



高职高专“十二五”规划教材

金属材料及热处理

主编 丁 晖
主审 夏 华



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



配有课件



高职高专“十二五”规划教材

金属材料及热处理

主编 丁 晖
主审 夏 华

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

基于高职高专发展的新形势以及工学结合的课程改革需要,为了强化学生应用性和拓展性知识,编写本书。全书共八个项目。内容包括:金属的性能,金属的晶体结构与结晶,钢的热处理,金属的塑性变形与再结晶,钢,铸铁,有色金属及粉末冶金材料,工程材料的选择等。

本书可供高职高专相关专业师生使用和参考,也可作为相关领域工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料及热处理 / 丁晖主编. -- 北京:北京航空航天大学出版社,2012.8

ISBN 978-7-5124-0831-9

I. ①金… II. ①丁… III. ①金属材料②热处理
IV. ①TG14②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 114688 号

版权所有,侵权必究。

金属材料及热处理

主 编 丁 晖

主 审 夏 华

责任编辑 李宗华 李开先

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:books_xbs@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 11.5 字数:294 千字

2012 年 8 月第 1 版, 2012 年 8 月第 1 次印刷 印数:3000 册

ISBN 978-7-5124-0831-9 定价:24.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

目前高等职业教育按照“工学结合”的人才培养模式,力求达到课程建设与职业需求有效地接轨。本着高职教育面向生产第一线需要的高技能人才培养目标的需求,本书突出了教学过程的实践性、职业性,强化学生能力的培养。

全书共分八个项目:金属的性能,金属的晶体结构与结晶,钢的热处理,金属的塑性变形与再结晶,钢,铸铁,有色金属及粉末冶金材料,工程材料的选择。课程内容涉及两部分:概念、原理性知识;应用性知识。教材本着职业教育的特点:强化应用性知识,旨在重点培养学生理解问题、解决问题的能力;另外通过教材中的任务拓展部分,培养学生的可持续发展能力,从而增强学生适应社会的能力。

本教材编审人员及分工:

主编:四川航天职业技术学院丁晖对全书统稿并编写第一、二项目。

副主编:李文兵编写第四、七项目。

参编人员:姚明傲编写第五项目,张伟编写第六、八项目,赵洪汐编写第三项目。

主审:夏华副教授。

本书在编写过程中参考了大量的文献资料,在此向原作者表示衷心的感谢。

由于编者知识水平有限,编写时间短促,疏漏和错误之处恳请读者批评指正。

编 者

2012年7月

目 录

项目一 金属的性能	1
任务1 金属的力学性能	2
1.1.1 强度与塑性	2
1.1.2 硬 度	5
1.1.3 冲击韧性	8
1.1.4 疲劳强度	10
任务2 金属的物理化学性能	11
1.2.1 金属的物理性能	12
1.2.2 金属的化学性能	14
任务3 金属的工艺性能	14
1.3.1 铸造性能	15
1.3.2 锻造性能	15
1.3.3 焊接性能	15
1.3.4 切削加工性能	15
习题与思考题	16
项目二 金属的晶体结构与结晶	18
任务1 纯金属与合金的晶体结构	18
2.1.1 纯金属的晶体结构	19
2.1.2 合金的晶体结构	23
任务2 金属的结晶	25
2.2.1 纯金属的结晶	26
2.2.2 合金的结晶	28
任务3 铁碳合金相图	30
2.3.1 铁碳合金的基本相	30
2.3.2 铁碳合金相图的分析	32
2.3.3 铁碳合金的成分、组织和性能的关系	35
2.3.4 铁碳合金相图的应用	35
习题与思考题	38
项目三 钢的热处理	40
任务1 热处理的基本原理	40
3.1.1 钢在加热时的组织转变	41
3.1.2 钢在冷却时的组织转变	42
任务2 钢的热处理工艺	50
3.2.1 钢的退火	51
	1

