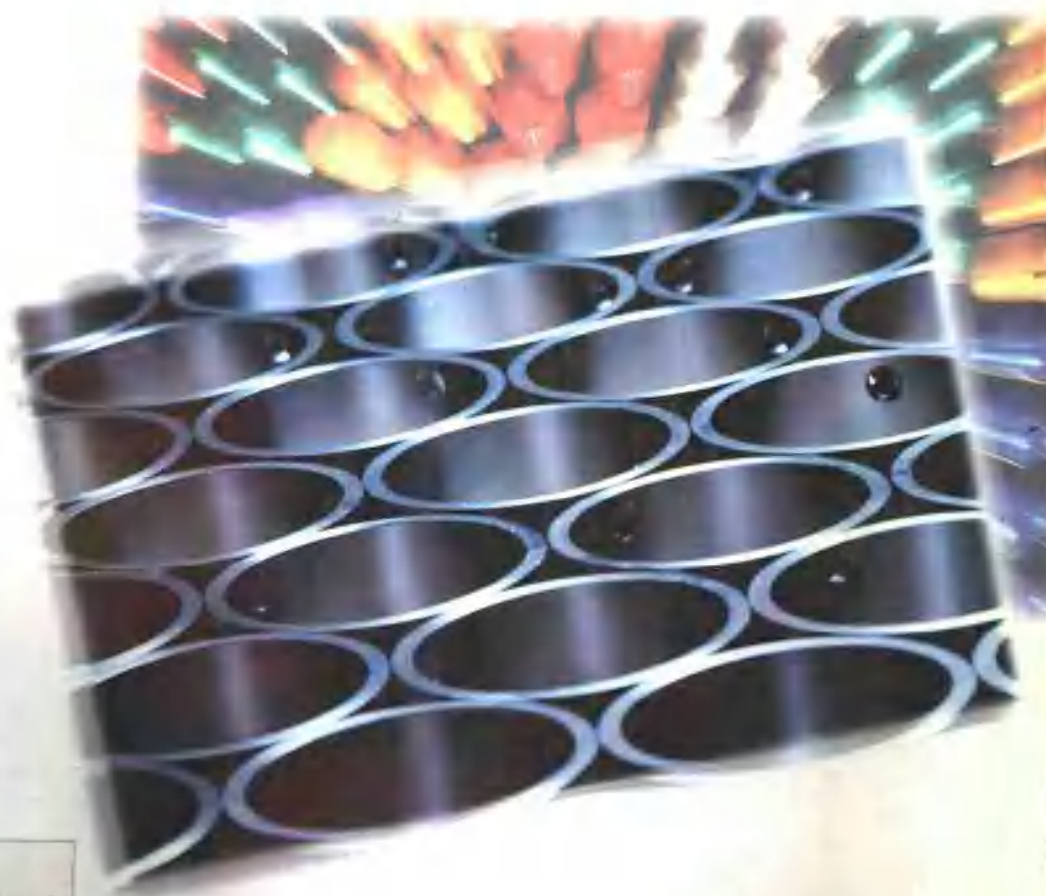


工程材料及机械制造基础 I

机械工程材料

大连铁道学院 石子源 主编
兰州铁道学院 吴庆记



中国铁道出版社

工程材料及机械制造基础 I

机 械 工 程 材 料

大连铁道学院	石子源	主 编
兰州铁道学院	吴庆记	
大连铁道学院	徐 维	主 审

中 国 铁 道 出 版 社

1998年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书根据国家教委 1995 年颁布的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》编写的。

本书重点介绍了金属学、热处理及材料强化的基本原理,材料的机械性能、金属材料、非金属材料、工程材料的选用等内容,并介绍了近年来在机械制造过程中出现的新材料、新工艺、新技术等。

本书是高等工科院校机械类、近机类专业的教材,也可作为职工大学、电视大学、函授大学的教材及有关专业的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程机械及机械制造基础 (I): 机械工程材料 石子源, 吴庆记主编. —北京: 中国铁道出版社, 1998.9
ISBN 7-113-02951-5

