

煤炭工业材料学

徐有恒 编著

中国矿业大学出版社

前 言

《煤炭工业材料学》是专为物资经济与管理专业编写的技术类教材。物资经济与管理人员为什么要学习材料学？这是因为物质材料是供应管理工作的对象。物资工作，就其范畴来说，是联结生产和消费的纽带，特别是部门和企业的物资工作，更与生产和消费有着密切的联系。因此，为了及时、齐备、保质、保量地组织物资供应，合理地使用国家资源，以达到最大的经济效益，物资供应管理人员除了必须具备经济与管理方面的知识以外，还必须对工作对象——材料与设备的技术知识有一定的了解。

材料，是一切生产的物质基础，一般来说它是组成产品的实体。煤矿生产所需材料，虽然并不构成产品实体，但为了得到煤这个特殊的产品，材料的投入量是相当大的，而且品种也很繁多。

在煤炭工业中究竟使用着多少种材料，很难精确统计，据估算约有两万种。作为一门课程，不可能把这么多品种的材料都一一加以罗列，只能把最常用和最重要的材料列为课程的主要内容，同时也要对新材料、新品种的发展和应用作些简要的介绍。通过学习，要求能对煤矿中常用材料的品种、规格、性能、使用和发展动向等方面的基本和基础理论知识有一定的了解，为物资经济与管理工作的打下必要的技术知识基础。物资管理是个大学问，物资管理人员不仅要懂得管理，还要懂得技术，不懂技术，就不能管理。

本教材分上、下两篇，共十章。上篇为金属材料，下篇为非金属材料。有关电工材料的内容另在其他课程中讲授，故不再纳入。

由于作者水平所限，加之编写时间仓促，教材的内容和体系难免有错误或不妥之处，恳请读者予以指正。

目 录

上篇 金属材料

第一章 金属材料的基本性能	(1)
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	(7)
第三节 金属材料的工艺性能	(9)
第二章 黑色金属材料	(11)
第一节 钢铁的冶炼和浇注	(11)
第二节 金属的晶体结构和铁碳合金状态图	(13)
第三节 钢的热处理和化学热处理	(17)
第四节 钢铁产品的牌号表示方法	(22)
第五节 生铁及铁合金	(27)
第六节 铸铁件	(32)
第七节 钢	(37)
第八节 钢材	(62)
第三章 常用金属制品	(78)
第一节 钢丝、钢绞线和钢丝绳	(78)
第二节 常用滚动轴承	(86)
第三节 常用电焊条	(94)
第四节 其他金属制品	(97)
第四章 有色金属	(102)
第一节 有色金属的分类及压延材的交货状态	(102)
第二节 铜及铜合金	(103)
第三节 铝及铝合金	(105)
第四节 滑动轴承合金	(107)
第五节 硬质合金	(108)
第五章 金属材料的防护、保管和理论重量	(110)
第一节 金属的腐蚀和防腐	(110)
第二节 金属材料的保管	(111)
第三节 钢材的理论重量	(112)

下篇 非金属材料

第六章 木材和竹材	(115)
第一节 木材概述	(115)
第二节 木材的构造和树种识别	(116)

第三节	木材的物理力学性能	(118)
第四节	木材的缺陷	(127)
第五节	木材的材种	(130)
第六节	木材的防护和干燥处理	(135)
第七节	木材的检验与保管	(137)
第八节	竹材	(138)
第七章	水泥和外加剂	(139)
第一节	硅酸盐水泥的组成及凝结硬化机理	(139)
第二节	水泥的品质指标和其他性能	(142)
第三节	普通品种的硅酸盐水泥	(144)
第四节	特殊品种的硅酸盐水泥	(146)
第五节	铝酸盐水泥	(148)
第六节	硅酸盐水泥的腐蚀与防潮	(149)
第七节	水泥的验收和保管	(151)
第八节	水泥(混凝土、砂浆)外加剂	(152)
第八章	矿山爆破材料	(157)
第一节	爆炸与岩石爆破	(157)
第二节	炸药的基本性能及检定	(158)
第三节	矿用炸药	(164)
第四节	矿用雷管	(172)
第五节	其他起爆材料	(178)
第六节	爆破材料的合理使用与管理	(181)
第九章	石油产品	(184)
第一节	概述	(184)
第二节	常用石油燃料	(184)
第三节	润滑材料	(191)
第四节	电气用油和传动用油	(201)
第十章	高分子材料	(204)
第一节	概论	(204)
第二节	橡胶及其制品	(208)
第三节	塑料及制品	(218)
主要参考文献		(225)

上篇 金属材料

金属材料是发展国民经济和国防建设的重要物质基础。现代化工业、建筑业和交通运输业都要使用和消耗大量金属材料。据统计,机械工业产品中,90%以上是由金属材料构成的。铺设一条京汉铁路,仅钢轨一项就需10万t。每产万吨煤炭,仅钢丝绳消耗就需850kg。国防工业更不用说了,制造一门炮需要100多种钢号的1000多种钢材。可见,金属材料在发展国民经济和国防建设中占有多么重要的地位。

金属材料一般分为黑色金属材料和有色金属材料两大类。黑色金属材料包括铁、锰、铬及其合金,如生铁、钢、金属锰、金属铬等。有色金属是指黑色金属以外的其他金属及合金,如铜、黄铜、青铜、白铜以及铝、铅、锌、锡及其合金。

第一章 金属材料的基本性能

材料的性能,决定其加工和使用。为了合理地选择和使用材料,做好材料的供应管理和节约、代用工作,就必须了解材料的基本性能。

金属材料的性能,一般可以分为两类:一类是在使用过程中所表现出来的性能,如机械性能、物理性能、化学性能等;另一类是在加工过程中所表现出来的性能,一般称工艺性能,如铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能等。金属材料之所以获得广泛地应用,就是因为它具有许多优良的性能。