3.2.2 钢的正火	52
3.2.3 钢的淬火和回火	52
3.2.4 钢的表面淬火与化学热处理	57
任务3 零件的热处理分析	62
3.3.1 热处理的技术条件	63
3.3.2 热处理的工序位置	64
习题与思考题	66
项目四 金属的塑性变形与再结晶	69
任务1 金属的塑性变形	69
4.1.1 单晶体的塑性变形	69
4.1.2 多晶体的塑性变形	72
任务2 金属的冷塑性变形	73
4.2.1 冷塑性变形对金属组织和性能的影响	73
4.2.2 回复与再结晶	75
任务3 金属的热塑性变形	77
4.3.1 热加工与冷加工的区别	78
4.3.2 热加工对金属组织和性能的影响	78
习题与思考题	80
项目五 钢	82
任务1 结构钢	82
5.1.1 杂质元素和合金元素在钢中的主要作用	82
5.1.2 碳素结构钢	88
5.1.3 合金结构钢	93
任务2 工具钢	105
5.2.1 刃具钢	105
5.2.2 量具用钢	110
5.2.3 模具钢	111
任务3 特殊性能钢	114
5.3.1 不锈钢	114
5.3.2 耐热钢	115
习题与思考题	118
项目六 铸 铁	122
任务1 灰铸铁	122
6.1.1 铸铁的石墨化	123
6.1.2 灰铸铁	125
任务2 其他铸铁	128
6.2.1 球墨铸铁	128
6.2.2 蠕墨铸铁	131
6.2.3 可锻铸铁	132

6.2.4 合金铸铁	133
习题与思考题	135
项目七 有色金属及粉末冶金材料	137
任务1 铝及铝合金	137
7.1.1 工业纯铝	138
7.1.2 铝合金	138
任务2 铜及铜合金	143
7.2.1 工业纯铜	144
7.2.2 铜合金	144
任务3 钛及钛合金	148
7.3.1 工业纯钛	149
7.3.2 钛合金	149
任务4 滑动轴承合金	150
7.4.1 锡基轴承合金	150
7.4.2 铅基轴承合金	151
7.4.3 铝基轴承合金	152
7.4.4 铜基轴承合金	153
7.4.5 锌基轴承合金	153
任务5 粉末冶金材料	154
7.5.1 硬质合金	154
7.5.2 粉末冶金减摩材料(即含油轴承)	156
7.5.3 粉末冶金结构材料	156
7.5.4 粉末冶金摩擦材料	157
习题与思考题	158
项目八 工程材料的选择	160
任务1 机械零件的失效和零件材料的选择	160
8.1.1 零件的失效	160
8.1.2 零件材料的选择	161
任务2 齿轮类零件的选材	165
8.2.1 齿轮的工作条件及失效形式	165
8.2.2 常用齿轮材料	166
8.2.3 齿轮选材示例	167
任务3 轴类零件选材	169
8.3.1 轴类零件工作条件、失效形式及常用轴类零件材料	169
8.3.2 轴类零件选材示例	170
习题与思考题	172
参考文献	173

项目一 金属的性能

项目要求：

1912 年 4 月 12 日是个悲惨的日子——这一天，英国豪华客轮泰坦尼克号在驶往北美洲处女航中不幸沉没。这次沉船事件致使 1523 人丧生，是人类航海史上最大的灾难，震惊世界。多年来，泰坦尼克号沉没的真正原因，一直是人们探索的焦点。

经过科学家调查发现，泰坦尼克号沉没的原因是：

① 连接船体各部分的固定铆钉，竟然是用掺有矿渣的劣质金属制成的。制造铆钉使用的钢铁质地极其不纯，其中的矿渣含量竟然超过了标准钢材的 2 倍。根据冶金学理论，这种过量的不纯物质使得铆钉在剧烈的撞击过程中很容易发生断裂。

② 造船工程师只考虑到要增加钢板的硬度，而没有想到增强其韧性。为了增加钢板的硬度，往炼钢炉料中加入了大量的硫化物，导致钢材在低温下的脆性大大增加。经实验，从海底打捞出来的钢材在当时的水温下，在受到可能强度的撞击下，很快断裂，而拿当今用于造船的钢板在同样的温度和撞击强度下进行对比实验，结果钢板只是变成 V 型而不断裂，如图 1-1 所示。

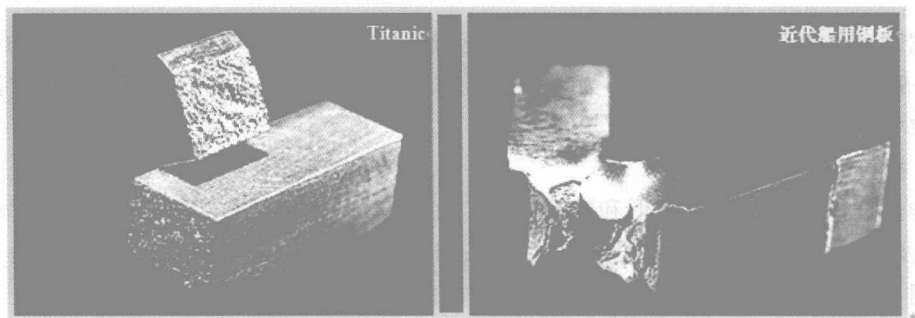


图 1-1 钢板断裂对比图

综上所述，这次灾难的主要原因是材料的性能无法满足要求。由此可见，在机械生产上根据材料性能合理选材是多么重要。

金属材料性能包括使用性能和工艺性能，使用性能是指金属材料在使用过程中所表现出来的性能，主要有力学性能、物理性能和化学性能；工艺性能是指金属材料在各种加工过程中所表现出来的性能，主要有铸造、锻造、焊接、热处理和切削加工等性能。

