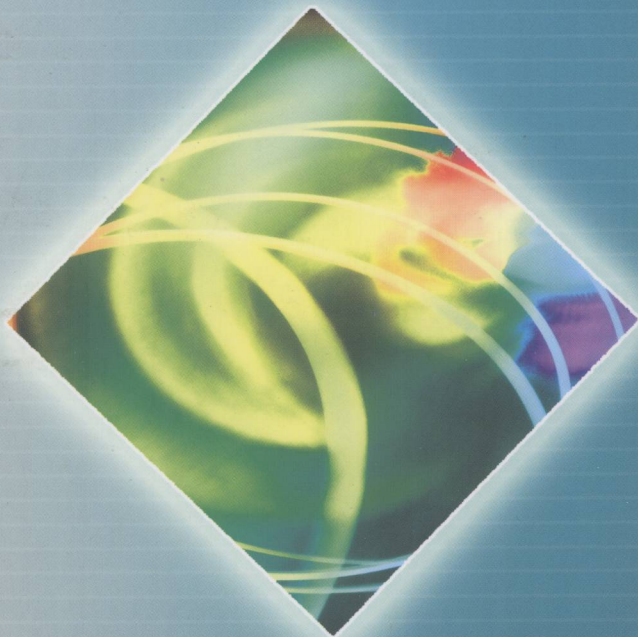




教育科学“十五”国家规划课题研究成果

机械工程材料

主 编 吕 焯 王丽凤



高等教育出版社

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

机械工程材料

主 编 吕 焱 王丽凤

副主编 刘晓晶

审 阅 孟工戈

高等教育出版社

内容提要

本书是根据教育部颁发的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》并结合目前教学改革基本指导思想和原则以及创新精神编写的。

本书包括材料的性能,材料的结构,材料的凝固,金属的塑性变形与再结晶,钢的热处理,工业用钢,铸铁,有色金属与粉末冶金材料,高分子材料、陶瓷材料与复合材料,工程材料的选用等内容,各章附有思考题与作业题。

本书主要用作高等工科院校机械类、近机类专业本科生教材,也可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料/吕焱,王丽凤主编. —北京:高等教育出版社,2009.1

ISBN 978 - 7 - 04 - 025854 - 7

I. 机… II. ①吕…②王… III. 机械制造材料 - 高等学校 - 教材 IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 193783 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 煤炭工业出版社印刷厂

开 本 787 × 960 1/16
印 张 17
字 数 310 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2009 年 1 月第 1 版
印 次 2009 年 1 月第 1 次印刷
定 价 20.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25854 - 00

前 言

本书是根据教育部颁发的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》编写的,主要用作高等工科院校机械类、近机类专业本科生教材,也可作为工程技术人员参考用书。

编写本书的指导思想和原则以及本书的特点是:

1. 机械工程材料课程属于技术(专业)基础课,通过本课程的学习,使学生熟悉有关工程材料的基础知识、基本理论;掌握材料的成分、组织与性能之间的关系及变化规律;能够合理选择常用工程材料及改变材料性能的方法。

2. 本书体系完整、内容充实、结构合理,侧重实用性,力求做到重点突出,少而精,使教材清晰、形象,易于讲授和自学。

3. 本书强调理论联系实际,注重强化能力和技术创新精神。

4. 本书名词术语、牌号、型号及物理量等均采用了最新国家标准。

本课程实践性强,学习前应有一定感性知识。因此,应在工程训练(或金工实习)后进行讲授,以达到本课程教学预期的目的和要求。使用本书时,可根据专业特点、教学时数等具体情况对其内容进行调整和增删。

本书由哈尔滨理工大学吕焱、王丽凤任主编,刘晓晶任副主编。参加编写的有吕焱(第六章、第七章)、王丽凤(第二章、第九章)、刘晓晶(第四章、第八章)、潘强荣(第五章)、王利华(第一章、第三章)、湖南工程学院朱起凡(第十章)。

本书由孟工戈教授审阅。在编写过程中得到了有关院校、科研单位、工厂以及司乃钧教授、许德珠教授的帮助与指导,他们为本书的编写提供了有关资料,在此一并表示衷心感谢!

