

中等专业学校试用教材

金属学及热处理

黑龙江机械制造学校 主编



人民教育出版社

中等专业学校试用教材

金属学及热处理

黑龙江机械制造学校主编

人民教育出版社

中等专业学校试用教材

金属学及热处理

黑龙江机械制造学校主编

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷二厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 17 插页 1 字数 390,000

1978年12月第1版 1979年6月第1次印刷

印数 000,001—80,000

书号 15012·0104 定价 1.50 元

编 者 的 话

本书是根据第一机械工业部一九七七年召开的中等专业学校教材座谈会的精神及一九七八年三月在山东召开的中等专业学校铸造专业教材会议通过的编写大纲编写的。

全书共分十三章。内容包括金属学基础、热处理原理以及各种碳钢、合金钢、铸铁、非铁金属等金属材料的热处理工艺和性能,着重阐述了金属材料的化学成分、组织与各种性能之间的基本规律,以及提高金属材料性能,充分挖掘材料潜力的途径。

本书可作为中等专业学校铸造、锻压、焊接专业的试用教材,也可供有关工程技术人员参考。

本书由黑龙江机械制造学校主编、谭志具体负责。参加编写的还有北京机械学校杨全义、河北省机电学校汪守朴、咸阳机器制造学校周晓明。

黑龙江机械制造学校、吉林省工业学校、长春市工业学校、沈阳市机电学校、山东省机械工业学校等校有关教师参加了审稿工作。在编审过程中还得到了许多学校、工厂、科研单位的大力支持和热情帮助。在此一并表示衷心感谢。

由于编者业务水平有限,编写时间仓促,书中难免存在不少缺点和错误,诚恳地希望读者批评指正。

编 者

一九七八年十月

常用符号表

A	奥氏体
$\text{\AA}$	埃, 10^{-8}cm
a	晶格常数, $\text{\AA}$
Ac_1	加热下临界点(温度), $^{\circ}\text{C}$
Ac_3	亚共析钢加热上临界点(温度), $^{\circ}\text{C}$
Ac_{cm}	过共析钢加热上临界点(温度), $^{\circ}\text{C}$
A_k	冲击功, J
a_k	冲击韧性(梅氏试样), J/cm^2
Ar_1	冷却下临界点(温度), $^{\circ}\text{C}$
Ar_3	亚共析钢冷却上临界点(温度), $^{\circ}\text{C}$
Ar_{cm}	过共析钢冷却上临界点(温度), $^{\circ}\text{C}$
B	贝氏体
D	直径, mm
F	铁素体
F	自由能
f	频率, Hz
G	石墨
h	高度
h	小时, 时间单位
HB	布氏硬度
HM	显微硬度
HRA	洛氏 A 标硬度
HRB	洛氏 B 标硬度
HRC	洛氏 C 标硬度
HS	肖氏硬度
HV	维氏硬度
$L(l)$	长度
L	液体相
L_s	莱氏体
L'_s	低温莱氏体
M	马氏体
M_s	马氏体开始转变温度, $^{\circ}\text{C}$
M_f	马氏体转变终了温度, $^{\circ}\text{C}$
min	分钟, 时间单位
N	形核率
G	晶体生长线速度
P	珠光体
P	压力, N/mm^2

S ——面积
 s ——秒, 时间单位
 S ——索氏体
 T ——绝对温度, K
 T ——屈氏体
 t ——温度, °C
 V ——冷却速度
 δ ——延伸率, %
 σ_{-1} ——对称弯曲应力的疲劳极限, N/mm²
 σ_b ——抗拉强度, N/mm²
 σ_{bb} ——抗弯强度, N/mm²
 σ_{bc} ——抗压强度, N/mm²
 σ_e ——弹性极限, N/mm²
 σ_s ——屈服点(屈服极限), N/mm²
 $\sigma_{0.2}$ ——屈服强度, N/mm²
 $\sigma_{X/Y}$ ——蠕变极限, N/mm²
 τ_k ——临界切应力, N/mm²
 ϕ ——直径
 ψ ——断面收缩率, %
 τ ——时间

