



全国高等农林院校“十一五”规划教材

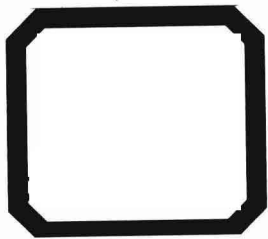
机械制造基础

上册

工程材料及成形技术基础

侯书林 徐 杨 主编

 中国农业出版社



全国高等农林院校“十一五”规划教材

机械制造基础

上册

工程材料及成形技术基础

侯书林 徐 杨 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造基础. 上册, 工程材料及成形技术基础/
侯书林, 徐杨主编. —北京: 中国农业出版社, 2010. 2
全国高等农林院校“十一五”规划教材
ISBN 978-7-109-14351-7

I. ①机… II. ①侯…②徐… III. ①机械制造-高等学校-教材②工程材料-成型-高等学校-教材 IV.
①TH②TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 016167 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)
(邮政编码 100125)

策划编辑 王芳芳
文稿编辑 李兴旺

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 20.75

字数: 502 千字

定价: 32.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本教材是全国高等农林院校“十一五”规划教材,是根据原国家教委高等教育司颁发的《工程材料及机械制造基础教学基本要求》,由中国农业出版社组织国内多所院校经验丰富的一线教师结合各自学校教学大纲内容和近年来教学改革成果而编写的。

本教材共十章。内容有工程材料的结构与性能、金属的结晶与二元合金相图、钢的热处理、工程材料、金属的铸造成形、金属的塑性成形、金属的焊接成形、非金属材料的成形、新材料及其新工艺、机械零件材料及成形工艺的选用,每章附有适量的复习思考题。本教材以工程材料与成形技术为主线,较好地反映了当前国际、国内在工程材料及成形技术方面的最新工艺与技术,着重阐述了基本原理与工艺方法之间的内在联系,突出教学的实践性、综合性和应用性,以适应教学改革的新要求。本教材内容深入浅出,直观形象,图文并茂;专业覆盖面宽,内容的取舍有一定的伸缩性,以适应不同专业、不同学时的教学需求,从而启发学生的思维,提高学习兴趣。

本教材既可作为高等院校机械类、近机械类各专业的教材和参考书,也可供机械制造工程技术人员学习参考。

主 编 侯书林（中国农业大学）

徐 杨（中国农业大学）

副主编 董 欣（东北农业大学）

凌 刚（中国农业大学）

参 编（按姓氏笔画排序）

邢泽炳（山西农业大学）

张吉军（黑龙江八一农垦大学）

赵友亮（西北农林科技大学）

简建明（中国农业大学）

潘天丽（西北农林科技大学）

主 审 胡三媛（中国农业大学）

前 言

《机械制造基础》为全国高等农林院校“十一五”规划教材，是根据原国家教委高等教育司颁发的《工程材料及机械制造基础教学基本要求》，融合了各兄弟院校多年的实际教学经验，在中国农业出版社的组织下由多所大学具有丰富教学与科研经验的一线教师合作编写的。《机械制造基础》分为上、下两册，上册为《工程材料及成形技术基础》，介绍了机械工程材料和零件毛坯的成形方法；下册为《机械制造技术基础》，介绍了机械加工工艺基础。

本教材为《机械制造基础》的上册，共十章，内容有工程材料的结构与性能、金属的结晶与二元合金相图、钢的热处理、常用工程材料、金属铸造成形、金属的塑性成形、焊接、非金属材料成形、新材料及新工艺、机械零件材料及成形工艺的选用等。每章附有适量的复习思考题。本教材以机械工程材料为主线，以培养学生使用 and 选择工程材料及成形工艺的能力为主要目的，在介绍理论基础的同时增加了新材料和新工艺及其发展趋势的介绍，并对工程材料与成形工艺进行了有效的整合，较好地反映了当前国际国内在工程材料及成形技术方面的最新工艺与技术，着重阐述了基本原理与工艺方法之间的内在联系，突出教学的实践性和综合性，以适应教学改革的新要求。

参加本教材编写的有中国农业大学侯书林、徐杨、凌刚、简建明，东北农业大学董欣，西北农林科技大学赵友亮、潘天丽，山西农业大学邢泽炳，黑龙江八一农垦大学张吉军。侯书林、徐杨负责组织编写并任全书主编，董欣、凌刚任副主编。中国农业大学胡三媛教授主审，在此表示衷心的感谢。

