

中等专业学校规划教材

金属工艺学

(修订版)

主编 鞠克栋

煤炭工业出版社

内 容 简 介

本书共分十四章,主要内容有金属机械性能、金属材料、钢的热处理、非金属材料、典型零件选材及热处理、金属压力加工、金属的焊接、铸造生产、金属切削加工的基本知识,各种典型机床及其加工、钳工与装配等。

本书作为中等专业学校机电专业及机械类专业教材,也可作函授、成人职工中专教材和其他有关人员参考。

中等专业学校规划教材

金属工艺学

(修 订 版)

主 编 鞠克栋

责任编辑 刘永清

*

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

北京房山宏伟印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×1092mm^{1/16} 印张 12^{1/2}

字数 291 千字 印数 8,686—10,685

1996 年 4 月第 1 版 2006 年 12 月第 5 次印刷

ISBN 7-5020-1249-4/TG1

社内编号 4017 定价 25.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

前 言

本书是按煤炭工科中等专业学校教材规划的要求，在煤炭工业出版社 1982 年版中专“金属工艺学”基础上修定而成的。

本教材在内容处理上以课堂教学为主，适当概括了一些实习内容，便于灵活掌握，具有较强的适用性。各校可根据专业和学制的特点进行适当的调整和增删。同时注意到在讲授基础理论和基础知识时，通过实例进行分析、比较，培养学生的思维能力。每章后均附有一定数量的复习思考题，使学生进一步加深理解基本概念，巩固所学知识，培养独立思考、分析和解决问题的能力。

本书采用法定计量单位制，所有金属材料牌号均采用新的国家标准。

参加本书编写的有：鞠克栋（第一、二、四、五、六、九章），张炯法（第十一、十二、十三、十四章）；张振金（第三、七、八、十章）。全书由鞠克栋任主编，并负责最后统稿。

本书在编写过程中得到有关院校、工厂的指导和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，缺点和错误在所难免，恳切希望广大读者提出宝贵意见。

编 者

1994. 12

目 录

绪论	1
第一章 金属材料的机械性能	2
第一节 强度、塑性和拉伸试验	2
第二节 硬度及硬度试验	5
第三节 韧性及冲击试验	9
第四节 金属疲劳的概念	11
复习思考题	12
第二章 金属和合金的晶体结构	13
第一节 金属晶体的结构与结晶	13
第二节 合金的晶体结构	17
第三节 铁碳合金的基本组织	19
第四节 铁碳合金状态图	20
复习思考题	25
第三章 碳钢	26
第一节 碳钢的化学成分对钢性能的影响	26
第二节 碳钢的分类、牌号及用途	26
复习思考题	32
第四章 钢的热处理	33
第一节 概述	33
第二节 钢在加热时的组织转变	33
第三节 钢在冷却时的组织转变	35
第四节 钢的热处理方法	39
第五节 钢的表面热处理	46
第六节 热处理新工艺发展简介	51
复习思考题	52
第五章 合金钢	54
第一节 概述	54
第二节 合金钢的分类、牌号及用途	57
复习思考题	66
第六章 铸铁及铸钢	67
第一节 铸铁	67
第二节 铸钢	71
复习思考题	72
第七章 有色金属及其合金	73
第一节 铜及其合金	73

第二节 铝及其合金	77
第三节 滑动轴承合金	79
第四节 硬质合金	82
复习思考题	84
第八章 非金属材料	85
第一节 工程塑料	85
第二节 其它非金属材料	87
复习思考题	90
第九章 典型零件的材料选择及热处理	91
第一节 选择材料的一般原则及热处理工序的安排	91
第二节 典型零件材料的选择及热处理	93
复习思考题	96
第十章 铸造	97
第一节 砂型铸造	97
第二节 灰口铸铁的铸造性能及熔化	100
第三节 铸铁的浇注、铸件的落砂和清理	102
第四节 铸件结构工艺性	103
第五节 特种铸造	108
复习思考题	110
第十一章 金属压力加工	112
第一节 金属压力加工基本原理	112
第二节 锻造	115
第三节 板料冲压	123
复习思考题	125
第十二章 金属焊接	126
第一节 手工电弧焊	126
第二节 气焊与气割	133
第三节 其它焊接方法	137
第四节 焊接结构设计及工艺性原则	139
复习思考题	142
第十三章 金属切削加工	143
第一节 金属切削加工基本知识	143
第二节 金属切削机床基本知识	147
第三节 车削加工	152
第四节 铣削加工	160
第五节 其它切削加工方法	165
复习思考题	179
第十四章 钳工工艺基础	180
第一节 划线	180
第二节 錾削	183
第三节 锉削	185
第四节 锯割	186

