

金属力学

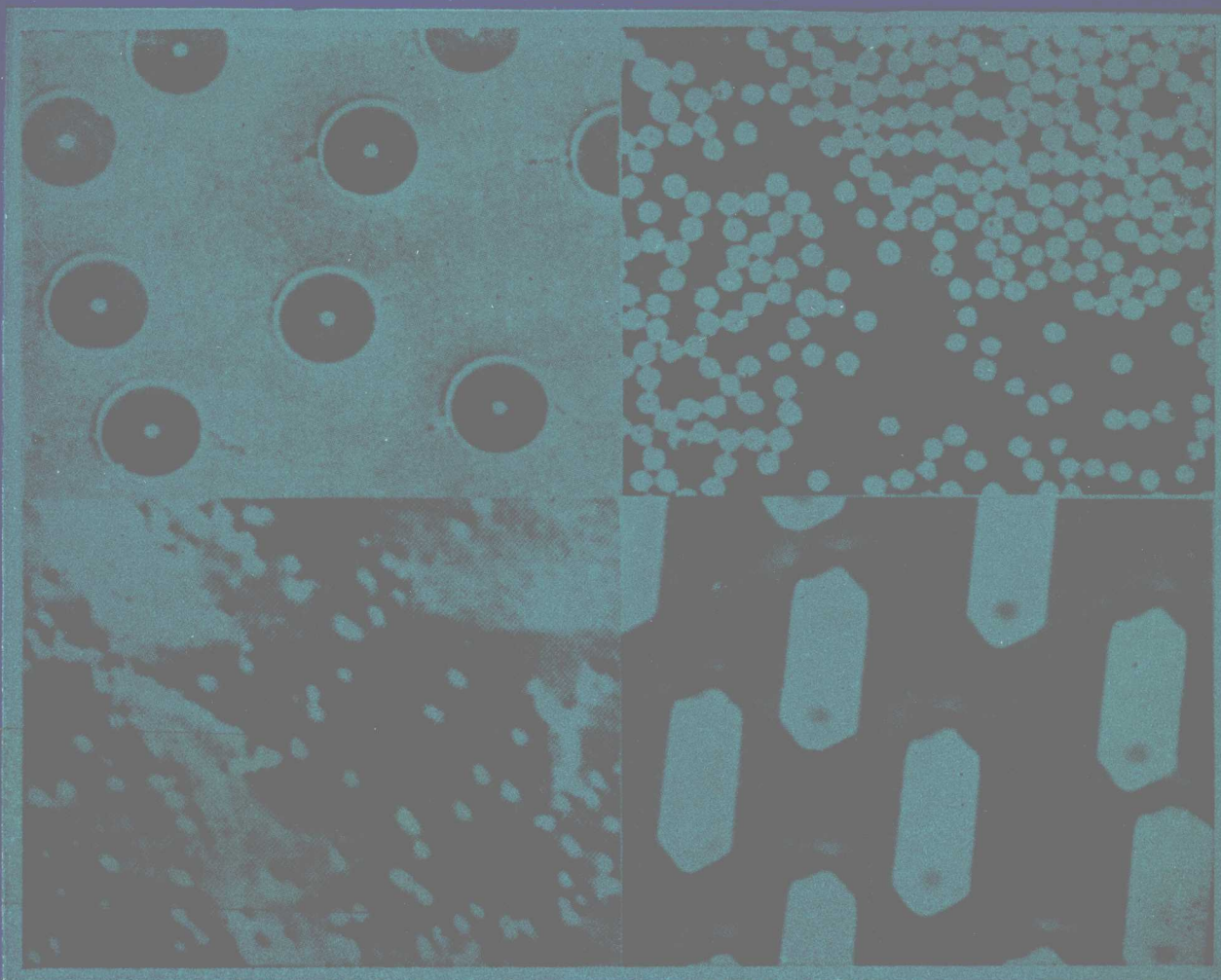
原理及应用

[美国] M.A. Meyers 著

[巴西] K.K. Chawla

程莉 杨卫 译 黄克智 校

高等教育出版社



〔美国〕M. A. Meyers 著
〔巴西〕K. K. Chawla

金属力学

原理及应用

程 莉 译
杨 卫
黄克智 校

江苏工业学院图书馆
藏书章

132.1--103.0 力学
高等教育出版社

内 容 简 介

金属力学一书由“变形力学”、“变形金属学”、“强化机制”、“力学试验”四篇共二十一章贯穿而成。第一篇按变形的次序介绍了弹性、塑性与断裂理论, 奠定了变形的力学基础。第二篇从金属学的角度探讨了各种晶体缺陷的几何学、静力学与动力学特征, 阐述了基于位错运动的变形金属学。第三篇逐项讨论了加工硬化、固溶硬化、沉淀和弥散硬化、纤维增强、马氏体强化和晶界强化等强化机制的力学与金属学理论。最后一篇中介绍了各种力学试验, 包括拉伸、硬度、成形性、断裂、蠕变和疲劳试验。书中每章末均附有大量习题和参考文献。书末还附有详尽的中英文索引。

本书可作为工程力学、材料、冶金和机械类有关专业的教科书或教学参考书, 也可作为上述专业的科研工作者和工程技术人员的参考用书。

本书译自Prentice Hall, Inc. 出版的〔美〕Marc André Meyers和〔巴西〕Krishan Kumar Chawla 著MECHANICAL METALLURGY一书。

Original English language edition published by Prentice Hall Inc.

