



教育部高等学校
材料科学与工程教学指导委员会规划教材

● 丛书主编 黄伯云

金属材料及热处理

主 编 崔振铎 刘华山
主 审 易丹青

Metal Materials and Heat Treatment



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



教育部高等学校
材料科学与工程教学指导委员会规划教材

● 丛书主编 黄伯云

金属材料及热处理



主 编 崔振铎 刘华山
主 审 易丹青

Metal Materials and Heat Treatment



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

金属材料及热处理/崔振铎主编. —长沙:中南大学出版社,
2010.9

ISBN 978-7-5487-0058-6

I. 金... II. ①崔...②刘 III. ①金属材料 - 高等学校 - 教材
②热处理 - 高等学校 - 教材 IV. TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 137015 号

金属材料及热处理

主编 崔振铎 刘华山

责任编辑 周兴武

责任印制 周颖

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 长沙市利君漾印刷厂

开 本 787×960 1/16 印张 32.25 字数 699 千字

版 次 2010年9月第1版 2010年9月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5487-0058-6

定 价 58.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内 容 简 介

本书为教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会规划教材,根据教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会制订的教学基本要求编写。“金属材料与热处理”是高等工科院校材料科学与工程专业的专业基础课之一,教学目的是使学生理解金属材料的组织、性能和加工工艺三者之间的关系,掌握金属材料的强化理论,为今后金属材料的选择及加工工艺制订的奠定坚实的理论基础。

全书共8章,分别为第1章概述了金属材料在人类社会中的作用,强调了热处理在材料生产中的地位,指明了全书的研究内容与目的;第2章讲述了金属材料的固态相变的基础理论;第3章介绍了钢的热处理原理与工艺;第4章介绍了有色金属材料的热处理原理与工艺;第5章介绍了金属材料的强韧化方法,并对材料失效做了初步分析;第6章介绍了常见的构件用钢、机器零件用钢和特殊性能用钢,并对铸铁进行了讲述;第7章介绍了常见的铝、铜等有色金属材料;第8章在前述内容的基础上,介绍了材料失效基础知识与典型金属材料的设计原则和方案。

本书可作为材料科学与工程专业(金属材料方向),材料加工专业本科生教材,也可供冶金、机械等行业的研究生和工程技术人员参考。

教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会规划教材

编 审 委 员 会

主 任

黄伯云(教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会主任委员、中国工程院院士、中南大学教授、博士生导师)

副主任

姜茂发(分指委*主任委员、东北大学教授、博士生导师)

吕 庆(分指委副主任委员、河北理工大学教授、博士生导师)

张新明(分指委副主任委员、中南大学教授、博士生导师)

陈延峰(材物与材化分指委**副主任委员、南京大学教授、博士生导师)

李越生(材物与材化分指委副主任委员、复旦大学教授、博士生导师)

汪明朴(教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会秘书长、中南大学教授、博士生导师)

委 员

(以姓氏笔画为序)

于旭光(分指委委员、石家庄铁道学院教授)

韦 春(桂林工学院教授、博士生导师)

王 敏(分指委委员、上海交通大学教授、博士生导师)

介万奇(分指委委员、西北工业大学教授、博士生导师)

水中和(武汉理工大学教授、博士生导师)

孙 军(分指委委员、西安交通大学教授、博士生导师)

刘 庆(重庆大学教授、博士生导师)

刘心宇(分指委委员、桂林电子科技大学教授、博士生导师)

刘 颖(分指委委员、北京理工大学教授、博士生导师)

朱 敏(分指委委员、华南理工大学教授、博士生导师)

