

# 机械制造概论

周柳知摇主编

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书包括机械工程材料的基础知识、金属材料成形的基本原理、工艺方法、机械加工工艺基础以及先进制造技术等。本教材注重课程内容的精选和更新,强调基础知识,强调现代制造技术中的新技术、新工艺,强调分析能力和解决问题能力的培养,适应目前少学时、宽口径、强基础、重能力的教学改革要求。

本书为高等工科院校机械制造基础课程教材,也可作高等学校专科、职业大学、函授大学、成人教育学院等机电工程类专业的教学用书和工程技术人员的自学用书。

版权专有 侵权必究

---

图书在版编目(CIP)数据

《机械制造概论》 柳知主编 北京:北京理工大学出版社, 2009

ISBN 7-302-19600-3

I. ①机... II. ①柳... III. ①机械制造工艺 IV. ①TB61

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第196003号

---

出版发行 北京理工大学出版社

社址 北京市海淀区中关村南大街 27 号

邮编 100071

电话 010-68914974(办公室) 010-68914975(发行部)

网 址 <http://www.bjlu.com.cn>

电子邮箱 [bjlucbs@bjlu.com.cn](mailto:bjlucbs@bjlu.com.cn)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 北京地质印刷厂

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 6.5

字 数 160 千字

版 次 2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

印 数 1-5000 册

责任校对 陈玉梅

定 价 25.00 元

责任印制 郑兴玉

---

图书出现印装质量问题,本社负责调换

# 工程训练系列规划教材

## 编写委员会

摇摇摇摇摇摇摇摇主摇任：孙逢春

副主任：庞思勤摇李振健

主摇编：杨志坚摇丁洪生

编摇委：阎达远摇金摇军摇周郴知摇杨志兵

万小利摇王一民摇樊红亮摇冯摇俊

苏龙江

# 前 言

《机械制造概论》课程是为了适应非机械类专业学生的培养目标和知识结构要求，并结合近年来“机械制造基础课群”改革而开设的一门综合性技术基础课。本书按照原国家教委颁布的《工程材料及机械制造基础》教学基本要求和重点院校课程改革指南的精神编写，其目的是要使这些专业的学生构建必要的工程背景，掌握工程材料的基本知识，了解机械制造过程中涉及材料成形和机械加工技术的基本原理、工艺方法和技术特点，为后续课程的学习以及今后从事企、事业的生产开发、经营管理和企业生产活动的经济分析准备必要的机械制造工程的知识。本教材不仅适用于高等院校的教学，也可作为成人高等教育、职业大学、函授大学等的教学用书和工程技术人员的自学用书。

本教材在编写过程中，结合编者多年教学工作经验和教学改革的实践，吸取了国内外同类教材的优点，适应目前少学时、宽口径、强基础、重能力的教学改革要求。在课程内容和体系上作了较大力度的改革，注意内容的精选和更新，强调基础知识，强调现代制造技术中的新技术、新工艺，强调分析能力、工程素质和创新能力的培养。

全书共分三篇，第一篇工程材料，由成志芳编写；第二篇金属材料成形工艺，由周柳知编写；第三篇机械加工工艺基础，由马树奇编写。全书由周柳知任主编，负责编写大纲和全书的统稿工作。北京理工大学吕广庶教授任主审，李绍明教授审核了机械加工工艺部分，并提出了宝贵意见，在此表示由衷的谢意。

在编写过程中，参考了大量的相关教材和资料，所有参考文献均已在书后列出，在此对文献作者谨表示衷心的感谢。

由于编者水平和经验所限，书中缺点错误在所难免，敬请读者批评指正，不胜感激。

编 者  
2004 年 7 月

# 目 录

## 第一篇 工程材料

第一章 金属材料的性能	
§ 1.1 金属材料的力学性能 .....	( 3 )
§ 1.2 金属材料的物理、化学及工艺性能 .....	( 11 )
复习思考题 .....	( 12 )
第二章 金属及合金的晶体结构与结晶	
§ 2.1 金属的晶体结构 .....	( 13 )
§ 2.2 金属的结晶 .....	( 15 )
§ 2.3 合金的结构 .....	( 18 )
§ 2.4 二元合金相图 .....	( 20 )
复习思考题 .....	( 22 )
第三章 铁碳合金	
§ 3.1 铁碳合金的基本组织 .....	( 23 )
§ 3.2 铁碳合金相图 .....	( 24 )
§ 3.3 碳的质量分数对铁碳合金组织及性能的影响 .....	( 28 )
复习思考题 .....	( 28 )
第四章 钢的热处理	
§ 4.1 钢的热处理基本原理 .....	( 29 )
§ 4.2 钢的常规热处理工艺 .....	( 34 )
§ 4.3 钢的表面热处理 .....	( 41 )
复习思考题 .....	( 45 )
第五章 常用工程材料	
§ 5.1 碳素钢和合金钢 .....	( 46 )
§ 5.2 铸铁 .....	( 48 )
§ 5.3 有色金属及其合金 .....	( 50 )
§ 5.4 非金属材料 .....	( 54 )
§ 5.5 工程材料的选用原则 .....	( 58 )
复习思考题 .....	( 60 )

