

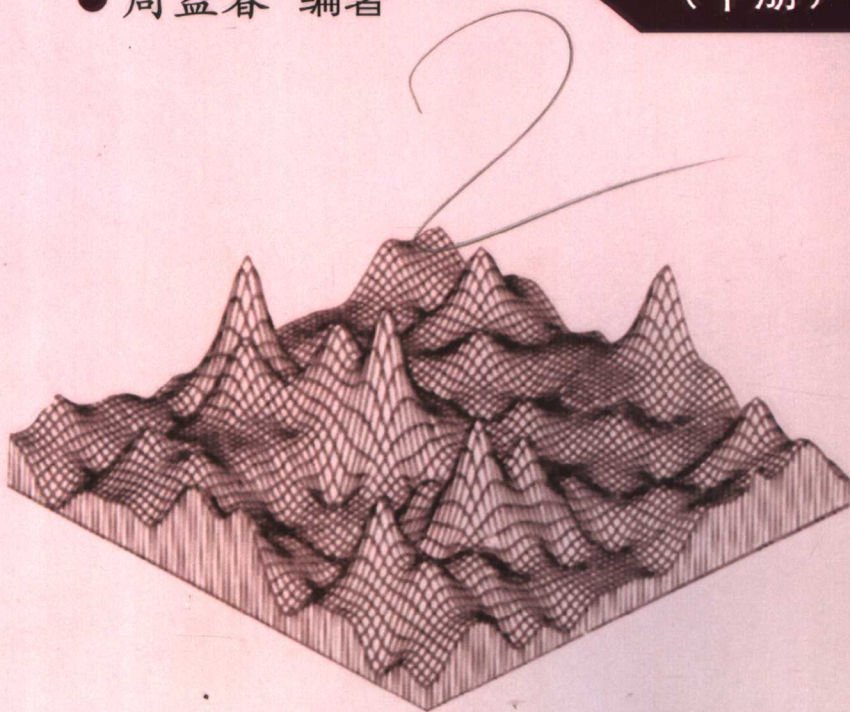
湖南省研究生精品课程

# 材料固体力学

*Solid Mechanics in Materials*

● 周益春 编著

(下册)



科学出版社

[www.sciencepress.com](http://www.sciencepress.com)

# 材料固体力学

(下 册)

周益春 编著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

全书系统阐述材料在制备(制造)、加工和使用过程中遇到的力学问题,比较全面系统地介绍了金属结构材料、非金属结构材料和各种功能材料的弹性变形、塑性变形、黏弹塑性变形以及在各种载荷作用下的破坏理论。全书分上、下两册共12章。上册为第1~6章是基础部分,下册为第7~12章是提高部分。下册主要讨论不连续的、非均匀的固体在复杂载荷作用下的复杂问题:第7章考虑时间因素对固体力学行为的影响,即讨论材料的黏弹塑性变形问题;第8章考虑不连续固体的力学行为,即讨论含有裂纹材料的力学行为;第9章考虑细观向纳观过渡时材料的力学行为,即讨论应变梯度理论及其应用问题;第10~12章考虑非机械载荷对材料变形和破坏的影响,即主要讨论非机械载荷作用的特征和非机械载荷与机械载荷的耦合作用,这里的非机械载荷主要以热载荷为研究内容。

本书可作为材料科学与工程、力学等专业研究生的教材,亦可作为有关专业教师、科研及工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

材料固体力学·下册/周益春编著. —北京: 科学出版社, 2005

ISBN 7-03-015761-3

I. 材… II. 周… III. 材料力学: 固体力学 IV. TB301

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第067027号

责任编辑: 田士勇 于宏丽 / 责任校对: 刘小梅

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 王 浩

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2006年1月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006年1月第一次印刷 印张: 22 3/4 插页: 1

印数: 1—3 000 字数: 434 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

## 序

当前,材料科技人员在研究材料力学性质时,主要着重于测定材料的形变、断裂、疲劳与蠕变等性能及其与材料组织结构的关系,以及生产过程乃至环境的影响,而对材料在受力状态下的行为了解不深,也不够重视;因此,在充分发挥材料在不同构件中的作用和有效使用材料之间存在问题,遇到问题也难以做出定量分析.该书从应力理论、应变理论出发,定量地讨论了弹性、屈服、塑性、黏弹塑性、断裂等基本问题,还讨论了应变梯度理论、热应力、激光作用下的材料力学行为,这些都是材料科学中十分关注的问题.通过对该书的学习,无疑对材料科学工作者或机械设计人员都会大有裨益,即,不但对材料的力学性质有深入的了解,而且学会对材料力学行为的定量分析方法.特别在该书每章后面列有若干供思考的习题,并给出答案,这对研究生或有关专业人员对材料固体力学的深入了解或思考有很大帮助,也是当前材料科学工作者需要重视的一个重要方面.

