规范 and 标准。其中主要的基础规范和标准有:《钢制石油化工压力容器设计规定》、GB/T150—1998 (《钢制压力容器》) 以及国家劳动部颁布的《压力容器安全监察规程》等。

2. 房屋建筑结构

包括工业和民用两方面的各种建筑结构。主要有单层和多层工业厂房和各种大型建筑物的金属框架;大型民用建筑及公用设施,如机场、车站、体育场馆、剧院、博物馆、图书馆和高层建筑中的金属结构等。具体结构形式有各种梁、柱、桁架及网架结构等。这些结构主要是作为建筑物的基本骨架,用以承重和承受其他外加载荷的作用。其主要要求除了应保证结构几何尺寸及安装和连接之外,还应有足够的强度和稳定性等性能,同时应具有一定的抗震、防腐和防火等特殊的使用性能。

3. 桥梁结构

过去主要指铁路桥梁,现在随着高速公路的快速发展,钢制公路桥梁的建设越来越多。这类结构长期工作在各种气候条件下,同时承受着强烈的冲击和巨大的动载荷,且加载次数频繁。因此,对此类结构制造要求很高,否则,很难保证火车或汽车运行的安全性。桥梁结构要求选用材料的强度、塑性、韧性、屈强比及时效敏感性等指标优异,焊接性必须适应野外桥梁的工作特点。在制造过程中要求焊接质量优良,并且保证结构在安装中连接准确、稳固可靠。

4. 船舶与海洋结构

包括各种船舶舰艇、海上采油平台、海底管道及各种海上建筑工程等。水上运输成本低廉,且海洋中蕴藏着大量宝贵的能源、矿产及丰富的鱼类资源,各国都十分重视。随着海洋开发的不断发展和深入,海洋结构的应用将越加广泛。显然,海洋焊接结构常年处于极其恶劣的环境下工作,除了受到海水和海洋气候长期不断地侵蚀外,还要受到风、浪及



潮等复杂交变力的作用,甚至海底地震等的影响。所以对原材料的选用、焊接工艺的制定及焊接质量保证体系,也有着特殊的要求。要求原材料不仅在强度、韧性及疲劳极限等力学性能有较高的要求,而且应具有较好的耐海水腐蚀性能。各国在这个领域也有专门的规范和标准。

5. 塔桅结构

主要包括高压输电线铁塔、广播电视发射塔及接收塔等。此类结构大部分是栓—焊联合结构,少部分为全焊接结构。塔桅结构大多由钢制型材组成,制造工艺比较简单。主要技术要求是原材料应具有一定的强度,保证结构有足够的承载能力,同时应保证其几何形状和整体稳定性,安装尺寸准确且安装方便可靠。此外,结构应具有耐大气腐蚀的能力。

6. 机器结构

这是一种很重要的结构类型,它涵盖了许多种机器和设备。随着现代焊接技术的成熟和发展,使其在机器制造业上也已得到普遍的应用。采用铸—焊联合结构、锻—焊联合结构,已经显示出极大的优越性。近年来在各种机床和机械设备的设计和制造上,已越来越多地采用了焊接结构和焊接件,特别是大型机床和部分大型机械设备的床身、机座、横梁、箱体,以至大型齿轮和发电机转子等大型机件,都逐渐地改用了焊接结构件,形成了焊接结构制造的又一个广阔领域。

除了上述6大类之外,还有工程机械、汽车及机车车辆制造等诸多行业也都大量采用焊接结构,其特点不再一一列举。

1.1.2 焊接结构生产的特点

焊接结构由于其自身的特点和使用性能上的某些要求,使得在生产过程中形成了自身的某些特点,主要归纳如下:

1. 以焊接为主要生产工艺内容的生产加工过程

焊接结构的生产从投入原材料开始到产品制成出厂,虽然需要经过很多道生产工艺过程,包含有很多工艺内容,但从其加工目的,相互之间的关系及对制成产品的作用来看,其中主要的生产程序和工艺内容是焊接。因为任何焊接结构,都是金属毛坯经过一定加工后,用焊接这种工艺方法将其组合连接在一起,才成为所需要的整体结构的。故焊接加工是制作焊接结构必不可少的、最基本的生产手段和生产步骤,而其他加工程序都是围绕它进行的。在焊接之前的一系列加工,大都是根据焊接工艺要求,为其创造条件和做准备的,焊后的一系列加工和生产活动内容,也不过是为了进一步完善和检验焊接质量而进行的一些补充加工。所以焊接结构的生产也称为焊接生产。另外,焊接这道生产工序在整个焊接结构制造生产过程中与其他一些加工内容或工序比较,相对来说施工量最为繁重,工艺内容最为广泛而复杂,对产品质量的影响也最大。从某种角度来说,焊接质量的好坏,也就反映了焊接结构的质量。因此,正确地选择焊接方法、制定合理的焊接工艺、妥善安排焊接生产程序、科学进行施工及有效地控制焊接质量,是进行焊接结构生产的核心内容和最为重要的问题。

2. 焊接结构的基本材料是各种金属材料

生产过程中各道加工工序的主要对象就是各种金属材料(主要是钢材)。其加工的最终目的是将具有一定性能的金属材料,制造成为在某种使用条件下满足其使用性能要求的

焊接结构产品，而产品的某些性能要求是由材料的性能来保证的。焊接结构制造就在于要正确地选取和利用金属材料，选用各种恰当的加工方法，既要保证顺利加工制造成符合要求的产品，还必须采取相应的技术措施，尽可能地保持材料原有的性能，以确保所生产结构的质量和性能要求。因此，对所用材料的性能必须有深入的了解，以便正确选用加工工艺。

3. 对轧制的、具有一定断面的金属材料进一步加工和应用

它是在基本上不改变其断面特征的情况下，将金属材料加工制作成各种结构零件后，经装配和焊接制成整体结构。因此，较之其他机械产品的加工，具有工序简单、加工量少、省工省时及加工成本低等特点。这也就是焊接结构制造速度快、经济效益大的基本原因之一，故得到了广泛的应用。

4. 大都用于大型工业生产装备、储运设备的制造

焊接加工除少数作为某些工业产品的组成构件如用于汽车、拖拉机等构件大量生产之外，大都用于某些建设工程或大型工业生产装备、重型机械设备和储运设备的制造。这些产品都具有体积大、重量重、耗材量多、用工量大、生产周期长、单位产品造价高及使用周期长等特点。因此在一定时间内需要量不会太多，生产的数量有限，故生产同一产品的连续性和重复性不是很强，这就决定了很多生产工厂的类型属于单件和小批生产，故较难于实现整个生产过程的机械化、自动化流水生产，也就限制了生产效率和生产自动化程度的进一步提高。为了提高焊接结构的生产效率和质量，提高焊接生产机械化、自动化程度，要努力做到某些常用基本构件或零件的标准化和规格化，进而设计、建设专门生产这些零、部件（例如工字形断面构件、圆柱形容器的筒体和封头等）的机械化、自动化流水线。

5. 需大型加工设备

由于某些焊接结构件尺寸和重量都比较大，因此要求其加工设备的能力和尺寸也要足够大，大多属于大型专用设备，例如矫正机、剪板机、刨边机、卷板机和大型压力机等。同时，不仅要求有较大的作业空间和面积，还要有足够的与加工工件重量相适应的起重运输设备的配合，也要求生产者有较强的体力等。

6. 焊接结构的生产过程是一个具有多种工艺内容的综合性生产加工过程

焊接结构的生产虽然是以焊接工艺为主要内容的生产过程，但为了使焊接能顺利进行并保证其加工质量以及满足各式各样产品在结构上的要求，必须先将各种规格的板材和型材转变为组成结构所需要的各种尺寸和形状的基本零件，后经组合装配才能进行焊接加工。焊接之后，还要进行补充和完善加工才可制成符合质量要求的合格产品。由此可见，单靠焊接一种加工工艺、一道生产工序是不可能、也无法将金属材料变成焊接结构的，还必须有一系列其他加工过程才成。由于组成结构的零件所用材料的性质、工件的尺寸形状等各自不同，故所用的加工方法也不相同。所以，焊接结构的制造，是包含有很多道生产工序，多种加工工艺内容的综合性生产加工过程。其中既有焊接加工内容，也有划线下料、成形加工、切削加工及热处理等工艺内容，有热加工也有冷加工。因此，作为焊接结构的制造工厂，不仅应具备焊接加工的条件，同时也还应当具有上述各种加工条件。

