

工程材料及 机械制造基础

I

(工程材料)

相瑜才 孙维连 主编



机械工业出版社

工程材料及机械制造基础 I

(工 程 材 料)

相瑜才 孙维连 主 编
林 兵 孙新学 副主编

ND30/31



机械工业出版社

本书是根据国家教委高教司 [1995] 82 号通知关于《高等学校工科工程材料及机械制造基础教学基本要求》的精神,并在参考有关院校教材的基础上,结合作者多年来的教学实践而编写的。全书共分 12 章,主要内容有:金属的力学性能,金属学基本知识,铁碳合金相图与碳素钢,钢铁热处理,钢铁表面处理,合金钢,有色金属,铸铁,非金属材料,机械零件选材及工艺分析,工程材料实验指导等。每章附有复习思考题。

本书可作为高等工业院校机械专业本科和专科及成人高教教材。亦可作为有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程材料及机械制造基础 (I): 工程材料/相瑜才,
孙维连主编. —北京: 机械工业出版社, 1997. 11

ISBN 7-111-05809-7

I. 工… II. ①相… ②孙… III. ①工程材料②机械制
造工艺③金属加工 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 13537 号

出版人: 马九荣 (北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 吴天培 版式设计: 张世琴 责任校对: 唐海燕

封面设计: 姚毅 责任印制: 卢子祥

机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·13.5 印张·324 千字

0 001—5 000 册

定价: 20.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

工程材料及机械制造基础系列教材 编 委 会

主任委员 赵三元 李凤昌

副主任委员 (按姓氏笔划排列)

王春旭 邝朴生 李振兴 裴鸿昌

委 员 (按姓氏笔划排列)

王荣声 王俊昌 田振祥 史廷春

孙维连 孙新学 安 墀 刘景武

陈玉琨 林 兵 赵云筑 张晓茹

相瑜才 梁建明 彭泽田 谭建波

前 言

本教材是依据国家教委高教司 [1995] 82 号通知精神编写的《工程材料及机械制造基础》系列教材（共四册）之一。与之配套的有机械工业出版社出版的《工程材料及机械制造基础Ⅰ（热加工工艺基础）》（王俊昌、王荣声主编），《工程材料及机械制造基础Ⅱ（机械加工工艺基础）》（陈玉琨、赵云筑主编），《工程材料及机械制造基础（实习教材）》（王荣声、陈玉琨主编）。

本教材主要内容为机械工程常用材料及热处理的有关技术基础知识。是高等学校工科机械专业必修的技术基础课。

本教材所用的名词术语、材料牌号、单位等均采用国家最新标准。在教材内容选取上注意了生产实用性和可自学性，所以，也可以作为有关工程技术人员的技术参考书。

根据 [1995] 82 号通知第 8 条“了解钢铁材料表面处理方法”的要求，增加了有关内容。

本教材由相瑜才、孙维连任主编，林兵，孙新学任副主编。

田振祥教授担任主审。

本教材部分金相照片由席朵、李湘芹同志提供。

限于编者水平及时间紧迫，错误和不妥之处恳切希望读者批评指正。

编 者

目 录

前言		
绪论	1	
第一章 金属材料的力学性能	1	
第一节 静载荷条件下材料的力学性能	1	
第二节 非静载荷时材料的力学性能	8	
第三节 金属材料的断裂韧度	10	
第四节 高温下材料的力学性能	11	
复习思考题	12	
第二章 金属的晶体结构	13	
第一节 纯金属的晶体结构	13	
第二节 合金的晶体结构	20	
复习思考题	25	
第三章 金属的结晶与二元合金相图	26	
第一节 金属结晶的基础知识	26	
第二节 合金结晶与二元合金相图	31	
第三节 合金的性能与相图的关系	40	
复习思考题	42	
第四章 金属的塑性变形与再结晶	43	
第一节 金属塑性变形的微观机制	43	
第二节 塑性变形对金属组织和性能影响	47	
第三节 加热对冷变形金属的组织 and 性能的影响	49	
第四节 金属的热变形加工	53	
复习思考题	54	
第五章 铁碳合金相图及碳素钢	56	
第一节 铁碳合金中的相与基本组织	56	
第二节 铁碳合金相图	59	
第三节 碳素钢	70	
复习思考题	79	
第六章 钢的热处理及表面处理	80	
第一节 概述	80	
第二节 钢在加热时的组织转变	81	
第三节 钢在冷却时的组织转变	82	
第四节 钢的退火与正火	91	
第五节 钢的淬火	93	
第六节 钢的淬透性	96	
第七节 钢的回火	99	
第八节 钢的表面淬火	101	
第九节 钢的化学热处理	101	
第十节 热处理零件的结构工艺性	108	
第十一节 钢铁的表面处理	110	
复习思考题	113	
第七章 合金钢	111	
第一节 合金元素在钢中的作用	111	
第二节 合金钢的分类与编号	117	
第三节 合金结构钢	118	
第四节 合金工具钢	129	
第五节 特殊性能钢	139	
第六节 硬质合金简介	146	
复习思考题	147	
第八章 铸铁	149	
第一节 概论	149	
第二节 常用铸铁	150	
第三节 合金铸铁	156	
复习思考题	158	
第九章 有色金属及其合金	159	
第一节 铝及其合金	159	
第二节 铜及其合金	166	
第三节 钛及其合金	171	
第四节 滑动轴承及其合金	173	
复习思考题	177	
第十章 非金属材料	178	
第一节 塑料	178	
第二节 橡胶	181	
第三节 复合材料	183	
第四节 陶瓷	185	
复习思考题	187	
第十一章 机械零件的选材及工艺分析	188	
第一节 机械零件的失效分析	188	