本教材既可作为高等院校机械类、近机械类各专业的教材和参考书，也可供机械制造工程技术人员学习参考。

在全书的编写过程中,吸收了许多教师对编写工作的宝贵意见,在编写和出版过程中得到了各参编院校及中国农业出版社的大力支持,在此一并表示由衷的谢意。

本教材在编写过程中参考和引用了一些教材中的部分内容和插图,所用参考文献均已列于书后,在此对有关出版社和作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,不妥之处在所难免,衷心希望广大读者批评指正。

编 者

2009年6月

目 录

前言

绪论 1

第一章 工程材料的结构与性能 3

第一节 金属材料的晶体结构 3

一、纯金属的晶体结构 3

二、实际金属的晶体结构 8

三、合金的相与结构 9

第二节 非金属材料的结构与组织 13

一、高分子材料的结构与组织 13

二、陶瓷材料的结构与组织 15

第三节 工程材料的性能 18

一、工程材料的力学性能 18

二、工程材料的物理性能 32

三、工程材料的化学性能 36

四、工程材料的工艺性能 37

复习思考题 38

第二章 金属的结晶与二元合金相图 39

第一节 纯金属的结晶 39

一、结晶的条件 39

二、结晶的过程 40

三、细化铸态金属晶粒的措施 41

四、金属铸件的组织 42

五、金属的同素异构转变 43

第二节 合金的结晶 43

一、二元合金相图基本知识 44

二、二元合金相图类型与结晶分析 44

三、合金性能与相图的关系 50

第三节 铁碳合金相图 51

一、铁碳相图的特征	52
二、典型铁碳合金的结晶过程	55
三、铁碳合金的成分—组织—性能的关系	60
四、铁碳合金相图的应用	62
复习思考题	63
第三章 钢的热处理	64
第一节 概述	64
第二节 钢在加热时的转变	65
一、钢的奥氏体化	65
二、奥氏体晶粒度及其控制	65
第三节 钢在冷却时的转变	66
一、过冷奥氏体转变产物的组织与性能	67
二、过冷奥氏体的等温转变曲线——TTT 曲线	71
三、过冷奥氏体的连续转变曲线——CCT 曲线	73
第四节 钢的普通热处理	74
一、钢的退火与正火	74
二、钢的淬火	76
三、钢的淬透性	79
四、钢的回火	81
第五节 钢的表面热处理	83
一、钢的表面淬火	83
二、化学热处理	85
第六节 钢的其他热处理	89
一、真空热处理	89
二、形变热处理	89
复习思考题	90
第四章 工程材料	91
第一节 碳钢	91
一、碳钢的成分和分类	91
二、碳钢的牌号和用途	92
第二节 合金钢	96
一、钢的合金化	97
二、合金钢的分类	100
三、合金结构钢	100
四、合金工具钢	111
五、特殊性能钢	119

第三节 铸铁	126
一、铸铁的石墨化及分类	126
二、常用铸铁	128
三、合金铸铁	133
第四节 有色金属及合金	135
一、铝及铝合金	135
二、铜及铜合金	141
三、滑动轴承合金	147
四、钛及钛合金	149
第五节 非金属材料	150
一、塑料	150
二、橡胶	154
三、陶瓷	156
四、复合材料	159
复习思考题	163
第五章 金属铸造成形	165
第一节 铸造成形理论基础	165
一、液态合金的充型能力	165
二、铸造合金的收缩	167
三、合金的偏析和吸气性	173
四、铸件的常见缺陷	174
第二节 砂型铸造	175
一、造型方法	175
二、铸造工艺设计	178
第三节 常见特种铸造工艺	184
一、熔模铸造	184
二、金属型铸造	185
三、压力铸造	186
四、低压铸造	187
五、离心铸造	188
第四节 常用铸造合金铸件生产	189
一、铸铁件的生产	189
二、铸钢件的生产	194
三、非铁合金铸件的生产	195
第五节 铸件的结构工艺性	197
一、铸造工艺对铸件结构设计的要求	198

二、合金铸造性能对铸件结构设计的要求	200
三、不同铸造方法对铸件结构的要求	203
复习思考题	205
第六章 金属的塑性成形	207
第一节 金属塑性成形的理论基础	207
一、金属塑性成形种类	207
二、金属的塑性变形原理	209
三、塑性变形后金属的组织 and 性能	210
四、金属材料的塑性加工性能	212
第二节 金属的锻造	214
一、自由锻	214
二、模锻	218
第三节 板料冲压	226
一、板料冲压的特点及应用	226
二、板料冲压工序	227
三、冲模简介	234
第四节 其他常见塑性成形工艺	236
一、精密模锻	236
二、挤压成形	237
三、轧制成形	238
四、超塑性成形	241
第五节 塑性成形件的结构工艺性	242
一、锻件结构工艺性	242
二、冲压件结构工艺性	244
复习思考题	247
第七章 焊接	248
第一节 焊接工程理论基础	248
一、熔焊冶金过程	248
二、焊接接头组织和性能	249
三、焊接应力和变形	250
第二节 常用焊接方法	253
一、手工电弧焊	254
二、埋弧自动焊	256
三、气体保护焊	257
四、压焊与钎焊	259
第三节 常用金属材料的焊接	263

