



普通高等教育“十二五”规划教材

材料成形技术

Processing

Technologies of Materials

高红霞 主编



中国轻工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

材料成形技术

高红霞 编著

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

材料成形技术/高红霞编著. —北京: 中国轻工业出版社, 2011. 1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5019-7960-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 237100 号

内 容 提 要

本书为普通高等教育机电工程类专业的技术基础课教材。在内容和体系上进行了较大力度的改革, 以成形方法、成形理论、工艺设计、结构设计、成形新技术为主线介绍各种工程材料的成形技术, 力求使教材条理清晰、重点突出; 增加了金属材料的粉末冶金成形技术、各种材料成形的新技术, 以扩大知识面, 适应技术的发展; 引入较多的工程实例、工艺图、设备图、数据表格、比较表格等, 把基础理论与工程实践有机地结合起来。

全书共 6 章, 包括金属材料的铸造成形、塑性变形成形、焊接成形、粉末冶金成形、非金属材料与复合材料成形、材料成形方法的选择。

本书可作为高等院校机械制造、机械设计、机电等机械类各专业以及模具制造、能源与动力、农业机械、过程装备、交通运输等近机类专业和高分子、电化学等材料加工相关专业的基础课程教材, 也可作为专科学校、成人教育及有关工程技术人员的学习和参考用书。

责任编辑: 王 淳

策划编辑: 王 淳 责任终审: 孟寿萱 封面设计: 锋尚设计

版式设计: 王超男 责任校对: 李 靖 责任监印: 吴京一

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 航远印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 14.25

字 数: 360 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-7960-8 定价: 29.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

100488J1X101ZBW

前 言

本书是为适应目前高等教育教学改革的需要,并根据高等学校机械类专业人才的培养要求而编写的,以加强基础、拓宽专业为宗旨,以提高学生创新能力、实际工作能力为目的,以培养适应目前社会需要的高素质人才为目标。

本书主要介绍工程材料的成形技术及相关知识。重点介绍金属材料的铸造成形、塑性成形、焊接成形、粉末成形等工艺,简要介绍塑料、橡胶、陶瓷、复合材料的成形工艺。对各种典型机械零件成形方法的选用进行总结。

本书可作为高等学校机械类各专业以及模具制造、能源与动力、农业机械、过程装备、交通运输等近机类专业和高分子、电化学等材料加工相关专业的工程材料课程用书,也可作为成人教育及有关工程技术人员的学习和参考用书。

本书在参考同类教材的基础上,对教学内容进行了较大改进,力求突出以下特色:

(1) 条理性:对每种成形工艺均按照成形方法、成形理论、工艺设计、结构设计四方面论述,并明确各成形工艺的特点及应用,简介各成形工艺的新技术,形成清晰的教学思路。

(2) 重点性:突出金属材料成形的工艺设计及结构设计方面的内容,精简较深的成形理论,简介多种多样的成形方法,使教材内容简练、结构紧凑。

(3) 实践性:增加成形件工艺设计及结构设计方面的典型实例、实用数据表格、工艺图、成形方法的图片等,以增强对学生实际问题能力的培养。

(4) 创新性:增加消失模铸造成形、半固态铸造成形、液态模锻成形、超塑性成形、高能束焊接、粉末等静压成形等新技术新工艺,扩大学生的知识面,提高创新思维能力。

(5) 生动性:增加一些对比性的表格、流程图、实际照片等,使教材简洁生动,提高学生的学习兴趣与学习效果。

本书力求语言简练,条理清晰;内容丰富,信息量大。以科学性和指导性为原则,既重视理论知识的阐述,又突出技术应用能力的培养。

本书由郑州轻工业学院高红霞教授主编,负责全书的统稿,广东工业大学周琳辉教授审校。参加本书编写的有高红霞(绪论、第1章、第6章)、崔晓康(第2章的1、2节及第4章)、杨改云(第2章的3、4、6节)、裴旭明(第3章的1、2、3、6、7节)、肖艳秋(第5章及第2章的5节、第3章的4、5节)。本书由郑州轻工业学院高红霞教授任主编,裴旭明、杨改云、崔晓康任副主编。

郭长江、栗富国、张豫徽、金增韬、李森、邵示坤、马秀明、董超、王锋、渠满等在资料整理、图片制作等方面做了大量工作,编写过程中黄冬梅、王彦勋、李军、孙晖、刘靖岩、郭庆梁、吴卫荣、牛玉丽、林琦等同志给予了大力支持,在此深表感谢!

