

GONGCHENG CAILIAO JI CHENGXING JISHU



21 世纪高职高专规划教材
高等职业教育规划教材编委会专家审定

(第2版)

工程材料及成形技术

主 编 李立明 贺红梅
副主编 路书芬 李富波 毛汝生



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



21 世纪高职高专规划教材
高等职业教育规划教材编委会专家审定

工程材料及成形技术

(第2版)

主 编 李立明 贺红梅

副主编 路书芬 李富波 毛汝生



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 提 要

本教材是根据高等职业技术教育的教学要求编写的。全书分为两篇共十章。上篇为工程材料,主要包括金属学基本知识、材料的强化与处理、常用金属材料、非金属材料与复合材料等;下篇为材料成形技术,主要包括铸造成形、锻压成形、焊接与胶接、非金属材料成形工艺、零件毛坯的选择、钳工与机械加工成形工艺等。每章后附有小结及思考题与习题。

本教材难易适中,深入浅出,主要适用于高职高专机电类、模具类专业,也可作为相关专业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及成形技术/李立明,贺红梅主编. --2版. --北京:北京邮电大学出版社,2012.4

ISBN 978-7-5635-2962-9

I. ①工… II. ①李…②贺… III. ①工程材料—成型 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 058882 号

书 名: 工程材料及成形技术(第 2 版)

主 编: 李立明 贺红梅

责任编辑: 彭 楠

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发 行 部: 电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 14.75

字 数: 367 千字

版 次: 2008 年 7 月第 1 版 2012 年 4 月第 2 版 2012 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-2962-9

定 价: 32.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

本书贯彻落实《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,体现了职业教育的性质、任务和培养目标,符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求,具有思想性、科学性和教学适应性,符合国家有关部门颁发的技术质量标准。

本书再版更加注重理论与工程实践的结合,并反映了近年来工程材料及成形技术的新技术和成果。第2版教材基本保持原书框架,对于教材中涉及的金属材料的牌号和相关技术术语、符号、量和单位,均按照最新的国家标准进行更新。

全书分为两篇共十章。上篇为工程材料,主要内容包括金属学基本知识、材料的强化与处理、常用金属材料、非金属材料与复合材料等;下篇为材料成形技术,主要内容包括铸造成形、锻压成形、焊接与胶接、非金属材料成形工艺、零件毛坯的选择、钳工与机械加工成形工艺等。

本书的绪论,第1章,第3章的3.1、3.2节,第10章由郑州电力高等专科学校李立明教授编写;第2章,第3章的3.3、3.4节,第4章由郑州电力高等专科学校贺红梅编写;第5~7章由郑州电力高等专科学校路书芬编写;第8章由郑州电力高等专科学校李富波副教授编写;第9章由郑州电力高等专科学校毛汝生教授编写;郑州电力高等专科学校李诣、李妍缘、王云霞、时存以及郑州机械研究所崔宇,参与了资料的搜集、整理工作。本书由李立明、贺红梅任主编,路书芬、李富波、毛汝生任副主编,李立明负责全书的统稿工作。

本书的再版得到了河南省电力公司培训中心崔朝英和河南农业大学张秀丽的大力帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

绪 论

1. 中华民族在工程材料及成形技术方面的贡献

历史上,中华民族在工程材料及成形技术方面有过辉煌的成就。根据大量出土的文物考证,我国的青铜冶炼始于夏代,一直到距今 3 000 多年前的殷商、西周时期,在生产工具、生活用具、兵器、礼器及马饰等方面均使用大量青铜。河南安阳出土的重达 875 kg 的商代司母戊大方鼎体积庞大,花纹精致,造型美观;湖北江陵楚墓中发现的埋葬 2 000 多年的越王勾践宝剑仍金光闪闪;陕西临潼秦皇陵出土的大型彩绘铜车马造型逼真,制作精美,工艺精湛。这些都说明我国当时已具有高超的冶铸技术和艺术造诣。

在春秋时期,发明了生铁冶炼技术,开始大量使用铁器做工具,铸造和热处理技术已普遍应用于制剑中,比欧洲国家早 1 800 多年。

在唐朝(约公元 7 世纪)时期,我国已应用锡钎焊和银钎焊技术,而此项技术欧洲直到公元 17 世纪才出现。

明朝科学家宋应星编著的《天工开物》是举世公认的世界有关金属加工的最早的科学技术著作之一,书中记载了冶铁、铸造、锻造、焊接、淬火等金属加工的方法。书中介绍的锉刀、针等工具的制造过程与现代几乎一致。

