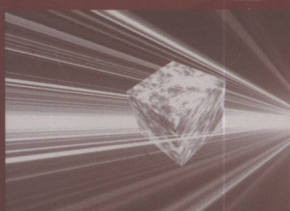


高等学校教材

工程材料及其热处理

Engineering Material and Heat Treatment

崔明铎 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等学校教材

工程材料及其热处理

主 编 崔明铎

副主编 陈明九 于 宽 林晓娟

唐炳涛 景财年

主 审 许 斌 徐志远



机械工业出版社

本书是根据国家教育部最新颁布的“工程材料与机械制造基础课程教学基本要求”并结合我国普通高校多年来的教学改革经验而编写的。

本书以工程材料的基本知识为主线,以工程材料的选用为重点,加强理论与实践相结合的训练,针对“中国制造”发展实际和需要,强化了新材料的选用比例,侧重应用型人才培养。全书内容包括:工程材料性能,金属与合金的晶体结构和二元合金相图,金属的热处理,工业用钢与铸铁,非铁合金及粉末冶金材料,聚合物、无机与复合材料,以及工程材料的合理选用等。

本书可作为高等工科院校本科、高职高专和成人教育等层次院校的通用教材,也可供其他有关专业的师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及其热处理/崔明铎主编. —北京:机械工业出版社, 2009.7
高等学校教材
ISBN 978-7-111-27304-2

I. 工… II. 崔… III. ①工程材料—高等学校—教材②热处理—高等学校—教材 IV. TB3 TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 084883 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:冯春生 版式设计:张世琴 责任校对:张媛
封面设计:王伟光 责任印制:邓博
北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)
2009 年 7 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm·12.75 印张·310 千字
标准书号:ISBN 978-7-111-27304-2
定价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379711
封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据国家教育部最新颁布的“工程材料与机械制造基础课程教学基本要求”并结合我国普通高校多年来的教学改革经验而编写的,是按照教育质量观、教材质量观必须随高等教育大众化,适应与满足人才市场的多样化需求,面向、符合、激活学生个性与能力的多样化特点而编写的,是机械类专业系列教材之一。

全书内容包括:工程材料性能,金属与合金的晶体结构和二元合金相图,金属的热处理,工业用钢与铸铁,非铁合金及粉末冶金材料,聚合物、无机与复合材料,以及工程材料的合理选用等内容。

本书编写注意突出以下几个特点:

1) 教材编写坚持内容新颖、简洁,结构合理,层次鲜明,直观形象,减少文字叙述,利用表格,图文并茂,总篇幅以够用为原则。

2) 全书名词术语和计量单位采用最新国家标准及其他有关标准,且与教材内容结合紧密。

3) 本书的内容强调基础性,重视概念的准确性。作为技术基础课,工程材料的基本理论、基本概念、基本知识和取材都必须是基础而且是成熟的。本书充分体现了这一特点。

4) 为突出、强化机械零件的选材及热处理,单独设置了第7章工程材料的合理选用内容,实用性很强。为培养学生理论联系实际、解决实际问题的能力,书中给出了必要的关于理论、工艺和材料的数据、资料和实例,而且主要是中国自己的。

本书由崔明铎担任主编并统稿,陈明九、于宽、林晓娟、唐炳涛、景财年担任副主编,参加本书编写并做出贡献的还有:田清波、李静、岳雪涛、徐丽娜、潘悦飞、井敏、张丰庆、崔浩新、米丰敏等。许斌、徐志远作为主审对全书进行了认真审阅并提出许多改进意见。

