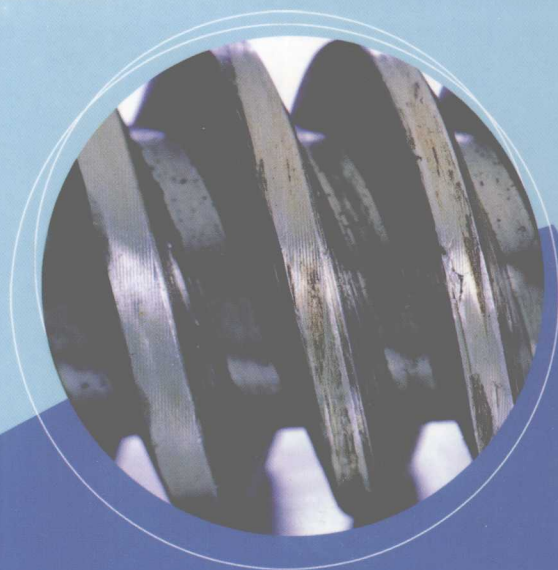




21世纪高等院校机械专业应用型精品规划教材

机械制造基础

© 主编 何世松 寿兵



哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

本书共分五章, 主要讲述机械制图的基本知识、机械制图的基本规定、机械制图的基本要素、机械制图的基本步骤、机械制图的基本应用。本书可作为高等院校机械专业及相关专业的教材, 也可供从事机械工作的工程技术人员参考。

机械制造基础

图书在版编目(CIP)数据

主 编 何世松 寿 兵
副主编 尹 懿 黄文华 温志霞
参 编 贾学斌 仲丛伟 李永松

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第133731号

出版发行: 哈尔滨工程大学出版社
社 址: 哈尔滨市南岗区学府路50号
邮 编: 150001
电 话: 0451-82519338
传 真: 0451-82519339
邮 政 挂 号: 150001
印 刷: 哈尔滨市南岗区学府路50号
开 本: 787mm×1092mm 1/16
印 张: 19
字 数: 251千字
版 次: 2009年8月第1版
印 次: 2009年8月第1次印刷
定 价: 32.00元



哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

http://press.heu.edu.cn
E-mail: heupress@heu.edu.cn
网上书店: www.hebook.com

内容提要

本书主要分三大部分内容:一是工程材料的分类及其选用,主要包括各种金属材料和非金属材料的分类、性能、化学成分、用途,以及钢铁的热处理等内容;二是热加工知识和技能,包括铸造、锻压、焊接、毛坯的选用等内容;三是冷加工知识和技能,主要包括车削、铣削、磨削及其加工质量分析等内容。

本书可作为高等院校、职业院校数控技术、机电一体化技术、模具设计与制造等机械类和近机类专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/何世松等主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2009. 8

ISBN 978-7-81133-517-0

I. 机… II. 何… III. 机械制造—高等学校—教材
IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 133721 号

出版发行:哈尔滨工程大学出版社

社 址:哈尔滨市南岗区东大直街 124 号

邮 编:150001

发行电话:0451-82519328

传 真:0451-82519699

经 销:新华书店

印 刷:北京市通州京华印刷制版厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:19

字 数:551 千字

版 次:2009 年 8 月第 1 版

印 次:2009 年 8 月第 1 次印刷

定 价:37.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

网上书店: www.kejibook.com

对本书内容有任何疑问及建议,请与本书责编联系。邮箱: jixie_book@sina.com

出版说明

近年来,我国的高等教育事业实现了跨越式发展,为社会主义现代化建设事业培养了大批急需的各类人才,对提高劳动者的素质,建设社会主义精神文明,促进社会进步和经济发展发挥了重要的作用。

随着我国科技的发展以及经济的腾飞,高技能人才的缺乏逐渐成为影响社会快速、健康发展的瓶颈。高等院校作为培养各类高素质人才的重要基地,必然要对教育教学制度进行改革,以改革教育思想和教育观念为先导,以促进就业为目标,实行多样、灵活、开放的人才培养模式,把教育教学与生产实践、社会服务、技术推广结合起来,加强实践教学和就业能力的培养,逐步探索建立适应我国社会主义现代化建设需要,能顺利实现高等人才培养目标的高等教育思想和教育理念。

要加快高等教育改革和发展的步伐,就必须对其课程体系和教学模式等问题进行探索。在这个过程中,教材的建设与改革无疑起着至关重要的基础性作用,高质量的教材是培养高素质人才的保证。高等教育教材作为知识的载体和教学的基本工具,直接关系到高等教育能否为社会培养并输送符合要求的高技能人才。

