



教育部高职高专规划教材

李森林 主编

机械制造基础



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

机械制造基础

李森林 主编

化学工业出版社
教材出版中心
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/李森林主编. —北京:化学工业出版社, 2004.6

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-5731-8

I. 机… II. 李… III. 机械制造-高等学校:技术学院-教材 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 056943 号

教育部高职高专规划教材

机械制造基础

李森林 主编

责任编辑:高钰

文字编辑:闫敏

责任校对:顾淑云 宋玮

封面设计:郑小红

*

化学工业出版社 出版发行

教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

中国纺织出版社印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 18¼ 字数 453 千字

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5731-8/G·1501

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

本书根据全国高职高专冶金机械课程组 2002 年教材编写会议精神制定的编写大纲编写, 在 2003 年高职高专规划教材审稿会上, 八所院校的专家们对本书的内容提出了许多宝贵的意见并作了修改。

本书共分三篇十六章, 主要讲述金属材料及其他材料、铸造、锻压及焊接、切削刀具、切削过程、零件表面加工及先进制造技术、特种加工技术等内容。

本书可作为高职高专、职工大学、电视大学机械类专业教材或教学参考书, 并可供机械制造技术人员参考。

本书由李森林教授主编, 丛娟、高淑杰、胡笛川任副主编。参加本书编写的有: 邓英剑(第一章)、邓根清(第二章)、李莲珍(第三章)、邹莉(第四章)、胡笛川(第五、六、七章)、张兆刚(第八章)、宁晓霞(第九章)、李森林(第十章)、丛娟(第十一、十五、十六章)、李金刚(第十二章)、高淑杰[第十三章(除第三节外)]、于维纳(第十三章第三节、第十四章)。

本书承蒙闫林洲副教授审阅, 并对初稿提出了许多宝贵意见, 在此表示深切的谢意。在本书编写过程中, 编者参考了很多国内外相关资料和书籍, 在此向其编者表示感谢。

由于作者的水平有限, 加之时间仓促, 书中错误之处在所难免, 殷切希望广大读者批评指正。

编者

2004 年 4 月 3 日

目 录

第一篇 工程材料

第一章 金属材料的力学性能	1
第一节 强度与塑性.....	1
第二节 硬度.....	4
第三节 冲击吸收功.....	6
第四节 疲劳极限与断裂韧度.....	7
第二章 铁碳合金	10
第一节 金属的晶体结构与结晶	10
第二节 合金的晶体结构及二元合金状态图	14
第三节 铁碳合金状态图	20
第四节 碳钢、铸铁	26
第三章 钢的热处理	34
第一节 钢在加热时的组织转变	34
第二节 钢在冷却时的转变	37
第三节 热处理工艺	42
第四节 钢的表面热处理	48
第五节 其他热处理及热处理新技术简介	53
第四章 合金钢	57
第一节 概述	57
第二节 合金元素在钢中的作用	58
第三节 合金结构钢	61
第四节 合金工具钢	67
第五节 特殊性能钢	72
第五章 有色金属	77
第一节 铝及其合金	77
第二节 铜及其合金	82
第三节 滑动轴承合金	86
第六章 其他材料	89
第一节 粉末冶金材料	89
第二节 高分子材料	91
第三节 陶瓷材料	98
第四节 复合材料.....	100
第七章 机械工程材料的选用	104
第一节 选用材料原则.....	104

第二节	典型零件的选材	106
-----	---------	-----

第二篇 毛坯成形方法

第八章	铸造	113
第一节	金属的铸造性能	113
第二节	砂型铸造	115
第三节	特种铸造	121
第四节	液态成形技术的发展	126
第五节	铸件结构设计	130
第九章	锻压	134
第一节	锻压工艺基础	134
第二节	自由锻	139
第三节	模锻	145
第四节	板料冲压	153
第五节	锻压件结构设计	156
第六节	其他压力加工方法简介	158
第十章	焊接	162
第一节	焊接的特点及分类	162
第二节	手工电弧焊	163
第三节	其他焊接方法	168
第四节	金属的焊接性	171
第五节	焊接结构举例	172
第六节	焊接质量检查	174
第七节	焊接新技术	176
第十一章	机械零件毛坯的选择	179
第一节	常用毛坯的种类	179
第二节	毛坯选择的原则	180
第三节	典型零件的毛坯选择	181

