

高 职 高 专 机 电 类 规 划 教 材

工程材料基础

王宏启 宋人楷 主编



科学出版社

www.sciencep.com

高职高专机电类规划教材

工程材料基础

王宏启 宋人楷 主 编
于 钧 赵洪成 副主编
明 哲

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书重点介绍了各种工程材料的成分、组织结构、性能特点及应用范围,以及各种材料的冷、热加工工艺及热处理工艺的工艺过程。全书共分上、下两篇。上篇为工程材料基础知识,介绍了材料的性能、金属的结构与结晶、金属的塑性变形和再结晶、铁碳合金相图、钢的热处理等内容;下篇为常用工程材料,介绍了铸铁、钢的分类、结构钢、工具钢、特殊性能钢、有色金属及其合金、高分子材料、陶瓷材料、复合材料等内容。

本书的编写以“理论够用、侧重实践”为原则,具有较强的实用性,可作为高等职业院校机械工程类、材料工程类、动力工程类及其他相关专业的教学用书,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料基础/王宏启,宋人楷主编. —北京:科学出版社,2006

(高职高专机电类规划教材)

ISBN 7-03-015398-7

I. 工… II. ①王… ②宋… III. 工程材料—高等学校:技术学校—教材 IV. TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第069094号

责任编辑:何舒民/责任校对:耿耘

责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年8月第一版 开本:787×1092 1/16

2006年8月第一次印刷 印张:12 1/2

印数:1—3 000 字数:300 000

定价:20.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026 (VT03)

前 言

随着科学技术的快速发展,工程材料已逐渐从简单、单一向复合型转变,大量的新型材料广泛地用于机械制造、工程结构等领域。对工程材料,特别是新材料的掌握已成为机械工程类、材料工程类、动力工程类及其他相关专业必备的专业知识之一。根据高等职业教育培养目标的要求,本书在介绍传统的工程材料基础上,尽可能地多介绍一些新技术、新工艺、新材料,以适应生产实际与工作岗位的需要。

本书针对高职高专层次的机械工程类、材料工程类、动力工程类及其他相关专业教学的需要,本着加强基础、突出实践、侧重应用、适应面宽的原则,从基础理论入手,介绍了工程类学生必须掌握的工程材料成分、组织结构、性能特点及应用范围,并突出介绍了各种材料的冷、热加工及热处理工艺的工艺过程,具有较强的实用性。

全书共分上、下两篇。上篇为工程材料基础知识,共五章,分别介绍了材料的性能、金属的结构与结晶、金属的塑性变形和再结晶、铁碳合金相图、钢的热处理等。下篇为常用工程材料,共九章,分别介绍了铸铁、钢的分类、结构钢、工具钢、特殊性能钢、有色金属及其合金、高分子材料、陶瓷材料、复合材料等。每章后均附有相应的习题和思考题,供学生课后练习与复习使用。

本书是在广泛地征求企业技术人员建议和吸收国内外先进技术的基础上编写的,在编写过程中突出了高等职业教育的适用性,并具有较强的科学性和前沿性,所用材料标准均采用最新国家标准。通过本书的学习,学生可以在掌握工程材料基础理论和基础知识的基础上,了解常用工程材料的特性、应用及具体加工工艺。

本书由吉林电子信息职业技术学院王宏启、吉林农业科技学院宋人楷主编,吉林电子信息职业技术学院于钧、赵洪成和吉林农业科技学院明哲副主编。参加本书编写的还有吉林电子信息职业技术学院韩佩津、田春德。吉林化工学院黄殿祺教授主审本书。

