

高 等 学 校 教 材

工程材料及成形基础 学习指导

第二版

王宏宇 主编
姜银方 刘新佳 主审

高等学校教材

工程材料及成形基础学习指导

第二版

王宏宇 主编

姜银方 刘新佳 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是根据高等学校工程材料及成形基础系列课程教学大纲要求编写的课程辅导教材。全书分为四部分,第一、第二部分分别对机械工程材料、材料成形基础各章的内容进行了归纳整理,对重点难点内容运用了“图表归纳法”、“特征分析法”、“口诀助记法”、“条件筛选法”等四种方法进行学习指导;第三部分对材料选择及应用和毛坯成形方法选择两个专题的课堂讨论及设计型实验进行指导;第四部分提供了九套模拟试题,其中,多学时(60学时)、少学时(45学时)模拟试题各4套,研究生入学考试模拟试题1套。

本书可作为高等学校工程材料及成形基础系列课程的学习辅导书,也可作为相关专业自学者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及成形基础学习指导/王宏宇主编. —2版.
北京:化学工业出版社, 2012.1
高等学校教材
ISBN 978-7-122-12841-6

I. 工… II. 王… III. 工程材料-成型-高等学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 238785 号

责任编辑:程树珍 金玉连
责任校对:郑捷

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印刷:北京云浩印刷有限责任公司
装订:三河市宇新装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张9 $\frac{3}{4}$ 字数232千字 2012年2月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:25.00元

版权所有 违者必究

前 言

“工程材料及成形基础”是机械类专业的一门主要技术基础课，高等学校中几乎所有的工科专业均开设这门课程，而且近年来有不少高等学校将其作为研究生入学考试专业课之一。同时，随着高等教育改革的不断深入，强化基础和学时锐减的矛盾日益突出，更强调学生自主学习能力的培养，对辅导教材的需求越来越迫切。

本次再版主要修订的内容和特点如下。

1. 优化布局。按照国家教育部最新颁布的课程教学要求及相关院校最新教学大纲，重新梳理每章内容；此外，鉴于目前很多教材在每章后给出了大量复习思考题，为避免不必要的重复，删除了原有每章中的复习思考题及习题部分。

2. 强化特色。进一步强化了“图表归纳法”、“特征分析法”、“口诀助记法”、“条件筛选法”等四种方法的运用，丰富和扩充了每章重难点分析及学习指导和典型习题例解两个部分。

3. 注重实用。第1版第一部分第七章、第二部分第五章和第三部分综合设计型实验指导在实际教学中应用较少，本次再版将前述各部分综合为课堂讨论及设计型实验指导；此外，针对第1版第四部分中材料成形基础模拟试题单独使用较少，将其与机械工程材料模拟试题进行了融合，重新编写了针对多学时（60学时）、少学时（45学时）和研究生入学考试相应的工程材料及成形基础模拟试题。

4. 完善内容。由于第1版成书时间比较紧张，故对自测题和模拟题参考答案不够详细，同时也存在非金属材料及其成形相关内容不够系统等问题，本次再版对这些内容进行了完善。

本书由王宏宇担任主编，崔熙贵、崔承云和吴雪莲担任副主编，姜银方教授和江南大学刘新佳教授担任主审，全书由王宏宇负责统稿。参加本次修订编写工作的还有扬州大学缪宏、苏州大学王明娣、黄山学院汪洪峰和泰州职业技术学院王荣等。江苏大学机械工程学院工程材料及成形基础课程组的其他老师对本次再版修订提出了众多宝贵意见，江苏大学机械设计制造及其自动化专业09级的李尧、穆丹、王金涛等同学参与了文字校对工作，在此一并致谢。

由于编者水平所限，书中难免有错误和不妥之处，敬请同行和读者批评指正。

编 者

2011年9月

于江苏镇江

第一版前言

本书是根据高等学校工程材料及成形基础系列课程教学大纲要求编写的学习辅导教材。全书包括工程材料及成形基础课程各章内容的学习指导、综合设计型课程实验指导和模拟试题等内容。学习指导部分阐明了各章的学习内容与学习要求,指出了各章学习的重点和难点,对重点、难点内容进行了较为详细地分析,运用了“图表归纳法”、“特征分析法”、“口诀助记法”、“条件筛选法”等四种方法进行学习指导,精选了一定数量的典型例题和复习思考题,每章后都提供了自测题,并附录了相应的参考答案。综合设计型课程实验指导部分选编了两个实验,突出强化了综合性和设计性,着重于培养学生动手能力、分析问题解决问题的能力、科研创新意识和精神。模拟试题部分提供了接近考查真题的模拟试题十套,包括是非题、选择题、填空题、简答题和综合题等形式,从不同的角度提出问题,以达到消化、巩固和加深所学知识的目的。

