

就业训练机械类统编教材

# 金属工艺基础

(试用)



劳动人事出版社

# 绪 论

金属材料在现代工业生产中占有极其重要的地位。不仅在机械制造、交通运输、国防与科学技术等各个部门需要使用大量的金属材料，而且在人们生活中也离不开金属材料。金属材料品种繁多，在工程上常用的金属材料有钢铁、有色金属及其合金、粉末冶金材料等。各种材料的成分不同，性能各异，而且通过加工，特别是热处理后，性能变化很大。因此，研究金属材料及其加工工艺是非常重要的，尤其对于机械制造行业的工人培训及工程技术人员更有特殊重要的意义。

金属工艺基础是一门综合性的技术基础课。它是介绍金属材料以及如何把金属材料加工成机械零件的一门课程。

本书系统地介绍了金属材料的性能、牌号及各种加工方法。它是根据机械类冷、热加工各工种，如铸造、锻造、焊接、热处理、冷加工工艺等工人技术等级标准编写的，并在内容编写上打破了历来教材传统的编写方法，有所创新，便于教和自学。具体来说，本课程内容是由金属材料、热处理、金属加工工艺三方面组成，其基本要求如下：

1. 在金属材料方面，首先介绍金属材料的机械性能、物理性能、化学性能和工艺性能，并以介绍机械性能为主；然后主要介绍常用金属材料碳钢、合金钢、铸铁、有色金属铝、铜合金、轴承合金等(其中以钢铁材料为主)的成分、牌号、性能和用途方面的基本知识，为以后选用金属材料打下基础。

2. 在热处理方面，主要介绍通过热处理对金属材料内部组织结构、表面化学成分及性能方面的显著影响，以及常用钢铁材料的热处理基本知识和各种热处理的具体工艺方法。

3. 在加工工艺方面，主要介绍制成毛坯的各种热加工基本方法，如铸造、压力加工、焊接以及冷加工工艺中的车、铣、刨、磨、钳等基本加工方法。

本书所讲授的内容与机械基础、车工工艺、钳工工艺及机械识图等方面的知识是密切相关的。

学习本课程可以获得有关常用金属材料及其各种加工工艺等方面的基本知识，并为进一步学好专业课和搞好生产应用与操作打下基础。

金属工艺基础是一门与生产实际联系比较密切的课程，也是学好各门专业课的基础。因此在学习时，要注重理论联系实际，紧密结合生产，以消化课堂上所学的知识；要重视实验和参观，有可能时，积极参与机械性能试验、热处理试验等，并到热处理和其它加工车间参观现场生产，以增加感性知识。

# 第一章 金属材料的性能

## §1-1 金属材料的机械性能

### 一、概 述

金属材料使用寿命的长短，是通过金属的各种技术性能指标表征的。其中以机械性能尤为重要，它是选用金属材料的重要依据。因此，熟悉和掌握金属材料的机械性能是非常重要的。

金属材料的机械性能即通常所说的力学性能，是指金属材料在外力作用下所表现出来的性能。它是衡量金属材料的极其重要的指标，这对选用金属材料具有重要的理论和实际意义。金属的机械性能主要有：弹性、塑性、强度、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。这些性能指标，一般都要按规定制成一定形状和尺寸的标准试样，并在专门试验机上通过试验测定的。

金属材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷，或者说把加在金属材料上的外力叫做载荷。载荷作用于金属材料使其产生尺寸和形状的改变，统称变形。如短钢棒被拉长变细就是一种变形。

