

JI XIE GONG CHENG CAI LIAO

机械工程材料

主 编 徐 坚 张建国
副主编 李世显 张念淮

 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

机 械 工 程 材 料

主 编 徐 坚 张建国

副主编 李世显 张念淮

電 子 工 業 出 版 社 ·

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

《机械工程材料》是根据高等职业教育人才培养的要求及课程标准的基本要求编写的。

本书共分 9 章, 主要内容包括材料的性能、金属的晶体结构与结晶、铁碳合金相图、钢的热处理、钢铁材料、非铁金属、非金属材料、新材料简介、材料的选用等。各章章首列出“学习要点与基本要求”, 结尾有“复习题”, 方便学生的自主学习和课后复习, 教材的附录部分提供了与本课程相关的实验指导。

本书可供高等职业院校机械工程类和相近专业的学生使用, 也可作为职业院校教师、学生的培训教材, 还可供工程技术人员阅读。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料 / 徐坚, 张建国主编. —北京: 电子工业出版社, 2016.6
ISBN 978-7-121-28661-2

I. ①机… II. ①徐… ②张… III. ①机械制造材料—高等职业教育—教材 IV. ①TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 088030 号

策划编辑: 祁玉芹

责任编辑: 鄂卫华

印 刷: 中国电影出版社印刷厂

装 订: 中国电影出版社印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 14.25 字数: 348 千字

版 次: 2016 年 6 月第 1 版

印 次: 2016 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 29.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

本书是根据高等职业教育人才培养的要求及高等职业教育《机械工程材料》课程的教学大纲基本要求编写的。

本教材具有以下 5 个特点。

1. 教材使用了最新的国家标准。教材中的专业名词、专业术语和材料牌号都采用了最新的国家标准，同时尽量做到新旧标准的对照。这样不但方便教师的教学，而且有利于新标准的推广和实施。

2. 教材使用了大量的插图和表格，力求图文并茂，便于教师和学生的使用，也为工程技术人员的使用提供了方便。

3. 根据高等职业教育“理论够用”的原则，结合近年来《机械工程材料》课程建设的现状，对教材的内容体系进行了调整，简化了诸如晶体结构理论，删除了“二元合金相图”等内容，降低了理论知识的难度，提升了理论知识的实用性。

4. 教材的语言在科学、标准、准确等要求的基础上，力求通俗易懂，便于学生的自主学习，以适应当前高等职业教育教学方法改革的要求。

5. 教材每章的章首编写了“学习要点”和“基本要求”，介绍本章的教学重点和学习基本要求，方便学生的学习。每章的结尾编写了“复习题”，其题型对应常见的期末考试题型，方便学生的课后复习和期末复习。

本书由郑州铁路职业技术学院徐坚、张建国担任主编，李世显、张念淮担任副主编，李春亚、吕蒙参编。具体编写分工：徐坚（前言、绪论、第 4 章、第 9 章），张建国（第 3 章、第 5 章），李世显（第 7 章、第 8 章），张念淮（第 6 章、第 1 章），李春亚（附录、实验指导），吕蒙（第 2 章）。

本书由戴明宏教授担任主审，插图得到了刘华洲老师的大力帮助，参考了部分兄弟院校的教材和相关厂家的资料，在此一并表示感谢。

由于编着水平有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者提出宝贵意见，以期改正。

编 者

2016 年 3 月

目 录

绪论	1
第 1 章 工程材料的性能	5
1.1 工程材料的使用性能	6
1.1.1 物理性能与化学性能	6
1.1.2 金属的力学性能	8
1.2 工程材料的工艺性能	30
1.2.1 铸造性能	30
1.2.2 锻造性能（可锻性）	31
1.2.3 焊接性能（可焊性）	31
1.2.4 切削加工性能	31
1.2.5 热处理工艺性能	31
复习题一	31
第 2 章 工程材料的组织结构	33
2.1 金属的晶体结构	34
2.1.1 纯金属的晶体结构	34
2.1.2 合金的晶体结构	37
2.2 金属的结晶	39
2.2.1 结晶的条件	39
2.2.2 金属的结晶过程	40
2.2.3 晶粒的大小及控制	40
2.3 非金属材料的结构简介	41