21 世纪,我国的现代工程材料与成形技术又有了可喜的发展,2006 年我国钢铁材料年产量超过 4 亿吨,成为国际钢铁市场上举足轻重的“第一力量”。

2. 工程材料的分类及发展趋势

(1) 工程材料的分类

工程材料种类很多,用途极为广泛,有许多不同的分类方法,比较科学的方法是按其化学组成进行分类。如图 0.1 所示。

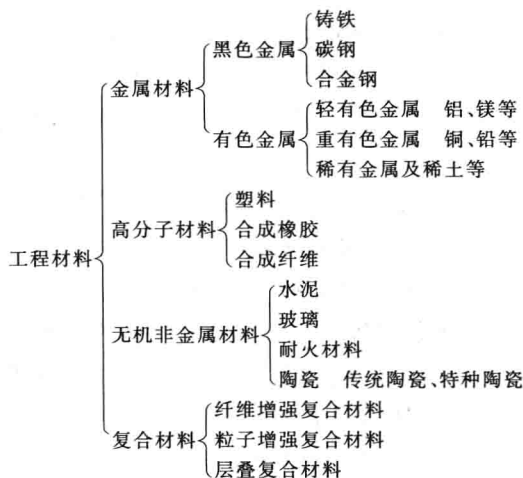


图 0.1 工程材料的分类

(2) 工程材料的发展趋势

工程材料的发展趋势主要表现在以下 4 个方面。

① 高性能的新型金属材料

高性能的新型金属材料就是指具有高强度、高韧性、耐高温、耐低温、抗腐蚀、抗辐射等性能的材料。这种材料对发展空间技术、核能、海洋开发等工业有着极其密切的关系。高性能的新型金属材料的研究热点主要是传统金属材料的微合金化、金属间化合物结构材料、金属基复合材料、新型有色金属材料等。

② 非晶态(亚稳态)合金材料

非晶态或亚稳态合金材料是通过快速冷却技术获得的,非晶态合金具有高强度、耐腐蚀等特点。在工程应用中,通过高能束流等处理技术可在工件表面获得非晶态或纳米结构,改善和提高工件表面的耐磨性和耐蚀性。

③ 特殊条件下应用的金属材料

在低温、高压、高真空、高温及辐射条件下,材料的结构和组织将会转变,并因此引起性能变化。例如,在高压下、电磁场作用下的金属凝固和加工技术;微重力条件下金属材料的凝固技术;高压及冲击波对材料性能影响的试验研究等。另外,太空、深海洋等工程技术所用的材料将继续深入研究。

④ 材料的设计及选用计算机化

由于电子计算机及应用技术的高速发展,使得人们正逐步按照指定的性能进行材料设计。目前已初步建立起了计算机化的各种材料性能数据库和计算机辅助选材系统,并进一步向智能化方向发展,从而提高了工程技术的用材水平。

3. 材料成形技术的发展趋势

随着现代科学技术的发展,传统的成形工艺得到了很大的发展。例如,以气体保护自动焊或埋弧自动焊取代手工焊条焊接,以涂层刀具、超硬刀具、机夹刀具代替普通刀具,以数控加工代替普通机床加工等。常规工艺经过优化后,能够扩展原有的工艺效果,使得诸如下料和加工、毛坯制造和零件加工、粗加工和精加工、冷加工和热加工、成形和改性等工艺,在界限上趋于淡化,在功能上趋于交叉。例如,精密冲裁、精密切割的功能不仅限于下料,一直扩展至粗加工甚至部分精加工领域。无余量精密制造、接近最终形状的精密塑性成形等基本可取代粗加工,甚至可以做到直接装配。常规工艺的不断优化,取得了非常明显的技术经济效益。

新型材料的出现使传统的铸造、锻压、焊接、热处理、切削加工工艺的技术构成逐渐发生变化。新型材料的应用也导致某些崭新加工技术的产生,如加工超塑性材料的超塑成形、加工陶瓷材料的热等静压、沉积 TiN、人造金刚石等超硬薄膜用的气相沉积。激光、电子束、离子束、等离子体、超声波、高压水射流等新能源或能源载体的引入,形成了多种崭新的特种加工及高密度能切割、焊接、熔炼、锻压、热处理、表面保护等加工工艺。激光、等离子、高压水射流切割技术与数控技术相结合使加工精度、切口质量和生产效率大幅度提高。