运动着的机器零件所承受的载荷是比较复杂的，根据载荷的作用性质的不同，可以把载荷分为静载荷、动载荷和交变载荷等。

**静载荷** 是指大小不变或变动很慢的载荷。如机床作用在地面上的载荷就是静载荷。金属试件的拉伸试验，就是缓慢加

上去的静载荷试验。

**动载荷** 又叫冲击载荷，是指突然加上去的载荷。如用锤打铁、打桩都是动载荷。

**交变载荷** 是指大小或方向成周期性变化的载荷，也称变动载荷。如用手反复弯曲铁丝及机床主轴旋转所受的力都是一种交变载荷。

实践证明动载荷与交变载荷的破坏作用都比静载荷大，而动载荷的破坏力更大。

由于加在金属材料上的载荷作用方式不同，金属材料所产生的变形也不同。一般可分为拉伸、压缩、扭转、剪切和弯曲等五种变形形式，如图1-1所示。

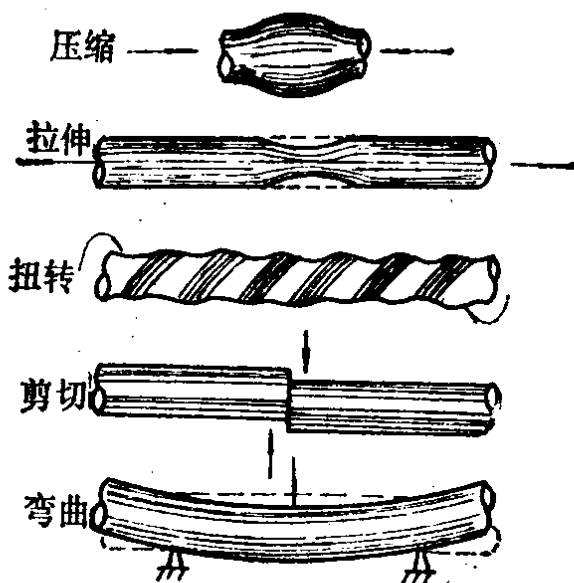


图1-1 金属受外力作用的各种变形

金属材料在外力作用下发生变形的同时，其内部也产生阻止变形的抗力，称为内力。内力数值的大小与外力相等，但方向相反。所以在机械性能测试中，常常用单位横截面积上所受的外力大小来表示，并称它为应力。应力可用下式计算：

$$\sigma = \frac{P}{F} \text{ 帕[斯卡]} \textcircled{1}$$

式中  $\sigma$  ——应力，单位为帕(Pa)；

$P$  ——所加外力即载荷，单位为牛[顿](N)②；

$F$  ——受力横截面积，单位为米<sup>2</sup>(m<sup>2</sup>)。

## 二、弹性与塑性

金属材料在外力作用下将产生不同形式和程度的变形。金属材料随着外力的增加通常会产生弹性变形、弹性—塑性变形和断裂三个变形阶段。如低碳钢的拉伸试验，见图 1-2 所示。

1. 弹性 是指金属受外力作用时产生变形，当外力去掉后仍能恢复原来形状的性能叫做弹性。这种随着外力消失而消失的变形，叫做弹性变形。在弹性变形阶段，当去掉外力后变形马上消失，材料恢复原来的形状和尺寸，这种变形可以理解为“临时变形”。如橡皮条、弹簧的拉长与恢复就是典型的弹性变形。金属材料抵抗或阻止弹性变形的能力又称做刚性或刚度。金属材料在外力作用下，越不容易产生弹性变形，说明这种材料的刚性就越好。金属材料在弹性变形中，所加的最大外力与其横截面积之比，称为弹性极限，用 $\sigma_e$ 表示，即：