Copyright © 1983 by Prentice Hall Inc.

All Rights Reserved

[京] 112 号

〔美国〕M. A. Meyers 著
〔巴西〕K. K. Chawla

金 属 力 学

原理及应用

程 莉 译 黄克智 校
杨 卫

*

高等教育出版社出版

新华书店总店北京科技发行所发行

高等教育出版社印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 40 字数 920 000

1992 年 5 月第 1 版 1992 年 5 月第 1 次印刷

印数 0 001—1 321

ISBN7—04—003092—6/TB·175

定价 18.60 元

序

金属对外力的响应是其最重要的特征。金属在现代文明的各方面得到应用，是和其在使用中能承受外力而不致破裂、塑性变形或弱化的能力分不开的。我们经常觉察到，当设计机器、发动机、工具、大小结构物以及各种各样的仪器时，均必须考虑其所含金属的力学性能以及在使用中可能发生的性能变化。上述金属成品是由适当机械加工成形的铸件、板材、棒材和线材来制造和装配的，这样，即使在投入使用之前，它们所用金属的力学性能也是至关重要的。

在大量的工程应用中，力学性能举足轻重，而所用到的各种新老合金又数不胜数，于是便促进了许许多多金属力学的研究，并积累了堆积如山的各种数据。为解释这些数据并演绎出基础性的一般原理，人们借助于物理学、化学和数学这些基础科学，使金属力学在理论方面得到了持续发展。同时，人们还致力于发现控制金属对外力响应的基本机制，提出一系列的理论及方程来定量地衡量上述响应，并对金属在使用中所能遇到的各种情况预测这些响应。

我们致力于发展的知识及定量认识不仅限于工程师、制造商和用户关心的物体尺度范围，而且涉及微观和原子的尺度范围，在另一范围中发生的基本事件决定工程性质。这一目标在20世纪，特别是在最近数十年取得的进展的确令人瞩目。

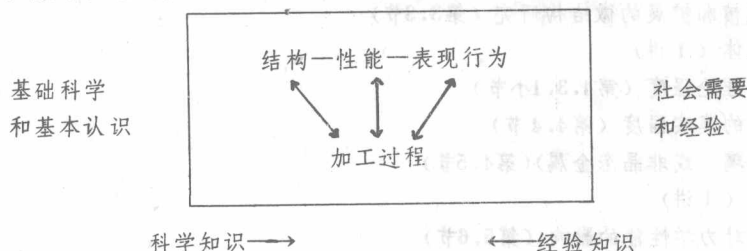
这一任务由于在基础科学、应用科学和工程方面有很深的背景，并且对实验和理论研究有很强的依赖性，所以其宏大程度使我们极需各种各样的评论、综述、数据表册、手册和教科书。

在经验和理论方面均熟悉金属力学复杂内容的学者所写的任何一本教科书都会受到欢迎。但本书尤应受到欢迎。因为本书的两位作者不仅牢固地掌握了传统的理论和事实，而且还掌握了重要的新概念。他们具有在课堂上讲授这门学科的经验，并能够意识到学生在领会若干概念中所经常遇到的困难。

Charles S. Barrett

前言

与其说金属力学是一门技术或科学学科，倒不如将其描述为一个交叉领域。金属力学使用力学和金属学的原理，并旨在认识、预测、修改和描述金属对载荷的响应。力学和金属学所拥有的知识蕴藏和方法数目浩如翰海。因此对一本金属力学教科书的内容取材便须格外谨慎。Cohen等^①提出了一个解释形成材料领域的各种复杂关系的示意框图。其中心环节是结构—性能—表现行为这个三角。这三项彼此一一对应，而且改变任意一项将不可分离地联系到另两项的改变；这些变化是加工过程造成的。科学和技术两方面的发展均可奉献给人类知识宝库。在这一框架下，金属力学代表联系力学性能和表现行为的环节。



本书是作为金属力学的教科书而写的。差不多所有金属学科和材料学科培养计划的课表中均增设了金属力学这门课，并通常是高年级学生开设的。意识到在这一标题下所包含内容的多样性，我们在本书中编进了比单学期课程所能讲授的多得多的内容。此外，我们还加入了相当数量的背景材料，这些知识对非冶金专业的学生也一定会有用的。我们为本书选择了一种四级结构，将其划分为：

第Ⅰ篇 变形力学（第一章至第三章）。主要从力学的角度来处理变形，该篇按弹性变形、塑性变形和断裂这一与变形过程相符的顺序来介绍。

第Ⅱ篇 变形金属学（第四章至第八章）。该篇定义、讨论和分析了决定金属力学性能的结构缺陷。

第Ⅲ篇 强化机制（第九章至第十五章）。金属学家们令人难以置信地发挥出他们的才能，获得了金属的各种不同的力学响应。该篇将单独分章来处理不同的强化机制。

第Ⅳ篇 力学试验（第十六章至第二十一章）。力学试验可提供力学性能与表现行为之间的重要纽带。该篇将研究各种力学性能和试验过程。

当然，对金属力学这门课程的材料取舍须由授课教师决定。我们在Military Institute of Engineering, South Dakota School of Mines and Technology和New Mexico Institute of Mining and Technology写成了本书，并发现按下述内容顺序讲授是令人满

