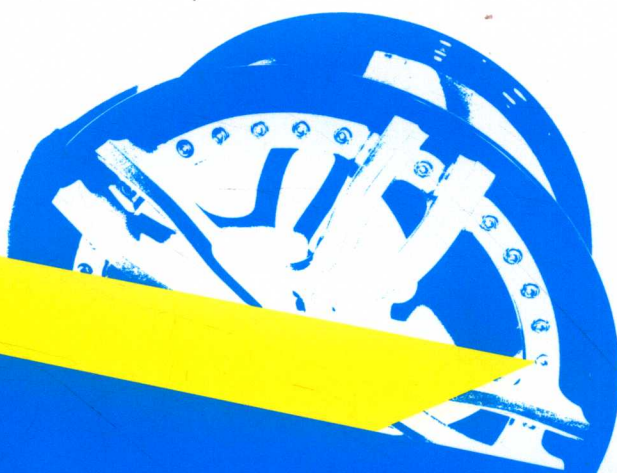


高等学校工程材料及机械制造基础课程系列教材

材料成形工艺基础

第3版

主 编 柳秉毅



非外借

高等教育出版社

高等学校工程材料及机械制造基础课程系列教材

材料成形工艺基础

Cailiao Chengxing Gongyi Jichu

第3版

主 编 柳秉毅

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是根据教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会制定的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》和该课程的教学改革精神,并结合培养应用型工程技术人才的教学特色,在第2版的基础上修订而成的。

本书除绪论外共分8章,主要内容包括铸造成形、塑性成形、连接成形、粉体材料成形、高分子材料与复合材料成形、材料成形的先进技术、材料成形方法选择与过程控制、材料成形工艺设计案例;每章附有思考题与习题,书末附有部分常用材料成形技术术语汉英对照表。本书注重理论教学以工程应用为目的,对教学内容进行了适当的整合和精炼,引导学生学以致用,加强对工程素质和综合能力的培养;加大了对新技术、新工艺和新材料内容的介绍。

本书可作为高等学校机械类、材料类和其他相关专业学生的教材,也可供高职高专、成人教育学院的相关专业选用以及相关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形工艺基础 / 柳秉毅主编. --3 版. --北京: 高等教育出版社, 2018.8
ISBN 978-7-04-049970-4

I. ①材… II. ①柳… III. ①工程材料-成型-工艺-高等学校-教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 134494 号

策划编辑 宋 晓	责任编辑 沈志强	封面设计 张 志	版式设计 马敬茹
插图绘制 于 博	责任校对 高 歌	责任印制 韩 刚	

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	河北省财政厅票证文印中心		http://www.hepmall.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	18.5	版 次	2005 年 11 月第 1 版
字 数	450 千字		2018 年 8 月第 3 版
购书热线	010-58581118	印 次	2018 年 8 月第 1 次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	35.60 元

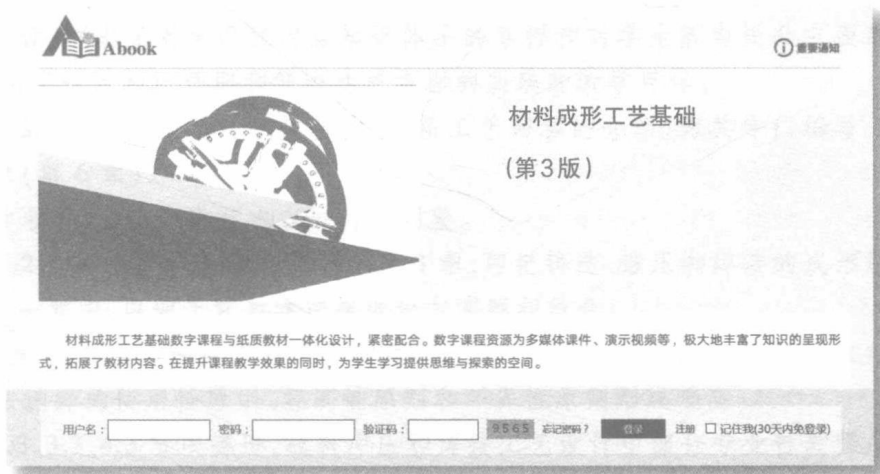
本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 49970-00

材料成形 工艺基础

(第3版)

柳秉毅

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1227734>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20 位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在
手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 abook@hep.com.cn。



扫描二维码
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/1227734>

第3版前言

本书是在第2版的基础上,根据教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会制订的本课程的教学基本要求,并结合本书前两版在教学实践中的使用情况修订而成的。近年来,我国高等工程教育的改革不断深化,国家和社会对应用型工程技术人才的培养提出了新的更高的要求,材料成形加工领域的技术进步也在持续推进,教材建设应该顺应新的形势发展,为教育教学的改革与创新发挥促进作用。为此,本次修订主要做了以下几个方面工作。

1. 结合工程教育专业认证,突出了对本课程内容知识体系的掌握和对学生能力提升方面的要求,在每一章的起始都提出了针对知识获取和能力达成方面的明确的教学目标。

2. 根据本领域技术进步的趋势,加强了对相关新技术、新工艺内容的介绍,为其专门编写了“材料成形的先进技术”一章(第6章)。

3. 从更有利于方便教学考虑,对部分章节内容进行了调整。

(1) 将第2版中的第1、2、3、4章整合为现在的第1、2、3章,即把铸造、锻压和焊接的成形原理和相应的工艺内容放在同一章中,以便于在教学中将理论与实际相结合。

(2) 将第2版第8章中有关材料成形加工的质量管理、成本分析和环境管理的内容并入第7章中,以便与材料成形方法选择的使用性原则、经济性原则和环保性原则形成呼应。

(3) 将第2版中的第2.3、3.3、4.3节中铸造、板料冲压和焊接工艺设计中部分专业性较强的内容及相关的技术图表与案例,从原章节中抽出合编为新的第8章“材料成形工艺设计案例”,这样使原章节内容得以精简,削枝强干,突出重点;同时,也增加了教学上的灵活性,对于课时有限的情况,新编的第8章的内容可以作为学生课外自主学习时的扩展阅读材料,也可以在安排学生完成工艺设计型的课外大作业时作为参考资料。