I. 工… I. ①石… ②吴… III. ①机械工程-高等学校-教材②机械制造材料-高等学校-教材 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 20556 号

书 名: 工程材料及机械制造基础 I

机械工程材料

著作责任者: 石子源 吴庆记

出版·发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

策划编辑: 吴桂萍

责任编辑: 吴桂萍

封面设计: 马 利

印 刷: 北京市燕山联营印刷厂

经 销: 全国各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15 字数: 368 千

版 本: 1998 年 11 月第 1 版 1998 年 11 月第 1 次印刷

印 数: 1—4000 册

书 号: ISBN7-113-02951-5/TH·70

定 价: 19.20 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社发行部调换。

工程材料及机械制造基础系列课程教材

编写委员会

主 任：王良君

副主任：何少平 吴庆记

委 员：尹志华 许晓常 刘天民

4184/01

前 言

在机械制造中,材料、毛坯制造方法和切削加工方法的应用与选择,以及工艺路线的制定和零件结构的工艺性分析,都是机械制造工程技术人员必须具备的基本素质,也是应该掌握的基本技能。培养这种素质和技能就是“工程材料和机械制造基础”课程的主要任务和目标。

为落实国家教委1995年11月新颁布的“工程材料及机械制造基础课程教学基本要求”,我们“工程材料及机械制造基础系列课程教材编写委员会”组织有长期教学经验的教师编写了《机械工程材料》《热加工工艺基础》《机械加工工艺基础》系列教材。本书是工程材料及机械制造基础系列课程教材之I。

在编写过程中注意体现以下几点:

1. 力求体现铁路的特点,以铁路生产中常用的工程材料为主讲授基本理论与应用。
2. 注意整个教材的系统性,以及一定的广度和深度,在教材最后一章系统介绍了零件材料的选择和工艺路线分析,以提高学生综合分析和解决问题的能力。
3. 为满足铁路发展的需要,本书尽量反映了近年来在生产中所出现的新材料、新工艺、新技术。
4. 为提高学生的综合工程素质,本书较详细地介绍了金属学、热处理、金属与非金属材料、材料的使用性能和工艺性能及经济分析等知识。
5. 为适应不同的教学需要,书中适当地介绍了有色金属、工程塑料、陶瓷及复合材料。
6. 每章后附有复习思考题。

全书一律采用国家最新的标准术语和计量单位。

参加本书编写的有:大连铁道学院石子源(第二、四、七、八章)、王德庆(第三、五章),兰州铁道学院吴庆记(第九、十、十一章)、王顺花(第六章),长沙铁道学院许晓嫦(第一章)。全书由石子源、吴庆记主编,大连铁道学院徐维主审。

由于我们的水平有限,编写时间仓促,教材中的缺点、错误敬请读者指正。

工程材料及机械制造基础系列
课程教材编写委员会
1998年6月

目 录

第一章 金属材料的机械性能	1
第一节 强度和刚度	1
第二节 塑性	5
第三节 硬度	5
第四节 冲击韧性	6
第五节 疲劳强度	8
第六节 断裂韧性	11
复习思考题	11
第二章 金属的晶体结构与结晶	13
第一节 金属特性与金属键	13
第二节 金属的晶体结构	13
第三节 实际金属结构	17
第四节 非金属结构	19
第五节 金属的结晶	19
复习思考题	24
第三章 金属的塑性变形与再结晶	25
第一节 金属的塑性变形	25
第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响	29
第三节 变形金属在加热时组织与性能的变化	31
第四节 金属的热加工	34
复习思考题	36
第四章 合金的结构与相图	37
第一节 固态合金中的相结构	37
第二节 二元合金相图的建立	39
第三节 匀晶相图	42
第四节 共晶相图	44
第五节 包晶相图	49
第六节 其它类型的二元合金相图	51
第七节 合金性能与相图的关系	52
复习思考题	53

第五章 铁碳合金	54
第一节 纯铁的同素异晶转变	54
第二节 铁碳合金的基本组织	54
第三节 铁碳合金相图	56
第四节 碳钢	64
复习思考题	69
第六章 钢的热处理	70
第一节 钢在加热时的转变	70
第二节 钢在冷却时的转变	73
第三节 过冷奥氏体转变曲线	79
第四节 钢的退火与正火	81
第五节 钢的淬火	83
第六节 钢的淬透性	87
第七节 钢的回火	91
第八节 钢的表面淬火	95
第九节 钢的化学热处理	97
第十节 热处理新技术简介	101
复习思考题	104
第七章 合金钢	108
第一节 合金元素对钢性能及热处理的影响	108
第二节 合金钢的分类及编号	113
第三节 合金结构钢	116
第四节 合金工具钢	126
第五节 特殊性能钢及硬质合金	137
复习思考题	143
第八章 铸铁	145
第一节 铸铁中的石墨化过程	145
第二节 灰铸铁	147
第三节 球墨铸铁	150
第四节 其它铸铁简介	152
复习思考题	155
第九章 有色金属及其合金	156
第一节 铝及其合金	156
第二节 铜及其合金	163
第三节 轴承合金	168

