

高职高专机电类专业统编教材
全国水利水电高职教研会组编

JIXIE ZHIZAO JICHU

机械制造基础

单冬敏 张兰芳 杨化书 主编



黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是高职高专机电类专业统编教材,是根据全国水利水电高职教研会制定的《机械制造基础》课程教学大纲编写完成的。全书共分12章,主要介绍工程材料的性能、金属材料的结构与结晶、钢的热处理、工程材料的性能及其应用、公差配合与技术测量基础、铸造、锻压、焊接和金属切削加工基础等。各章前都编写了学习指导,明确基本内容、重点和难点,适当介绍学习方法。部分重点章增加技能训练内容。

本书可作为高职高专机械类和近机类专业教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/单冬敏,张兰芳,杨化书主编. —郑州:
黄河水利出版社,2009.1

高职高专机电类专业统编教材

ISBN 978-7-80734-503-9

1. 机… II. ①单… ②张… ③杨… III. 机械制造-高等学校:
技术学校-教材 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 203109 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwp@126.com

简 群

66026749

W_JQ001@126.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路11号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄委会设计院印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:18

字数:420千字

印数:1—4 100

版次:2009年1月第1版

印次:2009年1月第1次印刷

定价:32.00元

前 言

本书是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》等文件精神,以及由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,报水利部批准,由全国水利水电高职教研会组织编写的机电类专业统编教材。

机械制造基础是高职高专机械类和近机类专业的一门重要的技术基础课,具有很强的实践性。为适应高职高专培养应用型人才的要求,本书坚持以应用为目的,以必须够用为度的原则,力求理论与实践相结合,密切联系生产实际,避免深奥的理论阐述,注重对学生基本技能训练和综合分析能力的培养;叙述力求清楚易懂、详略得当。本书有以下特色:

(1)注意结合生产实际和应用技术的发展。如在第四章列出了汽车和机床主要零件的选材实例,增加了近年来应用较多的塑料模具钢的内容。

(2)各章前都编写了学习指导,明确基本内容、重点和难点,适当介绍学习方法。

(3)部分重点章增加技能训练内容。如在第三章增加了碳钢的热处理技能训练,在第六章增加了量块的使用和用比较仪测量轴直径等技能训练内容。通过技能训练巩固理论知识,提高学生的动手能力。

本书主要适用于高职高专机械类和近机类专业,也可作为职业大学、业余大学、函授大学学生的教材及供有关工程技术人员参考。

本书编写人员及编写分工如下:黄河水利职业技术学院靳征昌编写第一、九章,黄河水利职业技术学院单冬敏编写第二、三、六章,黄河水利职业技术学院杨化书编写第四章,湖北水利水电职业技术学院张兰芳编写第五、十二章,黄河水利职业技术学院陈先锋编写第七、八章,浙江同济科技职业学院叶炬锋编写第十章,黄河水利职业技术学院陈艳艳编写第十一章。本书由单冬敏、张兰芳、杨化书担任主编,单冬敏负责统稿,由黄河水利职业技术学院胡修池、广西水利电力职业技术学院梁建和担任主审。

本书在编写过程中得到各位编者所在学校领导、老师的大力支持,并参考了有关文献和资料,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,且时间仓促,书中缺点和错误在所难免,恳请广大师生、读者批评指正。

编 者

2008 年 10 月

目 录

前 言

第一章 工程材料的性能	(1)
第一节 工程材料的力学性能	(1)
第二节 工程材料的工艺性能	(12)
技能训练一 强度和塑性指标的测定	(13)
技能训练二 材料硬度的测定	(15)
思考与练习	(16)
第二章 金属材料的结构与结晶	(18)
第一节 金属材料的结构	(18)
第二节 金属材料的结晶	(25)
第三节 铁碳合金相图	(28)
技能训练三 铁碳合金平衡组织观察	(40)
思考与练习	(41)
第三章 钢的热处理	(43)
第一节 钢在加热和冷却时的转变	(43)
第二节 钢的普通热处理	(50)
第三节 钢的表面热处理	(57)
第四节 零件的热处理工艺路线分析	(61)
技能训练四 碳钢的热处理	(63)
思考与练习	(64)
第四章 工程材料	(66)
第一节 非合金钢	(66)
第二节 合金钢	(74)
第三节 铸 铁	(88)
第四节 非铁金属材料	(96)
第五节 非金属材料	(106)
第六节 典型零件选材	(113)
技能训练五 常用金属材料的显微组织观察	(116)
思考与练习	(117)
第五章 光滑圆柱体的公差与配合	(118)
第一节 公差与配合的基本术语和定义	(118)
第二节 公差与配合标准的基本规定	(124)
第三节 公差与配合标准的选用	(136)

思考与练习	(142)
第六章 技术测量基础	(144)
第一节 技术测量的基本知识	(144)
第二节 测量器具和测量方法的分类	(147)
第三节 测量器具的基本度量指标	(147)
第四节 测量误差的基本知识	(148)
第五节 测量器具的选择	(150)
技能训练六 量块的使用	(154)
技能训练七 用比较仪测轴直径	(155)
技能训练八 用内径百分表测内径	(156)
思考与练习	(158)
第七章 形状和位置公差	(159)
第一节 形状公差和误差	(159)
第二节 位置公差和误差	(164)
第三节 形位公差的标注	(171)
第四节 形位公差与尺寸公差的关系	(174)
思考与练习	(182)
第八章 表面粗糙度	(184)
第一节 表面粗糙度及其评定标准	(184)
第二节 表面粗糙度的选用及测量	(191)
思考与练习	(193)
第九章 铸 造	(194)
第一节 合金的铸造性能	(194)
第二节 砂型铸造	(200)
第三节 铸件的结构工艺性	(210)
第四节 特种铸造简介	(212)
思考与练习	(218)
第十章 锻 压	(219)
第一节 概 述	(219)
第二节 锻 造	(221)
第三节 板料冲压	(228)
第四节 锻造新工艺简介	(233)
思考与练习	(235)
第十一章 焊 接	(236)
第一节 概 述	(236)
第二节 焊条电弧焊	(237)
第三节 其他焊接方法	(240)
第四节 焊接接头	(245)

