

安徽省高等学校“十一五”省级规划教材
“机械工程材料” 国家级精品课程教材

工程材料基础

吴玉程 等 ■ 编著



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

安徽省高等学校“十一五”省级规划教材
“机械工程材料”国家级精品课程教材

机械工业出版社
ISBN 978-7-302-47882-7
定价：39.00元

机械工程材料 机械工业出版社 吴玉程等编著

工程材料基础

吴玉程 等 编著

前言

第一章 绪论

第一节 工程材料的分类

第二节 工程材料的发展

第三节 工程材料的选择

参考文献

第二章 金属材料

合肥工业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程材料基础 / 吴玉程等编著. —合肥: 合肥工业大学出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-5650-2083-4

I. ①工… II. ①吴… III. ①工程材料—教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 306300 号

工程材料基础

吴玉程 等 编著

权怡 责任编辑

出版 合肥工业大学出版社

地址 合肥市屯溪路 193 号

邮编 230009

电话 总编室: 0551-62903038

市场营销部: 0551-62903198

网址 www.hfutpress.com.cn

E-mail hfutpress@163.com

版次 2014 年 12 月第 1 版

印次 2014 年 12 月第 1 次印刷

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16

印张 22.75

字数 539 千字

印刷 合肥现代印务有限公司

发行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-2083-4

定价: 42.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题, 请与出版社市场营销部联系调换。



前 言

本教材为安徽省高等学校“十一五”省级规划教材，以合肥工业大学“机械工程材料”国家级精品课程建设为基础，根据教育部全国高等学校“机械工程专业教学指导委员会”对机械类专业人才的培养要求，兼顾其他专业对材料学科知识的需求，结合课程组多年的教学实践编写而成的。

工程材料基础是机械类专业中一门重要的专业技术基础课，涵盖范围广，它从工程材料的应用出发，阐明工程材料所涉及的基本理论，如材料的基本结构、基本相图、结晶过程、变形机理以及强化机制，介绍材料的成分，加工工艺，组织、结构与性能之间的关系以及常用工程材料的结构、性能及应用，其目的是使学生通过课程学习，在掌握工程材料基本理论和基本知识的基础上，具备根据零件的使用条件和性能要求能够合理选择材料并制定零件加工工艺、热处理工艺路线的基本能力，并能够对失效零件的失效原因进行初步分析。

本教材分为三篇，共9章，包含了工程材料的基本理论，常用工程材料和机械零件的失效、强化、选材以及工程材料的应用三大模块，既注重体现材料科学的基本理论和知识，也重点表述工程材料在实际生产生活中的应用；在重点介绍传统结构材料的同时，也适当介绍功能材料和纳米材料，加强理论联系实际，增强对学生的基本理论素养和实际工程技术能力的培养。本书可作为高等学校机械、机电、能源动力工程及建筑工程等工科相关专业的教材，也可供从事机械零件设计和加工工艺的工程技术人员、操作工、管理人员的培训教材和参考资料。

本书由合肥工业大学吴玉程教授的主编，合肥工业大学材料科学与工程学院“机械工程材料”课程组诸位教师共同编写。其中，吴玉程撰写绪论、第六章和第七章，杜晓东撰写第一章，许少凡、宫晨利撰写第二章，陈小丽、徐光青撰写第三章，黄新民撰写第四章，张学斌撰写第五章，陈九磅撰写第八章，