本书在编写中参考了有关教材和相关文献,并征求了有关领导与相关企业人士的意见,在此向上述人员一并表示谢意。

由于编者理论水平及教学经验所限,本书难免有谬误或欠妥之处,敬希读者和各校教师同仁提出批评建议,共同搞好本门课程教材建设工作,不胜企盼。

编 者

目 录

前言	
绪论	1
第1章 工程材料性能	3
教学基本要求	3
1.1 静载时材料的力学性能	3
1.1.1 强度与塑性	3
1.1.2 弹性与刚度	5
1.1.3 硬度	5
1.2 动载时材料的力学性能	7
1.2.1 冲击韧性	7
1.2.2 疲劳强度	8
1.3 工程材料的物理、化学及工艺性能	8
1.3.1 物理性能	8
1.3.2 化学性能	9
1.3.3 工艺性能	9
思考题	9
第2章 金属与合金的晶体结构和二元合金相图	10
教学基本要求	10
2.1 金属的晶体结构	10
2.1.1 晶体的概念	10
2.1.2 实际晶体结构	12
2.2 金属的结晶与同素异构转变	13
2.2.1 纯金属的结晶	13
2.2.2 晶粒大小及控制	15
2.2.3 金属的同素异构转变	15
2.3 合金与合金的相结构	16
2.3.1 合金	16
2.3.2 合金的相结构	16
2.4 二元合金相图	18
2.4.1 匀晶相图	19
2.4.2 共晶相图	20
2.4.3 包晶相图	21
2.4.4 共析相图	21
2.5 铁碳合金与铁碳合金相图	22
2.5.1 铁碳合金的基本组织与性能	22
2.5.2 铁碳合金相图	23
思考题	29
第3章 金属的热处理	31
教学基本要求	31
3.1 金属热处理概述	31
3.1.1 钢在加热时的组织转变	32
3.1.2 钢在冷却时的组织转变	33
3.2 金属的整体热处理工艺	38
3.2.1 退火	38
3.2.2 正火	40
3.2.3 淬火	40
3.2.4 回火	42
3.3 钢的淬透性	44
3.3.1 淬透性的概念及对热处理后力学性能的影响	44
3.3.2 影响淬透性及淬硬深度的因素	45
3.3.3 淬透性的测定与表示方法	45
3.4 金属的表面热处理与化学热处理	46
3.4.1 钢的表面淬火	47
3.4.2 化学热处理	48
3.5 其他热处理工艺简介	51
3.5.1 真空热处理	51
3.5.2 可控气氛热处理	51
3.5.3 形变热处理	52
3.5.4 超细化热处理	52
3.5.5 高能束热处理	52
3.6 热处理工件的结构工艺性	53
3.6.1 热处理工艺对零件结构的要求	53
3.6.2 和结构工艺性有关的其他要求	55
思考题	55
第4章 工业用钢与铸铁	56
教学基本要求	56
4.1 概述	56
4.1.1 工业用钢的分类与牌号	56

4.1.2 杂质对钢质量的影响	58	5.1.1 工业纯铝	112
4.1.3 合金元素在钢中的作用	59	5.1.2 铝合金及其强化处理	113
4.2 工程结构钢	62	5.1.3 铝合金分类及其应用	114
4.2.1 概述	62	5.2 铜及铜合金	118
4.2.2 碳素结构钢(非合金结构钢)	62	5.2.1 工业纯铜	118
4.2.3 低合金高强度结构钢和合金结 构钢	63	5.2.2 铜合金	119
4.2.4 微合金化低碳高强度钢简介	65	5.3 其他非铁合金简介	124
4.3 机械结构钢	67	5.3.1 钛及其合金	124
4.3.1 优质的、特殊质量的非合金结 构钢(优质碳素结构钢)	67	5.3.2 镁及其合金	125
4.3.2 特殊质量的机械结构用合金钢	69	5.3.3 锌及其合金	126
4.3.3 易切削钢	77	5.4 铸造轴承合金与粉末冶金	127
4.3.4 铸钢	78	5.4.1 铸造轴承合金	127
4.4 滚动轴承钢	79	5.4.2 粉末冶金	129
4.5 工具钢	82	思考题	130
4.5.1 概述	82	第6章 聚合物、无机与复合材料	131
4.5.2 刀具钢	82	教学基本要求	131
4.5.3 高速工具钢	84	6.1 聚合物材料	131
4.5.4 模具钢	87	6.1.1 聚合物特征	131
4.6 不锈钢、耐热钢和低温钢	91	6.1.2 塑料	131
4.6.1 不锈钢	91	6.1.3 橡胶	135
4.6.2 耐热钢	94	6.1.4 纤维	137
4.6.3 低温钢	95	6.1.5 涂料	137
4.7 特殊物理性能钢	96	6.1.6 粘合剂	138
4.8 铸铁	96	6.1.7 功能聚合物材料简介	139
4.8.1 概述	96	6.2 无机非金属材料	139
4.8.2 铸铁石墨化	96	6.3 复合材料	143
4.8.3 铸铁分类	98	6.3.1 复合材料的性能特点	143
4.8.4 常用铸铁的牌号、性能与应用	98	6.3.2 树脂基复合材料	145
4.9 工程材料新发展简介	106	6.3.3 金属基复合材料	147
4.9.1 形状记忆合金	106	6.3.4 其他类型的复合材料	147
4.9.2 纳米材料	107	思考题	148
4.9.3 非晶态合金及微晶合金	108	第7章 工程材料的合理选用	149
4.9.4 储氢材料	109	教学基本要求	149
4.9.5 超导材料	109	7.1 机械零件合理选材的基本原 则与步骤	149
4.9.6 减振合金	109	7.1.1 使用性原则	149
4.9.7 超塑性合金	110	7.1.2 工艺性原则	150
思考题	111	7.1.3 经济性原则	152
第5章 非铁合金及粉末冶金材料	112	7.1.4 可持续发展原则	154
教学基本要求	112	7.1.5 选材的基本步骤	154
5.1 铝及铝合金	112	7.2 机械零件的失效分析	155

