

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 摇 谷臣清

副主编 摇 王快社

参编 摇 赵敬忠

主审 摇 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 王臣清主编 北京:机械工业出版社,2009.10

普通高等教育材料科学与工程专业规划教材

ISBN 978-7-111-28000-0

I. ①材… II. ①王… 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 (2009) 第 193660 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:王摇欣

封面设计:张摇静 责任印制:路摇琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2009 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

16 开 787 毫米×1092 毫米 16 印张·256 千字

定价:29.00 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) 68995199 网址:www.cmpbook.com

封面无防伪标均为盗版

前 摇 摇 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

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

二〇一〇年 月

目摇摇录

前言	
绪论.....	员
第一章摇粉体工程基础.....	猿
摇第一节摇粉体表征.....	猿
摇摇一、粒度与粒径.....	猿
摇摇二、颗粒形状.....	怨
摇第二节摇粉体基本特性.....	员
摇摇一、粉体的工艺特性.....	员
摇摇二、粉体基本物理特性.....	员
摇习题.....	员
第二章摇粉体加工与处理.....	苑
摇第一节摇粉体制备.....	苑
摇摇一、机械法.....	苑
摇摇二、物理化学法.....	苑
摇摇三、化学合成法.....	苑
摇第二节摇粉体的分级.....	缘
摇摇一、筛分分级.....	缘
摇摇二、流体分级.....	苑
摇第三节摇混合与造粒.....	愿
摇摇一、混合.....	愿
摇摇二、造粒.....	愿
摇第四节摇粉体成形.....	猿
摇摇一、模压成形.....	猿
摇摇二、等静压成形.....	猿
摇摇三、轧制成形.....	猿
摇习题.....	猿
第三章摇有机高分子材料成形加工基础.....	猿
摇第一节摇聚物流变学原理.....	猿

摇摇一、经典流变学	猿
摇摇二、聚合物熔体的流变定律	猿
摇摇第二节摇摇聚合物的成形性	猿
摇摇一、聚合物的成形性能	猿
摇摇二、影响聚合物成形性能的因素	猿
摇摇习题	源
第四章摇摇聚合物成形加工技术及原理	源
摇摇第一节摇摇模压成形加工	源
摇摇一、模压成形过程及原理	源
摇摇二、模压成形控制	源
摇摇第二节摇摇聚合物挤出成形加工	源
摇摇一、挤出机装备系统	源
摇摇二、挤出过程及控制	源
摇摇第三节摇摇聚合物注射成形加工	源
摇摇一、注射成形装备	源
摇摇二、注射成形加工过程与控制	源
摇摇三、气辅注射成形技术	缘
摇摇第四节摇摇聚合物吹塑成形加工	缘
摇摇一、吹塑成形过程及原理	缘
摇摇二、吹塑成型的主要方法	缘
摇摇第五节摇摇泡沫塑料成形加工	缘
摇摇一、泡沫塑料的发泡方法	缘
摇摇二、泡沫塑料成形方法	缘
摇摇第六节摇摇聚合物的连接	缘
摇摇第七节摇摇橡胶成形技术	缘
摇摇一、橡胶成形过程	缘
摇摇二、橡胶成形技术原理	缘
摇摇三、混炼胶质量的控制	源
摇摇习题	源
第五章摇摇硅酸盐类材料的生产及工艺原理	源
摇摇第一节摇摇玻璃的生产与加工	源
摇摇一、玻璃的生产制备	源
摇摇二、玻璃制品成形加工	源
摇摇三、玻璃的退火	源
摇摇第二节摇摇普通陶瓷的生产制备	源