编者 2010 年 9 月

目 录

绪论	1
第1章 金属材料的铸造成形	5
1.1 铸造的特点及应用	5
1.1.1 铸造的特点	5
1.1.2 铸造的应用	5
1.1.3 我国铸造的发展历史	6
1.2 铸造方法	7
1.2.1 砂型铸造	7
1.2.2 熔模铸造	12
1.2.3 金属型铸造	13
1.2.4 压力铸造(简称压铸)	14
1.2.5 离心铸造	15
1.2.6 陶瓷型铸造	15
1.2.7 消失模铸造	16
1.2.8 常用铸造方法的比较与选用	17
1.3 铸造成形理论基础	18
1.3.1 合金的铸造性能	18
1.3.2 常见的铸造缺陷及防止	22
1.4 铸造成形工艺设计	26
1.4.1 铸造方案的确定	26
1.4.2 铸造工艺参数确定	30
1.4.3 型芯设计	33
1.4.4 浇注系统及冒口设计	34
1.4.5 铸造工艺图的绘制	37
1.4.6 铸造工艺设计实例	37
1.5 常用合金的铸造	39
1.5.1 铸铁的铸造	39
1.5.2 铸钢的铸造	41
1.5.3 铝合金的铸造	42
1.5.4 铜合金的铸造	42
1.6 铸件的结构工艺性	43
1.6.1 从简化铸造工艺考虑的铸件结构设计	43
1.6.2 从提高铸件质量考虑的铸件结构设计	44
1.7 铸造成形新技术	47

1.7.1 数字化快速铸造技术	47
1.7.2 半固态铸造技术	48
练习题	50
第2章 金属材料的塑性成形	54
2.1 塑性成形的特点及应用	54
2.1.1 塑性成形的特点	54
2.1.2 塑性成形的应用	54
2.1.3 我国塑性成形的发展历史	55
2.2 塑性成形方法	55
2.2.1 锻造	56
2.2.2 冲压	63
2.2.3 挤压	66
2.2.4 轧制	68
2.2.5 常用塑性成形方法的比较与选用	69
2.3 塑性成形理论基础	70
2.3.1 塑性变形对金属材料组织及性能的影响	70
2.3.2 金属材料的塑性成形性能	73
2.3.3 塑性成形缺陷及防止	75
2.3.4 塑性成形的基本规律	76
2.4 塑性成形工艺设计	77
2.4.1 自由锻工艺设计	77
2.4.2 模锻工艺设计	82
2.4.3 冲压工艺设计	88
2.5 塑性成形件的结构工艺性	99
2.5.1 自由锻件的结构工艺性	99
2.5.2 模锻件的结构工艺性	101
2.5.3 冲压件的结构工艺性	102
2.6 塑性成形新工艺	103
2.6.1 液态模锻	104
2.6.2 粉末锻造	104
2.6.3 旋压成形	105
2.6.4 超塑性成形	107
2.6.5 板料液压拉深	108
2.6.6 板料柔性成形	109
练习题	110
第3章 金属材料的焊接成形	114
3.1 焊接的特点及应用	114
3.1.1 焊接的特点	114
3.1.2 焊接的应用	114

3.1.3 我国焊接的发展历史	115
3.2 焊接成形方法	115
3.2.1 焊条电弧焊	116
3.2.2 埋弧自动焊	121
3.2.3 气体保护焊	123
3.2.4 电渣焊	125
3.2.5 气焊	126
3.2.6 电阻焊	127
3.2.7 钎焊	129
3.2.8 常用焊接方法的比较与选用	130
3.3 焊接成形理论基础	131
3.3.1 焊接冶金过程	132
3.3.2 焊接接头的组织及性能	133
3.3.3 金属材料的焊接缺陷及防止	134
3.3.4 金属材料的焊接性能	139
3.4 焊接成形工艺设计	141
3.4.1 焊件材料、焊接材料及焊接方法的选择	141
3.4.2 焊缝布置	141
3.4.3 焊接接头及坡口设计	143
3.4.4 焊接结构工艺图绘制	144
3.4.5 焊接工艺参数的确定	145
3.4.6 焊接工艺设计实例	146
3.4.7 焊接质量检验	147
3.5 常用金属材料的焊接	148
3.5.1 钢的焊接	148
3.5.2 铸铁的焊接	149
3.5.3 铝合金的焊接	149
3.6 焊件的结构工艺性	150
3.7 焊接成形新技术	151
3.7.1 等离子弧焊接	151
3.7.2 真空电子束焊接	152
3.7.3 激光焊接与切割	153
3.7.4 扩散焊接	154
3.7.5 摩擦焊	156
3.7.6 爆炸焊	156
3.7.7 焊接机器人	157
练习题	159
第4章 金属材料的粉末冶金成形	162
4.1 粉末冶金的特点及应用	162