7.2.1 零件失效及失效形式	155	7.8.1 工作条件与失效形式	170
7.2.2 失效分析	156	7.8.2 主要性能要求	170
7.3 常用零件选材的原则方法	156	7.8.3 切削刀具的选材	171
7.3.1 以防止过量变形为主的选材	156	7.8.4 典型刀具	171
7.3.2 以抗磨损性能为主的选材	157	7.9 模具零件的选材及热处理	173
7.3.3 以抗疲劳性能为主的选材	157	7.9.1 冷作模具	173
7.3.4 以综合力学性能为主的选材	158	7.9.2 热作模具	180
7.3.5 选材时应注意的事项	158	7.9.3 塑料模具	181
7.4 轴类零件的选材及热处理	159	7.10 汽车零件的选材及热处理	183
7.4.1 工作条件与失效形式	159	7.10.1 汽车零件的选材概况	183
7.4.2 主要性能要求	159	7.10.2 部分汽车零件的材料与热 处理实例	184
7.4.3 轴类零件的选材与工艺路线 实例	160	7.11 锅炉、压力容器和汽轮机 主要零件的选材	186
7.5 齿轮零件的选材及热处理	163	7.12 航空航天材料简介	187
7.5.1 齿轮的工作条件与失效形式	163	7.12.1 航空航天材料的种类	187
7.5.2 主要性能要求	164	7.12.2 航空航天材料的要求	189
7.5.3 齿轮的选材与热处理	164	7.12.3 航空航天材料的发展展望	189
7.5.4 齿轮选材与工艺路线实例	164	思考题	190
7.6 弹簧零件的选材及热处理	167	第8章 课堂讨论指导	192
7.6.1 工作条件与失效形式	167	课堂讨论一 铁碳合金相图	192
7.6.2 性能要求	167	课堂讨论二 金属热处理	192
7.6.3 选材及其热处理	168	课堂讨论三 工业用钢	193
7.7 其他常见零件的选材及热 处理	169	参考文献	195
7.8 切削刀具的选材及热处理	170		

绪 论

材料作为人类生产和生活的物质基础，历史证实，人们使用的材料品质直接反映当时社会的文明水平。

在几十万年前，人类学会了用火。其后，我们的先人学会并掌握了用火烧制陶器、瓷器的技术，并在 9 世纪开始逐步传至东非和阿拉伯世界、日本、欧洲等地，这对世界文明产生了很大的影响，瓷器已成为中国文化的象征。

青铜与红铜等铜合金的冶炼技术在 5000 年前我们的祖先便已率先掌握了，到商周时代我国的青铜冶炼技术已达到了很高的水平，如重达 875kg 的司母戊鼎，是迄今世界上最古老的大型青铜器。湖北江陵楚墓中出土的两把越王勾践的剑，至今仍是锋利无比，湖北隋县出土的战国编钟等都是我国古代文化艺术高度发达的见证。公元前 8 世纪至公元前 5 世纪的《考工记》中，记载着钟鼎、斧斤等六类青铜器的成分、性能和用途之间关系的“六齐”规律，乃是世界上最早的有关冶金的工艺总结。

春秋时期，我国开始大量使用铁器。兴隆战国铁器遗址中发掘出了浇注农具用的金属型，说明当时冶铸技术已由砂型铸造进入金属型铸造的高级阶段。在西汉后期，我国就发明了炼钢方法——炒钢法，这种方法在英国 18 世纪才获得应用。

作为高分子材料，古代主要用的是天然的丝绸、棉、麻之类。其中丝绸于 11 世纪由我国传到波斯、阿拉伯、埃及，于 1470 年传到意大利，进入欧洲。

在材料的生产和使用方面，直到 17 世纪，我们一直处于领先地位。由于长期的封建统治，劳动人民的生产经验得不到应有的重视，不能及时总结提高，再加上近百年来受到帝国主义的侵略及压迫，科学技术受到极大的抑制，我国的科学技术才日渐处于落后的状态。

进入 21 世纪，现代工业正朝着高速、自动、精密方向迅速发展，机械、国防、航空、化工、原子能、运输、建筑、轻工业等国民经济部门或人们的日常生活用品，都离不开工程材料的使用。

工程材料按经济部门可分为：土建工程材料、机械工程材料、电工材料、电子材料等；按物质结构可分为：金属材料、有机高分子材料、陶瓷材料等；按材料功用可分为：结构材料、功能材料等。

金属材料在世界各国各生产部门应用极其广泛。例如，一台东风型内燃机车重 127t，其中钢占 95.5%，铸铁占 2.0%，非铁金属及合金占 2.5%；一辆载货汽车，其总重量的 71% 为钢，15% 为铸铁，4% 为橡胶，其余为各种有色金属、塑料、玻璃等；一般的机床，其自重的 70% 左右为铸铁，非合金钢占 20%，其余为合金钢及少量的非铁金属及合金、塑料等；造一艘万吨轮，所耗用的钢材就达万吨；建设 1 公里的铁路，就需要钢轨百余吨。所以，一个国家金属材料的产量或耗用量就体现着国民经济的发展水平。现在我国的钢产量已从 1949 年的 17 万 t 增至 2008 年的近 5.85 亿 t。可以肯定地说，在今后相当长的时间内，在机械制造工业中应用最多的仍然是金属材料。

本课程主要以金属材料为主。金属材料品种繁多，工程上常用的金属材料有钢铁材料、

非铁金属及合金、粉末冶金材料等。目前随着高分子合成材料以及无机材料的发展,其在机械、国防、航空、化工、原子能等工业方面的应用也占有重要的地位。

本课程是一门偏重于叙述性的课程,考虑到低年级学生缺乏实际生产经验与感性认识,所以在讲授时辅之以课堂讨论(见第8章),并配有实验和作业。

在后继课程(工程材料成形基础、机械设计等)和生产实习、课程设计、毕业设计等教学环节中,还会遇到和用到材料方面的知识,希望通过这些教学过程进一步巩固对材料方面知识的掌握。