由于编者水平有限,编写时间短促,书中不妥之处在所难免,恳请广大师生、读者批评指正。

编 者

2008年6月

目 录

第一章 材料的性能 1	第二节 钢的退火与正火 90
第一节 材料的力学性能 1	第三节 钢的淬火与回火 93
第二节 材料的物理和化学性能..... 10	第四节 钢的表面热处理与化学热处理 101
第三节 材料的工艺性能..... 12	第五节 其他热处理方法简介 107
思考题与作业题..... 13	第六节 热处理零件质量分析 110
第二章 材料的结构 15	第七节 热处理技术条件与工序位置 112
第一节 原子的结合方式..... 15	第八节 金属表面处理技术 115
第二节 金属的晶体结构..... 17	思考题与作业题 120
第三节 合金的相结构..... 23	第六章 工业用钢 123
第四节 陶瓷和高分子材料的结构特点..... 26	第一节 钢的分类与编号 123
思考题与作业题..... 31	第二节 钢中常存杂质与合金元素 128
第三章 材料的凝固 32	第三节 结构钢 132
第一节 金属的结晶..... 32	第四节 工具钢 154
第二节 合金的结晶..... 37	第五节 特殊性能钢 165
第三节 铁碳合金相图..... 49	思考题与作业题 172
思考题与作业题..... 62	第七章 铸铁 174
第四章 金属的塑性变形与再结晶 65	第一节 铸铁的分类与铸铁的石墨化 174
第一节 金属的塑性变形..... 65	第二节 灰铸铁 177
第二节 冷塑性变形对金属组织和性能的影响..... 70	第三节 球墨铸铁 181
第三节 冷塑性变形后的金属在加热时组织和性能的变化..... 72	第四节 其他铸铁 185
第四节 金属的热变形加工..... 75	思考题与作业题 190
思考题与作业题..... 77	第八章 有色金属与粉末冶金材料 192
第五章 钢的热处理 78	第一节 铝及铝合金 192
第一节 钢在加热与冷却时的组织转变..... 78	第二节 铜及铜合金 201
	第三节 钛及钛合金 208

第四节 轴承合金	209	思考题与作业题	244
第五节 粉末冶金材料	213	第十章 工程材料的选用	245
思考题与作业题	218	第一节 零件的失效	245
第九章 高分子材料、陶瓷		第二节 选材的原则、方法	
材料与复合材料	220	和步骤	246
第一节 高分子材料	220	第三节 典型零件与工具材	
第二节 陶瓷材料	232	料的选用	251
第三节 复合材料	234	思考题与作业题	262
第四节 新型材料简介	240	主要参考文献	264

第一章 材料的性能

材料是人类生产和生活的物质基础。材料的种类很多,其中用于机械制造的各种材料,称为机械工程材料。生产中用来制作机械工程结构、零件和工具的机械工程固体材料分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料等。

为了正确、合理地使用机械工程材料,必须了解和掌握其性能。机械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,主要有力学性能(又称机械性能)、物理性能和化学性能等;工艺性能是指材料在各种冷、热加工过程中所表现出来的性能,主要有铸造、锻造、焊接、热处理和切削加工等性能。

第一节 材料的力学性能

在机械制造中选用材料时,一般以力学性能作为主要依据。力学性能是指材料在外力作用下所表现出来的特性,如强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。力学性能指标的高低表示材料抵抗各种损伤能力的大小,也是设计零部件和选材时的重要指标。

一、强度与塑性

强度是指材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。根据外力作用方式不同,强度分为屈服强度、抗拉强度、抗压强度、抗剪强度和抗弯强度等。其中最常用的是通过拉伸试验测得的屈服强度和抗拉强度。塑性变形是指去除外力后,不能恢复原状的变形,也称永久变形。

(一) 强度

1. 拉伸试验

试验前,将金属材料制成一定形状和尺寸的标准拉伸试样,试样的截面有圆形、矩形、多边形、环形等。圆形截面试样如图 1-1 所示。图中 d_0 为试样原始直径(mm), l_0 为试样原始标距长度(mm)。圆形截面试样 l_0 有长试样($l_0 = 10d_0$)和短试样($l_0 = 5d_0$)两种。