注：* 分指委：全称教育部高等学校金属材料工程与冶金工程专业教学指导分委员会；

** 材物与材化分指委：全称教育部高等学校材料物理与材料化学专业教学指导分委员会。

曲选辉(北京科技大学教授、博士生导师)
任慧平(教育部高职高专材料类教学指导委员会主任委员、内蒙古科技大学教授)
关绍康(分指委委员、郑州大学教授、博士生导师)
阮建明(中南大学教授、博士生导师)
吴玉程(分指委委员、合肥工业大学教授、博士生导师)
吴化(分指委委员、长春工业大学教授)
李强(福州大学教授、博士生导师)
李子全(分指委委员、南京航空航天大学教授、博士生导师)
李惠琪(分指委委员、山东科技大学教授、博士生导师)
余志明(中南大学教授、博士生导师)
余志伟(分指委委员、东华理工学院教授)
张平(分指委委员、装甲兵工程学院教授、博士生导师)
张昭(分指委委员、四川大学教授、博士生导师)
张涛(分指委委员、北京航空航天大学教授、博士生导师)
张文征(分指委委员、清华大学教授、博士生导师)
张建新(河北工业大学教授)
张建勋(西安交通大学教授、博士生导师)
沈峰满(分指委秘书长、东北大学教授、博士生导师)
杨贤金(分指委委员、天津大学教授、博士生导师)
陈文哲(分指委委员、福建工程学院教授、博士生导师)
陈翌庆(材料与材化分指委委员、合肥工业大学教授、博士生导师)
周小平(湖北工业大学教授)
赵昆渝(昆明理工大学教授、博士生导师)
赵新兵(分指委委员、浙江大学教授、博士生导师)
姜洪义(武汉理工大学教授、博士生导师)
柳瑞清(江西理工大学教授)
聂祚仁(北京工业大学教授、博士生导师)
郭兴蓬(材料与材化分指委委员、华中科技大学教授、博士生导师)
黄晋(分指委委员、湖北工业大学教授)
阎殿然(分指委委员、河北工业大学教授、博士生导师)
蒋青(分指委委员、吉林大学教授、博士生导师)
蒋建清(分指委委员、东南大学教授、博士生导师)
潘春旭(材料与材化分指委委员、武汉大学教授、博士生导师)
戴光泽(分指委委员、西南交通大学教授、博士生导师)

总 序

材料是国民经济、社会进步和国家安全的基础与先导。材料技术已成为现代工业、国防和高技术发展的共性基础技术，是当前最重要、发展最快的科学技术领域之一。发展材料技术将促进包括新材料产业在内的我国高新技术产业的形成和发展，同时又将带动传统产业和支柱产业的改造和产品的升级换代。“十五”期间，我国材料领域在光电子材料、特种功能材料和高性能结构材料等方面取得了较大的突破，在一些重点方向迈入了国际先进行列。依据国家“十一五”规划，材料领域将立足国家重大需求，自主创新、提高核心竞争力、增强材料领域持续创新能力将成为战略重心。纳米材料与器件、信息功能材料与器件、新能源转换与储能材料、生物医用与仿生材料、环境友好材料、重大工程及装备用关键材料、基础材料高性能化与绿色制备技术、材料设计与先进制备技术将成为材料领域研究与发展的主导方向。不难看出，这些主导方向体现了材料学科一个重要发展趋势，即材料学科正在由单纯的材料科学与工程向与众多高新科学技术领域交叉融合的方向发展。材料领域科学技术的快速进步，对担负材料科学与工程高等教育和科学研究双重任务的高等学校提出了严峻的挑战，为迎接这一挑战，高等学校不但要担负起材料科学与工程前沿领域的科学研究、知识创新任务，而且要担负起培养能适应材料科学与工程领域高速发展需求的、具有新知识结构创新型高素质人才的重任。

为适应材料领域高等教育的新形势，2006—2010年教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会积极组织了材料类高等学校教材的建设规划工作，成立了规划教材编审委员会，编审委员会由相关学科的分教学指导委员会主任委员、委员以及全国30余所具有影响力和代表性的高校材料学院院长组成。编审委员会分别于2006年10月和2007年5月在湖南张家界和中南大学召开了教材建设研讨会和教材提纲审定会。经教学指导委员会和编审委员会推荐和遴选，逾百名来自全国几十所高校的具有丰富教学与科研经验的专家、学者参加了这套教材的编