第三篇 切削加工

第十二章	切削加工基础知识	186
第一节	切削运动及切削要素	186
第二节	金属切削刀具	188
第三节	切削过程中的物理现象	194
第四节	工件材料的切削加工性	199
第十三章	零件表面的加工	201
第一节	金属切削机床	201
第二节	外圆表面加工	205
第三节	内圆表面加工	211
第四节	平面加工	217

第五节	螺纹加工.....	221
第六节	齿轮的齿形加工.....	223
第七节	光整加工.....	230
第十四章	机械加工工艺过程.....	233
第一节	机械加工工艺过程的基本知识.....	233
第二节	工艺规程的制订.....	246
第三节	典型零件加工工艺流程举例.....	253
第十五章	先进制造技术.....	261
第一节	数控加工技术.....	261
第二节	成组技术.....	267
第三节	柔性制造系统.....	269
第四节	计算机集成制造系统.....	272
第十六章	特种加工.....	276
第一节	电火花加工.....	276
第二节	电解加工.....	278
第三节	激光加工.....	279
第四节	超声加工.....	280
参考文献		283

第一篇 工程材料

第一章 金属材料的力学性能

金属材料是现代工业中最重要的一种工程材料。广泛应用于工农业和国防工业等部门。为了合理地使用金属材料，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所表现出来的性能，它决定了金属材料的应用范围、可靠性和使用寿命，它又分为物理性能、化学性能和力学性能。其中物理性能包括材料的密度、熔点、热膨胀性、导电性、导热性及磁性等；化学性能是指材料在不同条件下抵抗各种化学作用的性能，如化学稳定性、抗氧化性、耐蚀性等；力学性能是指材料在各种载荷（外力）的作用下表现出来的性能，常用的力学性能有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。工艺性能是指材料对某种加工工艺的适应性，是决定是否易于加工或如何进行加工的重要因素，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。

第一节 强度与塑性

一、强度

金属材料在外力作用下都会发生一定的变形，甚至引起破坏。其抵抗塑性变形和断裂的能力称为强度。根据外力的作用方式不同，强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗扭强度等。通常多以抗拉强度作为基本的强度指标。

（一）拉伸试验及拉伸曲线

测定强度的最基本的方法是拉伸试验。所谓拉伸试验是指用静拉伸力（指对材料缓慢施加力，使材料相对变形速度较小，一般小于 10^{-2} mm/s）对标准拉伸试样（见 GB 228—1987）进行缓慢的轴向拉伸，直至拉断的一种试验方法。试验前，首先将金属材料制成一定形状和尺寸的标准试样，标准拉伸试样可制成圆形试样和板形试样两种。当原材料为板材或带材时一般应用板形试样；其他情况下，由于圆形试样夹紧时易于对中，故应优先使用。图 1-1 所示为圆形拉伸试样，图中 L_0 为试样的原始标距长度（mm）， d_0 为试样的原始直径（mm）。通常取 $L_0=10d_0$ 或 $L_0=5d_0$ ，前者称为长试样，后者称为短试样。一般 L_0 取 100mm 或

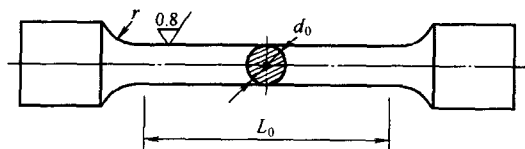


图 1-1 圆形拉伸试样

50mm。然后,将试样装夹在拉伸试验机上,并对其两端缓慢地施加轴向静拉力 F 。随着拉力逐渐加大,试样沿轴向伸长,而径向缩小,直至试样拉断。若将试样从开始拉伸直到断裂前所受的拉力 F 与其对应的伸长 ΔL 绘成曲线,则得到拉伸曲线。拉伸曲线可以反映金属材料在拉伸过程中的弹性变形、塑性变形直到断裂的全部力学特征。该图一般可由材料试验机

