

中等专业学校教学用书

金属学

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书

金 属 学

李惠忠 等 编

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书

金 属 学

李惠忠 等 编

*

冶金工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 12 3/4 字数 301 千字

1979年9月第一版 1979年9月第一次印刷

印数 00,001~40,800 册

统一书号: 15062·3451 定价1.05元

序 言

金属学是冶金专业的一门技术基础课。《金属学》是根据冶金中等专业学校冶金类专业教学计划编写的教材。内容主要介绍以钢铁为主的金属材料的化学成分、组织结构和性能，以及它们之间相互关系和变化规律。

金属材料的化学成分，是指某种金属元素（如铁）及其与它种元素（如碳、锰）的组成，通常用各元素的重量百分数来表示，也可用原子百分数来表示。

金属材料的组织结构，是指晶体的形貌和晶体中原子的排列形式。传统地将金属材料在显微镜下所呈现的形貌，称为显微组织；而将晶体中原子的堆积形式，称为晶体结构。

金属材料的性能，概括说来，包含两个方面：工艺性能和使用性能。金属材料从冶炼到成品的生产过程中，能否适应各种加工工艺（如冶炼、铸造、冷和热压力加工、焊接、切削加工、热处理等）要求而不引起缺陷或造成废品的能力，称为工艺性能；金属材料在使用时能否适应外界条件（物理的、化学的、机械的）作用，而不引起损伤或破坏的能力，称为使用性能。金属材料就是因为具备上述某些方面的性能来为人类社会服务的。

金属材料的各种性能，既是某一外界条件作用下金属某种行为的表现，又是一定化学成分和组织结构性质的反映。但是，当外界条件确定以后，金属材料的性能归根结底是由化学成分和组织结构来决定的。

金属材料在化学成分上的差别，固然能表现不同的工艺性能和使用性能。但是，同一成分的金属，如果采用不同的工艺措施或处理方式，也能表现显著不同的性能。这样看来，在对给定的化学成分金属材料，通过改变工艺措施或处理方式，使其内部组织结构发生明显的变化，就能引起性能显著的改变。这就将冶金生产中的各个工艺环节与金属材料的性能紧密联系起来，并为改进生产工艺和提高产品性能指出重要途径。

由于冶金类专业对金属学内容要求和教学时数不同，所以在用本教材时可根据大纲的要求作适当增删。

本教材由李惠忠任主编。第四章第二、三节由伏卓群编写；第五章由伏卓群和李惠忠编写；其余章节由李惠忠编写。

由于编者水平所限，编写时间又过于仓促，不当与错误之处在所难免，希望读者提出批评与指正。

编 者

1978年11月

目 录

第一章 金属的机械性能试验	1
第一节 拉力试验.....	1
第二节 冲击试验.....	4
第三节 硬度试验.....	6
第四节 疲劳和蠕变概念.....	8
第二章 金属的晶体结构和结晶	10
第一节 金属的晶体结构.....	10
第二节 金属的结晶.....	20
第三节 金属的同素异形转变.....	26
第三章 金属的塑性变形和再结晶	29
第一节 金属的塑性变形.....	29
第二节 金属再结晶.....	37
第三节 金属的热塑性变形.....	42
第四章 合金相结构和合金相图	45
第一节 合金相结构.....	45
第二节 二元合金相图.....	49
第三节 三元合金相图.....	66
第五章 铁碳合金的结晶、组织和性能	76
第一节 铁碳合金中的晶体相.....	76
第二节 铁-渗碳体相图.....	77
第三节 铁碳合金的冷却过程和组织.....	79
第四节 铁-渗碳体相图与铁碳合金性能的关系.....	81
第六章 钢在加热和冷却时的转变	84
第一节 钢在加热时的转变.....	85
第二节 钢在冷却时的转变.....	89
第七章 钢的热处理	100
第一节 钢的退火.....	100
第二节 钢的正火.....	105
第三节 钢的淬火.....	107
第四节 钢的回火.....	114
第五节 钢的冰冷处理和时效处理.....	118
第六节 钢的表面热处理.....	119
第七节 钢的形变热处理.....	124

第八章 碳素钢	127
第一节 碳素钢及其分类.....	127
第二节 碳和杂质元素在钢中的作用.....	127
第三节 碳素钢钢锭结构和缺陷.....	129
第四节 钢中非金属夹杂物和气体.....	133
第五节 变形钢的组织 and 性能.....	136
第六节 碳素钢的编号和用途.....	142
第九章 合金钢	144
第一节 钢的合金化基础.....	144
第二节 合金钢的分类和编号.....	155
第三节 合金钢种类.....	157
第十章 铸铁	186
第一节 白口铁.....	186
第二节 灰口铁.....	188
第三节 孕育铸铁.....	192
第四节 可锻铸铁.....	192
第五节 球墨铸铁.....	194
第六节 合金铸铁.....	195
第七节 铸铁热处理.....	195