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} \text{ 帕}$$

式中  $\sigma_e$  ——弹性极限，单位为帕；

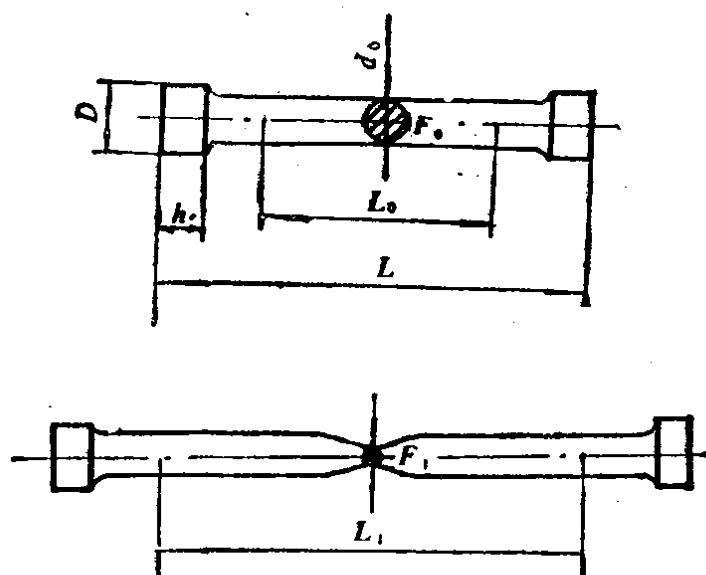
$P_e$  ——保持弹性时所能承受的最大载荷，单位为牛；

$F_0$  ——试样的原始截面积，单位为米<sup>2</sup>。

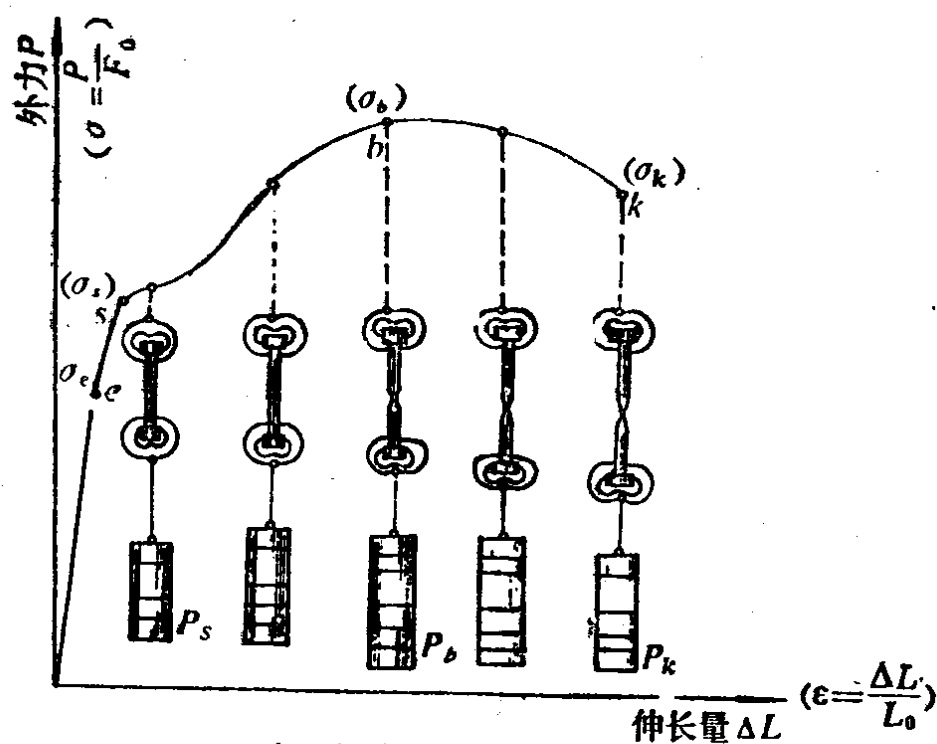
---

① 应力的法定单位是帕斯卡，简称帕，单位符号为Pa，1 帕(Pa) = 1 牛/米<sup>2</sup> (N/m<sup>2</sup>)，1 千克力/毫米<sup>2</sup> (kgf/mm<sup>2</sup>) = 9.8 牛/毫米<sup>2</sup> (N/mm<sup>2</sup>) = 9.8 × 10<sup>6</sup> 帕(Pa)。

② 力的法定单位是牛顿，简称牛，单位符号为N。1 千克力(1 kgf) = 9.8 牛(N) ≈ 10 牛(N)。



a) 钢的标准拉伸试样



b) 低碳钢的拉伸曲线

图1—2 拉伸试验

a) 钢的标准拉伸试样 b) 低碳钢的拉伸曲线  
 $L_0$ —试样标距长度  $L_1$ —试样拉断后长度  $d_0$ —试样直径  
 $F_0$ —试样原横截面积  $F_1$ —试样拉断后横截面积