本书可作为高等学校相关专业学生学习《工程材料及成形基础》、《机械工程材料》、《材料成形基础》、《工程材料及应用》、《机械制造基础(热加工)》、《材料学概论》、《金属材料及热处理》等课程的参考教材。

本书是在江苏大学机械工程学院工程材料及机械制造基础课程组(原金工教研室)编写的自编作业题集和习题集的基础上,结合多年来教授这门课程的众多教师的集体智慧和大量的教学经验,适应新的教学体系和完全学分制的要求下编写完成的。本书由王宏宇、张洁、王海彦任主编,由王宏宇负责统稿,由许晓静、姜银方、刘新佳任主审。

本书在编写过程中得到了江苏大学机械工程学院、江南大学机械工程学院领导的大力支持,同时吸取了许多教师对编写工作所提的宝贵意见,在此一并致谢。本书在编写时,还参考了众多和本课程相关的教材、习题集、实验指导书等书籍和资料,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。

由于编者水平和经验所限,书中难免有错误和不妥之处,敬请同行和读者批评指正。

编 者

2005年9月

于江苏镇江

目 录

第一部分 机械工程材料学习指导	1
1. 材料的内部结构	1
1.1 学习内容与学习要求	1
1.2 重难点分析及学习指导	1
1.3 典型习题例解	3
1.4 本章自测题	4
2. 工程材料的力学性能	7
2.1 学习内容与学习要求	7
2.2 重难点分析及学习指导	7
2.3 典型习题例解	9
2.4 本章自测题.....	10
3. 二元合金及相变基本知识	13
3.1 学习内容与学习要求.....	13
3.2 重难点分析及学习指导.....	13
3.3 典型习题例解.....	19
3.4 本章自测题.....	22
4. 材料的改性	25
4.1 学习内容与学习要求.....	25
4.2 重难点分析及学习指导.....	25
4.3 典型习题例解.....	27
4.4 本章自测题.....	28
5. 金属材料	31
5.1 学习内容与学习要求.....	31
5.2 重难点分析及学习指导.....	31
5.3 典型习题例解.....	35
5.4 本章自测题.....	37
6. 非金属材料	39
6.1 学习内容与学习要求.....	39
6.2 重难点分析及学习指导.....	39
6.3 典型习题例解.....	42
6.4 本章自测题.....	42
机械工程材料部分自测题参考答案	45

第二部分 材料成形基础学习指导	51
7. 金属液态成形（铸造）	51
7.1 学习内容与学习要求	51
7.2 重难点分析及学习指导	51
7.3 典型习题例解	57
7.4 本章自测题	59
8. 金属塑性成形（锻压）	62
8.1 学习内容与学习要求	62
8.2 重难点分析及学习指导	62
8.3 典型习题例解	66
8.4 本章自测题	68
9. 材料焊接成形	71
9.1 学习内容与学习要求	71
9.2 重难点分析及学习指导	71
9.3 典型习题例解	73
9.4 本章自测题	76
10. 非金属材料的成形	79
10.1 学习内容与学习要求	79
10.2 重难点分析及学习指导	79
10.3 典型习题例解	80
10.4 本章自测题	81
材料成形基础自测题参考答案	84
第三部分 课堂讨论及设计型实验指导	88
11. 材料的选择及应用专题	88
11.1 课堂讨论相关指导	88
11.2 典型讨论题示例	89
11.3 可选讨论题	91
11.4 设计型实验	91
12. 毛坯成形方法选择专题	93
12.1 课堂讨论相关指导	93
12.2 典型讨论题示例	94
12.3 可选讨论题	95
12.4 设计型实验	95
第四部分 模拟试题	96
模拟试题一（多学时用）	96
模拟试题二（多学时用）	100
模拟试题三（多学时用）	104
模拟试题四（多学时用）	108

模拟试题五（少学时用）	112
模拟试题六（少学时用）	115
模拟试题七（少学时用）	118
模拟试题八（少学时用）	121
模拟试题九（研究生入学考试用）	124
模拟试题参考答案	131
参考文献	145