## 第二篇 金属材料成形工艺

第六章 金属材料成形工艺基础	
§ 6.1 液态成形工艺基础 .....	( 63 )
§ 6.2 金属塑性变形基本原理 .....	( 67 )

§ 6.3 金属熔焊原理.....	( 72 )
复习思考题.....	( 78 )
第七章 铸件成形工艺	
§ 7.1 砂型铸造工艺.....	( 79 )
§ 7.2 特种铸造工艺.....	( 82 )
§ 7.3 常用合金铸件的生产.....	( 86 )
复习思考题.....	( 94 )
第八章 锻压成形工艺	
§ 8.1 自由锻造工艺.....	( 95 )
§ 8.2 模锻.....	( 100 )
§ 8.3 板料冲压.....	( 111 )
§ 8.4 塑性成形新工艺简介.....	( 120 )
复习思考题.....	( 126 )
第九章 焊接工艺	
§ 9.1 常用焊接方法.....	( 127 )
§ 9.2 常用金属材料的焊接.....	( 132 )
复习思考题.....	( 134 )
第十章 零件毛坯的结构工艺性	
§ 10.1 铸件结构工艺性.....	( 135 )
§ 10.2 锻件结构工艺性.....	( 137 )
§ 10.3 冲压件结构工艺性.....	( 139 )
§ 10.4 焊接件结构工艺性.....	( 141 )
复习思考题.....	( 143 )
第十一章 材料成形方法的选择	
§ 11.1 材料成形工艺方法的比较.....	( 144 )
§ 11.2 毛坯成形方法选择的原则与依据.....	( 145 )
§ 11.3 典型零件毛坯选择.....	( 147 )
复习思考题.....	( 148 )

### 第三篇 机械加工工艺基础

第十二章 机械加工概述	
§ 12.1 机械加工方法分类及特点.....	( 151 )
§ 12.2 零件的种类及零件表面的成形方法.....	( 153 )
复习思考题.....	( 156 )
第十三章 切削加工基础	
§ 13.1 金属切削过程.....	( 157 )
§ 13.2 金属切削过程中的物理现象.....	( 160 )
§ 13.3 刀具材料与几何角度.....	( 164 )
§ 13.4 刀具磨损.....	( 168 )

§ 13.5 切削液	( 172 )
§ 13.6 工件材料的切削加工性	( 174 )
复习思考题	( 178 )
<b>第十四章 主要切削加工方法</b>	
§ 14.1 车削加工	( 180 )
§ 14.2 铣削加工	( 187 )
§ 14.3 刨削、插削和拉削加工	( 192 )
§ 14.4 镗削加工	( 194 )
§ 14.5 钻、扩、铰、镗削加工	( 195 )
§ 14.6 磨削加工	( 199 )
复习思考题	( 205 )
<b>第十五章 特种加工</b>	
§ 15.1 概述	( 207 )
§ 15.2 电火花加工	( 207 )
§ 15.3 电解加工	( 210 )
§ 15.4 超声波加工	( 211 )
§ 15.5 激光加工	( 213 )
复习思考题	( 214 )
<b>第十六章 数控加工</b>	
§ 16.1 数控加工技术的发展	( 215 )
§ 16.2 数控机床的特点及应用	( 216 )
§ 16.3 加工中心	( 219 )
复习思考题	( 220 )
<b>第十七章 零件结构的工艺性</b>	
§ 17.1 零件结构工艺性概念	( 221 )
§ 17.2 零件结构工艺性的原则及应用举例	( 221 )
复习思考题	( 225 )
<b>第十八章 传统生产系统与先进生产系统</b>	
§ 18.1 传统自动化生产技术	( 226 )
§ 18.2 先进生产系统	( 229 )
复习思考题	( 235 )
参考文献	( 236 )



# 工程材料



# 第一篇

# 第一章 金属材料的性能

金属材料的性能通常包括使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在特定的服役条件下, 保证安全可靠工作所必备的性能, 包括力学性能、物理性能及化学性能等。力学性能是指材料在外力作用下所显示的性能, 包括强度、刚度、塑性、硬度、冲击韧性等, 它们是通过规定条件下的标准实验来测定的。物理性能主要有密度、热膨胀性、导电性、磁性、导热性、熔点等。化学性能是指材料在室温或高温下抵抗各种介质化学作用的能力, 如化学稳定性、抗氧化性、耐蚀性、耐热性等。工艺性能是指材料对某种加工工艺的适应性, 包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理工艺性能等。

## § 1.1 金属材料的力学性能

工程构件、机械零件在使用过程中的主要功能是传递各种力和能, 承受各种力的作用。因此, 在进行各种工艺设计、选材和工艺评定时, 工程上最关心的是材料在受力时的行为, 其主要判据是材料的力学性能。