随着机械加工精度不断提高,出现了精密加工和超精密加工,其主要方式有超精密切削、超精密磨削与磨料加工。制造超大规模集成电路、光电器件等的基本加工工艺是微细加工,它不仅加工精度极高,而且加工尺寸十分微小。微细加工的发展还导致一门崭新的学

科——微机械的产生。应用微机械技术可制造出微量级尺寸的机械器件,如微型传感器、静电驱动的微型马达、微型齿轮、微型轴承、微型机械手及微型机器人等。

计算机技术在机械加工过程的应用,使得机械零件加工设备不断创新,零件的加工质量和效率不断提高。例如,计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)和生产管理信息系统(MIS)的综合应用,突破了传统的金属材料成形加工方法,提高了金属材料成形加工工艺水平,降低了机械制造成本,提高了机械产品的使用性能。

4. 本课程的学习目的和基本要求

工程材料与成形技术是研究与应用机械零件常用材料和材料成形工艺方法的一门综合性技术基础课。

学习本课程有以下两个方面的目的。

(1) 为学习后续课程和专业课奠定基础,为从事专业工作创造必要的条件。

(2) 学习工程材料及成形技术课程,有助于提高学生分析问题和解决问题的能力,提高学生的综合素质。

通过工程材料及成形技术课程的学习,使学生对机械产品的材料和制造活动有一个总体的了解,了解各种常用材料的性能和各种机械加工方法的基本知识,达到以下基本要求。

(1) 了解工程材料的种类、成分、组织、性能、改性等基本知识,初步掌握其应用范围和选择原则。

(2) 了解工程材料成形的基本原理、工艺特点和应用,正确选择机械零件的成形方法。

(3) 了解机械零件设计中的结构工艺性问题。

(4) 了解有关的新工艺、新技术及其发展趋势。

目 录

绪论	1
----------	---

上篇 工程材料

第 1 章 金属学基本知识	7
1.1 金属材料的性能	7
1.1.1 强度和塑性	7
1.1.2 硬度	9
1.1.3 冲击韧性	12
1.1.4 疲劳强度	15
1.1.5 断裂韧性	15
1.1.6 金属材料的物理、化学和工艺性能	16
1.2 金属的晶体结构	18
1.2.1 金属常见的晶体结构	18
1.2.2 金属的实际晶体结构	21
1.3 金属的结晶	23
1.4 金属的塑性变形与再结晶	25
1.4.1 金属的塑性变形	25
1.4.2 塑性变形对金属组织和性能的影响	28
1.4.3 冷变形金属在加热时组织和性能的变化	30
1.4.4 金属的热加工与冷加工	31
1.5 二元合金相图	32
1.5.1 固态合金的相结构	32
1.5.2 二元合金相图基础	34
1.5.3 铁碳合金相图	35
1.5.4 Fe-Fe ₃ C 相图在工业中的应用	44
本章小结	47
思考题与习题	47
第 2 章 材料的强化与处理	48
2.1 金属材料的热处理	48
2.1.1 钢在加热时的转变	48
2.1.2 奥氏体在冷却时的转变	50
2.1.3 钢的普通热处理	54
2.1.4 表面热处理	59
2.1.5 热处理新技术简介	62
2.1.6 热处理工艺的应用	63
2.2 工程材料的表面处理方法	68
2.2.1 气相沉积	68
2.2.2 化学转化膜技术	69
2.2.3 电镀和化学镀	70
2.2.4 涂料和涂装工艺	70
本章小结	71
思考题与习题	72
第 3 章 金属材料	73
3.1 工业用钢	73
3.1.1 碳素钢	73
3.1.2 合金钢	78

