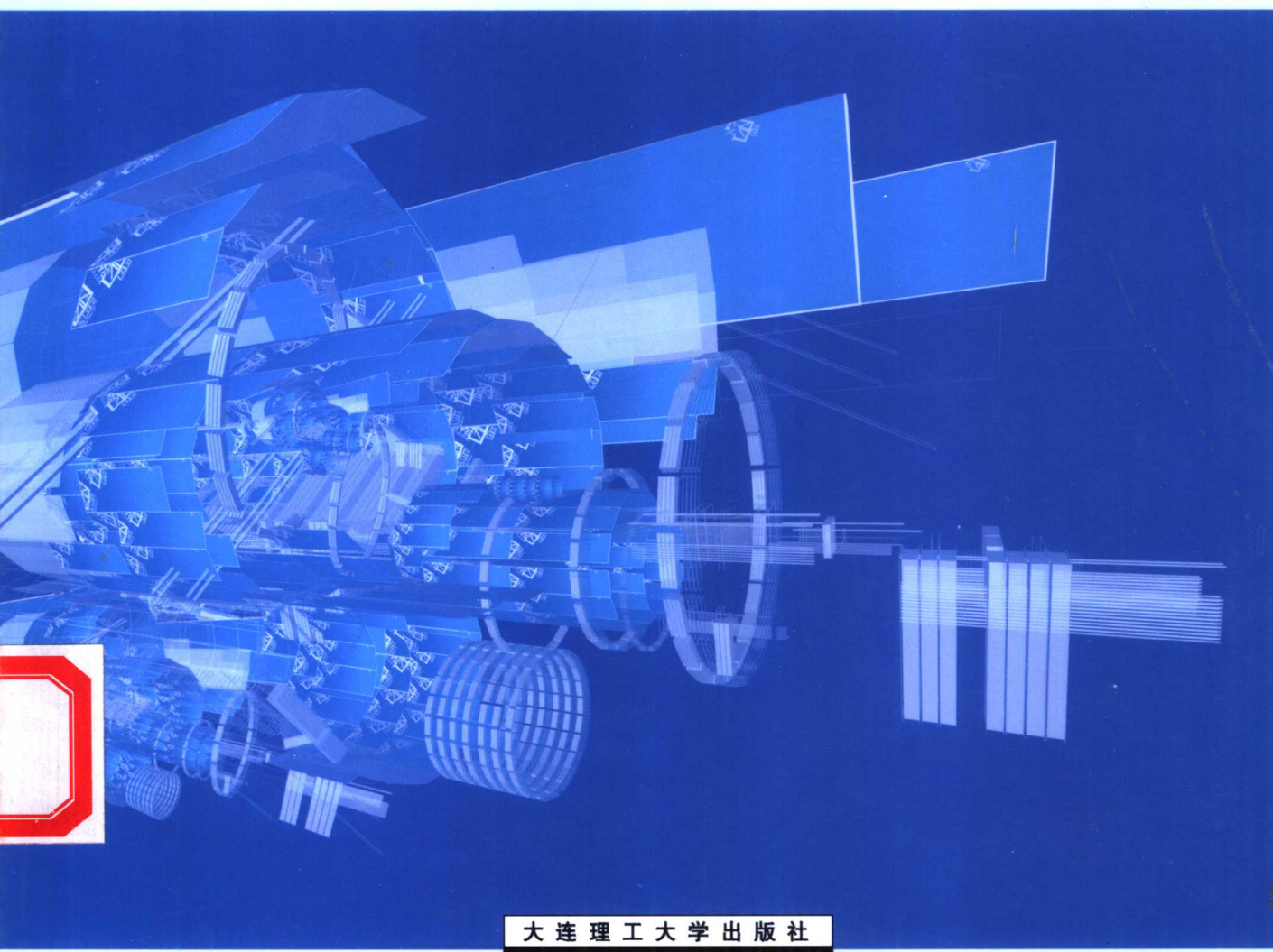


机械工程材料

JIXIE GONGCHENG CAILIAO

(第五版)

