



PUTONG GAODENG JIAOYU GUIHUA JIAOCAI

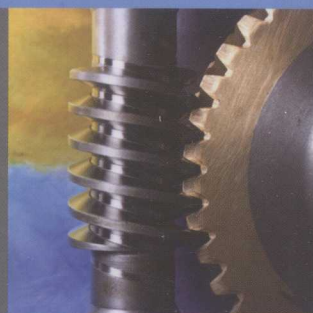
• 普通高等教育规划教材 •

[高校教材]

工程材料

高红霞 主编

ENGINEERING MATERIALS



中国轻工业出版社

普通高等教育规划教材

工 程 材 料

高红霞 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程材料/高红霞主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2009.9

普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5019-7078-0

I. 工… II. 高… 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 (2009) 第 124064 号

内 容 简 介

本书为普通高等教育机电工程类专业的技术基础课教材。以工程材料的成分、组织、工艺、性能、应用为主线, 阐明了工程材料的基本理论, 介绍了各种工程材料的性能及应用。

全书共 12 章, 包括工程材料的性能、金属材料的结构与组织、金属的塑性变形、金属的热处理、碳钢、合金钢、铸铁、有色金属、特殊金属材料、非金属材料、材料表面技术、零件材料的选用、附表。每章附有适量的思考题。

责任编辑: 王 淳 责任终审: 孟寿萱 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 王培燕 责任校对: 杨 琳 责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2009 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 15.5

字 数: 368 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-7078-0 定价: 26.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

90560JIX101ZBW

前 言

本书是为适应目前高等教育教学改革的需要,并根据高等学校机械类专业人才的培养要求而编写的,以加强基础、拓宽专业为宗旨,以提高学生创新能力、实际工作能力为目的,以培养适应目前社会需要的高素质人才为目标。

本书主要阐明了工程材料的基本理论,揭示了材料的成分、组成、性能、应用之间的决定关系;论述了金属材料的塑性变形强化、热处理强化等方法的原理及工艺;介绍了各种工程材料的特点及应用;总结了各种典型机械零件材料的选用等。

本书可作为高等学校机械类各专业以及模具制造、能源与动力、农业机械、过程装备、交通运输等近机类专业和高分子、电化学等材料加工相关专业的工程材料课程用书,也可作为成人教育及有关工程技术人员的学习和参考用书。

本书在参考同类教材的基础上,对教学内容进行了较大改进:

(1) 教材的系统化:对材料的基本理论部分及各种工程材料的介绍部分均按照成分、组织、性能、应用的思路编排教学内容,强化基本理论的理解及应用。

(2) 教材的新颖化:在材料内容扩展方面,加入了镁合金、非晶合金、单晶合金等实用的新材料部分,加入了热处理新工艺及材料表面处理新工艺。

(3) 教材的实用化:增加了加工工艺对材料组织性能的影响,增加了材料加工工艺路线的制订,增加了多种常用零件的选材及加工工艺路线,增加了实际生产应用的实例、图片、图表。

(4) 教材的精简化:突出重点教学内容,对金属内部结构部分及结晶分析等较深的理论进行精简,适应高校教学改革减少工科专业教学时数的要求。

本书力求语言简练,条理清晰,内容丰富,信息量大。以科学性和指导性为原则,既重视理论知识的阐述,又突出技术应用能力的培养。

本书由郑州轻工业学院高红霞教授主编,负责全书的统稿与审校。参加编写的还有郑州大学海伟,河南农业大学李云东、王栋,郑州轻工业学院郭长江,中原工学院彭竹琴、王锦燕。具体分工如下:高红霞编写绪论、第7章、第4章4.7~4.8节等,李云东编写第12章、第4章4.1~4.4节,彭竹琴编写第5章、第6章,海伟编写第1章、第2章、附表,郭长江编写第9章、第4章4.5~4.6节,王栋编写第8章、第11章,王锦燕编写第3章、第10章。

编写过程中得到了郑州轻工业学院栗富国、金增韬、渠满和有关院校及企业同志的大力支持,在此深表感谢!