4. 对第2版中的部分内容进行了增删,对个别叙述有错误的地方进行了修改,并增加了少量的插图和习题。

本次修订过程中,参考了一些相关的教材,也借鉴了近年来的一些课程教学改革成果,在此一并致以谢意。

由于编者水平所限,书中不当之处在所难免,望读者批评指正。

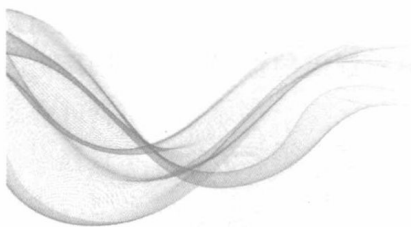
编者

2017年12月

目 录

绪论	1
第 1 章 铸造成形	8
1.1 铸造成形基本原理	9
1.2 铸造方法及其应用	20
1.3 常用合金铸件的熔铸	33
1.4 铸造工艺设计	41
1.5 铸件的结构工艺性	50
思考题与习题	57
第 2 章 塑性成形	61
2.1 塑性成形基本原理	62
2.2 塑性成形方法及其应用	70
2.3 锻压工艺设计	94
2.4 锻压件的结构工艺性	106
思考题与习题	112
第 3 章 连接成形	115
3.1 焊接成形基本原理	115
3.2 焊接方法及其应用	123
3.3 常用金属材料的焊接	143
3.4 焊接结构与工艺设计	149
3.5 粘接技术与应用	154
思考题与习题	159
第 4 章 粉体材料成形	161
4.1 粉末冶金基本原理	161
4.2 粉末冶金工艺过程	164
4.3 粉末冶金制品的结构工艺性	170
4.4 陶瓷成形基本原理	171
4.5 陶瓷材料成形的工艺过程	172
思考题与习题	178
第 5 章 高分子材料与复合材料成形	180
5.1 高分子材料成形基本原理	180
5.2 塑料制品成形	185
5.3 橡胶制品成形	200

5.4 复合材料成形基本原理	202
5.5 复合材料成形工艺	205
思考题与习题	209
第 6 章 材料成形的先进技术	210
6.1 快速成形技术	210
6.2 材料成形设计与加工数字化技术	215
6.3 智能制造技术	220
6.4 材料成形复合工艺	222
6.5 材料成形技术的发展趋势	223
思考题与习题	225
第 7 章 材料成形方法选择与过程控制	226
7.1 选择材料成形方法的原则和依据	226
7.2 常用机械零件成形方法的选择	229
7.3 材料成形加工的质量控制	237
7.4 材料成形加工的成本控制	242
7.5 材料成形加工生产中的环境管理	246
思考题与习题	248
第 8 章 材料成形工艺设计举例	250
8.1 铸造工艺设计举例	250
8.2 冲压工艺设计举例	259
8.3 焊接工艺设计举例	269
思考题与习题	274
附录 部分常用材料成形技术术语中英文对照	280
参考文献	284



绪 论

材料成形工艺(有时也称为材料成形技术),是指用于把材料从原材料的形态通过加工而转变为具有所要求的形状及尺寸的毛坯或成品的所有加工方法或手段的总称。材料是人们的生活和生产赖以进行的物质基础,而任何材料在被人们制造成有用物品(生活用品或生产工具等)的过程中,都要经过成形加工,因此这是人类生产活动中始终不可缺少的一个基础性技术领域,也是现代制造业的主要支撑性技术之一。

1. 材料成形工艺的发展历史

材料成形工艺是伴随着人类使用材料的历史而发展的。在人类使用材料之初,通过将天然材料石头、陶土可打制成石器和烧制成陶器,这是最原始的材料成形工艺。随着人们对金属材料(青铜、钢铁等)的使用,相应地产生了铸造、锻造、焊接等金属成形加工技术。20世纪以后,随着塑料和先进陶瓷材料的出现,这些非金属材料的成形工艺得到了迅速发展。在跨入21世纪后的今天,已进入了各种人工设计、人工合成的新型材料层出不穷的新时代,各种与之相应的先进的成形工艺也在不断涌现并大显身手。

材料成形技术的发展凝聚了世界上各民族的辛劳和智慧,中华民族对此也做出过极其重大的贡献。我国在原始社会后期开始有陶器,在仰韶文化和龙山文化时期制陶技术已相当成熟(图0.1)。我国是世界上应用铜、铁最早的国家,远在4000年前就已经开始使用铜合金,至商周时代(公元前16世纪—公元前8世纪)达到了青铜文化的鼎盛时期。春秋时期,我国已开始使用铁器,比欧洲国家早了1800多年。战国时期我国就发明了炼钢技术,创造了多种在当时比较先进的炼钢方法,并将其用于制造农具和兵器等。