于永泗 齐民◎主编



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

机械工程材料

(第五版)

主编 于永泗 齐 民

主审 王焕庭

编写 于永泗 齐 民

徐善国 王 来

大连理工大学出版社

© 于永泗, 齐民 2003

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料 / 于永泗, 齐民主编. —5 版. —大连: 大连理工大学出版社, 2003.5

ISBN 7-5611-0368-9

I. 机… II. ①于… ②齐… III. 机械工程材料—高等学校—教材
IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 010276 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市凌水河 邮政编码: 116024

电话: 0411-4708842 传真: 0411-4701466 邮购: 0411-4707961

E-mail: dutp@mail.dlptt.ln.cn URL: http://www.dutp.cn

大连华伟印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm × 260mm 印张: 13.75 字数: 333 千字

印数: 70 001 ~ 76 000

1988 年 8 月第 1 版

2003 年 5 月第 5 版

2003 年 5 月第 12 次印刷

责任编辑: 刘新彦

吴孝东

责任校对: 范业婷

封面设计: 孙宝福

定 价: 15.00 元

第 1 版前言

近年来,由于机械工程材料的发展和高等学校机械类冷加工各专业和近机类教学计划的几次修改,原设《金属材料及热处理》课程大多改为《工程材料》课程,而且学时数也有所减少,一般在 50~60 学时之间。为了满足这种教学形势的需要,我校材料系金属学教研室组织人力,编写了这本字数较少、内容符合要求、适用专业面比较广的《机械工程材料》教材,以供教学使用。

为了帮助学生灵活而更好地消化和掌握所学知识及提高学习兴趣,每章均选编一定量的思考作业题,以期加强理论联系实际和培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书由王焕庭、李芋华主编。编写者为:大连理工大学李芋华讲师(绪论及第二、三、十、十一、十二章);王焕庭教授(第一、四章);于永泗讲师(第五、六章);徐善国副教授(第七章);崔朝令副教授(第八、九、十三、十四章)。书中插图和照片得到吕其瑜同志和徐卫平、程蓉娟等同志的大力协助,于此一并表示衷心感谢。

由于编写水平和时间所限,缺点和错误在所难免,望广大师生和读者批评指正。

编者

1988 年 1 月于大连

第 2 版说明

本书一问世,深受读者欢迎,不到半年时间八千册就销售一空。为满足广大读者要求,根据 1990 年 6 月在大连理工大学召开的机械工程材料及物理化学教学指导小组扩大会议对“机械工程材料”课程的基本要求,结合两年来的机械制造及工艺、船舶内燃机、化工机械、起重运输机械等专业的教学实践及教材使用情况,对全书在系统分析的基础上作了全面修订;课程内容作了一些增减;更新了部分插图和照片;文字叙述也作了些修饰。

修订后的这本书,由王焕庭、李芋华、徐善国任主编。编者为:大连理工大学徐善国副教授(绪论及第七章);王焕庭教授(第一、四章);李芋华副教授(第二、三、十、十一、十二章);于永泗讲师(第五、六章);王来副教授(第八、九、十三、十四章)。

恳望广大读者批评指正。

编 者

1991 年 1 月于大连

第 3 版说明

自 1988 年出版以来,已是第十个年头了,其中修订了两次。本书的出版受到广大读者的欢迎,他们在使用本书后,提出了许多宝贵的意见,编者在此表示衷心的感谢。

最近我们综合了各方面的意见,且结合几年来教学实践及科研与工程上的需要,并在征求部分教师意见的基础上对本书的内容作了一些修正和补充。主要改动有:材料的强度单位统一改用 MPa;某些工程术语及数据采用了最新国家标准;明确了若干问题的概念及充实了部分内容。为使本教材更符合教学要求,恳望广大师生和读者批评指正。

