

中等专业学校教学用书

金属工艺学

鞠克栋 编

煤炭工业出版社

中等专业学校教学用书

金属工艺学

鞠克栋 编



煤炭工业出版社

A889468'

内 容 提 要

本书是作为煤矿中等专业学校非机械类专业《金属工艺学》教材而编写的。它从最基础的内容出发，全面系统地叙述了金属—毛坯—零件—机器全过程的各种主要工艺方法及一些基本理论，从而使读者能对机械制造有一个基本的认识。

本书也可作为煤矿基层干部和技术工人培训教材和作为机械加工工人自学之用。

责任编辑：王 树 范

中等专业学校教学用书 金 属 工 艺 学 鞠 克 栋 编

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平门北路15号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张 $11^{1/2}$
字数 272 千字 印数 1—10,100
1982年7月第1版 1982年7月第1次印刷
书号15035·2487 定价1.25元

目 录

绪 论	1
第一章 金属材料的机械性能	2
第一节 金属材料的强度、塑性及其实验方法	2
第二节 金属材料的硬度(布氏、洛氏)及其试验方法	5
第三节 金属材料的韧性及其实验方法	9
第二章 金属和合金的内部结构	13
第一节 金属的内部结构	13
第二节 合金的内部结构	17
第三节 铁碳合金平衡图	19
第三章 碳钢	30
第一节 碳钢化学成分对钢性能的影响	30
第二节 碳钢的分类、牌号及用途	31
第四章 钢的热处理	36
第一节 热处理的概念及其在国民经济中的作用	36
第二节 钢在加热时的转变	36
第三节 钢在冷却时的转变	38
第四节 钢的热处理方法	42
第五节 钢的表面热处理	54
第六节 热处理车间主要加热设备	58
第七节 热处理新工艺发展情况简介	60
第五章 合金钢	64
第一节 合金钢的特点、分类及牌号	64
第二节 合金元素在钢中存在的形式及作用	67
第三节 合金元素对热处理的影响	68
第四节 合金钢的种类	70
第六章 铸铁	85
第一节 铸铁的种类、化学成分、牌号及用途	85
第二节 铸铁的热处理	88
附：课外自学材料——钢的火花鉴别	90
第七章 有色金属及其合金	93
第一节 铜及其合金	93
第二节 铝及其合金	95
第三节 滑动轴承合金及硬质合金	96
第八章 典型零件的材料选择及热处理	100
第一节 选择材料的一般原则及热处理工序的安排	100
第二节 典型零件材料的选择及热处理	101
第九章 铸造	106
第一节 砂型铸造	106

第二节	铸铁的熔化和浇注系统	109
第三节	铸件的落砂、清理及缺陷分析	111
第四节	特种铸造	112
第十章	锻造	114
第一节	金属塑性变形的基本原理	114
第二节	自由锻造	116
第三节	模型锻造及锻件设计的工艺性原则	117
第十一章	金属焊接	120
第一节	手工电弧焊	120
第二节	气焊与气割	123
第三节	其他几种焊接方法	126
第四节	常用金属材料的焊接特点	127
第十二章	金属切削加工	129
第一节	金属切削加工的基本知识	129
第二节	车削加工	135
第三节	铣削加工	151
第四节	其他切削加工方法	156
第十三章	钳工工艺基础	164
第一节	钳工划线	164
第二节	錾削	166
第三节	锯割	168
第四节	锉削	169
第五节	攻丝和套扣	171
第六节	刮削	173

绪 论

金属工艺学是研究常用金属材料的性质及其加工方法的一门科学，它包括金属材料及热处理和金属加工工艺基础两部分。

金属材料及热处理部分：主要是研究常用金属材料的成份、组织和性能之间的关系以及用热处理方法来改变金属性能的一门科学。这部分主要内容有铸铁、碳钢、合金钢、铜合金、铝合金及轴承合金等。

金属加工工艺基础部分：主要包括有铸造、锻造、焊接、切削加工以及钳工工艺基础等。因此，金属工艺学是一门综合性的实用科学。

中国是世界上文明古国之一，早在原始社会末期人们已经开始使用简单的铜器，到商代和西周达到了极盛时期，著名的司母戊大铜鼎就是商代晚期器物，重达875公斤，它造型精美，鼎外布有花纹，耳上铸有两虎相向张口争食一人头，形象凶恶，象征着奴隶主统治的淫威。它是我国到目前为止出土的最大青铜器，当时能铸造这样精美的铜鼎，必须解决一系列技术问题，可见，我国古代的冶炼和铸造技术已达到非常卓越的地步。

