

机械工程材料

◎ 主 编 封金祥 闫 夏



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

机械工程材料

主 编 封金祥 闫夏

副主编 车永明 乔振华 刘硕 邹津婷 孙秀艳



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

机械工程材料/封金祥, 闫夏主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2016. 4
ISBN 978 - 7 - 5682 - 1642 - 5

I. ①机… II. ①封… ②闫… III. ①机械制造材料 IV. ①TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 318954 号

封金祥 主编
闫夏 副主编
张慧峰 文案编辑
杜春英 责任校对
周瑞红 责任印制
马振武

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 10

字 数 / 234 千字

版 次 / 2016 年 4 月第 1 版 2016 年 4 月第 1 次印刷

定 价 / 36.00 元

责任编辑 / 张慧峰

文案编辑 / 杜春英

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

前 言

本书由封金祥、闫夏任主编，车永明、乔振华、刘硕、邹津婷、孙秀艳任副主编。全书共 12 章，主要阐述了金属材料的性能、金属的晶体结构与结晶、合金的结构与结晶、铁碳合金相图、钢的热处理、工业用钢、特殊性能钢、铸铁、有色金属、粉末冶金材料与硬质合金、非金属材料、机械零件选材等内容。

本书具有以下特点：

- (1) 注重在基础知识、职业素质和职业技能等方面对学生进行综合培养。
- (2) 突出高等教育特点，理论联系实际，加强学生实践技能和综合应用能力的培养。
- (3) 注重培养学生的学习能力、职业技能及工程意识、安全意识、经济意识、质量意识和环保意识等。
- (4) 语言精练，通俗易懂，提纲挈领，图解形象直观，简化过多的理论介绍。
- (5) 采用最新相关标准和概念。
- (6) 在内容编写方面尽量做到布局合理、丰富、新颖；在内容组织方面尽量体现逻辑性、系统性和层次性，突出实践性、适应性和指导性，注重理论与实际相结合；在版面设计方面注重栏目多样化，呈现形式新颖、活泼。

《机械工程材料》主要面向高等教育院校的工科学生。此外，还可作为职工培训用教材。本书内容撰写适当，重点突出，实用性强，虽以实用性为指导思想，但也考虑到知识体系的完整性，有一定的广度和深度，为学生后续专业课的学习提供必要的知识准备。

由于时间仓促及作者水平有限，书中难免存在疏漏和不足，恳请广大读者提出宝贵意见，以便我们今后改进。

编 者

目 录

绪 论	1
第1章 材料的性能	3
1.1 材料的力学性能	3
1.2 材料的工艺性能	11
1.3 材料的物理性能	12
1.4 材料的化学性能	14
第2章 金属的晶体结构与结晶	17
2.1 金属的晶体结构	17
2.2 实际金属的晶体结构	20
2.3 纯金属的结晶	24
2.4 金属的铸锭组织	27
第3章 合金的结构与结晶	29
3.1 合金中的相结构	29
3.2 二元合金相图	32
3.3 合金性能与相图的关系	38
第4章 铁碳合金相图	41
4.1 铁碳合金的组元、相及组织	41
4.2 Fe-Fe ₃ C 相图分析	43
4.3 典型合金结晶过程分析	47
4.4 含碳量对铁碳合金组织和性能的影响	52
4.5 Fe-Fe ₃ C 相图的应用	53
第5章 钢的热处理	55
5.1 钢在加热时的转变	56
5.2 钢在冷却时的组织转变	58
5.3 钢的退火与正火	62
5.4 钢的淬火	65
5.5 钢的回火	69
5.6 钢的表面热处理和化学热处理	71
第6章 工业用钢	78
6.1 碳素钢的概念、化学成分和分类	78
6.2 碳素结构钢	79
6.3 碳素工具钢	81

6.4	铸造碳钢	83
6.5	合金钢	84
6.6	合金结构钢	87
6.7	合金工具钢	96
第7章	特殊性能钢	102
7.1	不锈钢	102
7.2	耐热钢	105
7.3	耐磨钢	108
第8章	铸铁	110
8.1	铸铁的分类	110
8.2	铸铁的石墨化及影响因素	111
8.3	灰口铸铁	111
8.4	球墨铸铁	112
8.5	可锻铸铁	113
8.6	蠕墨铸铁	114
8.7	合金铸铁	115
第9章	有色金属	116
9.1	铝及铝合金	116
9.2	铜及铜合金	118
9.3	钛及钛合金	122
第10章	粉末冶金与硬质合金	125
10.1	粉末冶金法的特点	125
10.2	粉末冶金法的基本工艺	125
10.3	硬质合金及其性能特点	126
10.4	硬质合金的分类与牌号	127
第11章	非金属材料	129
11.1	高分子材料的基本概念	129
11.2	高分子材料的分类	130
第12章	机械零件的选材	135
12.1	零部件的失效及选材原则	135
12.2	典型零件选材及工艺分析	141
附录一	化学元素周期表	147
附录二	压痕直径与布氏硬度对照表	148
附录三	黑色金属硬度及强度计算表	151
参考文献		153