第一部分 机械工程材料学习指导

1 材料的内部结构

1.1 学习内容与学习要求

1.1.1 学习内容

晶体中原子结合键，晶体结构，晶体的缺陷；合金的相结构，高聚物的结构，陶瓷的组织结构。

1.1.2 学习要求

- ① 了解金属晶体中原子键合类型和排列方式。
- ② 熟悉三种典型金属晶体结构的特点。
- ③ 熟悉实际金属中晶体缺陷的种类、几何特征及其对材料性能的影响。
- ④ 能区分晶体与非晶体、单晶体与多晶体。
- ⑤ 熟悉合金中的相结构，掌握固溶体和化合物两种基本相结构及性能特点。
- ⑥ 了解高聚物的结构特点和性能特征，能够从分子运动这一内在因素来分析二者之间的联系。
- ⑦ 了解陶瓷的主要组成相及其对性能的影响。

1.2 重难点分析及学习指导

1.2.1 重难点分析

工程材料通常是固态物质，其组成微粒可以是原子、离子或分子，这些粒子之间通过化学键（离子键、共价键或金属键）或分子间作用力结合在一起。金属材料是传统的工程材料，应用极为广泛，绝大多数的金属材料都是晶体材料。金属的晶体结构是决定其性能的根本性因素，为此本章重点介绍了金属材料的晶体结构，同时对实际金属材料的结构特点（晶体缺陷）等基础知识作了详细分析。高分子材料在现代工程应用领域的地位日益突出，因此，对高分子材料结构与性能的了解也是本章的一个重要的知识点。

本章学习的重点可简要总结为：三种典型金属晶体结构的特点，金属的结晶过程，晶体缺陷的种类、主要形式及其对材料性能的影响，合金中的相结构，高分子材料的结构和性能，陶瓷材料的组成。难点是对晶体结构相关概念、晶体缺陷以及高分子结构的深入理解。

1.2.2 学习指导

学习本章内容，基本概念是前提和基础，这些基本概念均可以采用“图表归纳法”进行

学习。

首先,需要加深对晶体概念的理解。因为无论是金属材料、高分子材料还是陶瓷材料,都可能含有晶体成分。判断一种固体材料是晶体还是非晶体,关键是看其组成粒子(离子、原子或分子)在三维空间的排列是否有规律性,同时要了解这一特征结构对材料性能的重要影响。表 1-1 给出了晶体与非晶体的性能对比。研究晶体结构就是研究晶体中这些微粒间的作用力及其在空间的排布方式。按照晶体内部粒子之间的结合方式可以将晶体分为四种基本类型,如表 1-2 所示。

表 1-1 晶体与非晶体的性能对比

特征	晶体	非晶体
几何外形	规则	不规则
熔点	固定	不固定
方向性能	各向异性	各向同性

表 1-2 晶体类型

类 别	离子晶体	原子晶体	金属晶体	分子晶体
存在的微粒	阴阳离子	原子	金属离子、自由电子	分子
微粒间的作用	离子键	共价键	金属键	范德华力
主要性质	硬而脆,熔点高,熔化后能导电	硬度高,熔点高,导电性差	硬度、熔点范围大,是热和电的良好导体	硬度低,熔点低,水溶液可导电
实例	食盐	金刚石	镁、铝	氯化氢

其次,金属材料的晶体结构是这一章的重要内容,主要从以下三个方面来进行学习。

① 理想金属的结构,要求熟悉三种典型金属晶体结构的特点(表 1-3)。

表 1-3 三种典型金属晶体结构的特点

晶格类型	晶格常数	原子数	原子半径	致密度	典型金属
体心立方晶格	a	2	$\frac{\sqrt{3}}{4}a$	0.68	α -Fe、 δ -Fe、W
面心立方晶格	a	4	$\frac{\sqrt{2}}{4}a$	0.74	γ -Fe、Cu、Al
密排六方晶格	c/a	6	$\frac{1}{2}a$	0.74	Zn、Mg、 α -Ti

② 实际金属的结构,了解实际金属的晶体结构不像理想晶体那样规则和完整,即存在晶体缺陷。掌握实际晶体中的点、线、面缺陷的种类、主要形式及其对材料性能的影响(表 1-4)。另外,了解金属结晶的基本过程:先形核、后长大;了解纯铁在冷却过程中的同素异晶转变过程。