铸造技术在我国源远流长,并达到了很高的水平,形成了闻名于世的以泥范(砂型)、铁范(金属型)和失蜡铸造为代表的中国古代三大铸造技术。据考证,早在3000年前的商周时期,我国已发明了古代熔模铸造(失蜡铸造)法;战国中期,出现了金属型铸造;隋唐以后,我国已掌握了大型铸件的生产技术。湖北曾侯乙墓中出土的战国早期青铜尊盘(图0.2),结构错综复杂,制作极其精巧,堪称我国古代熔模铸造的一件巅峰之作。湖北江陵楚墓中发现的越王勾践青铜宝剑,虽在地下埋藏了2000多年,但依然刃口锋利,寒光闪闪,可以一次割透叠在一起的十多层纸张。西汉时期曾大量使用的“透光”铜镜,被西方人称为“中国魔镜”,就是我国古代工匠巧妙地利用因铸件壁厚不同形成的铸造应力及变形的原理而制成的。现存于北京大钟寺内的明朝永乐年间铸造的大铜钟,重46.5 t,钟身内、外遍铸经文20余万字,是世界上铸字最多的大钟,其钟声浑厚悦耳,远传数十里。我国河北沧州的五代铁狮、湖北当阳的北宋铁塔等,都是世界著名的巨型铸件。

我国的锻造技术和焊接技术也有着悠久的历史。在河北藁城出土的商朝铁刃铜钺是我国发

现的最早的锻件,它表明我国在 3 000 年前就有了锻造和锻焊技术。到了战国时期,锻造工艺已普遍应用于刀剑和一些日常用具的制作中。在河南辉县战国墓中发掘出的殉葬铜器,其耳和足是用钎焊方法与本体连接的。

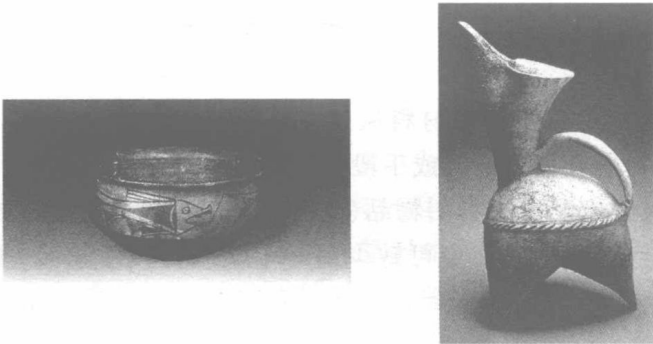


图 0.1 仰韶文化(左)和龙山文化(右)时期的陶器

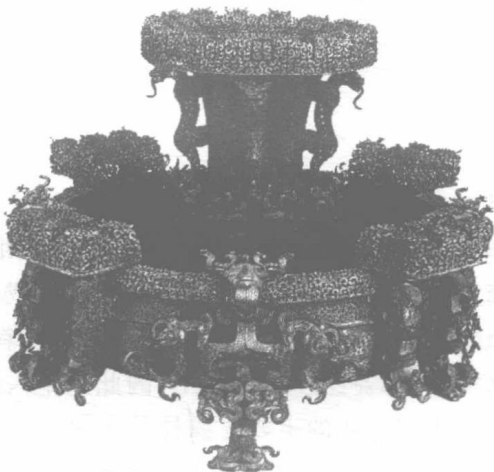


图 0.2 曾侯乙青铜尊盘

我国还是最早使用粘接技术的国家,在陕西临潼秦始皇陵陪葬坑发现的铜车马中,金银饰件固定用的就是一种无机粘接剂。

我国明朝科学家宋应星所著《天工开物》一书中,记载了冶铁、炼铜、铸钟、锻铁、焊接、淬火等多种金属成形和改性方法及生产经验,是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一。

我国的瓷器制造自古以来就享有盛名,到宋代时已形成制瓷业的“五大名窑”(汝窑、钧窑、官窑、哥窑和定窑)以及由景德镇窑、磁州窑为代表的“八大窑系”,其风格各具特色,技术各领风骚。从唐代起,中国瓷器就通过海路和陆上“丝绸之路”远销国外。

我国古代在材料加工工艺方面的科技水平曾在世界上长期居于领先地位,但在封建社会的后期,其发展出现了停滞。16 世纪以后,世界的工业和科技中心向欧洲和美国转移。18 世纪和 19 世纪发生的以蒸汽机的发明和电气技术的应用为代表的第一次和第二次技术革命,极大地改进了材料成形生产的能源结构,有力地推动了材料成形技术的发展。蒸汽-空气锤、水压机、模锻压力机、高速冲床等的使用,使金属锻压工艺彻底改变了传统的“手工打铁”的落后方式,进入到机械化现代化生产的行列。1885 年发现了气体放电电弧可作为电弧焊接的热源,1886 年发明了电阻焊,从此电焊便成为现代焊接技术的主流。生产流水线和现代生产管理制度的应用,使材料成形生产逐步实现了高效、低耗和大批大量生产的目标。20 世纪中期以后,随着计算机、微电子、信息和自动化技术的迅速融入,在涌现出一大批新型的成形技术的同时,材料成形加工生产已开始向优质化、精密化、绿色化和柔性化的方向发展。

2. 材料成形加工在国民经济中的地位

工业、农业和服务业等是构成国民经济的主导产业。材料成形加工在工业生产的各个部门都有应用,尤其对于制造业来说更是具有举足轻重的作用。制造业是指所有生产和装配制成品的企业群体的总称,包括机械制造、运输工具制造、电气设备、仪器仪表、食品工业、服装、家具、化工、建材、冶金等,它在整个国民经济中占有很大的比重。统计资料显示,在我国,近年来制造业占国内生产总值 GDP 的比例已超过 35%。同时,制造业的产品还广泛地应用于国民经济的其他

