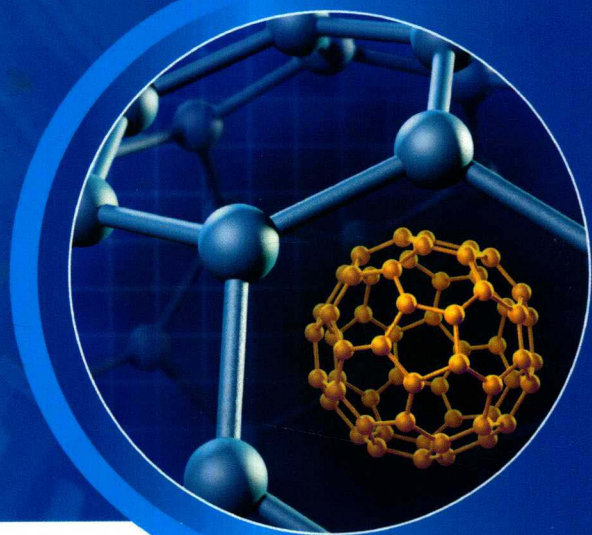




普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材
普通高等教育“十三五”规划教材



工程材料学

(第二版)

张彦华 主编



科学出版社

普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材
普通高等教育“十三五”规划教材

工程材料学

(第二版)

张彦华 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是根据普通高等教育机械类专业教材建设与教学的基本要求,结合现代工程材料科学与技术的特点和发展趋势,为培养适应 21 世纪需要的高等机械工程技术人才而编写的。

全书共 11 章。第 1~3 章介绍材料科学基础,第 4 章介绍材料的热处理,第 5 章介绍金属的塑性变形与再结晶,第 6~10 章分别介绍钢铁材料、有色金属及其合金、高分子材料、陶瓷材料、复合材料的特点及应用,第 11 章介绍材料与环境的基本问题。

本书可作为高等院校机械类专业及相关专业的本科生教材,也可供有关科学研究和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料学 / 张彦华主编. —2 版. —北京: 科学出版社, 2019.1

普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-03-060282-4

I. ①工… II. ①张… III. ①工程材料—高等学校—教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 298435 号

责任编辑: 毛 莹 任 俊 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019 年 1 月第 二 版 印张: 16 1/2

2019 年 1 月第三次印刷 字数: 407 000

定价: 59.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

第二版前言

现代工程是集成应用各种先进技术手段将物质资源转变为人类社会所能够接受的具有使用价值的产品的过程。工程材料是建造工程结构或机械结构所需要的物质系统，没有材料的工程是无法实现的。材料需要通过工程制造来实现其经济和社会价值。产品质量在很大程度上取决于材料质量，而制造过程也对材料的性质产生影响。因此，必须将材料作为产品全寿命周期的关键要素集成到产品设计、制造和使用过程。工程材料学是深入探讨工程与材料相互作用机制所需要的知识体系。

本书是根据机械类专业教学的基本要求，结合现代材料科学与技术的特点和发展趋势，为培养新时代发展所需要的高等机械工程技术人才而编写的。本教材编写的指导思想是以出现代机械装备对材料的需求为特色，强调材料是机械工程的重要组成部分；以加工过程对材料组织与结构、性质及使用性能的影响，如何根据工程实际需要选择材料等问题为主线。

本书第一版于 2010 年出版。为了使教材更好地满足机械类专业本科教学的需要，作者在科学出版社的支持下，对第一版教材进行了修订。参加第二版教材编写的有北京航空航天大学张彦华(绪论、第 1~4、11 章)、曲文卿(第 5~7 章)，山东大学刘雪梅(第 8~10 章)。全书由张彦华统稿。

编写《工程材料学》对于现代机械工程技术人才培养具有重要意义，是我国高等学校教材将工程与学科进行融合的探索。由于编者对工程材料科学及应用掌握得不够全面，相关领域和水平有限，书中内容难免有疏漏和不当，敬请读者批评指正。