项目解析：

在机械加工实际中，不同金属材料的机械零部件表现出不同的力学性能和物理、化学性能，金属材料要易于加工成形状各异的零部件又必须具备良好的工艺性能。本项目将从金属的力学性能、金属的物理和化学性能、金属的工艺性能 3 方面讲解金属所具有的性能。

任务 1 金属的力学性能

任务引导：

在机械制造业中,大多数机械零件或构件都是用金属材料制成的,并在不同的载荷与环境条件下服役。金属材料的力学性能是指金属在不同环境因素下,承受外加载荷作用时所表现的行为(通常表现为金属的变形和断裂),即金属抵抗外加载荷引起的变形和断裂的能力。从零件的服役条件和失效分析出发,找出各种失效抗力指标,就是零件应具备的力学性能指标。

当外加载荷的性质、环境的温度与介质等外在因素不同时,对金属材料要求的力学性能也将不同。常用的力学性能有:强度、塑性、刚度、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

相关知识：

1.1.1 强度与塑性

材料在外力的作用下将发生形状和尺寸变化,称为变形。外力去除后能够恢复的变形称为弹性变形。外力去除后不能恢复的变形称为塑性变形。

1. 强 度

金属在静载荷作用下,抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度。强度的大小通常用应力来表示。

根据载荷作用方式不同,强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度 5 种。一般情况下多以抗拉强度作为判别金属强度高低的指标。抗拉强度是通过常温静载条件下的拉伸试验测定的。

(1) 拉伸试验

拉伸试样的形状一般有圆形和矩形两类。在国家标准(GB/T 228—1987)中,对试样的形状、尺寸及加工要求均有明确的规定。目前采用的是新标准(GB/T 228—2002),由于旧标准仍然沿用,为叙述方便本教材采用旧标准。新、旧标准名词和符号对照见表 1-1。

表 1-1 金属材料强度与塑性的新、旧标准名词和符号对照

GB/T 228—2002 新标准		GB/T 228—1987 旧标准	
名 词	符 号	名 词	符 号
断面收缩率	Z	断面收缩率	ψ
断后伸长率	A 和 $A_{11.3}$	断后伸长率	δ_5 和 δ_{10}
屈服强度	—	屈服点	σ_s
上屈服强度	R_{eH}	上屈服点	σ_{su}
下屈服强度	R_{eL}	下屈服点	σ_{sl}
规定残余伸长强度	R_r , 如 $R_{r0.2}$	规定残余伸长应力	σ_r , 如 $\sigma_{r0.2}$
抗拉强度	R_m	抗拉强度	σ_b
弹性极限	R_e	弹性极限	σ_e

图 1-2 所示为圆形试样。

图中 d_0 是试样的直径, l_0 为标距的长度。根据标距长度与直径的关系, 试样可分为长试样 ($l_0 = 10d_0$) 和短试样 ($l_0 = 5d_0$) 两种。

(2) 力-伸长曲线

拉伸试验中得出的拉伸力与伸长量的关系曲线叫做力-伸长曲线, 也称为拉伸曲线。图 1-3 是低碳钢的拉伸曲线图, 图中纵坐标表示力 F , 单位为 N(牛顿); 横坐标表示伸长量 ΔL , 单位为 mm(毫米)。图中明显地表现出下面几个变形阶段。

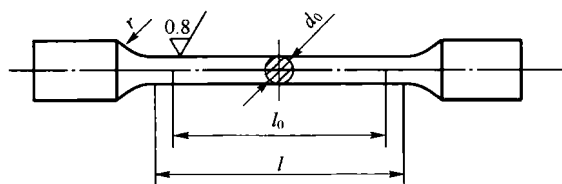


图 1-2 圆形试样

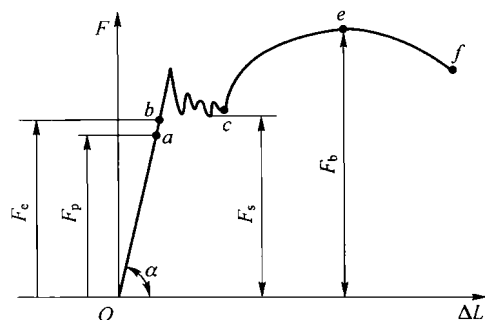


图 1-3 低碳钢的力-伸长曲线

① oa ——弹性变形阶段 试样变形完全是弹性的, 此时若卸载, 试样即恢复原样。这种随载荷的存在而产生、随载荷的去除而消失的变形为弹性变形, F_e 为试样能恢复到原始形状和尺寸的最大拉伸力。

