



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

金属材料工程概论

(第2版)

刘宗昌 任慧平 等编著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

金属材料工程概论

(第2版)

刘宗昌 任慧平 等编著

冶金工业出版社

2018

内 容 提 要

本书共分 15 章, 主要内容包括材料在国民经济中的地位、金属材料导论、金属材料生产及加工、金属结构材料、不锈钢和耐热钢、金属耐磨材料、金属功能材料、亚稳态材料、铸铁、有色金属及合金、非金属材料、金属材料系统、材料科学理论知识概要、金属固态相变理论概要以及材料科学的中心内容和学习方法等。

本书可作为高等院校金属材料工程、塑性成型及控制等相关专业的教材(配有教学课件), 也可供从事材料学研究、材料加工、铸锻焊、热处理等行业的科研人员以及工程技术人员阅读或参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料工程概论/刘宗昌, 任慧平等编著. —2 版. —北京:
冶金工业出版社, 2018. 1

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7670-0

I. ①金… II. ①刘… ②任… III. ①金属材料—高等学校—
教材 IV. ①TG14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 300854 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjchs@cnmp.com.cn

策划编辑 张 卫 责任编辑 俞跃春 杜婷婷 美术编辑 彭子赫

版式设计 孙跃红 责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7670-0

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2007 年 2 月第 1 版, 2018 年 1 月第 2 版, 2018 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 16.25 印张; 389 千字; 239 页

42.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题, 本社营销中心负责退换)

编委会

主 任 刘宗昌

副主任 任慧平

编 委 冯佃臣 段宝玉 范秀凤 郝少祥

读者扫描二维码获得本书增值服务



第2版前言



(教学安排)

材料对社会、经济及科学技术活动的影响范围广，带动作用强，既是支撑国民经济发展的基础产业，更是人类社会进步、社会文明程度的重要标志。

新材料是发展高新技术的基础和先导，世界各国纷纷将新材料研究开发列为21世纪优先发展的关键领域之一。我国十分重视发展材料工业，特别是新材料产业和材料科学技术，已经建立了较为完整和规模庞大的材料工业体系。目前，钢铁、有色金属、合成纤维等材料的产量均达到了世界前列，我国早已成为世界第一产钢大国，我国常用10种有色金属产量截至2016年已连续15年居世界第一。材料行业已成为我国国民经济高速、稳定发展的保障，也奠定了我国成为世界材料大国的地位。近年来，我国材料产业和材料工程以惊人的速度发展，取得了辉煌的成就。

21世纪科技发展的主要方向之一是新材料的研制和应用。新材料的研究，是人类对物质性质认识和应用向更深层次的进军。新材料行业作为新兴产业的重要组成部分已纳入国家战略性新兴产业发展规划，引领产业转型和升级。

本书是为金属材料工程专业、成型及控制专业编写的入门课程教材，安排在大学一年级讲授。本课程的前修课程是普通物理、普通化学等基础知识，后续课程为物理化学、材料科学基础（或金属学）等专业基础理论课程和专业课。本书主要介绍了材料专业的研究范畴、材料的发展和生产应用、该专业涉及的科学领域和行业概况、在社会和国民经济中的地位和作用；论述了材料科学与工程方面的基本知识，涉及的领域十分广泛，内容丰富、全面而概括。通过本书的学习，学生将对材料科学与工程专业有一个总体的了解和初步的认识，认识该专业的重要性，励志学习研究材料科学。并且，本书与时俱进地增加了新材料、新工艺、新理论，以适应21世纪教学改革和创新的需求。

本书采用通俗的讲解方法进行教学，从材料应用历史讲起，注重材料的发展、应用现状，着眼于21世纪的未来，建立“传承文明，开拓创新”的意识。在本书的讲授过程中，教师可根据各校专业特点对内容进行适当增减。

本书具体编写分工为：第1、2、12~15章由刘宗昌编写；第3、7、8章由任慧平编写；第4章由范秀凤编写；第5章由郑州经济管理干部学院郝少祥编写。第6、11章由冯佃臣编写；第9、10章由段宝玉编写。刘宗昌负责全书的统稿。参加材料研究和教学实践的还有赵莉萍、王海燕、计云萍、李一鸣、霍文霞等。