绪 论

材料就是人们用来制造各种机器、器件、工具、结构等具有某种特性的物质。人类和材料的关系非常密切,这就要求我们更好地认识和了解材料。“机械工程材料”就是研究与材料有关的成分、组织结构、工艺和性能之间关系的一门专业基础课。

1. 材料的发展史

材料是人类生产、生活的物质基础。人类社会的发展历程是以材料为主要标志的。历史上,材料被视为人类社会进化的重要里程碑,对材料的认识和利用能力决定着社会的形态和人类生活的质量。历史学家也把材料及其制作的器具作为划分时代的标志,如石器时代、青铜器时代、铁器时代、高分子材料时代……

100 万年以前,原始人以石头作为工具(见图 0-1),这个时期称为旧石器时代。1 万年以前,人类对石器进行加工,使之成为器皿和精致的工具,从而进入新石器时代。现在考古发掘证明,我国在 8 000 多年前已经制成实用的陶器,在 6 000 多年前已经冶炼出黄铜,在 4 000 多年前已有简单的青铜工具,在 3 000 多年前已用陨铁制造兵器。我们的祖先在 2 500 多年前的春秋时期已会冶炼生铁,比欧洲要早 1 800 多年。18 世纪,钢铁工业的发展成为产业革命的重要内容和物质基础。19 世纪中叶,现代平炉和转炉炼钢技术的出现使人类真正进入了钢铁时代。与此同时,铜、铅、锌也得到广泛应用,铝、镁、钛等金属相继问世并得到广泛应用。直到 20 世纪中叶,金属材料(见图 0-2)在材料工业中一直占有主导地位。20 世纪中叶以后,科学技术迅猛发展,作为发明之母和产业粮食的新材料又出现了划时代的变化。首先是人工合成高分子材料问世,并得到广泛应用,仅半个世纪的时间,高分子材料已与有上千年历史的金属材料并驾齐驱,并在年产量的体积上已超过了钢,成为国民经济、国防尖端科学和高科技领域不可缺少的材料。其次是陶瓷材料的发展。陶瓷是人类最早利用自然界所提供的原料制造而成的材料。20 世纪 50 年代,合成化工原料和特殊制备工艺的发展使陶瓷材料产生了一个飞跃,出现



图 0-1 原始人以石头作为工具

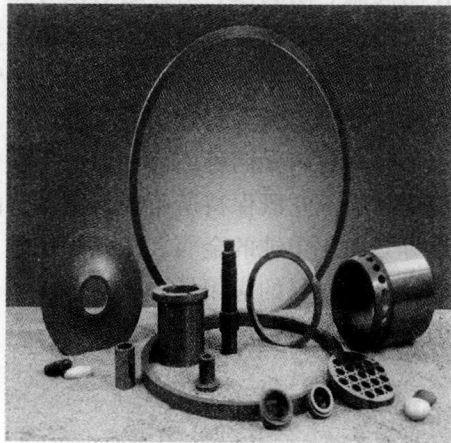


图 0-2 金属材料

了从传统陶瓷向先进陶瓷的转变，许多新型功能陶瓷形成了产业，满足了电力、电子技术和航天技术的发展和需要。

现在人们也按化学成分的不同，将材料划分为金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料三大类以及它们的复合材料。

2. 材料的分类及应用

工程材料是应用十分广泛的一类材料，主要是指用于机械、车辆、船舶、建筑、桥梁、化工、能源、仪器仪表和航空航天等工程领域中的材料，以及用来制造工程构件、机械装备、机械零件、工具、模具和具有特殊性能的材料。