目 录

常用符号表	i	§ 6-5 铁碳合金状态图的应用和局限性	86
第一章 金属材料的机械性能	1	第七章 碳素钢	89
§ 1-1 强度、塑性及其测定	1	§ 7-1 钢中杂质对性能的影响	89
§ 1-2 硬度及其测定	5	§ 7-2 碳钢的分类、编号、性能和用途	92
§ 1-3 关于疲劳的概念	9	第八章 三元合金状态图简介	100
§ 1-4 冲击韧性及其测定	10	§ 8-1 三元合金状态图中合金成分的表示方法	100
第二章 金属的晶体结构	15	§ 8-2 三元系中的直线定律和重心定律	101
§ 2-1 一般概念	15	§ 8-3 三元共晶型状态图	103
§ 2-2 常见金属的晶体结构	17	§ 8-4 一组元含量固定的三元合金状态图及在一定温度下的三元合金状态图	105
§ 2-3 实际金属的晶体结构	23	§ 8-5 投影图的应用	107
第三章 金属的结晶	29	第九章 金属的塑性变形与再结晶	108
§ 3-1 金属结晶的基本规律	29	§ 9-1 金属的塑性变形	108
§ 3-2 结晶过程的理论分析	30	§ 9-2 冷变形金属在加热时组织和性能的变化	119
§ 3-3 晶粒大小及其控制	37	§ 9-3 金属的热塑性变形(热变形加工)	124
§ 3-4 铸锭的组织	38	第十章 钢的热处理	127
§ 3-5 金属的同素异构转变	40	§ 10-1 钢在加热时的组织转变	127
第四章 合金的固态相结构	42	§ 10-2 钢在冷却时的组织转变	133
§ 4-1 固溶体	42	§ 10-3 钢的退火和正火	143
§ 4-2 金属化合物	46	§ 10-4 钢的淬火	147
§ 4-3 合金组织	49	§ 10-5 钢的回火	156
第五章 二元合金状态图	50	§ 10-6 钢的表面热处理	161
§ 5-1 二元合金状态图的测定	50	§ 10-7 低碳钢淬火强化与形变热处理	168
§ 5-2 匀晶状态图	51	第十一章 合金钢	170
§ 5-3 共晶状态图	56	§ 11-1 合金钢的分类与编号方法	170
§ 5-4 包晶状态图	63	§ 11-2 合金元素在钢中的作用	172
§ 5-5 其他类型状态图	66	§ 11-3 合金结构钢	182
§ 5-6 二元合金状态图分析法	67	§ 11-4 合金工具钢	198
§ 5-7 合金的性能与合金状态图的关系	70	§ 11-5 特殊性能钢	206
第六章 铁碳合金状态图	73		
§ 6-1 铁碳合金的基本相	73		
§ 6-2 铁碳合金状态图分析	75		
§ 6-3 典型合金的结晶过程及其组织	78		
§ 6-4 碳对铁碳合金组织和性能的影响	85		

第十二章 铸铁	215	§ 13-2 铜及其合金	245
§ 12-1 灰铸铁	216	§ 13-3 滑动轴承合金	255
§ 12-2 可锻铸铁	221	附录一 压痕直径与布氏硬度对照表	260
§ 12-3 球墨铸铁	223	附录二 常用硬度、强度换算表	262
§ 12-4 特殊性能铸铁	228	附录三 热处理工艺的代号及技术条	
第十三章 非铁金属及其合金	231	件的表示方法	264
§ 13-1 铝及其合金	231	化学元素周期表	(插页)

第一章 金属材料的机械性能

在伟大领袖毛主席的无产阶级革命路线指引下,我国机械工业得到了迅速的发展,不仅产品品种和数量有了迅速的增加,而且产品的质量也有很大的提高。当前机械工业产品正朝着容量大、效能高、重量轻、寿命长的方向发展。机械产品能否做到轻巧耐用是表征生产技术水平的一个重要标志。而要减轻产品重量,延长使用寿命,必须从结构设计、材料选用、制造工艺等多方面进行研究。

为了正确选择和合理使用材料,必须从材料使用性能、工艺性能、经济效果等方面来考虑。对一般的机器零件,主要根据使用性能选择材料。材料的使用性能首先指它的机械性能。所谓材料的机械性能就是材料的力学性能,即材料抵抗外力作用的能力。常用的机械性能指标有:抗拉强度、屈服强度、延伸率、断面收缩率、硬度、冲击韧性、疲劳强度以及衡量材料断裂的新指标——断裂韧性等。材料的这些机械性能指标,是设计选材的重要依据。

