



普通高等教育“十三五”规划教材
PUTONG GAODENGJIAOYU SHISANWU GUIHUA JIAOCAI

机械工程材料 辅导·习题·实验

◎主编：司家勇 ◎副主编：张立强 王荣吉 ◎主审：钟利萍

JIXIE GONGCHENG CAILIAO
FUDAO · XITI · SHIYAN



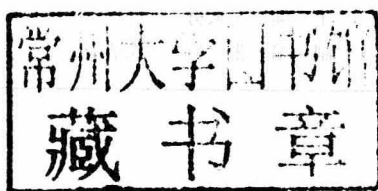
中南大学出版社
www.csupress.com.cn

机械工程材料辅导·习题·实验

主 编 司家勇

副主编 张立强 王荣吉

主 审 钟丽萍



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料辅导·习题·实验/司家勇主编.

—长沙:中南大学出版社,2016.9

ISBN 978-7-5487-2500-8

I.机... II.司... III.机械制造材料-教材

IV.TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 221109 号

机械工程材料辅导·习题·实验

主 编 司家勇

副主编 张立强 王荣吉

☐责任编辑 谭 平

☐责任印制 易红卫

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 湖南地图制印有限责任公司

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 7.5 ☐字数 184 千字

☐版 次 2016 年 9 月第 1 版 ☐印次 2016 年 9 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-2500-8

☐定 价 17.00 元

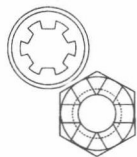
图书出现印装问题,请与经销商调换

内 容 简 介

本书是中南大学出版社出版的《机械工程材料》(第2版)的配套教材,分为各章内容提要 and 习题、实验指导两部分,按教材章节顺序编写,紧扣教材重点,具有一定的覆盖面,具有通用性、典型性、合理性和实用性。

本书阐述了《机械工程材料》教材各章的基本内容和学习重点,习题采用多种形式,重点突出,既考虑有助于对基本理论的学习与掌握,又充分重视对实际生产问题的了解与分析,以逐渐培养学生分析问题和解决问题的能力。实验指导部分编写了四个典型实验,着重培养学生的动手能力、观察能力和分析问题的能力。

本书可作为大专院校机械类及近机类专业学生学习工程材料、机械工程材料、材料学概论、金属材料及热处理、金属材料学等课程的参考教材和考研参考书。



普通高等教育机械工程学科“十二五”规划教材编委会

主 任

(以姓氏笔画为序)

王艾伦 刘舜尧 李孟仁 尚建忠 唐进元

委 员

(以姓氏笔画为序)

丁敬平	王剑彬	王菊槐	王湘江	尹喜云	龙春光
叶久新	母福生	朱石沙	伍利群	刘吉兆	刘先兰
刘忠伟	刘金华	安伟科	杨舜洲	李必文	李 岚
李 岳	李新华	何国旗	何哲明	何竞飞	汪大鹏
张敬坚	陈召国	陈志刚	林国湘	罗烈雷	周里群
周知进	赵又红	胡成武	胡仲勋	胡争光	胡忠举
胡泽豪	钟丽萍	贺尚红	聂松辉	莫亚武	夏宏玉
夏卿坤	夏毅敏	高为国	高英武	郭克希	龚曙光
康辉民	彭如恕	彭佑多	蒋寿生	曾周亮	谭援强
谭晶莹	樊湘芳	潘存云			

总序 FOREWORD

机械工程学科作为联结自然科学与工程行为的桥梁,它是支撑物质社会的重要基础,在国家经济发展与科学技术发展布局中占有重要的地位,21 世纪的机械工程学科面临诸多重大挑战,其突破将催生社会重大经济变革。当前机械工程学科进入了一个全新的发展阶段,总的发展趋势是:以提升人类生活品质为目标,发展新概念产品、高效高功能制造技术、功能极端化装备设计制造理论与技术、制造过程智能化和精准化理论与技术、人造系统与自然界和谐发展的可持续制造技术等。这对担负机械工程人才培养任务的高等学校提出了新挑战:高校必须突破传统思维束缚,培养能适应国家高速发展需求的具有机械学科新知识结构和创新能力的高素质人才。