工程材料种类很多，用途广泛，有许多不同的分类方法，通常按其组成分类，如图0-3所示。

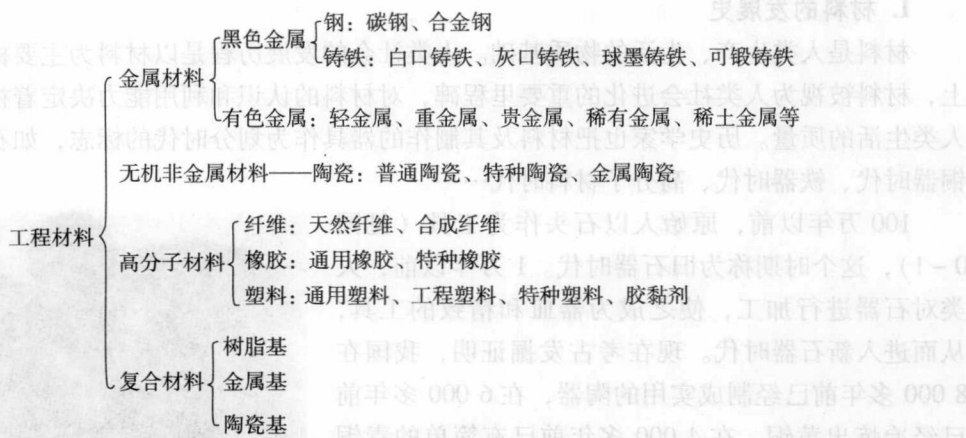


图 0-3 工程材料的分类

金属材料是重要的工程材料，具有良好的力学性能、物理性能、化学性能和工艺性能，是目前用量最大、应用最广泛的工程材料。

陶瓷是一种无机非金属材料，其性能特点是熔点高、硬度高、耐腐蚀和脆性大。陶瓷材料分为普通陶瓷、特种陶瓷和金属陶瓷三类，普通陶瓷主要用作建筑材料，特种陶瓷主要用作耐高温、耐腐蚀、耐普通磨损等工程材料，金属陶瓷主要用作工具材料和耐热材料。

高分子材料是以高分子化合物为主要组成物的材料，具有塑性、耐蚀性、电绝缘性、减振性好及密度小等特点，在机械、电气、纺织、汽车、飞机和轮胎等制造工业和化学、交通运输、航空航天等行业中有广泛应用。

复合材料是两种或两种以上不同化学性质或不同组织结构，以微观或宏观的形式组合而成的材料。它既保持所组成材料各自的特性，又具有组成后的新特性，在强度、刚度和耐蚀性等方面比单纯的金属、陶瓷等优越，且其力学性能和功能可以根据使用需要进行设计、制造。复合材料的应用领域在迅速扩大，其品种、数量和质量有了飞速发展，具有广阔的应用前景。

第1章 材料的性能

无论是选用还是加工材料,都必须考虑材料的相关性能、使用寿命和加工成本。工程材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在使用过程中所表现出来的性能,如力学性能、物理性能和化学性能等。工艺性能是指材料在加工过程中所反映出来的性能,如切削加工性能、铸造性能、锻造性能、焊接性能和热处理性能等。

1.1 材料的力学性能

材料在加工和使用过程中所受到的外力称为载荷,而材料在载荷作用后表现出的性能称为力学性能。材料的力学性能主要包括强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

载荷根据作用性质不同,可分为静载荷、冲击载荷和交变载荷三种。

(1) 静载荷:大小不变或变化过程缓慢的载荷,如拉伸、压缩和剪切等。

(2) 冲击载荷:在短时间内以较大的速度作用于零件上的载荷,如冲压和敲击等。

(3) 交变载荷:大小、方向或大小和方向随时间发生周期性变化的载荷,如齿轮工作时齿面所承受的载荷等。

载荷根据作用形式不同,可分为拉伸载荷、剪切载荷、弯曲载荷、扭转载荷和压缩载荷等。

材料在载荷作用下将发生形状和尺寸的变化,我们称之为变形。当载荷去除后,能够恢复的变形称为弹性变形,不能恢复的变形称为塑性变形。

材料受外力作用,为保证其不变形,在材料内部作用着与外力相对抗的力,称为内力。单位面积上的内力称为应力,用 σ 表示,单位为 N/mm^2 。

1.1.1 拉伸试验

评价材料的力学性能最简单有效的方法是通过试验测定材料所受的载荷与伸长量之间的关系。通过拉伸试验观察材料的变化过程,记录试验数据,绘制出拉伸曲线,并通过试验分析了解、掌握材料的力学性能。拉伸试验是用静载荷对标准试样进行轴向拉伸,同时连续测量载荷和相应的伸长量,直到试样断裂。下面介绍拉伸曲线的两种表示方法。

做拉伸试验前,要确定标准试样,按照国家标准,一般拉伸试样分圆形和矩形两种。图1-1所示为圆形拉伸试样,根据长度分长试样($L_0=10d_0$)和短试样($L_0=5d_0$)两种。

拉伸试验中得出的拉伸载荷与伸长量的关系曲线称为载荷-伸长曲线。图1-2所示为低碳钢载荷-伸长曲线,图中纵坐标表示载荷 F ,横坐标表示伸长量 Δl 。下面以此为例说明拉伸过程中的几个变形阶段。



