

金属材料与热处理

成都无线电机械学校 编

国防工业出版社



金属材料与热处理

成都无线电机机械学校主编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书共十四章：第一章至第五章，阐述了金属和合金的性能、成分与内部组织结构的相互关系，并介绍了钢的热处理以及塑性变形与再结晶等基本知识。第六章至第十三章，讲述了常用金属材料的种类、牌号、成分、性能和主要用途。最后附了“塑料与橡胶”一章。

本书可作为中等专业学校机械制造冷加工专业的教材，并可供工程技术人员参考。

金属材料与热处理

成都无线电机学校主编

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 11¹/₂ 264 千字

1979年7月第一版 1979年7月第一次印刷 印数：000,001—168,000册

统一书号：15034·1854 定价：1.20元

前 言

在机械制造和无线电工业中，要使用大量的金属材料。它们的种类繁多，化学成分不同，性能不同；而一定化学成分的金属材料，随着热加工（如铸、锻）和热处理工艺的不同，性能还会发生很大的变化。特别是热处理对常用的钢铁材料和许多有色金属的性能影响很大。热处理就是把金属材料加热到一定的温度保温后，再以一定的方式冷却的工艺方法。通过适当的热处理，可以成倍以至几十倍地提高零件的使用寿命，并节约大量金属材料。

作为无线机械制造的中等技术人员，在工作中经常会遇到金属材料与热处理方面的问题。例如，在设计机械设备或工艺装备时，要根据零件的工作条件确定其性能要求，并合理选择材料和提出热处理技术条件；在制订工件的加工工艺路线时，要考虑加工过程中需要进行哪些热处理和应该在哪一道工序热处理等等。要解决这些问题，必须掌握有关金属材料与热处理的基本知识。

在内容上除注意针对机械制造冷加工专业的需要和理论联系实际的原则外，还注意了本課教学内容的系统性和中专的教学特点。书中少数内容(记有* *号)，供选讲或留给学生自学参考。全书教学时数(包括实验等)约90学时。

本书由成都无线机械学校主编，其中第一章至第十章由苏家麟编写；第十一章至第十三章和“塑料与橡胶”一章由叶行炜编写。初稿经有关中等专业学校教师讨论并提出修改意见，编者进行了修改，最后由桂林无线电学校冯广学审阅。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免存在缺点和错误，望读者提出宝贵意见，以便今后改正。

目 录

前言	3
第一章 金属材料的机械性能	1
第一节 强度和塑性	1
第二节 硬度	3
第三节 冲击韧性	8
第四节 金属疲劳的概念	10
第二章 金属和合金的结构与结晶	12
第一节 金属的晶体结构	12
第二节 金属的结晶	15
第三节 合金的结构	17
第四节 二元合金平衡图初步知识	19
第三章 铁碳合金平衡图	25
第一节 铁碳合金的基本相	25
第二节 Fe-Fe ₃ C 平衡图的分析	26
第三节 平衡状态下碳钢的组织 and 性能	32
第四章 钢的热处理	34
第一节 钢在加热时的转变	34
第二节 奥氏体在冷却时的转变	36
第三节 钢的退火与正火	42
第四节 钢的淬火与回火	44
第五节 钢的淬透性	54
第六节 钢的表面淬火	57
第七节 化学热处理	59
第五章 金属的塑性变形和再结晶	68
第一节 金属塑性变形的概念	68
第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响	70
第三节 冷变形金属在加热时组织和性能的变化	71
第四节 金属的热加工	73
第六章 碳素钢	76
第一节 概述	76
第二节 碳素结构钢	77
第三节 碳素工具钢	81
第七章 合金钢	83
第一节 合金元素在钢中的作用	83
第二节 合金钢的分类和牌号表示方法	86
第三节 合金结构钢	88

第四节 合金工具钢和高速工具钢	94
第五节 特殊钢	102
第八章 粉末冶金与硬质合金	106
第一节 粉末冶金	106
第二节 硬质合金	107
第九章 铸铁	111
第一节 铸铁的石墨化及影响因素	111
第二节 灰口铸铁	112
第三节 球墨铸铁	114
第四节 其它铸铁简介	116
第十章 常见钢铁材料的选用与热处理	118
第一节 选用材料的一般原则	118
第二节 零件设计和加工时减小变形与防止开裂的措施	119
第三节 典型零件的材料选择及热处理举例	123
第十一章 金属磁性材料与精密合金	127
第一节 金属磁性材料	127
第二节 精密合金	129
第十二章 有色金属及其合金	135
第一节 铜及铜合金	135
第二节 铝及铝合金	142
第三节 镁及镁合金	149
第四节 钛及钛合金	151
第五节 电真空器件常用的有色金属	152
第六节 轴承合金	155
第十三章 电镀和化学涂覆	158
第一节 电镀	158
第二节 金属的热浸涂覆和化学涂覆	161
附 塑料与橡胶	163
第一节 概述	163
第二节 塑料	164
第三节 橡胶	174
附录	176
1. 常用钢的热处理规范	176
2. 钢的热处理工艺的代号与技术条件的表示方法 (GC423-62)	178

第一章 金属材料的机械性能

为了正确地使用和加工金属材料，必须了解金属材料的使用性能和工艺性能。所谓使用性能，是指为保证机械零件或工具正常工作，材料应具备的性能，它包括机械性能、物理性能（如导电性、导热性、热膨胀性等）和化学性能（如抗腐蚀性、抗氧化性等）。所谓工艺性能，是指在制造机械零件或工具的过程中，金属材料适应各种冷热加工的性能，它包括铸造性能，锻造性能，焊接性能，热处理性能以及切削加工性能等。