材料的力学性能, 不仅是设计零件、选择材料的重要依据, 而且也是验收、鉴定材料性能的重要依据之一。对冶金产品的生产来说, 金属材料的力学性能还是改进工艺、控制产品质量的重要参数之一。

### 1.1.1 弹性和刚度

材料在外力作用下都会或多或少地产生变形, 在使用材料时, 除了要注意材料在外力作用下的变形程度外, 更值得注意的是, 当外力去除后变形能否恢复到原来的形状以及材料抵抗这种变形的能力。

金属材料受外力作用时产生变形, 当外力去掉后能恢复其原来形状的性能, 叫做弹性。这种随着外力去除而消失的变形叫做弹性变形, 其大小与外力成正比。材料在受力时抵抗弹性变形的能力叫做刚度。

将被测试的金属材料制成如图 1-1 所示的标准试样, 在材料试验机上对其两端施加轴向静拉力  $F$ , 试样在外力的作用下产生变形。若将低碳钢试样从试验开始直到被拉断前所受的拉力  $F$ , 与其所对应的变形  $\Delta L$  绘制成曲线, 可以得到如图 1-2 所示的拉伸图, 它反映金属材料在拉伸过程中从弹性变形直到断裂的全部力学特性。

拉伸图与试样尺寸有关, 为了消除试样尺寸对材料性能的影响, 可分别以应力  $\sigma$  (试样单位横截面上的拉力) 和应变  $\varepsilon$  (试样单位长度的伸长量) 来代替  $F$  和  $\Delta L$ , 由此绘制成的曲线叫做应力-应变图。  $\sigma$ - $\varepsilon$  曲线与  $F$ - $\Delta L$  曲线形状相同, 只是坐标不同而已。但前者能直接读出力学性能指标。从图 1-2 可知, 当载荷未达到  $e$  点以前, 试样只产生弹性应变, 这种应变与应力是成正比的, 因此  $e$  点对应的应力  $\sigma_e$  为材料所能承受的、不产生永久变形的最大应力, 叫做弹性极限。

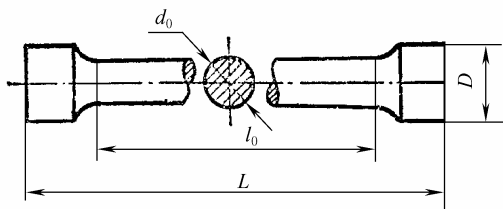


图 1-1 拉伸试样

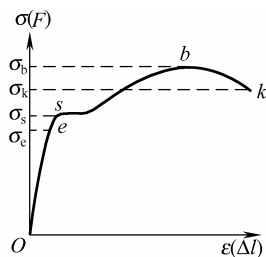


图 1-2 普通低碳钢拉伸图

当载荷超过  $e$  点时，试样开始产生永久变形，即塑性变形。当载荷继续增加到  $s$  点时，试样所承受的载荷虽不再增加，但试样仍继续产生塑性变形，应力-应变曲线出现了近似水平线段，这种现象叫做材料的屈服。 $s$  点就叫做屈服点，它是金属材料从弹性状态转变成塑性状态的标志。 $s$  点所对应的应力叫做屈服极限，通常用  $\sigma_s$  表示。有些金属材料在拉伸图中没有明显的水平线段，它的屈服极限很难测定，通常规定产生 0.2% 塑性变形时的应力叫做屈服极限，用  $\sigma_{0.2}$  表示。当载荷继续增加至  $b$  点时，试样发生不均匀变形，截面出现局部变细的缩颈现象，当变形量迅速增大至  $k$  点时试样被拉断。 $b$  点的拉力是试样在拉断前所能承受的最大载荷，其所对应的应力  $\sigma_b$  为抗拉强度。

材料在弹性范围内，应力  $\sigma$  和应变  $\varepsilon$  的关系服从虎克定律，也就是说应力与应变成正比： $\sigma = E\varepsilon$ ，其比例常数  $E$  ( $Oe$  直线的斜率) 为弹性模量，即  $E = \sigma/\varepsilon$ ，它相当于引起单位变形时所需要的应力。 $Oe$  直线的斜率越大，弹性模量  $E$  也越大，即弹性变形越不容易进行。因此  $E$  表示材料抵抗弹性变形能力和衡量材料“刚度”的指标。弹性模量越大，材料的刚度越大。弹性模量的大小主要决定于金属材料本身，即和原子的结合力有关，而与显微组织的关系不大，合金化、热处理、冷变形等对它的影响很小，生产中一般不考虑也不检验它的大小。基体金属一经确定，其弹性模量值就基本上定了。同一类材料中弹性模量的差别不大，例如钢和铸铁的弹性模量值分别约为 204 000 MPa 和 214 200 MPa。在材料不变的情况下，只有改变零件的截面尺寸或结构，才能改变它的刚度。如相同材料的两个不同零件，弹性模量虽然相同，但截面尺寸大的零件不易发生弹性变形，而截面尺寸小的零件则容易发生弹性变形。因此，考虑一个零件的刚度问题，不仅要注意材料的弹性模量，还要注意零件的形状和尺寸。