第一章 金属的机械性能试验

所有由金属材料制成的零件、工具和结构，在它们运转和使用过程中，都会在外力的作用下引起内力和变形。如果引起的内力超过金属材料本身所能承担的能力，或引起的变形超过所允许的范围，必然导致零件开裂，工具损伤和结构扭曲，丧失使用效能。为了使金属材料的内力和变形不超过所规定的范围，必须通过机械性能试验，识别并标志其各项指标，以便于正确选择和合理使用。对冶金工厂生产来说，机械性能试验还是用以改进生产工艺，控制产品质量的必要手段。

机械性能试验，就是将金属材料按有关技术标准规定，制成一定形状和尺寸的试样，装置在专门的试验机上，测定它的机械性能。

金属的机械性能包括强度、韧性、硬度、疲劳和蠕变等，它们表示在一定条件下金属材料抵抗不同性质的外力作用的能力。这些外力如：静力拉伸、弯曲、压缩、扭转、冲击、交变、反复等。

第一节 拉力试验

在拉力试验机上，对一原横截面积为 F_0 （平方毫米）、标距长为 l_0 （毫米）的试样（图1-1），施加一个缓慢增加的拉伸负荷 P （公斤），观察并测定由于负荷作用而引起试样变形和断裂的过程，称为拉力试验。

拉力试验的目的，是测定金属材料的各项强度指标和塑性指标。

一、强度

所谓强度，是指在外力作用下，金属抵抗变形和断裂的能力。

在拉力试验过程中，金属的强度可根据负荷与试样尺寸

相互之间的变化关系所绘得的应力—应变曲线（图1-2）加以确定。应力 σ 是以试样原单位横截面积所承受的负荷为坐标纵轴，即 P/F_0 ；应变 ϵ 是以试样单位标距长度上的伸长为坐标横轴，即 $\Delta l/l_0$ 。

从应力—应变曲线可以看到，随应力增加，试样尺寸经历以下三个特性阶段的变化，并由此来确定金属材料几种常用的强度指标。

1. 弹性变形阶段

开始增加负荷时，试样的变形（即伸长）与负荷成正比关系，即每增加一定的负荷，就对应一定的伸长量。如果取消负荷，变形随即消失，试样恢复到原来尺寸。金属的这

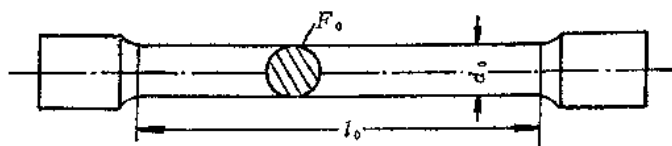


图 1-1 拉力试样

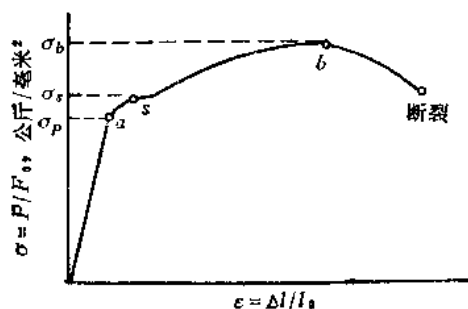


图 1-2 拉伸试验应力—应变曲线

一变形称为弹性变形。

金属在弹性变形阶段内，应力与应变成正比（直线）关系，此时应力与应变比值（ E ）：

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{P/F_0}{\Delta l/l_0}$$

称为弹性模数，其单位为公斤/平方毫米。

弹性模数是金属的一种属性，它是表征金属材料刚度的一种尺度。表 1-1 列出几种金属的 E 值。 E 值的差别表明各种金属的刚度不同，刚度越大，说明欲使材料发生一定量的弹性变形所需的应力越大；或者说，在相同的应力作用下，金属材料引起的弹性变形值越小。所以 E 值的高低，即刚度的大小，表示金属弹性变形抗力的强弱。

几 种 金 属 的 E 值

表 1-1

金 属 类 别	钨	钼	铁	铜	锌	铝	铅
E (公斤/毫米 ²)	39,600	34,700	21,700	12,500	9,400	7,190	1,660

试样在弹性变形阶段，并不能把外加负荷与变形的正比关系一直保持下去。如图 1-2，一旦负荷增加到与 a 点对应的应力 σ_p 时，正比关系便被破坏，即试样的弹性伸长量超过先前对应于一定负荷的一定伸长量。这样，能把应力-应变的正比关系保持到一定极限的应力值，称为比例极限（ σ_p ）。 σ_p 可按下式求得：

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

式中 P_p 为能保持负荷与伸长量成正比关系的最大载荷，公斤。

在实际工作中，比例极限很难精确测定，通常把能引起试样残余变形量为标距长度的 0.01% 的应力来规定为比例极限。

2. 屈服阶段

当外加负荷所引起的应力超过 σ_p 后，进一步增加到与图 1-2 中 s 点对应的 σ_s 时，试样的伸长量明显增加。在应力-应变曲线图上表现为一段平线段或上下波动的折线，它说明在负荷虽不增加，甚至降低的情况下，而试样好象屈服于负荷而自行伸长，这一现象称为屈服现象，引起材料屈服的应力称为屈服点（ σ_s ）。 σ_s 可按下式求得：