熟悉和了解上述特点，可以更好地掌握焊接结构生产的客观规律和需要，抓住其中的主要问题，采取恰当的生产方法和工艺措施，合理地制定生产程序，正确而有效地指导生



产, 从而保证生产顺利进行, 按照设计要求生产出合格的焊接结构产品。

1.2 焊接结构制造的发展趋势

近百年来, 焊接已成为最广泛的材料加工技术之一。从核能发电到微电子技术的发展, 从探索宇宙空间到深海资源的开发, 从汽车到家电产品的制造, 都离不开焊接结构制造技术。焊接结构制造技术的应用规模和范围之广, 是其他金属加工技术不能比拟的, 当代许多最重要的工程技术问题必须采用焊接才能解决。

1.2.1 焊接结构的发展

焊接, 作为材料成形加工的主要手段之一正在向各个领域渗透, 焊接新结构正在不断出现和完善。现代焊接结构在向大型化和高参数方向发展, 焊接结构的工作条件越来越苛刻, 要求也越来越严格。目前, 全世界每年焊接结构产品可达数亿 t, 而且需要设计制造在地面、高空和水下、高温或低温、腐蚀介质, 或强放射性照射等各种极限使用条件下工作的焊接结构, 并要求焊接结构成本低廉、耐用可靠, 甚至要易于解体而可循环再利用。典型现代焊接结构如图 1-1 所示的是核压力容器, 其壁厚可达 200mm 左右。与之相近的还有 6100m 深海探测器, 工作时需承受巨大的海水压力。又如全焊接超级 (50 万 t) 油轮长 382m, 宽 168m, 高 27m, 采用低碳钢和低合金钢制造, 最大钢板厚度可达 140mm。再如建造现代高层建筑的焊接钢屋架, 通常都是将零、部件在工厂内制成, 然后再运到工地安装, 所用材料强度级别达 490MPa 以上, 厚度达到 100 ~ 150mm。还有许多工作条件极其恶劣的焊接结构, 如大型电站锅炉, 其工作压力 32.4MPa, 蒸汽温度可达 650℃; 容积 5080m³ 的大型高炉; 直径达 33m, 容积为 100 000m³ 的大型储罐等。

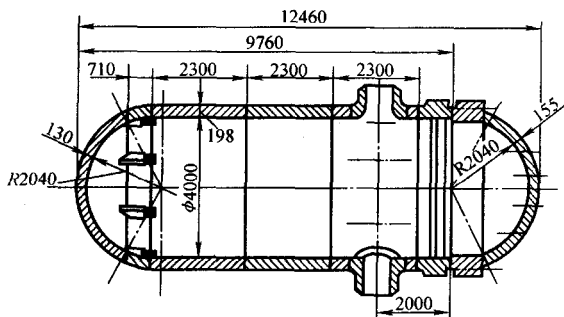


图 1-1 核压力容器简图

1.2.2 焊接材料的发展

1. 母材的发展

传统的焊接结构通常采用低碳钢或低合金高强度钢母材制造。近年来, 随着焊接技术的不断完善, 高强度钢在现代焊接结构中获得了广泛的应用。图 1-2 所示为日本统计的部分大型焊接结构所用钢材强度等级与采用的板厚规格。抗拉强度 784MPa 的高强度钢 (HT80) 已用于制造桥梁、高压管道、重型电机和海洋结构等, 更高强度级别合金结构钢的应用研究也在进行之中。超高强度钢在航天、航海和机器制造业中应用也很广泛。马氏体时效钢, 如 18Ni 钢, 是另一种常用的超高强度钢, 这种钢在淬火状态下具有高韧性, 便于热处理, 也有良好的焊接性能, 焊后经过时效处理, 可获得 1373 ~ 2059.5MPa 的高强度; 同时, 这种钢还具有很高的抗脆性断裂及抗应力腐蚀的能力, 国外正在推广用来制