### 1.1.2 塑性

金属材料在外力作用下，产生永久变形而不致引起破坏的性能，叫做塑性。在外力消失后留下来的这部分不可恢复的变形，叫做塑性变形，其大小与外力不成正比。延伸率  $\delta$ 、断面收缩率  $\psi$  是拉伸条件下，衡量金属材料塑性变形能力的性能指标。 $\delta$  和  $\psi$  愈高，材料的塑性越好。

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

$$\psi = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中  $L_0$  为试样的初始长度, mm;  $L_1$  为试样拉断后的长度, mm;  $A_0$  为试样初始截面积,  $\text{mm}^2$ ;  $A_1$  为试样断裂后断口最小的截面积,  $\text{mm}^2$ 。

由于同一材料用不同长度的试样所测得的延伸率的数值是不同的, 所以, 用长度是直径 5 倍的试样测得的延伸率以  $\delta_5$  表示, 用长度是直径 10 倍的试样测得的延伸率以  $\delta_{10}$  表示。或用  $\delta$  表示, 同一种材料  $\delta_5 = (1.2 \sim 1.5) \delta_{10}$ 。

材料的塑性指标在工程技术中具有重要的实际意义。许多零件在成形过程中要求材料有较好的塑性。例如汽车外壳、机床油盘、柴油机油箱及发动机曲轴等金属制品, 都是利用金属的塑性变形而加工成形的。在塑性变形中, 如果材料塑性低, 将会发生开裂。

### 1.1.3 强度

强度是指在外力作用下材料抵抗变形和断裂的能力。由于材料受到的外力是多种类型的, 故按照作用力性质的不同, 可分为抗拉强度、抗弯强度、抗压强度、抗剪强度和抗扭强度等。在工程上常用来表示金属材料强度的指标有屈服强度和抗拉强度。

屈服强度就是金属材料发生屈服现象时的屈服极限, 它是评定金属对微量塑性变形抗力的重要指标。屈服强度可按下式计算:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (1-3)$$

式中  $F_s$  为试样产生屈服现象时所承受的最大外力, N;  $A_0$  为试样的初始截面积,  $\text{mm}^2$ 。

抗拉强度就是金属材料在拉断前所能承受的最大应力, 常以  $\sigma_b$  来表示。它可按下式计算:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (1-4)$$

式中  $F_b$  为试样在断裂前的最大拉力, N;  $A_0$  为试样的初始截面积,  $\text{mm}^2$ 。

抗拉强度的物理意义是表征材料承受最大均匀塑性变形的抗力, 也表征材料在拉伸条件下抵抗破坏所能承担的最大应力值。

$\sigma_s/\sigma_b$  的比值称屈强比, 比值愈大, 材料强度的有效利用率愈高; 比值愈小, 则材料强度的有效利用率愈低, 但可靠性却增加了。

屈服强度  $\sigma_s$  和抗拉强度  $\sigma_b$  在机械设计和选择、评定金属材料时有重要意义, 因为金属材料不能在超过其  $\sigma_s$  的条件下工作, 否则会引起机件的塑性变形; 金属材料也不能在超过其  $\sigma_b$  的条件下工作, 否则会导致机件的破坏。在大多数情况下, 机件是不允许产生塑性变形的, 如齿轮、连杆、轴等零件, 一旦发生塑性变形就会失去原有的精度甚至报废。

### 1.1.4 硬度

硬度是材料抵抗更硬物体压入其表面的能力, 也可以说是抵抗局部塑性变形的能力, 它是材料的重要性能之一。硬度试验法比较简单迅速, 而且还不破坏零件, 还可以通过测定的硬度值大致估计材料的成分、组织是否均匀及强度如何, 故得到广泛应用。在零件图纸上, 材料的硬度已成为一项重要技术指标。

硬度的测试方法多种多样, 最古老的测定方法是用锉来锉材料的边或角。根据锉掉的多

少来判断硬度。在矿物中常用莫氏硬度。它是将矿物的硬度分成 10 级。最硬的金刚石为 10 级，最软的滑石为一级。中间的级别用划痕法确定，即用一种矿石去划另一种矿石，被划出痕者硬度较低。在生产上使用最为广泛的是压入法硬度试验，即布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度及显微硬度。

### 1. 布氏硬度

布氏硬度用布氏硬度机测试，其测试原理如图 1-3 所示。使用载荷  $F$ ，将直径为  $D$  的淬火钢球压入被测金属表面，停留一定时间，卸掉载荷后，测量压痕的直径  $d$ ，据此计算压痕球面积  $A_s$ ，求出单位面积所受的力  $F/A_s$ ，用以作为金属的硬度值，称为布氏硬度，以符号 HBS（用淬火钢球压头）或 HBW（用硬质合金球压头）表示。