复习思考题.....	172
第十章 非金属材料.....	174
第一节 高分子材料的基本知识.....	174
第二节 高分子材料.....	183
第三节 陶瓷.....	192
第四节 复合材料.....	199
复习思考题.....	202
第十一章 工程材料的选用.....	204
第一节 选用材料的一般原则.....	204
第二节 零件的失效与选材.....	208
第三节 典型零件的选材与工艺分析.....	219
复习思考题.....	228
参考文献.....	229

第一章 金属材料的机械性能

在设计零件并进行选材时,应根据零件的工作条件和损坏形式找出所选材料的主要机械性能指标,这是保证零件经久耐用的先决条件。

如汽车、拖拉机或柴油机上的连杆螺栓,在工作时整个截面不仅承受均匀分布的拉应力,而且拉应力是周期变动的,其损坏形式除了由于强度不足引起过量塑性变形而失效外,多数情况下是由于疲劳破坏而造成断裂。因此对连杆螺栓材料的机械性能除了要求有高的屈服极限和强度极限外,还要求有高的疲劳强度。由于是整个截面均匀受力,因此材料的淬透性也需考虑。

各种零件实际受力条件是较复杂的,而且还应考虑到短时过载、润滑不良、材料内部缺陷等影响因素,因此机械性能指标经常成为材料选用的主要依据。

第一节 强度和刚度

一、拉伸图及应力-应变图

静拉伸试验是工业上最广泛使用的机械性能试验方法之一。试验时,缓慢的在试样两端施加负荷,使试样在工作部分受轴向拉力,引起试样沿轴向伸长,试验一般进行到拉断为止。目的是测定试样对外加负荷的抗力,可以求出材料的强度指标。

图 1-1 是退火低碳钢的拉伸图,图的纵坐标表示负荷 P ,单位是 MN,横坐标表示绝对伸长 Δl ,单位是 mm。

负荷比较小时,试验时伸长跟负荷成正比地增加,保持直线关系。负荷超过 P_p ,拉伸曲线开始偏离直线,保持直线关系的最大负荷,是比例极限的负荷 P_p 。

变形开始阶段,卸荷后试样立刻恢复原状,这种变形是弹性变形。当负荷大于 P_e 再卸荷时,试样的伸长只能部分地恢复,而保留一部分残余变形。卸荷后的残余变形是塑性变形。开始产生微量塑性变形的负荷,是弹性极限的负荷 P_e 。一般说来, P_p 与 P_e 是很接近的。

负荷增加到一定值时,负荷指示器(测力计刻度盘)的指针停止转动或开始往回转,拉伸图上出现了平台,在此负荷不增加或减小的情况下,试样还继续伸长,这种现象叫做屈服。屈服阶段的最小负荷,是屈服点的负荷 P_s 。屈服后,金属开始产生明显的塑性变形,试样表面出现滑移带。

在屈服阶段以后,再继续变形,负荷重新增加。随着塑性变形的增大,变形抗力不断增加的现象,叫做加工硬化。负荷达到一个最大值 P_b 后,试样的某一部位截面开始急剧缩小,出现了“缩颈”,以后的变形主要集中在缩颈附近。

由于缩颈处试样截面的急剧缩小,致使负荷下降。拉伸图上的最大负荷,是强度极限的

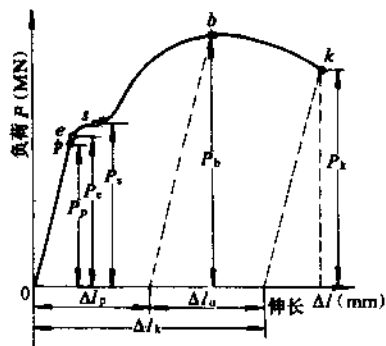


图 1-1 低碳钢的拉伸图

负荷 P_k 。

负荷达 P_k 时, 试样断裂。这个负荷称为断裂负荷。

工业上使用的金属材料, 多数是没有屈服现象的。其拉伸图如图 1-2 所示。

图 1-2 (a) 是塑性材料的拉伸图, 如退火铝合金、调质处理的合金钢等。图 1-2 (b) 是低塑性材料的拉伸图, 它不仅没有屈服现象, 而且也不产生缩颈, 最大负荷就是断裂负荷, 如球墨铸铁等。