由于在一般机械设备与工具制造中选用材料时，大多以机械性能的指标作为主要依据，本章主要介绍金属材料的机械性能。机械性能主要包括强度、硬度、塑性、韧性、抗疲劳性等。

第一节 强度和塑性

金属受到载荷作用后，其变形和破坏过程一般是：弹性变形→弹性变形及塑性变形→破裂。

弹性变形是载荷去掉后，能完全消失的变形。塑性变形是载荷去掉后，仍然保留下来的变形，又称永久变形。

一、强度

所谓强度，就是金属在载荷作用下抵抗塑性变形和破裂的能力。载荷的类型有拉伸、压缩、弯曲、剪切、扭转等几种。载荷类型不同，金属的强度指标也不相同。测定金属强度指标最普遍最简单的方法是拉伸试验法。

拉伸试验在拉伸试验机上进行。预先将金属材料制成一定形状和尺寸的“拉伸试样”。常用的试样断面为圆形，称为圆形试样（见图1-1）。图中 d_0 称为试样的直径（mm）； l_0 称为标距长度（mm）。根据国家标准（GB228-63）的规定，拉伸试样可作成长试样或短试样。对圆形试样而言：长试样 $l_0=10d_0$ ，短试样 $l_0=5d_0$ 。

为了研究金属材料在受到拉伸载荷作用后的变形和断裂过程，将一根退火低碳钢制成的拉伸试样放在拉伸试验机上，缓慢加载，直至拉断为止。这样，便

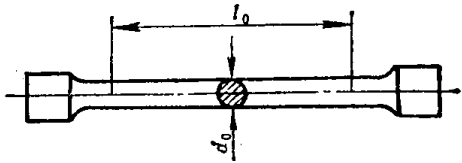


图1-1 圆形拉伸试样

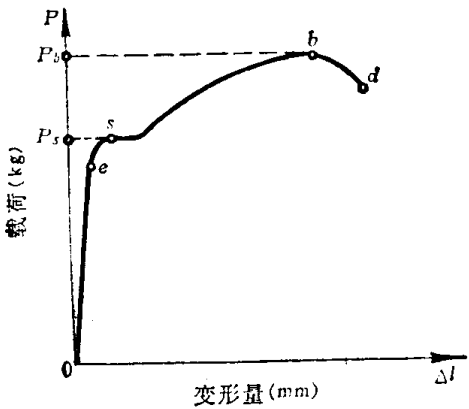


图1-2 低碳钢的拉伸曲线

可得到如图 1-2 所示的载荷[●]-变形量关系曲线, 或称为拉伸曲线。

由图 1-2 可见, 在开始的 $0 \sim e$ 阶段, 试样在载荷作用下均匀伸长, 伸长量与所加载荷成正比关系, 这时如果去掉载荷, 试样便恢复原有尺寸, 即材料处于弹性变形阶段。超过 e 点以后, 除弹性变形外, 材料开始出现塑性变形。载荷增大到 P_s 时, 载荷保持不变而材料仍然继续变形(伸长), 曲线在 s 点处出现一段水平线段, 这种现象称为“屈服”, 标志着材料发生微量塑性变形。屈服现象过后, 变形又随载荷的增加而逐渐增大, 整个试样发生均匀而显著的塑性变形。当载荷达到 P_b 后, 在试样的标距长度内出现局部直径变细, 即发生“颈缩”现象, 此时载荷开始下降, 故 b 点为曲线上最高点, 变形主要集中于颈部, 直至断裂(d 点)。

试样受载荷 P 作用时, 材料内部产生同等大小的抵抗力。材料单位横断面积上的抵抗力称为应力, 用符号 σ 代表, 其计算公式为:

$$\sigma = \frac{P}{F_0} (\text{kg/mm}^2) \text{②}$$

式中 P ——载荷 (kg);

F_0 ——试样拉伸前的横断面积 (mm^2)。

通过拉伸试验测得常用的强度指标为屈服极限和强度极限。

屈服极限是金属产生屈服现象时的应力, 用符号 σ_s 代表, 可按下式计算:

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} (\text{kg/mm}^2) \quad (1-1)$$

式中 P_s ——屈服时的载荷 (kg);

F_0 ——试样拉伸前的横断面积 (mm^2)。

有些金属材料的屈服现象极不明显, 测定 σ_s 很困难。为了衡量它们的屈服特性, 工程技术上一般规定以试样产生塑性变形 0.2% 时的应力作为条件屈服极限, 或称屈服强度, 用符号 $\sigma_{0.2}$ 代表。

强度极限又称抗拉强度, 是金属拉断前的最大应力, 用符号 σ_b 代表, 可按下式计算:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} (\text{kg/mm}^2) \quad (1-2)$$

式中 P_b ——拉断试样的最大载荷 (kg);

F_0 ——试样拉伸前的横断面积 (mm^2)。

σ_b 愈大, 代表金属材料抵抗断裂的能力愈大, 即强度愈高。

σ_s 和 σ_b 都是金属材料的强度指标, 是设计机械零件和检查材料性能的重要依据。若金属材料的强度高, 零件或结构的尺寸就可能减小, 重量减轻, 或者在较大载荷作用下不致发生塑性变形和破坏, 增加使用的可靠性。