第五节 攻丝和套扣	187
第六节 刮削	188
复习思考题	190
主要参考文献	191

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，是在生产实践中发展起来的。我国的金属工艺有着悠久的发展历史，早在原始社会末期人们已经开始使用简单的铜器。到商代和西周达到鼎盛时期，著名的司母戊大铜鼎是商代晚期器物，重达 875kg，它造型精美鼎外布有精巧花纹，是我国到目前为止出土的最大青铜器，也是现今世界上发现的最大青铜器。

春秋末期是我国冶铁技术开始兴起的时期，比欧洲早 1800 多年，战国时代铁器的使用已相当普遍，高明的制剑术说明那时已掌握了锻造和热处理等技术，当时铁制农具得到广泛的使用，促进了农业的飞跃发展。

1980 年在陕西临潼出土的秦铜车马，结构复杂由 3000 多零件组成，采用了铸、焊、凿、刻、锉、抛光及各种机械连接技术，制造工艺水平极高。

明末宋应星所著“天工开物”一书内载有冶铁、炼钢、铸钟、铸鼎、锻铁、淬火等各种金属加工方法，是公认的有关金属工艺最早的科学著作之一。

金属工艺学包括金属材料及金属冷、热加工工艺基础两部分。

金属材料及热处理部分是研究金属材料的成分、组织和性能之间的变化规律以及如何用热处理方法来改变金属材料的内部组织从而达到使用性能的要求。这部分主要内容有金属学理论知识、热处理基本原理、碳钢、合金钢、铸铁、铸钢、铜合金、铝合金、轴承合金及非金属材料等。

金属冷、热加工工艺基础部分：主要包括铸造、压力加工、焊接、切削加工及钳工工艺基础知识。因此，金属工艺学是一门综合性的实用科学。

金属工艺学是培养工程技术人材所必需的一门综合性的科学技术基础课。学习本课程的目的和任务是使学生掌握常用工程材料及金属冷、热加工的基础知识，为学习后续课程和今后从事生产技术工作打下必要的基础。

通过本课程的教学和实习应使学生达到以下要求：

- (1) 基本掌握常用工程材料及金属主要加工方法的基础知识；
- (2) 通过分析运用使学生初步具有选择材料、毛坯及加工工艺的能力；
- (3) 通过实验和实习使学生获得主要加工方法的工艺特点、有关设备、零件生产的工艺过程并掌握一定的基本操作技能。

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，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

机械零件在使用过程中都要受到各种不同形式的外力作用，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，就要求金属材料必须具有一定的机械性能。所谓机械性能，是指材料在外力（载荷）作用下，抵抗外力而不破坏的能力，又称力学性能，它主要包括强度、塑性、韧性、疲劳强度等。

第一节 强度、塑性和拉伸试验

一、强度

强度就是指金属材料在外力（载荷）作用下抵抗塑性变形和破坏的能力。金属材料的强度大小，可通过拉伸试验来测定。

1. 拉伸试验

拉伸试验是在拉伸试验机上进行的，被试验的材料要做成标准试样，常用标准试样断面为圆形，根据国家标准规定，标准试样分为长试样（ $l_0=10d_0$ ）和短试样（ $l_0=5d_0$ ），如图 1-1 所示。

图中 d_0 为试样直径（mm）， l_0 为计算长度（mm）， L 为试样长度（mm）。

试验时，将标准试样夹在拉伸试验机的两个卡头上，逐步加大拉力（其拉力大小可从试验机的刻度盘上读出），观察由于拉力作用试样所发生的变化，随着拉力不断增加，试样逐步伸长，并出现缩颈，直到试样被拉断为止。这个试验过程叫拉伸试验。