一、金属材料的焊接性	263
二、碳钢及低合金结构钢的焊接	264
三、不锈钢的焊接	265
四、铸铁的焊补	266
五、非铁金属的焊接	267
第四节 焊接结构工艺性	268
一、焊接结构的材料选择	268
二、焊接方法的选择	268
三、焊接接头的工艺设计	269
第五节 现代焊接技术与发展趋势	272
一、等离子弧焊接与切割	272
二、电子束焊接	273
三、激光焊接	274
四、扩散焊接	274
五、焊接技术的发展趋势	275
复习思考题	276
第八章 非金属材料成形	277
第一节 工程塑料成形	277
一、塑料成形概述	277
二、塑料制品成形方法	277
三、塑料的加工	281
第二节 橡胶成形	282
一、橡胶成形概述	282
二、橡胶制品成形方法	283
第三节 陶瓷成形	284
一、陶瓷成形概述	284
二、陶瓷制品成形方法	285
第四节 复合材料的成形	287
一、复合材料成形概述	287
二、复合材料制品成形方法	287
三、复合材料的二次加工	290
复习思考题	291
第九章 新材料及新工艺	292
第一节 工程材料表面成形及强化新技术	292
一、材料表面涂层新技术	292
二、材料表面改性新技术	295

第二节 工程材料成形新技术	297
一、金属液态成形新技术	297
二、金属塑性成形新技术	298
三、金属焊接成形新技术	300
四、快速成形技术	302
复习思考题	303
第十章 机械零件材料及成形工艺的选用	304
第一节 工程材料的质量检验与零件失效分析	304
一、材质检验在机械制造中的作用	304
二、材质检验技术	305
三、零件失效分析	306
第二节 工程材料及成形工艺选择的基本原则	312
一、材料的使用性能原则	312
二、材料加工工艺性能原则	313
三、材料的经济性原则	314
第三节 典型零件的材料及成形工艺的选择	314
一、轴杆类零件	314
二、盘套类零件	316
三、机架和箱体类零件	317
复习思考题	318
主要参考文献	319

绪 论

机械制造业是所有与机械制造有关的企业机构的总体。机械制造业是国民经济的基础产业。在国民经济的各条战线上,乃至人民生活中,广泛使用的大量机器设备、仪器、工具都是由机械制造业提供的。因此,机械制造业不仅对提高人民生活水平起着重要保障作用,而且对科学技术发展,尤其对现代高新技术的发展起着更为积极的推动作用。如果没有机械制造业提供质量优良、技术先进的技术装备,将直接影响工业、农业、交通、科研和国防各部门的生产技术和整体水平,进而影响一个国家的综合生产实力。“经济的竞争归根到底是制造技术和制造能力的竞争”。可见,机械制造业的发展水平是衡量一个国家经济实力和科技水平的重要标志之一。

机械制造基础(含工程材料及成形技术、机械制造技术基础)是机械系列相关课程中必不可少的先修课程,是机械类专业学生必修的一门主干技术基础课程,也是近机械类和部分非机械类专业普遍开设的一门课程。机械制造是研究产品从原材料到合格零件或机器的制造工艺技术的科学。因此,机械制造基础是工科院校进行产品的生产过程、工程概念及制造工艺教育的一门重要的基础课程。本课程着重阐述常用工程材料的种类,各种材料的性能、特点、应用,各种成形方法的工艺实质、成形特点和选择方法,机械零件的加工方法,工艺路线的拟订,机械制造的新技术和新工艺。本课程兼有基础性、实用性、知识性、实践性与创新性等特点,是培养现代复合型人才的重要基础课程之一,其在培养学生综合素质、实践能力、创新意识和创新精神等方面发挥着其他课程不可替代的作用。通过对本课程的学习,学生可以掌握工程材料和机械制造的基本理论及基本知识,初步具备应用机械制造基本知识的能力,初步具备应用所学知识分析和解决实际问题的能力,并培养初步的创新意识。

1. 本课程的主要内容 本套教材的上册《工程材料及成形技术基础》主要介绍工程材料的结构与性能、金属的结晶与二元合金相图、钢的热处理、常用工程材料、金属铸造成形、金属的塑性成形、焊接、非金属材料成形、新材料及新工艺、机械零件材料及成形工艺的选用等内容。