第五节	常用金属材料的焊接	(247)
第六节	焊接结构工艺性	(250)
第七节	焊接新技术简介	(252)
思考与练习		(254)
第十二章	金属切削加工基础	(256)
第一节	切削运动和切削要素	(256)
第二节	刀具材料及刀具几何形状	(258)
第三节	金属的切削过程	(263)
第四节	金属切削机床的基础知识	(266)
第五节	金属切削加工概述	(270)
思考与练习		(278)
参考文献		(279)

第一章 工程材料的性能

学习指导

工程方面使用的材料称为工程材料,按属性可分为三类:金属材料、高分子材料和无机非金属材料。工程材料之所以能够在工程领域中得到广泛应用,是因为它具有良好的使用性能和优良的工艺性能。工艺性能指制造加工过程中反映出来的各种性能;使用性能又可分为力学性能、物理性能、化学性能。力学性能是本章的重点内容,要求熟悉几个主要的力学性能指标——屈服强度、抗拉强度、伸长率、断面收缩率、冲击韧性和疲劳强度的物理意义及常用符号。对工艺性能,只要求了解其概念,不是本章重点。

第一节 工程材料的力学性能

力学性能是材料在受外力作用时表现出来的性能,主要包括强度、塑性、硬度、韧性和疲劳性能等。

一、强度与塑性

金属材料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,强度愈高,材料所能承受的载荷愈大。

根据载荷作用方式的不同,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等。工程上常以屈服强度和抗拉强度作为强度指标。

抗拉强度是通过金属拉伸试验测定的,通常在拉伸试验机上进行。先将被测材料制成如图 1-1 所示的标准试样(参见 GB 6397—86《金属拉伸试验试样》),图中 d_0 为试样直径, l_0 为测定塑性用的标距长度。试验时,将圆柱形状

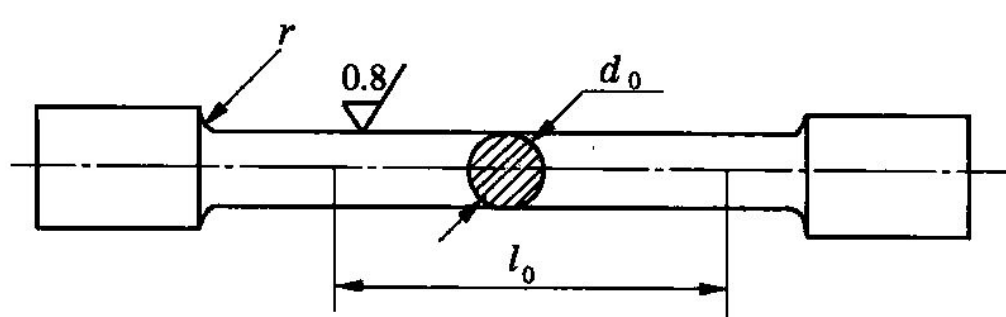


图 1-1 拉伸试样

光滑试样装夹在拉伸试验机上,沿试样轴向缓慢施加载荷,随着轴向拉伸力不断增加,试样被逐渐拉长,直至拉断。通过力与位移传感器可获得载荷(P)与试样伸长量(Δl)之间的关系曲线,称为拉伸曲线或 $P - \Delta l$ 曲线,如图 1-2(a)所示。

若将纵坐标以应力 σ ($\sigma = P/A_0$, A_0 为试样原始截面积)表示,横坐标以应变 ε ($\varepsilon = \Delta l/l_0$, l_0 为试样标距)表示,则这时的曲线与试样的尺寸无关,称为应力—应变曲线($\sigma - \varepsilon$ 曲线),如图 1-2(b)所示。

通过拉伸试验可以揭示材料在静载荷作用下的力学行为,即弹性变形、塑性变形、断裂三个基本过程,还可以确定材料的最基本的力学性能指标——强度与塑性。

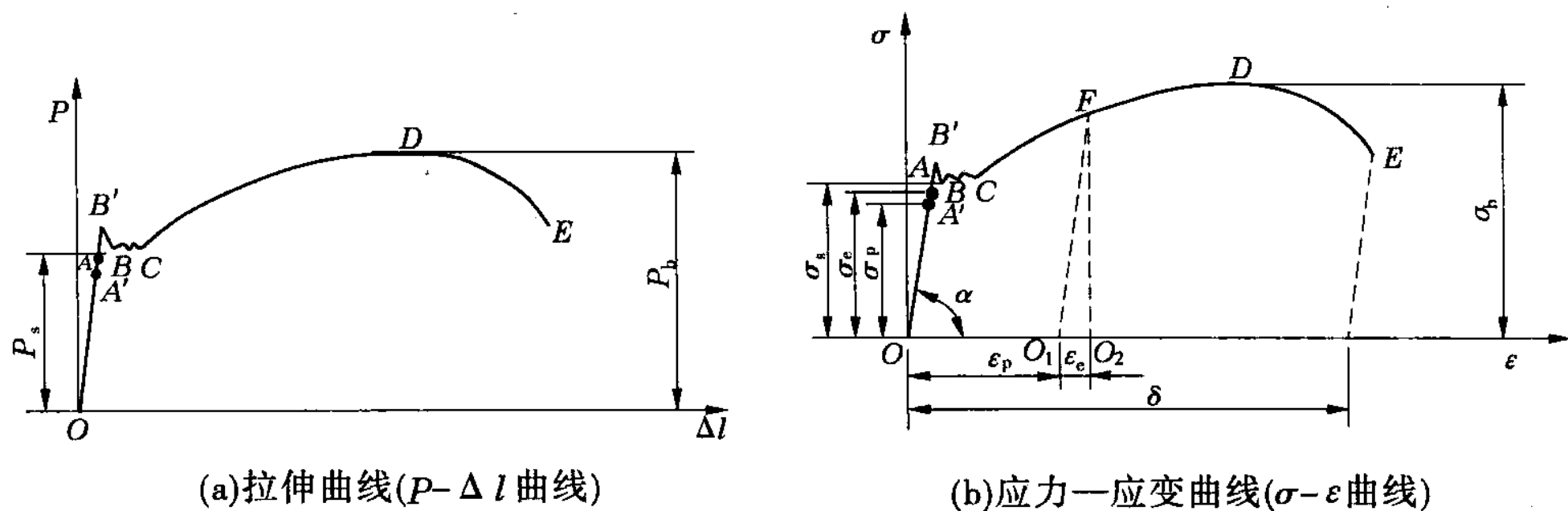


图 1-2 拉伸曲线

(一) 低碳钢拉伸时的力学性质

由图 1-2(b) 低碳钢的拉伸曲线可以看出, 整个拉伸过程可分为弹性阶段、屈服阶段、强化阶段、颈缩阶段四个阶段。下面根据 $\sigma-\epsilon$ 曲线讨论低碳钢拉伸时的力学性能。

