



普通高等教育“十二五”规划教材

机械工程材料

主 编 陈永楠
副主编 徐义库 姜超平



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

机械工程材料

主 编 陈永楠

副主编 徐义库 姜超平

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是结合目前教学改革基本指导思想和原则编写的,内容精炼、应用性强,同时强调先进性、创新性。本书系统地介绍了机械工程材料的基本知识,主要包括材料的性能,材料结构,材料的凝固与结晶,金属的塑性变形与再结晶,铁碳合金,钢的热处理,合金钢,铸铁,有色金属及其合金,高分子材料,陶瓷材料,复合材料。为方便教学和学生复习,各章附有习题与思考题。

本书可作为普通高等学校机械类及近机械类专业学生教材,也适合高职高专及其他教育层次机电类专业作为教材使用,同时也可作为相关行业专业技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料/陈永楠主编. —北京:科学出版社, 2015. 6

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-044642-8

I. ①机… II. ①陈… III. ①机械制造材料—高等学校—教材 IV. ①TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 124546 号

责任编辑:宋无汗 杨向萍 王晓丽/责任校对:鲁素
责任印制:赵博/封面设计:红叶图文

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>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年6月第一版 开本:720×1000 1/16

2015年6月第一次印刷 印张:17 1/2

字数:349 000

定价:60.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书是根据全国高等院校机械工程类专业教学指导委员会对机械类专业“机械工程材料”的教学要求，并结合我们多年来的教学实践编写而成的。本书以培养机电类专业学生具有合理选用机械工程材料，正确确定材料加工工艺方法，妥善安排工艺路线的初步能力为主要目标。

本书内容由机械工程材料性能、金属学、热处理、常用机械工程材料四方面组成。

本书的特点如下：

(1) 紧密围绕机械类专业的需要，与机械设计与制造、工程力学、物理、化学等基础课紧密联系，力求目的明确，针对性强。

(2) 为了使学生易于掌握基本内容，在每章的前面提出了需要达到的目的、要求以及学习方法，并在每章后列出了一定数量的习题与思考题，起到总结基本概念、巩固所学知识、培养分析和解决实际问题能力的作用。

(3) 全书紧密结合教学基本要求，对主要内容都有一定的理论分析，避免只讲现象和结论。取材力求新颖，在编写顺序上，按照由浅入深、再深入浅出、循序渐进、便于教学的思路，注重培养学生分析问题和解决问题的能力，并注意前后内容的衔接。另外，在理论分析的同时，加以实例分析，起到了理论联系实际的作用。

本书可作为高等工科院校机械类、机电类等专业的教材，也适合高职高专及其他教育层次机电类专业作为教材使用，同时也可作为相关行业专业技术人员的参考书。

本书共 12 章，由长安大学徐义库、姜超平、郝建民、陈宏、王利捷、张勇、邢亚哲、张荣军等参与编写，陈永楠主编。

在编写本书过程中，参考了部分国内外有关教材、科技著作及论文，并得到了相关单位和同志的大力支持，特别是叶育德同志为本书做了大量的图稿工作，在此一并致以诚挚的谢意。

由于我们水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者指正。

目 录

前言	
第 1 章 材料的性能	1
1.1 材料的静态力学性能	1
1.1.1 强度和塑性	1
1.1.2 硬度及其测定	5
1.2 材料的动态力学性能	8
1.2.1 冲击韧性	8
1.2.2 疲劳	10
1.3 材料的断裂韧性	11
1.4 材料的物理、化学性能	13
1.5 材料的磨损性能	13
1.6 材料的工艺性能	14
习题与思考题	16
第 2 章 材料结构	17
2.1 材料中原子键合方式	17
2.2 金属晶体结构	19
2.2.1 晶体结构的基本概念	19
2.2.2 典型的金属晶体结构	20
2.2.3 晶格的致密度及晶面和晶向	21
2.3 实际金属的结构	24
2.3.1 单晶体和多晶体结构	24
2.3.2 晶体缺陷	24
2.4 合金的晶体结构	26
2.4.1 合金的基本概念	26
2.4.2 合金的相结构	26
2.5 非金属材料的结构	30
2.5.1 高分子合成材料的聚态结构	30
2.5.2 陶瓷材料的组织结构	33
习题与思考题	34