二、塑 性

塑性是指金属材料在载荷的作用下产生塑性变形而不破坏的能力。常用的塑性指标是

● 在我国现行的基本计量制度——“公制”中, 力的单位是千克力 (kg)。我国将逐步采用国际单位制 (简称国际制), 力的单位是牛顿, 代号是“牛”或 N, $1 \text{ 千克力 (kg)} = 9.80665 \text{ 牛 (N)}$ 。

② 在国际制中, 应力的单位是帕斯卡, 代号为“帕”或 P_a , $P_a = \text{N/m}^2$, $1 \text{ kg/mm}^2 = 9.8 \text{ N/mm}^2 = 9.8 \times 10^6 P_a$ 。

通过拉伸试验测得的**伸长率**和**断面收缩率**。

伸长率是试样拉断后标距长度的伸长量与标距长度之比值的百分率，用符号 δ 代表。可按下式计算：

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 l_0 ——试样的标距长度 (mm)；

l_1 ——试样拉断后的标距长度 (mm)。

由于对同一材料用不同长度的标准试样所测得的伸长率 δ 数值不同，因此应注明试样尺寸比例。例如，用长试样 ($l_0 = 10d_0$) 测得的伸长率，用符号 δ_{10} 代表，通常写成 δ ；用短试样 ($l_0 = 5d_0$) 测得的伸长率，用符号 δ_5 代表。对于同一材料， $\delta_5 > \delta_{10}$ 。

断面收缩率是试样拉断处横断面积减小量与原横断面积之比值的百分率，用符号 ψ 代表。可按下式计算：

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 F_0 ——试样拉伸前的横断面积 (mm²)；

F_1 ——试样拉断后的最小横断面积 (mm²)。

一般说来，金属的伸长率 δ 与断面收缩率 ψ 愈大，其塑性愈好。例如纯铁的伸长率可达 50%，而普通生铁的伸长率小于 1%，因此纯铁的塑性比生铁好得多。

金属材料的塑性是一个优良的性能。例如塑性好的材料，可以通过多种压力加工的方法（如轧制、锻造、冲压等）制成金属加工产品、零件毛坯或成品。

第二节 硬 度

硬度通常是指金属材料抵抗其它更硬物体压入表面的能力，也可以说是材料对局部塑性变形的抗力。

硬度是金属材料的重要性能指标。机械制造中所用的刀具、量具、模具等都应具备足够高的硬度，才能保证使用性能和寿命；许多机械零件，根据其工作条件的不同，也常要求硬度在某一规定的范围内，以保证足够的强度、耐磨性和使用寿命。因此，硬度是检验工模具和机械零件质量的一项重要指标。

硬度试验是金属机械性能试验中最简便的一种。它无需专门试样，又不损坏被试金属，而且一般试验方法简单、迅速，故应用广泛。

一、布氏硬度试验法

布氏硬度试验的原理（见图1-3）是用一定直径（ D ）的淬硬钢球，在规定载荷（ P ）的作用下压入试件表面，并保持一定的时间，然后卸除载荷，用压痕单位球面积上所承受的载荷大小作为所测金属材料的硬度值，称为**布氏硬度**，用符号 HB 表示。即：

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{P}{\frac{\pi D}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{kg/mm}^2) \quad (1-5)$$

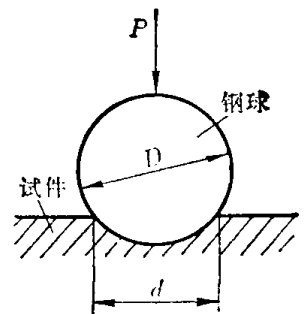


图1-3 布氏硬度试验原理简图

式中 P ——钢球上加的载荷 (kg);
 F ——被试金属表面压痕球面积 (mm^2);
 D ——钢球直径 (mm);
 d ——压痕的直径 (mm)。

布氏硬度试验时, 钢球的直径 D 和载荷 P 是根据被试金属的种类、性质和厚度, 按有关标准规定 (见表1-1) 选择。试验后用专门的刻度放大镜测出压痕直径 d 的大小, 再查布氏硬度值表 (见表1-2), 即可得到布氏硬度值, 并不需要按式 (1-5) 进行计算。习惯上, HB 不写出单位 (kg/mm^2), 例如 $\text{HB}=235$ 或 $\text{HB}235$ 。

表1-1 布氏硬度试验用钢球、载荷与保持时间的选择(根据国家标准 GB231-63)

金属种类	布氏硬度值范围 (HB)	试样厚度 (mm)	载荷 P 与钢球直径 D 的关系	钢球直径 D (mm)	载 荷 P (kg)	载荷保持时间 (s)
黑色金属	140~450	6~3 4~2 <2	$P = 30D^2$	10.0 5.0 2.5	3000 750 187.5	10
	<140	>6 6~3 <3	$P = 10D^2$	10.0 5.0 2.5	1000 250 62.5	10
有色金属	>130	6~3 4~2 <2	$P = 30D^2$	10.0 5.0 2.5	3000 750 187.5	30
	36~130	9~3 6~3 <3	$P = 10D^2$	10.0 5.0 2.5	1000 250 62.5	30
	8~35	>6 6~3 <3	$P = 2.5D^2$	10.0 5.0 2.5	250 62.5 15.6	60

表1-2 压痕直径与布氏硬度值(根据国家标准 GB231-63 摘编)

