



中等职业教育示范专业规划教材

# 金属材料及热处理

葛涛 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

本书是根据中等职业教育培养目标的要求,结合中等职业学校的教学实际,在广泛吸取了一线教师的教学经验,以及毕业生反馈信息的基础上编写而成的。本书在内容上力求突出中职学校的教学特点,尽量做到体系结构合理,强调理论联系实际、突出技能性培养,摒弃“繁难偏旧”的理论知识;在结构安排和表达方式上,强调由浅入深,循序渐进,力求做到图文并茂。

本书共分十章,主要内容有:金属的性能、金属的结构与结晶、金属的塑性变形和再结晶、铁碳合金、钢的热处理、碳素钢、合金钢、铸铁、非铁金属及其合金、典型零件的选材及热处理。

本书可作为中等职业学校机械类专业教材,也可作为相关专业技术人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

金属材料及热处理/葛涛主编. —北京:机械工业出版社, 2011. 7  
中等职业教育示范专业规划教材  
ISBN 978-7-111-34495-7

I. ①金… II. ①葛… III. ①金属材料 - 中等专业学校 - 教材②热处理 - 中等专业学校 - 教材 IV. ①TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 109348 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 王佳玮 责任编辑: 白刚

版式设计: 张世琴 责任校对: 刘志文

封面设计: 鞠杨 责任印制: 乔宇

北京瑞德印刷有限公司印刷 (三河市胜利装订厂装订)

2011 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·10 印张·246 千字

0001—2000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-34495-7

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

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

销售二部: (010) 88379649

教材网: <http://www.cmpedu.com>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书是根据中等职业教育培养目标的要求，结合中等职业学校的教学实际，在广泛吸取了一线教师的教学经验及毕业生反馈信息的基础上编写的。在内容上力求突出中等职业学校教学的特点，尽量做到体系结构合理，强调理论联系实际，突出技能性培养，摒弃“繁难偏旧”的理论知识；在结构安排和表达方式上，强调由浅入深，循序渐进，力求做到图文并茂。

本书的特点主要有以下几点：

1. 内容实用、简练，用最精炼的语言介绍金属材料及热处理基本知识。
2. 注重知识的系统性。对常用金属材料的牌号、性能、热处理方法、用途等内容均系统地进行了讲解。
3. 注重与其他课程相结合。“金属材料及热处理”课程为专业基础课，其内容与诸多专业课相联系。本书内容注意到了与其他课程的有机衔接。
4. 注重综合能力的培养。本书不仅涉及系统的金属材料及热处理知识，而且介绍了金属材料的选取等内容，对读者综合能力的培养有重要意义。

本书由荆州高级技工学校葛涛任主编，陈玉华、刘继福任副主编，参加编写的还有张兵、杨斌。本书由李贞权、尹述军担任主审。

衷心希望本书的出版能够对目前职业院校的教学工作有所帮助，并希望得到职业教育专家和广大师生的批评与指正，以期通过逐步调整、完善和补充，使本书更加符合机械类技能人才培养的实际要求。

编 者

# 目 录

前言	
<b>第一章 金属的性能</b> .....	1
第一节 金属的力学性能 .....	1
第二节 金属的物理、化学性能 .....	10
第三节 金属的工艺性能 .....	11
思考与练习 .....	13
<b>第二章 金属的结构与结晶</b> .....	14
第一节 金属的晶体结构 .....	14
第二节 纯金属的结晶 .....	16
第三节 金属的同素异构转变 .....	19
思考与练习 .....	20
<b>第三章 金属的塑性变形和再结晶</b> .....	21
第一节 金属的塑性变形 .....	21
第二节 冷塑性变形对金属组织与性能的影响 .....	25
第三节 回复与再结晶 .....	26
第四节 金属的热塑性变形 .....	28
思考与练习 .....	29
<b>第四章 铁碳合金</b> .....	30
第一节 合金的晶体结构 .....	30
第二节 合金的结晶 .....	32
第三节 铁碳合金的基本组织 .....	36
第四节 铁碳合金相图 .....	39
第五节 铁碳合金相图的应用 .....	46
思考与练习 .....	48
<b>第五章 钢的热处理</b> .....	50
第一节 概述 .....	50
第二节 钢在加热时的组织转变 .....	51
第三节 钢在冷却时的组织转变 .....	53
第四节 钢的退火与正火 .....	59
第五节 钢的淬火 .....	63
第六节 钢的回火 .....	70
第七节 钢的冷处理与时效处理 .....	72
第八节 钢的表面热处理 .....	73
思考与练习 .....	77
<b>第六章 碳素钢</b> .....	79
第一节 常存元素对钢性能的影响 .....	79
第二节 碳素钢的分类及编号 .....	80
第三节 碳素钢的用途 .....	82
思考与练习 .....	87
<b>第七章 合金钢</b> .....	88
第一节 合金元素在钢中的作用 .....	88
第二节 合金钢的分类及编号 .....	91
第三节 合金结构钢 .....	93
第四节 合金工具钢 .....	99
第五节 特殊性能钢 .....	105
* 第六节 钢的火花鉴别 .....	107
思考与练习 .....	110
<b>第八章 铸铁</b> .....	112
第一节 铸铁的石墨化及影响因素 .....	112
第二节 灰铸铁 .....	114
第三节 可锻铸铁 .....	116
第四节 球墨铸铁 .....	117
第五节 合金铸铁 .....	120
思考与练习 .....	120
<b>第九章 非铁金属及其合金</b> .....	122
第一节 铜及铜合金 .....	122
第二节 铝及铝合金 .....	128
第三节 轴承合金 .....	132
第四节 硬质合金 .....	135
思考与练习 .....	137
<b>第十章 典型零件的选材及热处理</b> .....	139
第一节 机械零件材料的选用及毛坯 .....	139
第二节 热处理技术条件及工序位置 .....	141
第三节 典型零件的选材及热处理举例 .....	143
<b>附录</b> .....	148
附录 A 金属热处理工艺的分类及代号 .....	148
附录 B 压痕直径与布氏硬度对照表 .....	151
附录 C 钢铁材料硬度及强度换算表 .....	153
附录 D 常用钢的临界点 .....	154
附录 E 力学性能名称和符号新旧标准对照表 .....	155
<b>参考文献</b> .....	156