诸多行业,对这些行业的运行有着不可忽视的影响。因此,作为制造业的基础之一的和主要的生产技术,材料成形加工在国民经济中占有十分重要的地位,并且在一定程度上代表着一个国家的工业和科技发展水平。

通过下面列举的数据和事例,可以真切、具体地了解到材料成形加工对制造业和国民经济的影响。据统计,占全世界总产量将近一半的钢材是通过焊接制成构件或产品后投入使用的;在机床和通用机械中铸件质量占 70%~80%;农业机械中铸件质量占 40%~70%;汽车中铸件质量约占 20%,锻件质量约占 70%;飞机上的锻件质量约占 85%;发电设备中的主要零件如主轴、叶轮、转子等均为锻件制成;家用电器和通信产品中 60%~80%的零部件是冲压件和塑料成形件。再从人们熟悉的交通工具——轿车的构成来看,发动机中的缸体、缸盖、活塞等一般都是铸造而成,连杆、传动轴、车轮轴等是锻造而成,车身、车门、车架、油箱等是经冲压和焊接制成,车内饰件、仪表盘、车灯罩、保险杠等是塑料成形制件,轮胎等是橡胶成形制品。因此,可以毫不夸张地说,没有先进的材料成形工艺就没有现代制造业。

新中国成立以后,我国的材料成形技术重新走上了振兴之路,特别是改革开放以来,更是取得了巨大的成就,为促进国民经济发展和改善人民的物质文化生活发挥了积极的作用。

目前,我国已成为举世第一的制造业大国,一大批以材料成形技术为重要支撑的行业和企业已经成长壮大。自从 20 世纪 50 年代中期第一辆自行生产的解放牌汽车诞生以来(图 0.3),我国现已建成了较先进完备的汽车工业生产体系,汽车年产量位列世界第一;我国自力更生发展起来的航空制造业已形成规模,可以生产先进的各种用途的军用飞机和中型民用飞机;我国的船舶制造业跻身于世界前列,已能够建造数十万吨级的超大型船只。我国高铁技术水平世界一流,行车时速和通车里程全球第一,而高铁车身的制造和铁轨的铺设就要依靠先进的焊接技术。我国是世界上少数几个拥有运载火箭、人造卫星和载人飞船发射实力的国家,这些航天飞行器的建造离不开先进的成形工艺,其中火箭和飞船的壳体都是采用了高强轻质的材料,通过特种焊接和粘接技术制造的。

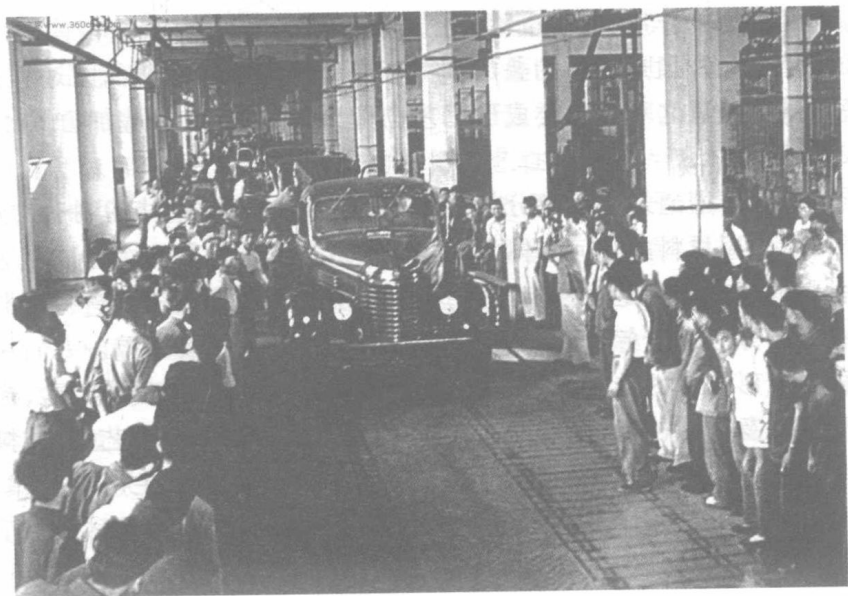


图 0.3 我国第一辆自行生产的解放牌汽车

重型机械的制造能力是反映一国的成形技术水平的重要标志,我国已成功地生产出了世界上最大的轧钢机机架铸钢件(质量为 743 t),锻造了 196 t 汽轮机转子,采用铸-焊组合方法制造了 12 000 t 水压机的立柱(高 18 m)、底座和横梁以及长江三峡电站巨型水轮机的转轮(由不锈钢铸造的叶片、上冠和下环焊接而成,直径 10 m,总质量为 450 t,见图 0.4)等特大型零、部件。

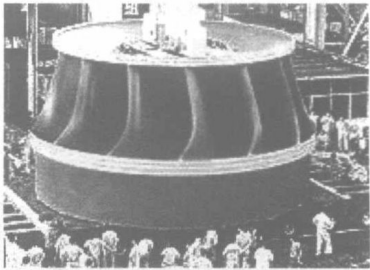


图 0.4 长江三峡电站巨型水轮机的转轮

进入 21 世纪以后,随着我国改革开放步伐和世界经济一体化进程的加快,通过技术引进和科技创新,我国材料成形的技术水平已达到了新的高度。我国制造业生产的产品在质量、品种和产量上都比过去有了大幅度的提高,许多产品的产量已居世界第一,不仅极大地丰富和满足了国内市场需求,而且以强大的竞争力不断扩展其在国际市场上的占有率。伴随着中国从制造大国走向制造强国的过程,我国的材料成形技术必将再创辉煌。