李云撰写第九章。

教材在编写过程中，参阅了部分国内外相关教材、著作及科技论文，中南大学汪明朴教授和西安交通大学宋晓平教授也对书稿提出了宝贵意见。在此一并表示感谢。

由于编者学识所限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2014年5月



目 录

绪 论	(1)
0.1 材料的含义及分类	(1)
0.2 材料的发展历程	(2)
0.3 材料科学的发展趋势	(4)
0.4 工程材料的应用	(5)
0.5 本教材的主要内容	(6)
 第一篇 工程材料的基本理论	
第一章 材料的结构与性能	(9)
1.1 材料的键合方式	(9)
1.1.1 金属键	(9)
1.1.2 离子键	(10)
1.1.3 共价键	(10)
1.1.4 分子间作用力	(11)
1.1.5 氢键	(12)
1.2 晶体结构常识	(12)
1.2.1 晶体的概念	(12)
1.2.2 晶体的主要类型	(16)
1.3 金属的晶体结构与性能	(17)
1.3.1 纯金属的晶体结构	(17)
1.3.2 实际金属的晶体结构	(19)
1.3.3 合金的相结构	(21)
1.3.4 金属材料的力学性能	(25)



1.3.5 金属材料的工艺性	(29)
1.4 高分子材料的结构与性能	(30)
1.4.1 高分子化合物的基本概念	(30)
1.4.2 高分子化合物的结构	(32)
1.4.3 高分子材料的性能	(35)
1.5 陶瓷材料的组织结构与性能	(36)
1.5.1 陶瓷的概念	(36)
1.5.2 陶瓷的组织结构	(37)
1.5.3 陶瓷的性能	(40)
第二章 金属材料组织与性能的控制	(41)
2.1 纯金属的结晶	(41)
2.1.1 冷却曲线和过冷现象	(41)
2.1.2 纯金属的结晶过程	(43)
2.2 二元合金相图	(47)
2.2.1 二元合金相图的建立	(47)
2.2.2 匀晶相图	(49)
2.2.3 共晶相图	(52)
2.2.4 共析相图	(56)
2.3 铁碳合金相图	(57)
2.3.1 纯铁的同素异构转变	(57)
2.3.2 纯铁的性能与应用	(57)
2.3.3 铁碳合金的基本相和组织	(58)
2.3.4 铁碳合金相图分析	(58)
2.3.5 铁碳合金成分、组织与性能的关系	(72)
2.3.6 铁碳合金相图的应用	(76)
2.4 金属的塑性加工	(78)
2.4.1 塑性变形机理	(79)
2.4.2 冷塑性变形对金属组织与性能的影响	(84)
2.4.3 塑性变形金属在加热时组织与性能的变化	(86)
2.4.4 金属的热加工	(89)
2.5 钢的热处理	(91)



2.5.1 钢在加热时的转变	(91)
2.5.2 钢在冷却时的转变	(95)
2.5.3 钢的过冷奥氏体转变图	(105)
2.5.4 钢的退火与正火	(108)
2.5.5 钢的淬火	(110)
2.5.6 钢的回火	(121)
2.5.7 钢的表面热处理	(126)

第二篇 工程材料

第三章 金属材料	(135)
----------------	-------

3.1 工业用钢	(135)
3.1.1 钢的分类与编号	(135)
3.1.2 工程结构用钢	(137)
3.1.3 合金钢	(143)
3.2 铸铁	(179)
3.2.1 铸铁的分类及性能	(179)
3.2.2 铸铁的石墨化及其影响因素	(180)
3.2.3 常用普通铸铁	(182)
3.3 有色金属及合金	(189)
3.3.1 铝及铝合金	(190)
3.3.2 钛及钛合金	(201)
3.3.3 铜及铜合金	(207)
3.3.4 镁合金	(217)
3.3.5 轴承合金	(223)

第四章 高分子材料	(226)
-----------------	-------

4.1 高分子材料基础	(226)
4.1.1 基本概念	(226)
4.1.2 聚合反应	(226)
4.1.3 聚合物的结构与性能	(227)



