



21st CENTURY

十一五规划

21世纪全国应用型本科

大机械系列

实用规划教材

机械制造基础(上册)



——工程材料及热加工工艺基础

主 编 侯书林 朱 海
副主编 徐 杨 陈 晖
主 审 张政兴

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材

TG306

2

:1

机械制造基础

(上册)

工程材料及热加工工艺基础

主 编	侯书林	朱 海
副主编	徐 杨	陈 晖
参 编	侯艳君	
主 审	张政兴	

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是按照高等学校机械学科本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,组织富有多年教学经验的的教学一线的骨干教师编写的,是《机械制造基础》的上册。编写中根据教学需要主要介绍了以下两部分内容:工程材料和热加工工艺基础。其中工程材料部分介绍了材料的种类与性能,金属的晶体结构与结晶,二元合金相图及应用,铁碳合金相图,金属的塑性变形与再结晶,金属的热处理,常用金属材料,其他工程材料,机械零件的失效分析及选材;热加工工艺基础部分介绍了铸造,锻压,焊接和毛坯的选择等。共计 14 章,每章后面附有习题。

本书注重学生获取知识、分析问题与解决工程技术问题能力的培养,注重学生工程素质与创新思维能力的培养。为此,本教材的编写既体现现代制造技术、材料科学、现代信息技术的密切交叉与融合,又体现工程材料和制造技术的历史传承和发展趋势。

本书可作为高等工科院校、高等农林院校等机械类、近机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。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础(上册):工程材料及热加工工艺基础/侯书林,朱海主编. —北京:中国林业出版社;北京大学出版社,2006.8

(21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材)

ISBN 7-5038-4435-3

I. 机… II. ①侯… ②朱… III. ①机械制造—高等学校—教材 ②机械制造材料—高等学校—教材 ③热加工—工艺—高等学校—教材 IV. ①TH ②TG306

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 076965 号

书 名: 机械制造基础(上册)——工程材料及热加工工艺基础

著作责任者: 侯书林 朱 海 主编

策 划 编 辑: 李昱涛

责 任 编 辑: 郭穗娟 杜 娟

标 准 书 号: ISBN 7-5038-4435-3

出 版 者: 中国林业出版社(地址:北京市西城区德内大街刘海胡同 7 号 邮编:100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail:cfphz@public.bta.net.cn

电话:编辑部 66170109 营销中心 66187711

北京大学出版社(地址:北京市海淀区成府路 205 号 邮编:100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup_6@163.com

电话:邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 涿州市星河印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.25 印张 465 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 29.00 元

《21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材》

专家编审委员会

名 誉 主 任 胡正寰*

主 任 委 员 殷国富

副主任委员 (按拼音排序)

戴冠军 江征风 李郝林 梅 宁 任乃飞

王述洋 杨化仁 张成忠 张新义

顾 问 (按拼音排序)

傅水根 姜继海 孔祥东 陆国栋

陆启建 孙建东 张 金 赵松年

委 员 (按拼音排序)

方 新 郭秀云 韩健海 洪 波

侯书林 胡如风 胡亚民 胡志勇

华 林 姜军生 李自光 刘仲国

柳舟通 毛 磊 孟宪颐 任建平

陶健民 田 勇 王亮申 王守城

魏 建 魏修亭 杨振中 袁根福

曾 忠 张伟强 郑竹林 周晓福

*胡正寰: 北京科技大学教授, 中国工程院机械与运载工程学部院士

丛书总序

殷国富*

机械是人类生产和生活的基本工具要素之一，是人类物质文明最重要的一个组成部分。机械工业担负着向国民经济各部门，包括工业、农业和社会生活各个方面提供各种性能先进、使用安全可靠的技术装备的任务，在国家现代化建设中占有举足轻重的地位。20 世纪 80 年代以来，以微电子、信息、新材料、系统科学等为代表的新一代科学技术的发展及其在机械工程领域中的广泛渗透、应用和衍生，极大地拓展了机械产品设计制造活动的深度和广度，改变了现代制造业的产品设计方法、产品结构、生产方式、生产工艺和设备以及生产组织模式，产生了一大批新的机械设计制造方法和制造系统。这些机械方面的新方法和系统的主要技术特征表现在以下几个方面：