弹性极限 $\sigma_e$ 的数值越大,说明金属材料的弹性就越好,即承受较大外力,而不致产生不可恢复的永久性变形。例如,对机械或车辆上的弹簧,应选取具有较大数值弹性极限的金属材料,以保证弹簧在使用过程中不发生永久性变形。

金属材料的刚性,在实际应用过程中也具有很重要的作用,例如机床的床身、刀架、顶尖轴、主轴、镗刀杆、卧式铣床用的铣刀架等,只有刚性好,不发生弹性变形,才能保证加工出的产品精度和质量。其它如钢架桥梁、铁塔、起重机悬臂、自行车的车架等也都要求有良好的刚性。

2. 塑性 产生弹性变形的金属材料,当所加的外力进一步增加时,金属材料将产生更大的变形。当外力去掉后,变形不能完全消失,有一部分变形被保留下来,这种被保留下来的变形就成为“永久变形”或“残留变形”。这种随着外力的消失而保留下来的永久性变形称为塑性变形。换句话说,不能恢复的变形便叫塑性变形。而把金属材料在外力作用下能产生永久变形不发生破坏的性能叫做塑性。塑性表示材料塑性变形能力的大小。实践证明,金属材料的塑性与温度有关,温度越高,金属材料的塑性就越好。锻造之所以要加热就是这个道理。另外,含碳量对金属材料的塑性也有很大影响,一般塑性随含碳量的增加而降低,所以纯金属材料一般比合金材料塑性为好。

衡量金属材料塑性好坏,通常用延伸率、断面收缩率和冷弯角等表示。

(1) 延伸率 钢材受拉力作用破坏时,伸长量与原长度的百分比叫做延伸率,通常以 $\delta$ 表示。

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

式中  $\delta$  ——试样的延伸率也叫伸长率,用百分数表示;



$L_1$ ——试样拉断后的长度，单位为米；

$L_0$ ——试样原来的长度，即标距长度，单位为米。

如果用  $\Delta L = L_1 - L_0$  则上式可简化为

$$\delta = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

式中  $\Delta L$ ——试样的伸长量，又称试样的绝对伸长，单位为米。

延伸率  $\delta$  的大小与试样尺寸长短有关，即对同一材料，所测  $\delta$  值的大小随试样尺寸长短而变化，为了便于比较，试样的长度必须标准化，用“标距长度”表示。“标距长度”一般采用其直径的 5 倍或 10 倍两种，分别以  $\delta_5 (L_0 = 5d_0)$  和  $\delta_{10} (L_0 = 10d_0)$  表示。若不加标注的，则是指长试样  $\delta_{10}$  的延伸率。

(2) 断面收缩率 钢材受拉力作用破坏时，其断面缩小的面积与原横截面积的百分比叫做断面收缩率，以  $\psi$  表示。

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中  $\psi$ ——试样断面收缩率，用百分数表示；

$F_0$ ——试样原始横截面积，单位为米<sup>2</sup>；

$F_1$ ——试样拉断后，断裂处的横截面积，单位为米<sup>2</sup>。

如果用  $\Delta F = F_0 - F_1$  则上式可简化为

$$\psi = \frac{\Delta F}{F_0} \times 100\%$$

$\Delta F$ ——试样横截面积的收缩量，单位为米<sup>2</sup>。

金属材料的伸长率  $\delta$  或断面收缩率  $\psi$  数值越大，表示其塑性越好。反之，表示金属材料的塑性越差。良好的塑性材料有利于进行锻压、冷冲和冷拔等成型加工。纯金属、钢等具有较好的塑性，可以进行轧制和锻造；而铸铁塑性很差，通常不能进行压力加工，只可铸造成型。