4.2 工程塑料	(227)
4.2.1 塑料的组成及分类	(227)
4.2.2 塑料制品的成型与加工	(230)
4.2.3 塑料的性能特点	(233)
4.2.4 常用工程塑料	(234)
4.2.5 塑料在机械工程中的应用	(241)
4.3 橡胶与合成纤维	(241)
4.3.1 橡胶	(241)
4.3.2 合成纤维	(245)
4.4 合成胶黏剂和涂料	(247)
4.4.1 合成胶黏剂	(247)
4.4.2 涂料	(249)
第五章 陶瓷材料	(253)
5.1 概述	(253)
5.1.1 陶瓷的分类	(253)
5.1.2 陶瓷的制造工艺	(257)
5.2 常用工程结构陶瓷材料	(259)
5.2.1 普通陶瓷	(259)
5.2.2 特种陶瓷	(259)
第六章 复合材料	(271)
6.1 概述	(271)
6.1.1 复合材料的基本类型与组成	(271)
6.1.2 复合材料的性能	(272)
6.1.3 复合理论简介	(273)
6.1.4 复合材料中常用的纤维增强材料	(274)
6.2 树脂基复合材料	(275)
6.2.1 塑料基复合材料	(275)
6.2.2 橡胶基复合材料	(275)
6.3 陶瓷基复合材料	(276)
6.4 金属基复合材料	(276)



6.4.1 纤维增强金属基复合材料	(277)
6.4.2 颗粒增强金属基复合材料	(277)
6.5 碳/碳复合材料	(278)
第七章 功能材料	(279)
7.1 功能材料概述	(279)
7.1.1 导电功能材料	(281)
7.1.2 磁性功能材料	(282)
7.1.3 发光功能材料	(283)
7.1.4 声光功能材料	(285)
7.1.5 生物医学功能材料	(286)
7.1.6 隐身功能材料	(288)
7.1.7 形状记忆材料	(289)
7.1.8 梯度功能材料	(290)
7.2 纳米材料概述	(291)
7.2.1 纳米材料的性能特点	(292)
7.2.2 纳米材料的应用	(297)

第三篇 机械零件的失效、强化、选材及工程材料的应用

第八章 机械零件的失效与强化	(303)
8.1 零件的失效形式与分析方法	(303)
8.1.1 过量变形失效	(303)
8.1.2 断裂失效	(305)
8.1.3 表面损伤失效	(310)
8.1.4 零件失效分析的一般方法	(322)
8.2 工程材料的强化与强韧化	(324)
8.2.1 工程材料的强化方法	(324)
8.2.2 工程材料的强韧化	(327)
第九章 机械工程材料的选用	(332)
9.1 选择材料的一般原则	(332)



9.1.1 选材的使用性原则	(332)
9.1.2 选材的工艺性能原则	(333)
9.1.3 选材的经济性原则	(335)
9.2 工程材料在汽车上的应用概况	(335)
9.2.1 汽车用金属材料	(336)
9.2.2 汽车用塑料	(339)
9.2.3 汽车用橡胶	(341)
9.2.4 汽车用陶瓷材料	(342)
9.3 典型机械零件的选材及工艺分析	(343)
9.3.1 轴类零件	(343)
9.3.2 齿轮类零件	(348)
参考文献	(353)

附录 机械零件工程材料选用表

附录A 常用金属材料	A.1
附录B 常用非金属材料	B.1
附录C 常用工程塑料	C.1
附录D 常用橡胶	D.1
附录E 常用陶瓷材料	E.1
附录F 常用复合材料	F.1
附录G 常用工程材料	G.1
附录H 常用工程材料	H.1
附录I 常用工程材料	I.1
附录J 常用工程材料	J.1
附录K 常用工程材料	K.1
附录L 常用工程材料	L.1
附录M 常用工程材料	M.1
附录N 常用工程材料	N.1
附录O 常用工程材料	O.1
附录P 常用工程材料	P.1
附录Q 常用工程材料	Q.1
附录R 常用工程材料	R.1
附录S 常用工程材料	S.1
附录T 常用工程材料	T.1
附录U 常用工程材料	U.1
附录V 常用工程材料	V.1
附录W 常用工程材料	W.1
附录X 常用工程材料	X.1
附录Y 常用工程材料	Y.1
附录Z 常用工程材料	Z.1