表 1-4 实际金属材料的晶体缺陷

缺陷种类	主要形式	对材料性能的影响
点缺陷	空位、间隙原子	强度、硬度提高,固溶强化等
线缺陷	位错	加工硬化等
面缺陷	晶界、亚晶界	易腐蚀,细晶强化等

③ 合金的晶体结构。

合金中的相结构包括固溶体、金属化合物和机械混合物三大类，其中固溶体又分为间隙固溶体和置换固溶体，而金属化合物可分为正常价化合物、电子化合物、间隙相和具有复杂结构的间隙化合物。一般对于固溶体的基本知识要求较高，而对化合物要求不高。因此，学习中要重点掌握有关两种固溶体的形成、结构、性能特征及其在合金中所起的作用，对于化合物则可概括性掌握其相关知识。关于固溶体和化合物的特征比较见表 1-5。

表 1-5 合金相结构的特征

类 别	分 类	在合金中所起作用	主要力学性能
固溶体	间隙固溶体	基体相	塑性、韧性好，强度比纯组元高
	置换固溶体	提高塑性、韧性	
化合物	金属化合物	强化相，提高强度、硬度、耐磨性	熔点高、硬度高、脆性大

再次，学习高分子材料时，可将高分子结构的内容梳理成两条线索：一是高聚物的链结构——主要侧重于单个分子（链）的结构和形态，包括高分子链的化学组成和大小、高分子链的构型与构象、高分子链的支化与交联以及高分子的柔顺性；二是聚集态结构——主要侧重于高分子链之间的排列和堆砌，掌握分子间作用力是大分子链之间相互作用的主要方式，依据分子链的排列是规则还是杂乱无章可将高聚物分为结晶高聚物和无定型高聚物两种，一个大分子链可以穿过几个晶区和非晶区，高聚物的分子链越长，构象数目越多，材料的柔顺性越强。

最后，陶瓷材料的化学键类型主要为离子键和共价键两种，而且是多晶多相材料，其内部结构比金属要复杂得多。从工程应用角度出发且结合机械工程专业特点，本章在陶瓷结构方面主要强调如下几个方面的内容：熟悉陶瓷晶相、玻璃相和气相三个组成相的作用，明确晶相对陶瓷材料的性能起决定性作用，初步掌握各种结构的化学键组成和静态结构特点。

1.3 典型习题例解

【例 1-1】 计算体心立方晶格结构（晶格常数为 a ）中，每个晶胞所含原子数、原子半径及致密度。

分析 首先，要清楚体心立方晶格结构中原子的排列方式是在 8 个角点上各分布与周围 7 个晶胞共用的 1 个原子，中心分布一个独立原子；其次，要清楚只有在原子最紧密晶向上才能建立起原子半径和晶格常数之间的关系；最后，还要知道致密度指的是原子体积占整个晶胞体积的百分数。

解题/答案要点

$$\textcircled{1} \text{ 原子数} \quad n = 8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$$

$$\textcircled{2} \text{ 原子半径} \quad r = \sqrt{3}a/4$$

$$\textcircled{3} \text{ 致密度为} \quad \frac{4\pi r^3}{3} \times 2 \div a^3 = 0.68$$

【例 1-2】 已知纯铝的原子直径是 0.28683nm ，求 $1\mu\text{m}^3$ 纯铝中铝原子的个数。

分析 首先要明确 $1\mu\text{m}^3$ 纯铝中并不是都是铝原子，还存在间隙，这就需要建立 $1\mu\text{m}^3$

纯铝中含有多少个晶胞, 1 个晶胞中有几个铝原子。这里的要点在于纯铝的晶体结构是面心立方晶格, 其原子半径与晶格常数之间存在 $r=\sqrt{2}a/4$ 的关系。

解题/答案要点

- ① $r=\sqrt{2}a/4$, $d=2r$; 计算出 $a=4r/\sqrt{2}=2d/\sqrt{2}=0.40564$ (nm);
- ② 晶胞的体积 a^3 ; 计算 $1\mu\text{m}^3$ 纯铝中晶胞的个数 $N=1\times 10^9/0.40564^3=1.4982\times 10^{10}$;
- ③ 纯铝属于面心立方晶格, 其原子数为 4; $n=4N=4\times 1.4982\times 10^{10}=5.9928\times 10^{10}$;
- ④ $1\mu\text{m}^3$ 纯铝中铝原子的个数约为 6×10^{10} 。