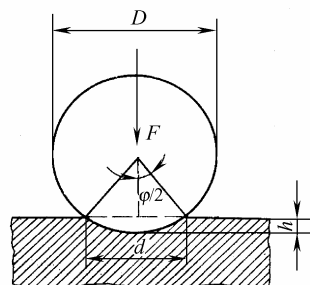


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

$$\text{HBS (HBW)} = \text{压入载荷 (N)} / \text{压痕的表面积 (mm}^2\text{)}$$

$$= \frac{0.204F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-5)$$

式中  $F$  为载荷，N； $D$  为钢球直径，mm； $d$  为压痕直径，mm。

材料愈软，其压痕直径愈大，布氏硬度值也就愈低，反之，布氏硬度值就愈高。但布氏硬度只适用于测定低于 450 HBS 或 650 HBW 的材料，具体试验规范如表 1-1 所示。

表 1-1 布氏硬度试验规范

材料种类	布氏硬度使用范围(HBS)	钢球直径 $D/\text{mm}$	$0.102F/D^2$	试验力 $F/\text{N}$	试验力保持时间 /s
钢、铸铁	140	10	30	29 420	10
		5		7 355	
		2.5		1 839	
	< 140	10	10	9 807	10 ~ 15
		5		2 452	
		2.5		613	
非铁金属材料	130	10	30	29 420	30
		5		7 355	
		2.5		1 839	
	35 ~ 130	10	10	9 807	30
		5		2 452	
		2.5		613	
	< 35	10	2.5	2 452	60
		5		613	
		2.5		153	

注：压痕中心距试样边缘距离不应小于压痕平均直径的 2.5 倍。两相邻压痕中心距离不应小于压痕平均直径的 4 倍。试样厚度至少应为压痕深度的 10 倍。试验后，试样支撑面应无可见变形痕迹。

布氏硬度因压痕面积较大，故所测得的硬度值较准确，而且试验数据的重复性也好，但不能测定太硬的材料。由于压痕较大，成品检验也有困难。通常用于测定铸铁、有色金属、低合金结构钢等材料的硬度。

## 2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验是目前应用最广的硬度试验方法，它采用直接测量压痕深度来确定硬度值。洛氏硬度用洛氏硬度机测试，其测试原理如图 1-4 所示，用顶角为  $120^\circ$  金刚石圆锥体或直径为  $1.588\text{ mm}$  的淬火钢球作压头，先施加初始试验力  $F_1$  ( $98\text{ N}$ )，再加上主试验力  $F_2$ ，其总的试验力为  $F = F_1 + F_2$  ( $588\text{ N}$ 、 $980\text{ N}$ 、 $1471\text{ N}$ )。图 1-4 (b) 中 1 为压头受到初始试验力  $F_1$  后压入试样的位置；2 为压头受到总试验力  $F$  后压入试样的位置，且经规定的保持时间，卸去主试验力  $F_2$ ，仍保留初试验力  $F_1$ ，试样弹性变形的恢复使压头上升到 3 的位置。此时压头受主试验力作用压入的深度为  $h$ ，即 1 位置至 3 位置。 $h$  值越小，其洛氏硬度越高，反之，洛氏硬度越低。洛氏硬度值以符号 HR 表示：

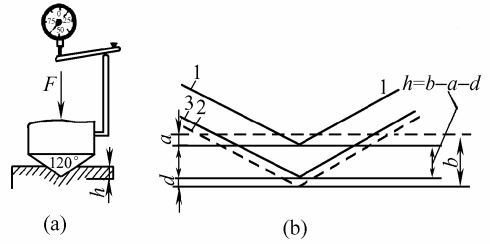


图 1-4 洛氏硬度试验原理

(a) 洛氏硬度机；(b) 试验原理

$$HR = \frac{K - h}{0.002} \quad (1-6)$$

由此可见，洛氏硬度值是一无量纲的材料性能指标，使用金刚石压头时，常数  $K$  为  $0.2$ ；使用钢球压头时，常数  $K$  为  $0.26$ 。

常用的洛氏硬度有三种：HRA、HRB、HRC，其中以 HRC 应用最广。60HRC 代表某一种材料用  $120^\circ$  金刚石圆锥，在总载荷  $1471\text{ N}$  下测得的硬度值。各种洛氏硬度试验条件及应用范围见表 1-2。

表 1-2 常用的三种洛氏硬度试验条件及应用范围

硬度符号	压头类型	总试验力 $F/\text{kN}$	硬度值有效范围	应用举例
HRA	$120^\circ$ 金刚石圆锥体	0.5884	70 ~ 85HRA	硬质合金、表面淬硬层、渗碳层
HRB	$\phi 1.588\text{ mm}$ 钢球	0.9807	25 ~ 100HRB	非铁金属，退火、正火钢等
HRC	$120^\circ$ 金刚石圆锥体	1.4711	20 ~ 67HRC	淬火钢、调质钢等