本书部分内容参考书末所列的参考文献,在此向其作者表示感谢,并向所有支持本书编写的各界同仁致以谢意。

真诚欢迎广大读者对本书的不足之处提出宝贵意见和建议。

目 录

上篇 工程材料基础知识

第 1 章 材料的性能	1
1.1 材料的物理性能	1
1.2 材料的化学性能	3
1.3 材料的力学性能	4
1.4 材料的工艺性能	11
习题与思考题	13
第 2 章 材料的结构与结晶	14
2.1 金属的原子结构	14
2.2 金属的晶体结构	15
2.3 金属结晶现象	19
2.4 纯金属的结晶过程	21
2.5 晶粒大小的控制	22
2.6 金属铸锭结构和缺陷	24
2.7 材料的同素异构与同分异构	25
习题与思考题	27
第 3 章 金属的塑性变形和再结晶	28
3.1 单晶体塑性变形	28
3.2 多晶体塑性变形	30
3.3 金属的再结晶	34
3.4 金属的热塑性变形	37
习题与思考题	39
第 4 章 铁碳合金相图	41
4.1 合金相结构	41
4.2 二元合金相图	43
4.3 铁碳合金相图	50
4.4 铁碳合金相图的应用	56
习题与思考题	58
第 5 章 钢的热处理	59
5.1 热处理概述	59
5.2 钢在加热时的转变	60
5.3 钢在冷却时的转变	63

5.4 钢的退火和正火	69
5.5 钢的淬火	72
5.6 钢的回火	76
5.7 钢的冷处理和时效处理	78
5.8 钢的表面热处理	80
5.9 钢的形变热处理	83
习题与思考题	85

下篇 常用工程材料

第 6 章 铸铁	86
6.1 概述	86
6.2 普通灰铸铁	88
6.3 球墨铸铁	92
6.4 可锻铸铁及蠕墨铸铁	96
6.5 合金铸铁	100
习题与思考题	102
第 7 章 钢的分类	103
7.1 钢的分类	103
7.2 钢的牌号表示方法	104
7.3 钢中的杂质及合金元素的作用	105
习题与思考题	109
第 8 章 结构钢	110
8.1 碳素结构钢	110
8.2 低合金结构钢	112
8.3 机械制造结构钢	115
习题与思考题	128
第 9 章 工具钢	129
9.1 碳素工具钢	129
9.2 合金工具钢	130
9.3 高速工具钢	134
习题与思考题	136
第 10 章 特殊性能钢	137
10.1 不锈钢	137
10.2 耐热钢	140
10.3 耐磨钢	143
习题与思考题	144
第 11 章 有色金属及其合金	145
11.1 铝及铝合金	145
11.2 铜及铜合金	153

11.3 其他有色金属及其合金	158
11.4 轴承合金	163
习题与思考题	166
第 12 章 高分子材料	167
12.1 高分子材料概述	167
12.2 高分子材料的性能特点	168
12.3 常用高分子材料	170
习题与思考题	174
第 13 章 陶瓷材料	175
13.1 陶瓷材料概述	175
13.2 常用陶瓷材料	177
习题与思考题	179
第 14 章 复合材料	180
14.1 复合材料概述	180
14.2 常用复合材料	182
习题与思考题	189
参考文献	190

上篇 工程材料基础知识

第 1 章 材料的性能

为了正确地选用材料，应充分了解材料的性能。材料的性能包括使用性能和工艺性能。材料的使用性能是指材料为保证机械零件或工具正常工作应具备的性能，它反映了材料在使用过程中所表现出的特征，包括物理性能、化学性能及力学性能等。使用性能决定材料的应用范围、安全可靠性和使用寿命，优良的使用性能可满足生活和生产的各种需要。材料的工艺性能是指材料在制造机械零件或工具的过程中适应各种冷、热加工的性能，它反映材料在加工制造中所表现出来的特征，包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、热处理性能以及切削加工性能等。优良的工艺性能则可使材料易于采用多种加工方法制成各种形状、尺寸的零件和工具。材料还可以通过不同的成分配置、不同加工方法和热处理来改变其组织和性能，从而进一步扩大其使用范围。全面地了解和掌握材料的各种性能，对正确的检验、验收和科学合理地选用材料十分必要。

1.1 材料的物理性能

物理性能是指不发生化学变化就能表现出来的一些特征，主要包括密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性和磁性等。

1.1.1 密度

单位体积材料的质量称为密度。不同的材料其密度不同，如铁为 7.87 g/cm^3 ，陶瓷为 $2.2 \sim 2.5 \text{ g/cm}^3$ 。因此，密度是合理选择材料时必须考虑的主要因素之一。

金属材料按其密度大小，可分为轻金属材料（密度 $\leq 4.5 \text{ g/cm}^3$ ）和重金属材料（密度 $> 4.5 \text{ g/cm}^3$ ）。