摇摇一、普通陶瓷用原料	苑
摇摇二、生产工艺过程	苑
摇摇第三节摇摇耐火材料的生产	苑
摇摇一、烧结耐火材料	苑
摇摇二、熔铸耐火材料	愿
摇摇三、不定形耐火材料生产	愿
摇摇四、轻质耐火材料	愿
摇摇第四节摇摇水泥的生产	怨
摇摇一、硅酸盐水泥	怨
摇摇二、硅酸盐水泥的生产方式	怨
摇摇习题	怨
第六章摇摇特种陶瓷的生产制备	怨
摇摇第一节摇摇特种陶瓷原料制备	员
摇摇一、碳化物	员
摇摇二、氮化物	员
摇摇三、氧化物	员
摇摇四、硼化物	员
摇摇五、复合氧化物及含氧酸盐	员
摇摇第二节摇摇成形	员
摇摇一、粘结剂特性要求及种类	员
摇摇二、成形方法及技术要求	员
摇摇第三节摇摇烧结	员
摇摇一、特种陶瓷材料的烧结方法	员
摇摇二、特种陶瓷材料的烧结原理	员
摇摇习题	员
第七章摇摇冶金工程基础	员
摇摇第一节摇摇火法冶金	员
摇摇一、熔炼	员
摇摇二、精炼	员
摇摇第二节摇摇湿法冶金	员
摇摇一、浸出	员
摇摇二、固液分离	员
摇摇三、溶液净化	员
摇摇四、萃取	员
摇摇第三节摇摇电冶金技术及原理	员

摇摇一、电化学冶金	页愿
摇摇二、电热学冶金	页愿
摇摇第四节摇摇粉末冶金技术及原理	页愿
摇摇一、金属粉末的制取和准备	页愿
摇摇二、成形	页愿
摇摇三、烧结	页愿
摇摇四、后续处理	页愿
摇摇习题	页愿
第八章摇摇有色金属冶金	页愿
摇摇第一节摇摇有色金属冶金分类	页愿
摇摇一、全火法流程	页愿
摇摇二、全湿法流程	页愿
摇摇三、火法—湿法联合流程	页愿
摇摇第二节摇摇典型有色金属冶金	页缘
摇摇一、铜、镍的造钨冶炼	页缘
摇摇二、铝冶金	页苑
摇摇三、钨冶金	页愿
摇摇四、钛冶金	页园
摇摇习题	页苑
第九章摇摇钢铁冶炼	页源
摇摇第一节摇摇生铁冶炼	页源
摇摇一、炼铁原料	页源
摇摇二、炼铁原理	页缘
摇摇三、造渣、出铁	页愿
摇摇第二节摇摇炼钢	页园
摇摇一、炼钢原材料	页园
摇摇二、炼钢基本方法	页园
摇摇三、炼钢原理	页源
摇摇四、钢的浇注	页缘
摇摇五、特殊炼钢技术	页苑
摇摇习题	页愿
第十章摇摇液态金属材料凝固成形	页愿
摇摇第一节摇摇铸造成形	页愿
摇摇一、铸造成形方法	页愿

摇摇二、金属的铸造性能及其对铸件质量的影响	员圆
摇摇第二节摇摇定向凝固技术	员圆
摇摇一、定向凝固工艺方法	员员
摇摇二、定向凝固组织	员员
摇摇三、定向凝固技术的应用	员圆
摇摇第三节摇摇快速凝固与晶体材料非晶化技术	员猿
摇摇一、快速凝固技术	员猿
摇摇二、快速凝固材料	员缘
摇摇习题	员苑
第十一章摇摇金属塑性成形加工	员愿
摇摇第一节摇摇金属轧制成形加工	员愿
摇摇一、热轧	员怨
摇摇二、冷轧	员园
摇摇三、特殊轧制技术	员园
摇摇第二节摇摇金属挤压与拉拔成形加工	员猿
摇摇一、挤压成形	员猿
摇摇二、拉拔	员远
摇摇第三节摇摇锻造	员苑
摇摇一、锻造方法	员苑
摇摇二、锻造工艺规程	员愿
摇摇第四节摇摇金属冲压成形加工	员怨
摇摇一、冲压成形方法	员怨
摇摇二、冲压成形加工种类	员园
摇摇第五节摇摇金属超塑性成形加工	员缘
摇摇一、超塑性的力学特征	员缘
摇摇二、超塑性的应用	员远
摇摇习题	员远
第十二章摇摇固态金属连接与表面冶金技术	员愿
摇摇第一节摇摇焊接	员愿
摇摇一、焊接方法	员愿
摇摇二、熔焊的冶金学特点	员缘
摇摇三、焊接裂纹及焊接脆性	员怨
摇摇四、金属的焊接性	圆员
摇摇第二节摇摇金属表面冶金技术	圆员
摇摇一、等离子弧喷涂	圆员