综上所述, 金属在外力作用下, 变形过程一般可分为三个阶段: 即弹性变形、弹塑性变形和断裂。

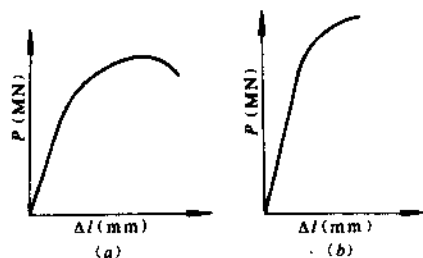


图 1-2 塑性材料及低塑性材料的拉伸图

(a) 塑性材料; (b) 低塑性材料。

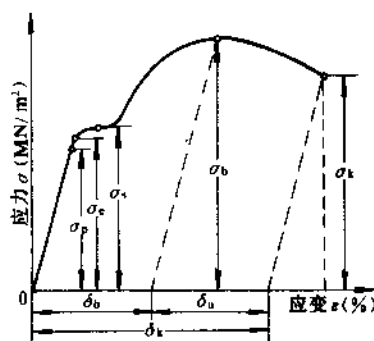


图 1-3 低碳钢的应力-应变曲线图

用试样原始截面积 F_0 来除拉力得到应力 σ , 即 $\sigma = \frac{P}{F_0}$ (MN/m^2)。以试样的计算长度 l_0 除绝对伸长 Δl , 得到相对伸长 (应变) ϵ , 即 $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ 。应力与应变的关系曲线, 叫应力-应变图 (图 1-3)。应力-应变图的形状, 与拉伸图 (负荷-伸长图) 相似, 只是坐标不同。应力-应变图的纵坐标表示应力, 单位是 MN/m^2 , 横坐标表示相对伸长, 单位是百分数 (%)。应力-应变图不受试样尺寸的影响, 可以直接读出材料的一些机械性能指标, 如材料发生屈服时的最小应力-屈服点 σ_s , 相当于最大负荷时的应力-强度极限 (抗拉强度) σ_b , 以及断裂后的相对伸长-伸长率 (延伸率) δ 等。

二、强 度

(一) 比例极限 σ_p

比例极限 σ_p 是应力与应变成正比关系的最大应力, 即在拉伸图上开始偏离直线时的应力。即:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F_0} \quad (\text{MN}/\text{m}^2)$$

式中 P_p ——比例极限的负荷 (MN);

F_0 ——试样的原始截面积 (m^2)。

实践证明: 测出的比例极限值, 受测量精度的影响甚大, 精度愈高, 测量值愈小。为了便于比较, 根据有关零件的工作条件需要, 规定负荷与伸长已不成直线关系, 产生一定偏离值的应力作为“规定比例极限”, 我国新标准中规定以拉伸曲线的切线与负荷轴间夹角的正切值较弹性直线部分之值增加 50% 作为偏离值, 其应力以 σ_p 表示。有时也允许采用偏离值为

25%或10%，分别以 σ_{p25} 或 σ_{p10} 表示。同一材料的 σ_p 要比 σ_{p25} 和 σ_{p10} 大一点，即规定的偏离值愈大，材料的规定比例极限愈大。

(二) 弹性极限 σ_e

弹性极限 σ_e 是材料由弹性变形过渡到弹-塑性变形的应力，应力超过弹性极限以后，便开始发生塑性变形。即：

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} \quad (\text{MN/m}^2)$$

式中 P_e ——弹性极限的负荷 (MN)。

和比例极限一样，测出的弹性极限也受测量精度的影响。为了便于比较，根据零件的工作条件要求，规定产生一定残余变形的应力，作为“规定弹性极限”。一般说来，是以产生0.005%~0.05%的残余伸长的应力作为规定弹性极限。在新国标中规定以残余伸长为0.01%的应力作为“规定弹性极限”，并以 $\sigma_{0.01}$ 表示。弹性极限并不代表金属对最大弹性变形的抗力，而是代表开始塑性变形的抗力，严格说来，是代表微量塑性变形的抗力。

工作条件下不允许产生微量塑性变形的零件，设计时应该根据规定弹性极限数据来选材。例如，如果选用弹簧材料的规定弹性极限低，弹簧工作时就可能产生塑性变形，尽管每次变形可能很小，但时间长了，弹簧的尺寸将发生明显的变化，导致弹簧失效。

理论上材料的弹性极限 σ_e 较比例极限 σ_p 稍大一点，但规定弹性极限和规定比例极限有时颇为接近。例如，炮钢的 $\sigma_{0.01}$ 与 σ_p 值是等同的。所以在新国标中，把规定残余伸长应力 $\sigma_{0.01}$ ，并列于规定比例极限 σ_p 之后。这为在材料强度指标中逐步取消规定比例极限 σ_p 创造条件。因为在机件设计、制造与运转过程中，在最大许用应力条件下是否会产生或产生多少微量残余变形是有实际意义的，可见规定残余伸长应力比较切合实际。

