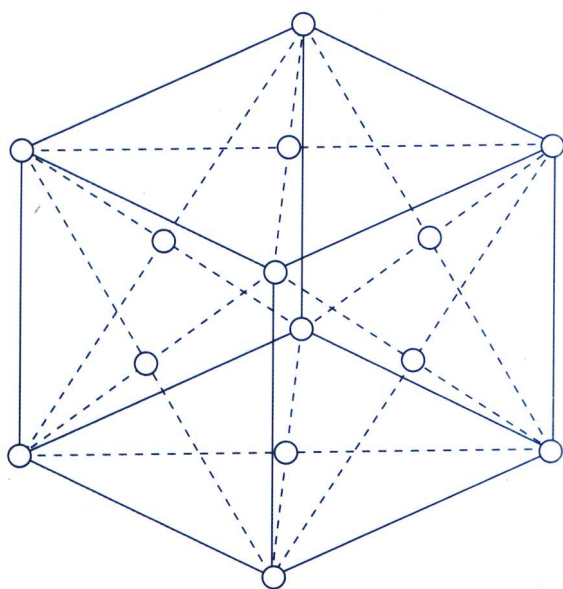


普通高等院校机械工程学科“十一五”规划教材

工程材料

GONGCHENG CAILIAO

主 编 刘燕萍
副主编 梁洪达 张其林



國防工業出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校机械工程学科“十一五”规划教材

工程材料

主编 刘燕萍

副主编 梁洪达 张建林

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以选择材料为主线,系统地阐述了工程材料的结构、组织与性能的基本理论和基本规律;以金属材料为重点,同时介绍了高分子材料、陶瓷材料、复合材料以及新型功能材料的基本原理、基本知识及其工程应用;在此基础上根据零件使用条件和性能要求,对零件选材及工艺路线的制定进行了阐述。此外,对各种工程材料牌号均应用了最新的国家标准;在每篇中都安排有内容提示、教学小结及主要名词术语的中英文对照,以便帮助读者理解、掌握教学内容。

本书可作为高等工科院校机械类和近机类专业教材,也可作为高等职业技术学院、高等专科学校相关专业教材和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料 / 刘燕萍主编. —北京: 国防工业出版社,
2009. 9

普通高等院校机械工程学科“十一五”规划教材
ISBN 978-7-118-06475-9

I. 工... II. 刘... III. 工程材料 - 高等学校 - 教材
IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 124775 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 15 1/4 字数 353 千字

2009 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

普通高等院校机械工程学科“十一五”规划教材 编委会名单

名誉主任	艾 兴	山东大学
	王先逵	清华大学
主 任	吕 明	太原理工大学
副 主 任	庞思勤	北京理工大学
	朱喜林	吉林大学
秘 书 长	杨胜强	太原理工大学
委 员	吴宗泽	清华大学
	潘宏侠	中北大学
	轧 刚	太原理工大学
	任家骏	太原理工大学
	陈 明	北华航天工业学院
	谭晓兰	北方工业大学
	李德才	北京交通大学
	杨 康	佳木斯大学
	石望远	北华航天工业学院
	王好臣	山东理工大学
	王卫平	东莞理工学院
	张平宽	太原科技大学
	赵 波	河南理工大学

序

国防工业出版社组织编写的“普通高等院校机械工程学科‘十一五’规划教材”即将出版,欣然为之作“序”。

随着国民经济和社会的发展,我国高等教育已形成大众化教育的大好形势,为适应建设创新型国家的重大需求,迫切要求培养高素质专门人才和创新人才,学校必须在教育观念、教学思想等方面做出迅速的反应,进行深入教学改革,而教学改革的主要内容之一是课程的改革与建设,其中包括教材的改革与建设,课程的改革与建设应体现、固化在教材之中。

教材是教学不可缺少的重要组成部分,教材的水平将直接影响教学质量,特别是对学生创新能力的培养。作为机械工程学科的教材,不能只是传授基本理论知识,更应该是既强调理论,又重在实践,突出的要理论与实践结合,培养学生解决实际问题的能力和创新能力。在新的深入教学改革、新课程体系的建立及课程内容的发展过程中,建设这样一套新型教材的任务已经迫切地摆在我们面前。