摇摇二、激光熔覆技术	圆缘
摇摇三、激光表面合金化技术	圆缘
摇摇习题	圆苑
第十三章 摇钢的相变	圆怨
摇第一节 摇钢的加热转变	圆怨
摇摇一、奥氏体的组织及性能	圆怨
摇摇二、奥氏体的形成	圆怨
摇摇三、奥氏体形成动力学	圆圆
摇摇四、原始组织及化学成分对奥氏体形成的影响	圆猿
摇摇五、奥氏体晶粒及晶粒长大	圆源
摇第二节 摇过冷奥氏体分解转变	圆远
摇摇一、过冷奥氏体分解转变动力学	圆苑
摇摇二、珠光体转变	圆怨
摇摇三、贝氏体转变	圆原
摇第三节 摇马氏体转变	圆苑
摇摇一、马氏体的晶体结构	圆苑
摇摇二、马氏体转变的特点	圆员
摇摇三、马氏体的组织形态与亚结构	圆源
摇摇四、马氏体转变的热力学分析	圆愿
摇摇五、马氏体转变机制及其动力学	圆苑
摇摇六、马氏体的力学性能	圆员
摇第四节 摇回火转变	圆圆
摇摇一、回火过程中的组织转变	圆圆
摇摇二、淬火钢回火后的力学性能	圆原
摇摇习题	圆远
第十四章 摇金属热处理与表面改性技术	圆苑
摇第一节 摇退火与正火	圆苑
摇摇一、退火的目的及工艺方法	圆苑
摇摇二、正火的目的及工艺方法	圆怨
摇第二节 摇淬火	圆怨
摇摇一、钢的淬火目的	圆怨
摇摇二、钢的淬火加热温度及淬火组织	圆怨
摇摇三、淬火介质及淬火方法	圆圆
摇摇四、钢的淬透性与淬硬性	圆源
摇摇五、淬火应力及工件的变形与开裂	圆缘

摇第三节摇回火	圆怨
摇摇一、回火加热温度的确定	圆怨
摇摇二、回火保温时间的确定	圆怨
摇摇三、回火冷却	圆怨
摇第四节摇固溶处理与时效	圆怨
摇摇一、固溶处理	圆怨
摇摇二、时效	圆怨
摇摇三、时效析出与强化机理	圆怨
摇第五节摇钢的表面热处理	圆京
摇摇一、表面淬火	圆京
摇摇二、钢的化学热处理	圆猿
摇第六节摇离子注入技术	圆苑
摇摇一、离子注入工艺过程及原理	圆苑
摇摇二、离子注入原理	圆苑
摇摇三、离子注入表征	圆愿
摇摇四、离子注入的特点	圆贡
摇摇五、离子注入技术的应用	圆园
摇习题	圆缘
第十五章摇低维材料制备技术摇	圆苑
摇概论	圆苑
摇第一节摇真空蒸发镀	圆怨
摇摇一、真空蒸发原理	圆怨
摇摇二、真空蒸发方式和设备	圆园
摇摇三、真空蒸发镀工艺	圆京
摇第二节摇溅射镀	圆园
摇摇一、溅射镀膜原理	圆园
摇摇二、常用溅射方法	圆源
摇第三节摇离子镀膜	圆苑
摇摇一、离子镀膜的基本原理	圆苑
摇摇二、常用离子镀膜方法	圆愿
摇第四节摇化学气相沉积	圆猿
摇摇一、化学气相沉积(镀膜)基本过程	圆猿
摇摇二、化学气相沉积原理	圆猿
摇摇三、等离子体增强化学气相沉积(孕悦悦)	圆苑
摇第五节摇溶胶—凝胶技术	圆苑
摇摇一、溶胶—凝胶的原理及过程	圆苑