(3) 冷弯角度 一般是用长条形试件，根据不同的材质、板厚，按规定的弯曲半径进行弯曲，发生裂缝前的角度，叫做冷弯角度。冷弯角度越大，说明材料的塑性越好。

### 三、强 度

强度是工程技术上最重要的机械性能指标之一，是设计零件和选用材料的依据。

强度是指金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的一种性能。也就是抵抗外力而不致失效的能力。通俗地说，材料的强度就是它的结实程度。如在外力作用下金属材料不发生断裂，也不产生塑性变形，我们说这种金属材料的强度就高，反之就低。机械零件在使用过程中，必须满足设计的强度要求。

由于金属材料受到各种不同的外力作用，如拉力、压力、弯曲力、剪切力等，所以金属材料的强度也分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。各种金属材料的强度指标可用应力大小来表示。

金属材料最常用的强度指标是：屈服强度和抗拉强度，分别用 $\sigma_s$ 和 $\sigma_b$ 表示。

1. 屈服强度 屈服强度也叫屈服极限，就是金属材料在外力作用下抵抗微量塑性变形的抗力指标。它可按下式计算：

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \text{ 帕}$$

式中  $\sigma_s$ ——试样的屈服强度，单位为帕；

$P_s$ ——试样产生屈服强度时所加的载荷，单位为牛；

$F_0$ ——试样的原始横截面积，单位为米<sup>2</sup>。

$\sigma_s$ 值越大，表示金属材料本身抵抗塑性变形的能力就越大，这种材料就越不容易产生塑性变形。

对于某些变形不明显的脆性材料，工程上常规定以试样产

生一定量塑性变形(通常为0.2%)时的应力, 作为材料的“条件屈服强度”, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

大多数机器零件和结构在工作中一般不允许发生塑性变形。所以, 屈服强度是评定金属材料质量的重要机械性能指标。如发动机气缸盖的螺栓受力都不应高于 $\sigma_s$ , 否则因螺栓变形将使气缸盖松动漏气, 这是不允许的。

2. 抗拉强度 抗拉强度又称强度极限, 它是表示对大量塑性变形的抗力指标, 即金属材料在拉断前单位横截面积上所能承受的最大应力值。抗拉强度可按式计算:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \text{ 帕}$$

式中  $\sigma_b$ ——试样的抗拉强度, 单位为帕;

$P_b$ ——试样在拉断前的最大载荷, 单位为米<sup>2</sup>。

$\sigma_s$ 值越大, 表示该金属材料抵抗断裂的能力越大, 强度越高, 因而在使用中就越安全。

以上弹性极限 $\sigma_s$ 、塑性指标 $\delta$ 和 $\psi$ 、强度指标 $\sigma_s$ 和 $\sigma_b$ , 皆是在拉力试验机上用标准试样进行拉伸或拉断后测定的(参看图1—2拉伸试验)。

下面举例说明强度、塑性的计算方法。

例1 有一根钢试样, 原始长度 $5 \times 10^{-2}$ 米(50毫米), 直径 $1 \times 10^{-2}$ 米(10毫米)。做静拉伸试验时, 在载荷增加到21980牛时开始出现屈服(即产生微量塑性变形)现象; 载荷达到36110牛时试样被拉断, 结果测得变形后的长度是 $6.15 \times 10^{-2}$ 米(61.5毫米), 断裂细颈处(明显变形部分)直径是 $7.07 \times 10^{-3}$ 米(7.07毫米)。求钢试样的屈服强度、抗拉强度、延伸率和断面收缩率各多少?

解: (1) 求屈服强度

因为  $P_s = 21980$  牛;  $d_0 = 1 \times 10^{-2}$  米,

则 
$$F_0 = \pi r^2 = \pi \left( \frac{d_0}{2} \right)^2 = \frac{\pi d_0^2}{4}$$
$$= \frac{3.14 \times (1 \times 10^{-2})^2}{4}$$
$$= 7.85 \times 10^{-5} \text{米}^2$$

所以  $\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} = \frac{21980}{7.85 \times 10^{-5}} = 280 \times 10^6 \text{帕}$ 
$$= 280 \text{牛/毫米}^2 (\text{N/mm}^2)$$