本课程是研究金属学基础知识、常用工程材料、热处理工艺等的一门综合性技术基础课。其主要任务是阐述常用工程材料的成分、组织结构、处理与材料性能以及材料应用之间的关系及其变化规律;改善和提高材料性能的各种热处理方法,工程中常用的非金属材料等方面的基础知识。本课程从选用材料的角度出发,主要介绍各种材料的力学性能等。材料的性能与其化学成分和内部组织结构密切相关,在化学成分一定的情况下,其内部组织又取决于不同的工艺方法。所以,本课程的目的是培养学生掌握有关工程材料的基本理论知识,了解和掌握工程材料的成分、结构、热处理和性能之间的基本规律,从而具有根据各种不同零件的使用要求,合理地选用材料的初步能力,为后继课程——生产实习、课程设计、毕业设计打下坚实的基础。因此,基本要求如下:

(1) 基本理论方面 了解金属及合金的组织结构对金属材料性能的影响;了解再结晶的基本原理;了解强化金属材料的基本途径;具有分析和应用 $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 相图和奥氏体等温转变图(C曲线)的初步能力,熟悉金属热处理原理的基本概念。

(2) 热处理工艺方面 掌握热处理在机械零件加工工艺流程中的位置和作用的基本知识。

(3) 金属材料方面 熟悉常用金属的牌号、成分、组织、性能及用途。

(4) 非金属材料方面 熟悉常用工程塑料的种类、结构特点、性能和应用;了解陶瓷、橡胶、复合材料等特点及应用。

(5) 工程技术方面 了解金属材料的力学性能和物理概念在工程技术上的意义。

(6) 选材方面 要求掌握机械零件的失效类型和选材的基本原理和方法。

第 1 章 工程材料性能

教学基本要求

1. 熟悉掌握拉伸试验及其获得的力学性能指标。
2. 能运用常见的强度、塑性指标作为选择材料的判据。
3. 熟练掌握常用硬度指标的应用场合。
4. 了解动载条件的材料性能指标，如韧性、疲劳强度等的概念。
5. 了解其他物理、化学和各种工艺性能。

要正确地选择和使用工程材料，必须首先要了解材料性能。材料的性能主要包括使用性能和工艺性能。使用性能是指材料的力学性能、物理性能和化学性能。力学性能是选材的主要依据，同时兼顾物理和化学性能。工艺性能是指材料在加工过程中所反映出来的适应性能。

材料的力学性能是材料在承受各种载荷时的行为。按照状态载荷可分为：静载荷与动载荷。其中静载荷是指试验时对试样缓慢加载。常用的拉伸试验和硬度试验属于静载荷。

1.1 静载时材料的力学性能

1.1.1 强度与塑性

GB/T 228—2002《金属材料 室温拉伸试验方法》规定了金属材料的强度和塑性拉伸试验方法的测定方法与要求。

试验过程为：准备试样（见图 1-1），在拉伸试验机上加载，试样在载荷作用下发生弹性变形、塑性变形直至最后断裂。在拉伸中，试验机自动记录每一瞬间的载荷和伸长量之间的关系，并绘出拉伸曲线图（纵坐标为载荷，横坐标为伸长量）或应力 - 应变曲线图（见

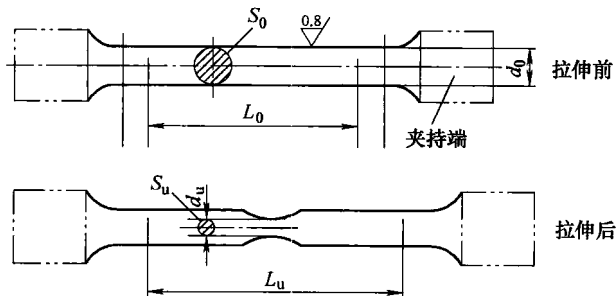


图 1-1 拉伸试样图

图 1-2)。由计算机控制的具有数据采集系统的试验机可直接获得强度和塑性的试验数据。

图 1-2 所示为退火低碳钢单向静载拉伸应力 - 应变曲线。其中 $abcd$ 段为屈服变形阶段, dB 为均匀塑性变形阶段, B 为试样屈服后所能承受的最大受力 (R_m) 点, Bk 是颈缩阶段。曲线图可直接反映出材料的强度与塑性的性能高低。

1. 强度

强度是材料抵抗塑性变形和破坏的能力。

按外力的作用方式不同, 可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。当承受拉力时, 强度特性指标主要是屈服强度和抗拉强度。