由于作者水平有限,书中难免存在缺点和不妥之处,恳请各界同仁和广大读者批评指正。

编者

2009年4月

目 录

绪论	1
思考题	3
第1章 工程材料的性能	4
1.1 材料的力学性能	4
1.2 材料的物理化学性能	12
1.3 材料的工艺性能	13
思考题	14
第2章 金属材料的结构与组织	15
2.1 纯金属的结构与组织	15
2.2 合金的结构与组织	23
2.3 铁碳合金的结构与组织	33
思考题	45
第3章 金属的塑性变形强化	47
3.1 塑性变形的形式及过程	47
3.2 冷塑性变形对金属组织性能的影响	51
3.3 冷塑性变形金属加热后组织性能变化	52
3.4 热塑性变形对金属组织性能的影响	54
思考题	55
第4章 钢的热处理	56
4.1 钢的热处理概述	56
4.2 钢在加热时的组织转变	57
4.3 钢在冷却时的组织转变	60
4.4 钢的退火与正火	65
4.5 钢的淬火与回火	68
4.6 钢的表面热处理	75
4.7 钢的热处理新工艺	81
4.8 钢的热处理其它有关问题	86
思考题	90
第5章 碳钢	92
5.1 碳钢的成分及分类	92
5.2 碳钢成分与其组织、性能的关系	93
5.3 常用碳钢的牌号、性能及应用	94
思考题	99

第6章 合金钢	100
6.1 合金钢的成分、组织、性能及应用	100
6.2 合金钢的分类与牌号	103
6.3 合金结构钢	104
6.4 合金工具钢	113
6.5 特殊性能钢	119
思考题.....	124
第7章 铸铁	125
7.1 铸铁的成分、分类、组织、性能及应用	125
7.2 常用铸铁	128
思考题.....	137
第8章 有色金属	139
8.1 铝及其合金	139
8.2 铜及其合金	146
8.3 钛及其合金	151
8.4 镁及其合金	153
8.5 轴承合金	156
思考题.....	158
第9章 特殊金属材料	160
9.1 粉末烧结合金	160
9.2 非晶态合金	164
9.3 高温合金	166
9.4 耐热单晶合金	168
9.5 超塑性合金	169
9.6 形状记忆合金	171
思考题.....	174
第10章 非金属材料	175
10.1 工程塑料.....	175
10.2 橡胶.....	184
10.3 工程陶瓷.....	185
10.4 复合材料.....	190
思考题.....	198
第11章 材料表面技术	199
11.1 电镀、电刷镀及化学镀.....	199
11.2 热喷涂.....	204
11.3 气相沉积.....	207
11.4 激光熔覆.....	209
思考题.....	210
第12章 零件材料的选用	211

12.1 零件的失效分析.....	211
12.2 选用材料的一般原则.....	213
12.3 典型零件的选材及工艺分析.....	216
思考题.....	225
附表.....	226
参考文献.....	237

绪 论

0.1 工程材料的地位

0.1.1 工程材料的社会地位

材料是人类生活和生产的物质基础，是衡量人类社会文明程度及生产力发展水平的标志。因此，历史学家按照人类使用材料的种类和性质差异，把历史时代分为石器时代、青铜器时代、铁器时代……，目前社会正处于铁器时代向新材料（新型高性能结构材料、机敏智能功能材料等）过渡的时代。

近代科学技术的发展足迹时刻记录着材料所做出的卓越贡献。18 世纪 60 年代蒸汽机的出现，引发了以机器为动力的工业机械化。19 世纪 70 年代，由于电磁场理论的发展而导致电动机、发电机的大量采用，从而出现了以电为动力的工业电气化。20 世纪四项重大发现，即原子能、半导体、计算机、激光器的发展及应用，带动了高度信息的工业自动化。如果没有钢铁材料、有色金属材料以及非晶、微晶、纳米材料、陶瓷、高分子材料及人工智能材料提供物质保证，这一切都难以实现。

材料、信息、能源是社会的三大支柱，而信息、能源的发展又依赖于材料的发展，因此材料科学在社会上占有举足轻重的地位，材料的品种、数量和质量是衡量一个国家科学技术和国民经济水平及国防实力的重要标志之一。

0.1.2 工程材料在机械工业中的地位

目前机械工业正朝着高速、自动、精密方向迅速发展，对材料的数量和质量都提出了越来越高的要求。在机械产品的设计和制造过程中，所遇到的工程材料方面的问题日益增多，机械工业与材料学科之间的关系愈加密切。实践表明，合理选用材料、适当确定热处理工艺、妥善安排工艺路线，在充分发挥材料本身的性能潜力、保证材料具有良好的加工工艺性能、获得理想的使用性能、提高产品零件的质量、节省材料、降低生产成本等方面有着重大的影响。实际工作中，往往由于选材不当或热处理不妥，使机械零件的使用性能达不到规定的技术要求，而导致使用中发生过早损坏，如产生变形、断裂、磨损等。因此，工程材料知识对于机械制造工作者来说是必须具备的。