1. 弹性阶段

这一阶段可分为两部分: 开始段斜直线 OA' 和微弯曲线 $A'A$ 。斜直线 OA' 表示力 P 与伸长量 Δl 为线性关系, 应力与应变也成正比变化, 除去试验力后, 试样将恢复到原始长度。此直线段的斜率即材料的弹性模量 E , 即 $E = \sigma/\epsilon$ 。它表征材料对弹性变形的抗力。其值越大, 材料产生一定量的弹性变形所需要的应力越大, 反映了材料内部原子间结合键的强弱。

直线最高点 A' 的应力称为比例极限。当应力不超过比例极限 σ_p 时, 材料服从虎克定律。例如 Q235 钢的比例极限 $\sigma_p \approx 200 \text{ MPa}$ 。

当试件应力小于 A 点应力时, 试件只产生弹性变形, A 点的应力 σ_e 是材料只产生弹性变形的最大应力, 称弹性极限。若应力超过 σ_e , 则试件除弹性变形外还产生塑性变形。由于弹性极限与比例极限数值接近, 通常不作区分。

2. 屈服阶段

应力到达 B' 点后, $\sigma-\epsilon$ 曲线图上第一次出现倒退, 由 B' 点倒退至 B 点, 而后应力几乎不变, 但此时的应变却显著增加, 这种现象称为屈服。曲线上的 $B'C$ 段称为屈服阶段, 此阶段产生显著的塑性变形。若试件表面比较光滑, 在试件表面出现与轴线约成 45° 的一系列迹线。因为在 45° 的斜截面上剪应力最大, 所以这些迹线即是材料沿最大剪应力作用面发生滑移的结果, 这些迹线称为滑移线。目前认为, 金属材料塑性变形的产生即是由于金属晶体间滑移的结果。由于 B' 点应力值不稳定, 以数值比较稳定的 B 点应力 σ_s 作为材料屈服时的应力, 称为屈服极限。Q235 钢的屈服极限 σ_s 大约为 235 MPa。

3. 强化阶段

试件内所有晶粒都发生一定程度滑移之后, 屈服现象终止。要使试件继续变形, 必须增加外力, 这种现象称为材料强化。由屈服终止的 C 点到 D 点称为材料强化阶段, 曲线 CD 段向右上方倾斜。强化阶段的变形绝大部分也是塑性变形, 同时整个试件的横向尺寸明显缩小。 D 点是 $\sigma-\epsilon$ 曲线上的最高点, D 点的应力 σ_b 称为抗拉强度(或强度极限)。Q235 钢的抗拉强度为 400 MPa。

4. 颈缩阶段

D 点过后,试件局部显著变细,出现颈缩现象(见图 1-3)。由于“颈缩”,试件截面显著缩小,因此使试件继续变形所需的载荷反而减小,到达 E 点时试件断裂。

上述拉伸试验中出现的四个阶段,三个强度特征值(σ_p 、 σ_s 、 σ_b)即为低碳钢在静载拉伸中的主要强度性质。

5. 卸荷与冷作硬化

如果将试件拉伸到超过弹性范围后的任一点,例如图 1-2(b)中的 F 点,然后逐渐撤力,在卸载过程中试件的应力、应变沿着与 OA' 平行的直线返回到 O_1 点。这表明材料在卸载中应力增量与应变增量成直线关系,即 $\Delta\sigma = E\Delta\varepsilon$,这称为卸载定律。载荷全部卸掉后达到 O_1 点,这表明 OO_1 所代表的是不可消失的塑性应变 ε_p 。

对有残余应变的试件重新加载,则应力应变基本上沿着方才的卸载直线 O_1F 上升,到 F 点后仍沿曲线 FDE 变化,直到断裂。这里看到,当 $\sigma = \sigma_s$ 时并不发生屈服,而是达到 F 点的应力后才出现塑性变形,所以,材料的比例极限提高了,而且断裂后的残余应变比原来的少了 OO_1 段。这种在常温下经过塑性变形后材料强度提高、塑性降低的现象,叫做冷作硬化。当某些构件对塑性的要求不高时,可利用它来提高材料的比例极限与屈服极限,例如对起重机的钢丝绳采用冷拔工艺,对某些型钢采用冷轧工艺均可收到这种效果。

(二) 强度指标及其意义

在拉伸试验的各个阶段,都分别对应典型的应力。常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度,应重点掌握。

1. 屈服强度 σ_s

屈服强度也叫屈服点,是指材料产生屈服时的最小应力。在拉伸试验过程中,载荷不增加(保持恒定),试样仍能继续伸长时的应力称为屈服强度,用符号 σ_s 表示,计算公式如下

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

式中 σ_s ——屈服强度,MPa;

P_s ——试样屈服时的最小载荷,N;

A_0 ——试样原始横截面面积,mm²。

工业上使用的许多金属材料,在拉伸试验过程中,没有明显的屈服现象。例如图 1-4 所示灰铸铁的拉伸曲线表明灰铸铁无屈服现象。对于许多没有明显屈服现象的金属材料,用“规定残余伸长应力”作为相应的强度指标。

拉伸试验方法国家标准 GB 228—87 规定:当试样卸除拉伸力后,其标距部分的残余伸长达规定的原始标距百分比时的应力,作为规定残余伸长应力(σ_r)。表示此应力的符号应附以角标说明,例如 $\sigma_{r0.2}$ 表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力。