为推动高等教育教材的建设,加快高等教育改革和发展的步伐,我们精心组织了一批具有丰富教学和科研经验的教师,针对高等院校机械学科相关专业的教学特点,编写了《21世纪高等院校机械专业应用型精品规划教材》。本系列教材以使学生在具有必备的基础理论知识和专业知识的基础上,重点掌握从事本专业领域实际工作的基本能力和基本技能为宗旨,致力于培养基础理论知识适度、技术应用能力强、知识面宽、素质高的应用型人才。

本系列教材非常注重培养学生的实践技能,力避传统教材“全而深”的教学模式,将“教、学、做”有机地融为一体,在教给学生知识的同时,强化对学生实际操作能力的培养。在编写过程中,教材力求从实际应用的需要出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论灌输,充分体现出“以行业为导向,以能力为本位,以学生为中心”的特色,从而使教材更具有实用性和前瞻性,与就业市场结合更为紧密。

本系列教材的编写力求突破陈旧的教育理念,采用了“以案例导入教学”的编写模式。在对某一理论进行讲解的同时,紧密结合实际,援引大量鲜明实用的案例进行分析说明,以达到编写高质量教材的目标。这些精心设计的案例不但可以方便教师授课,同时又可以启发学生思考,加快对学生实践能力的培养,改革人才的培养模式。

本系列教材可供普通高等院校、高等职业院校、成人高校及各类培训学校机械学科机械设计制造、数控技术、模具设计与制造、机电一体化等相关专业使用。在编写过程中,得到了许多高等院校老师的大力支持,在此特向他们致以衷心的感谢,同时也对所有参与本系列教材出版工作的人员表示感谢!

哈尔滨工程大学出版社

前言

前 言

机械类和近机械类学生在进行专业核心课程学习前都需要学习机械制造基础课程，本书主要围绕学生“应知应会”的知识和技能进行编写。全书力求体现以下特色：坚持以工作过程为导向，以典型工作任务为载体设计学习项目，教学过程以任务为载体，以学生为主体，以能力训练为目标，使学生在学中做、做中学，实现知识与能力并进。

本书采用了“项目导向、任务驱动”的模块式编写方式，每个模块下包含若干项目，每个项目均按“任务导入、应知应会、检查评估”三个步骤进行编写，打破了传统学科体系的编排方式。其中“任务导入”主要提示和本项目相关的工作案例、学习任务 and 目的等；“应知应会”是本项目的正文内容，主要围绕完成材料选用、零件加工等所需的理论知识和操作技能的介绍，包括工艺知识，材料知识，机床、刀具、夹具知识，编程及计算知识，数控机床操作知识，工量具正确使用与保养等；“检查评估”主要是项目学习结束后对学生考核用的习题、实训等。

本教材的参考学时数为 90 学时，内容主要分三大部分：一是工程材料的分类及其选用，主要包括各种金属材料和非金属材料的分类、性能、化学成分、用途，以及钢铁的热处理等内容；二是热加工，包含铸造、锻压、焊接、毛坯的选用等内容；三是冷加工，主要包含车削、铣削、磨削及其加工质量分析等内容。

本教材由何世松、寿兵担任主编，尹懿、黄文华、温志霞担任副主编，贾学斌、仲丛伟、李永松参与编写。具体分工如下：何世松编写模块一、二、五，尹懿编写模块三，黄文华编写模块四，温志霞编写模块六、七，寿兵编写模块八。

本书在编写过程中参考了相关教材及专著，在此对这些作者们表示衷心的感谢！由于编者水平有限，书中不妥及错漏之处，恳请广大读者批评指正，以便再版时修正。

编 者

机械工业出版社

目 录

模块一 工程材料的分类及其选用	4
项目一 金属的晶体结构与结晶	5
1.1.1 晶体基础	5
1.1.2 常见的金属晶体结构	6
1.1.3 金属的实际晶体结构	7
1.1.4 金属的结晶	8
1.1.5 晶体缺陷	9
1.1.6 合金的相结构	11
项目二 铁碳合金	13
1.2.1 铁碳合金的基本组织	13
1.2.2 铁碳合金相图	14
项目三 钢的热处理	19
1.3.1 钢的热处理原理	19
1.3.2 钢的退火和正火	24
1.3.3 钢的淬火	26
1.3.4 钢的回火	29
1.3.5 钢的表面淬火	31
1.3.6 钢的化学热处理	32
项目四 铸铁的分类及其选用	37
1.4.1 铸铁的石墨化及分类	37
1.4.2 普通灰铸铁	39
1.4.3 球墨铸铁	41
1.4.4 可锻铸铁	43
1.4.5 蠕墨铸铁	44
项目五 钢的分类及其选用	46
1.5.1 碳素钢	47
1.5.2 合金钢	50
项目六 铜与铜合金的分类及其选用	58
1.6.1 工业纯铜	59
1.6.2 黄铜	59
1.6.3 青铜	61
项目七 铝与铝合金的分类及其选用	64
1.7.1 工业纯铝	64