当有两种强度相似的金属材料供选择时，密度小的材料就可制出同质量而体积小、同体积而质量轻的零构件，这对于航空工业尤为重要。在实际工作中，还常常根据金属的密度来估计材料的质量和鉴别金属等。常用金属和合金的密度见表 1.1。

1.1.2 熔点

在常压下，对材料缓慢加热，使之由固态变为液态时的温度称该材料的熔点。通常情况下，材料的熔点越高，高温性能越好。纯金属的熔点是固定的，即它在恒温下完成

熔化过程。大多数合金则是在一个温度范围内完成熔化过程的。陶瓷材料的熔点一般都显著高于金属及合金的熔点。

表 1.1 常用金属和合金的密度

材料名称	密度/ (g/cm ³)	材料名称	密度/ (g/cm ³)
铂	21.37	锡	7.30
金	19.32	锌	7.14
汞	13.6	铝	2.70
铅	11.34	镁	1.74
银	10.53	碳素钢	7.81 ~ 7.85
铜	8.93	黄铜	8.5 ~ 8.85
镍	8.90	铝合金	2.52 ~ 2.87
铁	7.87	钛	4.5

熔点是铸造、焊接、配制合金等工艺必须考虑的重要参数。金属材料熔点的高低不同，用途也不同，例如，高熔点材料，用来制造要求耐高温的零件，如高速切削刀具、灯丝、加热器等；低熔点金属常用于熔断器、防火安全阀等。主要金属的熔点见表 1.2。

表 1.2 主要金属的熔点

金属名称	熔点/℃	金属名称	熔点/℃
钨	3 410	铜	1 083
钼	2 617	金	1 063
铬	1 765	银	960.5
钒	1 890	铝	660
钛	1 677	镁	648.8
铁	1 535	锌	419.4
镍	1 453	铅	327.4
钴	1 444	锡	231.9
钢	1 300 ~ 1 400	汞	- 38.87
锰	1 242		

1.1.3 导电性

材料传导电流的能力称为导电性。衡量金属材料导电性的指标是电导率 γ 和电阻率 ρ (又称电阻系数)，二者的关系为

$$\gamma = 1/\rho$$

式中， γ 的单位为 S/m (西门子/米)； ρ 的单位为 $\Omega \cdot m$ (欧姆·米)。

显然，电阻率越小，电导率越大，金属的导电性越好。常用金属在 20℃ 时的电阻系数见表 1.3。由此可见，银的导电性最好，但因它是贵金属，因此工业中常用导电性次之的铜或铝来制作导体。工业炉中的加热元件则选用电阻系数高的铁镍铬的合金来制作。

表 1.3 常用金属的电阻系数

金属名称	电阻系数 $\rho / (\Omega \cdot \text{cm})$	金属名称	电阻系数 $\rho / (\Omega \cdot \text{cm})$
银	$1.58 \times 10^{-8} \times 10^{-8}$	钨	5.30
铜	1.682×10^{-8}	镍	6.84×10^{-8}
金	2.21×10^{-8}	铁	9.7×10^{-8}
铝	2.655×10^{-8}	铬	12.9×10^{-8}

1.1.4 导热性

材料传导热量的能力称为导热性。材料越纯，导热性越好，内外温差小，有利于热加工。导热性差，内外温差大，相应的内应力就大，加热和冷却时易产生变形和裂纹。所以，对金属材料进行锻造、焊接、热处理等加工时，其导热性是必须考虑的重要性能之一。导热性好的材料常用来制造热交换器等传热设备的零部件。

1.1.5 热膨胀性

材料随着温度升高而产生体积膨胀的性能称为热膨胀性。通常采用线膨胀系数 (α) 来表示材料的热膨胀性，即指材料随着温度每升高 1°C 所引起的线度增长量与 0°C 时的线度之比值，单位为 $^\circ\text{C}^{-1}$ ，该系数对工业选材意义重大，如生产精密仪器仪表、量具等，所选材料的 α 值均为越小越好，以保证精度。

