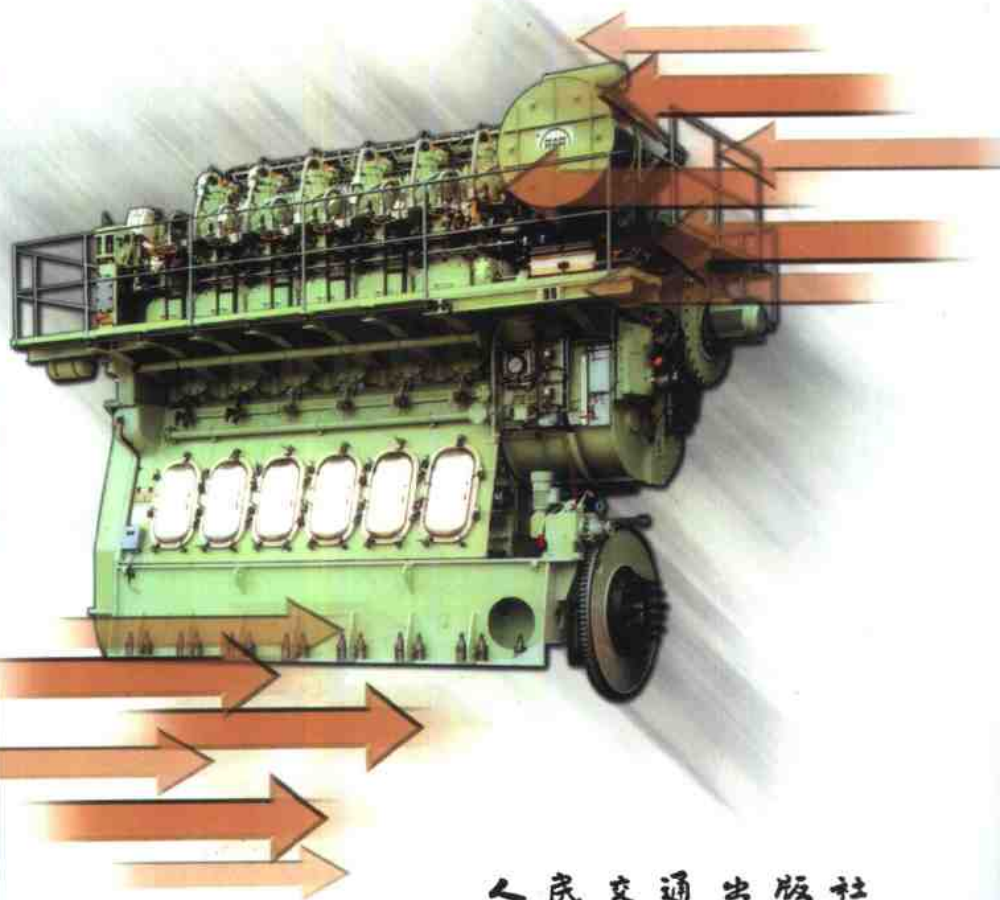


高等学校教材

LUNJIGONGCHENGCAILIAO

轮机工程材料

■ 顾卓明 主编



人民交通出版社

高等学校教材

Lunji Gongcheng Cailiao

轮机工程材料

顾卓明 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书着重介绍了船舶轮机工程材料学方面的基本理论与实用技术。主要内容包括:金属学原理、热处理、钢铁材料、有色金属及其合金、轴承合金、船机主要零件材料及热处理、常用的船用非金属材料等。

本书不仅可作为高等和中等海运院校轮机工程专业的教学用书以及海船船员相关内容培训参考用书,同时可供航运部门和船厂工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

轮机工程材料 / 顾卓明主编. —北京:人民交通出版社, 2002.8

ISBN 7-114-04395-3

I. 轮... II. 顾... III. 轮机—工程材料
IV. U676.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 053973 号

高等学校教材

轮机工程材料

顾卓明 主编

正文设计:孙立宁 责任校对:刘高彤 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:13.5 字数:333 千

2002 年 8 月第 1 版

2002 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—2000 册 定价:24.00 元

ISBN 7-114-04395-3

U·03238

前 言

新经济社会促进了人类知识更新速度的加快,同时,又对高等教育方式提出了不同以往的要求。以创新精神和实践能力培养为主要特征的素质教育,已成为我国高等教育的新要求,这种要求必然对我们现有的教学方法提出挑战,其中加快更新教学内容已成为一项非常紧迫的任务,而这中间首当其冲的便是教材。

以前,由于知识更新的速度本身较慢,而且又受到经费和学生人数的影响,上海海运学院教材更新周期较长。因此,对现有教材,特别是体现我院特色的专业教材的升级换代已迫在眉睫。我院有一些具有自己特色的专业,如航运管理、物流、船舶驾驶、轮机专业等,这些专业教材在其他院校已有的优秀教材中不可能涵盖,编写这些专业教材的工作只能由我院自己承担。组织出版具有在国内有一定影响的上海海运学院重点教材已成为提高我院教学质量的重要工作之一。

在我院领导的大力支持下,由学校授权教务处组织的学校教材建设委员会对学校教材建设进行了规划,并编制了重点教材出版“十五”计划。学校对计划内公开出版的系列重点教材予以一定的资助。