# 第一章 金属的性能

金属材料是现代机械制造业的基本材料，广泛地应用于制造生产和生活用品上。金属材料之所以获得广泛的应用，是由于它具有许多优良的性能。

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能两个方面。使用性能是指金属材料在使用条件下所表现出来的性能，包括力学性能、物理性能、化学性能等；工艺性能是指金属材料在制造加工过程中反映出来的各种性能，包括铸造性能、锻造性能、切削加工性能及焊接性能等。

## 第一节 金属的力学性能

### 学习目标：

- 1) 掌握金属的力学性能，包括强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等概念。
- 2) 熟练掌握各力学性能的衡量指标。
- 3) 学会有关性能指标的简单计算。

在机械制造领域选用材料时，大多以材料的力学性能为主要依据。力学性能是指材料在各种载荷作用下所表现出来的抵抗力。常用的力学性能指标有：强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等。

材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。根据载荷作用性质的不同，通常可分为静载荷、冲击载荷、疲劳载荷三种，见表 1-1。

表 1-1 常见载荷

分 类	特 点	实 例
静载荷	大小不变或变动很慢	机床主轴箱对床身的压力
冲击载荷	突然增加或消失	空气锤锤头下落时锤杆所承受的载荷
疲劳载荷	具有周期性	机床主轴运转时所承受的载荷

### 一、强度

金属在静载荷作用下，抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度。强度越高的材料，所能承受的载荷越大。按照载荷作用方式不同，强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。工程上常以抗拉强度作为强度指标。

抗拉强度是通过拉伸试验测定的。拉伸试验是用静拉伸力对标准试样（见图 1-1）进行轴向拉伸，同时连续测量力和相应的伸长量，直至试样断裂，测定其力学性能的试验。

#### 1. 应力 - 应变曲线

在拉伸试验中，将测得的力和相应的伸长量的关系绘成曲线，该曲线称为力 - 伸长曲

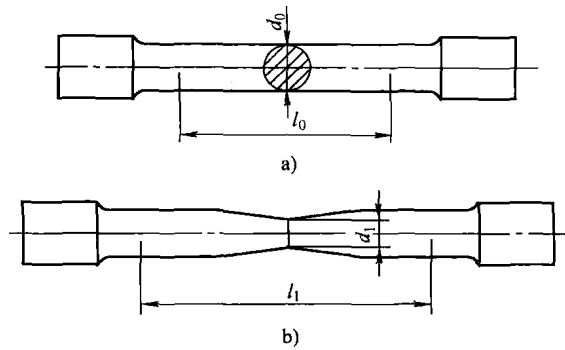


图 1-1 圆柱形拉伸试样  
a) 拉伸前 b) 拉伸后

线。由于材料的性质不同，它们的力 - 伸长曲线形状也不尽相同。图 1-2 所示为退火低碳钢的力 - 伸长曲线。下面以退火低碳钢的力 - 伸长曲线为例说明拉伸过程中的几个变形阶段，见表 1-2。

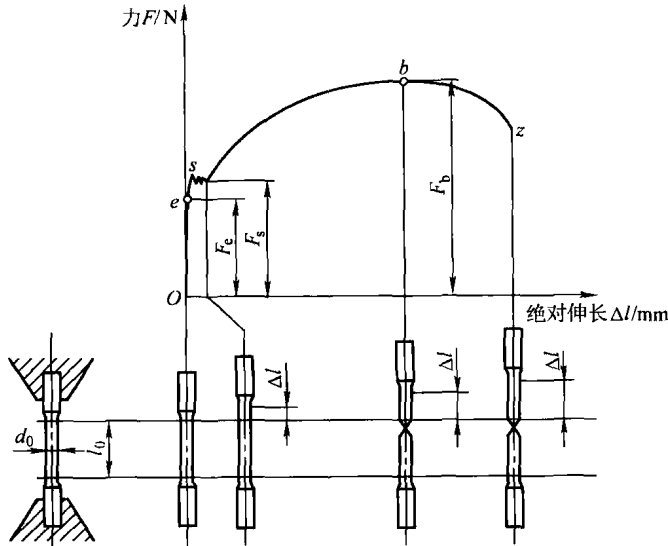


图 1-2 低碳钢的力 - 伸长曲线

为了排除试样原始尺寸对力 - 伸长曲线的影响，常用应力  $\sigma$  和应变的关系曲线，即应力 - 应变曲线。常见应力 - 应变曲线的形式如图 1-3 所示。可见，工程上使用的金属材料并不是都有以上明显的四个阶段。