压痕直径 (mm) $d_{10}, 2d_5$ 或 $4d_{2.5}$	使用下列载荷之硬度值 HB			压痕直径 (mm) $d_{10}, 2d_5$ 或 $4d_{2.5}$	使用下列载荷之硬度值 HB			压痕直径 (mm) $d_{10}, 2d_5$ 或 $4d_{2.5}$	使用下列载荷之硬度值 HB		
	$P = 30D^2$	$P = 10D^2$	$P = 2.5D^2$		$P = 30D^2$	$P = 10D^2$	$P = 2.5D^2$		$P = 30D^2$	$P = 10D^2$	$P = 2.5D^2$
2.90	444			3.95	235	78.3	19.6	5.00	143	47.5	11.9
2.95	429			4.00	229	76.3	19.1	5.05	140	46.5	11.6
3.00	415		34.6	4.05	223	74.3	18.6	5.10	137	45.5	11.4
3.05	401		33.4	4.10	217	72.4	18.1	5.15	134	44.6	11.2
3.10	388	129	32.3	4.15	212	70.6	17.6	5.20	131	43.7	10.9
3.15	375	125	31.3	4.20	207	68.8	17.2	5.25	128	42.8	10.7
3.20	363	121	30.3	4.25	201	67.1	16.8	5.30	126	41.9	10.5
3.25	352	117	29.3	4.30	197	65.5	16.4	5.35	123	41.0	10.3
3.30	341	114	28.4	4.35	192	63.9	16.0	5.40	121	40.2	10.1
3.35	331	110	27.6	4.40	187	62.4	15.6	5.45	118	39.4	9.86
3.40	321	107	26.7	4.45	183	60.9	15.2	5.50	116	38.6	9.66
3.45	311	104	25.9	4.50	179	59.5	14.9	5.55	114	37.9	9.46
3.50	302	101	25.2	4.55	174	58.1	14.5	5.60	111	37.1	9.27
3.55	293	97.7	24.5	4.60	170	56.8	14.2	5.65	109	36.4	9.10
3.60	285	95.0	23.7	4.65	167	55.5	13.9	5.70	107	35.7	8.93
3.65	277	92.3	23.1	4.70	163	54.3	13.6	5.75	105	35.0	8.76
3.70	269	89.7	22.4	4.75	159	53.0	13.3	5.80	103	34.3	8.59
3.75	262	87.2	21.8	4.80	156	51.9	13.0	5.85	101	33.7	8.43
3.80	255	84.9	21.2	4.85	152	50.7	12.7	5.90	99.2	33.1	8.26
3.85	248	82.6	20.7	4.90	149	49.6	12.4	5.95	97.3	32.4	8.11
3.90	241	80.4	20.1	4.95	146	48.6	12.2	6.00	95.5	31.8	7.96

布氏硬度试验法广泛用于试验各种退火状态下的钢材、铸铁、有色金属等，也用于试验经调质处理及硬度小于 HB450 的钢件。

由于布氏硬度试验的压痕较大，试验结果比较准确，能更好地代表试样的硬度。但当被试材料硬度较高 ($HB>450$) 时，钢球本身会发生大的变形，甚至损坏，故不宜再用布氏硬度试验。

一般说来，硬度愈高，强度也愈大。根据多种试验数据的分析比较，可用 $\sigma_b \approx 0.35HB$ 的关系，粗略地估算钢的抗拉强度 σ_b 。

二、洛氏硬度试验法

洛氏硬度试验法的原理与布氏法有些不同，它不是测定压痕的大小，而是根据压痕的塑性变形深度来衡量硬度（见图1-4），洛氏法常用顶角为 120° 的金刚石圆锥体作为压头。试验时，先加初载荷 10 kg，使压头紧密接触试件表面 a ，并压入到 b 处，以 b 处作为衡量压入深度的起点，再加上主载荷使压头压入到 c 处，然后去掉主载荷，由于被试金属弹性变形的恢复，压头向上回升到 d 处。于是，深度 $\overline{bd}$ 就是压头在主载荷作用下压入金属表面的塑性变形深度。此深度愈大，金属的硬度愈低，反之，硬度愈高。被试金属的洛氏硬度数值，在去掉主载荷后，直接由硬度表盘上的指针指出。

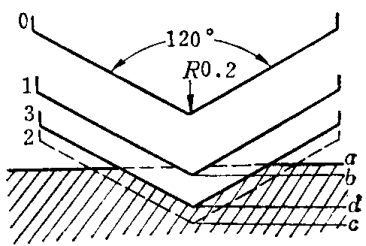


图1-4 洛氏硬度试验原理简图

表盘上的硬度数值是这样确定的：压头每移动 0.002 mm，表盘的指针即转过 1 小格，当压头从 b 移到 d 时，指针转过的格数应为 $\frac{\overline{bd}}{0.002}$ 。显然，被试材料愈软， $\overline{bd}$ 愈深而格数愈多，用此格数直接作为硬度值将造成错觉。因此，用一适当的常数减去 $\frac{\overline{bd}}{0.002}$ 作为硬度值。例如当压头为金刚石而载荷为 150 kg 时，其硬度值 HRC 以下式表示：

$$HRC = 100 - \frac{\overline{bd}}{0.002} \tag{1-6}$$

洛氏硬度值没有单位，直接用数字表示，如 $HRC=42$ 。

为了扩大洛氏硬度机的使用范围，洛氏法还可用直径为 $\frac{1}{16}$ (1.588 mm) 的淬硬钢球作压头来试验较软金属的硬度。因此，根据被试对象的不同，洛氏硬度试验法可采用不同的压头和载荷，从而分成三种常用洛氏硬度标度，其硬度符号、试验条件和应用，列于表 1-3。

