

交通系统中等专业学校试用教材

金属与非金属材料

上册

(物资管理专业用)

武汉水运工业学校 吴以慎 编

人民交通出版社

交通系统中等专业学校试用教材

金属与非金属材料

上 册

(物资管理专业用)

武汉水运工业学校 吴以慎 编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 15 字数: 363千

1984年5月 第1版

1984年5月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—5,250 册 定价: 1.20元

内 容 提 要

本书主要阐述金属材料与非金属材料的应用理论、基本性质、技术指标、品种型号、适用范围以及有关管理的注意事项等。全书分上、下册，上册为金属材料篇，下册为非金属材料篇。金属材料部分包括黑色金属材料与有色金属材料的基本理论和知识。非金属材料部分包括建筑材料、合成材料、燃料及润滑材料等方面的基本理论和知识。

本书可作交通系统中等专业学校物资管理专业的教材，同时也可供其他物资部门的领导和工作人员业务学习或自学时参考。

前 言

本书是根据我校原来编写的《金属与非金属材料》教学讲义，结合交通运输生产实际增订改写的。

在物资管理范围的材料，一般是指经过加工即能构成实体的物料，通常也包括某些构造比较单一的成品或半成品。材料是工农业生产的物质基础，也是交通运输必不可少的物资。

人类在自然界的斗争中，材料的使用是不断发展的，材料的更新又必然推动生产的发展，历史上出现的石器时代、青铜器时代和铁器时代，就证明着这种趋势。在科学技术发达的当代，许许多多新技术的应用，都需要有极高要求的材料来实现。例如空间技术的运载工具——火箭、宇宙飞船等航天器，在进入宇宙空间时，就需要经受极严格条件的考验。又如新能源的开发所需要的各种特殊性能的材料，也是当前科学研究的重要课题之一。所以现在有人将材料、能源和信息并列为当代技术的三大基础。随着科学技术的发展，今后必将不断会有新材料的出现和应用。

我们交通运输部门，无论是运输生产、船舶制造、港口航道、公路修筑以及科学实验等方面，都需要各种类别的大量材料。材料的管理，不但是经济管理工作，也是一门科学技术工作。现代出现的一门材料科学，就是研究各种材料的微观现象和宏观现象，不同特性由来的根据，并以此指导发展具有新性质、新功能的崭新材料，满足生产和技术发展的需要。我们所研究的内容，是根据物资管理的需要，纵的方面是认识各种材料的化学组成、物理特性、生产来源、质量标准、型号规格以及应用范围等；横的方面我们把这些多种多样的材料分为金属和非金属两大类。这本书研究的是金属材料。

金属材料分为黑色金属材料和有色金属材料两大类。所谓金属材料就是以金属制成的各种材料，它既包括纯金属也包括合金。

本书中引用的国家标准及部标准，原来所列系工程单位制，现均按国家公布推行的国际单位制(SI)，分别加以换算，将单位及数据用括号标在原标注之后，以资对照应用。

本书写成后，承交通部物资局、教育局进行审阅，深表感谢。

由于编写时间匆促，也限于水平，缺点错误可能不少，恳切地希望读者不吝批评指示。

目 录

第一章 金属材料性能	1
第一节 金属材料的物理性能	1
第二节 金属材料的化学性能	8
第三节 金属材料的机械性能	4
第四节 金属材料的工艺性能	13
第二章 金属和合金的晶体结构	16
第一节 金属的晶体结构	16
第二节 金属的结晶过程	18
第三节 变形、再结晶与热加工	20
第四节 合金的基本组织结构	23
第五节 铁碳合金的基本组织结构	25
第六节 铁碳平衡图	27
第三章 钢铁的基本知识	30
第一节 钢和铁的区别	30
第二节 钢中常见元素的作用和影响	32
第三节 钢的热处理	35
第四章 生铁与铁合金	44
第一节 生铁	44
第二节 铁合金	46
第三节 铸铁	51
第四节 铸铁管和管件	56
第五章 钢	61
第一节 钢的分类	61
第二节 普通钢	64
第三节 优质结构钢	71
第四节 工具钢	89
第六章 特殊性能钢和专门用途钢	99
第一节 不锈钢	99
第二节 耐热不起皮钢	107
第三节 耐磨钢	112
第四节 电工用硅钢、电工用纯铁	113
第五节 造船用钢	114
第六节 钢轨用钢	116
第七节 桥梁用钢	117