第一节 金属材料的机械性能

金属材料的机械性能,是指由金属材料制成的构件、零件、工具和其他制品,在使用过程中抵抗各种形式的外力作用而不发生破坏或者不超过允许变形的能力。机械性能主要包括弹性、塑性、强度、硬度、韧性和疲劳强度等。

一、弹性

金属材料在外力作用下发生变形,当外力去掉以后,就又恢复到原来的形状。材料的这种性能,称为弹性。产生弹性变形的量越大,说明这种材料的弹性越好。但是材料在外力作用下产生的弹性变形是有一定限度的,超过这个限度,即使外力除去以后,它也不能完全恢复到原来的形状。在弹性变形限度内,材料所能承受的最大应力值,称为弹性极限,用 σ_e 表示。如以 P_e 表示在弹性变形限度内所施加的外力,以 F 表示试样的原横截面积,则

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F} \text{ (MPa)}$$

材料在受力时抵抗弹性变形的能力,或者说在弹性限度内,材料能够承受外力作用的

能力,称弹性模量,用 E 表示。 E 值越大,材料在弹性变形范围内能够承受的外力就越大。弹性模量用下式表示:

$$E = \frac{\sigma_e}{\varepsilon} \quad (\text{MPa})$$

式中 σ_e ——弹性极限, MPa;

ε ——相对变形量,即材料在弹性变形限度内,试件最大伸长量 ΔL 与原长 L 之比,即

$$\Delta L / L。$$

一般的构件和零部件,在使用过程中其受力情况都处在弹性变形的限度以内。常温下,钢的弹性模量 E 为 $(1.9 \sim 2.2) \times 10^5 \text{MPa}$,铸铁的弹性模量 E 为 $(0.6 \sim 1.7) \times 10^5 \text{MPa}$ 。弹性模量随着温度的升高而降低。

金属材料在受到外力作用时抵抗弹性变形的能力,称为材料的刚度。刚度大的材料,弹性不好;同样,弹性好的材料,刚性就小。

二、塑性

前已述及,材料在外力作用下产生的弹性变形是有一定限度的。当外力超过这个限度就要发生永久变形。材料在受到外力作用后产生永久变形而其本身并不被破坏的现象,称为塑性。在这种情况下,产生的永久性变形越大,那么材料的塑性就越好。

金属材料的塑性,对金属加工及其使用都有很大的影响。塑性好的材料,在加工过程中可以赋予很大的加工变形量,有利于轧制、锻造、冲压、挤压、拉拔等。塑性不好的材料,其加工变形量就不能太大,否则要发生破坏。例如,钢的塑性好,有些合金钢的塑性就较差,铸铁的塑性更差,变形量几乎等于零。所以钢能进行压力加工,而铸铁就不能进行压力加工,只适于铸造。

金属材料具有塑性,避免了它在使用过程中,因突然断裂而破坏。

金属材料塑性的好坏,可用两个指标来表示,即断面收缩率和伸长率。这两个指标都是用百分率来表示。

断面收缩率是指试样在拉伸破坏后,断面处断面收缩量和原横断面面积之比的百分率,用 ψ 表示。即

$$\psi = \frac{F - F_k}{F} \times 100\%$$

式中 F_k ——试样拉断时,断口的截面积;

F ——试样的原截面积。

断面收缩率的大小,与试样尺寸无关。

伸长率是指试样拉伸破坏后,其伸长量与试样原长之比的百分率,用 δ 表示。即

$$\delta = \frac{L_k - L}{L} \times 100\%$$

式中 L_k ——试样拉断时的长度;

L ——试样的原长度。

伸长率的大小,与试样的尺寸有关。为了便于比较,必须采用标准尺寸的试样(图1-1)。常用标准试样的尺寸,其标距长度等于其直径的5倍或10倍。伸长率分别用 δ_5 、 δ_{10} 表示。

三、强度

金属材料在外力作用下抵抗产生塑性变形和断裂的特性,称为强度。强度是金属材料的一项重要指标。由于外力作用的形式不同,材料所表现的强度也不一样,有抗拉、屈服、抗压和抗剪强度等。对金属材料来说,最重要的强度指标是抗拉强度 σ_b 和屈服强度 σ_s 。通常所说的强度,一般都是指抗拉强度。

1. 拉伸曲线图

金属材料的抗拉强度和屈服强度,是由试验机拉伸标准试样测出的。试验时,标准试样两端的拉力缓慢增加,试样就逐渐发生拉伸变形,中间也逐渐产生局部变细,直至拉断为止。金属标准拉伸试样见图1-1。

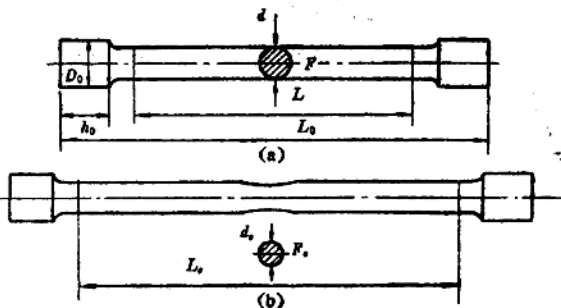


图 1-1 金属材料标准拉伸试样

a—拉伸前; b—拉伸后

如果把把试样所加的拉力 P 作为纵坐标(竖轴),试样伸长量 ΔL 作为横坐标(横轴),根据试验中二者变化的数据,可以绘出拉伸曲线图(图1-2)。

从图1-2中可以看出,试样所受拉力 P 与其伸长量 ΔL 之间有如下关系:

oe段——直线。即伸长量 ΔL 随拉力 P 的增加成正比的增加。在这段拉力和变形范围内,当所加外力除去以后,材料又恢复到原来的形状,是为弹性变形。

es段——线段偏离直线而变曲。说明伸长量 ΔL 不再随拉力 P 的增加成正比例地增加,而是伸长量比拉力增加的快。这段的变化,仍可看作是弹性变形。

sA段——线段几乎成水平。说明拉力 P 虽然没有增加,试样却继续伸长,此时即使除去外力,试样也不能完全恢复到原状,产生了永久变形。这种现象被称为屈服现象,说明材料已经发生了明显的塑性变形。