1.7.2 铝合金	64
1.7.3 常用铝合金	65
项目八 非金属材料的分类及其选用	69
1.8.1 塑料	69
1.8.2 橡胶	71
1.8.3 陶瓷	73
1.8.4 复合材料	75
模块二 铸造	77
项目一 金属的砂型铸造	78
2.1.1 造型材料	78
2.1.2 砂型铸造造型方法	79
2.1.3 铸造工艺设计	82
2.1.4 铸件结构工艺性	88
项目二 金属的特种铸造	95
2.2.1 熔模铸造	95
2.2.2 金属型铸造	96
2.2.3 压力铸造	98
2.2.4 离心铸造	99
2.2.5 低压铸造	99
模块三 锻压加工	101
项目一 金属的锻造	102
3.1.1 锻压加工工艺基础	102
3.1.2 常用锻造方法	106
3.1.3 现代塑性加工与发展趋势	116
项目二 板料的冲压	122
3.2.1 板料冲压特点及应用	122
3.2.2 冲裁	122
3.2.3 拉伸	124
3.2.4 弯曲	126
3.2.5 成形	127
3.2.6 板料冲压件的结构工艺性	128
模块四 焊接	131
项目一 焊条电弧焊	131
4.1.1 焊接工程理论基础	131
4.1.2 常用焊接方法	136
4.1.3 常用金属材料的焊接	145

4.1.4 焊接结构工艺性	149
项目二 其他焊接方法	154
4.2.1 等离子弧焊接与切割	154
4.2.2 电子束焊接	155
4.2.3 激光焊接	156
4.2.4 扩散焊接	156
4.2.5 焊接技术的发展趋势	157
模块五 毛坯的选用	158
项目一 毛坯的选用原则	158
5.1.1 毛坯的种类及其成形方法比较	158
5.1.2 不同种类的毛坯的选用原则	160
项目二 典型零件毛坯的选用	161
5.2.1 轴杆类零件	162
5.2.2 盘套类零件	162
5.2.3 机架、壳体类零件	163
模块六 金属切削加工	164
项目一 金属切削原理与刀具基础知识	164
6.1.1 切削运动和切削要素	165
6.1.2 金属切削刀具	166
6.1.3 金属切削过程中的物理现象	172
6.1.4 切削液	181
6.1.5 刀具几何参数与切削用量选择及实例	183
项目二 车削加工	189
6.2.1 车床简介	190
6.2.2 车刀	195
6.2.3 车削时工件的装夹	197
6.2.4 车削加工的工艺特点和运用	198
项目三 铣削加工	201
6.3.1 铣床	201
6.3.2 铣刀	202
6.3.3 铣削要素	204
6.3.4 铣削方式	205
6.3.5 铣削的应用	206
6.3.6 铣削加工的工艺特点	207
项目四 磨削加工	207
6.4.1 磨床	207
6.4.2 砂轮	208



6.4.3 磨削加工工艺	212
6.4.4 磨削加工的特点	215
项目五 其他切削加工	215
6.5.1 钻削、铰削和镗削加工	216
6.5.2 刨削、插削和拉削加工	224
6.5.3 螺纹、齿轮加工	228
6.5.4 特种加工	233
模块七 机械加工工艺规程的制定	238
项目一 工艺过程的基本知识	238
7.1.1 基本概念	238
7.1.2 工件的装夹	243
7.1.3 机械加工工艺规程的作用、原则及制定步骤	250
项目二 轴类零件的加工工艺	255
7.2.1 轴类零件简介	255
7.2.2 轴类零件的加工工艺规程的制定	256
项目三 套筒类零件的加工工艺	260
7.3.1 套筒类零件简介	260
7.3.2 套筒类零件的加工工艺规程的制定	261
项目四 箱体类零件的加工工艺	264
7.4.1 箱体类零件的功用及结构特点	264
7.4.2 箱体类零件的主要技术要求、材料和毛坯	265
7.4.3 箱体类零件的加工工艺规程的制定	265
模块八 零件加工质量的分析	269
项目一 零件加工精度的分析	269
8.1.1 加工精度和加工误差	269
8.1.2 原始误差与加工误差的关系	270
8.1.3 工艺系统力效应引起的变形造成的误差	275
8.1.4 工艺系统热效应引起的变形造成的误差	279
8.1.5 加工误差的统计分析	283
8.1.6 提高加工精度的工艺措施	288
项目二 零件加工表面质量的分析	290
8.2.1 零件表面加工质量	290
8.2.2 加工表面质量对零件使用性能的影响	291
8.2.3 加工表面粗糙度及其影响因素	293
参考文献	296