编 者

2018 年 8 月

第一版前言

材料是人类社会能够接受的经济地制造有用器件的物质。没有材料，就没有工程，因此，本书命名为《工程材料学》。本书是根据机械工程等专业教学的基本要求，结合现代材料科学与技术的特点和发展趋势，为培养适应 21 世纪需要的高等机械工程技术人才而编写的。

工程材料需要通过成型加工来实现其经济和社会价值。机械类专业的学生必须认识到材料在工程中的重要地位。应该注意的是，孤立地谈论材料是不全面的，工程材料与产品设计、制造和使用必须作为一个整体来考虑，材料必须作为产品全寿命周期的关键要素与机械工程实现有机集成。

本书编写的指导思想是以突出现代机械装备对材料的需求为特色，强调材料是机械工程的重要组成部分，以加工过程对材料组织与结构、性质及使用性能的影响，如何根据工程实际需要选择材料等问题为主线。全书共 11 章。第 1~3 章介绍材料科学基础，第 4 章介绍材料的热处理，第 5 章介绍金属的塑性变形与再结晶，第 6~10 章分别介绍钢铁材料、有色金属及其合金、高分子材料、陶瓷材料、复合材料的特点及应用，第 11 章介绍材料与环境的基本问题。

参加本书编写的人员有北京航空航天大学张彦华(绪论、第 1~4、11 章)，天津大学王立君(第 5~7 章)，山东大学刘雪梅(第 8~10 章)。全书由张彦华统稿。

编写《工程材料学》教材对于现代机械工程高层次人才培养具有重要意义，在我国高等院校教材编写方面正在进行多方面的探索。由于编者对工程材料科学及应用掌握得不够全面，相关知识领域和水平有限，书中难免存在疏漏和不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

2009 年 8 月

目 录

绪论	1
第 1 章 工程材料的结构	6
1.1 材料结构及其层次	6
1.2 原子结构与键合	7
1.2.1 原子的结构	7
1.2.2 材料粒子的键合方式	8
1.3 材料的晶体结构	10
1.3.1 理想晶体结构	10
1.3.2 实际晶体结构	15
1.3.3 合金的晶体结构	17
1.4 纳米材料的结构	19
1.4.1 纳米材料的基本概念	19
1.4.2 纳米效应	20
1.5 材料的同素异构与同分异构	21
1.5.1 晶体的同素异构	21
1.5.2 有机化合物及高聚物的同分异构	22
思考题	23
第 2 章 工程材料的性能	24
2.1 工程材料的力学性能	24
2.1.1 应力与应变	24
2.1.2 弹性与塑性	27
2.1.3 屈服强度与抗拉强度	34
2.1.4 硬度	36
2.1.5 断裂性能	37
2.1.6 蠕变与持久性能	41
2.1.7 疲劳性能	42
2.1.8 耐磨性能	42
2.2 工程材料的物理性能	45
2.2.1 密度和熔点	45
2.2.2 电学性能	46
2.2.3 磁学性能	48
2.2.4 光学性能	50

2.2.5 热学性能	52
2.3 工程材料的化学性能	54
2.3.1 抗氧化性	54
2.3.2 抗腐蚀性	54
2.4 工程材料的工艺性能	55
思考题	56
第3章 金属材料的凝固与相图	57
3.1 纯金属的结晶	57
3.1.1 金属结晶的基本规律	57
3.1.2 晶核的形成与长大	58
3.2 合金的凝固与相图	64
3.2.1 相平衡与相图	64
3.2.2 二元合金相图与凝固	66
3.2.3 三元相图的基本知识	75
3.2.4 合金的性能与相图的关系	78
3.2.5 铸锭的凝固	80
3.3 铁碳合金平衡态的相变	81
3.3.1 Fe-Fe ₃ C 相图分析	81
3.3.2 铁碳合金在平衡状态下的结晶	83
3.3.3 碳和其他元素对碳钢组织和性能的影响	89
3.3.4 Fe-Fe ₃ C 相图的应用	91
3.4 金属焊接时的结晶与相变	92
3.4.1 焊接熔池结晶的特点	92
3.4.2 焊缝金属的结晶组织	93
3.4.3 焊接热影响区的组织和性能	95
思考题	97
第4章 金属材料的热处理	98
4.1 钢在加热和冷却时的组织转变	98
4.1.1 钢在加热时的组织转变	98
4.1.2 钢在冷却时的组织转变	101
4.2 钢的普通热处理工艺	107
4.2.1 退火与正火	107
4.2.2 淬火与回火	111
4.3 金属材料的表面热处理	119
4.3.1 钢的表面淬火	119
4.3.2 化学热处理	121
4.4 固溶热处理与时效强化	125
4.4.1 固溶热处理	125

