

普通高等教育材料科学与工程专业规划教材

材料工程基础

西安理工大学 谷臣清 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育材料成型工程类专业教材

材料工程基础

李俊峰 王 强 主编

机械工业出版社

普通高等教育材料科学与工程专业规划教材

材 料 工 程 基 础

主 编 谷臣清
副主编 王快社
参 编 赵敬忠
主 审 丁秉钧



机 械 工 业 出 版 社

本书以粉体材料的加工,有机高分子材料的成形,无机非金属材料的生产、制备,金属材料的冶金、成形加工,钢的相变及金属材料热处理为主线,详尽地讨论了各工程领域所涉及的基本专业技术知识与工程技术基本原理,介绍了上述各材料工程技术领域的新发展与新技术。结合低维材料的发展,介绍了纳米粉体与薄膜的制备及材料的表面处理新技术。

本书为材料科学与工程专业大类本科生的使用教材,也可作为其他相关专业的选修课程教材或教师的教学参考书,并可供相关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

材料工程基础/谷臣清主编 —北京:机械工业出版社,2004 2
普通高等教育材料科学与工程专业规划教材
ISBN 7-111-13441-9

I. 材... II. 谷... 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(2003)第104772号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:张祖凤 董连仁 版式设计:冉晓华 责任校对:王欣
封面设计:张静 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年1月第1版第1次印刷

1000mm×1400mm B5·10印张·387千字

定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

《材料工程基础》是全国教材编写委员会指定的材料科学与工程专业的本科生的专业基础课程教材。该课程的基本教学目标是使学生建立材料工程的整体专业知识结构，全面了解材料工程领域的基本技术，掌握主要工程技术的基本原理与方法。

考虑到材料的属性及基本特性上的差异，对于不同类别的材料，虽然在某些具体工程环节上所采用的技术方法与目的是相同的，然而，在技术控制原则与工程原理的运用上还是有很大的差异。因此，本书在教学内容处理上，采取了按照材料的属性体系分有机高分子材料工程、无机非金属材料工程和金属材料工程三大类别进行安排，并有意识地将各类材料的基本特性融会到相关工程技术与原理的教学内容中，以便学生同时对三大类别的材料有一清楚的认识。如若将材料科学的课程先于该课程开出，则便于学生进一步强化、巩固与提高对相关材料学知识的认识。

本教材为了适应不同学时的要求，在具体教学内容的编写上，注意了学生自学对教材的要求，并提供了部分相关的参考文献。

本书的具体编写分工如下：

西安建筑科技大学王快社执笔第七、八、九、十一、十二章及第十五章的第一、二节内容，兼全书副主编。

西安理工大学赵敬忠执笔第一、二、五、六章及第十五章的第五节内容。

西安理工大学谷臣清执笔绪论、第三、四、十、十三、十四章及第十五章的概论与第三、四节内容。

全书由谷臣清教授主编；西安交通大学丁秉钧教授主审。

书中的显微组织照片由西安理工大学材料科学与工程实验中心葛利玲高级工程师提供。

参加书稿通审工作的还有西安交通大学的李兵虎、王家真、段文新、亢占英、袁青、郭聪慧、王茂林等七位博士，西安理工大学材料科学与工程系的部分教师。

本书是在完成陕西省教改项目——“面向 21 世纪材料类专业教学内容和课程体系改革”基础上编写的，从中吸取了其他高校的经验，注意了材料类专业教学改革对教材提出的新要求。