为了顺应机械工程学科高等教育发展的新形势,湖南省机械工程学会、湖南省机械原理教学研究会、湖南省机械设计教学研究会、湖南省工程图学教学研究会、湖南省金工教学研究会与中南大学出版社一起积极组织了高等学校机械类专业系列教材的建设规划工作,成立了规划教材编委会。编委会由各高等学校机电学院院长及具有较高理论水平和教学经验的教授、学者和专家组成。编委会组织国内近 20 所高等学校长期在教学、教改第一线工作的骨干教师召开了多次教材建设研讨会和提纲讨论会,充分交流教学成果、教改经验、教材建设经验,把教学研究成果与教材建设结合起来,并对教材编写的指导思想、特色、内容等进行了充分的论证,统一认识,明确思路。在此基础上,经编委会推荐和遴选,近百名具有丰富教学实践经验的教师参加了这套教材的编写工作。历经两年多的努力,这套教材终于与读者见面了,它凝结了全体编写者与组织者的心血,是他们集体智慧的结晶,也是他们教学教改成果的总结,体现了编写者对教育部“质量工程”精神的深刻领悟和对本学科教育规律的把握。

这套教材包括了高等学校机械类专业的基础课和部分专业基础课教材。整体看来,这套教材具有以下特色:

(1)根据教育部高等学校教学指导委员会相关课程的教学基本要求编写。遵循“重基础、宽口径、强能力、强应用”的原则,注重科学性、系统性、实践性。

(2)注重创新。本套教材不但反映了机械学科新知识、新技术、新方法的发展趋势和研究成果,还反映了其他相关学科在与机械学科的融合与渗透中产生的新前沿,体现了学科交叉对本学科的促进;教材与工程实践联系密切,应用实例丰富,体现了机械学科应用领域在不断扩大。

(3)注重质量。本套教材编写组对教材内容进行了严格的审定与把关,教材力求概念准确、叙述精练、案例典型、深入浅出、用词规范,采用最新国家标准及技术规范,确保了教材的高质量与权威性。

(4)教材体系立体化。为了方便教师教学与学生学习,本套教材还提供了电子课件、教学指导、教学大纲、考试大纲、题库、案例素材等教学资源支持服务平台。

教材要出精品,而精品不是一蹴而就的,我将这套书推荐给大家,请广大读者对它提出意见与建议,以利进一步提高。也希望教材编委会及出版社能做到与时俱进,根据高等教育改革发展形势、机械工程学科发展趋势和使用中的新体验,不断对教材进行修改、创新、完善,精益求精,使之更好地适应高等教育人才培养的需要。

衷心祝愿这套教材能在我国机械工程学科高等教育中充分发挥它的作用,也期待着这套教材能哺育新一代学子茁壮成长。

中国工程院院士 钟 掘

前言

本书是高为国、钟利萍主编的《机械工程材料》(第2版)(中南大学出版社, 2012.8)的配套教材, 内容包括《机械工程材料》教材的各章内容摘要和习题、实验指导两部分。是根据规定的高等工科学校《机械工程材料》课程教学大纲和教学基本要求编写的。全书阐述了《机械工程材料》教材各章的基本内容和学习重点, 习题采用多种形式, 重点突出, 既考虑有助于对基本理论的学习与掌握, 又充分重视对实际生产问题的了解与分析, 以逐渐培养学生分析问题和解决问题的能力。实验指导书部分编写了四个典型实验, 着重培养学生的动手能力、观察能力和分析问题的能力。

本书可作为大专院校机械类及近机类专业学生学习工程材料、机械工程材料、材料学概论、金属材料及热处理、金属材料学等课程的参考教材和考研参考书。本书中全部采用最新的国家标准, 并使用法定计量单位。

本书由中南林业科技大学司家勇副教授主编, 第1章、第2章、第3章、第4章、实验指导部分由中南林业科技大学司家勇副教授编写, 第5章、第6章由中南林业科技大学王荣吉教授编写, 第7章、第8章由中南林业科技大学张立强副教授编写。全书由中南林业科技大学钟利萍教授主审。

本书在编写过程中参阅了一些其他版本的同类教材、相关的技术标准和资料等, 中南大学出版社全程给予了指导和帮助, 在此特向有关编者、作者和单位表示衷心的感谢!