作者周益春教授是一位年轻有为的科学家,早年在中国科学院力学研究所获得博士学位后,又在日本东北大学进修.2002年任湘潭大学材料与光电物理学院院长,次年被授为“湖南省芙蓉学者计划”特聘教授,现任湘潭大学副校长并兼任“先进材料及其流变特性教育部重点实验室”主任.周益春教授从20世纪90年代初就在湘潭大学开始探索性地为材料类研究生讲授固体力学课程,同时他还指导研究生开展材料力学性能的研究工作,并取得系列创新性结果.因此,《材料固体力学》不仅凝结了周益春教授十余年的讲授经验,也包括了他的研究集体有关材料力学行为方面的研究成果.该书的出版将有利于我国材料科技工作者利用固体力学知识解决材料在制备、加工和使用过程中遇到的力学问题,并进一步推动固体力学与材料科学的交叉与结合.

为此,我乐于作序并向读者推荐.

师昌绪

2005年4月11日

## 前 言

材料是人类进化史上的里程碑, 现代文明的重要支柱. 当前材料科学与工程领域正进入一个史无前例的创新发展时期, 新材料是其他高新技术发展的支撑和先导, 其研究水平和产业化规模已成为衡量一个国家和地区经济发展、科技进步和国防实力的重要标志. “材料科学与工程”是研究材料组成、结构、生产过程、材料性能与使用效能以及它们之间关系的一门学科. 材料科学的一个重要属性就是多学科交叉, 它是物理、力学、化学、冶金学、计算科学相互融合与交叉的结果. “固体力学”是研究固态物质和结构(构件)受力而发生的变形、流动和破坏的一门学科. 固态物质和结构的多样化, 使其受力后的响应丰富多彩, 如弹性、塑性、蠕变、断裂、疲劳等. 固体力学学科和材料学科都在现代工业中扮演了重要的角色. 随着科学技术的发展, 固体力学学科和材料学科的交叉越来越明显. 为了设计和制造出高效、安全、低耗和环保的材料, 并对材料的使用效率及使用寿命有一个比较明确的预测, 就必须对材料在制备(制造)、加工和使用过程中遇到的, 如材料的力学行为和破坏等, 有关力学问题有一个清晰的认识.

因此, “材料科学与工程”专业的研究生或科研人员就迫切需要有固体力学的知识. 为了向材料科学与工程的研究生和科技工作者介绍材料学科中的固体力学知识, 探讨材料学科前沿研究中“力学与材料的学科交叉”问题, 作者从 20 世纪 90 年代初开始探索性地为材料专业的研究生讲授“固体力学”课程. 众所周知, 国内外已经有许多固体力学方面的教科书或专著, 如《材料力学》、《弹性力学》、《塑性力学》、《热应力》、《本构关系》、《断裂力学》等, 但这些书的主要读者和对象是以“力学”为专业的研究生或者科研人员. 以“材料科学与工程”为专业的研究生或科研人员很难将与力学有关的这些教科书或者专著全部学习完, 这就需要有一本这样的书: 既能够包含教科书的内容, 又包含专著的内容; 既能使“材料科学与工程”专业的研究生或者科研人员在 80 学时左右的有限时间内掌握迫切需要的固体力学知识, 又能对关于“用固体力学解决材料中的某些问题”的国际前沿知识有所了解.

在科技部“863”材料领域项目(2003AA331090)、科技部“863”激光技术领域青年基金项目(863-410-96-9)、两个国家自然科学基金面上项目(19772043,

10072052)、教育部留学回国人员基金重点项目(教外司留[2002]247号)、教育部跨世纪人才基金项目(教技函[2002]48)、湖南省“芙蓉学者计划”特聘教授项目(湘教通[2003]231号)等的资助下,作者在固体力学与材料科学与工程交叉领域,尤其是涂层和薄膜的制备与物理力学性能方面进行了一些尝试,部分成果在本书的下册中有所体现.作为湖南省和湘潭大学研究生的精品课程(湘财教指[2003]48号),本书不仅是作者十余年讲授经验的总结,更是力学界、材料界的前辈们,如师昌绪先生、郑哲敏先生、李恒德先生、黄克智先生、白以龙先生、杨卫先生、袁龙蔚先生、黄筑平教授、段祝平教授、杨奇斌教授等鼓励的结果,相当多的内容直接来自于他们的专著,师昌绪先生还专门为本书作了序.不仅如此,十余年间听过该课的硕士和博士研究生们提出了许多宝贵的意见,尤其是龙士国、肖良红、虞学红、黄勇力、贺军、章莎等同学,他们帮我打印文字、画图、编写习题和习题答案,替我为低年级同学讲解习题课.在此,对所有引用成果的作者、项目支持的有关部门、指导我的老师、帮助我的同学们表示深深的感谢.