(三) 屈服极限

1. 屈服点 σ_s 。在拉伸过程中，负荷不增加，甚至有所降低，试样还继续发生明显变形的最小应力，叫做屈服点（物理屈服极限），以 σ_s 表示，即：

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad (\text{MN/m}^2)$$

式中 P_s ——是负荷不增加，甚至有所降低，试样还继续伸长的最小负荷 (MN)。

屈服点是具有屈服现象的材料特有的强度指标。屈服点 σ_s 的负荷可借助于试验机的测力计刻度盘的指针或拉伸曲线上的纵坐标来确定。

(1) 指针法：测力刻度盘的指针停止转动或第一次往回转的最小负荷，就是 P_s 。

(2) 图示法：在拉伸图上找出屈服平台的恒定负荷〔图1-4(a)〕或第一次下降的最小负荷〔图1-4(b)〕就是 P_s 。

2. 屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 除退火的或热轧的低碳和中碳钢等少数合金有屈服现象外，大多数金属合金没有屈服点。因此，规定发生0.2%残余伸长的应力，作为屈服强度，以 $\sigma_{0.2}$ 表示。即：

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0} \quad (\text{MN/m}^2)$$

式中 $P_{0.2}$ ——产生0.2%残余伸长的负荷 (MN)。

(四) 抗拉强度（强度极限） σ_b

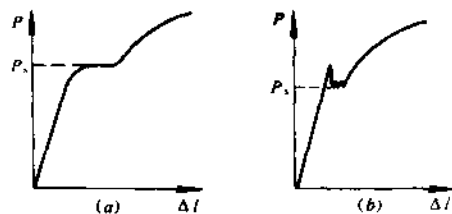


图 1-4 屈服点的确定

抗拉强度（强度极限） σ_b 是相当于拉断前最大负荷的应力，即试样所能承受的最大负荷除以原始截面积，以 σ_b 表示。

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \quad (\text{MN/m}^2)$$

式中 P_b ——拉断前试样所能承受的最大负荷（MN）。

对塑性材料来说，在 P_b 以前试样为均匀变形，试样各部分的伸长基本上是一样的；在 P_b 以后，变形将集中于试样的某一部分，发生集中变形，试样上出现缩颈，由于缩颈处截面积的急剧减小，试样能担负的负荷减少。所以按试样原始截面积 F_0 计算出来的条件应力，也随之减少，如图 1-5 中曲线 1 所示。在 P_b 以后，如果改成缩颈处的瞬时截面积 F_x 去除当时的负荷，得到真实应力 $S \left(S = \frac{P}{F_x} (\text{MN/m}^2) \right)$ 也随着变形度的增加而增大，如图 1-11 中曲线 2 所示，这说明产生缩颈以后，变形抗力将继续增加，进一步产生加工硬化。

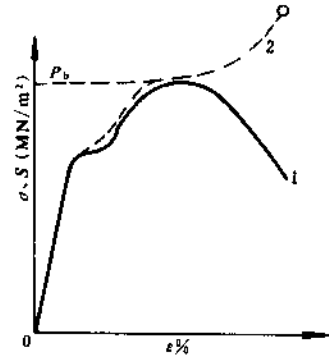


图 1-5 σ (或 S)- ϵ 曲线

尽管如此，强度极限 σ_b 在技术上还是很重要的。它的物理意义是表征材料最大均匀变形的抗力，表征材料在拉伸条件下所能担负的最大负荷的应力值，工程上常称为抗拉强度，它是设计和选材的主要依据之一，也是材料主要机械性能指标之一。

(五) 断裂强度 σ_k

断裂强度 σ_k 是拉断试样时的真实应力，它等于拉断时的负荷 P_k 除以断裂后缩颈处截面积 F_k 。

$$\sigma_k = \frac{P_k}{F_k} \quad (\text{MN/m}^2)$$

断裂强度表征材料对断裂的抗力。但是，对塑性材料来说，它在工程上意义不大，因为产生缩颈后，试样所负担的外力不但不增加，反而减少，故国家标准中没有规定断裂强度。

塑性差的材料（脆性材料）一般不产生缩颈，拉断前的最大负荷 P_b 就是断裂时的负荷 P_k ，并且由于塑性变形小，试样截面积变化不大， $F_k \approx F_0$ ，因此抗拉强度 σ_b 就是断裂强度 S_k 。在这种情况下，抗拉强度 σ_b 表征材料的断裂抗力，它是设计的主要依据，是重要的机械性能指标。