金属的机械性能是以实验为根据的,对任何机械性能的研究或评定,都是对一定形状的试样,进行实验室的测试工作,以摸索其基本规律。下面分别进行介绍。

§ 1-1 强度、塑性及其测定

拉伸试验是工业上广泛采用的材料的机械性能试验方法之一。拉伸试验是在常温下缓慢地在试样两端施加载荷,使试样承受轴向拉力,引起试样轴向伸长。为了保证试样工作部分实现轴向应力均匀分布,要求试样具有一定的几何形状。圆形拉伸试样形状见图 1-1。

用于拉伸试验的试样有标准试样和比例试样两种,还有长试样和短试样之分,其尺寸须符合表 1-1 的规定。标准试样 D_0 为 20mm,当 $L_0/D_0=10$ 时称为标准圆形长试样,亦称 10 倍试样,符号记作 δ_{10} 。当 $L_0/D_0=5$ 时称为标准圆形短试样或称为 5 倍试样,符号记作 δ_5 。而比例试样的 D_0 可以任意选定,但必须满足: $L_0=11.3\sqrt{F_0}$ (长试样),或 $L_0=5.65\sqrt{F_0}$ (短试样)。

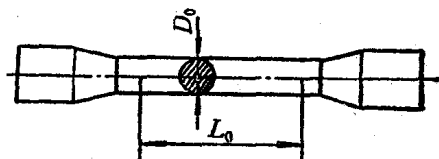


图 1-1 圆形拉伸试样

表 1-1 拉伸试样

试 样		标距长 L_0 mm	横截面积 F_0 mm ²	圆柱试样直径 D_0 mm	试样倍数的表示记号
标 准 的	长	200	314	20	δ_{10}
	短	100			δ_5
比 例 的	长	$11.3\sqrt{F_0}$	任 意 的	任 意 的	δ_{10}
	短	$5.65\sqrt{F_0}$			δ_5

一、拉伸图(负荷-伸长曲线)

拉伸试验过程中随着负荷的均匀增加,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,描绘出负荷-伸长曲线,即拉伸图。

图 1-2 是退火低碳钢的拉伸图。图中纵坐标是负荷 $P(N)$ ⊖, 横坐标是伸长 $\Delta L(mm)$ 。由图 1-2 可看出,金属试样在负荷作用下要改变它的形状,即发生变形。

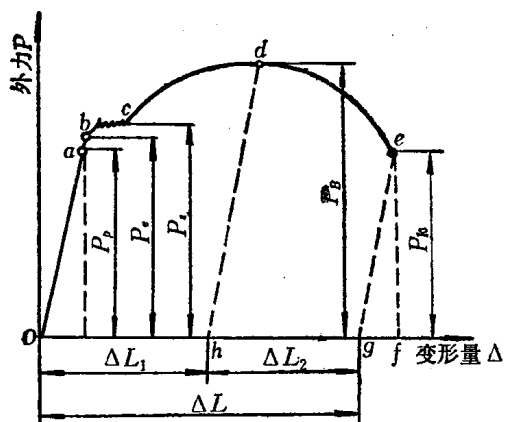


图 1-2 退火低碳钢的拉伸图

当负荷较小时(oa 阶段),试样的伸长跟负荷成比例地增加,如果卸除负荷试样能立刻恢复原来的形状。这是试样的弹性变形阶段,负荷跟伸长之间保持直线关系,符合虎克定律。当负荷增加到高于某一负荷(a 点)后,拉伸曲线开始偏离直线。 a 点的负荷定为 P_p 。

负荷继续增加,试样的伸长亦继续增加,直至 b 点,此时若卸除负荷,试样将恢复原有尺寸。 b 点的负荷定为 P_s 。

当负荷自 b 点增加到某一值(达到 c 点)时,负荷指示器上的指针停止转动或开始回转,这表明在

负荷不增加甚至减小的情况下变形还是继续增加,这种现象叫做屈服现象。这一负荷叫做屈服负荷 P_s ,此时试样开始产生明显的塑性变形,在试样表面上开始出现与轴线约成 45° 的滑移线。

在出现屈服或形成屈服平台以后,负荷继续增加(cd 阶段),变形(包括弹性和塑性)也继续进行,变形抗力也不断增加,这种现象叫加工硬化。负荷最后达到一个最大值 P_b (d 点)。在 P_b 以后,试样的某一部分截面开始急剧缩小,出现了“颈缩”。以后的变形主要集中在颈部上。由于颈部附近试样面积急剧减小,致使负荷下降,当达到 P_e (e 点)时试样发生断裂。这个负荷叫做断裂负荷。