春秋末期是我国冶铁技术开始兴起的时期，比欧洲早一千九百多年，到了战国中期铁制农具得到广泛的使用，促进了农业的飞跃发展。

在周礼“考工记”中曾有“金之六齐”一段记载（金就是铜，齐就是合金），意思是说，在铜锡合金中，锡成分逐渐增加，合金硬度就逐渐增大，但也脆了，所以它的用途便由钟鼎之类到刀斧直到凿镃工具。

史记天官书中说：“火与水合为淬”，说文解字说：“淬，坚刀刃也”，由此可见我国不仅使用金属的历史悠久，而且积累了丰富的科学知识。

尽管我国劳动人民在金属工艺方面创造了许多光辉的成就，然而，长期的封建统治和帝国主义的侵略及国民党反动派的压迫和剥削，严重地束缚了我国生产力的发展，直到解放前夕，我国的钢产量仅有几十万吨。

新中国成立后，在党的领导下，经过短短的三年国民经济恢复时期，到1952年钢产量一跃达到135万吨。

目前，我国各族人民在党的十一届三中全会路线的指引下，更加意气风发、斗志昂扬，为实现新时期总任务，在本世纪末把我国建成一个伟大的社会主义强国而奋斗。

金属材料是现代工业的基础，学习本课程的目的，使学生了解常用金属材料的成分、组织和性能之间的关系以及改善金属材料性能的方法，从而达到能够正确地选择和使用；同时又可使学生在设计机械零件时，有一定的工艺基础知识，初步具有采用合理结构及加工方法的能力。

金属工艺学是劳动人民在长期实践中创造和发展起来的，学习这门课程必须理论联系实际，除了学习书本知识，掌握必要的理论基础外，还要向有实践经验的工人、工程技术人员学习，逐步培养分析问题和解决问题的能力。

第一章 金属材料的机械性能

所有的机械零件在工作过程中都要受到某种外力的作用, 这些外力作用的结果, 对金属材料有一定的破坏性。要保证机械零件的正常工作这就要求金属材料必须具有有一种能抵抗外力而不至被破坏的能力, 这种能力称为金属材料的机械性能。它主要包括有强度、硬度、塑性和韧性等。

第一节 金属材料的强度、塑性及其实验方法

一、强度

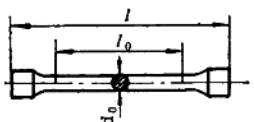
一列火车停在铁轨上, 为什么铁轨不被压扁; 一台吊车在吊起重物时, 钢丝绳为什么不会被拉断; 一辆汽车的板弹簧, 在汽车的重量作用下, 为什么不会被压坏, 这是因为这些零件都有相当的强度。

强度就是指零件在受外力作用时, 能抵抗住外力, 而不被损坏的能力。

金属材料抵抗外力的能力越大, 就表示其强度越高。强度的单位, 我们用公斤/毫米²来表示。金属材料的强度大小, 可以通过强度试验来测定。

1. 拉伸试验

拉伸试验是在拉力机上进行的, 把要试验的材料作成标准试样。如图1-1所示。



d_0 : 试样直径, 毫米;

L_0 : 计算长度, 毫米;

L : 试样长度, 毫米。

$L = 14d_0$ (或 $L = 9d_0$)

其中 $L_0 = 10d_0$ 叫长试样;

$L_0 = 5d_0$ 叫短试样。

图 1-1 圆形拉伸试样

试验时, 将标准试样夹在试验机的两个卡头上, 然后逐步加拉力 (其拉力的大小, 可以从试验机的刻度盘上读出), 观察由于这个拉力的作用所产生的变化, 直到试样被拉断为止。这样一个试验过程, 就叫作拉伸试验。

2. 拉伸曲线

在试样拉伸过程中, 试样必然产生变形, 如果将所加的载荷 (拉力) 与试样相应伸长的数值记录下来, 直到将试样拉断为止。然后, 我们以试样的伸长为横坐标, 载荷 (拉力) 为纵坐标, 便绘成了一条用来表示试样所受载荷 (拉力) 与其伸长关系之间的曲线, 此曲线称为拉伸曲线。如图 1-2 所示。

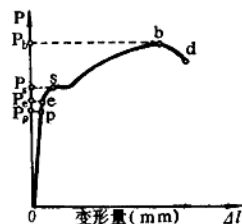


图 1-2 低碳钢拉伸曲线示意图

1) 由图可知, 当载荷由零逐渐增大到 P_p 时, 拉伸曲线是一条直线 (图上 $O-P$ 线段), 也就是说试样的伸长和载荷成正比例关系, 此时的载荷称为比例极限载荷。

