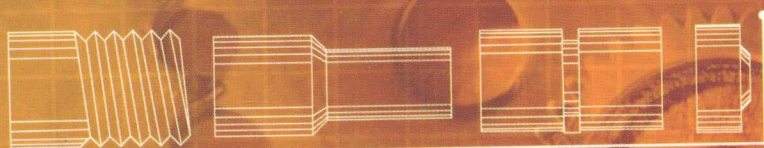




普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材

机械工程材料

(第2版)



朱征 主编

本书配有
电子教案



国防工业出版社
National Defense Industry Press

普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材

机械工程材料

(第2版)

朱征 主编

黄丽明 刘志平 鞠春华 副主编

国防工业出版社

地址：北京市海淀区中关村大街22号
邮编：100081
电话：(010) 88411333
传真：(010) 88411334
网址：http://www.dgpub.com.cn

“十二五”普通高等教育本科规划教材 内容简介

本书根据国家教委高等教育司 1995 年颁布的高等工科院校“工程材料及制造基础课程教学基本要求”编写,主要介绍了机械工程材料的结构、性能以及改变性能的方法,包括工程材料基础、钢的热处理、钢铁材料、非钢铁材料、材料的选用及零件失效、实验六篇。本书提供电子课件,请发邮件至 896369667@QQ.com 索取。

本书可作为高等工科院校机械类各专业基础课教材,也可供相关专业技术人员使用。

(附光盘)

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料/朱征主编.—2 版.—北京:国防工业出版社,2011.5

普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材
ISBN 978-7-118-07307-2

I. ①机... II. ①朱... 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(2011)第 019131 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 18¼ 字数 420 千字

2011 年 5 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

第2版前言

本书为普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材。第1版自2007年7月出版以来,由于教材基于实际教学,满足机械类各专业及近机类要求,已先后印刷3次。

本次修订,保持第1版的教材体系,对原书部分内容进行充实,力求本书结构更加合理,知识更趋于完善;增加了“普通热处理技术条件的标注与工序安排”、“表面热处理技术条件的标注与工序安排”两节内容,进一步深化热处理工艺的应用环节;增加和调整了各章节习题,更利于学习和掌握知识重点和难点。在修订本教材的同时,配套使用的教学课件也进一步得到调整和规范,使“工程材料”课程的立体化教学更加完善。为方便老师教学,本书提供电子课件,请发邮件至 896369667@QQ.com 索取。

本书分为六篇,共十五章。前言、绪论、第二章~第四章、第十章、第十二章~第十三章、第十五章、第七章第五节、第八章第三节及第九章第一节~第二节、第五节由朱征编写;第五章、第六章、第七章第一节~第四节、第八章第一节~第二节、第九章第三节~第四节、第十四章由黄丽明编写;第一章、第十一章及实验由刘志平编写。全书由朱征主编,黄丽明、刘志平副主编,詹武主审。

本书修订过程中,教研室杜素梅、郑连义老师提出许多有益建议,在此表示谢意。

由于水平有限,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

编者 2011年3月

本书在编写过程中,得到了许多老师和同学的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。特别感谢机械工业出版社的编辑,为本书的出版付出了辛勤的劳动。同时,感谢机械工业出版社的编辑,为本书的出版付出了辛勤的劳动。

前言

“机械工程材料”是高等工科院校机械类各专业必修的技术基础课,主要研究机械工程材料的结构、性能以及改变性能的方法。根据国家教委高等教育司1995年颁布的高等工科院校“工程材料及制造基础课程教学基本要求”,并根据学科发展,我们组织长期工作在教学和实验一线、具有丰富教学经验的教师编写了《机械工程材料》教学用书。为方便老师教学,本书提供电子课件,请发邮件至 896369667@QQ.com 索取。

《机械工程材料》与其它相关教材相比,具有以下特点:

(1) 传承本学科的精华,并进行了内容、章节比例的调整,突出金属材料的结构、性能以及热处理工艺。

(2) 钢铁材料的牌号采用国家新标准,增加新材料、新技术、新工艺方面的内容,尤其是新型材料部分,阐述了材料领域最新发展趋势。

(3) 在理论分析的同时通过应用实例进行材料组织结构、性能、选用的综合分析,使学生对材料有一个深刻认识。

(4) 加注英语关键词,有利于提高学生的专业英语水平。

(5) 本教材的适用性强,选择的范围广,可根据不同专业及学时要求,选择适当内容进行讲授。

参加本教材编写的有:朱征(前言、绪论、第二章~第四章、第十章、第十二章~第十三章、第十五章及第九章第一节、第二节、第五节)、黄丽明(第五章~第八章、第十四章及第九章第三节和第四节)、刘志平(第一章、第十一章及实验)。全书由朱征主编,黄丽明、刘志平副主编,詹武主审。

本教材在编写中参考了现已出版的各类《工程材料》、《机械工程材料》、《金属材料及热处理》等相关教材,并采纳有关院校的教学及论文资料,为此谨致衷心的感谢。在编写过程中,得到教研室各位老师,特别是杜素梅、郑连义老师的大力支持,在此一并表示感谢。由于水平有限,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

编者

目 录

绪论	1
第一篇 工程材料基础	
第一章 材料的性能	3
第一节 材料的使用性能	3
第二节 材料的工艺性能	12
习题	13
第二章 纯金属的结构与结晶	14
第一节 材料的结合键	14
第二节 纯金属的晶体结构	16
第三节 金属实际结构及晶体缺陷	21
第四节 金属的结晶	24
习题	29
第三章 合金的结构与结晶	30
第一节 合金的结构	30
第二节 合金的结晶过程	32
习题	40
第四章 铁碳合金的结构及其相图	41
第一节 纯铁及其同素异构转变	41
第二节 铁碳合金的相和组织组成	42
第三节 铁碳合金相图分析	44
习题	55
第五章 金属的塑性变形与再结晶	56
第一节 金属的塑性变形	56

第二节 金属冷塑性变形对组织和性能的影响	61
第三节 冷变形金属加热时组织和性能的变化	63
第四节 金属的热塑性变形	65
习题	67

第二篇 钢的热处理

第六章 钢的热处理原理	68
第一节 钢在加热时的转变	69
第二节 钢在冷却时的转变	73
习题	83
第七章 钢的普通热处理	85
第一节 钢的退火和正火	85
第二节 钢的淬火	87
第三节 钢的回火	91
第四节 钢的淬透性	95
第五节 普通热处理的技术条件标注与工序安排	99
习题	100
第八章 钢的表面热处理	102
第一节 表面淬火	102
第二节 化学热处理	105
第三节 表面热处理的技术条件标注与工序安排	110
习题	110

第三篇 钢铁材料

第九章 碳钢及合金钢	112
第一节 杂质元素对钢性能的影响	114
第二节 合金元素在钢中的作用	115
第三节 结构钢	122
第四节 工具钢	137
第五节 特殊性能钢	151
习题	159

第十章 铸铁及铸钢	161
第一节 铸铁概述	161
第二节 常用铸铁的特点与应用	163
第三节 铸钢	171
习题	172

第四篇 非钢铁材料

第十一章 有色金属材料	173
第一节 铝、钛及其合金	173
第二节 铜及轴承合金	183
习题	189
第十二章 非金属材料	190
第一节 高分子材料	190
第二节 陶瓷材料	199
第三节 复合材料	203
习题	207
第十三章 功能材料及新型材料	208
第一节 功能材料	208
第二节 新型材料	214
习题	217

第五篇 材料的选用

第十四章 零件的失效分析	218
第一节 零件失效的基本形式	218
第二节 零件失效的原因	218
第三节 失效分析的方法	219
第四节 零件的失效分析与选材	223
习题	227
第十五章 材料的选用	228
第一节 材料选用原则	228

第二节 材料选用步骤.....	231
第三节 典型零件的选材及应用实例.....	231
第四节 材料选择趋势.....	238
习题.....	239

第六篇 实 验.....	240
--------------	-----

实验一 金相试样的制备及铁碳合金平衡组织观察.....	240
实验二 硬度测量.....	247
实验三 钢的热处理工艺操作.....	254
实验四 热处理综合实验.....	258
实验五 碳钢在不同热处理状态下的显微组织.....	260
实验六 铸铁、合金钢及有色金属的显微组织观察.....	265
实验七 钢铁材料的火花鉴别.....	271