Ab段——拉力 P 继续增加,试样继续伸长,直到b点时,试样某部分的横截面开始发生显著的收缩变形。此时所加的力,是材料所能抵抗的最大的力。

bB段——试样伸长量 ΔL 超过b点以后,由于试样横截面缩小,使之伸长所需之拉力也就逐渐减小,最后在B点拉断,是为断裂。

从拉伸图中,很容易地理解弹性变形、塑性变形、屈服极限、强度极限和断裂的含义。

2. 屈服极限

屈服极限就是材料开始产生明显塑性变形时的应力,也称屈服强度或屈服点,用 σ_s 表示。其计算公式如下:

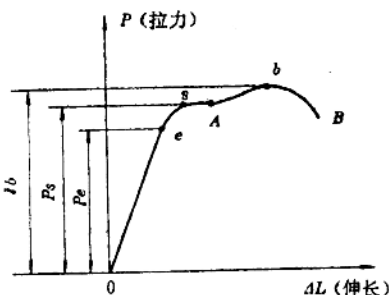


图 1-2 金属材料拉伸曲线图

P_e —弹性变形范围内的最大拉力; P_s —产生明显塑性变形时的拉力; P_b —试样被拉断前的最大拉力

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F} \quad (\text{MPa})$$

式中 P_s ——产生明显塑性变形时的拉力, N;

F ——试样原横截面积, mm^2 。

有的金属, 如高碳钢等, 屈服点不明显, 即没有明显的屈服现象, 为此, 工程上常把试样残余塑性变形相当于试样原长0.2%时的应力, 规定为屈服强度, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示, 称为条件屈服强度。

屈服强度是金属材料的一个很重要的性能指标。它是结构和零件设计时, 选用材料的主要依据。一切结构, 在外力作用下工作时所产生的应力, 绝不能大于材料本身的屈服强度。

3. 强度极限

强度极限就是抗拉强度, 用 σ_b 表示, 是金属试样拉断前的最大拉力与试样原横截面积之比, 即金属拉断前抵抗变形的最大应力。用下式表示:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F} \quad (\text{MPa})$$

式中 P_b ——试样拉断前的最大拉力, N;

F ——试样的原横截面积, mm^2 。

抗拉强度或强度极限, 是金属材料另一个重要的性能指标。设计和选用金属材料时, 应力一般要小于屈服极限, 绝对不能超过强度极限, 否则将引起材料的破坏。材料的强度极限越高, 金属零件或结构所能承受的外力就越大。因而, 在承受相同外力的条件下, 强度高的材料, 体积和重量就可以减小。

四、硬度

硬度是指金属材料抵抗比它更硬的物体压入其表面的能力。金属的硬度指标, 是通过专用设备——硬度计测定的。因此, 使用不同种类的硬度计, 所测得的硬度值并不一样。常用的硬度值指标有下列几种:

1. 布氏硬度 (HB)

布氏硬度值是通过试验和计算得到的, 是测量金属材料硬度的最常用方法之一。它是以直径为 D 的淬硬钢球作压头, 在压力 P 的作用下将其压入金属表面 (图1-3), 然后计算出压痕面积 F , 再根据压力、压痕面积或直径得出布氏硬度值 HB 的。其计算公式如下:

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

式中 P ——压力 (N)。 P 与 D 成一定的比例。对于钢铁材料, $P=30D^2$, 当 D 为10、5、2.5mm时, 相对应的 P 值分别为30000、7500、1875N; 对有色金属材料, $P=10D^2$ (铜及铜合金) 或 $P=2.5D^2$ (铝及铝合金);

D ——钢球直径, 有10、5、2.5mm三种;

d ——压痕直径, mm。

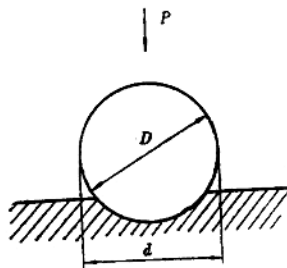


图 1-3 布氏硬度试验 (钢球压入) 示意图

布氏硬度值,除按上述公式计算外,在实际应用中常可根据压痕直径数值在专门的硬度换算表中查得。硬度的单位为MPa,但一般不标出。

布氏硬度比较准确,使用广。但不能测定 $HB > 4500$ 的高硬度金属(钢球要发生变形)和太薄试样。

由于硬度实际上是表现材料局部塑性变形的抗力,因此对塑性较好的金属,布氏硬度和强度之间有着一定的关系。所以,用布氏硬度又可近似地估计金属材料的抗拉强度。根据经验,硬度与抗拉强度之间有如下关系:

$$\sigma_b = K HB$$

式中 K ——系数:对低碳钢, $K=0.36$; 对高碳钢, $K=0.34$; 对灰铸铁, $K=0.1$; 对调质合金钢, $K=0.325$ 。

2. 洛氏硬度(HR)