(1) 信息技术在机械行业的广泛渗透和应用，使得现代机电产品已不再是单纯的机械构件，而是由机械、电子、信息、计算机与自动控制等集成的机电一体化产品，其功能不仅限于加强、延伸或取代人的体力劳动，而且扩大到加强、延伸或取代人的某些感官功能与大脑功能。

(2) 随着设计手段的计算机化和数字化，CAD/CAM/CAE/PDM 集成技术和软件系统得到广泛使用，促进了产品创新设计、并行设计、快速设计、虚拟设计、智能设计、反求设计、广义优化设计、绿色产品设计、面向全寿命周期设计等现代设计理论和技术方法的不断发展。机械产品的设计不只是单纯追求某项性能指标的先进和高低，而是注重综合考虑质量、市场、价格、安全、美学、资源、环境等方面的影响。

(3) 传统机械制造技术在不断吸收电子、信息、材料、能源和现代管理等方面成果的基础上形成了先进制造技术，并将其综合应用于机械产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务的机械产品制造全过程，以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产，提高对动态多变的市场的适应能力和竞争能力。

(4) 机械产品加工制造的精密化、快速化，制造过程的网络化、全球化得到很大的发展，涌现出 CIMS、并行工程、敏捷制造、绿色制造、网络制造、虚拟制造、智能制造、大规模定制等先进生产模式，制造装备和制造系统的柔性与可重组已成为 21 世纪制造技术的显著特征。

(5) 机械工程的理论基础不再局限于力学，制造过程的基础也不只是设计与制造经验及技艺的总结。今天的机械工程学科比以往任何时候都更紧密地依赖诸如现代数学、材料科学、微电子技术、计算机信息科学、生命科学、系统论与控制论等多门学科及其最新成就。

上述机械科学与工程技术特征和发展趋势表明，现代机械工程学科越来越多地体现着知识经济的特征。因此，加快培养适应我国国民经济建设所需要的高综合素质的机械工程学科人才的意义十分重大、任务十分繁重。我们必须通过各种层次和形式的教育，培养出适应世界机械工业发展潮流与我国机械制造业实际需要的技术人才与管理人才，不断推动我国机械科学与工程技术进步。

为使机械工程学科毕业生的知识结构由较专、较深、适应性差向较通用、较广泛、适

*殷国富教授：现为教育部机械学科教学指导委员会委员，现任四川大学制造科学与工程学院院长

应性强方向转化,在教育部的领导与组织下,1998 年对本科专业目录进行了第 3 次大的修订。调整后的机械类专业变成 4 类 8 个专业,它们是:机械类 4 个专业(机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程、过程装备与控制、工业设计);仪器仪表类 1 个专业(测控技术与仪器);能源动力类 2 个专业(热能与动力工程、核工程与核技术);工程力学类 1 个专业(工程力学)。此外还提出了面向更宽的引导性专业,即机械工程及自动化。因此,建立现代“大机械、全过程、多学科”的观点,探讨机械科学与工程技术学科专业创新人才的培养模式,是高校从事制造学科教学的教育工作者的责任;建立培养富有创新能力人才的教学体系和教材资源环境,是我们努力的目标。

要达到这一目标,进行适应现代机械学科发展要求的教材建设是十分重要的基础工作之一。因此,组织编写出版面向大机械学科的一系列教材就显得很有意义和十分必要。北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们通过对国内大学机械工程学科教材实际情况的调研,在与众多专家学者讨论的基础上,决定面向机械工程学科类专业的学生出版一套系列教材,这是促进高校教学改革发展的重大决策。按照教材编审委员会的规划,本系列教材将逐步出版。

本系列教材是按照高等学校机械学科本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,合理定位,由长期在教学第一线从事教学工作的教师立足于 21 世纪机械工程学科发展的需要,以科学性、先进性、系统性和实用性为目标进行编写,以适应不同类型、不同层次的学校结合学校实际情况的需要。本系列教材编写的特色体现在以下几个方面:

(1) 关注全球机械科学与工程技术学科发展的大背景,建立现代大机械工程学科的新理念,拓宽理论基础和专业知识,特别是突出创造能力和创新意识。

(2) 重视强基础与宽专业知识面的要求。在保持较宽学科专业知识的前提下,在强化产品设计、制造、管理、市场、环境等基础理论方面,突出重点,进一步密切学科内各专业知识面之间的综合内在联系,尽快建立起系统性的知识体系结构。