造某些结构,例如飞机零件、大直径固体燃料火箭外壳、冷冻机及船体结构等。由于焊接结构的使用条件日益复杂和苛刻,各种抗腐蚀、抗高温,以及抗深冷脆断的合金钢,例如含镍量 w_{Ni} 为 9%、5.5% 和 3.5% 的镍系低温钢、铬-镍不锈钢、耐热钢、铝及铝合金、钛及钛合金等都可用来制造焊接结构。

新型材料(也称先进材料)是新近开发的具有优异性能或特殊用途的材料。按照用途可分为两大类:一类是功能材料,它是当代信息技术的材料基础,

对高新技术的发展起重要作用,包括半导体材料、信息存储材料、信息检测和传感材料、信息传输材料等;还有超导材料、特殊储能材料及生物医学材料等;另一类是结构材料,在能源利用、交通运输、太空及海洋开发等领域起重要作用,如新型金属材料、高性能工程塑料、先进陶瓷及复合材料等。

由于新材料的合成与制备常需要特殊的技术手段或特殊的环境条件,而且新材料的质量控制很严,新型材料往往具有特殊的组织结构和特殊的性能。因而,传统的焊接方法很难适应这些材料的连接,接头难以保持材料原有组织性能的特殊要求,甚至根本无法实现冶金连接。因此,为实现新型材料的优质连接,对焊接技术提出了新的更高要求。

2. 焊接材料的发展

我国是焊接材料的生产大国,产量占世界的 1/5 强,主要产品为普通电焊条,约占焊接材料总量的 3/4。目前,焊条正向着高效、低污染和具有特殊性能方向发展。气体保护焊和埋弧焊焊丝逐渐由实芯焊丝向药芯焊丝方向发展,药芯焊丝具有高效、节能及成分调节方便等优点,是未来的发展方向。埋弧焊用焊剂也逐渐由大量使用熔炼型焊剂向烧结型焊剂过渡。烧结型焊剂具有节能、成分调节方便及制造简单等一系列优点,也是焊剂的发展方向。

1.2.3 焊接生产自动化的发展

自从 18 世纪中叶瓦特发明蒸汽机引发工业革命以来,制造自动化技术就伴随着生产的机械化开始得到迅速的发展。从其发展历程看,制造自动化技术大约经历了四个发展阶段,如图 1-3 所示。

就我国的具体情况来看,焊接自动化技术普遍处于制造自动化技术的第 2 阶段(数字控制技术)与第 3 阶段(计算机控制技术)之间,只有极少数高、精、尖产品的制造水平达到第 4 阶段(计算机分布式递阶控制技术——主要是计算机集成制造系统 CIMS)。尽管如此,近半个世纪以来,焊接技术还是以迅猛的速度发展,诸如激光焊、电子束焊、等离子弧焊及各种气体保护焊等焊接方法的出现,以及高质量、高性能的焊接材料的不断