^① M.Cohen, B. H. Kear 和 R. Mehrabian, "Rapid Solidification Processing—An Outlook" (快速固溶加工——概述)，取自M. Cohen, B. H. Kear 和 R. Mehrabian 所编著的 "Rapid Solidification Processing, Principles, and Technologies" (快速固溶加工、原理和工艺) 一书，Claitor's Publ. Division, Baton Rouge, La., 1980, 第1页。——原注

意的(即书中和编目上标有*号的章节):

金属力学本科生课程

(共42讲)

第一章 弹性理论(4讲)

A 初等方法(A分章)

第二章 塑性理论(5讲)

引言(第2.1节)

流动准则(第2.2节)

成形加工(第2.5.1、2.5.2、2.5.3小节)

第三章 断裂和断裂韧性(5讲)

引言(第3.1节)

应力集中和Griffith断裂准则(第3.2.1、3.2.2、3.2.3小节)

裂纹成核和扩展的微结构研究(第3.3节)

第四章 理想晶体(1讲)

金属的理论强度(第4.3.1小节)

金属^①的真实强度(第4.4节)

金属玻璃(或非晶态金属)(第4.5节)

第五章 点缺陷(1讲)

点缺陷对力学性能的影响(第5.6节)

点缺陷的观察(第5.7节)

第六章 线缺陷(1讲)

引言(第6.1节)

位错的实验观察(第6.2节)

第九章 加工硬化(2讲)

引言(第9.1节)

多晶体的加工硬化(第9.7节)

大应变下的变形(第9.9节)

第十章 固溶硬化(2讲)

引言(第10.1节)

固溶体的力学效应(第10.5节)

第十一章 沉淀和弥散硬化(2讲)

引言(第11.1节)

微合金钢(第11.9节)

钢中的沉淀物(第11.10节)

机械合金化(第11.11节)

第十二章 纤维增强(1讲)

引言(第12.1节)

① 原文此处为“晶体”,与目录不符。——译者注

- 复合材料的应用 (第12.6节)
- 第十三章 马氏体强化 (2讲)
马氏体的强度 (第13.4节)
力学效应 (第13.5节)
- 第十四章 晶粒尺寸强化 (1讲)
引言 (第14.1节)
晶粒尺寸对其它性能的效应 (第14.5节)
- 第十五章 其它机制 (3讲)
热力加工 (第15.1节)
双相钢 (第15.2节)
辐照损伤 (第15.3.1、15.3.3小节)
- 第十六章 拉伸试验 (2讲)
一般描述 (第16.1节)
自动拉伸试验 (第16.2节的部分内容)
- 第十七章 硬度测试 (2讲)
引言 (第17.1节)
显微和宏观压痕测试 (第17.2节)
- 第十八章 成形性试验 (1讲)
重要参数 (第18.1节)
冲-拉试验和成形极限曲线 (第18.5节)
- 第十九章 断裂试验 (2讲)
为什么要进行断裂试验 (第19.1节)
冲击试验 (第19.2节)
Charpy冲击试验 (第19.3节)
- 第二十章 蠕变和蠕变试验 (3讲)
引言 (第20.1节)
关联法和外推法 (第20.2节)
变形机制图 (第20.4节)
耐热合金 (第20.5节)
- 第二十一章 疲劳和疲劳试验 (2讲)
疲劳试验 (第21.2.1、21.2.2小节)

对金属力学研究生教程的内容选择的自由度要大得多, 尽管如此, 我们仍给出下述推荐顺序。

金属力学研究生课程

- 第一章 弹性理论
B 高等方法 (B分章)
- 第二章 塑性理论 (第2.1节至第2.5节)
- 第三章 断裂和断裂韧性 (若不开设断裂力学课, 则应讲授该章全部内容; 若开设断裂力学课, 则应跳过该章)

第六章 线缺陷(若不开设位错理论课,则应讲授该章全部内容;若开设位错理论课,则应跳过该章)

第八章 位错效应补遗及变形几何(第8.1节至第8.7节)

第二十章 蠕变和蠕变试验〔若未讲授第三章和(或)第六章的话〕

第二十一章 疲劳和疲劳试验〔若未讲授第三章和(或)第六章的话〕

尽管不象金属力学那样普遍,在某些冶金或材料系还是开设了关于强化机制的课程。本书亦适宜作这种课程的教本。实际上,本书已经经过课堂讲授的检验,并且可推荐下述讲课大纲。

强化机制课程

第六章 线缺陷

位错源(第6.8节)

第七章 面缺陷

晶界(第7.2节)

第八章 位错效应补遗及变形几何

滑移所需的应力(第8.6.2小节)