第八节 锅炉用钢.....	119
第七章 钢材.....	121
第一节 钢材的压力加工.....	121
第二节 钢材的组织.....	122
第三节 钢材的类别.....	125
第四节 型钢.....	126
第五节 专用钢材.....	138
第六节 钢板.....	144
第七节 钢管.....	148
第八节 钢丝.....	153
第九节 钢丝绳.....	159
第十节 船用锚、链.....	165
第八章 有色金属.....	169
第一节 有色金属的分类.....	169
第二节 锡.....	170
第三节 铅.....	172
第四节 铋.....	173
第五节 铈.....	174
第六节 钛.....	175
第九章 铜及铜合金.....	177
第一节 纯铜.....	177
第二节 黄铜.....	178
第三节 青铜.....	181
第四节 白铜.....	184
第五节 铜材.....	186
第十章 铝及铝合金.....	189
第一节 纯铝.....	189
第二节 铝合金.....	191
第三节 铝材.....	195
第十一章 轴承合金和硬质合金.....	198
第一节 轴承合金.....	198
第二节 硬质合金.....	201
第三节 硬质合金刀片.....	205
第十二章 金属材料的腐蚀和防腐.....	213
第一节 金属材料的腐蚀.....	213
第二节 金属腐蚀的原因.....	216
第三节 金属腐蚀的防止.....	217
附 录.....	219
一、汉语拼音字母表.....	219
二、注音字母表.....	219

三、希腊字母表.....	219
四、化学元素符号表.....	220
五、公制长度单位表.....	221
六、市制长度单位表.....	221
七、常用英制长度单位表.....	221
八、常用长度单位换算表.....	221
九、公制重量单位表.....	221
十、市制重量单位表.....	221
十一、常用英美制重量单位表.....	221
十二、常用重量单位换算表.....	221
十三、压力与应力单位换算表.....	222
十四、几种主要纯金属及非金属的性能参考表.....	223
十五、常用有色金属合金的主要特性.....	224
十六、钢材理论重量计算简化公式.....	224
十七、有色金属材料理论重量计算简化公式.....	225
十八、中国线规与英国线规、美国线规对照表.....	226
十九、钢铁产品所用的代号.....	228
二十、常用有色金属及其合金的代号.....	228
二十一、专用有色金属产品的代号.....	228
二十二、有色金属产品状态及特性的代号.....	228

第一章 金属材料的性能

金属材料的类别和品种多,不同的金属材料具有不同的性能,我们就是利用这些不同的性能,把它用于不同的生产领域。所以掌握金属材料的性能,是对金属材料正确认识、管理使用必不可少的条件。在这一章里,我们从物理性能、化学性能、机械性能和工艺性能四个方面来了解金属材料的性能。

第一节 金属材料的物理性能

金属材料的物理性能,是金属材料对自然界各种物理现象,如温度变化、地心吸引力、电磁作用等所表现出来的反应。在表现这种反应时,金属的化学成分保持不变。金属材料的物理性能主要有:密度、熔点、热膨胀性、导电性、导热性和磁性等。

一、密度

密度是单位体积所含物质的质量,也就是物体质量和体积的比值,密度以 ρ 表示,单位为 g/cm^3 。根据密度的含义可得到下列公式

$$\rho = \frac{m}{V} (\text{g/cm}^3)$$

式中: m 表示物质的质量, V 表示物质的体积。

由此可以导出以下公式:

$$m = V \times \rho (\text{g})$$

$$V = \frac{m}{\rho} (\text{cm}^3)$$

不同的金属其密度绝大部分不完全相同,有的很大,有的很小,现在将一些常用金属的密度列后:

铂	21.45	金	19.32	钨	19.30	铅	11.34
银	10.50	钼	10.20	铜	8.94	镍	8.90
铁	7.86	锰	7.43	锡	7.30	铬	7.19
锌	7.14	锑	6.69	钛	4.50	铝	2.70
铍	1.82	镁	1.74	钙	1.55	钾	0.86
锂	0.53	(g/cm^3)					

金属材料密度的大小,是金属物理特性一个重要方面,它是设计时选用材料考虑的重要因素之一。特别是制造宇航工具、航空工具以及地面上的各种交通运输工具,都要求采用自重轻的原材料,这样才能发挥运输的较高效能。另外,各种金属材料的理论重量就是根据其密度计算求得的。而且根据金属材料密度不同,大体上可以鉴别出金属的纯度。

二、熔点

金属在加热后由固体熔化成液体时的温度叫做熔点,其温度一般是用摄氏(Centigrade)

温度表示，简称为“℃”。不同的金属其熔点不完全一样。现将常见的金属熔点列后：

钨	3380	钨	2625	钨	1900	铬	1855
钛	1677	铁	1535	镍	1455	锰	1245
铜	1083	金	1064	银	961	铝	660
锌	419	铅	327	锡	232	钾	63.6
汞	-39	(℃)					

从上列数据看来，不同金属的熔点相差很大。金属的熔点不但关系到冶炼，而且对铸造、焊接和应用等方面都有密切的关系。电工用的保险丝需用低熔点的金属，电灯丝、耐高温的元件和切削工具则需用高熔点的金属。