3. 材料成形技术的知识体系

材料的成形加工过程必须具备三个基本要素,即材料、能量和信息。这些要素在加工过程中形成物质流、能量流和信息流,物质流即加工过程中原材料变为制品的物质形态变动过程;能量流即加工过程中各种能量的输入、消耗和转化过程,例如在热加工生产中将各种能量转化为热能来加热金属;信息流即加工过程中各类信息发生作用的过程,可分为形状信息流和性能信息流等。正是这三类要素的流动及其相互作用,并通过对其进行正确的控制,才使材料成形得以实现。所以,现代材料成形工艺技术是一门融材料技术、能源技术和信息技术为一体的综合性技术。根据加工过程物质流中物质形态变化情况的不同,可以将材料成形过程及其工艺分为三种类型。

(1) 材料质量不变 即加工过程只改变材料的几何形状和(或)性能,而材料的质量在加工过程中不改变或近似不变。此类成形工艺也称为变形成形。由于材料在变形成形中要受到成形设备或模具所施加的外力的作用,所以也称为受迫成形。

(2) 材料质量增加 即通过材料的叠加获得所需形状和尺寸的制品的过程,其制品的质量基本上等于各叠加部分质量之和。此类成形工艺也称为叠加成形,按叠加方式不同又可分为连接成形和累积成形等。

(3) 材料质量减少 即通过去除部分材料以获得所需形状和尺寸的制品的过程,其制品的形状和尺寸只能局限于原材料的几何形体之内。此类成形工艺也称为去除成形。

由此可见,材料成形的方法是多种多样的,在不同类型的成形方法中材料成形的机理也是不同的,不同的材料成形方法有着各自的特点、适用场合和技术设计要求等。人们在长期以来的研究、改进和发展材料成形技术的实践中,探索出大量的规律,积累了丰富的经验,构建起以材料成形原理、材料成形方法及应用、材料成形工艺设计、材料成形件的结构工艺性、材料成形生产过程控制等为主要模块的一个完整的知识体系,以应对和解决材料成形生产和技术发展中的各种问题。

材料成形原理要解决的有以下问题:首先,要揭示材料成形过程发生的机理(它的发生所受到的物理、化学、冶金、机械的作用或是某种综合作用),例如,金属的铸造、锻造都属于变形成形

(材料质量不变过程),但是二者的根本不同在于:铸造是液态金属凝固成形的过程,而锻压则是固态金属通过塑性变形而成形的过程。其次,在材料成形的同时还常常伴随着材料整体或局部的组织与性能的改变,这种组织与性能的变化对于成形件的制造质量和使用性能有很大的影响,控制得不好就有可能引发缺陷的产生,因此,材料成形原理也要对此加以阐述。另外,与之相关的还有一个重要问题,就是不同的材料对于不同的成形方法的适应性问题,即材料的成形工艺性能及其影响因素。了解以上三方面的相关知识,就为正确地设计材料的成形加工工艺和准确地分析材料成形中产生的缺陷打下了理论基础,也为正确地选用与成形工艺相适应的材料以及如何改善材料的工艺性能提供了理论的指导。

随着人类几千年来的科技进步和生产发展,材料成形方法的种类已经非常多样化,如何选择适用的成形方法来进行产品的制造,就成为需要进行正确决策的一项工作。一方面,不同的成形方法会获得不同的加工效果或适用于不同的生产条件。例如,主要以手工方式完成的成形方法(如手工造型铸造、自由锻等),往往具有生产效率低,产品质量不稳定,但工艺灵活性大,生产准备时间短等特点,比较适合于单件、小批量的生产类型;而主要以机械化方式完成的成形方法(如压力铸造、模锻等),则具有生产效率高,产品质量一致性好,但工艺过程刚性大,生产准备时间较长等特点,适合于零件的大批量生产。另一方面,某些不同的成形方法相互之间是具有可替代性和可选择性的,常常需要根据实际情况在它们中间做出合理的、择优的选择。因此,熟悉常用的材料成形方法及其应用特点,是从事与材料加工相关行业工作的工程技术人员必须做到的。

确定了成形方法之后,要想顺利完成材料成形加工的工作,还必须要有对其具体操作过程的技术层面上的指导和依据,这就需要制订材料成形加工的技术规程,包括相关的技术方案、技术参数、工艺装备设计等,并且通过专业化的技术文件(如工艺图、工艺卡、工艺说明书等)把它们表达出来,使之能够用于指导和规范工人的操作工作,这就是材料成形工艺设计。其中所涉及的相关设计知识和方法,既有基于理论研究而获得的理论性知识,也有许多是来自经长期生产实践的积累和提炼而获得的经验数据和方法。因此,掌握这方面的知识并能通过实践将其加以应用,对于工程能力和实践能力的培养会有很大帮助。

所加工的零件的结构(形状与尺寸等)对成形过程也有一定的影响。实际上,有时候某个零件的成形加工出了问题,产生了缺陷,其主要原因并不是工艺的问题,而是零件自身的结构不够合理。因此,在设计零件结构的时候,设计者必须既要要从它们使用功能的方面去考虑,也要从它们的加工要求的角度去考虑,后者就是零件的结构工艺性问题。与之相关的知识就是要告诉我们,如何让零件的结构能适应成形加工的要求。而考虑这个问题的出发点,就是零件的结构设计不要引起加工难度的增大,不应造成加工缺陷的出现或增加。显然,要想设计出结构工艺性优良的零件,前提条件就是必须充分了解其成形加工过程及其工艺设计的知识。