第3章 材料的凝固与结晶	35
3.1 凝固的基本概念	35
3.1.1 晶体的凝固	35
3.1.2 非晶体的凝固	36
3.2 金属的结晶	36
3.2.1 金属的结晶过程	36
3.2.2 结晶后晶粒的大小及控制	38
3.2.3 金属铸锭的凝固组织	39
3.3 合金的凝固与二元合金相图	41
3.3.1 合金相图的建立	41
3.3.2 二元匀晶相图	44
3.3.3 二元共晶相图	46
3.3.4 二元包晶相图	51
3.3.5 共析相图	53
3.3.6 形成稳定化合物的二元合金相图	54
3.3.7 复杂二元相图的分析方法	54
3.3.8 相图与性能的关系	55
习题与思考题	57
第4章 金属的塑性变形与再结晶	58
4.1 金属的塑性变形	58
4.1.1 单晶体的塑性变形	58
4.1.2 多晶体的塑性变形	62
4.2 塑性变形对金属组织和性能的影响	64
4.2.1 塑性变形对金属组织结构的影响	64
4.2.2 塑性变形对金属力学性能的影响	66
4.3 回复与再结晶过程	67
4.3.1 回复	67
4.3.2 再结晶	68
4.3.3 晶粒长大	70
4.4 金属的热变形	71
4.4.1 热加工	71
4.4.2 热加工对金属组织和性能的影响	71
4.4.3 热变形的特点	73
4.5 金属强化机制	74
习题与思考题	78

第 5 章 铁碳合金	79
5.1 铁碳合金的基本组成	79
5.1.1 工业纯铁	79
5.1.2 铁素体	80
5.1.3 奥氏体	80
5.1.4 渗碳体	81
5.1.5 珠光体	81
5.1.6 莱氏体	82
5.2 典型铁碳合金相图的平衡结晶过程及组织	82
5.2.1 铁碳相图的基本分析	82
5.2.2 典型铁碳合金的平衡结晶过程及其组织	84
5.2.3 铁碳合金成分、组织和性能的关系	91
5.2.4 Fe-Fe ₃ C 相图的应用	93
5.3 碳钢	94
5.3.1 常存杂质对碳钢性能的影响	94
5.3.2 碳钢的分类	95
5.3.3 碳钢的编号和用途	97
习题与思考题	101
第 6 章 钢的热处理	103
6.1 钢在加热时的转变	104
6.1.1 奥氏体的形成	104
6.1.2 奥氏体晶粒的长大及其影响因素	106
6.2 钢在冷却时的转变	108
6.2.1 过冷奥氏体等温转变曲线	109
6.2.2 过冷奥氏体等温转变产物的组织与性能	110
6.2.3 影响 C 曲线的因素	115
6.2.4 过冷奥氏体连续转变曲线图	116
6.3 钢的退火和正火	118
6.3.1 退火和正火的目的	118
6.3.2 退火和正火工艺及应用	118
6.4 钢的淬火和回火	120
6.4.1 钢的淬火	120
6.4.2 钢的淬透性	124
6.4.3 钢的回火	126
6.4.4 回火的种类及应用	128

6.5 钢的表面热处理	129
6.5.1 钢的表面热处理	129
6.5.2 钢的化学热处理	132
习题与思考题	138
第7章 合金钢	140
7.1 合金元素在钢中的作用	140
7.1.1 合金元素对钢中基本相的影响	140
7.1.2 合金元素对 Fe-Fe ₃ C 相图的影响	141
7.1.3 合金元素对钢在加热和冷却时转变的影响	142
7.1.4 合金元素对钢回火转变的影响	145
7.1.5 合金钢的分类与编号	146
7.2 合金结构钢	148
7.2.1 低合金结构钢	149
7.2.2 渗碳钢	150
7.2.3 调质钢	152
7.2.4 弹簧钢	155
7.2.5 滚动轴承钢	158
7.2.6 易切钢	162
7.2.7 超高强度钢	163
7.3 合金工具钢	165
7.3.1 刀具钢	165
7.3.2 高速钢	170
7.3.3 模具钢	175
7.3.4 量具钢	180
7.3.5 特殊性能钢	182
习题与思考题	194
第8章 铸铁	197
8.1 铸铁的石墨化	198
8.1.1 铸铁的石墨化过程	198
8.1.2 影响石墨化过程的因素	200
8.2 常用铸铁的特点与应用	202
8.2.1 铸铁	202
8.2.2 可锻铸铁	208
8.2.3 球墨铸铁	210
8.2.4 蠕墨铸铁	214