编 者

1998 年 4 月于大连

第 4 版说明

在进入 2000 年之际,综合了各方面意见及结合教学、科研实践,本书在第三版的基础上作了第四版修改。主要修改的内容为:采用了最新国家标准;增加了若干有关附录;增加了部分本学科前沿的有关知识;增加部分插图及增减与修改了部分内容;修改了符号与文字上的印刷错误,从而使教材内容有所更新,更加明确,更有利于教和学。

参加第四版修改的编者为王焕庭教授、李芋华副教授、徐善国教授、于永泗教授及王来教授。

现在科学进步很快,为了使机械工程材料教材内容更适于教学,跟上形势要求,恳请使用本教材的老师、学生和读者不断提出宝贵意见。

编 者

2000 年 4 月于大连

第 5 版说明

“机械工程材料”课程是高等院校机械类专业的一门技术基础课。根据高等工业学校机械工程材料及物理化学课程教学指导小组制订的教学大纲和教学要求,“机械工程材料”课程的任务是从机械工程的应用角度出发,阐明机械工程材料的基本理论,了解材料的成分、加工工艺、组织、结构与性能之间的关系,介绍常用机械工程材料及其应用等基本知识。

本书保留了“机械工程材料”第四版的主要内容。根据新的学科分类和材料学科的发展,在课程体系和内容上作了较大的修改,采用最新的国家标准,增加了部分本学科前沿的有关知识。引进了部分材料领域的最新研究成果。

本书由于永泗、齐民任主编,徐善国、王来参加了部分章节的编写工作。本书由王焕庭主审。

由于编者水平有限,不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2003年2月于大连

目 录

绪论	1
0.1 材料与材料科学	1
0.2 工程材料的分类及应用	2
0.3 机械工程材料课程的目的、性质和学习要求	3
第1章 材料的性能	4
1.1 材料的力学性能	4
1.1.1 弹性与刚度	4
1.1.2 强度与塑性	5
1.1.3 硬度	6
1.1.4 冲击韧性	8
1.1.5 疲劳	9
1.1.6 断裂韧性	9
1.1.7 热疲劳	10
1.2 材料的物理和化学性能	10
1.2.1 材料的物理性能	10
1.2.2 材料的化学性能	11
1.3 材料的工艺性能	11
1.3.1 铸造性	11
1.3.2 可锻性	11
1.3.3 可焊性	11
1.3.4 切削加工性	12
思考题	12
第2章 材料的结构	13
2.1 原子的结合方式	13
2.1.1 离子键	13
2.1.2 共价键	13
2.1.3 金属键	14
2.1.4 分子键	14
2.2 晶体结构的基本概念	14
2.2.1 晶体与非晶体	14
2.2.2 晶格	15

2.2.3	晶胞	15
2.2.4	立方晶系的晶面和晶向表示方法	16
2.3	金属的结构	17
2.3.1	金属的晶体结构	17
2.3.2	金属的非晶态结构	23
2.4	陶瓷的结构	24
2.4.1	晶相	24
2.4.2	玻璃相	25
2.4.3	气相	26
2.5	高分子材料的结构	26
2.5.1	高分子化合物的组成	26
2.5.2	大分子链的结构	26
2.5.3	高分子的聚集态结构	28
	思考题	28
第3章	材料的凝固	29
3.1	纯金属的结晶	29
3.1.1	结晶的热力学条件	29
3.1.2	纯金属的结晶过程	30
3.1.3	同素异构转变	31
3.2	合金的结晶	32
3.2.1	二元相图的建立	32
3.2.2	二元相图的基本类型与分析	32
3.3	铁碳合金相图	41
3.3.1	铁碳合金的组元和相	41
3.3.2	铁碳合金相图的分析	42
3.3.3	典型铁碳合金的平衡结晶过程	44
3.3.4	含碳量对铁碳合金组织和性能的影响	51
3.4	凝固组织及其控制	52
3.4.1	金属及合金结晶后的晶粒大小及其控制	53
3.4.2	铸锭的组织及其控制	53
	思考题	55
第4章	金属的塑性变形与再结晶	56
4.1	金属的塑性变形	56
4.1.1	单晶体金属的塑性变形	56
4.1.2	多晶体金属的塑性变形	59
4.2	合金的塑性变形与强化	60
4.2.1	单相固溶体合金的塑性变形与固溶强化	60
4.2.2	多相合金的塑性变形与弥散强化	60
4.3	塑性变形对金属组织和性能的影响	60
4.3.1	塑性变形对金属组织结构的影响	60