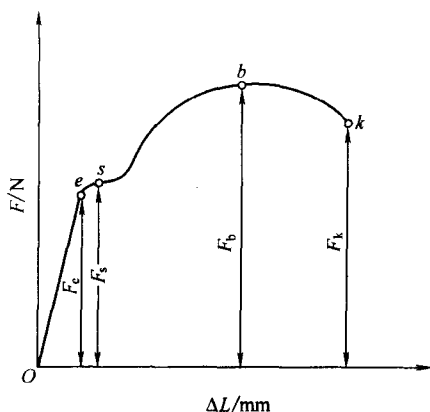


图 1-2 退火低碳钢的拉伸曲线

自动绘制。

图 1-2 为退火低碳钢的拉伸曲线图,图中横坐标表示绝对伸长 ΔL (单位为 mm),纵坐标表示力 F (单位为 N)。从图可知,在载荷较小(不超过 F_e) 的 Oe 段,拉伸曲线 Oe 为直线,即试样的伸长量与载荷成正比。如果卸除载荷,试样将恢复到原状,即试样的变形完全消失,这一阶段属于弹性变形阶段。当载荷超过 F_e 后,试样将进一步伸长,除发生弹性变形外,还发生不能回复的变形(塑性变形),这时若去除载荷,试样不能完全恢复到原状。当载荷达到 F_s 时, s 点附近的曲线近似于水平状态,表明载荷基本不变时,试样

仍继续变形,这种现象称为“屈服”。过屈服阶段后,试样又随载荷的增加而伸长,产生比较均匀的塑性变形,称为均匀塑性变形阶段(sb 段),由于较大的塑性变形伴随着冷变形强化(加工硬化)现象,故又称强化阶段。当载荷继续增加到 F_b 时,试样出现局部截面缩小,产生所谓的“缩颈”现象。之后,试样变形集中出现在缩颈附近,由于试样局部截面的逐渐缩小,故载荷也逐渐降低,当载荷达到 F_k 时,试样在缩颈处随即断裂。

拉伸曲线与试样的尺寸有关,为了消除试样尺寸的影响,可分别用试样原始截面积 S_0 去除力 F 得到的应力 σ (即 $\sigma = F/S_0$) 和以试样原始标距 L_0 去除绝对伸长 ΔL 得到的应变 ϵ (即 $\epsilon = \Delta L/L_0$) 来代替图 1-2 中的力 F 和绝对伸长 ΔL ,这样力-伸长($F-\Delta L$) 曲线就成了工程应力-应变($\sigma-\epsilon$) 曲线。它和拉伸曲线具有相同的形状,只是坐标不同。由应力-应变($\sigma-\epsilon$) 曲线上能得到一些重要的性能指标。

(二) 强度指标

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

弹性极限指金属材料能保持弹性变形的最大应力值,用 σ_e (N/mm²) 表示。

$$\sigma_e = F_e / S_0 \quad (1-1)$$

式中 F_e ——弹性变形范围内的最大载荷, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm²。

2. 屈服强度

使材料产生屈服现象时的最小应力值,用符号 σ_s (N/mm²) 表示。

$$\sigma_s = F_s / S_0 \quad (1-2)$$

式中 F_s ——使材料产生屈服的最小载荷, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm²。

有些金属材料（如铸铁、高碳钢等）在拉伸试验中没有明显的屈服现象，因此测定 σ_s 很困难。有关国标中规定，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，用符号 $\sigma_{0.2}$ (N/mm²) 表示。