三、刚 度

大多数金属，在弹性变形阶段遵守虎克定律，应力与应变成正比关系。

在拉伸时：

$$\sigma = E\epsilon \quad \text{或} \quad \frac{P}{F_0} = E \frac{\Delta l}{l_0}$$

式中 σ ——正应力，其值等于 P/F_0 (MN/m^2)；

ϵ ——相对伸长，其值等于 $\Delta l/l_0$ ，用百分数表示；

E ——正弹性模数 (MN/m^2)。

在剪切时：

$$\tau = G\gamma$$

式中 τ ——切应力 (MN/m^2);
 r ——切应变, 单位是弧度;
 G ——切变弹性模数 (MN/m^2)。

可见, 弹性模数直接表示出弹性变形阶段的应力与应变间的关系, 是弹性阶段应力-应变曲线的正切值。弹性模数的物理意义, 可以认为是产生 100% 的弹性变形时的应力大小。但是对金属说来, 这是没有意义的, 因为金属在开始发生塑性变形以前, 弹性变形一般不超过 0.5%, 与塑性变形同时发生的弹性变形, 一般也只能达到 1%, 少数情况下可达到 2%。因此, 弹性模数可看做是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标, 材料的弹性模数愈大, 使其发生一定量弹性变形的应力值也愈大。弹性模数在技术上叫做“材料的刚度”。弹性模数愈大, 材料的刚度愈大, 在一定应力下产生的弹性变形就愈小。

机器零件一般都有刚度要求, 在工作条件下不允许产生过量的弹性变形, 否则将失去它的精度。如镗床的镗杆, 若刚度不足, 当进刀量深, 负荷较大时, 镗杆本身要产生过量的弹性变形, 镗出的孔将要超差, 出现偏小现象。又如锻模的刚度不足, 锻出的零件也要超过公差。刚度是零件和结构设计的重要问题之一。零件或结构的刚度, 除决定于金属的弹性模数外, 尚与零件或结构的尺寸和形状有关。

第二节 塑 性

断裂前金属发生塑性变形的能力, 叫做塑性, 塑性以断裂后的塑性变形大小来表示。拉伸时可用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 表示。

一、伸长率 δ

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

式中 l_k ——试样断裂后的标距长度 (mm);

l_0 ——试样的原始标距长度 (mm);

Δl_k ——断裂后试样的绝对伸长 (mm)。

二、断面收缩率 ψ

断面收缩率 ψ 是断裂后试样截面的相对收缩值, 它等于截面的绝对收缩量 $\Delta F = F_0 - F_k$ 除以试样的原始截面积 F_0 , 是用百分数 (%) 表示, 即:

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\%$$

式中 F_k ——断裂后试样的最小截面积。

ψ 的测定, 对于圆试样比较简单, 将断的试样对接起来, 测出它的最小直径 d_k (从相互垂直方向测两次, 再取平均值) 后, 即可求出 ψ 值。

第三节 硬 度

硬度是材料对局部塑性变形的抗力, 是衡量金属材料软硬的一个指标。硬度试验法比较简便迅速, 而且还不破坏零件, 还可通过测定的硬度值估计材料的 σ_b 值, 故得到广泛应用, 在

零件图纸上,已成为一项重要技术指标。

硬度试验方法可分为压入法和刻划法。在压入法中根据加荷速度不同,又分静负荷压入和动负荷压入两种。在生产上使用最为广泛的是静负荷压入法硬度试验,即布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度及显微硬度。

一、布氏硬度

布氏硬度试验所用压头是淬火的钢球,对过硬材料会使钢球变形甚至破坏,所以它的使用范围不能超过 HBS450,一般只适用测定退火、正火、调质钢,铸铁及有色金属的硬度。材料的 σ_b 与 HBS 之间,有以下经验关系:

对于低碳钢: $\sigma_b \approx 0.36\text{HBS}$;

对于高碳钢: $\sigma_b \approx 0.34\text{HBS}$;

对于灰铸铁: $\sigma_b \approx 0.1\text{HBS}$ 或 $\sigma_b \approx (\text{HBS} - 40)/6$ 。