2.3.1 高分子材料的结构	41
2.3.2 陶瓷的组织结构	43
复习题二	44
第 3 章 铁碳合金相图	45
3.1 铁碳合金的基本相	46
3.1.1 纯铁的同素异晶转变	46
3.1.2 铁碳合金的基本相	47
3.2 铁碳合金相图	49
3.2.1 认识铁碳合金相图	50
3.2.2 典型铁碳合金的结晶过程	51
3.2.3 铁碳合金成分、组织、性能之间的关系	57
3.2.4 Fe-Fe ₃ C 相图的应用	58
复习题三	58
第 4 章 钢的热处理	59
4.1 概述	60
4.2 热处理原理	61
4.2.1 钢在加热时的组织转变	61
4.2.2 钢在冷却时的组织转变	62
4.3 整体热处理	67
4.3.1 退火	67
4.3.2 正火	69
4.3.3 淬火	70
4.3.4 钢的回火	73
4.4 表面热处理和化学热处理	77
4.4.1 表面热处理	77
4.4.2 化学热处理	78
4.5 热处理工艺设计	81
4.5.1 热处理的技术条件	81
4.5.2 热处理工序位置安排	83
4.6 金属材料表面处理新技术	83

4.6.1 热喷涂技术	83
4.6.2 气相沉积技术	84
4.6.3 三束表面改性技术	85
复习题四	87
第 5 章 钢铁材料	89
5.1 钢铁材料的分类	90
5.1.1 钢的分类	90
5.1.2 铸铁的分类	92
5.1.3 钢铁及合金牌号统一数字代号	93
5.2 钢铁中的元素及其作用	95
5.2.1 杂质元素对钢的影响	95
5.2.2 合金元素的作用	96
5.3 非合金钢	98
5.3.1 普通碳素结构钢	98
5.3.2 优质碳素结构钢	99
5.3.3 非合金工具钢	102
5.3.4 铸造碳钢	103
5.4 低合金钢	104
5.4.1 可焊接的低合金高强度结构钢	104
5.4.2 低合金耐候钢	105
5.5 合金钢	106
5.5.1 合金钢的牌号	106
5.5.2 机械结构用合金钢	108
5.5.3 滚动轴承钢	111
5.5.4 合金工具钢和高速工具钢	113
5.5.5 不锈钢和耐热钢	116
5.5.6 奥氏体锰钢	119
5.6 铸铁	120
5.6.1 铸铁的石墨化过程	120
5.6.2 铸铁的组织特征和性能特点	121
5.6.3 常用铸铁	122

复习题五	127
第 6 章 非铁合金	128
6.1 铝及铝合金	129
6.1.1 工业纯铝	129
6.1.2 铝合金的分类	129
6.1.3 常用铝合金	130
6.1.4 铝合金的热处理	134
6.2 铜及铜合金	135
6.2.1 纯铜	135
6.2.2 铜合金	136
6.3 滑动轴承合金	139
6.3.1 对滑动轴承合金性能的要求	139
6.3.2 轴承合金的组织	139
6.3.3 常用轴承合金	140
6.4 粉末冶金材料	142
6.4.1 粉末冶金工艺简介	142
6.4.2 粉末冶金的特点与应用	143
6.4.3 典型粉末冶金材料	143
复习题六	147
第 7 章 常用非金属材料	149
7.1 高分子材料	150
7.1.1 橡胶	150
7.1.2 塑料	155
7.2 陶瓷材料	157
7.2.1 陶瓷的分类	158
7.2.2 陶瓷的组织结构	158
7.2.3 陶瓷的性能特点	159
7.2.4 常用陶瓷	160
7.3 复合材料	162
7.3.1 复合材料的分类	162