1.1.6 磁性

材料在磁场中能被磁化或导磁的能力称为磁性。通常磁性也是工业选材的重要依据之一。

磁性材料又分为软磁性材料和硬磁性材料两种。软磁性材料（如电工用纯铁、硅钢片等）容易被磁化，导磁性能良好，但外加磁场去掉后，磁性基本消失。硬磁性材料又叫永磁材料（如铝镍系永磁合金、永磁铁氧体、稀土永磁材料等），在外加磁场去除后，仍然能保持磁性，磁性也不消失。许多金属材料如铁、镍、钴等均具有较高的磁性，而有些金属材料如铜、铝、铅等则无磁性。非金属材料一般无磁性。

1.2 材料的化学性能

材料的化学性能是指材料在常温或高温条件下抵抗氧化和各种腐蚀性介质对其氧化或腐蚀的能力，一般指的是抗氧化性和抗腐蚀性，统称为化学稳定性。

1.2.1 材料的腐蚀

材料受周围介质的化学和电化学作用而引起损坏的现象叫做腐蚀。一般非金属材料抗腐蚀性比金属材料高很多。金属由于腐蚀而造成的经济损失是相当严重的。据统计，全世界每年由于腐蚀而损失的金属设备和材料约占其总产量的 $1/10$ ，有的还造成灾难性的事故。

(1) 化学腐蚀

化学腐蚀是指材料与介质发生化学作用而引起的损坏。发生化学腐蚀会造成产物在

材料表面形成一层薄膜，薄膜脱落，造成材料破坏。例如，金属在干燥空气中的氧化、高温高压下氢对金属材料的腐蚀等。

(2) 电化学腐蚀

电化学腐蚀是指材料与电解质溶液相接触，形成原电池（腐蚀电池），其中电位较低的部分所遭受的腐蚀。例如，在酸、碱、盐溶液和海水中发生的金属腐蚀；奥氏体不锈钢经 400~850℃ 加热后的晶间腐蚀等，都是电化学腐蚀。金属材料的腐蚀，主要属于电化学腐蚀。

1.2.2 化学稳定性

(1) 抗腐蚀性

抗腐蚀性是指材料抵抗各种腐蚀介质腐蚀的能力。金属的电极电位越低，金属活性越大就越容易腐蚀。非金属材料一般比金属材料的抗腐蚀性好。同种金属或合金，表面也常有电化学不均匀的现象，如化学成分不均匀、组织差异及内应力差别等，这些现象均可产生电位不等，构成原电池而引起腐蚀。

提高金属的抗腐蚀性可从以下三个方面着手：①使金属表面生成坚固、致密的氧化膜，使金属与外界介质隔离；②使合金获得单相组织，减少化学成分不均匀的现象；③提高金属基体的电极电位。

抗腐蚀性直接关系到金属制品的使用价值，尤其对在腐蚀性介质中工作的设备与材料，需要用耐蚀性好的不锈钢制造。

(2) 抗氧化性

抗氧化性是指材料在加热时抵抗氧化的能力。热力学计算表明，大多数金属在室温下就能自发氧化，但在表面形成氧化物层之后，扩散受到阻碍，促使氧化速率降低。金属在高温下氧化作用会加速进行，且氧化物层的性质也与室温下的不同。如铁在高于 570℃ 时，生成三种氧化物，由外及里生成的是 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 和 FeO ， FeO 层厚度最大但结构不致密，保护性差，故碳钢零件一般只能用到 400℃ 左右，对于更高温度下使用的零件，就需用抗氧化钢来制造。同样，钢材在热处理、锻造等热加工作业时，也会发生氧化和脱碳，造成材料的损耗和缺陷，因此在加热时，常在材料的周围制造一种保护气氛，以避免金属的氧化。

1.3 材料的力学性能

材料的力学性能又称机械性能，它是指材料抵抗载荷（即外力）作用的能力。主要包括强度、塑性、硬度、韧性、疲劳强度、耐磨性、断裂韧度等。在机械制造中，除在一些特殊的条件（如高温、高压、腐蚀气氛及要求导电、导磁）下服役外，一般机械零件及工具在设计 and 选材时大多以力学性能指标为主要依据。

1.3.1 强度与塑性

(1) 强度

所谓强度，是指材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力。材料在载荷作用下，一

般会出现相互联系三个过程：弹性变形、塑性变形和断裂。弹性变形是在载荷卸除后发生恢复的变形，而塑性变形是在载荷卸除后发生永久的、不能恢复的变形。对于不同类型的载荷，这三个过程的发生又有所不同。

