

21 世纪普通高等教育
机电类应用型规划教材

工程材料

伍强 徐兰英 王晓军 主编



化学工业出版社

本书从应用型本科的教学实际出发,采用深入浅出的原则,对工程材料的基本理论、国内外工程材料的新成果和新应用作了系统的阐述,特别对学科、专业方向及产业发展中的工程材料应用热点进行了展望,对一些应用范围特殊的工程材料仅作简单介绍,最后结合应用实际介绍了选材方面的知识和方法。全书共分11章,主要内容包括材料的力学性能、材料的结构、金属的结晶、铁碳合金、钢的热处理,工业用钢、铸铁、有色金属及其合金、高分子材料、工程材料的选择与应用和工程材料的分析与实验等。

本书可作为普通高等院校机电类和相近专业的教材,也可用作相关专业高职高专、成人教育的教材和工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料/伍强,徐兰英,王晓军主编. —北京:
化学工业出版社,2011.9
21世纪普通高等教育机电类应用型规划教材
ISBN 978-7-122-11549-2

I. 工… II. ①伍…②徐…③王… III. 工程材料-
高等学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第113933号

责任编辑:郝英华 唐旭华

文字编辑:冯国庆

责任校对:边涛

装帧设计:史利平

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)

印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张12 字数291千字 2011年9月北京第1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

Preface

工程材料是高等学校机电类专业的一门专业基础课。随着科学技术的发展,新材料和新技术的不断出现与应用,对本课程的教学与科研提出了新的要求。根据当前应用型本科教育“3+2”创新型培养模式的要求,对相关专业的基础课程进行了相应的调整,其中教材建设是一项重要的改革内容,本书是作者结合工程材料的应用实际和多年的教学经验编写而成的。与以往同类教材相比具有以下特点。

① 强调理论与实践的紧密结合。阐述基础知识的同时,在材料处理和选用方面紧密联系实际进行介绍。精炼传统的内容,注意了内容的更新和章节的调整。

② 增加了新材料、新技术和新工艺的内容,反映了工程材料的发展趋势。

③ 本书适应性强,可根据实际需要和课时情况选择适当的内容进行讲授。

本书绪论和第1章由广东技术师范学院伍强编写;第2章由广东技术师范学院黄春英编写;第3章由井冈山大学杨庆煊、广东技术师范学院林峰编写;第4章由广东技术师范学院徐兰英编写;第5章由广东海洋大学黄思庆编写;第6章由广东技术师范学院罗永顺、王敏、张玉霞编写;第7章由清华大学图书馆钱俊文编写;第8章由广东技术师范学院王晓军编写;第9章由广东技术师范学院天河学院周孟雄、广东技术师范学院伍强编写;第10章由广东技术师范学院伍强、广东技术师范学院天河学院高波编写;第11章由广东技术师范学院伍强、徐兰英编写。

全书由广东技术师范学院伍强、徐兰英、王晓军主编,伍强统稿。华南理工大学叶邦彦教授、杨永强教授,广东技术师范学院李玉忠教授和湖南大学龚金科教授在百忙中审阅文稿并提出了修改意见。此外,本书还得到了中国博士后科学基金(20090450865)、国家自然科学基金(50575070)和广东技术师范学院教学改革项目的资助,在此一并致谢。

本书提供了一定数量的习题,以帮助读者理解与加深,同时也为采用本书作为教材的老师提供了课件,需要者请发送邮件至 cipedu@163.com 索取。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2011年6月

Contents

0	绪论	1
	0.1 工程材料的发展及范围	1
	0.2 工程材料的分类	1
	0.3 工程材料课程的基本任务、学习内容、目的与方法	3
1	材料的力学性能	4
	1.1 材料的静载力学性能	4
	1.1.1 拉伸曲线与应力应变曲线	4
	1.1.2 刚度与强度	5
	1.1.3 塑性	6
	1.1.4 硬度	7
	1.2 材料的动载力学性能	10
	1.2.1 冲击韧性	10
	1.2.2 疲劳强度	11
	1.3 材料的断裂韧性	12
	1.4 材料的高、低温力学性能	13
	1.4.1 高温力学性能	13
	1.4.2 低温力学性能	13
	1.5 材料的磨损性能	14
	1.5.1 黏着磨损	14
	1.5.2 磨料磨损	14
	1.5.3 疲劳磨损	14
	1.5.4 腐蚀磨损	14
	复习思考题	15
2	材料的结构	16
	2.1 纯金属的晶体结构	16
	2.1.1 晶体结构的基本概念	16
	2.1.2 常见金属的晶格类型	17
	2.1.3 单晶体的各向异性与多晶体的各向同性	19
	2.1.4 实际金属的结构	19