课程标准

一、课程性质

机械制造基础是机械设计及制造、数控技术、模具设计与制造、机械制造与自动化等专业的学生的一门核心课程，是一门研究材料加工工艺的综合性的技术基础课程。

本课程的工作任务是：通过若干项典型工作任务的学习，即工件材料的选择和应用、毛坯的确定、工件热处理、工艺路线的设计、零件的结构工艺性分析，使学生具备必需的机械制造知识和技能。这些典型工作任务是机械零件的设计、制造、设备维护等工作中的基本任务，都是独立的工作任务，对学生职业能力培养起主要支撑作用，对学生职业素养的培养起明显的促进作用。

为了充分贯彻以能力培养为主的教育理念，《机械制造基础》的教学转变传统的教学模式，通过企业调研、专家座谈等形式对学生毕业后对应的工作岗位进行了分析，在工作岗位分析的基础上，确定了本课程对应的典型工作任务，开发了本课程的学习领域并最终形成了“任务驱动，学生主体”的教学模式。

本课程的实践性、应用性和针对性都很强，为保证课程顺利进行，本课程应同时安排金工实训课程。通过金工实训，了解金属材料主要加工方法及其所用设备、附件、工具、刀具，并对主要切削加工工种具有一定的基本操作技能。将金工实习中所获得的比较零散的、片面的知识进行归纳、总结、拓宽、加深和应用，从而达到本课程预期的教学目的和要求。在教学过程中应加强多媒体教学、现场教学和工厂参观，以拓宽学生在机械制造方面的知识面。

二、培养目标

机械制造基础课程的教学目标是培养学生掌握机械零件常用材料的基本知识、热处理知识、毛坯生产方法，培养学生选择机械零件材料、毛坯生产方法、热处理方法的能力。通过完成典型零件生产过程的设计训练，培养学生分析问题、解决问题的能力以及团队协作能力。

1. 方法能力目标	A. 具有较好的学习新知识和技能的能力。 B. 具有较好的分析和解决问题的方法能力。 C. 具有通过查找资料、文献获取信息的能力。 D. 具有制订、实施工作计划的能力
2. 社会能力目标	A. 具有严谨的工作态度和较强的质量和成本意识。 B. 具有较强的敬业精神和良好的职业道德。 C. 具有较强的沟通能力及团队协作精神

(续)

3. 专业能力目标	A. 能使用硬度计检测材料硬度; B. 能根据机械零件的性能要求和材料的性能、应用范围,正确确定典型机械零件的材料种类和牌号; C. 能根据机械零件的结构和用途,选择典型机械零件的毛坯生产方法; D. 能根据机械零件的材料和性能要求,选择典型零件的热处理方法; E. 能根据机械零件的材料种类、毛坯种类及用途,合理安排典型机械零件的加工路线; F. 能根据机械零件的材料、毛坯、生产方法等,正确分析零件结构工艺性
-----------	---

三、与前后课程的联系

前面的学习课程主要有机械工程的识读与绘制、工程力学等,后续学习课程有机械零件与机构的选用与设计、数控加工与程序编制、顶岗实习等专业课。

四、教学内容与学时分配

本课程总学时:约 90 学时。

在课程培养目标确定之后,授课教师与企业技术人员一起研讨,通过对本课程对应的典型工作任务进行分析,依据机械制造企业典型机械零件的制造工作中常见的工作任务归纳出具有普遍适应性的八个学习性模块,各模块学时分配建议如下表所示。

模块序号	模块名称	所用课时
模块一	工程材料的分类及其选用	20
模块二	铸造	10
模块三	锻压加工	12
模块四	焊接	10
模块五	毛坯的选用	4
模块六	金属切削加工	20
模块七	机械加工工艺规程的制定	8
模块八	零件加工质量的分析	6

五、对教师的要求

教师首先要转变观念,在教学中融入最新职业教育理念,强调理实一体化教学方式的实施。

传统的教学模式是以教师的课堂讲解为主,学生被动地接受知识,学生的学习目标不明确,学习积极主动性和学习效果差;实行新的教学模式后教师和学生在学习中的地位发生了改变,学生成为了教学过程的主体,教师的作用不再是知识灌输,而是转变为提出任务、进行引导、说明原理、提供示范、评估结果,学生的学习转变为在教师引导下,独立进行信息查询、制定计划、完成任务、进行评估。新的教学模式下,整个学生始终处于教学过程的主体地位,整个学习过程以实际的工作过程为基础,学生在工作任务的驱动下学习理论知识和操作技能,学习的主动性和积极性高,学习效果好。