材料的硬度超过 $HB 4500$ 或试样过小过薄时,就不能再用布氏硬度试验,而用洛氏硬度试验。洛氏硬度试验是通过以顶角为 120° 的金钢石圆锥或直径 1.59mm 的淬硬钢球作压头,在压力 P 作用下压入试被金属材料的表面而测得材料硬度的方法(图1-3和图1-4)。

洛氏硬度的测量方法简单、迅速。它是根据压头压入的深度直接从硬度计的刻度盘上读出硬度值,不必再进行计算或查表。由于它准确度高,压痕面积很小,所以应用较广。

根据被试材料的估量硬度,可以采用不同的压头和压力,从而得到三种不同标度的硬度值 HRA 、 HRB 和 HRC 。

洛氏A标度硬度(HRA),是用 600N 的压力和顶角为 120° 的金钢石锥作压头测得的。这种方法,用于测量硬度极高的材料,如碳化物、硬质合金等。

洛氏B标度硬度(HRB),是用 1000N 的压力和直径 1.59mm 的淬硬钢球测得的。这种方法,用于测量硬度较低的材料,如退火钢、灰铸铁和有色金属等。

洛氏C标度硬度(HRC),是用 1500N 的压力和顶角 120° 的金钢石锥作压头测得的。

洛氏硬度值没有单位,只代表硬度的高低程度。

3. 维氏硬度(HV)

维氏硬度试验,是以顶角 136° 的金钢石方锥作压头,在压力 P 的作用下,压入被试金属材料的表面(图1-5)。

用所测方锥压痕的对角线长度 b 计算出压痕表面积 F ,然后去除压力 P ,即可得到维氏硬度,其计算公式为:

$$HV = \frac{P}{F} = 1.8544 \frac{P}{d^2}$$

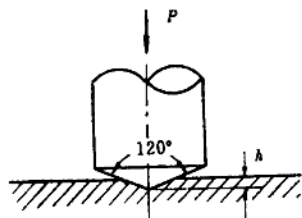


图 1-4 洛氏硬度试验
(金钢锥压入)示意图

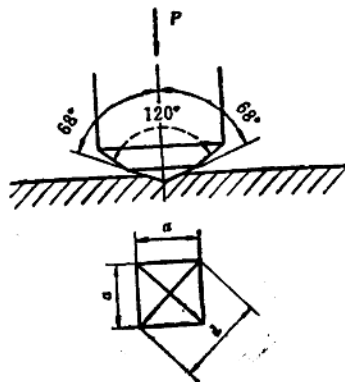


图 1-5 维氏硬度试验的压头与压痕示意图

式中 P ——选用压力 (N)。一般有 50, 100, 200, 300, 500, 1000, 1200N。也可选用 10N 以下的压力作为测定某一显微组织的压力;

d ——压痕对角线长度 (mm)。

维氏硬度值也可以根据压痕对角线长度 d 直接查表求得。

维氏硬度法多用于测量硬而薄的材料和工件, 也用于测量经化学热处理的表面层硬度。

4. 肖氏硬度 (HS)

肖氏硬度试验, 是用一个金刚石圆头重锤从一定高度 (254mm) 自由下落到试样表面上, 根据重锤从表面回跳的高度来测定金属硬度。回跳越高, 硬度越大。由于这种方法简便, 而且试验后在金属表面上不留痕迹, 因此厂矿中常用于验收材料或测量一些精密量具, 以及用于测定用其他方法试验比较困难的大型材料和工件的硬度。肖氏法的缺点是硬度值不够准确。

上述布氏、洛氏、维氏和肖氏硬度之间没有直接的换算公式。如需换算, 可以查专门换算表。

硬度是金属材料的重要机械性能之一, 特别是对各种工具和机械零件的摩擦表面更为重要。它是反映金属材料弹性、强度与韧性的综合性能指标, 又是测定金属性能的最直接、最简便的方法。从材料的硬度大体可以推断材料的抗拉强度等其他机械性能。

五、冲击韧性

冲击韧性是金属材料抵抗冲击或突然施加的外力而不被破坏的能力。由于冲击形成的外力难以量度, 故冲击韧性都是在专门的冲击试验机上进行测定, 用冲断金属试样所消耗功的大小来表示。

冲击试验的方法如下: 把带有刻槽的试样放在冲击试验机上 (图 1-6), 扬起试验机的摆锤到一定高度 H , 然后自由落下, 把试样从刻槽处冲断。计算出试样刻槽处原始截面单位面积所做的功, 即代表金属的冲击韧性。

冲击韧性的计算公式如下:

$$\alpha_k = \frac{A_k}{F} = \frac{P(H-h)}{F} = \frac{PL(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1)}{F} \quad (\text{J}/\text{cm}^2)$$

式中 A_k ——冲击破坏试样所消耗的冲击功, 可从试验机刻度盘上直接读数, J;

F ——冲击试样断口处的截面积, cm^2 ;

P ——摆锤重量, kg;

H ——冲击前摆锤扬起的高度, m;

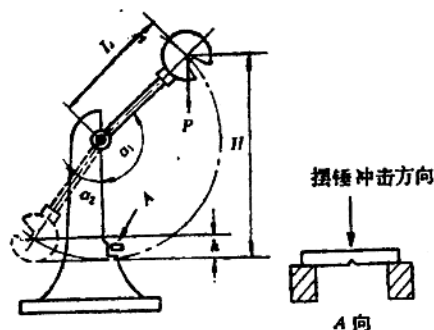


图 1-6 冲击试验

h ——冲断试样后，摆锤再扬起的高度，m；

L ——摆锤轴到摆锤重心的距离，m；

α_1 ——冲击前摆锤的扬角；

α_2 ——冲断试样后摆锤扬角。

α_1 值越大，金属的冲击韧性越好，如齿轮、连杆等机械零件和工作时受到很大冲击外力的结构，都要采用冲击值较高的材料。冲击值很低的材料，称为脆性材料，如铸铁、工具钢等。几种常用金属的冲击韧性值见表1-1。