4.4.2 时效强化	126
4.5 先进热处理技术	126
4.5.1 真空热处理	126
4.5.2 形变热处理	127
4.5.3 离子热处理	127
4.5.4 高能束热处理	128
4.6 钢的热处理工艺选用	129
思考题	130
第5章 金属的塑性变形与再结晶	131
5.1 金属的塑性变形	131
5.1.1 单晶体的塑性变形	131
5.1.2 多晶体金属塑性变形	133
5.1.3 冷变形与热变形	134
5.1.4 金属的超塑性	134
5.2 塑性变形对金属组织和性能的影响	135
5.2.1 晶粒形态的改变	135
5.2.2 晶粒内部亚结构的变化	135
5.2.3 形变织构	136
5.2.4 残余内应力	136
5.2.5 加工硬化	137
5.3 冷变形金属的回复与再结晶	138
5.3.1 回复	139
5.3.2 再结晶	139
5.3.3 晶粒长大	140
5.4 金属热塑性变形的动态回复与再结晶	141
5.4.1 动态回复和动态再结晶	141
5.4.2 影响热塑性变形的主要因素	142
5.4.3 热塑性变形对金属组织与性能的影响	144
思考题	145
第6章 钢铁材料	146
6.1 钢铁冶炼	146
6.1.1 生铁的冶炼	146
6.1.2 钢的冶炼	148
6.2 钢的分类与牌号	152
6.2.1 钢的分类	152
6.2.2 钢的牌号	153
6.3 结构钢	154
6.3.1 工程结构用钢	154

6.3.2	机械结构用钢	155
6.4	工具钢	160
6.4.1	刃具钢	160
6.4.2	模具钢	163
6.4.3	量具钢	164
6.5	特殊性能钢	165
6.5.1	不锈钢	165
6.5.2	耐热钢	167
6.6	铸铁	169
6.6.1	铸铁的石墨化	169
6.6.2	影响铸铁石墨化的因素	170
6.6.3	灰口铸铁的分类及性能特点	171
	思考题	173
第7章	有色金属及其合金	174
7.1	铝及铝合金	174
7.1.1	铝合金的强化	174
7.1.2	铝合金的分类	175
7.2	铜及铜合金	180
7.2.1	纯铜	180
7.2.2	黄铜	180
7.2.3	青铜	181
7.3	镁及镁合金	182
7.3.1	变形镁合金	182
7.3.2	铸造镁合金	183
7.4	钛及钛合金	183
7.4.1	α 钛合金	183
7.4.2	β 钛合金	183
7.4.3	$\alpha+\beta$ 钛合金	184
7.5	滑动轴承合金	184
7.5.1	滑动轴承合金及特点	184
7.5.2	常用滑动轴承合金	185
7.6	高温合金	186
7.6.1	高温合金及其特点	186
7.6.2	常用高温合金	187
7.7	特殊性能合金	188
7.7.1	金属间化合物	188
7.7.2	非晶态合金	189
7.7.3	形状记忆合金	190