国防工业出版社组织有关院校主持编写的这套“普通高等院校机械工程学科‘十一五’规划教材”,可谓正得其时。此套教材的特点是以编写“有利于提高学生创新能力培养和知识水平”为宗旨,选题论证严谨、科学,以体现先进性、创新性、实用性,注重学生能力培养为原则,以编出特色教材、精品教材为指导思想,注意教材的立体化建设,在教材的体系上下功夫。编写过程中,每部教材都经过主编和参编辛勤认真的编写和主审专家的严格把关,使本套教材既继承老教材的特点,又适应新形势下教改的要求,保证了教材的系统性和精品化,体现了创新教育、能力教育、素质教育教学理念,有效激发学生自主学习能力,提高学生的综合素质和创新能力,为培养出符合社会需要的优秀人才服务。丛书的出版对高校的教材建设、特别是精品课程及其教材的建设起到了推动作用。

衷心祝贺国防工业出版社和所有参编人员为我国高等教育提供了这样一套有水平、有特色、高质量的机械工程学科规划教材,并希望编写者和出版者在与使用者的沟通过程中,认真听取他们的宝贵意见,不断提高该套规划教材的水平!

中国工程院院士

2008年6月

V

前 言

本教材是根据原国家教委全国高校“机械工程类专业教学指导委员会”和国防工业出版社“高等院校机械工程学科‘十一五’规划教材研讨会”确定的教材编写宗旨、编写原则、指导思想及教材写作的基本要求编写的。

本教材以培养学生正确选用工程材料为目的,注重理论联系实践。理论主要讲述工程材料包括金属材料、高分子材料、陶瓷材料及复合材料的结构、特性和改性原理等。工程材料的介绍采用最新的国家标准,注重生产实践的实效性和材料发展的先进性。在此基础上,通过工程零构件的失效分析确定零构件的性能要求,以此选择合适的工程材料及其改性方法。最后,以最能反映工程材料使用实践的汽车材料的选择为例,具体讲述了各类工程材料在汽车零部件上的应用。

本教材由刘燕萍任主编,梁洪达、张建林任副主编。全书共 19 章。绪论、第 1 章到第 3 章、第 9 章、第 12 章、第 13 章由刘燕萍编写;第 5 章、第 6 章、第 8 章、第 14 章到第 16 章、第 18 章由梁洪达编写;第 4 章、第 7 章、第 10 章、第 11 章、第 17 章、第 19 章由张建林编写。

本教材在编写过程中,得到了太原理工大学、国防工业出版社的大力支持和帮助。侯增寿教授仔细地修改了编写大纲,并对本书的编写提出了许多宝贵的指导性意见。郑瑞利老师提供了部分金相照片。在此一并感谢。

本书中如有不妥之处,欢迎广大读者提出宝贵建议和意见。

编 者

2009.6

目 录

绪论	1
0.1 材料的发展	1
0.2 材料与机械工程	2
0.3 工程材料及其分类	2
0.4 教学目标	3

第 1 篇 材料的特性与结构

第 1 章 金属材料的特性与结构	4
1.1 金属的特性与晶体结构	4
1.1.1 金属的特性	4
1.1.2 晶体结构	5
1.2 合金的相结构	11
1.2.1 固溶体	12
1.2.2 金属化合物	13
1.2.3 非晶相	13
思考题	14
第 2 章 非金属材料的特性与结构	15
2.1 高分子化合物的特性与结构	15
2.1.1 高分子化合物的特性	15
2.1.2 高分子化合物的结构	15
2.1.3 高分子化合物的三态	17
2.2 陶瓷的特性与结构	18
2.2.1 陶瓷的特性	18
2.2.2 陶瓷的结构	18
思考题	19
第 3 章 复合材料的结构	20
3.1 复合材料的结构	20

3.1.1 复合材料的基体相	20
3.1.2 复合材料的增强相	20
3.1.3 复合材料的界面	21
3.2 复合材料的复合效应	22
思考题	22
小结	22