表 1-2 退火低碳钢拉伸过程中的变形阶段

变形阶段	变形特点	说 明
弹性变形阶段 $Oe$	弹性变形	在此阶段试样的伸长量与载荷增加成正比，如果卸载，试样将恢复原状。 $F_e$ 为试样产生弹性变形的最大拉伸力

(续)

变形阶段	变形特点	说明
屈服阶段 $e_s$	弹性变形→塑性变形	当载荷增加到 $F_s$ 时, 图形上出现平台或锯齿状, 表示载荷不增加, 试样将继续伸长, 材料丧失了抵抗变形的能力, 这种现象称为屈服。 $F_s$ 称为屈服载荷
强化阶段 $sb$	塑性变形为主	屈服以后, 载荷继续增加, 试样继续伸长, 此时产生永久变形, 当载荷增加到 $b$ 点前, 试样的各部分均匀一致地伸长。在此阶段, 随着塑性变形量的增大, 试样变形抗力也将逐渐增加, 这种现象称为形变强化。 $F_b$ 为试样拉伸试验时的最大载荷
缩颈阶段 $bz$	塑性变形为主	当载荷超过 $b$ 点后, 试样的变形较集中在某一局部区域, 这一区域越拉越细, 出现“缩颈”现象。由于试样缩颈处横截面积的减小, 试样变形所需的载荷也随之降低, 这时伸长主要集中于缩颈部位, 直至断裂

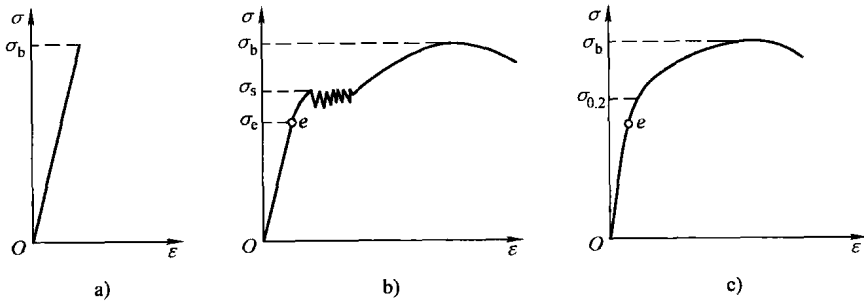


图 1-3 拉伸曲线

a) 无塑性变形的脆性材料 (如铸铁)

b) 有明显屈服点的塑性材料 (如低碳钢) c) 没有明显屈服点的塑性材料 (如纯铝)

## 2. 强度指标

金属材料的强度是用应力来度量的, 即材料受载荷作用后其内部会产生一个与载荷相平衡的内力, 单位截面积上的内力称为应力, 用  $\sigma$  表示, 单位为 MPa。强度指标如下:

(1) 屈服点  $\sigma_s$   $\sigma_s$  为材料产生屈服现象时的最小应力。

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

式中  $F_s$ ——屈服时的最小载荷 (N);

$A_0$ ——试样原始截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

对于无明显屈服现象的金属材料, 可用试样卸除载荷后, 其标距部分产生 0.2% 塑性变形时的应力  $\sigma_{0.2}$  表示, 也称为条件屈服强度。

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{A_0}$$

式中  $F_{0.2}$ ——塑性变形达 0.2% 时的载荷 (N);

$A_0$ ——试样原始截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

机械零件在使用过程中, 一般不允许发生塑性变形, 所以  $\sigma_s$ 、 $\sigma_{0.2}$  是大多数机械零件设计选材时的主要依据。  $\sigma_s$ 、 $\sigma_{0.2}$  的值越高, 允许的工作应力就越高, 零件所需的截面尺寸和

自身重量就可以较小。

(2) 抗拉强度  $\sigma_b$   $\sigma_b$  为材料在拉断前所承受的最大应力。

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

式中  $F_b$ ——材料在拉断前所承受的最大载荷 (N)；

$A_0$ ——试样原始截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

零件在工作中所承受的应力不允许超过抗拉强度，否则会产生断裂。因此， $\sigma_b$  也是机械零件设计和选材的重要依据。

设计机械零件时，以材料的  $\sigma_b$  还是  $\sigma_s$  计算，需视零件的要求而定。如果只是要求零件在工作时不会破断，就以该材料的  $\sigma_b$  来计算，如果零件在工作时发生少量塑性变形，会引起降低传动精度或影响其他零件的相对运动时，如柴油机气缸盖固定螺栓、汽轮机主轴等，则必须以该材料的  $\sigma_s$ 、 $\sigma_{0.2}$  来计算。

## 二、塑性

断裂前金属材料产生永久变形的能力称为塑性。塑性指标也是由拉伸试验测得的，常用断后伸长率和断面收缩率来表示。

(1) 断后伸长率  $\delta$  试样拉断后，标距的伸长量与原始标距的百分比称为断后伸长率。

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

式中  $L_1$ ——试样被拉断时的标距长度；

$L_0$ ——试样原始标距长度。

由于拉伸试样分为长拉伸试样和短拉伸试样，使用长拉伸试样测定的断后伸长率用  $\delta_{10}$  表示，通常写成  $\delta$ ；使用短拉伸试样测定的断后伸长率用符号  $\delta_5$  表示。

(2) 断面收缩率  $\psi$  试样拉断后，缩颈处横截面积的缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率。

