



全国教育科学“十一五”规划课题研究成果

材料成形工艺基础 第2版

主编 柳秉毅



 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

全国教育科学“十一五”规划课题研究成果

材料成形工艺基础

Cailiao Chengxing Gongyi Jichu

第2版

主 编 柳秉毅
副主编 王占英
参 编 杨红玉 赵健闯 邵国友



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是全国教育科学“十一五”规划课题研究成果,是根据教育部新制定的“普通高等学校工程材料及机械制造基础课程教学基本要求”中的材料成形工艺基础部分和该课程的教学改革精神,结合培养应用型工程技术人才的教学特色在第1版的基础上修订而成的。

本书除绪论外共分8章,主要内容包括金属材料成形基本原理、铸造成形、塑性成形、连接成形、粉末材料成形、高分子材料与复合材料成形、材料成形方法的选择、材料成形生产的管理与技术进步等。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中英文对照表。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,加强对学生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。

本书可作为普通高等学校机械类和近机械类专业的教材,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. —2版. —北京:
高等教育出版社, 2011.5
ISBN 978-7-04-031604-9

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第022111号

策划编辑 宋晓 责任编辑 宋晓 封面设计 李卫青 责任绘图 尹莉
版式设计 王艳红 责任校对 陈旭颖 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 涿州市星河印刷有限公司

开本 787×1092 1/16
印张 17.75
字数 430 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2005年11月第1版
2011年5月第2版
印次 2011年5月第1次印刷
定价 28.00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 31604-00

第2版前言

本书是在第1版的基础上修订而成的,修订工作依据教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会对本课程的教学基本要求,并结合本书第1版在教学实践中的使用情况进行的。本次修订坚持了“强化基础,突出应用,培养能力”的编写原则,立足于应用型人才培养,基本保持了本书第1版的体系和内容,主要进行了以下几个方面修订工作。

1. 对第1版中的文字错误作了较全面的检查和修订,对不合适的插图进行了更换或更改,以进一步做到图文并茂。

2. 根据近年来国内外材料成形技术领域的发展情况,适当增加了新技术、新工艺的内容,如搅拌摩擦焊、金属粉末注射成形等。同时,根据新的相关国家标准对一些技术术语和符号做了更新。

3. 对第1版第7章和第8章的章节顺序进行了适度调整,以使本书的结构体系更为合理和更加便于实施教学。

4. 增加了“部分常用材料成形技术术语中英文对照”(附录),以适应我国制造业加快与国际接轨的形势对本课程提出的要求。

本次修订工作由柳秉毅负责主持,本书第1版的作者参加了部分修订工作。江苏大学戈晓岚教授审阅了全书,在此表示感谢。本书修订过程中,参考了一些相关的教材和资料,也借鉴了一些高校近年来课程教学改革的成果,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
2011年3月

第 1 版前言

本书是教育科学“十五”国家规划课题“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究成果,是根据教育部相关课程教学指导委员会制定的工程材料及机械制造基础课程中的热加工工艺基础部分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而编写的。

本书主要介绍常用工程材料的成形方法及其相关的工艺知识。它对原“热加工工艺基础”的传统内容(即金属材料铸造、塑性成形和焊接等工艺基础内容)进行了精选和优化,适当拓展了粉末冶金、非金属材料成形和复合材料成形等内容,以适应现代制造业中材料成形生产技术的现状和发展趋势,满足 21 世纪对应用型工程技术人才培养的宽口径、厚基础、强能力的要求。本书贯彻了“强化基础,突出应用,培养能力”的基本指导思想,具有以下主要特点:

(1) 坚持以加强学生素质教育和创新能力培养作为教材编写的努力目标,突出培养应用型人才的特色,注重理论教学以工程应用为目的。

(2) 遵循知识的系统性与认识的循序渐进相结合的原则,用整体优化的观点分析本课程知识的整体系统和内在的逻辑联系,对教学体系和内容进行了适当的整合和精炼。例如,将金属材料成形(铸造、塑性成形、焊接)原理整合为一章,以利于学生从总体上把握金属材料成形的一般规律和不同成形方法之间的相互联系。但教师在教学中可根据具体情况和自己的教学风格进行灵活操作,既可独立成章地讲授,也可将其分散于后续各相关章节中讲授。