7.7.4 难熔金属及其合金	191
7.7.5 稀土金属及其应用	193
思考题	194
第 8 章 高分子材料	195
8.1 高分子材料的结构	195
8.1.1 高分子材料的组成	195
8.1.2 大分子链结构	196
8.1.3 聚集态结构	197
8.2 高分子材料的性能	199
8.2.1 力学性能	199
8.2.2 物理、化学性能	200
8.3 常用高分子材料	201
8.3.1 塑料	201
8.3.2 橡胶	202
8.3.3 纤维	204
8.3.4 胶黏剂	204
思考题	207
第 9 章 陶瓷材料	208
9.1 陶瓷的结构	208
9.1.1 晶体相	208
9.1.2 玻璃相	209
9.1.3 气相	209
9.2 陶瓷材料的性能	210
9.2.1 力学性能	210
9.2.2 物理性能	211
9.2.3 化学性能	212
9.3 陶瓷的生产工艺	212
9.3.1 陶瓷粉末及制备	212
9.3.2 陶瓷粉末成型	212
9.3.3 烧结及后处理	214
9.4 常用陶瓷材料	215
9.4.1 氧化物陶瓷	215
9.4.2 氮化物陶瓷	217
9.4.3 碳化物陶瓷	219
9.4.4 玻璃陶瓷材料	220
思考题	220
第 10 章 复合材料	221
10.1 概述	221

10.2	复合材料的结构	222
10.2.1	增强相	222
10.2.2	基体	222
10.2.3	界面	223
10.3	复合材料的增强原理	223
10.3.1	颗粒增强原理	223
10.3.2	纤维增强原理	224
10.3.3	晶须增强原理	224
10.4	复合材料的性能	225
10.4.1	力学性能	225
10.4.2	理化性能	226
10.5	常用复合材料	227
10.5.1	聚合物基复合材料	227
10.5.2	金属基复合材料	228
10.5.3	无机非金属基复合材料	230
	思考题	231
第 11 章	材料与环境	232
11.1	材料与环境相互作用	232
11.1.1	材料循环	232
11.1.2	污染物排放	233
11.2	材料的环境协调性评价	235
11.2.1	LCA 概念	235
11.2.2	材料的环境协调性评价过程	237
11.3	工业生态学与循环经济	238
11.3.1	工业生态系统的基本概念	238
11.3.2	工业生态系统的进化	239
11.3.3	循环经济	241
11.4	绿色设计与清洁生产	243
11.4.1	产品的绿色设计	243
11.4.2	清洁生产	245
11.5	修复与再制造	246
11.5.1	修复与再制造的作用	246
11.5.2	修复与再制造性分析	247
11.5.3	修复与再制造工艺	248
	思考题	250
	参考文献	251

绪 论

1. 材料在人类社会发 展进程中的作用

材料是人类社会所能接受的经济地制造有用器件的物质。历史学家曾用“材料”来划分时代,如石器时代、陶器时代、铜器时代等。材料的概念最早出现在石器时代,那时以天然的石、木、皮材料做器件,后来陆续出现了陶器,随着冶炼技术的发展,人类又进入了铜器时代和铁器时代。

在群居洞穴的猿人旧石器时代,通过简单加工获得石器。随着石器加工制作水平的提高,出现了原始手工业,如制陶和纺织,人们称之为新石器时代。人类在新石器时代晚期就开始使用天然金属。公元前 3800 年,出现人工冶炼的铜器。我国在公元前 3000 年出现锡青铜——甘肃东乡马家窑文化的青铜刀(含 6%~10%Sn)。公元前 2800 年,在美索不达米亚出现锡青铜。商、周时期是我国青铜器的鼎盛时期。青铜时代源于距今 4000~5000 年前。青铜器大大促进了农业和手工业的出现。

自公元前 12 世纪起,铁器在地中海东岸地区使用日益广泛。到公元前 10 世纪,铁工具比青铜工具应用更普遍。公元前 8 世纪~公元前 7 世纪,北非和欧洲相继进入铁器时代。我国冶铁技术在春秋末期有很大的突破,特别是炼生铁技术日臻完善,并发明了生铁经退火制造韧性铸铁和以生铁制钢的技术,如生铁固体脱碳成钢、炒钢、炼制软铁、灌钢等。在战国燕下都出土的大批具有马氏体组织的钢剑,表明此时钢的淬火等热处理工艺已被广泛应用。我国在春秋战国时期(公元前 770 年~公元前 221 年)开始广泛使用由铁制作的农具、手工工具及各种兵器,大大促进了当时社会的发展。