$$\sigma_{0.2} = F_{0.2} / S_0 \quad (1-3)$$

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

S_0 ——试样原始横截面积，mm²。

3. 抗拉强度

材料被拉断前所能承受的最大应力值，用符号 σ_b (N/mm²) 表示。

$$\sigma_b = F_b / S_0 \quad (1-4)$$

式中 F_b ——试样断裂前所承受的最大载荷，N；

S_0 ——试样原始横截面积，mm²。

上述各式中，如果力 F 的单位为牛顿 (N)，试样原始横截面积 S_0 的单位为平方米 (m²)，则强度的单位为帕 (Pa) 或兆帕 (MPa)，且有：1MPa = 1 × 10⁶ Pa。

金属材料的强度在机械设计中具有重要意义。设计弹簧和弹性零件时，材料的许用应力不应超过其弹性极限，即 $\sigma_{\text{许}} < \sigma_e$ ；采用韧性材料制造机械零件时，材料的许用应力不应超过其屈服点，即 $\sigma_{\text{许}} < \sigma_s$ ；采用脆性材料制造机械零件时，其许用应力不应超过抗拉强度，即 $\sigma_{\text{许}} < \sigma_b$ 。违反了这些规则，机械零件就不能正常使用。

二、塑性

金属材料在外力作用下，产生永久变形而不破坏的能力，称为塑性，即断裂前金属发生塑性变形的能力。

金属材料的塑性值也是通过拉伸试验测得的。常用塑性值指标有断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。

1. 断后伸长率

断后伸长率是试样被拉断时，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

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 L_1 ——试样拉断后的标距长度，mm；

L_0 ——试样原始标距长度，mm。

2. 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后，试样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

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 S_0 ——试样原始横截面积，mm²；

S_1 ——试样断裂后缩颈处的最小横截面积，mm²。

试样的尺寸对 δ 是有影响的。试样长短不同，测得的伸长率不同。长、短试样的伸长率分别用 δ_{10} 和 δ_5 表示，对同一材料 $\delta_5 > \delta_{10}$ ，两者不能直接比较。

δ 和 ψ 是材料的重要性能指标。它们的数值越大，则材料的塑性越好。

金属材料只有具备足够的塑性才能承受各种变形加工，例如轧制、锻造、冲压等。

第二节 硬 度

硬度是衡量金属材料软硬程度的一种性能指标，是指金属表面上局部体积内抵抗弹性变形、塑性变形或抵抗破坏的能力。它是金属材料的重要性能之一，也是检验机械零件质量的一项重要指标。由于测定硬度的试验设备比较简单，操作方便、迅速，故在生产上和科研中应用都十分广泛。

测定硬度的方法比较多，主要有压入法（如布氏硬度）、划痕法（如莫氏硬度）、回跳法（如肖氏硬度）等。目前在机械制造生产中主要采用压入法。

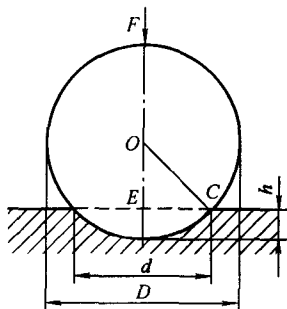


图 1-3 布氏硬度测定原理示意

常用的硬度测试方法有布氏硬度（HB）、洛氏硬度（HR）和维氏硬度（HV）等，它们均属于压入法，即用一定的压力将压头压入被测材料表层，然后根据压力的大小、压痕面积或深度确定其硬度值的大小。

一、布氏硬度

布氏硬度的测定原理如图 1-3 所示。它是用一定大小的试验力 $F(N)$ ，将直径为 $D(mm)$ 的淬火钢球或硬质合金球压入被测金属表面，保持规定时间后卸除试验力，随即在金属表面出现一个压坑（压痕），以压痕单位面积上所

承受试验力的大小，确定被测金属材料的硬度值，用符号 HB 表示。

$$HB = 0.102 \frac{F}{S} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-7)$$