第二节 机械零件的选材	190	组织观察	202
第三节 典型零件选材及工艺分析	192	附录	205
复习思考题	197	附录 A 金属材料硬度与强度的经验	
第十二章 实验指导书	198	关系式	205
实验一 铁碳合金平衡组织分析	198	附录 B 常用钢种回火温度与硬度	
实验二 碳素钢的热处理	200	对照表	206
实验三 常用金属材料的显微		参考文献	207

绪 论

材料是人类生产和生活的物质基础。它可以直接反映出人类社会的文明程度。人类发展的历史上就有以材料命名的时代。如：石器时代，青铜器时代，铁器时代等。在现代科学技术中，材料科学技术是基础，其重要性是显然的。材料按工业工程来分有：机械工程材料，土建工程材料，电工材料等等；按物质结构分有：金属材料，无机非金属材料，有机高分子材料，复合材料等；按用途分有结构材料，功能材料等。本教材主要涉及的是机械工程材料，并按物质结构及用途进行简明阐述。在机械工程材料中金属材料目前仍是最主要的材料。尤其是钢铁材料在机械工程中仍占首要地位。本书重点阐述的内容仍放在钢铁材料方面。近年来，非金属材料尤其是高分子材料发展迅速，在机械工程中的地位不断上升，本书专设一章加以介绍。

金属材料的性能与其化学成分，显微组织及加工工艺之间有着密切关系，了解它们之间的关系，掌握它们之间的一些变化规律，是有效使用材料所必需的。本书在概括地阐述合金的一般规律基础上，以最常用的金属材料——钢为实例，较详细地介绍钢的性能与化学成分、显微组织和热处理工艺之间的关系。钢的热处理是机械制造中重要的加工工序，它决定着产品的内在质量。

材料既是一门古老的学科，又是一个不断焕发青春的学科，它既具有 5000 年的悠久历史，又处于当今科学技术中的主导地位。在材料的生产和使用方面我们的祖先有过辉煌的成就。商周时代青铜冶炼已达到相当大的规模，能够铸造出 875kg 的司母戊鼎。到春秋战国时期已达到技术顶峰。著名的越王剑其制造水平令人惊讶！到汉朝我国发明了炒钢法，这是一种古老的炼钢法。直到世界工业革命之前，我国的材料生产和应用一直处于世界领先地位。

18 世纪后，随着物理，化学，力学等科学的发展，尤其是显微镜的发明并用于金属材料的研究中，使金属材料成为一个独立的金属学科学体系。从此使金属材料的生产和应用由感性经验阶段进入理论指导阶段，产生了最初的金属理论。直到 20 世纪，由于 X 光技术，电子显微镜技术，同位素技术等应用成功，使材料科学进入了新的时代。推出了象“位错”，“断裂物理”等一系列新的金属理论。由于现代科学技术的发展，促进和支持了材料工业的迅速发展，新材料，新工艺不断涌现。而且伴随着金属材料的发展一些非金属材料，复合材料也迅速发展起来，弥补了金属材料性能的某些不足。在机械制造业中这些新材料的份额逐渐在增加。金属材料和非金属材料及复合材料构成了完整的工程材料体系。

除结构材料外，功能性材料也在迅速发展，如：高温超导材料，激光材料，磁性材料，电子材料，形状记忆材料等等。随着材料科学技术的发展和应用，促进机械制造业的飞跃。现代设计与制造的机械已不是原来意义上的单纯机械了，已经发展到机电一体化的阶段。将来也可能把某些功能材料纳入机械工程材料之列（本书暂不涉及这些功能材料）。

本书的内容是根据国家教委对机械类专业本科的“工程材料及机械制造基础课程教学基本要求”编写的。

本课程是机械专业学生的技术基础课。它是一门偏于叙述性质的课程，既具有高度浓缩

的基础理论知识，更具有实践性很强的应用技术知识。对于缺乏实践经验和感性知识的学生既会有新鲜感又有生疏难学之苦。为了教好学好这门课程，教师在课堂教授时应适当列举一些生活中学生熟悉的例子，来帮助学生有关概念和知识的理解，同时学生必须进行金工实习，并且配合必要的材料实验课。