附录一 金相显微镜的使用.....	276
-------------------	-----

附录二 硬度换算表.....	280
----------------	-----

参考文献.....	283
-----------	-----

绪 论

一、材料概述

材料是工农业生产、国防建设、科学技术以及人们生活赖以存在和发展的物质基础。材料的分类方法很多，主要按化学性质、用途等分类。

(一) 按化学性质分类

可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料。

工业上把金属材料分为两大部分：黑色金属和有色金属。黑色金属指钢和铁；有色金属指黑色金属以外的所有金属及其合金，常见的有铝及铝合金，铜及铜合金。

非金属材料包括高分子材料、陶瓷材料。高分子材料包括塑料、合成纤维、橡胶、胶黏剂。陶瓷材料属于无机非金属材料，一般包括无机玻璃(硅酸盐玻璃)、玻璃陶瓷(或称微晶玻璃)和陶瓷三类。

复合材料是由两种或两种以上不同材料通过复合工艺组合而成，某些性能优于它的组成材料，是一类特殊的材料，具有广阔的发展前景。

(二) 按用途分类

可分为结构材料 and 功能材料。

(1) 结构材料。是指工程上要求强度、韧性、塑性等力学性能的材料，如机器结构材料、建筑工程结构材料等。

(2) 功能材料。是指主要利用它们的电、光、声、磁、热等效应和功能的材料，如电工材料、电子材料、光学材料、声光材料等。

(三) 按工业工程分类

可分为机械工程材料、建筑工程材料、电工材料、信息通信工程材料等。而机械工程材料是指结构材料中应用于机械工程中的机械零件、工具等的材料。

随着社会发展，除金属材料外，还有其它类型的材料参与到机械生产中，与材料相关的内容涉及到生产中每一个环节，因此，需要专业知识来指导生产。

二、课程内容及要求

“机械工程材料”是高等院校机械类及近机类专业必修的技术基础课。它是研究材料的性能、化学成分、内部组织结构之间关系及其变化规律的一门学科。学习本课程可使机械专业学生或机械工程技术人员获得相关工程材料的基础理论和必要的工艺知识，培养工艺分析的能力，掌握和运用常用工程材料的种类、成分、组织和改性方法，做到正确选用材料、制定相应的简明热处理工艺，从而生产出成本低、使用性能好、寿命长的机械零件或机械产品。本课程主要以研究机械工程材料为主，其中着重于金属材料。

“机械工程材料”课程的基本要求是了解机械工程材料的力学性能、纯金属及合金

第一篇 工程材料基础

第一章 材料的性能

材料的性能通常包括使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在特定的条件下,能保证安全可靠工作所必备的性能,其中包括力学性能、物理性能和化学性能。工艺性能是指材料在加工过程中所反映出来的性能,如铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。

第一节 材料的使用性能

一、材料的力学性能

力学性能是指材料在各种形式外力作用下,抵抗变形和断裂的能力,它是衡量材料性能极其重要的指标,包括弹性、刚度、强度、塑性、硬度、冲击韧度、疲劳强度、断裂韧度等。

(一) 弹性和刚度

材料在外力的作用下都会或多或少地产生变形,这是一个普遍现象。在使用材料时,除了要注意材料在外力作用下的变形程度外,更值得注意的是,当外力去除后变形能否恢复到原来的形状以及材料抵抗这种变形的能力。材料所受的外力去除后能恢复其原来形状的性能,叫做材料的弹性(Elasticity)。这种随着外力去除而消失的变形叫做弹性变形,其大小与外力成正比。材料抵抗弹性变形的能力叫做刚度(Rigidity)。弹性和刚度是在特定的标准实验条件下得到的。

将被测试的金属材料制成如图1-1(a)所示的试样,在材料拉伸实验机上对试样施加轴向静拉力 F ,试样在外力的作用下产生变形,如图1-1(b)所示。若将低碳钢试样从实验开始直到被拉断前所受的拉力 F ,与其所对应的变形 ΔL 绘制成曲线,则得到如图1-2(a)所示的拉伸曲线。它反映了金属材料在拉伸过程中从弹性变形直到断裂的全部力学特性。