表1-3 常用洛氏硬度符号及试验条件和应用举例

硬度符号	压头类型	总载荷(kg)	硬度值有效范围	应用举例
HRC	120°金刚石圆锥体	150	HRC20~67 (相当 HB225以上)	一般淬火钢件
HRB	$\phi \frac{1}{16}$ 钢球	100	HRB25~100 (相当 HB60~230)	软钢、退火钢、铜合金等
HRA	120°金刚石圆锥体	60	HRA>70 (相当 HB360以上)	硬质合金、表面淬火钢等

以上三种常用洛氏硬度中,以HRC应用最多,一般经过淬火处理的钢零件或工具都用它。并且注意测试材料的硬度应在有效值范围内(HRC20~67),测出硬度值后,应标明硬度值符号,例如HRC62、HRB85等。常用工具和钢材的一般硬度,见表1-4。

表1-4 常用工具和钢材的硬度

名 称	一 般 硬 度 (HRC)	名 称	一 般 硬 度 (HRC)
切削金属的刀具(如锉刀、钻头、钢车刀等)	60~65	菜刀、剪刀、斧头等的刀口部分	50~55
冷冲模的凸模、凹模	58~62 60~64	扳手、螺丝刀工作部分、弹簧钢片	43~48
钳工榔头	52~56	钢材(材料供应状态)	大多HB130~230 (相当HRC20以下)

洛氏硬度试验法操作迅速简便,压痕较小,可测试成品表面,而且测试的硬度范围大,能测试较薄材料的硬度。但是,因为压痕小,对内部组织和硬度不均匀的材料,硬度数据波动较大,一般同一试件应测试3点以上,取平均值。

三、维氏硬度试验法

维氏硬度试验是用相对面的夹角为 136° 的金刚石正四棱锥作为压头,在一定的载荷(P)作用下压入试样表面,以单位压痕表面积所受的载荷作为维氏硬度数值,即:

$$HV = \frac{P}{F} \text{ (kg/mm}^2\text{)} \quad (1-7)$$

式中 P —— 载荷 (kg);

F —— 压痕表面积 (mm^2)。

当角锥体压入试件时(见图1-5),其压痕表面积为:

$$F = \frac{d^2}{2 \sin 68^\circ} = \frac{d^2}{1.8544} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (1-8)$$

则维氏硬度 HV 应为:

$$HV = \frac{P}{F} = 1.8544 \frac{P}{d^2} \text{ (kg/mm}^2\text{)} \quad (1-9)$$

式中 d —— 压痕二对角线的平均长度 (mm)。

试验后根据已知的 P 和 d , 代入公式 (1-9) 可得 HV 值, 但一般可查预先算好的维氏硬度表得出。

维氏硬度试验因载荷小(常用 5kg 及 10kg)压痕浅,故广泛用来测定工件薄的表面硬化层或金属镀层以及薄片金属的硬度。在这些情况下,用布氏和洛氏法是不行的。维氏硬度试验,因压头是金刚石角锥,载荷能在很大范围内调整(一般 5~100kg),既可测试很软的,也可测试很硬的金属材料,所测硬度能直接进行比较,无须换算。

各种硬度试验法测得的硬度值不能直接比较,必须通过专门的硬度换算表(见表 1-5、表 1-6)换算成同一种硬度值后,方能比较其大小。

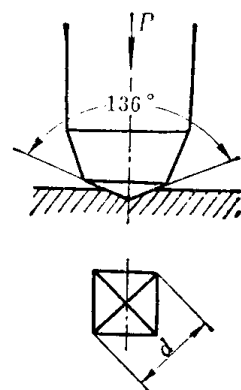


图1-5 维氏硬度试验原理简图

表1-5 黑色金属硬度及强度换算表 (根据GB 1172-74 摘编)

洛 氏 硬 度		布 氏 硬 度 HB 30D ²	维 氏 硬 度 HV	近 似 强 度 值 σ_b (kg/mm ²)
HRC	HRA			
(70)	(86.6)		(1037)	
(69)	(86.1)		(997)	
(68)	(85.5)		(959)	
67	85.0		923	
66	84.4		889	
65	83.9		856	
64	83.3		825	
63	82.8		795	
62	82.2		766	
61	81.7		739	
60	81.2		713	260.7
59	80.6		688	249.6
58	80.1		664	239.1
57	79.5		642	229.3
56	79.0		620	220.1
55	78.5		599	211.5
54	77.9		579	203.4
53	77.4		561	195.7
52	76.9		543	188.5
51	76.3	(501)	525	181.7
50	75.8	(488)	509	175.3
49	75.3	(474)	493	169.2
48	74.7	(461)	478	163.5
47	74.2	449	463	158.1
46	73.7	436	449	152.9
45	73.2	424	436	148.0
44	72.6	413	423	143.4
43	72.1	401	411	138.9
42	71.6	391	399	134.7
41	71.1	380	388	130.7
40	70.5	370	377	126.8
39	70.0	360	367	123.2
38		350	357	119.7
37		341	347	116.3
36		332	338	113.1
35		323	329	110.0
34		314	320	107.0
33		306	312	104.2
32		298	304	101.5
31		291	296	98.9
30		283	289	96.4
29		276	281	94.0
28		269	274	91.7
27		263	268	89.5
26		257	261	87.4
25		251	255	85.4
24		245	249	83.5
23		240	243	81.6
22		234	237	79.9
21		229	231	78.2
20		225	226	76.7

表1-6 黑色金属硬度及强度换算表 (根据GB 1172-74 摘编)