写工作。历经几年的努力，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，充分体现了广大编写者对教育部“质量工程”精神的深刻体会，对当代材料领域知识结构的牢固掌握和对高等教育规律的熟练掌握，是我国材料领域高等教育工作者集体智慧的结晶。

这套教材基本涵盖了金属材料工程专业的主要课程，同时还包含了材料物理专业和材料化学专业部分专业基础课程，以及金属、无机非金属和高分子三大类材料学科的实验课程。整体看来，这套教材具有如下特色：①根据教育部高等学校教学指导委员会相关课程的“教学大纲”及“基本要求”编写；②统一规划，结构严谨，整套教材有完整性、系统性，基础课与专业课之间的内容有机衔接；③注重基础，强调实践，体现了科学性、实用性；④编委会及作者由材料领域的院士、知名教授及专家组成，确保了教材的高质量及权威性；⑤注重创新，反映了材料科学领域的新知识、新技术、新工艺、新方法；⑥深入浅出，说理透彻，便于老师教学及学生自学。

教材的生命力在质量，而提高质量是永恒的主题。希望教材的编审委员会及出版社能做到与时俱进，根据高等教育改革和发展的形势及材料专业技术发展的趋势，不断对教材进行修订、改进、完善，精益求精，使之更好地适应高等教育人才培养的需要，也希望他们能够一如既往地依靠业内专家，与科研、教学、产业第一线人员紧密结合，加强合作，不断开拓，出版更多的精品教材，为高等教育提供优质的教学资源和服务。

衷心希望这套教材能在我国材料高等教育中充分发挥它的作用，也期待着在这套教材的哺育下，新一代材料学子能茁壮成长，脱颖而出。

董伯云

前 言

“金属材料及热处理”是材料科学与工程专业，特别是金属材料专业的重要专业基础课程，目的在于研究金属材料的性能与其成分、内部组织结构之间的关系及变化规律，介绍改变金属材料性能的途径以及常用金属材料的基本知识与理论。

金属材料是一种历史悠久、发展成熟的工程材料，是现代文明的基础。热处理作为一种重要的工艺操作，它借助于一定的热作用，人为地改变金属或合金内部组织和结构，改善或提高金属材料的力学性能。本书在综合以往教材精华部分和新近的研究文献基础上，讲授金属材料的合金化基础理论，阐述常用金属材料的成分、组织、性能、用途、热处理工艺及它们之间的相互关系；在论述常用金属材料的固态相变的基础上，重点分析了钢铁材料、常见有色金属材料的基本知识；使学生掌握金属及合金中的化学成分、组织结构、生产过程、环境对金属材料各种性能的影响的基本规律，用来分析各种金属材料的化学成分设计、生产和使用中的问题，并获得有关金属学热处理的基本理论、基本知识和基本方法，以及正确选择、合理使用金属材料的方法，为今后学习相关课程奠定基础。

本课程主要特色是：

(1) 注重理论与实践相联系，建立了材料基本理论—材料基本知识—材料工程应用的新体系，结构合理、逻辑性强，符合认识规律。

(2) 引入了新材料、新技术知识，有利于培养学生的创新意识。当前科学技术发展迅速，金属材料中新型材料、新型处理工艺不断涌现。将这些新材料、新工艺等前沿知识，充实到内容中，同学感到课程内容新颖、有现代气息。

(3) 重点突出，侧重金属材料的基础知识和相关的热处理工艺介绍。

(4) 语言简洁，信息量大，科学性、实用性强。

(5) 详细介绍有色金属及热处理基础知识，适应了现代工业生产中对于有色金属技术的需求。

本书共分为8章,第1章由天津大学崔振铎编写,第2章由西南交通大学杨川编写,第3章由北京理工大学王迎春编写,第4章由郑州大学朱世杰编写,第5章由天津大学魏强编写,第6章由华南理工大学康志新编写,第7章由中南大学肖于德、刘华山编写,第8章由华南理工大学康志新、天津大学魏强编写。全书由天津大学崔振铎、中南大学刘华山任主编,中南大学易丹青任主审。

本书的编写参考了部分国内外的有关教材、科技著作及论文,在此特向有关编者、作者和单位一并表示衷心感谢!由于水平有限,书中未能尽善尽美之处,恳请读者指正!