上海海运学院拥有一批非常优秀的、在行业内具有较大影响的专业教师队伍,其中不少教师所编著的教材在社会上已具有广泛的影响力。航运界也一直希望我院能够出版更多具有特色的专业教材,以促进我国航运事业的发展。

作为重点教材出版“十五”计划的第一年,经学校教材建设委员会审定,计划出版 12 本教材。在组织出版系列重点教材的过程中,我们注重教材的质量,特意选择我院有造诣的优秀教师编写这些教材,并统一由学校教材建设委员会组织对教材进行审定。因此,这些教材能够体现我院学科研究的部分成果。

上海海运学院系列重点教材的出版不仅将对提高我院教学质量起到重要作用,而且也必将在社会上、特别是航运界产生重要的影响。系列重点教材的出版是上海海运学院对社会知识的一种贡献。

在这里,我们要特别感谢编写这些教材的教师所付出的辛勤劳动,同时也感谢人民交通出版社对我院出版系列重点教材所给予的大力支持。

上海海运学院教务处处长

真虹 教授

2001 年 8 月

编写说明

《轮机工程材料》是轮机工程专业的一门重要的专业基础课。本课程的目的使学生通过课程学习掌握金属和非金属材料方面的基本概念和基础理论;常用材料的分类和应用以及船用材料的选材、检验和强化等方面的基本知识,为今后学习专业课和从事专业技术工作打下材料学方面的基础。

本书在选材上考虑了轮机工程专业的特点和对金属、非金属材料方面的具体要求;内容上力求新,但又做到重点突出、少而精;书中所列的图表在实际应用上具有重要参考价值。本书每章之后增添了一定数量的习题,以供学生练习之用。

本书不仅可作为高等和中等海运院校轮机工程专业的教学用书以及海船船员相关内容培训参考用书,同时可供航运部门和船厂工程技术人员参考。

全书共分十三章,由顾卓明主编。其中顾卓明编写了第一、八、九、十章并且修改了第十一、十二、十三章有关内容;顾彩香编写了第五、六、七章及所有习题;金国平编写了第二、三、四章;林剑江编写了第十一、十二、十三章。全书由顾卓明统稿。本书编写过程中得到了院、系领导和有关老师的支持和帮助,在此谨表谢意。

由于编者水平有限,错误与不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

目 录

第一章 金属材料的性能指标	1
第一节 金属的力学性能	1
第二节 金属材料的工艺性能及物理、化学性能	8
第二章 金属的构造与结晶	10
第一节 金属的晶体结构	10
第二节 金属的实际结构和晶体缺陷	14
第三节 金属的结晶与铸锭	17
第四节 船机铸件及质量验收	22
第三章 金属的变形与再结晶	24
第一节 金属的塑性变形	24
第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响	28
第三节 塑性变形后的金属在加热时的变化	30
第四节 金属的热变形	34
第五节 船机锻件及质量验收	35
第四章 合金的构造与合金相图	38
第一节 合金中的相结构	38
第二节 二元合金相图的建立与合金结晶	41
第三节 二元合金相图的基本类型	43
第四节 合金的性能与相图的关系	49
第五章 铁碳合金	52
第一节 纯铁、铁碳合金的组织、结构及其性能	52
第二节 铁碳合金相图分析及应用	55
第六章 碳素钢	63
第一节 碳素钢的化学成分对碳钢性能的影响	63
第二节 碳素钢的分类、牌号和用途	64
第七章 钢的热处理	75
第一节 钢在加热时的组织转变	75
第二节 钢在冷却时的组织转变	78
第三节 淬火钢在回火时的组织转变	84
第四节 热处理工艺	86
第八章 合金钢	99
第一节 合金元素在钢中的作用	99
第二节 合金钢的分类与编号	103
第三节 低合金结构钢与合金结构钢	104
第四节 合金工具钢	116

第五节	特殊性能钢	122
第九章	铸铁	130
第一节	概论	130
第二节	灰铸铁	133
第三节	球墨铸铁	136
第四节	其它铸铁	139
第十章	有色金属及其合金	146
第一节	铝及其合金	146
第二节	铜及其合金	153
第三节	钛及其合金	158
第十一章	轴承合金	161
第一节	滑动轴承的工作条件及对材料组织和性能的要求	161
第二节	巴氏合金	163
第三节	铜基轴承合金	165
第四节	铝基轴承合金	166
第十二章	轮机主要零件材料及热处理	170
第一节	曲轴	170
第二节	连杆	172
第三节	活塞销	174
第四节	凸轮及凸轮轴	174
第五节	重要螺栓	175
第六节	活塞	176
第七节	活塞环	177
第八节	气缸套	178
第九节	气阀	179
第十节	精密偶件	180
第十一节	螺旋桨	181
第十三章	船用非金属材料	183
第一节	高分子材料	183
第二节	工程塑料	187
第三节	橡胶	193
第四节	胶粘剂	196
第五节	硅酸盐材料	198
第六节	复合材料	202

第一章 金属材料的性能指标

金属材料是现代工农业、国防、交通和科学技术中最重要的一种工程材料。为了合理使用金属材料,必须了解和熟悉金属材料的性能。金属材料的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表现出来的性能,包括力学性能(或称机械性能)、物理性能(如导电性、导热性等)、化学性能(如耐蚀性、抗氧化性等);工艺性能是指金属材料在各种加工过程中表现出来的性能,包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性能等。通常选用金属材料和加工制造零件时,必须综合考虑这些性能指标。