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

式中 P_s 为使试样产生屈服的负荷。

屈服现象是金属由弹性变形向塑性变形转变的一个显明标志。当施加的外力达到或超过金属材料的屈服点时，如果将外力去除，试样的长度虽有部分恢复，但再也不能回到原来的长度，亦即有一部分变形（伸长）被永久保留下来，金属的这一变形称为塑性变形。

但是对于含碳量较高、合金含量较多和淬火回火的钢，屈服现象是不明显的，这时就用能引起残余伸长量相当于原试样标距长度 0.2% 的载荷，规定为试样的屈服载荷 $P_{0.2}$ 。在 $P_{0.2}$ 作用下，试样所承受的应力称为屈服强度（ $\sigma_{0.2}$ ）。 $\sigma_{0.2}$ 可按下式计算：

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0} \quad \text{公斤/毫米}^2$$

3. 塑性变形阶段

当外加负荷所产生的应力超过试样的屈服点或屈服强度而继续增加时，试样继续伸长。这时试样的变形是以塑性为主的永久变形，即当外力消除，试样的残余伸长量将保存下来。在塑性变形阶段，试样变形量随外力增加而增大，这说明金属在塑性变形过程中逐渐强化。

当负荷增加到 b 点前，试样在标距 l_0 长度范围内的各部分均匀一致地伸长，此为均匀塑性变形阶段。当负荷超过 b 点后，试样上的变形不再是各处均匀一致，而是较集中在某一局部区域，这一区域越拉越细，出现所谓“缩颈”现象。这时，试样所承受的总负荷 P 随缩颈处截面积缩小而不断减小，最后试样在缩颈处断裂。

这样看来，在断裂前试样所能承受的最大应力称为抗拉强度 (σ_b)。按下列式求得：

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

式中 P_b 为断裂前试样所能承受的最大负荷，公斤。

对于在断裂前不发生缩颈的材料，抗拉强度就是材料断裂时的应力，称为断裂强度。

综上所述，通过拉力试验，可以测得金属三种强度值：比例极限 (σ_p)，屈服点 (σ_s) 或屈服强度 ($\sigma_{0.2}$)，抗拉强度 (σ_b)。 σ_p 和 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 都表示金属抵制微量塑性变形的能力，它们的数值都是作为设计和制造工作者确定材料所能承受最大应力的依据。因为由金属材料制成的结构和零件，在使用时所受的应力只能限制在弹性变形范围内，而不容许超过 σ_p 、 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ ，否则会引起明显的变形，导致结构扭曲，零件损坏。 σ_b 也表示金属在断裂前抵制塑性变形的能力，它除去给设计工作者在设计零件时，作为选择材料的依据外，还可以用它确定材料是否有缺陷，质量是否符合要求，作为改进生产工艺的依据。

在工程应用上，引为重视的是金属材料的屈服强度与抗拉强度的比值——屈强比 ($\sigma_{0.2}/\sigma_b$)。如果这个比值较低，例如，小于 0.55，说明材料在断裂前会出现大量塑性变形以示“警告”，这就保证材料在使用中安全和可靠。但为了在弹性变形范围内承受较大的载荷，就不得不加大材料的横截面，增加金属用量，这样，不符合经济、轻便和高效用的要求。相反的，如果这个比值过大，譬如大于 0.95，说明材料的屈服强度高接近抗拉强度，这样虽然在弹性范围内可以加大载荷，但又因材料在断裂前的塑性“储备”太少，难防突然脆断。因此，实际中根据材料的工作条件，通过热处理和合金化来改变材料的屈强比，以期在安全可靠的基础上，合理地使用材料。

二、塑性

所谓金属的塑性是指在外力作用下，能引起金属永久变形而不发生破裂，并在外力取消后，仍能保持变形后的形状的能力。

金属试样通过拉力试验，既能测定各项强度指标，也能测得标志金属塑性的两项指标：伸长率和断面收缩率。

1. 伸长率 δ_s

伸长率 δ_s 是用试样拉断后，在标距部分的伸长量与原来标距的长度相比的百分数来表示。按下式计算：

$$\delta_n = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中, l_1 是试样拉断后标距部分的长度 (毫米); δ_n 表示长、短试样的伸长率。对于原标距长度为 10 厘米的长试样, 用 δ_{10} 表示; 对于原标距长度为 5 厘米的短试样, 用 δ_5 表示之。

试样在拉断前塑性伸长量越大, δ_n 值就越高, 即材料的塑性越好。例如, 纯铁的 δ 值几乎等于 50%; 高碳钢只有百分之几; 普通铸铁几乎等于零。

2. 面缩率 ψ

面缩率 ψ 是用试样拉断后, 在断裂处的收缩面积与原来横截面积相比的百分数。按下式计算:

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

式中 F_1 是试样拉断后断裂处的横截面积。

产生缩颈的软钢, ψ 值可高达 60% 以上; 没有缩颈的硬钢一般低于 20%; 至于铸铁, ψ 值几乎等于零, 表明断裂前面积没有收缩。显然, 塑性差的金属, 它们的脆性就大, 在断裂前几乎不发生显著的伸长、弯曲或其它形变。