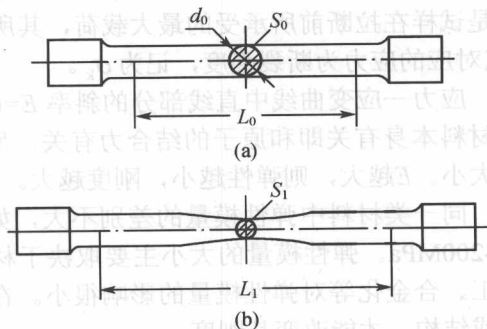


图 1-1 拉伸实验

(a) 试样; (b) 试样的变形。

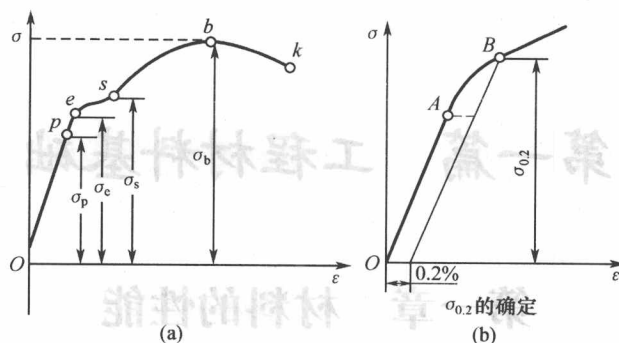


图 1-2 碳钢和铸铁的应力—应变曲线
(a) 低碳钢; (b) 铸铁。

通常以应力 σ (试样单位横截面上的拉力) 和应变 ϵ (试样单位长度的伸长量) 代替 F 和 ΔL , 由此绘制成的曲线叫做应力—应变图。 $\sigma-\epsilon$ 曲线与 $F-\Delta L$ 曲线形状相同, 只是坐标不同而已。如图 1-2(a) 所示, $\sigma-\epsilon$ 图可分为三个阶段:

(1) 弹性变形阶段 ($O \sim e$): 在载荷未到 e 点之前, 试样只产生弹性变形, 这时应变与应力成正比, 此阶段卸掉载荷试样可恢复到原来的长度。 e 点对应的应力 σ_e 叫做弹性极限 (Elastic Limit)。

(2) 塑性变形阶段 ($e \sim b$): 当载荷超过 e 点时, 试样开始产生塑性变形, 此阶段即使完全去除载荷也会残留下永久变形。当载荷继续增加到 s 点时, 试样所承受的载荷虽不再增加, 但试样仍继续产生塑性变形, $\sigma-\epsilon$ 曲线出现了近似水平线段, 这种现象叫做材料的屈服。 s 点叫做屈服点, 它是金属材料从弹性状态转变成塑性状态的标志。 s 点所对应的应力叫做屈服强度 (Yield Limit), 通常用 σ_s 表示。当载荷继续增加到 b 点时, 试样发生不均匀变形, 截面出现局部变细的缩颈现象。

对于在拉伸过程中屈服现象不明显的材料, 规定伸长率为 0.2% 时的应力值作为它的条件屈服强度, 记为 $\sigma_{0.2}$ 。铸铁 $\sigma_{0.2}$ 的确定, 如图 1-2(b) 所示, 即 $\epsilon = 0.2\%$ 时平行 OA 交点 B 处的 σ 值。

(3) 不均匀变形至断裂阶段 ($b \sim k$): 当变形量迅速增大至 k 点时, 试样拉断。 b 点的拉力是试样在拉断前所承受的最大载荷, 其所对应的应力 σ_b 为抗拉强度 (Tensile Strength)。 k 点对应的应力为断裂强度, 记为 σ_k 。

应力—应变曲线中直线部分的斜率 $E = (\sigma / \epsilon)$ 称为弹性模量, 其单位为 MPa。此值仅与材料本身有关即和原子的结合力有关, 反映了材料抵抗弹性变形能力即刚度 (Rigidity) 的大小。 E 越大, 则弹性越小, 刚度越大。反之, E 越小, 则弹性越大, 刚度越小。