根据载荷的性质和外力作用方式的不同，强度指标也各不相同。当材料承受拉力时，常用的强度指标是屈服强度和抗拉强度。静拉伸试验是测定强度指标的最常用方法。按 GB6397—86 的规定，标准拉伸试样有圆形截面试样和板状试样两种，常用的是圆形试样，如图 1.1 所示。圆形试样分为长试样 ($l_0 = 10d_0$) 和短试样 ($l_0 = 5d_0$) 两种。

拉伸试验按 GB228—87 规定进行，将低碳钢制成的标准试样装在材料试验机上，缓慢增加拉伸载荷，随时记录载荷与变形量的数值，直至试样断裂为止。所获得的载荷与变形量之间的关系曲线，即拉伸图，如图 1.2 所示。

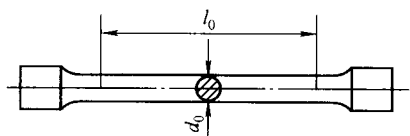


图 1.1 标准拉伸试样

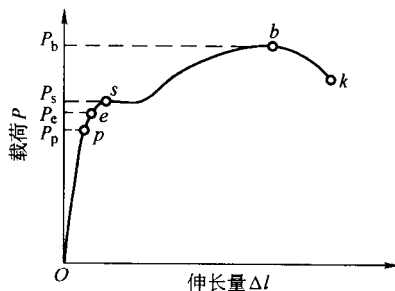


图 1.2 退火低碳钢的拉伸曲线

1) 当 $0 < P \leq P_e$ 时，若卸去载荷，试样立即恢复原状，试样此时的变形属于弹性变形，其中 Op 段拉伸曲线是直线，表示载荷与伸长量成正比关系。

2) 当 $P_e < P < P_s$ 时，若卸去载荷，试样不能恢复原状，发生的是永久的变形，即塑性变形。因此， P_e 是试样产生纯弹性变形所承受的最大载荷。

3) 当 $P = P_s$ 时，拉伸曲线在 s 点出现一个平台，即载荷不增加，试样继续伸长，这种现象称为屈服。

4) 当 $P_s < P < P_b$ 时，试样的伸长量与载荷又呈曲线关系上升，但曲线的斜率比 Op 段的斜率要小，说明载荷的增加量不大，而试样的伸长量却很大。

5) 当 $P = P_b$ 时，试样的局部截面缩小，说明试样的塑性变形集中在局部进行，这种现象称为颈缩。由于试样局部截面的逐步减小，试样所承受的载荷也逐渐降低，当到达拉伸曲线的 k 点时，试样被拉断。

材料在外力作用下，其内部会产生相应的以抵抗变形的内力。通常将单位面积上承受的内力称为应力，即

$$\sigma = \frac{P}{F}$$

式中： σ ——应力，MPa；

P ——载荷，MN；

F ——试样的原始横截面面积， m^2 。

屈服强度是材料开始发生屈服时的应力，用 σ_s 来表示，即

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F}$$

式中： σ_s ——屈服强度，MPa；

P_s ——试验屈服时的载荷，MN；

F ——试样的原始横截面面积， m^2 。

有些材料的拉伸曲线中没有明显的屈服现象。工程上规定试样产生0.2%残余伸长量的应力值为该材料的条件屈服强度，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

抗拉强度是试样被拉断前所能承受最大载荷时的应力，即

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F}$$

式中： σ_b ——抗拉强度，MPa；

P_b ——试样在断裂前的最大载荷，MN；

F ——试样的原始横截面面积， m^2 。

抗拉强度是零件设计的主要依据之一。表 1.4 列出了几种常用工程材料的抗拉强度。

表 1.4 几种常用工程材料的抗拉强度

材 料	抗拉强度/MPa	材 料	抗拉强度/MPa
铝合金	100 ~ 600	马氏体不锈钢	450 ~ 1 300
铜合金	200 ~ 1 300	聚乙烯	8 ~ 16
灰铸铁	150 ~ 400	尼龙 6	70 ~ 90
中碳钢	350 ~ 500	聚氯乙烯	52 ~ 58
铁素体不锈钢	500 ~ 600	聚苯乙烯	35 ~ 60