3.2 铸铁	104
3.2.1 概述	104
3.2.2 灰铸铁	106
3.2.3 球墨铸铁	107
3.2.4 蠕墨铸铁	109
3.2.5 合金铸铁	109
3.3 有色金属及其合金	112
3.3.1 铝及铝合金	113
3.3.2 铜及铜合金	118
3.3.3 钛及钛合金	122
3.3.4 滑动轴承合金	123
3.4 粉末冶金材料	125
3.4.1 粉末冶金工艺简介	126
3.4.2 常用粉末冶金材料	126
本章小结	129
思考题与习题	129
第4章 非金属材料与复合材料	131
4.1 塑料	131
4.1.1 塑料的组成	131
4.1.2 塑料的性能	132
4.1.3 常用工程塑料	132
4.2 橡胶	133
4.3 陶瓷	134
4.4 复合材料	134
4.4.1 复合材料的分类	134
4.4.2 复合材料的性能特点	135
4.4.3 常用复合材料	135
本章小结	137
思考题与习题	137

下篇 材料成形技术

第5章 铸造成形	141
5.1 铸造工艺基础	141
5.1.1 概述	141
5.1.2 合金的铸造性能	142
5.2 砂型铸造	143
5.2.1 造型材料	143
5.2.2 手工砂型造型	143
5.2.3 机器造型	147
5.2.4 型芯制造	147
5.2.5 合型	147
5.2.6 浇注	148
5.2.7 落砂、清理和检验	148
5.3 铸造工艺设计简介	149
5.3.1 浇注位置的选定	149
5.3.2 分型面的选定	149
5.3.3 浇注系统、冒口、出气口	150
5.3.4 铸造工艺参数的确定	151
5.3.5 绘制铸造工艺图	152
5.4 铸件结构的工艺性	152
5.4.1 铸件质量对铸件结构的要求	153
5.4.2 铸造工艺对铸件结构的要求	154

5.5 特种铸造和铸造新技术简介	155
5.5.1 金属型铸造	155
5.5.2 压力铸造	155
5.5.3 熔模铸造	156
5.5.4 离心铸造	156
5.5.5 铸造新技术、新工艺	157
本章小结	158
思考题与习题	159
第6章 锻压成形	160
6.1 概述	160
6.2 自由锻	160
6.2.1 自由锻的分类	160
6.2.2 自由锻设备	161
6.2.3 自由锻造的工艺过程	162
6.2.4 自由锻的特点及应用	165
6.3 胎模锻和模锻	166
6.3.1 胎模锻	166
6.3.2 模锻	166
6.4 自由锻件结构工艺性	168
6.5 板料冲压	169
6.5.1 冲压设备	169
6.5.2 板料冲压的基本工序	170
6.6 锻压新技术、新工艺简介	171
6.6.1 精密模锻	171
6.6.2 径向锻造	171
6.6.3 模锻过程的计算机模拟和工艺、模具的 CAD/CAM	172
6.6.4 超塑性成形	172
6.6.5 高速高能成形	172
6.6.6 液态成形	172
本章小结	173
思考题与习题	173
第7章 焊接与胶接	174
7.1 焊接的特点、分类及应用	174
7.1.1 焊接的特点	174
7.1.2 焊接的分类及应用	174
7.2 焊条电弧焊	175
7.2.1 焊接电弧	176
7.2.2 焊条电弧焊电源设备及工具	177
7.3 其他焊接方法及焊接新技术、新工艺简介	179
7.3.1 气体保护焊	179
7.3.2 电渣焊	181
7.3.3 电阻焊	182
7.3.4 钎焊	183
7.3.5 焊接新技术、新工艺简介	184
7.4 焊接结构工艺性	185
7.4.1 焊接结构材料的选择	185
7.4.2 焊缝布置	185
7.4.3 焊接接头及坡口的确定	187
7.5 胶接	188
7.5.1 胶接的特点	188
7.5.2 胶接原理	189
7.5.3 胶接工艺	189