式中 F —— 试验力，N；

S —— 金属表面压痕的面积， mm^2 ；

D —— 压头直径，mm；

d —— 压痕平均直径，mm。

淬火钢球作压头测得的硬度值以符号 HBS 表示，用硬质合金球作压头测得的硬度值以符号 HBW 表示。符号 HBS 和 HBW 之前的数字为硬度值，符号后面依次用相应数值注明压头球体直径（mm）、试验力（0.102N）、试验力保持时间（s）（10~15s 不标注）。

例如：500HBW5/750 表示用直径 5mm 硬质合金球在 7355N 试验力作用下保持 10~15s 测得的布氏硬度值为 500；120HBS10/1000/30 表示用直径 10mm 的钢球压头在 9807N 试验力作用下保持 30s 测得的布氏硬度值为 120。

由于金属材料有硬有软，被测工件有厚有薄，有大有小，如果只采用一种标准的试验力 F 和压头直径 D ，就会出现对某些材料和工件不适应的现象。因此在生产中进行布氏硬度试验时，要求根据实际情况使用大小不同的试验力 F 和压头直径 D 及保持时间。

布氏硬度试验适用于测量退火钢、正火钢及常见铸铁和有色金属等较软材料。其优点是测定的数据准确、稳定，数据重复性较好，但操作较繁琐，压痕较大，易损坏成品的表面，不能测定太薄的试样硬度。

二、洛氏硬度

当材料的硬度较高或试样过小时,可用洛氏硬度计进行硬度测试。洛氏硬度是采用直接测量压痕深度来确定硬度值的。

洛氏硬度试验原理如图 1-4 所示。它是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm ($1/16$ 英寸) 的淬火钢球作压头,先施加初试验力 F_1 (98N),再加上主试验力 F_2 ,其总试验力 $F = F_1 + F_2$, F 分别为 588N , 980N , 1471N 三种。图中 0-0 为压头没有和试样接触时的位置;1-1 为压头受到初试验力 F_1 后压入试样的位置;2-2 为压头受到总试验力 F 后压入试样的位置;经规定的保持时间,卸除主试验力 F_2 ,保留初试验力 F_1 后,试样弹性变形的恢复使压头上升到 3-3 的位置。此时压头受主试验力作用压入的深度为 h (mm),即 1-1 位置至 3-3 位置。材料越硬, h 便越小。为适应人们习惯上数值越大硬度越高的观念,故人为地规定一常数 K 减去压痕深度 h 的值作为洛氏硬度指标,并规定每 0.002mm 为一个洛氏硬度单位,用符号 HR 表示,则洛氏硬度值为

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

使用金刚石压头时, $K = 0.2$;使用钢球压头时, $K = 0.26$ 。

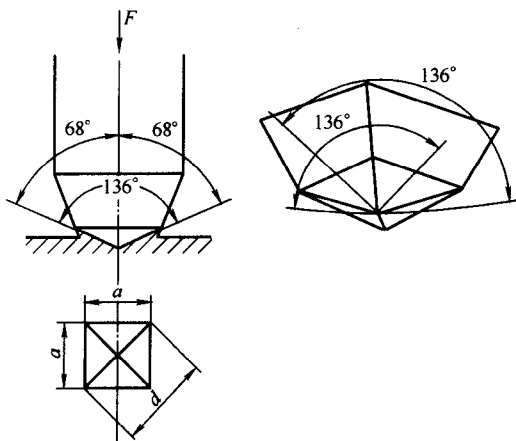


图 1-5 维氏硬度试验原理示意

淬火钢球压头适用于退火件、有色金属等较软材料的硬度测定;金刚石压头适用于淬火钢等较硬材料的硬度测定。

洛氏硬度试验测试方便,操作简捷,试验压痕较小,测试硬度值范围较宽,可测试硬度较高的材料。但其精确性较差,硬度值的重复性差,必须进行多点测试,取平均值作为材料的硬度。