第2篇 金属的结晶与非金属材料的制备

第4章 纯金属的结晶	24
4.1 结晶的能量条件	24
4.2 金属的结晶过程	25
4.3 金属的同素异构转变	28
4.4 铸锭的宏观组织	28
思考题	29
第5章 合金的相变	30
5.1 合金的冷却过程与二元合金相图	30
5.1.1 匀晶相图	30
5.1.2 共晶相图	32
5.1.3 包晶相图	34
5.1.4 具有共析转变的相图	35
5.1.5 形成稳定化合物的二元合金相图	35
5.1.6 二元合金相图的一些几何规律	35
5.1.7 合金的性能与相图的关系	35
5.2 铁碳合金	36
5.2.1 铁碳合金中的基本相	36
5.2.2 铁碳合金相图	37
思考题	44
第6章 高分子材料的合成与陶瓷材料的制备	46
6.1 高分子材料的合成	46
6.2 陶瓷材料的制备	47
思考题	48
小结	48

第3篇 材料的改性

第7章 金属材料的强化	49
7.1 形变强化	49
7.1.1 金属的变形过程	49
7.1.2 塑性变形对金属组织和性能的影响	53
7.2 固溶强化	55
7.3 第二相强化	55
7.4 细晶强化	55
思考题	56
第8章 钢的热处理	57
8.1 钢的热处理原理	57
8.1.1 钢在加热时的转变	57
8.1.2 钢在冷却时的转变	59
8.2 钢的整体热处理	65
8.2.1 退火与正火	65
8.2.2 淬火与回火	67
8.2.3 钢的淬透性	70
8.2.4 其它整体热处理工艺	74
思考题	76
第9章 金属材料的表面改性	78
9.1 表面淬火	78
9.1.1 感应加热表面淬火	78
9.1.2 火焰加热表面淬火	79
9.2 化学热处理	79
9.2.1 渗碳	80
9.2.2 渗氮	82
9.2.3 碳氮共渗	82
9.3 其它表面改性技术	83
9.3.1 激光表面改性	83
9.3.2 离子注入表面改性	83
9.3.3 双层辉光渗金属表面改性	83
9.3.4 化学气相沉积	84
9.3.5 物理气相沉积	85

9.3.6 热喷涂	85
9.3.7 电火花表面涂覆	85
9.3.8 化学镀	86
思考题	86
第10章 非金属材料改性	87
10.1 高分子材料的改性	87
10.2 陶瓷材料的改性	87
思考题	88
小结	88

第4篇 常用工程材料

第11章 工业用钢	90
11.1 钢中元素	90
11.1.1 钢中合金元素	90
11.1.2 钢中杂质和纯净钢	91
11.2 钢的合金化	92
11.2.1 合金元素在钢中的存在形式	92
11.2.2 合金元素对铁碳相图的影响	93
11.2.3 合金元素对钢的热处理的影响	94
11.3 钢的分类及牌号表示方法	96
11.3.1 钢的分类	96
11.3.2 钢的牌号表示方法	98
11.4 结构钢	100
11.4.1 工程构件用钢	100
11.4.2 常用机器零件用钢	104
11.4.3 专门用途机械零件用钢	115
11.5 工具钢	119
11.5.1 工具钢牌号表示方法	119
11.5.2 刃具钢	120
11.5.3 模具钢	127
11.5.4 量具用钢	132
11.6 特殊性能钢	134
11.6.1 材料与环境的相互作用	134
11.6.2 不锈钢和耐热钢牌号表示方法	135