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中  $A_1$ ——试样拉断后缩颈处的横截面积；

$A_0$ ——试样原始横截面积。

金属材料的断后伸长率和断面收缩率数值越大，表示材料的塑性越好。塑性好的金属易于通过压力加工（轧制、冲压、锻造等）形成复杂形状的零件，它们可以在受力过大时，首先产生塑性变形而不致发生突然断裂，因此比较安全。例如，工业纯铁的  $\delta$  可达 50%， $\psi$  可达 80%，可以拉制成细丝，轧制成薄板等。而铸铁的  $\delta$  几乎为零，所以不能进行塑性变形加工。

下面举例说明强度、塑性的计算方法。

例 有一钢试样  $l_0 = 200\text{mm}$ ， $d_0 = 20\text{mm}$ ，拉伸试验时测得  $F_s = 10676\text{N}$ ， $F_b = 18840\text{N}$ ， $d_1 = 15.5\text{mm}$ ， $l_1 = 232\text{mm}$ ，求此试样的  $\sigma_s$ 、 $\sigma_b$ 、 $\delta$ 、 $\psi$ 。

解：(1) 计算  $A_0$ 、 $A_1$

$$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{3.14 \times (20\text{mm})^2}{4} = 314\text{mm}^2$$



$$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3.14 \times (15.5 \text{ mm})^2}{4} = 188.4 \text{ mm}^2$$

(2) 计算  $\sigma_s$ 、 $\sigma_b$

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} = \frac{10676 \text{ N}}{314 \text{ mm}^2} = 34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} = \frac{18840 \text{ N}}{314 \text{ mm}^2} = 60 \text{ MPa}$$

(3) 计算  $\delta$ 、 $\psi$

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{232 \text{ mm} - 200 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \times 100\% = 16\%$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% = \frac{314 \text{ mm}^2 - 188.4 \text{ mm}^2}{314 \text{ mm}^2} \times 100\% = 40\%$$

### 三、硬度

硬度是材料抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力，是各种零件和工具必须具备的性能指标。如机械制造业所用的刀具、量具、模具等，都应具备足够的硬度，才能保证其使用性能和寿命。硬度还可以间接反映出材料的抗拉强度、疲劳强度等性能特点。与拉伸试验相比，硬度试验简便易行，因而应用十分广泛。工程上常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

#### 1. 布氏硬度

(1) 试验原理 如图 1-4 所示，使用一定直径的硬质合金球，以规定的试验力压入试样表面，经规定保持时间后卸除试验力，然后测量表面压痕直径，以压痕单位面积上所承受的平均压力来确定表面硬度值，用符号 HBW 表示。

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

式中  $F$ ——试验力 (N)；

$A$ ——压痕表面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$D$ ——球体直径 (mm)；

$d$ ——压痕平均直径 (mm)。

从上式中可以看出，当试验力 ( $F$ )、压头球体直径 ( $D$ ) 一定时，布氏硬度值仅与压痕直径 ( $d$ ) 的大小有关。 $d$  越小，布氏硬度值越大，也就是硬度越高。相反， $d$  越大，布氏硬度值越小，硬度也就越低。

通常布氏硬度值不标出单位。在实际应用中，布氏硬度一般不用计算，而是用专用的刻度放大镜量出压痕直径 ( $d$ )，根据压痕直径的大小，再从专门的硬度表中查出相应的硬度值，详见附录 B。

(2) 表示方法 符号 HBW 前的数字表示硬度值，例如：450HBW 表示布氏硬度值为 450。

(3) 应用范围 由于采用布氏硬度时压痕面积较大，能较真实地反映出材料的平均性能，而且布氏硬度与抗拉强度之间有一定的近似关系，因而应用广泛。但也因其压痕较大，

不宜用于测量成品及薄件。

## 2. 洛氏硬度

(1) 试验原理 洛氏硬度的测量与布氏硬度稍有不同，它是采用金刚石圆锥体或淬火钢球压头。试验时先施加初载荷使压头与试样表面接触良好，然后施加主载荷，保持规定时间后卸除主载荷，依据压痕深度来确定硬度值，用符号 HR 表示。

洛氏硬度试验时可采用不同的压头和总载荷组成几种不同的洛氏硬度标尺，常用的标尺是 A、B、C 三种，其中 C 标尺应用最为广泛。三种洛氏硬度标尺的试验条件和适用范围见表 1-3。

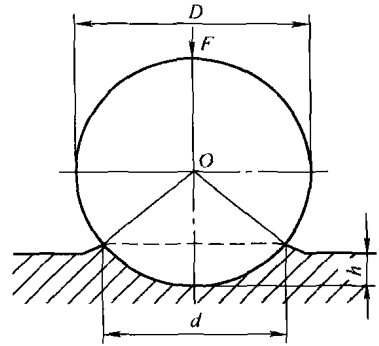


图 1-4 布氏硬度试验原理

表 1-3 常用洛氏硬度标尺的试验条件和适用范围

硬度标尺	压头类型	总试验力/N	硬度值有效范围	应用举例
HRC	120°金刚石圆锥体	1471.0	20 ~ 67HRC	一般淬火钢
HRB	φ1.588mm 钢球	980.7	25 ~ 100HRB	软钢、退火钢、铜合金钢
HRA	120°金刚石圆锥体	588.4	60 ~ 85HRA	硬质合金、表面淬火钢等