三、热膨胀性

金属材料一般都具有热胀冷缩的现象，因此，金属受温度增高而体积胀大的特性叫热膨胀性，通常是用线膨胀系数表示，所谓线膨胀系数，是金属材料当温度升高1℃时，其长度的变化和它在0℃时长度的比值。单位写为 K^{-1} 或 $mm/mm \cdot ^\circ C$ 。

不同金属材料的线膨胀系数是不同的，因此在设计和应用时要考虑这一因素。铜轨之间要预留轨缝；焊接两种不同金属，应考虑其热膨胀系数是否接近；精密仪器、量具要采用热膨胀性小的金属材料。

现在将几种常见金属的线膨胀系数列后：

铅	0.0000292	铝	0.0000231
锡	0.0000230	银	0.0000197
铜	0.0000166	金	0.0000142
镍	0.0000134	铁	0.0000117
铂	0.0000090	铬	0.0000062

(K^{-1} 或 $mm/mm \cdot ^\circ C$)

体膨胀系数通常是它的线膨胀系数的三倍计算。

四、导热性

金属材料传导热量的能力称为导热性。表示导热性能的指标是热导率或称导热系数。金属的导热性一般都比非金属好，而不同金属的导热性也不一样。金属中以银的导热性最好，铜次之。凡导热性好的金属其散热也快，因之通常都是利用导热性能好的金属材料，制造热交换器和散热器等。

五、导电性

金属材料传导电流的能力称为导电性。表示导电性能的指标是电导率 γ 和电阻率 ρ ，它们之间的关系是 $\gamma = \frac{1}{\rho}$ ，电阻率又叫电阻系数，单位为 $\Omega \cdot m$ 。

金属大都是具有良好的导电性，不同的金属导电性能有很大的差别。金属中以银的导电性最好，铜次之，铝又次之。因此电工上通常均采用铜和铝等作为导线。导电性不好也就是电阻率较大，电阻较大的金属材料如镍基合金、锰白铜等，常用于作电热元件、电阻丝等。

六、磁性

金属材料被磁场吸引或磁化的性能叫做磁性，又叫电磁性能。根据金属材料磁性的强弱，分为铁磁性材料、顺磁性材料和逆磁性材料三类。铁磁性材料在外加磁场中能强烈地被磁化，如铁、镍、钴即属于此类材料；顺磁性材料在外加磁场中只能微弱地被磁化，如铝、

锰、铬、钨等即属于此类材料；逆磁性材料能削弱或抗拒外加磁场的磁化作用，如铜、锡、铅、铟等即属此类材料。通常所谓磁性材料指的是铁磁性材料，而弱磁性材料或无磁性材料即指顺磁性材料和无磁性材料。

在电器中有的需要磁性很好的材料，如电机、变压器中的铁芯，就是常用工业纯铁和硅钢片这类材料。有些精密仪表要求避免电磁场的干扰，如罗盘、仪表的外壳等常采用铜、铝等无磁性材料制造。

第二节 金属材料的化学性能

金属材料的化学性能是指金属对周围介质侵蚀的抵抗能力，它包括抗腐蚀性和抗氧化性，总的说来也就是金属的化学稳定性。不同金属的化学稳定性是有很大差别的。例如铂、铱、金、银等金属的化学稳定性都很好，而铁的化学稳定性就很差。金属因介质的侵蚀作用受到破坏的现象称为腐蚀。金属能抵抗各种介质腐蚀的能力称为耐腐蚀性和抗腐蚀性。

金属的腐蚀对于某些金属的使用和保管有很大的影响，易腐蚀是铁及铁的某些合金的一个很大缺陷，它往往给生产造成很严重的损失，其危害性是很大的。因此，在设计制造上选材是很重要的一环，而物资管理人员的储存保管尤须引起足够的重视。

金属的腐蚀是一种常见的现象，根据导致金属腐蚀的原因基本上可以分为化学腐蚀和电化学腐蚀两种类型。

一、化学腐蚀

化学腐蚀是指金属材料与周围介质发生化学作用的一种腐蚀。这种腐蚀是金属材料处于干燥的气体中（如氧、氢、一氧化碳、二氧化碳及二氧化硫等），或者处于不导电的液体中（如煤油、汽油及苯类等）发生的化学反应。在这种腐蚀过程中不产生电流，只发生单纯的化学作用。铁与空气中的氧在高温条件下，由于高温时原子扩散能力增大，铁更容易氧化而被破坏，这些现象都是属于化学腐蚀。

金属与氧生成的氧化物不完全一样。有的金属氧化后，所生成的氧化物在其表面形成一种致密的薄膜，使空气中的氧不能再继续与金属直接接触，防止了金属的继续氧化，增强了金属的抗氧化性能，如铝、铬等金属氧化后所生成的氧化物 Al_2O_3 和 Cr_2O_3 就是一种结构致密、性质稳定的保护性薄膜。有的金属，如铁氧化后，所生成的氧化物 FeO 、 Fe_2O_3 ，它们组织疏松，周围空气中的氧可以透过表层继续与铁发生作用，形成新的氧化物，这样不断地连续作用，就使金属遭受破坏。