7.5.4 胶接工艺的应用实例	190
7.5.5 胶接新技术	191
本章小结	192
思考题与习题	192
第8章 非金属材料成形工艺	193
8.1 高分子材料成形	193
8.1.1 塑料成形	193
8.1.2 橡胶成形	195
8.2 陶瓷成形	196
8.2.1 干压成形	196
8.2.2 注浆成形	196
8.2.3 注射成形	197
8.3 复合材料成形	197
8.3.1 手糊成形	197
8.3.2 层压成形	197
8.3.3 喷射成形	197
8.3.4 缠绕成形	198
本章小结	198
思考题与习题	198
第9章 零件毛坯的选择	199
9.1 毛坯的种类	199
9.1.1 按制造方法分类	199
9.1.2 按形状和用途分类	199
9.2 毛坯的选择原则	200
9.2.1 选择原则	200
9.2.2 毛坯选择应考虑的因素	200
9.3 典型零件的毛坯选择	201
9.3.1 轴杆类零件	201
9.3.2 盘套类零件	201
9.3.3 机架、箱体类零件	202
本章小结	202
思考题与习题	202
第10章 钳工与机械加工成形工艺	203
10.1 钳工	203
10.1.1 划线	203
10.1.2 锯切	205
10.1.3 锉削	206
10.1.4 钻孔	206
10.1.5 攻螺纹与套螺纹	207
10.1.6 装配工艺	209
10.2 机械加工成形工艺	210
10.2.1 切削加工基本知识	210
10.2.2 车床及其加工	213
10.2.3 其他常用机床及其加工	216
本章小结	219
思考题与习题	220
附录	221
附录 A 布氏硬度(HB)数值表	221
附录 B 国内外常用钢号对照表	225
参考文献	228

绪 论

1. 中华民族在工程材料及成形技术方面的贡献

历史上,中华民族在工程材料及成形技术方面有过辉煌的成就。根据大量出土的文物考证,我国的青铜冶炼始于夏代,一直到距现在 3 000 多年前的殷商、西周时期,在生产工具、生活用具、兵器、礼器及马饰等方面均使用大量青铜。河南安阳出土的重达 875 kg 的商代司母戊大方鼎体积庞大,花纹精致,造型美观;湖北江陵楚墓中发现的埋葬 2 000 多年的越王勾践宝剑仍金光闪闪;陕西临潼秦皇陵出土的大型彩绘铜车马造型逼真,制作精美,工艺精湛。这些都说明我国当时已具有高超的冶铸技术和艺术造诣。

在春秋时期,发明了生铁冶炼技术,开始大量使用铁器做工具,铸造和热处理技术已普遍应用于制剑中,比欧洲国家早 1 800 多年。

在唐朝(约公元 7 世纪)时期,我国已应用锡钎焊和银钎焊技术,而此项技术欧洲直到公元 17 世纪才出现。

明朝科学家宋应星编著的《天工开物》是举世公认的世界上有金属加工的最早的科学著作之一,书中记载了冶铁、铸造、锻造、焊接、淬火等金属加工的方法。书中介绍的锉刀、针等工具的制造过程与现代几乎一致。

21 世纪,我国的现代工程材料与成形技术又有了可喜的发展,2006 年我国钢铁材料年产量超过 4 亿吨,成为国际钢铁市场上举足轻重的“第一力量”。

2. 工程材料的分类及发展趋势

(1) 工程材料的分类

工程材料种类很多,用途极为广泛,有许多不同的分类方法,比较科学的方法是按其化学组成进行分类。如图 0.1 所示。

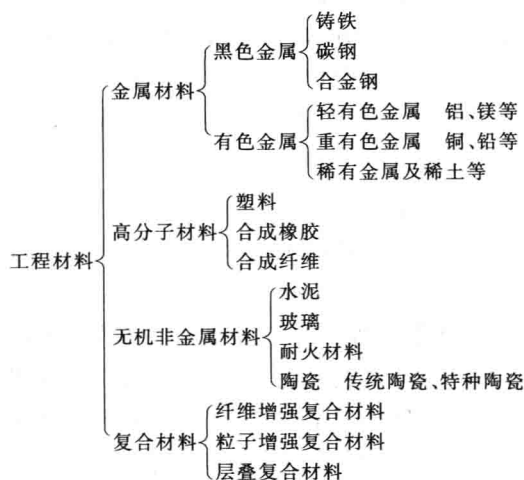


图 0.1 工程材料的分类

(2) 工程材料的发展趋势

工程材料的发展趋势主要表现在以下 4 个方面。

① 高性能的新型金属材料

高性能的新型金属材料就是指具有高强度、高韧性、耐高温、耐低温、抗腐蚀、抗辐射等性能的材料。这种材料对发展空间技术、核能、海洋开发等工业有着极其密切的关系。高性能的新型金属材料的研究热点主要是传统金属材料的微合金化、金属间化合物结构材料、金属基复合材料、新型有色金属材料等。