2. 拉伸曲线

在拉伸过程中，试样产生变形，将所加载荷与试样相应的伸长量记录下来，直到拉断为止。然后以试样伸长量为横坐标，载荷为纵坐标，绘制一条用来表示试样所受载荷与伸长量之间相互关系的曲线，此曲线称为拉伸曲线，如图 1-2 所示。

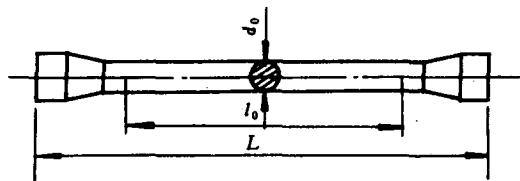


图 1-1 圆形标准拉伸试样

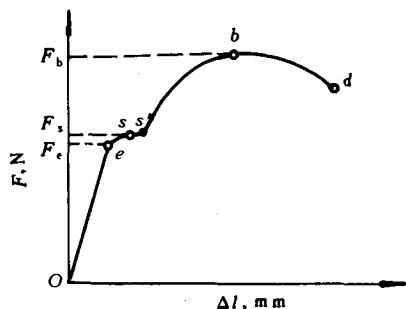


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

从图中可知，低碳钢的拉伸过程可分为五个阶段：

Oe——弹性变形阶段 当材料所受载荷从零增加到 F_e 时，材料在载荷作用下均匀伸长，即材料发生了变形，当载荷去除后变形随之消失，试样完全恢复到原来形状，没有残余变形，这种变形称为弹性变形。

es ——微量塑性变形阶段 继续增加载荷超过 F_e 后, 试样进一步发生变形, 此时若去掉载荷, 弹性变形消失, 而有另一部分变形不能消失, 即试样不能恢复到原来的形状和尺寸, 这种不能恢复的变形称为塑性变形或永久变形。

ss' ——屈服阶段 当载荷增加到 F_s 时, 图上出现一水平线段, 表示载荷不增加或增加很少, 甚至略有下降的情况下, 试样继续伸长, 这种现象称为屈服现象, F_s 称屈服载荷, s 点叫屈服点。

$s'b$ ——大量塑性变形阶段 当载荷超过 F_s 后, 试样开始大量塑性变形, 载荷增加量虽不大, 但变形量却很大直到 b 点, 载荷 F_b 为最大载荷, 在 b 点以前的变形, 基本上是沿着试样标距上均匀发生的。

bd ——缩颈阶段 当载荷达到 b 点时, 变形开始集中到试样最薄弱的部分, 试样明显地出现局部直径变细的现象, 称为缩颈现象。由于截面减小, 对载荷的抵抗力下降, 所以虽然载荷减小, 但缩颈处的实际应力仍然是不断增加的, 因此伸长量继续增加, 直至 d 点断裂。

由图可知, b 点载荷 F_b 最大, 故 F_b 叫做强度极限载荷。

在作拉伸试验时, 并非所有的金属材料都具有这五个阶段, 如铸铁等脆性材料, 在拉伸之前就没有明显的塑性变形阶段。

3. 强度计算

根据拉伸试验时获得的三种载荷 (F_e 、 F_s 、 F_b), 可分别计算出金属材料相应的强度指标。

金属材料的强度用应力表示。所谓应力, 就是当金属材料受到载荷作用时, 在材料内部产生与载荷大小相等的抵抗力, 而单位面积上的抵抗力称为应力, 其计算公式为

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

式中 σ —— 应力, MPa;

F —— 载荷, N;

A —— 试样横截面积, mm^2 。

常用的强度指标是屈服强度和抗拉强度。

1) 屈服强度及其计算

屈服强度 (又叫屈服极限) 就是试样受到屈服载荷作用时所产生的应力。其计算公式如下:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中 σ_s —— 屈服强度, MPa;

F_s —— 屈服载荷, N;

A_0 —— 试样拉伸前横截面积, mm^2 。

由于许多材料 (如铸铁、铜和铝) 没有明显的屈服现象, 工程上规定拉伸时试样产生相对变形量为 0.2% 时, 它所对应的载荷 $F_{0.2}$ 所产生的应力作为条件屈服强度, 并用 $\sigma_{0.2}$ 来表示。其计算公式如下:

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{A_0}$$

式中 $\sigma_{0.2}$ ——条件屈服强度, MPa;

$F_{0.2}$ ——试样产生 0.2% 相对塑性变形时的载荷, N;

A_0 ——试样拉伸前横截面积, mm^2 。

屈服强度是设计某些不允许产生塑性变形零件时的重要依据, 例如, 在设计汽车、拖拉机汽缸盖螺栓时就是以屈服强度作为选材的依据, 为了保证汽缸的密封性, 缸盖螺栓不允许产生塑性变形。

2) 抗拉强度及其计算

抗拉强度 (又叫强度极限) 是试样拉断前所能承受的最大载荷时产生的应力或材料能承受的最大应力。其计算公式如下:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中 σ_b ——强度极限, MPa;

F_b ——试样承受的最大载荷, N;

A_0 ——试样拉伸前的横截面积, mm^2 。

σ_b 愈大, 表示金属材料强度愈高。

σ_b 和 σ_s ($\sigma_{0.2}$) 都是金属材料的强度指标, 也是一般的机器零件设计和选材的重要依据, 常用金属材料强度指标的具体数值, 可从有关手册中查到。对于钢材, 我们可以从强度值得知屈服极限的近似值。

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

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

金属材料的强度提高, 零件或结构件的断面积就可能减小, 重量减轻, 或在较大载荷作用下不致发生塑性变形或破坏, 增加使用的可靠性。

二、塑性

塑性就是材料在外力作用下产生永久变形而不破坏的能力。

材料的塑性指标用伸长率和断面收缩率来表示, 它们都是通过拉伸试验测得的。

1. 伸长率 (又叫延伸率)

伸长率是指试样被拉断后, 单位长度的伸长量。通常用百分数来表示。

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

式中 δ ——试样的伸长率;

L_1 ——试样被拉断后的计算长度, mm;

L_0 ——试样原来的计算长度, mm。

用长、短两种试样求得的伸长率分别用 δ_{10} 和 δ_5 表示, 习惯上 δ_{10} 常用 δ 表示。对于同一种材料 $\delta_5 > \delta_{10}$; 对于不同的材料, 只有采用相同长度的试样, 试验测得的数值, 才能进行相互比较。

2. 断面收缩率

所谓断面收缩率, 是指试样被拉断后, 单位横截面积的缩小量。也用百分数表示。

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

式中 Ψ ——断面收缩率；

A_0 ——试样原始横截面积， mm^2 ；

A_1 ——试样断裂处的横截面积， mm^2 。

一般说来，金属材料的 δ 和 ψ 愈大，其塑性愈好。如纯铁的 δ 可达 50%，而生铁的 $\delta < 1\%$ ，故纯铁的塑性比生铁的塑性好得多。

塑性也是金属材料机械性能的重要指标，塑性好的材料可进行冲压等冷塑性变形加工，同时也可避免在工作过程中因超载而突然断裂，增加了零件使用的安全可靠性的。

第二节 硬度及硬度试验

硬度是指材料抵抗比它更硬的物体压入自身表面的能力。

硬度是金属材料常用的重要指标，它对机器零件，尤其是刀具、量具、模具等的质量有很大影响。硬度值愈大，其耐磨性就愈好。许多机器零件，根据工作条件的不同，要求硬度值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、模具和机器零件的一项重要指标。

金属材料的硬度值是通过硬度试验来测定的，硬度试验是金属材料机械性能试验中最简单、最广泛应用的一种。它无需要专门试样，又不破坏金属，试验方法简单、迅速、常用的硬度试验方法有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。