二、电化学腐蚀

电化学腐蚀是指金属与电解质接触时发生的一种腐蚀。所谓电解质是指在溶液中或在熔融状态下能形成正负离子，因而能导电的物质，如酸类、碱类、盐类。在腐蚀过程中，金属表面形成许多微小的电流。因此，电化学腐蚀与化学腐蚀的本质区别是：发生化学腐蚀时不形成原电池，不产生电流；而发生电化学腐蚀则相反，它同时形成原电池并产生电流。

金属产生电化学腐蚀的原因是：当两种金属材料或者一种金属材料其内部有两种不同的组成物（如两种不同的相）时，如果它们同处于一电解质中，由于它们各自具有不同的电极电位，电极电位低的一极形成负极，这时自由电子便由电极电位低的一极流向电极电位高的一极（又叫正极），这样在金属表面便形成许多微小电流。由于电极电位低的一极失去了电子，那么这一极产生了氧化反应，而在电极电位高的一极由于得到了电子，便产生了还原反

应。因此电极电位低的金属便不断受到腐蚀，这种现象就是电化学腐蚀的基本过程。由此可以理解：产生电化学腐蚀的基本条件，必须是两种不同的金属或者是同一种金属由于它的化学成分、金相组织有所不同，当它同处于一种电解质中，就不可避免地产生电化学腐蚀，而电极电位低的金属就会不断地受到腐蚀。

电极电位是用相对比较法进行测定的。不同的金属具有不同的标准电极电位。现将一些常用金属的电极电位列表如下：

部分金属的电极电位

表1-1

元 素	电 极 电 位	元 素	电 极 电 位	元 素	电 极 电 位	元 素	电 极 电 位
钾	-2.92	钠	-2.76	镁	-1.55	铝	-1.33
锰	-1.10	锌	-0.76	镉	-0.56	铁	-0.44
镭	-0.40	钴	-0.29	镍	-0.23	锡	-0.16
铅	-0.122	氢	±0	铋	+0.10	铈	+0.221
铯	+0.334	汞	+0.799	银	+1.08	金	+1.36

根据上表看来位于氢前面的金属叫作负电位，位于氢以后的金属叫作正电位。金属的电极电位负值越大，即表示该金属越容易失去电子而转变为离子状态，这种金属在电化学腐蚀中，就越容易被腐蚀。电化学腐蚀与金属本身的电极电位具有密切的关系，金属电极电位的高低，决定了金属的电化学稳定性的。大小。

综合上述分析看来，金属材料具有下列特点，抵抗腐蚀性能就较好：

1. 金属材料发生腐蚀是在表面形成保护性的氧化薄膜，使腐蚀不再继续向内部进行。
2. 具有单一或均匀的化学成分和组织结构的金属材料，在腐蚀性介质中不易形成微电池，因而不易发生电化学腐蚀。
3. 金属材料具有较高的电极电位，即使形成微电池，也不容易溶于电解质中，而只能使电极电位较低的金属被腐蚀。

第三节 金属材料的机械性能

金属材料的机械性能又称为力学性能。它是金属在外力作用下，抵抗产生变形或破坏的能力。金属材料制成各种结构、零件，都要承受各种各样的外力。例如，起重机上的钢丝绳在悬吊重物时，就是受着拉伸的力量；混凝土结构中的钢筋，就要承受着拉力和压力；汽车上的弹簧在重压下承受着弯曲的力量；螺栓在紧固构件时，也要受到弯曲、扭转、压缩的作用等等。当然，还有许多金属结构和零件，在工作时所承受外力的情况更为复杂。在力学上常把材料所受的外力叫做载荷。金属材料在外力作用下，内部产生一种抗力（又称为内力），它的数值大小与外力相等。金属材料在单位面积的抗力即称为应力，以 σ 表示。计算公式如下：

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ (Pa)}$$

式中： F ——载荷（N）；

A ——试样原横断面面积（ m^2 ）。

金属材料制造的各种结构、零件在工作中，所承受的载荷都有一定的极限，超过了极限范围将发生变形以至破裂。因此在工程设计上，为了使所设计的结构、零件不致破坏，必须选择适当的金属材料来制造。物资管理人员为了满足设计制造的需要，对于所供应的各种金属材料的机械性能，必须充分了解，这样才能有效地配合生产。