7.3.2 复合材料的复合原则	163
7.3.3 复合材料的性能特点	163
7.3.4 常用复合材料	165
复习题七	167
第 8 章 新材料简介	169
8.1 高温材料	170
8.1.1 铁基高温合金	170
8.1.2 镍基高温合金	170
8.1.3 高温陶瓷材料	171
8.2 形状记忆合金	172
8.2.1 形状记忆效应与特性	172
8.2.2 典型的形状记忆合金	172
8.2.3 形状记忆合金的应用	173
8.3 非晶态合金	174
8.3.1 非晶态合金的结构	174
8.3.2 非晶态合金的制备	174
8.3.3 非晶态合金的性能与应用	174
8.4 磁性材料	176
8.4.1 磁材料	176
8.4.2 永磁材料	177
8.5 纳米材料	178
8.5.1 纳米材料的分类与特性	178
8.5.2 纳米材料的应用	180
8.5.3 纳米复合材料	181
8.6 超导材料	181
8.6.1 超导材料的基本参数及特性	181
8.6.2 超导材料简介	182
复习题八	183
第 9 章 零件材料的选用	184
9.1 机械零件的失效	185

9.1.1	失效	185
9.1.2	失效的形成及原因	185
9.1.3	零件的工作条件和失效分析	187
9.2	零件的选材原则与步骤	188
9.2.1	选择零件材料的一般原则	188
9.2.2	零件材料选择的一般步骤	189
9.3	典型零件的选材	190
9.3.1	齿轮类零件的选材	190
9.3.2	轴类零件的选材	193
9.3.3	冷冲模具的选材	195
9.3.4	箱体类零件的选材	197
9.3.5	常用工具的选材	198
	复习题九	198
附录 实验指导		200
实验一	布氏硬度实验	200
实验二	洛氏硬度实验	204
实验三	冲击实验	207
实验四	热处理实验	210
实验五	铁碳合金室温下平衡组织金相观察	214
参考文献		218

绪论

一、《机械工程材料》课程及其主要内容

《机械工程材料》是研究机械工程材料的一门课程，它是机类或近机类专业学生必修的一门专业基础课程，主要研究机械工程用材料的基本理论、成分、组织、性能、应用和机械工程材料主要强化工艺等内容的一门学科。