(2) 求抗拉强度

因为  $P_b = 36110$  牛;  $F_0 = 7.85 \times 10^{-5} \text{米}^2$ ,

所以  $\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} = \frac{36110}{7.85 \times 10^{-5}} = 460 \times 10^6 \text{帕}$ 
$$= 460 \text{牛/毫米}^2 (\text{N/mm}^2)$$

(3) 求延伸率

因为  $L_0 = 5 \times 10^{-2}$  米;  $L_1 = 6.15 \times 10^{-2}$  米,

所以  $\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$ 
$$= \frac{6.15 \times 10^{-2} - 5 \times 10^{-2}}{5 \times 10^{-2}} \times 100\%$$
$$= 23\%$$

(4) 求断面收缩率

因为  $d_1 = 7.07 \times 10^{-3}$  米;  $F_0 = 7.85 \times 10^{-5} \text{米}^2$ ,

则  $F_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3.14 \times (7.07 \times 10^{-3})^2}{4}$ 
$$= 3.925 \times 10^{-5} \text{米}^2$$

所以  $\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$

$$= \frac{7.85 \times 10^{-5} - 3.925 \times 10^{-5}}{7.85 \times 10^{-5}} \times 100\%$$

$$= 50\%$$

答：此钢的屈服强度 $\sigma_s$ 为280牛/毫米<sup>2</sup>，抗拉强度 $\sigma_b$ 为460牛/毫米<sup>2</sup>，延伸率 $\delta$ 为23%，断面收缩率 $\psi$ 为50%。

#### 四、硬 度

硬度是衡量金属材料软硬的一个指标，表示金属材料的坚硬程度。用钢球压一块铜板，会在铜板表面留下一定深度的压痕，说明钢球比铜板的硬度高。因而硬度就是指金属材料抵抗其它更硬物体压入表面的能力。由于压痕的形成是金属材料局部塑性变形的结果，所以也可以说硬度是材料对局部塑性变形的抵抗能力。

硬度是重要的机械性能指标之一。硬度值越高，金属表面抵抗塑性变形能力就越大。材料局部表面塑性变形也就越困难。

在机械加工中所使用的各种刀具、量具、模具等都应具备足够高的硬度，以保证使用性能和寿命，对机械零件而言，则根据其工作条件的不同，也常要求一定的硬度，使其具有足够的强度、耐磨性和使用寿命。因此，硬度是金属材料重要的机械性能指标之一。

由于硬度试验操作简单迅速，不需专门的试样，又不破坏工件，属于无损检验。同时根据测得的硬度值还可近似地确定抗拉强度值，所以在生产中应用十分广泛。

金属材料的硬度是在硬度试验机上进行测定的。测定硬度方法很多，最常用的硬度有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

1. 布氏硬度 布氏硬度是在布氏硬度试验机上（俗称布氏硬度计）测得的硬度值。布氏硬度试验方法是：用一定的载

荷  $P$ ，将一定直径  $D$  的淬火钢球压入金属表面，载荷卸掉后，产生的塑性变形便在金属表面留下一直径为  $d$  的球面压痕，即凹痕，如图1-3所示。其硬度值是根据所加载荷大小和所得凹痕面积( $F_{凹}$ )来计算的。单位压痕球形面积上的平均压力即为布氏硬度值，用符号HB表示，其单位为帕〔斯卡〕。HB值可用下式进行计算：