(3) 以培养工艺设计能力作为本书编写的着重点之一,便于教师采用案例教学法(或项目教学法)实施教学,即在教学时通过各种典型零件(或项目)引出各章节中具体的成形方法及其工艺设计与应用等。配合有关章节所附的工艺练习题,可将大型工艺设计作业(或课程设计)融入教学之中,引导学生学以致用,培养其分析和解决问题的能力。

(4) 重视对学生工程素质和综合能力的培养,在介绍各种工艺方法的同时,还注意帮助学生建立关于质量、成本、环保等意识。如果受课时限制,这一部分内容(第 7 章)可安排学生自学,教师只做必要的指导即可。

(5) 处理好新、旧教学内容之间的关系,加强了对新材料、新工艺、新技术内容的介绍,以帮助学生扩大知识面和增强创新意识。

(6) 在编写风格上力求做到通俗易懂,图文并茂,可读性好。

本书由南京工程学院柳秉毅任主编,河北建筑工程学院王占英任副主编。参加编写的人员有:柳秉毅(绪论、第 1 章、第 4 章 4.4、第 6 章、第 7 章和第 8 章),杨红玉(第 2 章 2.1、2.2 和 2.4),赵健闯(第 2 章 2.3、第 5 章),王占英(第 3 章),邵国友(第 4 章 4.1~4.3)。

本书由江苏大学戈晓岚教授审阅。南京工程学院金禧德教授对本书部分章节提出了宝贵的建议和修改意见。本书编写过程中,参考了许多有关的教材和学术资料(见书后参考文献),借

鉴了一些高校课程教学改革的成果。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

2004年8月

目 录

绪论	1	5.2 粉末冶金工艺过程	188
第1章 金属材料成形基本原理	6	5.3 粉末冶金制品的结构工艺性	194
1.1 铸造成形基本原理	6	5.4 陶瓷成形基本原理	195
1.2 塑性成形基本原理	18	5.5 陶瓷材料成形的工艺过程	197
1.3 焊接成形基本原理	27	思考题与习题	203
思考题与习题	39	第6章 高分子材料与复合材料成形	204
第2章 铸造成形	40	6.1 高分子材料成形基本原理	204
2.1 铸造方法及其应用	40	6.2 塑料制品成形	208
2.2 常用合金铸件的熔铸	53	6.3 橡胶制品成形	224
2.3 铸造工艺设计	62	6.4 复合材料成形基本原理	226
2.4 铸件的结构工艺性	78	6.5 复合材料成形工艺	229
思考题与习题	86	思考题与习题	233
第3章 塑性成形	89	第7章 材料成形方法的选择	234
3.1 塑性成形方法及其应用	89	7.1 选择材料成形方法的原则和依据	234
3.2 锻造工艺设计	113	7.2 常用机械零件成形方法的选择	237
3.3 冲压工艺设计	123	思考题与习题	245
3.4 锻压件的结构工艺性	137	第8章 材料成形生产的管理与技术	
思考题与习题	142	进步	250
第4章 连接成形	146	8.1 材料成形加工的质量管理	250
4.1 焊接方法及其应用	146	8.2 材料成形加工的成本分析	256
4.2 常用金属材料的焊接	165	8.3 材料成形加工生产中的环境管理	259
4.3 焊接结构与工艺设计	170	8.4 材料成形技术新进展及发展趋势	262
4.4 粘接技术与应用	179	思考题与习题	270
思考题与习题	184	附录 部分常用材料成形技术术语中	
第5章 粉末材料成形	186	英文对照	271
5.1 粉末冶金基本原理	186	参考文献	275

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(无论是生活用品或是生产工具等)的过程中,都要经过成形加工,因此这是人类的生产活动中始终不可缺少的一个基础性技术领域。

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、陶土打制成石器和烧制成陶器,就诞生了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。公元前六七世纪的春秋时期,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46.5t,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3000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。