第一节 金属的力学性能

通常在制造机械零件时,选用金属材料是以力学性能作为主要依据。力学性能是指在各种外力(载荷)作用下表现出来的抵抗能力。常用的力学性能指标有:强度、塑性、硬度、韧性、疲劳强度和高温强度等。

一、强度和塑性

1. 强度

金属材料在载荷作用下,抵抗塑性变形和断裂的能力,称为强度。按加载方式的不同,强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。通常多以抗拉强度作为基本的强度指标,它是通过拉伸试验测得的。

试验时,将标准的拉伸试样夹在拉伸试验机上,缓慢加载。随着载荷的不断增大,试样的伸长量也不断增加,直至试样被拉断为止。然后将试样上所加的载荷和相应的伸长量画在以载荷 F 为纵坐标、伸长量 Δl 为横坐标的坐标图上,便得到拉伸曲线。图 1-1 为退火低碳钢的拉伸曲线。由图可知,当 F 为零时, Δl 也为零。当载荷 F 逐渐由零增大到 F_e 时,试样伸长量与载荷成比例增加。此时卸除载荷后,试样完全恢复原来形状和尺寸,即试样处于弹性变形阶段。当载荷超过 F_e 时,试样除产生弹性变形外,还开始出现塑性变形(或称永久变形),即卸除载荷后,试样不能完全恢复原来的形状和尺寸。当载荷增加到 F_s 时,在曲线上开始出现水平(或锯齿形)线段,即表示载荷不再增加而试样却继续伸长,这种现象称为“屈服”。载荷超过 F_s 后,试样伸长量又随载荷的增加而增大,此时试样产生大量的塑性变形。当载荷继续增加到某一最大值 F_b 时,试样开始出现局部的截面变小,出现了“缩颈”。此时,载荷逐渐变小,到达 K 点时试样被拉断。

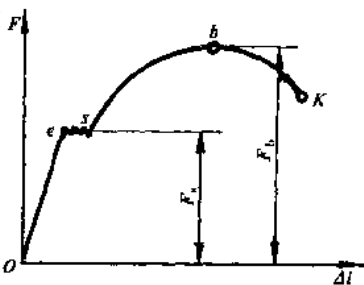


图 1-1 退火低碳钢的拉伸曲线

金属材料受到载荷作用后其内部产生一个与载荷相平衡的抵抗力(即内力),单位横截面积上的内力称为内应力,用 σ 表示。金属材料的强度是用应力来度量的。常用的强度指标有

弹性极限、屈服强度和抗拉强度。

(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值,用符号 σ_e 表示

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

式中: F_e ——试样产生完全弹性变形的最大载荷, N;

S_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

(2)屈服强度(屈服点):材料产生屈服现象时的最小应力值,用符号 σ_s 表示

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

式中: F_s ——屈服时的最小载荷, N。

有些金属材料(如铸铁、高碳钢等)在拉伸试验中无明显的屈服现象,因而测定 σ_s 很困难。因此规定,此种试样的塑性变形量为试样标距长度的 0.2% 时的应力为屈服强度(屈服点),用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

式中: $F_{0.2}$ ——试样的塑性变形量为标距长度的 0.2% 时的载荷, N。

(3)抗拉强度:材料在拉断前所能承受的最大应力值,用符号 σ_b 表示

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

式中: F_b ——试样断裂前所承受的最大载荷, N。

机械零件在工作中一般不允许产生塑性变形,所以屈服点是设计零件的主要依据。抗拉强度是表示材料抵抗均匀塑性变形的最大能力,它也是设计零件和选材时的主要依据。

2. 塑性

金属材料在载荷作用下,产生塑性变形而不被破坏的能力称为塑性。

金属的塑性值也是通过拉伸试验而测得的。常用塑性值的指标是伸长率和断面收缩率。

(1)伸长率:试样被拉断时标距长度的伸长量与原始标距长度的百分比,用符号 δ 表示,即

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

式中: l_0 ——试样原始标距长度, mm;

l_k ——试样被拉断时标距长度, mm。

由于 δ 值与试样尺寸有关,为了便于比较,通常注明 δ_5 或 δ_{10} , 分别表示试样的计算长度为直径的 5 倍或 10 倍(一般 δ_{10} 可写为 δ) 时的伸长率。

(2)断面收缩率:试样被拉断时,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

即

$$\Psi = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \times 100\%$$

式中: S_k ——试样被拉断时缩颈处的最小横截面积, mm^2 。

断面收缩率不受试样尺寸的影响,因此能更好地反映材料的塑性。

金属材料塑性的好坏,对零件的加工与使用都有十分重要的意义。塑性好的材料不但容

易进行轧制、锻压、冲压等,而且所制成的零件在使用时,万一超载,也能由于塑性变形而避免突然断裂。因此,大多数机器零件除满足强度要求外,还必须具有一定的塑性,这样,工作时才安全可靠。

二、硬 度

硬度是指金属材料抵抗比它更硬的物体压入其表面的能力,即抵抗局部塑性变形的能力。许多机械零件根据工作条件的不同,常要求硬度在某一规定的范围内,这样才能保证高的强度、耐磨性和使用寿命。因此,硬度也是金属材料的重要力学性能之一。