屈服强度与抗拉强度的比值 σ_b/σ_s 称为屈强比。屈强比越小，工程构件的可靠性越高，说明即使外载荷或某些意外因素使材料变形，也不至于立即断裂。但若屈强比过小，则材料的有效利用率太低。

(2) 塑性

塑性是指材料在外力作用下产生永久变形而不破裂的能力。常用的塑性指标有伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 两种。

1) 伸长率。伸长率用试样拉断后的相对伸长量来表示，即

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中： δ ——伸长率，%；

l_1 ——试样拉断后标距长度，mm；

l_0 ——试样原始长度，mm。

伸长率与试样的标距长度有关，对于短、长标准试样的伸长率分别以 δ_5 和 δ_{10} 表示。对于同一材料而言， δ_5 要大于 δ_{10} 。试样在拉断时的伸长量越大， δ 值就越高，材

料的塑性越好。

2) 断面收缩率。断面收缩率是指试样拉断后横截面积的相对收缩量，即

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中： ψ ——断面收缩率，%；

F_0 ——试样的原始横截面面积， mm^2 ；

F_1 ——试样拉断后的横截面面积， mm^2 。

断面收缩率与试样尺寸无关， ψ 值越大，材料的塑性越好。它比伸长率更能反映材料塑性的好坏。

1.3.2 硬度

硬度是指材料表面抵抗局部塑性变形的能力，是反映材料软硬程度的力学性能指标。硬度值的物理意义与测试方法有关。测定材料硬度的方法有多种，普遍应用的是压入法。工程上常用的有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度和莫氏硬度等实验方法。

(1) 布氏硬度

布氏硬度的试验原理是用一定直径（ D ）的淬硬钢球或硬质合金球，在规定载荷（ P ）的作用下，将钢球（或硬质合金球）压入试样表面并保持一定时间后卸除载荷，如图 1.3 所示，以单位压痕面积上所承受的载荷作为布氏硬度值，用 HBS（淬硬钢球压头）或 HBW（硬质合金球压头）表示，即

$$\text{HBS(HBW)} = P/F = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中：HBS（HBW）——布氏硬度值， kN/mm^2 或 $\text{kgf}^{\text{①}}$ ；

P ——施加的载荷， kN 或 kgf ；

F ——试样表面的压痕面积， mm^2 ；

D ——压头（球）直径， mm ；

d ——压痕直径， mm 。

试验时需测出表面压痕直径 d ，通过计算或查表得出硬度值。布氏硬度习惯上不标注单位。

用布氏法测定材料硬度时，硬度小于 450HBS 的材料宜选用淬硬钢球压头；硬度小于 650HBW 的材料宜选用硬质合金球压头。

布氏硬度的优点是准确度高；缺点是压痕较大，不适合成品检验。

(2) 洛氏硬度

洛氏硬度试验原理是在规定载荷（ P ）作用下，将金刚石圆锥体或淬硬钢球压头压入试样表面，然后根据压痕深度（ h ）来确定其硬度值，如图 1.4 所示。

在试验时，分两次加载，先加初载荷 9.8 N，压痕深度为 h_1 ，然后再加主载荷，压痕深度为 h_2 ，待总载荷稳定后，卸去主载荷，保留初载荷，由于材料弹性变形的恢复，

^① 1 $\text{kgf} = 9.806\ 65\ \text{N}$ ，下同。

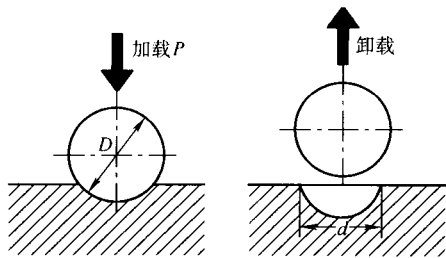


图 1.3 布氏硬度试验原理图

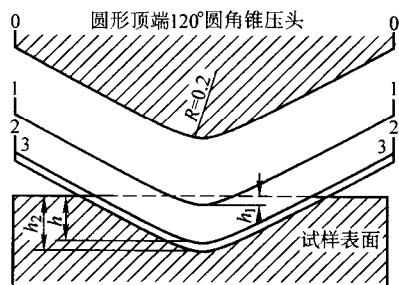


图 1.4 洛氏硬度试验原理图

实际压痕深为 h ，由压痕深度 h 确定硬度值，压痕越深，则硬度值越小。为了照顾习惯上数值越大、硬度越高的概念，因而采用一常数减去压痕深度后的数值表示洛氏硬度。按 GB230—91 的规定，压头每压入 0.002 mm 深度作为一个硬度单位，这样，洛氏硬度计算公式为

