



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

材料成形工艺基础

柳秉毅 主编



高等教育出版社

TB3
125

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

材料成形工艺基础

柳秉毅 主 编
王占英 副主编
杨红玉 赵健闯 邵国友 参 编

高等教育出版社

内容简介

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、焊接与粘接、粉末冶金与陶瓷材料成形、高分子材料与复合材料成形、材料成形加工质量控制和技术经济性、材料成形方法选择及其技术进步等,每章附有习题与思考题。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。

本书可作为高等工科院校机械类和近机类专业学生的教材,也可供高职高专、成人教育学院同类专业选用以及有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. —北京:高等教育出版社, 2005.5

ISBN 7-04-016100-1

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第018040号

策划编辑 宋 晓 责任编辑 马盛明 孙朝阳 封面设计 于文燕 责任绘图 朱 静
版式设计 张 岚 责任校对 杨雪莲 责任印制 韩 刚

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 100011

总 机 010-58581000

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司

印 刷 河北科技师范学院产业总公司印刷厂

购书热线 010-58581118

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

开 本 787×1092 1/16

印 张 18.25

字 数 440 000

版 次 2005年5月第1版

印 次 2005年5月第1次印刷

定 价 23.00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 16100-00

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才培养需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和在做研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才培养特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才培养探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型人才培养工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等

学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

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	5.4 陶瓷成形基本原理	200
第 1 章 金属材料成形基本原理	6	5.5 陶瓷材料成形的工艺过程	201
1.1 铸造成形基本原理	6	思考题与习题	207
1.2 塑性成形基本原理	18	第 6 章 高分子材料与复合材料成形 ..	209
1.3 焊接成形基本原理	27	6.1 高分子材料成形基本原理	209
思考题与习题	39	6.2 塑料制品成形	214
第 2 章 铸造成形	40	6.3 橡胶制品成形	229
2.1 铸造方法及其应用	40	6.4 复合材料成形基本原理	232
2.2 常用合金铸件的熔铸	53	6.5 复合材料成形工艺	234
2.3 铸造工艺设计	62	思考题与习题	239
2.4 铸件的结构工艺性	79	第 7 章 材料成形质量控制和技术经	
思考题与习题	87	济性	240
第 3 章 塑性成形	90	7.1 材料成形加工的质量控制	240
3.1 塑性成形方法及其应用	90	7.2 材料成形加工的技术经济分析 ..	246
3.2 锻造工艺设计	115	7.3 材料成形加工生产中的环境	
3.3 冲压工艺设计	125	保护	251
3.4 锻压件的结构工艺性	139	思考题与习题	254
思考题与习题	144	第 8 章 材料成形方法选择及其技术	
第 4 章 焊接与粘接	148	进步	255
4.1 焊接方法及其应用	148	8.1 选择材料成形方法的原则和	
4.2 常用金属材料的焊接	168	依据	255
4.3 焊接结构与工艺设计	172	8.2 常用机械零件成形方法的选择 ..	259
4.4 粘接技术与应用	182	8.3 材料成形技术新进展及发展	
思考题与习题	187	趋势	266
第 5 章 粉末冶金与陶瓷材料成形	190	思考题与习题	274
5.1 粉末冶金基本原理	190	参考文献	279
5.2 粉末冶金工艺过程	192	后记	280
5.3 粉末冶金制品的结构工艺性	199		

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基础性技术种类。

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。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,这比欧洲国家早了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。河南安阳武官村出土的商代司母戊鼎,重875 kg,体积庞大,花纹精巧,造型精美。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”,就是我国古代工匠们巧妙地利用了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,远传百里。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。北京故宫、颐和园内精美的铜狮、铜鹤、铜龟和铜亭构件等,则是我国明清时期失蜡铸造的代表作。

