



普通高等教育规划教材

# 材料成形工艺

周述积 侯英玮 茅鹏 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

TB3

133

普通高等教育规划教材

# 材料成形工艺

主 编 周述积 侯英玮 茅 鹏  
参 编 夏鹏举 胡成武 隋少华  
主 审 沈其文



机械工业出版社

本书作为全国普通高等学校材料成形及控制工程专业工艺课教材而编写出版。全书主要内容包括金属液态凝固成形(铸造)与铸造工艺设计、金属塑性成形工艺及模具设计、焊接成形工艺与工艺装备设计,最后就材料成形工艺的选用作了分析比较。

本书特点是内容广,应用性强,具有一定的理论深度。它既可作为材料成形及控制工程专业主干课教材,亦可选为材料科学与工程类专业相关课程教材,还可作为机械工程类专业自学和选修课教材,更可作为广大工程技术人员的技术参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

材料成形工艺/周述积等主编 —北京:机械工业出版社,2005 7  
普通高等教育规划教材  
ISBN 7-111-16814-3

I. 材… II. 周 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 070170 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:张祖凤、冯春生

责任编辑:冯春生 版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣

封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5·17.125 印张·657 千字

定价:42.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

# 普通高等教育应用型人才培养规划教材 编审委员会名单

主任： 刘国荣 湖南工程学院  
副主任： 左健民 南京工程学院  
陈力华 上海工程技术大学  
鲍 泓 北京联合大学  
王文斌 机械工业出版社

委员： (按姓氏笔画排序)  
刘向东 华北航天工业学院  
任淑淳 上海应用技术学院  
何一鸣 常州工学院  
陈文哲 福建工程学院  
陈 峻 扬州大学  
苏 群 黑龙江工程学院  
娄炳林 湖南工程学院  
梁景凯 哈尔滨工业大学(威海)  
董幸生 江汉大学

## 材料成形及控制工程专业教材编委会

- 主任：** 计伟志 上海工程技术大学
- 副主任：** 李 尧 江汉大学  
王卫卫 哈尔滨工业大学（威海）
- 委 员：**（按姓氏笔画排序）
- 王高潮 南昌航空学院
- 邓 明 重庆工学院
- 齐晓杰 黑龙江工程学院
- 肖小亭 广东工业大学
- 李慕勤 佳木斯大学
- 张 旭 湖南工程学院
- 周述积 湖北汽车工业学院
- 侯英玮 大连交通大学
- 胡礼木 陕西理工学院
- 胡成武 株洲工学院
- 施于庆 浙江科技学院
- 贾俐俐 南京工程学院
- 翁其金 福建工程学院
- 傅建军 华北航天工业学院

# 序 1

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来,科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化发展和我国加入 WTO,世界制造业将逐步向我国转移。有人认为,我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此,工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止,我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大的贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名世界第 36 位,与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员,特别是工程应用技术人才市场供给不足。在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校,并于 2001 年、2002 年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”,对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的,以适应经济、社会发展对工程教育的新要求,满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程的先驱、美国加州理工学院的马·卡门教授有句名言:“科学家研究已有的世界,工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律,所以科学强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学(包括自然科学、技术科学和社会科学)理论和技术手段去改造客观世界的实践活动,所以它强调综合,强调方案优缺点的比较并作出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养应实施不同的培养方案,采用不同的培养模式,采用具有不同特点的教材。然而,我国目前的工程教育没有注意到这一点,而是:①过分侧重工程科学(分析)方面,轻视了工程实际训练方面,重理论,轻实践,没有足够的工程实践训练,工程教育的“学术化”倾向造成了“课题训练”的偏软现象,导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一,课程结构不合理,知识面过窄,导致知识结构单一,所学知识中有一些内容已陈旧,交叉学科、信息学科的内容知之甚少,人文社会科学知识薄弱,学生创新能力不强。