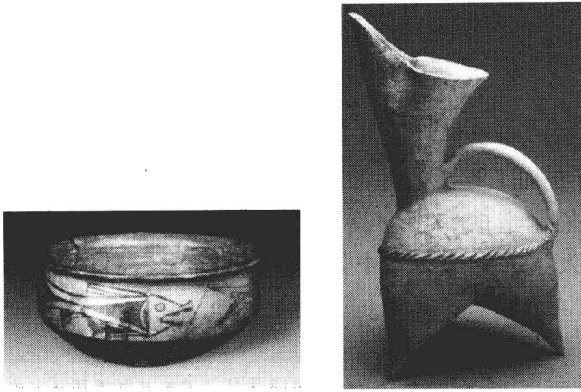


图 0.1 仰韶文化(左)和龙山文化(右)时期的陶器

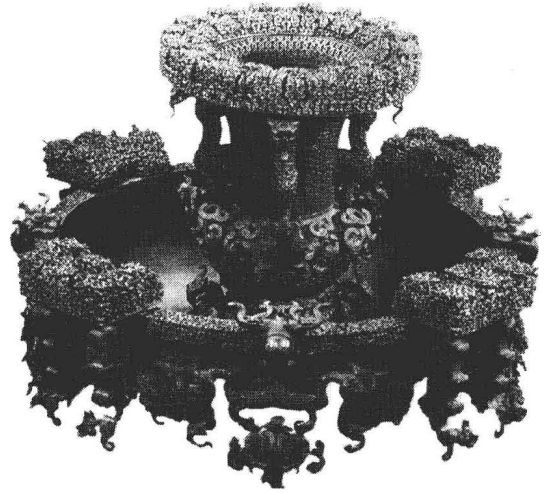


图 0.2 曾侯乙青铜尊盘

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、均窑、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着优质化、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。

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),我国现已基本建成了较完备的汽车工业生产体系,汽车年产量名列世界前茅;我国自力更生发展起来的航空制造业已初具规模,可以生产较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 150 000 t 级以上的超大型船只。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,通过先进的特种焊接和粘接技术制造的。

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(重 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,总重 450 t,见图 0.4)等特大型零、部件。

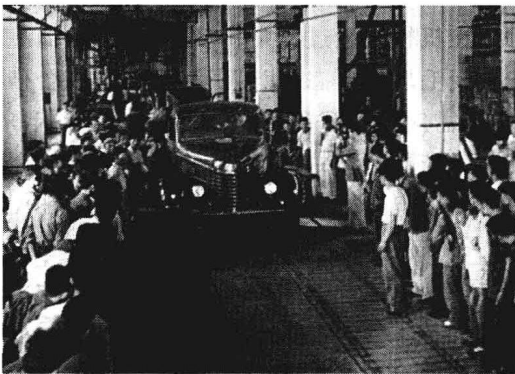


图 0.3 我国第一辆自行生产的解放牌汽车

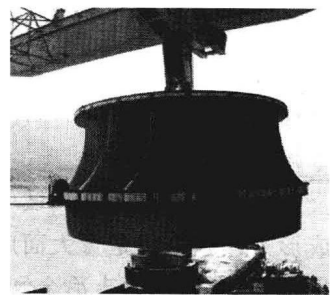


图 0.4 长江三峡电站巨型水轮机的转轮

坐落在香港大屿山和无锡太湖边的天坛大佛和灵山大佛塑像,分别高 26.4 m 和 88 m,均是

采用青铜分块铸造后拼焊装配而成。这两座巨型佛像一坐一立,体态雄健庄重,充分体现了成形工艺与人文艺术的完美结合,对于弘扬我国的传统文化和促进当地的旅游业起到了很大的作用。

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,我国已成为全球制造业的中心之一。通过技术引进和技术创新,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,其中许多产品(如彩电、手机、电冰箱等)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. 材料成形工艺基础课程的内容

作为高等工科学校机械类和近机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叫做金属工艺学。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毛坯的形态,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,使其所生产的毛坯的形状、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。

4. 本课程的学习要求与学习方法

本课程是机械类专业的主干课程之一,也是部分近机械类专业通常开设的一门课程。学生在学完本课程之后,应达到以下基本要求:

(1) 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。

(2) 具有综合运用工艺知识,分析零件结构工艺性的初步能力。

(3) 了解与材料成形技术有关的新材料、新工艺及其发展趋势。

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,将有利于在学习中保持清晰的思路,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,这将有利于在学习中保持开阔的思路,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。