试验时,将标准试样装夹在拉伸试验机上,缓慢地进行拉伸,使试样承受轴

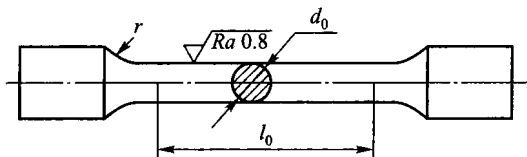


图 1-1 圆形标准拉伸试样

向拉力，直至拉断为止。试验机自动记录装置可将整个拉伸过程中的拉伸力和伸长量描绘在以拉伸力 F 为纵坐标，伸长量 Δl 为横坐标的图上，即得到力 - 伸长量曲线，如图 1-2 所示。当拉伸力由零逐渐增加到 F_e 时（即曲线上 OE 段），试样的伸长量与拉伸力成正比例增加，试样随拉伸力的增大而均匀伸长，此时若去除拉伸力，试样能完全恢复到原来的形状和尺寸，即试样处于弹性变形阶段。当拉伸力超过 F_e 后，试样除产生弹性变形外，还开始出现微量的塑性变形。当拉伸力增大到 F_s 时，曲线上出现水平（或锯齿形）线段，即表示拉伸力不增加，试样却继续伸长，称此现象为“屈服”。拉伸力超过 F_s 后，试样产生大量的塑性变形，直到最大

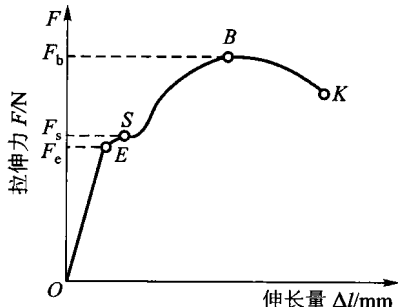


图 1-2 退火低碳钢的力 - 伸长量曲线

大拉伸力为 F_b 时，试样横截面发生局部收缩，即产生“颈缩”。此后，试样的变形局限在颈缩部分，所能承受的拉伸力迅速减小，直至拉断试样（曲线 K 点）。

金属材料的强度是用应力（即外力与试样原始横截面积之比， F/S_0 ）来度量的，用符号 σ 表示。常用的强度指标有弹性、刚度、屈服强度和抗拉强度。

目前，金属材料的室温拉伸试验方法采用新标准 GB/T 228—2002，而原有的金属材料力学性能指标是采用旧标准 GB/T 228—1987 进行测定和标注的，所以旧标准仍在使用的。

2. 弹性和刚度

（1）弹性极限 弹性极限是指材料产生完全弹性变形时所能承受的最大应力，用符号 σ_e 表示（新标准用 R_e 表示），单位为 MPa。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0}$$

式中： F_e ——试样产生完全弹性变形时的最大拉伸力，N；

S_0 ——试样原始横截面积， mm^2 。

（2）刚度 刚度是指材料受力时抵抗弹性变形的能力。刚度的大小取决于材料的弹性模量及几何形状。弹性模量是指材料在弹性变形阶段应力 σ 与应

变 ε (试样原始标距的增量 Δl 与原始标距 l_0 的比值) 的比值, 用符号 E 表示, 即 $E = \sigma / \varepsilon$ (单位为 MPa)。 E 值越大, 材料的刚度越大, 材料抵抗弹性变形的能力越强。 E 值的大小主要取决于材料的本性, 除随温度的升高而降低外, 其他方法如热处理、合金化、冷热加工等对其影响很小。设计零件结构时, 增加承载截面的尺寸、改变截面形状均可提高零件的刚度。

对于某些弹性变形量超过一定数值后会影响到机器工作质量的零(构)件, 如机床的主轴、导轨、丝杠等, 刚度显得尤为重要。而对于需要通过控制刚度以防止发生振动、颤振或失稳的结构(如建筑物、机械等), 在选材时必须考虑材料的刚度。

3. 屈服强度

屈服强度是指在拉伸过程中, 力不增加而材料仍能继续产生塑性变形时的应力, 用符号 σ_s 表示, 单位为 MPa。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中: F_s ——试样产生屈服时的拉伸力, N。

有些材料在拉伸时没有明显的屈服现象, 无法测定 σ_s 。因此, 规定以去掉拉伸力后, 材料标距部分的残余伸长量达到原始标距长度 0.2% 时对应的应力, 为该材料的条件屈服强度, 用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示(新标准用 $R_{0.2}$ 表示)。

σ_s 和 $\sigma_{0.2}$ 是表示材料抵抗微量塑性变形的能力。零件工作时一般不允许产生塑性变形, 因此屈服强度是设计和选材时的主要参数。

4. 抗拉强度

抗拉强度是指材料被拉断前所能承受的最大拉应力, 用符号 σ_b 表示(新标准用 R_m 表示), 单位为 MPa。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中: F_b ——试样被拉断前的最大拉伸力, N。

σ_b 表示材料对最大均匀塑性变形的抗力。 σ_s 与 σ_b 的比值称为屈强比, 屈强比越小, 零件工作时的可靠性越高, 因为若超载也不会立即断裂。但屈强比太小, 材料强度的有效利用率降低。 σ_b 也是设计和选材时的主要参数。