2.2 合金的晶体结构	22
2.2.1 合金概述	22
2.2.2 固溶体	23
2.2.3 金属间化合物	24
2.3 非金属材料的结构	24
2.3.1 高分子材料的结构	24
2.3.2 大分子间的作用力	25
2.3.3 大分子链的柔顺性	25
2.3.4 高分子材料的聚集态	26
2.3.5 陶瓷材料的结构	26
复习思考题	28

3 金属的结晶

3.1 纯金属的结晶	29
3.1.1 纯金属结晶的条件	29
3.1.2 纯金属结晶的一般过程	30
3.1.3 晶粒大小及其控制	31
3.1.4 同素异构转变	32
3.1.5 铸锭组织	33
3.2 合金的结晶	34
3.2.1 二元合金相图的建立	35
3.2.2 二元合金相图的基本类型	36
3.3 二元相图的应用	39
3.3.1 根据相图判断合金的力学性能和物理性能	39
3.3.2 根据相图判断合金的铸造性	40
3.3.3 根据相图判断合金的热处理工艺可能性	40
复习思考题	40

4 铁碳合金

4.1 铁碳合金相图	42
4.1.1 铁碳合金中的基本相	42
4.1.2 铁碳合金相图分析	43
4.2 典型铁碳合金的平衡结晶过程	45
4.2.1 铁碳合金分类	45
4.2.2 典型铁碳合金平衡结晶过程分析	46
4.2.3 含碳量对铁碳合金平衡组织和性能的影响	50
4.2.4 铁碳合金相图的应用	52
4.3 碳钢	53

4.3.1 钢中常存杂质元素对钢的性能的影响	53
4.3.2 钢锭的种类	54
4.3.3 碳钢的分类、编号和用途	55
复习思考题	60

5 钢的热处理

5.1 钢在加热时的转变	62
5.1.1 奥氏体的形成	62
5.1.2 奥氏体晶粒的长大及影响因素	63
5.2 钢在冷却时的转变	64
5.2.1 珠光体类型转变	64
5.2.2 贝氏体类型转变	65
5.2.3 马氏体类型转变	67
5.2.4 过冷奥氏体连续冷却转变曲线	68
5.3 钢的普通热处理	71
5.3.1 钢的退火与正火	71
5.3.2 钢的淬火	72
5.3.3 钢的回火	76
5.4 钢的表面热处理	78
5.4.1 钢的表面淬火	79
5.4.2 钢的化学热处理	80
5.5 热处理缺陷及防止方法	83
5.5.1 过热和过烧	83
5.5.2 氧化和脱碳	84
复习思考题	84

6 工业用钢

6.1 碳素钢及其应用	86
6.1.1 普通碳素结构钢	86
6.1.2 优质碳素结构钢	86
6.1.3 碳素工具钢	87
6.1.4 铸钢	88
6.2 合金结构钢及其应用	88
6.2.1 合金结构钢的分类与编号	88
6.2.2 合金渗碳钢	88
6.2.3 合金调质钢	89
6.2.4 合金弹簧钢	91
6.2.5 滚动轴承钢	92

6.3 其他常用合金结构钢	94
6.3.1 低合金结构钢	94
6.3.2 易切削结构钢	95
6.4 合金工具钢及其应用	95
6.4.1 合金工具钢的分类和编号	95
6.4.2 低合金刃具钢	95
6.4.3 高速钢	97
6.4.4 合金冷作模具钢	100
6.4.5 合金热作模具钢	101
6.4.6 合金量具钢	102
复习思考题	103

7 铸铁

7.1 概论	104
7.1.1 铸铁的成分、性能和应用特点	104
7.1.2 铸铁的石墨化过程	104
7.1.3 影响铸铁石墨化的因素	105
7.2 灰口铸铁	105
7.3 可锻铸铁	107
7.4 球墨铸铁	108
7.5 蠕墨铸铁	110
7.6 特殊性能铸铁	111
7.6.1 耐磨铸铁	111
7.6.2 耐热铸铁	111
7.6.3 耐蚀铸铁	112
复习思考题	112

