


常用工程材料

工程材料是现代工业、农业、国防和科学技术赖以存在和发展的物质基础。工程材料分金属材料和非金属材料两大类。金属是指由金属键结合,具有正的电阻系数和金属晶体特性的物质,例如,Fe、Al、Cu、Sn、Zn、Pb、Mg 等。金属有纯金属和合金之分,合金指以金属为基础,加入其他金属或非金属元素,具有金属特性的物质。人们也常把金属分为黑色金属和有色金属。黑色金属通常是指铁和铁为基的合金(广义地来说,锰(Mn)和铬(Cr)也属于黑色金属);而黑色金属之外的所有金属,均称为有色金属,如铜及铜合金、铝及铝合金等。目前,我国每年钢产量达亿吨,是世界上最大的钢铁生产国。金属材料仍然是机械工程中应用的主要材料,这是因为它具有加工过程和使用过程中所需要的各种性能。为了合理地选用材料,必须研究材料的结构、组织与性能之间的关系,以充分发挥材料的潜力,改善和提高材料的性能。

3.1 金属材料的性能

 **学习目标** 能表述金属材料的概念与分类;知道金属材料有哪些性能;能说出金属材料的主要力学性能,如强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等的概念及其衡量指标。

金属材料的性能主要包括使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在使用过程中表现出来的性能,它包括力学性能、物理性能和化学性能等;工艺性能是指金属材料对各种加工工艺适应的能力,它包括铸造、锻造、焊接、切削加工和热处理工艺性能等。为了能够正确地选择和使用金属材料,就应当了解和掌握金属材料的各种性能。

1. 金属材料的力学性能

金属材料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。力学性能是金属材料的主要性能,是机械设计、制造过程中选择材料的主要依据。其主要性能指标有强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等。

(1) 强度 强度是指金属材料在外力作用下抵抗永久变形(塑性变形)和断裂的能力。根据外力的作用形式不同,强度又分为抗拉、抗压、抗弯、抗扭和抗剪 5 种强度。工程上常以屈服点(σ_s)和抗拉强度极限(σ_b)作为强度指标。

① 屈服点 σ_s 。材料产生屈服时的应力。其计算公式为

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A} \quad (3-1)$$

对塑性差的材料,屈服现象不明显, σ_s 难以测定,规定以试样产生 0.2% 塑性变形时的应力作为屈服极限,称为条件屈服极限,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

② 抗拉强度极限 σ_b 。材料在拉断前能承受的最大拉应力。其计算公式为

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A} \quad (3-2)$$

σ_s 和 σ_b 是强度的重要指标。通常 σ_s 为设计的主要依据。而脆性材料则以 σ_b 为主要依据。但是工程一般都不直接使用 σ_s 和 σ_b , 而用 $[\sigma_s]$ 和 $[\sigma_b]$ 。 $[\sigma_s]$ 和 $[\sigma_b]$ 是 σ_s 和 σ_b 的允许值, 均含安全系数。

强度指标一般是通过金属的拉伸实验来测定的。其具体操作及计算方法在第 2 章 2.2 节轴向拉伸与压缩中有详细说明, 此处不再重复。

(2) 塑性 材料在外力作用下, 产生永久残余变形而不断裂的能力, 称为塑性。塑性指标也主要是通过拉伸实验测得的。工程上常用延伸率和断面收缩率作为材料的塑性指标。

① 延伸率 δ 。试样在拉断后的相对伸长量称为延伸率, 用符号 δ 表示, 即

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (3-3)$$

式中, L_0 为试样原始标距长度; L_1 为试样拉断后的标距长度。

② 断面收缩率 ψ 。试样被拉断后横截面积的相对收缩量称为断面收缩率, 用符号 ψ 表示, 即

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\% \quad (3-4)$$

式中, F_0 为试样原始的横截面积; F_1 为试样拉断处的横截面积。

材料的 δ 和 ψ 值越大, 塑性越好。两者相比, 用 ψ 表示塑性更接近材料的真实应变。工程上常把 $\delta \geq 5\%$ 的材料称为塑性材料, 如低碳钢、铝合金、青铜等; 把 $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料, 如铸铁、高碳钢等。

(3) 硬度 硬度是材料表面抵抗局部塑性变形、压痕或划裂的能力。硬度测试应用最广的是压入法, 即在一定载荷作用下, 用比工件更硬的压头缓慢压入被测工件表面, 使材料局部塑性变形而形成压痕, 然后根据压痕面积大小或压痕深度来确定硬度值。从这个意义来说, 硬度反映材料表面抵抗其他物体压入的能力。工程上常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