8.2.5 耐热铸铁	216
8.2.6 耐蚀合金铸铁	217
8.2.7 耐磨铸铁	218
习题与思考题	220
第9章 有色金属及其合金	221
9.1 铝及其合金	221
9.1.1 工业纯铝	221
9.1.2 铝合金	222
9.2 铜及其合金	227
9.2.1 紫铜(工业纯铜)	227
9.2.2 铜合金	228
9.3 钛及其合金	231
9.4 镁及其合金	234
9.5 锌及其合金	235
习题与思考题	236
第10章 高分子材料	237
10.1 高分子合成材料的性能特点	237
10.2 高分子化合物的合成方法	240
10.3 几种常用的高分子合成材料	241
习题与思考题	249
第11章 陶瓷材料	250
11.1 陶瓷材料的分类	250
11.2 陶瓷材料的性能	251
11.3 陶瓷材料制造工艺	252
11.4 常用陶瓷材料	254
11.4.1 工程陶瓷	254
11.4.2 功能陶瓷	257
习题与思考题	259
第12章 复合材料	260
12.1 复合材料的概述	260
12.2 复合材料的增强机理和复合原则	261
12.3 常用复合材料	262
习题与思考题	266
参考文献	267

第 1 章 材料的性能

材料性能是指材料在外界因素作用下表现出来的行为。通常可分为两类：使用性能和工艺性能。使用性能是指机械零件在正常工作情况下应具备的性能，包括力学性能和物理、化学性能等。工艺性能是指机械零件在冷、热加工的制造过程中应具备的性能，包括铸造性能、锻造性能、焊接性能和切削加工性能。

在机械制造中，一般机械零件是在常温、常压和中性腐蚀性介质中使用的，如汽车、拖拉机上的各类齿轮、轴等。但有一些机械零件却是在高温、高压和腐蚀介质中使用的，如化工机械、石油机械和锅炉中的容器、管道等。根据不同的使用要求，确定采用不同性能的材料，所以材料的性能是零件设计和选材的主要依据。

1.1 材料的静态力学性能

材料的静态力学性能是指在各种不同性质外力作用下材料所表现出的抵抗能力，主要有强度、塑性和硬度等。

1.1.1 强度和塑性

强度是指材料在静载荷作用下，抵抗产生塑性变形或断裂的能力。若将断裂看成变形的极限，则强度可简称变形的抵抗能力。由于载荷的作用方式有拉伸、压缩、弯曲、剪切等，所以强度也分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。各种强度间常有一定的联系，使用中一般多以抗拉强度作为最基本的强度指标。

塑性是指材料在载荷作用下，产生永久变形而不破坏的能力。

抗拉强度和塑性是依据国家标准（GB 6397—1986）通过静拉伸试验测定的。它是把一定尺寸和形状的试样装夹在拉力试验机上，然后对试样逐渐施加拉伸载荷，直至把试样拉断。根据试样在拉伸过程中承受的载荷和产生的变形量大小，可以测定该材料的强度和塑性。

1. 拉伸图与应力-应变曲线

拉力试样进行拉伸试验时，随着载荷的逐渐增加，试样的伸长量也逐渐增加，通过自动记录仪随时记录载荷（ P ）与伸长量（ ΔL ）的数值，直至试样被拉

断，然后将记录数值绘在载荷为纵坐标、伸长量为横坐标的图上。连接各点所得的曲线即拉伸曲线，该图称为拉伸图。

由图 1-1 可见，低碳钢试样在拉伸过程中，其载荷与变形关系有以下几个阶段。

(1) 当载荷不超过 P_p 时，拉伸曲线 oa 为一直线，即试样的伸长量与载荷呈正比增加，如果卸除载荷，试样立即恢复到原来的尺寸，试样属于弹性变形阶段，完全符合胡克定律。 P_p 是能符合胡克定律的最大载荷。

(2) 当载荷超过 P_p 后，拉伸曲线开始偏离直线，即试样的伸长量与载荷已不再呈正比关系，但若卸除载荷，试样仍能恢复到原来的尺寸，故仍属于弹性变形阶段。 P_e 是试样发生完全弹性变形的最大载荷。