同一类材料中弹性模量的差别不大, 如钢和铸铁的弹性模量值分别为 204000 MPa 和 214200 MPa。弹性模量的大小主要取决于材料的本性, 强化材料的手段如热处理、冷热加工、合金化等对弹性模量的影响很小。在材料不变的情况下, 只有改变零件的截面尺寸或结构, 才能改变其刚度。

(二) 强度

强度是指材料在外力作用下抵抗永久变形和断裂的能力。根据外力的作用方式, 有多种强度指标, 如抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。通常以屈服强度和抗

拉强度为代表对材料性能进行分析。

1. 屈服强度可按下式计算

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \text{ (MPa)}, \quad \sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \text{ (MPa)}$$

式中 F_s ——试样发生屈服现象时所承受的最大外力(N);

$F_{0.2}$ ——试样产生残余伸长率为 0.2%时所承受的外力(N);

S_0 ——试样的初始截面积(mm²)。

2. 抗拉强度可按下式计算

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \text{ (MPa)}$$

式中 F_b ——试样断裂前的最大拉力(N);

S_0 ——试样的初始截面积(mm²)。

屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b 是金属材料两个重要的指标,也是设计零件的重要选择依据。在大多数情况下,如齿轮、连杆、轴等零件。不能在超过其 σ_s 的条件下工作,否则会引起机件的塑性变形,失去原有的精度甚至报废。零件更不能在超过 σ_b 的条件下工作,否则会导致机件的破坏。

σ_s/σ_b 称为屈强比,比值越大,越能发挥材料的潜力,并可减小结构的自重。但从安全角度出发,屈强比一般取 0.65~0.75。

(三) 塑性

材料在外力的作用下产生塑性变形而不断裂的能力称为塑性(Plasticity)。伸长率 δ 与断面收缩率 ψ 是拉伸条件下,衡量金属塑性变形能力的性能指标。

1. 伸长率

伸长率是指试样拉断后标距的增长量与原始标距长度之比,即

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——试样的原始标距长度(mm);

L_1 ——试样拉断后的标距长度(图 1-1)(mm)。

由于同一材料用不同长度的试样所测得伸长率 δ 的数值是不同的,所以用长度为直径 5 倍的试样测得的伸长率以 δ_5 表示;用长度为直径 10 倍的试样测得的伸长率以 δ_{10} 或 δ 表示;同一种材料 $\delta_5 = (1.2 \sim 1.5)\delta_{10}$ 。

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

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中 S_0 ——试样的原始横截面积(mm²);

S_1 ——试样断口处的最小横截面积(图 1-1)(mm²)。

伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 越大,材料的塑性越好,一般认为 $\delta < 5\%$ 的材料为脆性材料。

ψ 不受试棒标距长度的影响,更接近实际的、真实的应变,更可靠地反映材料的塑性。

材料的塑性指标在工程技术中具有重要的意义。许多零件在成形过程中要求材料有较好的塑性,如机床油盘、汽车外壳、柴油机油箱及发动机曲轴等零件,都是利用金属的塑性变形加工成形的。在塑性变形中,如果材料塑性低,将会发生开裂。此外,从零件工作的可靠性来看,在超载时,也能利用塑性变形使材料强度提高而避免突然断裂,因此在静载荷下使用的机械零件都要求有一定的塑性。

(四) 硬度

硬度(Hardness)是衡量材料软硬程度的指标,是材料抵抗更硬物体压入其表面的能力,也可以说是抵抗局部塑性变形的能力,它是材料的重要性能之一。一般情况下,材料的硬度越高,其耐磨性就越好,生产中常用硬度值来估测材料耐磨性好坏。

测量硬度方法简单易行,在工厂、科研单位应用广泛,常用的静载荷压入法测定的硬度有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度三种。

1. 布氏硬度

布氏硬度实验原理如图 1-3 所示,使用载荷 F 把直径为 D 的淬火钢球压入被测金属表面,停留一定时间,卸掉载荷后,在读数显微镜下测量压痕直径 d ,据此计算出压痕球面积 A_B ,并求出单位面积所受的力 $\frac{F}{A_B}$,用以作为金属的硬度值,并称为布氏硬度,以符号 HBS 表示。

$$HBS = \frac{0.102F}{A_B} = \frac{0.102F}{\pi Dh} = \frac{0.204F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F ——载荷(N);