这门课涉及的内容是颇有广度，但欠深度，概念、符号相对多了一些。这门课不象数学课有严谨的逻辑性和绝对性。而是广泛存在着合理与不合理，先进与不先进，可行与不可行等需要因时因地适当选择问题。而不是绝对的非此即彼。这无疑会使学生们感到有难度。也正因为如此，学好这门课除了使学生得到一些有关的技术知识外，还会有效地促进学生思维方法逐渐成熟，克服绝对化、片面性。使学生认识到事物的复杂性和对时空的相对性。这显然对学生的成材颇益。在教与学过程中对此应给予重视。

本课程是某些后继课程和课程设计及毕业设计的基础。而且也会在这些后继课的教学环节中通过对材料应用，使之对工程材料的知识得到进一步巩固和提高。

本书也可以作为机械专科学生和成人教育的教材。

第一章 金属材料的力学性能

在机械工程中金属材料主要是作为结构材料来使用。其使用性能中的力学性能显然是最主要的。所谓力学性能是指材料抵抗外力作用的能力。由于外力性质不同，因而需用多种力学性能指标来表达材料的相应力学性能。这些力学性能指标通常都是采用相应的专用试验设备来测量。常用材料的主要力学性能的标准数据都记载在各种材料手册和设计手册中。材料的力学性能是机械设计计算、材料选用、工艺评定、材料检验的主要依据。材料生产企业和用户都需要对具体材料进行力学性能的测试和检验。主要是测定材料的强度、塑性、韧性、硬度等。

第一节 静载荷条件下材料的力学性能

静载荷是指对材料缓慢地施加载荷，使材料相对变形速度较小（一般是小于 10^{-2} mm/s）。常见的静载荷施加方式有：拉伸、压缩、弯曲、扭转等。相应的材料强度指标有：抗拉强度（ σ_b ）、抗压强度（ σ_{bc} ）、抗弯强度（ σ_{bb} ）、抗剪强度（ τ_b ）等。在生产中，静载荷下的材料力学性能是最常用的。而静拉伸试验和硬度试验又是静载荷下材料力学性能的测试方法中应用最广泛的方法。

一、静拉伸试验及材料的强度与塑性

首先按 GB228—87《金属拉伸试验法》把待测材料加工成拉伸试样。通常试样的横截面是圆形，见图 1-1。图中 l_0 为试样的原始标距长度（mm）， d_0 为试样的原始直径（mm）。通常取 $l_0=10d_0$ 或 $5d_0$ 。前者称长试样，后者称短试样（其中标准试样是 $l_0=100$ mm 或 50mm。）对于薄板或管等不便制成圆试样时，可制成截面积（ A_0 ）满足 l_0 为 $11.3\sqrt{A_0}$ 或 $5.65\sqrt{A_0}$ 的比例试样。

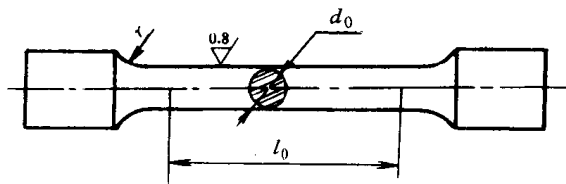


图 1-1 标准拉伸试样

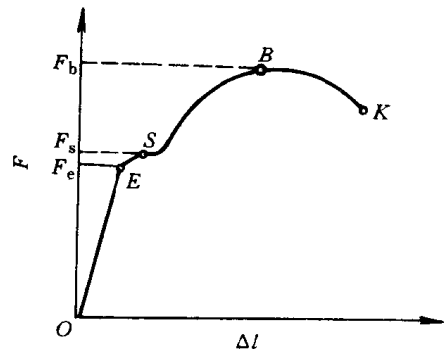


图 1-2 低碳钢拉伸曲线

然后，将试样装夹在材料试验机上并对试样缓慢地施加拉力 F 。随着拉力逐渐加大，试样沿轴向方向被拉长，而径向直径缩小，直至试样被拉断。这时，试验机已自动画出 $F\sim\Delta l$ 之

间的变化曲线——拉伸曲线，见图 1-2。 Δl 是试样的轴向伸长量。另外，在试样断口处还可以测算出径向的截面收缩量 ΔA 。

(一) 弹性极限和刚度

试样受到外力作用先产生弹性变形。弹性变形是指当外力解除后变形能够全部消除恢复原状的变形。拉伸曲线 OE 段就是弹性变形阶段。材料在弹性变形阶段有两个重要的力学性能指标：弹性极限和材料刚度。