开始产生“颈缩”以后,试样的伸长主要发生在颈部的一段长度内,其他部分不再伸长,即试样由均匀变形过渡到集中变形。断裂时试样总伸长为 of ,其中 gf 是弹性变形, og 是塑性变形。塑性变形中 oh 是均匀变形, hg 是缩颈处的集中变形。

工业上使用的金属材料中有些是没有屈服现象的,如图 1-3a)是塑性材料拉伸图,如退火的轻金属、退火及调质的合金钢等。图 1-3b)是脆性材料的拉伸图,如灰铸铁,这种材料不仅没有屈服现象,而且也不产生“颈缩”。

⊖根据国际单位制的规定,力的单位是牛顿,代号牛(N)。1公斤力(kgf)=9.80665牛(N); 功和能的单位是焦耳,代号焦(J)。1公斤力·米(kgf·m)=9.80665焦(J)。

本书中用到的力、应力和冲击值单位一律按下列关系换算成国际制单位:

力(P): 1公斤力(kgf)=9.8牛(N);

应力(σ): 1公斤力/毫米²(kgf/mm²)=9.8牛/毫米²(N/mm²);

冲击值(a_k): 1公斤力·米/厘米²(kgf·m/cm²)=9.8焦/厘米²(J/cm²);

硬度单位仍沿用公制单位。

二、应力-应变图

若用试样的原始横截面积 F_0 去除拉力 P , 则得到试样所受的应力 σ , 即

$$\sigma = \frac{P}{F_0} \quad \text{N/mm}^2$$

用试样的原始标距长度 L_0 除其相应的伸长 ΔL (绝对伸长) 得到相对伸长 ε (即应变), 即

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

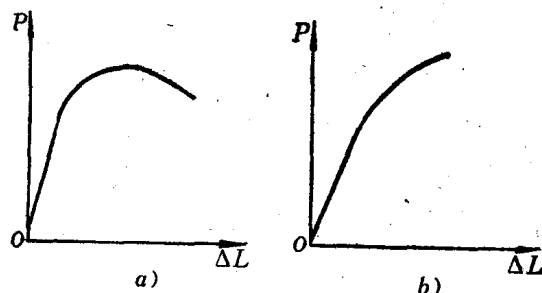


图 1-3 塑性材料及弹性材料拉伸图

以 σ 与 ε 为坐标绘出应力-应变的关系曲线叫做应力-应变图。应力-应变图的形状与拉伸图是完全一致的, 只是坐标不同。它不受试样尺寸的影响, 可以直接看出材料的一些机械性能。

(一) 弹性变形及弹性模数

外力去除后能立刻恢复的变形叫弹性变形。金属的弹性变形就是施加外力时引起晶格中原子距离呈弹性改变的结果。这是因为外力破坏了原子间相互作用的吸力和斥力的平衡, 使原子移动一定距离后建立了吸力、斥力和外力之间的新平衡。当外力去除以后, 这种新的平衡又遭到破坏, 靠原子间的作用力使其又能恢复到原来的平衡位置。所以在宏观上表现为: 加上外力引起变形; 除去外力恢复到原来的形状。因此可以说, 金属对弹性变形的抗力决定于原子间结合力的大小。用弹性模数表征金属对弹性变形的抗力。大部分金属与合金在弹性变形阶段遵循虎克定律, 应力与应变间成正比关系。即

$$\sigma = E\varepsilon, \text{ 或 } \frac{P}{F_0} = E \cdot \frac{\Delta L}{L_0}$$

式中: σ ——引起变形的正应力, N/mm^2 , 其值为 $\frac{P}{F_0}$;

ε ——相对伸长, 其值为 $\frac{\Delta L}{L_0}$;

E ——弹性模数, N/mm^2 。

从公式可见, 弹性模数 E 直接表示出弹性变形阶段应力与应变的关系, 是这段应力-应变曲线的正切值。弹性模数代表金属对弹性变形的抗力, 技术上用以表示金属的刚度, 即弹性模数 E 愈大, 则刚度愈大, 在一定应力作用下产生的弹性变形就愈小。

常用金属的弹性模数为: 铁 209720 N/mm^2 ; 铜 109760 N/mm^2 ; 铝 70560 N/mm^2 。

金属的弹性模数是一个对成分、组织均不敏感的性能指标, 因此热处理、合金化及塑性变形等对弹性模数影响甚微。

(二) 比例极限 σ_p

比例极限是应力与伸长成比例关系时的最大应力值, 即在拉伸图上开始偏离直线时 (a 点) 的应力。

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F_0} \quad \text{N/mm}^2$$

式中: P_p ——比例极限的负荷, N;