三、维氏硬度

维氏硬度是一种以正四棱锥金刚石为压头的硬度测量方法,其原理示意如图 1-5。

压头的两个相对面间的夹角为 136° 。硬度值的定义与布氏硬度相同,即压痕表面上单位面积所承受的压力。所不同的是压痕形状为正四棱锥形,用测量压痕对角线的平均长度来计算压痕面积及硬度值。维氏硬度用符号 HV 表示。

$$HV = \frac{F}{A} = 1.8544 \times 0.102 \frac{F}{d^2} \quad (1-8)$$

式中 F —— 试验力, N ;

A —— 压痕表面积, mm^2 ;

d —— 压痕对角线的平均长度, mm 。

维氏硬度可测软、硬金属,尤其是极薄零件和渗碳层、渗氮层的硬度,它测得的压痕轮廓清晰,数值较准确。而且不存在布氏硬度试验那种试验力与压头直径的比例关系的约束,也不存在压头变形问题。但是其硬度值需要测量压痕对角线,然后经计算或查表才能获得,效率不如洛氏硬度试验高,所以不宜用于成批零件的常规检验。

第三节 冲击吸收功

有些机械零部件在工作过程中不仅受到静载荷或变动载荷作用,而且受到不同程度的冲击载荷作用,如锻锤、冲床、铆钉枪等。在设计和制造受冲击载荷的零件和工具时,必须考虑所用材料的冲击吸收功或冲击韧度。

目前最常用的冲击试验方法是摆锤式一次冲击试验,其试验原理如图 1-6 所示。

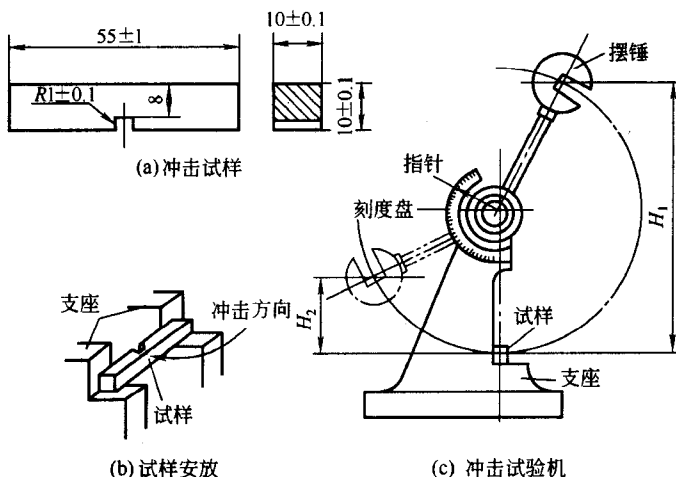


图 1-6 摆锤式冲击试验示意

先将欲测定的材料加工成标准试样,标准试样尺寸为 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 55\text{mm}$ 。可分为无缺口、V 形缺口、U 形缺口三种。对于脆性材料,如铸铁等,试样一般不开缺口。然后放在试验机的机架上,试样缺口背向摆锤冲击方向 [见图 1-6 (b)],将具有一定重力 G 的摆锤举至一定高度 H_1 ;使其具有势能,然后摆锤落下冲击试样;试样断裂后摆锤上摆到 H_2 高度,在忽略摩擦和阻尼等条件下,摆锤冲断试样所做的功,称为冲击吸收功,以 A_K 表示,则有

$$A_K = GH_1 - GH_2 = G(H_1 - H_2)$$

若用试样的断口处截面积 A_0 去除 A_K ,即得到冲击韧度,用 a_K 表示,单位为 J/cm^2 。冲击韧度指材料抵抗冲击载荷而不破坏的能力。

$$a_K = A_K / A_0$$

一般来说, a_K 值越大,材料的冲击韧度越好,断口处则会发生较大的塑性变形,断口呈灰色纤维状; a_K 值越小,材料的冲击韧度越差,断口处无明显的塑性变形,断口具有金属光泽而较为平整。

a_K 的大小与很多因素有关,除了冲击高度和冲击速度外,试样的形状和尺寸、缺口的

形式、表面粗糙度、内部组织等都有影响，而且温度对它的影响也非常显著。因此，冲击韧度一般不作为选择材料的参考，不直接用于强度计算。

还应指出，长期的生产实践证明， A_K 或 a_K 值对材料的组织缺陷十分敏感，能够灵敏地反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织方面的微小变化，因而冲击试验是生产上用来检验冶炼和热加工质量的有效办法之一。