1. 弹性极限 σ_e

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}$$

式中 F_e ——试样保持完全弹性变形时的最大载荷（力）(N)；

A_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

弹性极限的含义是材料保持完全弹性变形所能承受的最大应力。

2. 材料刚度 E

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

式中 σ ——在弹性变形范围内的应力 (MPa)；

ϵ ——在应力作用下产生的应变，即相对变形量 ($\Delta l/l_0$)，(无量纲)。

材料刚度简称刚度(或刚性)，即材料力学中的弹性模量。从公式中可看出它的物理意义是指金属材料产生单位弹性的相对变形所需的应力。它是表征材料抵抗弹性变形能力的力学性能指标，用符号 E 表示。

刚度主要取决于材料本身晶格类型和原子间距。过渡族金属的刚度最高。如：钢的刚度在 190000MPa~220000MPa 之间。刚度是材料力学性能中对显微组织最不敏感的指标。因此，热处理、合金化、冷变形、细晶等金属强化手段对其作用不大。但随温度升高金属刚度下降。

(二) 材料强度

材料强度是指在外力作用下，材料抵抗变形和断裂的能力。对于塑性材料在拉伸力作用下先产生弹性变形，然后经过一个很小的弹——塑性变形的过渡阶段就进入了塑性变形阶段。先是均匀塑性变形阶段，然后是试样出现的局部区域“缩颈”，即非均匀塑性变形阶段，直至断裂。所谓塑性变形是指在外力作用下，材料产生了当外力解除后仍不能自动恢复原状的变形。金属材料在塑性变形阶段的强度指标有屈服点和抗拉强度。

1. 屈服点 σ_s

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中 F_s ——试样产生明显塑性变形所承受的最小载荷，即拉伸曲线中 S 点所对应的外力 (N)；

A_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

对于低碳钢等塑性好的金属材料，在塑性变形开始时常出现外力不增加而变形量继续增加的材料屈服现象。如图 1-2 拉伸曲线上的 S 点。

屈服点的含义是指在外力作用下开始产生明显塑性变形的最小应力。也即材料抵抗微量

塑性变形的能力。

有些塑性较低的材料没有明显的屈服点，难于确定产生塑性变形的最小应力。对这类材料人们规定：当试样产生 0.2% 的塑性变形量时所对应的应力值为该材料的条件屈服点，或以屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 表示。

机件和金属结构在工作中一般是不允许发生塑性变形的。所以，屈服点或条件屈服点是结构设计时的主要力学性能参数。是材料力学性能中最重要的指标。

2. 抗拉强度 σ_b

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中 F_b ——指试样被拉断前所承受的最大外力，即拉伸曲线上 B 点所对应的外力 (N)；

A_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

抗拉强度的含义是：材料断裂前所承受的最大应力。故又称强度极限。它也是试样能够保持均匀塑性变形的最大应力。

σ_s/σ_b 的比值称为屈强比。材料的屈强比愈小，构件的可靠性愈高，因为万一超载也不至于马上断裂。然而屈强比太小时，虽然安全性提高了，但对材料的有效利用率太低，并且会使构件粗笨、成本加大。屈强比的大小可通过合金化、热处理等加以调整（一般情况常选用 0.85 左右）。

(三) 材料的塑性

材料塑性是指材料在外力作用下产生塑性变形而不发生断裂的能力。反映材料塑性的力学性能指标有伸长率和断面收缩率。

1. 伸长率 δ 伸长率是指试样拉断后其标距长度的相对伸长值。所以伸长率定义为

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% \quad (\text{无量纲})$$

式中 l_0 ——试样原标距的长度 (mm)；

l_k ——试样拉断后的标距长度 (mm)；

Δl ——试样拉断后的绝对伸长值 (mm)。

由于试样在拉断过程中塑性变形是由均匀塑性变形（在应力不大于 σ_s 时）和非均匀塑性变形两部分组成。其中非均匀塑性变形的相对值与原始标距 l_0 的大小有关。所以， δ 值的大小不仅取决于材料本身，还受到试样标距长度的影响。因此短试样的伸长率记为 δ_5 ，长试样的伸长率记为 δ_{10} 或 δ 。对于同一种塑性材料 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。

2. 断面收缩率 (φ) 断面收缩率是指试样拉断后断口处横截面面积的相对收缩值。所以断面收缩率定义为

$$\varphi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100\% = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% \quad (\text{无量纲})$$

式中 A_0 ——试样的原始截面面积 (mm^2)；

A_k ——试样断面处的最小截面面积 (mm^2)；

ΔA ——试样拉断后横截面面积最大绝对收缩值 (mm^2)。

断面收缩率与试样尺寸无关。

伸长率和断面收缩率都是材料塑性的力学性能指标。是从不同角度来反映材料的塑性。

金属材料只有具备足够的塑性才能承受各种变形加工。塑性的存在可以提高构件的可靠性，防止突然断裂。但是，在一般情况下提高材料的塑性是要牺牲材料强度的。也就是说对于一个具体构件应根据其功能特点须适当调整材料的强度与塑性的配合。这种配合可通过后面将要介绍的热处理、合金化、合理选材等加以实现。