③教材单一，注重工程的科学分析，轻视工程实践能力的培养；注重理论知识的传授，轻视学生个性特别是创新精神的培养；注重教材的系统性和完整性，造成课程方面的相互重复、脱节等现象；缺乏工程应用背景，存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验，自身缺乏“工程训练”。⑤工程教育在实践中与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展，培养更多优秀的工程技术人才，我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材，目的在于改革传统的高等工程教育教材，建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材，满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建设原则是：

### 1. 保证基础，确保后劲

科技的发展，要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此，从内容安排上，保证学生有较厚实的基础，满足本科教学的基本要求，使学生日后具有较强的发展后劲。

### 2. 突出特色，强化应用

围绕培养目标，以工程应用为背景，通过理论与工程实际相结合，构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下9字方针：知识新、结构新、重应用。教材内容的要求概括为：“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上，挑选出最基本的内容、方法及典型应用；“新”指在将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容，以适应科学技术发展的需要，妥善处理好传统内容的继承与现代内容的引进，用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容，并将这些按新的教学系统重新组织；“广”指在保持本学科基本体系下，处理好与其相关以及交叉学科的关系；“用”指注重理论与实际融会贯通，特别是注入工程意识，包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

### 3. 抓住重点，合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课（专业基础课、专业课）教材的建设，并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设，并力争做好与之配套的电子教材的建设。

### 4. 精选编者，确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验，又具有丰富的教学实践经验的教师担任编写任务，以确保教材质量。

我们相信，本套系列教材的出版，对我国工程应用型人才培养质量的提高必将产生积极作用，会为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光，高瞻远瞩，及时提出并组织编写这套系



列教材，他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作，并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件，在此深表衷心感谢！

**编委会主任** 刘国荣教授  
**湖南工程学院院长**



## 序 2

高等教育在迅猛发展，教学改革在积极深入，专业调整在继续进行，以此来适应中国特色社会主义建设的需要。大江东去，势不可挡。

在1998年教育部颁布的普通高等学校专业目录中，已将原铸造、塑性成形加工和焊接等金属热加工专业合并为材料成形与控制工程专业，这是一次大的专业调整。“工欲善其事，必先利其器”。在教学改革中，为了适应人才培养的需要，从满足宽口径、新专业的教学要求出发，机械工业出版社组织了全国近20余所院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师，立足于应用型人才培养，制定了专业教材建设的整体规划，近2年内有计划地编写、出版了一大批新的专业教材，体现了内容广、知识新、实用性强的特色。应该说，这是一项具有重要意义的基础工作，它将在教学改革中发挥重要作用，也必将激发广大学生对专业的厚爱与对学习的深情。

“材料成形工艺”是新专业的一门重点专业课。新编《材料成形工艺》教材是应新专业教学需要而编写的。本教材共分四篇十七章，每篇附有复习思考题。纵观其内容，吸取了目前同类教材的长处，以工艺、工装、模具设计为主线，恰当规划了原“铸造工艺学”、“锻造工艺学”、“冲压工艺与模具设计”、“焊接工艺与设备”及“焊接冶金学”等多门课程的体系结构，在内容上既注重学科的系统性、理论的完整性，同时，又更加注重工程的综合性、技术的实用性，精整了内容，减少了重复，突出了应用，注意了思维能力的训练。这将有力提升课程的教学效果，增加工艺、工装、模具的设计能力，以利于提高学生的专业素质。

专业工艺知识是很具体的，专业工作能力是很重要的，工装模具设计与制造是实现工程的保证。要学好工艺类课程，掌握好工装模具设计，紧跟现代科学技术和现代化生产的发展，务必贯彻理论与实际相统一的原则，紧密联系生产实际。只有这样，才能在学习、工作中不断开拓进取，才能获得丰硕的成果，迎接美好的未来！

当然，实践是永无止境的，改革探索和求实创新是永无止境的。形势在不断发展，科技在不断进步，生产面貌在不断更新。周述积、侯英玮、茅鹏等多位教授以及沈其文教授长期从事于材料成形的教学与研究，富有经验，为这一



