



机械工人培训丛书

金属材料

王继贤 编
俞建华

中国农业机械出版社



机械工人培训丛书

金 属 材 料

王继贤 俞建华 编

中国农业机械出版社

金 属 材 料

王继贤 俞建华 编

中国农业机械出版社出版

北京市海淀区阜成路东钓鱼台乙七号

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

新华书店经售

787×1092 32开 9 10/16印张 212千字

1983年7月北京第一版 · 1983年7月北京第一次印刷

印数: 00,001—15,200 定价: 0.81元

统一书号: 15216·137

出版说明

为了满足机械行业培训工人的需要，我社组织编写了这套《机械工人培训丛书》。这套丛书由七本组成，即《金属材料》、《公差与测量》、《金属切削刀具》、《机床夹具》、《机床的传动与调整计算》、《机械传动》、《液压传动》。

这套丛书属于中级培训读物，内容包括与机械制造有关的主要基础知识。机械工人掌握这些内容，不仅有助于保证产品质量、提高生产效率，还能获得一定的技术革新能力。考虑到在职培训难以拿出更多的学时，本丛书在篇幅上力求少而精，使之能用较短的时间讲完每一本分册，同时也注意了读者自学的需要。

在编写过程中，我们认真地吸取了不少职工教育工作者的意见。很多部门的负责同志，为本丛书的编写提供了条件。为了更好地实现编写意图，我们邀请了业务水平较高、教学经验丰富的教师和工程技术人员负责进行编写，书稿完成后，有部分内容曾请生产第一线的同志进行审阅。对于上述参与编写工作的这些同志，我们在此致以诚挚的谢意。

本书有不够完善或错误之处，欢迎广大读者指正。

中国农业机械出版社

一九八二年一月

第一章 金属材料性能

- 第一节 金属材料的机械性能..... 1
- 第二节 金属材料的物理、化学性能.....13

第二章 金属的晶体结构和结晶

- 第一节 金属的特性.....19
- 第二节 金属的晶体结构.....20
- 第三节 实际金属的晶体结构.....25
- 第四节 金属的结晶.....29
- 第五节 金属的同素异构转变.....36

第三章 合金的结构和结晶

- 第一节 合金的基本概念.....39
- 第二节 合金的结构.....41
- 第三节 合金的结晶过程——状态图.....46

第四章 铁碳合金状态图及碳钢

- 第一节 铁碳合金状态图.....69
- 第二节 碳钢.....91

第五章 金属的塑性变形和再结晶

- 第一节 金属的塑性变形..... 104
- 第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响..... 113
- 第三节 冷塑变形金属在加热时组织和性能的变化... 117
- 第四节 金属的热塑性变形..... 122

第六章 钢的热处理原理

第一节	引言	127
第二节	加热时钢的组织转变	130
第三节	冷却时钢的组织转变	139

第七章 钢的热处理工艺

第一节	钢的退火与正火	164
第二节	钢的淬火	172
第三节	钢的回火	182
第四节	钢的表面热处理	189

第八章 合金钢

第一节	概述	201
第二节	合金元素在钢中的作用	202
第三节	合金钢的分类与编号	214
第四节	合金结构钢	216
第五节	合金工具钢	231

第九章 铸铁

第一节	铸铁的一般概念	245
第二节	灰口铸铁	252
第三节	可锻铸铁	258
第四节	球墨铸铁	262
第五节	合金铸铁简介	267

第十章 有色金属及其合金

第一节	铝及铝合金	271
第二节	铜及铜合金	282
第三节	轴承合金	290

附录

一、常用符号表	295
二、洛氏硬度、布氏硬度及强度换算表	296

VI

三、压痕直径与布氏硬度对照表..... 299

四、热处理工艺的代号与技术条件的表示方法
(GC423-62)301

金属材料性能

在机械工业中，金属材料得到广泛地应用。正确选择和使用金属材料，必须从材料的性能、经济效果等多方面进行考虑。金属材料的性能可分为两类：一类是金属材料在使用过程中表现出来的性能，称为使用性能；一类是金属材料在制造和加工过程中的各种性能，称为工艺性能（如铸造性能、可锻性能、切削加工性能等）。使用性能又分为机械性能、物理性能、化学性能。其中机械性能是选择金属材料的主要依据。