(2) 表示方法 符号 HR 前面的数字表示硬度值，HR 后面的字母表示不同的洛氏硬度标尺。例如：45HRC 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 45。各种标尺的洛氏硬度值不能直接进行比较，但可用试验测定的换算表（附录 C）相互比较。

(3) 应用特点 洛氏硬度试验法操作简单迅速，能直接从刻度盘上读出硬度值；测试的硬度值范围较大，既可测定软的金属材料，也可测定最硬的金属材料；试样表面压痕小，可直接测量成品或薄工件。但由于压痕小，对内部组织和硬度不均匀的材料，硬度波动大，为提高测量精度，通常测定三个不同点取平均值。

常见工具和钢材的洛氏硬度见表 1-4。

表 1-4 常见工具和钢材的洛氏硬度

名称	一般硬度	名称	一般硬度
切削刀具	60 ~ 65HRC	菜刀、剪刀、斧头	50 ~ 55HRC
钳工榔头	52 ~ 56HRC	扳手、螺钉旋具	43 ~ 48HRC
钳工錾子	50 ~ 52HRC	钢材（供应状态）	20HRC 以下
冷冲模	58 ~ 62HRC	一般螺钉、螺母（调质）	28 ~ 32HRC
量规	56 ~ 58HRC	硬质合金刀具	85HRA 以上

## 3. 维氏硬度

(1) 试验原理 维氏硬度的试验原理基本上和布氏硬度试验的原理相同，将相对面夹角为 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，经规定保持时间后卸除试验力，用测量压痕对角线长度的方法来计算其硬度值。

在实际工作中，维氏硬度值同布氏硬度一样不用计算，而是根据压痕对角线长度从表中直接查出。

(2) 表示方法 维氏硬度值的表示方法与布氏硬度相同，例如：640HV 表示维氏硬度

值为 640。

(3) 应用特点 维氏硬度值具有连续性 (10 ~ 1000HV)，故可测定很软到很硬的各种金属材料的硬度，且准确性高。维氏硬度因试验时所加的试验力小，压入深度较浅，故可测量较薄的材料；也可测量表面渗碳、渗氮层的硬度。维氏硬度试验的缺点是测量压痕对角线的长度较繁琐，且由于压痕小，对试件表面质量要求较高。

#### 四、冲击韧性

有些材料在载荷缓慢增加时，会显示出较高的强度，但在冲击载荷的作用下却异常脆弱，如高碳钢和铸铁；相反，有些材料的强度不高，但在冲击力作用下却很坚韧，如软钢和铜。可见，材料在冲击力作用下的表现是不同的，工程上常用冲击韧性表示。

金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力称为冲击韧性。目前，常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定材料的冲击韧性。

##### 1. 冲击试验的原理及方法

冲击试验是利用能量守恒原理即试样被冲断过程中吸收的能量等于摆锤冲击试样前后的势能差来测定材料的冲击韧性的。

试验时将待测的金属材料加工成标准试样 (见图 1-5)，然后放在试验机的支座上，放置时试样缺口应背向摆锤的冲击方向，如图 1-6a 所示。再将具有一定重量  $G$  的摆锤升至一定的高度  $H_1$  (图 1-6b)，使其获得一定的势能 ( $GH_1$ )，然后使摆锤自由落下，将试样冲断。摆锤的剩余势能为  $GH_2$ ，试样被冲断时所吸收的能量即是摆锤冲击试样所做的功，称为冲击吸收功，用符号  $A_K$  表示。冲击吸收功  $A_K$  除以试样缺口处的截面积  $A_0$ ，即可得到材料的冲击韧度  $a_K$ ，其计算公式如下