(3) 学科交叉与综合的观念。现代力学、信息科学、生命科学、材料科学、系统科学等新兴学科与机械学科结合的内容在系列教材编写中得到一定的体现。

(4) 注重能力的培养,力求做到不断强化自我的自学能力、思维能力、创造性地解决问题的能力以及不断自我更新知识的能力,促进学生向着富有鲜明个性的方向发展。

总之,本系列教材注意了调整课程结构,加强学科基础,反映系列教材各门课程之间的联系和衔接,内容合理分配,既相互联系又避免不必要的重复,努力拓宽知识面,在培养学生的创新能力方面进行了初步的探索。当然,本系列教材还需要在内容的精选、音像电子课件、网络多媒体教学等方面进一步加强,使之能满足普通高等院校本科教学的需要,在众多的机械类教材中形成自己的特色。

最后,我要感谢参加本系列教材编著和审稿的各位老师所付出的大量卓有成效的辛勤劳动,也要感谢北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们对本系列教材的支持和编审工作。由于编写的时间紧、相互协调难度大等原因,本系列教材还存在一些不足和错漏。我相信,在使用本系列教材的教师和学生的关心和帮助下,不断改进和完善这套教材,使之在我国机械工程类学科专业的教学改革和课程体系建设中起到应有的促进作用。

前 言

本书是按照高等学校机械学科本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,合理定位,由长期在教学第一线从事教学工作、富有教学经验的教师以科学性、先进性、系统性和实用性为目标进行编写的,以适应不同类型、不同层次的学校教学的需要。

产品的制造工艺技术是企业生产某种产品的技术能力的核心,企业必须掌握先进的工业化的制造技术,产品才能具备市场竞争力。《机械制造基础》课程是工科院校进行产品的制造工艺教育的一门重要的技术基础课程,着重阐述常用工程材料及主要加工方法的基本原理和工艺特点,全面讲述了机械零件常用材料的选用、毛坯的选择、机械零件的加工方法和工艺路线的拟订及机械制造的新技术和新工艺。其兼有基础性、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。在内容的选择和编写上本教材有如下特点:

(1) 本书的编写力求适应机械类及近机类专业的应用实际,力求处理好常规工艺与现代化新技术的关系。

(2) 内容的选择和安排上既系统丰富又重点突出,每个章节既相互联系,又相对独立,以便适应不同专业、不同学习背景、不同学时、不同层次的学生选用。

(3) 全面介绍现代机械制造技术的概念,反映机械制造新工艺和新成就,开阔学生视野,培养学生的创新素质和能力。

(4) 为加深学生对课程内容的理解,掌握和巩固所学的基本知识,在分析问题和独立解决问题的能力方面得到应有的训练,每章后附有习题,供学生学完有关内容后及时进行消化和复习。

《机械制造基础》分为上下两册,上册为《工程材料及热加工工艺基础》,介绍了机械工程材料和零件毛坯的成形方法;下册为《机械加工工艺基础》,介绍了机械加工工艺基础。上册的编写人员为东北林业大学朱海、陈晖;中国农业大学侯书林、徐杨;华北水利水电学院侯艳君。由侯书林、朱海负责组织编写并任主编;徐杨、陈晖任副主编。本书由中国农业大学张政兴教授主审,在此表示衷心的感谢!

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北京大学出版社和中国林业出版社的大力支持,在此一并表示由衷的谢意。本书在编写过程中参考了许多文献,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,敬请广大读者批评指正。