第一节 金属材料的机械性能

由金属材料制成的机械零件或工具，在使用过程中，都要受外力的作用，这种外力又称为载荷。外力的大小、方向不一定相同，作用的情况有静止的、不静止的、变化的、不变化的。一般可将外力分为拉伸、压缩、扭转、弯曲和剪切几大类。金属材料的机械性能，是指在外力作用下，材料所表现出来的特性，也就是材料抵抗外力作用的能力。不同的材料抵抗外力的能力是不同的。常用的机械性能有弹性、塑性、强度、硬度、冲击韧性和疲劳等。

一、金属材料的拉伸试验

（一）拉伸图 确定金属材料的机械性能时，拉伸试验

是最重要的一种方法。静拉伸试验是在拉伸试验机上进行的, 要按GB228-63标准制作拉伸试样, 图1-1为拉伸试样尺寸图。

作拉伸试验时, 把试样安装在试验机的上、下夹头间, 然

后缓慢地在试样两端施加载荷, 使试样承受轴向拉力。随载荷的均匀增加, 试样不断地由弹性伸长过渡到塑性伸长, 直至断裂。一般的试验机都具有自动记录装置, 可以把作用在试样上的力和所引起的伸长, 描绘成外力-伸长曲线, 即拉伸图。图1-2为退火低碳钢的拉伸图。图中纵坐标是外力 (P), 单位为公斤力; 横坐标是变形量 ΔL , 单位是毫米。

从图1-2可以看出, 当试样受拉后, 在a点以下, 其变形量(伸长)和外力成正比。外力去除后, 试样恢复原状, 这种变形叫弹性变形。我们将a点的外力定为 P_0 。当外力继续增加, 试样伸长亦增加, 直至b点, 不过ab段的变形量与外力的关系稍偏离直线关系, 但此时若去除外力, 试样亦恢复原有

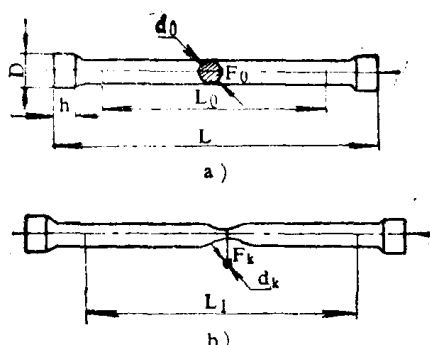


图1-1 拉伸试样

a) 拉伸前 b) 拉伸后

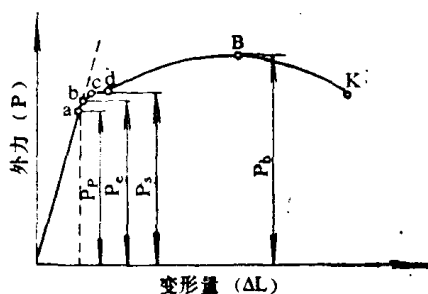


图1-2 退火低碳钢拉伸图

的变形。当外力继续增加, 试样伸长亦增加, 直至b点, 不过ab段的变形量与外力的关系稍偏离直线关系, 但此时若去除外力, 试样亦恢复原有

尺寸。所以ab段仍属弹性变形范畴。b点的外力定为 P_e 。当外力继续增加，试样就从弹性变形过渡到塑性变形。塑性变形即当外力去除后，材料不能恢复到原来的尺寸，有一部分变形（伸长）被永久保留下来，所以塑性变形又叫永久变形。从图1-2可看出，cd段是一水平横线，这说明在外力不增加的情况下，变形还在增加，好象试样屈服于外力而自行伸长，这种现象叫做屈服现象。此时外力定为 P_s 。在出现屈服现象以后，外力再继续增加，变形也继续增加，当外力达到一个最大值 P_b 时，试样开始局部变细，出现“缩颈”现象，由于“缩颈”处试样截面急剧减小，致使试样在该处断裂，见图1-1b。