洛氏硬度 HRB	布氏硬度 HB _{10D²}	维氏硬度 HV	近似强度值 σ _b (kg/mm ²)	洛氏硬度 HRB	布氏硬度 HB _{10D²}	维氏硬度 HV	近似强度值 σ _b (kg/mm ²)
100		233	80.3	79	130	143	49.8
99		227	78.3	78	128	140	48.9
98		222	76.3	77	126	138	48.0
97		216	74.4	76	124	135	47.2
96		211	72.6	75	122	132	46.4
95		206	70.8	74	120	130	45.6
94		201	69.1	73	118	128	44.9
93		196	67.5	72	116	125	44.2
92		191	65.9	71	115	123	43.5
91		187	64.4	70	113	121	42.9
90		183	62.9	69	112	119	42.3
89		178	61.4	68	110	117	41.8
88		174	60.1	67	109	115	41.2
87		170	58.7	66	108	114	40.7
86		166	57.5	65	107	112	40.3
85		163	56.2	64	106	110	39.8
84		159	55.0	63	105	109	39.4
83		156	53.9	62	104	108	39.0
82	138	152	52.8	61	103	106	38.6
81	136	149	51.8	60	102	105	38.3
80	133	146	50.8				

第三节 冲击韧性

前面讲的拉伸试验和硬度试验，被试金属所载荷是从零逐渐增加到最大值的，这种载荷叫“静载荷”。但在生产实践中，许多零件会受到突然作用的外力，即所谓“冲击载荷”。金属在静载荷条件下试验出来的性能（强度、塑性、硬度等）一般不能代表在冲击载荷作用下的性能。

金属抵抗冲击载荷作用而不致破坏的能力称为韧性。金属材料韧性的好坏通过冲击试验法来测定。

一、摆锤式一次冲击试验

按 GB229-63 的规定，将金属材料制成标准的冲击试样（见图1-6）。

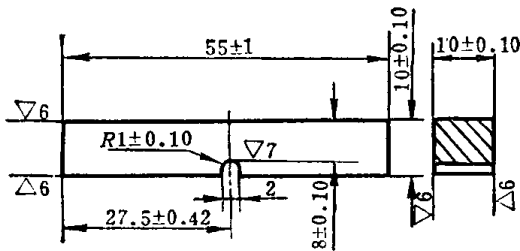


图1-6 梅氏冲击试样

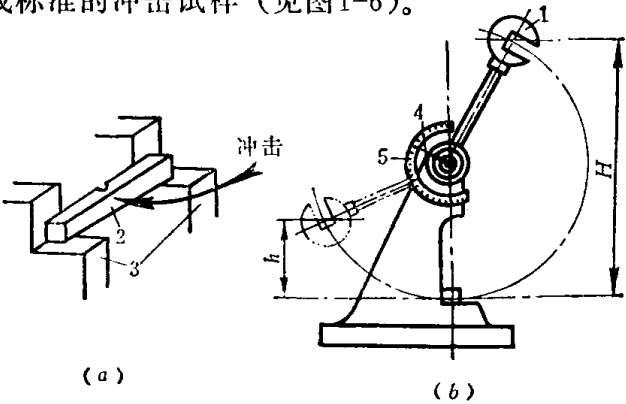


图1-7 摆锤式一次冲击试验

试验在专门的摆锤式冲击试验机上进行，如图 1-7 所示。把试样 2 放在试验机的支承面 3 上，试样的缺口背向摆锤冲击方向。将重量为 P(kg) 的摆锤 1 安放到规定的高度

$H(m)$ (见图 1-7 b), 然后下落, 将试样打断, 并摆过支点升到某一高度 h 。摆锤打断试样所作的冲击功为 A_K , 根据功能原理可得:

$$A_K = PH - Ph = P(H - h)(\text{kg} \cdot \text{m})^{\text{②}} \quad (1-10)$$

实际上, 冲击试验机的指针 4 直接在刻度盘 5 上将冲击功 A_K 值指出, 无需按 (1-10) 式计算。一般习惯将冲击功 A_K 值除以试样缺口处的横断面积 F 得到冲击值 (冲击韧性), 用符号 a_K 表示, 即:

$$a_K = \frac{A_K}{F} (\text{kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2) \quad (1-11)$$

冲击值 a_K 愈大, 表示材料的韧性愈好。

金属材料的断裂分为脆性断裂与韧性断裂两种。脆性断裂破坏是突然发生的, 破断处没有明显的塑性变形, 断口处有金属光泽。韧性断裂的破断处发生较大的塑性变形, 断口呈灰色纤维状。

冲击值 a_K 与试验的温度有关。有些材料, 在室温 (20°C 左右) 试验时并不显示脆性, 而在较低温度下, 则可能发生脆断。因此, 为了确定金属材料 (特别是低温用材料) 由韧性状态向脆性状态变化的倾向, 可在不同的温度下测定冲击值 a_K , 将试验结果绘成曲线图 (见图 1-8)。由图可以看出, a_K 随温度的降低而减小, 在某一温度范围时, a_K 显著降低而呈现脆性, 这个温度范围称为“脆性转变温度范围”。转化温度愈低, 材料的低温抗冲击性能愈好。

摆锤式一次冲击试验在检验金属材料内部结构的变化、脆性破坏情况以及鉴定热加工工艺规范的正确性方面, 比其他试验方法敏感, 试验过程也比较简便, 故目前在生产和科研中仍经常采用。