编 者

2006年1月

目 录

第 0 章 绪论	1	2.4.2 固态合金的相结构	24
0.1 本课程的性质、地位和作用	1	小结	25
0.2 本课程的内容和特点	1	习题	25
0.2.1 本课程的内容和发展历程	1	第 3 章 二元合金相图及应用	27
0.2.2 本课程的特点	3	3.1 相图的建立	27
0.3 本课程的主要任务和教学方法	3	3.2 匀晶相图	28
0.3.1 本课程的主要任务	3	3.3 共晶相图	30
0.3.2 本课程的主要教学方法	3	3.4 其他相图	32
第 1 章 材料的种类与性能	5	3.5 相图与性能的关系	34
1.1 材料的种类	5	3.6 铁碳合金相图	36
1.1.1 金属材料	5	3.6.1 铁碳合金的基本相及组织	36
1.1.2 高分子材料	6	3.6.2 铁碳合金相图分析	37
1.1.3 陶瓷材料	6	3.6.3 铁碳合金的成分、组织和性能的变化规律	44
1.1.4 复合材料	7	3.6.4 铁碳合金相图的应用	46
1.2 材料的性能	7	3.7 碳素钢	46
1.2.1 力学性能	7	3.7.1 碳钢中的常存杂质及对性能的影响	46
1.2.2 物理、化学性能	12	3.7.2 碳钢的分类	47
1.2.3 工艺性能	13	3.7.3 碳钢的牌号、性能及用途	48
小结	13	小结	52
习题	13	习题	53
第 2 章 金属的晶体结构与结晶	15	第 4 章 金属的塑性变形与再结晶	55
2.1 金属的晶体结构	15	4.1 金属的塑性变形	55
2.1.1 晶体基础	15	4.1.1 金属单晶体的塑性变形	55
2.1.2 常见的金属晶体结构	16	4.1.2 金属多晶体的塑性变形	58
2.2 金属的实际晶体结构	17	4.1.3 塑性变形对合金组织和性能的影响	58
2.2.1 多晶体结构和亚结构	17	4.2 变形金属在加热时组织和性能的变化	59
2.2.2 实际金属晶体缺陷	18	4.3 金属的热变形加工	61
2.3 纯金属的结晶与铸锭	19	小结	61
2.3.1 纯金属的结晶	19	习题	62
2.3.2 金属的铸锭组织	21		
2.3.3 金属的同素异构转变	22		
2.4 合金的相结构	23		
2.4.1 基本概念	23		

第 5 章 钢的热处理	63	习题	130
5.1 钢的热处理原理.....	63	第 7 章 铸铁	132
5.1.1 钢在加热时的转变.....	64	7.1 铸铁的石墨化及分类.....	132
5.1.2 钢在冷却时的转变.....	67	7.1.1 铸铁的石墨化.....	132
5.2 钢的普通热处理.....	76	7.1.2 铸铁的分类.....	134
5.2.1 钢的退火和正火.....	76	7.2 常用铸铁.....	135
5.2.2 钢的淬火.....	78	7.2.1 普通灰铸铁.....	135
5.2.3 钢的回火.....	84	7.2.2 球墨铸铁.....	137
5.3 钢的表面热处理.....	85	7.2.3 可锻铸铁.....	140
5.3.1 钢的表面淬火.....	86	7.2.4 蠕墨铸铁.....	141
5.3.2 化学热处理.....	88	7.3 合金铸铁.....	142
5.4 钢的其他热处理.....	91	7.3.1 耐磨铸铁.....	142
小结.....	92	7.3.2 耐热铸铁.....	142
习题.....	93	7.3.3 耐蚀铸铁.....	143
第 6 章 合金钢	95	小结.....	144
6.1 合金元素在钢中的作用.....	95	习题.....	144
6.1.1 合金元素对钢中基本相的 影响.....	95	第 8 章 有色金属	147
6.1.2 合金元素对铁碳相图的影响.....	96	8.1 铝及铝合金.....	147
6.1.3 合金元素对钢热处理的影响.....	97	8.1.1 工业纯铝.....	147
6.2 合金钢分类和牌号.....	99	8.1.2 铝合金.....	148
6.2.1 合金钢的分类.....	99	8.1.3 常用铝合金.....	149
6.2.2 合金钢的编号.....	99	8.2 铜及铜合金.....	152
6.3 合金结构钢.....	100	8.2.1 工业纯铜.....	152
6.3.1 低合金结构钢.....	101	8.2.2 黄铜.....	152
6.3.2 合金渗碳钢.....	103	8.2.3 青铜.....	155
6.3.3 合金调质钢.....	105	8.3 滑动轴承合金.....	157
6.3.4 合金弹簧钢.....	106	8.3.1 轴承合金的性能要求和组织 特征.....	158
6.3.5 滚动轴承钢.....	110	8.3.2 轴承合金的分类及牌号.....	158
6.4 合金工具钢.....	112	小结.....	159
6.4.1 合金刀具钢.....	112	习题.....	160
6.4.2 合金模具钢.....	117	第 9 章 其他工程材料	162
6.4.3 合金量具钢.....	121	9.1 塑料.....	162
6.5 特殊性能钢.....	121	9.1.1 塑料的组成.....	162
6.5.1 不锈钢.....	121	9.1.2 塑料的分类.....	163
6.5.2 耐热钢.....	126	9.1.3 塑料的成形方法.....	163
6.5.3 耐磨钢.....	129	9.1.4 塑料的性能.....	164
小结.....	129		