一、布氏硬度

1. 试验原理

如图 1-3 所示。将一个直径大小一定的淬火钢球（或硬质合金球），在一定载荷作用下，压入被测金属表面，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载荷大小来表示硬度值。布氏硬度值用符号 HB 表示，单位 N/mm^2 。

$$\text{HB} = \frac{F}{A}$$

式中 F ——所加载荷，N；

A ——压坑表面积， mm^2 。

公式中压坑表面积 $A = \pi Dh$ (h 为压坑深度)，由于 h 测量比较困难，而测量压坑直径 d 比较方便，因此将 h 换算成 d 的关系。从图 1-4 直角三角形 Oab 的关系中可求出

$$h = \frac{D}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - d^2}$$

因此

$$\text{HB} = \frac{0.204F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

国标 (GB 231—84《金属硬度试验法》) 规定，布氏硬度值在 450 以下用淬火钢球压头测定，硬度值以 HBS 表示；当布氏硬度值为 450 以上时 (含 450)，选用硬质合金压头，以 HBW 表示。

从公式中看出，如果所加载荷 F 和钢球直径一定时，硬度值只与压坑直径 d 有关，即 d 越大，布氏硬度值愈小，材料愈软；反之， d 越小，硬度值愈大，材料愈硬。实用中，布氏硬度值不需计算，而是先测出压坑直径 d ，然后用专门的硬度表查得相应的布氏硬度值。见表 1-1。

布氏硬度试验时，钢球直径 D 和载荷 F 是根据被测金属的种类、性质和厚度的不同而

按有关标准规定来选择的, 常用硬度试验标准见表 1-2。

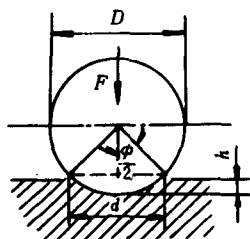


图 1-3 布氏硬度原理简图

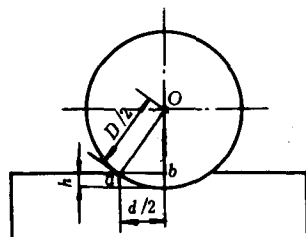


图 1-4 压坑深度与压坑直径的关系

表 1-1 压痕直径与布氏硬度对照表

压坑直径 mm	HBS (W) D=10mm F=29.42kN	压坑直径 mm	HBS (W) D=10mm F=29.42kN	压坑直径 mm	HBS (W) D=10mm F=29.42kN
2.50	601	3.34	333	3.90	241
2.55	578	3.36	329	3.92	239
2.60	555	3.38	325	3.94	236
2.65	534	3.40	321	3.96	234
2.70	514	3.42	317	3.98	231
2.75	495	3.44	313	4.00	229
2.80	477	3.46	309	4.02	226
2.85	461	3.48	306	4.04	224
2.90	444	3.50	302	4.06	222
2.95	429	3.52	298	4.08	219
3.00	415	3.54	295	4.10	217
3.02	409	3.56	292	4.12	215
3.04	404	3.58	288	4.14	213
3.06	398	3.60	285	4.16	211
3.08	393	3.62	282	4.18	209
3.10	388	3.64	278	4.20	207
3.12	383	3.68	272	4.22	204
3.14	378	3.70	269	4.24	202
3.16	373	3.72	266	4.26	200
3.18	368	3.74	263	4.28	198
3.20	363	3.76	260	4.30	197
3.22	359	3.78	257	4.32	195
3.24	354	3.80	255	4.34	193
3.26	350	3.82	252	4.36	191
3.28	345	3.84	249	4.38	189
3.30	341	3.86	246	4.40	187
3.32	337	3.88	244	4.42	185

续表

压坑直径 mm	HBS (W) $D=10\text{mm}$ $F=29.42\text{kN}$	压坑直径 mm	HBS (W) $D=10\text{mm}$ $F=29.42\text{kN}$	压坑直径 mm	HBS (W) $D=10\text{mm}$ $F=29.42\text{kN}$
4.44	184	4.78	157	5.25	128
4.46	182	4.80	156	5.30	126
4.48	180	4.82	154	5.35	123
4.50	179	4.84	153	5.40	121
4.52	177	4.86	152	5.45	118
4.56	174	4.88	150	5.50	116
4.58	172	4.90	149	5.55	114
4.60	170	4.92	148	5.60	111
4.62	169	4.94	146	5.65	109
4.64	167	4.96	145	5.70	107
4.66	166	4.98	144	5.75	105
4.68	164	5.00	143	5.80	103
4.70	163	5.05	140	5.85	101
4.72	161	5.10	137	5.90	99.2
4.74	160	5.15	134	5.95	97.3
4.76	158	5.20	131	6.00	95.5