由于材料固体力学涉及面太宽,作者水平有限,本书无论从选材,还是问题的提炼等都是很不完善的.为此,深切期待着广大读者的指正与帮助.

周益春

湘潭大学材料与光电物理学院

湘潭大学先进材料及其流变特性教育部重点实验室

2004年12月

# 目 录

## 上 册

序

前言

绪论	1
§0.1 什么是材料科学与工程?	1
§0.2 先进材料学科的发展趋势	3
§0.3 什么是固体力学?	5
§0.4 材料学科的迅速发展对固体力学提出的挑战	7
§0.5 内容概述	10
第 1 章 应力理论	12
§1.1 外力和应力	12
§1.2 张量理论初步	16
§1.3 平衡微分方程和剪应力互等定律	26
§1.4 任意斜面上的应力和应力边界条件	28
§1.5 应力分量转换公式	31
§1.6 主应力和应力不变量	33
§1.7 球形应力张量和应力偏量张量	37
§1.8 最大剪应力和八面体剪应力	40
§1.9 应力状态和应力圆	45
§1.10 柱面坐标系和球面坐标系中的应力分量和平衡微分方程	50
习题	53
第 2 章 应变理论	55
§2.1 位移和应变	55
§2.2 应变张量的性质	63
§2.3 应变协调方程	69
§2.4 由应变求位移	71
§2.5 柱面和球面坐标系中的几何方程	76
习题	77
第 3 章 弹性本构关系和弹性问题的求解	79
§3.1 广义虎克定律	79
§3.2 应变能与应变余能	85

§3.3	虚功原理和最小势能原理 .....	88
§3.4	功的互等定理 .....	94
§3.5	里茨法和伽辽金法 .....	97
§3.6	弹性力学问题的微分提法 .....	102
§3.7	位移解法 .....	104
§3.8	应力解法 .....	107
§3.9	应力函数解法 .....	111
§3.10	叠加原理 .....	114
§3.11	解的唯一性定理 .....	116
§3.12	圣维南原理 .....	118
	习题 .....	119
<b>第 4 章</b>	<b>弹性平面问题 .....</b>	<b>123</b>
§4.1	平面问题及其分类 .....	123
§4.2	平面问题的求解 .....	129
§4.3	用直角坐标解平面问题 .....	134
§4.4	极坐标中的平面问题 .....	147
§4.5	平面问题的复变函数解法 .....	168
§4.6	保角变换解法 .....	192
	习题 .....	209
<b>第 5 章</b>	<b>屈服准则和塑性本构关系 .....</b>	<b>215</b>
§5.1	屈服条件 .....	215
§5.2	两个常用的屈服准则 .....	224
§5.3	弹塑性应力-应变关系的特点及几种理想模型 .....	232
§5.4	加卸载条件和加载曲面 .....	237
§5.5	本构关系的增量理论 .....	244
§5.6	简单加载时的全量理论 .....	260
§5.7	简单弹塑性问题 .....	270
	习题 .....	289
<b>第 6 章</b>	<b>塑性平面应变问题和极限分析 .....</b>	<b>292</b>
§6.1	刚塑性平面应变问题的基本特点和基本方程 .....	292
§6.2	应力方程的特征线 .....	297
§6.3	特征线(滑移线)的基本性质 .....	300
§6.4	简单应力状态 .....	306
§6.5	边界条件 .....	308
§6.6	用滑移线场理论求解塑性极限载荷的例题 .....	317



§6.7 刚塑性薄圆板的轴对称弯曲	326
附录 特征线	333
习题	335
参考文献	338
主题索引	347
部分习题参考答案	353

## 下 册

## 序

## 前言

<b>第 7 章 黏弹塑性本构关系</b>	363
§7.1 固体材料动力特性的某些实验结果	363
§7.2 黏弹性理论	367
§7.3 过应力模型理论	374
§7.4 弹黏塑性模型理论和 Perzyna 本构方程	377
§7.5 拟线性本构方程理论	384
§7.6 Bodner-Partom 本构理论	386
§7.7 Zerilli-Armstrong 本构模型	392
§7.8 弹黏塑性空间球对称问题	394
§7.9 弹黏塑性梁问题	398
§7.10 电子束引起的冲击波和层裂	401
习题	406
<b>第 8 章 均质材料断裂力学</b>	410
§8.1 传统强度理论和裂纹的分类	410
§8.2 Westergaard 应力函数	415
§8.3 I 型裂纹尖端附近的弹性应力场	417
§8.4 II 型和 III 型裂纹尖端附近的弹性应力场	422
§8.5 应力强度因子和应力强度因子的解析求法	426
§8.6 应力强度因子的权函数求法	447
§8.7 求应力强度因子的数值法	453
§8.8 求应力强度因子的试验法	465
§8.9 热应力强度因子	466
§8.10 小范围屈服下的塑性修正	473
§8.11 断裂判据和断裂韧性	485
§8.12 弹塑性断裂力学	492