在本教材的出版过程中，得到了机械工业出版社教材编辑室的极负责任的校

IV

审和精心的指导，得到了西安理工大学教材建设委员会的鼓励与支持。

借此机会谨向主审、参审和给予我们宝贵支持的单位及朋友们致以诚挚的谢意！同时，感谢我们的研究生对于本书编写工作的协助与支持！

最后，真诚期望采用本教材的老师和本书的广大读者给予指正。

编 者

2003年12月

目 录

前言

绪论 1

第一章 粉体工程基础 3

第一节 粉体表征 3

一、粒度与粒径 3

二、颗粒形状 9

第二节 粉体基本特性 11

一、粉体的工艺特性 11

二、粉体基本物理特性 14

习题 16

第二章 粉体加工与处理 17

第一节 粉体制备 17

一、机械法 17

二、物理化学法 20

三、化学合成法 21

第二节 粉体的分级 25

一、筛分分级 25

二、流体分级 27

第三节 混合与造粒 28

一、混合 28

二、造粒 29

第四节 粉体成形 30

一、模压成形 30

二、等静压成形 31

三、轧制成形 33

习题 34

第三章 有机高分子材料成形加工基础 35

第一节 聚物流变学原理 35

VI

一、经典流变学	35
二、聚合物熔体的流变定律	35
第二节 聚合物的成形性	36
一、聚合物的成形性能	36
二、影响聚合物成形性能的因素	39
习题	41
第四章 聚合物成形加工技术及原理	42
第一节 模压成形加工	42
一、模压成形过程及原理	42
二、模压成形控制	43
第二节 聚合物挤出成形加工	43
一、挤出机装备系统	43
二、挤出过程及控制	44
第三节 聚合物注射成形加工	47
一、注射成形装备	47
二、注射成形加工过程与控制	48
三、气辅注射成形技术	50
第四节 聚合物吹塑成形加工	53
一、吹塑成形过程及原理	53
二、吹塑成型的主要方法	53
第五节 泡沫塑料成形加工	55
一、泡沫塑料的发泡方法	55
二、泡沫塑料成形方法	56
第六节 聚合物的连接	57
第七节 橡胶成形技术	58
一、橡胶成形过程	58
二、橡胶成形技术原理	58
三、混炼胶质量的控制	60
习题	61
第五章 硅酸盐类材料的生产及工艺原理	62
第一节 玻璃的生产与加工	62
一、玻璃的生产制备	62
二、玻璃制品成形加工	69
三、玻璃的退火	72
第二节 普通陶瓷的生产制备	74

一、普通陶瓷用原料	74
二、生产工艺过程	77
第三节 耐火材料的生产	87
一、烧结耐火材料	87
二、熔铸耐火材料	88
三、不定形耐火材料生产	89
四、轻质耐火材料	89
第四节 水泥的生产	90
一、硅酸盐水泥	90
二、硅酸盐水泥的生产方式	94
习题	96
第六章 特种陶瓷的生产制备	97
第一节 特种陶瓷原料制备	100
一、碳化物	100
二、氮化物	100
三、氧化物	100
四、硼化物	101
五、复合氧化物及含氧酸盐	101
第二节 成形	102
一、粘剂特性要求及种类	102
二、成形方法及技术要求	103
第三节 烧结	105
一、特种陶瓷材料的烧结方法	105
二、特种陶瓷材料的烧结原理	107
习题	111
第七章 冶金工程基础	112
第一节 火法冶金	112
一、熔炼	112
二、精炼	114
第二节 湿法冶金	115
一、浸出	115
二、固-液分离	116
三、溶液净化	116
四、萃取	117
第三节 电冶金技术及原理	117

VII

一、电化学冶金	118
二、电热学冶金	119
第四节 粉末冶金技术及原理	121
一、金属粉末的制取和准备	121
二、成形	121
三、烧结	121
四、后续处理	122
习题	123
第八章 有色金属冶金	124
第一节 有色金属冶金分类	124
一、全火法流程	124
二、全湿法流程	124
三、火法—湿法联合流程	124
第二节 典型有色金属冶金	125
一、铜、镍的造锍冶炼	125
二、铝冶金	127
三、钨冶金	129
四、钛冶金	130
习题	133
第九章 钢铁冶炼	134
第一节 生铁冶炼	134
一、炼铁原料	134
二、炼铁原理	135
三、造渣、出铁	138
第二节 炼钢	140
一、炼钢原材料	140
二、炼钢基本方法	140
三、炼钢原理	141
四、钢的浇注	145
五、特殊炼钢技术	146
习题	148
第十章 液态金属材料凝固成形	149
第一节 铸造成形	149
一、铸造成形方法	149

二、金属的铸造性能及其对铸件质量的影响	152
第二节 定向凝固技术	160
一、定向凝固工艺方法	161
二、定向凝固组织	161
三、定向凝固技术的应用	162
第三节 快速凝固与晶体材料非晶化技术	163
一、快速凝固技术	163
二、快速凝固材料	165
习题	167
第十一章 金属塑性成形加工	168
第一节 金属轧制成形加工	168
一、热轧	169
二、冷轧	170
三、特殊轧制技术	172
第二节 金属挤压与拉拔成形加工	173
一、挤压成形	173
二、拉拔	176
第三节 锻造	177
一、锻造方法	177
二、锻造工艺规程	178
第四节 金属冲压成形加工	179
一、冲压成形方法	179
二、冲压成形加工种类	180
第五节 金属超塑性成形加工	185
一、超塑性的力学特征	185
二、超塑性的应用	186
习题	186
第十二章 固态金属连接与表面冶金技术	188
第一节 焊接	188
一、焊接方法	188
二、熔焊的冶金学特点	195
三、焊接裂纹及焊接脆性	199
四、金属的焊接性	201
第二节 金属表面冶金技术	201
一、等离子弧喷涂	201