(二) 塑性

塑性是指材料在断裂前产生最大塑性变形的能力。常用的指标有断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率

断后伸长率是指材料被拉断后, 试样原始标距的增量与原始标距的百分比, 用符号 δ 表示(新标准用 A 表示), 即

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中: Δl ——试样标距的增量, mm;

l_0 ——试样原始标距长度, mm;

l_k ——试样被拉断后的标距长度, mm。

长试样的断后伸长率用符号 δ_{l_0} 表示, 通常写成 δ ; 短试样的断后伸长率用符号 δ_s 表示。同种材料的 $\delta_s > \delta_{l_0}$, 但不能直接比较。

2. 断面收缩率

断面收缩率是指材料被拉断后, 颈缩处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比, 用符号 ψ 表示(新标准用 Z 表示), 即

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

式中: S_k ——试样被拉断处的横截面积, mm^2 。

断面收缩率不受试样尺寸的影响, 因此能较准确地反映出材料的塑性。

一般 δ 或 ψ 值越大, 材料塑性越好。塑性好的材料可用轧制、锻造、冲压等方法加工成形。另外, 塑性好的零件在工作时若超载, 也可因其塑性变形而避免突然断裂, 提高了工作安全性。

二、硬度

硬度是指材料抵抗局部塑性变形、压痕或划痕的能力。硬度是衡量金属软硬程度的指标, 材料的硬度是通过硬度试验测得的。硬度试验方法较多, 生产中常用的有以下几种。

(一) 布氏硬度^①

布氏硬度试验原理如图 1-3a 所示。用硬质合金球做压头, 以相应的试验力 F 将压头压入试件表面, 经规定的保持时间后, 去除试验力, 在试件表面得到一直径为 d 的压痕。用试验力除以压痕表面积 S , 所得值即为布氏硬度值, 用符号 HBW 表示。

$$\text{HBW} = \frac{F}{S_{\text{压}}} = \frac{F}{\pi D h} = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{kgf/mm}^2 \text{ (实验力 } F \text{ 的单位为 kgf)}$$

$$\text{HBW} = 0.102 \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{kgf/mm}^2 \text{ (实验力 } F \text{ 的单位为 N)}$$

^① 根据 GB/T 231.1—2002《金属布氏硬度试验 第一部分: 试验方法》中规定布氏硬度只用 HBW 表示, 但目前使用的许多材料仍按照 GB/T 231—1984 旧标准的试验方法采用 HBS(淬火钢球做压头)和 HBW 表示布氏硬度, 所以本书中还会出现 HBS。

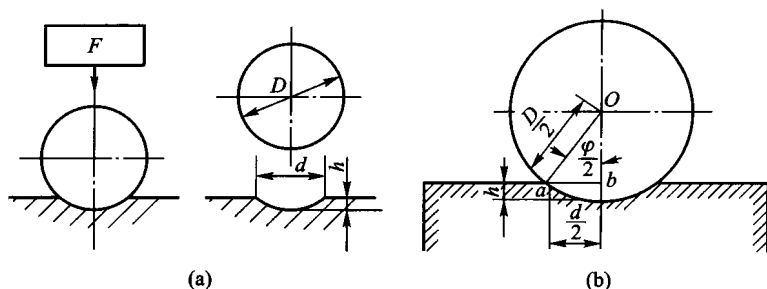


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

式中: $S_{\text{压}}$ ——压痕表面积, mm^2 ;

d 、 D 、 h ——压痕平均直径、压头直径、压痕深度, mm 。

上式中只有 d 是变数, 因此只要测出 d 值, 即可通过计算或查表得到相应的硬度值。

根据图 1-3b 中 d 与压入角 φ 的关系, 布氏硬度计算公式又可写成:

$$\text{HBW} = \frac{2F}{\pi D^2 \left(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \frac{\varphi}{2}} \right)} \quad \text{kgf/mm}^2 \quad (\text{实验力 } F \text{ 的单位为 kgf})$$

实验时布氏硬度不需计算, 根据测出的压痕直径 d 查表即可得到硬度值。 d 值越大, 硬度值越小; d 值越小, 硬度值越大。布氏硬度一般不标注单位, 其表示方法为: 在符号 HBW 前写出硬度值, 符号后面依次用相应数字注明压头直径、试验力和保持时间 (10 ~ 15 s 不标注)。例如, 120 HBW10/1 000/30 表示用直径 10 mm 的硬质合金球做压头, 在 1 000 kgf (9.807 kN) 试验力作用下, 保持 30 s 所测得的布氏硬度值为 120。