第二节 冲击试验

一、冲击韧性及其测定

有些金属材料它们在外力 (拉伸、压缩或弯曲) 缓慢增加的情况下, 显示出较高的强度, 但是在冲击力的作用下, 却表现异常的脆弱性; 相反的, 也有不少材料, 它们的强度并不高, 但在冲击力作用下, 反而表现出很高的坚韧性。属于前者的金属材料如高碳钢和铸铁; 属于后者的如软钢和纯铜等。可见, 金属在冲击力 (动力) 作用下所表现的坚韧性, 是金属机械性能的又一个重要方面。

冲击试验的目的在于测定金属材料的冲击韧性。

所谓冲击韧性, 就是在冲击负荷作用下, 金属材料抵抗变形和断裂的能力。由于冲击时的负荷难以测量, 故以冲断试样所消耗的功来表示材料的冲击韧性值。

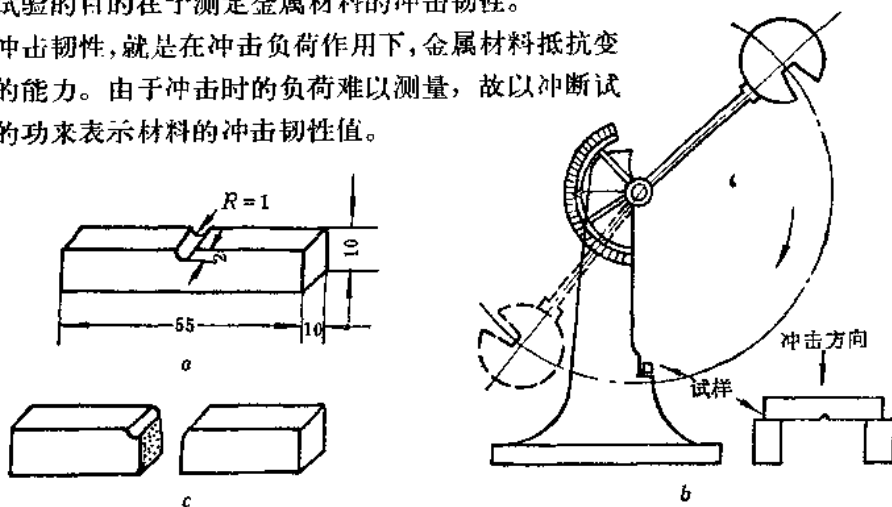


图 1-3 冲击试验

a — 试样尺寸; b — 冲击试验机示意图; c — 冲断后试样

冲击试验的简要方法是：将一定形状和尺寸的试样（图1-3,a），安放在冲击试验机（图1-3,b）的支座上，试样的刻槽方向正好与摆锤落下的方向一致。随后将试验机上的摆锤自一定的高度落下，把试样冲断（图1-3,c）。

摆锤在冲落前的高度与冲击试样后扬起的高度之差值（米），与摆锤重量（公斤）的乘积，就是冲断试样所消耗的冲击功 A_K （公斤·米），这个值可由试验机刻度盘上的指针直接指示出来。将冲击功值被试样刻槽处原横截面积（厘米²）除之，其商就是材料的韧性值。材料的韧性用 α_K 表示，其单位为公斤·米/厘米²。

二、韧性断裂和脆性断裂的概念

冲击试验不仅能测定金属材料的冲击韧性值，并且还能根据试样冲断后的断口判别材料的断裂性质。

通过冲击试验，可以看出，当摆锤冲击试样的刹那，试样将经历弯曲变形、开裂和断裂的各阶段。使试样从弯曲到断裂所消耗的总功是由三部分组成：消耗于试样开始弹性变形的弹性功；消耗于试样相继发生塑性变形的塑性功；以及消耗于裂纹的形成、扩展到断裂的撕裂功。这三部分功各占多少随材料的脆、韧品质不同而异。

如果塑性功占得多，则表明断裂前试样断口处曾发生显著的塑性变形；如果撕裂功占得多，也表明断口处因塑性变形使裂纹形成较难和扩展较慢。这样，试样在破断前有明显塑性变形的断裂，称为韧性断裂。如果塑性功和撕裂功占得少，则表明试样在破断前几乎不发生塑性变形，这种断裂称为脆性断裂。

上述两种性质的断裂，可用肉眼或放大镜直接观察断口所呈现的形貌予以区分。脆性断裂的宏观断口特征是：断口的外表轮廓齐平，断裂表面呈金属光泽或亮灰色的结晶状。韧性断裂的宏观断口特征：断口的外表轮廓有厚的突出的边缘，断裂表面呈现暗灰色的纤维状。实际上，冲击试样断口往往呈现混合型，即断口四周为纤维状，中间为结晶状；或者在纤维状断面上，散布着亮灰色的细小颗粒。

三、脆性转变温度及其测定

定

某些金属材料在一定的“低温”条件下，其断裂性质由韧断转变为脆断，表现为冲击韧性突然降低。这种现象称为金属材料的冷脆性。金属由韧性断裂转变为脆性断裂的温度，叫做脆性转变温度。