4.3.2 塑性变形对金属性能的影响	61
4.3.3 残余内应力	62
4.4 回复与再结晶	62
4.4.1 冷变形金属在加热时的组织和性能变化	62
4.4.2 再结晶温度	63
4.4.3 再结晶退火后的晶粒度	64
4.5 金属的热加工	65
4.5.1 冷加工与热加工的区别	65
4.5.2 热加工对金属组织和性能的影响	65
思考题	66
第5章 钢的热处理	67
5.1 概 述	67
5.2 钢在加热时的转变	68
5.2.1 奥氏体的形成过程	68
5.2.2 奥氏体的晶粒大小及其影响因素	69
5.3 钢在冷却时的转变	69
5.3.1 过冷奥氏体的转变产物及转变过程	69
5.3.2 过冷奥氏体转变图	74
5.4 钢的退火与正火	77
5.4.1 退火	77
5.4.2 正火	78
5.5 钢的淬火与回火	79
5.5.1 淬火	79
5.5.2 回火	82
5.6 钢的表面热处理	85
5.6.1 表面淬火	85
5.6.2 化学热处理	86
5.7 金属材料表面处理新技术	89
5.7.1 热喷涂技术	89
5.7.2 气相沉积技术	90
5.7.3 三束表面改性技术	91
思考题	92
第6章 工业用钢	94
6.1 钢的分类与编号	94
6.1.1 钢的分类	94
6.1.2 钢的编号	95
6.2 钢中杂质与合金元素	98
6.2.1 钢中常存杂质元素对性能的影响	98
6.2.2 合金元素在钢中的主要作用	98
6.3 结构钢	101

6.3.1 碳素结构钢	101
6.3.2 优质碳素结构钢	102
6.3.3 低合金高强度结构钢	103
6.3.4 渗碳钢	104
6.3.5 调质钢	106
6.3.6 弹簧钢	108
6.3.7 滚动轴承钢	110
6.3.8 耐磨钢	110
6.4 工具钢	111
6.4.1 刃具钢	112
6.4.2 模具钢	116
6.4.3 量具钢	118
6.5 特殊性能钢	119
6.5.1 不锈钢	119
6.5.2 耐热钢和高温合金	122
思考题	126
第7章 铸 铁	128
7.1 概 述	128
7.1.1 铸铁的石墨化过程	128
7.1.2 铸铁的特点及分类	129
7.2 常用铸铁	130
7.2.1 灰铸铁	130
7.2.2 可锻铸铁	132
7.2.3 球墨铸铁	134
7.2.4 蠕墨铸铁	136
思考题	136
第8章 有色金属及其合金	138
8.1 铝及铝合金	138
8.1.1 铝及铝合金的性能特点	138
8.1.2 铝合金的分类	138
8.1.3 铝合金的热处理	139
8.1.4 铝合金的牌号、性能及用途	139
8.2 铜及铜合金	143
8.2.1 铜及铜合金的性能特点	143
8.2.2 黄铜	143
8.2.3 青铜	145
8.2.4 白铜	146
8.3 钛及钛合金	147
8.3.1 工业纯钛	147
8.3.2 钛合金	147