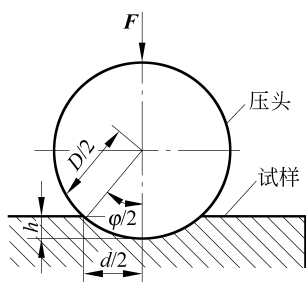


图 3-1 布氏硬度试验

① 布氏硬度 HB。布氏硬度试验是用一定直径的钢球或硬质合金球作压头, 以相应的试验载荷压入试样的表面, 经规定保持时间后, 卸除试验载荷, 测量试样表面的压痕直径, 如图 3-1 所示。

布氏硬度值是试验载荷 F 除以压痕球形表面积所得的商。

$$HBS(HBW) = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3-5)$$

当 F 、 D 一定时, 布氏硬度值仅与压痕直径 d 的大小有关。 d 越小, 布氏硬度值越大, 材料硬度越高; 反之, 则说明材料较软。在实际应用中, 布氏硬度一般不用计算, 只需根据测出的压痕平均直径 d 查表即可得到硬度值。

布氏硬度用符号 HB 表示。使用淬火钢球压头时, 用 HBS 表示, 适合于测定布氏硬度值在 450 以下的材料; 使用硬质合金压头时, 用 HBW 表示, 适合于测定布氏硬度值在 450 以上的材料, 最高可测 650HBW。

其表示方法为: 在符号 HBS 或 HBW 之前为硬度值(不标注单位), 符号后面按以下顺序

用数值表示试验条件。例如,120HBS10/1000/30表示用直径10mm的淬火钢球压头在9.8kN(1000kgf)的试验载荷作用下,保持30s所测得的布氏硬度值为120。

500HBW5/750表示用直径5mm的硬质合金球压头在7.35kN(750kgf)试验载荷作用下保持10~15s(不标注)测得的布氏硬度值为500。

在布氏硬度试验时,应根据被测金属材料的种类和试件厚度,按一定的试验规范正确地选择压头直径 D ,试验载荷 F 和保持时间 t 。

布氏硬度试验压痕面积较大,受测量不均匀度影响较小,故测量结果较准确,适合于测量组织粗大且不均匀的金属材料的硬度。如铸铁、铸钢、非铁金属及其合金,各种退火、正火或调质的钢材等。另外,由于布氏硬度与 σ_b 之间存在一定的经验关系,因此得到了广泛的应用。但布氏硬度试验测试费时,压痕较大,不宜用来测成品,特别是有较高精度要求配合面的零件及小件、薄件,也不能用来测太硬的材料。

② 洛氏硬度 HR。洛氏硬度是在初试验载荷(F_0)及总试验载荷($F_0 + F_1$)的先后作用下,将压头(120°金刚石圆锥体或直径为1.588mm的淬火钢球)压入试样表面,经规定保持时间后,卸除主试验载荷 F_1 ,用测量的残余压痕深度增量计算硬度值,如图3-2所示。

压头在主载荷作用下,实际压入试样产生塑性变形的压痕深度为 b_d (b_d 为残余压痕深度增量)。用 b_d 大小来判断材料的硬度。 b_d 越大,硬度越低,反之,硬度越高。实测时,硬度值的大小直接由硬度计表盘上读出。

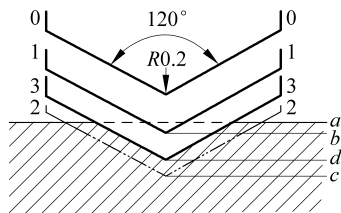


图3-2 洛氏硬度

洛氏硬度符号HR前面为硬度数值,HR后面为使用的标尺。如:50HRC表示用C标尺测定的洛氏硬度值为50。

在洛氏硬度试验中,选择不同的试验载荷和压头类型可得到不同的洛氏硬度的标尺,便于用来测定从软到硬较大范围的材料硬度。最常用的是HRA、HRB、HRC三种,其中以HRC应用最为广泛。洛氏硬度试验操作简便、迅速,测量硬度值范围大,压痕小,可直接测成品和较薄工件。但由于试验载荷较大,不宜用来测定极薄工件及氮化层、金属镀层等的硬度。而且由于压痕小,对内部组织和硬度不均匀的材料,测定结果波动较大,故需在不同位置测试三点的硬度值取其算术平均值。洛氏硬度无单位,各标尺之间没有直接的对应关系。