8 有色金属及其合金

8.1 铝及铝合金	113
8.1.1 工业纯铝	113
8.1.2 铝合金	114
8.2 铜及铜合金	117
8.2.1 工业纯铜	117
8.2.2 铜合金	117
8.3 钛合金	119
8.3.1 纯钛	120
8.3.2 钛合金	120
8.3.3 功能钛合金	121

8.4 轴承合金	122
8.4.1 对滑动轴承的性能要求	122
8.4.2 组织特征	122
8.4.3 常用的轴承合金、牌号及应用	122
复习思考题	123

9

高分子材料	124
9.1 工程塑料	124
9.1.1 概论	124
9.1.2 塑料材料	125
9.1.3 功能塑料	133
9.2 合成纤维	135
9.2.1 概述	135
9.2.2 合成纤维	136
9.3 合成橡胶	139
9.3.1 橡胶的组成及分类	139
9.3.2 橡胶的性能	140
9.3.3 橡胶材料	141
9.4 胶黏剂	143
9.4.1 胶黏剂的组成及分类	144
9.4.2 常用胶黏剂	145
9.4.3 胶黏剂的选用	147
复习思考题	148

10

工程材料的选择与应用	150
10.1 选材的基本原则、过程和方法	150
10.1.1 选材的基本原则	150
10.1.2 选材的基本过程	153
10.1.3 选材方法	155
10.2 汽车用材	158
10.2.1 汽车用金属材料	159
10.2.2 汽车用塑料	161
10.2.3 汽车用橡胶	161
10.2.4 汽车用陶瓷材料	162
10.2.5 汽车用复合材料	163
10.3 机床用材	163
10.3.1 机身、底座用材	163
10.3.2 齿轮用材	163

10.3.3	轴类零件用材	164
10.3.4	螺纹连接件用材	164
10.3.5	螺旋传动件用材	164
10.3.6	蜗轮传动用材	165
10.3.7	滑动轴承材料	165
10.3.8	机床其他零件用材	166
10.4	仪器仪表用材	166
10.4.1	壳体材料	167
10.4.2	轴类零件用材	167
10.4.3	凸轮用材	167
10.4.4	齿轮用材	167
10.4.5	蜗轮、蜗杆用材	168
10.4.6	功能材料	168
	复习思考题	168
11	工程材料的分析与实验	169
	实验一 金属的显微分析法	169
	实验二 碳钢和铸铁在平衡状态下的显微组织	174
	实验三 钢的热处理及其对组织和性能的影响	177
	参考文献	182

0 绪论

0.1 工程材料的发展及范围

材料在人类生产生活中占有重要的地位，史学家根据生产工具使用的材料划分历史时代，这说明材料的科技水平标志着社会的进步和发展程度。

人类在原始社会就开始使用石器，后期开始人工制作陶器，由此发展到汉代象征中国古代文化的瓷器。夏、商、周时期已炼制青铜，并将其应用于工具和兵器。春秋战国时期已炼铁，汉代已经掌握“先炼铁后炼钢”的技术，居世界领先地位。在青铜、钢铁材料发展基础上，18世纪世界各国工业迅速发展，对材料提出很多新的要求，形成了一门新的科学，即“金属学”，以研究金属材料的成分、内部结构和性能之间的关系。

现代工业与材料的发展关系密切，能源、信息、材料已成为现代技术的三大支柱，现代化建设要求生产出更多更好的材料。例如，飞机由木质结构发展到铝合金，时速由几十千米到几百千米。不锈钢和钛合金的使用，实现了超音速飞行。超高强度钢可减轻飞机的自重，从而节省燃料，提高性能，使飞机飞得更快更远。新型高温合金的发展，才能制造出推力更大的发动机。现代航空和宇航的发展，除要求性能更好的金属外，还需要优质的非金属材料，如工程聚合物、陶瓷材料和复合材料，以减小总体结构重量并满足一些特殊性能要求，如重返大气层等。