1.4 本章自测题

1. 是非题

- (1) α -Fe 比 γ -Fe 的致密度小, 故溶碳能力较大。()
- (2) 金属多晶体是由许多位向相同的单晶体所构成的。()
- (3) 金属理想晶体的强度比实际晶体的强度高。()
- (4) 实际晶体的缺陷总是使材料强度硬度下降而不会使其提高。()
- (5) 线型高聚物的柔顺性比网型高聚物好。()
- (6) 金属键中自由电子在外电场作用下作定向移动, 因而金属具有导电性。()
- (7) 金属的晶粒越细, 其强度越高, 塑性越好。()
- (8) 非晶态物质的原子在三维空间是无规则分布的。()
- (9) 置换固溶体的强度一般高于间隙固溶体。()
- (10) 陶瓷材料的性能主要取决于组成它的晶相。()

2. 选择题

- (1) 在三种常见的金属晶体结构中, 原子排列最疏松的是 ()。
A. 体心立方晶格 B. 面心立方晶格 C. 密排六方晶格 D. 三种都一样
- (2) 实际晶体中的线缺陷表现为 ()。
A. 空位 B. 间隙原子 C. 位错 D. 晶界
- (3) 晶体和非晶体的主要区别是 ()。
A. 晶体中原子有序排列 B. 晶体中原子依靠金属键结合
C. 晶体具有各向异性 D. 晶体具有简单晶格
- (4) 高分子材料的结合键主要为 ()。
A. 金属键 B. 共价键或分子键
C. 离子键或共价键 D. 共价键
- (5) 多晶体与单晶体在性能上的主要区别是 ()。
A. 多晶体有晶界 B. 多晶体中相邻晶粒的晶体位向不同
C. 多晶体无各向异性 D. 多晶体的性能具有方向性
- (6) 亚晶界的结构是 ()。
A. 由点缺陷堆积而成 B. 由晶界间的相互作用构成
C. 由位错排列而成 D. 由杂质和空位混合而成
- (7) 固溶体的晶体结构 ()。
A. 与溶剂的相同 B. 与溶质的相同

- C. 与溶剂、溶质的都不同 D. 是两组元各自结构的混合
- (8) 间隙固溶体和间隙化合物的 ()。
- A. 结构相同, 性能不同 B. 结构不同, 性能相同
- C. 结构相同, 性能相同 D. 结构和性能都不同
- (9) 金属的原子键合方式是 ()。
- A. 离子键 B. 共价键 C. 金属键 D. 分子键
- (10) () 不是陶瓷材料中玻璃相的主要作用。
- A. 将分散的晶相粘接 B. 抑制晶粒长大
- C. 填充气孔 D. 决定陶瓷的主要性能

3. 填空题

- (1) γ -Fe 的晶体结构是 _____, 晶胞中的原子数为 _____ 个, 原子半径为 _____。
- (2) 实际晶体中点缺陷主要有 _____。
- (3) 晶界和亚晶界属于晶体中 _____ 缺陷。
- (4) 高聚物的性能不仅与其 _____ 有关, 而且还取决于其 _____ 和 _____。
- (5) 陶瓷材料的基本组成相有 _____、_____、_____ 等三种。
- (6) 位错密度是指 _____, 其单位是 _____。
- (7) 形成置换固溶体的条件一般有 _____、_____ 和 _____。
- (8) 晶胞指的是 _____。
- (9) 合金的相结构有 _____ 和 _____ 两大类。
- (10) 能够较为明显提高金属材料的强度和硬度, 同时又不会明显降低其塑性和韧性的强化方法称作 _____。

4. 简答题

- (1) 计算体心立方晶胞的原子数、原子半径和致密度。

- (2) 简述金属键的基本结构, 说明金属的性能和其之间的联系。

(3). 何为柔顺性，影响柔顺性的因素有哪些？

(4) 简述晶界的结构及特性。

2.1 学习内容与学习要求

2.1.1 学习内容

静态力学性能及指标；动态力学性能及指标；高低温性能；金属单晶体和实际金属的塑性变形；金属的再结晶；热加工与冷加工；高聚物的力学状态。

2.1.2 学习要求

- ① 掌握拉伸曲线所反映的材料各项性能、硬度测试方法及其适用范围。
- ② 熟悉冲击韧性、疲劳强度和断裂韧性的物理意义及其测试条件。
- ③ 了解温度对材料力学性能的大致影响规律。
- ④ 熟悉单晶体弹性变形和塑性变形的实质、主要方式及区别。
- ⑤ 掌握金属的组织与性能在塑性变形中的变化。
- ⑥ 掌握再结晶的实质及其对冷塑性变形后的金属的组织 and 性能的影响。
- ⑦ 熟悉再结晶温度的概念及其影响因素。
- ⑧ 了解冷加工和热加工的区别及热加工对金属组织和性能的影响。
- ⑨ 了解高分子聚合物的分子链运动方式、力学状态的显著特点及其对温度的依赖性、结晶和交联对高分子聚合物力学性能的影响。