现代冶金技术的发展自 19 世纪中叶的转炉炼钢和平炉炼钢开始。19 世纪末的电弧炉炼钢和 20 世纪中叶的氧气顶吹转炉炼钢及炉外精炼技术,使钢铁工业实现了现代化。在非铁金属冶金方面,19 世纪 80 年代发电机的发明,使电解法提纯铜的工业方法得以实现,开创了电冶金新领域。同时,用熔盐电解法将氧化铝加入熔融冰晶石,电解得到廉价的铝,使铝成为仅次于铁的第二大金属。20 世纪 40 年代,用镁做还原剂从四氯化钛制得纯钛。真空熔炼加工等技术逐步成熟后,钛及钛合金的广泛应用得以实现。同时,其他非铁金属也陆续实现工业化生产。

工业发展促进了新金属材料的应用。19 世纪末,出现了新型的合金钢,如高速工具钢、高锰钢、镍钢和铬不锈钢,并在 20 世纪发展为门类众多的合金钢体系。与此同时,铝合金、镁合金、铜合金、钛合金、难熔金属及合金等也先后形成工业规模生产。

从现代科技发展史可以看出,每一项重大新技术的产生,往往都依赖于新材料的发展。基于材料对社会发展的作用,人们将信息、能源和材料并列为现代文明和生活的三大支柱。在三大支柱中,材料又是能源和信息的基础。因此,可以说材料是人类物质文明的基础和支柱。