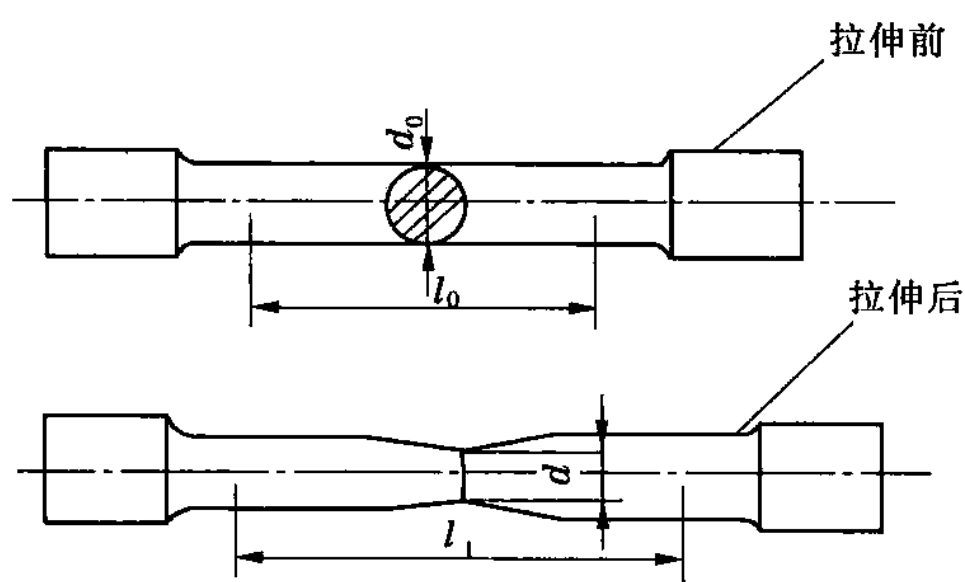


图 1-3 颈缩示意图

$$\sigma_r = \frac{F_r}{A_0} \quad (1-2)$$

式中 σ_r ——规定残余伸长应力, MPa;
 F_r ——产生规定残余伸长时的试验力, N;
 A_0 ——试样原始截面面积, mm²。

原标准 GB 228—76 曾将产生 0.2% 残余伸长率的规定残余伸长应力 $\sigma_{0.2}$ 称为屈服强度, 以 $\sigma_{0.2}$ 表示。目前一些技术资料仍沿用这一术语。

屈服强度 σ_s 和规定残余伸长应力 $\sigma_{0.2}$ 都是衡量金属材料塑性变形抗力的指标。机械零件在工作时如受力过大, 则因过量的塑性变形而失效。当零件工作时所受的应力低于材料的屈服强度或规定的残余伸长应力, 则不会产生过量的塑性变形。材料的屈服强度或规定的残余伸长应力越高, 允许的工作应力也越高, 则零件的截面尺寸及自身质量就可以减小。因此, 材料的屈服强度或规定的残余伸长应力是机械零件设计的主要依据, 也是评定金属材料性能的重要指标。

屈服强度是对材料组织、成分敏感的性能, 可以通过热处理、合金化以及塑性变形等方法在很大范围内变化。提高材料的屈服强度往往是热处理、合金化以及塑性变形的主要目的之一。

2. 抗拉强度 σ_b

材料在拉伸过程中所能承受的最大载荷与原始截面面积之比称为抗拉强度(也称强度极限), 用符号 σ_b 表示。计算公式如下

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_0} \quad (1-3)$$

式中 σ_b ——抗拉强度, MPa;
 P_b ——试样承受的最大载荷, N;
 A_0 ——试样原始横截面面积, mm²。

由拉伸试验可见, 对塑性材料来说, 在载荷达到最大载荷 P_b 以前试样均匀变形, 而在 P_b 以后变形将集中在颈部。抗拉强度表征材料对最大均匀塑性变形的抗力, 是材料的主要力学性能指标之一。零件在工作中所承受的应力, 不允许超过抗拉强度, 否则会产生断裂。 σ_b 也是机械零件设计和选材的重要依据。

(三) 塑性指标及其应用

工程材料根据断裂前发生的塑性变形的大小分为两类: 塑性材料和脆性材料。前者指断裂前产生较大塑性变形的材料, 如低碳钢及铜、铝等金属; 后者指断裂前塑性变形很小的材料, 如铸铁、石料、玻璃等。低碳钢和铸铁是工程中广泛使用的两种典型材料。金属材料断裂前发生塑性变形的能力, 称为塑性。塑性指标也是由拉伸试验测得的, 常用伸长率和断面收缩率来表示。

1. 伸长率

试样拉断后, 标距的伸长量与原始标距的百分比称为伸长率, 以 δ 表示。

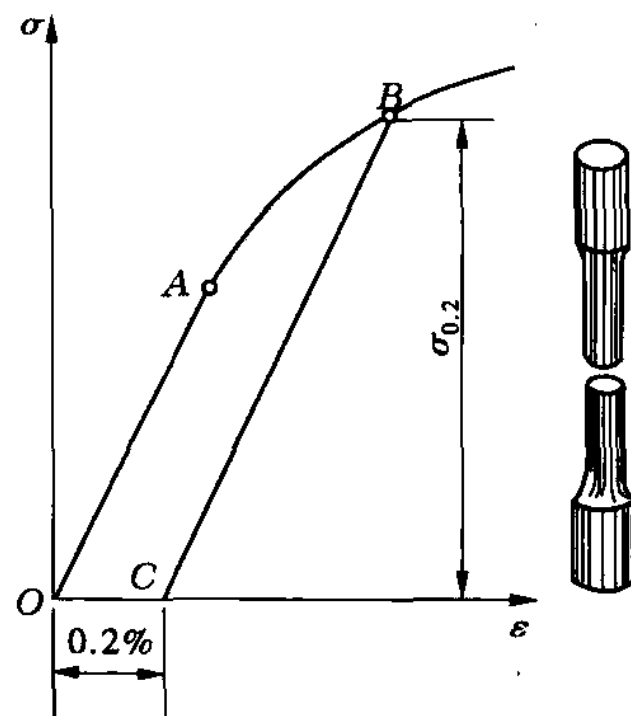


图 1-4 灰铸铁拉伸曲线

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 l_0 ——试样原始标距长度, mm;

l_1 ——试样拉断后的标距长度, mm。

必须注意, 伸长率的数值与试样尺寸有关, 所以试验时应对所选定的试样尺寸做出规定, 以便进行比较。如 $l_0 = 5d_0$ 时, 用 δ_5 表示; $l_0 = 10d_0$ 时, 用 δ_{10} 或 δ 表示。

一般认为, $\delta_{10} \geq 5\%$ 的材料为塑性材料, $\delta_{10} < 5\%$ 的材料为脆性材料。

2. 断面收缩率

试样拉断后, 缩颈处横截面面积的缩减量与原始横截面面积的百分比称为断面收缩率, 以 ψ 表示。

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 A_0 ——试样的原始截面面积, mm^2 ;