③ 维氏硬度 HV。维氏硬度的实验原理与布氏硬度相同,不同点是压头为金刚石四方角锥体,所加负荷较小(5~120kgf)。它所测定的硬度值比布氏、洛氏精确,压入深度浅,适于测定经表面处理零件的表面层的硬度,改变负荷可测定从极软到极硬的各种材料的硬度,但测定过程比较麻烦。一般用于测量零件表面硬化层及经过化学热处理的表面层的硬度。

(4) 冲击韧性 冲击韧性是材料在冲击载荷作用下,抵抗冲击力的作用而不被破坏的能力。通常用冲击韧度 α_K 来度量,其值由冲击实验获得。冲击试验有大能量一次冲击试验和小能量多次冲击试验。

下面简要介绍大能量一次冲击试验的实验原理。

大能量一次冲击试验利用的是能量守恒原理。图3-3所示为实验所用摆锤式冲击试验机,图3-4所示为常用冲击试件结构尺寸。实验时将试件置于实验机的支座处,将摆锤举至一定高度后让其自由落下。此时试件被冲断过程中所吸收的能量(即冲击吸收功 A_K)等于摆锤冲击试样前后的势能差。冲击韧度 α_K 的值即等于试件在一次冲击实验时,试件缺口处单位横截面积(cm^2)上所消耗的冲击功(J),其单位为 J/cm^2 。 α_K 值越大,表示材料的冲击韧性越好。

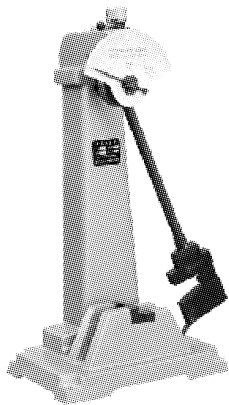


图 3-3 摆锤式冲击试验机

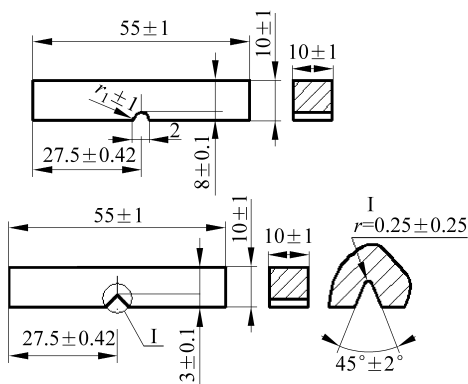


图 3-4 冲击试件

实际工作中承受冲击载荷的机械零件，很少因一次大能量冲击而遭破坏，绝大多数是因小能量多次冲击使损伤积累，导致裂纹产生和扩展的结果。所以需采用小能量多冲击作为衡量这些零件承受冲击抗力的指标。实践证明，在小能量多次冲击下，冲击抗力主要取决于材料的强度和塑性。

(5) 疲劳强度 许多零件和制品，经常受到大小及方向变化的交变载荷，在这种载荷反复作用下，材料常在远低于其屈服强度的应力下即发生断裂，这种现象称为“疲劳”。疲劳强度是指材料承受反复交变载荷(循环应力)而不被破坏的最大应力。材料在规定次数的交变载荷作用下，不至引起断裂的最大应力称为“疲劳极限”。光滑试样的弯曲疲劳极限用 σ_{-1} 表示。一般钢铁的 σ_{-1} 值约为其 σ_b 的一半，非金属材料的疲劳极限一般远低于金属。

通过合理选材，改善材料的结构形状，避免应力集中，减小材料和零件的缺陷，提高零件表面光洁度，对表面进行强化等，可以提高材料的疲劳强度。

2. 金属材料的物理性能和化学性能

(1) 物理性能

- ① 相对密度。密度 ρ 是指单位体积材料的质量，它是描述材料性能的重要指标。
- ② 熔点。熔点是指材料的熔化温度。通常，材料的熔点越高，高温性能就越好。
- ③ 热容量。在没有体积变化时，热容量 C 是温度变化 1°C 时材料热量的变化。
- ④ 热膨胀性。材料的热膨胀性通常用线膨胀系数 α_L 来表示。它表示每变化 1°C 时引起的材料相对膨胀量的大小。一般来说，陶瓷的热膨胀系数最低，金属次之，高分子材料最高。

⑤ 导热性。金属材料传递热量的能力。热导率是衡量金属材料导热性的主要，热导率大导热性就越好，其散热性也越好。通常，金属及合金的导热性远高于非金属材料。

⑥ 磁性。材料在磁场中的性能叫做磁性。许多金属材料如铁、镍、钴等均具有较高的磁性，而另一些金属材料如铜、铝、铅等则是无磁性的。非金属材料一般无磁性。

⑦ 导电性。一般用电阻率来表示材料的导电性能，电阻率越低，材料的导电性越好。

⑧ 介电常数。表示绝缘材料电性能的物理量称为介电常数。

(2) 化学性能

① 耐腐蚀性。材料抵抗氧、水蒸气等化学介质腐蚀破坏的能力。材料的耐蚀性常用每年腐蚀深度(渗蚀度) $K_a(\text{mm}/\text{年})$ ，一般非金属材料的耐腐蚀性比金属材料高得多。提高材料的