表1-1 几种常用金属的冲击韧性值

金属名称	冲击韧性 J/cm^2	金属名称	冲击韧性 J/cm^2
纯铁	160~200	中碳钢	30~70
铜	120~200	高碳钢	15~30
低碳钢	30~70	灰铸铁	5~10

六、疲劳强度

某些金属零件和构件，如轴、齿轮、连杆、弹簧、钢轨等，在不断地受到大小和方向都在交替变化的外力作用时，其破坏应力远比金属材料的屈服强度或强度极限为低。这种能引起材料过早地突然发生断裂的现象，称为疲劳。用以衡量金属疲劳性能的指标，称为疲劳强度。

金属的疲劳强度，是金属在经受近无限次交变外力作用而不引起断裂的最大能力。金属的疲劳强度是用疲劳试验机进行测定的。实际上是不可能进行无限次的反复循环试验，一般是把经过 $10^6 \sim 10^8$ 次的反复受力试验而不发生断裂的最大应力作为疲劳强度，称疲劳极限或持久极限。例如，碳钢在纯弯交变力的作用下，反复循环1千万次时，所测得的不发生断裂的最大应力，就是钢的疲劳极限。有色金属反复循环2~7亿次时，所测得的不发生断裂的最大应力，就是有色金属的疲劳极限。钢铁的弯曲疲劳强度值，一般低于其抗拉强度的一半。

材料因疲劳发生的破坏是非常危险的，所以承受交变外力作用的材料，在使用以前就要测出它们的疲劳极限，作为安全使用的限度。

第二节 金属材料的物理化学性能

一、比重

比重的概念，是指一定物体的重量与同体积水的重量之比，没有单位。但实用上习惯地把它当成物体单位体积的重量，单位为 g/cm^3 。比重的计算公式如下：

$$\gamma = \frac{P}{V} \quad (g/cm^3)$$

式中 P ——物体的重量，g；

V ——物体的体积， cm^3 。

比重是金属材料的一个重要物理性能，用比重小的材料制成的机械设备和结构，其自重较低。根据比重的大小，可以把金属分成重金属（比重大于 5 g/cm^3 ）和轻金属（比重小于 5 g/cm^3 ）两类。比重也是计算金属材料重量的主要依据。钢的比重一般为7.8，灰铸铁为7.5，铜合金约为8.8，铝合金约为2.7，镁合金约为1.8。

二、熔点

金属的熔点，就是金属及其合金从固态向液态转变时的温度。

金属材料熔点的高低，对金属的冶炼、铸造加工、配制合金以及焊接工艺都有很大的影响，对其使用也有影响。一般选择低熔点的金属制造易熔合金，高熔点的金属制作时耐高温材料。工业上一般把熔点低于 700°C 的金属，叫做易熔金属，如锡、铅、锌、镁、铝等；而钨、钼、钛、钒等是难熔金属（表1-2）。

表1-2 常用金属及合金的熔点

金属名称	熔点, $^\circ\text{C}$	金属名称	熔点, $^\circ\text{C}$
锡	232	钢	1400~1500
铅	327	钛	1677
铝	658	钼	2625
铜	1083	钨	3380
铸 铁	1130~1350		

三、热膨胀性

金属受热时体积发生膨胀，称为热膨胀性，一般用线膨胀系数来表示。在一定温度范围内，金属各个限度（如矩形梁的长、宽、高）的伸长变化与温度的变化成正比时，称为线性膨胀。

在线性膨胀范围内，金属材料的温度每升高 1°C 时，其线度的伸长量与其在 0°C 时的线度之比，叫做金属材料的线膨胀系数，用 α 表示，计算公式为：

$$\alpha = \frac{1}{\Delta T} \cdot \frac{\Delta L}{L} \quad (1/^\circ\text{C})$$

式中 ΔT ——温度的变量；

ΔL ——相应于 ΔT 的长度的变量；

L ——物体的原长度。

不同金属的热膨胀性是不同的。钢铁的线膨胀系数为 $0.000012/^\circ\text{C}$ ，铝为 $0.000024/^\circ\text{C}$ ，铜为 $0.000017/^\circ\text{C}$ ，锡基轴承合金为 $0.000023/^\circ\text{C}$ 。线膨胀系数的值很小，一般情况下可以忽略。但对于大型制件和温度变化较大时，膨胀的数值就不能忽略了。例如 0°C 时铜棒长度为 2 m ，当加热到 100°C 时，其增加长度： $\Delta L = 0.000017 \times 2000 \times 100 = 3.4 \text{ mm}$ 。

四、导电性

金属都是电导体。其传导电流的能力，叫做导电性。导电性最好的是银，其次是铜和

铝（一般用做导线）。合金的导电性要比一般金属差，所以常用某些合金做高电阻材料，如Ni-Cr合金、Fe-AL-Mn合金和Fe-Cr-Al合金等。

五、导热性

金属是热的良好导体。金属传导热量的能力，叫做导热性，用热导率或导热系数来表示。工业上采用的导热率，是以厚1cm、两面温差为1°C的金属材料，在1秒钟内从一面向另一面通过每平方厘米的热量来表示，单位为J/cm·s·°C或W/m·K。