六、对实验实训场所及教学仪器设备的要求

机械制造基础课程应配有机械零件陈列室、模具陈列室、力学性能检测室、热处理实训室与金相实训室、工业技术中心、数控加工技术实训车间等校内实验实训场所,以便能完全满足课程教学和学生职业岗位能力训练的需要。全部实验实训设备如下表所示(各院校可根据实际情况进行调整)。

序号	仪器或设备名称	数量	序号	仪器或设备名称	数量
1	金相显微镜（台式）	20 台	23	开式可倾压力机	2 台
2	卧式显微镜	1 台	24	剪板机	1 台
3	布洛维硬度计	4 台	25	CA6140 车床	10 台
4	洛氏硬度计	4 台	26	C616 车床	4 台
5	布氏硬度计	1 台	27	X62W 铣床	3 台
6	显微硬度计	1 台	28	立式铣床	1 台
7	金相试样镶嵌机	1 台	29	平面磨床	2 台
8	金相试样预磨机	6 台	30	万能外圆磨床	1 台
9	金相试样抛光机	10 台	31	牛头刨床	2 台
10	箱式热处理炉（中温）	3 台	32	万能工具磨床	1 台
11	箱式热处理炉（高温）	1 台	33	立式钻床	1 台
12	坩锅炉	2 台	34	刻模铣床	1 台
13	低温油浴炉	2 台	35	摇臂钻床	1 台
14	淬火槽	油水各 1	36	台式钻床	5 台
15	金相照片洗印设备	2 套	37	滚齿机	1 台
16	万能力学试验机	1 台	38	钳工台工位	70 个
17	扭转力学试验机	1 台	39	数控车床	12 台
18	冲击试验机	1 台	40	立式加工中心	10 台
19	交流电焊机	10 台	41	车削中心	1 台
20	直流电焊机	1 台	42	卧式加工中心	1 台
21	气焊设备	1 套	43	演示教具	若干
22	二氧化碳气体保护焊机	1 套	44	三坐标测量机	1 台

七、考核方式与标准

考核步骤	考核内容	知识能力（30%）	专业能力（70%）
		每部分所占分数	每部分所占分数
模块考核	模块一 工程材料的分类及其选用	4	10
	模块二 铸造	2	4
	模块三 锻压加工	2	4
	模块四 焊接	2	4
	模块五 毛坯的选用	2	4
	模块六 金属切削加工	5	15
	模块七 机械加工工艺规程的制定	3	10
	模块八 零件加工质量的分析	2	4
综合考核	典型机械零件的制造过程	8	15
	总分（百分制）	30	70

模块一

工程材料的分类及其选用

工程材料是现代工农业生产赖以存在和发展的必备物质基础。人类生活、生产的过程是使用材料和将材料加工成成品的过程，材料使用的能力和水平标志着人类的文明和进步程度。人类发展的历史时代按人类对材料的使用分为石器时代、青铜器时代、铁器时代等。在当今社会，能源、信息和材料已成为现代化技术的三大支柱，而能源和信息的发展又依托于材料。因此世界各国都把对材料的研究和开发放在突出的地位，我国的“863”计划把材料列为七个优先发展的领域之一。

工程上所用的各种金属材料、非金属材料 and 复合材料统称为工程材料。工程材料是机械产品制造所必需的物质基础，是工业的“粮食”。工程材料的使用与人类进步密切相关，标志着人类文明的发展水平。所以历史学家将人类的历史按使用材料的种类划分成了石器时代、陶器时代、铜器时代和铁器时代等。公元 1368 年，明代科学家宋应星编著了闻名世界的《天工开物》，详细记载了冶铁、铸造、锻铁、淬火等各种金属加工制造方法，是最早涉及工程材料及成形技术的著作之一。早在公元前 2000 年左右的青铜器时代，人类就开始了对工程材料的冶炼和加工制造。公元前 2000 多年的夏代，我国就掌握了青铜冶炼术，到距今 3000 多年前的殷商、西周时期，技术已达到当时的世界高峰，用青铜制造的生产工具、生活用具、兵器和马饰得到了普遍应用。河南安阳武官村发掘出来的重达 875kg 的祭器司母戊大方鼎，不仅体积庞大，而且花纹精巧，造型美观。湖北江陵楚墓中发现的埋藏了 2000 多年的越王勾践的宝剑仍金光闪闪，说明当时的人们已掌握了锻造和热处理技术。春秋战国时期，我国开始大量使用铁器，白口铸铁、灰铸铁、可锻铸铁相继出现。在陶瓷及天然高分子材料（如丝绸）方面，我国也曾远销欧亚诸国，踏出了著名的丝绸之路，为世界文明史添加了光辉的一页。19 世纪以来，工程材料获得了高速发展，到 20 世纪中期，金属材料的使用达到鼎盛时期，由钢铁材料所制造的产品约占机械产品的 95%。