(3) 当载荷超过 P_e 后，试样将进一步伸长，但此时若去除载荷，弹性变形消失，而另一部分变形被保留，即试样不能恢复到原来的尺寸，这种不能恢复的变形称为塑性变形或永久变形。

(4) 当载荷达到 P_s 时，拉伸曲线出现了水平的或锯齿形的线段，这表明在载荷基本不变的情况下，试样却继续变形，这种现象称为“屈服”。引起试样屈服的载荷称为屈服载荷。

(5) 当载荷超过 P_s 后，试样的伸长量与载荷又将呈曲线关系上升，但曲线的斜率比 oa 段的斜率小，即载荷的增加量不大，而试样的伸长量却很大。这表明在载荷超过 P_s 后，试样已开始产生大量的塑性变形。当载荷继续增加到某一最大值 P_b 时，试样的局部截面积缩小，产生所谓“颈缩”现象。由于试样局部截面的逐渐减小，承载能力也逐渐降低，当达到拉伸曲线上 k 点时，试样断裂。 P_k 为试样断裂时的载荷。

应该指出，工业上使用的许多材料在进行静拉伸试验时，其承受的载荷与变形量之间的关系，并非都与上述低碳钢相同。某些脆性金属（如铸铁等）在尚未产生明显塑性变形时已经断裂，故不仅没有屈服现象，而且也不产生缩颈现象。

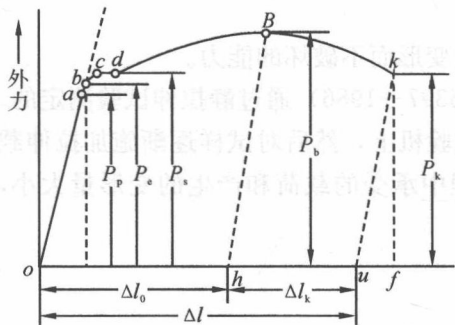


图 1-1 低碳钢的拉伸图

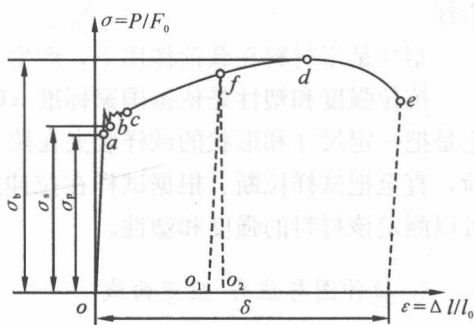


图 1-2 低碳钢的应力-应变示意图

2. 应力-应变曲线

由于拉伸图上的载荷 P 与伸长量 ΔL ，不仅与试验的材料性能有关，而且还与试样的尺寸有关。为了消除试样尺寸因素的影响，用数学方法处理可得到应力-应变曲线。图 1-2 为低碳钢的应力-应变曲线。

试样承受的载荷 P 除以试样的原始截面积 F_0 ，得到试样所受的应力 σ ，即

$$\sigma = \frac{P}{F_0}$$

试样的伸长量 ΔL 除以试样原始长度 L_0 ，得到试样的相对伸长，即应变 ϵ

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

以 σ 与 ϵ 为坐标绘出应力-应变的关系曲线，叫做应力-应变曲线。由于按国标 GB 228-76 统一规定，拉伸试样原始截面积 F_0 、原始长度 L_0 为常数，所以应力-应变曲线的形状与拉伸图完全相似，只是坐标与数值不同。但它不受试样尺寸的影响，可以直接看出材料的一些力学性能。

3. 静拉伸试验测定的各项指标及意义

1) 弹性模量

弹性模量 E 是指材料在弹性状态下的应力与应变的比值，即

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} (\text{MPa})$$

在应力-应变曲线上，弹性模量就是试样在弹性变形阶段线段的斜率，即引起单位弹性变形时所需的应力。因此，它表示材料抵抗弹性变形的能力。弹性模量 E 值越大，则材料的刚度越大，材料抵抗弹性变形的能力就越强。

绝大多数的机械零件都是在弹性状态下进行工作的，在工作过程中一般不允许有过多的弹性变形，更不允许有明显的塑性变形。因此，对其刚度都有一定的要求。提高零件刚度的办法，除了增加零件横截面或改变横截面形状外，从材料性能上来考虑，就必须增加其弹性模量 E 。弹性模量 E 值主要取决于各种材料本身的性质，热处理、微合金化及塑性变形等对它的影响很小。