金属材料的硬度测定比较简单、迅速,并且基本上又属于无损检验,因此,在生产检验和科研中应用极为广泛。常用的硬度测定法都是用一定的载荷把一定形状的压头压入金属表面,然后测定压痕的面积或深度,从而确定硬度值。凡是压痕越大或越深者,硬度值越低。根据测量用的压力和压头的不同,可以获得不同的硬度指标。常用的硬度指标有:布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

1. 布氏硬度

用 HB 表示。布氏硬度试验原理如图 1-2 所示,用一定直径的淬火钢球或硬质合金球做压头,以相应的试验力压入被试验的金属表面,经规定的保持时间后,卸除试验力,随即在金属表面出现一个压痕(压坑),以压痕单位面积上所能承受试验力的大小,确定被测金属材料的布氏硬度值 HB,即

$$HB = \frac{F}{S_k} = \frac{F}{\pi D h} \quad (\text{kgf/mm}^2)$$

式中: F ——试验力, kgf;

S_k ——压痕表面积, mm^2 ;

h ——压痕深度, mm;

D ——压头直径, mm。

当试验力的单位用 N(牛顿)时,

$$HB = 0.102 \frac{F}{\pi D h} \quad (\text{MPa})$$

在实际试验时,由于压痕深度 h 测量较困难,而测量压痕直径 d 较方便,因此可将上式中的 h 换算成压痕直径 d 。利用图 1-3 中 $\triangle Oab$ 可求出:

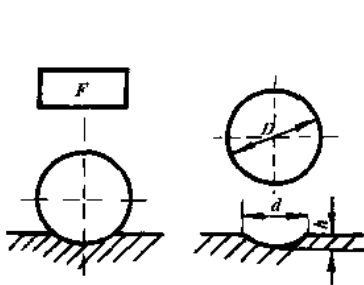


图 1-2 布氏硬度试验原理图

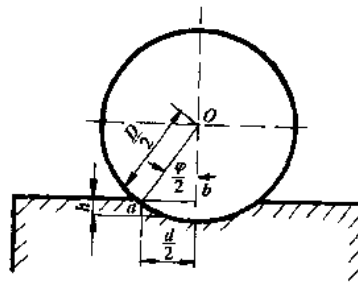


图 1-3 压痕深度(h)与压痕直径(d)的关系

$$h = \frac{D}{2} - \frac{1}{2\sqrt{D^2 - d^2}} \quad (\text{mm})$$

因此

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

$$HB = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{MPa}, F \text{ 单位用 N})$$

式中只有 d 是变数。试验时用刻度放大镜测出压痕直径 d 后,就可以通过计算或查布氏硬度表得出相应的硬度值,并不用标单位。

为了更清楚地说明使用压头的材料,通常将用淬火钢球作压头测得的硬度值用 HBS 表示;用硬质合金球作压头测得的硬度值用 HBW 表示。符号 HBS 或 HBW 之前的数字为硬度值。由于布氏硬度压痕面积较大,能反映较大范围内金属各组成相综合影响的平均性能,而不受个别组成相或微小不均匀度的影响,因而试验结果较为准确。布氏硬度主要用来测定灰铸铁、有色金属以及退火、正火和调质处理的钢材等。HBS 适于测量布氏硬度值小于 450 的材料,HBW 适于测量硬度值小于 650 的材料。布氏硬度不适于测薄件或成品件。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度也是一种压入硬度试验,如图 1-4 所示。其特点是测定压痕深度,深度越大,硬度越低。它是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球作为压头,在初、主载荷的先后作用下,将压头压入试件表面。经规定的保持时间后,卸除主载荷,根据压痕深度确定金属硬度值。图中 0-0 为 120° 金刚石压头没有与试件表面接触时的位置;1-1 为加上初载荷 10kgf(98.07N)后并压入试件深度至 b 处的位置, b 处为测量压痕深度的起点(这样可以减少因试件表面不平而引起的误差);2-2 为压头受到初载荷和主载荷共同作用后使压头压入试件深度至 c 处的位置;3-3 为卸除主载荷后在初载荷作用下由于试件弹性变形的恢复使压头向上回升到 d 处的位置。因此,压头受主载荷作用实际压入试件表面产生塑性变形的压痕深度为 bd 。用 bd 值的大小来衡量材料的软硬程度。压痕深度越小,材料越硬;反之,压痕深度越大,材料越软。

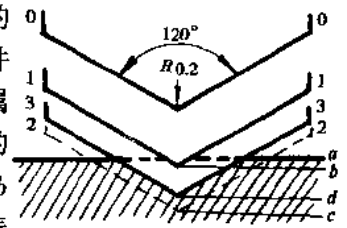


图 1-4 洛氏硬度试验原理示意图

被测金属材料的洛氏硬度值,可在卸除主载荷后直接由硬度计表盘上读出。表盘上的硬度值是这样确定的,即压头端点每移动 0.002mm,表盘上指针转过一小格。当压头由 b 处移至 d 处时,指针转过格数应为 $bd/0.002$ 。为了适应人们习惯上的数值越大,硬度值越高的习惯,故用一适当常数 K 来减去 $bd/0.002$ 作为硬度值。洛氏硬度用符号 HR 表示

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

式中: K ——常数(金刚石作压头, K 为 100;淬火钢球作压头, K 为 130)。

为了能用一种试验计来测定从软到硬金属材料的硬度,采用不同压头和载荷组成几种不同的洛氏硬度标度,每一种标度用一个字母在 HR 后加以注明,常用的洛氏硬度是 HRA、HRB 和 HRC 三种。洛氏硬度的试验条件和应用范围见表 1-1。