历史上，从使用天然非金属材料发展到使用金属材料，标志着社会的进步和发展。在发展高性能金属材料的同时，迅速发展和应用人工非金属材料，标志着现代技术的进步。人类正在进入人工合成非金属材料 and 复合材料的新时代，因此“金属学”已不能全面反映目前材料的研究、生产和应用中的问题，因而形成了一门新兴的“材料科学”。这门学科研究所有固体材料的成分、内部结构和性能之间的相互关系。“工程材料”主要研究工程领域中需要弄清其力学性能的材料，并分析这些材料的成分、内部结构、性能和应用之间的相互关系。

本书重点介绍机械工程领域中常用的工程材料。如金属材料部分，介绍了机械工业常见而实用的几种用钢、铸铁和有色金属等；高分子材料部分介绍了工程塑料、合成纤维、合成橡胶、胶黏剂等，尽管塑料、橡胶中的天然橡胶、天然纤维也可以做工程材料，但本书未作详细介绍。

0.2 工程材料的分类

固体材料分为无机物和有机物。工程材料是指工程上使用的材料，主要指应用于工程构件、机械零件及工具等的结构材料，包括金属、非金属及复合材料，其中最基本的是金属材料。

料。工程材料按照用途分为建筑工程材料、机械工程材料和电工材料等；按原子聚集状态分为单晶体材料、多晶体材料和非晶体材料；按照化学成分、结合键的特点可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类，如图 0.1 所示。

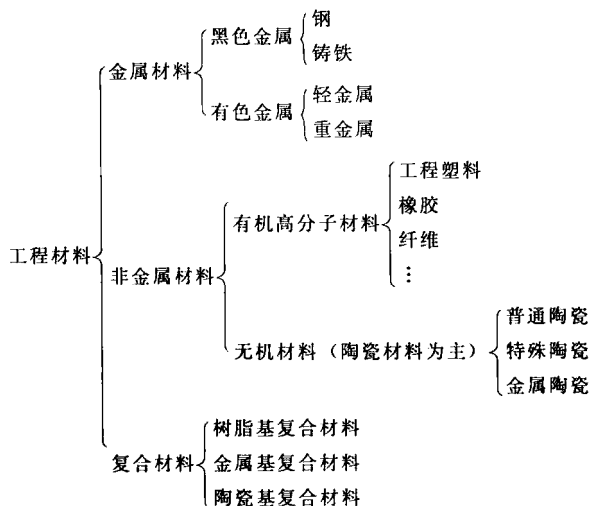


图 0.1 工程材料的分类

(1) 金属材料

在工业领域中，金属材料分为黑色金属和有色金属。在工程材料中，黑色金属的应用范围最广、用量最大以及承载能力最高。有色金属中的轻合金在航空工业中具有特别重要的意义，如使用在飞机、发动机上可以减重。

① 黑色金属指铁及以铁为基的合金，如钢、合金钢、铸铁及其他铁基合金。

② 有色金属指黑色金属以外的所有金属及其合金，如镍和镍基合金、铜和铜合金、铝和铝合金、镁和镁合金、钛和钛合金。其中铝、镁、钛及其合金等，密度小于 4.5g/cm^3 ，被称为轻金属或轻合金。

(2) 非金属材料

① 聚合物（高分子材料） 聚合物由许多分子量很大的大分子组成，石油是构成大分子的原料。在工程应用中，根据高分子聚合物的性能和使用状态，分为工程塑料、橡胶和合成纤维等。工程塑料有轻质、耐腐蚀的特点，如受热后具有极好的延展性和成型性，则称为“热塑性塑料”，强度低；如受热后失去延性，则称为“热固性塑料”，通常强度较高。

② 陶瓷材料 陶瓷是指硅酸盐，金属同非金属元素的化合物，如氧化物、氮化物等。工业用陶瓷可分为以下几种。

a. 硅、铝的氧化物及硅酸盐，称为普通陶瓷。

b. 人工氧化物、碳化物、氮化物和硅酸盐等烧结材料，称为特种陶瓷。

c. 金属粉末与陶瓷粉末烧结材料，称为金属陶瓷。

陶瓷具有硬度和耐磨性高、耐蚀性及抗氧化能力强的特点，但塑性极低、脆性大，所以在常温下难以用作结构材料。但作为耐温材料，陶瓷潜力很大。此外，陶瓷在光、电、热方面具有独特的性能。