材料成形工艺基础课程的内容,就是依据上述的知识体系展开的。

4. 材料成形工艺基础课程的主要内容

作为高等工科学校机械类、材料类及其他近机械类专业学生的一门技术基础课,本课程主要涉及的是与机械制造有关的材料成形工艺的基础知识。

机械制造是将原材料制造成机械零件,再由零件装配成机器的过程。其中,机械零件制造在整个机械制造的过程中占据了很大的比重,而成形加工又是机械零件制造的主要工作。由于传统上的机械大都是用金属材料制造的,所以长期以来人们又把有关机械制造的基础知识称为金

属工艺学。但是,随着科学和生产技术的发展,机械制造所用的材料已扩展到包括金属、非金属和复合材料在内的各种工程材料。因此,机械产品的成形加工也就不再局限于传统意义上的金属加工的范畴,而是将非金属和复合材料等的成形加工也包含进来。

金属材料的成形方法一般有铸造、塑性成形、焊接、粘接和机械加工(包括切削加工和特种加工)等常用方法,非金属和复合材料则另有各自的特殊成形方法。在使用铸造、塑性成形和焊接的方法进行零件成形时,常常需要将材料加热到较高的温度(大于金属的再结晶温度),所以这几种加工方法习惯上被称为热加工;而机械加工尤其是切削加工一般是在常温或低于金属的再结晶温度下进行,因此习惯上被称为冷加工。机械加工的优点是可使零件获得很高的尺寸精度和很小的表面粗糙度值,但一般说来,由于大多数的机械零件与原材料之间在形状和尺寸上相差较大,如果完全依靠机械加工来制造零件,则材料和加工时间的耗费往往很大,显然这在多数情况下(尤其是大批量生产的情况下)是不经济的。而采用热加工工艺来制造零件时,由于在成形过程中较少或没有材料的损耗,故能以较高的生产率制造出与零件相近的制品,但传统的热加工工艺的制造精度一般不如机械加工。因此,在机械制造过程中,一般是先用热加工的方法制造出零件的毛坯,再用机械加工的方法进一步改变制品的形态,使其最终被加工成合格零件。其间,为了改善材料的加工性能和使用性能,通常还需对工件进行有关的热处理。近年来,热加工工艺中的精密成形技术不断产生和发展,使其所生产的制品的形状、尺寸和表面质量更接近零件的要求。采用精密铸造、精密塑性成形、精密焊接等方法已能够取代部分零件的切削加工而直接获得成品零件。

由于金属材料在机械制造领域中仍然占有主导地位,而且金属的铸造、塑性成形、焊接等传统的常规成形工艺至今仍是量大面广、经济适用的技术,因此它们是本课程论述的重点内容,同时本课程也将介绍粘接、粉末冶金和非金属材料及复合材料的成形工艺的基本知识。切削加工和特种加工虽然也属于材料成形加工的范畴,但因为另有专门的课程进行介绍,故不再作为本课程的内容。

5. 本课程的特点与学习方法

本课程的先修课是金工实习、工程制图、工程材料等课程,以使學生具有一定的材料成形加工的感性知识以及有关机械制图和工程材料的基础知识。

本课程的特点是融多种工艺方法为一体,以叙述性内容为主,涉及面广,信息量大,实践性强,因而在学习方法上应当进行适当的调整,以求获得良好的学习效果。

本课程是一门体系较为庞杂、知识点多而分散的课程,因此在学习时要注意抓好课程的主线。对于每一类成形工艺而言,其内容基本上都是围绕着“成形原理—成形方法及应用—成形工艺设计—成形件的结构工艺性”这样一条主线而展开的。按照主线对知识点进行归纳整理,将有利于在学习保持清晰的思路,有利于对本课程内容的总体把握。在抓好主线的同时,还要注意比较不同的成形工艺的特点,建立相关知识点之间的联系,这将有利于在学习保持开阔的思路,有利于使所学的知识能够融会贯通,在分析和解决问题的时候,就能够做到触类旁通,举一反三。最终达到以下学习目的:掌握各种成形方法的基本原理、工艺特点和应用场合,了解各种常用的成形设备的结构和用途,具有进行材料成形工艺分析和合理选择毛坯(或零件)成形方法的初步能力。

本课程是一门有着丰富的工程应用背景的课程,因此在学习要十分重视对工程素质的培

养。要了解工艺问题的综合性和灵活性,学会全面地、辩证地看问题的方法。一般说来,材料成形加工并不仅仅是与工艺本身有关,而且还涉及产品的设计、质量、成本、效益、环保等方方面面的因素。因此,在分析每个具体问题的时候,要善于抓住主要的影响因素,同时兼顾次要因素;要防止对知识的不求甚解和以偏概全,要避免将理论当作教条去生搬硬套。要用与时俱进的观念来看待技术的发展和新技术和新工艺的学习中了解前人的创新精神和创新方法。在遇到学习中的问题时,要勤奋钻研,敢于进行创新思维和提出自己的独特见解,从而逐步建立起包括质量意识、管理意识、经济意识、环保意识和创新意识等在内的工程意识,不断强化对解决工程问题方法的掌握。