布氏硬度试验法压痕面积较大, 能反映出较大范围内材料的平均硬度, 测得结果较准确、稳定。又因布氏硬度与 σ_b 之间存在一定的经验关系, 如低碳钢的 $\sigma_b \approx 3.53 \text{ HBW}$ 、高碳钢的 $\sigma_b \approx 3.40 \text{ HBW}$ 、灰铸铁的 $\sigma_b \approx 0.98 \text{ HBW}$ 、退火铝合金的 $\sigma_b \approx 4.70 \text{ HBW}$, 因此在生产中得到广泛应用。压痕大, 故不宜测试薄件或成品件。HBW 适于测量硬度值小于 650 的退火钢、正火钢、调质钢、铸铁及有色金属等材料。

(二) 洛氏硬度

洛氏硬度试验原理如图 1-4 所示。它是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 淬火钢球或硬质合金球做压头, 在初试验力和总试验力 (初试验力 + 主试验力) 的先后作用下, 将压头压入试件表面, 经规定保持时间后, 去除主试验力, 用测量的残余压痕深度增量 (增量是指去除主试验力并保持初试验力的条件下, 在测量的深度方向上产生的塑性变形量) 来计算硬度的一种压痕硬度

试验法。

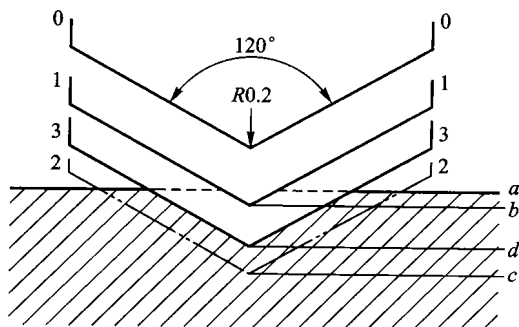


图 1-4 洛氏硬度试验原理示意图

图中 0—0 为压头与试件表面未接触的位置；1—1 为加初试验力 10 kgf (98.07 N) 后，压头从试件表面 *a* 压入到 *b* 处的位置，*b* 处是测量压入深度的起点（可防止因试件表面不平引起的误差）；2—2 为初试验力和主试验力共同作用下，压头压入到 *c* 处的位置；3—3 为卸除主试验力但保持初试验力的条件下，因材料弹性变形的恢复使压头回升到 *d* 处的位置。因此，压头在主试验力作用下，实际压入试件产生塑性变形的压痕深度为 *bd*（*bd* 为残余压痕深度增量）。用 *bd* 大小来判断材料的硬度，*bd* 越大，硬度越低；反之，硬度越高。为适应习惯上数值越大、硬度越高的概念，故用一常数 *K* 减去 *bd* 作为硬度值（每 0.002 mm 的压痕深度为一个硬度单位），直接由硬度计表盘上读出。洛氏硬度用符号 HR 表示。金刚石做压头，*K* 为 100；淬火钢球做压头，*K* 为 130。

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

为使同一硬度计能测试不同硬度范围的材料，可采用不同的压头和试验力。按压头和试验力不同，洛氏硬度的标尺有 11 种，但常用的是 HRA、HRB、HRC 三种，其中 HRC 应用最广。洛氏硬度表示方法为：在符号前面写出硬度值，如 62 HRC、85 HRA 等。洛氏硬度的试验条件和应用范围见表 1-1。

洛氏硬度试验操作简便、迅速，测量硬度范围大，压痕小，无损于试件表面，可直接测量成品或较薄工件。但因压痕小，对内部组织和硬度不均匀的材料，所测结果不够准确。因此，需在试件不同部位测定三点取其平均值。洛氏硬度无单位，各标尺之间没有直接的对应关系。

· (三) 维氏硬度

维氏硬度试验原理与布氏硬度试验原理相似，区别在于维氏硬度的压头是两相对面夹角为 136° 的正四棱锥金刚石。试验时，在规定试验力 *F* 作用下，压头压入试件表面，保持一定时间后，卸除试验力，测量压痕两对角线长度 *d₁* 和

d_2 , 求其平均值, 用以计算出压痕表面积, 如图 1-5 所示。单位压痕表面积所承受试验力的大小即为维氏硬度值, 用符号 HV 表示, 单位为 kgf/mm^2 。