由于编者的水平有限, 加之编写时间仓促, 书中不足之处在所难免, 恳切希望广大读者批评指正。

编者
2016年8月

目 录

第一部分 内容提要和习题

第 1 章 材料的结构与凝固	(3)
一、教学基本要求、重点与难点	(3)
二、主要内容	(3)
三、习题	(6)
第 2 章 材料的性能与力学行为	(9)
一、教学基本要求、重点与难点	(9)
二、主要内容	(9)
三、习题	(12)
第 3 章 二元合金相图与铁碳合金	(16)
一、教学基本要求、重点与难点	(16)
二、主要内容	(16)
三、习题	(18)
第 4 章 钢的热处理	(24)
一、教学基本要求、重点与难点	(24)
二、主要内容	(24)
三、习题	(28)
第 5 章 合金钢与铸铁	(36)
一、教学基本要求、重点与难点	(36)
二、主要内容	(36)
三、习题	(39)
第 6 章 非铁金属材料	(46)
一、教学基本要求、重点与难点	(46)
二、主要内容	(46)
三、习题	(48)

第7章 非金属材料	(50)
一、教学基本要求、重点与难点	(50)
二、主要内容	(50)
三、习题	(53)
第8章 失效分析、材料选择及热处理工艺	(56)
一、教学基本要求、重点与难点	(56)
二、主要内容	(56)
三、习题	(57)

第二部分 实验指导

实验守则	(63)
实验报告的内容和要求	(64)
实验一 铁碳合金平衡组织观察	(65)
一、实验目的	(65)
二、实验概述	(65)
三、实验设备及金相试样	(69)
四、实验步骤	(71)
五、实验注意事项	(72)
六、实验报告要求	(72)
七、思考题	(72)
实验二 钢的热处理及硬度试验	(73)
一、实验目的	(73)
二、实验概述	(73)
三、实验内容	(86)
四、实验步骤	(87)
五、实验报告要求	(88)
六、思考题	(88)
实验三 钢的非平衡组织观察	(89)
一、实验目的	(89)
二、实验概述	(89)
三、实验设备及金相试样	(94)

四、实验步骤	(94)
五、实验注意事项	(95)
六、实验报告要求	(95)
七、思考题	(95)
实验四 常用金属材料显微组织观察	(96)
一、实验目的	(96)
二、实验概述	(96)
三、实验内容	(102)
四、实验设备及金相试样	(103)
五、实验步骤	(103)
六、实验注意事项	(104)
七、实验报告要求	(104)
八、思考题	(104)
参考文献	(105)

第一部分

内容摘要和习题

第1章 材料的结构与凝固

一、教学基本要求、重点与难点

(一) 基本要求

- (1) 了解晶体结构的基本概念和常见类型；
- (2) 掌握原子数、原子半径、配位数和致密度的概念；
- (3) 掌握晶面和晶向的表示方法；
- (4) 了解晶体缺陷的类型及几何特征；
- (5) 了解合金的基本概念及固态合金的相结构；
- (6) 了解高分子材料及陶瓷材料的结构；
- (7) 掌握金属结晶原理及结晶过程控制方法；
- (8) 掌握金属同素异构转变特性。

(二) 重点

- (1) 三种常见的金属晶体结构及特征；
- (2) 固态合金的相结构及固溶强化机理；
- (3) 结晶的热力学条件及过冷度概念；
- (4) 金属结晶后的晶粒大小及其控制；
- (5) 金属同素异构转变过程及特点。

(三) 难点

- (1) 晶向指数、晶面指数的表示方法；
- (2) 金属结晶过程；
- (3) 金属固态转变过程。

二、主要内容

1. 金属的晶体结构

在纯金属中，最常见、最典型的晶体结构有三种类型：体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格。其特征如下：

(1) 晶胞中的原子数

晶体是由大量的晶胞堆砌而成，处于晶胞顶角或晶面上的原子不只为一个晶胞所有，只有晶胞中心的原子才完全为这个晶胞所有。三种常见晶体晶胞的原子数分别为：

体心立方：
$$n = 8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$$

面心立方：
$$n = 8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$$

密排六方:
$$n = 12 \times \frac{1}{6} + 2 \times \frac{1}{2} + 3 = 6$$

(2) 原子半径

在体心立方晶胞中, 原子沿立方体对角线紧密接触。设晶胞的晶格常数为 a , 立方体对角线的长度为 $\sqrt{3}a$, 所以, 体心立方晶胞中的原子半径 $r = \sqrt{3}/4a$ 。同样可分别算出面心立方晶胞和密排六方晶胞中的原子半径分别为 $r = \sqrt{2}/4a$ 和 $r = 1/2a$ 。