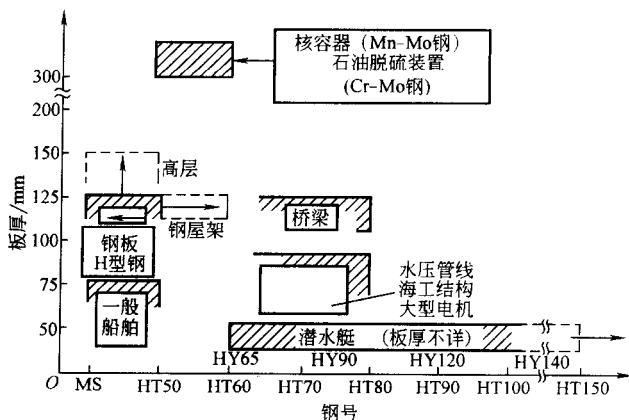


图 1-2 大型焊接结构用钢强度与板厚规格

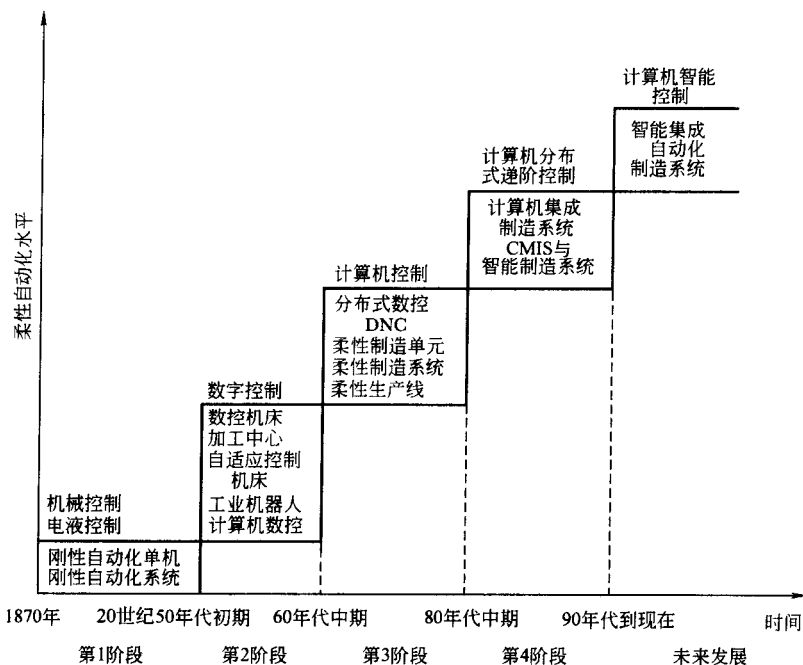


图 1-3 制造自动化技术的发展

发展和完善，使得几乎所有的工程材料都能实现焊接。而且焊接自动化迅速发展，自动化的生产方式在很多工业部门代替了焊条电弧焊生产方式。目前焊接生产自动化技术及设备的研究开发热点主要为以下三个方面：

1) 焊缝自动跟踪，特别是视觉跟踪技术。

2) 焊接过程熔滴过渡控制。

3) 焊缝成形控制，包括焊接熔深控制，全位置焊接实时控制技术以及单面焊双面成形技术。

在各种焊接技术及系统中，以电子技术、信息技术及计算机技术综合应用为标志的焊接机械化、自动化系统乃至柔性焊接制造系统，是信息时代焊接技术的重要特点。柔性焊接制造系统（单元）是信息时代焊接技术的典型代表，一般情况下，它由焊接机器人、先进焊接电源、离线编程CAD系统、工装机械系统等组成，如图 1-4 所示。焊接机器人具有比其他机器人更高超的能力，除能进行正常的行走及搬运外，还能自动跟踪焊

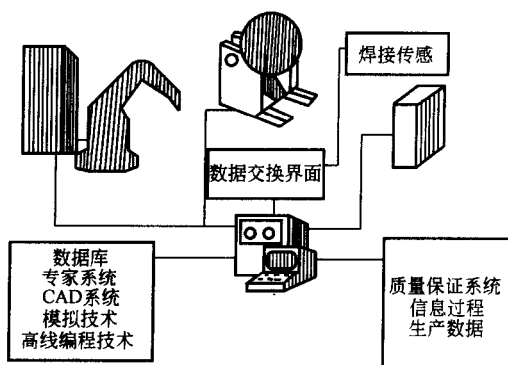


图 1-4 柔性焊接制造系统



接电弧轨迹,防止电弧及烟尘的干扰。在焊接机械化、自动化系统中,采用的焊接电源均具有良好的动特性,大多采用以先进电子元器件及先进电子技术开发生产的焊接设备,如逆变式晶闸管与 IGBT 管等焊接电源。焊接方法大多采用质量好、生产率高的方法,如自动或半自动二氧化碳气体保护焊、MIG/MAG 焊、TIG 焊及埋弧焊等。离线编程 CAD 系统使得焊接过程可自主地进行,并能对整个焊接过程的大部分动作进行模拟试验而不依赖于整个柔性系统。焊接是一个多变量的复杂过程,同时在焊接过程中也会产生热变形等其他变量,因此,很多可预测这类变量情况的焊接工程软件应运而生,用来分析计算焊接过程的众多变量。这类软件在离线编程 CAD 系统中得到了广泛的应用。

具体焊接生产自动化技术和设备详见第 5 章。