② bc ——屈服阶段 当载荷超过 F_e 再卸载时, 试样的伸长只能部分地恢复, 而保留一部分残余变形。这种不能随载荷的去除而消失的变形称为塑性变形。当载荷增加到 F_s 时, 图上出现平台或锯齿状, 这种在载荷不增加或略有减小的情况下, 试样还继续伸长的现象叫做屈服。 F_s 称为屈服载荷。屈服后, 材料开始出现明显的塑性变形。

③ ce ——强化阶段 在屈服阶段以后, 欲使试样继续伸长, 必须不断加载。随着塑性变形增大, 试样变形抗力也逐渐增加, 这种现象称为形变强化(或称加工硬化), 此阶段试样的变形是均匀的。 F_b 为试样拉伸时的最大载荷。

④ ef ——缩颈阶段(局部塑性变形阶段) 当载荷达到最大值 F_b 后, 试样的直径发生局部收缩, 称为“缩颈”。由于试样缩颈处横截面积的减小, 试样变形所需的载荷也随之降低, 这时伸长主要集中于缩颈部位, 直至断裂。

为了消除试样尺寸对实验结果的影响, 将力-伸长曲线处理为应力-应变曲线如图 1-4 所示。

工程上使用的金属材料, 多数没有明显的屈服现象。有些脆性材料, 不仅没有屈服现象, 而且也不产生“缩颈”, 如铸铁等。图 1-5 为铸铁的应力-应变曲线。

(3) 强度判据

① 弹性极限 材料产生完全弹性变形时所能承受的最大应力, 用符号 σ_e 表示, 单位 MPa。计算公式如下:

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0}$$

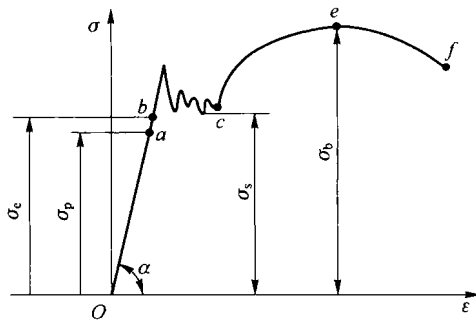


图 1-4 低碳钢的应力-应变曲线

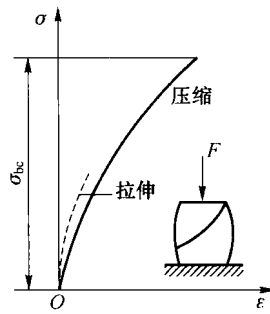


图 1-5 铸铁的 σ - ϵ 曲线

式中 F_e ——试样产生完全弹性变形时的最大拉伸力, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

② 屈服点 在拉伸试验过程中, 载荷不增加, 试样仍继续伸长时的应力称为屈服点, 用符号 σ_s 表示, 单位 MPa。计算公式如下:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中 F_s ——试样屈服时的载荷;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

③ 抗拉强度 材料在拉断前所能承受的最大应力, 用符号 σ_b 表示, 单位 MPa。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中 F_b ——试样拉断前承受的最大载荷, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

2. 塑 性

塑性是金属材料在断裂前产生塑性变形的能力。常用指标有断后伸长率和断面收缩率。

(1) 断后伸长率

断后伸长率是指材料被拉断后, 标距的伸长量与原始标距的百分比, 用符号 δ 表示:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0}$$

式中 l_0 ——试样原始标距长度, mm;

l_k ——试样被拉断后的标距长度, mm。

必须说明, 同一材料的试样长短不同, 测得的伸长率是不同的。长短试样的伸长率分别用符号 δ_{10} 和 δ_5 表示, 习惯上 δ_{10} 也常写成 δ 。

(2) 断面收缩率

断面收缩率是指材料被拉断后, 缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比, 用符号 ψ 表示:

$$\psi = \frac{S_0 - S_K}{S_0}$$

式中 S_K ——试样被拉断处的横截面积, mm^2 。

1.1.2 硬 度

材料抵抗局部塑性变形、压痕或划痕的能力称为硬度。

硬度是各种零件和工具必须具备的性能指标。机械制造业所用的刀具、量具、模具等,都应具备足够的硬度,才能保证使用性能和寿命。有些机械零件如齿轮等,也要求有一定的硬度,以保证足够的耐磨性和使用寿命。