新教材的编、审付出了大量的心血。然而，古今中外，没有任何完美的事物。我深信本教材将在教学改革的深入发展中，在读者与同行专家的关心下，会得到不断的检验、不断的修改、不断的完善。

穷千里目，上几层楼。

谨为之序。

中国科学院 院士 杨叔子  
华中科技大学教授

2005年7月15日·武昌·瑜园

# 前 言

自 1998 年国家将高校铸造、塑性成形加工和焊接等专业调整拓宽为材料成形及控制工程专业以来,一时难以选到一本比较适用的专业工艺课教材。在这种情况下,由机械工业出版社组织的高等学校材料成形及控制工程专业教材编审委员会于 2003 年内两次研究专业系列教材的编写计划,本着“一切为了学生,一切服务于教学”的原则,决定集中力量,编写本书,以满足教学需要。

本书对原《铸造工艺学》、《锻造工艺学》、《冲压工艺学》、《焊接方法与设备》、《焊接冶金》等教材内容进行精选,按照专业工艺课程的基本教学要求,以金属液态凝固成形、金属塑性成形和焊接成形为重点,突出质量控制、工艺分析与设计、现代工程应用三大特色,围绕提高学生工艺设计和应用能力为目标,统一课程教学思路 and 选择教材内容。毋庸置疑,对于产品工艺分析、工艺设计、成形模具和工艺装备设计,将列为本书主线。考虑到专业系列教材中另有《注塑工艺与模具》、《压铸工艺与模具》等书目的编写和出版,本书未予安排非金属材料成型与压铸等工艺的内容。

全书分四篇共十七章。第一篇为金属液态凝固成形与铸造工艺设计,包括砂型与砂芯制造,铸造工艺方案的拟定,砂芯和浇注系统设计,冒口、冷铁与铸肋,铸造工艺图的绘制,铸造工艺装备设计等;第二篇为金属塑性成形工艺,包括模锻工艺、锻模设计、冲压工艺、冲压模设计;第三篇为焊接成形工艺,从各种受焊材料焊接性的实际出发,突出质量控制和焊接工艺,介绍了焊接方法,并对合金结构钢焊接、特种钢焊接、铸铁与非铁合金焊接进行分述,随后介绍了焊接材料及焊接工装夹具设计;第四篇为材料成形工艺的综合比较和工艺方案的选择。为了应用与创新,各篇结合生产实际列举了一些实例。为便于学习和巩固学习效果,各篇开头提供了[学习指导],章后附有复习思考题。

本书由湖北汽车工业学院周述积、大连交通大学侯英玮和上海工程技术大学茅鹏三位老师担任主编,由周述积教授统稿。参加本教材具体编写工作的有(按章节顺序):周述积(前言,绪论,第一、二、三章);陕西理工学院夏鹏举(第四、五、六章);侯英玮(第七、八、十、十六、十七章);株洲工学院胡成武(第九章);茅鹏(第十一、十二、十三、十五章)和哈尔滨工业大学隋少华(第十四章)。在编写过程中,得到了材料成形及控制工程专业教材编审委员会、



机械工业出版社以及编写人员所在工作单位的支持和帮助，更为荣幸的是，在专业系列教材由编委会主任刘国荣教授统一作序的基础上，又聘请了华中科技大学教授、中国科学院杨叔子院士为本书作序。本书特聘华中科技大学沈其文教授担任主审，对书稿提出了许多宝贵意见，对此，谨致诚挚的谢意。

本书是高等学校材料成形及控制工程的专业主干课教材，亦可选为材料科学与工程类专业相关课程教材，还可作为机械工程类专业自学和选修课教材，更可作为广大工程技术人员的技术参考书。