二、激光熔覆技术	205
三、激光表面合金化技术	205
习题	207
第十三章 钢的相变	209
第一节 钢的加热转变	209
一、奥氏体的组织及性能	209
二、奥氏体的形成	209
三、奥氏体形成动力学	212
四、原始组织及化学成分对奥氏体形成的影响	213
五、奥氏体晶粒及晶粒长大	214
第二节 过冷奥氏体分解转变	216
一、过冷奥氏体分解转变动力学	217
二、珠光体转变	219
三、贝氏体转变	224
第三节 马氏体转变	230
一、马氏体的晶体结构	230
二、马氏体转变的特点	231
三、马氏体的组织形态与亚结构	234
四、马氏体转变的热力学分析	238
五、马氏体转变机制及其动力学	240
六、马氏体的力学性能	241
第四节 回火转变	242
一、回火过程中的组织转变	242
二、淬火钢回火后的力学性能	244
习题	246
第十四章 金属热处理与表面改性技术	247
第一节 退火与正火	247
一、退火的目的及工艺方法	247
二、正火的目的及工艺方法	249
第二节 淬火	249
一、钢的淬火目的	249
二、钢的淬火加热温度及淬火组织	249
三、淬火介质及淬火方法	250
四、钢的淬透性与淬硬性	254
五、淬火应力及工件的变形与开裂	256

第三节 回火	258
一、回火加热温度的确定	258
二、回火保温时间的确定	259
三、回火冷却	259
第四节 固溶处理与时效	259
一、固溶处理	259
二、时效	260
三、时效析出与强化机理	260
第五节 钢的表面热处理	261
一、表面淬火	261
二、钢的化学热处理	263
第六节 离子注入技术	267
一、离子注入工艺过程及原理	267
二、离子注入原理	267
三、离子注入表征	268
四、离子注入的特点	271
五、离子注入技术的应用	272
习题	275
第十五章 低维材料制备技术	277
概论	277
第一节 真空蒸发镀	279
一、真空蒸发原理	279
二、真空蒸发方式和设备	280
三、真空蒸发镀工艺	281
第二节 溅射镀	282
一、溅射镀膜原理	282
二、常用溅射方法	284
第三节 离子镀膜	287
一、离子镀膜的基本原理	287
二、常用离子镀膜方法	288
第四节 化学气相沉积	293
一、化学气相沉积(镀膜)基本过程	293
二、化学气相沉积原理	293
三、等离子体增强化学气相沉积(PECVD)	296
第五节 溶胶—凝胶技术	297
一、溶胶—凝胶的原理及过程	297

XII

二、溶胶—凝胶材料特性	301
三、溶胶—凝胶技术应用	302
习题.....	304
参考文献	305

绪 论

材料工程属于工程学门类之一，从广义上讲，它包括从材料的生产到形成产品与应用全过程的各项技术工艺环节。其目的在于经济地而为社会所能接受地生产、使用、开发材料。按材料工程各工艺技术的目的及特性可划分成生产制备、成形加工、性能（力学的与物理、化学的）转化三大基本工程技术领域。按材料属性又划分为有机高分子材料工程、无机非金属材料工程、金属材料工程等三大材料工程体系。

金属材料工程，习惯按工业生产上的程序划分为冶金、铸造、焊接、塑性成形加工、热处理等工程技术体系。其中的冶金工程习惯上还按黑色金属（以钢铁为主）和有色金属再划分为两类。

无机非金属材料工程，习惯上按玻璃、陶瓷、水泥、耐火材料等不同材料的生产制备加工体系划分。在各类体系中还划分成若干分类。

有机高分子材料工程，则习惯将化合物的生产制备归类于化工工程，而将有机高分子材料的成形加工划分为材料工程体系。其中，一般再按加工形式划分为多种类型。

此外，材料工程还包括上述各项工程技术实施过程中所涉及的专用设备及控制系统的设计、制造、安装与调试等工程技术环节，并包括产品在使用过程中的安全运行、延寿与失效分析等。