为了测定金属的脆性转变温度，并估计在低温下或寒冷地区，金属制件能否安全运转使用，根据有关技术条件的要求，必须对金属材料进行低温冲击试验。试验温度一般为0°C，-20°C，-40°C，-60°C，-80°C，-100°C。将各种温度所测得的冲击韧性值绘在“冲击韧性 α_K -温度°C”坐标上，如图1-4所示，从而确定脆性转变温度 t_0 。

金属材料的冲击韧性值、断裂性质和脆性转变温度与它的化学成分和冶炼、压力加

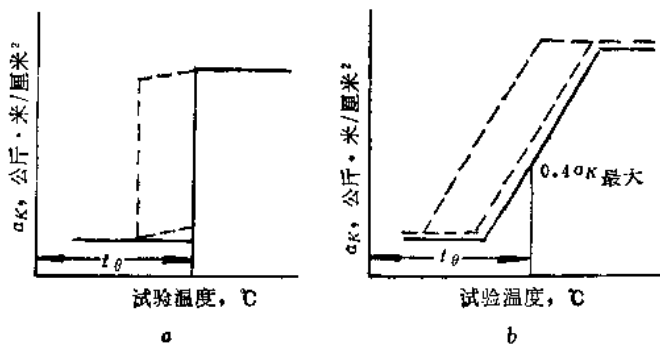


图 1-4 测定脆性转变温度 t_0 的冲击试验

a—韧性值突变；b—韧性值渐变

工、焊接和热处理等工艺条件有密切联系；通过断口分析还能检查金属材料内部的缺陷，如层状、夹杂、微裂、粗晶等，从而为改进生产工艺，控制产品质量提供有益的根据。

第三节 硬度试验

所谓硬度，就是金属抵抗比它更硬的物体压入的能力。因为硬度的测定总是在金属试样的表面上进行，所以硬度也可以看作是金属表面抵抗变形的能力。

硬度也是金属机械性能的一个重要指标。在金属材料制成的半成品和成品的质量检验中，硬度是标志产品质量的重要依据。

常用的硬度试验法有以下两种：

一、布氏硬度试验

布氏硬度试验法的原理是：在一定的负荷 P （公斤）作用下，将一个直径为 D （毫米）的钢球，压入试样表面（图 1-5）并保持一定的时间，使塑性变形稳定后，再卸去负荷，然后根据试样表面留下的压痕球面积 F 来确定金属材料的硬度值。所得的硬度值，称为布氏硬度值，用 HB 表示。HB 的数值按下式计算：

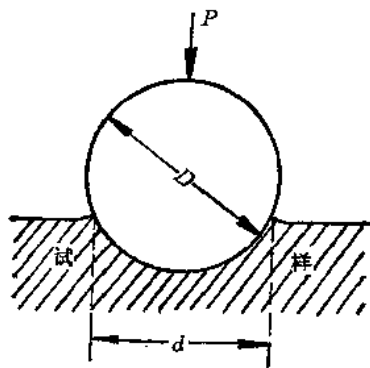


图 1-5 布氏硬度测定原理图

$$HB = \frac{P}{F} \quad \text{公斤/毫米}^2$$

由于压痕球面积与压痕直径 d （毫米）有关，所以根据压痕直径，就可按下式算出布氏硬度数值：

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

从上式可以看出，压痕直径 d 越大，说明金属材料对钢球压入变形抗力越低，即 HB 值越小，材料越软；反之， d 值越小，HB 值越大，材料越硬。

在试验中，为了省略每次试验后的数学计算，用读数放大镜测得 d 值后，从专用的布氏硬度换算表上直接查出 HB。

由于被试金属的性质有软硬之分，尺寸有厚薄、大小之别，如果标准负荷只有一种（如 $P=3000$ 公斤），钢球也只有一种（如 $D=10$ 毫米），则对大块的黑色金属适宜，对软的有色金属及合金就不适宜，因钢球会被全部压入金属内，对薄的试件（如只有 2 毫米）就会压透，对小试件又嫌压痕太大。所以，为适应生产实际中试件的多样性，就必须根据试件的金属类别、厚薄和大小，对所施加的负荷 P 与所选用的钢球直径 D 保持一定关系，以便对所得的 HB 值进行比较。

对钢铁来说， P 与 D^2 之间的比值为 30，即 $P=30D^2$ 。如选用直径 D 为 10 毫米的钢球，则负荷相应取 3000 公斤；如选用直径 D 为 5 毫米，则负荷为 750 公斤；如选用 D 为 2.5 毫米，则 P 为 187.5 公斤。

不论用三对规定的 P 与 D 条件中的那一对进行试验，同一试件都有相同的 HB 值。

对铜、黄铜、青铜等合金来说， P 与 D^2 的比值取 10；对铝、铝合金、铅基或锡基轴承合金， P 与 D^2 的比值取 2.5。

显然，采用不同的 P 与 D^2 的比值所得到的 HB 值，它们之间就不能进行硬度数值高低

的比较了。

用布氏法测定试样硬度时，试件表面的压痕形成经历着一个由弹性变形到塑性变形的过程，这与拉力试验时试样受拉变形过程有相似之处。因而，对于塑性较高的钢，有可能把材料的表面弹塑性变形抗力——硬度，与拉伸时的弹塑性变形抗力——强度联系起来。对于碳素钢，抗拉强度 σ_b 与布氏硬度 HB 之间的关系是： $\sigma_b \approx 0.36HB$ ；对于调质状态的合金钢， $\sigma_b \approx 0.34HB$ ；对未淬火的铸钢， $\sigma_b \approx 0.33HB$ 。但是，对于拉力试验时于破断前无明显塑性变形的脆性材料，如高碳钢和铸铁，则强度和硬度之间无对应关系。