0.2 工程材料的分类及应用

工程材料是指具有一定性能，在特定条件下能够承担某种功能，被用来制取零件和元件的材料。工程材料种类繁多，有许多不同的分类方法。

0.2.1 按材料的化学组成分类

(1) 金属材料 金属材料可以分为黑色金属（钢和铸铁）及有色金属（除钢铁之外的金属材料）。有色金属种类很多，按照它们的特性不同，又分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属和放射性金属等多种。目前金属材料仍然是应用最广泛的工程材料。

(2) 无机非金属材料 无机非金属材料包括水泥、玻璃、耐火材料和陶瓷等。它们的主要原料是硅酸盐产物，又称硅酸盐材料，因为不具备金属性质也称无机非金属材料。

(3) 高分子材料 高分子材料按材料来源可分为天然高分子材料（蛋白、淀粉、纤维素等）和人工合成高分子材料（合成塑料、合成橡胶、合成纤维），按性能及用途可分为塑料、橡胶、纤维、胶黏剂等。

(4) 复合材料 由于多数金属材料不耐腐蚀，无机非金属材料脆性大，高分子材料不耐高温，人们把上述两种或两种以上的不同材料组合起来，取长补短，提高性能，就构成了复合材料。复合材料由基本材料和增强材料复合而成。基本材料有金属、塑料、陶瓷等，增强材料有各种纤维和颗粒。

0.2.2 按材料的使用性能分类

(1) 结构材料 结构材料是具有较高的强度、刚度、塑性、韧性、硬度、疲劳强度、耐磨性等力学性能，用来制造承受载荷、传递动力的零件和构件的材料。结构材料在机械制造、石油化工、交通运输、航空航天、建筑工程等行业占有举足轻重的地位，其可以是金属材料、高分子材料、陶瓷材料或复合材料。

(2) 功能材料 功能材料是具有优良的光、声、电、磁、热等物理性能，用来制造具有特殊性能的元件的材料，如大规模集成电路材料、信息记录材料、光学材料、激光材料、超导材料、传感器材料、储氢材料等都属于功能材料。目前功能材料在通讯、计算机、电子、激光和空间科学等领域中扮演着极其重要的角色。

0.3 工程材料课程的主要内容

本课程的内容有金属学原理、金属材料的强化、金属材料表面技术、各种工程材料等。

0.3.1 金属学原理

阐述金属和合金的成分、组织、结构、性能、应用之间的关系。

0.3.2 金属材料的强化

阐述金属材料的塑性变形强化及热处理强化的基本原理和工艺。

0.3.3 金属材料表面技术

介绍提高金属材料表面耐磨性、耐蚀性、耐热性等特殊性能的各种表面改性方法、工艺及应用。

0.3.4 各种工程材料

介绍常用的碳钢、铸铁、合金钢、铝合金、铜合金、钛合金、镁合金、轴承合金等金属材料，以及常用工程塑料、工程陶瓷、复合材料的成分、组织、性能、应用。

0.4 工程材料课程的任务

工程材料的性能与其成分和组织以及加工工艺之间的关系是非常密切的。热处理实际上是通过改变组织而使金属材料性能发生变化的一种加工工艺。工程材料课程的基本任务就在于建立材料的成分、组织、热处理工艺、性能之间的关系，找出其内在的规律，以便通过控制材料的成分和加工工艺过程来控制其组织，提高其性能，或研制具有某种性能的新材料。近年来，在材料研究方面，由于新的测试仪器的发明，使金属的研究进入了更为微观的范畴。为了对金属内部构造、缺陷等细微的组织进行研究，以期对许多现象有进一步的了解，许多先进的技术，如电子显微镜、X 射线衍射、放射性同位素、超声波、声发射等在金属研究中都得到了应用。

0.5 工程材料课程的目的和要求

工程材料课程是机械设计及制造、模具制造、化工工程、食品工程、能源与动力工程等各专业的一门技术基础课，其主要目的是使学生获得有关工程材料的基本理论，了解常用工程材料的成分、组织、热处理工艺、性能之间的关系，了解热处理工艺在零件加工工艺过程中的地位和作用，以便在学习本门课程之后，使学生具有合理选用材料、正确选用热处理工艺方法、妥善安排工艺路线等方面的初步能力。

本课程是一门实践性较强的课程，学习课程前学生应经过金工教学实习方面的基本训练，在工程材料方面有一定的感性认识。课程讲授过程应结合生产应用实际，并配合课堂讨论及实验教学。