本书配套教学课件及扩展阅读读者可在冶金工业出版社官网 (<http://www.cnmp.com.cn>) 输入书名搜索资源并下载，也可扫描书中各章二维码获取。

由于编者水平所限，书中不妥之处，敬请读者批评指正。

内蒙古科技大学 刘宗昌

2017年7月20日

第1版前言

材料对社会、经济及科学技术活动的影响面大、带动作用强,既是支撑国民经济发展的基础,更是人类社会进步、社会文明程度的重要标志。

新材料是发展高新技术的基础和先导,世界各国纷纷将新材料研究开发列为21世纪优先发展的关键领域之一。我国十分重视发展材料工业,特别是新材料产业和材料科学技术。已经建立了较为完整的材料工业体系。目前,钢铁、有色金属、合成纤维等材料的产量均达到了世界前列,我国已经成为世界第一产钢大国。材料行业已成为我国国民经济高速、稳定发展的保障,也奠定了我国成为世界材料大国的地位。近年来,我国材料产业和工程迅猛发展,取得了辉煌成就。

本书是为金属材料工程专业和塑性成形及控制专业编写的入门课程教材,课程安排在大学一年级第2学期讲授,30学时,是近年来教学改革增设的一门新课,其前修课程是普通物理、普通化学等基础知识,后续课程为物理化学、金属学等专业基础理论课程和专业课。通过本课程的学习,学生将对材料科学与工程专业有一个总的了解和初步的认识。本书主要介绍了材料科学与工程专业的研究范畴、材料的生产应用及发展、本专业涉及的科学领域和行业概况及在社会和国民经济中的地位和作用,涉及领域广泛,叙述了新知识、新材料、新数据、新概念、新工艺,内容丰富而全面。各章均列有复习思考题。本书内容也可供从事材料学研究、材料加工、铸锻焊、热处理等行业的工程技术人员参考。

本书涉及的知识面较宽,采用通俗的讲解方法,从应用历史讲起,注重材料的研究、应用现状,着眼于21世纪的未来,力图建立“传承文明,开拓创新”的意识。

本书第1、2、11、12、13章由内蒙古科技大学刘宗昌撰写;第3、7、8、10章由内蒙古科技大学任慧平撰写;第4、5、6、9章由郑州经济管理干部学

院郝少祥撰写。刘宗昌教授负责全书的总成。

在本书编写过程中,参考了许多专著、教科书、论文等文献,在此向这些文献的作者表示感谢!

本书是一部新教材,需要在教学实践中不断完善和改进,欢迎读者提出宝贵意见。

刘宗昌

2006年8月18日

目 录

1 材料在国民经济中的地位	1
1.1 材料是人类文明大厦的基石	1
1.2 材料的发展	5
1.2.1 金属材料	6
1.2.2 陶瓷材料	7
1.2.3 高分子材料	7
1.2.4 新材料研究与发展趋势	8
1.3 高技术新材料的研发	11
1.3.1 信息材料	12
1.3.2 能源材料	12
1.3.3 生物材料和智能材料	13
1.3.4 结构材料	14
1.3.5 加快新材料的研发	15
1.4 我国钢铁材料的发展成就	16
1.4.1 钢产量跃居世界第一	16
1.4.2 发展目标	17
1.5 材料的划分	17
1.5.1 依据材料的来源划分	17
1.5.2 依据生产及使用情况划分	18
1.5.3 依据实用的重要性“破类”划分	18
1.5.4 依据对材料的主要性能要求划分	18
1.5.5 用途最广和用量最大的金属结构材料——钢	18
1.5.6 非铁金属及其合金的选用	19
复习思考题	19
参考文献	19
2 金属材料导论	20
2.1 材料简史及金属科学	20
2.1.1 金属材料应用简史	20
2.1.2 金属科学的产生和发展	22
2.2 金属材料的一般特性	23
2.2.1 工艺性能	24

2.2.2 使用性能	24
2.2.3 工艺性能和使用性能的联系	25
2.3 决定金属材料性能的基本因素	25
2.3.1 化学成分	25
2.3.2 组织结构	26
2.4 常用力学性能指标	28
2.4.1 强度与塑性	29
2.4.2 弹性与刚度	30
2.4.3 冲击韧性	30
2.4.4 硬度	30
2.4.5 疲劳极限	30
复习思考题	31
参考文献	31
3 金属材料生产及加工	32
3.1 金属冶炼与质量控制	32
3.1.1 金属冶炼方法	32
3.1.2 成分的控制	33
3.1.3 减少气体与夹杂	35
3.1.4 组织结构控制	36
3.2 钢锭与铸造	38
3.2.1 钢锭	38
3.2.2 铸造及铸造性能	39
3.2.3 特种铸造方法	40
3.3 钢的冶金质量	41
3.3.1 宏观偏析	42
3.3.2 显微偏析	42
3.3.3 白点	42
3.3.4 带状组织	43
3.3.5 网状碳化物	43
3.3.6 液析碳化物	43
3.4 冷加工与热加工	44
3.4.1 材料加工工艺路线	44
3.4.2 加工类型	44
3.4.3 锻造或轧制	45
3.4.4 轧锻后钢材的退火	46
3.4.5 切削加工	47
3.5 焊接工程	48
3.5.1 焊接的历史	48