金属材料的机械性能通常包括弹性、刚度、强度、塑性、硬度、韧性、疲劳以及蠕变等。

金属材料的机械性能，是采用一定的标准试样在专门的试验机上测定的。根据加载条件的不同，机械试验的方法基本上可分为静力试验、动力试验和交变载荷试验三种类型。

1. 静力试验——是缓慢而均匀地增加载荷的试验。
2. 动力试验——又叫冲击试验，是以高速增加载荷的试验。
3. 交变载荷试验——在试验过程中载荷的数值或数值与方向发生周期性的变化。

金属材料在所加载荷（外力）的不同而引起的变形分为三个阶段：

1. 弹性变形阶段：在载荷作用下材料产生变形，当载荷除去后，材料仍然恢复原来的形状和尺寸。

2. 塑性变形阶段：在载荷超过弹性范围时，当载荷除去后，变形不能完全消失而有残留变形存在，这部分残留变形即为塑性变形。这一阶段的变形实际上往往是由弹性变形和塑性变形两部分所组成，因此又称为弹-塑性变形阶段。

3. 断裂：当载荷继续增大，金属材料在大量的塑性变形之后即发生断裂现象。脆性材料在断裂前往往没有明显的塑性变形现象，这种断裂称为脆性断裂。如果在载荷作用下经过大量的塑性变形后断裂，则称为韧性断裂。

在静力试验中有一种拉伸试验，即在试验过程中，以规定的试样对其渐次增加载荷，由零增至某一最后数值。由拉伸载荷引起的金属变形称为拉伸变形。载荷的作用方式除了拉伸以外，还有压缩、弯曲、扭转、剪切等，如图 1-1 所示。但是金属材料抵抗压缩、弯曲、扭转、剪切载荷的性能与抵抗拉伸载荷之间，存在着一定的关系，所以常根据拉伸试验的结果加以确定，因此拉伸试验是测定金属材料静力强度的基本试验方式。下列关于弹性、强度、塑性等性能就是根据拉伸试验而测定的。现以低碳钢为例，在拉伸试验过程中，载荷缓慢增加，由于载荷而引起试样变形和断裂，见图 1-2。

一、弹性与刚度

材料在载荷作用下产生变形，当载荷除去后能恢复原状的能力称为弹性。在弹性变形阶段，材料所承受的应变能保持正比关系的最大应力称为比例极限，以 σ_p (Pa) 表示。

$$\sigma_p = \frac{F_p}{A_0} \quad (\text{Pa})$$

式中： F_p ——比例极限点所受的载荷 (N)；

A_0 ——试样原横断面积 (m^2)。

材料能承受不产生永久变形的最大应力称为弹性极限，以 σ_e (Pa) 表示。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0} \quad (\text{Pa})$$

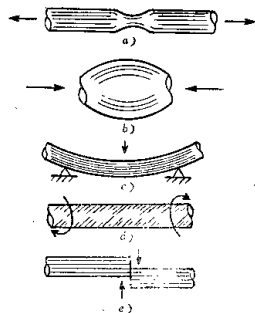


图1-1 材料受力的方式示意图
a) 拉伸；b) 压缩；c) 弯曲；d) 扭转；e) 剪切

式中: F_e ——弹性极限点所受的载荷 (N);

A_0 ——试样原横断面积 (m^2)。

比例极限和弹性极限很接近, 通常也较难测定, 一般都不加以区别, 所以实际常采用发生微小的塑性变形量 (如 $0.005 \sim 0.01\%$) 的应力值来表示。

金属材料在载荷作用下抵抗弹性变形的能力称为刚度。反映材料刚度的指标是弹性模量。弹性模量是指金属材料在弹性极限范围内, 应力与应变 (即与应力相对应的单位变形量) 的比值, 表示弹性模量的指标为 $E(\text{Pa})$

$$E = \frac{\sigma}{\delta} \quad (\text{Pa})$$

式中: σ ——应力 (Pa);

δ ——应变。

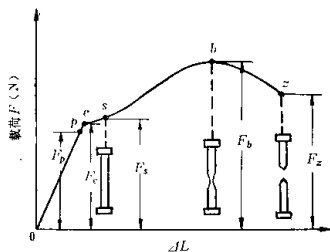


图1-3 低碳钢拉伸图

金属的弹性模量越高, 刚度就越大, 由这种金属制成的结构和零件的弹性变形量也就越小。

在常用的金属中, 铁的弹性模量较高, 为 21400 kgf/mm^2 (209720 MPa), 约为铜的两倍、铝的三倍, 这也是铁基合金在现代工业上得到广泛应用的重要原因之一。例如制造铜架桥梁、起重机的悬臂、机床的床身和刀架等都要求用具有良好刚度的金属材料。

二、强度

材料在载荷作用下抵抗明显的塑性变形或破坏的最大能力, 称为强度。在静力试验中, 材料所受的外力, 前已述及有拉伸、压缩、弯曲、扭转、剪切等, 它们抵抗塑性变形或破坏的最大能力分别称为: 抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗扭强度和抗剪强度, 但是通常都是应用抗拉强度, 因为它最具有代表性。在拉伸试验中常以屈服强度和抗拉强度来表示其性能。