4.1.1 粉末冶金的特点	162
4.1.2 粉末冶金的应用	162
4.1.3 粉末冶金的发展历史	163
4.2 粉末冶金工艺过程	164
4.2.1 粉末冶金的主要工序	164
4.2.2 粉末冶金的工艺流程	165
4.3 粉末冶金理论基础	165
4.3.1 粉末的性能	165
4.3.2 粉末压制成形原理	166
4.3.3 粉末烧结原理	167
4.4 粉末冶金工艺	168
4.4.1 粉末制备方法	168
4.4.2 粉末制备新方法	173
4.4.3 粉末成形工艺	174
4.4.4 粉末成形新工艺	175
4.4.5 烧结工艺	179
4.5 常用粉末冶金材料的成形	181
4.5.1 粉末冶金工具材料的成形	181
4.5.2 粉末冶金多孔材料的成形	183
4.6 粉末冶金制品的结构工艺性	183
练习题	185
第5章 非金属材料及复合材料的成形	186
5.1 塑料的成形	186
5.1.1 塑料的特点及应用	186
5.1.2 塑料成形的工艺流程	186
5.1.3 塑料成形的基本理论	187
5.1.4 塑料成形的工艺方法	188
5.1.5 塑料件的结构工艺性	192
5.2 橡胶的成形	194
5.2.1 橡胶的特点及应用	194
5.2.2 橡胶成形的工艺流程	194
5.2.3 橡胶成形的工艺方法	195
5.3 陶瓷的成形	195
5.3.1 陶瓷的特点及应用	195
5.3.2 陶瓷成形的工艺过程	196
5.3.3 陶瓷成形的工艺方法	196
5.4 复合材料的成形	198
5.4.1 复合材料的特点及应用	198
5.4.2 复合材料的成形特点	199

5.4.3 复合材料的成形方法	199
练习题	204
第6章 零件成形方法的选择	205
6.1 零件成形方法选择的原则	205
6.1.1 适用性原则	205
6.1.2 经济性原则	205
6.1.3 节能环保性原则	206
6.2 零件成形方法选择的依据	207
6.2.1 零件材料的性能	207
6.2.2 零件的生产类型	208
6.2.3 零件的形状及尺寸精度	208
6.2.4 现有生产条件	209
6.2.5 采用新工艺、新技术和新材料	209
6.3 零件常用成形方法的比较	210
6.4 常用零件的材料和成形方法的选择	211
6.4.1 轴杆类零件	211
6.4.2 盘套类零件	212
6.4.3 机架、箱体类零件	213
6.5 零件成形方法选择实例	214
6.5.1 齿轮减速器主要零件的成形方法	214
6.5.2 承压油缸不同成形方法的比较	215
练习题	216
参考文献	218

绪 论

材料成形技术主要介绍工程材料成形加工的基本知识。材料成形加工是指把原材料通过加工转变为具有一定尺寸形状的毛坯（或零件）的工艺方法。毛坯经切削加工成为零件，各种零件经装配可制造出机械、运输工具、电气设备、仪器仪表等装备。因此，材料成形加工是制造业的主要技术之一。