以上三章为对强化机制的数学处理和充分理解奠定了基础。在这一入门介绍后便可详细讲授第九章至第十五章的全部内容。

本书基于我们在最近9年中所积累的授课讲义。我们又补充了许多其它来源的材料使之更为充实。在本教科书中自始至终均引用这些来源,并在每章末附有文献目录。此外,在每章末还附有推荐读物,当读者需要扩展在某一专门问题方面的知识时,可参阅这些文献;若读者希望拓宽自己在某一领域方面的知识,亦可参阅有关推荐读物。在本书中,对所引证的所有图表均一一表示了谢意。^①为节省篇幅,书中从其它来源所重印或引证的图注和表头上均标有引文序号,其来源在章末文献目录中给出。在最后成文时,我们或许会无意中漏掉对某些来源的引证,若果真忘记引证的话,我们在此表示由衷的歉意。

通过机智的提问和有价值的批评,我们的学生为本书做出了最重要的贡献,在此特对他们表示感谢。我们对我们的同事和学术同行表示感谢,他们通过艰苦的努力和无私的奉献,提出了各种概念,进行了关键性的实验,并发展了作为金属力学行为定量理解框架的理论。我们衷心感谢Elizabeth Fraissinet为手稿所进行的耐心而高效率的打字,以及Robert Colpitts的绘图制版。Krishan Chawla还对其妻子Nivi的耐心表示感谢。Marc Meyers感谢国家科学基金会通过合同:DMR-7728278, DMR-7927102和DMR-8115127所给予的持续资助。他的祖父Jean-Pierre Meyers和父亲Henri Meyers都是将其一生贡献给冶金科学的冶金学家,他们的启示和激励给了Marc Meyers完成本著作的力量。

Marc André Meyers

Krishan Kumar Chawla

① 译文中对这类致谢做了适当的删节,但保留了所引文献的序号。——译者注

译者的话

近代科学研究有两个有趣的特征。一方面，科学发展使原有的学科不断裂变而形成各具特色的专门学科；另一方面，不同的学科却可能围绕某一共同点而形成交叉学科。这种不断分化和组合的态势是科学发展的根本特征。

近年来，固体力学与材料科学在基础理论、研究方法、研究命题和应用对象等方面的结合趋势为固体力学的发展注入了新的活力，标志着当前固体力学所经历的最深刻的变革。在这一具有学科史意义的结合过程中，力学家和金属学家走在前面，产生了“金属力学”(Mechanical Metallurgy) 这门学科。这里所指的金属力学在学科深度上大大超出了以往人们所狭义理解的金属力学。它的目标是从力学工作者的角度考察、分析、阐明乃至指导设计金属材料(包括复合材料)的变形和破坏行为。

在这一跨学科领域中，我国目前还没有一本有深度和广度的教科书。作为力学教材建设的一项措施，国家教育委员会所属工程力学专业教材委员会委托我们翻译一部国际上在金属力学方面的权威教科书。这样一本书不仅为力学类的学生服务，也应是工程科学、技术科学、冶金科学等有关专业的学生和科研人员的有价值的教科书或参考用书。

译者之一在美国留学期间，曾先后使用过多本这方面的教科书，但效果均不理想。在临回国之际偶然在麻省理工学院书店看到了这本新出版的书。这本书以其独树一帜的体系、出色的内容剪裁和循序渐进的传授知识的方式而令人爱不释手。该书的著者迈尔斯教授和乔拉教授是活跃在金属力学研究领域的专家，书中收集了他们九年来讲授金属力学课程的体会。该书的英文版在1984年出版之后，即被美国东部的几所著名大学选为教科书。我们把这本书介绍给国内力学界与金属学界的读者，以填补我国在这方面教材上的空白，相信读者会从这本书中得到有益的启示。

本书承国家教育委员会工程力学专业教材委员会主任黄克智教授悉心校订，使得中译本增色不少。译者和校者在翻译和校订过程中，对原书中的少量疏漏作了订正。在此，我们对国家教育委员会工程力学教材委员会、黄克智教授和高等教育出版社力学编辑室的信任、鼓励与帮助表示谢意；同时，还感谢国家教育委员会资助优秀年轻教师基金对我们近年来在教学与科研方面的支持。

程莉 杨卫

1989. 12.

目 录

序.....	(1)
前言.....	(1)

第I篇 变形力学 (1)

第一章 弹性理论..... (2)

1.1 引言..... (2)

*A分章 弹性理论——初等

方法^①..... (2)

*1.2 纵向应力和应变..... (2)

*1.3 剪应力和剪应变..... (4)

*1.4 泊松比..... (5)

*1.5 复杂应力状态..... (6)

*1.6 双向应力状态的图解法 ——莫尔圆..... (8)

*1.7 纯剪切—— G 与 E 的 关系..... (9)

B分章 弹性理论——高等

方法..... (10)

1.8 应力的概念..... (10)

1.9 张量..... (12)

1.9.1 指标记法..... (13)

1.9.2 转换关系..... (13)

1.9.3 对称张量和反对称张量..... (15)

1.9.4 张量的二次型表示和主轴..... (16)

1.10 应力..... (17)

1.10.1 对称应力张量..... (17)

1.10.2 斜截面上的应力..... (19)