F_0 ——试样的原始截面积, 下同, mm^2 。

(三) 弹性极限 σ_e

弹性极限 σ_e 为材料所能承受的、不产生塑性变形的最大应力。它是材料由弹性变形过渡到弹-塑性变形的标志。应力超过弹性极限后, 便开始产生塑性变形。由于此点实测困难, 因此技术上规定 σ_e 是在产生极微小塑性变形的前提下, 材料所能承受的最大应力。

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} \quad \text{N/mm}^2$$

式中 P_e ——弹性极限的负荷, N。

弹性极限的物理意义是表征金属在开始产生极微小塑性变形时的抗力, 它是对成分、组织极敏感的性能, 可以通过合金化、热处理及冷热加工方法在很大范围内变化。对于在工作中不允许有微量塑性变形的零件, 设计时弹性极限则是选材的依据。

(四) 屈服强度

在拉伸过程中, 当负荷不增加甚至有所降低时, 试样仍继续产生变形, 此时的最小应力叫屈服点, 以 σ_s 表示。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad \text{N/mm}^2$$

式中 P_s ——屈服负荷, N。

在屈服点以后, 金属开始产生明显的塑性变形, 严格的说屈服点是开始产生明显塑性变形时的抗力。除退火的或热轧状态下的低碳或中碳钢以及某些低合金高强度钢有屈服现象外, 高碳的和一些调质的合金钢, 并无屈服现象。因此规定产生 0.2% 塑性变形的应力作为屈服强度(条件屈服极限), 以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0} \quad \text{N/mm}^2$$

式中 $P_{0.2}$ ——产生 0.2% 塑性变形时的负荷, N。

大多数机器零件和工程构件常因过量的塑性变形而失效, 所以一般都不允许产生塑性变形。因此, 屈服强度是设计的主要依据, 是最重要的机械性能指标之一。屈服极限和弹性极限一样, 都是对组织、成分敏感的性能。可以通过热处理、合金化以及塑性变形等方法在很大范围内变化。提高材料的屈服强度往往是热处理、合金化以及塑性变形的目的之一。

(五) 强度极限 σ_b

强度极限是试样在拉断前所承受的最大负荷与原始截面积之比:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \quad \text{N/mm}^2$$

式中 P_b ——试样在拉断前所承受的最大负荷, N。

由拉伸图可见, 对塑性材料来说, 在 P_b 以前试样均匀变形, 而在 P_b 以后变形将集中在颈部。强度极限表征材料对最大均匀塑性变形的抗力, 它在技术上非常重要, 工程上称为抗拉强度。抗拉强度是设计的主要依据之一, 是材料的主要机械性能指标之一。

对低塑性材料, 一般不产生颈缩, 因此断裂前最大负荷 P_b 就是断裂负荷 P_s , 即 $P_b = P_s$, 因此强度极限 σ_b 是表征材料对断裂的抗力, 即常把 σ_b 作为断裂强度。

三、塑性指标的意义

在分析拉伸图时已经知道, 外力超过屈服极限时即发生塑性变形, 外力继续增加时塑性变形量也随之增大。金属材料在破断前的塑性变形能力的大小称为塑性。

在拉伸试验时, 金属塑性可用延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 表示。

(一) 延伸率 δ

延伸率 δ 是试样在断裂时的相对伸长。

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

式中: L_1 ——断裂后试样的计算长度, mm;

L_0 ——试样原始计算长度, mm。

(二) 断面收缩率 ψ

断面收缩率 ψ 是断裂后试样横截面积的减小量 $\Delta F = F_0 - F_1$ 与试样原始横截面积 F_0 之比, 以百分比表示。

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

式中 F_1 ——断裂后试样的最小截面积。

δ 、 ψ 的大小表示材料塑性的好坏。例如某金属 $\delta_{10} = 25\%$, $\psi = 65\%$, 而另一金属的 $\delta_{10} = 12\%$, $\psi = 30\%$, 很明显前者具有良好的塑性, 可进行冷加工, 而后者塑性差, 冷加工时易产生裂纹, 故不能进行冷加工。