因此，实际上材料工程又包括了与其他工程类别，如机械工程、自动化控制工程、化工工程等交叉的部分。

本书的内容主要涉及的是与材料直接相关的工程技术内容。仅在个别工程技术环节中涉及一些交叉学科的工程技术知识。

众所周知，材料工程、能源工程、信息工程、生物工程是构筑人类现代文明社会的四大支柱工程技术，并且都是与材料及材料工程赖以生存的。此外，还有上天的航天、航空工程技术和入海的海洋工程技术也都与材料工程息息相关。因此，材料科学与工程的发展和进步，同时关系到整个人类社会的发展与进步；反过来，其他科学、工程领域的发展又进一步推动着材料科学与工程的发展。

事实上，即使在材料科学与工程领域内，科学、技术、新材料也是协调发展的。在人类历史的进程中材料本身经历着巨大的变化，从天然的木、石等发展到简单的人造材料，如陶瓷、玻璃、金属、高分子化合物、半导体材料等；并进一步发展到用优异材料巧妙地组合成和谐而有高性能的器件和装备，如集成线路、

计算机、飞机、潜艇、核反应器、火箭、宇宙飞船、人造卫星等。这些巨大的进展，材料的贡献是显而易见的。但是，材料的巧妙运用丝毫也离不开造就它们的工程技术的提高。工程技术的每一次创新与重大变革都会使材料取得突飞猛进的发展，例如，薄膜技术，超晶格制造技术、粉体材料的超细化技术及纳米材料技术、晶体材料的非晶化技术等，都可研制出用常规技术难以合成或制备的新材料，或解决材料发展过程中难以克服的困难。

但是，材料工程也需要适应社会的需要，才能通过社会的严峻的选择。同时，也需要与其他相关学科协调地发展，相互地吸取营养，共同地健康成长。因此，作为材料工作者还必须了解或熟悉相关学科科技领域的发展。

第一章 粉体工程基础

在材料科学与工程领域，通常将最大线尺寸介于 $0.5\sim 1\text{mm}$ 之间的物质质粒称为颗粒，介于 $0.1\sim 500\mu\text{m}$ 的质粒称为粉末， $1\sim 100\text{nm}$ 之间的质粒称为纳米粉末，更细的称为胶体。粉体通常是指粉末质粒与质粒之间的间隙所构成的集合体。

粉体工程是材料生产与制备不可缺少的工程技术环节，它涉及冶金、矿业、石油、化工、医药、食品、能源、环境等多个工业部门及国民经济领域。近年来，随着材料科学的进步，粉体工程技术的发展，越来越受到重视。

第一节 粉体表征

一、粒度与粒径

粒度与粒径是表征粉体质粒空间尺度的物理量。依测试条件，粉体的质粒可以直接用粒径来度量，也可以采用粒度进行表征。

(一) 粒度与粒径的测试

粒度与粒径的测试方法有多种，如筛分法、沉降法、比表面法、X-射线法、显微镜法等。

这里介绍三种常用的测试方法：

1. 筛分法

所谓筛分法是指用金属丝编制的不同孔径的网筛筛分的方法来标定粉末颗粒的大小。此方法既可以用来测试粉末的粒度或粒径，又可以用于粉末的分选。然而，当前各国所规定的筛系标准并不统一。

美国 Tyler (泰勒) 筛制的分度，是以每英寸长度上的网孔数（网丝直径为 0.053mm ）作为筛号，称为“目”。以目数表征粉末的粒度，目数值越大，孔径越小，粉末越细。筛号的确定是以 200 目为基数，筛孔尺寸按 $\sqrt{2}$ 等比几何级数改变，故相邻号筛孔面积之比为 $\sqrt{2}=1.414$ 。

现在，国际标准化组织（ISO）推荐的标准筛系列，基本沿用了 Tyler 系列。它是取其每隔一个相邻的两个筛子作为此系列的相邻号筛子，并在孔径尺寸上进行了规整处理。因此，此系列筛孔尺寸按 $\sqrt{2}$ 等比几何级数变化，即相邻两筛的筛孔面积之比为 2 倍。ISO 系列与 Tyler 系列的比较见表 1-1。