本课程是一门有着丰富的工程应用背景的课程,因此在学习时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,要避免将理论当做教条去生搬硬套。要用与时俱进的观念来看待技术的发展和新技术之间的关系,从对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,因此在学习时要坚决摒弃那种“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一再用,应充分利用这些机会来对其反复练习,扎实掌握,巩固提高,真正做到以用促学、学以致用。

第1章 金属材料成形基本原理

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。

(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。

金属材料成形工艺中的铸造、塑性成形属于变形成形(材料质量不变过程),焊接和粘接属于连接成形(材料质量增加过程)。铸造成形和塑性成形的主要不同在于,铸造是液态金属凝固成形的过程,而塑性成形(如锻压)则是固态金属通过塑性变形而成形的过程。焊接和粘接的主要区别是它们所用的连接方式和性质不同。在这些不同类型的成形方法中,材料成形的机理也是不同的。另一方面,这些常用的金属材料成形工艺也有一个共同的特点,就是在材料成形的同时还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工件的质量和性能有很大的影响。因此,金属材料成形原理就要对以上这两方面的问题加以阐述。与之相关的还有一个问题,就是不同的金属材料对于不同的成形方法的适应性问题,即金属材料的成形工艺性能及其影响因素,这也是本章需要论述的内容。了解了以上这些内容,就为正确地设计和制定金属材料的成形加工工艺打下了理论基础,也为正确地选用与成形工艺相适应的加工材料以及如何改善材料的工艺性提供了理论上的指导,同时,还会对学习和理解非金属材料 and 复合材料的成形原理和工艺提供帮助和借鉴。

1.1 铸造成形基本原理

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。按工艺方法的不同,可分为砂型铸造和特种铸造两大类。图 1.1 所示为砂型铸造工艺过程。

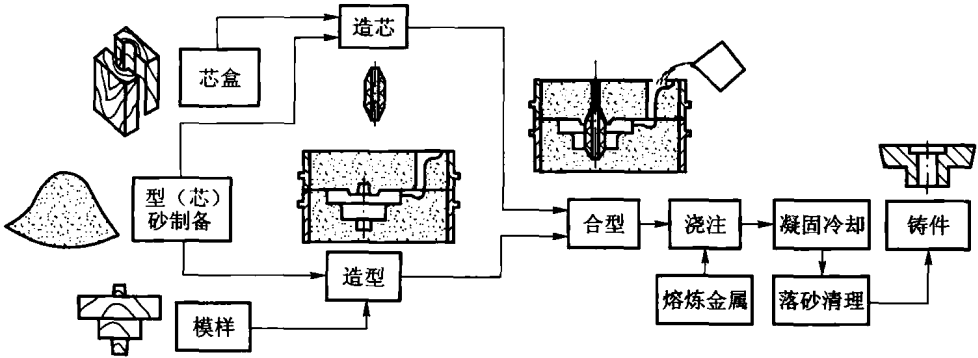


图 1.1 砂型铸造工艺过程

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 and 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,如图 1.2 所示。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。温度越高,原子集团越小,游动越快。

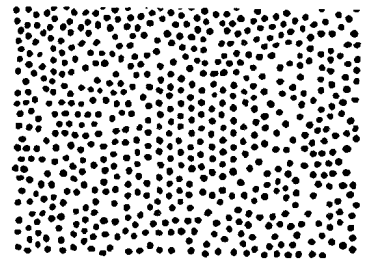


图 1.2 液态金属结构示意图

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。液态金属的其他有关性质还有热膨胀性、粘滞性(粘度)和表面张力等。

2. 熔融金属充型时的停止流动机理

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,金属液的温度是随着充型过程的进行而不断下降的。在过热热量未散失尽之前,可以认为是以纯液态流动的。当温度下降到液相线以下时,金属液流中析出晶体,并在液流前进的过程中不断长大。

金属液流的前端不断与冷的型腔壁接触,冷却最快,析出晶体数量最多,使金属液的粘度增加,流速减慢。当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。

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。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和性能。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 1.3a 所示。