(1) 屈服强度 屈服强度是指当金属材料呈现屈服现象时, 在试验期间达到塑性变形发生而力不增加的应力点。应区分上屈服强度和下屈服强度。

测定上屈服强度用的力是试验时在拉伸曲线图上读取的曲线首次下降前的最大力。测定下屈服强度用的力是试样屈服时, 不计初始瞬时效应时的最小力 (见图 1-2)。

上屈服强度和下屈服强度都是用载荷 (力) 除以试样原始横截面积 (S_0) 得到的应力值表示, 其符号分别为 R_{eH} 和 R_{eL} (见图 1-2)。

有些金属材料的拉伸曲线上没有明显的屈服现象, 如高碳钢和脆性材料等, 可采用规定非比例延伸强度 R_p , 如常规定非比例延伸率为 0.2% 时对应的应力值作为规定非比例延伸强度, 用符号 $R_{p0.2}$ 表示。

(2) 抗拉强度 抗拉强度是指试样被拉断前的最大承载能力 (F_m) 除以试样原始横截面积 (S_0) 得到的应力值, 用符号 R_m 表示 (见图 1-2)。

屈服强度、抗拉强度是在选定金属材料及机械零件强度设计时的重要依据。

2. 塑性

材料在外力作用下, 产生塑性变形而不断裂的性能称为塑性。塑性大小常用断后伸长率 (A) 和断面收缩率 (Z) 表示, 即

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \quad Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——试样拉断后的标距长度 (见图 1-1);

S_u ——试样拉断后的最小横截面积。

A 和 Z 的值越大, 材料的塑性越好。应当说明的是: 仅当试样的标距长度、横截面的形状和面积均相同时, 或当选取的比例试样的比例系数 k 相同时, 断后伸长率的数值才具有可比性。

金属材料应具有一定的塑性才能顺利地承受各种变形加工, 并且有一定塑性的金属零件, 可以提高零件使用的可靠性, 不致出现突然断裂。

目前, 还有许多金属材料的力学性能名词符号是沿用旧标准 GB/T 228—1987 标注的,

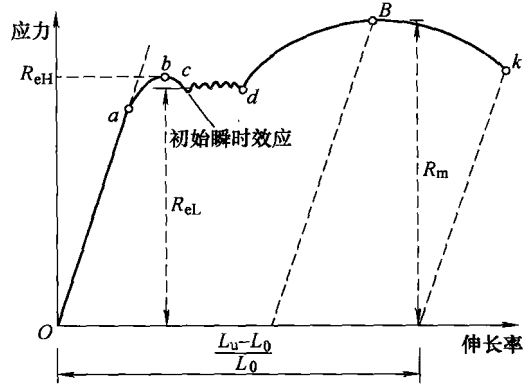


图 1-2 退火低碳钢拉伸曲线图

为方便使用，表 1-1 列出了关于金属材料强度与塑性的新、旧标准名词和符号对照表。

表 1-1 金属材料强度与塑性的新、旧标准名词和符号对照表

新标准（GB/T 228—2002）		旧标准（GB/T 228—1987）	
性能名称	符号	性能名称	符号
断面收缩率	Z	断面收缩率	ψ
断后伸长率	A $A_{11.3}$	断后伸长率	δ_5 δ_{10}
屈服强度	—	屈服强度	σ_s
上屈服强度	R_{eH}	上屈服强度	σ_{sU}
下屈服强度	R_{eL}	下屈服强度	σ_{sL}
规定非比例延伸强度	R_p 例如 $R_{p0.2}$	规定非比例伸长应力	σ_p 例如 $\sigma_{p0.2}$
抗拉强度	R_m	抗拉强度	σ_b

1.1.2 弹性与刚度

在拉伸试验中如果卸载后，试样能即刻恢复原状，这种不产生永久变形的性能，称为弹性。在弹性变形范围内，施加的载荷与其所引起的变形量成正比关系，其比例常数称为弹性模量，用 E 表示。弹性模量 E 是衡量材料产生弹性变形难易的指标， E 越大，材料抵抗弹性变形的应力也越大。在工程中称之为刚度。刚度表达材料弹性变形抗力的大小。

材料的刚度主要取决于结合键和原子间的结合力，材料的成分和组织对它的影响不大。金属键的弹性模量适中，但由于各种金属原子结合力的不同，也会有很大的差别，例如铁（钢）的弹性模量为 210 GPa，是铝（铝合金）的 3 倍。聚合物材料则具有高弹性，但弹性模量较低，在较小的应力作用下就可以发生很大的弹性变形，除去外力后，形变可迅速消失。

1.1.3 硬度

硬度是金属表面抵抗其他硬物压入的能力，或者说是材料对局部塑性变形的抗力。测定硬度的方法很多，常用的有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度测定法等。

1. 布氏硬度

按 GB/T 231—2002 《金属布氏硬度试验方法》的规定，测定布氏硬度的原理如图 1-3 所示，用直径为 D 的硬质合金球作压头，在规定载荷的作用下，压入被测金属表面，按规定的保持时间卸载后，用刻度放大镜检查测试金属表面上形成的压痕直径 d ，用载荷与压痕球形表面面积的比值作为布氏硬度值，用符号 HBW 表示。在实际应用中，布氏硬度不标注单位，也不计算，测出压痕平均直径 d 后，通过查布氏硬度表得出相应的 HBW 值。