二、硬度

硬度是衡量金属材料软硬程度的一种力学性能指标。通常采用压入法测量。所以，硬度的含义是指金属表面抵抗其它硬物压入的能力。也即是材料对局部塑性变形的抵抗能力。

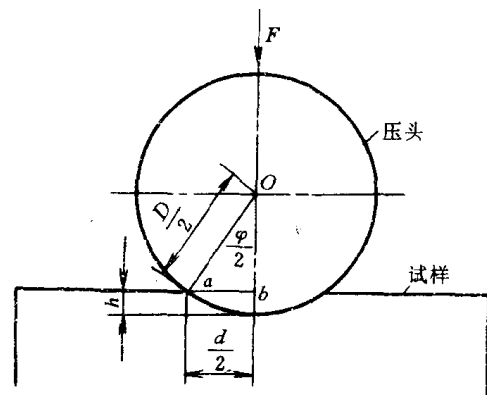
根据载荷的性质及测量方法的不同可分为布氏硬度 (HB)、洛氏硬度 (HR)、维氏硬度 (HV)、肖氏硬度 (HS) 等多种。前三种都是静载荷压入法。肖氏硬度是动载荷压入法也称为弹性回跳法，适用于对大型构件现场测量。在生产中最常用的是前两种硬度计。维氏硬度计较为娇贵，多用于试验室。各种硬度值之间可以换算。较精确换算可查有关对照表。粗略换算可用如下经验公式：

$$HB \approx HV \approx 10HRC$$

$$HB \approx 6HS$$

(一) 布氏硬度

布氏硬度是在布氏硬度计上进行测量的。用规定直径 (D) 的圆球作为压头，(可用淬硬的钢球或硬质合金球) 在规定的试验力 (F) 作用下，将压头压入光洁的金属表面，经过规定的试验力作用时间 (t) 后，卸除试验力。用读数显微镜测量出压痕直径 (d)。最后，根据布氏硬度的定义公式计算出布氏硬度值。布氏硬度测量的原理图可见图 1-3。布氏硬度的定义是



·图 1-3 布氏硬度原理图

$$HB = \frac{F}{A} \quad A = \frac{\pi}{2} D (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

其中 F ——施加的试验力 (载荷) (kgf)；

A ——压痕表面面积 (mm^2)；

D ——压头直径 (mm)；

d ——压痕的平均直径 (mm)。

因此

$$HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{HBS 或 HBW})$$

若试验力的单位为标准单位牛顿 (N)，为使传统的布氏硬度值不变，上式可改写成

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

在上述公式中， F 、 D 都是规定的已知数，仅压痕的平均直径 d 是待测值。测得 d 值就可以计算出布氏硬度值。从公式中可以看出 HB 与 d 之间有直接对应关系。人们已将这种关系列出表格。实际上，在作布氏试验时，只需测量出 d 值就可从有关表格上查出相应的布氏硬度值了。不必用公式自己去计算。

布氏硬度的物理意义是压痕表面上单位面积所承受的压力。

布氏硬度是一种以球压痕的直径大小来表征材料硬度的一种硬度测量方法。在硬度低时用淬硬钢球作为压头，布氏硬度符号记为HBS，其最大有效测量值是450HBS。在硬度较高时，由于钢球压头的变形影响测值误差，应改为硬质合金球压头，布氏硬度符号记为HBW。其最大有效测量值是650HBW。更高的硬度就不能用布氏硬度计测量了。由于布氏硬度所用压头球直径较大，使压痕大且深，所以也不适于测量薄件和对表面要求严格的成品件。

关于布氏硬度值的写法可分为标准写法和简化写法两种。标准写法多用于正式的试验报告上。其写法是先写出具体的布氏硬度值，再写出布氏硬度符号，最后还要按规定的顺序标出具体的测试条件（压头直径/试验力/试验力作用时间）。例如：200HBS2.5/187.5/30，它表示采用 $\phi 2.5\text{mm}$ 淬硬钢球在 $187.5 \times 9.81\text{N}$ 试验力作用下持续时间为30s的试验条件下被测材料的布氏硬度为200。若试验力作用时间是10s~15s可不标出试验力作用时间。例如：500HBW2.5/62.5。布氏硬度在一般场合下常用简单写法。例如：200HBS、500HBW、200HBS~230HBS等。

（二）洛氏硬度

洛氏硬度是以压头压入金属材料的压痕深度来表征材料的硬度。其原理见图1-4。压头有两种，其一是锥角为 120° 的圆锥金刚石压头；另一是直径为 $\phi 1.588\text{mm}$ 钢球。因为压痕的深度直接可用百分表测出来，所以洛氏硬度值直接可以从洛氏硬度计的表盘上读出，不需另外的测量和计算，使用起来比布氏硬度计方便。