编者

2010年9月

目 录

第1章 绪 论	(1)
1.1 金属材料在人类社会中的作用与地位	(1)
1.2 金属材料成分、工艺、组织与性能的关系	(3)
1.3 金属热处理在金属材料生产中的作用与地位	(3)
1.4 “金属材料及热处理”的研究对象、内容与目的	(5)
思考练习题	(5)
第2章 固态相变导论	(6)
2.1 概 述	(6)
2.2 固态相变的基本类型	(6)
2.2.1 固态相变中的分类方法	(6)
2.2.2 扩散型相变的主要类型	(7)
2.2.3 无扩散型相变的主要类型	(9)
2.2.4 介于扩散型与无扩散型间的相变	(9)
2.3 固体中的相界面	(10)
2.3.1 相界面类型与界面能	(10)
2.3.2 共格界面	(10)
2.3.3 半共格界面	(11)
2.3.4 非共格界面	(12)
2.3.5 弹性应变能	(12)
2.3.6 界面能与应变能的作用	(13)
2.4 固态相变的一般规律	(14)
2.4.1 均匀形核基本规律	(14)
2.4.2 非均匀形核基本规律	(15)
2.4.3 在界面处形核	(16)
2.4.4 在位错上形核	(17)
2.4.5 非均匀形核速率	(18)
2.4.6 晶核长大基本规律	(19)

2.4.7	热激活型界面过程控制长大	(19)
2.4.8	非热激活型界面过程控制长大	(21)
2.4.9	受长程扩散过程控制的长大	(23)
2.4.10	相变动力学	(24)
2.4.11	转变动力学图 (TTT 图)	(24)
2.4.12	建立数学方程	(24)
2.5	固态相变理论具体应用举例——第二相形状预测	(25)
	思考练习题	(28)

第3章 钢的热处理原理与工艺 (31)

3.1	钢在加热时的组织转变	(31)
3.1.1	奥氏体的组织结构	(31)
3.1.2	奥氏体的形成	(32)
3.1.3	影响奥氏体形成速度的因素	(35)
3.1.4	奥氏体晶粒长大及其控制	(37)
3.2	钢的过冷奥氏体转变动力学图	(41)
3.2.1	过冷奥氏体等温转变曲线	(42)
3.2.2	过冷奥氏体连续冷却转变曲线	(44)
3.2.3	过冷奥氏体连续冷却转变曲线与等温转变曲线的比较	(45)
3.3	珠光体转变与钢的退火和正火	(45)
3.3.1	珠光体的组织形态与力学性能	(45)
3.3.2	珠光体转变机制	(50)
3.3.3	伪共析转变	(54)
3.3.4	亚(过)共析钢先共析相的析出	(55)
3.3.5	影响珠光体形成速度的因素	(56)
3.3.6	钢的退火与正火	(57)
3.4	马氏体转变与钢的淬火	(60)
3.4.1	马氏体转变的主要特征	(60)
3.4.2	马氏体的晶体结构、组织形态与力学性能	(62)
3.4.3	马氏体转变的热力学	(71)
3.4.4	马氏体转变的动力学	(74)
3.4.5	表面马氏体转变	(75)
3.4.6	奥氏体的热稳定化	(76)
3.4.7	钢的淬火	(76)