图 1-1 圆形拉伸试样

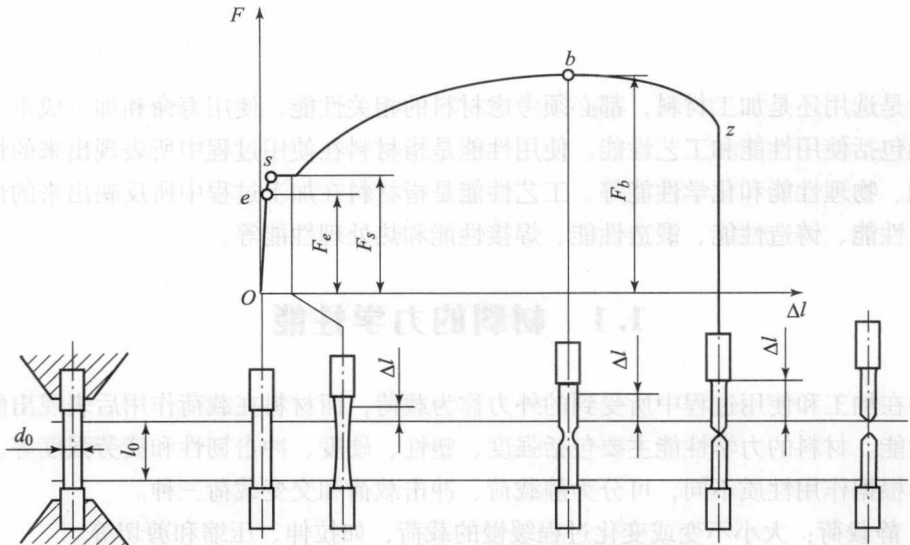


图 1-2 低碳钢载荷 - 伸长曲线

(1) Oe ——弹性变形阶段。试样变形完全是弹性的， F_e 是试样能恢复到原始形状和尺寸的最大拉伸载荷。

(2) es ——屈服阶段。当载荷超过 F_e 再卸载时，试样的伸长不能完全恢复，试样发生了塑性变形。当载荷增加到 F_s 时，图 1-2 上出现平台或锯齿状，这种在载荷不增加或略有减小的情况下，试样还继续伸长的现象叫屈服。 F_s 称为屈服载荷。屈服后，材料开始出现明显的塑性变形。

(3) sb ——强化阶段。在屈服阶段以后，不断加载，试样继续伸长。随着塑性变形的增大，试样变形抗力也逐渐增大，这种现象称为形变强化（加工硬化），此阶段试样的变形是均匀发生的， F_b 为试样拉伸试验的最大载荷。

(4) bz ——缩颈阶段。当载荷达到最大值 F_b 后，试样的直径发生局部收缩，称为“缩颈”。此时缩颈处截面积减小，随之载荷降低，试样的伸长量集中在缩颈部分，直至断裂。

在拉伸过程中，材料随载荷变化而变化，但不是所有的材料都有这样的变化过程。有些材料在拉伸过程中没有明显的屈服现象，如一些脆性材料就没有屈服现象，也不产生“缩颈”，而直接发生断裂，如铸铁等。

1.1.2 刚度、强度与塑性

1. 刚度

材料抵抗弹性变形的能力，称为刚度。在图 1-2 中， Oe 弹性变形阶段， e 点的应力称

为弹性极限,用 σ_e 表示。一般来讲,对弹性体施加一个外界作用,弹性体会发生形状的改变,称为应变。在弹性范围内,应力与相应应变的比值称为弹性模量(σ/ε),用 E 表示,弹性模量是衡量刚度的指标。刚度是材料最稳定的性质之一,其大小主要取决于材料本身,除随温度升高而逐渐降低外,其他强化材料的手段(如热处理、冷热加工和合金化等)对材料刚性的影响很小。一般可以通过增加横截面面积或改变截面形状的方法来提高零件的刚度。

2. 强度

材料在静载荷作用下抵抗塑性变形或断裂的能力,称为强度。根据载荷的作用形式不同,强度指标有很多种,如抗拉强度、抗压强度、抗振强度、抗剪强度和抗扭强度等,其中以拉伸试验测得的屈服强度和抗拉强度两个指标应用最多。

1) 屈服强度(屈服点)

在图1-2中,我们看到应力超过 s 点后,材料将发生塑性变形,此时试样出现了屈服现象。 s 点所对应的应力就称为屈服强度 σ_s 。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 F_s ——试样产生屈服时的载荷, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

屈服强度反映材料抵抗永久变形的能力,是最重要的零件设计指标之一。

对于没有明显屈服现象的脆性材料,规定拉伸时产生0.2%残余变形时所对应的应力为条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 。

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

式中 $F_{0.2}$ ——残余伸长率为0.2%时的载荷, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

2) 抗拉强度

材料在拉断前所承受的最大应力(即 b 点,见图1-2),称为抗拉强度 σ_b 。

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

式中 F_b ——试样拉断前承受的最大载荷, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

在实际生产中,绝大多数工程零件在工作中都不允许产生明显的塑性变形,否则会影响零件的精度和配合尺寸的精度。因此, σ_s 和 σ_b 是工程中零件设计和计算的重要依据。