因洛氏硬度压痕几乎不损伤工件表面，故在钢件热处理质量检验中应用最多。但由于压痕较小，硬度值的代表性就差，如果材料中有偏析或组织不均匀的情况，则所测硬度值的重复性也差。

## 3. 维氏硬度

维氏硬度在维氏硬度机上进行，其测试原理与布氏硬度试验相似。也是根据压痕单位面积上的载荷来计算的，它的试验原理如图 1-5 所示。维氏硬度试验的压头是顶角为  $136^\circ$  的金刚石正四棱锥体。试验时在载荷  $F$  的作用下，试样表面压出一个四方锥形的压痕。根据测量压痕的对角线长度  $d$ ，就可计算压痕表面积  $A$ ，维氏硬度值以符号 HV 表示：

$$HV = \frac{F}{A} \quad (1-7)$$

式中  $F$  为载荷,  $N$ ;  $A$  为压痕表面积,  $\text{mm}^2$ 。

维氏硬度试验没有布氏硬度试验的钢球变形问题, 采用对角线长度计量, 精度可靠; 也不存在洛氏硬度的各种硬度不能统一的问题, 而且比洛氏硬度试验更适于测定极薄试样的硬度。但维氏硬度机试验的生产率不如洛氏硬度机的高, 所以不宜用于成批生产的常规检验。

#### 4. 显微硬度

测定材料各种组织的硬度时, 要用显微硬度机, 其实质就是小负荷的维氏硬度试验, 负荷以  $9.8 \times 10^{-3} \text{ N}$  计量, 试验负荷范围为  $98.07 \times 10^{-3} \sim 1.961 \text{ N}$ , 压痕对角线长度以  $\mu\text{m}$  计量。一般用的显微硬度符号为  $HM$ , 在硬度机上带有金相显微镜, 以便观察试样的金相组织, 确定压痕位置和精确测量压痕对角线长度。这种方法主要用于测定金属箔、金属粉末、极薄的表面以及合金中各种组成相的硬度。

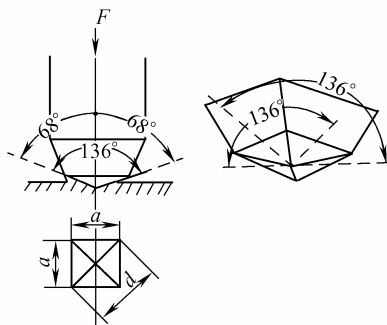


图 1-5 维氏硬度试验原理示意图

### 1.1.5 冲击韧性

许多机器零件和工具在工作时要受到冲击作用。例如火车开车、刹车, 改变速度时, 车辆间的挂钩要受到冲击。刹车越急, 启动越猛, 冲击力越大。另外还有一些机械本身就是利用冲击负荷工作的, 如锻锤、冲床、铆钉枪等, 其中一些零件必然要受冲击。一般来说, 随着变形速度的增加, 材料的塑性、韧性降低, 脆性增加; 强度高而塑性、韧性较差的材料, 往往易于发生突然性的破断, 造成严重事故。因此, 在设计受冲击载荷的零件和工具时, 必须考虑所用材料的冲击韧性。

金属材料抵抗冲击载荷作用下断裂的能力叫做冲击韧性。目前最常用的冲击试验方法是一次摆锤弯曲冲击试验。其试验原理如图 1-6 所示。

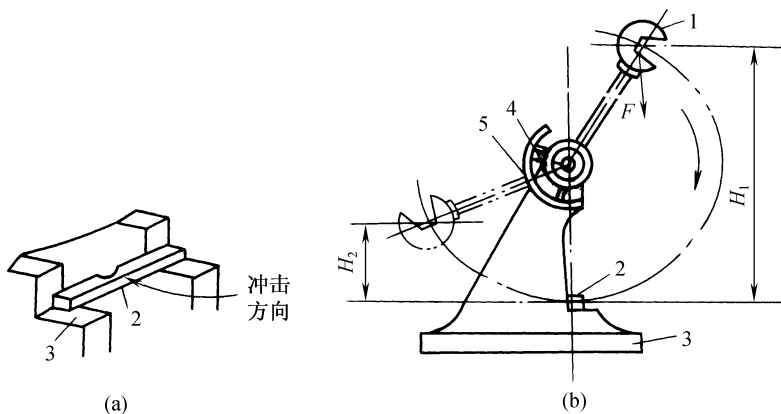


图 1-6 冲击试验原理图

1—摆锤; 2—试件; 3—机构; 4—指针; 5—刻度盘

欲测定的材料先加工成标准试样，然后放在试验机的机架上，试样缺口背向摆锤冲击方向（图 1-6），将重量为  $G$  的摆锤举至一定高度  $H_1$ ，使其具有势能  $GH_1$ ，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（单位为 J），以  $A_K$  表示， $A_K=G(H_1-H_2)$ 。用试样缺口处的截面积  $A_N$  去除  $A_K$  即得到冲击韧性（单位为  $J/cm^2$ ），用  $a_K$  表示：