2) 比例极限与弹性极限

比例极限 σ_p 是应力与应变之间能保持正比例关系的最大应力值，即

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F_0} (\text{MPa})$$

式中， P_p ——载荷与变形能保持正比例关系的最大载荷；

F_0 ——试样的原始横截面积。

弹性极限 σ_e 是材料产生完全弹性变形时所能承受的最大应力值，即

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} \quad (\text{MPa})$$

式中, P_e ——试样发生完全弹性变形的最大载荷;

F_0 ——试样的原始横截面积。

由于弹性极限与比例极限在数值上非常接近, 一般不必严格区分。它们是表示材料在不产生塑性变形时能承受的最大应力值。对工作中不允许有微量塑性变形的零件(如精密的弹性元件、炮筒)等的设计与选材, 比例极限(σ_p)、弹性极限(σ_e)是重要依据。

3) 屈服强度

屈服强度 σ_s 是材料开始产生明显塑性变形时的最低应力值, 即

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad (\text{MPa})$$

式中, P_s ——试样发生屈服时的载荷, 即屈服载荷;

F_0 ——试样的原始横截面积。

工业上使用的某些材料(如高碳钢和某些经热处理后的钢等)在拉伸试验中没有明显的屈服现象发生, 故无法确定屈服强度 σ_s 。国家标准则规定, 可用试样在拉伸过程中标距部分产生0.2%塑性变形量的应力值来表征材料对微量塑性变形的抗力, 称为屈服强度, 即所谓的“条件屈服强度”, 记为 $\sigma_{0.2}$ 。

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0} \quad (\text{MPa})$$

式中, $P_{0.2}$ ——试样标距部分产生0.2%塑性变形量时的载荷;

F_0 ——试样的原始横截面积。

一般机械零件在发生少量塑性变形后, 零件精度降低或与其他零件的相对配合受到影响而造成失效, 所以, 屈服强度就成为零件设计时的主要依据, 同时也是评定材料强度的重要力学性能指标之一。

4) 强度极限

强度极限 σ_b 是材料在破断前所能承受的最大应力值, 即

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \quad (\text{MPa})$$

式中, P_b ——试样在破断前所能承受的最大载荷;

F_0 ——试样的原始横截面积。

塑性材料在拉伸过程中, 若承受的载荷小于 P_b , 则试样产生均匀的塑性变形; 当载荷超过 P_b 时将引起缩颈而产生集中变形。可见, 强度极限 σ_b 是表示材料抵抗大量均匀塑性变形的能力。低塑性材料在拉伸过程中, 一般不产生缩颈现象。因此, 强度极限 σ_b 就是材料的断裂强度, 它表示材料抵抗断裂的能力。在工程上强度极限常称为抗拉强度, 也是零件设计时的重要依据。同时也是评定材料

强度的重要力学性能指标之一。

5) 延伸率与断面收缩率

延伸率 δ 和断面收缩率 Ψ 是表示金属材料塑性好坏的指标。

(1) 延伸率。延伸率是指试样拉断后标距增长量与原始标距长度之比,即

$$\delta = \frac{L_k - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中, L_k ——试样断裂后的标距长度;

L_0 ——试样原始的标距长度。

(2) 断面收缩率。断面收缩率是指试样拉断处横截面积的缩减量与原始横截面积之比,即

$$\Psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\%$$

式中, F_k ——试样拉断处的最小横截面积;

F_0 ——试样的原始横截面积。

材料的延伸率 δ 和断面收缩率 Ψ 的数值越大,则表示材料的塑性越好。由于断面收缩率比延伸率更接近材料的真实应变,所以在塑性指标中,用断面收缩率比延伸率更为合理,但现有的材料塑性指标往往仍较多地采用延伸率。

材料的塑性对要求进行冷塑性变形加工的工件有着重要的作用。此外,在工件使用中偶然过载时,由于能发生一定的塑性变形,而不致突然破坏。同时,在工件的应力集中处,塑性能起到削减应力峰(局部的最大应力)的作用,从而保证工件不致突然断裂,这就是大多数工件除要求高强度外,还要求具有一定塑性的原因。