耐腐蚀性的方法很多,如均匀化处理、表面处理等都可以提高材料的耐腐蚀性。

② 抗氧化性。材料在高温条件下抵抗氧化的能力。金属材料的氧化性随温度的升高而加速,为避免金属材料被氧化,常在金属材料的表面形成一层连续而致密并与母体结合牢靠的膜,从而阻止进一步氧化。

③ 抗老化性能。塑料在长期储存和使用过程中,由于受到氧、光、热等因素的综合作用,分子链逐渐产生交联与裂解,性能逐渐恶化,直至丧失使用价值的现象,称为老化。通过改变高聚物的结构,添加防老化剂和表面处理等方法可以提高高分子材料的抗老化性能。

④ 化学稳定性。金属材料的耐腐蚀性和抗氧化性的总称。

3. 金属材料的工艺性能

材料工艺性能的好坏,直接影响到制造零件的工艺方法和质量以及制造成本。所以,选材时必须充分考虑工艺性能。


① 铸造性。铸造性是指浇注铸件时,材料能充满比较复杂的铸型并获得优质铸件的能力。对金属材料而言,铸造性主要包括流动性、收缩率、偏析倾向等指标。流动性好、收缩率小、偏析倾向小的材料其铸造性也好。

② 可锻性。可锻性是指材料是否易于进行压力加工的性能。可锻性好坏主要以材料的塑性和变形抗力来衡量。一般来说,钢的可锻性较好,而铸铁不能进行任何压力加工。热塑性塑料可经过挤压和压塑成形。

③ 可焊性。可焊性是指材料是否易于焊接在一起并能保证焊缝质量的性能,一般用焊接处出现各种缺陷的倾向来衡量。低碳钢具有优良的可焊性,而铸铁和铝合金的可焊性就很差。某些工程塑料也有良好的可焊性,但与金属的焊接机制及工艺方法并不相同。

④ 切削加工性。切削加工性是指材料是否易于切削加工的性能。它与材料种类、成分、硬度、韧性、导热性及内部组织状态等许多因素有关。

3.2 铁碳合金基础知识

 **学习目标** 了解铁碳合金的基础组织及其性能特点;了解铁碳合金金相图,明白它的研究意义;知道铁碳合金的分类;能表述含碳量对铁碳合金组织及力学性能的影响。

1. 铁碳合金

由铁和碳为主要元素组成的合金称为铁碳合金。钢铁材料就是铁碳合金,各种合金钢也是在铁与碳的基础上,为了具有某种特殊的性能而添加一些合金元素。钢铁是目前人类社会中最重要,也是工业上应用最广的金属材料。了解铁碳合金的结构及其相图,掌握其性能变化规律,可为我们正确地使用钢铁材料、制订各种加工工艺提供重要的理论依据。

(1) 纯铁的同素异晶转变 钢铁材料之所以应用得非常广泛,其中最主要的原因是由于组成钢铁材料的主要元素铁在不同的固态温度下其晶体结构会发生改变。纯铁的冷却曲线如图 3-5 所示。从曲线上可以

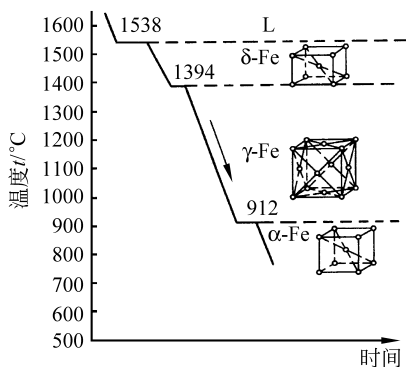
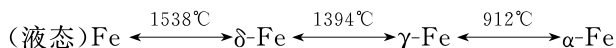


图 3-5 纯铁的冷却曲线

看到：



我们把这种金属在固体下,随着温度的变化,晶格由一种类型转变成为另一种类型的转变过程,称为同素异构转变(也称同素异晶转变)。

同素异构转变是钢铁一个重要特性,是能够进行热处理来改变性能的基础。同素异晶转变是通过原子的重新排列来完成的,是重结晶过程,有一定的转变温度,转变时需要过冷,有潜热产生,而且转变过程也是由晶核的形成和晶核的长大来完成的。