思考题

1. 材料科学的重要地位与作用是什么？
2. 工程材料的种类有哪些？
3. 本课程的内容与任务是什么？

第 1 章 工程材料的性能

为正确使用工程材料，制造出具有高性能低成本的产品，应充分了解和掌握材料的性能。材料的性能主要包括力学性能、物理化学性能和工艺性能。

1.1 材料的力学性能

材料的力学性能亦称机械性能，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、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

1.1.1 强 度

材料在外力作用下抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度，是非常重要的力学性能指标，常采用拉伸试验方法测定。

1.1.1.1 拉伸试验

拉伸试验是在材料拉伸试验机上用静拉力对拉伸试样进行轴向拉伸的试验。将标准试样装在拉伸试验机的上下夹头上，开动拉伸试验机，缓慢加载拉伸，随载荷增加，试样逐渐伸长直至拉断。

(1) 拉伸试样 试验采用的拉伸试样通常为圆柱形，其尺寸符合国家标准。拉伸试样如图 1-1 所示， d_0 为标准试样的原始直径， L_0 为标准试样的原始标距长度； d_1 为试样断口处的直径， L_1 为拉断试样对接后测出的标距长度。试样有短试样（ $L_0 = 5d_0$ ）和长试样（ $L_0 = 10d_0$ ）两种，且 L_0 和 d_0 有规定的标准值，一般 L_0 为 100mm 或 50mm。

(2) 拉伸曲线 拉伸试验时，记录装置会记录下拉伸过程中拉力（ F ）与伸长量（ ΔL ）的关系曲线，即拉伸曲线。图 1-2 为退火低碳钢的拉伸曲线形态。

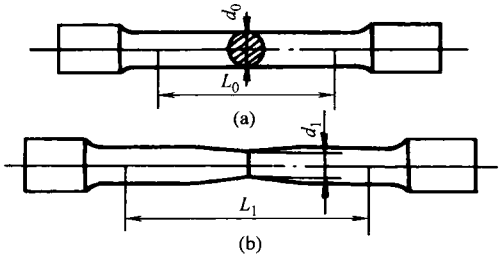


图 1-1 拉伸试样

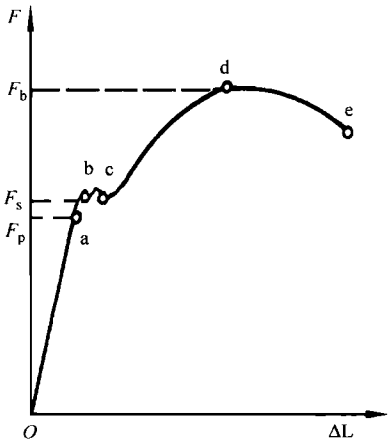


图 1-2 退火低碳钢的拉伸曲线

由拉伸曲线可知, $F=0$ 时 $\Delta L=0$, 拉力增大到 F_p 的过程中, 试样的伸长量 ΔL 与拉力 F 之间成正比例关系, 在拉伸曲线上表现为一条斜直线 oa 。在此范围内卸除载荷, 试样能完全恢复到原来的形状与尺寸, 即试样处于弹性变形阶段。图中 F_p 是试样保持弹性变形的最大拉力。

当拉力不断增加超过 F_p 时, 试样将产生塑性变形, 卸载后变形不能完全恢复, 塑性伸长将被保留下来。当拉力继续增加到 F_s 时, 拉伸曲线在 b 点后出现水平或锯齿形线段, 表示拉力不再增加的情况下, 试样也会继续伸长, 这种现象称为“屈服”, 水平段称为屈服阶段。

当拉力超过 F_s 后, 拉伸曲线上表现为一段上升曲线, 表示随着塑性变形量的增大, 试样变形抗力也逐渐增大, 即试样抵抗变形的能力将增强。此阶段称为冷变形强化阶段。

当拉力增至最大值 F_b 时, 试样伸长量迅速增大且伸长集中于试样的局部长度段, 使局部截面迅速减小, 形成“缩颈”现象。由于缩颈处截面的急剧缩小, 单位面积承载大大增加, 最后到 e 点试样被拉断。此阶段为局部塑性变形与断裂阶段。