$$HR = C - h/0.002$$

式中： C ——常数（当用金刚石圆锥体压头时， $C = 100$ ；当用 $\phi = 1.588$ mm 淬硬钢球作压头时， $C = 130$ ）。

当洛氏硬度试验采用不同的压头和载荷时，可以测试从软到硬的各种材料。最常用的三种洛氏硬度列于表 1.5 中，其中 HRC 应用得最多。洛氏硬度值无单位，硬度值可在读数表盘上直接读出。

表 1.5 常用洛氏硬度符号、试验条件和应用举例

硬度符号	压头类型	总载荷/N (kgf)	有效硬度值范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥体	588 (60)	70 ~ 85	硬质合金、表面淬火层或渗碳层
HRB	1.588 mm 淬火钢球	980 (100)	25 ~ 100	非铁合金、退火钢
HRC	120°金刚石圆锥体	1 470 (150)	20 ~ 67	淬火钢、调质钢

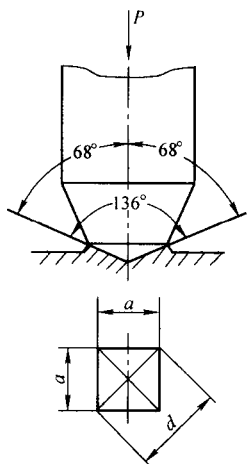


图 1.5 维氏硬度试验原理图

洛氏硬度试验的优点是操作迅速简便，压痕小，应用广泛；缺点是准确度较差，不宜测试组织不均匀的组织。

(3) 维氏硬度

维氏硬度的试验原理与布氏基本相同（图 1.5），不同点是用一个相对夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体压入试样表面。维氏硬度也是以单位压痕面积所承受的载荷作为硬度值，按 GB4340—84 规定，其计算公式为

$$HV = \frac{P}{F} = 1.8544 \frac{P}{d^2}$$

式中： P ——载荷，N 或 kgf；

F ——压痕面积， mm^2 ；

d ——压痕两对角线长度平均值，mm。

维氏硬度试验法所加负载小，压痕小，测量的精度比布氏硬度高，适用于测定经表面处理及薄件的材料硬度。

(4) 莫氏硬度

莫氏硬度是一种划痕硬度，用于陶瓷和矿物的硬度测定。它的标尺是选定从软到硬十种不同的矿物，分为十级。后来发现高硬度范围中相邻几级标准物质的硬度相差太大，因而增分为十五级，称为李德日维耶硬度（表 1.6）。

表 1.6 莫氏硬度及李德日维耶硬度分级表

材料名称	莫氏硬度分级	李德日维耶硬度分级	材料名称	莫氏硬度分级	李德日维耶硬度分级
滑石	1	1	结晶石英	7	8
岩盐	2	2	黄玉	8	9
方解石	3	3	花岗石		10
萤石	4	4	刚玉	9	12
磷灰石	5	5	碳化硅		13
钠长石	6	6	碳化硼		14
熔炼石英		7	金刚石	10	15

1.3.3 冲击韧性

材料在使用过程中，除要求足够的强度和塑性外，还要求有足够的韧性。冲击韧性，就是指材料抵抗冲击载荷而不破坏的能力。韧性好的材料在断裂过程中能吸收较多能量，不易发生突然的脆性断裂，从而具有较高的安全性。

目前，测量冲击韧度最普遍的方法是一次摆锤弯曲冲击试验。按 GB229—84 规定，将材料制成带缺口的试样，如图 1.6 所示，将试样放在材料试验机的机座上，让一重量 G 的摆锤自高度 H 自由下摆。摆锤冲断试样后又升至 h ，如图 1.7 所示。摆锤冲断试样所失去的能量即为试样在被冲断过程中吸收的功，称为冲击吸收功，用 A_k 表示。用缺口处单位面积上所消耗的冲击吸收功大小来衡量材料的冲击韧度。