(2) 糊状凝固方式 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。这种凝固方式称为糊状凝固,如图 1.3c 所示。

(3) 中间凝固方式 介于逐层凝固和糊状凝固之间的情况,称为中间凝固,如图 1.3b 所示。这是大多数合金的凝固方式。

影响铸件凝固方式的主要因素是合金的结晶温度范围和铸件断面的温度梯度。合金的结晶温度范围越小,铸件断面的温度梯度越大,则凝固区越窄,越倾向于逐层凝固;反之,则倾向于糊状凝固。

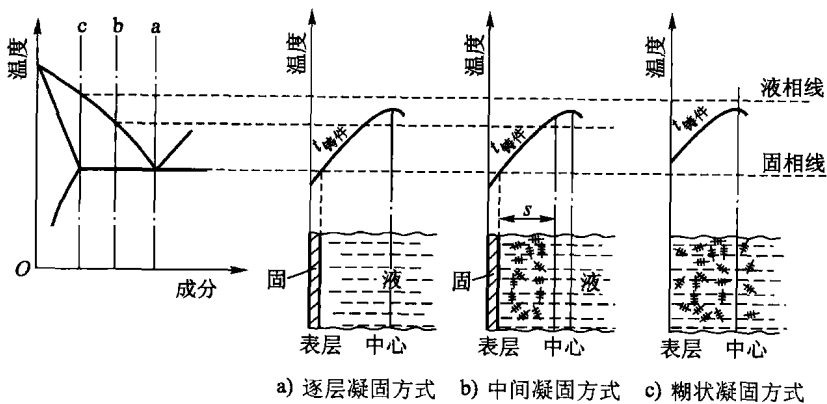


图 1.3 铸件的凝固方式

1.1.2 金属的铸造性能

金属的铸造性能是指合金是否易于通过铸造方法成形并获得铸件的能力。它反映的是合金在铸造过程中表现出的综合性的工艺性能,主要包括合金的流动性、收缩性、偏析性和吸气性等。金属的铸造性能是选择铸造合金材料、制定铸件的铸造工艺以及进行铸件结构设计的重要依据之一。

1. 合金的流动性与充型能力

(1) 合金的流动性及其影响因素

熔融合金本身的流动能力称为流动性,它与合金本身的化学成分、温度、杂质含量以及物理性质有关。影响合金流动性的主要因素有:

1) 合金的种类 不同种类的合金因其熔点、导热率、粘度等物理性质以及结晶特性的不同,因而流动性也不同。例如常用的铸造合金中(表 1.1),铸铁的流动性最好,而铸钢流动性最差。

2) 合金的化学成分 同种合金中,成分不同的合金具有不同的结晶特点,其流动性也不同。以逐层凝固方式进行结晶的合金(如纯金属和共晶合金),因凝固层的内表面比较光滑,对尚未凝固的合金液的流动阻力小,流动性好。合金的结晶温度范围越大,则固、液两相共存的凝固区越宽,且固相区内表面越粗糙,故对合金流动的阻力越大,流动性越差。呈糊状凝固方式结晶的合金,其流动性最差。此外,共晶成分的合金因熔点最低,易于获得较大的过热度,故流动性最好。表 1.1 为常用铸造合金的流动性比较。

表 1.1 常用铸造合金的流动性比较

合金种类及成分(质量分数)	铸型种类	浇注温度/℃	螺旋线长度/mm
灰铸铁 $w_c + w_{si} = 6.2\%$	砂型	1 300	1 800
$w_c + w_{si} = 5.9\%$	砂型	1 300	1 300
$w_c + w_{si} = 5.2\%$	砂型	1 300	1 000
$w_c + w_{si} = 4.2\%$	砂型	1 300	600
铸钢 $w_c = 0.4\%$	砂型	1 400	100
		1 600	200
铝硅合金(硅铝明)	金属型(300℃)	680 ~ 720	700 ~ 800
镁合金(含 Al 及 Zn)	砂型	700	400 ~ 600
锡青铜($w_{sn} \approx 10\%$, $w_{zn} \approx 2\%$)	砂型	1 040	420
硅黄铜($w_{si} = 1.5\% \sim 4.5\%$)	砂型	1 100	1 000