洛氏硬度值是一个相对值。人们规定每 0.002mm 压痕深度为一个洛氏硬度单位。洛氏硬度没有量纲。洛氏硬度主要用于较高硬度的测量，压痕小，对工件表面损伤小。

根据需要洛氏硬度通常有三种：用金刚石压头， $60 \times 9.81\text{N}$ 试验力（载荷）的称为A级洛氏硬度，代号为HRA。适用于测量较薄的硬层或高硬度。若压头不变，试验力（载荷）为 $150 \times 9.81\text{N}$ 的称为C级洛氏硬度，代号为HRC。其有效值范围是20HRC~67HRC。高于67HRC改用HRA测量。低于20HRC改为HRB测量。HRB是B级洛氏硬度。压头为 $\phi 1.588\text{mm}$ 淬火钢球，试验力（载荷）为 $100 \times 9.81\text{N}$ 。可用于测量较低的硬度值。

此外，为了测量薄硬层的硬度，还有试验力为 $15 \times 9.81\text{N}$ 、 $30 \times 9.81\text{N}$ 、 $45 \times 9.81\text{N}$ 的表面洛氏硬度。

（三）维氏硬度

维氏硬度测量原理图见图1-5。其计算公式是

$$HV = \frac{F}{A} = 1.8544 \times 0.102 \frac{F}{d^2}$$

式中 F ——试验力（N）；

A ——压痕表面积（ mm^2 ）；

d ——压痕对角线的平均长度（mm）。

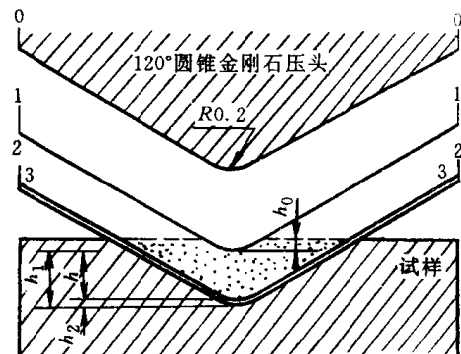


图1-4 洛氏硬度原理图

维氏硬度是一种以正四棱锥金刚石为压头的硬度测量方法。压头的两个相对面间的夹角为 136° 。硬度值的定义与布氏硬度相同，即压痕表面上单位面积所承受的压力。所不同的是压痕形状为正四棱锥形，用测量压痕对角线的平均长度来计算压痕面积及硬度值。维氏硬度代号为 HV。它的优点在于仅用一种压头配以适当试验力就可以对薄厚各异工件从高硬度到低硬度进行广泛的测量。并且 HV 测量值近似等于 HB 值。它克服了布氏硬度不适宜测太高硬度和洛氏硬度不适合测量太低硬度的不足。同时维氏硬度的压痕较小，对工件表面损坏不大。

硬度值不仅可直接反映出材料的硬度，而且可以间接地反映出材料的强度。也就是说材料的硬度与强度有一定的对应关系。我国有关标准给出了它们之间的换算值。例如：GB1172-74《黑色金属硬度及强度换算值》。这种换算是很有实用意义的。尤其是对某些成品构件，直接测量其强度是难于办到的，这时就可以通过对其硬度测量来估算其强度。硬度测量比强度测量要方便得多，无需作试样，直接在构件上测量即可。对构件也不会产生破坏。硬度测量是很方便实用的。所以，机械图样上对零件的力学性能要求通常以硬度来表示。

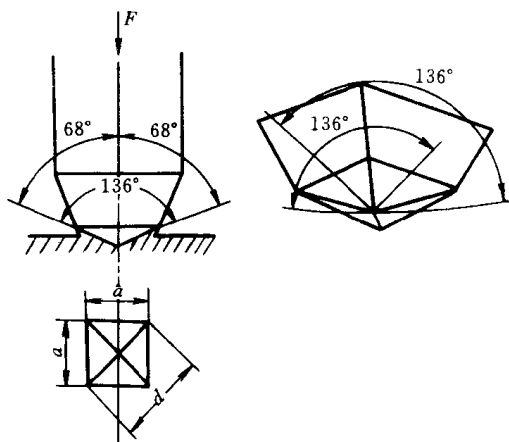


图 1-5 维氏硬度原理图

第二节 非静载荷时材料的力学性能

非静载荷主要是指加载速度较快，使材料的塑性变形速度也较快的冲击载荷和作用力大小与方向作周期性变化的交变载荷。在这类载荷作用下材料的强度和塑性都表现出下降的事实。但又不便象静载荷那样测出外力与变形的关系曲线。所以，就从另一角度来定义有关的力学性能指标。