(3) 复合材料

由两种或两种以上的固体物质组成的材料称为复合材料。复合材料的性能与组成它的任

何一种材料都不同。例如玻璃钢，由玻璃纤维布与热固性高分子材料复合而成，其性能不同于玻璃纤维或组成它的高分子材料。复合材料一般是轻质、强度高、硬度高、耐高温及耐磨的工程材料，在建筑、机械制造、交通和国防等领域有着日益广阔的发展前景。作为工程材料使用的复合材料主要分为树脂基复合材料和金属基复合材料。

0.3 工程材料课程的基本任务、学习内容、目的与方法

工程材料的成分不同，其性能也各不相同，但成分相同的工程材料，通过不同的改性处理，其性能也会发生改变。例如锯条硬而脆，易折断，但加热烧红之后再缓慢冷却，会变得软而韧，这表明化学成分不是工程材料性能上产生差异的唯一原因，材料的性能与其内部结构组织有关。锯条在使用状态下内部是高硬度的组织，而加热缓冷后形成的则是一种硬度较低的内部组织。可见，成分是决定材料组织结构的内因，而加工工艺是决定组织结构的外因。成分和工艺的改变，将会引起材料组织结构的变化，改变材料的性能。对于金属材料，最常用的改性工艺是热处理。热处理是一种在固态下通过加热、保温、冷却等过程使金属内部组织发生变化而得到所要求性能的工艺。

本课程作为材料科学的应用部分，基本任务是建立材料的成分、内部组织、加工（改性处理）工艺与性能之间的关系，找到相互之间的影响规律，通过选择材料的成分和加工过程来控制其组织，提高材料性能，充分发挥其潜能。此外，从机械工程应用实际的角度来看，技术人员必须掌握材料科学与工程的基础知识，如了解工程材料的分类、性能及选材因素、选材原则和选材方法等。所以，本课程的主要内容为：材料科学与工程的基础知识包括材料性能、材料结构、材料相变基础知识和材料改性等；工程材料学的基础知识，包括各类常用材料的成分、组织、性能特征及选用等。

通过学习，使读者熟悉常用工程材料的成分、加工工艺、组织结构与性能之间的关系及变化规律；初步掌握常用材料的性能与应用范围，具备初步选用常用材料的能力，正确合理地选材、用材；对一般简单机械零件，初步具备选定加工的处理方法、确定金属材料的热处理工艺方法的能力，能够正确制定热处理工艺的技术要求及设计加工工艺路线；对失效零件，能运用材料科学的基础知识进行初步分析，判断大致的失效原因，为机械设计提供依据。

工程材料是一门理论性和实践性很强的技术基础课，特别是材料科学基础理论部分比较抽象。因此在学习理论知识的同时，应该重视实践环节的学习，使所学知识得到巩固与提高。此外，本课程的特点是公式和计算较少，但概念及叙述性的内容需要理解和记忆，因此学习时需要转变思维方式，注重主动学习、自主学习，提高学习效率；注意应用已学过的知识，重在分析、理解与应用，特别是加强前后知识的综合运用，把相对分散、孤立的材料科学知识转变为系统而整体的知识体系，培养独立分析与解决问题的能力，从而取得理想的学习效果。

1 材料的力学性能

材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是材料在使用过程中的性能，主要包括力学性能、物理性能和化学性能；工艺性能是材料在加工过程中表现出来的性能，包括热处理性能、可锻性、可焊性和切削加工性等。

材料的力学性能（机械性能）是工程设计的基础，是材料在一定环境（温度、介质）下，承受各种外加载荷（拉伸、压缩、弯曲、扭转、冲击等）时表现出来的性能，通常为变形与断裂。

1.1 材料的静载力学性能

静载荷是指载荷大小不随时间的变化而发生变化。材料的静载力学性能指标主要有刚度、强度、塑性和硬度等。

1.1.1 拉伸曲线与应力应变曲线

(1) 拉伸曲线

用拉伸试验的方法得到拉伸曲线。GB/T 228—2002《金属材料室温拉伸试验方法》规定了拉伸试验的方法和拉伸试样的制作标准。试验时，金属材料制作成一定的尺寸和形状（图 1.1），将拉伸试样装夹在拉伸试验机上，对试样施加的拉力不断增加，观察试样的变化，直至试样被拉断。