$$a_K = \frac{A_K}{A_0} = \frac{G(H_1 - H_2)}{A_0}$$

式中  $A_K$ ——冲击吸收功 (J)；

$G$ ——摆锤的重量 (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)；

$a_K$ ——冲击韧度 ( $J/cm^2$ )；

$A_0$ ——试样缺口处截面积 ( $cm^2$ )。

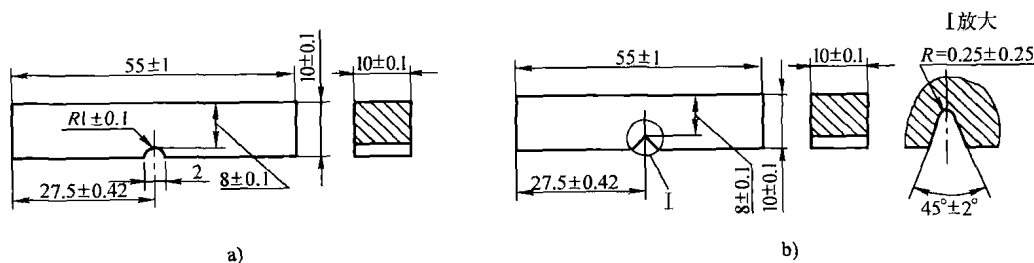


图 1-5 标准试样

a) U 型缺口冲击试样 b) V 型缺口冲击试样

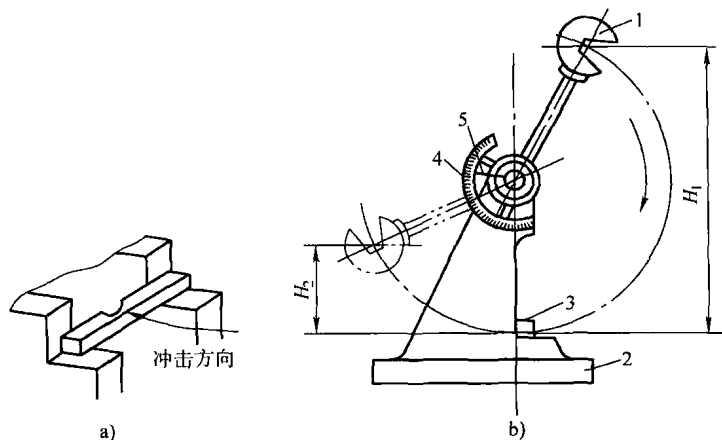


图 1-6 冲击试验示意图

1—摆锤 2—支座 3—试样 4—刻度盘 5—指针

需要说明一点, 使用不同类型的标准试样 (U 型缺口或 V 型缺口) 进行试验时, 冲击韧度分别以  $a_{KU}$  或  $a_{KV}$  表示。

冲击韧度  $a_K$  值越大, 表明材料的韧性越好, 受到冲击时越不易断裂。 $a_K$  值的大小受很多因素影响, 不仅与试样形状、表面粗糙度、内部组织有关, 还与试验时的温度密切相关。因此冲击韧度值一般只作为选材时的参考, 而不能作为计算依据。

## 2. 小能量多次冲击试验

实践表明, 在冲击载荷下工作的机械零件, 很少因一次大能量冲击而遭破坏, 绝大多数是在小能量多次冲击作用下而破坏的, 如凿岩机风镐上的活塞、冲模的冲头等。它们的破坏是由于多次冲击损伤的积累, 导致裂纹的产生与扩展的结果。所以用  $a_K$  值来衡量材料的冲击抗力不符合实际情况, 应采用小能量多次重复冲击试验来测定。

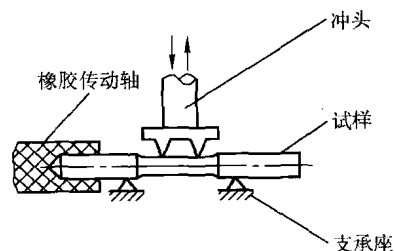


图 1-7 小能量多次冲击示意图

小能量多次冲击试验的原理如图 1-7 所示。试样在冲头多次冲击下断裂时, 经受的冲击次数 ( $N$ ) 代表金属的抗冲击能力。冲击次数越多, 抗冲击性能越好。

实践证明, 金属材料受大能量的冲击载荷作用时, 其冲击抗力主要取决于冲击韧度的大小, 而在小能量多次冲击条件下, 其冲击抗力主要取决于材料的强度和塑性。

## 五、疲劳强度

### 1. 疲劳的概念

许多机械零件, 在交变应力作用下, 虽然零件所承受的应力低于材料的屈服点, 但经过较长时间的工作后而产生裂纹或突然发生完全断裂的现象, 称为金属的疲劳。所谓交变应力, 是指材料所受的应力不仅有量的变化, 还有方向的变化, 例如, 由拉变压, 再由压变拉。由此看来, 疲劳最容易发生在旋转或往返运动时受载的机械零件和部件, 如轴、弹簧、活塞杆、传动轴、齿轮等。

疲劳破坏是机械零件失效的主要原因之一, 据统计, 在机械零件失效中有 80% 以上属

于疲劳破坏。疲劳破坏前所承受的应力低于材料的屈服点，而且没有明显的变形，是突然断裂，所以疲劳破坏经常造成重大事故。

## 2. 疲劳强度

工程上规定，材料经无数次重复交变载荷作用而不发生断裂的最大应力称为疲劳强度。

为了测定金属材料的疲劳强度，把一定形状和尺寸的试样安装在疲劳试验机上，分别在不同的弯曲应力作用下进行旋转，直至试样断裂为止。这样就得到如图 1-8 所示的交变应力  $\sigma$  与断裂前应力循环次数  $N$  的关系曲线，该曲线称为“疲劳曲线”。

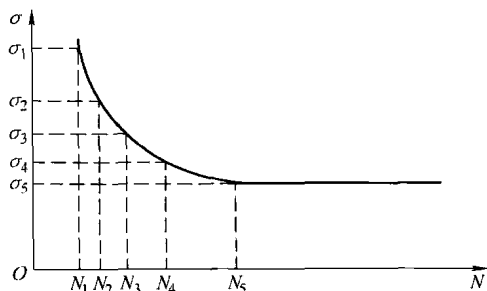


图 1-8 疲劳曲线

曲线表明，材料受的交变应力越大，则断裂时应力循环次数 ( $N$ ) 越少，反之，则  $N$  越大。当应力低于一定值时，试样经无限周次循环也不破坏，此应力值称为材料的疲劳强度，用  $\sigma_r$  表示；当应力为对称循环时，疲劳强度用  $\sigma_{-1}$  表示。实际上，测试时钢铁材料规定循环周次为  $10^7$ ，非铁金属、不锈钢规定循环周次为  $10^8$ 。

## 3. 提高疲劳强度的途径

金属产生疲劳与许多因素有关，目前普遍认为这是由于材料内部有缺陷（夹杂物、气孔、疏松等）、表面划痕、残余应力及其他能引起应力集中的缺陷导致微裂纹产生，这种微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展，致使零件突然断裂。