硬度值又可以间接地反映金属的强度及金属在化学成分、金相组织和热处理工艺上的差异,而与拉伸试验相比,硬度试验简单易行,因而硬度试验应用十分广泛,硬度是金属材料重要的力学性能之一。

硬度试验方法较多,常用的试验方法有以下几种:

1. 布氏硬度

(1) 试验原理

使用一定直径的球体(淬火钢球或硬质合金钢球),以规定的试验力压入试验表面,经规定的保持时间后卸除试验力,然后用测量表面压痕直径来计算硬度,如图 1-6 所示。

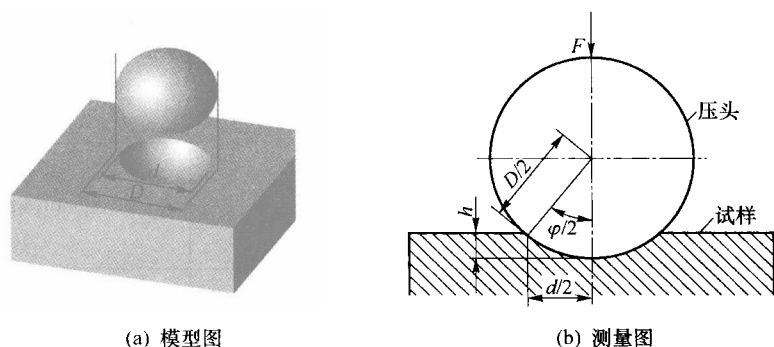


图 1-6 布氏硬度试验原理图

布氏硬度值是用球面压痕单位表面积上所承受的平均压力来表示的。布氏硬度值按下式计算:

$$\text{HBS}(\text{HBW}) = \frac{F}{S} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F ——试验力, N;

S ——球面压痕表面积, mm^2 ;

D ——球体直径, mm;

d ——压痕平均直径, mm。

通常布氏硬度值不标出单位。在实际应用中,布氏硬度一般不用计算,而是用专用的刻度放大镜量出压痕直径 d ,根据压痕直径的大小,再从专门的硬度表中查出相应的布氏硬度值。 d 值越大,硬度值越小; d 值越小,硬度值越大。

(2) 布氏硬度的表示方法

符号 HBS(或 HBW)之前的数字为硬度值,符号后面按以下顺序用数字表示试验条件:

① 球体直径

② 试验力

③ 试验力保持时间(10~15 s 不标注)。

例如:120 HBW10/1 000/30 表示用直径 10 mm 的硬质合金球做压头,在 9.807 kN (1000 kgf)试验力作用下,保持 30 s 所测得的布氏硬度值为 120 HBW。

做布氏硬度试验时,压头球体的直径 D 、试验力 F 及试验力保持的时间 t ,应根据被测金属材料的种类、硬度值的范围及金属的厚度进行选择。

常用的压头球体直径 D 有 1,2,2.5,5 和 10 mm 五种,试验力 F 在 9.807~29.42 kN 范围内,二者之间的关系如表 1-2 所列。试验力保持时间,一般黑色金属为 10~15 s;有色金属为 30 s;布氏硬度值小于 35 时为 60 s。

表 1-2 根据材料和布氏硬度范围选择试验条件

材 料	布 氏 硬 度	F/D^2
钢及铸铁	<140	10
	≥ 140	30
铜及其合金	<35	5
	35~130	10
	>130	30
轻金属及其合金	<35	2.5(1.25)
	35~80	10(5 或 15)
	>80	10(15)
铅、锡		1.25(1)

注:① 当试验条件允许时,应尽量选用直径为 10 mm 的球。

② 当有关标准中没有明确规定时,应使用无括号的 F/D^2 。

(3) 应用范围及优缺点

布氏硬度主要适用于测定灰铸铁、有色金属、各种软钢等硬度不是很高的材料。

测量布氏硬度的试验力大,球体直径也大,因而压痕直径也大,能较准确地反映出金属材料的平均性能。另外,由于布氏硬度与其他力学性能(如抗拉强度)之间存在着一定的近似关系,在工程上得到广泛的应用。

其缺点是操作时间较长,对不同材料需要不同压头和试验力,压痕测量较费时;在进行高硬度材料试验时,由于球体本身的变形会使测量结果不准确。因此,用淬火钢球测量时,材料硬度必须小于 450;用硬质合金球压头时,材料硬度必须小于 650。又因其压痕较大,不宜于测量成品及薄壁件。