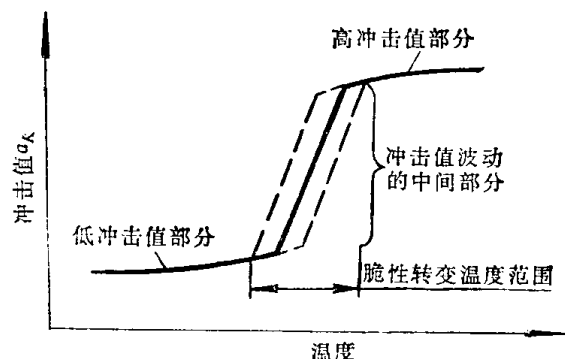


图 1-8 温度对冲击值 a_K 的影响 (在 20°C 以下时)

二、多次重复冲击试验的概念

上述冲击值 a_K 是大能量一次冲断标准试样所得的数据。但在生产实践中, 机械零件很少受到这样大能量的冲击破坏, 一般是多次小能量重复冲击后才破坏的。在这种情况下, 用 a_K 值来衡量材料的抗冲击能力是不合理的, 而应进行多次重复冲击试验测定其多冲抗力。

图 1-9 为一种多冲弯曲试验示意图, 材料制成专门的多冲缺口试样 1 放在多冲试验机上, 使之受到试验机锤头 2 的小能量 ($<150\text{kg} \cdot \text{cm}$) 多次冲击。测定材料在一定冲击能量下, 开始出现裂纹和最后破断的冲击次数作为多次冲击抗力指标。

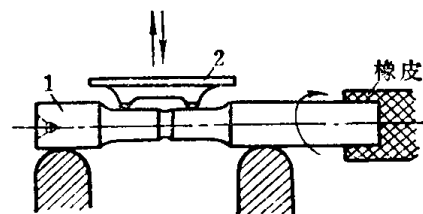


图 1-9 多次重复冲击试验示意图

我国有关单位的研究表明, 金属材料在受到能量很大、冲击次数很少的冲击载荷作用

② 在国际制中, 功的单位是焦耳, 代号为“焦”或 J, $J = \text{N} \cdot \text{m}$, $1\text{kg} \cdot \text{m} = 9.8\text{N} \cdot \text{m} = 9.8\text{J}$ 。

时, 其冲击抗力主要决定于冲击值 a_k ; 但在多次小能量冲击条件下, 其冲击抗力则主要决定于材料的强度, 而不要求高的塑性、韧性值。例如模锻锤的锤杆, 按过去传统习惯, 认为凡受冲击载荷零件, a_k 值愈高愈好。为了追求高的冲击值 a_k ($a_k 13 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$), 不惜牺牲强度、硬度指标 (HB250 左右), 以为这样可以提高使用寿命。实践证明, 寿命很短。现在根据多冲抗力观点, 改变热处理工艺, 提高强度、硬度 (HRC45 左右), 虽然 a_k 降低为 $4 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$, 但使用寿命却大大提高。

第四节 金属疲劳的概念

许多机械零件, 如轴、连杆、弹簧、齿轮等, 它们是在重复或交变应力作用下工作的。所谓重复或交变应力, 是指应力的值或大小和方向随时间周期性变化。在多次重复或交变应力作用下, 金属发生破坏时的应力值比静载荷拉伸试验的屈服极限 σ_s 还低, 这种现象称为金属的疲劳。

实验证明, 钢铁材料所受重复或交变应力 σ 与其断裂前所能承受的应力循环次数 N 正如图 1-10 所示的曲线关系。该曲线称为疲劳曲线或 $\sigma-N$ 曲线。从曲线上可以看出, 应力值 σ 愈低, 则断裂前的循环次数 N 愈多。当应力降到某一定值后, 疲劳曲线与横坐标轴平行, 即表示当应力低于此值时, 材料可经受无数次应力循环而不断裂, 此应力值叫做疲劳极限。当交变应力是对称循环应力 (见图 1-11) 时, 疲劳极限用符号 σ_{-1} 表示。对钢铁来说, 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 次循环而不破坏的最大应力定为疲劳极限。对于有色金属, 一般则需规定应力循环次数在 10^8 或更多周次, 才能确定其疲劳极限。

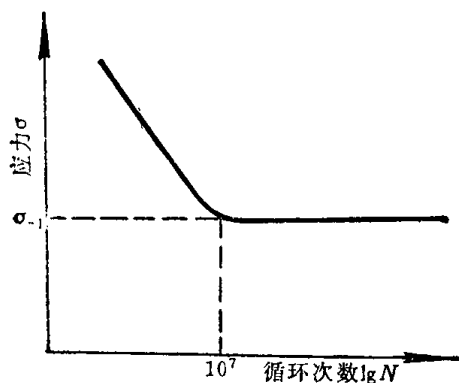


图1-10 钢铁的疲劳曲线

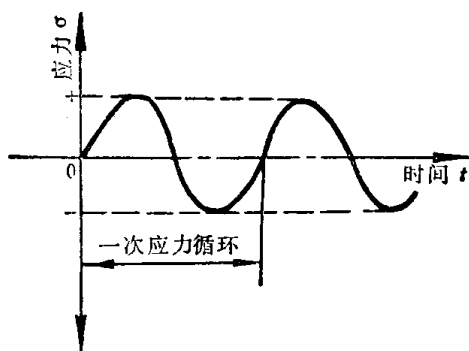


图1-11 对称循环交变应力

疲劳断裂的过程: 一般认为在重复或交变应力的条件下, 虽然应力值远小于 σ_s , 但在材料的最薄弱区域 (经常在表面附近), 主要由于拉应力的作用, 可能首先产生很小的疲劳裂纹, 当循环次数增加时, 疲劳裂纹逐渐扩展, 使剩下的断面大大减小, 以致不能承受所加载荷而突然断裂。