常用洛氏硬度的试验条件和应用范围

表 1-1

硬度符号	压头类型	总载荷 F_{Σ} , kgf(N)	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120° 金刚石圆锥体	60(588.4)	70 ~ 85	硬质合金, 表面淬火、渗碳钢等
HRB	$\Phi 1.588\text{mm}$ 钢球	100(980.7)	25 ~ 100	有色金属, 退火、正火钢等
HRC	120° 金刚石圆锥体	150(1471.1)	20 ~ 67	淬火钢, 调质钢等

注:总载荷 = 初载荷 + 主载荷;初载荷全为 10kgf(98.1N)。

洛氏硬度试验操作简便迅速,可直接从表盘上读出硬度值。它无单位,测量范围大,试件表面压痕小,可直接测量成品或较薄的工件。因而,洛氏硬度试验法被广泛用于生产和科研中。但由于压痕较小,对内部组织和硬度不均匀的材料,测量结果不够准确,故需在试件不同部位测定三点取其算术平均值。

3. 维氏硬度

维氏硬度试验原理基本上与布氏硬度试验原理相同,也是根据单位面积压痕表面上所承受的试验力大小来测量硬度值。不同的是:维氏硬度试验是用两相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石作压头。试验时,在选定的试验力 F 作用下,将压头压入试件表面,经规定的保持时间后卸除试验力,试件表面压出一个四方锥形压痕,测量压痕对角线长度 d_1 与 d_2 (图 1-5),求其算术平均值 d ,用以计算压痕表面积 S_k ,以单位压痕表面积所承受的试验力大小表示维氏硬度值,用符号 HV 表示

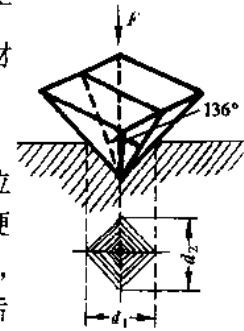


图 1-5 维氏硬度试验原理示意图

$$HV = \frac{F}{S_k} = 1.8544 \frac{F}{d^2} \quad (\text{kgf/mm}^2)$$

式中: F ——试验力, kgf;

S_k ——压痕表面积, mm^2 ;

d ——压痕对角线长度的算术平均值, mm。

当试验力 F 的单位为 N 时,

$$HV = 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad (\text{MPa})$$

压痕对角线长度用附在试验计上的测微器直接测得,然后求算术平均值 d ,再通过计算或查表得到维氏硬度值。HV 符号前面的数值为硬度值,同样不必写出单位。

与布氏、洛氏试验法相比维氏硬度试验法的测量精度高,误差较小,可以用于测量极薄试件以及金属镀层、化学热处理后的表面硬度,但生产率不如洛氏硬度试验法高,故不宜用于成批生产的常规试验。

三、冲击韧性

冲击韧性是金属材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力。为了确定金属材料的冲击韧性值,必须进行冲击试验,以冲断具有缺口的标准试样所需的能量作为衡量标准。缺口试样分为 U 形缺口和 V 形缺口两种形式。试验是在专门的摆锤式冲击试验机上进行的,如图 1-6 所示。试验时,将试样放在冲击试验机支座上,试样缺口背向摆锤的冲击方向,见图 a)。

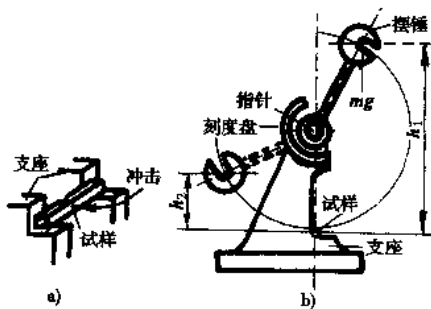


图 1-6 摆锤式冲击试验原理示意图
a) 试样安放位置; b) 摆锤式冲击试验机

将一定重量 (mg) 的摆锤举至 h_1 高度,使其具有位能 mgh_1 ,然后由此高度下落冲断试样。试样冲断后,摆锤继续向前升高到 h_2 的高度,见图 b),此时摆锤剩余能量为 mgh_2 。摆锤冲断试样消耗的能量,即冲击载荷使试样断裂所作的功,称为冲击吸收功 A_k ,其值为

$$A_k = mgh_1 - mgh_2 = mg(h_1 - h_2) \quad (\text{J})$$

冲击吸收功值可从冲击试验机刻度盘上读出,不需要计算。用缺口试样底部横截面积 S

去除冲击吸收功,即得到冲击韧性值,用符号 a_k 表示

$$a_k = \frac{A_k}{S} \quad (\text{J/cm}^2)$$

冲击韧性 a_k 值越大,表明材料韧性越好。 a_k 值的大小与试验温度有关。有些材料在室温(20℃)时无明显脆性,而在低温下可能产生脆性断裂。因此,为了确定金属材料(尤其是低温用材料)由塑性状态向脆性状态变化倾向,可在不同温度下测冲击韧性值,然后将试验结果绘成曲线,如图 1-7 所示。由图可见,冲击韧性值随温度降低而减小,在某一温度范围时,冲击韧性值急剧降低而呈现脆性,这个温度范围称为韧—脆转变温度范围。韧—脆转变温度越低,材料的低温冲击韧性越好。另外,冲击韧性值的大小还受试样形状、表面粗糙度、内部组织等因素的影响。因此,冲击韧性值一般只作为选择的参考,而不能作为选材的计算依据。