本课程是一门实践性很强的课程,因此在学习中要坚决摒弃那种“重理论、轻实践”的错误观念,既不要因为课程中没有太多深奥的理论和公式而轻视它,也不要由于自身缺乏足够的工程实践经验而对其产生畏难心理。除了课堂讲授之外,还应对本课程的多媒体教学、现场参观、课堂讨论和实验教学等给以充分重视并积极参与。要注意结合前期金工实习的实践经历和平时日常生活中接触到的机械产品的实例,加深对所学内容的理解。对于本课程的作业和工艺设计练习,应通过独立思考,在真正搞懂相关内容之后认真地完成。本课程中所学的知识在以后的专业课程学习、课程设计和毕业设计中都会用到,应充分利用这些机会来反复练习,扎实掌握,巩固提高,真正做到以用促学、学以致用。

第1章

铸造成形

本章教学目标

知识获取:理解金属铸造成形基本原理,熟悉砂型铸造和特种铸造的工艺过程、特点及应用范围,了解常用铸造合金的熔铸特点,掌握制定砂型铸造工艺规程的基本知识,掌握铸件结构设计的基本知识,了解铸造新技术与新工艺。

能力达成:具有分析和判断金属材料铸造性能好坏的基本能力,具有正确选择铸造方法以及简要制定铸造工艺规程的能力,具有分析铸造缺陷的初步能力,具有分析零件结构铸造工艺性和对其不合理的地方加以改进的初步能力。

铸造是指通过熔炼金属,制造铸型,并将熔融金属注入铸型中使之冷却,凝固后获得具有一定形状和性能的铸件的成形方法,也称为金属液态成形。图 1.1 所示为砂型铸造工艺过程。

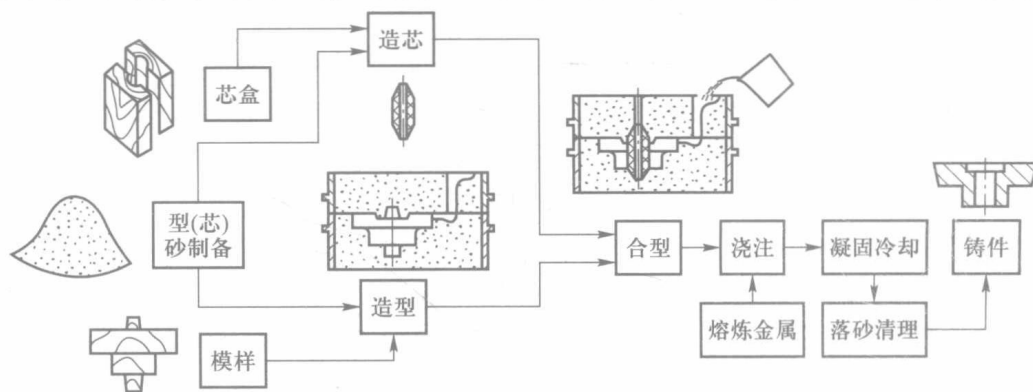


图 1.1 砂型铸造工艺过程

铸造是毛坯和零件成形的主要方法之一。铸造生产历史悠久,而且至今仍然在国民经济中占有很重要的地位。与其他成形方法相比,铸造具有以下特点:

(1) 成形能力强。铸造属于液态成形,借助于液态金属具有良好的流动性和充填铸型能力,最适于生产复杂形状,特别是具有复杂内腔的毛坯或零件。对于不宜塑性成形和焊接的材料,铸造生产方法具有特殊的优势。

(2) 适应性广,工艺灵活性大。铸件的合金成分、尺寸、形状、质量和生产批量等几乎不受限制;铸造还具有材料制备—成形一体化的优势,便于调控铸件的性能。并且,金属铸造成形的原理和方法还被广泛借鉴,应用于聚合物、陶瓷及复合材料的成形。

(3) 经济性好。铸造用原材料大都来源广泛,铸件生产成本较低。

铸造成形的主要缺点是,铸件(尤其是传统的砂型铸件)的组织比较粗大,且内部常有缩孔、缩松、气孔等铸造缺陷,因而铸件的力学性能一般不如锻件;铸造生产工序较多,工艺过程较难控制,致使铸件的废品率较高;铸造的工作条件较差,工人劳动强度较大。

随着科学技术的进步,铸造技术也获得了不断发展。铸件性能和质量正在进一步提高,劳动条件正逐步改善,现代铸造生产正朝着专业化、集约化和智能化的方向发展。

1.1 铸造成形基本原理

无论何种铸造方法,在具备了合格的铸型和熔融金属的条件下,其铸件的形成及质量将主要决定于金属的充型和凝固这两个过程,金属充满型腔的过程会影响到铸件的形状和尺寸,而凝固过程将决定铸件的组织和性能。

1.1.1 熔融金属的充型凝固过程

1. 液态金属的结构与性质

通过加热可使金属熔化,即由固态转变为熔融状态。在铸造生产中熔化得到的液态金属在熔点以上过热不高,一般是高于熔点 $100\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

一般认为,液体中的原子呈不规则排列状态,但其不规则程度比气体状态要小。进一步的研究表明,液态金属的结构(尤其是在熔点以上过热不高的情况下)实际上远不同于气体,而是更接近于固体。液态金属的内部在短距离的小范围内,其原子具有近似于固态结构的规则排列,即存在众多短程有序的原子集团,但这种原子集团是不稳定的,瞬时出现又瞬时消失,犹如在不停地游动,这种现象称为结构起伏。以上结构特点决定了液态金属具有易流动性和无定形性(即不能保持自身的固定形状而只能具有所盛容器的形状)的宏观特性。液态金属的充型过程正是建立在这两个特性的基础之上的。