常温下钢材的冲击试验主要按 GB/T 229—1994《金属夏比缺口冲击试验方法》和 GB/T 12778—1991《金属夏比冲击断口测定方法》的规定进行。金属低温和高温冲击试验具体要求参见 GB 4159—1984 和 GB 5775—1986。

第四节 疲劳极限与断裂韧度

一、疲劳极限

许多机械零件（如机床主轴、齿轮、连杆、弹簧等）和工程结构都是在交变应力下工作的。所谓交变应力，是指零件所受应力的大小和方向随时间作周期性变化。例如受力发生弯曲的轴，在转动时材料要反复受到拉应力和压应力，属于对称交变应力循环。零件在交变应力作用下，当交变应力远低于材料的屈服强度时，经一定循环次数后产生裂纹或突然发生完全断裂的过程称为材料的疲劳。

疲劳失效与静载荷下的失效不同，断裂前没有明显的塑性变形，发生断裂也较突然。这种断裂具有很大的危险性，常常造成严重的事故。据统计，大部分机械零件的失效是由金属疲劳造成的。因此，工程上十分重视疲劳规律的研究。无裂纹材料的疲劳性能判据有疲劳极限和疲劳缺口敏感度等。

在交变载荷下，金属材料承受的交变应力 σ 和断裂时应力循环次数 N 之间的关系，通常用疲劳曲线来描述，如图 1-7 所示。金属材料承受的最大交变应力 σ 越大，则断裂时应力循环次数 N 越小，反之 σ 越小，则 N 越大。金属材料在经受无数次重复或交变载荷作用而不发生疲劳破坏（断裂）时的最大应力，称为材料的疲劳极限（疲劳强度），以 σ_D 表示。常用钢铁材料的疲劳曲线 [见图 1-8 (a)] 有明显的水平部分，其他大多数金属材料的疲劳曲线 [见图 1-8 (b)] 上没有水平部分，在这种情况下，规定某一循环次数 N_0 断裂时所对应的应力作为条件疲劳极限，以 σ_N 表示。

通常材料疲劳性能的测定是在旋转弯曲疲劳试验机上进行的。具体试验方法请参阅 GB 4337—1984《金属旋转弯曲疲劳试验方法》。试验规范规定了各种金属材料的指定寿命

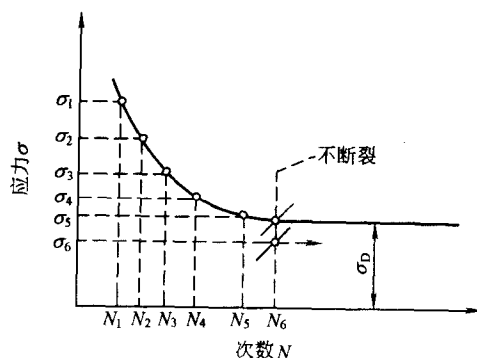


图 1-7 疲劳曲线示意

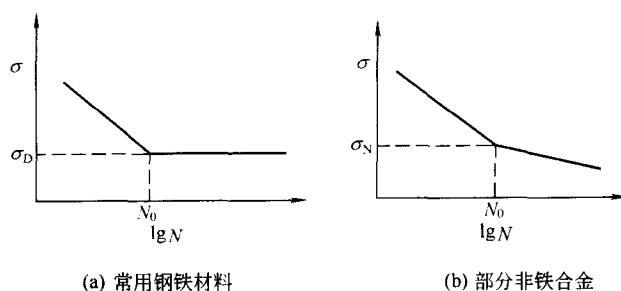


图 1-8 两种类型疲劳曲线

(循环基数) N_0 (如合金钢为 10^7 , 低碳钢为 5×10^6), 应力循环次数达到 N_0 次仍不发生疲劳破坏, 此时的最大应力可作为疲劳极限。通常纯弯曲疲劳极限用 σ_{-1} 表示。