11.6.3 不锈钢	136
11.6.4 耐热钢	139
11.6.5 耐磨钢	141
思考题	142
第12章 铸铁	143
12.1 铸铁的石墨化	143
12.2 灰口铸铁	144
12.2.1 灰铸铁	144
12.2.2 球墨铸铁	145
12.2.3 蠕墨铸铁	147
12.2.4 可锻铸铁	148
12.2.5 特殊性能铸铁	150
思考题	151
第13章 有色金属及其合金	152
13.1 铝及铝合金	152
13.1.1 铝及铝合金的分类	152
13.1.2 铝合金的强化及热处理	153
13.1.3 铝及铝合金的牌号表示方法	154
13.1.4 铝合金	155
13.2 镁及镁合金	159
13.2.1 纯镁	159
13.2.2 镁的合金化	159
13.2.3 镁合金的热处理	159
13.2.4 镁合金	160
13.3 铜及铜合金	161
13.3.1 纯铜	161
13.3.2 铜的合金化	161
13.3.3 铜合金	161
13.4 钛及钛合金	165
13.5 轴承合金	166
思考题	167
第14章 非金属材料	169
14.1 塑料	169
14.2 陶瓷	177

思考题	180
第 15 章 复合材料	181
15.1 复合材料的分类	181
15.2 复合材料的性能	182
15.3 复合材料中常用的增强材料	183
15.4 常用复合材料	184
15.4.1 聚合物基复合材料	184
15.4.2 金属基复合材料	185
15.4.3 陶瓷基复合材料	186
15.4.4 碳/碳复合材料	187
思考题	187
第 16 章 功能材料简介	188
16.1 电功能材料	188
16.2 磁功能材料	189
16.3 光功能材料	189
16.4 热功能材料	191
16.5 其它新材料	192
思考题	195
小结	195

第 5 篇 工程设计中的材料选择

第 17 章 零构件的失效分析与材料的失效抗力指标	196
17.1 零构件服役条件	196
17.2 零构件失效	196
17.3 材料的失效抗力指标	199
17.3.1 静载时材料的力学性能	200
17.3.2 冲击载荷下的力学性能指标	202
17.3.3 交变载荷下的力学性能指标	204
17.3.4 一次加载脆性断裂情况下的力学性能指标	205
17.3.5 热负荷、环境介质作用下的力学性能指标	206
思考题	207
第 18 章 典型零件的材料选择	208
18.1 选材原则	208

18.1.1	使用性能原则	208
18.1.2	工艺性能原则	209
18.1.3	经济性原则	210
18.1.4	可持续发展原则	211
18.2	典型零件的选材	212
18.2.1	齿轮类零件选材	212
18.2.2	轴类零件选材	216
18.2.3	机架、箱体类零件的选材	217
18.2.4	切削刀具的选材	218
	思考题	221
第 19 章	汽车用材料的选择	222
19.1	汽车轻量化与汽车选材	222
19.2	汽车典型零件选材	227
19.3	汽车车身的科学选材	232
	思考题	234
	小结	235
附录	主要名词中英文对照	236
参考文献		238

绪 论

0.1 材料的发展

材料是人类用于制造有用物件的物质,是人类赖以生存和得以发展的重要物质基础。从人类的出现到 21 世纪的今天,人类的文明程度不断提高,材料及材料科学也在不断发展。在人类文明的进程中把社会的发展按材料划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代、钢铁时代、高分子时代、半导体时代、先进陶瓷时代、复合材料时代,材料的发展进入了一个丰富多彩的新时代。根据每个时代所用材料的特征将材料的发展大致总结为五个阶段:

(1) 第一阶段人类使用纯天然材料。这一阶段属于旧石器时代,人类使用天然材料如兽皮、甲骨、羽毛、树木、草叶、石块、泥土等材料。

(2) 第二阶段人类单纯利用火制造材料。这一阶段横跨人们通常所说的新石器时代、青铜器时代和铁器时代,也就是距今约 1 万年前到 20 世纪初的一个漫长的时期,并且延续至今,它们分别以人类的三大人造材料为象征,即陶、铜和铁。这一阶段主要是人类利用火来对天然材料进行煅烧、冶炼和加工的时代。