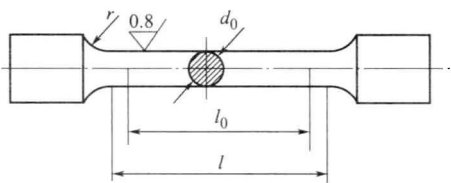


图 1.1 圆形拉伸试样示意

根据拉伸过程中载荷 F 与试样的伸长量 Δl 之间的关系，可以绘制材料的拉伸曲线。图 1.2 所示为低碳钢的拉伸曲线，在开始段 Oe ，试样的伸长量与载荷呈线性关系，卸载后试样将恢复至原长，

这阶段的变形称为弹性变形。载荷超过 F_e 后，试样的变形中出现永久变形，这种变形称为塑性变形。当载荷增大到 F_s 后，载荷不增加或变化不大，试样仍继续伸长，出现了明显的塑性变形，这种现象称为屈服现象， s 点被称为屈服点，屈服后试样产生均匀的塑性变形。当载荷超过 F_b 后，试样产生非均匀的塑性变形，到 k 点时试样发生断裂。

(2) 应力-应变曲线

应力 σ 是指试样单位截面积上承受的载荷，即

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (1.1)$$

式中 F ——试样所承受的载荷, N;

S_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

应变 ϵ 是指试样单位长度的伸长量, 即

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (1.2)$$

式中 Δl ——试样标距长度的伸长量, mm;

l_0 ——试样的原长, mm。

如图 1.3 所示是低碳钢的应力-应变曲线, 即 $\sigma\epsilon$ 曲线。应力-应变曲线的形状与拉伸曲线形状相同, 仅坐标的含义不同, 但 $\sigma\epsilon$ 曲线直接显示了力学性能指标。不同材料的拉伸曲线的形状不同, 如低碳钢等塑性材料在断裂前会发生明显塑性变形, 这样的断裂称为韧性断裂; 而灰口铸铁等脆性材料在断裂前的塑性变形很小, 甚至不发生塑性变形, 这样的断裂称为脆性断裂。

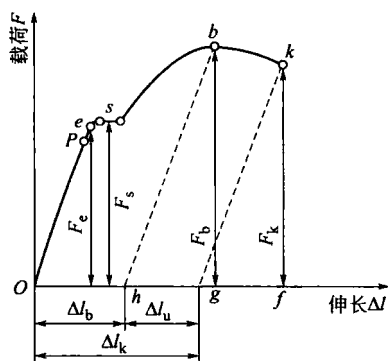


图 1.2 低碳钢的拉伸曲线

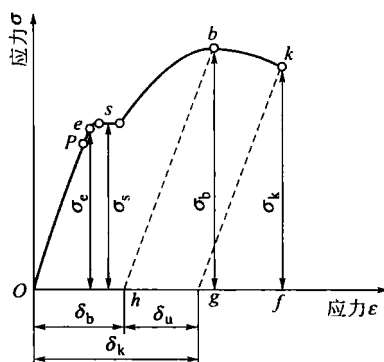


图 1.3 低碳钢应力-应变曲线

1.1.2 刚度与强度

(1) 刚度

刚度是指材料对弹性变形的抗力, 工程上的弹性模量 E 称为材料的刚度。弹性模量是材料在完全弹性状态下的应力与应变的比值, 即

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1.3)$$

式中 σ ——试样承受的应力, MPa;

ϵ ——试样的应变。

对于材料而言, 弹性模量 E 越大, 则刚度越大, 即材料产生一定的弹性变形所需要的应力就越大。一些零件或构件, 除满足强度要求外, 还应严格控制弹性变形量, 如锻模、镗床的镗杆, 为了保证加工精度, 应选用刚度较大的材料。实际工件的刚度与下列因素有关。

① 不同的材料, 其刚度差异很大, 取决于材料的弹性模量 E 。陶瓷材料的刚度最大, 金属材料 and 复合材料次之, 而高分子材料最低。

② 与零件的形状、截面尺寸有关。

(2) 强度

强度是指金属材料在静载荷作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。工程上常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。

① 屈服强度 σ_s (屈服点) 屈服强度是指拉伸试样产生屈服现象时的应力, 即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1.4)$$

式中 F_s ——试样发生屈服现象时的载荷, N;

S_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

对于没有明显屈服现象的材料, 工程上规定以试样产生 0.2% 塑性变形时的应力, 作为该材料的屈服点, 通常记作 $\sigma_{0.2}$, 即

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \quad (1.5)$$

式中 $F_{0.2}$ ——试样标距发生 0.2% 残余伸长时的载荷, N;