8.4 轴承合金	149
8.4.1 组织性能要求	149
8.4.2 常用轴承合金	149
思考题	151
第9章 高分子材料	152
9.1 概 述	152
9.1.1 高分子材料的分类和命名	152
9.1.2 高分子材料的力学状态	152
9.1.3 常用高分子材料的化学反应	153
9.2 常用高分子工程材料	154
9.2.1 工程塑料	154
9.2.2 合成橡胶	157
思考题	158
第10章 陶瓷材料	159
10.1 概 述	159
10.1.1 陶瓷材料的特点	159
10.1.2 陶瓷材料的分类	159
10.2 常用工业陶瓷	160
10.2.1 普通陶瓷	160
10.2.2 特种陶瓷	160
思考题	163
第11章 复合材料	164
11.1 概 述	164
11.1.1 复合材料的分类	164
11.1.2 复合材料的特点	164
11.2 粒子与层状增强复合材料	165
11.2.1 粒子增强复合材料	165
11.2.2 层状复合材料	166
11.3 纤维增强复合材料	167
11.3.1 纤维增强复合原则	167
11.3.2 纤维的种类和性能	167
11.3.3 聚合物基纤维增强复合材料	168
11.3.4 纤维增强金属基复合材料	168
11.3.5 纤维增强陶瓷复合材料	169
思考题	170
第12章 新型工程材料	171
12.1 形状记忆合金	171
12.1.1 形状记忆效应	171
12.1.2 形状记忆效应的机理	171

12.1.3 形状记忆合金的应用	172
12.2 非晶态合金	173
12.2.1 非晶态合金的制备	173
12.2.2 非晶态合金的特性	174
12.2.3 非晶态合金的应用	175
12.3 超塑性合金	175
12.3.1 超塑性现象	175
12.3.2 超塑性合金	177
12.3.3 超塑性合金的应用	177
12.4 纳米材料	178
12.4.1 纳米材料的特性	178
12.4.2 纳米材料的分类	179
12.4.3 纳米材料的制备	179
12.4.4 纳米新材料	180
12.4.5 纳米复合材料	180
12.4.6 纳米材料的应用	181
思考题	182
第 13 章 零部件的失效与选材	183
13.1 零部件的失效	183
13.1.1 失效概念	183
13.1.2 失效形式	183
13.1.3 失效原因	185
13.1.4 失效分析	185
13.2 零部件的选材	187
13.2.1 选材的基本原则	187
13.2.2 典型零部件选材及工艺分析	189
13.2.3 典型设备及装置的选材	195
思考题	201
附 录	202
附录 1 常用钢种的临界温度	202
附录 2 钢热处理工艺的代号与技术条件的表示方法	204
附录 3 有色金属供应状态或铸态、热处理状态的表示方法	204
附录 4 化学元素周期表	205
参考文献	206

绪 论

0.1 材料与材料科学

材料是用来制作有用器件的物质,是人类生产和生活所必须的物质基础。从日常生活用的器具到高技术产品,从简单的手工工具到复杂的航天器、机器人,都是用各种材料制作而成或由其加工的零件组装而成。纵观人类历史,每当一种新材料出现和利用,都会给社会生产与人类生活带来巨大的变化。历史学家按照人类所使用材料将人类历史划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代。材料的发展水平和利用程度已成为人类文明进步的标志。例如,没有半导体材料的工业化生产,就不可能有目前的计算机技术;没有高温高强度的结构材料,就不可能有今天的航空工业和航天工业;没有低消耗的光导纤维,也就没有现代的光纤通讯。20世纪70年代,人们把材料与能源、信息并列,称为现代文明的三大支柱,而材料又是后两者的基础。