(3) 第三阶段是利用物理与化学原理合成材料。随着物理学和化学等科学的发展以及各种检测技术的出现,人类从化学角度出发,开始研究材料的化学组成、化学键、结构及合成方法;从物理学角度出发研究材料的物性,就是以凝聚态物理、晶体物理和固体物理等作为基础来说明材料组成、结构及性能间的关系;研究材料制备和使用材料的有关工艺性问题。这一阶段由 1909 年 Bakeland 第一个人工合成的塑料——酚醛塑料的出现为开端,一直延续到现在,而且仍将继续下去。人工合成塑料、合成纤维及合成橡胶等合成高分子材料的出现,加上已有的金属材料 and 陶瓷材料(无机非金属材料)构成了现代材料的三大支柱。除合成高分子材料以外,人类也合成了一系列的合金材料、无机非金属材料、超导材料、半导体材料和光纤材料等。

(4) 第四阶段材料的复合化。现代复合材料开始于 20 世纪 30 年代的织物增强酚醛树脂和 40 年代的玻璃纤维增强塑料。复合材料的大发展则源于 20 世纪五六十年代航空航天和国防等尖端技术领域的需求,至今复合材料仍是这些领域最具有研究性的战略性结构材料。随着材料复合技术的成熟和生产成本的下降,今天商用机械工程领域已经开始使用复合材料并且用量在不断增长。汽车、火车、飞机、船舶、制造装备、运动和休闲器材、生物和医学仪器,越来越多的行业受惠于复合材料的发展。

(5) 第五阶段材料的智能化。自然界中的材料都具有自适应、自诊断和自修复的功能。如所有的动物或植物都能在没有受到绝对破坏的情况下进行自诊断和修复。人工材料目前还不能做到这一点。但是近三四十年研制出的一些材料已经具备了其中的部分功

能,这就是目前最吸引人们注意的智能材料,如形状记忆合金、光致变色玻璃等。

人类历史发展证明,材料是实现工业、农业、国防和科学技术现代化的重要物质基础。材料科学与信息科学、能源科学并列为现代人类文明的三大基础和支柱。而信息、能源又依赖着材料而发展。信息、能源的创新又使材料的生产和利用达到更高的水平。各种新型材料伴随着高科技的涌现,导致某些产业部门的变革,对世界经济和社会结构产生重大影响,从而使人类社会不断进步。

0.2 材料与机械工程

材料是人类文明进步的物质基础,材料的更新与进步促进了人类社会的发展。机械是人类生产和生活的基本工具要素之一,是人类物质文明最重要的组成部分。机械工业担负着向国民经济各部门,包括工业、农业、国防和社会生活各个方面提供各种性能先进、使用安全可靠的技术装备的任务,在国家现代化建设中占有举足轻重的地位。20 世纪 80 年代以来,以微电子、信息、新材料、系统科学等为代表的新一代科学技术的发展及其在机械工程领域中的广泛渗透、应用和衍生,极大地拓展了机械产品设计制造活动的深度和广度,改变了现代制造业的产品设计方法、产品结构、生产方式、生产工艺和设备以及生产组织模式,产生了一大批新的机械设计制造方法和制造系统。

21 世纪,以微型计算机、多媒体和网络技术为代表的通信产业,以基因工程、克隆技术为代表的生物技术,以核能、风能、太阳能等为代表的新能源技术,以探索太空为代表的航空航天技术以及为人类持续发展所需要的环境工程等,都对材料开发提出了更新的要求,而材料的开发需要先进的机械 engineering 设备为支撑,从设计、材料和工艺一体化出发,开发材料的先进制造技术,实现材料的高性能化和复合化,达到材料生产的低成本、高质量、高性能。

0.3 工程材料及其分类

工程材料是指工程上使用的材料,主要是指用于机械、车辆、船舶、建筑、化工、能源、仪器仪表、航空航天等工程领域中的材料。其种类繁多,有许多不同的分类方法。若按用途分,可分为建筑工程材料、机械工程材料、电工材料等;若按原子聚集状态分,可分为单晶体材料、多晶体材料和非晶体材料;若按材料的使用性能分,可分为结构材料、功能材料;若按其组成特点分,可分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料四大类。

金属材料是目前应用最广泛的工程材料,包括纯金属及其合金。在工业上,把金属材料分为两类:一类是黑色金属,它是指铁、锰、铬及其合金,其中以铁为基的合金(钢和铸铁)应用最广;另一类是有色金属,是指除黑色金属以外的所有金属及其合金。按照特性的不同,有色金属又分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属和放射性金属等多种。