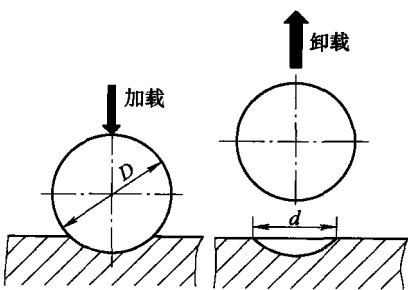


图 1-3 测定布氏硬度的原理

布氏硬度表示方法是硬度数值位于符号前面，符号后面的数值依次是球体直径、载荷大小和载荷保持时间。例如，450HBW5/750/20 表示用直径 5mm 的硬质合金球，在 750kgf 载荷作用下保持 20s，测定的布氏硬度值为 450。

布氏硬度法测试值虽稳定、准确，但测量费时，且压痕较大，测试薄件或成品件不宜，常用于 HBW 值小于 650 的材料，如灰铸铁、非铁合金及退火、正火或调质钢等。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度测定法是以一特定的压头加上一定的压力压入被测材料表面，根据压痕的深度来度量材料的软硬，压痕越深，硬度越低。为了能用同一硬度计测定从极软到极硬材料的硬度，可采用不同的压头和载荷，从而组成了多种不同的洛氏硬度标尺，国家标准规定了 A、B、C、D、E、F、G、H、K 等 15 种标尺。其中 A、B、C，三种标尺应用最广，记作 HRA、HRB、HRC，用于测定不同硬度的材料，其中 HRC 在生产中应用最多。表 1-2 列出了常用三种洛氏硬度标尺的压头、总载荷、硬度值的有效范围及应用举例。

表 1-2 常用三种洛氏硬度标尺的压头、总载荷、硬度值的有效范围及应用举例

硬度符号	压头类型	总载荷/kgf (N)	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥体	60 (588.4)	70 ~ 85	硬质合金、陶瓷、表面淬火钢、渗碳钢等
HRB	φ1.588mm 钢球	100 (980.7)	25 ~ 100	有色金属、退火钢、正火钢等
HRC	120°金刚石圆锥体	150 (1471.1)	20 ~ 67	淬火钢、调质钢等

图 1-4 所示为洛氏硬度测定原理，用施加初载荷 10kgf (98.1N) 的顶角为 120°的金刚石圆锥压头，压入到深度 b ，再加上主载荷，压头压入到深度 c ，保持规定时间后，卸除主载荷，压头回弹至深度 d ，根据残余压痕深度 bd ，在刻度盘上直接读出洛氏硬度值。

国家标准规定洛氏硬度的硬度值标在硬度符号前，如 50 ~ 55HRC，其数值越大，表示材料越硬。

洛氏硬度测定法操作迅速简便，压痕小，对工件表面损伤小，适宜大量生产中的成品件检验。也由于试验的压痕小，易受金属表面不平或材料内部组织不均匀的影响，因此测量结果不如布氏硬度精确，一般需在被测表面的不同部位测量数点，取其算术平均值。

3. 维氏硬度

与布氏硬度测定原理基本相同，维氏硬度也是以单位压痕面积上的力作为硬度值计量。不同的是所用的压头为锥面夹角为 136°的金刚石正四棱锥体，如图 1-5 所示。测出试样表面压痕对角线长度的平均值 d ，即可计算出压痕的面积 S ， F/S 的数值即为维氏硬度值，用 HV 表示。

维氏硬度的标注方法与布氏硬度相同，硬度数值写在符号的前面，试验条件写在符号的后面。如：500HV100/20 表示在试验载荷 100kgf 下保持 20s 测定的维氏硬度值为 500。

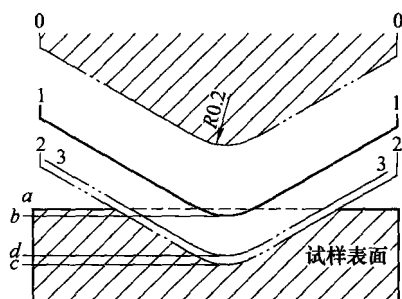


图 1-4 洛氏硬度测定原理

由于维氏硬度用的载荷小,压痕浅,因而特别适宜测软、硬金属及陶瓷等非金属材料,尤其是极薄的零件和渗碳层的硬度。当选用几克力或几十克力的载荷时,维氏硬度可用于测定显微组织的硬度。

此外,还有肖氏硬度,不仅可用于测试大型金属构件,也可用于测试高分子材料;莫氏硬度,用于矿物识别;锉刀硬度,用于确定被测物的硬度范围等。

由于硬度测试方便、迅速,又不必破坏工件,而且材料硬度与抗拉强度之间有一定的内在联系,强度越高,塑性变形抗力越大,硬度值也越高。所以在工程上常根据材料的硬度值用经验公式推算其抗拉强度,如:低碳钢 $R_m \approx 3.53\text{HBW}$; 高碳钢 $R_m \approx 3.33\text{HBW}$; 普通灰铸铁 $R_m \approx 0.98\text{HBW}$ 。但是,反之硬度高不一定强度高。