今后的发展趋势是传统材料不断扩大品种规模，不断提高质量并降低成本，新材料特别是人工合成材料等将得到快速发展，从而形成金属、高分子、陶瓷及复合材料三分天下的新局面。另外，功能材料、纳米材料等高科技材料将加速研究，逐渐成熟并获得应用。工程材料业已成为所有科技进步的核心。

工程材料按物质结构可分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料、复合材料等。目前金属材料仍是最主要、使用最广泛的工程材料。金属材料的性能与其化学成分、显微组织及加工工艺之间有着密切的关系，了解它们之间的关系，掌握它们之间的一些变化规律，是有效使用材料的前提。本章在概括地阐述合金的一般规律的基础上，以最常用的金属材料——钢为实例，较详细地介绍了钢的性能与化学成分、显微组织和热处理工艺之间的关系。近年来，非金属材料的发展迅速，在机械工程中的地位不断上升，故本章还简要介绍了塑料、橡胶和陶瓷等非金属材料。

项目一 金属的晶体结构与结晶

任务导入

- (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) 了解与本课程有关的新材料、新工艺。
- (4) 金属的内部结构和组织状态是决定金属材料性能的一个重要因素。金属在固态下通常都是晶体，了解和掌握金属的晶体结构、结晶过程及其组织特点是零件设计时合理选材的根本依据。

应知应会

1.1.1 晶体基础

一切物质都是由原子组成的，根据原子在物质内部排列的特征，固态物质可分为晶体与非晶体两类。晶体内部原子在空间呈一定的有规则排列，如金刚石、石墨、雪花、食盐等。晶体具有固定熔点和各向异性的特征。非晶体内部原子是无规则堆积在一起的，如玻璃、松香、沥青、石蜡、木材、棉花等。非晶体没有固定熔点，并具有各向同性。金属在固态下通常都是晶体，在自然界中包括金属在内的绝大多数固体都是晶体。晶体之所以具有这种规则的原子排列，主要是由于各原子之间相互吸引力和排斥力相平衡的结果。由于晶体内部原子排列的规律性，有时甚至可以见到某些物质的外形也具有规则的轮廓，如水晶、食盐、钻石、雪花等，而金属晶体一般看不到有这种规则的外形。晶体中原子的排列情况如图 1-1 (a) 所示。

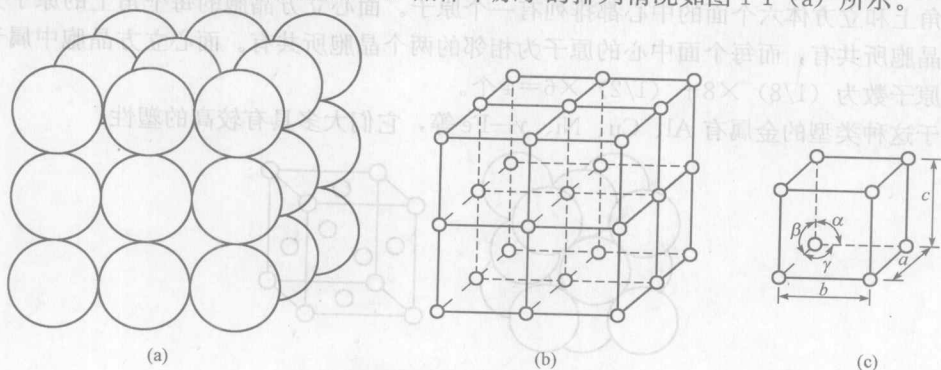


图 1-1 晶体的结构

(a) 晶体中原子的排列；(b) 晶格；(c) 晶胞

为了便于描述晶体中原子的排列规律，可把每一个原子的核心视为一个几何点，用直线按一定的规律把这些几何点连接起来，形成空间格子，把这种假想的格子称为晶格，如图 1-1 (b) 所示。晶格所包含的原子数量相当多，不便于研究分析，将能够代表原子排列规律的最小

单元体划分出来,这种最小的单元体称为晶胞,如图 1-1 (c) 所示。晶胞的大小和形状常以晶胞的棱边长度 a 、 b 、 c 和棱边间夹角 α 、 β 、 γ 来表示,其中 a 、 b 、 c 称作晶格常数。通过分析晶胞的结构可以了解金属的原子排列规律,判断金属的某些性能。