编写中，参阅了大量的有关著作、教材和技术资料，谨对这些著作、教材的编著者表示衷心的感谢。

因编者水平有限，书中缺点、错误在所难免，恳请批评指正。

**编 者**

# 目 录

序 1	
序 2	
前言	
绪论	1
<b>第一篇 金属液态成形与铸造工艺设计</b>	
<b>第一章 砂型与砂芯制造</b>	7
第一节 铸件综合质量观	7
第二节 铸型工作条件及其与金属的相互作用	9
第三节 砂型与砂芯	11
第四节 铸造用涂料	26
复习思考题	29
<b>第二章 铸造工艺方案</b>	30
第一节 铸造工艺设计的工作任务和设计依据	30
第二节 铸造工艺方案的拟定	32
复习思考题	61
<b>第三章 浇注系统设计</b>	64
第一节 浇注系统的类型	64
第二节 浇注系统组元中金属液的流动特性及组元设计	68
第三节 浇注系统计算的水力学公式	73
第四节 浇注系统设计步骤及各类合金浇注系统特点	82
复习思考题	87
<b>第四章 冒口、冷铁与铸肋</b>	89
第一节 冒口的作用、种类和位置	89
第二节 冒口的补缩原理	93
第三节 冷铁和补贴的应用	97
第四节 铸钢件冒口的设计与计算	102
第五节 铸铁件实用冒口的设计	116
第六节 提高通用冒口补缩效率的措施和特种冒口	129



第七节 冷铁 .....	136
第八节 铸肋 .....	144
复习思考题 .....	146
<b>第五章 铸造工艺图与设计实例 .....</b>	<b>147</b>
第一节 铸造工艺图与铸造工艺卡 .....	147
第二节 典型铸件铸造工艺图绘制 .....	158
第三节 铸造工艺设计实例分析 .....	164
复习思考题 .....	172
<b>第六章 铸造工艺装备设计 .....</b>	<b>173</b>
第一节 概述 .....	173
第二节 模样设计 .....	175
第三节 模板和模板框设计 .....	181
第四节 芯盒设计 .....	188
第五节 砂箱设计 .....	195
复习思考题 .....	202
<b>第二篇 金属塑性成形工艺</b>	
<b>第七章 模锻工艺 .....</b>	<b>205</b>
第一节 概论 .....	205
第二节 成形工序 .....	206
第三节 模锻件图设计 .....	207
第四节 坯料尺寸的确定 .....	221
第五节 设备吨位的确定 .....	223
第六节 模锻工艺过程的制定和模锻工艺方案的 选择 .....	226
复习思考题 .....	229
<b>第八章 锻模设计 .....</b>	<b>230</b>
第一节 终锻模膛设计 .....	230
第二节 预锻模膛设计 .....	232
第三节 制坯工步的选择及制坯模膛设计 .....	235
第四节 锻模结构设计 .....	244
第五节 切边与冲孔模设计 .....	253
第六节 典型锻模结构及模具设计 .....	254
复习思考题 .....	260



第九章 冲压工艺 .....	261
第一节 冲裁 .....	262
第二节 弯曲 .....	276
第三节 拉深 .....	284
第四节 胀形与翻边 .....	293
第五节 冲模设计 .....	300
复习思考题 .....	315
第十章 其他塑性成形工艺 .....	317
第一节 挤压成形 .....	317
第二节 拉拔成形 .....	323
第三节 轧制成形 .....	328
复习思考题 .....	332
<b>第三篇 金属焊接成形工艺</b>	
第十一章 金属焊接性和常用金属材料焊接缺陷的分析 .....	335
第一节 金属焊接性 .....	335
第二节 常用的焊接性评价和试验方法 .....	340
第三节 常用金属材料焊接中的结合性缺陷 .....	348
第四节 金属材料焊接接头性能的不良转变 .....	371
复习思考题 .....	381
第十二章 焊接方法 .....	383
第一节 熔焊 .....	384
第二节 电阻焊和钎焊 .....	406
复习思考题 .....	417
第十三章 常用金属材料的焊接 .....	418
第一节 碳钢的焊接 .....	418
第二节 合金结构钢的焊接 .....	425
第三节 其他常用金属材料的焊接 .....	433
复习思考题 .....	450
第十四章 焊接材料 .....	451
第一节 焊条 .....	451
第二节 焊剂 .....	457
第三节 焊丝 .....	462
复习思考题 .....	465