高分子材料为有机合成材料亦称聚合物。它有良好的塑性、较强的耐腐蚀性、很好的绝缘性以及质量轻等优良性能,但其强度较低,是工程上发展最快的一类新型结构材料。有机高分子材料按其应用可分为塑料、橡胶、合成纤维、胶黏剂等。

陶瓷材料是一种或多种金属元素与一种非金属元素(如氧、碳、氮等)的化合物,如砖、玻璃、各种绝缘材料和磨料等。通常陶瓷的强度、硬度很高,但脆性很大。按照成分和用途,工业陶瓷材料可分为普通陶瓷(传统陶瓷)、特种陶瓷(新型陶瓷)和金属陶瓷。

复合材料是一种新型的具有很大发展前途的工程材料,它是把两种或两种以上不同性质或不同组织结构的材料以微观或宏观的形式组合在一起而构成的。它不仅保留了组成材料各自的优点,而且具有单一材料所没有的优异性能。

0.4 教学目标

目前,机械工业正向着高速、自动、精密方向迅速发展,在产品设计与制造过程中,遇到的材料与材料加工的问题越来越多,机械工业的发展与“工程材料”这门课程之间的关系亦愈加密切。

学习本课程的目的是使学生了解材料的化学成分、组织结构与性能之间的关系及其变化规律,从而了解材料强化的各种手段及其基本原理,掌握正确选择材料和合理使用材料的基本原则、方法和知识。正确设计热处理方案的基本知识,从而为机械类和近机械类各专业和学科打好必要的专业技术理论基础。因此,在学习本课程时有如下基本要求:

- (1) 了解常用工程材料的成分、结构、组织和性能的关系及变化规律。
- (2) 了解材料强化的各种方法(固溶强化、细晶强化、变形强化、第二相强化等)及其基本原理。
- (3) 掌握常用工程材料的种类、牌号、性能及用途。
- (4) 对典型的机械零件、刀具和模具等,能合理正确地选用材料。
- (5) 具有正确选择一般金属零件热处理工艺方法及确定热处理工序位置的能力。

第 1 篇 材料的特性与结构

内容提要：本篇介绍了金属材料、高分子材料、陶瓷材料及复合材料的特性与结构。要求重点掌握纯金属的晶体结构及合金的相结构。

第 1 章 金属材料的特性与结构

材料的成分不同,性能不同。对同一成分的材料,其内部结构不同,性能也不相同。从而可以通过改变材料内部组织结构改变其性能。如,石墨和金刚石成分相同,都是由碳组成,但它们的结构不同,石墨属于层片结构,而金刚石属于金刚石结构,因此它们性能差异很大,金刚石具有很高的硬度,而石墨则软。

1.1 金属的特性与晶体结构

1.1.1 金属的特性

在自然界中,金属元素占 3/4。金属原子的结构特点是价电子数目较少(1 个 ~ 3 个),电子层数较多,原子核对价电子的引力较弱,价电子极易脱离原子核形成自由电子。自由电子在正离子之间作高速运动,形成带负电的电子气,正离子与电子气之间产生强烈的静电吸引力,金属原子间这种正离子与自由电子的引力结合称为金属键。

金属键与非金属原子间的结合键(离子键、共价键)不同。金属离子间的结合力很大,而且大量原子结合成整体金属,所以金属的强度高;金属键没有方向性,原子间也没有选择性,所以在外力作用下发生原子位置的相对移动时,结合键也不会遭到破坏,从而金属具有良好的塑性变形能力;自由电子在电场作用下作定向运动,使金属具有导电性,金属离子在平衡位置作热振动,温度越高振幅越大,因此金属具有良好的导热性;金属离子周围的键是等价且对称的,因此金属原子在空间的位置必须规则排列使势能最低,即呈晶体结构;金属中的自由电子能吸收并随后辐射大部分投射到其表面的光能,所以金属不透明,并呈现出特有的金属光泽。