(2) 铁碳合金的基本组织 在固态铁碳合金中,不同温度下,由于铁和碳的交互作用可形成不同的组织。下面介绍几种基本组织。

① 铁素体。铁素体是 $\alpha\text{-Fe}$ 中溶入一种或几种溶质原子构成的间隙固溶体,用符号“F”表示。铁素体仍然保持 $\alpha\text{-Fe}$ 的体心立方晶格。

由于体心立方晶格的间隙很小,溶碳能力很低,在 600°C 时溶碳量仅为 $W_c=0.006\%$,随着温度升高,溶碳量逐渐增加,在 727°C 时,溶碳量 $W_c=0.0218\%$ 。因此,铁素体室温时的性能与纯铁相似,强度、硬度低,塑性和韧性好。铁素体的显微组织呈明亮的多边形晶粒,晶界曲线如图 3-6 所示。

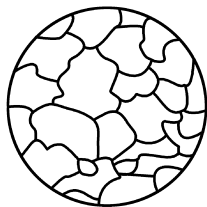


图 3-6 铁素体的显微组织示意图

② 奥氏体。奥氏体是 $\gamma\text{-Fe}$ 中溶入碳和(或)其他元素形成的间隙固溶体,用符号“A”表示。奥氏体仍保持 $\gamma\text{-Fe}$ 的面心立方晶格。

由于面心立方晶格的间隙较大,因此溶碳能力也较大,在 727°C 时溶碳量 $W_c=0.77\%$,随着温度的升高溶碳量逐渐增多,到 1148°C 时,溶碳量可达 $W_c=2.11\%$ 。奥氏体塑性韧性好,强度和硬度较低,因此,生产中常将工件加热到 A 状态进行锻造。奥氏体的显微组织与铁素体的显微组织相似,呈多边形,但晶界较铁素体平直,如图 3-7 所示。

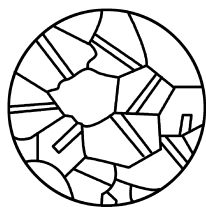


图 3-7 奥氏体的显微组织示意图

③ 渗碳体。渗碳体是铁和碳相互作用形成的具有复杂晶格的间隙化合物,用分子式“ Fe_3C ”表示。渗碳体的 $W_c=6.69\%$,熔点为 1227°C ,硬度高(约 1000HV),塑性、韧性几乎为零,极脆。

渗碳体在铁碳合金中常以片状、球状、网状等形式与其他组织相共存,如能合理利用,渗碳体是钢中的主要强化相,其形态、大小、数量和分布对钢的性能有很大的影响,另外,在一定条件下它会发生分解,形成石墨状的自由碳。

④ 珠光体。珠光体是基本相铁素体与渗碳体($\text{F}+\text{Fe}_3\text{C}$)组成的机械混合物,用符号“P”表示。珠光体的存在温度在 727°C 以下。含碳量固定为 0.77% 。珠光体的形状为层片状。其性能 $\sigma_b=750^\circ\text{C MPa}$, $\text{HB}=180$, $\delta_{10}=25\%$, $\alpha_K=30\sim 40\text{J/cm}^2$,珠光体在钢和生铁中始终存在。

⑤ 莱氏体。莱氏体分为两种：高温莱氏体和低温莱氏体。高温莱氏体是含碳量大于 2.11% 的铁碳合金从液态缓慢冷却至 1148℃ 时，同时生成奥氏体和渗碳体，呈均匀分布的机械混合物，用符号“ L_d ”表示。低温莱氏体是指 727℃ 以下，有高温莱氏体中的奥氏体转变为珠光体，渗碳体与珠光体 (Fe_3C+P) 呈均匀分布的机械混合物，用符号“ L'_d ”表示。莱氏体含碳量高，性能与渗碳体相似，硬度很高，塑性、韧性极差。

2. 铁碳合金相图

(1) Fe-Fe₃C 相图的建立 铁碳合金相图是指在平衡(极其缓慢加热或冷却)条件下，不同成分的铁碳合金，在不同温度所处状态或组织的图形。它是研究铁碳合金的重要工具，也是使用钢铁材料及制订热加工工艺的重要依据。

铁和碳可形成一系列稳定化合物 (Fe_3C 、 Fe_2C 、 FeC)，由于 $W_C > 6.69\%$ 时的铁碳合金脆性极大，没有使用价值，而且 Fe_3C 又是一个稳定的化合物，可以作为一个独立的组元，因此我们所研究的铁碳合金相图实际上是 Fe-Fe₃C 相图，如图 3-8 所示。为便于分析和研究，图中左上角部分已简化。