2. 洛氏硬度

(1) 洛氏硬度原理

试验采用金刚石圆锥体或淬火钢球压头,压入金属表面后,经规定保持时间后卸除主试验力,以测量的压痕深度来计算洛氏硬度值。

图 1-7 是金刚石压头进行洛氏硬度试验的示意图。测量时先加初试验力 F_0 ,压入深度为 h_0 ,目的是消除因零件表面不光滑而造成的误差。然后加初试验力 F_1 ,在总试验力($F_1 +$

F_0)的作用下,压头压入深度为 h_1 。卸除主试验力,由于金属弹性变形的恢复,使压头回升到 h_2 位置,则由主试验力所引起的塑性变形的压痕深度 $e=h_2-h_1$ 。显然, e 值越大,被测金属的硬度越低,为了符合数值越大,硬度越高的习惯,将一个常数 K 减去 e 值来表示硬度的大小,并用0.002 mm压痕深度作为一个硬度单位,由此获得洛氏硬度值,用符号HR表示。即洛氏硬度值按下列公式计算:

$$HR=\frac{K-e}{0.002}$$

洛氏硬度没有单位,试验时硬度值直接从硬度计的表盘上读出。

(2) 常用洛氏硬度标尺及其适用范围

为了用一台硬度计测定从软到硬不同金属材料的硬度,可采用不同的压头和总试验力组成几种不同的洛氏硬度标尺,每一种标尺用一个字母在洛氏硬度符号HR后面加以注明。常用的洛氏硬度标尺有A、B、C 3种,其中C标尺应用最广。3种洛氏硬度标尺的试验条件和适用范围如表1-3所列。

表 1-3 常用洛氏硬度的试验条件和应用范围

硬度符号	压头类型	总试验力 $F_{\text{总}}/\text{N}(\text{kgf})$	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥	588.4(60)	70~88	硬质合金,表面淬火,渗碳钢等
HRB	$\Phi 1.588\text{ mm}$ 钢球	980.7(100)	20~100	有色金属,退火,正火钢等
HRC	120°金刚石圆锥	1471.1(150)	20~70	淬火钢、调质钢、钛合金等

洛氏硬度表示方法如下:符号HR前面的数字表示硬度值,HR后面的字母表示不同洛氏硬度的标尺。例:62HRC、85HRA等。

(3) 优缺点

优点是:操作简单迅速,能直接从刻度盘上读出硬度值;压痕较小,可以测定成品及较薄工件;测定的硬度值范围大,可测定从很软到很硬的金属材料。缺点是:压痕较小,当材料的内部组织不均匀时,硬度数据波动较大,测量值的代表性差,通常需要在不同部位测试数次,取其平均值来代表金属材料的硬度。

3. 维氏硬度

维氏硬度试验原理与布氏硬度试验原理相似,区别在于维氏硬度的压头是两相对面夹角为 136° 的正四棱锥金刚石。试验时,在规定试验力 F 作用下,压头压入试件表面,保持一定时间后,卸除试验力,用测量压痕两对角线长度来计算硬度,如图1-8所示。单位压痕表面积所承受试验力的大小即为维氏硬度值,用符号HV表示,单位为 kgf/mm^2 。

$$HV=0.1891 \frac{F}{d^2}$$

式中 F ——试验力,N;

d ——压痕两对角线长度算术平均值,mm。

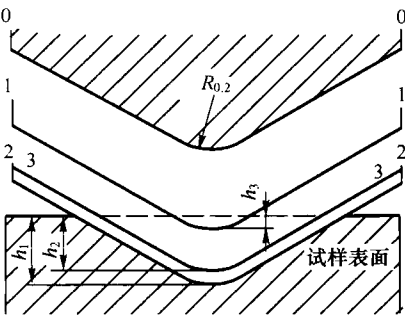


图 1-7 洛氏硬度测试试验图

维氏硬度试验所用的试验力可根据试件的大小、厚薄等条件进行选择,常用试验力在 49.03~980.7 N 范围内变动,而小负荷维氏硬度试验力范围为 1.96~49.03 N,显微维氏硬度试验力范围为 $9.807 \times 10^{-2} \sim 1.96$ N。

维氏硬度表示方法与布氏硬度相同,例如 640 HV30/20,表示在 30 kgf(294.2 N)试验力作用下,保持 20 s 测得的维氏硬度值为 640 HV。

维氏硬度试验法所用试验力小,压痕深度浅,轮廓清晰,数值准确可靠,广泛用于测量金属镀层、薄片材料和化学热处理后的表面硬度。因维氏硬度值具有连续性(10~1000 HV),故可测定从很软到很硬的各种金属材料的硬度。缺点是测量压痕对角线的长度较繁琐、压痕小、对试件表面质量要求较高。