在工业上使用的金属材料中，有些是没有屈服现象的，如退火的轻金属、退火及调质的合金钢等。有些脆性材料如灰铸铁，不仅没有屈服现象，而且也不产生“缩颈”。图1-3a为塑性材料的拉伸图；图1-3b为脆性材料的拉伸图。

(二) 应力-应变图 在作拉伸试验时，试样的变形量（伸长）不仅与试样的材料性质有关，也与试样的尺寸有关，为了进一步分析问题，我们引入应力和应变这两个概念。

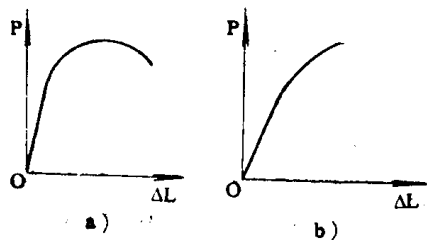


图1-3 塑性材料及脆性材料拉伸图

a) 塑性材料 b) 脆性材料

应力用 σ 表示，即试样截面上单位面积所受的外力，可用下式表示：

$$\sigma = \frac{P}{F_0} \quad (\text{公斤力/毫米}^2)$$

式中 σ ——应力;

P ——外力 (公斤力);

F_0 ——试样原截面面积 (毫米²)。

应变用 ε 表示, 又叫做相对伸长, 即变形量除以试样原来的长度 (原始标距长度)。

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

式中 ε ——应变;

ΔL ——变形量;

L_0 ——试样原始标距长度。

如果以 σ 作纵坐标, ε 作横坐标, 则可画出应力和应变的关系曲线, 该曲线称为应力-应变图, 如图 1-4 所示。应力-应变图的曲线形状与拉伸曲线相似, 只是坐标不同。因为应变是相对伸长, 即单位长度试样的伸长量, 这样就可以通过应力-应变图更直接看出材料的一些机械性能指标, 如弹性极限 (σ_e)、屈服极限 (σ_s)、强度极限 (σ_b) 等, 这些将在下面介绍。

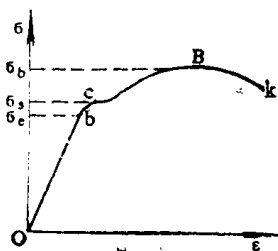


图 1-4 应力-应变图

二、弹性和刚度

(一) 弹性 在外力的作用下, 金属材料产生变形, 当外力去除后, 又能完全恢复到原来的形状和体积, 这种现象称为弹性。外力消失, 变形也消失的这种变形叫弹性变形。金属材料能够保持弹性变形的最大应力叫弹性极限, 用 σ_e 来

表示。从图 1-2 中可以看出, Ob 段为弹性变形部分。所以对应于 b 点的外力 P_e 所产生的应力即为弹性极限。

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} \quad (\text{公斤力/毫米}^2)$$

式中 P_e ——试样能保持弹性变形时所承受的最大外力 (公斤力);

F_0 ——试样原截面面积 (毫米²)。

通过前面分析可知, 在图 1-2 中 Oa 段是真正的直线, 即外力与伸长成正比。对应于 a 点的外力称为 P_p , 所以由 P_p 所产生的应力称为比例极限 σ_p 。

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F_0} \quad (\text{公斤力/毫米}^2)$$

在机械工业中, 有些零件不允许有微量的塑性变形, 所以 σ_p 、 σ_e 是选用这些零件材质的依据。由于 σ_p 、 σ_e 的数值非常接近, 故在实际应用中, 常取用同一数值。工程上常用 σ_p 。

(二) 刚度 机械零件在使用过程中, 大多数处于弹性状态。零件在受力时抵抗弹性变形的能力称为刚度。刚度的大小由弹性变形范围内应力与应变的比值——弹性模数 E 来表示。

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (\text{公斤力/毫米}^2)$$

E 值越大, 材料本身的刚度越好, 抵抗弹性变形的能力就越大。

三、塑性

金属材料所受的应力超过弹性极限时, 将发生塑性变形。这种变形在外力去除后, 不能完全消失。材料产生塑性

变形而不断裂的能力称为塑性。常用的塑性指标是延伸率(δ)和断面收缩率(ψ)。

(一) 延伸率 试样受拉伸断裂后, 总伸长与原来长度之比, 叫做延伸率(δ)。

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

式中 L_0 ——试样原长度(毫米);