用布氏法测定材料的结果准确度高，在操作上影响试验结果的因素较少；但其主要的缺点是不能测定 $HB > 450$ 的材料，因这会把钢球压致变形或碎裂。

二、洛氏硬度试验

洛氏硬度试验法的原理是：将一个顶角为 120° 的金刚石锥体（用于硬质材料）或直径为 1.59 毫米的钢珠，在一定荷重作用下压入被测金属表面，然后根据压痕的深度来确定试件的硬度。

用洛氏法测定硬度时，荷重分两次加上：开始先加预载荷 10 公斤，使金刚石锥体或钢珠压入金属表面；然后加主荷重 140 公斤（对于金刚石锥体）或 90 公斤（对于钢珠）继续压入金属表面。待总荷重全部加上并稳定后，将主荷重去除，在预载荷作用下所测得的压痕深度 h （图 1-6）就用来表示洛氏硬度值。洛氏硬度数值可以从硬度仪刻度盘上的指示针直接指出，而无需测量压痕深度。硬度数只表征硬度高低，而没有单位。

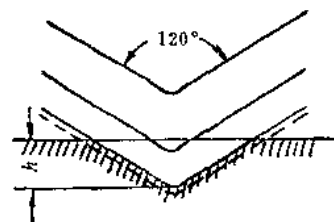


图 1-6 洛氏硬度测定原理图

对于不同材质的试件，采用不同的压头和总荷重，测得的洛氏硬度分别用不同的符号来表示。常用的洛氏硬度符号和与之对应的压头与总荷重见表 1-2。

表中三种洛氏硬度的应用范围：HRB 用于软钢、铜合金、铝合金等；HRC 用于淬火钢、调质钢等；HRA 用于极硬的材料，如碳化物、硬质合金等。

三种洛氏硬度值符号及试验条件和应用

表 1-2

洛氏硬度符号	压头种类	总荷重 (公斤)	洛氏硬度范围	布氏硬度 HB 近似范围
HRB	钢球 (1.59 毫米)	10 + 90	25~100	60~230
HRC	金刚石锥体	10 + 140	20~70	230~700
HRA	金刚石锥体	10 + 50	70~85	>700

洛氏硬度试验，操作简便迅速；压痕面积小，适用大量生产中成品检查；可采用不同压头和荷重，适于各种软、硬材料。但是，用不同洛氏硬度符号测得的硬度值无法比较，不象布氏硬度那样由小到大可统一起来；对于组织结构不一致，特别是具有粗大组成物的金属材料（如灰铸铁、轴承合金等），因压痕太小，结果分散，不宜采用。

三、其它

维氏法硬度试验的原理是：将一个金刚石四棱锥体在一定载荷作用下，压入试样表面，然后根据压痕对角线长度来确定试样硬度。所得硬度值用符号 HV 表示。维氏法可测

试从极软到极硬和微细薄层的试样硬度。

肖氏法硬度试验的原理与前三种方法完全不同。它是利用一个一定重量(2~5克)的钢球或冲头,自一定高度(254毫米)自由下落到试样表面,借助于试样弹性使之回跳,根据其回跳的高度来确定试样的硬度。肖氏法所得硬度用符号 HS 表示。它可用于测试大型制品如轧辊等的硬度。

第四节 疲劳和蠕变概念

一、疲劳

金属机件在循环或交变应力作用下,经过一段时间产生破坏的现象,称为疲劳。所谓

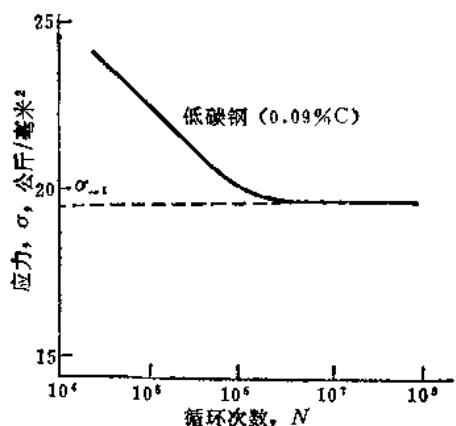


图 1-7 疲劳试验，应力与循环数关系图

循环应力,是指材料所受的应力只是量的变化,即由小变大,再由大变小;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、轧辊等。这些机件在工作时截面上所受的应力随时发生或大或小、时拉时压的变化。尽管所受的应力远低于材料的抗拉强度,甚至低于屈服强度,也会因疲劳而断裂。因此,为使机件在使用时安全、可靠和耐久,提高金属材料的疲劳强度便成为不容忽视的问题。