1.1.2 常见的金属晶体结构

金属的晶格类型有很多,纯金属常见的晶体结构主要为体心立方、面心立方及密排六方三种类型。

1. 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞如图 1-2 所示。其晶胞是一个正立方体,晶胞的三个棱边长度 $a=b=c$,晶胞棱边夹角 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$,其晶格常数通常只用一个晶格常数 a 表示即可。在体心立方晶胞的每个角上和晶胞中心都排列有一个原子。体心立方晶胞的每个角上的原子为相邻的八个晶胞所共有。体心立方晶胞中属于单个晶胞的原子数为 $(1/8) \times 8 + 1 = 2$ 个。

属于这种类型的金属有 Cr、Mo、W、V、 α -Fe 等。它们大多具有较高的强度和韧性。

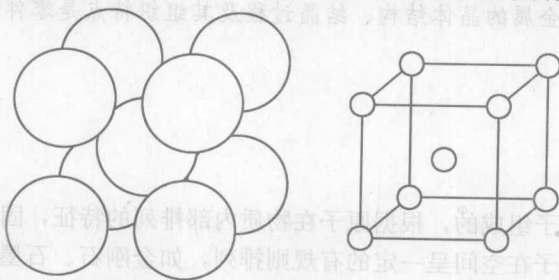


图 1-2 体心立方晶胞示意图

2. 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞如图 1-3 所示。其晶胞也是一个正立方体,晶胞的三个棱边长度 $a=b=c$,晶胞棱边夹角 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$,其晶格常数也只用一个晶格常数 a 表示。在面心立方晶胞的每个角上和立方体六个面的中心都排列有一个原子。面心立方晶胞的每个角上的原子为相邻的八个晶胞所共有,而每个面中心的原子为相邻的两个晶胞所共有。面心立方晶胞中属于单个晶胞的原子数为 $(1/8) \times 8 + (1/2) \times 6 = 4$ 个。

属于这种类型的金属有 Al、Cu、Ni、 γ -Fe 等,它们大多具有较高的塑性。

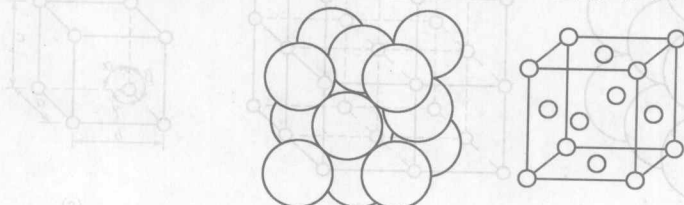


图 1-3 面心立方晶胞示意图

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体,晶胞的三个棱边长度 $a=b \neq c$,晶胞棱边夹角 $\alpha=\beta=90^\circ$ 、 $\gamma=120^\circ$,其晶格常数用正六边形底面的边长 a 和晶胞的高度 c 表示。在密排六方晶胞的两个底面的中心处和十二个角上都排列有一个原子,柱体内部还包含

着三个原子。每个角上的原子同时为相邻的六个晶胞所共有，面中心的原子同时属于相邻的两个晶胞所共有，而体中心的三个原子为该晶胞所独有。密排六方晶胞中属于单个晶胞的原子数为 $(1/6) \times 12 + (1/2) \times 2 + 3 = 6$ 个。

属于这种类型的金属有 Mg、Zn、Be、 α -Ti、 α -Co 等，它们大多具有较大的脆性，塑性较差。

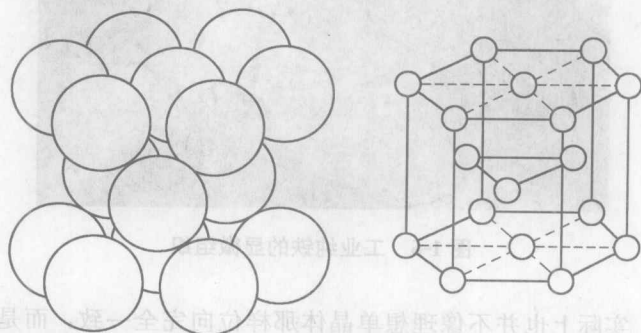


图 1-4 密排六方晶胞示意图

1.1.3 金属的实际晶体结构

如果一块晶体，其内部的晶格位向完全一致，这块晶体称为“单晶体”或“理想单晶体”，以上的讨论指的都是这种单晶体中的情况。在工业生产中，只有经过特殊制作才能获得内部结构相对完整的单晶体。一般所用的工业金属材料，即使体积很小，其内部仍包含有许许多多的小晶体，每个小晶体内部的晶格位向是一致的，而各个小晶体彼此间位向都不同，如图 1-5 所示。把这种外形不规则的小晶体称为“晶粒”。晶粒与晶粒间的界面称为“晶界”。这种实际上由多个晶粒组成的晶体称为“多晶体”结构。由于实际的金属材料都是多晶体结构，一般测不出其像在单晶体中那样的各向异性，测出的是各位向不同的晶粒的平均性能，结果是实际金属不表现各向异性，而显示出各向同性。晶粒的尺寸通常很小，如钢铁材料的晶粒一般为 $10^{-1} \sim 10^{-3}$ mm，故只有在金相显微镜下才能观察到。图 1-6 是在金相显微镜下所观察到的工业纯铁的晶粒和晶界。这种在金相显微镜下所观察到的金属组织称为“显微组织”或“金相组织”。