第十五章 焊接工艺装备 .....	466
第一节 焊接夹具 .....	467
第二节 焊接变位机械 .....	491
第三节 焊接机器人 .....	498
复习思考题 .....	503

## 第四篇 材料成形工艺的选择

第十六章 常用材料成形工艺分析 .....	507
第一节 材料成形工艺选择的原则和依据 .....	507
第二节 材料的主要成形工艺特点 .....	509
复习思考题 .....	514
第十七章 材料成形工艺方案的选择 .....	515
第一节 材料成形工艺选择的步骤 .....	515
第二节 经济性对材料成形方案的影响 .....	515
第三节 产品质量对材料成形方案的影响 .....	519
第四节 典型零件及常用零件材料成形工艺的 选择 .....	521
复习思考题 .....	526
参考文献 .....	527



# 绪 论

材料成形技术内容主要为金属液态凝固成形（铸造）、金属固态塑性成形（锻压）、连接成形（焊接）、粉末冶金和非金属材料成型（注射）等而不包括切削加工。材料成形工艺是研究运用各种加工方法将材料直接形成机器零件或毛坯的一门技术学科，属于材料学与机械制造学等学科的统一或交叉。材料成形过程与金属切削过程不同。材料不仅发生形状、几何尺寸的变化，而且会发生成分、组织结构及性能的改变。据此，材料成形学科的任务不仅要研究如何成形以获得必要的几何尺寸、精度和表面质量，同时还要研究如何通过其加工过程的控制来获得一定化学成分、内部组织结构和性能，从而保证机器产品的整体质量、高生产率和最低成本的基本要求。

中华民族为材料和材料成形技术的发展做出了重大的贡献。早在新石器时代（公元前 6000 ~ 5000 年）的磁山（河北）、裴李岗（河南）文化时期，中华民族的祖先已用粘土（主要成分为  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）烧制成陶器（图 0-1）。我国在东汉时期发明了瓷器（图 0-2），成为最早生产瓷器的国家。中国瓷器于 9 世纪传到非洲东部和阿拉伯国家，13 世纪传到日本，15 世纪传到欧洲。陶瓷技术成为中国文化的象征，对世界文明产生了极大的影响。

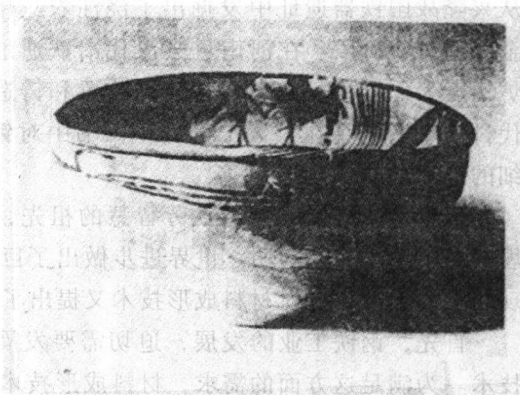


图 0-1 陶器（盛储器皿）（甘肃马家窑出土）

我国青铜冶炼和铸造开始于夏朝（公元前 2140 年）以前。从河南安阳晚商遗址出土的司母戊鼎重达 875kg，外型尺寸为  $1.33\text{m} \times 0.78\text{m} \times 1.10\text{m}$ ，是迄今世界上最古老的大型青铜器（图 0-3）。它采用了精湛的铸造技术。从湖北江陵楚墓中发掘出越王勾践的两把宝剑，长  $0.557\text{m}$ ，宽  $0.046\text{m}$ ，保存完好，基本上未腐蚀，金光闪闪，锋利异常，剑体满饰菱形花纹，剑上铭刻八字“越王勾践，自作用践”，是我国青铜器的杰作。在湖北随州出土的战国青铜（乐铜配制）编