(3) 应力-应变曲线 由于拉伸过程中试样所受的拉力与伸长量不仅与试样本身的性能有关, 还与试样的尺寸有关, 为表示试样的真实受力及变形程度, 常用到应力、应变的概念。试样单位面积上承受的力称为“应力”, 用 σ 表示, 即拉力除以试样的原始横截面积; 试样的变形量与原始长度的百分比称为“应变”, 用 ϵ 表示, 即变形量除以原始长度乘以百分之百。拉伸曲线可转变为与之形状相似的应力-应变曲线 (σ - ϵ 曲线)。图 1-3 为退火低碳钢的应力-应变曲线形态。应力-应变曲线的形态与拉伸曲线完全相似, 只是坐标与数值不同, 但它不受试样尺寸影响, 可以直接显示材料的一些力学性能。

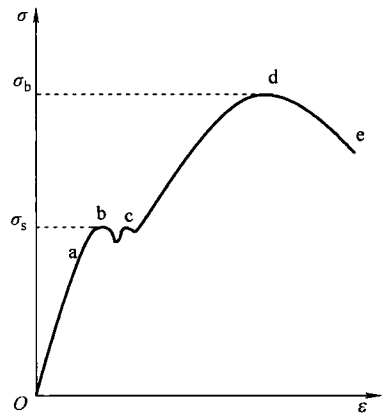


图 1-3 退火低碳钢的应力-应变曲线

1.1.1.2 强度指标

强度是指材料抵抗塑性变形或断裂的能力。强度指标一般用应力来度量。常用的强度指标有屈服强度与抗拉强度等, 可由应力-应变曲线直接得出。

(1) 屈服强度 (屈服极限) 屈服强度是指材料对塑性变形的抵抗能力, 是试样在拉伸试验过程中产生屈服时的应力, 即对应于 F_s 时的应力值, 用符号 σ_s 表示, 单位为 MPa (N/mm^2)。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-1)$$

式中 F_s ——试样屈服时的拉伸力 (N)

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)

工业上使用的一些金属材料, 如高碳钢、铝合金等, 在进行拉伸试验时屈服现象不明显, 也不会产生缩颈现象, σ_s 测定很困难, 因此规定一个相当于屈服强度的强度指标, 以产生 0.2% 塑性变形量时的应力值定为其屈服强度, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

金属零件和结构在工作中一般是不允许产生塑性变形的，所以设计零件、结构时屈服强度 σ_s 是重要的设计依据。

(2) 抗拉强度（强度极限） 抗拉强度是指材料对断裂的抵抗能力，是试样断裂前能承受的最大应力值，用符号 σ_b 表示，单位为 MPa。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1-2)$$

式中 F_b ——试样承受的最大拉伸力 (N)

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)

σ_b 是材料由均匀塑性变形向局部集中塑性变形过渡的临界值，也是材料在静拉伸条件下的最大承载能力。抗拉强度表示材料抵抗断裂的最大能力，测试数据较准确，因此，有关手册和资料提供的设计、选材的强度指标是抗拉强度 σ_b 。

(3) 刚度 刚度是指材料对弹性变形的抵抗能力，是试样产生单位弹性变形所需的力。对应于应力-应变曲线上的弹性变形阶段应力与应变的比值，即直线 oa 的斜率（图 1-3）。刚度也称为弹性模量，用 E 表示， $E = \sigma/\varepsilon$ 。有些精密零件对变形要求较高，甚至连弹性变形都不允许，设计零件时需考虑材料的刚度。

1.1.2 塑 性

塑性是指断裂前材料产生塑性变形的能力。塑性也是通过拉伸试验测试的，用拉伸试样断裂时的最大相对变形量来表示金属的塑性指标，常用断后伸长率和断面收缩率表示。

1.1.2.1 断后伸长率

拉伸试样在进行拉伸试验时，在拉力的作用下产生不断伸长的塑性变形。试样拉断后的伸长量与试样原始长度的百分比称为断后伸长率，用符号 δ 表示。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 L_1 ——试样拉断后的长度 (mm)

L_0 ——试样原始长度 (mm)

使用长试样测定的断后伸长率用符号 δ_{10} 表示，通常写成 δ ；使用短试样测定的断后伸长率用符号 δ_5 表示。同一种材料的断后伸长率 δ_{10} 和 δ_5 数值是不相等的，一般短试样 δ_5 都大于长试样 δ_{10} 。不同材料进行比较时，必须是相同标准试样测定的数值才有意义。

1.1.2.2 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比。断面收缩率用符号 ψ 表示。

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)

S_1 ——试样拉断后断口的横截面积 (mm^2)