本套教材的下册《机械制造技术基础》主要介绍尺寸公差与配合、形位公差、表面粗糙度、金属切削的基础知识、金属切削机床的基本知识、常用加工方法、齿轮齿形加工、精密加工和特种加工、机械加工工艺过程、先进制造技术等内容。

2. 本课程的主要任务

(1) 掌握工程材料和材料热加工工艺与现代机械制造的完整概念,培养良好的工程意识。

(2) 掌握金属材料的成分、组织、性能之间的关系,强化金属材料的基本途径,钢的热处理原理和方法,常用金属材料和非金属材料的性质、特点、用途和选用原则。初步具有正确选用常用金属材料 and 常规热处理工艺的能力。

(3) 掌握各种热加工工艺方法的成形原理、工艺特点和应用场合,具有选用毛坯种类、成形方法和制订简单毛坯(零件)加工工艺规程的初步能力。

(4) 掌握毛坯(零件)的结构工艺性,具有分析零件结构工艺性的基本能力,能够进行简单产品的结构设计和工艺设计,培养综合运用知识的能力。

(5) 了解与本课程有关的新技术和新工艺。

3. 本课程的主要教学方法 本课程主要结合工程实践进行教学,通过课堂讲授、作业和实验等方式完成教学任务。为了有效地使用本教材进行课程教学,应注意以下几点。

(1) 教学过程中应结合工程实践,以基本工艺原理为主。本课程教学要求学生应具有一定的实践基础,为达到课程教学基本要求,学习本教材之前必须进行工程实践教学(金属工艺学实习)。教材中的基本工艺都是在工程实践中学生亲手做过的或现场教学看过的。因此,教师和学生都应十分注意将课程内容与实践内容紧密地联系起来。对于部分由于实习条件不够,一时难以实现的内容,可用 CAI 的方式进行简单的介绍。

(2) 处理好与相关教学内容的关系。本教材的内容既具有自身的相对独立性,同时又与其他教学环节有一定的联系,如热加工工艺与“工程实践”中的内容基本相同。因此,在教学中不要重复工艺操作过程,而应该将重点放在工艺原理和分析上,以及实习中缺少的理论知识;同时减少重复讲授,提高教学效率。零件或毛坯结构工艺性的内容具有相对独立性,应以工艺原理和特点为基础,以零件或毛坯结构设计的合理性为目标,使学生掌握分析零件或毛坯结构工艺性的原理和方法,具有初步的结构设计能力。

(3) 重视教学资源开发与利用。借助幻灯、录像,特别是计算机辅助教学等手段,直观、准确、清晰地描述微观的和抽象的空间概念,能大大提高教学效果,激发学生学习兴趣。

(4) 加大实验项目的开发,多开设综合性、开发性实验,探索理论与实践相结合的教学模式,最大限度地利用实验室、实训基地的设备和条件,亲身实践,学做结合。

(5) 综合性训练。工程技术是综合性活动,综合运用所学知识解决工程实际问题是工程技术人员必备的基本素质,因此应多进行课堂讨论,多采用综合性大作业等教学方法进行培养。

第一章 工程材料的结构与性能

工程材料是人类生产和生活的重要物质基础。熟悉和掌握各种工程材料的性质和用途，合理地选择材料，对机械类专业的学生是必需的。本章主要介绍金属材料的晶体结构、高分子材料和陶瓷材料的结构与组织、工程材料的性能。

第一节 金属材料的晶体结构

金属材料是现代制造业最主要的使用材料，具有比其他材料远为优越的综合性能，如物理和化学性能、力学性能、工艺性能，因而广泛应用于现代科技和日常生活中。在制造工艺中可采用各种加工方法制成各种形状和具有各种性能的零件。本节主要介绍金属材料的晶体结构与组织。

一、纯金属的晶体结构

(一) 晶体与非晶体

一切固态物质按其内部粒子（原子、离子、分子、原子集团）排列的特征可分为晶体和非晶体两大类。凡内部粒子呈规则排列的固态物质均称为晶体，如食盐、雪花、固态金属等都是晶体。凡内部粒子呈无规则堆积的固态物质均称为非晶体，如普通玻璃、松香等均为非晶体。由于晶体中原子规则排列，其性能与非晶体相比有一些重要的区别，如晶体都有固定的熔点（例如，铁的熔点为 1538°C ，铝的熔点为 660.4°C ）。此外晶体还具有各向异性，即同一晶体在不同位向（方向）上性能（如强度、弹性、热膨胀性等）也不同。