中华民族在人类历史上为材料的发展和应用做出过重大贡献。早在公元前6000年~公元前5000年的新石器时代,中华民族的先人就能用黏土烧制陶器,到东汉时期又出现了瓷器,并流传海外。4000年前的夏朝时期,我们的祖先已经能够炼铜,到殷、商时期,我国的青铜冶炼和铸造技术已达到很高水平。从河南安阳晚商遗址出土的司母戊鼎(见图0-1)质量达875kg,且饰纹优美。从湖北江陵楚墓中发掘出

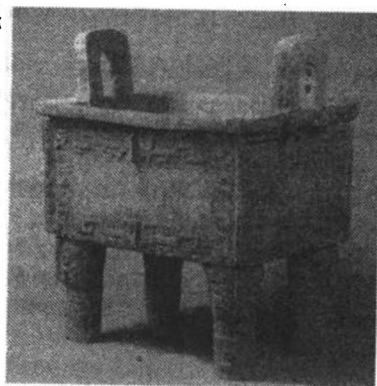


图0-1 司母戊鼎

的两把越王勾践的宝剑(见图0-2),长55.6cm,至今锋利异常,是我国青铜器的杰作。我国从春秋战国时期(公元前770~221年)便开始大量使用铁器,明朝科学家宋应星在其所著的《天工开物》一书中就记载了古代的渗碳热处理等工艺,这说明早在欧洲工业革命之前,我国在金属材料及热处理方面就已经有了较高的成就。中华人民共和国成立后,我国先后建起了鞍山、攀枝花、宝钢等大型钢铁基地,钢产量由1949年的15.8万t上升到现在的1亿t,成为世界上钢产量大国之一。原子弹、氢弹的爆炸,卫星、飞船的上天等都说明了我国在材料的开发、研究及应用等方面有了飞跃性的发展,达到了一定的水平。但与世界发达国家相比,我们还有一定的差距,需要我们一代代地努力,以缩小这些差距。



图0-2 越王勾践剑

从简单地利用天然材料、冶铜炼铁到使用热处理工艺,人类对材料的认识是逐步深入的。18世纪欧洲工业革命后,人们对材料的质量和数量的要求越来越高,促进了材料科学的进一步发展。1863年,光学显微镜首次应用于金属研究,诞生了金相学,使人们步入了材料的微观世界,能够将材料的宏观性能与微观组织联系起来,标志着材料研究从经验走向科学。1912年发现了X-射线对晶体的作用并在随后用于晶体衍射分析,使人们对固体材料微观结构的认识从最初的假想到科学的现实。19世纪末,晶体的230种空间群被确定,至此人们已经可以完全用数学的方法来描述晶体的几何特征。1932年发明了电子显微镜,把人们带到了微观世界的更深层次(10^{-7}m)。1934年位错理论的提出,解决了晶体理论计算强度与实验测得的实际强度之间存在巨大差别的问题,对于人们认识材料的力学性能及设计高强度材料具有划时代的意义。一些与材料有关的基础学科(如固体物理、量子力学、化学等)的发展,有力地促进了材料研究的深化。

材料科学是以材料为研究对象的一门科学。它以凝聚态物理和物理化学、晶体学为理论基础,结合冶金、机械、化工等领域的研究成果,去探讨材料的成分、工艺、组织结构及性能之间的内在规律,并联系具体器件或构件的使用功能要求,力求用经济合理的办法制备出有效的器件或构件。因此,材料科学是现代机械工程、电子技术和高技术工业发展的基础。它的研究内容包括:材料的化学组成、组织结构与性能之间的关系;材料的形成机理和制取方法;材料物理性能的测试方法和技术;材料的损坏机理;材料的合理加工方法和最佳使用方案等。特别是材料的性能与组织结构之间的关系,是材料科学研究的重点。

材料的化学成分是指组成材料各元素在材料中的浓度,简称成分。材料的组织是指用肉眼或借助于不同放大倍数的显微镜所观察到的金属内部的情景。习惯上把用肉眼或几十倍放大镜观察到的组织称为低倍组织或宏观组织;放大100~2000倍的组织称为高倍组织或显微组织;在电子显微镜下放大几千到几十万倍的组织称为精细组织或电镜组织。材料的结构是指材料中各原子的具体组合状态,一般通过X-射线或透射电子显微镜来研究。