3.4.8	钢的淬透性	(80)
3.5	回火转变与钢的回火	(83)
3.5.1	淬火碳钢回火时的组织转变	(83)
3.5.2	合金元素对回火转变的影响	(87)
3.5.3	回火时力学性能的变化	(90)
3.5.4	钢的回火工艺与应用	(92)
3.6	贝氏体转变与钢的等温淬火	(92)
3.6.1	贝氏体转变的基本特征	(93)
3.6.2	贝氏体的组织形态	(94)
3.6.3	贝氏体形成过程	(96)
3.6.4	影响贝氏体转变的因素	(98)
3.6.5	贝氏体转变产物的力学性能	(101)
3.6.6	钢的等温淬火	(102)
3.7	钢的表面热处理	(102)
3.7.1	表面淬火	(102)
3.7.2	快速加热时的相变特点	(103)
3.7.3	表面淬火后钢的组织与性能	(104)
3.7.4	表面淬火方法	(108)
3.7.5	钢的化学热处理	(111)
3.8	形变热处理	(116)
	思考练习题	(117)
第4章	有色金属热处理原理与工艺	(118)
4.1	概 述	(118)
4.2	均匀化退火	(120)
4.2.1	铸态合金的组织与性能特点	(121)
4.2.2	均匀化退火过程中的组织性能变化	(123)
4.2.3	有色合金的均匀化退火的工艺	(126)
4.3	基于回复与再结晶过程的退火	(131)
4.3.1	冷变形金属的组织性能	(131)
4.3.2	冷变形金属在退火过程中组织和性能变化	(132)
4.3.3	有色合金的去应力退火	(155)
4.3.4	有色合金的回复退火和再结晶退火	(159)
4.3.5	典型有色金属及合金的回复退火及再结晶退火工艺	(161)

4.4	基于固态相变过程的退火	(169)
4.4.1	基于固溶度变化的退火	(169)
4.4.2	重结晶退火	(172)
4.5	淬火与时效	(173)
4.5.1	基本概念	(173)
4.5.2	合金固溶处理后性能的变化	(175)
4.5.3	过饱和固溶体分解机制	(176)
4.5.4	脱溶序列及产物的结构特征	(179)
4.5.5	脱溶产物的组织特征	(190)
4.5.6	时效前后合金性能变化(时效硬化曲线及影响时效硬化的因素)	(197)
4.5.7	影响时效过程及材料性能的因素	(203)
4.5.8	淬火(固溶处理)与时效的工艺	(209)
4.6	有色合金的形变热处理	(237)
4.6.1	热变形时金属组织的变化	(237)
4.6.2	有色合金的形变热处理类型	(241)
4.6.3	有色合金的形变热处理工艺规程	(244)
	思考练习题	(247)
第5章 金属强韧化导论		(248)
5.1	金属材料的强度、塑性和韧性	(248)
5.1.1	金属材料的强度	(248)
5.1.2	金属材料的塑性与韧性	(249)
5.1.3	金属材料的强韧化	(251)
5.1.4	环境作用下金属材料强韧性行为	(251)
5.2	强化机制	(252)
5.2.1	固溶强化	(252)
5.2.2	细晶强化	(254)
5.2.3	形变强化(位错强化)	(256)
5.2.4	第二相强化	(257)
5.3	改善塑性和韧性的途径	(259)
5.3.1	塑性变化基本规律与改善塑性的途径	(260)
5.3.2	影响塑性的主要因素	(260)
5.3.3	改善韧性的途径	(264)
5.4	环境对强韧性的影响	(268)

5.4.1 环境腐蚀对金属强韧性的影响	(268)
5.4.2 高温对金属强韧性的影响	(273)
5.4.3 低温对金属强韧性的影响	(277)
5.5 金属强韧化研究的进展	(279)
思考练习题	(280)