$$a_K = A_K / A_N \quad (1-8)$$

必须指出，在冲击载荷下工作的零件，很少有受大能量一次冲击而破坏的，往往是受小能量多次冲击破坏。因此，在一次冲断条件下确定的冲击韧性，虽然方便简单，且对判别金属材料抵抗大能量冲击的能力有一定的作用，但对大多数在工作中承受小能量重复冲击的机件就不够适合。试验研究表明：在冲击能量不太大的情况下，金属材料承受多次重复冲击的能力，主要取决于强度，并不要求过高的冲击韧性，这时强度较高而冲击韧性较低的材料寿命较长。例如球墨铸铁的冲击韧性仅为  $15 J/cm^2$ ，只要强度足够，就能够用来制造受冲击载荷的发动机曲轴。

长期生产实践证明， $a_K$  值对材料的组织缺陷很敏感，能够灵敏地反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织方面的变化。因而冲击试验是生产上用来检验冶炼、热加工、热处理工艺质量的有效方法。

### 1.1.6 断裂韧性

一般认为零件在许用应力以下工作不会发生塑性变形，更不会发生断裂。然而事实并非如此，工作中曾多次出现过在应力低于许用应力情况下，发生突然断裂的事故。试验研究表明，由于金属材料内部不可避免地存在着各种宏观缺陷，这些缺陷在材料中的作用相当于裂纹。当材料受到外力作用时，这些裂纹的尖端便出现应力集中，如图 1-7 所示，由于应力线的特点是不能中断在试样的内部，而被迫绕过裂纹尖端上下相连，使裂纹尖端处的应力线增多，产生应力集中，乃至大大超过材料的允许应力值，使裂纹失稳扩展，直到最终断裂。

断裂韧性就是用来反映材料抵抗裂纹失稳扩张能力的性能指标。通常用临界应力强度因子  $K_{Ic}$  表示。

$$K_{Ic} = Y\sigma_c \sqrt{a} \quad (1-9)$$

式中  $Y$  为常数，与试样材料、裂纹形状及加载方式有关； $a$  为裂纹长度，m； $\sigma_c$  为断裂应力，MPa。

断裂韧性是材料本身的一种力学性能指标，也同其他力学性能一样，主要取决于材料的成分、组织结构及各种缺陷，并与生产工艺过程有关。因此，适当调整成分，通过合理冶炼、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

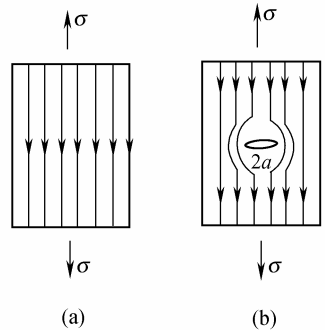


图 1-7 无裂纹和有裂纹试样的应力线

(a) 无裂纹试样；(b) 有裂纹试样

构件的承载能力。

### 1.1.7 疲劳强度

许多零件是在交变应力下工作的，如机床主轴、发动机曲轴、齿轮、弹簧、连杆等。它们工作时所承受的应力通常都低于材料的屈服强度。零件在这种变动负荷下经过较长时间工作而发生断裂的现象叫做金属的疲劳破坏。当金属材料在无数次重复或交变载荷作用下工作而不致引起断裂的最大应力，叫做疲劳强度。多年来人们对于疲劳的研究发现，金属承受的最大交变应力（ $\sigma_{\text{最大}}$ ）越大，则断裂时应力交变的次数（ $N$ ）越少；反之， $\sigma_{\text{最大}}$ 越小，则  $N$  越大。如果将所加的应力  $\sigma_{\text{最大}}$  和对应的断裂周次  $N$  绘成图，便得到如图 1-8 所示的曲线，此曲线称为疲劳曲线。

从图中看出，当应力降至某值后，疲劳曲线成为水平，即表示该材料可能经受无数次应力循环而仍不发生疲劳断裂，这个应力值称为材料的疲劳强度极限。通常是在旋转对称弯曲疲劳试验机上测定材料的疲劳强度极限。通常纯弯曲疲劳极限用  $\sigma_{-1}$  表示，抗压疲劳极限用  $\sigma_{-1P}$  表示；扭转疲劳极限用  $\tau_{-1}$  表示。

不同材料的疲劳曲线形状不同，大致可以分为两种类型，如图 1-9 所示，对于具有应变时效现象的合金，如常温下的钢铁材料，疲劳曲线上有明显的水平部分，疲劳极限有明确的物理意义。而对于没有应变时效现象的金属合金，如部分有色金属合金、在高温下或腐蚀介质中工作的钢等，则它们的疲劳曲线上没有明显的水平部分，所以试验规范规定各种金属材料应有一定的应力循环基数  $N_0$ ，如钢材以  $10^7$  为基数，即钢材的应力循环次数达到  $10^7$  仍不发生疲劳破坏，就认为不会再发生疲劳破坏了；有色金属则常取  $10^8$  为基数。 $N_0$  值所对应的应力作为“条件疲劳极限”或“有限疲劳极限”。