② 非晶态(亚稳态)合金材料

非晶态或亚稳态合金材料是通过快速冷却技术获得的,非晶态合金具有高强度、耐腐蚀等特点。在工程应用中,通过高能束流等处理技术可在工件表面获得非晶态或纳米结构,改善和提高工件表面的耐磨性和耐蚀性。

③ 特殊条件下应用的金属材料

在低温、高压、高真空、高温及辐射条件下,材料的结构和组织将会转变,并因此引起性能变化。例如,在高压下、电磁场作用下的金属凝固和加工技术;微重力条件下金属材料的凝固技术;高压及冲击波对材料性能影响的试验研究等。另外,太空、深海洋等工程技术所用的材料将继续深入研究。

④ 材料的设计及选用计算机化

由于电子计算机及应用技术的高速发展,使得人们正逐步按照指定的性能进行材料设计。目前已初步建立起了计算机化的各种材料性能数据库和计算机辅助选材系统,并进一步向智能化方向发展,从而提高了工程技术的用材水平。

3. 材料成形技术的发展趋势

随着现代科学技术的发展,传统的成形工艺得到了很大的发展。例如,以气体保护自动焊或埋弧自动焊取代手工焊条焊接,以涂层刀具、超硬刀具、机夹刀具代替普通刀具,以数控加工代替普通机床加工等。常规工艺经过优化后,能够扩展原有的工艺效果,使得诸如下料和加工、毛坯制造和零件加工、粗加工和精加工、冷加工和热加工、成形和改性等工艺,在界限上趋于淡化,在功能上趋于交叉。例如,精密冲裁、精密切割的功能不仅限于下料,一直扩展至粗加工甚至部分精加工领域。无余量精密制造、接近最终形状的精密塑性成形等基本可取代粗加工,甚至可以做到直接装配。常规工艺的不断优化,取得了非常明显的技术经济效果。

新型材料的出现使传统的铸造、锻压、焊接、热处理、切削加工工艺的技术构成逐渐发生变化。新型材料的应用也导致某些崭新加工技术的产生,如加工超塑性材料的超塑成形、加工陶瓷材料的热等静压、沉积 TiN、人造金刚石等超硬薄膜用的气相沉积。激光、电子束、离子束、等离子体、超声波、高压水射流等新能源或能源载体的引入,形成了多种崭新的特种加工及高密度能切割、焊接、熔炼、锻压、热处理、表面保护等加工工艺。激光、等离子、高压水射流切割技术与数控技术相结合使加工精度、切口质量和生产效率大幅度提高。

随着机械加工精度不断提高,出现了精密加工和超精密加工,其主要方式有超精密切削、超精密磨削与磨料加工。制造超大规模集成电路、光电器件等的基本加工工艺是微细加工,它不仅加工精度极高,而且加工尺寸十分微小。微细加工的发展还导致一门崭新的学

科——微机械的产生。应用微机械技术可制造出显微量级尺寸的机械器件,如微型传感器、静电驱动的微型马达、微型齿轮、微型轴承、微型机械手及微型机器人等。

计算机技术在机械加工过程的应用,使得机械零件加工设备不断创新,零件的加工质量和效率不断提高。例如,计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)和生产管理信息系统(MIS)的综合应用,突破了传统的金属材料成形加工方法,提高了金属材料成形加工工艺水平,降低了机械制造成本,提高了机械产品的使用性能。

4. 本课程的学习目的和基本要求

工程材料与成形技术是研究与应用机械零件常用材料和材料成形工艺方法的一门综合性技术基础课。

学习本课程有以下两个方面的目的。

(1) 为学习后续课程和专业课奠定基础,为从事专业工作创造必要的条件。

(2) 学习工程材料及成形技术课程,有助于提高学生分析问题和解决问题的能力,提高学生的综合素质。

通过工程材料及成形技术课程的学习,使学生对机械产品的材料和制造活动有一个总体的了解,了解各种常用材料的性能和各种机械加工方法的基本知识,达到以下基本要求。

(1) 了解工程材料的种类、成分、组织、性能、改性等基本知识,初步掌握其应用范围和选择原则。

(2) 了解工程材料成形的基本原理、工艺特点和应用,正确选择机械零件的成形方法。

(3) 了解机械零件设计中的结构工艺性问题。

(4) 了解有关的新工艺、新技术及其发展趋势。

上篇 工程材料