机械零件工作时突然超载，如果材料塑性好，就能先产生塑性变形而不会突然断裂破坏。所以，大多数机械零件，除满足强度要求外，还必须有一定的塑性。但是，铸铁、陶瓷等脆性材料，塑性极低，拉伸时几乎不产生明显的塑性变形，超载时会突然断裂，使用

时必须注意。

1.1.3 硬 度

硬度是指材料表面抵抗硬物压入的能力，即材料表面受压时抵抗局部塑性变形的能力。硬度是应用非常广泛的力学性能指标，它可以反映出材料的强度和塑性，因此在零件图上常常标注硬度指标作为技术要求。

常用硬度测定方法有压入法、划痕法等，其中压入法的应用最为普遍。压入法是在规定的静态试验力作用下，将压头压入材料表面层，然后根据压痕的面积大小或深度测定其硬度值。用压入法测材料硬度，常用的方法有布氏硬度（HBS 或 HBW）、洛氏硬度（HRA、HRB、HRC）和维氏硬度（HV）试验法。

1.1.3.1 布氏硬度

布氏硬度的试验原理如图 1-4 所示。用一定直径 D 的淬火钢球或硬质合金球，以规定的试验力 F 压入试样表面，保持规定的时间后，去除试验力，测量试样表面的压痕直径 d ，然后根据压痕直径 d 计算其硬度值。

布氏硬度值是指压痕球面积上所产生的平均抵抗力。选择淬火钢球压头时，用符号 HBS；选择硬质合金球压头时，用符号 HBW 表示。布氏硬度值可用下式计算：

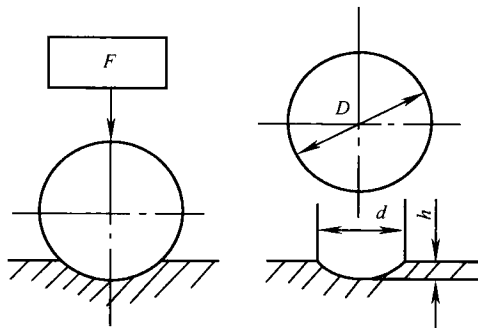


图 1-4 布氏硬度试验原理图

$$\text{HBS (HBW)} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-5)$$

式中 F ——试验力（N，单位用 kgf 时，去掉 0.102）

D ——球体直径（mm）

d ——压痕直径（mm）

式（1-5）中只有 d 是变量，因此试验时只要测量出压痕直径，就可通过计算或查布氏硬度表得出 HBS（HBW）值。布氏硬度计算值一般都不标出单位，只写明硬度的数值。

为适应各种硬度级别及各种厚度的金属材料的硬度测试，GB 231—1984《金属布氏硬度试验方法》规定了各种材料的试验条件，如表 1-1。进行布氏硬度试验时，压头直径 D 、试验力 F 和保持时间应根据被测金属种类和厚度正确地进行选择。一般材料，布氏硬度值小于 450 时选用淬火钢球压头，布氏硬度值在 450 ~ 650 时选用硬质合金压头。目前，我国布氏硬度试验常用的压头主要是淬火钢球。

布氏硬度的标注方法是：硬度值标注在硬度符号的前面，在硬度符号的后面用相应的数字注明压头直径、试验力大小和试验力保持时间。当钢球直径 D 为 10mm、试验力为 3000kgf（29.42kN）、保持时间为 10 ~ 15s 的试验条件时，试验条件可以不标明。例如：150HBS10/1 000/30 表示：用直径为 10mm 的淬火钢球，在 1000kgf（9.807kN）试验力作

用下保持 30s 测得的布氏硬度值为 150；500HBW5/750 表示：用直径为 5mm 的硬质合金球，在 750kgf（7.355kN）试验力作用下保持 10～15s 测得的布氏硬度值为 500。

表 1-1 金属布氏硬度试验规范

金属种类	布氏硬度值范围 HBS (HBW)	试样厚度 /mm	$0.102F/D^2$	压头直径 D /mm	试验力 /kN (kgf)	试验力保持 时间/s
黑色金属	140 ~ 150	6 ~ 3	30	10.0	29.42 (3000)	12
		4 ~ 2		5.0	7.355 (750)	
		<2		2.5	1.839 (187.5)	
	< 140	>6 6 ~ 3	10	10.0 5.0	9.807 (1000) 2.452 (250)	12
有色金属	> 130	6 ~ 3	30	10.0	29.42 (3000)	30
		4 ~ 2		5.0	7.355 (750)	
		<2		2.5	1.839 (187.5)	
	36 ~ 130	9 ~ 3	10	10.0	9.807 (1000)	30
		6 ~ 3		5.0	2.452 (250)	
	8 ~ 35	>6	2.5	10.0	2.452 (250)	60