$$HB = \frac{P}{F_{凹}} \text{ 帕}$$

式中  $P$  —— 试验时加在钢球上的载荷，单位为牛，  
 $F$  —— 压痕表面积，单位为米<sup>2</sup>。

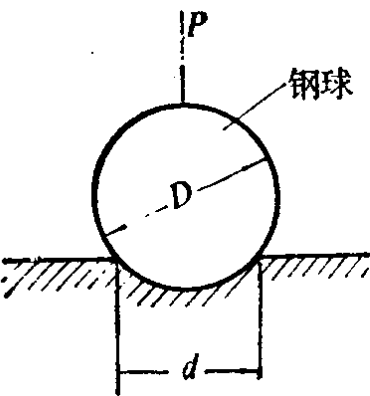


图1—3 布氏硬度试验示意图

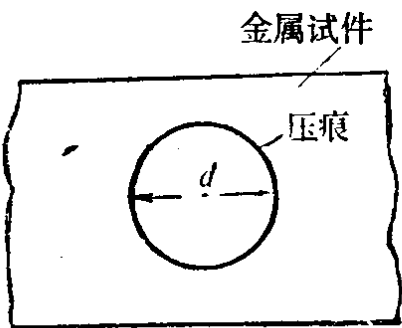
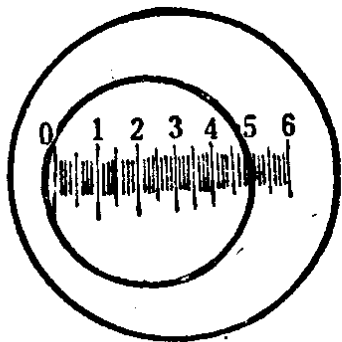


图1—4 压痕测量示意图



在实际应用中，布氏硬度一般不用算法求得，而是用专门放大镜(图1-4)量出压痕直径  $d$  的，根据压痕直径的大小，可以从专门的硬度表中直接查出相应的布氏硬度值。在实际测量中往往只写硬度的数值而不标注单位。例如把  $HB = 148$  帕写成  $HB148$ 。

布氏硬度最大特点是测量准确(因压痕较大)，并且  $HB$  与  $\sigma_b$  之间有近似的比例关系，其关系大致为：

低碳钢  $\sigma_b \approx 0.36HB$

高碳钢  $\sigma_b \approx 0.34\text{HB}$

调质合金钢  $\sigma_b \approx 0.325\text{HB}$

灰铸铁  $\sigma_b \approx 0.1\text{HB}$

硬铝  $\sigma_b \approx 0.37\text{HB}$

铜合金  $\sigma_b \approx 0.55\text{HB}$

这样可以根据布氏硬度值 HB 近似地算出该金属材料的抗拉强度  $\sigma_b$  的数值。钢铁材料硬度与强度的对照情况见附表 1 和附表 2。

布氏硬度由于压痕较大，有损表面，故不适于测量成品零件及薄片材料。另外，由于布氏硬度试验因受钢球本身硬度限制，被测试样硬度不能大于 HB450。所以，布氏硬度主要用于测定较软 ( $\text{HB} < 450$ ) 的金属材料及半成品，如各种退火状态下的钢材、灰铸铁、有色金属等。

2. 洛氏硬度 洛氏硬度是在洛氏硬度试验机（俗称洛氏硬度计）上直接测得的硬度值。这是目前工厂及科研应用最广泛的一种检验方法。它和布氏硬度法一样，也是一种压入法硬度试验，但不是测压痕的面积，而是用压痕深浅表示材料硬度的大小，并用符号 HR 表示。

洛氏硬度试验是用一个顶角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥体或直径为 1.588 毫米 ( $\frac{1}{16}$  英寸) 的淬火钢球，在一定压力下压入被测金属表面，然后根据压痕深度定出硬度值。在实际测量时，可以从洛氏硬度试验机前的刻度表盘上直接读出硬度值，不用计算，也不用查表。

根据采用压头和所加的载荷不同，可组成 15 种洛氏硬度级别，每一种硬度级别用一个字母在洛氏硬度符号后面加以注明。我国常用的是 HRA (即 A 级)、HRB (即 B 级)、HRC (即 C

级)三种,其中HRC级应用最广。这三种洛氏硬度在刻度表盘上的颜色有所规定,其中HRC和HRA为黑色刻度,而HRB为红色刻度。常用的三种洛氏硬度试验条件和适用范围如表1-1所示。