0.1 材料成形加工的地位

0.1.1 材料成形加工在机械或装备制造行业的地位

任何机械（或装备）都是由零件组装制成的，零件由毛坯经切削加工制成，而毛坯是对材料进行成形加工得到的。机械制造过程见图 0-1。

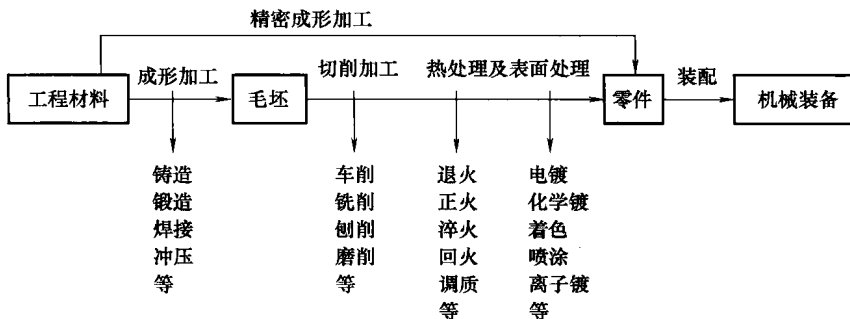


图 0-1 机械制造工艺过程

(1) 成形加工 是对工程材料的原材料采用各种不同的方法加工成具有一定形状和尺寸的毛坯的过程。如对金属材料的铸锭、型材、粉末等进行铸造、锻造、焊接、冲压、粉末成形等；如对塑料材料的粉末、颗粒等进行注射成形、挤出成形、压制成形等；如对陶瓷材料的粉末进行压制成形、注浆成形等。近年来，随着成形加工技术的发展，越来越多的零件可以采用精密铸造、精密锻造、精密冲压等精密成形方法由原材料直接加工成零件。

(2) 切削加工 是对毛坯采用车削、铣削、刨削、磨削等方法进行加工，改变毛坯的形状和尺寸及表面质量，得到符合要求的零件的过程。改变毛坯的形状和尺寸除了通过切削加工方法外，还可通过电火花加工、电解加工、激光加工等特种加工方法。

(3) 热处理及表面处理 在毛坯切削加工前后及加工过程中，可通过退火、正火、淬火等不同的热处理方法改变零件的性能，可通过电镀、化学镀、离子镀、喷涂、氧化着色等表面处理方法改变零件的表面性能。

(4) 装配 将有些零件组装成组件或部件后，再将零件与组件或部件进行总装即可

得到机械或装备的成品。

由上述机械制造过程可知，材料的成形加工是制造毛坯（或零件）的基本工艺，在机械制造过程中占有重要的地位。

0.1.2 材料成形加工的社会地位

材料成形加工在国民经济中占有举足轻重的地位。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的；在机床和通用机械中铸件重量占 70% ~ 80%；飞机上的锻件重量占 85%；家用电器和通讯产品中冲压件和塑料件重量占 60% ~ 80%。例如常见的交通运输工具——汽车上的铸件重量占 20%（如发动机上的缸体、缸盖、活塞、气门座等，底盘上的后桥壳、差速器壳、转向器壳、弹簧钢板支架、轴承盖等），锻件质量占 70%（如发动机上的曲轴、连杆、活塞销、气门弹簧，底盘上的传动轴、转向轴、车轮轴、齿轮、摇臂、球壳、十字轴、转向节、万向节叉、拨叉等），汽车的车身、车门、车架、油箱、挡板、油底壳等是冲压和焊接件，汽车内饰件、仪表盘、门把手、保险杠、灯罩等是塑料成形件，汽车轮胎、轴承密封圈等是橡胶成形件。总之，国民经济生产的各领域离不开装备，而材料成形加工是装备制造行业的主要生产技术。因此，材料成形加工技术在一定程度上代表着国家的工业和科技发展水平。

0.2 《材料成形技术》课程的性质、内容、目的

0.2.1 课程的性质

本课程是高等工科院校机械类和近机类学生的一门技术基础课和专业必修课。其前修课程为工程材料，后续课程为机械制造工艺基础。这三门课程联系紧密，是机械制造专业的基础。

0.2.2 课程的主要内容

本课程主要介绍金属材料、非金属材料（塑料、橡胶、陶瓷等）、复合材料的成形技术，重点是金属材料的成形技术。对各种材料的成形技术主要从成形方法、成形理论、工艺设计、成形件结构设计等方面进行论述。课程主要内容见图 0-2。

0.2.3 课程的目的

本课程的目的主要有：

①阐述工程材料成形的的基本方法、基本理论、基本工艺及成形工艺对零件结构的要求等，使学生建立材料成形知识的系统框架。

②介绍各种成形方法的特点及工艺设计过程，培养学生对各种零件成形方法的选择能力，培养学生对零件成形的工艺设计能力。

③从成形对材料力学性能的影响联系前修课程《工程材料》，从成形对材料切削加工性能的影响联系后续课程《机械制造工艺》，加强学生对机械制造基础的三门主干课的联系，培养学生综合运用知识的能力。