1.10.3 主应力的确定..... (20)

1.10.4 主剪应力..... (21)

1.10.5 应力不变量..... (22)

1.10.6 应力张量的特殊形式..... (22)

1.10.7 塑性理论中的重要应力..... (24)

1.11 应变..... (26)

1.11.1 一维变形..... (26)

1.11.2 二维变形..... (26)

1.11.3 三维变形..... (30)

1.11.4 应变不变量——静水应变、 偏斜应变和八面体应变..... (31)

1.11.5 应变能(或变形能)..... (31)

1.12 应力-应变关系..... (33)

1.12.1 虎克定律..... (33)

1.12.2 矩阵记法..... (34)

1.12.3 晶体对称性..... (36)

1.12.4 各向同性材料的关系..... (39)

1.12.5 弹性理论..... (44)

1.13 固体中的弹性波传播..... (48)

1.14 求解弹性问题的其它方法..... (49)

习题..... (51)

参考文献..... (53)

推荐读物..... (53)

第二章 塑性理论..... (56)

*2.1 引言..... (56)

*2.2 流动准则(或屈服准则、 或破坏准则)..... (58)

*2.2.1 最大应力准则(Rankine)..... (58)

*2.2.2 最大变形能准则..... (59)

*2.2.3 最大剪应力准则(Tresca)..... (59)

*2.2.4 最大歪形能准则(von Mises)..... (59)

*2.2.5 Tresca准则和 von Mises 准则的 图示及实验验证..... (60)

2.3 塑性理论..... (63)

2.3.1 Levy-von Mises (流动) 理论..... (63)

2.4 静水压力对塑性变形的 影响..... (66)

2.5 成形加工..... (67)

*2.5.1 概要..... (67)

① 前面注有*记号的章节可作为本科高年级学生一学期课程的讲授内容。——原注

*2.5.2 成形加工系统	(67)
*2.5.3 成形工艺的分类	(73)
2.5.4 分析方法	(74)
2.5.5 轧制	(79)
2.5.6 拔丝	(87)
2.5.7 锻造	(93)
2.5.8 金属板材成形	(97)
习题	(98)
参考文献	(100)
推荐读物	(101)
第三章 断裂与断裂韧性	(104)
*3.1 引言	(104)
3.2 应力集中和Griffith断裂准则	(104)
*3.2.1 应力集中	(105)
*3.2.2 应力集中系数	(105)
*3.2.3 Griffith准则	(107)
3.2.4 塑性变形材料中的裂纹扩展	(108)
*3.3 裂纹成核和扩展的微观研究	(109)
*3.3.1 裂纹成核	(109)
*3.3.2 断裂机制图	(119)
3.4 线弹性断裂力学	(120)
3.4.1 断裂韧性	(121)
3.4.2 LEFM 的假设	(121)
3.4.3 裂纹尖端分离的类型	(121)
3.4.4 各向同性材料中裂纹尖端附近的应力场	(121)
3.4.5 I型裂纹尖端应力场的细节	(123)
3.4.6 塑性区尺寸修正	(125)
3.4.7 断裂韧性随厚度的变化	(127)
3.4.8 G 与 K 的关系	(128)
3.5 裂纹扩展力及其测量	(129)
3.6 K_{Ic} 在实用中的重要性	(131)
3.7 裂纹张开位移	(132)
3.8 J 积分	(134)
3.9 R 曲线	(136)
习题	(137)
参考文献	(139)

推荐读物	(140)
------	---------

第II篇 变形金属学 (143)

第四章 理想晶体 (144)

4.1 引言	(144)
4.2 金属结构	(144)
4.3 金属的理论强度	(146)
*4.3.1 理论拉伸强度(Orowan方法)	(146)
4.3.2 理论拉伸(解理)应力的较精确计算	(149)
4.3.3 理论剪切应力	(150)
4.3.4 σ_{max}/τ_{max} 比值的重要性	(152)
*4.4 金属的真实强度	(152)
*4.5 金属玻璃(或非晶态金属)	(155)
4.6 键合与弹性常数的关系	(159)
习题	(161)
参考文献	(162)
推荐读物	(163)

第五章 点缺陷 (164)

5.1 引言	(164)
5.2 FCC、BCC和HCP结构中的间隙	(165)
5.3 点缺陷的平衡浓度	(166)
5.4 复杂点缺陷	(167)
5.5 点缺陷的产生	(168)
*5.6 点缺陷对力学性能的影响	(169)
*5.7 点缺陷的观察	(171)
习题	(171)
参考文献	(172)
推荐读物	(172)

第六章 线缺陷 (173)

*6.1 引言	(173)
*6.2 位错的实验观察	(175)
6.3 位错的行为	(177)
6.3.1 位错环	(177)
6.3.2 位错的运动	(179)
6.4 位错周围的应力场	(180)