2.2 重难点分析及学习指导

2.2.1 重难点分析

工程材料的力学性能是工程材料研究和应用的基础问题。这是因为材料的力学性能通常是工程结构或部件设计的重要参数和依据，也是新材料由研发进入实用的基本考核条件；此外，机械结构的失效多数属于在服役过程中的工程材料未能达到要求的力学性能。由此可见，工程材料的力学性能在工程材料的应用和研究中占有重要地位。

本章学习的重点为评价材料力学性能的各项指标、测试方法及其工程实用意义。单晶体金属塑性变形的微观机制，多晶体的塑性变形过程，冷变形强化；再结晶的实质，消除内应力退火，细晶强化。难点是滑移的位错理论，晶界和晶粒位向对实际金属塑性变形的影响和冷变形强化现象。

2.2.2 学习指导

工程材料的力学性能涉及较多的指标，在学习时通常容易产生混淆，学生反应不容易记忆。对于本章内容的学习，首先“要细”，每一项力学性能，每一种测试方法以及每一个参数都要仔细研究，强调的是对工程材料力学性能的梳理，知识点覆盖面要广；再者“要精”，从中提炼出重点，并对重点内容深入研究，进行强化理解和记忆，对于重点内容的把握，主要以工程应用为依据。

学习本章内容时,要特别注意对相关基本概念的理解和区分。例如,材料的力学性能,是指材料在一定条件下承受外加载荷时所表现出的行为(通常表现为变形和断裂),强调的是材料对外力的抵抗特性。强度和弹性模量是材料力学性能的重要指标,前者用于评价材料的承载能力,后者用来衡量材料抵抗变形的能力。在工程上将弹性模量称为刚度,机械零件的刚度取决于材料的弹性模量,同时受到零件形状和尺寸的影响。再如,静态力学性能与动态力学性能。静态力学性能是指材料在恒定或单调递增应力(或应变)作用下的行为,在此静载荷作用下,构件各部分处于静力学平衡状态,构件内各点应力与时间无关。动态力学性能是指材料在机械振动条件下,即在交变应力(或交变应变)作用下做出的响应。常见的动载荷有惯性载荷、冲击载荷和交变载荷。

对于力学性能指标相关内容的学习,可以采用“图表归纳法”。下面列出了常用力学性能指标的表格(表 2-1)和硬度指标的表格(表 2-2),供学习时参考。关于性能指标符号也可以采用“特征分析法”进行记忆。例如,布氏硬度“HBW”,“H”的含义为“Hardness”(硬度)的首字母,“B”为布氏,这两者比较容易理解;但是,对于“W”就觉得有些困难,其实“W”指的是测试时所使用的压头,布氏硬度所用压头为硬质合金球,硬质合金中主要的成分为“WC”,“WC”—“W”,就不难理解也容易记忆了。

表 2-1 常用力学性能

名 称	符号	单位	物理意义
应力	R	Pa	试样单位面积上所承受的附加内力
应变	ϵ	—	试样长度在变形前后的改变量与初始长度之比
弹性模量	E	$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$	材料在弹性变形范围内,应力和应变的比值
弹性极限	R_e	Pa	不产生永久变形的最大应力
抗拉强度	R_m	MPa	材料产生最大均匀变形的抗力,反映材料的最大载荷能力
上屈服强度	R_{eH}	MPa	试样发生屈服而应力首次下降前的最高应力
下屈服强度	R_{eL}	MPa	屈服期间,不计初始瞬时效应时的最低应力
疲劳强度极限	R_{-1}	MPa	材料在无数次重复的交变载荷作用下而不致断裂的最大应力
断裂伸长率	A	—	试样断裂后,其伸长量与初始长度的比值
断面收缩率	Z	—	试样断裂后,其断面收缩量与断面初始截面积的比值
残余伸长率	$R_{0.2}$	MPa	伸长率为 0.2% 时的残余伸长率
冲击韧性	a_K	$\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$	单位面积所吸收的功
断裂韧性	K_{IC}	$\text{MN} \cdot \text{m}^{-2/3}$	裂纹起始扩展抗力