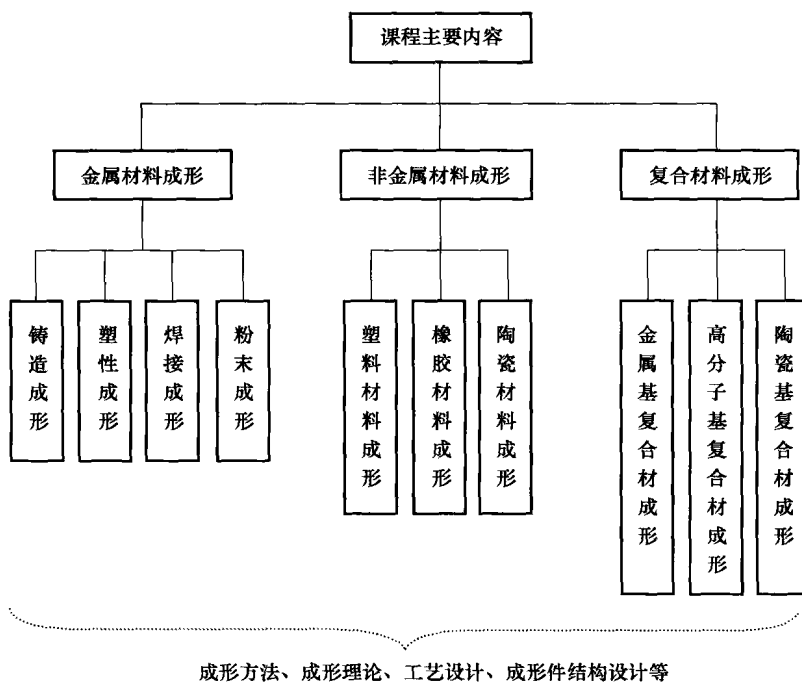


图 0-2 《材料成形技术》课程主要内容

④材料成形加工的发展趋势是优质化、精密化、复合化、数字化、节能化等，通过介绍各种材料成形的新技术，使学生开阔视野，培养其创新能力。

0.3 学习《材料成形技术》课程的意义和方法

0.3.1 学习课程的意义

材料成形加工在制造行业中占有非常重要的地位，而制造业又是国民经济的主导行业，因此社会对机械制造技术和人才的需求非常迫切，学习《材料成形技术》课程可以使机械类各专业、材料加工各专业学生打好专业基础，适应毕业后的社会需要、工作需要。

本课程是机械制造基础的三门主干课程之一，学好课程对后续的专业课程及毕业设计非常有用。

学习本课程不仅能提高学生在零件成形工艺设计方面的能力，还可以提高零件设计能力，使设计的零件既结构美观又方便成形。

学习本课程不仅能提高学生在零件成形方面的质量意识，还可以提高学生的成本意识和工程管理意识，对各种零件的成形选择出低成本高质量的成形方法。

0.3.2 学习课程的方法

本课程应安排在金工实习后，以使学生增加初步的感性认识；应安排在机械制图课程

学习后，以使学生对零件的视图有正确的认识；应安排在工程材料课程学习后，以使学生了解材料成形加工对材料性能的影响。

本课程主要介绍各种工程材料的各种成形方法，既有较深的基本理论，又有实际的工艺设计，涉及面广，内容繁多，必须有好的学习方法，变枯燥的死记硬背为规律性、条理性的理解掌握。

本课程内容涉及多种材料的多种成形技术，知识面广，信息量大，学习时必须认真总结，理清思路，抓住重点。各种材料成形技术的知识主线均为：成形方法—成形理论—成形工艺设计—成形件结构设计。各种成形技术的内容中，成形方法（包括各方法的特点及应用）只需一般了解，成形理论及工艺设计应重点掌握，成形件结构设计要求理解及灵活应用。

本课程内容实践性强，与生产实际联系紧密，而学生的感性认识较少，给学习造成一定困难。教师在讲解的课件中应增加一些实际成形技术的视频、实际成形件的工艺图片等，帮助学生理解。学生在学习时应经常联系生产实际，开阔思路，不断提出问题与教师或同学讨论。此外学生应重视每章后面的练习题，独立思考，在理解的基础上认真完成，巩固所学知识。