长试样和短试样的延伸率分别用 δ_{10} 和 δ_5 表示。因为延伸率随计算标距长短不同而有所不同, 所以 δ 必须说明是长试样的还是短试样的。

同时, 延伸率还和试样的原始截面 F_0 有关。为了使拉伸时所得到的相对伸长不受试样尺寸的影响, 必须使 $\frac{L_0}{\sqrt{F_0}} = \text{常数}$ 。因此对于 $L_0 = 10D_0$ 的拉伸试样, $\frac{L_0}{\sqrt{F_0}} = 11.3$; 对于 $L_0 = 5D_0$ 的拉伸试样, $\frac{L_0}{\sqrt{F_0}} = 5.65$ 。

§ 1-2 硬度及其测定

硬度是衡量金属材料软硬的一个指标, 它是指金属表面上不大的体积内抵抗压入变形或抵

抗刻划破裂的能力。它不是一个单纯的物理或力学量,而是代表着弹性、塑性、塑性变形强化率、强度和韧性等一系列不同物理量的综合性能指标。

硬度试验法比较简单易行,不必破坏零件,适用于成批检验零件,应用十分广泛。它是工程设计、产品质量检验及制定合理工艺的重要试验方法之一。硬度测定的方法很多,如布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度及显微硬度等。

一、布氏硬度

布氏硬度的测定方法是:以负荷为 P 的力把直径为 D 的钢球压入试样表面并保持一定时间,然后卸除负荷,测量钢球在试样表面上所形成的压痕直径 d (见图 1-4)。以压痕表面积 F 除

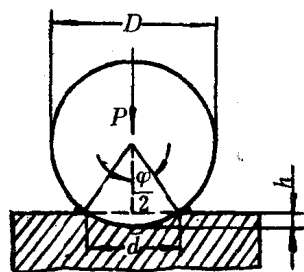


图 1-4 布氏硬度试验原理示意图

负荷 P , 所得应力值 $\frac{P}{F}$ 即为布氏硬度, 以符号 HB 表示。

如压痕深度为 h , 则压痕表面积为:

$$F = \pi D h = \pi D \frac{(D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2}$$

试样硬度值为:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

如 P 以 kgf 计, D 及 d 以 mm 计, 则其单位为 kgf/mm²。式中只有 d 是变数, 只要测量出压痕直径 d 即可计算出 HB 值(见附录一)。

由于被测金属材料的软硬、大小、厚薄不同, 在实际中进行布氏硬度实验时, 必须使用不同大小的负荷 P 和钢球直径 D 。问题在于, 对同一种材料当采用不同的 P 和 D 进行试验时, 能否保证得到同一布氏硬度值。

从图 1-4 可以看出: $\sin \frac{\varphi}{2} = d/2 : D/2$, 即 $d = D \sin \frac{\varphi}{2}$, 布氏硬度计算公式可写成:

$$HB = \frac{P}{D^2} \left[\frac{2}{\pi \left(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \frac{\varphi}{2}} \right)} \right] = \frac{2}{\pi \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2} \right)} \cdot \frac{P}{D^2}$$

可见要保证同一材料的布氏硬度值相同, 就要使压入角 φ 及 $\frac{P}{D^2}$ 为常数。

因此, 不论采用多大的负荷和怎样直径的钢球, 只要能满足上述条件, 则对同一材料来说布氏硬度值是一样的, 而对不同材料来说, 所得布氏硬度值也是可以进行比较的。生产上常用的 $\frac{P}{D^2}$ 的值有 30、10、2.5 三种。

如 $D = 10\text{mm}$, $P = 3000\text{kgf}$, 负荷保持时间 10 秒则所测得的硬度值表示为 HB450。其他试验条件下, 符号 HB 应以相应的指数注明钢球直径、负荷大小及负荷保持时间, 如 $HB_{5/250/30} 100$, 表示用 $D = 5\text{mm}$, $P = 250\text{kgf}$, 负荷保持时间为 30 秒测得布氏硬度值为 100。

钢球直径 D 、负荷 P 与负荷保持时间应根据试样硬度和厚度按表 1-2 选择。

表 1-2 布氏硬度试验规范

金属种类	布氏硬度值范围 HB	试样厚度 mm	负荷 P 与钢球直径 D 的相互关系	钢球直径 D mm	负荷 P kgf	负荷保持时间 s
钢	140~150	6~3	$P = 30D^2$	10.0	3000	10
		4~2		5.0	750	
		<2		2.5	187.5	
铁	<140	>6	$P = 10D^2$	10.0	1000	10
		6~3		5.0	250	
		<3		2.5	62.5	
非 铁 金 属	>130	6~3	$P = 30D^2$	10.0	3000	30
		4~2		5.0	750	
		<2		2.5	187.5	
	36~130	9~3	$P = 10D^2$	10.0	1000	30
		3~6		5.0	250	
		<3		2.5	62.5	
	8~35	>6	$P = 2.5D^2$	10.0	250	60
		6~3		5.0	62.5	
		<3		2.5	15.6	