3.5.2 焊接方法的分类及其特点	49
3.5.3 压力焊接	49
3.5.4 熔化焊接	50
3.6 粉末冶金	50
3.6.1 粉末冶金的应用和生产	51
3.6.2 粉末冶金技术的发展	51
3.6.3 金属陶瓷硬质合金	52
3.7 金属热处理技术	53
3.7.1 概述	53
3.7.2 国内外热处理技术的发展	55
3.7.3 热处理生产技术改造的方向	57
3.8 表面工程	59
3.8.1 表面工程的特点	59
3.8.2 表面热处理和化学热处理	60
3.8.3 复合表面工程	60
3.8.4 纳米表面工程	62
复习思考题	62
参考文献	63
4 金属结构材料	64
4.1 钢的分类	64
4.1.1 按质量等级、主要性能、特性分类	65
4.1.2 按组织分类	66
4.1.3 其他分类	67
4.2 碳素结构钢和低合金高强度钢	67
4.2.1 碳素结构钢	67
4.2.2 低合金钢	68
4.3 铁素体-珠光体钢	72
4.3.1 概述	72
4.3.2 组织结构和力学性能	72
4.3.3 钢的设计及改进	73
4.4 调质钢	74
4.4.1 概述	74
4.4.2 选择及设计	74
4.4.3 调质钢的淬透性和典型钢种	76
4.4.4 低碳马氏体钢	76
4.5 超高强度钢	77
4.5.1 概述	77
4.5.2 钢的成分、组织设计	78

4.5.3 低合金超高强度钢	79
4.5.4 马氏体时效钢	79
4.6 弹簧钢	80
4.6.1 弹性	80
4.6.2 疲劳极限	81
4.6.3 钢种及特性	81
4.7 渗碳钢、渗氮钢	83
4.7.1 渗碳钢	83
4.7.2 渗氮钢	85
4.8 双相钢	86
4.8.1 概述	86
4.8.2 钢种及特性	86
4.9 低温用钢	88
4.9.1 性能要求	88
4.9.2 低合金钢	89
4.9.3 镍系低温钢	89
复习思考题	90
参考文献	90
5 不锈钢和耐热钢	91
5.1 金属的腐蚀	91
5.1.1 腐蚀的分类	91
5.1.2 金属腐蚀的基本过程	91
5.2 常用不锈钢	93
5.2.1 奥氏体不锈钢	93
5.2.2 铁素体不锈钢	94
5.2.3 马氏体不锈钢	95
5.2.4 奥氏体-铁素体复相不锈钢	96
5.2.5 奥氏体-马氏体型沉淀硬化不锈钢	96
5.3 抗氧化钢	97
5.3.1 抗氧化腐蚀	97
5.3.2 钢种及应用	97
5.4 热强钢	99
5.4.1 影响热强性的因素	99
5.4.2 低碳珠光体热强钢	100
5.4.3 奥氏体耐热钢	101
5.4.4 马氏体耐热钢	101
复习思考题	102
参考文献	102

6 金属耐磨材料	104
6.1 工具钢	104
6.1.1 碳素工具钢	105
6.1.2 合金刀具钢	105
6.1.3 高速工具钢	107
6.1.4 模具钢	107
6.1.5 量具钢	109
6.1.6 其他类型工具钢	109
6.2 其他耐磨钢	110
6.2.1 轴承钢	110
6.2.2 高碳高锰奥氏体钢	111
6.2.3 石墨钢	112
6.2.4 钢轨钢	112
6.2.5 耐磨用普通低合金钢	113
6.3 塑料模具钢	113
6.3.1 热塑性塑料注射模的主要失效方式	113
6.3.2 热塑性塑料注射模的工作条件和性能要求	114
6.3.3 塑料模具钢的预硬化处理	114
复习思考题	115
参考文献	115
7 金属功能材料	116
7.1 磁性材料	116
7.1.1 物质磁性的基础知识	117
7.1.2 磁性材料的分类及特点	118
7.1.3 软磁材料的性能	119
7.1.4 永磁材料	121
7.2 形状记忆合金	122
7.2.1 形状记忆效应	122
7.2.2 形状记忆效应的基本原理	122
7.3 贮氢合金	124
7.4 其他功能材料	126
7.4.1 生物医学材料	126
7.4.2 梯度功能材料	127
7.4.3 智能材料	127
7.4.4 低维功能材料	128
7.4.5 超磁致伸缩材料	129
7.4.6 磁制冷及磁蓄冷材料	129