由于布氏硬度测定的是较大压痕面积上的平均受力，因此不受材料内部组成物细微不均匀性的影响，测得的硬度值比较准确，数据重复性强。由于布氏硬度压痕大，对材料表面的损伤也较大，硬度高的材料、薄壁工件和表面要求高的工件，不宜用布氏硬度测试。布氏硬度测定通常适用于有色金属、低碳钢、灰铸铁和经退火、正火和调质处理的中碳结构钢等。

1.1.3.2 洛氏硬度

洛氏硬度也是用压入法测定的，试验原理如图 1-5 所示。以锥角为 120°的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球作压头压入试样表面，先加初试验力 F_1 (98N)，再加主试验力 F_2 ，压入试样表面后去除主试验力，在保留初试验力的情况下，根据试样压痕深度来衡量金属的硬度大小。

图 1-5 中 0—0 位置为金刚石压头还没有和试样接触时的原始位置；1—1 为加上初试验力 F_1 后压入试样的位置；2—2 为压头受到总试验力 F 后压入试样的位置；经规定的保持时间，卸除主试验力 F_2 ，仍保留初试验力 F_1 ，试样弹性变形的恢复使压头上升至 3—3 位置。此时压头受主试验力作用压入的深度为 e ，金属越硬， e 值越小。为适应人们习惯上数值越大硬度越高的观念，故人为地规定一常数 K 减去压痕深度 e 作为洛氏硬度指标，并规定每一个洛氏硬度实验单位为 0.002mm，则洛氏硬度值为

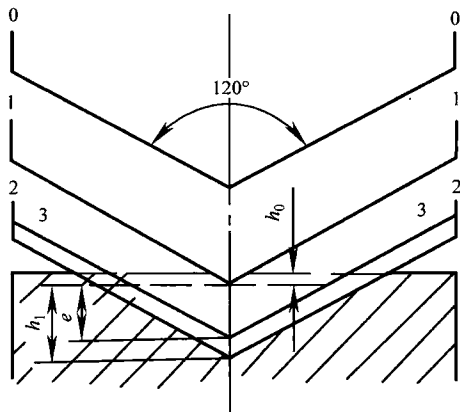


图 1-5 洛氏硬度试验原理图

$$HR = \frac{K - e}{0.002} \quad (1-6)$$

式中压痕深度 e 的单位为 mm。使用金刚石圆锥体压头时，常数 K 为 0.2；使用淬火钢球压头时，常数 K 为 0.26。由压痕深度可换算出硬度的数值，从洛氏硬度计表盘上可直接读出硬度值。

洛氏硬度根据试验时选用的压头类型和试验力大小的不同，分别采用不同的标尺进行标注。常采用的标尺有 A、B、C，试验条件及应用范围见表 1-2。洛氏硬度的标注方法为：硬度数值写在硬度符号 HR 的前面，后面写使用的标尺，如 52 HRC 表示用“C”标尺测定的洛氏硬度值为 52。

洛氏硬度测定方便快捷，测量的硬度范围大，对试样表面损伤小，广泛应用于各种材料以及薄小工件、表面处理层的测定。但由于压痕小，受内部组织和性能不均匀的影响，测量的准确性较差。所以在测试洛氏硬度时，通常都选取不同位置的三点测出硬度值，再计算平均值作为被测金属的硬度值。

表 1-2 洛氏硬度试验规范

硬度符号	压头类型	总试验力 $F_{\text{总}}/\text{kg (N)}$	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥体	60 (588.4)	60 ~ 88	硬质合金，表面淬火、渗碳钢等
HRB	$\phi 1.588\text{mm}$ 淬火钢球	100 (980.7)	20 ~ 100	有色金属，退火、正火钢等
HRC	120°金刚石圆锥体	150 (1471.1)	20 ~ 70	淬火钢、调质钢等

1.1.3.3 维氏硬度

维氏硬度也是根据压痕单位面积承受的压力来测量的，其原理如图 1-6。将夹角为 136°的正四棱锥体金刚石压头，以选定的试验力压入试样表面，保持规定的时间后，去除试验力，在试样表面上压出一个正四棱锥形的压痕，测量压痕两对角线的平均长度，计算硬度值。维氏硬度是用正四棱锥形压痕单位面积上承受的平均压力表示硬度值，用符号 HV 表示。维氏硬度的计算式为

$$HV = 0.1891 \times \frac{F}{d^2} \quad (1-7)$$

式中 F ——试验力 (N)

d ——压痕两条对角线长度算术平均值 (mm)