试验后压痕直径 d 的大小应在 $0.25D < d < 0.6D$ 范围内, 否则试验结果无效。因为 d 若太小, 灵敏度和准确性将随之降低; d 若太大, 压痕的几何形状不能保持相似的关系, 影响试验结果的准确性。

布氏硬度与抗拉强度之间有着近似的比例关系, 所以不需要进行拉伸试验, 只需测出其布氏硬度值, 就能粗略地估计其抗拉强度。其经验换算公式为:

对低碳钢 $\sigma_s = 0.362HB$ (此处 σ_s 及 HB 的单位均为 kgf/mm^2)

对高碳钢 $\sigma_s = 0.345HB$

对调质合金钢 $\sigma_s = 0.325HB$

对灰铸铁 $\sigma_s = \frac{HB - 40}{6}$

二、洛氏硬度

洛氏硬度试验是目前应用广泛的试验方法之一, 和布氏硬度一样也属压痕硬度试验。但它不是测定压痕的面积, 而是测量压痕的深度并以深度的大小表示材料的硬度。它的特点是: 压痕很小, 几乎不伤工件表面; 对软硬材料均可测定; 因为有预加初负荷, 故试样表面的轻微不平度对结果的影响不大; 操作十分方便。

洛氏硬度试验原理, 可以用图 1-5 加以说明。洛

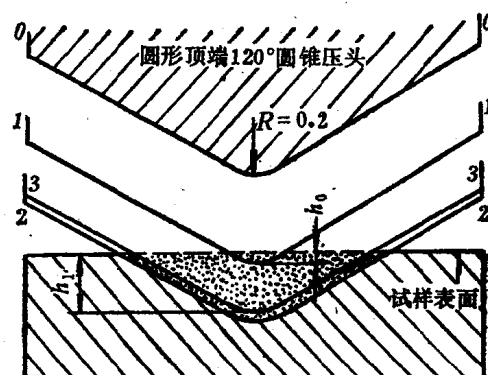


图 1-5 洛氏硬度试验原理示意图

氏硬度试验常用的是一个锥角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 $1.588\text{mm}\left(\frac{1}{16}''\right)$ 的钢球作为压头,先施以初负荷 P_0 ,再施以不同等级的主负荷 P_1 ,使压头垂直地压入试样表面,然后卸除 P_1 。在保留 P_0 的情况下,测量由 P_1 产生的残余压入深度,并以规定的压入深度作为洛氏硬度的一个硬度单位。

在图 1-5 中,0-0 为金刚石压头在和试样接触前的位置;1-1 为压头和试样接触并受到初负荷 P_0 后压入试样深度为 h_0 的位置;2-2 为试样受到主负荷 P_1 后压头压入试样的位置;3-3 为卸除主负荷后压头由于试样弹性变形的恢复而略有提高后的位置。此时压头因主负荷而实际压入的深度为 $(h_1 - h_0)$,此值愈大,表示试样愈软。反之,则表示试样愈硬。为了照顾到习惯上的数值愈大硬度愈高的概念,采用自一常数 k 减去 $(h_1 - h_0)$ 来表示硬度的高低,并用每 0.002mm 为一硬度单位,则所得的洛氏硬度用 HR 表示。

$$\text{HR} = \frac{k - (h_1 - h_0)}{0.002}$$

式中: h_0 —— 在 P_0 作用下压头压入试样的深度, mm;

h_1 —— 试验时已卸除 P_1 但仍保留 P_0 时,压头压入试样表面的深度, mm;

k —— 常数,在采用钢球时为 0.26,采用金刚石圆锥时为 0.2。

为了可以用一种试验机测定从极软到极硬的材料的硬度,采用了由不同的压头和总负荷合成的 15 种不同洛氏硬度标度,其中最常用的三种标度见表 1-3。

表 1-3 常用洛氏硬度值符号及试验条件和应用

标度符号	压头类型	初载+主载=总载荷 kgf	常用范围	应用举例
HRA	金刚石圆锥	10 + 50 = 60	70~85	碳化物、硬质合金、表面淬火钢等
HRB	钢球 $\phi 1.588\text{mm}$	10 + 90 = 100	25~100	软钢、退火钢、铜合金等
HRC	金刚石圆锥	10 + 140 = 150	20~67	淬火钢、调质钢等