7.4.7 磁阻材料	129
复习思考题	130
参考文献	130
8 亚稳态材料	131
8.1 纳米材料	132
8.1.1 纳米材料的结构	132
8.1.2 纳米结构材料的特性	133
8.1.3 纳米材料的形成	134
8.2 准晶材料	134
8.2.1 准晶的结构	135
8.2.2 准晶的形成	136
8.2.3 准晶的性能	136
8.3 非晶态材料	136
8.3.1 非晶态的形成	136
8.3.2 非晶态材料的性能	137
复习思考题	138
参考文献	138
9 铸铁	139
9.1 铸铁的分类和石墨化	139
9.1.1 铁碳合金双重相图	139
9.1.2 铸铁的石墨化	139
9.1.3 铸铁的分类	140
9.2 工业常用铸铁	143
9.2.1 灰口铸铁	143
9.2.2 球墨铸铁	144
9.2.3 蠕墨铸铁	145
9.2.4 可锻铸铁	146
9.2.5 合金铸铁	146
复习思考题	148
参考文献	148
10 有色金属及合金	149
10.1 有色金属及生产	149
10.1.1 有色金属的种类	149
10.1.2 有色金属的应用	150
10.1.3 有色金属的生产	150
10.2 铜及铜合金	151

10.2.1 工业纯铜	152
10.2.2 黄铜	152
10.2.3 青铜	154
10.2.4 白铜	154
10.3 铝及铝合金	154
10.3.1 工业纯铝的主要特性	154
10.3.2 铝合金的分类及时效强化	155
10.4 镁及镁合金	156
10.4.1 工业纯镁	156
10.4.2 镁合金的分类	156
10.4.3 镁合金的特点及其应用	157
复习思考题	158
参考文献	158
11 非金属材料	159
11.1 高分子材料	159
11.1.1 高分子化合物的含义和组成	159
11.1.2 高分子化合物的结构	160
11.1.3 高分子材料的基本特性	161
11.1.4 高分子材料的分类	163
11.2 陶瓷材料	163
11.2.1 陶瓷的基本相结构	163
11.2.2 陶瓷的性能特点	165
11.2.3 常用陶瓷材料	166
11.3 复合材料	168
11.3.1 复合材料的概念	168
11.3.2 复合材料的分类	168
11.3.3 复合机理简介	169
11.3.4 复合材料的性能特点	170
11.3.5 常用复合材料	171
复习思考题	173
参考文献	174
12 金属材料系统	175
12.1 金属及合金复杂系统	175
12.1.1 金属及合金系统	175
12.1.2 系统的特征	175
12.2 金属及合金整合系统	177
12.2.1 整合系统与混合系统	177

12.2.2 整体大于部分之总和的特点	177
12.2.3 相变动力学问题	178
12.3 非线性相互作用	180
12.3.1 相变临界点的非线性问题	180
12.3.2 珠光体片间距与过冷度呈非线性关系	181
12.3.3 合金元素对珠光体长大速度的非线性影响	182
12.3.4 力学性能的非线性问题	182
12.4 相变的自组织特征	183
12.4.1 相变自组织的条件	183
12.4.2 钢中的相变过程的自组织	184
复习思考题	185
参考文献	185
13 材料科学理论知识概要	186
13.1 材料的结合方式与键性	186
13.1.1 材料的结合方式	186
13.1.2 工程材料的键性	187
13.2 晶体和非晶体	188
13.2.1 晶体和非晶体概述	188
13.2.2 空间点阵	188
13.2.3 典型金属的晶体结构	189
13.3 金属及合金的结晶	190
13.3.1 结晶的能量条件	190
13.3.2 冷却曲线和过冷度	190
13.3.3 金属结晶的一般过程	191
13.3.4 非晶态凝固基本知识	192
13.4 金属的多型性	192
13.5 原子迁移方式	194
13.5.1 扩散	194
13.5.2 成分不变的原子热激活跃迁位移	196
13.5.3 原子位移方式不同是区别相变机制的重要判据	197
13.6 两大图形和临界点	197
13.6.1 相图	197
13.6.2 动力学图——C-曲线	200
13.6.3 临界点	201
复习思考题	202
参考文献	202