9.1.5 常用工程塑料.....	164	11.1.3 铸造合金的收缩	194
9.2 橡胶	167	11.1.4 铸造应力	197
9.2.1 橡胶的组成.....	167	11.1.5 铸件的变形	199
9.2.2 橡胶的种类.....	167	11.1.6 铸件的裂纹	200
9.3 陶瓷	168	11.1.7 铸件的常见缺陷	200
9.3.1 陶瓷材料制作工艺.....	169	11.2 砂型铸造	201
9.3.2 陶瓷材料的显微结构及 性能.....	169	11.2.1 造型材料	202
9.3.3 常用工业陶瓷及其应用.....	170	11.2.2 砂型铸造造型方法	203
9.4 复合材料	172	11.2.3 铸造工艺设计	206
9.4.1 复合材料的分类.....	173	11.3 特种铸造	212
9.4.2 复合材料的性能特点.....	173	11.3.1 熔模铸造(失蜡铸造).....	212
9.4.3 复合材料简介.....	174	11.3.2 金属型铸造	214
9.5 材料技术的发展方向	176	11.3.3 压力铸造	215
小结	177	11.3.4 低压铸造	216
习题	177	11.3.5 离心铸造	217
第 10 章 机械零件的失效分析 与选材	179	11.4 铸件结构设计	218
10.1 机械零件的失效分析	179	11.4.1 铸造工艺对铸件结构设计的 要求	218
10.1.1 零件的失效形式.....	179	11.4.2 合金铸造性能对铸件 结构设计的要求	221
10.1.2 零件失效的原因.....	181	11.4.3 不同铸造方法对铸件结构的 要求	224
10.1.3 失效分析的步骤、方法.....	182	11.5 铸造新技术与发展趋势	226
10.2 选材的一般原则	182	11.5.1 造型技术的发展	227
10.2.1 材料的使用性能原则.....	182	11.5.2 快速原型制造技术	227
10.2.2 材料的工艺性能原则.....	183	11.5.3 计算机在铸造中的应用	228
10.2.3 经济性原则.....	184	小结	228
10.3 典型零件的选材与工艺	184	习题	228
10.3.1 提高疲劳强度与耐磨性的 选材与工艺.....	184	第 12 章 锻压	231
10.3.2 齿轮类与轴类零件的选材与 工艺.....	186	12.1 锻压加工工艺基础	232
小结	190	12.1.1 金属的锻造性能	232
习题	190	12.1.2 锻造比及流线组织	234
第 11 章 铸造	191	12.1.3 金属的塑性变形规律	236
11.1 铸造工艺基础	191	12.2 常用锻造方法	237
11.1.1 合金的流动性及充型能力.....	191	12.2.1 自由锻	237
11.1.2 铸件的凝固方式.....	194	12.2.2 模锻	240
		12.3 板料冲压	250
		12.3.1 板料冲压特点及应用	250