2. 熔融金属的流动充型过程

熔融金属是在过热的状态下充填铸型的,它与型腔之间发生着强烈的热交换,因此金属液的温度随着充型过程的进行而不断下降。因为金属液流的前端不断与冷的型腔壁接触,冷却最快。在过热热量未散尽之前,可以认为金属是以纯液态流动的。当温度下降到液相线以下时,金属液流中析出晶体,并在随液流前进的过程中不断增多,使其流动能力明显下降并最终停止流动。熔融金属的流动能力通常称为流动性,可以用在规定的铸造工艺条件下的流动性试样的长度来衡量。图 1.2 所示为螺旋形流动性试样,在相同的铸型及浇注条件下,浇出的螺旋形试样长度越长,则表明金属的流动性越好。

利用浇注流动性试样来研究液态金属在充型时停止流动的机理,可以发现其按金属的结晶特性分为两种情况。具有固定结晶温度的纯金属、共晶成分合金以及结晶温度范围很窄的合金充型时,当液流的前端的温度达到凝固点时,金属在型壁上开

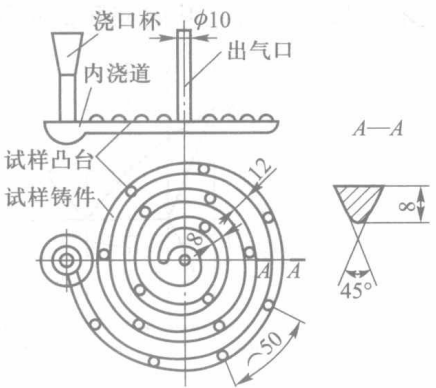


图 1.2 螺旋形流动性试样

始凝固结壳,而后续的金属液依然能够在结壳层中的管道内继续向前流动,直到四周的结壳层凝固至中心将管道封闭而使金属液流动停止,如图 1.3a 所示。结晶温度范围很宽的合金充型时,金属液流前端的温度下降到液相线以下时,液流中开始析出晶体,随液流前进并不断长大,随着晶粒数量的增多,金属液的黏度增加,流速减慢。当前端金属液中固相数量达到某一临界值时,便会结成一个连续的网络,推动液流前进的压力不能克服此固相网络的阻力时,将发生堵塞而停止流动(实验表明,固相数量达到 15%~20%时流动即停止),如图 1.3b 所示。

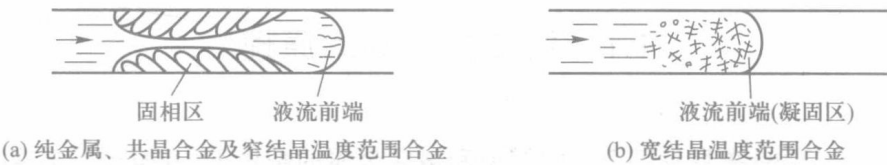


图 1.3 液态金属充型时停止流动机理示意图

熔融金属通常是在纯液态的情况下充填型腔的,有时也会以边流动、边结晶的状态充填铸型(例如当浇注温度过低或充填薄壁型腔时)。在后一种情况下,如果停止流动发生在铸型型腔被充满之前,则将不能获得形状完整的铸件,即出现浇不到或冷隔的缺陷。

3. 铸件的凝固方式

金属的凝固结晶,实质上就是其原子排列由短程有序状态的液体转变为长程有序状态的晶体的过程,这一过程不仅使铸件的形状固定下来,同时也决定了铸件的组织 and 性能。铸件的凝固方式在其中起着重要的作用。铸件的凝固通常是从外向内进行的,在凝固过程中,其断面上一般存在三个区域,即固相区、固相与液相并存的凝固区和液相区。根据其中凝固区宽度的不同,可将铸件的凝固方式分为以下三种类型:

(1) 逐层凝固方式 纯金属和共晶成分的合金是在恒温下结晶的,铸件凝固时其凝固区宽度接近于零,所以铸件外层已凝固的固相区和内部尚未开始凝固的液相区之间被一清楚的界面分开。随着温度的下降,液相区不断减小,固相区不断增大而向中心推进,直至到达铸件中心。这种凝固方式称为逐层凝固,如图 1.4a 所示。

(2) 体积凝固方式 如果合金的结晶温度范围很宽,或者铸件断面上温度梯度较小,则在凝固的某段时间内,其固相和液相并存的凝固区会贯穿铸件的整个断面。这种凝固方式称为体积

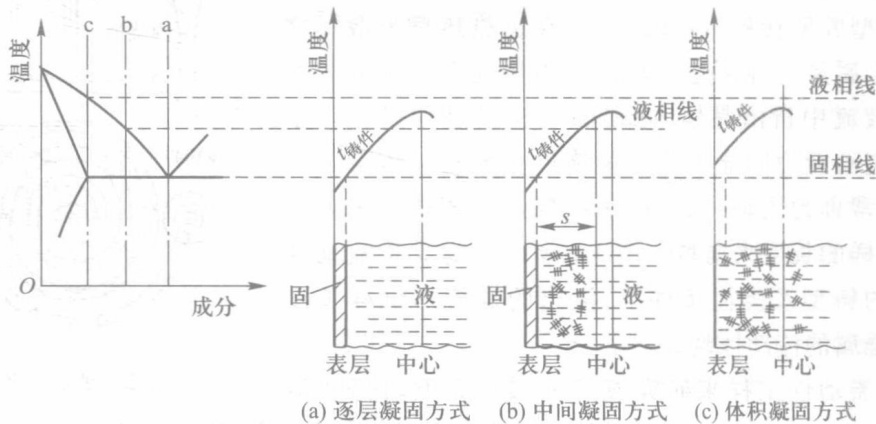


图 1.4 铸件的凝固方式