2) 当载荷大于 P_p , 直至达到 P_s 时, 拉伸曲线稍微偏离了直线, 这时如果将载荷 P_s 去掉,

伸长也随之消失，试样恢复原来形状。因此，习惯上把载荷 P_e 称为弹性极限载荷。

O—e 线段，在理论上应是弹性变形部分，但由于测定工具精度的限制，在国家标准中规定试样所产生的相对变形量等于0.005%时的载荷称为弹性极限载荷。实际上 P_e 与 P_0 是非常接近的，要想精确区分是很困难的，因此，往往只要求测定比例极限载荷 P_0 就可以了。

3) 继续增加载荷而超过 P_e 时，这时拉伸曲线对直线的偏离就逐渐加大，此时，如果去掉载荷，试样也不能完全恢复原来形状，产生了永久变形，这种变形称为塑性变形。当载荷到达 P_s 时，试样变形突然增加，曲线就转为一水平线段，也就是说，此时载荷虽没有增加，但试样的变形却继续增加，我们把这种现象叫做屈服。 P_s 就叫作屈服载荷，S点叫作屈服点。

4) 继续增加载荷，试样将继续变形，当载荷增加到某一最大值 P_b 时，试样便发生局部断面逐渐缩小的现象，通常把此现象叫作缩颈现象。由于试样断面缩小，载荷也就逐渐降低，当到达d点时，试样就在缩颈处被拉断。此时拉伸试验也就完结。

由图可知：相对于b点的载荷 P_b 为最大，故载荷 P_b 叫做强度极限载荷。拉伸曲线Sd线段为整个拉伸图中塑性变形部分。

3. 强度的计算

根据拉伸试验时测得的上述四种载荷数 (P_p 、 P_e 、 P_s 及 P_b)，我们就可以分别计算出金属材料相应的强度值。

金属材料在拉伸时的强度都是以应力来表示。所谓应力，就是指金属材料受到载荷作用时，在材料内部产生同样大小的抵抗力，而对单位横断面积上的抵抗力即称为应力，其计算公式如下：

$$\sigma = \frac{P}{F} \quad (\text{公斤/毫米}^2)$$

式中 σ ——应力 (公斤/毫米²)，

P ——载荷 (公斤)；

F ——试样的横断面积 (毫米²)。

金属材料常用的强度指标为屈服极限及抗拉强度。

1) 屈服强度及其计算

屈服强度 (又叫屈服极限) 就是指试样受到屈服载荷 P_s 时所产生的应力。计算公式如下：

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F} \quad (\text{公斤/毫米}^2)$$

式中 σ_s ——屈服强度 (公斤/毫米²)，

P_s ——屈服载荷 (公斤)。

由于许多金属材料 (如铸铁、铜和铝等) 没有明显的屈服现象 (没有明显的屈服点S)，因此，工程上规定试样产生永久变形为0.2%时，它所对应的载荷 $P_{0.2}$ 所产生的应力来作为屈服强度，并用 $\sigma_{0.2}$ 来表示。计算公式如下：

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

式中 $\sigma_{0.2}$ ——试样产生相对永久变形为0.2%时的应力（公斤/毫米²）；

$P_{0.2}$ ——试样产生相对永久变形为0.2%时的载荷（公斤）。

屈服强度多做为在工作中要求机件不能产生明显塑性变形时的设计依据，例如在设计汽车、拖拉机气缸盖螺栓时就是以屈服强度作为选用材料的依据，为了保证气缸体与缸盖的密封性，螺栓是不允许塑性变形的，否则将使气缸盖松动漏气。