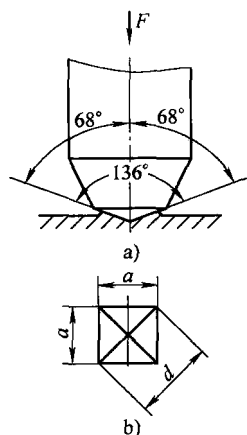


图 1-5 维氏硬度测定原理

1.2 动载时材料的力学性能

许多机械零件是在动载荷下工作的。由于冲击载荷的加载速度快,作用时间短,材料在承受冲击时应力分布与变形很不均匀,更容易使零件或工具受到破坏。所以,材料对动载荷的抗力则不能照搬前述性能指标来衡量。

1.2.1 冲击韧性

冲击韧性是指材料抵抗冲击载荷作用而不被破坏的能力,简称韧性。韧性的常用指标为冲击韧度,用符号 a_k 表示。

冲击韧度通常采用摆锤式冲击试验机测定(见图 1-6)。按 GB/T 229—1994《金属夏比缺口冲击试验法》规定,将带 U 形(或 V 形)缺口的标准冲击试样放在试验机支架上,然后将质量为 m (kg) 的摆锤举至高度 H_1 (m) 自由下落,冲断试样后,摆锤升至高度 H_2 (m),并以试样缺口处单位截面积 S (cm²) 上所吸收的冲击功表示其冲击韧度 a_{KU} (J/

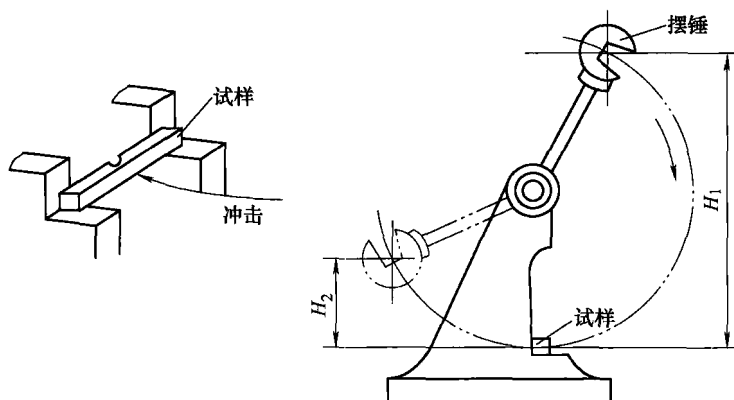


图 1-6 摆锤式冲击试验示意图

cm²), 即

$$a_{KU} = \frac{mgH_1 - mgH_2}{S}$$

冲击韧度的大小与很多因素有关, 不仅受试样形状、表面粗糙度、内部组织的影响, 还与试验时的环境温度有关。

还需指出, 试验研究表明: 在小能量多次冲击载荷作用下, 材料的冲击韧度与强度有关, 强度越高, 材料抗冲击性能越好。

高分子材料其强度较金属低, 其冲击韧度值也比金属小得多。为提高其冲击韧度值, 可采用提高其强度的办法, 如不饱和聚酯树脂用玻璃纤维增强成为玻璃钢; 也可采用提高其断裂伸长率的办法, 如用橡胶与塑料机械共混得到橡胶塑料, 即能使冲击韧度值大幅度提高。

1.2.2 疲劳强度

许多机械零件, 如曲轴、齿轮、连杆、弹簧等是在工作时承受交变动载荷 (称为疲劳载荷) 作用的。实验证实: 承受疲劳载荷的零件发生断裂时, 其应力往往大大低于该材料的下屈服强度, 这种断裂称为疲劳断裂。

在给定应力条件下, 使材料发生疲劳破坏所对应的应力循环周期数 (或循环次数) 称为疲劳寿命。应力与循环周期数的关系如图 1-7 所示。

材料在 N 次对称循环疲劳载荷作用下不致引起断裂的最大应力, 称为材料的疲劳极限或疲劳强度, 用符号 σ_{-1} 表示。在工程中一般规定钢材 N 取 10^7 次, 对于非铁合金和某些超高强度钢, 则 N 常取 10^8 次。

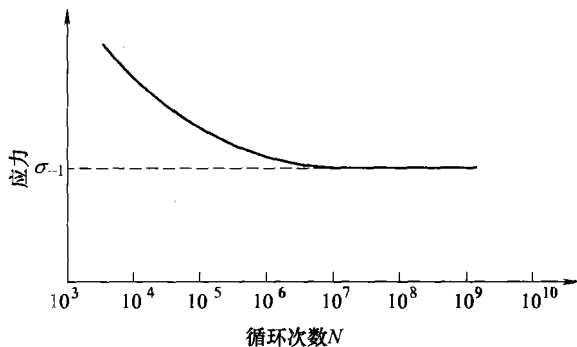


图 1-7 应力与循环周期数的关系

金属材料的疲劳强度较高, 纤维增强复合材料也有较高的抗疲劳性能, 陶瓷、高分子材料的抗疲劳性能很低。循环应力特征、温度、材料成分和组织、夹杂物、表面状态及残余应力等都对材料的疲劳强度有较大的影响。为了提高金属零件的疲劳强度, 除应改善其结构形状、减少应力集中外, 还可采取表面强化的方法, 如提高零件的表面质量、喷丸处理、表面热处理等。同时, 应控制材料的内部质量, 避免气孔、夹杂等缺陷。