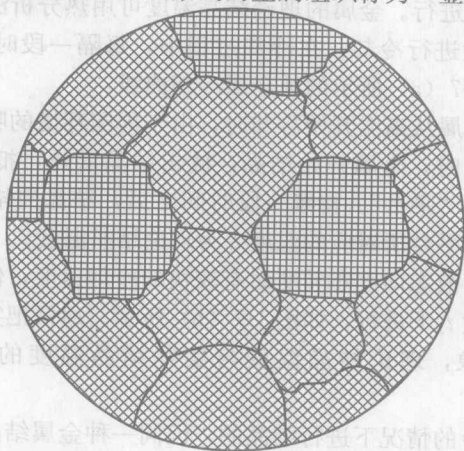


图 1-5 金属的多晶体结构示意图

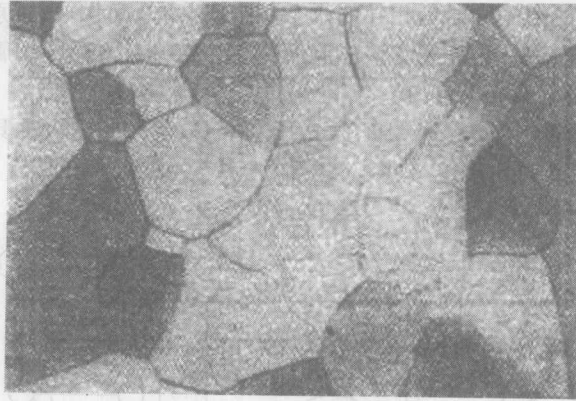


图 1-6 工业纯铁的显微组织

每个晶粒内部,实际上也并不像理想单晶体那样位向完全一致,而是存在着许多尺寸更小、位向差也很小(一般是 $10' \sim 20'$,最大到 2°)的小晶块。它们相互镶嵌成一颗晶粒,这些在晶格位向上彼此有微小差别的晶内小区域称为亚结构(或称亚晶粒、镶嵌块)。因其组织尺寸较小,需在高倍显微镜或电子显微镜下才能观察到。

1.1.4 金属的结晶

1. 金属结晶的基本概念

金属自液态经冷却转变为固态的过程是原子从排列不规则的液态转变为排列规则的晶态的过程,此过程称为金属的结晶过程。研究金属结晶过程的基本规律,对改善金属材料的组织和性能都具有重要的意义。

广义地讲,金属从一种原子不规则排列状态过渡为另一种原子规则排列状态的转变都属于结晶过程。金属从液态过渡为固体晶态的转变称为一次结晶,而金属从一种固态过渡为另一种固态的转变称为二次结晶。

2. 纯金属的冷却曲线和过冷现象

纯金属都有一个固定的熔点(或称平衡结晶温度、理论结晶温度),因此纯金属的结晶过程总是在一个恒定的温度下进行。金属的理论结晶温度可用热分析法来测定,即将液态金属放在坩埚中以极其缓慢的速度进行冷却,在冷却过程中,每隔一段时间测量一次温度并记录下来。这样就可以获得如图 1-7 (a) 所示的纯金属冷却曲线。

由此曲线可见,液态金属从高温开始冷却时,由于周围环境的吸热,温度均匀下降,状态保持不变,当温度下降到 t_0 时,金属开始结晶,放出结晶潜热,抵消了金属向四周散出的热量,因而冷却曲线上出现了“平台”。持续一段时间之后,结晶完毕,固态金属的温度继续均匀下降,直至室温。曲线上平台所对应的温度 t_0 为理论结晶温度。

在实际生产中,金属自液态向固态转变时有较快的冷却速度,使液态金属的结晶过程在低于理论结晶温度的某一温度 t_1 下进行,如图 1-7 (b) 所示。通常把实际结晶温度低于理论结晶温度的现象称为过冷现象,理论结晶温度与实际结晶温度的差 Δt 称为过冷度,过冷度 $\Delta t = t_0 - t_1$ 。

实际上金属总是在过冷的情况下进行结晶的,但同一种金属结晶时的过冷度不是一个恒定值,它与冷却速度有关。结晶时的冷却速度越快,过冷度就越大,金属的实际结晶温度也就越低。