12.3.2 冲裁.....	250	13.3.4 铸铁的焊补	289
12.3.3 拉伸.....	252	13.3.5 非铁金属的焊接	289
12.3.4 弯曲.....	254	13.4 焊接结构工艺性	291
12.3.5 成形.....	255	13.4.1 焊接结构的材料选择	291
12.3.6 板料冲压件的结构工艺性.....	257	13.4.2 焊接方法的选择	291
12.4 现代塑性加工与发展趋势	259	13.4.3 焊接接头的工艺设计	291
12.4.1 精密模锻.....	259	13.5 现代焊接技术与发展趋势	295
12.4.2 挤压.....	259	13.5.1 等离子弧焊接与切割	295
12.4.3 轧制成形.....	260	13.5.2 电子束焊接	296
12.4.4 超塑性变形.....	262	13.5.3 激光焊接	297
12.4.5 塑性加工发展趋势.....	263	13.5.4 扩散焊接	298
小结	264	13.5.5 焊接技术的发展趋势	298
习题	265	小结	299
第 13 章 焊接	267	习题	299
13.1 焊接工程理论基础	267	第 14 章 毛坯的选择	301
13.1.1 熔焊冶金过程.....	267	14.1 毛坯的选择原则	301
13.1.2 焊接接头组织和性能.....	268	14.1.1 毛坯的种类及成形方法的 比较	301
13.1.3 焊接应力与变形.....	270	14.1.2 毛坯的选择原则	303
13.2 常用焊接方法	274	14.2 零件的结构分析及毛坯选择	305
13.2.1 手工电弧焊.....	274	14.2.1 轴杆类零件	305
13.2.2 埋弧自动焊.....	277	14.2.2 盘套类零件	306
13.2.3 气体保护焊.....	279	14.2.3 机架、壳体类零件	307
13.2.4 压焊与钎焊.....	281	14.3 毛坯选择实例	307
13.3 常用金属材料的焊接	286	小结	309
13.3.1 金属材料的焊接性.....	286	习题	309
13.3.2 碳钢及低合金结构钢的 焊接.....	287	参考文献	310
13.3.3 不锈钢的焊接.....	288		

第0章 绪 论

0.1 本课程的性质、地位和作用

“机械制造基础”(含“工程材料及热加工工艺基础”、“机械加工工艺基础”)是学生要学习的机械制造系列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,也是近机类和部分非机类专业普遍开设的一门课程。

“机械制造基础”是一门实践性很强的技术基础课程,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。机械制造的生产过程一般是先用铸造、锻压或焊接等成形方法将材料制作成零件的毛坯(或半成品),再经切削加工制成尺寸精确的零件,最后把零件装配成为机器。毛坯材料和成形方法的选用直接影响零件的质量、成本和生产率。要合理选择毛坯种类和成形方法,必须掌握各种材料的性能、特点、应用及各种成形方法的工艺实质、成形特点和选择方法。

通过本课程的学习,学生将在工程实践过程中通过独立实践操作和综合工艺过程训练所获得的丰富的感性知识条理化,并上升到理性知识,实现认识的第一次飞跃;然后通过后续课程的学习和创新实践过程实现从理性知识到指导实践的第二次飞跃。

工科院校是培养工程师的摇篮,“机械制造基础课程”是提供工程师所应具备的基本知识和工程素质、实践能力、创新设计能力的基础课程。

0.2 本课程的内容和特点

0.2.1 本课程的内容和发展历程

“工程材料及热加工工艺基础”主要研究机械制造过程中工程材料的应用以及零件毛坯的成形工艺。

1. 工程材料

工程材料按物质结构分为金属材料,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的材料。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,是有效使用材料所必需的。本书在概括地阐述合金的一般规律基础上,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,本书第9章专门介绍了塑料、橡胶、陶瓷和复合材料等非金属材料。

工程材料是机械产品制造所必须的物质基础,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、铜器时代和铁器时代等。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,技术达到当时世界高峰,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 2000 多年的越王勾践的宝剑仍金光闪闪,说明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。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。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,踏出了名垂千古的丝绸之路,为世界文明史添上了光辉的一页。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时代。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。