一般认为, 产生疲劳破坏的原因是材料存在某些缺陷, 如夹杂物、气孔和微观裂纹。交变应力下, 缺陷处首先形成微小裂纹, 裂纹逐步扩展, 导致零件的受力截面减小, 以致突然产生破坏。零件表面的机械加工刀痕和构件截面突然变化部位, 均会产生应力集中。交变应力下, 应力集中处易于产生显微裂纹, 也是产生疲劳破坏的重要原因。

为了提高零件的疲劳抗力, 防止疲劳断裂事故的发生, 在进行零件设计和加工时, 应选择合理的结构形状 (如避免尖角), 防止表面损伤, 避免应力集中。由于金属表面是疲劳裂纹易于产生的地方, 而实际零件大部分都承受交变弯曲或交变扭转载荷, 表面处应力最大。因此, 表面强化处理 (如表面淬火、化学热处理、喷丸、滚压) 是提高疲劳极限的有效途径。

二、断裂韧性

按传统力学方法对机械零件进行强度设计时, 是以材料的屈服强度 σ_s 为依据, 考虑了安全系数之后确定零件的许用应力和工作应力。一般认为材料在许用应力之下工作就不会产生塑性变形, 更不会产生断裂。但事实并非如此, 一些用高强度材料制造的零件常常在远低于屈服强度的状态下发生脆性断裂, 中、低强度的重型机件、大型结构件也有类似的实例, 这就是低应力脆断。

大量事实和实验研究表明, 这种低应力脆断主要是由于实际金属材料中存在的各种宏观缺陷, 它们在材料中的作用相当于裂纹。当材料受外力作用时, 这些裂纹的尖端附近便出现应力集中, 应力不断增加, 裂纹逐渐扩展, 直到最终断裂。因此, 很有必要给出材料抵抗裂纹扩展的力学性能指标, 即材料的断裂韧性, 通常用 K_{IC} 表示。它的物理意义就是材料抵抗裂纹失稳扩展的能力。

断裂韧度和冲击韧度一样, 综合地反映了材料的强度和塑性。它是材料本身的特性, 只和材料的成分、组织结构有关, 而与裂纹的大小、形状无关, 也与外加载荷及试样尺寸无关。因此, 适当调整成分, 通过合理的冶炼、加工和热处理以获得最佳的组织, 就能大幅度提高材料的断裂韧性, 从而也就提高了含裂纹构件的承载能力。

断裂韧度测定是把试验材料制成一定形状和尺寸的试样。在试样上预制出能反映实际情况的疲劳裂纹, 然后施加载荷。试验中用仪器自动记录并绘出外力和裂纹扩展的关系曲线, 经过计算和分析, 确定断裂韧度。能够反映材料抵抗裂纹失稳扩展的性能指标及其试验测定的方法有多种, 具体试验测定方法及要求参见 GB 4161—1984《金属材料平面应变断裂韧度

K_{IC} 试验方法》、GB 2358—1994《金属材料裂纹尖端张开位移试验方法》(CTOD)、GB 2038—1991《利用 J_R 阻力曲线确定金属材料延性断裂韧度的试验方法》等。

习 题

1. 退火低碳钢试样在受到静拉力作用直至拉断时经过哪几个变形阶段？各具有什么明显特征？
2. 什么是硬度？简述布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度的试验原理和应用范围？
3. 在生产中冲击试验有何重要作用？
4. 什么叫疲劳极限？采用什么办法可有效地提高材料的疲劳极限？