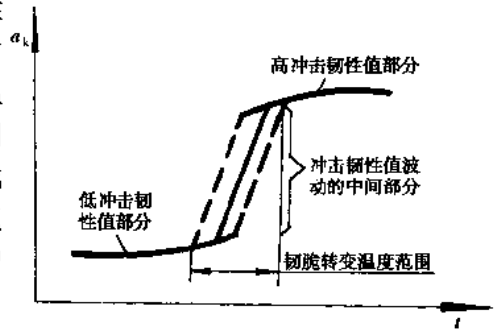


图 1-7 温度对冲击韧性值的影响

实际使用中的零件所承受的载荷不是大能量的一次冲击载荷,而是小能量的多次重复冲击,简称多次冲击。试验时将冲缺口试样放在连续冲击试验机上测定材料在一定的冲击能量作用下,开始出现裂纹直至最后破断的冲击次数,用以作为多次冲击抗力指标。

四、疲劳强度

许多机械零件如轴、齿轮、连杆、弹簧等都是在循环载荷作用下工作的。按载荷循环作用的方式不同,零件承受的应力可分为交变应力和重复应力两种。金属在循环载荷作用下产生疲劳裂纹并使其扩展而导致的断裂称为疲劳断裂。疲劳断裂与缓慢加载时的断裂不同,无论是脆性材料,还是塑性材料,疲劳断裂时都不产生明显的塑性变形,断裂是突然发生的。因此,疲劳断裂具有很大的危险性,常造成严重事故。据统计,在损坏的机械零件中,大部分是由于疲劳断裂造成的。例如,在曲轴的断裂事故中,疲劳断裂约占 80% ~ 90%。

工程上规定,材料经受无数次应力循环,而不产生断裂的最大应力称为疲劳强度。疲劳强度

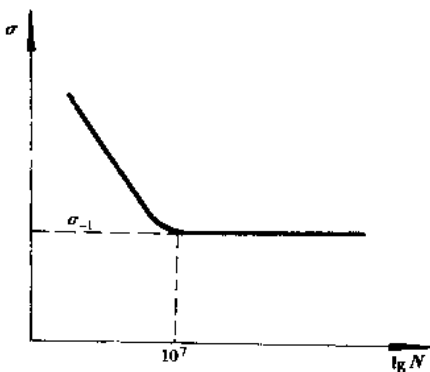


图 1-8 钢铁材料的疲劳曲线

度值可以通过疲劳试验的方法来确定。通过试验可测得材料承受的交变应力 σ 和断裂前应力循环次数 N 之间的关系曲线,如图 1-8 所示。从曲线上可以看出,应力值越低,断裂前的应力循环次数越多,当应力降低到某一定值后,曲线与横坐标轴平行。这表明,当应力低于此值时,材料可经受无数次应力循环而不断裂。对称循环应力的疲劳强度用 σ_{-1} 表示。实践证明,当钢铁材料的应力循环次数达 10^7 次时,零件仍不断裂,此时的最大应力可作为疲劳强度。有色金属和某些超高强度钢,工程上规定应力循环次数为 10^8 次时的最大应力作为它们的疲劳强度。

疲劳断裂产生的原因,一般认为是由于材料内部有组织缺陷(如气孔、疏松、夹杂物等),表面划痕及其它能引起应力集中的缺陷而导致产生微裂纹。这种微裂纹随着应力循环次数的增

加而逐渐扩展,最后使零件突然产生破坏。

为了提高零件的疲劳强度,除改善内部组织和外部结构形状避免应力集中外,还可以通过降低零件表面粗糙度值和采取各种表面强化方法(如表面淬火、喷丸处理、表面滚压等)来提高疲劳强度。

五、高温强度

在高压蒸气锅炉、汽轮机、柴油机、燃气轮机、化工炼油设备中,很多机件是长期在高温下运转的,对于制造这类机件的金属材料仅考虑常温下的力学性能是不够的。因为温度对金属材料的力学性能影响很大,对于高温下材料的力学性能不能只简单地用应力—应变关系来评定,还需加入温度与时间两个因素。常用的高温力学性能指标有蠕变极限、持久强度等。

1. 蠕变概念

蠕变是指材料在较高的恒定温度下,外加应力低于屈服极限时,就会随着时间的延长逐渐发生缓慢的塑性变形直至断裂的现象(图 1-9)。金属材料在较高温度($0.3 \sim 0.5 T_m$, 其中 T_m 是材料的熔点,以绝对温度表示)时会发生蠕变。聚合物在室温下就可能发生蠕变。材料的蠕变过程可用蠕变曲线来描述。典型的蠕变曲线如图 1-10 所示。图中 AB 段为第一阶段,称减速蠕变阶段,这一阶段开始蠕变速率增大,随着时间的延长,蠕变速率逐渐减小。 BC 段为第二阶段,称为恒速蠕变阶段,这一阶段蠕变速率几乎保持不变。通常蠕变速率就是以这一阶段的变形速率来表示。 CD 段是第三阶段,称为加速蠕变阶段,至 D 点产生蠕变断裂。