绪 论

0.1 材料的含义及分类

材料是人类用于制造物品、器件、构件、机器或其他产品物质的统称。材料是物质，有时人们又称其为原材料。但不是所有物质都可以称为材料，如燃料和化学原料、工业化学品、食物和药物，一般都不能算是材料。广义的材料包括人们思想意识之外的所有物质。

材料是人类赖以生存和发展的物质基础，与工农业生产、国防建设、科学研究和人民生活密切相关。20 世纪 70 年代，人们把信息、材料和能源誉为当代文明的三大支柱，其中材料又是以信息为能源科技的基础。80 年代以高技术群为代表的新技术革命，又把新材料、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。

材料的种类繁多，可以按照不同的方式对材料进行分类：

(1) 按用途可分为：结构材料（承载）、功能材料（光、电、声、磁、应力转换、半导体、超导等）。

结构材料是以力学性能为基础，制造受力构件所用的材料。当然，对结构材料的物理性能或化学性能也有一定要求，如光泽、热导率、抗辐照、抗腐蚀、抗氧化等。功能材料则主要是利用物质的独特物理性质、化学性质或生物功能等而形成的一类材料。

(2) 按属性可分为：金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料以及各种类型的复合材料。

(3) 按物理形态可分为：晶体材料、非晶体材料和纳米材料等。

(4) 按材料的发展可分为：传统材料和新材料。

传统材料是指那些已经成熟且在工业中已批量生产并大量应用的材料，如钢铁、水泥、塑料等。这类材料由于其量大、产值高、涉及面广，又是很多支柱产业的基础，所以又称为基础材料。新材料是指那些正在发展，且具有优异性能和应用前景的一类材料。新型材料与传统材料之间并没有明显的界限，传统材料通过采用新技术提高技术含量、提高性能，从而大幅度增加附加值而成为新型材料；新材料在经过长期生产与应用之后也成为传统材料。传统材料是发展新材料和高技术的基础，而新型材料又往往能推动传统材料进一步发展。



0.2 材料的发展历程

材料的发展史就是人类社会的发展史，也是科学技术的发展史。古代的石器、青铜器、铁器等的兴起和广泛利用，极大地改变了人们的生活和生产方式，对社会进步起到了关键的推动作用，这些具体的材料曾被历史学家作为划分某一个时代的重要标志，如石器时代、青铜器时代、铁器时代、钢时代、硅时代、新材料时代……

1. 石器时代

自然界中大量存在，不经过加工或经过比较简单的加工就可直接利用的石器，如浙江湖州的马桥文化中的，距今 4000 年的石斧、石磨、石犁、石镰等。如图 0-1 所示。

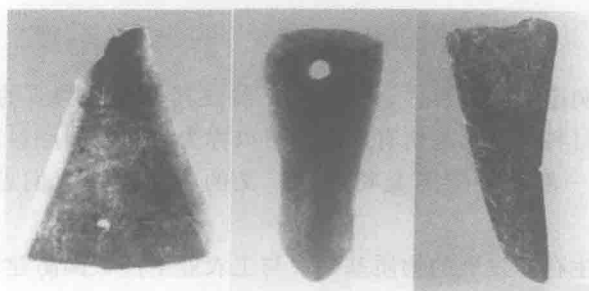


图 0-1 石犁 石锄 石镰

2. 青铜器时代

青铜器是由铜和锡的合金制成的各种器具，其冶炼温度较低，成型性好，是人类最早大规模利用的金属材料。青铜器代表着我国在先秦时期高超的冶炼技术与文化，其中杰出的代表作品有司母戊鼎（商代）、铜爵（夏代）、四羊方尊（商代）、越王勾践宝剑（春秋）、铜车马（战国·秦）等。如图 0-2 所示。