针对上述原因，为了提高零件的疲劳强度，应改善结构设计以避免应力集中；提高加工工艺以减少内部组织缺陷；还可以通过降低零件表面粗糙度和表面强化方法（如表面淬火、表面滚压、喷丸处理等）来提高表面加工质量。

以下将力学性能的基本指标及其含义小结于表 1-5 中。

表 1-5 常见的力学性能指标及其含义

力学性能	性能指标			含 义
	符号	名称	单位	
强度	$\sigma_b$	抗拉强度	MPa	试样拉断前所能承受的最大应力 拉伸过程中，力不增加（保持恒定）试样仍能继续伸长时的应力 规定伸长率达 0.2% 时的应力
	$\sigma_s$	屈服点	MPa	
	$\sigma_{0.2}$	条件屈服强度	MPa	
塑性	$\delta$	断后伸长率		试样拉断后，标距的伸长量与原始标距的百分比 缩颈处横截面积的缩减量与原始横截面积的百分比
	$\psi$	断面收缩率		
硬度	HBW	布氏硬度值		球形压痕单位面积上所承受的平均压力 用洛氏硬度相应标尺刻度满程与压痕深度之差计算的硬度值
	HRC	C 标尺洛氏硬度值		
	HRB	B 标尺洛氏硬度值		
	HRA	A 标尺洛氏硬度值		
	HV	维氏硬度		正四棱锥形压痕单位表面积上所承受的平均压力

(续)

力学性能	性能指标			含 义
	符号	名称	单位	
冲击韧性	$a_K$	冲击韧度	J/cm <sup>2</sup>	冲击试样缺口处单位横截面积上的冲击吸收功
疲劳强度	$\sigma_{-1}$	疲劳极限	MPa	试样承受无数次（或给定次）对称循环应力仍不断裂的最大应力

## 第二节 金属的物理、化学性能

### 学习目标:

- 1) 了解金属的物理、化学性能的概念。
- 2) 了解金属的物理、化学性能的应用。

### 一、物理性能

金属材料的物理性能包括密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性等，各种机械零件由于用途不同，对材料的物理性能要求也有所不同。

#### 1. 密度

密度是金属材料的特性之一，表示某种金属单位体积的质量。通常用密度来计算零件毛坯的质量，因此密度直接关系到由它所制成的零件或构件的重量或紧凑程度，这点对于要求减轻机械自重的航空和宇航工业制件具有特别重要的意义。例如，飞机、火箭等用密度小的铝合金制作的零件，比用钢材制造的同样的零件重量可减轻 1/3 ~ 1/4。

#### 2. 熔点

金属材料由固态转变为液态时的熔化温度称为熔点。金属都有固定的熔点，合金的熔点取决于成分，例如，碳素钢是由铁和碳组成的合金，含碳量不同，熔点也不同。

根据熔点的不同，金属材料可分为低熔点金属和高熔点金属两大类。熔点高的金属称为难熔金属（如 W、Mo、V 等）可用来制造耐高温零件，例如，喷气发动机的燃烧室需用高熔点合金来制造。熔点低的金属（Sn、Pb 等）可用来制造电源上的熔丝等。对于热加工材料，熔点是制定热加工工艺的重要依据之一，例如，铸铁和铸铝的熔点不同，它们的熔炼工艺就有较大区别。

#### 3. 导热性

导热性是指金属材料传导热量的能力。衡量金属材料导热性能好坏的主要性能指标是热导率，热导率大的材料，其导热性就好。合金的导热性比纯金属差，例如，合金钢的导热性较差，当其进行锻造或热处理时，加热速度应慢一些，否则由于表面和内部产生温差，膨胀不同，会形成较大的内应力而产生裂纹。

#### 4. 导电性

导电性是指金属材料传导电流的能力。电阻率是表示材料导电能力的性能指标。在金属

中，以银的导电性为最好，其次是铜和铝，合金的导电性比纯金属差。导电性好的金属（如纯铝、纯铜等）适于制作导电材料；导电性差的材料适于制作电热元件。

### 5. 热膨胀性

热膨胀性是指金属材料随温度变化而体积发生膨胀或收缩的特性。一般材料都具有热胀冷缩的特点，因此在实际工程中，许多场合都要考虑热膨胀性。例如，制造内燃机活塞的材料，其热膨胀系数要小；铺设钢轨时，两根钢轨衔接处应留有一定空隙，使钢轨在长度方向有伸缩的余地；制定热加工工艺时，应考虑材料的热膨胀影响，尽量减小工件的变形和开裂等。

## 二、化学性能

金属及合金的化学性能主要是指它们在室温或高温时抵抗各种介质的化学侵蚀的能力，包括耐蚀性、抗氧化性等。

### 1. 耐蚀性

耐蚀性是指金属材料在常温下抵抗氧、水蒸气等化学介质腐蚀破坏作用的能力。腐蚀对金属的危害很大，它会破坏零件的外观质量，降低零件的使用寿命，甚至使设备突然损坏等，每年都因腐蚀而损耗掉大量金属材料，这种现象在制药、化肥、制酸、制碱等行业更为严重。因此，提高金属材料的耐蚀性，对于节约金属、延长零件的使用寿命具有重要的现实意义。

### 2. 抗氧化性

抗氧化性是指金属材料在高温抵抗氧化作用的能力。钢铁材料在高温下（570℃以上）其表面容易氧化，主要原因是生成了疏松多孔的FeO，氧原子易通过FeO进行扩散，使钢的内部不断氧化，温度越高，氧化速度越快。氧化使得钢铁材料在铸、锻、焊等热加工时，损耗严重，也容易出现加工缺陷。提高钢铁材料的抗氧化性，可采用在材料表面形成连续而致密的保护膜的方法，阻止进一步氧化。