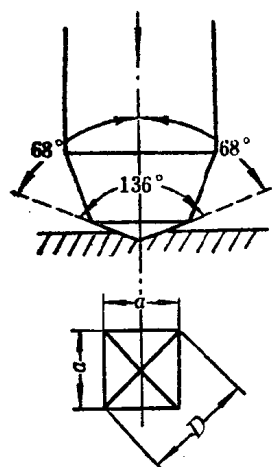


图 1-6 维氏硬度试验压头及压痕示意图

洛氏硬度所用的负荷较大,故不宜用来测定极薄材料或具有表面硬化层的材料的硬度。为了解决表面硬度的测量,以洛氏硬度试验原理为基础设计出一种表面洛氏硬度机,它比一般洛氏硬度机负荷小,其初负荷为 3kgf ,总负荷分别为 15 、 30 和 45kgf ,并以每 0.001mm 压痕深度为一硬度单位。试验时硬度值可以直接从表盘读出。

三、维氏硬度、显微硬度及肖氏硬度

布氏硬度只可用来测定硬度小于 HB 450 的材料;洛氏硬度虽然可以用来测定由极软(用 HRB)到极硬(用 HRA)材料的硬度,但它采用不同的压头和总负荷,有很多标尺,彼此间没有联系不能换算。为了避免这些缺点,制定了维氏硬度试验法。

如图 1-6 所示,维氏硬度试验是以负荷 P 将一顶角为 136° 的金刚石棱锥压入试样表面,以单位压痕表面积上所受的力表示维氏硬度值。

并用符号 HV 表示。

维氏硬度的计算公式如下：

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{P}{\frac{D^2}{2 \sin 68^\circ}} = 2 \sin 68^\circ \frac{P}{D^2} = 1.8544 \frac{P}{D^2} \quad \text{kgf/mm}^2$$

式中：P —— 负荷，kgf；

D —— 试样表面压痕两对角线长度的平均值，mm。

常用的负荷有 5、10、20、30、50、100 和 120kgf 等几种。压痕对角线的测量用附在试验机上的显微镜测定，测得 D 值后，就可以算出维氏硬度值，也可在有关表格中查得。

维氏硬度试验可以测定钢铁、非铁金属、硬质合金及具有表面渗碳、渗氮层的材料的硬度。

从维氏硬度的试验特点知道，维氏硬度的负荷可以任意选择而不影响硬度值的大小。如果我们选用几克力(gf)、几十克力(gf)为负荷，则可测定一个极小范围内如铁素体晶粒或其他组织组成物的硬度。这就是显微硬度试验。显微硬度以符号 HM 表示。若负荷 P 以克力 (gf) 为单位，压痕对角线 D 以微米 ($1\mu\text{m} = \frac{1}{1000}\text{mm}$) 为单位，则

$$HM = 1854.4 \frac{P}{D^2} \quad \text{kgf/mm}^2$$

肖氏硬度试验是利用弹性回跳测定金属的硬度，它是利用一个带有金刚石圆头的重锤从一定高度上自由落到金属试样的表面，根据钢球回跳的高度来衡量金属硬度的大小。因之也叫回跳硬度，以符号 HS 表示。

针对不同的要求，有不同的硬度测试方法。以上介绍的几种硬度试验，由于规定的试验条件各不相同，因之没有理论的换算关系。但有近似的经验公式可供参考，亦可由专门的表格进行各种硬度的换算，经验公式如下：

$$HRC \approx \frac{1}{10} HB \quad (\text{当 } HB \text{ 在 } 200 \sim 600 \text{ 时})$$

$$HV \approx HB \quad (\text{当 } HB < 400 \text{ 时})$$

$$HS \approx \frac{1}{6} HB$$

各种常用硬度及强度换算表见附录二。

§ 1-3 关于疲劳的概念

机器中多数零件如轴、齿轮、弹簧等都是在变动负荷下工作的，在这种变化的动负荷长期作用下，有时虽然按照静强度许用应力的设计是安全的，但由于工作应力是变化的零件仍然会发生破坏，这种现象称为疲劳破坏(断裂)。疲劳断裂与静负荷断裂不同，无论是脆性材料还是塑性材料，疲劳断裂都是突然地发生的，事前没有明显的宏观塑性变形，很难事先观察到，故具有很大的危险性。