常用的机械性能指标及其含义列于表 1-6。

应该注意, 上述机械性能指标除硬度外, 都是用小尺寸的光滑试样或标准试样, 在规定性质的载荷作用下测得的。实践证明, 它们不能直接代表材料制成零件后的性能。因为一方面, 实际零件尺寸往往较大, 尺寸增大后, 材料中存在缺陷 (如孔洞、夹杂物、表面损伤等) 的可能性也就愈大; 另一方面, 零件在实际工作中所受的载荷往往是复杂的, 零

表1-6 常用的机械性能指标及其含义

机械性能	性能指标			说明
	符号	名称	单位	
强度	σ_b	强度极限 (抗拉强度)	(kg/mm ²)	金属拉断前的最大应力。当金属单位横断面积上受的拉力达到 σ_b 时, 金属就会被拉断
	σ_s	屈服极限	(kg/mm ²)	金属产生屈服现象时的应力, 是对微量塑性变形的抵抗能力。当金属单位横断面积上受的拉力达到 σ_s 时, 金属在产生弹性变形的同时开始产生微量的塑性变形
	$\sigma_{0.2}$	屈服强度 (条件屈服极限)	(kg/mm ²)	没有明显屈服现象的金属, 测定其发生塑性变形量达到 0.2% 时的应力作为条件屈服极限, 它标志材料对微量塑性变形的抵抗能力
塑性	δ δ_{10} δ_5	伸长率 (延伸率)	(%)	试样拉断后标距长度的增加量与原来标距长度比值的百分率。 δ_{10} 和 δ_5 分别代表用长试样和短试样试验得到的伸长率。 δ 愈大, 材料的塑性愈好
	ψ	断面收缩率	(%)	试样拉断处横断面积减小量与原始横断面积比值的百分率。 ψ 愈大, 材料的塑性愈好
硬度	HB	布氏硬度	(kg/mm ²) (习惯不写)	是单位压痕球面积上受的载荷数值。一般用于 HB<450 的较软材料、毛坯、半成品硬度
	HRC HRB HRA	洛氏硬度	—	根据压痕深浅来衡量硬度, 硬度数值直接从硬度机表盘上读出 HRC应用最广, 一般经过淬火的钢件(硬度在 HRC 20~67 之间)都用此洛氏硬度标度
	HV	维氏硬度	(kg/mm ²) (习惯不写)	是金刚石正四棱锥造成的压痕单位面积上受的载荷数值。一般用于试表面硬化钢件, 或薄的金属件的硬度
韧性	α_K	冲击值	(kg·m/cm ²)	打断金属试样单位横断面积上所消耗的冲击功。 α_K 愈大, 材料的韧性愈好
抗疲劳性	σ_{-1}	疲劳极限	(kg/mm ²)	金属经受多次(钢为 10^7 周次) 对称循环交变应力的作用而不发生疲劳破坏的最大应力

件的形状、加工表面光洁度等也与试样差异很大。这些将在以后的课程中研究。

习 题

- 什么是强度、塑性?
- 试根据 20 号钢、45 号钢、T8 钢等三种不同的钢试样拉伸试验的结果, 分别算出它们的 σ_b 、 σ_s (T8 的 σ_s 不求)、 δ 、 ψ , 并比较三种钢的强度和塑性。
- 按 GB699-65 的规定, 15 号钢的钢材从钢厂出厂时, 机械性能指标应不低于下列数值: $\sigma_b = 38$ kg/mm², $\sigma_s = 23$ kg/mm², $\delta_5 = 27\%$, $\psi = 55\%$ 。现将本厂购进的 15 号钢制成 $d_0 = 10$ mm 的圆形短试样作拉伸试验, 得到如下数据: $P_b = 3450$ kg, $P_s = 2110$ kg, $l_1 = 65$ mm, $d_1 = 6$ mm。试问这批 15 号钢钢材的机械性能是否合格, 并列出其性能指标的计算过程。
- 什么是硬度? HB、HRC、HRA、HRB、HV 各代表什么方法试出的硬度?
- 试根据布氏硬度试验结果比较 20 号钢、45 号钢、T8 钢等三种钢 (退火状态) 硬度的高低。
- 下列几种情况该用什么方法来试验硬度? 写出硬度值符号。
 - 检验锉刀、钢车刀或钻头成品硬度;
 - 检验材料库的钢材硬度;
 - 检验钢件表面很薄的硬化层或很薄的工件硬度。
- 用 45 号钢制成的一种轴, 图纸要求热处理后达到 HB220~250, 热处理车间将此零件处理后测得硬度为 HRC22, 是否符合图纸要求?
- 下列硬度要求或写法是否恰当? 应该怎样才是正确的?
 - HRC12~15;
 - HRC40~45kg/mm²;
 - HRC70~75;
 - HB600~650。
- 什么是韧性? A_K 和 α_K 各代表什么?
- 金属在受到大能量冲击载荷和小能量多次冲击的条件下, 冲击抗力各主要取决于什么指标?
- 什么是重复和交变应力? 什么是金属的疲劳现象?
- 试用钢的疲劳曲线 ($\sigma-N$ 曲线) 来说明疲劳极限的含义。