练 习 题

1. 材料成形加工在机械制造方面的重要地位与作用是什么？
2. 学习本课程的目的和意义是什么？

第 1 章 金属材料的铸造成形

铸造是将熔融的金属浇注到具有和机械零件形状相适应的铸型型腔中，经过凝固、冷却之后，获得具有一定形状、尺寸和性能的金属铸件（毛坯或零件）的成形方法。铸件通常作为毛坯，经过机械加工制成零件，但随着铸造生产过程的不断完善以及新工艺、新技术的不断采用，铸件的精度及表面质量得到提高，使少余量和无余量铸造新工艺得到迅速发展，越来越多的铸件可直接作为零件。

1.1 铸造的特点及应用

1.1.1 铸造的特点

(1) 铸造是通过液体金属在预先造好的型腔中流动、充填，然后冷却、凝固，最后得到与型腔形状基本一致的铸件的成形工艺。

(2) 由于铸造属于流动充型，故成形能力及适应性好于锻造及焊接等其它成形工艺，可以制造形状复杂的铸件。

(3) 铸件与零件的形状、尺寸很接近，因而铸件的加工余量小，可以节约金属材料 and 机械加工工时。

(4) 铸件的成本低，铸造所用的设备费用较低，原材料价格低廉，在铸造生产中，各类金属废料都可以再利用。

(5) 铸造生产工艺过程复杂，工序多，易出现浇不足、气孔、缩孔、变形、开裂等铸造缺陷，铸件质量不够稳定，废品率较高。

(6) 铸件内部组织缺陷使其力学性能不如同类材料的锻件高。

(7) 铸造生产存在劳动强度大、劳动条件差等问题。

1.1.2 铸造的应用

铸造是毛坯成型的主要工艺方法之一，在机械制造业应用广泛。按重量计算，在一般机械设备中铸件约占 40% ~ 90%；在机床、内燃机中约占 70% ~ 80%，在重型机械、矿山机械中约占 85% 以上，在农业机械中约占 40% ~ 70%，在汽车行业约占 20% ~ 30%。

(1) 铸造适于各种形状、大小的铸件。主要用于生产形状复杂，特别是内腔复杂的铸件，如箱体、壳体、机架、工作台等，图 1-1 为铸造机架。就能生产的铸件重量而言，小至几克，大至数百吨；壁厚从 0.5 毫米到 1 米左右；长度从几毫米到十几米。

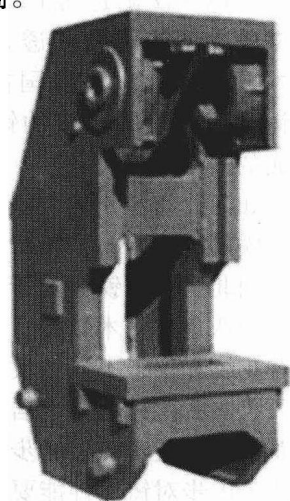


图 1-1 铸造机架

(2) 铸造适于各种合金生产的铸件。铸造是一种液态金属成形方法, 铸铁、铸钢、合金钢、铜合金、铝合金等各种金属都能用于铸造, 特别是难以锻造的脆性材料(如铸铁)和难以切削加工的合金材料, 也可用铸造方法生产毛坯或零件。

(3) 铸造适于各种生产类型, 既可用于单件生产, 也可用于批量生产。

随着铸造基本理论和铸造工艺的深入研究, 铸件的性能得到了较大提高。一些重要的承受交变载荷的零件以前多采用锻件, 现在也可以采用铸件, 出现了以铸件代替锻件的趋势, 如球墨铸铁曲轴在内燃机、发动机等方面的应用, 铝合金压铸轮毂在汽车、摩托车等方面的应用。

1.1.3 我国铸造的发展历史

据历史考证, 我国铸造始于夏朝初期, 迄今已有 5000 多年, 是世界上较早掌握铸造技术的文明古国之一。4000 多年前开始使用铜合金, 至商周时代(公元前 16 世纪~前 11 世纪)进入青铜铸件的鼎盛时期。春秋时期(公元前 7~前 6 世纪)已开始使用铁器, 比欧洲国家早 1800 多年。战国时期发明了炼钢技术。

我国古代的铸造工艺水平很高, 形成了以泥范(砂型)、铁范(金属型)、失蜡铸造为代表的中国古代三大铸造技术。3000 多年前的商周时期我国发明了失蜡铸造法, 战国时期出现了金属型铸造, 隋唐以后掌握了大型铸件的制造技术。