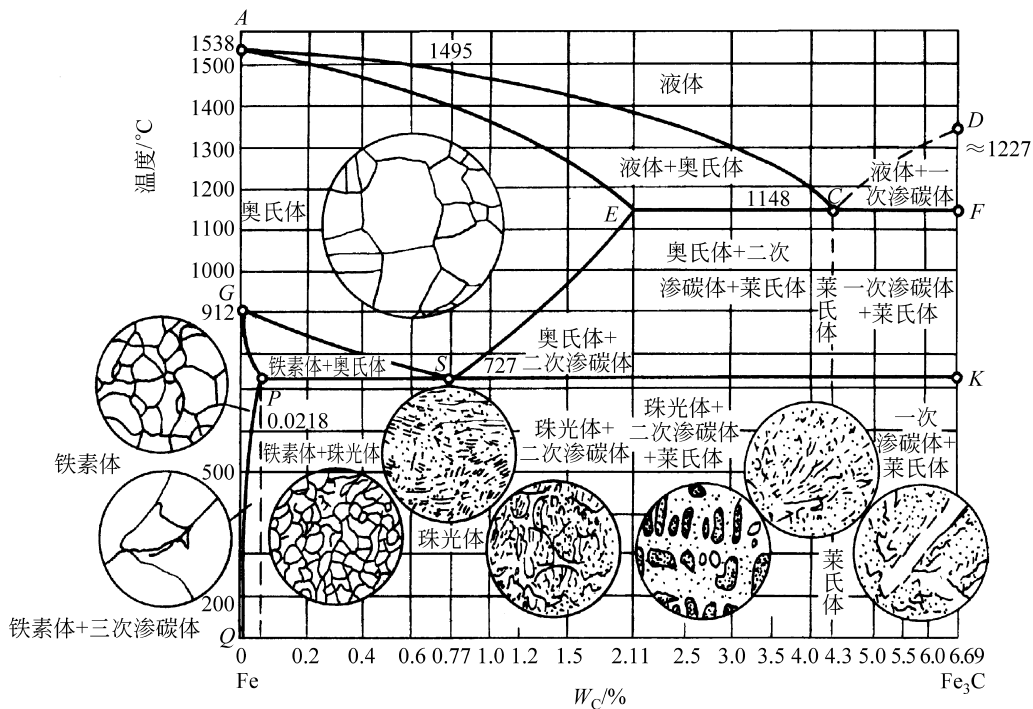


图 3-8 Fe-Fe₃C 相图

(2) 相图分析

- ① Fe-Fe₃C 相图的特性点，见表 3-1。
- ② Fe-Fe₃C 相图的特性线及其含义，见表 3-2。

3. 铁碳合金分类及其室温组织

根据铁碳合金中碳的质量分数和组织的不同，将铁碳合金分为以下几种。

- (1) 工业纯铁 $W_C \leq 0.0218\%$ ，室温组织：铁素体和三次渗碳体。

表 3-1 简化的 Fe-Fe₃C 相图的特点

特性点	$t/^\circ\text{C}$	$W_c/\%$	含 义
A	1538	0	纯铁的熔点
C	1148	4.3	共晶点, $L_c \rightleftharpoons (A_E + Fe_3C)$
D	1227	6.69	渗碳体的熔点
E	1148	2.11	碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的最大溶解度
G	912	0	纯铁的同素异晶转变点 $\alpha\text{-Fe} \rightleftharpoons \gamma\text{-Fe}$
P	727	0.0218	碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的最大溶解度
S	727	0.77	共析点, $A_s \rightleftharpoons (Fe_3C + F)P$
Q	600	0.006	碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度

表 3-2 Fe-Fe₃C 相图的特性线及其含义

特性线	含 义
ACD	液相线
AECF	固相线
GS	常称 A ₃ 线。冷却时,从奥氏体中结晶出铁素体的开始线
ES	常称 A _{cm} 线。碳在奥氏体中溶解度曲线
ECF	共晶线
PSK	共析线,又称 A ₁ 线

(2) 碳钢 $0.0218\% < W_c \leq 2.11\%$ 。根据室温组织不同,又可以分为:

- ① 亚共析钢。 $0.0218\% < W_c < 0.77\%$, 室温组织为铁素体和珠光体。
- ② 共析钢。 $W_c = 0.77\%$, 室温组织为珠光体。
- ③ 过共析钢。 $0.77\% < W_c \leq 2.11\%$, 室温组织为珠光体和二次渗碳体。