1. 屈服强度: 金属材料的试样在拉伸时, 当应力超过弹性极限, 虽然载荷不再增加, 而试件仍然继续发生明显的塑性变形, 这种现象称为金属的“屈服”。产生屈服时的应力称为屈服极限或称屈服强度。屈服极限计算公式如次:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (\text{Pa})$$

式中: F_s ——屈服极限点所受的载荷 (N);

A_0 ——试件的原横断面积 (m^2)。

塑性材料都有明显的屈服现象出现。如果是脆性材料就没有明显的屈服现象, 也就无法根据产生屈服时的载荷来求出屈服极限。因此, 对于脆性材料, 规定试样标距长度产生 0.2% 塑性变形时的应力作为屈服极限的指标, 并称之为条件屈服极限或条件屈服强度, 以 $\sigma_{0.2}(\text{Pa})$ 表示。

许多机器零件往往不允许发生塑性变形, 因此金属材料的屈服极限是工程设计上的重要依据之一。

2. 抗拉强度: 金属材料的试样在载荷作用下, 承受载荷发生断裂时的最大应力, 称为抗拉极限或抗拉强度。拉伸过程中, 在载荷超过屈服极限后, 试样大量塑性变形并发生“颈缩”

现象，材料受力面积因而缩小，试样变形所需载荷也逐渐变小，继而发生断裂。如属脆性材料，则不出现这种明显的“颈缩”现象。抗拉极限就是表示材料抵抗断裂的最大能力。它以 σ_b (Pa)表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (\text{Pa})$$

式中： F_b ——试样抵抗断裂时所承受的最大载荷(N)；

A_0 ——试样原横断面积(m^2)。

对于重要的结构或零件，不但需要具有较高的屈服极限的金属材料，而且还要考虑有一定的屈强比(σ_s/σ_b)。屈强比愈小则结构、零件的可靠性愈高，万一超过载荷，也能由于塑性变形而引起冷作硬化，提高了强度而不致立刻发生损坏。但是屈强比太小，则影响材料的利用率，不能充分发挥材料的最高性能，也不符合经济原则。因此，必须根据不同的使用要求，选择不同屈强比的金属材料。例如低碳钢的屈强比 ≈ 0.6 ；普通低合金钢的屈强比 $\approx 0.65 \sim 0.75$ ；合金结构钢的屈强比 $\approx 0.84 \sim 0.86$ 。

三、塑性

金属材料在载荷作用下，应力超过屈服点后能产生显著的残余变形而不即行断裂的性质称为塑性。反映塑性的指标是延伸率和断面收缩率。它们是在拉伸试验时，先量原来试件上标距长度和横断面直径，通过拉伸后再量拉伸后的标距长度和横断面直径计算而得。

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

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中： δ ——延伸率(又叫伸长率)；

ψ ——断面收缩率；

L_0 ——试样原标距长度(mm)；

L_1 ——试样拉伸后的标距长度(mm)；

A_0 ——试样原横断面积(mm^2)；

A_1 ——试样拉伸后的断口面积(mm^2)。

这里需要说明的是，测试延伸率由于试件标准不同，所得出的数值也不相同。因此，测试延伸率通常分长试样和短试样。长试样的标距长度是直径的十倍，所测延伸率可用 δ_{10} 表示，有时为了简化起见也可以写为 δ ；短试样的标距长度是直径的五倍，所测延伸率可用 δ_5 表示，但“5”字不能省去，以示与长试样的区别。

断面收缩率从实践证明与试样的尺寸无多大关系，因此不分长试样或短试样。

延伸率与断面收缩率的百分数越大，表示材料的塑性越好。例如低碳钢的延伸率为30%左右，断面收缩率为55%左右；高碳钢的延伸率为10%左右，断面收缩率为30%。因此，低碳钢的塑性比高碳钢为好。

四、硬度

金属材料能抵抗硬的物体压陷表面的能力，称为硬度。也可以说是材料对局部塑性变形的抗力。材料的抗力越大，越不易被压入，则硬度越高；反之，则硬度越低。根据金属材料不同的硬度，可以合理地选用材料，例如生产上所用的刀具，都须要求比被切削的物体硬度高些，才能发挥应有的效用。

常用硬度的测定方法，基本上是用一定的载荷使用规定的压头，加压入金属材料 的表面，即以测定压痕的面积或深度来确定其硬度值。在一定的载荷和压头下，压痕面积越大或越深，则表示硬度越低；反之，则硬度越高。测试硬度的方法有：布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度和肖氏硬度等，但在工业上常用的多为布氏硬度和洛氏硬度，现在分别介绍如后。