《机械工程材料》课程学习主要包括机械工程材料的性能、组织结构、铁碳合金相图、钢的热处理、钢铁材料、非铁金属、非金属材料，以及材料的选用等内容。

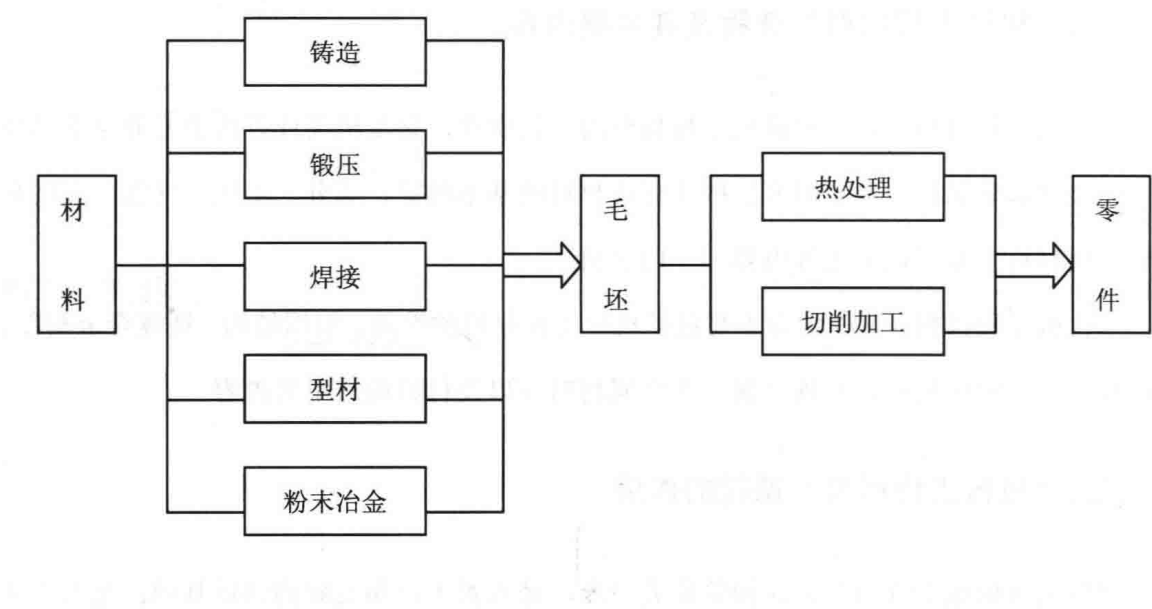
二、《机械工程材料》课程的作用

材料是《机械工程材料》课程的研究对象，是人类生产和发展的物质基础，是人类文明的标志，是发展高科技的先导和基石。一种新材料的出现，往往可以导致一系列新技术的突破；各种高新技术和新兴产业的发展，无不依赖于新材料的研发。

在人类的发展史中，人们可以用各种物质来制造生活用品和工作用品。例如，在新石器时代，人类对石头进行手工加工，使之成为生活器皿和精致的工具。在青铜器时代，人类用青铜制造出了闻名世界的司母戊鼎。社会发展到现代社会，人们开始用钢铁、铜、铝、锌、尼龙、聚乙烯、聚丙烯、聚四氟乙烯、陶瓷、玻璃钢、碳纤维等各类材料，制造汽车、火车、飞机、计算机、手机等多种工业产品和生活用品。在现代工业中，材料被广泛用于车辆、船舶、建筑、化工、能源、仪器仪表、航空航天等工程领域。在机械工业中用于制造各类机械零件、构件的材料和在机械制造过程中所应用的工艺材料称为机械工程材料。机械工程材料发展涉及的面很广，按属性可分为金属材料和非金属材料两大类。金属材料

包括钢铁材料和非铁金属，非金属材料包括有机高分子材料、无机非金属材料 and 复合材料等。

《机械工程材料》课程不仅是机械专业的基础课程，也是其他近机类专业的基础课程。机械工业肩负着为机械工业和其他工业提供工艺装备的任务，是国民经济的基础工业，其作用尤为重要，在国民经济建设中占有十分重要的地位。工业装备主要由机械零件和部件组成，其中机械零件是机械产品最基本的制造单元。机械零件的制造工艺的基本过程如下图所示，主要包括零件材料的选择、毛坯的生产、切削加工、热处理等。



零件材料影响着零件制造的整个工艺过程，其主要表现在以下两个方面：

1. 影响零件的质量。

零件的设计、选材、制造工艺等是影响零件质量的关键因素，其中零件材料是影响零件质量的根本因素。

2. 影响零件的加工工艺。

零件材料与其加工工艺有着密切的联系。零件材料是选择和制定零件加工工艺的重要依据，也是选择零件毛坯制造方法的主要依据。

三、《机械工程材料》课程的教学目标

1. 掌握材料科学方面的基本知识。

2. 理解相关专业术语、概念的含义,能够看懂相关的技术文件并能够顺利进行相关专业的技术交流。

3. 掌握常用机械工程材料的分类方法,熟悉各种机械工程材料的分类、牌号、性能及应用特点,具有选择零件材料的一般能力。

4. 理解钢的热处理原理,掌握热处理分类方法以及各种热处理工艺的工艺目的、工艺特点和操作技能,具有选择热处理工艺的能力。

5. 通过实验,使学生具有一定的动手操作能力。

四、《机械工程材料》课程特点及学习方法

《机械工程材料》课程来源于生产实践,又应用于生产实践,具有实践性、应用性和综合性较强的特征。

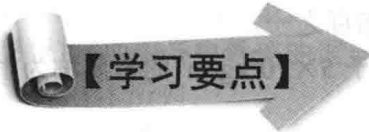
学生学习本课程时,应注意以下几点:

1. 学会掌握学习的技巧。《机械工程材料》课程内容定性介绍的多,总结性规律和经验多,各章节内容无严密的逻辑关系,学生往往抓不住学习要领。因此在学习本课程时,应理清思路,善于归纳和总结,在分散的内容中归纳出重点。只有抓住重点,才能提高学习效率和学习效果。

2. 通过实践提高掌握能力。《机械工程材料》课程涉及的名词、概念、专业术语多,并且不易理解,学生学习本课程会感到困惑。因此学生学习时,应增强对机械生产过程的感性认识,在记忆的基础上多观察、多实践、勤思考,以便提高对名词、概念、专业术语的理解能力。

3. 注重对知识的理解和应用。学生学习本课程时有一个认识上的误区,认为学习《机械工程材料》课程就是死记硬背。实际上要想学好本课程的关键是对知识的理解。只有理解了所学的材料知识,才能灵活运用材料知识去分析和解决实际生产中的问题。

第1章 工程材料的性能



【学习要点】

材料的性能是材料学的重要内容之一，是机械制造过程中正确选用零件材料的重要依据，是学生必须掌握的基础知识。本章主要学习工程材料的力学性能，包括力学性能的相关概念、指标、测量方法等。



【基本要求】

掌握工程材料的强度、塑性、硬度、冲击韧度、疲劳强度的基本含义及代表符号；掌握力学性能的常用试验方法。

1.1 工程材料的使用性能

工程材料的性能包括使用性能、工艺性能和经济性。使用性能是指材料在使用过程中所表现出来的性能，包括材料的物理性能、化学性能和力学性能。

1.1.1 物理性能与化学性能

1. 物理性能

(1) 密度

金属的密度是指单位体积金属的质量。密度是金属的特性之一，在体积相同的情况下，金属的密度越大，其质量也就越大。金属的密度直接关系到设备的自重和效能，在选择零件材料时，需要考虑材料的密度。如发动机活塞要求质轻、惯性小，采用密度小的铝合金制造较为合适。在航空工业领域中，密度更是选材的关键指标之一。

常将密度小于 $5 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 的金属称为轻金属，密度大于 $5 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 的金属称为重金属。常用金属的密度见表 1-1 所列。

表 1-1 常用金属的物理性能

金属名称	符 号	密度 (20℃) / $\rho [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 10^3]$	熔点/℃	热导率 $\lambda [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	热膨胀系数 (0~100℃)	电阻率 (0℃) $\rho [\Omega \cdot \text{m} \cdot 10^{-8}]$
银	Ag	10.49	960.8	418.6	19.7	1.5
铝	Al	2.6984	660.1	221.9	23.6	2.655
铜	Cu	8.96	1083	393.5	17.0	1.67~1.68 (20℃)
铬	Cr	7.19	1903	67	6.2	12.9
铁	Fe	7.84	1538	75.4	11.76	9.7
镁	Mg	1.74	650	153.7	24.3	4.47
锰	Mn	7.43	1244	4.98 (-192℃)	37	185 (20℃)
镍	Ni	8.90	1453	92.1	13.4	6.84
钛	Ti	4.508	1677	15.1	8.2	42.1~47.8
锡	Sn	7.298	231.91	62.8	2.3	11.5
钨	W	19.3	3380	166.2	4.6 (20℃)	5.1

(2) 熔点

物质的熔点，即在一定压力下，纯物质的固态和液态呈平衡时的温度。晶体有固定熔点，而非晶体则没有固定的熔点。金属材料属于晶体，其熔点是指金属和合金从固态向液态转变时的温度。

纯金属都有固定的熔点，而合金的熔点取决于它的化学成分，如钢和生铁虽然都是铁碳合金，但由于碳的质量分布不同，其熔点也不同。

熔点对于金属的铸造和焊接工艺都有重要影响。

熔点高的金属称为难熔金属（如钨、钼、钒等），可以用来制造耐高温零件，在火箭、