A_1 ——试样拉断处的最小截面面积, mm^2 。

δ 和 ψ 值愈大, 材料的塑性愈好。良好的塑性不仅是金属材料进行轧制、锻造、冲压、焊接的必要条件, 而且在使用时万一超载, 由于产生塑性变形, 能够避免突然断裂。塑性好的金属可以发生大量塑性变形而不破坏, 也易于加工成复杂形状的零件。例如, 工业纯铁的 δ 可达 50%, ψ 可达 80%, 可以拉制细丝、轧制薄板等。灰铸铁 δ 几乎为零, 所以不能进行塑性变形加工。

【例 1-1】 有一低碳钢拉伸试样, 原直径为 10 mm、标距长为 100 mm, 拉伸时在载荷为 21 000 N 时发生屈服, 试样断裂前的最大载荷为 30 000 N, 断裂后长度为 133 mm, 断裂处最小直径为 6 mm, 试计算 σ_s 、 σ_b 、 δ 、 ψ 。

解: 试样的直径 d_0 为 10 mm, 标距长度 l_0 为 100 mm; 断裂后试样断口直径 d_1 为 6 mm, 试样拉断后的标距长度 l_1 为 133 mm。

计算试样原始横截面面积 A_0 : $A_0 = (d_0/2)^2 \pi = (10/2)^2 \times 3.14 = 78.5 (\text{mm}^2)$

计算试样断裂处最小截面面积 A_1 : $A_1 = (d_1/2)^2 \pi = (6/2)^2 \times 3.14 = 28.3 (\text{mm}^2)$

试样屈服时的载荷为 21 000 N, 即 $P_s = 21\,000\text{ N}$; 试样拉断前的最大载荷为 30 000 N, 即 $P_b = 30\,000\text{ N}$ 。

应用式(1-1)、式(1-3) ~ 式(1-5)分别计算 σ_s 、 σ_b 、 δ 、 ψ :

$$\sigma_s = P_s / A_0 = 21\,000 / 78.5 = 267.5 (\text{MPa})$$

$$\sigma_b = P_b / A_0 = 30\,000 / 78.5 = 382.2 (\text{MPa})$$

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% = \frac{133 - 100}{100} \times 100\% = 33\%$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% = \frac{78.5 - 28.3}{78.5} \times 100\% = 64\%$$

二、硬度

材料抵抗局部变形特别是塑性变形、压痕或划痕的能力称为硬度。它不是一个单纯

的物理或力学量,而是代表弹性、塑性、强度和韧性等一系列不同物理量的综合性能指标。

硬度直接影响到材料的耐磨性及切削加工性,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。因此,硬度是金属材料重要的力学性能之一。

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,硬度试验简便易行,因而硬度试验应用十分广泛。硬度测试的方法很多,最常用的有布氏硬度试验法、洛氏硬度试验法,有时还采用维氏硬度法。

(一) 布氏硬度

1. 测试原理

使用直径为 D 的球体(淬火钢球或硬质合金球),以规定的试验力 F 压入试样表面,经规定保持时间后卸除试验力,然后测量表面压痕直径 d ,用压痕表面积 S 除载荷 F ,所得的商即为布氏硬度,如图 1-5 所示。

布氏硬度值是用球面压痕单位面积上所承受的平均压力来表示的,用符号 HBS(HBW) 来表示。布氏硬度值按下式计算:

$$\text{HBS(HBW)} = 0.102 \frac{F}{\pi D h} = 0.102 \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-6)$$

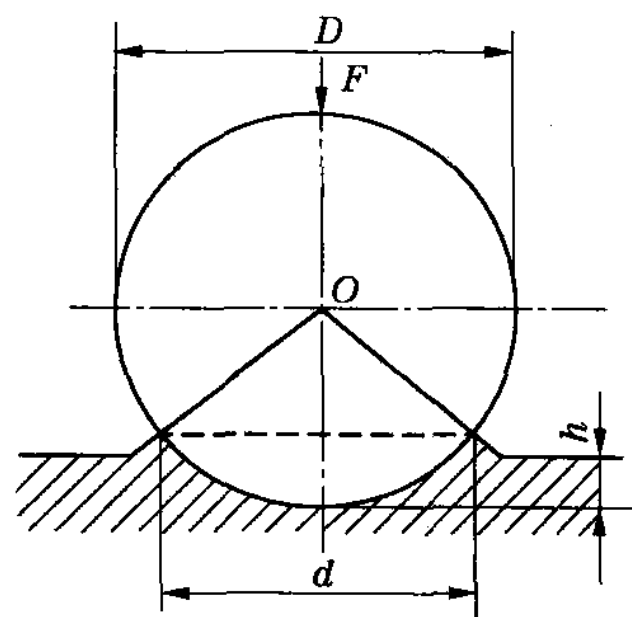


图 1-5 布氏硬度试验原理图

式中 HBS(HBW)——用淬火钢球(硬质合金球)试验时的布氏硬度值;

F ——试验力, N;

d ——压痕平均直径, mm;

D ——球体直径, mm。

从式(1-6)中可以看出,当试验力(F)、压头球体直径(D)一定时,布氏硬度值仅与压痕平均直径(d)的大小有关。 d 越小,布氏硬度值越大,也就是硬度越高。相反, d 越大,布氏硬度值越小,硬度也越低。

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平均直径(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。

2. 布氏硬度的表示方法

布氏硬度的表示符号为 HBS 和 HBW 两种。压头为淬火钢球时用 HBS 表示,一般适用于测量软钢、灰铸铁、非铁金属等布氏硬度值在 450 以下的材料。压头为硬质合金球时,用 HBW 表示,适用于布氏硬度值在 650 以下的材料。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试验力保持的时间(10 ~ 15 s,不标注)。

例如 250 HBS10/1000/25 表示用直径 10 mm 的淬火钢球,在 9 807 N(1 000 kgf)试验力的作用下,保持 25 s 时测得的布氏硬度值为 250。470 HBW5/750 表示用直径 5 mm 的硬质

合金球,在 7 355 N(750 kgf) 试验力的作用下,保持 10 ~ 15 s 时测得的布氏硬度值为 470。

由于材料有硬有软,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。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。为保证同一种材料采用不同的 F 和 D 进行试验时,能得到统一的布氏硬度值,就要使压痕几何形状具有相似性,即应建立 F 和 D 的某种选配关系,以保证布氏硬度的不变性。

常用的压头球体直径(D)有 10 mm、5 mm、2.5 mm 三种,而试验力有 29 420 N、9 807 N、7 355 N、2 452 N、1 839 N、613 N、153 N 等数种,供不同材料和不同厚度试样测试时选用,其中常用的压头直径为 10 mm,试验力为 29 420 N。布氏硬度试验规范见表 1-1。