(3) 配位数和致密度

配位数是晶体结构中 with 任一原子周围最近邻且等距离的原子数。配位数表示原子排列的紧密程度。配位数越大, 晶体中原子排列就越紧密。

在体心立方晶格中, 与其最近邻且等距离的原子是周围顶角上的 8 个原子, 所以, 配位数为 8。在面心立方晶格中, 以面中心的原子来看, 与其最近邻且等距离的原子是周围顶角上的 4 个原子, 这 4 个原子构成一个平面, 这样的平面共有 3 个, 所以, 面心立方晶格的配位数是 12 个。在密排六方晶格中, 以晶格上底面中心的原子为例, 它不仅与周围 6 个角上的原子紧密接触, 还与其下面的 3 个位于晶胞之内的原子及其上面相邻的晶胞内的 3 个原子紧密接触, 故配位数为 12。

晶体的致密度是指该晶体晶胞中所含原子的体积与晶胞体积的比值。晶体的致密度越大, 晶体中原子排列密度越高, 原子结合越紧密。致密度 K 可用下式表示:

$$K = \frac{nU}{V}$$

式中: n 为一个晶胞中包含的原子数, U 为晶胞中一个原子的体积, V 为晶胞的体积。

经该式计算可得: 体心立方晶格、面心立方晶格、密排六方晶格的致密度分别为 0.68、0.74、0.74。

2. 晶体缺陷

由于各种因素的作用, 实际金属的晶体结构不像理想晶体那样规则和完整, 晶体中存在许多不完整的部位, 这些部位称为晶体缺陷。根据几何特征, 晶体缺陷分为点缺陷、线缺陷和面缺陷三种类型。

(1) 点缺陷

点缺陷是指在三维尺度上都很小、不超过几个原子直径的缺陷。如晶格空位、间隙原子和异类原子等。

(2) 线缺陷

晶体中的线缺陷主要是位错。位错是在晶体中某处有一列或若干列原子发生有规律的错排现象。位错最基本的类型有两种, 即刃型位错和螺型位错。

刃型位错: 由于某种原因, 晶体的一部分相对于另一部分错开, 出现一个多余的半原子面, 犹如切入晶体的刀片, 刀刃线即位错线。刃型位错的特征: 有一额外半原子面; 位错线可理解为已滑移区与未滑移区的边界线; 晶体存在刃型位错时, 位错周围的点阵发生晶格畸变, 既有正应变也有切应变。位错线与晶体滑移的方向垂直。

螺型位错: 晶体的上下部分发生错动, 若将错动区的原子用线连接起来, 则具有螺旋形特征。螺型位错的特征: 无额外半原子面; 只有切应变无正应变; 位错线与滑移方向平行, 位错线运动的方向与位错线垂直。

(3) 面缺陷

晶体中的面缺陷是指二维尺度很大而第三维尺度很小的缺陷,包括晶体的表面、晶界、亚晶界、相界等。

3. 固溶体和中间相(金属化合物)

(1) 固溶体

合金组元通过溶解形成一种成分和性能均匀、且结构与其组元之一相同的固相为固溶体。与固溶体结构相同的组元称为溶剂,另一组元称为溶质。固溶体主要包括置换固溶体和间隙固溶体两种形式。

在溶剂晶格的某些结点上,其原子被溶质原子所替代而形成的固溶体称为置换固溶体。若溶质与溶剂能以任何比例相互溶解,则形成无限固溶体。若溶质超过某个溶解度有其他相形成,即两个元素之间的相互溶解度有一定的限度,则形成有限固溶体。

溶质原子进入溶剂晶格的间隙中形成的固溶体称为间隙固溶体。间隙固溶体必然是有限固溶体。

(2) 中间相(金属化合物)

合金组元之间相互作用形成的、晶格类型和特性均不同于任一组元的新相称为中间相,或称为金属化合物,可用分子式表示其组成。金属化合物具有较高的熔点、硬度和较大的脆性。根据其结构特点,分为:正常价化合物、电子化合物、间隙相和间隙化合物。当合金中出现金属化合物时,其强度、硬度和耐磨性提高,但塑性下降。