1. 布氏硬度：是以布氏硬度试验机测定材料的硬度。它以规定直径（ ϕ 分为10、5、2.5mm等几种）的淬火钢球，在一定的载荷作用下，压入被测定的金属材料的表面（图1-3），根据所留下压痕面积的大小，以测定计算出硬度值。布氏硬度以HB表示，HB的数值就是载荷与压痕表面积的比值。

$$HB = \frac{F}{A} \quad (\text{Pa})$$

式中：F——压印器上所加的载荷（N）；

A——压痕的面积（ m^2 ）。

布氏硬度的单位 Pa 通常均省略不写出。

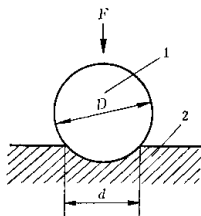


图1-3 布氏硬度试验示意图
1-淬火钢球；2-金属材料

布氏硬度试验标准

表1-2

材料种类	布氏硬度范围	试件厚度 (mm)	载荷F与钢球 直径D的关系	钢球直径D (mm)	载荷F kgf(N)	载荷保持时间 (s)
黑色金属(硬)	140~450	>6	$F = 90D^2$	10	3000(29400)	10
		6~3		5	750(7350)	
		<3		2.5	187.5(1837.5)	
黑色金属(软)	<140	>6	$F = 30D^2$	10	3000(29400)	30
		6~3		5	750(7350)	
		<3		2.5	187.5(1837.5)	
有色金属及合金 (铜及铜合金、镁合金、铝合金)	31.8~130	>6	$F = 10D^2$	10	1000(9800)	30
		6~3		5	250(2450)	
		<3		2.5	62.5(612.5)	
有色金属及合金 (铝及巴氏合金)	8~35	>6	$F = 2.5D^2$	10	250(2450)	60
		6~3		5	62.5(612.5)	
		<3		2.5	15.6(152.88)	

布氏硬度计所测的硬度值比较准确，且可解决因材料组织不匀或表面略有不光洁而引起误差。但它的缺点是压痕大，容易损伤材料的表面，不宜于测定成品零件，故只适宜测定硬度不高的铸铁、有色金属及其合金、退火钢的半成品或毛坯。它不能测定经过淬火的钢材或硬度高（HB>450）的零件，因受压印器钢球硬度的限制。

2. 洛氏硬度：是用120°的金刚石圆锥体或直径为1.58mm的淬火钢球作压印器，在一定的载荷下压入试件的表面，除去载荷后，根据试件上留下的压坑深度来衡量材料的硬度，用HR表示。根据压印器和载荷的不同，又分别用HRA、HRB和HRC来表示具体的硬度值。洛氏硬度值一律不注明单位。

洛氏硬度试验时，压印器压入试件前后的情况如图1-4所示，实际上洛氏硬度值是以压坑上的b-d为有效深度。

洛氏硬度试验时应根据试件的大致硬度范围, 选用不同的压印器和载荷标准, 见表1-3。

HRB只适于测定一般金属材料, 如有色金属及硬度低的材料;

HRC适于测定钢材、冷硬铸钢及其它较硬的材料, 是测试硬度范围最广的一种方法;

HRA适于测定高硬度的材料及硬质合金等。

洛氏硬度试验测定硬度的范围大, 可以测试HB>700的试件, 又可以测试硬度较低有色金属材料, 也可以测定钢材经热处理后的硬度。测定方法较为简单, 在试件上加入载荷后, 当载荷除去时便可直接在硬度试验机的刻度表上读出硬度值, 无须进行测算。但它的缺点是精确度不及布氏硬度, 因为洛氏硬度压印器很小, 压入时易受试件表面不平或材料组织不均的影响。因而测定时, 除先加100kgf(980N)初载荷以减小表面不平度的影响外, 一般需要在试件的不同部位测试数点, 在不同部位的几个硬度值中, 取多数倾向的硬度值来确定。

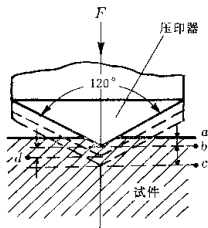


图1-4 洛氏硬度测试示意图

洛氏硬度的选用标准

表1-3

材料硬度 范围 HB	压 印 器	载 荷 kgf(N)	洛 氏 硬 度 代 号
60~230	φ1.58mm 的淬火钢球	1000(9800)	HRB
230~700	顶角为120°的金刚石圆锥体	1500(14700)	HRC
>700	顶角为120°的金刚石圆锥体	600(5800)	HRA

3. 维氏硬度: 维氏硬度试验的原理基本上和布氏硬度相似, 但维氏硬度所用压印器是136°的金刚石四棱锥体(见图1-5), 载荷分为: 50、100、200、300、500、1000及1200kgf(490、980、1960、2940、4900、9800及11760N)等。

维氏硬度测定的过程是这样的:

1) 根据材料的硬度大致范围, 采用不同的载荷在试件上压入一个四棱锥压坑;

2) 测出四棱锥压坑的对角线长 d ;

3) 再行查表或计算出维氏硬度值, 用 HV 表示。

$$HV = \frac{F}{A} \approx 1.8544 \frac{F}{d^2} \quad (\text{Pa})$$

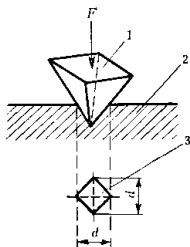


图1-5 维氏硬度试样

1-金刚石四棱锥体压头;

2-试件; 3-压痕

维氏硬度与布氏硬度相似也比较精确, 且测试硬度范围较布氏硬度大, 洛氏硬度虽能测试极软或极硬材料的硬度, 但因采用的是不同的压头和载荷, 又有几种标度, 相互之间不能换算。维氏硬度可以说是综合了这些特点并有所改进。维氏硬度还可以测试硬而薄的试件, 因为压印器为136°四棱锥体, 压坑很浅, 不致将试件压穿。它的缺点是测定过程比较麻烦。

4. 肖氏硬度: 肖氏硬度的测定与上述方法原理都不相同, 它不是采取以一定的载荷用压痕来测试, 而是以一种动力试验法来测定材料的硬度。肖氏硬度试验是以钢球从一定的高度

自由下落到试样的表面，借助于试样的弹性使其回跳，根据回跳的高度来确定材料的硬度，所以肖氏硬度又叫回跳硬度，以 HS 表示。

肖氏硬度计是一种小型轻便的硬度试验器械，它测试材料对表面没有损坏，但其精确度较差。

各种不同硬度值之间的对照，见表 1-4。

硬度是检验金属坯料、成品以及热处理工件的重要性能指标。机器零件图中都注明有零件的硬度要求。如一般刀具、量具、模具等要求 $HRC = 60 \sim 63$ ；机器结构零件要求 $HRC = 25 \sim 45$ ；弹簧零件要求 $HRC = 40 \sim 52$ ；适于切削加工件要求 $HRC = 18 \sim 35$ 。

五、韧性

金属材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力称为韧性。有些金属材料在拉伸或压缩缓慢地增加载荷作用下，显示出有较高的抵抗能力，但是如果在冲击力的作用下，却表示着异常脆弱；而有些金属材料的强度并不高，但在冲击力的作用下，却表现出具有很好韧性。高碳钢和铸铁属于前一种情况，纯铁和低碳钢属于后一种情况。

由此看来，金属材料在冲击力也就是动载荷的作用下，所表现的坚韧性，是它们的又一重要机械特性。由于韧性是通过冲击试验来测定的，所以又叫冲击韧性。

冲击试验是将一定形状和尺寸的试样，安放在冲击试验机的支座上，试样的刻槽与摆锤的冲击方向一致，再将试验机上的摆锤扬自一定的高度，使其自由落下把试样冲断，见图 1-6、图 1-7。这时可从试验机的刻度表读出其韧性值，也可以根据在冲击试样时所消耗的能量来计算。

$$A_k = G \cdot H_1 - G \cdot H_2 (J)$$

式中： A_k ——冲击功(J)；

G ——摆锤重量(N)；

H_1 ——摆锤扬起的高度(m)；

H_2 ——摆锤冲断试样后剩余高度(m)。

为了获得单位面积上的能量消耗，必须将 A_k 值除以试件的断面积“ F ”，可得单位断面积(cm^2)所消耗的能量，即为材料的韧性。

$$\alpha_k = \frac{A_k}{A} = \frac{G \cdot H_1 - G \cdot H_2}{A} (kJ/m^2)$$

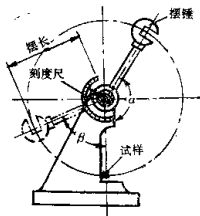


图 1-6 冲击试验机图

根据金属材料所处的温度和时间效应不同，冲击韧性值可分为常温、低温和时效三种：

1. 常温冲击韧性：是在 20℃ 时所测定的。

2. 低温冲击韧性：又叫负温冲击韧性，它是在负温时所测定的冲击值，一般分为 -20℃、-40℃ 及 -60℃ 等三种。

3. 时效冲击韧性：钢材经过放置一段时间后，它的硬度、屈服强度和抗拉强度有所提高，而塑性、韧性则相应地有所下降，这种因时间而发生变化的现象称为时效。

近海和远洋船舶因航行区域温度差别很大，所用的结构钢材不但要求常温冲击韧性好，面且还要要求低温冲击韧性也好。有的材料在常温时韧性还不错，然而在低温条件下冲击韧性却

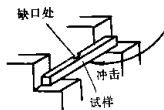


图 1-7 试样安放位置

表现得较低，很容易脆断，这就不适于海船制造。