3. 塑性

在静载荷作用下,材料断裂前产生永久性变形的能力称为塑性。塑性指标也是由拉伸试验测得的,常用伸长率和断面收缩率表示。

1) 伸长率

试样被拉断后,标距长度的伸长量占原始标距长度的百分比称为伸长率,用 δ 表示。

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

式中 L_u ——试样拉断后的标距, mm;

L_0 ——试样原始标距, mm。

断后伸长率的数值与试样标距长度有关, 同一种材料, 长试样 ($L_0 = 10d_0$) 的断后伸长率比短试样 ($L_0 = 5d_0$) 的断后伸长率数值小, 因此, 只有相同标准试样的材料, 其断后伸长率才能进行比较。

2) 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后缩颈处横截面面积的缩减量与原始横截面面积的百分比, 用 ψ 表示。

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

式中 S_0 ——试样原始横截面面积, mm^2 。

S_u ——试样拉断后缩颈处最小横截面面积, mm^2 。

断面收缩率不受试样尺寸的影响, 能够比较精确地反映材料的塑性。一般断面收缩率 ψ 与伸长率 δ 数值越大, 材料的塑性越好。塑性好的材料可用轧制、锻造和冲压等方法加工成形。有些零件要求材料具有一定的塑性, 因为零件使用过程中偶然过载时, 由于能产生一定的塑性变形而不至于突然断裂; 同时塑性变形还能缓和和削减应力集中, 在一定程度上保证了零件的工作安全性。铸铁、陶瓷等脆性材料的塑性极差, 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。

例: 某厂购进一批 40 钢, 按国家标准规定, 40 钢的力学性能指标应符合下列数值: $\sigma_s \geq 340 \text{ MPa}$, $\sigma_b \geq 540 \text{ MPa}$, $\delta \geq 19\%$, $\psi \geq 45\%$, 验收时, 将 40 钢制成 $d_0 = 10 \text{ mm}$ 的短试样, 做拉伸试验, 测得 $F_s = 28\,260 \text{ N}$, $F_b = 45\,530 \text{ N}$, $d_u = 7.3 \text{ mm}$, $L_u = 60.5 \text{ mm}$ 。试判断这些钢材是否合格。

解: 已知 40 钢制成 $d_0 = 10 \text{ mm}$ 的短试样, 则 $L_0 = 5d_0 = 5 \times 10 = 50 \text{ (mm)}$ 。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} = \frac{F_s}{\pi r_0^2} = \frac{F_s}{\pi \left(\frac{d_0}{2}\right)^2} = \frac{28\,260}{3.14 \times \left(\frac{10}{2}\right)^2} = 360 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} = \frac{45\,530}{3.14 \times \left(\frac{10}{2}\right)^2} = 580 \text{ (MPa)}$$

$$\delta = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{60.5 - 50}{50} \times 100\% = 21\%$$

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

$$= \frac{\pi r_0^2 - \pi r_u^2}{\pi r_0^2} \times 100\%$$

$$= \frac{3.14 \times \left(\frac{10}{2}\right)^2 - 3.14 \times \left(\frac{7.3}{2}\right)^2}{3.14 \times \left(\frac{10}{2}\right)^2} \times 100\%$$

$$= 46.71\%$$

通过计算可知, 这些钢材的屈服强度为 360 MPa, 大于 340 MPa; 抗拉强度为 580 MPa, 大于 540 MPa; 伸长率为 21%, 大于 19%; 断面收缩率为 46.71%, 大于 45%。所以这些钢材合格。

1.1.3 硬度

在静载荷作用下, 材料抵抗局部塑性变形、压痕或划痕的能力称为硬度, 它是衡量材料软硬程度的指标。硬度值的大小不仅取决于材料的成分和组织结构, 还取决于测定方法和试验条件。

硬度试验设备简单, 与拉伸试验相比, 试验简便易行, 一般不需要破坏零件或构件。对大多数金属材料, 硬度与其他力学性能 (如强度、耐磨性) 以及工艺性能 (如切削加工性、可焊性等) 之间存在着一定的对应关系。因此, 在工程上, 硬度被广泛用于检验材料和热处理件的质量、鉴定热处理工艺的合理性以及作为评定工艺性能的参考指标。

硬度的测量多采用压入法, 常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。需要注意的是, 采用不同的方法测得的硬度值不能直接进行比较, 可通过硬度对照表进行换算后比较。此外, 硬度值无单位。

1. 布氏硬度

1) 测试原理

布氏硬度试验是用一定直径的钢球或硬质合金球, 以规定的试验载荷压入试样表面, 经规定保持时间后卸除试验载荷, 然后测出压痕直径, 计算硬度, 如图 1-3 所示。

布氏硬度值是试验载荷除以球面压痕表面积所得的值, 其计算公式为

$$\text{HBS (HBW)} = \frac{F}{S} = 1.02 \times \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 HBS (HBW) ——用钢球 (或硬质合金球) 试验时的布氏硬度值;