现代飞机集中反映了先进工程材料的发展。图 0-1 为材料在 F22 战斗机上的应用情况。

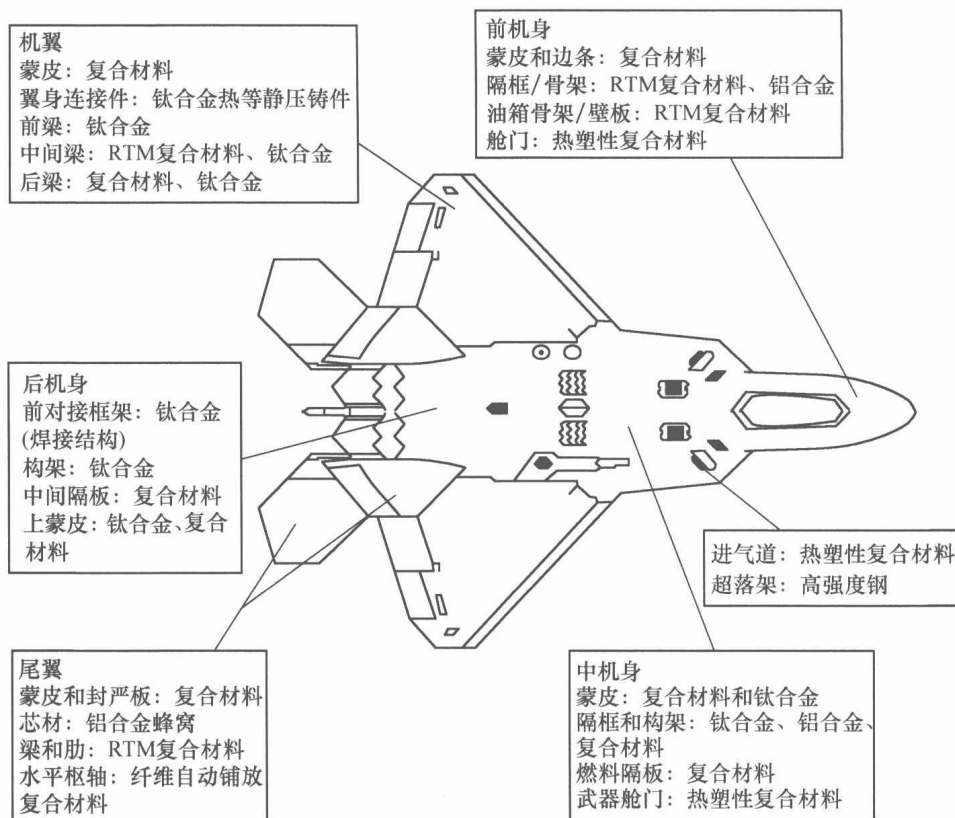


图 0-1 F22 战斗机上应用的工程材料

2. 工程材料科学的基本问题

工程材料通常是指工程中实际应用的材料。之所以称为工程材料，是因为没有材料就没有工程，可见材料在工程中的作用。工程材料学是材料在工程应用中所涉及的材料科学问题。工程材料科学与材料科学或材料工程的侧重点有所不同，后两者侧重于材料生产中的材料组织与结构、合成与制备、性质及使用性能之间的关系，前者则更关心产品制造中的加工过程对材料组织与结构、性质及使用性能的影响，以及根据工程实际需要选择材料的问题。因此，

工程材料科学的基本问题是研究组织与结构、成型加工、性质及使用性能之间的关系，以此作为选择材料和加工工艺的理论基础。

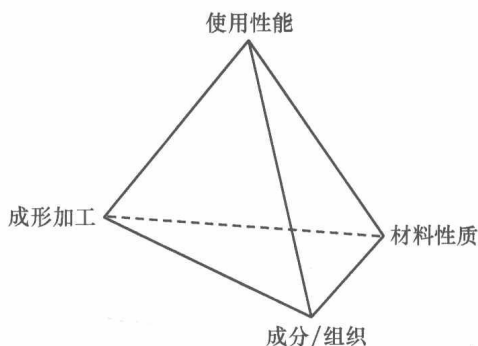


图 0-2 成型加工、使用性能、材料性质、成分/组织之间的关系

图 0-2 为成型加工、使用性能、材料性质、成分/组织四个因素之间的相互关系。四个因素中任一因素发生变化就会引起其他因素发生变化。对同一材料，不同成型工艺制造的构件性能将有较大的差异。成型技术研究就是掌握这些因素之间的相互联系，制造符合要求的产品。

材料的成型加工是重要的工程活动。任何产品都是由多种形状的零部件组成的，成型工艺就是根据设计的要求将工程材料加工成具有一定形状和尺寸零部件的过程。成型加工不仅赋予零件

的形状,而且控制着零件的最终使用特性。零部件的材料结构与性能是成型加工的结果,与成型加工前的材料结构与性能不同,最终成型后的零部件或结构必须保证装备在规定的寿命期间完成特定的任务,即所谓的使用性能。例如,现代航空发动机许多零部件在选用高性能材料的同时,还要采用先进的成型加工技术,最终保证零部件的尺寸精度和性能。

产品制造中的成型加工不但赋予材料形状,同时也是使材料增值的经济活动。商用飞机的成本与同等重量银的价值相当,而航天飞机的成本则与同等重量金的价值相当。我国在高端装备制造方面竞争力不足的原因之一就是成型加工等先进制造工艺技术薄弱。机械装备的研制方面也存在同样的问题。尽管不同的装备所采用的成型加工技术有很大的不同,但在成型加工和制造方面提高技术能力和效率上是一致的。为了高效、低成本地研制高性能装备,必须提高成型加工制造能力,不断发展并采用先进成型技术。

3. 工程材料的分类

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。

按材料应用的工程领域可分为机械工程材料、建筑工程材料、航空航天材料、能源材料等。

按材料的使用性能可分为结构材料和功能材料。结构材料主要利用材料的力学性能,用以制造以受力为主的构件或零件,对材料的理化性能也有一定的要求;功能材料主要利用材料的声、光、电、磁、热、化、生化等性能,同时也要兼顾力学性能。在某些情况下,材料的结构性与功能性要同时考虑。

常用的分类方法是按照材料的组成、结合键的特点,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。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,主要用作建筑材料;特种陶瓷又称精细陶瓷,是以人工合成材料为原料的陶瓷,常用作工程上的耐热、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,主要用作工具、模具。先进高温结构陶瓷具有很强的韧性、可塑性、耐磨性和抗冲击能力,与普通热燃气轮机相比,陶瓷热机的重量可减轻 30%,而功率则提高 30%,节约燃料 50%。