2. 热加工工艺基础

这部分主要介绍了材料的成形技术,即在保证性能要求的前提下,优质、低成本地获得具有一定结构和形状的毛坯或产品的制造工艺。

任何机器设备,大到火箭、卫星、汽车、轮船,小到仪器、仪表、生活用具,都是用不同材料通过各种成形、加工等技术制造而成的。几千年来,随着原材料的变化,成形技术也在不断地演变和进化。早在远古的石器时代,人类最初使用的是天然石块,慢慢学会了用石块相互撞击,制造简单工具;后来发展到磨制石器,制成了石刀,石斧,石矛等工具。到了陶瓷时代,人类发现了用黏土制造陶器,由于黏土强度低,可塑性、黏结性好,所以制出了形状更加复杂的各种陶瓷制品。进入青铜器时代后,冶铸工艺迅速发展,铸出的青铜制品尺寸更大,花纹更精美(如前述司母戊大方鼎)。1980 年 12 月从秦始皇陵墓陪葬坑出土的大型彩绘铜马车,结构精致,形态逼真,由三千多个零、部件组成,综合了铸造、焊接、凿削、研磨、抛光及各种连接工艺。公元前 1200 年左右,人类进入铁器时代,铸造、锻造、锡焊、银焊等成形技术相继出现并广泛应用,到目前为止定向凝固技术快速成形技术、高速锤锻、精密模锻、气体保护自动焊、激光焊、等离子焊等各种新的成形技术,以及自动线、加工中心、数控系统、柔性制造系统等已是屡见不鲜。未来正向着快速、精密、自动化的方向飞速发展。

先进材料是先进技术的奠基石,人类所享用的所有物质都是由材料组成的;先进材料是技术大厦的砖石,当材料按特定方式加工时,技术才得以发展。作为一名高素质的应用型技术人员,了解工程材料及成形技术,掌握制造技术的基础知识,构建工程技术基础平台,对后续课程的学习以及今后和未来的发展都至关重要。

0.2.2 本课程的特点

1) 综合性强

本课程系统介绍了从工程材料到成形技术,包括铸造、锻压、焊接、热处理等工艺在内的机械产品生产过程。它既具有高度浓缩的基础理论知识,更具有实践性很强的应用技术知识。这门课不像数学课有严谨的逻辑性和绝对性,而是广泛存在着合理与不合理,先进与不先进,可行与不可行等需要因时因地适当选择问题,而不是绝对的非此即彼。因此会使学生感到有难度。但正因为如此,学好这门课会有效地促进学生思维方法逐渐成熟,克服绝对化、片面性。使学生认识到事物的复杂性,这无疑对学生的成才颇有益处。

2) 传统知识与现代知识的结合

工程材料与成形技术历史悠久,但由于现代科学技术的发展使传统的材料学和成形技术日益受到现代制造技术的严峻挑战。同时,现代制造技术又要以传统的工程材料和成形技术为基础。因此,本教材将以传统的工程材料和成形工艺为主,以先进的材料和成形技术为辅。传统的工程材料和成形技术的使用在当今的工业规模生产中仍然占有相当大的比重。然而,现代制造技术的使用在大中型制造类企业的生产中所占的比例不断提高。因此,除了充分掌握传统工程材料和成形技术的基本知识外,还要努力学习先进材料和制造技术。

0.3 本课程的主要任务和教学方法

0.3.1 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、成形方法和制定简单毛坯(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、新工艺。

0.3.2 本课程的主要教学方法

本课程主要结合工程实践的教学,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,基本工艺原理为主。本课程教学要求学生应具有一定地实践基础,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(金工实习)。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,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、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1章 材料的种类与性能

教学提示：工程上所用的各种金属材料、非金属材料和复合材料统称为工程材料。迄今为止，人类发现和使用的材料种类繁多。为了便于材料的生产、应用与管理，也为了便于材料的研究与开发，有必要对材料进行分类并研究其性能。

教学要求：本章让学生了解工程材料的分类、性能及测试方法。重点让学生了解工程材料的力学性能指标和测试方法，以及各个指标的物理意义。设计零件和材料选择时要考虑零件的工作环境，根据承受的载荷情况重点考虑某些力学性能指标。

1.1 材料的种类

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3大支柱，而能源和信息的发展又依托于材料。因此，世界各国都把材料的研究、开发放在突出的地位，我国的“863”计划把材料列为7个优先发展的领域之一。

为了便于材料的生产、应用与管理，也为了便于材料的研究与开发，有必要对材料进行分类。由于材料的种类繁多，用途甚广，因此分类的方法也很多。

按材料的用途可分为：建筑材料、电工材料、结构材料等；按材料的结晶状态可分为：单晶体材料、多晶体材料及非晶体材料；按材料的物理性能及物理效应可分为：半导体材料、磁性材料、激光材料(这类材料能受激辐射而发出方向恒定、波长范围窄、颜色单纯的激光，如红宝石、钇铝石榴石、含钕玻璃等)、热电材料(在温度作用下产生热电效应，由热能直接转变为电能或由电能转变为热能，可用于制造引燃、引爆器件)、光电材料(利用光电效应，可将光能直接转变成电能，如用硅、硫化镉等光电材料制作的太阳能电池)等。