2) 抗拉强度及其计算

抗拉强度又叫强度极限，它是指试样受到最大可能拉力时所产生的应力。用来表示试样在破坏前所能承受的最大应力。计算公式如下：

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F} \quad (\text{公斤/毫米}^2)$$

式中 σ_b ——强度极限（公斤/毫米²）；

P_b ——最大可能拉力（公斤）。

σ_b 越大，表示金属材料的强度越高。

对于钢，我们可以从抗拉强度得知屈服强度的近似值。

如：碳素钢 $\sigma_s \approx (0.56 \sim 0.6) \sigma_b$ ；

合金钢 $\sigma_s \approx (0.75 \sim 0.8) \sigma_b$ 。

由此可知， σ_b 与 σ_s 都是金属材料的重要指标，也是一般机器零件设计选材的主要依据。

二、塑 性

一块烧红了的钢可以打成我们所需要的各种形状，而一块烧红了的生铁，一打就碎裂了。这是因为钢具有良好的塑性，而生铁没有这种塑性。

可见，塑性就是材料在外力作用下产生永久变形而不发生破坏的能力。

金属材料受力时，产生永久变形的能力越大，则表示其塑性越好。如：一根棒材塑性越好在拉力作用下伸长的越长。

金属材料的塑性，也是通过对试样进行拉伸试验来测定的。我们知道棒材一伸长断面就缩小了，所以塑性一般用伸长率和断面收缩率来表示。

1. 伸长率及其计算

所谓伸长率，就是指试样被拉断后，其伸长量与原来长度之比。通常都用百分数来表示。伸长率用符号“ δ ”表示，有时也叫延伸率。计算公式如下：

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

式中： δ ——试样的伸长率；

l_1 ——试样拉断后的长度（毫米）；

l_0 ——试样原来的计算长度（毫米）。

测定 l_1 和 l_0 的方法：

在拉伸试验前，我们在试样上刻上两道印痕，并测量其长度，此为计算长度 l_0 。（即试样原来的计算长度）。当试样拉断后，将其两头尽量对准，再测量原刻线间的距离，即为拉断后的长度 l_1 。

2. 断面收缩率及其计算

所谓断面收缩率，就是指试样被拉断后，断面积的收缩量与试样原来断面积之比。它也是用百分数来表示。断面收缩率用符号“ ψ ”表示。计算公式如下：

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

式中 ψ ——断面收缩率；

F_0 ——试样拉断前的断面积（毫米²）；

F_1 ——试样拉断后断裂处的断面积（毫米²）。

δ 和 ψ 代表金属材料拉断前发生塑性变形的最大能力，所以， δ 和 ψ 愈大，则金属材料的塑性愈好。

塑性也是金属材料的重要指标，它影响着零件的加工方法。如塑性良好的材料可以进行压力加工，而塑性差的材料只能采用其他加工方法；为了避免零件在工作中突然断裂，因此在零件选材时都应该具有一定的塑性要求。

对于脆性金属材料，如铸铁，其机械性能就不能用拉伸试验来测定，而是通过压缩试验来测定。

第二节 金属材料的硬度（布氏、洛氏）及其试验方法

所谓硬度，就是材料抵抗比它更硬的物体压入自己表面的能力。

金属材料的硬度，对于机器零件的质量有着很大的影响，硬度值越大，则其耐磨性就越高，特别是对于工具的质量影响就更大。

金属材料的硬度值，是通过专门的硬度试验测定的，常用的测定方法主要有下列两种：

一、布氏硬度

1. 原理

将一个直径一定大小的钢球，在一定压力 P 的作用下，压入被测金属表面（如图1-3所示），并在被测金属表面形成一个压坑，以压坑单位面积上所承受的压力来表示硬度值。计算公式如下：

$$HB = \frac{P}{F}$$

式中 HB ——布氏硬度值，（公斤/毫米²）；

P ——所加的载荷，（公斤）；

F ——压坑的表面积，（毫米²）。

压坑表面积 F 又可以通过钢球直径 D 和压坑直径 d 来计算：

即

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

式中 D ——钢球直径（毫米）；

d ——印痕直径（毫米）；

π ——圆周率。

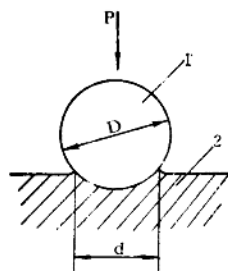


图 1-3 布氏硬度原理示意图

1—钢球；2—试件

所以

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

从上述计算中可以看出, 如果所加载荷 P 和钢球直径 D 一定时, 这时硬度值 HB 只与压坑直径 d 有关。即 d 越大, 金属材料的硬度值就越小; 反之就大。