表 1-2 布氏硬度试验标准

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 的相互 关 系	钢球直径 D , mm	载 荷 P 10N	载荷保持 时 间 s
黑色金属	140~450	6~3	$P=30D^2$	10.0	3000	10
		4~2		5.0	750	
		<2		2.5	187.5	
有色金属	<140	>6	$P=10D^2$	10.0	1000	10
		6~3		5.0	250	
		<3		2.5	62.5	
	>130	6~3	$P=30D^2$	10.0	3000	30
		4~2		5.0	750	
		<2		2.5	187.5	
	36~130	9~3	$P=10D^2$	10.0	1000	30
		6~3		5.0	250	
		<3		2.5	62.5	
	8~35	>6	$P=2.5D^2$	10.0	250	30
		6~3		5.0	62.5	
		<3		2.5	15.5	

2. 布氏硬度的优、缺点及应用

布氏硬度试验因压坑大,被试件表面质量和组织不均匀性影响小,因此实验结果准确。同时,布氏硬度值与抗拉强度有一定的关系,可按布氏硬度值近似确定抗拉强度值。

高碳钢 $\sigma_b \approx 3.4\text{HBS}$; 低碳钢 $\sigma_b \approx 3.6\text{HBS}$; 调质合金钢 $\sigma_b \approx 3.25\text{HBS}$ 。

但是,布氏硬度不宜测定硬度太高、厚度太薄或表面不允许有较大压坑的材料。主要用来测定铸铁、有色金属及退火钢等原材料及半成品。

二、洛氏硬度

当被测物体硬度较高时(如淬火钢),用布氏硬度测得的数据不准确,可用洛氏硬度试验机来测定。

1. 洛氏硬度基本原理

用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或淬火钢球,在一定压力下,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 0.002mm 为一个硬度单位。洛氏硬度试验的过程见图 1-5。

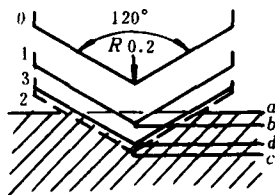


图 1-5 洛氏硬度试验原理简图

2. 试验步骤

(1) 加预负荷 100N , 使压头紧紧接触试件表面, 减少测量误差, 此时变形为 ab 。

(2) 加主负荷 1400N (或 900N 、 500N), 使材料产生弹性变形和塑性变形, 此时变形为 bc 。而硬度实际上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, 应将主负荷去掉, 使材料弹性变形恢复, 压头退至 d 点。

(3) 卸除主负荷, 测量压坑塑性变形深度 bd (实际上是从硬度机的表盘上直接读出硬度值)。

(4) 卸除预负荷, 取下试样。

由洛氏试验机原理可知, 材料愈软, 压坑深度 bd 愈大, 硬度值 $\frac{bd}{0.002}$ 也愈大, 不符合习惯说法, 为避免错觉, 我们把最硬的材料作为 100 和它比较, 用 $100 - \frac{bd}{0.002}$ 作为硬度值, 这样就符合了材料愈硬, 硬度值愈大的习惯说法。

实际上, 压坑深度无需测量, 洛氏硬度值也无需计算, 而是由洛氏硬度试验机上的刻度盘直接读出。洛氏硬度值没有单位。

3. 洛氏硬度的种类

根据试验时所用压印器及所加载荷不同, 洛氏硬度常用有三种, 见表 1-3。

4. 洛氏硬度的优、缺点及应用

优点: 操作简单、迅速、测量范围大、压坑小、可直接测成品。

缺点: 对组织不均匀的材料测量出的硬度值不准确, 一般测三点取其中间值。

应用: 广泛用来测量工具和成品的硬度, 其中, HRC 应用最为广泛, 主要用来测定淬火钢。

布氏硬度和洛氏硬度虽然是两种不同的测量方法, 但在数值上仍存在着一定的关系, 当 $220 \sim 500\text{HBS}$ 时, 其关系大致如下:

表 1-3 洛氏硬度的试验标准

符 号	压 头	负 荷, N		硬 度 值 有效范围	使 用 范 围
		初负荷	主负荷		
HRA	120° 金刚石圆锥	100	500	>70	适用于测量硬质合金, 表面淬 火层, 渗碳层
HRB	1/16"钢球	100	900	25~100	适用于测量有色金属, 退火及 正火钢
HRC	120° 金刚石圆锥	100	1400	20~67	适用于测量调质钢、淬火钢

$$HRC \approx \frac{1}{10} HBS$$

硬度试验除上述两种方法外, 还有维氏硬度 (硬度符号 HV)、显微硬度 (硬度符号 HM), 肖氏硬度 (符号 HS) 等多种方法。常用的有布、洛、维硬度试验机可测多种硬度。

第三节 韧性及冲击试验

前面介绍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, 经常看到许多机器和工具是在冲击载荷 (突然作用的外力) 作用下工作的。如大锤、扁铲、风镐钎子在工作时, 都受到冲击载荷。这就要求材料必须具备一定的抵抗冲击载荷作用的能力, 即具有一定的韧性。

一、韧性

韧性就是材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力。韧性用单位面积上所消耗的功 (又叫冲击值) 表示, 其符号为 a_K 。材料冲击值大小用冲击试验来测定。

二、冲击试验

1. 大能量一次冲击试验

大能量一次冲击试验是在摆锤式冲击试验机上进行的。如图 1-6 所示。把被试验的材料做成标准试样, 见图 1-7 所示。

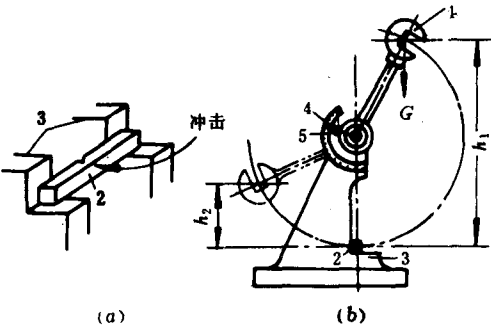


图 1-6 摆锤式冲击试验示意图

1—摆锤; 2—标准试样;
3—支承, 4—指针; 5—刻度

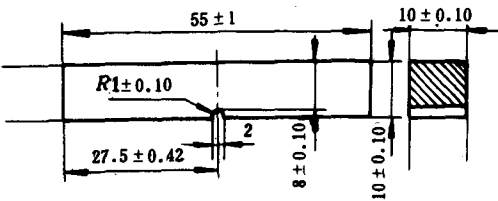


图 1-7 冲击试验标准试样

试验时,把标准试样 2 放在试验机的支承 3 上,试样的缺口背向摆锤的冲击方向,将重量为 G 的摆锤 1 安放到规定高度 h_1 (见图 1-6b),然后下落,将试样打断,并摆过支点升高到某一高度 h_2 ,摆锤打断试样所消耗的冲击功为:

$$A_K = G(h_1 - h_2)$$

实际上冲击功 A_K 的数值可由试验机的指针 4 直接在刻度盘 5 上指示,而不需要计算。材料的韧性用冲断试样缺口处单位面积上所消耗的功(即冲击值 a_K)来表示。

$$a_K = \frac{A_K}{A}$$

式中 A_K ——冲断试样所消耗的功, J;

A ——试样缺口处横截面积, cm^2 。

冲击值 a_K 愈大,表示材料的韧性愈好。

冲击值 a_K 与试验温度有关,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,对处在低温或严寒地区工作的工程结构及机器零件,为确保安全可靠,设计时应特别注意材料脆性转变温度。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,可在不同温度下测定冲击值 a_K ,然后将试验结果绘成曲线,如图 1-8 所示。

由图可见, a_K 值随温度的下降而减小,在某一温度范围时, a_K 值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”。脆性转变温度范围愈低,材料的低温抗冲击性能愈好。

2. 小能量多次冲击试验

上述冲击值 a_K 是大能量一次冲断标准试样所得的数据,但在实际生产中,机器零件很少受到这样大能量的冲击破坏,一般是在多次小能量重复冲击后而破坏的。在这种情况下,用 a_K 值衡量材料抵抗冲击能力是不确切的,而应进行小能量多次冲击试验测定其多冲抗力。