(3) 白口铸铁 $2.11\% < W_c \leq 6.69\%$ 。根据室温组织不同,又可以分为以下几种。

- ① 亚共晶白口铸铁。 $2.11\% < W_c < 4.3\%$, 室温组织为珠光体、低温莱氏体和二次渗碳体。
- ② 共晶白口铸铁。 $W_c = 4.3\%$, 室温组织为低温莱氏体。
- ③ 过共晶白口铸铁。 $4.3\% < W_c \leq 6.69\%$, 室温组织为渗碳体和低温莱氏体。

4. 含碳量对铁碳合金性能的影响

在铁碳合金中,渗碳体一般认为是一种强化相。当它与铁素体构成层状珠光体时,可提高合金的强度和硬度,故合金中珠光体量越多,其强度与硬度越高,而塑性、韧性却相应降低。但在过共析钢中,渗碳体明显呈网状分布在晶界上,特别在白口铸铁中渗碳体作为基体时,将使铁碳合金的塑性和韧性大大下降,这就是高碳钢和白口铸铁脆性高的主要原因。

图 3-9 所示为含碳量对碳钢的力学性能的影响。由图可见,当钢中 $W_c < 0.9\%$ 时,随着钢中含碳量的增加,钢的强度、硬度呈直线上升,而塑性、韧性不断降低;当钢中 $W_c > 0.9\%$ 时,因网状二次渗碳体的存在,不仅使钢的塑性、韧性进一步降低,而且强度也明显下降。为保证工业使用的钢具有足够的强度,并具有一定的塑性和韧性,钢中碳含量一般都不超过 $1.3\% \sim 1.4\%$ 。而 $W_c > 2.11\%$ 的白口铸铁,由于组织中存在大量的渗碳体,使性能特别硬脆,难以切削加工,因此一般机械制造工业中一般以铸态使用。

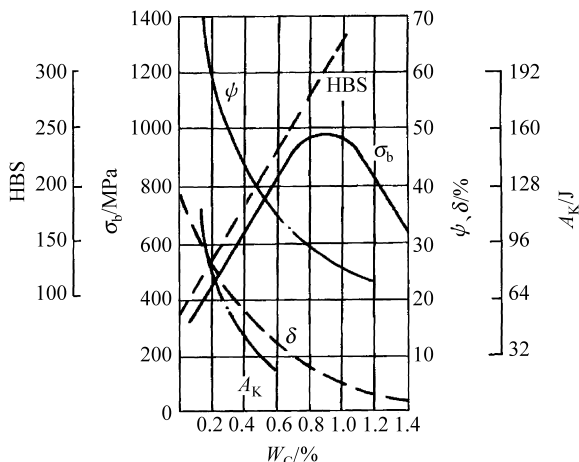


图 3-9 含碳量对碳钢力学性能的影响

3.3 钢的分类和编号

学习目标 明白常存元素对钢性能的影响；清楚钢的分类与编号方法、铸铁的分类与编号方法；能识别常用钢铁材料的牌号；能对钢铁材料的选用有一定的认知。

在工业用钢中除铁、碳之外，还含有其他元素。其他元素分为常存元素、偶存元素、隐存元素和合金元素 4 类。常存元素有锰、硅、硫、磷。偶存元素是由于矿石产地不同（有与铁共存的共生矿混入）及以废钢为原料，在冶炼及工艺操作时带入钢中，如铜、钛、钒、稀土元素等。隐存元素是指原子半径较小的非金属元素，如氧、氢等。合金元素是指为改变成分特别添加的元素，如铬、镍、钨、钼、钒等。

工业钢的种类繁多，通常按化学成分分为碳素钢和合金钢两大类。碳素钢（简称碳钢）是含碳量大于 0.0218% 而小于 2.11% 的铁碳合金。由于碳钢具有较好的机械性能和工艺性能，并且产量大、价格较低，因此它是机械工程上应用十分广泛的金属材料。合金钢是在碳钢的基础上，添加某些合金元素，用以保证一定的生产和加工工艺以及所要求的组织与性能的铁基合金。合金钢用量虽少，但却非常重要。合金钢有较好的性能，但也有不少缺点。最主要的是由于含有合金元素，其生产和加工工艺比碳钢差，也比较复杂，价格也较昂贵。因此，在应用碳钢能够满足要求时，一般不使用合金钢。