布氏硬度虽有单位(公斤/毫米²), 但在习惯上都不予标出。

为了减少计算上的麻烦, 已经列出专门的表格, 所以, 只要知道压坑直径就可以直接查出硬度值。见表1-1。

表 1-1 布 氏 硬 度 值 表

压坑直径 d_1 或 $2d_s$ 或 $4d_{2..}$ (毫米)	当负荷为 P 公斤时的硬度数 (HB)			压坑直径 d_1 或 $2d_s$ 或 $4d_{2..}$ (毫米)	当负荷为 P 公斤时的硬度数 (HB)		
	$30D^2$	$10D^2$	$2.5D^2$		$30D^2$	$10D^2$	$2.5D^2$
2.90	444	—	—	4.50	179	59.5	14.9
2.95	429	—	—	4.55	174	58.1	14.5
3.00	415	—	34.6	4.60	170	56.8	14.2
3.05	401	—	33.4	4.65	167	55.5	13.9
3.10	388	129	32.3	4.70	163	54.3	13.6
3.15	375	125	31.3	4.75	159	53.0	13.3
3.20	360	121	30.3	4.80	156	51.9	13.0
3.25	352	117	29.3	4.85	152	50.7	12.7
3.30	341	114	28.4	4.90	149	49.6	12.4
3.35	331	110	27.6	4.95	146	48.6	12.2
3.40	321	107	26.7	5.00	143	47.5	11.9
3.45	311	104	25.9	5.05	140	46.5	11.6
3.50	302	101	25.2	5.10	137	45.5	11.4
3.55	293	97.7	24.5	5.15	134	44.6	11.2
3.60	285	95	23.7	5.20	131	43.7	10.9
3.65	277	92.3	23.1	5.25	128	42.8	10.7
3.70	269	89.7	22.4	5.30	126	41.9	10.5
3.75	262	87.2	21.8	5.35	123	41.0	10.3
3.80	255	84.9	21.2	5.40	121	40.2	10.1
3.85	248	82.6	20.7	5.45	118	39.4	9.86
3.90	241	80.4	20.1	5.50	116	38.6	9.66
3.95	235	78.3	19.6	5.55	114	37.9	9.46
4.00	229	76.3	19.1	5.60	111	37.1	9.27
4.05	223	74.3	18.6	5.65	109	36.4	9.10
4.10	217	72.4	18.1	5.70	107	35.7	8.93
4.15	212	70.6	17.6	5.75	105	35.0	8.76
4.20	207	68.8	17.2	5.80	103	34.3	8.59
4.25	201	67.1	16.8	5.85	101	33.7	8.43
4.30	197	65.5	16.4	5.90	99.2	33.1	8.26
4.35	192	63.9	15.0	5.95	97.3	32.4	8.11
4.40	187	62.4	15.6	6.00	95.5	31.8	7.96
4.45	183	60.9	15.2	—	—	—	—

注: HB 值越大, 表示金属材料的硬度越高。

布氏硬度试验时, 钢球的直径 D 和载荷 P 是根据被试验金属的种类、性质和厚度的不同而按有关标准规定来选择的。常用布氏硬度试验标准见下表:

表 1-2 布氏硬度试验标准

材料种类	布氏硬度范围	试样厚度 (毫米)	载荷 P 与钢球直径 D 之间的关系	钢球直径 D (毫米)	载荷 P (公斤)	载荷保持 时间 t (秒)
黑色金属	140~450	>6	$P = 30D^2$	10	3000	10
		6~3		5	750	
		<3		2.5	187.5	
黑色金属	<140	>6	$P = 30D^2$	10	3000	30
		6~3		5	750	
		<3		2.5	187.5	
有色金属及合金 (铜、 青铜、黄铜、镁合金及铝 合金)	31.8~130	>6	$P = 10D^2$	10	1000	30
		6~3		5	250	
		<3		2.5	62.5	
有色金属及合金 (铝及巴氏合金)	8~35	>6	$P = 2.5D^2$	10	250	60
		6~3		5	62.5	
		<3		2.5	15.6	

2. 试验方法

测定布氏硬度值, 在布氏硬度试验机上进行, 试验方法见图1-4。将试件放在试台上, 加力后试件表面产生压坑, 而后测出压坑直径, 最后根据压坑直径查表 1-1 来确定硬度值。

3. 布氏硬度的优缺点

优点: 测定的硬度值较准确, 因为压坑面积较大。

可按 HB 近似确定 σ_b (因为硬度与抗拉强度有近似关系)。

高碳钢 $\sigma_b \approx 0.34HB$;

低碳钢 $\sigma_b \approx 0.36HB$;

调质合金钢 $\sigma_s \approx 0.325HB$ 。

缺点: 不能测定 $HB > 450$ 的材料; 不能检验薄片材料或成品。

布氏硬度机主要用于测定较软的金属材料及半成品如铸铁和有色金属。

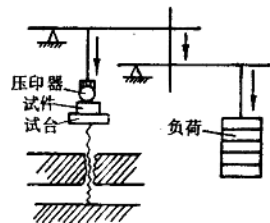


图 1-4 布氏硬度试验机原理示意图

二、洛氏硬度

主要用来测定硬度较高的材料, 因为当材料硬度高时, 布氏硬度所得的数据已不准确。

1. 洛氏硬度基本原理

用顶角为 120° 的金刚石圆锥体, 在一定的压力 P 作用下, 压入试件表面, 根据压坑深度来确定洛氏硬度值。规定压坑每深 0.002 毫米为一个硬度值。

洛氏硬度 R_C 试验的过程见图1-5。

载荷 P 为 150 公斤。试验时加载荷分两步:

预加 10 公斤, 使压头紧密接触试件表面, 并压入到 b 处,

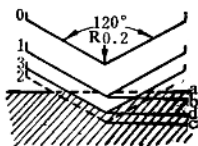


图 1-5 洛氏硬度试验原理示意图

并以b处作为衡量压入深度的起点。此时变形ab，因材料表面凹凸不平，为使压头更好地接触材料表面并减少误差起见，才预加10公斤载荷。

然后加主载荷140公斤，金属变形bc，此时材料产生了弹性变形和塑性变形。而硬度实质上应是材料对塑性变形的抵抗力。因此，为了得到正确的试验结果，我们将主载荷140公斤去掉，使材料弹性变形恢复，此时端点c弹回到d，则bd就是由主载荷所引起的塑性变形。

由于实验软材料时，bd较深即 $\frac{bd}{0.002}$ 较大，则硬度值就大不符合习惯说法，为避免错

觉，我们把最硬的材料作为100度和它比较，用 $100 - \frac{bd}{0.002}$ 作为硬度值，这样就符合材料越硬，硬度值越大的习惯说法。

所以，洛氏硬度HR_C的计算公式：

$$HR_C = 100 - \frac{bd}{0.002}$$

式中 100——常数；

bd——主载荷所引起的塑性变形深度，毫米；

0.002——人为规定，刻度盘上的一度，毫米。

洛氏硬度值没有单位一般不需要计算，由硬度机上的刻度盘直接读出来。

洛氏硬度根据所加载荷不同，共有三种（60公斤；100公斤；150公斤）：

HR_A（简称R_A）——适于测量高硬度的薄片材料及硬质合金；HR_B（简称R_B）——适于测量软金属材料；

HR_C（简称R_C）——适于测淬火钢。

R_C应用的最广泛。

常用洛氏硬度试验标准见下表。

表 1-3 洛氏硬度试验标准

洛氏硬度符号	压 印 器	载 荷 (公斤)	应 用 范 围
HR _C	顶角为120°的金刚石圆锥体	150	测淬火钢
HR _B	直径为1.59毫米的淬硬钢球	100	测软金属
HR _A	顶角为120°的金刚石圆锥体	60	高硬度的薄片材料及硬质合金

2. 洛氏硬度的优缺点

优点：测量硬度简单迅速，测量范围大，可测最硬和最软的材料；压痕小，可直接测量成品。

缺点：对组织不均匀的材料测出的硬度不准确。

洛氏硬度广泛用来测量工具和成品。

布氏硬度和洛氏硬度虽然是两种不同的硬度表示法，但在数值上仍然存在着一一定的关系。当HB = 220~500之间，大致为 $R_C = \frac{1}{10} HB$ 。

布氏、洛氏硬度值的关系，根据多次试验已制成对照表（见表1-4），供在工作中换算和比较。

表 1-4 布氏和洛氏硬度对照表

H _B (公斤/毫米 ²)	HR _C (P=150公斤)	HR _A (P=60公斤)	σ_b (碳钢的)	H _B (公斤/毫米 ²)	HR _C (P=150公斤)	HR _A (P=60公斤)	HR _B (P=100公斤)	σ_b (碳钢的)	H _B (公斤/毫米 ²)	HR _B (P=100公斤)	σ_b (碳钢的)
—	—	—	—	331	35	68	—	116	137	75	49
—	—	—	—	321	34	67	—	113	134	74	48
—	—	—	—	311	33	67	—	110	131	72	47
—	—	—	—	302	32	—	—	106	128	71	46
—	—	—	—	293	31	66	—	104	126	69	45
—	69	87	—	285	30	66	—	102	123	68	44
—	68	86	—	277	29	55	—	98	121	67	43
—	67	85	—	269	28	55	—	96	118	66	42
—	66	—	—	—	27	64	—	93	116	65	42
—	65	84	—	262	26	64	—	91	114	64	41
—	64	—	—	255	25	63	—	89	111	62	40
—	63	83	—	248	24	63	100	87	109	61	39
—	62	—	—	241	23	62	99	84	107	59	38
627	61	82	—	235	22	62	98	83	105	58	38
—	60	—	—	229	2	61	97	80	103	57	37
601	59	81	—	223	20	61	96	78	101	56	37
—	58	—	—	—	19	60	—	77	99	54	35
578	57	80	—	217	18	60	95	76	97	53	35
555	56	79	—	212	17	—	—	75	96	—	—
—	55	—	194	207	16	59	94	74	94	—	—
534	54	78	190	201	15	58	90	72	92	—	—
—	53	—	187	197	14	58	92	71	90	—	—
514	52	77	182	192	13	57	91	68	89	—	—
495	51	—	178	—	12	—	—	67	87	—	—
—	50	76	173	187	11	56	90	66	85	—	—
477	49	76	169	183	10	56	89	65	84	—	—
461	48	75	165	179	—	56	88	64	83	—	—
—	47	74	160	174	—	55	87	63	81	—	—
444	46	—	157	170	—	55	86	61	80	—	—
429	45	73	153	—	—	—	—	60	78	—	—
415	44	73	149	167	—	54	85	59	77	—	—
401	43	72	145	163	—	53	84	58	75	—	—
—	42	—	141	153	—	53	83	57	74	—	—
388	41	71	138	156	—	52	82	56	73	—	—
375	40	71	132	152	—	52	81	55	72	—	—
363	39	70	129	149	—	51	80	54	70	—	—
352	38	69	126	146	—	50	78	52	69	—	—
—	37	69	122	143	—	50	77	50	68	—	—
341	36	68	119	140	—	50	76	50	—	—	—