L_1 ——试样受拉伸断裂后的长度(毫米)。

(二) 断面收缩率 试样受拉伸后, 断面缩小的面积同原截面面积之比, 叫做断面收缩率(ψ)。

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

式中 F_0 ——试样原截面面积(毫米²);

F_1 ——试样断裂处的截面面积(毫米²)。

在工程技术中, 塑性指标具有重要的实际意义。在静载荷下使用的机械零件都需要具有一定的塑性。对一般材料而言, δ 达5%或 ψ 达10%, 即能满足大多数零件的工作要求。

四、强度

在外力的作用下, 金属材料抵抗变形和断裂的能力, 叫做强度。最主要的强度指标是屈服强度(屈服极限)和抗拉强度(强度极限)。

(一) 屈服强度 从图1-2中看到, 当外力增加到 P_s 时, 材料便出现从弹性状态转向塑性状态的过渡阶段。此时应力没有变化, 但材料仍能产生塑性变形, 称为屈服。开始发生屈服现象时的应力称为屈服强度(屈服极限), 以 σ_s 表示。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad (\text{公斤力/毫米}^2)$$

式中 P_s ——试样产生屈服时，所承受的最大外力（公斤力）；

F_0 ——试样原截面面积（毫米²）。

屈服现象是金属由弹性状态向塑性状态转变的一个显著标志。但只有少数强度比较低的金属材料才有明显的屈服现象，如退火的低碳钢。大多数金属材料没有明显的屈服现象。因此，规定试样产生0.2%塑性变形的应力为屈服强度，以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

（二）抗拉强度 在图 1-2 中，当试样产生屈服后，如继续增加外力，则试样继续伸长，直到产生明显的局部变形。此时应力达到最大值，试样断裂。所以，抗拉强度（强度极限）是指材料拉断前所承受的最大应力，以 σ_b 表示。

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \quad (\text{公斤力/毫米}^2)$$

式中 P_b ——试样在断裂前的最大拉力（公斤力）；

F_0 ——试样原截面面积（毫米²）。

金属材料的 σ_s 和 σ_b 是两项重要的机械性能指标，是设计、计算机器零件的依据。对于一般的机器零件来说，不仅断裂会使机器零件失效，即使产生小量的塑性变形，也会使精度降低或影响相对运动而失效，所以机器零件所受的应力往往不能超过 σ_s （或 $\sigma_{0.2}$ ）。

五、硬度

硬度也是金属材料的重要性能之一，是金属材料抵抗外物压入的能力，也就是材料抵抗局部塑性变形的能力。

硬度的测定方法，是用一定的载荷（压力），把一定的压头压在金属表面上，然后测定压痕的面积或深度，以此确定硬度值。根据压头和压力的不同，常用的硬度指标有布氏

硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

(一) 布氏硬度 (HB) 布氏硬度的测定, 用直径为 D (10、5 或 2.5 毫米) 的钢球, 在压力 P 下, 压入被测金属表面, 并保持一定时间, 测量试样表面上钢球压痕的直径 d 。图 1-5 为布氏硬度试验原理示意图。

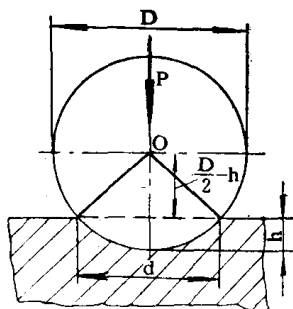


图 1-5 布氏硬度试验原理示意图

布氏硬度值以 HB 表示, 即单位压痕面积上的平均压力。

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{公斤力/毫米}^2)$$

实际测定中, 用放大镜测量压痕直径后, 可以按上式计算, 亦可直接查表确定相应的 HB 值。

布氏硬度测量比较方便、准确, 因此应用广泛。但因布氏硬度是以淬火钢球为压头, 只能测量硬度不高的材料。当材料较硬 ($HB > 450$), 钢球在测量时会变形, 影响试验结果。

一般来说, 材料的硬度高、耐磨性也好。硬度与强度之间亦有一定关系。根据经验, 布氏硬度与抗拉强度有如下关系:

对于低碳钢 $\sigma_b = 0.36HB$

对于高碳钢 $\sigma_b = 0.34HB$

对于灰铸铁 $\sigma_b = 0.1 HB$

(二) 洛氏硬度 (HRA、HRB、HRC) 洛氏硬度也是属于压痕硬度试验。它是以测量压痕深度为硬度计量指标。压痕越深, 材料越软, 硬度越低。洛氏硬度试验时, 根据试验材料的材质, 采用不同的压头与载荷。洛氏硬度有三

种标度，分别为：HRA、HRB、HRC。HRA与HRC值的测定，是用顶角为 120° 的金刚石锥体作压头，HRB值的测定是用直径1.588毫米(1/16英寸)的钢球作压头。其中HRC洛氏硬度在钢铁热处理中应用最多。

图1-6中，0-0为金刚石压头未与试样接触；1-1为压头和试样接触，并受到初始载荷，压入试样的深度为 h_0 ；2-2为试样受到主负载，压头压入试样；3-3为卸除主负载后，压头由于试样回弹而略有提高。此时压头因主负载而实际压入的深度为 h ($h=h_1-h_0$)。从压痕深度 h 判断材料的硬度，可用下式计算：

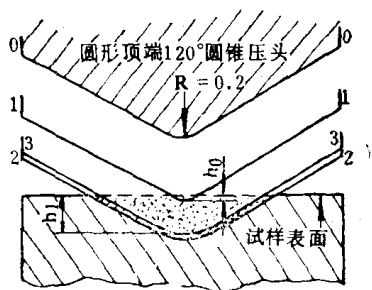


图1-6 洛氏硬度试验原理示意图

$$HRC = 100 - \frac{h}{0.002}$$

从试验机上的刻度盘也可直接读出HRC的硬度值。洛氏硬度值不记单位。表1-1为常用的三种洛氏硬度试验范围。

表1-1 常用三种洛氏硬度试验范围

符 号	压 头 类 型	总载荷 (公斤力)	硬度值有效 范 围	使 用 范 围
HRA	120° 金刚石圆锥	60	70~85	硬质合金，表面淬火层，渗碳层
HRB	(1/16)"钢球	100	25~100	退火，正火钢，有色金属
HRC	120° 金刚石圆锥	150	20~70	淬火钢，调质钢

(三) 维氏硬度 (HV) 维氏硬度的测定原理基本上和布氏硬度相同, 也是根据单位压痕面积上所受的力来确定硬度值。维氏硬度所加载荷较小, 压头采用的是顶角为 136° 的金刚石棱锥。如图 1-7 所示。

维氏硬度的计算公式如下:

$$HV = 1.8544 \frac{P}{d^2} \quad (\text{公斤力/毫米}^2)$$

式中 P ——载荷 (公斤力);

d ——压痕对角线长度 (毫米)。

在实际生产中, 根据测得的压痕对角线长度, 即可从有关的表格中查出维氏硬度值。常用的载荷有 5、10、20、30、50、100 和 120 公斤力等多级。

应用维氏硬度可以测定钢铁、非铁金属、硬质合金及表面渗碳、渗氮层材料的硬度。

六、冲击韧性

机械零件在工作过程中, 往往要受冲击载荷的作用。金属材料抵抗冲击载荷而不破坏的能力称为冲击韧性, 以 a_k 表示。

$$a_k = \frac{A_k}{F} \quad (\text{公斤力} \cdot \text{米/厘米}^2)$$

式中 A_k ——冲击试样所消耗的功 (公斤力·米);

F ——试样缺口处的断面面积 (厘米²)。

冲击韧性值是在冲击试验机上进行测定的。被测金属做

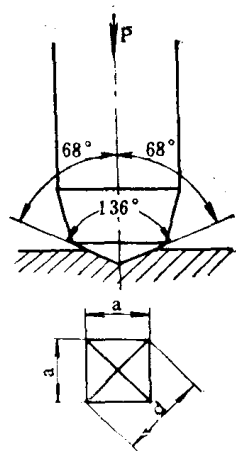


图 1-7 维氏硬度试验
压头与压痕示意图