为了在生产上合力选择、正确使用钢铁材料，必须了解我国钢铁材料的分类、牌号和性能，以及一些常存杂质对钢性能的影响。

1. 常存元素对钢性能的影响

钢铁成分中的主要组元是铁和碳，但在冶炼过程中，还会带入一定量的 Si（硅）、Mn（锰）、P（磷）、S（硫）、非金属夹杂物及氧、氮、氢等气体。这些非有意加入或保留的元素，称为杂质。

(1) Si、Mn 的影响 Si 可改善钢质，还可溶入铁素体，显著提高钢的强度和硬度，但含量较高时，会使钢的塑性和韧性下降；Mn 可防止形成 FeO，减轻 S 的有害作用，强化铁素体，增加珠光体的相对含量，使组织细化，提高钢的强度。Si 和 Mn 在一定含量范围内是有益元素，但是，作为少量杂质存在时，对钢的力学性能的影响并不显著。

(2) S、P 的影响 在固态下, S 在钢中主要以 FeS 的形态存在, 会使得钢在 1100℃ 左右的高温下进行变形加工时沿着晶界开裂(称为热裂); P 在固态下可溶入铁素体中, 使钢的强度、硬度提高, 并提高铁液的流动性, 但在室温下使钢的塑性、韧性显著下降, 在低温时更为严重(称为冷脆)。P 的存在也使焊接性能变坏。S 和 P 的含量必须严格控制, 它是衡量钢的质量等级的指标之一。

2. 钢的分类

钢是碳的质量分数不大于 2.11%, 并可能含有其他元素的铁碳合金(在个别钢中, 如高铬钢, 其 W_C 可超过 2.11%)。钢的种类很多, 常用分类方法如下。

① 按钢中有害元素硫、磷的含量分类。

- 普通钢($W_P \leq 0.045\%$, $W_S \leq 0.050\%$)。
- 优质钢(W_P 、 W_S 含量均 $\leq 0.035\%$)。
- 高级优质钢($W_P \leq 0.035\%$, $W_S \leq 0.030\%$)。

② 按化学成分分类。

- 碳素钢: 低碳钢($W_C \leq 0.25\%$); 中碳钢($W_C \leq 0.25\% \sim 0.60\%$); 高碳钢($W_C \leq 0.60\%$)。
- 合金钢: 低合金钢(合金元素总含量 $\leq 5\%$); 中合金钢(合金元素总含量 $> 5\% \sim 10\%$); 高合金钢(合金元素总含量 $> 10\%$)。

③ 按用途分类。

- 碳素钢。包括碳素结构钢、碳素工具钢、碳素铸钢。

碳素结构钢: 主要用于各种工程机构和机械零件的制造, 其 $W_C < 0.70\%$ 。

碳素工具钢: 主要用于各种刀具、模具和量具的制造, 其 $W_C > 0.70\%$ 。

碳素铸钢: 主要用于形状复杂、难以铸造成形的铸钢件。

- 合金钢。包括合金结构钢、合金工具钢、特殊性能钢。

合金结构钢: 用于制造机械零件和工程结构的钢。

合金工具钢: 用于制造各种工具的钢。

特殊性能钢: 主要指具有某种特殊的物理和化学性能的钢。

3. 钢的编号

(1) 碳素钢的编号、性能和应用

① 碳素结构钢。碳素结构钢的牌号以“Q+数字+字母+字母”表示。其中,“Q”字是钢材的屈服强度“屈”字的汉语拼音字首, 紧跟后面的是屈服强度值, 再其后分别是质量等级符号和脱氧方法。例如: Q235AF 即表示屈服强度值为 235MPa 的 A 级沸腾钢。牌号中规定了 A、B、C、D 四种质量等级, A 级质量最差, D 级质量最好。按脱氧制度, 沸腾钢在钢号后加“F”, 半镇静钢在钢号后加“B”, 镇静钢则不加任何字母。

② 优质碳素结构钢。优质碳素结构钢是以“两位数字+元素+数字+…”的方法表示。钢号的前两位数字表示平均含碳量的万分之几, 如 45# 钢表示平均含碳量为 0.45% 的优质碳素结构钢; 高级优质钢在数字后加“A”, 特级优质钢在数字后加“E”, 沸腾钢在数字后加“F”, 半镇静钢在数字后加“B”。钢中 Mn 的质量分数较高($W_{Mn} = 0.7\% \sim 1.20\%$)时, 在数字后附以符号 Mn, 如 65Mn 表示 $W_C \approx 0.65\%$, 并含有较多锰($W_{Mn} = 0.9\% \sim 1.20\%$)的优质碳素结构钢。

优质碳素结构钢的 S、P 含量较低($W_S \leq 0.030\%$ 、 $W_P \leq 0.035\%$), 非金属夹杂物较少, 塑