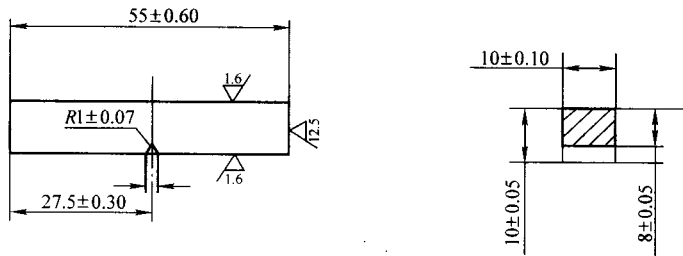


图 1.6 冲击试样 (U 形缺口)

$$\alpha_k = \frac{A_k}{F} = \frac{G(H-h)}{F}$$

式中： α_k ——冲击韧度， J/cm^2 ；

F ——试样缺口处的横截面面积， cm^2 ；

A_k ——冲击吸收功， J ；

G ——摆锤重力， kgf ；

H ——摆锤初始高度，m；

h ——摆锤冲断试样后上升的高度，m。

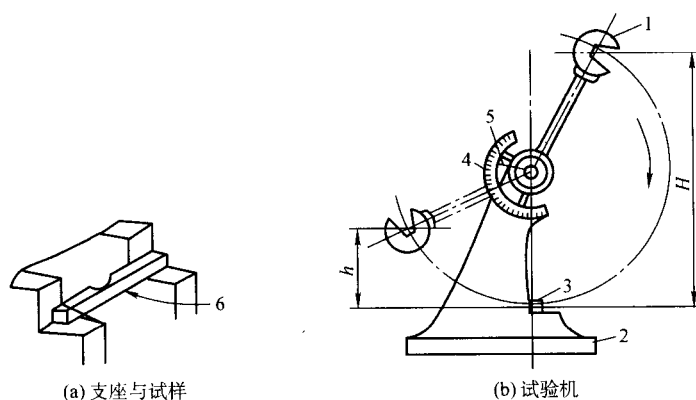


图 1.7 摆锤式冲击试验原理图

1. 摆锤；2. 机架；3. 试样；4. 表盘；5. 指针；6. 冲击方向

这种试验方法的冲击速度较大，试样又开有缺口，能灵敏地反映材料脆性断裂的趋势，因而能较灵敏地反映金属材料在冶金和热处理等方面的质量问题，是鉴定材料质量和设计选材时不可缺少的性能依据之一。

1.3.4 材料的疲劳强度

许多机械结构件，如连杆、齿轮等，经常要承受交变载荷。材料在交变应力的作用下，即使所受应力低于屈服强度也会发生断裂，这种现象称为疲劳断裂。疲劳强度是指材料经受无数次的应力循环仍然不断裂的最大应力，用来表示材料抵抗疲劳断裂的能力，用符号 σ_r 表示，对于对称的应力循环，用 σ_{-1} 表示。一般钢铁材料的循环基数为 10^7 次，非铁金属和高强度钢的循环基数为 10^8 。

为提高机械零件的疲劳强度，第一，在设计上要避免缺口、尖角和截面突变，以防应力集中而引起疲劳裂纹；第二，对材料采取细化晶粒和减少缺陷的措施；第三，机械加工要求降低表面粗糙度，减少表面的刀痕、碰伤和划痕等；第四，可通过化学热处理、表面淬火等表面强化途径，使机械零件表面产生压应力，削弱表面拉应力。

1.3.5 材料的高温力学性能

在高压蒸汽机锅炉、汽轮机、化工炼油设备及航空发动机中，很多机件长期在高温条件下工作。对于这些机件所用材料，如果仅测定它们在室温下的性能是不够的。一般来说，随着温度的升高，材料的屈服强度、硬度等会降低，而塑性会提高；在高温下长时间受载，其塑性会显著降低，往往呈现脆性断裂。

材料的高温力学性能常用蠕变极限和持久强度来衡量。蠕变极限是指材料在一定温度下和规定的持续时间内产生一定蠕变变形量所对应的应力值。持久强度是指材料在一定的温度和规定的持续时间内引起断裂的应力值。