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 1-7 所示的交变应力 σ 与断裂前应力循环次数 N 关系曲线,该曲线称为“疲劳曲线”或 $\sigma-N$ 曲线。从曲线看出,随着应力降低,试样断裂前的循环次数增加;当应力降至某一定值后,疲劳曲线与横坐标轴平行,即在该应力作用下虽经无限次应力循环,试样仍不发生断裂。试样在断裂前能经受无限次循环数的最大应力,称为疲劳极限 (σ_{-1})。在实际试验中,对钢铁来说,将无限次循环数规定为一百万次到一千万次 ($10^6 \sim 10^7$);对于有色金属,规定为 10^8 或更多循环数。

金属材料因疲劳而断裂的断口,一般是由疲劳源、疲劳裂断面和瞬时裂断面组成,如图 1-8 示意。在重复或交变应力作用下,材料的表面或接近表面的金属层中,某一或某些微细部位因塑性变形或因存在缺陷,导致微裂纹产生;伴随应力循环次数增加,微裂纹逐渐进行传播;最后由于未断裂的截面大大减小,而承受的应力急剧增加,导致突然断裂。

二、蠕变

金属材料在外力长时间的作用下,而缓慢连续地产生塑性变形的现象叫做蠕变。蠕变现象在高温尤为显著,即令材料所承受的应力小于其屈服强度,但经历一定的时间后,也

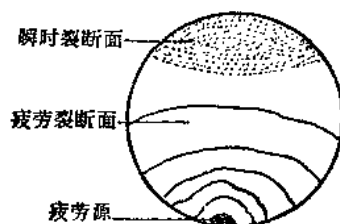


图 1-8 疲劳断口示意图

难以制止永久变形的发生、发展甚至断裂。因此，温度、时间和应力就成为确定金属材料抵抗蠕变能力的基本参数。根据材料的实际使用条件和相应的蠕变试验方法，蠕变抗力可用蠕变强度和持久断裂强度来表示。

所谓蠕变强度，是指金属材料在给定的温度和规定的时间内，引起指定变形量的最大应力，单位为公斤/毫米²。表示方法说明如下： $\sigma_{0.1/1000}^{540}$ ，表示在540°C时，在1000小时内产生变形量为原长度0.1%的应力。例如含碳量为0.15%碳钢的 $\sigma_{0.1/1000}^{540}$ 为4公斤/毫米²。

所谓持久断裂强度，是指金属材料在给定的温度下和持续的时间内，能引起断裂的最大应力。其单位为公斤/毫米²。表示方法说明如下： $\sigma_{b/1000}^{540}$ 表示在540°C持续1000小时破断时的最大拉应力。例如，含碳量为0.15%碳钢的 $\sigma_{b/1000}^{540}$ 为8.4公斤/毫米²。

思 考 题

1. 什么叫机械性能？金属的机械性能包含哪些方面？
2. 什么叫强度？在拉伸试验中金属强度有哪几项主要指标？它们各在工程应用上有什么意义？
3. 什么叫塑性？在拉伸试验中标志金属塑性的指标是那些？
4. 铁的弹性模数比铜大，在实际应用中能说明哪些问题？
5. 什么叫硬度？指出测定金属硬度的三种方法和它们的优缺点。
6. 什么叫冲击韧性？冲击韧性试验还能探测金属哪些项目？
7. 什么叫疲劳、蠕变？指出疲劳极限、蠕变强度的含义。
8. 选择测定下列金属材料硬度的方法：（1）热轧轧辊，（2）成材铣刀，（3）齿轮毛坯。

第二章 金属的晶体结构和结晶

第一节 金属的晶体结构

一、金属

在自然界中迄今已发现 107 种元素，其中金属约占四分之三多些。在周期表中金属元素是在左方（表1-1黑线以左）。

在固体状态下，金属表现出与非金属不同的物理特性，即金属具有良好的导电性、导热性和可锻性。金属之所以具有这些特性，是与金属原子结构特点和原子之间的结合方式密切联系的。

1. 金属原子结构特点

金属与非金属都是由为数众多的原子所组成。每个原子乃是由三个基本质点所组成：带负电的电子，带正电的质子和电中性的中子。质子和中子集中在原子核内，电子按一定规律分布在原子核外的各电子层上，并围绕原子核作高速旋转运动。质子和电子所带的电

荷数量相等，性质相反，所以原子呈电中性。一个元素原子具有的质子数就是这个元素的原子序数，也就是这个元素的电子数。各种元素的原子序数不同，表明各种元素的质子数目不等，电子数目也相异，例如，铜原子序数为28，核外有28个电子；氯原子序数为17，核外有17个电子。