导热性好的金属，散热性也好。铜、铝及它们的合金导热性好，故常用来制造散热器和热交换器等。导热性对确定金属的加工工艺有影响，例如合金钢的导热性要比碳钢差，故加热时速度要慢一些，否则，在金属内部由于温度差而产生的内应力大于金属强度时，金属的内部就会产生裂纹。

六、磁性

金属材料在磁场中受到磁化以后，就呈现出磁性。根据磁化程度的不同，金属材料可以分为：

铁磁材料——在外加磁场中，能强烈地被磁化的材料，如铁、钴、镍等。根据使用中对电磁要求的不同，又可分为软磁材料和硬磁材料。软磁材料的特点是：当外加磁场去除以后，剩磁易被消除，同时在反复磁化和去磁时，电能损耗最小，材料也不易发热。硅钢片就属于软磁材料。硬磁材料的特点是：当外加磁场去除以后，材料本身仍滞留下很高的磁性，并且不易消除，故又称永磁材料。直流发电机和电话机中的磁芯即属硬磁材料。

顺磁材料——在外加磁场中，只是被微弱磁化的材料。顺磁材料也称弱磁材料，如锰、铬、铝等。

抗磁材料——能抗拒或削弱外加磁场对材料本身的磁化作用。抗磁材料也称无磁材料，如铜、金、银、钴、锌等。

七、耐蚀性

金属材料的耐蚀性，是指材料抵抗周围各种介质对其侵蚀或腐蚀的能力。

腐蚀对金属的危害很大。金属受到腐蚀以后不仅本身受到损伤，而且还会使整个金属结构遭到破坏。所以，提高金属的耐蚀性能对延长材料的使用寿命、减少金属材料消耗、保障使用安全都有很大的意义。

金属的耐蚀性能与其化学成分、加工性能、热处理工艺、组织状态以及使用环境条件等许多因素有关。所以在使用和保管时，一定要注意防腐。在侵蚀性介质严重和使用环境较差时，应尽可能选用耐蚀钢或专用钢。

第三节 金属材料的工艺性能

金属材料的工艺性能，是指在加工过程中所表现出来的接受加工难易程度的性能，主要有铸造性、锻造性、切削加工性和焊接性能等。

一、铸造性

把金属熔化后浇铸成各种铸件，是金属加工的重要方法之一。铸造性包括液态金属的流动性和凝固过程中的收缩性以及偏析倾向等。

流动性是指对熔化后的液态金属进行浇铸时，充满铸型的能力。流动性好的金属，能够铸造各种复杂形状和薄壁铸件，铸造缺陷较少。金属的流动性与化学成分和浇铸温度有

关。浇铸温度高，流动性就好。

收缩性是指液态金属浇铸成型以后，在冷却凝固过程中体积发生收缩的性能。金属凝固收缩不仅使铸件体积缩小、尺寸不准，而且还会在铸造件内部产生缩孔、收缩应力、弯曲变形和开裂等缺陷。液态收缩性小的金属，铸造性好。例如：铸铁的线收缩率为1%，而铸钢的线收缩率为2%，所以铸铁的铸造性就比铸钢的铸造性好。

偏析倾向是指铸件凝固后，内部各部位的化学成分出现不均匀的现象。偏析的产生，常常是因为金属中含有低熔点的杂质。冷却时，这些熔化杂质很自然地集结在一起而单独析出，使铸件的成分产生不均匀性。例如，当钢中含有硫化铁或磷化铁时，在凝固中这些低熔点的化合物就自然集中于钢的内部，因而严重地影响了钢的机械性能。偏析的产生，有时还因为金属液中含有不同金属。由于比重不同而出现成分的不均匀性。例如铅青铜熔液凝固时，由于铅的比重大，故沉积在底部凝固，而铜则浮于其上，因而使铸造铅青铜成为废品。

此外，当液态金属凝固时，它要把已经吸进液态内的气体（如氧气等）排挤出去，因而在凝固金属的表面留下气眼，危害很大。排除这种危害的方法，常常是在金属熔液中投放锰、硅和铝等金属脱氧剂，先进行脱氧排气。

由上可见，铸造性好，就是指液态金属的流动性好，凝固过程中的收缩性小，凝固后产生的偏析倾向小，以及熔液中含有的气体少。

二、锻造性

金属的锻造性，是指金属在压力加工时改变形状而不产生裂纹的性能。对需要锻造、冷热冲压或热轧、冷拔、挤压加工的金属，都要求具有良好的可锻性。各种金属材料的可锻性能并不一样。例如，碳钢的可锻性要比合金钢好；高合金钢的可锻性较中低合金钢可锻性差；硫、磷含量高的钢可锻性差；铸铁是脆性材料，目前尚不能锻造。在有色金属中，铜、含锌量低的黄铜、纯铝及某些铝合金都具有良好的可锻性，而青铜、铸铝等可锻性就差。

三、切削加工性

金属的切削加工性，是指金属材料在切削加工过程中是否容易被切削的性能。切削加工性能好的材料，容易切削且易于达到较高的表面光洁度和精度，切屑也易于折断脱落。例如，灰铸铁有良好的切削加工性；碳钢硬度为 $HB1500 \sim 2500$ ，特别是在 $HB1800 \sim 2000$ 时，具有较好的切削加工性；含碳量较低的钢太软，切削时切屑不易断落，刀具容易磨损，切削速度不能提高；含碳量较高的钢太硬，刀具寿命短，甚至不能进行切削加工；合金钢的切削加工性很差；铜及铝合金等也有较好的切削加工性。