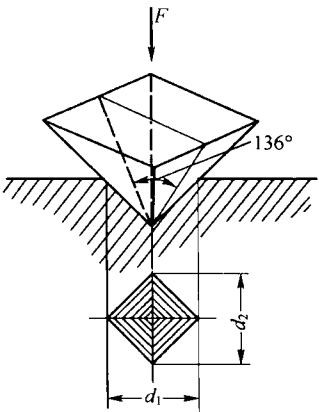


图 1-8 维氏硬度试验原理示意图

1.1.3 冲击韧性

许多机械零件在工作中,往往要受到冲击载荷的作用,如活塞销、锤杆、冲模和锻模等。制造这类零件所用的材料,其性能指标不能单纯用静载荷作用下的指标来衡量,而必须考虑材料抵抗冲击载荷的能力。金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力称为冲击韧性。目前常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定金属材料的冲击韧性。

1. 冲击试样

为了使冲击试样可以互相比,必须采用标准试样。根据国家标准规定,常用的试样长度有 10 mm×10 mm×55 mm 的 U 形缺口和 V 形缺口试样,其尺寸如图 1-9 所示。

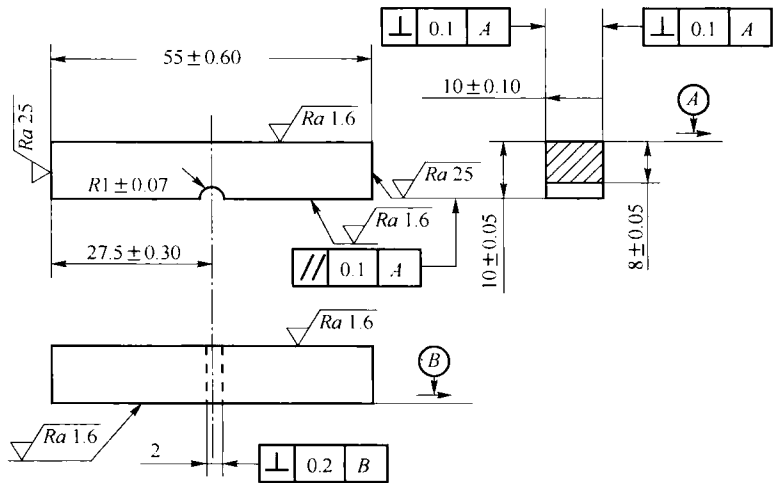


图 1-9 夏比 U 型缺口试样

2. 冲击试验的原理和方法

冲击试验是利用能量守恒原理:试样被冲断过程中吸收的能量等于摆锤冲击试样前后的势能差。

冲击试验:将待测的金属材料加工成标准试样(如图 1-10(a)所示),然后将试验缺口背

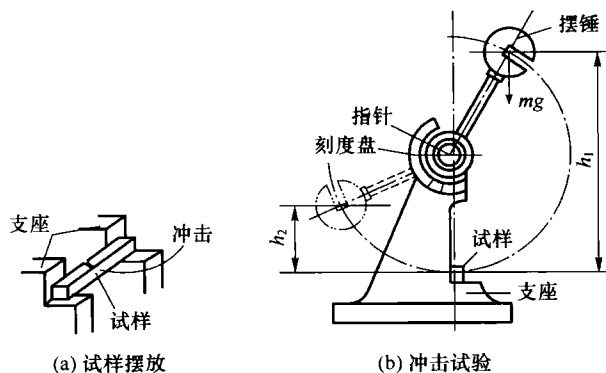


图 1-10 摆锤式冲击试验原理示意图

对着摆锤的冲击方向放在试验机的支座上。再将摆锤举到一定的高度 h_1 , 使其获得一定的势能 Gh_1 , 然后使摆锤自由落下, 将试样冲断。摆锤的剩余势能为 Gh_2 , 如图 1-10(b) 所示。试样被冲断时所吸收的能量是摆锤冲击试样所作的功, 称为冲击吸收功, 用符号 A_K 表示。

$$A_K = Gh_1 - Gh_2 = G(h_1 - h_2)$$

式中 A_K ——冲击吸收功, J;

G ——摆锤的重量, N;

h_1 ——摆锤初始的高度, m;

h_2 ——冲断试样后, 摆锤回升的高度, m。

冲击韧度是冲击试样缺口处单位横截面积上的冲击吸收功, 用 α_k 表示。冲击韧度越大, 表示材料的韧性越好。

$$\alpha_k = \frac{A_K}{S_0}$$

式中 α_k ——冲击韧度, J/cm²;

A_K ——冲击吸收功, J;