1.1.2 硬度及其测定

硬度是衡量材料软硬程度的指标。目前生产中测定硬度的方法最常用的是压入硬度法,它是用一定几何形状的压头在一定载荷下压入被测试的材料表面,根据被压入程度来测定其硬度值。用同样的压头在相同大小载荷作用下压入材料表面时,若压入程度越大,则材料的硬度值越低;反之,硬度值就越高。因此,压入法所表示的硬度是指材料表面抵抗更硬物体压入的能力。

由于硬度试验设备简单,操作迅速方便,又可直接在零件或工具上进行试验而不破坏工件,并且还可能根据测得的硬度值估计出材料的近似强度极限和耐磨性。此外,硬度与材料的冷成型性、切削加工性、可焊性等工艺性能间也存在着一定联系,可作为选择加工工艺时的参考。所以硬度试验是实际生产中产品质量检查、制定合理加工工艺的最常用的试验方法。在产品的设计图纸的技术条件中,硬度是一项主要技术指标。为了能获得正确的试验结果,被测材料表面不应有氧化皮、脱碳层和划痕、裂纹等缺陷。

测定硬度的方法很多,生产中应用较多的有布氏硬度试验法、洛氏硬度试验

法和维氏硬度试验法等方法。

1. 布氏硬度试验法

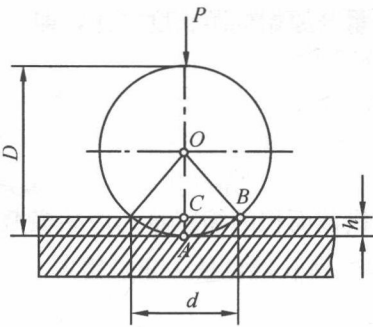


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

布氏硬度试验法是用一直径为 D 的淬火钢球（或硬质合金球），在规定载荷 P 的作用下压入被测试材料的表面（图 1-3），停留一定时间，然后卸除载荷，测量钢球（或硬质合金球）在被测试材料表面上所形成的压痕直径 d ，由此计算出压痕面积，进而得到所承受的平均应力值，以此作为被测试材料的硬度，称为布氏硬度值，记作 HBS。

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

在布氏硬度试验中载荷 P 的单位为 N，压头直径 D 与压痕直径 d 的单位为 mm，所以布氏硬度的单位为 MPa，但习惯上只写明硬度的数值而不标出单位。

在进行布氏硬度试验时，一方面应根据材料的软硬和工件厚度的不同，正确选择载荷 P 和压头直径 D 。为使同一材料在不同 P 、 D 下测得相同的布氏硬度值，应使 P/D^2 为常数。另一方面，为保证测得布氏硬度的准确性，压痕直径 d 与压头直径 D 的比值在一定范围 ($0.2D < d < 0.5D$)，可以认为是可靠数据。

由于压头材料不同，所以布氏硬度用不同符号表示，以示区别。当压头为淬火钢球时用 HBS 表示，适用于布氏硬度低于 450 的材料，如 270HBS；当压头为硬质合金球时用 HBW 表示，适用于布氏硬度大于 450 且小于 650 的材料，如 500HBW。

布氏硬度试验法的优点：因压痕面积较大，能反映出较大范围内被测试材料的平均硬度，故试验结果较精确，特别是对于组织比较粗大且不均匀的材料（如铸铁、轴承合金等），更是其他硬度试验方法所不能代替的。

2. 洛氏硬度试验法

洛氏硬度试验法是目前工厂中广泛应用的试验方法。它用一个顶角为 120° 的金刚石圆锥体或一定直径的钢球为压头，在规定载荷作用下压入被测试材料表面，通过测定压头压入的深度来确定其硬度值。

图 1-4 表示金刚石圆锥压头的洛氏硬度试验原理。图中 0-0 为圆锥体压头的初始位置；1-1 为初载荷作用下的压头压入深度为 h_1 时的位置；2-2 为总载荷（初载荷 + 主载荷）作用下压头压入深度为 h_2 时的位置； h_3 为卸除主载荷后，由于弹性变形恢复，压头提高时的位置。这时，压头实际压入试样的深度为 h_3 。故