0.2 工程材料的分类及应用

工程材料是指在机械、船舶、化工、建筑、车辆、仪表、航空航天等工程领域中用于制造工程构件和机械零件的材料。按照材料的组成、结合键的特点,可将工程材料分为金属材料、陶瓷材料、高分子材料和复合材料四大类。

金属材料是以金属键结合为主的材料,具有良好的导电性、导热性、延展性和金属光泽,是目前用量最大、应用最广泛的工程材料。金属材料分为黑色金属和有色金属两类,铁及铁合金称为黑色金属,即钢铁材料,其世界年产量已达10亿t,在机械产品中的用量已占整个用材的60%以上。黑色金属之外的所有金属及其合金称为有色金属。有色金属的种类很多,根据其特性的不同又可分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属等。

陶瓷材料是以共价键和离子键结合为主的材料,其性能特点是熔点高、硬度高、耐腐蚀、脆性大。陶瓷材料分为传统陶瓷、特种陶瓷和金属陶瓷三类。传统陶瓷又称普通陶瓷,是以天然材料(如黏土、石英、长石等)为原料的陶瓷,主要用做建筑材料;特种陶瓷又称精细陶瓷,是以人工合成材料为原料的陶瓷,常用做工程上的耐热、耐蚀、耐磨零件;金属陶瓷是金属与各种化合物粉末的烧结体,主要用做工具和模具。

高分子材料是以分子键和共价键结合为主的材料,具有塑性、耐蚀性、电绝缘性、减振性好及密度小等特点。工程上使用的高分子材料主要包括塑料、橡胶及合成纤维等,在机械、电气、纺织、汽车、飞机、轮船等制造工业和化学、交通运输、航空航天等工业中被广泛应用。

复合材料是把两种或两种以上不同性质或不同结构的材料以微观或宏观的形式组合在一起而形成的材料,通过这种组合可达到进一步提高材料性能的目的,包括金属基复合材料、陶瓷基复合材料和高分子复合材料。如现代航空发动机燃烧室中耐热温度最高的材料就是通过粉末冶金法制备的氧化物粒子弥散强化的镍基合金复合材料。很多高级游艇、赛艇及体育器械等是由碳纤维复合材料制成的,它们具有重量轻、弹性好、强度高等优点。

0.3 机械工程材料课程的目的、性质和学习要求

随着经济的飞速发展和科学技术的进步,对材料的要求越来越苛刻,结构材料向高比强、高刚度、高韧性、耐高温、耐腐蚀、抗辐照和多功能的方向发展,新材料也在不断地涌现。

机械工业是材料应用的重要领域。随着机械工业的发展,对产品的要求越来越高。无论是制造机床,还是建造轮船、石油化工设备,都要求产品技术先进、质量高、寿命长、造价低。因此,在产品设计与制造过程中,会遇到越来越多的材料及材料加工方面的问题。这就要求机械工程技术人员掌握必要的材料科学与材料工程知识,具备正确选择材料和加工方法、合理安排加工工艺路线的能力。“机械工程材料”课程正是为实现这一目标而设置的。

机械工程材料课程是机械类和近机类各专业的重要技术基础课,课程的目的是使学生获得工程材料的基本理论知识及其性能特点,建立起材料的化学成分、组织结构、加工工艺与性能之间的关系,了解常用材料的应用范围和加工工艺,初步具备合理选用材料、正确确定加工方法、妥善安排加工工艺路线的能力。

工程材料课程是一门理论性和实践性都很强的课程,基本概念多,与实际联系密切,学习时应注意联系物理、化学、工程力学及金属工艺学等课程的相关内容,并结合生产实际,注重分析、理解前后知识的整体联系和综合应用。