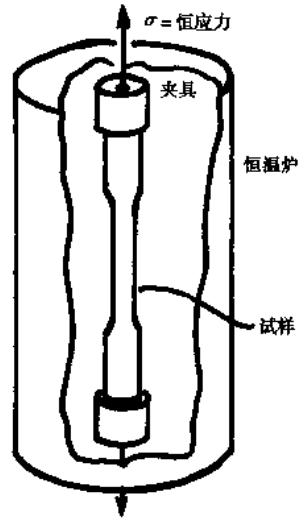


图 1-9 蠕变试验示意图

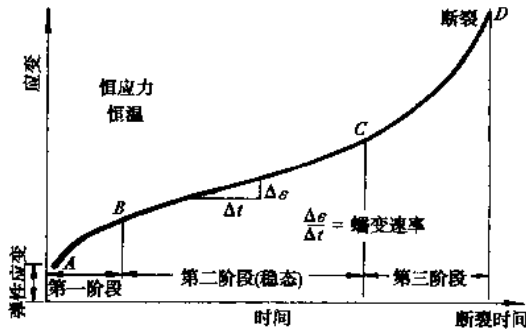


图 1-10 典型蠕变曲线

2. 蠕变极限

蠕变极限是以在给定温度 T ($^{\circ}\text{C}$) 下和规定的试验时间 t (h) 内,使试样产生一定蠕变伸长量的应力作为蠕变极限,用符号 $\sigma_{\delta/t}^T$, 例如 $\sigma_{0.3/500}^{900} = 600\text{MPa}$ 表示材料在 900°C , 500h 内,产生 0.3% 变形量的应力为 600MPa。

3. 持久强度

持久强度表征材料在高温载荷长期作用下抵抗断裂的能力,以试样在给定温度 T ($^{\circ}\text{C}$) 经规定时间 t (h) 发生断裂的应力作为持久强度,用符号 σ_t^T 表示。例如 $\sigma_{1000}^{800} = 700\text{MPa}$, 表示材料

在 800℃, 经 600h 断裂的应力为 700MPa。

第二节 金属材料的工艺性能及物理、化学性能

制造机械零件时,金属材料要经受各种不同的加工过程,如铸造、锻造、焊接、热处理和切削加工等。不同的材料具有不同的工艺性能。工艺性是指材料能否通过某种加工工艺顺利地制造成零件。例如某些材料仅从零件的使用要求来看是完全合适的,但无法加工制造,或加工制造很困难,成本很高,这些都属于工艺性能不好。因此,材料工艺性能的好坏,对决定零件加工的难易程度、生产效率、生产成本等方面起着十分重要的作用,是选材时必须同时考虑的主要因素之一。材料的工艺性能根据加工方法不同有以下几种:

1. 铸造性能

铸造性主要是指液体金属在浇铸过程中的流动性、凝固过程中的收缩性和偏析倾向等。**流动性:**金属液体流动的能力。凡是流动性好的金属就能浇铸出薄壁和较复杂形状的铸件,并且液体金属中的熔渣和气体易于上浮,不致形成夹渣和气孔等缺陷。液体金属浇入铸型后,温度不断下降,逐渐由液体状态结晶成固态,然后从高温固态不断冷却到常温固态。在冷却过程中,始终伴随有收缩现象发生。不同的材料其收缩率大小不同,凡收缩率小者,铸件中缩孔、疏松(疏松)、变形和裂纹等缺陷就少。所谓偏析系指液体金属凝固后化学成分的不均匀现象。偏析越严重,铸件质量越差。

不同的材料其铸造性能有较大的差异,在同一合金系中成分接近共晶点的合金铸造性能最好。故用于铸造成形零件的材料成分应接近于共晶点,如硅铝明、铸铁等。在几种常用的铸造合金中铸造铝合金和铜合金的铸造性能优于铸钢和铸铁,而铸铁又优于铸钢。铸铁中,灰铸铁的铸造性能最好。

2. 压力加工性能

指材料承受压力加工而产生变形的能力,包括锻造性能和冷冲压性能等。材料塑性越好,压力加工成形性越好;加工后的表面质量优良,不易产生裂纹;变形抗力低,金属在压力作用下易于实现固态下的流动,易于充填模腔,不易产生缺陷。常用的金属材料中,低碳钢的压力加工性能比中、高碳钢高,而碳素钢又比合金钢好。灰铸铁、白口铸铁根本无法压力加工。

3. 焊接性能

一般用焊缝处出现裂纹、脆性、气孔以及夹渣等缺陷的倾向来衡量焊接性能。焊接性能优良的材料除焊接时不易产生各种缺陷之外,其焊接工艺简单,且焊缝处具有足够的强度和韧性,与母材接近。

低碳钢和 $W_C < 0.18\%$ (W_C 为钢中碳百分含量) 的合金钢有较好的焊接性能, $W_C > 0.45\%$ 的碳钢和 $W_C > 0.35\%$ 的合金钢的焊接性能较差。含碳量和合金元素含量越高,焊接性能越差。

4. 切削加工性能

指金属是否容易被切削加工和切削加工后的表面质量,一般用切削抗力大小、零件表面粗糙度值的大小,加工时切屑排除的难易程度以及刀具磨损大小来衡量其好坏,它是合理选择结构钢的重要依据之一。

常用的金属材料中,铝、镁合金和灰铸铁的切削加工性能最好;奥氏体不锈钢、高速钢和耐热合金的切削加工性最差;加入易切削元素的材料(如加入硫元素构成易切削钢),切削加工性