摇摇二、溶胶—凝胶材料特性	猿员
摇摇三、溶胶—凝胶技术应用	猿圆
摇摇习题	猿源
参考文献	猿缘

绪摇摇论

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、

圆

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 $10^3 \sim 10^6 \mu\text{m}$ 之间的物质质粒称为颗粒，介于 $10^1 \sim 10^3 \mu\text{m}$ 的质粒称为粉末， $10^0 \sim 10^1 \mu\text{m}$ 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、载原射线法、显微镜法等。

这里介绍三种常用的测试方法：

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。

美国泰勒(泰勒)筛制的分度，是以每英寸长度上的网孔数(网丝直径为 10^{-4}m)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 20 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 $\sqrt{2}$ 倍。

现在，国际标准组织(ISO)推荐的标准筛系列，基本沿用了泰勒系列。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 系列与泰勒系列的比较见表 1-1。

提取多组样品，而且每组样品的被测粉体粒子个数不少于 500 个。对于粒径分布宽的粉体，最好取 500 个以上。

猿 沉降法

沉降分析法是通过监测颗粒在液体内的沉降速度计算出颗粒粒度的方法。颗粒的沉降速度由检测已知深度的悬浮液浓度或颗粒在容器底部质量增长速率决定。这种方法测量的颗粒粒度又称为斯托克斯粒度，当然，计算粒度时是假设应用范围是在斯托克斯定律成立的基础上。因此沉降法所测试的结果存在一定误差。沉降法常使用的测试仪有两种：

(员) 沉降天平 它是用天平来称量一定时间间隔内颗粒的累积沉降质量，也称为沉降天平法。以时间和累积质量为坐标，沉降天平可自动画出阶梯型沉降曲线。

用沉降天平法时，引起误差的主要原因有：

员) 粉体颗粒形状的不规则，即非球状。

圆) 颗粒没有完全分散开。

猿) 沉降管器壁的影响。

源) 由于温度梯度或机械振动等影响颗粒的沉降。

缘) 在沉降过程中伴随有气体或气泡的产生——沉降过程中颗粒之间的相互作用所致。

远) 布朗运动对颗粒沉降的影响。

苑) 沉降曲线图解法计算引起的误差，因此在具体操作时应该引起注意。

(圆) 光透过法 与沉降天平法累积技术不同，光透过法属于增量分析法。该法测量速度比较快，也没有沉降天平法固有的沉降盘引起振动的缺点，由于配合使用离心沉降，使测量的最细颗粒度可以小至 0.1 μm。

此方法的特点是：沉降槽容积小，悬浮液浓度稀薄，因此悬浮液用量少。但光透过法也存在一些问题，如这种方法通常是假定光被颗粒阻隔仅与颗粒投影面积有关。这个假定还认为颗粒是绝对不透明的，颗粒间或颗粒与沉降容器壁间没有反射，以及悬浮液浓度低到足以使两个颗粒不会同时出现在光柱的同一方向上。虽然可把可见光换成 载光以克服上述部分缺点，但也仅适用于化学均匀的颗粒物质。

对于 0.1 μm ~ 1 μm 的细小颗粒，由于此时粒度已同可见光波长相当，而发生十分复杂的散射现象，其消光系数随粒度变化很大，为此应采用 载光作为入射光源。这样既避免了细颗粒组分的散射效应，又可直接测得悬浮液的颗粒浓度，而不像用可见光那样，直接得到的仅是颗粒的有效投影面积，这便是 载光透过法的优越之处。

(二) 粒度及粒径的表征