F ——试验载荷, N;

S ——球面压痕表面积, mm^2 ;

D ——球体直径, mm;

d ——压痕的平均直径, mm。

由上式可以看出, 当 F 、 D 一定时, 布氏硬度值仅与压痕平均直径 d 的大小有关, d 值越小, 布氏硬度值越大, 材料越硬; 反之, 则材料越软。实际应用中, 可由测出的压痕平均直径 d 直接从表 (见附录二) 中查到布氏硬度值。

2) 表示方法

布氏硬度用符号 HB 表示。使用淬火钢球压头时用 HBS 表示, 适用于测定布氏硬度值小于 450 的材料; 使用硬质合金球压头时用 HBW 表示, 适用于测定布氏硬度值为 450 ~ 650 的材料。符号 HB 前面的数值为硬度值, 符号后是按 $D/F/t$ 顺序表示的试验条件, 例如,

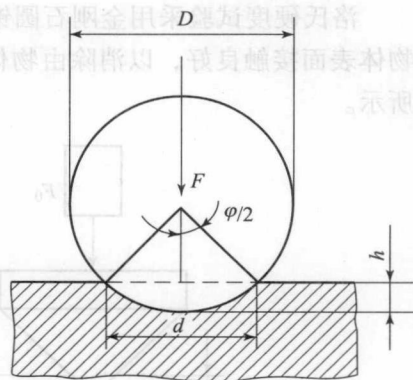


图 1-3 布氏硬度的试验原理

170HBS10/1 000/30 表示直径 10 mm 的钢球压头, 在 9 807 N (1 000 kgf^①) 的试验载荷作用下, 保持 30 s 时测得的布氏硬度值为 170。530HBW5/750 表示直径 5 mm 的硬质合金球, 在 7 355 N (750 kgf) 的试验载荷作用下, 保持 10 ~ 15 s 时测得的布氏硬度值为 530。试验保持时间在 10 ~ 15 s 时不标注。

3) 特点与应用

布氏硬度试验的优点是测量误差小; 缺点是压痕大, 不能用于薄件 (试样厚度至少应为压痕深度的 10 倍)、成品件。布氏硬度试验可用于测量硬度较低的退火钢、正火钢、调质钢、铸铁及有色金属材料。

由于布氏硬度与其他力学性能 (如抗拉强度) 之间存在着一定的近似关系, 布氏硬度在工业上应用广泛。

碳钢: σ_b (MPa) $\approx 3.6 \times \text{HBS}$ 。

合金结构钢: σ_b (MPa) $\approx 3.4 \times \text{HBS}$ 。

铸造钢: σ_b (MPa) $\approx 3.3 \times \text{HBS}$ 。

2. 洛氏硬度

1) 测试原理

洛氏硬度试验采用金刚石圆锥体或淬火钢球做压头, 先施加初载荷, 保证压头与被测物体表面接触良好, 以消除由物体表面不平带来的误差, 然后再施加主载荷, 如图 1-4 所示。

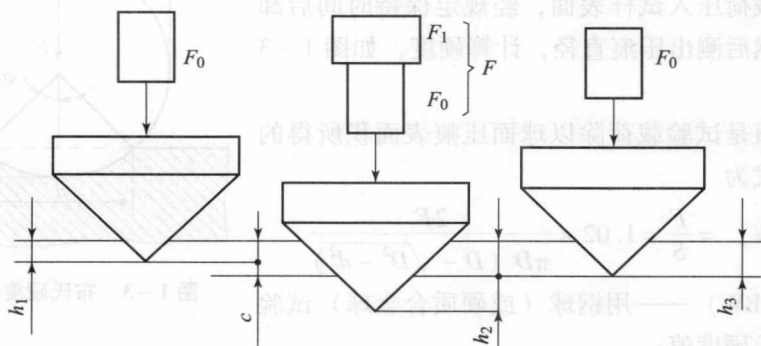


图 1-4 洛氏硬度测试过程示意图

经规定保持时间后, 卸除主载荷, 测量试验载荷下的残余压痕深度。

$$\text{洛氏硬度} = \frac{\text{常数} - e}{s}, \quad e = h_3 - h_1$$

式中 e ——卸除主载荷后, 在初载荷下压痕残余深度, mm;

s ——给定标尺的硬度单位, mm。

实际测量时, 硬度值可从洛氏硬度计的表盘上直接读出。洛氏硬度没有单位。

2) 表示方法

洛氏硬度用 HR 表示, 根据所用的压头和载荷不同, 洛氏硬度表示的方法也不同, 常用的是 HRA、HRB、HRC 三种标尺, 其中 HRC 标尺应用较广泛。常用洛氏硬度标尺的试验条