图 1-9 是一种多冲弯曲试验示意图,将材料制成专门的多冲缺口试样 1 放在多冲试验机上,使之受到锤头 2 的小能量 ($<15\text{J}$) 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断裂的冲击次数,作为多次冲击抗力指标。

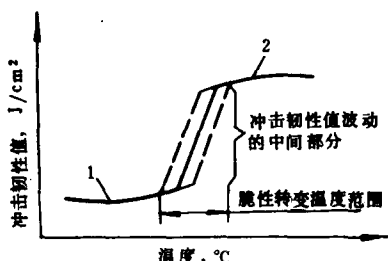


图 1-8 温度对冲击值的影响

1—低冲击韧性值部分; 2—高冲击韧性值部分

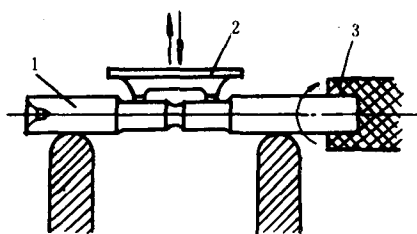


图 1-9 多次冲击试验示意图

1—多冲缺口试样; 2—试验机锤头; 3—橡皮

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时,其冲击抗力主要取决于冲击值 a_K ,但在多次小能量冲击条件下,对低、中强度钢 ($\sigma_b < 1000\text{MPa}$) 的

零件，其多冲抗力主要取决于材料的强度，而不要求高的塑性、韧性值。例如，模锻锤的锤杆，按传统习惯认为，凡受冲击载荷的零件 a_K 值愈高愈好，为了追求高的 a_K 值(达130J/cm²)，不惜降低强度、硬度指标，以为可以提高使用寿命，但实践证明，其寿命很短。现根据多冲抗力观点，改变热处理工艺，提高强度、硬度(45HRC左右)，虽然 a_K 降低(40J/cm²)，但使用寿命却大为提高。

第四节 金属疲劳的概念

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。

在交变应力作用下，金属在远低于其抗拉强度（ σ_b ），甚至低于屈服强度（ σ_s ）的情况下，经长时间的工作而发生断裂的现象叫做金属的疲劳。

疲劳断裂时不发生明显的塑性变形，断裂是突然发生的，常常造成灾难性的事故。因此，机器零件在使用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，金属在无数次交变载荷作用下而不破坏的最大应力称为金属的疲劳极限，用 σ_{-1} 表示。

实验证明，一般钢铁材料所受交变应力 σ 与其断裂前的应力循环次数 N 有如图1—10所示的曲线关系，该曲线称为疲劳曲线。

由图可知，金属材料承受的交变应力 σ 愈大，则断裂时应力循环次数 N 愈小，反之， σ 愈小，则 N 愈大。

当应力 σ 低于某一值时，应力交变到无数次也不会发生疲劳断裂，此应力即为该金属材料的疲劳极限 σ_{-1} ，也就是曲线水平部所对应的应力。对钢来说，当 N 达到 10^7 周次时，曲线便出现水平线，所以，把经受 10^7 周次循环交变应力而不破坏的最大应力定为该种钢材的疲劳极限。

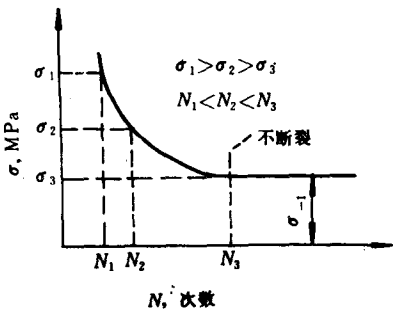


图 1—10 疲劳曲线

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

为了熟悉和比较各种机械性能的符号、名称及含义，现归纳如表1—4所示。

表 1—4 常用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	抗拉强度 (强度极限)	MPa	金属拉断前的最大载荷所对应的应力，代表金属抵抗最大均匀塑性变形或断裂的能力
	σ_s	屈服点 (屈服极限)	MPa	金属屈服载荷所对应的应力，是对微量塑性变形的抵抗能力。当应力达到 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 (条件屈服点)	MPa	塑性变形量达到0.2%时的应力，它标志材料对微量塑性变形的抵抗能力