材料切削加工性能的好坏，与其化学成分、组织和机械性能等有关。此外，刀具的耐磨性、几何形状以及切削速度等因素，也对材料的切削加工性能有影响。

四、焊接性

焊接是金属结构广泛采用的一种方法。金属材料的焊接性，是指在给定的焊接工艺和焊接方法的条件下，使金属牢固地焊接在一起而不发生裂缝的性能。易于氧化、导热性过高或过低、热膨胀系数大、塑性低的材料，焊接性一般较差。例如，高碳钢、铸铁、铜和铝的合金等，焊接性就差。焊接性差的材料，焊接后强度低，容易产生夹渣、气孔、变形或开裂等缺陷。焊接性好的材料，易于用一般的焊接方法和工艺进行施焊，焊接后不易形成上述缺陷。低碳钢的焊接性最好。

第二章 黑色金属材料

黑色金属材料包括铁、锰、铬及其合金，一般是指钢和铁。钢铁在工业中的地位十分重要，它是一切工业发展的基础。据统计，世界钢铁的消耗量约占金属消耗量的95%。

第一节 钢铁的冶炼和浇注

一、钢和生铁的区别

生铁并不是纯铁，它和钢一样，都是铁和碳的合金，区别主要是含碳量的不同。生铁的含碳量为2.0~4.5%，其中硅、锰、硫、磷等杂质的含量比钢的多。钢的含碳量在2%以下，所含杂质控制在规定范围以内。

由于成分和组织的不同，钢和铁的性能有很大差异。生铁性脆，没有韧性，不能轧制，也不能锻打，因其熔点较低（1100~1250℃），可以铸造，具有一定的机械强度。钢具有强度高、韧性好的特点，有良好延展性，可轧、可锻、可拉、可铸，通过热处理还可以改善和提高其机械性能。

在碳钢中加一定量的各种合金元素，就可炼制成具有各种特殊性能的合金钢。铁和其他合金元素可以组成铁合金。

二、钢铁的冶炼

1. 生铁的冶炼

在自然界中，几乎所有的铁都是以铁的氧化物状态存在于矿石中，如赤铁矿（ Fe_2O_3 ）、磁铁矿（ Fe_3O_4 ）等。铁矿石中除了氧化铁外，还含有氧化硅和硫、磷等杂质。

炼铁的基本原理，就是通过还原作用把金属铁从它的氧化物中分离出来，并且通过造渣作用除去矿石中的杂质。

近代炼铁都是在高炉中进行的。其基本工艺过程是：把原料（铁矿石）造渣材料（石灰石等）和燃料（焦炭）按一定比例从炉顶装入，同时从下面鼓入热风，在炉内高温条件下使铁矿石中的氧化铁与焦炭中的碳发生化学反应而将铁还原出来，化学反应后生成的一氧化碳和二氧化碳气体则由炉顶排出，使矿石中的铁和氧分离。同时，在高温下，铁又和碳熔合，生成熔点较低的铁水从出铁口流出，造渣材料与铁矿石中的杂质在高温下发生作用，生成易熔化的中性炉渣，由于比铁轻熔化后即浮于铁水表面，从出渣口排出。

铁水从高炉中流出凝固后，就是生铁。生铁中除含有一定量的碳以外，还含有来自矿石和焦炭中残存的各种杂质，如硅（Si）、锰（Mn）、磷（P）、硫（S）等。生铁的性能较差，除一部分直接用于铸造外，大部分作为炼钢原料。

2. 钢的冶炼

炼钢的主要目的，就是把生铁中的碳降低到一定限度内以及调整钢中的合金元素，使其达到规定的范围，同时也使硫、磷、氢、氧、氮等杂质含量降至允许限量之下。

炼钢的基本原理与炼铁有很大区别，它是利用氧化反应去掉生铁中的碳和其他杂质的。

炼钢是在各种炼钢炉中进行的。工业上大规模炼钢，通常用的是转炉、平炉和电弧炉。转炉和平炉用来炼制碳素钢和低合金钢，电弧炉可冶炼各种优质碳素钢和合金钢。还有一些特殊炼钢炉，用来炼制精密合金和特殊金属材料。

炼钢的基本原料是炼钢生铁和废钢。冶炼时，还要加入各种氧化剂（如铁矿石、氧化铁皮等）、脱氧剂（还原性能较强的金属及合金，如锰铁、硅铁、铝和钛铁等）以及造渣材料（石灰石、萤石）等。当然还要有热源。

在炼钢炉中，把炼钢生铁或废钢加热到 1700°C 左右，使其熔化成液体，同时加入氧化剂促使铁水中的碳氧化成一氧化碳排出；其他杂质，如硅、磷、锰等氧化后则进入炉渣中，硫有一部分进入炉渣，另一部分则生成二氧化硫排出。当钢水的化学成分和温度达到一定要求后，即可出钢。但钢液中常有过剩的氧存在，有害于钢的机械性能。为了除去钢液中过剩的氧，并调整化学成分至规定的含量，还须按所炼钢种的需要加入脱氧剂。脱氧剂有的是在出钢前加到炉内，有的是在出钢时加到盛钢桶内。

由于选用的原材料、冶炼操作方法、炉渣性质以及炉衬材料的不同，炼钢方法和炼钢炉有碱性、酸性之分。碱性法通过炉渣反应，可以除掉炉料中大部分的硫和磷，所以对炉料的要求不太严格。绝大部分钢都是用碱性法冶炼的。酸性法在高温下脱氧，效果较好，生成的氧化物容易浮出，钢中气体的含量也较低，所以此法对钢的质量有某些特殊要求来说较为合适。但酸性法不能除去硫、磷，对炉料的要求也严，故应用上受到限制。碱性炉的炉衬是用碱性耐火材料砌筑的。酸性炉的炉衬是用酸性耐火材料砌成的。