3) 杂质含量 熔融合金中含有固态夹杂物,将使液体的粘度增加,因而降低合金的流动性。熔融合金中的含气量越多,其流动性也越差。

合金的流动性通常用规定的铸造工艺条件下的流动性试样的长度来衡量。图 1.4 所示为螺旋形流动性试样,在相同的铸型及浇注条件下,得到的螺旋形试样长度越长,则表明合金的流动

性越好。

合金流动性的好坏对铸件的质量有很大影响。合金的流动性好,不仅有利于充型,而且有利于金属液中的气体和非金属夹杂物的上浮排除,有利于对金属凝固时产生的收缩进行补缩。合金的流动性差,铸件就容易产生浇不到、冷隔、气孔、夹渣和缩孔等缺陷。

(2) 充型能力的概念

通常,人们更关心的是,在实际生产条件下熔融金属是否能够顺利充满型腔,从而获得轮廓清晰、形状完整的铸件,这种能力被称为合金的充型能力。显然,充型能力首先取决于合金本身的流动性,但同时还受浇注条件、铸型条件等外界因素的影响。也可以认为,它是考虑了铸型及工艺因素影响的合金流动性。

(3) 影响合金充型能力的因素

1) 合金本身的流动性 流动性好的合金充型能力强,流动性差的合金充型能力也差。但对于合金本身流动性较差的情况,往往还可以通过改善外界条件来提高其充型能力。

2) 浇注条件 浇注条件包括浇注温度、浇注速度和充型压力等因素。

① 浇注温度 提高浇注温度,有利于降低金属液的粘度,延长保持液态的时间,从而提高流动性,增强充型能力。但浇注温度不宜过高,否则金属液吸气增多,氧化加剧,并且使合金的液态收缩量增加,不仅充型能力提高不多,反而增大了产生缩孔、气孔、粘砂、晶粒粗大等缺陷的倾向。因此,每种铸造合金都有一定的浇注温度范围,例如铸钢为 $1\ 520 \sim 1\ 620\ ^\circ\text{C}$, 铸铁为 $1\ 230 \sim 1\ 450\ ^\circ\text{C}$, 铸造铝合金为 $680 \sim 780\ ^\circ\text{C}$, 薄壁复杂件取上限, 厚大件取下限。

② 充型压力 金属液充型时在流动方向上所受到的压力(即推动力)越大,充型能力越强。砂型铸造时,充型压力是由直浇道中金属液柱的重力产生的,适当增加直浇道的高度,可提高充型能力。在压力铸造和离心铸造等条件下,由于人为地借助外力加大了充型压力,故使合金充型能力明显增强。

3) 铸型条件 充型过程中,铸型对金属液流的阻力和对液态金属的冷却作用,都将影响合金的充型能力。

① 铸型的蓄热能力 铸型的蓄热能力越大,表明在单位时间内铸型从金属液吸收并传出的热量越多,对金属液的冷却作用越强,其流动性的下降越快,充型能力越低。铸型的蓄热能力主要与造型材料有关。

② 铸型温度 铸型的温度越高,金属液冷却就越慢,保持液态时间就越长,则充型能力提高。生产中常采用预热铸型的方法来增强合金的充型能力。

③ 铸型中的气体 当铸型的发气量较大而排气能力较差时,就会使型腔中气体的压力增大,阻碍金属液的充型。

4) 铸件结构 当铸件的结构较复杂时,会使型腔的结构相应的比较复杂,增加金属液充型时的阻力。当铸件壁厚过小,壁厚急剧变化,或有大的水平面时,也都会造成充型的困难。因此,在设计铸件的结构时,应注意尽量避免上述情况。

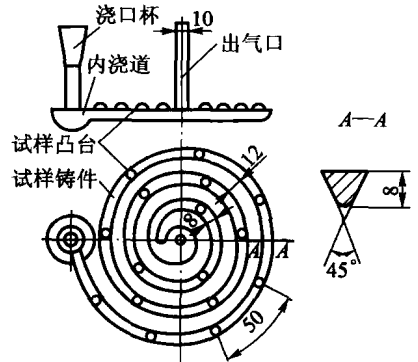


图 1.4 螺旋形流动性试样