① 1 kgf = 9.806 65 N。

件和适用范围如表 1-1 所示。

符号 HR 前面的数值为洛氏硬度, 如 45HRC 表示用 HRC 标尺测定的洛氏硬度值为 45。各种不同标尺的洛氏硬度值不能直接进行比较, 必须根据试验测定的换算表换算后才能比较 (见附录三)。

表 1-1 常用洛氏硬度标尺的试验条件和适用范围

标尺	压头	初载荷/N	主载荷/N	应用范围	适用材料
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	φ1.588 mm 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

3) 特点及应用

洛氏硬度优点: 试验操作简单易行, 测量硬度值范围大, 压痕较小, 可直接测量成品或薄件。

洛氏硬度缺点: 压痕较小, 对内部组织不均的材料数值波动较大, 故需要在不同部位测试数次, 取其平均值。

3. 维氏硬度

维氏硬度可以连续测定软的材料到较硬的材料, 测定的数值有连续性和可比性。

1) 测试原理

维氏硬度采用相对面夹角为 136°的正四棱锥金刚石做压头, 以选定的试验载荷压入试验材料表面, 经规定时间后卸除载荷, 测量压痕对角线的平均长度以计算硬度。维氏硬度用 HV 表示, 计算公式为

$$HV = 0.1891 \frac{F}{d^2} = \frac{F}{S}$$

式中 HV——维氏硬度;

F ——试验载荷, N;

d ——压痕两对角线长度的算术平均值, mm。

实际工作中, 维氏硬度值同布氏硬度一样, 无须计算, 可以根据压痕对角线长度从表中直接查得。

2) 表示方法

维氏硬度用 HV 表示, 表示方法与布氏硬度表示方法相同, 如 640HV30 表示用 294.2 N 的试验载荷, 保持时间 10 ~ 15 s (不标出) 时所测得的硬度值是 640。

3) 特点及应用

维氏硬度的优点: 试验载荷小, 压入深度较浅, 可测量较薄材料和表面渗碳、渗氮层的硬度, 测定范围广, 连续性好, 准确性高。

缺点: 对测试表面质量要求较高, 压痕小, 测量压痕对角线的长度较麻烦。

1.1.4 冲击韧性

上述刚度、强度、塑性和硬度都是在静载荷作用下测量的静态力学性能指标。在实际工作中, 许多零件和工具是在冲击载荷的作用下工作的, 如冲床的冲头、锻锤的锤杆、内燃机

的活塞销与连杆、风动工具等。对这类零件，既要满足在静载荷作用下的强度、刚度、塑性和硬度等性能要求，还需具有足够的韧性。

所谓冲击韧性，是指材料在冲击载荷的作用下抵抗塑性变形或断裂的能力。冲击韧性的大小常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定。

冲击韧性测试前，先要选取标准试样，常用的有 10 mm × 10 mm × 55 mm 的 U 形缺口和 V 形缺口试样。

测试原理与方法：选取标准试样，试样的缺口背向摆锤冲击方向放在冲击试验机的支座上，把质量为 m 的摆锤调到 h_1 高度后释放摆锤，利用冲击载荷将试样冲断，量出试样冲断后摆锤的高度 h_2 ，根据能量守恒原理，摆锤消耗的能量与试样吸收的能量相等。试样吸收的能量即试样被冲断所需的能量，用 A_k 表示。