能大大改善。

5. 热处理工艺性能

热处理工艺性主要包括淬透性、淬硬性、变形开裂倾向、回火脆性、回火稳定性和氧化脱碳倾向等。通常碳钢的淬透性差,强度较低,加热时容易过热造成晶粒粗大,淬火时易变形开裂。因此,制造强度高、截面大和形状复杂的零件要选用合金钢。此外,铝合金的热处理要求较高,它的淬火加热温度离熔点很近,温度的波动必须保持在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内;铜合金只有很少几种可以用热处理强化等。有关这方面的知识将会在以后章节中详细介绍。

现代工业用的金属材料除了必须具备一定的力学性能和工艺性能之外,有时还必须满足某些物理、化学性能方面的要求。物理性能包括:相对密度、熔点、热膨胀性、导电性、导热性、磁性等。化学性能包括:耐蚀性,耐酸、碱性,抗氧化性等。

习 题

1. 机械零件的失效形式主要有哪几种? 试举例说明。
2. 金属材料的强度和塑性有哪些指标?
3. 说明下列符号的意义和单位: $\sigma_e, \sigma_s, \sigma_b, \delta, \Psi, \sigma_{-1}, \sigma_{0.2}, a_k, \sigma_{\delta/1}^T, \sigma_{\delta/1}^T$ 。
4. 何谓硬度? 简述布氏硬度、洛氏硬度的试验原理和应用范围。
5. 下列几种情况应采用什么方法测定硬度? 写出硬度值符号。

钳工用手锤,铸铁机床床身毛坯,硬质合金刀头,机床尾架上的淬火顶尖,钢件表面很薄的硬化层。

6. 下列硬度要求或写法是否恰当? 为什么?

HRC12 ~ 15, HRC 50 ~ 60 kgf/mm^2 , 600 ~ 650 HBS, HRC70 ~ 75, 230 HBW。

7. 一紧固螺栓使用后发现有塑性变形(伸长),试分析材料的哪些指标没有达到要求。
8. 反映材料冲击载荷作用的性能指标是什么? 不同条件下测定的这种指标能否进行比较?
9. 疲劳破坏是如何产生的? 提高零件疲劳强度的方法有哪些?
10. 金属材料的加工工艺性能有哪些?

第二章 金属的构造与结晶

第一节 金属的晶体结构

一、晶体的概念

所谓晶体就是指原子在空间呈规则排列的固体物质。在自然界中,除了少数物质(如普通玻璃、松香及赛璐珞等)以外,包括金属在内的绝大多数固体物质都是晶体。

为了描述晶体中的原子(或分子、离子)在空间呈规则排列,我们常以假想的直线将各原子的中心点连接起来,形成一个二维空间格子,如图 2-1 所示。这种用来反映晶体中原子规则排列的空间格子,通常称为晶格或点阵,如图 2-1b)

所示。各联线的交点称为结点,在结点上的小黑点表示各原子中心的位置。晶格实质上都是由一些最基本的几何排列形式或单元重复堆砌而成。晶格的这种最基本的几何排列形式或单元常称为晶胞。通常用晶胞的边长作为单位长度的右旋坐标系来确定原子在晶胞中的位置。晶胞的各边尺寸 a 、 b 、 c 叫晶格常数,其大小以 \AA (埃)为计量单位($1\text{\AA} = 10^{-8}\text{cm}$);晶胞各边之间的相互夹角分别以 α 、 β 和 γ 表示。如图 2-1c)所示的晶胞叫做简单立方晶胞,其晶格常数 $a = b = c$,而 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 。

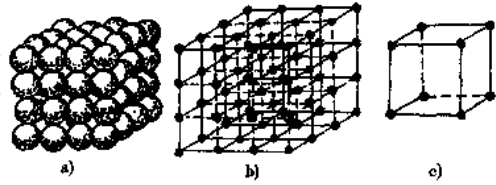


图 2-1 晶体、晶格和晶胞示意图

a)简单立方晶体;b)晶格;c)晶胞

不同晶体因晶格形式及晶格常数不同,表现出不同的物理、化学性能和力学性能。

二、三种典型金属晶体结构

金属与非金属晶体的不同,主要是因为它们原子构造及原子间结合键的差异。金属原子的价电子数很少,大多只有 1~2 个价电子,与原子核的结合力小。在金属原子相互结合时,所有原子都失去其价电子变为正离子,在晶体中规则排列起来,并各以空间的某定点(晶格点)为其平衡中心作轻微的高频振动,而所有游离的价电子(自由电子)则在各正离子之间作高速穿梭运动,为整个离子集体所共有,形成所谓“电子气”。自由电子与失去价电子的原子(离子)间由于静电吸引而牢固结合。金属原子的这种结合方式称为金属键。

由于金属晶体有大量的自由电子存在,因此金属有别于非金属而具有良好的导电性;金属晶体借助其电子气与各离子间公有引力的牢固结合,不仅具有良好的塑性,还具有高强度等优良的力学性能;并且金属键使金属晶体的原子排列趋向于尽可能地紧密,以致原子排列组合形式只有少数几种高对称性的晶格形式。

绝大多数(约 90%)金属的晶格结构属于体心立方、面心立方和密排六方这三种典型的、紧密的晶格形式。