我国古代的铸件大多是农业生产、宗教、生活、军工等方面的工具、用具或礼器、兵器, 艺术色彩浓厚。如 1939 年河南安阳出土的商代司母戊方鼎, 高大厚重, 形态雄伟, 工艺高超, 鼎高 133cm、长 110cm、宽 78cm、重约 875kg, 是目前世界上发现的最大的青铜器, 如图 1-2 所示。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。



图 1-2 商代司母戊鼎

如河北省沧州的大铁狮是五代后周时期公元 953 年制成的, 距今已有 1000 多年的历史, 铁狮高 5.48m、长 6.5m、宽 3.17m、总重量约为 30t, 是我国最大的铸铁艺术品。现立于湖北当阳的铁塔建于北宋(1061 年), 由 13 层叠成, 高 18m, 是中国现存最高的铁塔, 为八角形仿木结构, 外为铁壳, 内为砖墙, 塔心中空, 塔身为生铁铸造, 底座和塔壁铸有花纹和仪态不同的大小佛像。

我国古代铸造技术居世界先进行列, 但由于过长的封建社会影响了科学技术的发展, 阻滞了铸造技术前进的步伐, 自 20 世纪 50 年代初几乎从零开始。新中国成立后, 随着产品技术进步对铸件性能要求的提高, 随着电子显微镜等检测手段发展对铸件质量的保证, 使得铸造的发展速度很快。开发出了大量性能优越、品种丰富的铸造金属材料, 如球墨铸

铁、能焊接的可锻铸铁、超低碳不锈钢、铝铜、铝硅、铝镁合金、钛基及镍基合金等；并发明了对灰铸铁进行孕育处理的新工艺，使铸件的适应性更为广泛。出现了湿砂高压造型、化学硬化砂造型和造芯、负压造型以及其它特种铸造、抛丸清理等新工艺，使铸件具有很高的形状、尺寸精度和良好的表面光洁度，铸造车间的劳动条件和环境卫生也大为改善。20 世纪以来铸造业的重大进展中，灰铸铁的孕育处理和化学硬化砂造型这两项新工艺，冲破了延续几千年的传统方法，给铸造工艺开辟了新的领域，对提高铸件的竞争能力产生了重大的影响。现在铸造在我国是一个很大的行业，产量居世界第二位，年产量达 1000 ~ 1200 万吨，厂家达 2 万多个，工人 100 万 ~ 130 万人，铸造已经成为了国家重要的基础工业之一。

1.2 铸造方法

铸造方法种类繁多，按生产方法分类，可分为砂型铸造和特种铸造。砂型铸造包括湿砂型、干砂型和化学硬化砂型等；特种铸造方法按造型材料，可分为以天然矿产砂石为主要造型材料的特种铸造和以金属为主要铸型材料的特种铸造两类。近年来，随着社会的发展与技术的进步，还出现了一些先进铸造技术，如半固态铸造、铸造过程的计算机控制与铸造工艺的计算机模拟等。铸造方法分类见图 1-3。

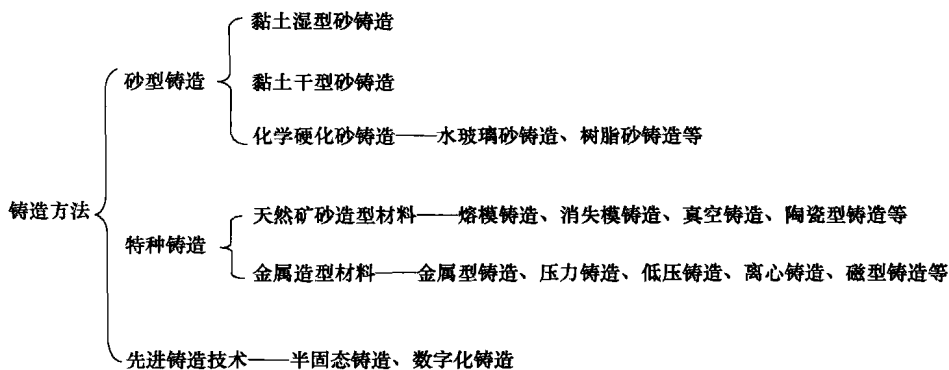


图 1-3 铸造方法分类

1.2.1 砂型铸造

砂型铸造是以型砂为材料制备铸型、生产铸件的铸造方法。砂型铸造的造型材料来源广泛，价格低廉，设备简单，操作方便灵活，不受铸造合金种类、铸件形状尺寸的限制，并适合于各种生产规模。因此砂型铸造应用最为广泛，砂型铸造的铸件约占全部铸件的 80% 左右。