$$A_k = mgh_1 - mgh_2 = mg(h_1 - h_2)$$

式中 A_k ——冲击吸收功，J，其值可以从冲击试验机刻度盘上直接读取，如图 1-5 所示。

mg ——摆锤的重力，N；

h_1 ——摆锤的初始高度，m；

h_2 ——冲断试样后摆锤回升的高度，m；

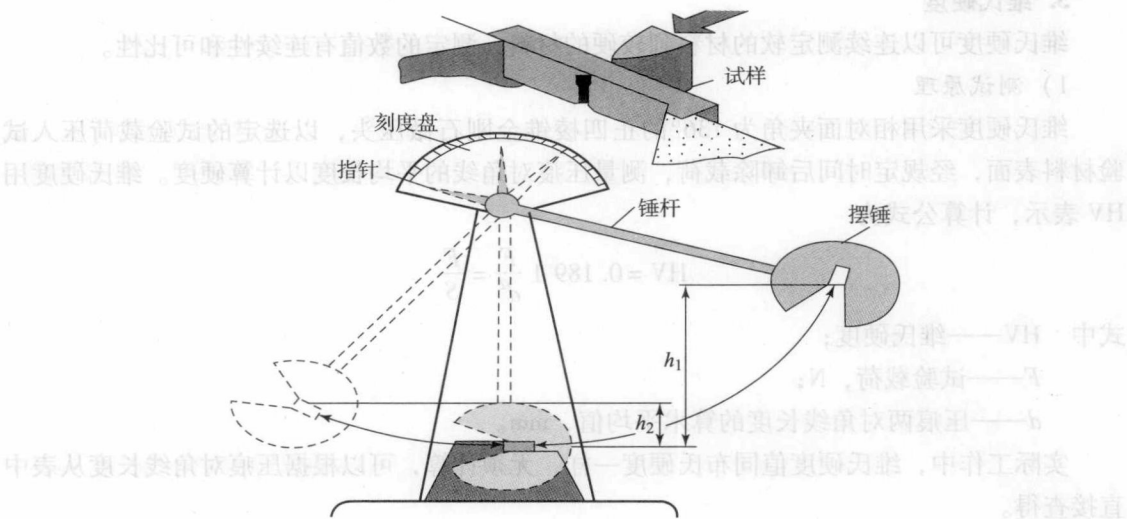


图 1-5 冲击试验

把冲击吸收功 A_k 除以试样缺口横截面面积 S ，所得的值 α_k 称为材料的冲击韧度 (J/cm^2)，即 $\alpha_k = A_k/S$ 。

试验表明，冲击韧性对材料的一些缺陷很敏感（如晶粒粗化、夹渣、气泡、偏析过热和回火脆性等），能够灵敏地反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织方面的微小变化，因而是生产上用来检验冶炼、热加工得到的半成品和成品质量的有效方法之一。

材料的冲击韧性与温度有关。当温度下降到某一范围时，冲击吸收功数值发生急剧下降的现象称为韧脆转变。发生韧脆转变的温度范围称为韧脆转变温度，经常在低温下服役的船舶、桥梁等结构材料的使用温度应高于其韧脆转变温度。

在生产实践中，许多承受冲击载荷的零件，其工作条件为小能量多次冲击，它们的破坏是由多次冲击损伤的积累造成的，与一次大能量的冲击破坏有着本质的不同。因此，材料受

大能量的冲击载荷作用时,其冲击抗力用冲击韧度 α_K 来衡量,而小能量的多次冲击,其冲击抗力取决于材料的强度和塑性。

1.1.5 疲劳强度

1. 疲劳现象

在工程中,许多零件,如发动机曲轴、齿轮、弹簧和滚动轴承等都是在交变载荷作用下工作的。在这种情况下,零件工作载荷低于其屈服强度,在长期使用中往往会突然断裂,这种现象称为疲劳。疲劳断裂是在事先无明显塑性变形的情况下突然发生的,无论是脆性材料还是韧性材料,90%是因为疲劳而破坏的,故材料疲劳具有很大的危险性。

2. 疲劳强度

金属材料在无数次交变载荷的作用下不发生断裂的最大应力称为疲劳强度,用 σ_{-1} 表示。

疲劳强度是通过试验得到的。试样经不同的交变应力作用 N 次后发生断裂,根据记录的数据可作出该材料的疲劳曲线示意图,如图 1-6 所示。从图中可以看出:

(1) 材料承受的交变应力越小,则断裂前承受的应力循环次数就越多;反之,则越少。

(2) 当应力达到 σ_5 时,曲线与横坐标轴接近平行,表示当应力低于 σ_5 时,试样可以在无数次循环应力作用下不被破坏,此应力值为材料的疲劳极限。

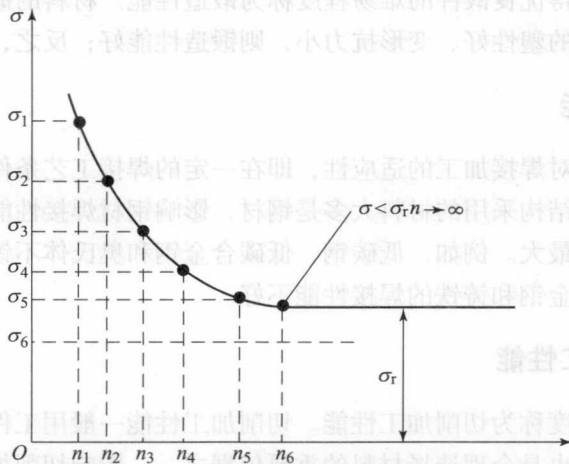


图 1-6 疲劳曲线示意图

疲劳极限是材料在无数次交变应力作用下而不破坏的最大应力,显然疲劳极限值越大,则材料的疲劳抗力越强。当应力为对称循环时,疲劳极限用符号 σ_{-1} 表示。

实际上,做无限次应力循环的疲劳试验是不存在的,对钢铁材料,一般规定疲劳极限对应的应力循环次数为 10^7 ,有色金属、不锈钢等为 10^8 。

1.2 材料的工艺性能

材料制造成零件要通过不同的加工方法,材料适应各种加工方法的能力称为工艺性能。根据不同的加工方法,其可分为铸造性能、锻造性能、焊接性能和热处理性能。工艺性能是选材和制造优质产品时需要考虑的重要因素之一。