表 1-1 布氏硬度试验规范

材料种类	布氏硬度使用规范	球直径 $D(\text{mm})$	$0.102F/D^2$ 值	试验力 $F(\text{N})$	试验力保持时间(s)	备注
钢、铸铁	≥ 140 HBS	10	30	29 420	10	1. 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。 2. 两相邻压痕中心距离不应小于压痕平均直径的 4 倍。 3. 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
		5		7 355		
		2.5		1 839		
	< 140 HBS	10	10	9 807	10 ~ 15	
		5		2 452		
		2.5		613		
非铁金属材料	≥ 130 HBS	10	30	29 420	30	
		5		7 355		
		2.5		1 839		
	35 ~ 130 HBS	10	10	9 807	30	
		5		2 452		
		2.5		613		
	< 35 HBS	10	2.5	2 452	60	
		5		613		
		2.5		153		

3. 布氏硬度的特点及应用范围

布氏硬度是使用最早、应用最广的硬度试验方法,主要适用于铸铁、非铁金属以及经退火、正火和调质处理的硬度不是很高的钢材的硬度测定。

测量布氏硬度采用的试验力大,球体直径也大,因而压痕直径也大,因此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,因而在工程上得到了广泛的应用。

布氏硬度试验法的缺点是操作时间较长,对不同材料需要不同的压头和试验力,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,用淬火钢球压头测量时,材料硬度值必须小于 450;用硬质合金球压头时,材料硬

度值必须小于 650。布氏硬度试验法又因其压痕较大,不宜用于测量成品及薄件。

(二) 洛氏硬度

1. 洛氏硬度测试原理

洛氏硬度的测试原理是以顶角为 120° 的金刚石圆锥体(或 $\phi 1.588\text{ mm}$ 淬火钢球)为压头,在规定试验力作用下,垂直地压入被测金属表面,经规定保持时间后卸除主试验力,依据压入深度 h ,确定洛氏硬度值。

测量的示意图如图 1-6 所示。测量时,先加初始试验力 F_0 ,压入深度为 h_1 ,目的是为消除因被测零件表面不光滑而造成的误差。然后再加主试验力 F_1 ,在总试验力 F 的作用下,压头压入深度为 h_2 。卸除主试验力,由于金属弹性变形的恢复,使压头回升到 h_3 的位置,则由主试验力所引起的塑性变形的压痕深度 $h = h_3 - h_1$ 。显然, h 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,用 0.002 mm 的压痕深度作为一个硬度单位,将一个常数 K 减去 h 再除以 0.002 来表示硬度的大小,由此获得洛氏硬度值,用符

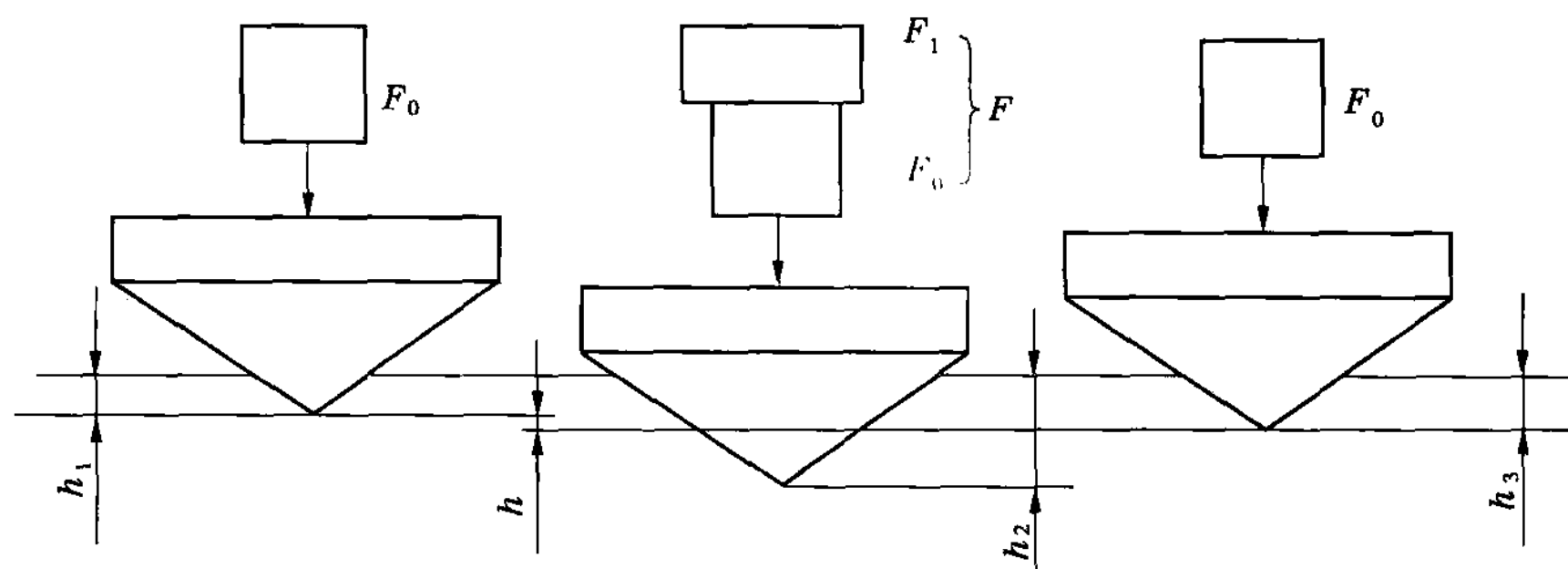


图 1-6 洛氏硬度试验原理

号 HR 表示。即洛氏硬度值按下列公式计算

$$\text{HR} = \frac{K - h}{0.002} \quad (1-7)$$

式中 HR——洛氏硬度值;

K ——常数,用金刚石圆锥体压头进行试验时 K 为 0.2 mm ,用淬火钢球压头进行试验时 K 为 0.26 mm ;

h ——压痕深度,mm。

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. 常用洛氏硬度标尺的使用范围

为使洛氏硬度计能够测试从软到硬各种材料的硬度,其压头及载荷可以变更,而刻度盘上也有三个不同标尺。表 1-2 列出了各个硬度标尺的压头、总载荷及其适用材料。其中,HRC 在生产中应用最广。