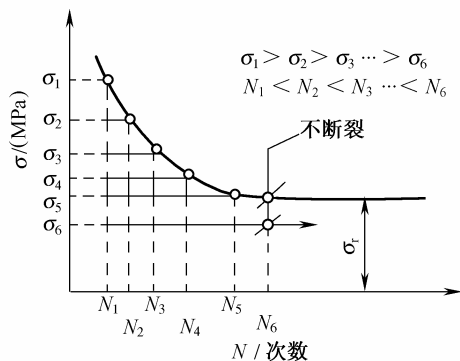


图 1-8 疲劳曲线示意图

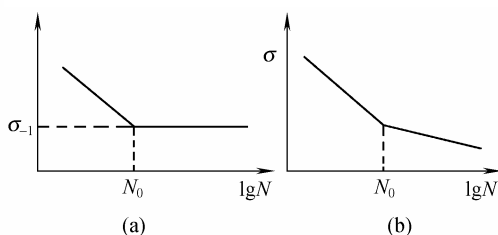


图 1-9 两种类型疲劳曲线

(a) 钢铁材料；(b) 部分有色金属（如铝合金等）

一般认为产生疲劳破坏的原因是由于材料有杂质、表面划痕及其他能引起应力集中的缺陷而导致微裂纹的产生，这种微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展，致使零件不能承受所加载荷而突然被破坏。为了提高零件的疲劳强度，除改善其结构形状，避免应力集中外，还可采取表面强化的方法，如提高零件的表面质量，对零件表面进行喷丸处理、表面淬火等。

## § 1.2 金属材料的物理、化学及工艺性能

### 1.2.1 物理性能

金属材料的物理性能是指在重力、电磁场、热力等物理因素作用下，材料所表现的性能或固有属性。机械零件及工程构件在制造中所涉及的金属材料的物理性能主要包括密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性等。

由于机械零件的用途不同，对其物理性能的要求也就完全不一样。通常大多数的金属零件都希望在满足力学性能的前提下，其自身的质量越轻越好，特别是飞机零件要选择密度小的铝合金来制造。金属材料的导电性、电磁性等电器行业非常重要。纯金属的导电性要比合金的导电性好，如纯铜、纯铝大量用作导线，而 Ni-Cr 合金、Fe-Cr-Al 等合金电阻非常大，可用作电阻丝。硅钢片磁通大、磁损小，专门用来制造电机、变压器等电器元件。

金属材料的一些物理性能对于热加工工艺还有一定的影响。例如高速钢的导热性较差，在锻造时就应该用很低的速度来进行加热，否则会产生裂纹；又如锡基轴承合金、铸铁和铸钢的熔点不相同，在铸造时三者的熔炼工艺就有很大的不同。

### 1.2.2 化学性能

化学性能是指金属材料与其他化学物质起化学反应时所显示出来的那些性能。例如材料在各种环境下的氧化抗力、腐蚀抗力等。这里主要讨论的化学性能是金属及合金在室温或高温环境下抵抗各种化学作用的能力，主要是指抵抗活泼介质的化学侵蚀能力，如耐酸性、耐碱性、抗氧化性等。

对于在腐蚀介质中或在高温下工作的零件，比在空气中或室温下的腐蚀更为强烈。在设计这类零件时，应特别注意金属材料的化学性能。如海洋设备及船舶用，须耐海水和海洋大气腐蚀；而储存和运输酸类的容器、管道等，则应具有较高的耐酸性能。一种金属材料在某种介质、某种条件下是耐蚀的，而在另一种介质或条件下就可能不耐蚀。如镍铬不锈钢在稀酸中耐蚀，而在盐酸中则不耐蚀；铜及铜合金在一般大气中耐蚀，但在氨水中却不耐蚀。

### 1.2.3 工艺性能

金属材料的工艺性能是指它在不同的制造工艺条件下所表现出的承受加工的能力，它是物理、化学和力学性能的综合。它直接影响制造零件的工艺方法，也是选用材料时必须考虑的因素。按工艺方法不同，可分为铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理工艺性能和切削加工性能等。

在设计零件和选择工艺方法时，都应考虑金属材料的工艺性能。例如灰铸铁具有良好的铸造性能和切削加工性能，但不能进行锻造，而且焊接性也较差，因此被广泛用来制造铸件。低碳钢的锻造性能和焊接性能都很好，多用于制造各类锻压件和焊接构件；高碳钢的焊接性很差，不宜制作焊接件而易于制作刀具、量具等。热处理工艺性能包括淬透性、淬硬性、回火稳定性、变形与开裂、过热与过烧、氧化等。热处理工艺性能的好坏，直接影响产品质量。