6.4.1 螺位错	(180)
6.4.2 刃位错	(182)
6.4.3 位错应变能(或变形能)	(184)
6.5 曲位错的能量	(185)
6.6 作用在位错上的力	(187)
6.7 位错之间的关系	(187)
6.7.1 面心立方晶体中的位错	(187)
6.7.2 密排六方晶体中的位错	(195)
6.7.3 体心立方晶体中的位错	(196)
6.8 位错源	(196)
6.8.1 均匀成核	(196)
6.8.2 位错在界面和表面的成核	(198)
6.8.3 Frank-Read源	(199)
6.8.4 其它位错源	(200)
习题	(202)
参考文献	(203)
推荐读物	(205)
第七章 面缺陷	(206)
7.1 引言	(206)
7.2 晶界	(206)
7.2.1 倾侧晶界和扭侧晶界	(206)
7.2.2 晶界能的计算	(207)
7.2.3 晶界能随取向差的变化	(209)
7.2.4 晶界位错	(210)
7.2.5 晶界凸缘	(211)
7.2.6 晶界的多面体单元堆集模型	(212)
7.2.7 晶界在塑性变形中的作用	(212)
7.3 畴界和其它二维缺陷	(213)
7.3.1 超点阵和逆相边界结构	(214)
7.3.2 堆垛层错	(214)
7.4 孪晶和李晶界	(215)
7.4.1 形变孪晶	(215)
7.4.2 退火孪晶	(219)
习题	(220)
参考文献	(221)
推荐读物	(222)
第八章 位错效应补遗及变形几何	(223)
8.1 位错塞积	(223)
8.2 位错交割	(224)
8.3 位错运动引起的变形	

(Orowan方程)	(225)
8.4 位错动力学	(227)
8.4.1 位错速度 and 外加应力的关系	(227)
8.4.2 位错自身能对速度的依赖性	(229)
8.4.3 位错运动阻尼	(237)
8.4.4 位错加速度	(239)
8.5 热激活位错运动	(241)
8.5.1 常高度障垒的简单情况	(242)
8.5.2 流动应力随温度的变化	(243)
8.5.3 各种障垒	(244)
8.6 变形几何学	(247)
8.6.1 球极平面投影	(247)
8.6.2 滑移所需的应力	(248)
8.6.3 变形剪切	(250)
8.6.4 滑移系	(251)
8.7 复晶体和多晶体的变形	(252)
8.7.1 多晶体的独立滑移系	(253)
8.7.2 复晶体	(255)
8.7.3 多晶体	(256)
习题	(259)
参考文献	(261)
推荐读物	(263)
第三篇 强化机制	(265)
第九章 加工硬化	(266)
*9.1 引言	(266)
9.2 Taylor理论	(267)
9.3 Mott理论	(268)
9.4 近代理论	(270)
9.4.1 长程理论	(272)
9.4.2 其它理论	(274)
9.4.3 第Ⅲ阶段的理论	(275)
9.5 加工硬化的Kuhlmann-Wilsdorf理论	(276)
9.6 不可解问题	(280)
*9.7 多晶体的加工硬化	(281)
*9.7.1 多晶体的应力-应变曲线	(281)
9.8 加工软化	(282)
*9.9 大应变下的变形	(283)

习题	(286)
参考文献	(287)
推荐读物	(288)

第十章 固溶硬化 (289)

*10.1 引言	(289)
10.2 体膨胀错配或弹性错配交互能	(290)
10.3 溶质原子与位错的交互作用	(291)
10.3.1 弹性交互作用	(291)
10.3.2 模量差引起的交互作用	(294)
10.3.3 电交互作用	(295)
10.3.4 化学交互作用 (或 Suzuki 交互作用)	(295)
10.3.5 局部有序交互作用	(296)
10.4 固溶硬化的统计问题	(296)
*10.5 固溶体的力学效应	(297)
*10.5.1 应力-应变曲线中的明显屈服点	(297)
*10.5.2 应力-应变曲线在明显屈服点或 Lüders 带之后的平台	(299)
*10.5.3 应变时效	(300)
*10.5.4 锯齿状应力-应变曲线	(300)
*10.5.5 蓝脆	(300)
习题	(301)
参考文献	(301)
推荐读物	(302)

第十一章 沉淀和弥散硬化 (303)

*11.1 引言	(303)
11.2 位错-沉淀物交互作用	(305)
11.2.1 粒子-位错长程交互作用	(305)
11.2.2 粒子剪切和不剪切时的位错-粒子交互作用	(308)
11.3 塑性非均匀晶体	(312)
11.4 夹杂对体系应变硬化影响的理论	(313)
11.4.1 连续介质模型	(313)
11.4.2 Fisher-Hart-Pry 理论	(313)
11.4.3 Ashby 理论	(313)
11.5 几何必需和统计贮存位错	(313)

11.5.1 大型板状夹杂引起的位错累积	(315)
11.5.2 等轴粒子引起的位错累积	(317)
11.6 含夹杂物晶体的应力-应变曲线方程	(319)
11.6.1 流动应力与位错密度的关系	(319)
11.6.2 流动应力与棱柱环密度的关系	(320)
11.6.3 应力-应变关系	(320)
11.7 几何滑移距离和 ρ^G 与 ρ^S 的相对大小	(321)
11.7.1 几何滑移距离 λ^G	(321)
11.7.2 ρ^G 与 ρ^S 的相对大小	(322)
11.8 塑性非均匀材料的加工硬化	(322)
*11.9 微合金钢	(323)
*11.10 钢中的沉淀物	(326)
*11.11 机械合金化	(327)
习题	(327)
参考文献	(329)
推荐读物	(330)