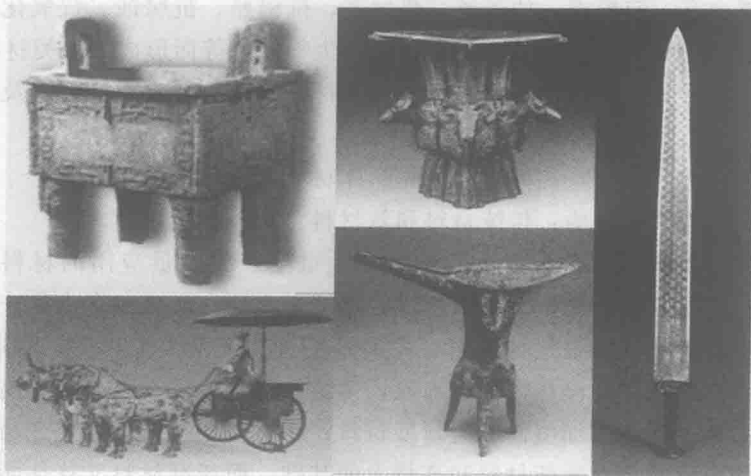


图 0-2 典型的青铜器件



3. 铁器时代

铁器是以铁矿石冶炼加工制成的器物。铁器的出现使人类历史产生了划时代的进步：春秋战国时代是我国早期铁器时代，主要铁器类型有农具、手工具、兵器等。铁的价格便宜、耐磨性高于青铜，使得铁质农具能够大面积推广使用也更加耐用，对农业生产和军事进步都起到了较大的促进作用。典型的铁器如沧州铁狮和玉泉铁塔。如图 0-3 所示。

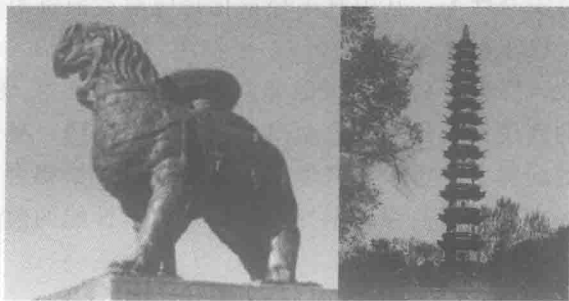


图 0-3 沧州铁狮 玉泉铁塔

4. 钢时代

“二战”期间，战列舰、坦克等武器装备的大量生产和使用，促进了钢铁材料的迅猛发展。钢铁产量成为衡量一个国家综合国力的象征。

5. 硅时代

二十世纪五十年代，半导体硅材料几乎支撑了整个微电子器件的发展。

电子管、晶体管、集成电路的高速发展，器件的小型化、运算速度、存储密度得到极大的发展。

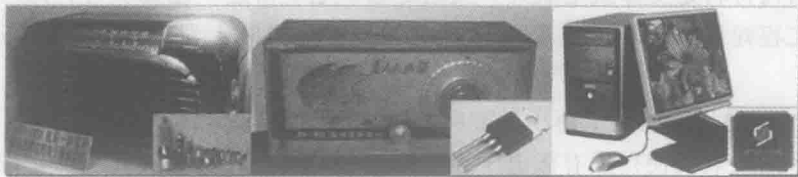


图 0-4 电子管器件、晶体管器件和集成电路器件

6. 新材料时代

如今，人类社会已经进入以人工合成为特征的新材料时代，技术上的突破大都与新材料的发展和加工合成紧密相连。新材料是以人造为特征，根据对材料的物理化学性能的了解，为了特定的需要而设计和加工的材料。新材料时代是一个由多种材料决定社会和经济发展的时代，主要有新型的复合材料、生物替代材料、仿生材料、超导材料、储氢材料、光伏材料等。

精确控制材料的成分和组织结构的加工合成工艺的发展，使得晶体管的微型化成为可能，也使得高性能计算机、高密度存储和移动通信等产品得到飞速发展，电子技术革命影响着现代生活的方方面面；重量轻、强度高的铝合金和钛合金的发展，镍基高温合金的发明和改进，大大提升了航空发动机的性能，为航空、航天工业的发展提供了强劲的动力；