S_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

屈服强度 σ_s (或 $\sigma_{0.2}$) 通常是机械零件设计的主要强度指标, 也是评定金属材料强度的重要指标之一。工程上绝大多数零件, 如汽车连杆等, 在工作时都不允许发生过量的残余变形, 因此设计许用应力以 σ_s (或 $\sigma_{0.2}$) 确定。

② 抗拉强度 σ_b 抗拉强度是指材料在拉断前所能承受的最大应力, 即

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1.6)$$

式中 F_b ——试样拉断前承受的最大载荷, N;

S_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

对于脆性材料及不形成颈缩的塑性材料, 其最高的拉伸载荷是断裂载荷, 因此其抗拉强度代表了材料的断裂抗力; 对于形成颈缩的塑性材料, 其抗拉强度代表产生最大均匀变形的抗力, 表示材料在静拉伸条件下的极限承载能力, 这是选择高分子和陶瓷材料的依据; 对塑性变形要求不严、只要求不发生断裂的金属零件, 如钢丝绳、建筑结构件等, 为减轻自重, 抗拉强度常作为设计与选材的依据。

1.1.3 塑性

塑性是材料产生塑性变形而不被破坏的能力。常用的塑性指标有延伸率和断面收缩率。

(1) 延伸率 δ

延伸率是拉断后标距的伸长量与原始标距之比的百分率, 即

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1.7)$$

式中 l_1 ——试样拉断后的标距, mm;

l_0 ——试样的原始标距, mm。

材料延伸率 δ 的大小与试样原始标距 l_0 和原始横截面积 S_0 有关, 在 S_0 相同的情况下, l_0 越长则 δ 越小, 反之亦然。为了便于比较, 试验时应规定对选定的试样尺寸作出规定, 如 $l_0 = 10d_0$ 时, 用 δ_{10} 或 δ 表示; $l_0 = 5d_0$ 时, 用 δ_5 表示。

(2) 断面收缩率 ψ

断面收缩率指试样拉断处横截面积的减少量与原始横截面积之比的百分率, 即

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1.8)$$

式中 S_1 ——试样拉断后断裂处的最小横截面积, mm^2 ;

S_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

延伸率和断面收缩率越大, 材料的塑性越好。一般认为, $\delta > 5\%$ 的材料为塑性材料, 而 $\delta < 5\%$ 的材料为脆性材料。大多数机械零件除要求一定强度指标外, 还要求一定的塑性指标, 这是因为:

- ① 当零件遭受意外过载或冲击时, 由于塑性变形而不至于突然断裂;
- ② 材料具有一定的塑性可以保证某些成型工艺 (锻造、轧制、冷冲压等) 的顺利进行。

1.1.4 硬度

材料在表面局部体积内抵抗变形, 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力称为硬度, 其物理意义是指材料表面抵抗比它更硬的物体局部压入时引起塑性变形的能力。硬度测定的方法一般分为压入法、动力法和划痕法。工程中常用的压入法可分为布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

(1) 布氏硬度

布氏硬度试验按 GB/T 231.1—2002《金属布氏硬度试验第1部分: 试验方法》进行, 测定原理如图 1.4 所示。对一定直径的硬质合金球施加试验力压入试样表面, 保持规定的时间后, 卸除试验力, 测量试样表面压痕的直径; 根据表面压痕的直径计算出压痕球缺的面积; 最后求出压痕单位面积上承受的平均压力, 作为被测金属材料的布氏硬度值。

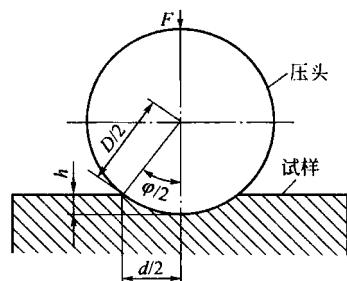


图 1.4 布氏硬度实验测定原理

布氏硬度值 (HBW) 可由如下公式计算

$$\text{HBW} = \frac{F}{S} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1.9)$$

式中 F ——载荷大小, N;

D ——压头的直径, mm;

d ——压痕表面的直径, mm;