第十二章 纤维增强 (复合材料) (331)

*12.1 引言	(331)
12.2 复合材料的性能	(333)
12.2.1 弹性模量	(333)
12.2.2 强度	(336)
12.3 从基体到纤维的载荷传递	(338)
12.3.1 弹性纤维-弹性基体	(338)
12.3.2 弹性纤维-塑性基体	(341)
12.4 复合材料的断裂	(343)
12.4.1 单一断裂和多重断裂	(343)
12.4.2 复合材料的破坏模式	(344)
12.5 复合材料的一些基本特征	(345)
12.5.1 不均匀性	(345)
12.5.2 各向异性	(346)
12.5.3 剪切耦合	(347)

*12.6 复合材料的应用	(348)	*15.1.4 其它合金的TMT	(396)
习题	(349)	*15.2 双相钢	(397)
参考文献	(352)	*15.2.1 显微组织	(399)
推荐读物	(353)	*15.2.2 力学响应	(399)
第十三章 马氏体强化	(354)	*15.2.3 可成形性	(400)
13.1 马氏体的分类	(354)	15.3 辐照损伤	(400)
13.2 马氏体的形貌和结构	(357)	*15.3.1 引言	(400)
13.3 马氏体的成核和长大	(359)	15.3.2 损伤产生机制	(401)
*13.4 马氏体的强度	(362)	*15.3.3 金属辐照硬化	(402)
*13.5 力学效应	(365)	15.3.4 离子注入	(404)
13.6 形状记忆效应	(368)	15.4 激波硬化	(405)
习题	(371)	15.5 有序硬化	(408)
参考文献	(372)	15.6 织构强化	(413)
推荐读物	(373)	习题	(415)
第十四章 晶粒尺寸强化	(375)	参考文献	(417)
*14.1 引言	(375)	推荐读物	(420)
14.2 预言 $\sigma_y - D^{-1/2}$ 关系的 理论	(377)	第IV篇 力学试验	(423)
14.2.1 Hall-Petch理论	(377)	第十六章 拉伸试验	(424)
14.2.2 Cottrell理论	(378)	*16.1 一般描述	(424)
14.2.3 Li理论	(379)	*16.1.1 引言	(424)
14.2.4 Conrad理论	(379)	*16.1.2 名义(或工程)应力和 应变	(427)
14.3 对Hall-Petch关系的 批评	(381)	*16.1.3 拉伸曲线上的参数	(428)
14.3.1 较近期的提议	(381)	*16.1.4 颈缩	(430)
14.4 其它内障碍	(384)	*16.1.5 应变率	(433)
*14.5 晶粒尺寸对其它性能 的效应	(386)	*16.2 拉伸试验的有关问题, 自动拉伸试验	(436)
*14.5.1 对硬度的效应	(386)	16.3 金属变形模拟(力学状 态方程)	(441)
*14.5.2 对孪晶应力的效应	(386)	16.4 理论分析	(442)
*14.5.3 对延-脆转变温度的效 应	(387)	16.5 应力松弛试验	(445)
*14.5.4 对疲劳的效应	(388)	16.6 电塑性效应	(451)
习题	(388)	习题	(452)
参考文献	(389)	参考文献	(453)
推荐读物	(390)	推荐读物	(455)
第十五章 其它机制	(391)	第十七章 硬度测试	(456)
*15.1 热力加工(或热力处理)	(391)	*17.1 引言	(456)
*15.1.1 引言	(391)	*17.2 显微和宏观压痕测试	(457)
*15.1.2 铁合金	(391)	*17.2.1 宏观压痕测试	(457)
*15.1.3 超合金的TMT	(395)	*17.2.2 显微压痕硬度测试	(462)