值得指出的是，在工程上通常按材料的化学成分、结合键的特点将工程材料分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料及复合材料等几大类。

1.1.1 金属材料

金属材料是以过渡族金属为基础的纯金属及其含有金属、半金属或非金属的合金。由于金属材料具有良好的力学性能、物理性能、化学性能及工艺性能，能采用比较简便和经济的加工方法制成零件，因此金属材料是目前应用最广泛的材料。工业上通常把金属材料分为两大类：一类是黑色金属，它是指铁、锰、铬及其合金，其中以铁为基的合金——钢和铸铁应用最广，占整个结构和工具材料的80%以上；另一类是有色金属，它是指黑色金属以外的所有金属及其合金。

这两类材料还可进一步细分为图1.1所示的系列。

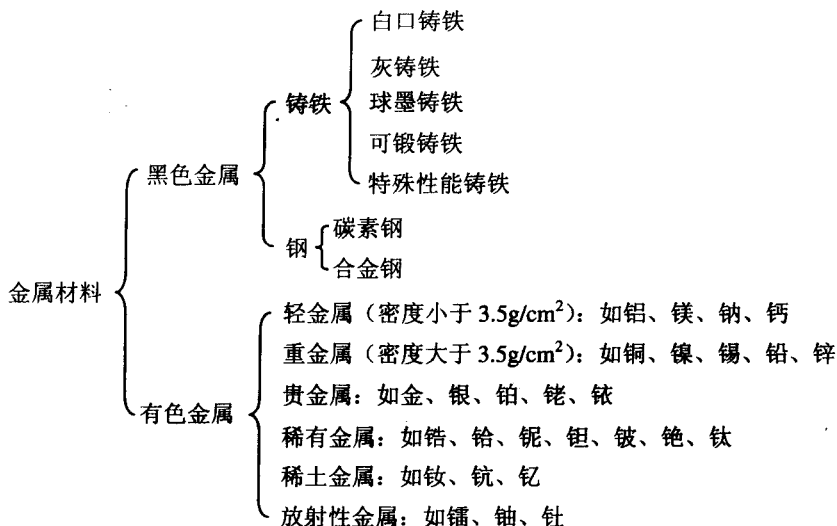


图 1.1 不同系列的金属材料

1.1.2 高分子材料

高分子材料是指分子量很大的化合物，它们的分子量可达几千甚至几百万以上。高分子材料包括塑料、橡胶等。因其原料丰富，成本低，加工方便等优点，发展极其迅速，目前在工业上得到广泛应用，并将越来越多地被采用，这类材料大体可细分为图 1.2 所示系列。

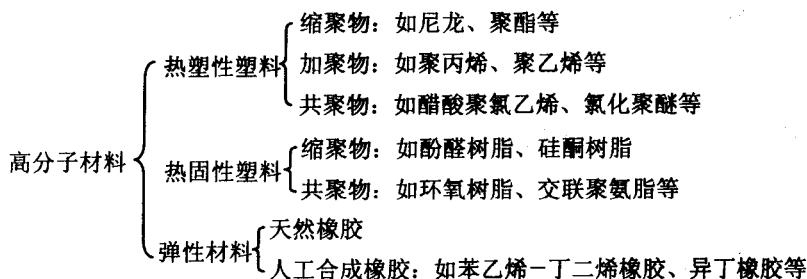


图 1.2 不同系列的高分子材料

1.1.3 陶瓷材料

所谓陶瓷是指以天然硅酸盐(黏土、石英、长石等)或人工合成化合物(氮化物、氧化物、碳化物等)为原料，经粉碎、配制、成形和高温烧结而成的无机非金属材料。

陶瓷材料可以根据原料来源、化学组成、性能特点或用途等不同方法进行分类。一般归纳为工程陶瓷和功能陶瓷两大类。

1) 按原料来源分类

(1) 普通陶瓷 又称为传统陶瓷，是以天然的硅酸盐矿物为原料(黏土、石英、长石等)，经粉碎、成形和烧结等过程制成。主要用于日用品、建筑、卫生以及工业上的低压和高压