高分子材料是以分子键和共价键结合为主的材料。高分子材料作为结构材料具有塑性、耐蚀性、电绝缘性、减振性好,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、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。高分子材料还可以代替高强度合金,可大大减轻装备的重量。同时,高分子材料也广泛用于粘接部件。

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,通过这种组合来达到进一步提高材料性能的目的。复合材料包括金属基复合材料、陶瓷基复合材料和高分子基复合材料。复合材料具有强度高、刚度、耐疲劳、重量轻等优点。采用纤维增强复合材料后,美国的 AV-8B 垂直起降飞机的重量减轻了 27%,F-18 战斗机的重量减轻了 10%。F-35 上采用了 36%的复合材料,其中碳纤维/环氧树脂复合材料的重量占 32%,玻璃纤维及碳纤维增强双马树脂基复合材料各占 2%。现代航空发动机燃烧室温度最高的材料就是通过粉末冶金法制备的氧化物颗粒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、强度高优点。

4. 机械工程与材料

机械工程是以有关的自然科学和技术科学为理论基础,结合生产实践中的技术经验,研究和解决在开发、设计、制造、安装、运用和修理各种机械中的全部理论和实际问题的应用学科。机械是现代社会进行生产和服务的五大要素(人、资金、能源、材料和机械)之一,并参与能量和材料的生产。

石器时代人类制造和使用的各种石斧、石锤,以及木质、皮质的简单工具是后来出现的机械的先驱。所用材料由天然的石、木、土、皮革等发展到人造材料。最早的人造材料是陶瓷。18 世纪后期,制作机械的主要材料逐渐从木材改为金属,机械制造业开始形成,并逐渐成为重要产业。机械工程从分散性的、主要依赖匠师个人才智和手艺的技艺发展成为有理论指导的、系统的和独立的工程技术。机械工程是促成 18~19 世纪的工业革命和资本主义机械大生产的主要技术因素。

机械产品的可靠性和先进性,除设计因素外,在很大程度上取决于所选用材料的质量和性能。新型材料的发展是发展新型产品和提高产品质量的物质基础。各种高强度材料的发展,为发展大型结构件和逐步提高材料的使用强度等级、减轻产品自重提供了条件;高性能的高温材料、耐腐蚀材料为开发和利用新能源开辟了新的途径。现代发展起来的新型材料有新型纤维材料、功能性高分子材料、非晶质材料、单晶体材料、精细陶瓷、新合金材料等,对于研制新一代的机械产品有重要意义。例如,碳纤维比玻璃纤维强度和弹性更高,用于制造飞机和汽车等结构件,能显著减轻自重而节约能源。精细陶瓷,如热压氮化硅和部分稳定结晶氧化锆,有足够的强度,比合金材料有更高的耐热性,能大幅度提高热机的效率,是绝热发动机的关键材料。还有不少与能源利用和转换密切有关的功能材料的突破,将会引起机电产品的巨大变革。

一个国家的经济实力在很大程度上依赖于能否研制出高性能的机械装备,而高性能的机械装备需要先进的工程材料。特别是航空航天技术对先进材料的发展起到了助推作用。例如,飞机与发动机所用材料需考虑寿命周期成本、强度重量比、疲劳寿命、断裂韧性、生存力等因素,以保证装备的可靠性、安全性与结构完整性。航天飞行器用材需要考虑比刚度和比强度、低的热膨胀系数及在空间环境中的耐久性。研制先进的亚音速飞机、超音速飞机和穿越大气层飞机需要使用高强度结构和耐热超轻型结构,开发和利用新型合金、金属间化合物、先进非金属材料及复合材料成为必然。研制隐身飞机与坦克等装备更需要发展与应用新材料。因此,先进工程材料的发展与应用水平在保证装备技术优势方面发挥着重要作用。