航天飞机在通过地球大气层时,机体表面与大气之间的摩擦产生超过 1600°C 的高温,可熔化目前制备机架的任何金属材料,表面涂覆硅酸盐玻璃的氧化硅瓦片可用于温度低于 1260°C 的机架表面隔热,而碳/碳复合材料涂层使用温度可达到 1600°C 以上,这使得航天飞机重复往返于太空和地球之间成为可能。

汽车工业的高速发展对用于汽车的材料提出了越来越高的性能要求,如轻量化、低噪声、高舒适度以及高安全性等,其中汽车轻量化是应对目前资源消耗危机的重要举措之一。有关研究表明,汽车自重每减轻 10% ,燃油消耗可降低 $6\%\sim 8\%$,因此轻量化对于节约能源、减少排放、实施可持续发展战略具有重要意义。实现汽车材料的轻量化,一方面逐步降低钢材的使用量,提高有色金属、陶瓷、聚合物、复合材料等新型材料的使用量,在性能可靠的前提下大量采用密度低的轻质材料,如铝合金、镁合金、塑料及轻质复合材料等;另一方面采用高强度钢材,在满足力学性能的前提下可相应降低钢材的使用量。

0.3 材料科学的发展趋势

1. 从均质材料向复合材料发展

稻草泥混巴墙体材料—颗粒、纤维增强复合材料(金属基、陶瓷基、高分子基)—纳米晶须、碳纳米管增强复合材料。

2. 高性能结构材料的开发是永恒的主题

高性能结构材料是支撑航空航天、交通运输、电子信息、能源动力、深海探测以及国家重大基础工程建设等领域的重要物质基础,是目前国际上竞争最激烈的高技术新材料之一。

3. 材料结构的尺度向越来越小的方向发展

微纳技术的发展既使得现有微电子器件的进一步小型化发展受到制约,也为基于单电子传输的量子器件、纳米器件提供了基础;为进一步提高材料的性能提供了新的思路。

4. 由被动材料向具有主动性的智能材料发展

智能材料(Intelligent material),是一种能感知外部刺激,能够判断并适当处理且本身可执行的新型功能材料。智能材料是继天然材料、合成高分子材料、人工设计材料之后的第四代材料,是现代高技术新材料发展的重要方向之一,将支撑未来高技术的发展,使传统意义的功能材料和结构材料之间的界线逐渐消失,实现结构功能化、功能多样化。科学家预言,智能材料的研制和大规模应用将导致材料科学发展的重大革命。一般来说,智能材料有七大功能,即传感功能、反馈功能、信息识别与积累功能、响应功能、自诊断能力、自修复能力和自适应能力。

5. 生物材料具有很大的发展空间

生物材料是用于人体组织和器官的诊断、修复或增进其功能的一类高技术材料,即用于取代、修复活组织的天然或人造材料,其作用药物不可替代。



0.4 工程材料的应用

工程材料主要指用于制造各种设备、产品的结构件和零部件,以及各种加工用工模具的材料,其应用领域广泛,包括机械工程、船舶工程、电器工程、建筑工程、化工工程、航空航天工程等。

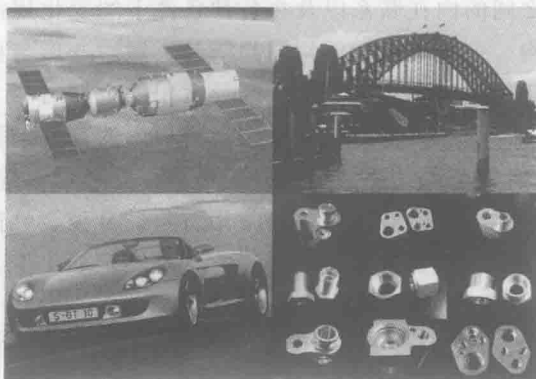


图 0-5 工程材料的应用

工程材料按材料的组成和结合键的性能将材料分为金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料。金属材料、无机非金属材料和高分子材料因原子间结合方式不同,在加工方式、性能及应用上存在极大的差异,是构成现代工业材料的三大体系。