由于主载荷所引起的塑性变形而使压头压入深度为 $h = h_3 - h_1$ ，并以此来衡量被测试材料的硬度。显然， h 越大时，被测试材料的硬度越低；反之，则越高。这和布氏硬度大小的概念相矛盾，也和人们的习惯不一致，为此，采用一个常数 K 减去 h 来表示硬度大小，并规定每 0.002mm 的压痕深度为一个硬度单位，由此获得的硬度值称为洛氏硬度值，用符号 HR 来表示。

$$HR = \frac{K - h}{0.002}$$

式中， K 为常数，用金刚石圆锥体作压头时 $K = 0.2\text{mm}$ ；用钢球作压头时 $K = 0.26\text{mm}$ 。由此得的洛氏硬度值 HR 为一无名数，在试验时一般均由硬度计的指示器上直接读出。

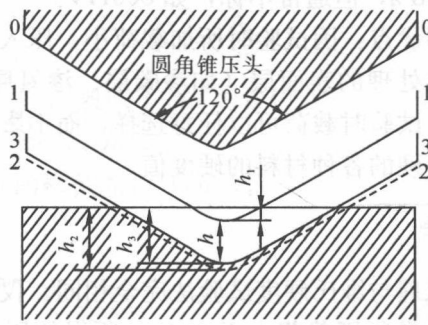


图 1-4 洛氏硬度试验原理示意图

为了能用同一硬度计测定从极软到极硬材料的硬度，采用了由不同的压头和载荷组合成 15 种不同的洛氏硬度标尺。其中常用 HRA、HRB、HRC 三种标尺，如 62HRC、 ≥ 70 等。表 1-1 为这三种常用标尺的试验条件和应用举例。

表 1-1 常用的三种洛氏硬度试验规范

符号	压头	载荷/N	硬度值有效范围	使用范围
HRA	金刚石圆锥	600	≥ 70	适用于测量硬质合金、表面淬火层或渗碳层
HRB	(1/16") 钢球	980	25~100 (相当 60~230HBS)	适用于测量有色金属、退火、正火钢等
HRC	金刚石圆锥 120°	1470	20~67 (相当 230~700HBS)	适用于调质钢、淬火钢等

洛氏硬度试验法的优点是操作迅速简便，由于压痕较小，可在工件表面或较薄的材料上进行试验。同时，采用不同标尺，可测出从极软到极硬材料的硬度。其缺点是因压痕较小，对组织比较粗大且不均匀的材料，测得的结果不够准确。

3. 维氏硬度试验法

维氏硬度的试验法原理基本上同于布氏硬度试验法。它是用一个相对面间夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体压头，在规定载荷 P 作用下压入被测试材料表面，保持一定时间后卸除载荷。然后再测量压痕投影的两对角线的平均长度 d ，进而计算出压痕的表面积 F ，以压痕表面积上平均压力 (P/F) 作为被测材料的硬度值，称为维氏硬度，记作 HV。

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 1.8544 \frac{P}{d^2}$$

维氏硬度单位为 MPa，但通常不标，如 800HV。

维氏硬度试验法的优点：因试验时所加载荷小，压入深度浅，故适于测试零件表面淬硬层及化学热处理的表面层（如渗碳层、渗氮层等）；同时维氏硬度是一个连续一致的标尺，试验时载荷可以任意选择，而不影响其硬度值的大小，因此可以测定从极软到极硬的各种材料的硬度值。

4. 显微硬度试验法

显微硬度试验法原理与维氏硬度试验法完全相同，仅是所用载荷比低载荷维氏硬度还要小得多，通常所用载荷小于 200g，所得的压痕仅有几微米到几十微米，因此，显微硬度用于测试合金显微组织中的不同相、加工硬化层、镀层、金属箔等的硬度。

显微硬度值用 HM 表示。实际上显微硬度值和维氏硬度值完全相同，也可用 HV 表示。

1.2 材料的动态力学性能

1.2.1 冲击韧性

以很大速度作用于机件上的载荷称为冲击载荷。许多机器零件和工具在工作过程中，往往受到冲击载荷的作用，如汽车发动机的活塞销与连杆、变速器中的轴及齿轮、锻锤的锤杆等。由于冲击载荷的加荷速度高，作用时间短，使材料在受冲击时应力分布与变形很不均匀，脆化倾向性增大。所以对承受冲击载荷零件的性能，除要求具有足够的静载荷强度，还必须要求材料具有足够抵抗冲击载荷的能力。

为了评定材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力，需进行一次冲击试验。一次冲击试验是一种动载荷的试验。本节介绍应用最普遍的一次冲击弯曲试验。