三、钢的浇注

把冶炼好的钢水注入钢锭模，就得到各种铸锭（钢锭）。铸锭分模铸和连续铸锭两种。模铸是将钢水注入钢锭模内，冷却脱模即为钢锭。模铸每次只能浇铸一支或数支钢锭。连续铸锭是将钢水连续注入连铸机的水冷结晶器（铸型）经迅速冷却成冷凝铸锭，并缓慢地从结晶器的下口拉出来，再进入二冷区，经喷水继续冷却，使其内外全部凝固，然后经矫直，切割成一定长度的连铸钢坯。此法可以连续生产，铸锭质量好。

由于钢的脱氧程度不同，浇注成钢锭后就具有不同的结构，因而加工成钢材的性能也就不一样。根据钢水的脱氧程度，还可以把钢分为沸腾钢、镇静钢和半镇静钢。

沸腾钢是没有脱氧或没有充分脱氧的钢。钢水浇注到钢锭模之后，随着温度下降，碳和氧发生反应排出大量一氧化碳气体，产生了沸腾现象，故而得名。这种钢的优点是没有集中的缩孔，因而成材率较高，一段大于80%。此外，操作简单，节省耐火材料和脱氧剂，因而成本低。缺点是钢锭上、中、下偏析比较严重，冲击韧性较差，焊接性不很好，一般只限于生产低碳普通钢。

镇静钢是脱氧比较充分的钢。浇注前，钢液要进行充分脱氧，因而在浇注和凝固过程中钢水很平静，没有沸腾现象。镇静钢的组织致密，强度高，冲击韧性较好，偏析少，成分均匀。但钢锭头部有巨大缩孔，锻轧时切头率较高，成材率较低，成本高。对机械性能有较高要求的钢，一般都要炼成镇静钢，如轨道钢、工具钢、轴承钢及国防工业用钢等。

半镇静钢是介于镇静钢和沸腾钢之间的部分脱氧的钢。由于脱氧不充分，浇注时仍有微弱的沸腾现象。半镇静钢的特点介于镇静钢和沸腾钢之间。由于它还能加入一些合金元素，所以能炼低合金钢。浇注半镇静钢的困难在于脱氧程度不易控制，所以目前我国生产较少。

第二节 金属的晶体结构和铁碳合金状态图

一、金属的晶体结构（金相组织）

金属在固态时，一般都是晶体。晶体中的原子按一定秩序作有规则排列的方式，称为晶体结构。为了便于分析和理解各种晶体中原子（或离子）排列的规律和几何形状，可设想用线条将各原子的中心联结起来，使之构成一个空间格子，并假定各原子（离子）都是位于各空间格子的结点上。这种用以描述原子（离子）在晶体中排列形式的格子，就叫做晶格。组成晶格的最小单元，称晶胞（图2-1）。

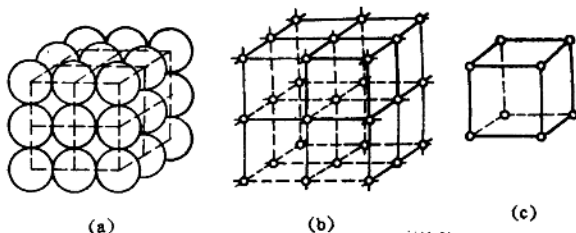


图 2-1 晶体结构示意图
a—晶体中的原子排列；b—晶格；c—晶胞

最常见的金属晶格有面心立方晶格、密排六方晶格和体心立方晶格。

1. 面心立方晶格

晶格的特征是在它的八个顶点和六个面的中心各有一个原子（图2-2）。

具有这种晶格类型的金属有铝、铜、镍、钴、铅、金、银和 γ 铁（温度 $910\sim 1390^{\circ}\text{C}$ 之间时）等。

2. 体心立方晶格

体心立方晶格的特征是，在八个顶点和立方体中心各有一个原子（图2-3）。

具有这种晶格类型的金属有铝、钨、钼、钒、和 α 铁（温度高于 1390°C 和低于 910°C 时）等。

3. 密排六方晶格

密排六方晶格的特征是，除了在六方柱体的上下两面中心及各结点上各有一个原子外，在六方柱体的中心处还有三个原子（图2-4）。

具有这种晶格类型的主要是有色金属，如锌、镁、镉、 α 钴、 β 钴等。

以上是理想化了的晶体结构。实际上，用显微镜观察金属时，看到的都是许多具有不规则多面体外形的微小颗粒。这些微小颗粒，叫做晶粒。晶粒是由许多不同结晶方位的小晶体构成的。晶粒之间，有明显的晶界（图2-5）。

晶粒的尺寸，多在 $10^{-2}\sim 10^{-3}\text{cm}$ 范围内，即 1cm^3 空间内约有10万个晶粒。

晶格的类型及晶粒的大小，直接影响金属的性能，而金属材料的晶体结构又决定于化

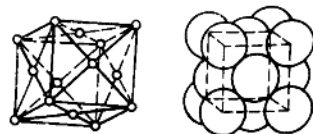


图 2-2 面心立方晶格

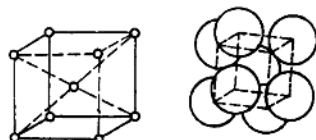


图 2-3 体心立方晶格

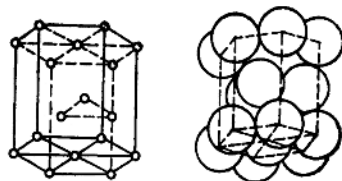


图 2-4 密排六方晶格