晶体与非晶体在一定条件下可以相互转化。例如，有些金属，在液态下冷却极快，可制成非晶态金属；原是非晶体的普通玻璃，经高温长时间处理后，也能成为晶态玻璃，即钢化玻璃。

(二) 晶格、晶胞

为了便于分析，把金属原子近似地看做固定不动的刚性小球，则金属晶体可看做是由许多刚性小球按一定几何规则紧密排列而成，如图 1-1a。为了便于讨论晶体中原子排列情况（即晶体的结构），设想把原子中心用直线连接起来，在空间形成格架，此格架称为空间格子，简称为晶格，如图 1-1b。

由于晶体中原子排列具有周期性的特点，因此可从晶格中选取一个能完全反映晶体特征的最小几何单元（此单元称为晶胞），通常用它来分析晶体中原子排列的规律，如图 1-1c 所示。

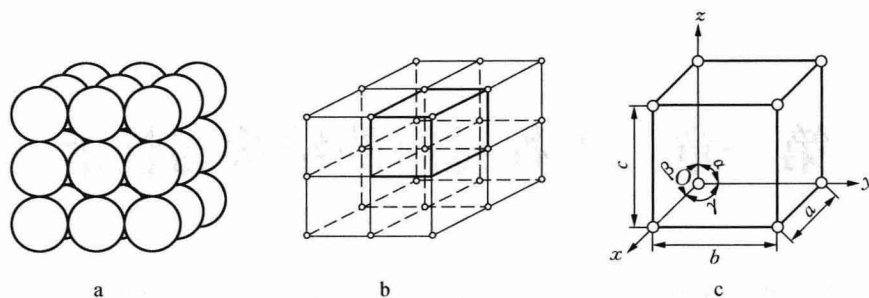


图 1-1 原子排列及晶格、晶胞示意图

a. 原子排列模型 b. 晶格 c. 晶胞及晶胞的参数

晶胞的大小和形状，常以晶胞的棱边长度 a 、 b 、 c 及棱间夹角 α 、 β 、 γ 来表示，如图 1-1c。通过晶胞角上某一结点沿其三条棱边的三个坐标轴 (x 、 y 、 z) 称为晶轴，晶胞的棱边长度称为晶格常数。晶格常数单位为 nm，其数值通常为 0.1~0.7 nm。如图 1-1c 所示的是简单立方晶胞，其三个棱边的晶格常数相等 ($a=b=c$)，三个晶轴间夹角也相等 ($\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$)。

(三) 金属中常见的晶体结构

金属中常见的晶体结构 (也称为晶格类型) 有三种：体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格。

1. 体心立方晶格 体心立方晶格的晶胞如图 1-2 所示。其晶胞是一个立方体，除晶胞的 8 个角上各有一个原子外，晶胞体中心还有一个原子，故称体心立方晶胞。其晶格常数 $a=b=c$ ，晶胞间夹角 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ 。

属于这种晶格类型的金属有铬 (Cr)、钼 (Mo)、钨 (W)、钒 (V)、 α -Fe (温度在 912℃ 以下的纯铁) 及 δ -Fe (温度在 1394℃ 以上的纯铁) 等。它们大多具有较高的强度和韧性。

2. 面心立方晶格 面心立方晶格的晶胞如图 1-3 所示，其晶胞也是一个立方体。除晶胞的 8 个节点处排列着原子外，在立方体的六个面的中心也排列着原子，所以称为面心立方晶胞。其晶格常数 $a=b=c$ ，晶胞间夹角 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ 。

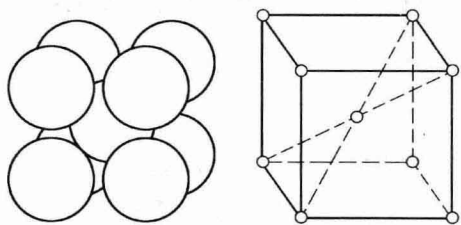


图 1-2 体心立方晶胞

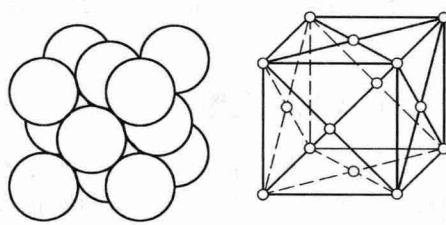


图 1-3 面心立方晶胞

属于这种晶格类型的金属有铝 (Al)、铜 (Cu)、金 (Au)、银 (Ag)、镍 (Ni) 及 γ -铁 (温度为 912~1394℃ 的纯铁) 等。它们大多具有较高的塑性。

3. 密排六方晶格 密排六方晶格的晶胞如图 1-4 所示，其晶胞是一个正六棱柱。除 12