砂型铸造的工艺过程如图 1-4 所示。首先根据零件图制成模样，并由模样和配制的型砂制成砂型（具有中空形状的铸件还需要用芯盒和芯砂制得型芯，放入砂型），然后把熔化好的金属液浇入型腔。待金属液在型腔内凝固后，将砂型破坏，取出铸件。最后清理铸件上的附着物，经检验合格，可获得所需要的铸件。

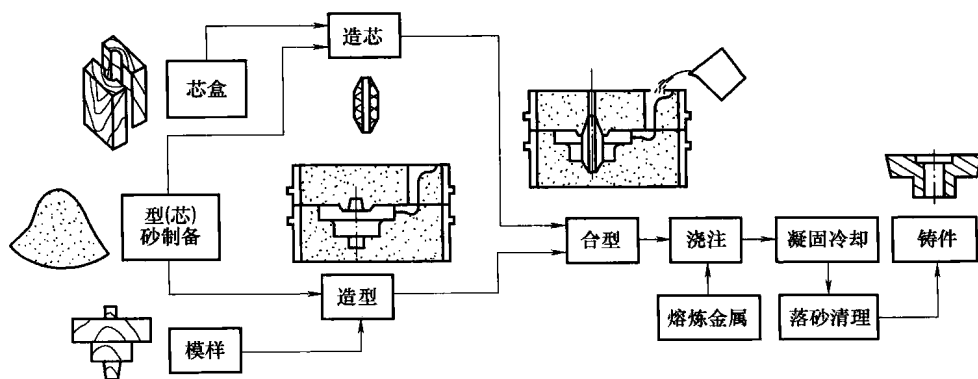


图 1-4 砂型铸造的工艺流程

砂型包括铸型和型芯两部分，铸型用以形成铸件的外部轮廓，型芯主要用来形成铸件的内腔。砂型在浇注、凝固过程中要承受金属熔液的冲刷、静压力 and 高温作用，并要排除大量气体，型芯还要承受铸件凝固收缩时的收缩压力等，因此为获得优质铸件，混制的型砂应满足强度、透气性、退让性、耐火性等性能要求。

砂型按其组成、制法的不同，可分为湿砂型、干砂型、化学硬化砂型。

(1) 湿砂型 砂型铸造常用的砂型为湿砂型，由型砂经紧实造型后得到。型砂一般以原砂、黏土、添加剂、水为主要组成，经混砂后制得。湿砂型铸造生产周期短、效率高，易实现机械化自动化生产，广泛应用于铸铁、铝合金、镁合金等铸件的各种批量的生产。但湿砂型的缺点是强度低、发气量大，易造成塌型，铸件易产生气孔等。

(2) 干砂型 对湿砂型进行烘干或表面烘干可得到干砂型或表面干砂型，可克服湿砂型的缺点。但生产周期长、能耗大，只适于单件、小批量生产质量要求高、结构复杂的大中型铸件。

(3) 化学硬化砂 将湿砂型中的黏结剂改为水玻璃或合成树脂，砂型可通过化学反应得到硬化（也称自硬砂），铸型强度高、能耗低、生产效率高，但成本较高，可用于单件或批量生产各类大中型铸件。

铸造生产的主要工序是造型，按造型工具不同，砂型铸造分为手工造型和机器造型两类。

1.2.1.1 手工造型

手工造型是指用手工或手动工具完成紧砂、起模、修型及合箱等主要操作的造型过程。手工造型操作灵活，模样、芯盒等工艺装备简单，生产准备时间短，模样成本低，同时对铸件大小、结构复杂程度的适应性广。但手工造型铸件质量差、生产率低、劳动强度大、技术水平要求高。因此，手工造型主要用于单件、小批量生产中，特别是重型的复杂铸件。

手工造型按砂型特征，分为两箱造型、三箱造型、脱箱造型、地坑造型等。各种方法的主要特征及适用范围见表 1-1。

手工造型按造型用模样特征，分为整模造型、分模造型、挖砂造型、假箱造型、活块造型、刮板造型等。各种方法的主要特征及适用范围见表 1-2。