习题	499
<b>第 9 章 应变梯度理论及其应用</b>	504
§9.1 CS 应变梯度塑性理论——偶应力理论	504
§9.2 应变梯度塑性 SG 理论——伸长和旋转梯度理论	515
§9.3 基于细观机制的应变梯度塑性理论(MSG)	524
§9.4 二维平面弹性问题和应变梯度对应力集中的影响	534
§9.5 考虑应变梯度效应后裂纹尖端的应力场	540
习题	553
<b>第 10 章 热应力</b>	555
§10.1 变形体的热力学基础	555
§10.2 热弹性体的本构关系	559
§10.3 热弹性基本方程及其求解	561
§10.4 平面热应力问题	566
§10.5 板中的热应力	573
§10.6 热冲击和热冲击阻抗的估算	579
§10.7 多层介质中的热应力	587
§10.8 热波理论	593
§10.9 耦合热弹性问题	599
§10.10 耦合热弹塑性问题	607
习题	612
<b>第 11 章 激光诱导反冲塞效应</b>	616
§11.1 激光诱导反冲塞效应的实验现象	616
§11.2 激光诱导反冲塞效应的温度场及热弹性板分析	622
§11.3 反冲塞效应的剪切变形分析	637
§11.4 反冲塞效应的屈曲分析	645
习题	651
<b>第 12 章 颗粒增强金属基复合材料的激光热冲击与热疲劳破坏效应</b>	652
§12.1 颗粒增强金属基复合材料的激光热冲击破坏实验	652
§12.2 PMMC 激光热-力作用的理论分析	663
§12.3 PMMC 的激光热-力作用的数值模拟	673
§12.4 PMMC 的激光热疲劳破坏实验	683
§12.5 PMMC 激光热疲劳的数值模拟	690
习题	697
<b>参考文献</b>	698
<b>主题索引</b>	707
<b>部分习题参考答案</b>	713

### 关于本书

本书系统阐述材料在制备(制造)、加工和使用过程中遇到的力学问题, 比较全面系统地介绍了金属结构材料、非金属结构材料和各种功能材料的弹性变形、塑性变形、黏弹塑性变形以及在各种载荷作用下的破坏理论。全书分为上、下两册, 共12章。下册包括第7~12章, 主要讨论不连续的、非均匀的固体在复杂载荷作用下的复杂问题: 第7章考虑时间因素对固体力学行为的影响, 即讨论材料的黏弹塑性变形问题; 第8章考虑不连续固体的力学行为, 即讨论含有裂纹材料的力学行为; 第9章考虑细观向纳观过渡时材料的力学行为, 即讨论应变梯度理论及其应用问题; 第10~12章考虑非机械载荷对材料变形和破坏的影响, 即主要讨论非机械载荷作用的特征和非机械载荷与机械载荷的耦合作用, 热载荷为主要研究内容。

本书可作为材料科学与工程、力学等专业研究生的教材, 亦可作为相关学科的专业教师、科研与工程技术人员的参考书。

### 关于作者

周益春, 男, 1963年生, 2005年国家杰出青年基金获得者, 教育部跨世纪人才基金获得者, 湖南省“芙蓉学者计划”特聘教授。1985年、1988年和1994年分别在湘潭大学物理专业、国防科技大学工程光学专业和中国科学院力学研究所固体力学专业获得学士、硕士和博士学位; 1996年被聘为湘潭大学教授; 1998年被聘为中国科学院力学研究所博士生导师; 1999年1月~2001年8月在日本东北大学做访问教授; 现任湘潭大学副校长。曾获得国家级教学成果二等奖(排名第一), 省部级科技进步一等奖(排名第二)和二等奖(排名第一), 省级教学成果一等奖(排名第一), 国家发明专利2项。目前主要从事涂层和薄膜的制备及物理力学性能的教学和科研工作。已发表论文100余篇, 其中近5年在Appl. Phys. Lett.、Acta Mater.等刊物上发表SCI检索论文45篇, EI检索论文44篇。

### 相关书目

材料的电磁基础

韦丹著

材料固体力学(上、下册)

周益春 编著

非均质材料物理

南策文 著

ISBN 7-03-015761-3



9 787030 157614 >

ISBN 7-03-015761-3

定价: 45.00 元

销售分类建议: 材料学; 物理学

试读结束 请登录会员 在线购买: www.ertongbook.com