金属材料目前仍是工业应用中用量最大、应用最广泛的工程材料,其中又以钢铁材料的应用最为广泛;无机非金属材料中的陶瓷材料因其高硬度,优良的耐热、耐磨、耐蚀性能以及电绝缘等特性,成为某些特殊领域中不可替代的材料,如内燃机的火花塞、火箭尾喷管喷嘴及其他高温构件;高分子材料是以分子键和共价键结合为主的材料,具有塑形、耐蚀性、电绝缘性、减振性好及密度小的特点,包括塑料、橡胶及合成纤维等,在国民经济的各个部门得到广泛的应用;复合材料是上述三种材料之间以基体和增强相的形式相互复合而成的一种新型材料,综合发挥不同材料的优点,其性能优于单一的基体材料,并且可以通过调整材料的组分而获得需要的性能。复合材料可分为金属基复合材料、陶瓷基复合材料和聚合物基复合材料。如航空发动机中承受高温的材料就是氧化物粒子弥散强化的镍基合金复合材料;高级体育器械很多由密度低、弹性好、强度高的碳纤维复合材料制成。

金属材料仍然是目前机械工程领域的主导材料,金属材料的成分、组织、加工工艺、热处理工艺与最终的性能、材料的失效与选材分析之间具有内在的关联性。对于从事机械设计、制造、使用、管理工作的工程技术人员来说,掌握机械工程材料的基本知识是非常重要的。在机械设计中,根据零件的服役条件选择合适的材料,制定合适的热处理工艺,从而使各零部件结构合理、功效良好、加工方便;加工制造过程中,要考虑零件的选材、成型工艺、热处理工艺是否合理,有无其他替代材料或加工工艺;设备发生故障时,要根



据零件的失效情况,分析零件的失效原因,从合理选材、材质供应、加工过程、热处理过程、使用及维护过程中找出导致零件失效的环节。

0.5 本教材的主要内容

本教材作为高等学校机械类专业的专业基础课教材,着重阐述金属与合金的化学成分、结构、组织与性能之间的内在联系以及在各种条件下的变化规律,比较全面系统地介绍金属与合金的晶体结构、金属与合金的相图与结晶、塑性变形与再结晶、固态金属相变与扩散的基本理论,强化材料的基本工艺方法以及常用的金属材料、非金属材料、高分子材料和复合材料。其目的是使相关专业学生掌握材料科学的基础知识,熟悉常用工程材料(碳钢、合金钢、铸铁、有色金属、陶瓷、高分子材料、复合材料等)的成分、加工工艺、组织结构与性能之间的关系及变化规律,了解常用材料的分类、性能、应用领域、选材原则及失效分析方法,从而初步具备选用常用材料、合理制定加工工艺及热处理工艺路线的能力。

本教材内容主要分为三大部分:工程材料的基本理论,工程材料和机械零件的失效、强化、选材及工程材料的应用。

(1) 工程材料的基本理论:介绍材料的基本结构和性能参数、金属材料的基本结晶过程、相图的基本理论、塑性变形与再结晶的基本理论、钢的热处理原理及热处理工艺,为进一步学习奠定基础。

(2) 工程材料:掌握常用的碳钢、合金钢、铸铁、有色金属及其合金的牌号、成分、组织、性能及用途;掌握高分子材料、陶瓷材料、复合材料的分类、性能特点和应用领域;了解新型功能材料、纳米材料的性能及应用,为合理选材提供基础。

(3) 机械零件的失效、强化、选材及工程材料的应用:掌握材料各种失效机理及其防护措施、失效分析方法以及工程材料常用的强韧化机理,了解工程材料的选材特点及在汽车行业中的应用。