第三节 金属材料的韧性及其实验方法

前面所谈到的拉伸试验和硬度试验都是在静载荷作用下的机械性能，但在生产实践中

常看到许多机器零件和工具是在冲击载荷作用下工作的。如大锤、扁铲及风镐钎子在工作时，都受到冲击载荷。这就要求材料必须具有在冲击载荷作用下仍不破坏的能力。因此，引入了一个新的概念——韧性。

韧性

所谓韧性就是金属材料在冲击载荷作用下，仍不发生破坏的能力。工程上用单位面积上所消耗的功来表示。韧性用符号“ a_K ”表示，单位（公斤·米/厘米²）。

冲击试验

金属材料的韧性试验是在冲击试验机上进行的。把要试验的材料，作成标准试样，如图1-6所示。

试验时，将试样放在试验机的支架上，试样缺口背向冲击方向，见图1-7所示。

然后将重量为 G 公斤的摆锤抬到 h_1 米高度，使其自由落下，冲断试件后摆锤升到 h_2 米的高度，因此摆锤冲断试件所消耗的功为：见图1-8。

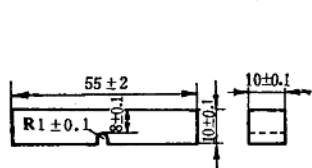


图 1-6 冲击试验用标准试样



图 1-7 试样的放置图

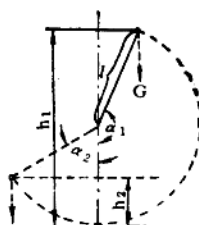


图 1-8 冲击试验简图

$$A_K = Gh_1 - Gh_2 = G(h_1 - h_2) \quad (1)$$

而

$$h_1 = l + l \cos(180 - \alpha_1); \quad h_2 = l - l \cos \alpha_2 \\ = l - l \cos \alpha_1$$

将 h_1, h_2 代入 (1) 式中共得：

$$A_K = G[l - l \cos \alpha_1 - (l - l \cos \alpha_2)] \\ = lG(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$$

式中 G ——摆锤重量（公斤）；

l ——摆锤杆长（米）；

α_1 ——摆锤冲击前扬角（度）；

α_2 ——摆锤冲击后扬角（度）。

目前，新产品的冲击试验机如 JB 型，可以从刻盘上直接读出所消耗的功。

金属的韧性用冲断试样的缺口处单位面积上所消耗的功来表示：

$$a_K = \frac{A_K}{F} \quad (\text{公斤} \cdot \text{米} / \text{厘米}^2)$$

式中 a_K ——冲击韧性值，公斤·米/厘米²；

F ——试样缺口处的断面积，厘米²；

A_K ——冲断试样后所消耗的功，公斤·米。

实际上，在动载荷下工作的零件，很少受一次超载冲击而破坏，不少情况是承受小

能量多次重复冲击载荷, 材料承受多次冲击的能力主要取决于强度, 而不是决定于冲击值。所以, 设计在能量不太大的多次冲击下工作的零件, 单纯追求过高的冲击值并没有什么必要, 而主要应当有足够的强度。