## 第三节 金属的工艺性能

### 学习目标：

- 1) 了解金属的工艺性能所包括的内容。
- 2) 了解各种工艺性能与哪些因素有关。

用金属材料制造各种零件时，首先需要对其进行各种加工。因此在了解金属的使用性能的同时，还必须进一步了解其各种工艺性能。金属材料的工艺性能是其物理、化学和力学性能的综合，是指材料对各种加工工艺的适应能力。工艺性能的好坏直接影响零件的加工质量和生产成本，所以它也是选材和制定零件加工工艺必须考虑的因素之一。

### 一、铸造性能

铸造性能是指浇注铸件时，材料充满比较复杂的铸型并获得优质铸件的能力。衡量铸造性能的主要指标有流动性、收缩性和偏析倾向性等，见表1-6。

表 1-6 铸造性能的主要指标

性能指标	概念	特点
流动性	熔融金属的流动能力	流动性好的金属容易充满铸型，从而获得外形完整、尺寸精确、轮廓清晰的铸件
收缩性	铸件在凝固和冷却过程中体积和尺寸减小的现象	铸件收缩不仅影响尺寸精度，还会使铸件产生缩孔、疏松、内应力、变形和开裂等缺陷
偏析倾向性	金属凝固后内部化学成分和组织的不均匀现象	偏析严重时能使铸件各部分的力学性能有很大的差异，降低铸件的质量，这对大型铸件的危害更大

流动性好、收缩率小、偏析倾向小的材料铸造性能好。在常用的铸造合金中灰铸铁的流动性最好，收缩率最小，而铸钢的流动性最差，收缩率最大。

## 二、锻造性能

锻造性能是指用锻压成形方法获得优质锻件的难易程度。良好的锻造性能应有低的塑性变形抗力和良好的塑性，前者使设备耗能少，后者使产品获得准确的外形而不至破坏。锻造性能的影响因素见表 1-7。

表 1-7 锻造性能的影响因素

影响因素	应用特点
塑性	塑性好的金属具有较好的锻造性能
强度	强度低的金属具有较好的锻造性能
化学成分	纯金属的锻造性能好于合金。对钢来讲，含碳量越低，锻造性能越好；含合金元素越多，锻造性能越差；含硫、磷量越多，锻造性能越差

## 三、焊接性能

焊接性能是指金属材料对焊接加工的适应性，即材料是否易于焊接在一起并能保证焊缝质量的性能，一般以焊接处出现各种缺陷的倾向来衡量。焊接性能好的金属，其焊接接头不易产生裂纹、气孔和夹渣等缺陷，而且具有较高的力学性能。

对碳钢和低合金钢而言，焊接性能主要同金属材料的化学成分有关，其中碳的影响最大，故把钢中含碳量的多少作为判别钢材焊接性能的主要标志。钢中含碳量越高，其焊接性能越差，如低碳钢具有良好的焊接性能，高碳钢、铸铁的焊接性能较差。

## 四、切削加工性能

切削加工性能是指切削加工金属材料的难易程度，一般由工件切削后的表面粗糙度及刀具寿命等方面来衡量。可加工性好的金属材料，刀具磨损小，切削用量大，加工表面粗糙度值低。

影响切削加工性能的因素主要有工件的化学成分、组织状态、硬度、塑性、导热性和形变强化等。一般认为金属材料具有适当的硬度（170~230HBW）和足够的脆性时较易切削。所以铸铁比钢的切削加工性能好，一般碳钢比高合金钢的切削加工性能好。改变钢的化学成分和进行适当的热处理，是改善钢的切削加工性能的重要途径。



## 思考与练习

### 一、填空题

1. 变形一般分为\_\_\_\_\_变形和\_\_\_\_\_变形两种。不能随载荷的去除而消失的变形称为\_\_\_\_\_变形。
2. 填写下列力学性能指标的符号：屈服强度\_\_\_\_\_、抗拉强度\_\_\_\_\_、布氏硬度（压头为硬质合金球）\_\_\_\_\_、洛氏硬度（C标尺）\_\_\_\_\_、断后伸长率\_\_\_\_\_、断面收缩率\_\_\_\_\_、疲劳强度\_\_\_\_\_、冲击韧度\_\_\_\_\_。

### 二、判断题

1. 金属材料在拉伸试验时都会出现显著的屈服现象和缩颈现象。 ( )
2. 布氏硬度值取决于残余压痕深度增量，洛氏硬度值则取决于压痕直径的大小。 ( )
3. 标距不同的断后伸长率不能相互比较。 ( )
4. 在小能量、多次冲击条件下，冲击抗力主要取决于材料的强度和塑性。 ( )
5. 低碳钢的焊接性较差，高碳钢、铸铁的焊接性较好。 ( )
6. 碳钢的铸造性比铸铁好，故常用来铸造形状复杂的工件。 ( )

### 三、问答题

1. 画出低碳钢拉伸时的力-伸长曲线图，并说明拉伸变形时的几个阶段。
2. 什么是工艺性能？工艺性能包括哪些内容？
3. 何谓金属的疲劳？可采取哪些措施来提高构件的疲劳强度？