1.3 工程材料的物理、化学及工艺性能

1.3.1 物理性能

密度、熔点以及电、磁、光、热性能等都是材料的物理性能。由于机器零件的用途不同, 对其物理性能的要求也不同。例如, 飞机零件常选用密度小的铝、镁、钛合金及复合材料来制造; 金属的导电性、导热性好, 设计电机、电器零件时, 常要考虑采用金属材料; 陶

瓷是良绝缘体，耐高温性能好；高分子材料密度小，导热性差，耐热性差，通常也是绝缘体。绝缘体、耐高温零件可采用陶瓷制造等。

材料的物理性能对加工工艺也有一定的影响。如耐热合金钢的导热性较差，锻造时应采用较缓慢的加热速度升温，否则易产生裂纹；又如锡基轴承合金、铸铁和铸钢的熔点不同，所选的熔炼设备、铸型材料等均应有所不同。

1.3.2 化学性能

材料的化学性能主要是指在常温或高温时，抵抗各种介质侵蚀的能力，如耐酸性、耐碱性、抗氧化性等。

对于在腐蚀介质中或在高温下工作的构件，应选用化学稳定性高的材料，如化工设备、医疗器械等常采用高分子材料、不锈钢来制造，而内燃机排气阀和电站设备的一些零件则常选用耐热钢来制造，宇航工业上常采用高温合金、复合材料等。

1.3.3 工艺性能

材料的工艺性能是指材料适应某种加工的能力。按工艺方法不同，可分为液态成形工艺性、塑性成形工艺性、焊接性能、热处理工艺性和可加工性等。

思考题

1. 以低碳钢拉伸应力-应变曲线为例，在曲线上指出材料的强度、塑性指标。
2. 哪些因素影响材料的强度？分析材料比强度（强度/密度）对结构设计有何实际意义。
3. 一个紧固螺栓使用后出现塑性变形（伸长），试分析材料有哪些性能指标没有达到要求？
4. 布氏硬度测定法和洛氏硬度测定法各有什么优缺点？库存钢材、铸铁轴承座毛坯、硬质合金刀头、台虎钳钳口各应采用哪种硬度测定法来检验其硬度？
5. 什么是疲劳强度？如何防止零件产生疲劳破坏？
6. 甲、乙、丙、丁四种材料的硬度分别为 45HRC、75HRA、70HRB、300HBW，试比较这四种材料硬度的高低。
7. 将钟表发条拉直是弹性变形还是塑性变形？怎样判断它的变形性质？

第2章 金属与合金的晶体结构和二元合金相图

教学基本要求

1. 弄清晶体结构，熟悉典型金属的晶体结构特点及表示方法。
2. 掌握常见晶体缺陷特征及其几何特征对性能的影响。
3. 理解相结构概念，熟记相的类型与主要性能特点。
4. 熟悉杠杆定律的适用条件，熟练应用杠杆定律计算室温下组织组分的质量分数。
5. 熟练地默画铁碳合金相图及其中的基本相的特性点、线、组织要素。
6. 能根据组织变化规律对铁碳合金在室温下力学性能的变化进行分析。

自然界中的化学元素分为金属和非金属两大类。按固体物质的原子聚集状态来分，又可分为晶体与非晶体。固态金属基本上都是晶体物质，如钢铁、铜、铝等。金属材料的性能既取决于材料的化学成分及其内部的组织结构，又取决于制备工艺和成形条件。因此，金属的成分、晶体结构、结晶过程及其组织特点是零件设计时合理选材的根本依据。

2.1 金属的晶体结构

2.1.1 晶体的概念

晶体是指其原子（原子团或离子）按一定的几何形状作有规律的重复排列的物体。图2-1a所示为最简单的晶体原子排列模型。

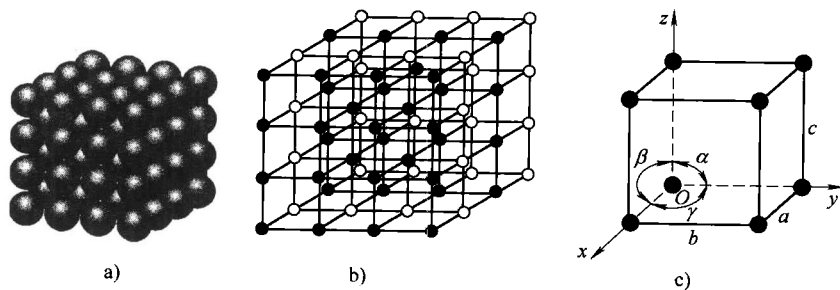


图 2-1 最简单的晶体原子排列模型

a) 原子排列模型 b) 晶格 c) 晶胞

非晶体的原子是无规律、无秩序地堆聚在一块的。

金属的晶体结构指的是金属材料内部的原子（离子或分子）排列的规律。晶体里的原子（离子或分子）都在它的平衡位置上不停地振动着，为研究方便则假定它们是刚性的小球，因此各种晶体结构可以看成是这些小球按一定的几何方式紧密排列堆积而成的。