表 1-1 常用洛氏硬度的试验条件和应用范围

硬度符号	压头类型	总试验力 $F_{\text{总}}/\text{kgf(N)}$	硬度值有效 范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥	60(588.4)	70 ~ 88	硬质合金, 表面淬火、渗碳钢等
HRB	$\phi 1.588 \text{ mm}$ 钢球	100(980.7)	20 ~ 100	有色金属, 退火、正火钢等
HRC	120°金刚石圆锥	150(1 471.1)	20 ~ 70	淬火钢, 调质钢, 钛合金等

维氏硬度值不需计算, 一般根据压痕对角线长度平均值查表得出。维氏硬度习惯上不标单位, 其表示方法为: 在符号 HV 前面写出硬度值, HV 后面依次用相应数字注明试验力和保持时间(10 ~ 15 s 不标)。例如 640 HV30/20, 表示在 30 kgf(294.2 N) 试验力作用下, 保持 20 s 测得的维氏硬度值为 640。

维氏硬度试验法所用试验力小, 压痕深度浅, 轮廓清晰, 数字准确可靠, 故广泛用于测量金属镀层、薄片材料和化学热处理后的表面硬度。又因其试验力可在很大范围内选择(49.03 ~ 980.7 N), 所以可测量从很软到很硬的材料。但维氏硬度试验不如洛氏硬度试验简便、迅速, 不适于成批生产的常规试验。

硬度试验所用设备简单, 操作简便、迅速, 可直接在半成品或成品上进行试验而不损坏被测件, 并且还可根据硬度值估计出材料近似的强度和耐磨性。硬度在一定程度上反映了材料的综合力学性能, 生产中常将硬度作为技术条件标注在零件图样或写在工艺文件中。

三、韧性与疲劳强度

(一) 韧性

生产中许多零件是在冲击力作用下工作的, 如冲床用的冲头、锻锤的锤杆、

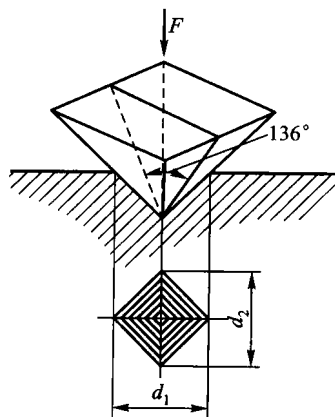


图 1-5 维氏硬度试验原理示意图

风动工具等。对这类零件,不仅要满足在静力作用下的强度、塑性、硬度等性能指标,还应具有足够的韧性。

韧性是指材料从变形到断裂前吸收变形能量的能力,它表示了金属材料抗冲击的能力。韧性的指标是通过冲击试验确定的。

常用的方法是摆锤式一次冲击试验法,它是在专门的摆锤试验机上进行的。按《金属夏比(U型或V型缺口)冲击试验法》规定,将被测材料制成标准冲击试样,如图1-6所示。

试验时,将试样缺口背向摆锤冲击方向放在试验机支座上(图1-7a),摆锤举至 h_1 高度,具有位能 mgh_1 ,然后使摆锤自由落下,冲断试样后,摆锤升至高度 h_2 (图1-7b),此时摆锤的位能为 mgh_2 。摆锤冲断试样所消耗的能量,即试样在冲击力一次作用下折断时所吸收的功,称为冲击吸收功,用符号 A_K 表示(U型缺口试样用 A_{KU} ,V型缺口试样用 A_{KV}),单位为 $J(N \cdot m)$ 。