二、洛氏硬度

洛氏硬度根据压头的材料及压头所加的负荷不同又分为 HRA、HRB、HRC 三种。

HRA 适用于测量硬质合金、表面淬火层或渗碳层。

HRB 适用于测量有色金属和退火、正火钢等。

HRC 适用于调质钢、淬火钢等。

洛氏硬度操作简便、迅速,应用范围广,压痕小,硬度值可直接从表盘上读出,所以得到更为广泛的使用。

三、维氏硬度

维氏硬度的试验原理与布氏硬度相同,不同点是压头为金刚石四方角锥体,所加负荷较小 ($49.03 \sim 98.07\text{N}$)。它所测定的硬度值比布氏、洛氏精确,压入深度浅,适于测定经表面处理零件的表面层的硬度,改变负荷可测定从极软到极硬的各种材料的硬度,但测定过程比较麻烦。一般用维氏硬度符号为 HV。

四、显微硬度

测定材料各种组织的硬度时,要用显微硬度计,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 $98.07 \times 10^{-3}\text{N} \sim 1.961\text{N}$,压痕对角线长度以 μm 计量。一般用的显微硬度符号为 HM,在硬度计上带有金相显微镜,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、极薄的表面层以及合金中各种组成相的硬度。

第四节 冲击韧性

许多机器零件在工作时要遇到冲击负荷。如火车开车、刹车,改变速度时,车辆间的挂钩要受到冲击。刹车愈急,起动愈猛,冲击力愈大。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、凿岩机、铆钉枪等,其中一些零件必然要受冲击。一般说来,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，造成严重安全事故。现代机械的发展趋势是速度高、重量轻、功率大，既要求零件承受高速度的大负荷，又希望零件的尺寸小、重量轻。因此，如何发挥材料承受冲击负荷的能力问题，就愈来愈受到重视。

一、一次摆锤冲击试验

目前，工程技术上常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定金属受冲击负荷的能力。其试验方法和原理如图 1-6、图 1-7 所示。

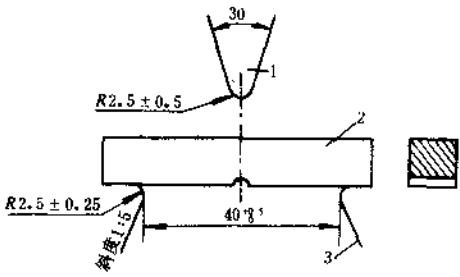


图 1-6 冲击试样的安放

1—摆锤；2—试样。

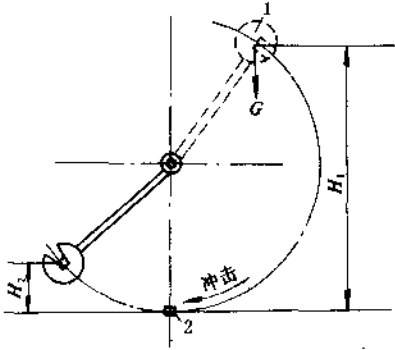


图 1-7 冲击试验原理

1—摆锤；2—试样。

欲测定的材料先加工成标准试样（图 1-8），然后放在试验机的支座上，又将具有一定重量 G 的摆锤举至一定的高度 H_1 ，使其获得一定的位能 (GH_1)，再将其释放，冲断试样。摆锤的剩余能量为 GH_2 。摆锤冲断试样所失去的能量(位能)，即冲击负荷使试样破断所作的功，称冲击功，单位 MJ，以 A_k 表示。则有 $A_k = GH_1 - GH_2 = G(H_1 - H_2)$ (MJ)。用试样缺口处截面积 $F(\text{m}^2)$ 去除 A_k ，即得到冲击值（冲击韧性） a_k ：

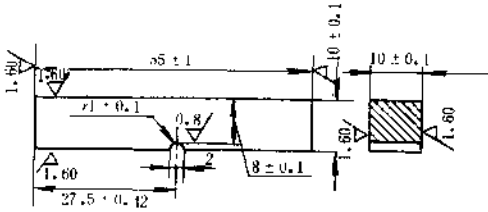


图 1-8 冲击试验的标准试样

$$a_k = \frac{A_k}{F} \quad (\text{MJ/m}^2)$$

冲击试验时的负荷-挠度曲线所包围的面积，可表示试样被冲断时所吸收的总功 A_k ，它可分成裂纹形成功 (A_1) 和裂纹扩展功 (A_2) 两部分 (见图 1-9)。且前者主要消耗于宏观塑性变形和裂纹形成，后者主要消耗于裂纹前缘微观塑性变形和裂纹的扩展。