D ——钢球直径(mm);

d ——压痕直径(mm)。

根据所测直径查表,即可得到硬度值。显然,材料越软,压痕直径就越大,布氏硬度值就越低;反之,布氏硬度值就越高。

当压头为淬火钢球时,布氏硬度用 HBS 表示,适用于测量调质钢、铸铁及退火、正火后布氏硬度小于 450HBS 较软的材料;当压头为硬质合金球时,布氏硬度用 HBW 表示,适用于测量布氏硬度值在 650HBW 以下的材料。在标注布氏硬度值时,其硬度值位于 HBS 或 HBW 符号的前面。

布氏硬度实验的优点是测量结果较准确,但压痕大,不适于成品检验。目前布氏硬度一般用钢球为压头,主要用于测量较软的金属材料。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度与布氏硬度的测量原理类似,如图 1-4 所示。用顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588mm 的淬火钢球压头,压入金属后在金属表面留下的深度以此确定材料的硬度,即为洛氏硬度。洛氏硬度值以符号 HR 表示,HR 值可由洛氏实验机上直接读取。

$$HR = 100 - \frac{h_1 - h_0}{0.002}$$

式中 h_0 ——预载时压痕深度(mm);

h_1 ——去掉载荷后的压痕深度(mm)。

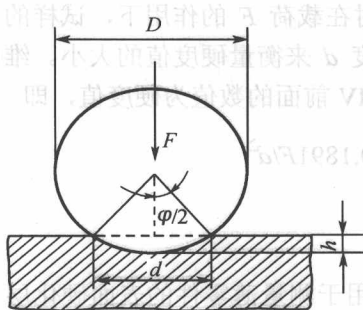


图 1-3 布氏硬度实验原理示意图

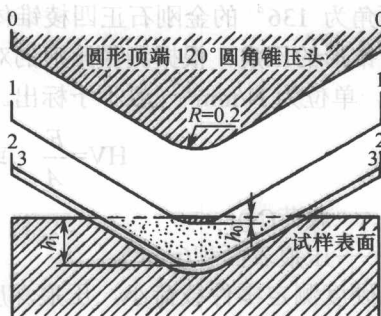


图 1-4 洛氏硬度实验原理示意图

与布氏硬度不同的是，洛氏硬度是通过测量压痕深度来确定其硬度。压痕越深，材料越软，洛氏硬度值越低；反之，洛氏硬度值越高。被测材料硬度，可直接由硬度计的刻度盘读出。

常用的洛氏硬度有三种：HRA、HRB、HRC，其中以 HRC 应用最广。洛氏硬度实验规范见表 1-1。因洛氏硬度压痕几乎不损伤工件表面，因此在钢件热处理质量检验中应用最多。但由于压痕较小，硬度值的代表性较差，如果材料成分不均匀，则硬度值的重复性也差。

表 1-1 洛氏硬度实验规范

标度	压头	预载荷/N	总载荷/N	应用范围	适用的材料
HRA	120° 金刚石圆锥	98.07	60×9.807	70~85	硬质合金、表面淬火钢等
HRB	φ1.588mm 钢球	98.07	100×9.807	25~100	软钢、退火钢，铜合金等
HRC	120° 金刚石圆锥	98.07	150×9.807	20~67	淬火钢、调质钢等