4. 结晶

(1) 结晶概述

物质从液态冷却转变为固态的过程称为凝固。若凝固后的物质为晶体,则这种凝固称为结晶。

液态物质要结晶,就必须冷却到 T_0 (理论结晶温度) 以下的某个温度 T_n (实际结晶温度) 才能结晶,这种现象称为过冷现象。 T_0 (理论结晶温度) 与 T_n (实际结晶温度) 之差称为过冷度。过冷度越大,液态与固态之间的能量差越大,结晶的驱动力就越大。只有当驱动力达到一定程度时,液态金属才能开始结晶。结晶的必要条件是液态金属具有一定的过冷度。

(2) 结晶过程

当液态金属过冷到一定温度时,一些尺寸较大的原子集团开始变得稳定而成为结晶的核心,称为晶核。形成的晶核都按各自方向吸附周围的原子而自由长大,在长大的同时又有新的晶核出现和长大。当相邻晶体彼此接触时长大被迫停止,而只能向尚未凝固的液态部分生长,直到全部结晶完毕。

形核有两种方式:均匀形核和非均匀形核。在结晶过程中,晶核完全由纯净的过冷液态中瞬时短程有序的原子团形成,称为自发形核,又称均匀形核。依附于模壁或液相中未熔固相质点表面形核,称为非自发形核,又称非均匀形核。

一旦晶核形成,晶核就要继续长大成晶粒。系统总自由能随晶体体积的增加而下降,是晶体长大的驱动力。晶体生长有两种常见的形态:平面状态生长和树枝状态生长。

5. 同素异构转变

多数固态纯金属的晶格类型不会改变,但是有些金属在固态下其晶格类型会随温度变化而发生变化。固态金属在不同的温度区间具有不同晶格类型的性质,称为同素异构性。在金

属晶体中,最典型的也最重要的是铁的同素异构转变,锡、锰、钴、钛等也存在这种现象。

同素异构转变遵循形核、长大的规律。但与结晶的特点有所不同,形核一般在某些特定部位,如晶界、晶内缺陷、特定晶面等,这是因为固态下原子扩散困难,转变需要较大的过冷度;同时由于晶格类型的变化导致金属的体积发生变化,转变时会产生较大的内应力,严重时会产生变形或开裂。

三、习题

1. 名词解释

晶体、非晶体、晶体结构、晶格、晶胞、配位数、致密度、多晶体、晶粒、晶界、位错、合金、组元、相、组织组成物、固溶体、固溶强化、中间相、理论结晶温度、过冷度、非自发形核、变质处理、同素异构转变、高聚物、单体

2. 填空题

- (1)晶体与非晶体结构上最根本的区别是()。
- (2)在立方晶系中, $\{120\}$ 晶面族包括()。
- (3) γ -Fe的一个晶胞内的原子数为()。
- (4)结晶过程是依靠两个密切联系的基本过程来实现的,这两个过程是()和()。
- (5)当对金属液体进行变质处理时,变质剂的作用是()。
- (6)液态金属结晶时,结晶过程的推动力是(),阻力是()。
- (7)过冷度是指(),其表示符号为()。
- (8)典型铸锭结构的三个晶区分别为()、()和()。
- (9)固溶体的强度和硬度比溶剂的强度和硬度()。
- (10)高分子材料大分子链的化学组成以()为主要元素,根据组成元素的不同,可分为三类,即()、()和()。
- (11)大分子链的几何形状主要为()、()和()。热塑性聚合物主要是()分子链,热固性聚合物主要是()分子链。
- (12)高分子材料的凝聚状态有()、()和()三种。
- (13)线型非晶态高聚物在不同温度下的三种物理状态是()、()和()。
- (14)一块纯铁在 912°C 发生 $\alpha\text{-Fe}\rightarrow\gamma\text{-Fe}$ 转变时,体积将()。

3. 是非题

- (1)间隙固溶体一定是无限固溶体。()
- (2)凡是由液体凝固成固体的过程都是结晶过程。()
- (3)室温下,金属晶粒越细,则强度越高、塑性越低。()
- (4)在实际金属和合金中,自发形核常常起着优先和主导的作用。()