S ——压痕的面积, mm^2 。

一般不必标出布氏硬度值的单位 MPa, 表示方法为硬度值+HBW+压头直径+压力+保持时间。例如, 350HBW5/750 表示用直径为 5mm 的硬质合金球在 7.355kN 试验力下保持 10~15s (保持时间为 10~15s 不加标注) 测定的布氏硬度值为 350; 600HBW1/30/20 表示用压头直径 1mm 的硬质合金球在 294.2N 试验力下保持 20s 测定的布氏硬度值为 600。实际测定时用刻度放大镜测出压痕直径 d , 查表即可。布氏硬度试验的具体规范见表 1.1。

表 1.1 布氏硬度试验规范

材料种类	布氏硬度值(HB)	试样厚度/mm	直径/mm	$0.102F/D^2$	试验力 F /N	保持时间/s
黑色金属	≥ 140	3~6	10	30	29420	10
		2~4	5		7355	
		< 2	2.5		1839	
	< 140	> 6	10	10	9807	10
		3~6	5		2452	
		< 3	2.5		612.9	

续表

材料种类	布氏硬度值(HB)	试样厚度/mm	直径/mm	$0.102F/D^2$	试验力 F/N	保持时间/s
有色金属	≥ 130	3~6	10	30	29420	30
		2~4	5		7355	
		<2	2.5		1839	
	36~130	6~9	10	10	9807	30
		3~6	5		2452	
		<3	2.5		612.9	
	<35	>6	10	2.5	2452	60
		3~6	5		612.9	
		<3	2.5		153.2	

因为压痕面积较大，布氏硬度值比较稳定，所以特别适合测定灰铸铁和轴承合金等具有粗大晶粒或者粗大组成相的材料硬度。但是压痕较大，不便测定零件表面、薄壁件或表面硬化层的布氏硬度；测定压痕直径比较麻烦，所以不适合大批量生产的逐件检验的情况。

(2) 洛氏硬度

金属洛氏硬度试验按 GB/T 230.1—2004《金属洛氏硬度试验第1部分：试验方法》进行，原理如图 1.5 所示。

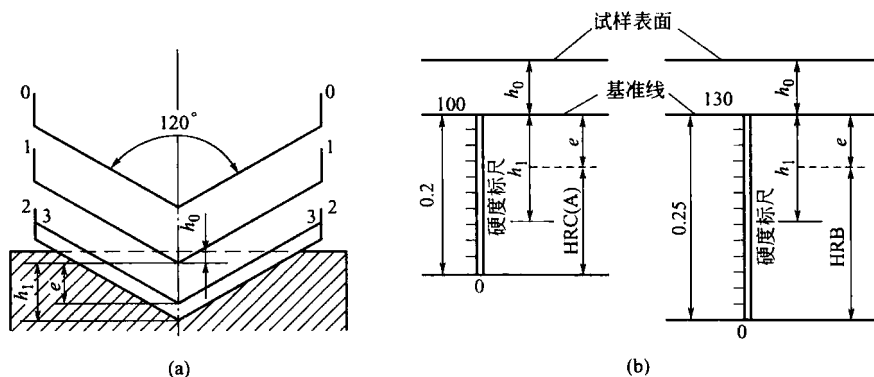


图 1.5 洛氏硬度试验测定原理

将压头（金刚石圆锥、钢球或硬质合金球）按图分两步压入试样表面，保持规定的时间后卸除主试验力，测量在试验力下的残余压痕深度 h 。根据 h 值及常数 N 和 S ，由下式计算得到

$$\text{洛氏硬度} = N - \frac{h}{S} \quad (1.10)$$

式中 N ——给定标尺的硬度数；
 h ——残余压痕深度，mm；
 S ——给定标尺的单位，mm。

为了测试从软到硬各种材料的硬度，洛氏硬度计需要不同的压头和载荷组成不同的洛氏硬度标尺，常有 A、B、C 三种标尺，分别记作 HRA、HRB、HRC，其中 HRC 在生产中应用最广。表 1.2 给出了常用三种洛氏硬度的试验规范及应用范围。

洛氏硬度的表示法为硬度值+硬度符号，如 59HRC 表示用 C 标尺测得的洛氏硬度值为 59。洛氏硬度试验操作简便、迅速，可直接从表盘上读出硬度值；由于压痕小，适合成品及薄件检验。缺点是重复性差，不适用具有粗大、不均匀组织材料的硬度测定，测量值的准确