中等硬度程度下，洛氏硬度 HRC 与布氏硬度 HBS 之间关系约为 1 : 10，如 40HRC 相当于 400HBS 左右。

3. 维氏硬度

维氏硬度的实验原理基本上同于布氏硬度实验法，如图 1-5 所示。维氏硬度实验的

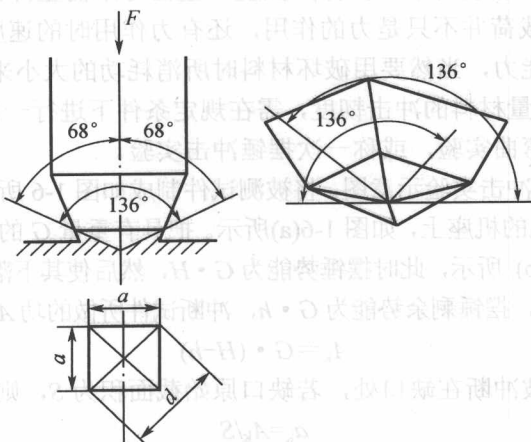


图 1-5 维氏硬度实验原理示意图

压头是顶角为 136° 的金刚石正四棱锥体。实验时在载荷 F 的作用下，试样的表面压出一个四方锥形的压痕。根据测量压痕的对角线长度 d 来衡量硬度值的大小。维氏硬度用 HV 表示，单位为 N/mm^2 一般不予标出。同样，HV 前面的数值为硬度值，即

$$\text{HV}=\frac{F}{A} \quad \text{或} \quad \text{HV}=0.1891F/d^2$$

式中 F ——载荷(N);
 A ——压痕表面积(mm^2)。

维氏硬度测定零件载荷小，压痕深度浅，适用于测量薄零件的表面硬化层、金属镀层及薄片的金属硬度，这是布氏硬度和洛氏硬度所不能的。此外，因压头是金刚石角锥，载荷可调范围大，对软、硬材料均适用。

4. 显微硬度

显微硬度实验原理与维氏硬度完全相同，但施加的实验载荷很小，所得压痕仅几微米到几十微米。显微硬度计的加载系统、测量系统以及压头精度都比维氏硬度计要求高，可用于测试金相组织中相的硬度，以及化学热处理和表面淬火等材料表层硬度大小的分布规律。显微硬度同样用符号 HV 表示。

各硬度实验法测得的硬度值不能直接进行比较，必须通过硬度换算表换算成同一种硬度值后，方可比较其大小。

金属材料的硬度与强度之间有着近似的对应关系。因为硬度是由起始塑性变形抗力和继续变形塑性抗力决定的，材料的强度越高，塑性变形抗力越高，硬度值也就越高。由此，对于不同材料的 HBS 与 σ_b 的关系，得出一系列经验公式：

低 碳 钢: $\sigma_b \approx 3.53\text{HBS}$	高碳钢: $\sigma_b \approx 3.33\text{HBS}$
合金调质钢: $\sigma_b \approx 3.19\text{HBS}$	灰铸铁: $\sigma_b \approx 0.98\text{HBS}$
退火铝合金: $\sigma_b \approx 4.70\text{HBS}$	

(五) 冲击韧度

许多机械零件和工具，在工作过程中往往受到冲击载荷的作用，如冲床的冲头、锻锤的锤杆和破碎机等。材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力称为冲击韧度，简称韧度。由于冲击载荷的加载速度大，作用时间短，使材料在受冲击时应力和变形的分布很不均匀，所以不能用材料在静载荷下的指标如强度、塑性等来衡量冲击韧度，必须引入新的指标。事实上，冲击载荷并不只是力的作用，还有力作用时的速度和时间，因此，材料抵抗这种载荷破坏的能力，当然要用破坏材料时所消耗功的大小来衡量。

用能量的方法衡量材料的冲击韧度，需在规定条件下进行一次冲击实验。其中应用最普遍的是一次冲击弯曲实验，或称一次摆锤冲击实验。

图 1-6 为一次摆锤冲击实验示意图。将被测试件制成如图 1-6 所示带缺口的标准试样并安放在摆锤冲击实验机的机座上，如图 1-6(a)所示。把具有重量 G 的摆锤提高到距试样高度为 H 的位置，如图 1-6(b) 所示，此时摆锤势能为 $G \cdot H$ ，然后使其下落，冲断试件后又上升到距原试样的高度为 h 处，摆锤剩余势能为 $G \cdot h$ ，冲断试件所做的功 A_k 称为冲击功，其值为

$$A_k=G \cdot (H-h)$$

其单位为焦(J)。试样被冲断在缺口处，若缺口原始截面积为 S ，则得冲击韧度 a_k 为

$$a_k=A_k/S$$

其单位为 J/cm^2 ，即把冲断单位面积所消耗的功作为材料的韧度指标。