S_0 ——试样缺口处横截面积, cm²。

3. 冲击吸收功与温度的关系

冲击韧度与温度的关系如图 1-11 所示, A_K 随温度降低而减小, 在不同温度的冲击试验中, 冲击吸收功急剧变化或端口韧性急剧转变的温度区域, 称为韧脆转变温度。韧脆转变温度越低, 材料的低温抗冲击性能越好。

冲击吸收功还与试样形状、尺寸、表面粗糙度、内部组织的缺陷等有关。因此, 冲击吸收功一般作为选材的参考, 而不能直接用于强度计算。国家标准现已规定用冲击吸收功作为韧性指标。

4. 小能量多次冲击试验

实践表明, 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, 绝大多数是在一次冲击不足以使零件破坏的小能量多次冲击作用下而破坏的, 如凿岩机风镐上的活塞、冲模的冲头等。它们的破坏是由于多次冲击损伤的积累, 导致裂纹的产生与扩展的结果。对于这样的零件, 用冲击吸收功作为设计依据显然是不符合实际的。

实践证明,一次冲击吸收功高的材料,小能量多次冲击抗力不一定高,反过来也一样。如大功率柴油机曲轴使用孕育铸铁制成,它的冲击韧度接近于零,而在长期使用中未发生断裂。因此,需采用小能量多次冲击试验来检验这类金属的抗冲击性能。

小能量多次冲击测试原理:当试样在冲头多次冲击下断裂时,经受的冲击次数 N 代表金属的抗冲击能力。

实践证明,当金属材料受大能量的冲击载荷作用时,其冲击抗力主要取决于冲击吸收功 A_K 的大小;而在小能量多次冲击条件下,其冲击抗力主要取决于材料的强度和塑性。

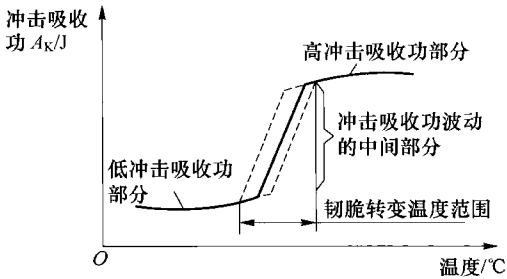


图 1-11 温度对冲击韧性的影响

1.1.4 疲劳强度

1. 疲劳的概念

许多机械零件,如轴、齿轮、弹簧、叶片等,在工作过程中各点的应力随时间作周期性的变化,这种随时间作周期性变化的应力称为循环应力(或交变应力)。在循环应力作用下,虽然零件所承受的应力低于 σ_s ,但经过较长时间的工作后产生裂纹或突然发生完全断裂的现象称为金属的疲劳。

疲劳破坏是机械零件失效的主要原因之一。据统计,在机械零件失效中大约 80% 以上属于疲劳破坏,而且疲劳破坏前没有明显的变形,所以疲劳破坏经常造成重大事故。

2. 疲劳破坏的特征

- ① 疲劳断裂前没有明显的塑性变形,即没有预兆而突然断裂。
- ② 引起疲劳断裂的应力很低,往往低于 σ_s 。
- ③ 疲劳破坏的宏观断口由两部分组成,即疲劳裂纹的策源地及扩展区(光滑部分)和最后断裂区(粗糙部分),如图 1-12 所示。

机械零件产生疲劳破坏的原因,是由于材料内部或表面存在缺陷(夹杂、划痕、显微裂纹等),这些地方的局部应力大于 σ_s ,从而产生局部塑性变形而导致开裂。随着应力循环次数的增加裂纹逐渐扩展,直至承载的截面积小到不能承受所加载荷而突然断裂。

3. 疲劳曲线和疲劳极限

疲劳曲线是指循环应力与循环次数的关系曲线,如图 1-13 所示。

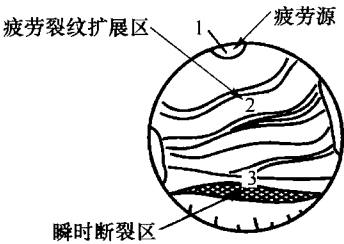


图 1-12 疲劳断裂宏观断口示意图

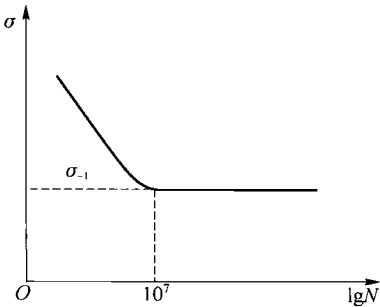


图 1-13 钢铁材料的疲劳曲线