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。

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,金银饰件的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,到宋代时已形成陶瓷业的“八大名窑”,即定窑、磁州窑、均窑、耀窑、景德镇窑、越窑、龙泉窑和建窑,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和行业都有应用,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,近年来制造业占国民生产总值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,作为制造业的一项基础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,可以帮助我们真切、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。再从我们熟悉的交通工具——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,我国现已基本建成了较完备的汽车工业生产体系,并已成为世界第四大汽车生产国;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 级的超大型船只。我国是世界上少数的几个拥有运载火箭、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(质量为 410 t)和长江三峡电站巨型水轮机的特大型铸件,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)、底座和横梁等大型零部件。

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,我国已越来越成为全球制造业的中心之一。通过技术引进和技术创新,使我国的材料成形的技术水平达到了新的高度。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,其中一些重要的产品(如彩电、手机、洗衣机等)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,成为中国经济充满活力、蒸蒸日上的具体体现。

当然,也要清醒地看到我国与发达国家相比在材料成形技术水平上还存在差距,尤其是在技术创新能力和企业核心竞争力方面的差距还很大,要赶超世界先进水平还需要做出不懈的努力。

3. 材料成形工艺基础课程的内容

作为高等工科大学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法;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,因此在学习中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,因此在学习中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,还应对本课程的电化教学、多媒体 CAI、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一门是融材料技术、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。

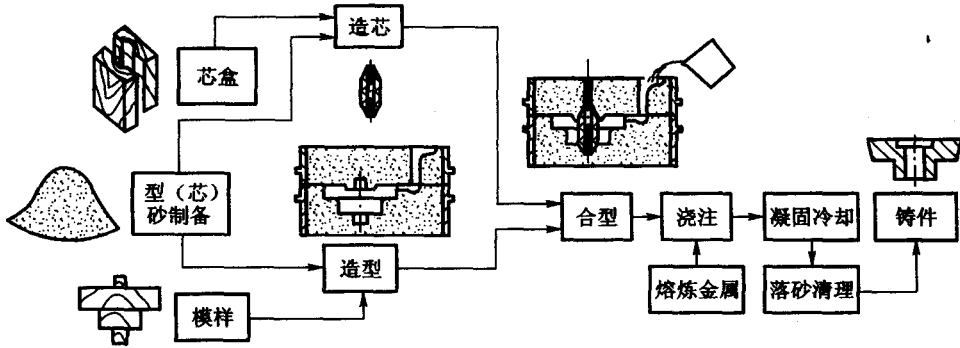


图 1.1 砂型铸造工艺过程

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,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。

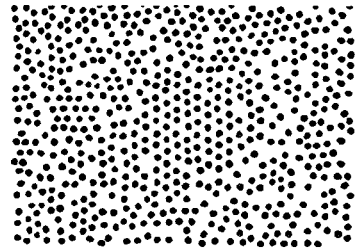


图 1.2 液态金属结构示意图

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 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 1.3a 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。

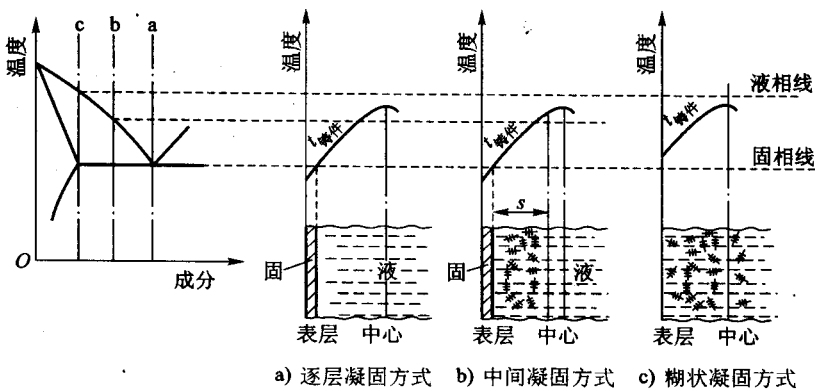


图 1.3 铸件的凝固方式

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(见表 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。

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/°C	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 °C)	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 1.4 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