工程材料的选用是机械装备研制过程的重要组成部分,选材对研制过程具有较大影响。

新型号机械装备的设计阶段就必须根据装备的性能要求,按照各零部件、系统与结构的工作环境要求,确定所选用的材料,这就需要开展材料方面的科学研究与之相互配合,并经全面试验论证与综合分析后才能确定材料。大量的接近使用条件下的材料应用性科研常常会贯穿于整个型号研制过程。机械装备定型生产后还必须根据技术的发展与实际需要不断进行改进与维修。

工程材料的选用是一项理论与实践紧密结合的工程技术工作,机械与制造工程类专业的学生必须认识到材料在工程中的重要地位。应该注意的是,孤立地谈论材料是不全面的,工程材料与产品设计、制造和使用必须作为一个整体来考虑,材料必须作为产品全寿命周期的关键要素与机械工程实现有机集成。

第 1 章 工程材料的结构

工程材料的各种性能与材料的化学和物理组成结构是密切相关的。材料的结构可以通过外界条件加以改变，从而实现对材料性能的控制。要更好地开发和使用材料，必须了解工程材料的结构。

1.1 材料结构及其层次

材料的结构是指材料内部各组成单元之间的相互联系和相互作用方式。根据材料组成单元的空间尺度，材料的结构可分为原子尺度结构、显微结构和宏观结构等层次。材料的结构决定材料的性能，改变材料的结构可以控制材料的性能。

图 1-1 为材料结构的尺度范围。

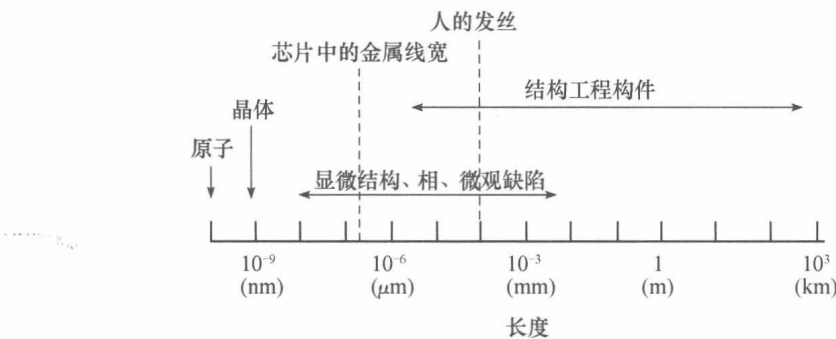


图 1-1 材料结构的尺度范围

原子尺度的结构包括原子的类型、原子间的结合键、原子的排列(或堆垛)方式及原子尺度缺陷，尺度约为 10^{-10}m 。原子尺度的结构是决定材料类型和性能的基本要素。原子的类型决定了材料的组成成分及基本类型，原子之间的结合键特性决定了材料的物理、力学和化学方面的性能，原子在空间的排列方式决定着材料的聚集状态(晶体或非晶体)，原子尺度缺陷对材料的强度有很大影响。原子级的结构与材料宏观性能之间的关系是材料科学的基本问题。

材料的显微结构是指在光学显微镜下可分辨出的结构，其尺度范围为 $10^{-8}\sim 10^{-4}\text{m}$ 。结构组成单元是该尺度范围的各个相、颗粒或微观缺陷的集合状态，反映的是在这个尺度范围内材料中所含的相和微观缺陷的种类、数量、形貌及相互之间的关系信息。通过工艺过程可对材料的显微结构进行控制，如凝固过程的控制和钢的热处理工艺。

宏观结构($>10^{-4}\text{m}$)是指人们用肉眼或借助放大镜所能观察到的结构范围，结构组成单元是相或颗粒，大的孔洞、裂纹的缺陷。材料的宏观结构同样对其性能有影响。

诺贝尔物理学奖获得者 R.Feyneman 在 20 世纪 60 年代曾经预言：如果我们对物体微小规模上的排列加以某种控制的话，我们就能使物体得到大量的异乎寻常的特性，就会看到材料的性能产生丰富的变化。现在的纳米材料就是如此。纳米材料和普通的金属、陶瓷及其他