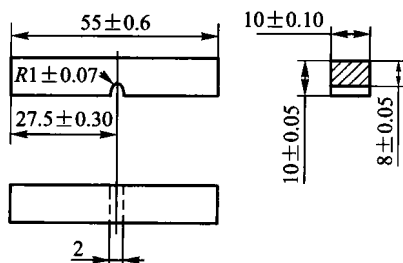


图1-6 夏比U型缺口试样

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

A_K 值不需计算,可由冲击试验机刻度盘上直接读出。冲击试样缺口底部单位横截面积上的冲击吸收功,称为冲击韧度,用符号 a_K 表示,单位为 J/cm^2 。

$$a_K = \frac{A_K}{S}$$

式中: S ——试样缺口底部横截面积, cm^2 。

冲击吸收功越大,材料韧性越好。材料的冲击吸收功与温度有关。由图

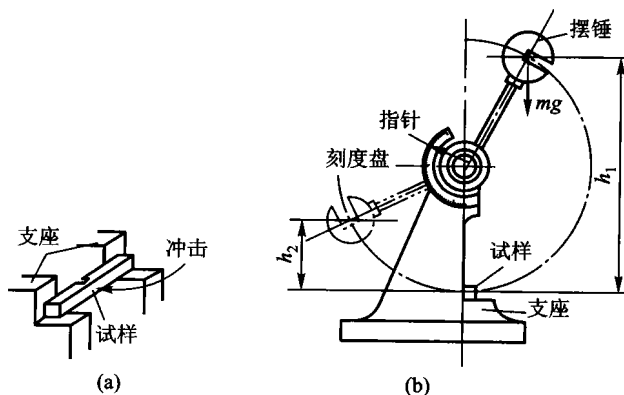


图1-7 摆锤式冲击试验原理示意图

1-8可知, A_k 值随温度降低而减小, 在不同温度的冲击试验中, 冲击吸收功急剧变化或断口韧性急剧转变的温度区域, 称为韧脆转变温度。韧脆转变温度越低, 材料的低温抗冲击性能越好。

冲击吸收功还与试样形状、尺寸、表面粗糙度、内部组织和缺陷等有关。因此, 冲击吸收功一般作为选材的参考, 而不能直接用于强度计算。

应当指出, 冲击试验时, 冲击吸收功中只有一部分消耗在断开试样缺口的截面上, 其余部分则消耗在冲断试样前缺口附近体积内的塑性变形上。因此, 冲击韧度不能真正代表材料的韧性, 而用冲击吸收功 A_k 作为材料韧性的指标更为适宜。国家标准现已规定采用 A_k 作为韧性指标。

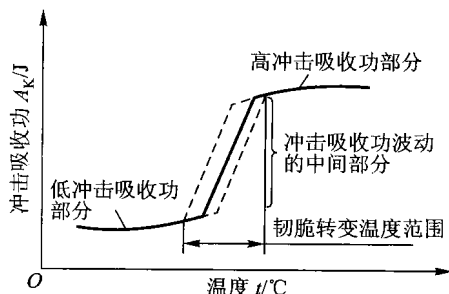


图 1-8 温度对冲击吸收功的影响

(二) 疲劳强度

许多零件如轴、齿轮、连杆、弹簧等是在交变应力（亦称循环应力）作用下工作的。零件在交变应力作用下，在一处或几处产生局部永久性累积损伤，经一定循环次数后产生裂纹或突然发生完全断裂的过程，称为疲劳（疲劳断裂）。疲劳断裂前无明显塑性变形，因此危险性很大，常造成严重事故。据统计，大部分零件的损坏是由疲劳造成的。

实验证明，金属材料能承受的交变应力 σ 与断裂前应力循环基数 N 之间的关系如图 1-9 所示。由图可知，当 σ 低于某一值时，曲线与横坐标平行，表示材料可经无数次交变应力作用而不断裂，这一应力称为疲劳强度，用 σ_{-1} 表示光滑试样对称弯曲疲劳强度。

一般，交变应力越小，断裂前所能承受的循环次数越多；交变应力越大，循环

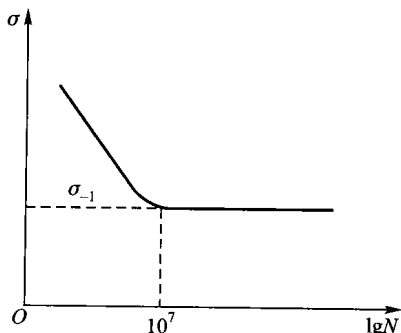


图 1-9 金属材料的疲劳曲线

次数越少。工程上用的疲劳强度，是指在一定的循环基数下不发生断裂的最大应力，通常规定钢铁材料的循环基数取 10^7 ，有色金属取 10^8 。

材料内部存在气孔、微裂纹、夹杂物等缺陷，材料表面划痕、局部应力集中等因素，均可加快疲劳断裂。减小表面粗糙度值和进行表面淬火、喷丸处理、表面滚压等方法均可提高材料的疲劳强度。

第二节 材料的物理和化学性能

有些材料在使用过程中还应考虑其物理、化学性能。

一、材料的物理性能

材料的物理性能包括密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性、磁性等。

1. 密度

密度是指材料单位体积的质量,单位为 kg/m^3 。密度是材料的一种特性,不同材料的密度不同。机械制造中,一般将密度小于 $5.0 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$ 的金属称为轻金属,如铝、镁、钛等及其合金;密度大于 $5.0 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$ 的金属称为重金属,如铁、铅、钨等。