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。例如 45 HRC 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 45。

表 1-2 常用的三种洛氏硬度的试验条件及应用范围

符号	压头类型	总试验力 F (kN)	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥体	0.588 4	70 ~ 85	硬质合金, 表面淬硬层, 渗碳层
HRB	$\phi 1.588$ mm 钢球	0.980 7	25 ~ 100	非铁金属, 退火、正火钢等
HRC	120°金刚石圆锥体	1.471 1	20 ~ 67	淬火钢、调制钢等

注: 总试验力 = 初始试验力 + 主试验力; 初始试验力全为 98 N。

3. 特点及应用

洛氏硬度试验的优点是操作简单迅速, 十分方便, 能直接从刻度盘上读出硬度值; 压痕较小, 几乎不伤及工件表面, 故可用来测定成品及较薄的工件; 测试的硬度值范围大, 可测从很软到很硬的金属材料。

其缺点是: 压痕较小, 当材料的内部组织不均匀时, 硬度数值波动较大, 通常需要在不同的部位测试数次, 取平均值来代表材料的硬度。

上述硬度试验方法中, 布氏硬度试验力与压头直径受制约关系的约束, 并有钢球压头的变形问题; 洛氏硬度各标尺之间没有直接的简单对应关系。维氏硬度(符号为 HV)克服了上述两种硬度试验的缺点, 其优点是试验力可以任意选择, 特别适用于表面强化处理(如化学热处理)的机械零件和很薄的试样。

维氏硬度以锥角为 136°的金刚石棱锥体为压头, 以 HV 表示维氏硬度符号, 它的值等于载荷值除以压痕的总面积。在实际测定时, 只要量出压痕的对角线长度, 就可查表得到它们的硬度值。维氏硬度试验所用压力可根据试样的大小、厚薄等条件来选择, 可测定很软到很硬的各种材料。由于所加压力小, 压入深度较浅, 故可测定较薄材料和各种表面渗层, 且准确度高。但维氏硬度试验时需测量压痕对角线的长度, 测试手续较繁。不如洛氏硬度试验法那样简单、迅速, 不适宜成批生产的常规检验。维氏硬度的测定原理与布氏硬度相类似, 其试验方法和技术条件可参阅国家标准 GB 4340—84。

三、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。冲击载荷的特点是载荷作用到构件上时具有一定的速度(因而具有一定的动能), 加载时间仅有千分之几秒。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。

材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力称为冲击韧性(简称韧性)。材料的冲击韧性是材料断裂时所吸收的冲击能量的度量。它与强度、塑性明显不同, 强度是使材料变形或断裂所需要应力的度量, 塑性是材料变形能力的度量。能量是力和距离的乘积, 是材料的强度与塑性高低的综合反映, 用焦耳(J)来表示, 它与应力—应变曲线下的面积有密切的关系。

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。

(一) 冲击试验的原理及方法

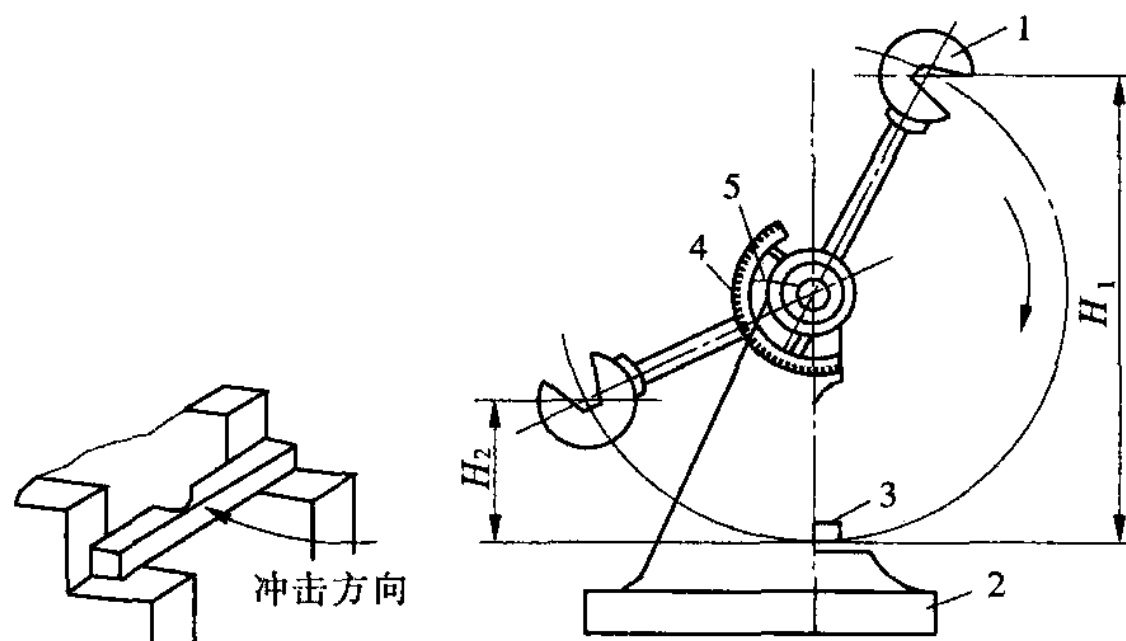
一般将带有缺口的标准冲击试样(参见 GB/T 229—94)放在摆锤式冲击试验机的支座上(见图 1-7),使重摆从一定高度落下将试样一次冲断。由试验机可测出试样所吸收的能量 $E(\text{J})$,将 E 除以试样缺口处的截面面积 $A(\text{cm}^2)$,所得数值即材料的冲击韧度 a_k 。

$$a_k = \frac{E}{A} \quad (1-8)$$

式中 a_k ——冲击韧度(冲击值);

E ——断试样所消耗的冲击功, J;