第6章 钢铁材料

6.1 钢的合金化基础	(281)
6.1.1 钢中的元素及其分类	(281)
6.1.2 合金元素与铁和碳的相互作用	(282)
6.1.3 合金元素对钢相变的影响	(284)
6.1.4 钢的分类及编号	(285)
6.2 构件用钢	(288)
6.2.1 概 述	(288)
6.2.2 构件用钢的力学性能特点	(288)
6.2.3 构件用钢的工艺性能	(289)
6.2.4 构件用钢的耐大气腐蚀性能	(289)
6.2.5 合金元素对构件用钢性能的影响	(289)
6.2.6 碳素构件用钢	(290)
6.2.7 普通低合金构件用钢	(291)
6.2.8 普低钢的性能提高的途径	(293)
6.3 机器零件用钢	(299)
6.3.1 概 述	(299)
6.3.2 机器零件用钢的合金化特点	(300)
6.3.3 渗碳钢	(300)
6.3.4 调质钢	(301)
6.3.5 弹簧钢	(302)
6.3.6 滚动轴承钢	(304)
6.4 工具钢	(306)
6.4.1 概 述	(306)
6.4.2 刀具钢	(306)
6.4.3 模具钢	(311)
6.4.4 量具钢	(318)
6.5 不锈钢	(320)

6.5.1	概 述	(320)
6.5.2	金属的腐蚀与防护	(320)
6.5.3	不锈钢的性能要求及影响其耐蚀性的因素	(321)
6.5.4	不锈钢的分类和特点	(321)
6.5.5	铁素体、马氏体不锈钢	(322)
6.5.6	奥氏体不锈钢	(323)
6.5.7	铁素体 - 奥氏体双相不锈钢	(323)
6.5.8	沉淀硬化不锈钢	(324)
6.6	耐热钢	(325)
6.6.1	耐热金属材料的工作条件及性能特点	(326)
6.6.2	耐热钢的分类	(326)
6.6.3	抗氧化钢	(327)
6.6.4	珠光体及马氏体耐热钢	(328)
6.6.5	奥氏体耐热钢及合金	(330)
6.7	铸 铁	(333)
6.7.1	概 述	(333)
6.7.2	铸铁的结晶与石墨化	(334)
6.7.3	灰铸铁	(337)
6.7.4	球墨铸铁	(339)
6.7.5	蠕墨铸铁	(341)
6.7.6	可锻铸铁	(342)
6.7.7	白口铸铁	(343)
6.7.8	特殊性能铸铁	(344)
	思考练习题	(347)
第7章 有色金属及其合金		(348)
7.1	铝及铝合金	(348)
7.1.1	铝及铝合金的主要特征	(349)
7.1.2	铝的合金化、分类与牌号	(350)
7.1.3	典型变形铝合金简介	(357)
7.1.4	铸造铝合金	(378)
7.2	铜及铜合金	(382)
7.2.1	铜及铜合金的分类及牌号	(383)
7.2.2	紫铜(纯铜)	(384)

7.2.3	铜的合金化	(389)
7.2.4	黄铜	(393)
7.2.5	青铜	(398)
7.2.6	白铜	(407)
7.2.7	铸造铜合金	(409)
7.3	钛及钛合金	(410)
7.3.1	工业纯钛	(411)
7.3.2	钛合金	(415)
7.3.3	钛合金热处理的特点	(433)
7.3.4	钛合金的发展趋势	(435)
7.4	镁及镁合金	(437)
7.4.1	镁及镁合金的特点	(437)
7.4.2	镁的合金化	(439)
7.4.3	镁及镁合金的牌号	(442)
7.4.4	常用的工业镁合金	(443)
7.4.5	镁合金的热处理特点	(448)
7.5	镍及镍合金	(449)
7.5.1	纯镍	(449)
7.5.2	结构用镍合金	(450)
7.5.3	电工用镍合金	(450)
7.5.4	耐热镍合金	(451)
7.6	难熔金属及其合金	(456)
7.6.1	难熔金属的主要特征	(457)
7.6.2	难熔金属的合金化	(460)
7.6.3	塑性-脆性转变温度及其影响因素	(461)
7.6.4	钨及钨合金	(465)
7.6.5	钼及钼合金	(467)
7.6.6	钽及钽合金	(468)
7.6.7	铌及铌合金	(470)
7.6.8	难熔金属及合金的热处理	(472)
第8章	机械零件的选材	(473)
8.1	金属材料与零件的失效分析	(473)
8.1.1	失效的概念	(473)