表1-1 常用的三种洛氏硬度试验条件和适用范围

| 符 号 | 压 头 类 型                    | 载 荷<br>(N) | 硬 度 值 有 效 范 围              | 使 用 范 围           |
|-----|----------------------------|------------|----------------------------|-------------------|
| HRC | 金刚石圆锥体<br>120°             | 1500       | HRC20~67<br>(相当于HB250以上)   | 适用于调质钢、淬火钢等       |
| HRB | ( $\frac{1}{16}$ 英寸)<br>钢球 | 1000       | HRB25~100<br>(相当于HB60~230) | 适用于测量有色金属、退火、正火钢等 |
| HRA | 金刚石圆锥体<br>120°             | 600        | HRA>70<br>(相当于HB360以上)     | 适用于测量硬质合金、表面淬火钢等  |

洛氏硬度测定方法最大特点是操作过程简单迅速、读数快、压痕小,对测量表面影响不大,属无损检验;应用范围广,既可测定热处理工件及成品件,又可测量高硬的材料及有色金属和硬度低的材料。其不足是因为压痕较小,当材料内部组织不均匀时,硬度数据波动较大,使测量值不够准确。因此,实际测定时要在不同部位测试多次,取其平均值代表金属材料的硬度。

3. 维氏硬度 维氏硬度是在维氏硬度试验机(俗称维氏硬度计)上测得的。维氏硬度值用符号HV表示,单位为帕,通常不标出单位。

维氏硬度测试原理与布氏硬度基本相同。只不过是利用顶角为136°的金刚石正四棱锥体作为压头,在一定载荷作用下压入金属表面的,如图1-5所示。

常用的载荷可分为5、10、50、100、300牛等几种。试样



越薄，载荷应当越小。

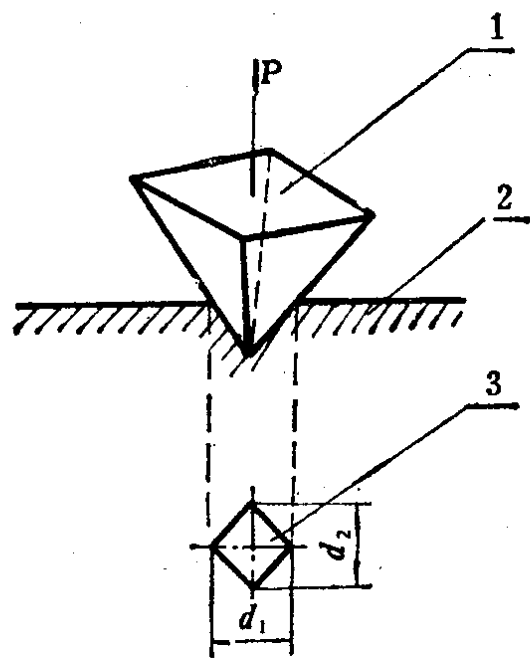


图1—5 维氏硬度试验  
1—金刚石四方角锥体压头  
2—试件 3—压痕

维氏硬度试验的最大特点是测试载荷小，压入深度浅，故广泛用来测定金属薄镀层、表面渗碳、氮化层的硬度和较小较薄工件的硬度。而且维氏硬度值具有连续性(HV10~1000)，故可测定从极软到极硬的各种金属材料的硬度。

测量方法是通过试验机上所附带的显微镜测出被压四方锥形压痕两根对角线长度 $d_1$ 与 $d_2$ 的平均值 $d$ ，算出压痕面积 $F$ ，以载荷 $P/F$ (帕)

值表示被测金属维氏硬度HV 值的大小。同布氏硬度一样，通常测出 $d$ 后，就可直接查表求出硬度值。

布氏、洛氏、维氏硬度及强度换算对照表见附表 1 和附表 2。

总之，由于硬度试验在金属机械性能检验中最为简便，并且硬度与强度指标存在一定关系，所以在零件技术条件中经常标注出零件的硬度要求。如一般刀具、量具要求HRC60~63；机器结构零件要求HRC25~45；弹簧零件要求HRC40~52；适宜切削加工的硬度HRC18~35等。

五、冲击韧性与疲劳强度

前面讲的都是逐渐施加外力的静载荷试验，破坏力比较小。但在实际生产中，许多机械零件往往要受到冲击载荷的作用，如冲床的冲头、活塞销、锻锤的锤杆，飞机的起落架支柱，柴