17.3 硬度测试中的应力和应变.....	(464)	20.3 蠕变基本机制	(506)
17.4 其它金相学因素.....	(468)	20.3.1 扩散蠕变	(507)
习题.....	(472)	20.3.2 位错蠕变	(508)
参考文献.....	(472)	20.3.3 位错滑移	(510)
推荐读物.....	(473)	20.3.4 晶界滑移	(511)
第十八章 成形性试验	(475)	*20.4 变形机制(Weertman- Ashby)图	(513)
*18.1 重要参数	(475)	*20.5 耐热合金	(515)
18.2 塑性各向异性	(475)	习题.....	(519)
18.3 拉伸试验	(480)	参考文献.....	(521)
18.4 双向试验	(480)	推荐读物.....	(522)
*18.5 冲-拉试验和成形极 限曲线(或Keeler- Goodwin图)	(481)	第二十一章 疲劳和疲劳试验	(523)
习题.....	(486)	21.1 疲劳.....	(523)
参考文献.....	(486)	21.1.1 S-N曲线.....	(524)
推荐读物.....	(487)	21.1.2 循环加载	(524)
第十九章 断裂试验	(488)	21.1.3 循环应力-应变曲线.....	(526)
*19.1 为什么要进行断裂试验.....	(488)	21.1.4 疲劳强度或疲劳寿命	(528)
*19.2 冲击试验	(488)	21.1.5 平均应力对疲劳寿命的 影响	(531)
*19.3 Charpy冲击试验	(488)	21.1.6 累积损伤和寿命消耗	(532)
19.4 落锤试验.....	(490)	21.1.7 疲劳裂纹成核.....	(534)
19.5 仪表监控的Charpy冲 击试验	(491)	21.1.8 疲劳裂纹扩展.....	(536)
19.6 平面应变断裂韧性试验	(493)	21.1.9 线弹性断裂力学在疲劳 分析中的应用	(538)
19.7 裂纹张开位移试验	(496)	21.1.10 蠕变-疲劳交互作用	(546)
19.7.1 δ_c 的计算	(497)	21.2 疲劳试验.....	(547)
19.8 J 积分试验.....	(497)	*21.2.1 常规疲劳试验	(547)
习题.....	(499)	*21.2.2 非常规疲劳试验	(549)
参考文献.....	(500)	21.2.3 疲劳裂纹扩展试验	(551)
推荐读物.....	(500)	习题.....	(553)
第二十章 蠕变和蠕变试验	(501)	参考文献.....	(555)
*20.1 引言	(501)	推荐读物.....	(556)
*20.2 关联法和外推法	(503)	索引	(558)

第 I 篇 变 形 力 学

第 I 篇 1.1

第 I 篇由第一章、第二章和第三章组成，按金属变形的发生次序来研究金属变形。当受到外载荷时，这一变形次序为：弹性（可恢复）变形、塑性（不可恢复）变形和断裂。这三个不同的变形阶段所表现出的现象迥然不同。第一章在初等和高等两种水平上介绍了弹性理论，这两种方法分别针对本科生和研究生。高等方法中使用张量法来描述应力和应变，它对诸如裂纹和位错周围的应力场这类复杂问题十分有效。第二章从流动准则讲起，该准则建立了从弹性阶段转入塑性阶段所需的应力水平。该章在塑性理论的理论方面，只保留了最低限度的内容，简要地介绍了对分析多种塑性问题非常有用的 Levy-von Mises 理论。该章从成形加工的一般概述和分类开始，用较大篇幅讨论了成形加工。对各种专门的加工过程，如轧制、拔丝、锻造进行了应力分析（用力平衡法）。第三章探讨了断裂的力学和微结构方面的内容，导出了适用于脆性材料的 Griffith 准则。该章还介绍了线弹性断裂力学，计算了裂纹尖端附近的应力场，并提出了断裂韧性、裂纹扩展力、裂纹张开位移、 J 积分和 R 曲线等概念。

第 I 篇——变形力学 第 I 章 A*

第 I 篇 1.1

第一章 弹性理论

1.1 引言

弹性理论研究弹性应力和应变，研究它们之间的关系以及引起它们的外力。弹性应变的定义是：随引起该应变的作用力移去而即刻消失的应变。按照较严格的方法处理虎克固体（其特点在于应力与应变成正比）的弹性理论是颇为复杂的，然而，它对于理解微观力学和宏观力学却必不可少。微观力学问题的例子有：位错周围的应力场、晶粒界面处的应力不协调性以及加工硬化时的位错交互作用。宏观力学问题的例子有：拔丝或轧制时产生的应力以及拉伸试验中关于试件-试验机相互作用的分析。本章力图兼顾本科生和研究生的需要。本章的 A 分章对弹性理论做了简单处理，特别适合于本科生课程的后续内容；介绍了某些简化情况下的应力和应变，其中尽可能不按三维处理；并且阐述了求解二维应力问题的图解法（莫尔圆法）。另一方面，研究生需要更有效的工具去解决较为复杂的问题，故本章的 B 分章在对弹性理论进行较为严谨的阐述时采用了张量方法。将应力和应变视为二阶张量，于是就可引用张量的数学理论。这种处理为考虑各向异性效应创造了条件。在大多数情况下，最好将三维物体的应力和应变处理成具有指标符号的张量。一旦熟悉了张量法，学生便能有效地把应力和应变想象为三维实体。需要借助于该方法求解的重要问题有：位错应力分析、位错与溶质原子的交互作用、断裂力学、固体中的塑性波、沉淀物引起的应力集中、单个晶粒的各向异性以及复合材料中的应力状态。我们建议，研究生在深入探讨张量法之前，应预先阅读一下 A 分章的简单处理方法。

*A 分章 弹性理论——初等方法

*1.2 纵向应力和应变

图 1.1 表示在拉伸试验机上承受载荷的圆柱形试件。试件上端拧在机器的横梁上。两侧丝杆的同步旋转造成横梁运动。测力计是一种能测量载荷并把载荷传给记录仪的传感器。试件的伸长量可由电阻应变片、引伸仪或间接地由横梁的运动速度读出。第十六章将特别详细地讨论拉伸试验，并介绍另一种称为液压伺服机的拉伸试验机。假定在某一时刻机器作用于试件上的力为 F ，此时试件将呈现出“伸长”趋势，趋于拉断内部键合。与这种断裂趋势相