试验时，用显微镜测出压痕的对角线长度，算出两对角线长度的平均值后，查表可得出维氏硬度值。

维氏硬度的标注方法为：硬度数值写在符号的前面，试验条件写在符号的后面。对于钢及铸铁，当试验力保持时间为 10 ~ 15s 时，可以不标出。例如：600HV30 表示：用 30kgf 试验力保持 10 ~ 15s 测定的维氏硬度值为 600；640HV30/20 表示：用 30kgf 试验力保持 20s 测定的维氏硬度值为 640。

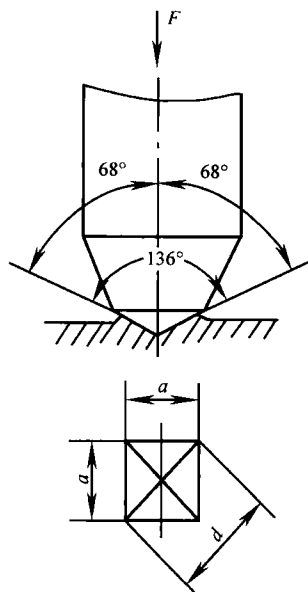


图 1-6 维氏硬度试验原理图

维氏硬度测试的精度高、测量范围大，所以适用于各种硬度范围的金属，特别是极薄零件和渗碳、渗氮工件的硬度测定。但其操作较为复杂、测量效率不高，不适于大批量工件的硬度测定。

1.1.4 冲击韧性

对于在冲击载荷条件下工作的机器零件和工具，如活塞销、锤杆、冲模、连杆等，由于冲击载荷的速度高、作用时间短，易引起工件材料的局部变形和断裂。进行选材或设计时，必须考虑其冲击韧性，即材料抵抗冲击载荷的能力。材料的冲击韧性是通过冲击试验测试的。

1.1.4.1 冲击试验

冲击试验的测试原理如图 1-7 所示。

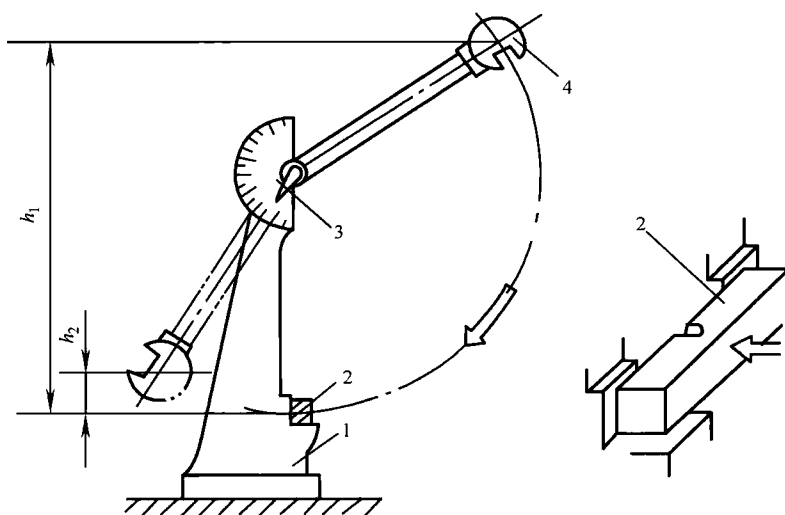


图 1-7 冲击试验原理图

1—固定支座 2—带缺口的试样 3—指针 4—摆锤

试验时，将带有缺口（如 V 形缺口）的试样放在试验机的机架上，使其缺口位于两固定支座中间，并背向摆锤的冲击方向。将一定质量的摆锤升高到 h_1 ，使摆锤具有一定的势能 A_{k1} ，使其自由落下将试样冲断后，摆锤继续升高到 h_2 ，此时摆锤的势能为 A_{k2} 。摆锤冲断试样所消耗的势能 A_k (J) 为

$$A_k = A_{k1} - A_{k2} \quad (1-8)$$

A_k 就是规定形状和尺寸的试样在冲击试验力一次作用下断裂时所吸收的功，称为冲击功。 A_k 可以从试验机的刻度盘上直接读出。

1.1.4.2 冲击韧性

用试样断口处截面积 S (cm^2) 去除 A_k (J)，即得到冲击韧性 a_k ，单位为 J/cm^2 。

$$a_k = \frac{A_k}{S} \quad (1-9)$$