一、冲击韧度

冲击韧度是指材料抵抗冲击载荷的能力。以单位面积承受的冲击吸收功来衡量，其定义为

$$a_k = \frac{A_k}{A_0}$$

式中 A_k ——试样所承受的冲击吸收功，焦耳 (J)；
 A_0 ——试样断口处的原始横截面积 (cm^2)。

材料的冲击韧度是在摆锤式冲击试验机上测得的见图 1-6。冲击试验标准试样是 $10\text{mm} \times$

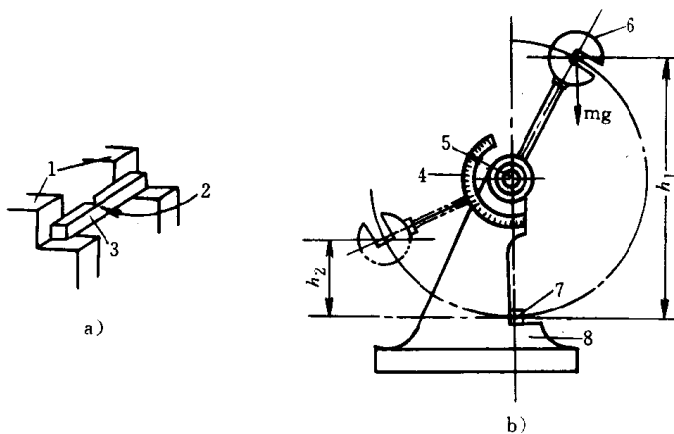


图 1-6 摆锤式冲击试验示意图

a) 试样放置 b) 冲击试验机

1、8—支座 2—冲击点 3、7—试样 4—刻度盘 5—指针 6—摆锤

10mm×55mm。可分为无缺口、V型缺口、U型缺口三种，见图1-7。三种试样测得的材料冲击韧度其代号分别是 a_k 、 a_{kv} 、 a_{ku} 。

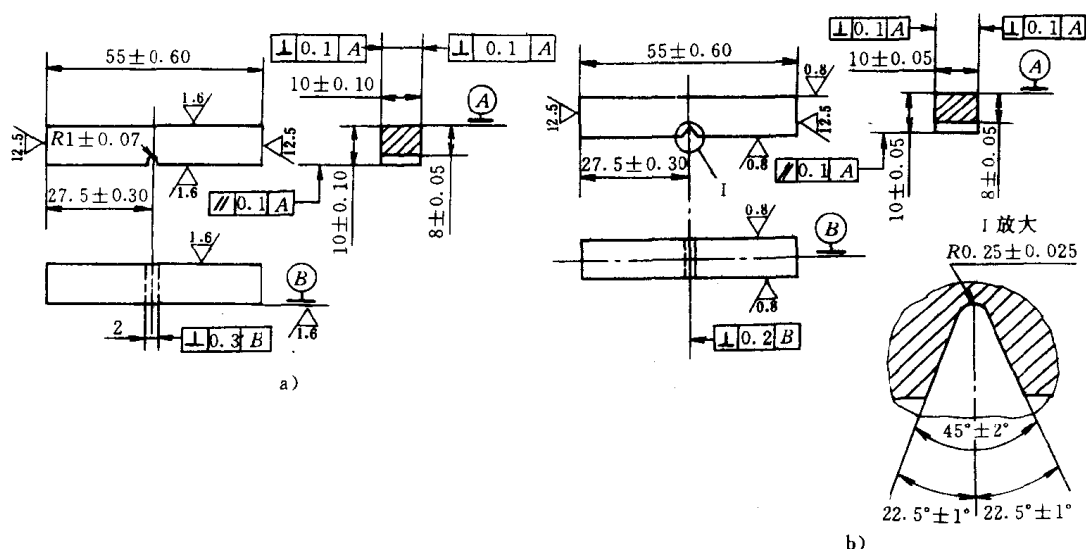


图 1-7 有缺口的标准冲击试验试样

a) U型缺口试样 b) V型缺口试样

考虑到冲击试样被冲断所需的冲击吸收功 A_k ，并非均匀地消耗于断口各处。所以，也往往直接用冲击吸收功来表征材料的冲击韧度。对应不同缺口试样，相应的冲击吸收功代号为 A_k 、 A_{kv} 、 A_{ku} 。冲击吸收功可以直接在冲击实验机上读出。

图1-6示意出摆锤式冲击试验的原理。当摆锤由高处落下冲断试样时，摆锤所作的功称为冲击吸收功。并认为其数值等于摆锤的位能消耗值（摆锤冲断试样前后的位能差）。这种认为当然是很粗略的。因为这个位能差并非全部都用于冲击吸收功。摆锤落下克服空气阻力和其它摩擦力以及声音、振动等所需的能量也都来自这个位能差。然而这对于比较各种材料间冲击韧度的相对大小及材料冲击韧度随环境温度变化规律的影响是不大的。所以，这种大能量一次冲断试样的摆锤式冲击试验，仍有一定的实际意义。但是，材料的冲击韧度在构件的设计中一般只作为参考值。