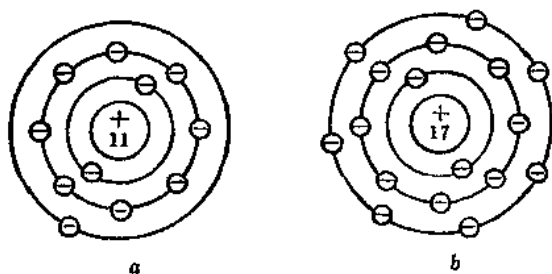


图 2-1 钠原子与氯原子结构示意图

a—钠原子，b—氯原子

金属原子结构不同于非金属之点，

只在于金属原子最外层的电子数目很

少，一般只有1~2个，少数金属是3~4个，而非金属原子最外层电子数目都为5~8个。

图 2-1 表示钠和氯原子结构示意图，钠是金属元素，氯是非金属元素。

2. 金属原子结合方式

对金属原子来说，最外层电子因与原子核距离较远，与原子核的吸引力较弱，容易脱离最外电子层轨道在金属内部作自由运动，构成由自由电子组成的所谓“电子气”。原子丢失最外层电子后，电荷失去平衡变成正离子。电子气中的任一电子并不属于某个原子所有，而是为整个金属中的正离子所共有。金属原子就是依靠自由电子与正离子之间的吸引力而结合在一起，金属原子这样的结合方式称为金属键，如图 2-2 示意。

金属原子的上述结合方式，其性质完全不同于原子之间的其它结合方式。例如，食盐中的钠和氯原子

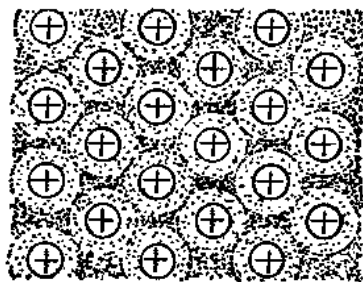


图 2-2 金属原子结合示意图

之间的结合,是通过电子的转移,即钠原子将最外层的一个电子转移给氯原子后,以正离子(钠)和负离子(氯)方式结合在一起——离子键;又如硅,硅原子最外层有四个电子,各与一个相邻硅原子的一个电子互相成对地结合,以所谓共价方式结合在一起——共价键。

由金属原子的结合方式,能够说明金属的物理特性。例如,导电性是通过电子定向的运动而产生的,只要金属两端在很小的电位差影响下,自由电子就能作定向流动,形成电流;再如,导热性是借助于原子的振动能的传递而产生的,金属的某一部分受热而获得的能量,借助于自由电子的运动就能迅速地将能量传到邻近的正离子,以至于整个金属块;又如,可锻性是金属在外力作用下,通过物体内部原子层相对的移动引起的,在金属中,由于自由电子的运动,使相对移动后的正离子层仍然被自由电子联系在一起,因而金属能锻打成形、轧压成片、拉拔成丝。

必须指出,金属的上述物理特性只是表现在由大量原子集成成固态的金属块上,而不能由气态中单个的金属原子表现出来。在固体状态下,金属原子怎样集合在一起,并集成哪些形式,这就是下面要讨论的晶体结构的内容。

二、金属的晶体结构

1. 晶体

所谓晶体就是原子作有规则排列的物体。所有固态金属和合金都属于晶体。反之,原子排列不规则的物体称为非晶体,如松香、玻璃、树胶等。

原子为什么在晶体内部作有规则的排列呢?这显然是和原子间距离与原子间相互作用力或相互位能有关。原来,在原子之间除了异性电质点(电子与正离子)之间的吸引力外,尚有同性电质点(电子与电子、正离子与正离子)之间的排斥力。这两种力的大小分别随原子间的距离而变化。图 2-3 表示两原子间作用力与原子间距离的关系。

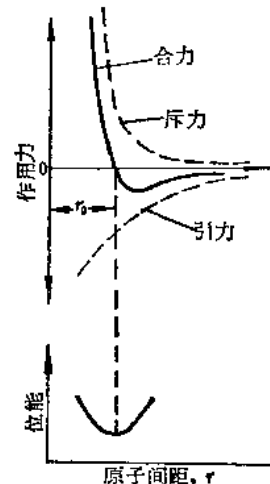


图 2-3 两原子之间的相互作用力及位能与原子间距离的关系

从图中合力曲线看出,当原子间距 $r=r_0$ 时,原子间引力与斥力相等。如果把一对相距为 r_0 的原子拉开或压近,必须相应地施加拉力或压力,以克服原子间的引力或斥力。当取消外力,原子便在相互间的引力或斥力作用下回到间距为 r_0 位置。 r_0 就称为两原子之间的平衡距离。

根据物理学功能原理,施加外力以改变原子间距离,就是对原子作功,这个功就用来增加原子的能量——位能。在图 2-3 中的下图就表示原子间位能与原子间距离的关系。当 $r=r_0$ 时,两原子的位能最低,这时原子处于最稳定状态。对平衡距离 r_0 的任何偏离,都会使原子的位能增加,使原子处于不稳定状态,这时原子就有力图恢复低能状态的倾向。因而两原子之间的平衡距离就是原子能量处于最低的稳定状态的位置。

将上述的双原子模型推广到多原子组成物体中去,不难理解,为使多原子物体本身具有最低的能量,以保持稳定状态,则大量原子之间必须保持一定的平衡距离。这样,大量原子作有规则的排列,就是固态物体的晶体性。

如果把原子看作球体,则最邻近的原子中心之间的距离就是原子直径。表 2-1 列出周