在选材时,除了根据密度计算金属零件的质量外,还要考虑金属的比强度(强度 σ_b 与密度 ρ 之比),比强度可以比较不同材料在相同质量下的强度。例如,塑料和增强塑料的比强度可以达到或远远超过金属材料,如钢材和硬铝制品;某些复合材料具有优异的比强度。

2. 熔点

熔点是指金属由固态转变成液态时的温度。材料的熔点对金属材料的熔炼、热加工有直接影响,并与材料的高温性能有很大关系。通常,材料的熔点越高,在高温下保持高强度的能力越强。熔点高的金属称为难熔金属,如钨、钼、钒等,可用于制造耐高温零件,如燃汽轮机、喷气飞机、火箭上的零部件;熔点低的材料称为易熔金属,如铅、锡等,可用于制造熔断丝、防火安全阀零件等。

3. 导电性

材料的导电性能一般以电阻率来衡量。金属和合金的电阻率与其化学成分、组织结构状态和所处的温度有关,凡是能阻碍金属中自由电子移动的因素,均使其电阻率升高。金属一般具有较好的导电性,当金属的组织变化时,将引起电阻率的变化。例如,杂质元素增加或形成固溶体将使电阻率升高;淬火时马氏体相变或冷变形也使电阻率升高。通常,随温度的升高金属的电阻率增加,而非金属材料的电阻率随温度的升高而降低。

4. 导热性

导热性是指材料传导热量的能力,通常用热导率表示。热导率是指单位时间内,通过垂直于热流方向单位面积上的热流量,单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。材料的热导率与材料的种类、组成结构、密度、杂质含量、气孔、温度等因素有关。导热性差的材料在较快速加热和冷却时,由于表面和内部、薄壁和厚壁处的温差

大,工件易产生较大的应力,从而导致变形或开裂。因此,在制定热处理、铸造、焊接和锻造等工艺时,必须考虑材料的导热性。非晶体结构、密度较低的材料,热导率较小。材料导热性受温度影响,一般随温度增高而稍有增加。

5. 热膨胀性

热膨胀是指随着温度变化,材料的体积也发生变化(膨胀或收缩)的现象,是衡量材料热稳定性好坏的一个重要指标,一般用线膨胀系数衡量,即温度变化 1°C 时,材料长度的增减量与其在 0°C 时的长度之比。对于在高温环境下工作,或者在冷、热交替环境中工作的零件,必须考虑其膨胀性能的影响;在热处理或热加工过程中,应考虑材料的热膨胀性,以防止因表面和内部、薄壁和厚壁处膨胀速度不同而产生应力,导致工件变形、开裂;当用两种不同的材料制作复合材料时,要求两种材料具有相近的膨胀系数。

6. 磁性

磁性是指材料所具有的导磁性能。能对磁场作出某种方式反应的材料称为磁性材料,按在外磁场中表现出来磁性的强弱,金属材料可分为铁磁性材料、顺磁性材料和抗磁性材料。铁磁性材料是指在外加磁场中能强烈地被磁化,如铁、钴等,这类材料可用于制造电动机、变压器等零件;顺磁性材料是指在外加磁场中只能微弱地被磁化,如锰、铬、钼、钒、镁、铝等;抗磁性材料是指材料能抗拒或削弱外加磁场对本身的磁化作用,如铜、锌、金、银、钛等,这类材料可用于制造避免磁场干扰的零件,如航海罗盘等。

常用金属的部分物理性能见表 1-2。

表 1-2 常用金属的物理性能

金属名称	元素符号	密度 (20°C) / (kg/m^3)	熔点 / $^{\circ}\text{C}$	热导率 / $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	线膨胀系数 ($0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$) / $(10^{-6}/^{\circ}\text{C})$	电阻率 ρ / $(10^{-6}\Omega \cdot \text{cm})$
铁	Fe	7.87×10^3	1 538	75.4	11.76	9.7
铝	Al	2.7×10^3	660	221.9	23.8	2.655
铜	Cu	8.96×10^3	1 083	393.5	17	1.67
铬	Cr	7.19×10^3	1 903	67	6.2	12.9
锡	Sn	7.3×10^3	231.9	62.8	2.3	11.5
钨	W	19.3×10^3	3 380	166.2	4.6 (20°C)	5.1
镁	Mg	1.74×10^3	650	153.7	24.3	4.47
钛	Ti	4.51×10^3	1 677	15.1	8.2	42.1 ~ 47.8
锰	Mn	7.43×10^3	1 244	4.98 (-192°C)	37	185 (20°C)