为了熟悉和比较各种机械性能的符号、名称和含义、现归纳如表1-5。

表 1-5 常用的机械性能指标及其含义

机械性能	名 称	符 号	单 位	解 释
强 度	抗拉强度	σ_b	公斤/毫米 ²	材料抵抗外力破坏作用的最大能力。当金属材料单位横断面积上受的拉力达到 σ_b 时, 材料就会被拉断。
	屈服强度	σ_s	公斤/毫米 ²	材料抵抗微量塑性变形的能力。当金属材料单位横断面积上受的拉力达到 σ_s 时, 在产生弹性变形的同时开始产生微量的塑性变形。
	屈服强度 (条件屈服强度)	$\sigma_{0.2}$	公斤/毫米 ²	对脆性材料因无明显的塑性变形开始点, 故测定其发生塑性变形为标距长度0.2%时的应力作为屈服强度。它标志材料对微量塑性变形的抵抗能力。
塑 性	伸 长 率 (延伸率)	δ	%	试件拉断后标距长度的伸长量与原来标距长度的百分比, 它反映材料塑性的大小。 δ 愈大, 材料的塑性愈好。
	断面收缩率	ψ	%	试件拉断处横断面积减小量与原始横断面积的百分比。 ψ 值愈大, 材料的塑性愈好。
硬 度	布氏硬度	HB	公斤/毫米 ² (习惯不写)	表示单位压抗球面积上所受的载荷数值, 标志着材料抵抗其他更硬的物质压入其表面的能力。
	洛氏硬度	HR _C HR _B HR _A	—	根据压痕深浅来衡量硬度, 硬度数值可直接从硬度机表盘上读出。 HRC应用最广, 一般淬火钢件都用此洛氏硬度标度。
韧 性	冲 击 值	a_k	公斤·米/厘米 ²	材料抵抗冲击外力破坏的能力。摆锤打断试件单位横断面积上所消耗的冲击功。 a_k 值愈大, 材料的韧性愈好。

疲劳概念

大多数机器零件、如轴、齿轮、弹簧等, 都是在交变应力(应力大小和方向随时间周期性变化)作用下工作的。

这些零件在受力远低于该材料的抗拉强度(σ_b), 甚至低于屈服强度(σ_s)的情况下, 经过长时间的工作而发生断裂的现象叫做金属的疲劳。

疲劳断裂时不产生明显的塑性变形, 断裂是突然发生的, 具有很大的危险性, 常常造成灾难性的事故。因此, 机器零件在使用过程中, 决不允许产生疲劳破坏, 必须保证零件在具有无数次交变载荷作用下仍不会断裂的能力, 这时的最大应力值称为疲劳极限, 用 σ_{-1} 表示。

实验证明: 金属材料承受的交变应力和断裂前所能承受的应力循环次数 N 之间的关系, 通常用疲劳曲线来表达, 如图1-9所示。

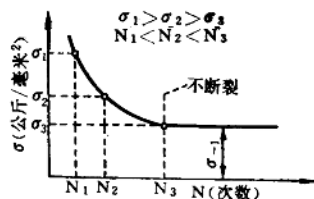


图 1-9 疲劳曲线示意图

由图可知,金属材料承受的交变应力($\sigma_{\text{最大}}$)愈大,则断裂时应力循环次数 N 愈小,反之, $\sigma_{\text{最大}}$ 愈小,则 N 愈大。

当应力低于某一值时,应力交变到无数次也不会发生疲劳断裂,此应力称为金属材料的疲劳极限,即曲线水平部分对应的应力。对钢铁材料来说,当 N 达到 10^7 周次时,曲线便出现水平线。所以,我们把经受 10^7 次循环交变应力而不破坏的最大应力定为疲劳极限。对有色金属,一般则按应力循环次数在 10^8 或更高的次数来确定其疲劳极限。

提高金属材料的疲劳强度极限,可通过改善零件的结构形状,避免应力集中,提高表面光洁度和进行表面热处理等措施来实现。

复习思考题

1. 什么叫金属材料的机械性能? 它包括哪几个主要性能?
2. HR_C 、 σ_b 、 a_k 、 HB 、 ψ 及 δ 各表示什么性能? 单位?
3. σ_s 和 $\sigma_{0.2}$ 有什么区别? 在拉伸曲线上怎样表示出来?
4. 什么叫硬度? 常用测定硬度的方法有几种?
5. 下列硬度的写法是否恰当? 应该怎样才是正确的?
 - 1) 一般钢材(供应状态) $HR_C 13 \sim 18$;
 - 2) 菜刀及剪刀的刀口部分 $HR_C 50 \sim 55$ 公斤/毫米²;
 - 3) 锉刀及钻头 $HB 600 \sim 650$ 。