A ——试样缺口处的截面面积, cm^2 。



1—摆锤;2—机架;3—试样;4—刻度盘;5—指针

图 1-7 摆锤式冲击试验原理图

a_k 值愈大表示材料抵抗冲击的能力愈强。通常脆性材料的冲击韧性值远比塑性材料低,这说明脆性材料抵抗冲击的能力极差,所以承受冲击载荷的构件多采用塑性材料。

对于脆性材料(如铸铁、淬火钢等)的冲击试验,试样一般不开缺口,因为开缺口的试样冲击值过低,难以比较不同材料冲击性能的差异。

冲击值的大小与很多因素有关。它不仅受试样形状、表面粗糙度、内部组织的影响,还与试验时的环境温度有关。因此,冲击值一般作为选择材料的参考,不直接用做强度计算。

(二) 冲击韧度指标的应用

工程实际中,在冲击载荷作用下的机械零件很少因一次大能量冲击而遭破坏,绝大多数是经一次冲击不足以使零件破坏的小能量多次重复冲击,最后导致断裂,如发动机的连杆、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,根本不同于一次冲击的破坏过程。对于这样的零件,用冲击韧度来作为设计依据显然是不符合实际的。因此,不能用一次冲击试验所测得的 a_k 值来衡量这些零件材料对冲击载荷的抗力。

实践表明,一次冲击韧度高的材料,在小能量多次冲击试验条件下其抗力不一定高,反过来也一样。如大功率柴油机曲轴是用孕育铸铁制成的,它的冲击韧度接近于零,而在长期使用中未发生断裂。因此,需要采用小能量多次冲击试验来检验这类金属的抗冲击性能。

试验研究表明,在冲击不太大的情况下,金属材料承受多次重复冲击的能力主要取决于强度,而不要求过高的冲击韧度。例如,用球墨铸铁制造的曲轴,只要强度足够,其冲击

韧度达到 $8 \sim 15 \text{ J/cm}^2$ 时,其使用性能就能够得到满足。

冲击值对组织缺陷很敏感,它能反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织等方面的变化,因此冲击试验是生产上用来检验冶炼、热加工、热处理等工艺质量的有效方法。

四、疲劳极限

许多机械零件,如车轴、齿轮、弹簧等,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交变应力(也称循环应力)。在交变应力的作用下,虽然零件所承受的应力低于材料的屈服点,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有80%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。

疲劳失效与一次脆断不同,其损伤是逐渐积累、逐渐发展的。大体上可把疲劳失效过程分为三个阶段——裂纹的形成、逐渐发展及最终的突然断裂。裂纹一旦萌生,就会在周期应力作用下逐渐向深处扩展,逐渐横越零件表面;由于反复的拉、压,裂开的两个面相互挤压,形成光滑区;当裂缝扩展,残余部分抗力不足时,就会突然断裂。突然断裂区呈粗糙颗粒状。所以疲劳破坏时,断口呈光滑和粗糙两个区域。

(一) 疲劳破坏的特征

尽管交变载荷有各种不同的类型,但疲劳破坏仍有以下共同的特点:

- (1)即使是塑性材料也没有明显的塑性变形,断裂前没有征兆,而是突然破坏;
- (2)引起疲劳断裂的应力很低,一般情况下远低于材料的屈服极限。

(二) 疲劳强度和疲劳曲线

材料的疲劳极限通常都是在旋转弯曲疲劳试验机上测定的。在交变载荷的作用下,材料承受的交变应力值 σ 与断裂前的应力循环次数 N 之间的关系称为疲劳曲线,如图 1-8 所示。曲线表明,金属承受的交变应力越小,则断裂前的应力循环次数 N 越多;反之,则 N 越少。从图 1-8 中可以看出,当应力达到 σ_5 时,曲线与横坐标平行,表示应力低于此值时,试样可以经受无数的周期循环而不破坏,此应力值称为材料的疲劳极限。显然疲劳极限的数值愈大,材料抵抗疲劳破坏的能力愈强。当应力为对称循环时(见图 1-9)疲劳极限用符号 σ_{-1} 表示。

由于实际测试时不可能做到无数次应力循环,故规定各种金属材料应有一定的应力循环基数。如钢材以 10^7 为基数,即钢材的应力循环达到 10^7 仍不发生疲劳断裂,就认为不会发生疲劳断裂了。对于非铁合金和某些超高强度钢,则常取 10^8 为基数。

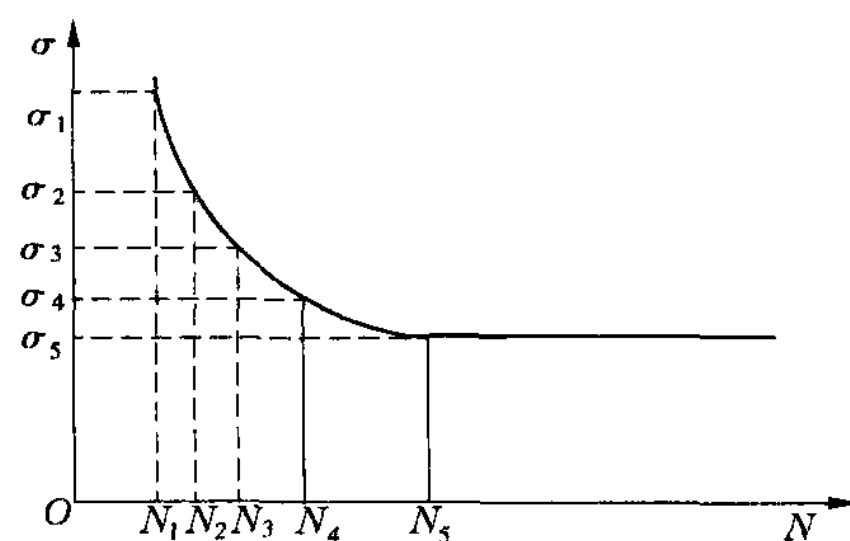


图 1-8 疲劳曲线

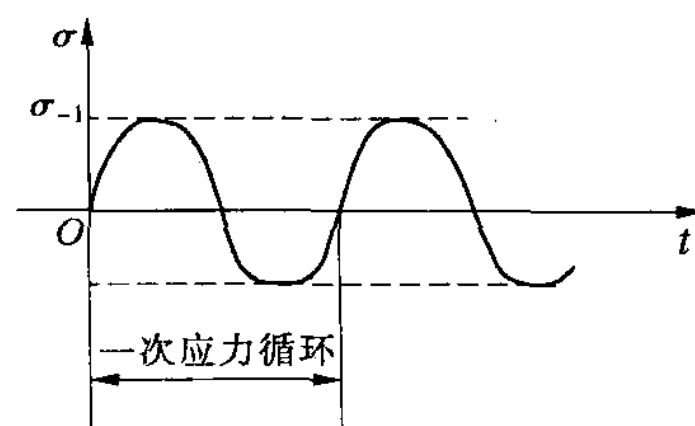


图 1-9 对称循环应力