表 2-2 常用硬度符号、试验条件和应用举例

硬度种类	硬度符号	压头类型	常用试验载荷/kgf	硬度值有效范围	典型应用举例
布氏硬度	HBW	$\Phi 10\text{mm}$ 的硬质合金球	1000	< 650	< 650 铜件
洛氏硬度	HRA	120° 金刚石圆锥体	60	70~85	硬质合金、表面淬火钢
	HRB	$\Phi 1.588\text{mm}$ 的淬火钢球	100	25~100	退火钢、有色合金
	HRC	120° 金刚石圆锥体	150	20~67	一般淬火钢件
维氏硬度	HV	136° 金刚石四棱锥体	5~120	0~1000	经表面处理后面层

对于材料在外力作用下发生形变相关知识点的学习,应将微观组织结构特点与宏观性能特征相互联系。在本部分内容中,要注意以下几方面内容。

① 要熟悉单晶体和多晶体变形的方式。单晶体金属塑性变形的主要方式是滑移,而滑移的实质是位错运动的结果;多晶体塑性变形不仅包括了晶粒内部的滑移,还包括了晶粒之间的转动。

② 认识塑性变形时产生的纤维组织、织构现象、残余应力及加工硬化(冷变形强化)。要明确纤维组织的形成是由塑性变形引起的,通过热处理是无法消除的;同时纤维组织的存在使得金属材料在不同方向上具有不同的力学性能;加工硬化在工程上有有利的一面,也有不利的一面,如塑性变形过程中加工硬化会引起变形抗力增大,使进一步变形或加工困难,就应采取措施消除加工硬化。

③ 明确变形金属加热过程中回复和再结晶。变形金属经过回复,主要是使缺陷数目减少,使残余应力下降,但并未消除加工硬化现象;而再结晶之后,形成了新的、无畸变的等轴晶,使金属内部位错密度降低,加工硬化现象消除;此外,降低加热温度和增大预变形程度(注意避开2%~10%)还会使再结晶后获得尺寸细小的晶粒,利用细晶强化有力地改善了金属的力学性能。

对于高分子材料力学性能的学习,要注意其形变行为是与时间有关的黏性和弹性的组合,具有显著的黏弹性。黏弹性是指在外力作用下,材料同时发生高弹变形和黏性流动的性质,即高聚物材料的形变性质兼具固体的弹性和液体黏性的特征。线形无定形聚合物随着温度的变化可以有三种力学状态:玻璃态、高弹态、黏流态,三态转变过程中的重要参数是玻璃化转变温度。处于不同力学状态的聚合物的力学性能差异极大,如玻璃态高聚物的弹性模量约为1~10GPa,高弹态高聚物典型的弹性模量约为1~10MPa。

2.3 典型习题例解

【例 2-1】 某仓库内 1000 根 20 钢和 60 钢热轧棒料被混在一起,试问用何种方法鉴别比较合适,并说明理由。

分析 从题目所给出的条件来看,很容易造成通过分析其含碳量来进行鉴别的误解,但成分分析一般比较复杂,所需成本较大,因此这种方法不经济;此时联系“成分-组织-性能”可知,含碳量低的碳钢其硬度低于含碳量高的碳钢,因此可以采用测试硬度方法来进行测量。同时,测量材料的硬度也比较方便经济。

解题/答案要点 可以测量其硬度,硬度高的是 60 钢,硬度低的是 20 钢。

【例 2-2】 下列零件选择哪种硬度法来检查其硬度比较合适?

① 库存钢材; ② 硬质合金刀头; ③ 锻件。

分析 这是一道考查各种硬度法应用场合的题目。

解题/答案要点

① 库存钢材:其特点为硬度值的范围可能很大,需要一种能够测量比较大范围硬度值的硬度方法,因此宜选用洛氏硬度法;

② 硬质合金刀头:硬质合金的硬度较高,因此宜选用维氏硬度法;

③ 锻件:适合于锻造成形的材料,其塑性一般较好、硬度值较低、且通常都是作为毛坯件,因此根据布氏硬度法的特点宜选用布氏硬度法。