材料的冲击韧度值除了取决于材料本身之外，还与环境温度及缺口的状况密切相关。所以，冲击韧度除了用来表征材料的韧性大小外，还用来测量金属材料随环境温度下降由塑性状态转变为脆性状态的韧脆转变温度。也用来考查材料对于缺口的敏感性。

二、疲劳强度

疲劳强度是用来表示材料抵抗交变应力的能力。交变应力种类很多，可用应力循环对称因数 γ 来表示其特征。

$$\gamma = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

式中 σ_{\max} ——交变循环应力中的最大应力值；

σ_{\min} ——交变循环应力中的最小应力值。

对于对称循环交变应力，其 σ_{\max} 、 σ_{\min} 的方向相反、数值相等，则 $\gamma = -1$ 。象轴类所受到的交变弯曲应力就属于此类。在这种对称循环交变载荷作用下材料的疲劳强度代号为 σ_{-1} 。对

于象齿轮的齿根受到的循环弯曲应力是属于脉动循环交变应力。其 $\sigma_{\min}=0$ ，则 $\gamma=0$ 。疲劳强度代号为 σ_0 。在材料疲劳强度的代号中，其下脚标数值就是应力循环对称因数 γ 的值。

材料的疲劳强度是在疲劳试验机上测定的。金属材料所能承受的交变应力 σ 与断裂前的应力循环次数 N 的变化规律可用疲劳曲线表示出来，见图 1-8。从图上可见，应力愈小，材料所能承受的循环次数愈多，当应力小到某一应力值以后，材料能承受无数次应力循环而不断裂。因而，疲劳强度定义为：材料经交变应力无数次循环作用而不发生断裂的最大应力为材料的疲劳强度。这里所说的“无数次”不要理解成数学上的无穷大，否则，疲劳强度就测不出来了。实际上，只是一个很大的数而已。工程上规定，对于钢铁材料为 10^7 次；对于有色金属材料为 10^8 次。

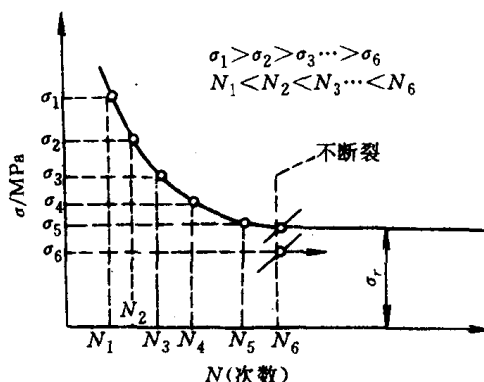


图 1-8 金属材料的疲劳曲线示意图

金属材料的疲劳强度通常都小于屈服点，这说明材料抵抗交变应力比抵抗静应力的能力低。材料的疲劳强度值虽然取决于材料本身的组织结构状态，但是也随试样表面粗糙度和张应力的增加而下降。疲劳强度对缺口也很敏感。为提高零件的疲劳强度，除改善内部组织和外部结构形状避免应力集中外，还可以通过降低零件表面粗糙度值和采取表面强化方法如表面淬火、喷丸处理、表面滚压等来提高疲劳强度。

第三节 金属材料的断裂韧度

对于中低强度的较小构件，按前述的力学性能指标进行设计是很可靠的。但是，对于高强度材料及大型构件常出现问题。有时会在 σ_s 以下较低的静载荷作用下也发生脆性断裂，称为低应力脆断。经大量事实和实验分析查明，这种低应力脆断主要是由于实际金属材料中存在的宏观缺陷（等效为裂纹），在应力作用下发展扩大造成的。因此，很有必要给出材料抵抗裂纹扩展的力学性能指标。即材料的断裂韧度 (K_{Ic})。它的物理意义就是材料抵抗裂纹失稳扩展的能力。

根据断裂力学的分析，裂纹的尖端前沿存在着应力的集中，形成裂纹尖端的应力场。其大小可用应力场强度因子 K_I （单位为 $N/mm^{3/2}$ ）来描述

$$K_I = Y\sigma \sqrt{a}$$

式中 Y ——与试样和裂纹尺寸及加载方式有关的因数，无量纲（对于有中心穿透裂纹的无限宽的厚板，在双向拉应力的作用下， $Y = \sqrt{\pi}$ ）；

σ ——外加的应力（MPa）；

a ——试样中裂纹的半长（mm）。

随着拉应力的增加，裂纹尖端的应力场强度因子 K_I 也逐渐增大。当 K_I 增大到某一值时，裂纹突然出现失稳的扩展，导致试样脆性断裂。此时的 K_I 记为 K_{Ic} 称为应力场强度因子的临界值。它就是材料的断裂韧度。