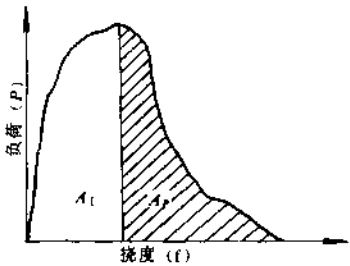


图 1-9 冲击试验下的负荷-挠度曲线

夏氏 V 型试样缺口根部圆角半径为 0.25 mm，梅氏试样缺口根部圆角半径为 1.0 mm。因此，前者应力集中程度高，缺口根部塑性变形区小，冲击功大部分消耗于裂纹的扩展；反之，梅氏试样冲击试验其冲击功大部分消耗于裂纹的形成。

应当指出，生产实际中，机件很少是因一次大能量冲击而损毁，大多数是在小能量多次冲击负荷下工作的，在这种情况下，应进行小能量多次冲

击试验, 不能再以 α_k 值作为选材和设计的依据。

二、多次冲击试验

生产上有不少承受冲击负荷的机件, 如锤杆、凿岩机活塞、钎尾等, 往往因设计和选用材料不当而发生早期断裂。为了防止这类机件的断裂而保证使用寿命, 过去在设计选用材料时除了计算强度和刚度外, 习惯于强调冲击值 α_k 的储备, 好象冲击值越高越能防止断裂失效。大量的生产实践说明, 这样做并不见得有效, 反而因过分追求冲击值而造成选用材料不当的浪费。

经分析这类机件一般总在很多次 ($>10^3$) 冲击之后才会断裂, 而不是一次或少数几次冲击就断裂的, 所承受的冲击能量也远小于一次冲击断裂的能量。所以把这种冲击叫做小能量多次冲击, 简称多次冲击。

材料在多次冲击下的破坏过程也是裂纹产生和扩张的过程。但它是各次冲击损伤积累发展的结果, 根本不同于一次冲击的破坏过程, 所以多冲抗力不能用 α_k 值简单代替。从多次冲击的损伤积累的破坏过程来看, 多次冲击应属于疲劳类型, 相当于过载疲劳。但它是冲击能量负荷, 受加荷速度、体积因素的影响大, 所以多冲抗力也不能用疲劳强度和疲劳过负荷持久值简单代替。因此, 为了解决机件多冲断裂失效问题, 应该对材料进行小能量的多次冲击试验, 提出多冲抗力并研究它的变化规律。

多次冲击试验机一般多为落锤式, 我国的 DC-150 型即属于此, 冲击频率 450 周次/min 和 600 周次/min, 冲击能量靠冲程调节而变换 ($10^4 \sim 15 \times 10^4 \text{J}$), 可做多冲弯曲、拉伸和压缩试验。为了反映缺口对多冲抗力的影响, 一般用缺口试样进行多冲试验, 其试验装置如图 1-10 所示。冲击周次用记数装置自动记录。试验时每一个冲击能量 A , 可以得到一个相应的冲断周次 N 。如果采用一系列不同的冲击能量 A , 就可以得到一系列相应的冲断周次 N , 把它们整理绘制成 $A-N$ 曲线, 叫做多次冲击曲线, 如图 1-11 所示。目前还无统一表示多冲抗力的方法, 一般可用某冲击能量 A 下的冲断周次 N 或用要求的冲击工作寿命 N 时的冲断能量 A 来表示一定试样的多冲抗力。

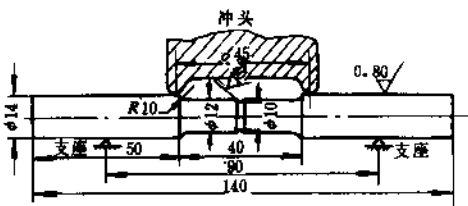


图 1-10 多次冲击试验装置和试样

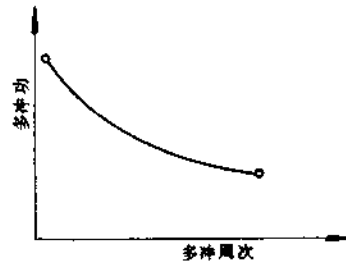


图 1-11 多次冲击曲线

第五节 疲劳强度

许多机件都是在交变应力下工作的, 如轴、齿轮、弹簧等。它们工作时所承受的应力通常都低于材料的屈服强度。机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。

金属的疲劳有各种分类方法。根据机件所受应力的_{大小}, 应力交变频率的高低, 通常可

以把金属的疲劳分为两类：一类为应力较低、应力交变频率较高情况下产生的疲劳，即通常所说的疲劳；另一类为应力高（工作应力近于或高于材料的屈服强度）、应力交变频率低、断裂时应力交变周次少（小于 $10^2 \sim 10^5$ 次）的情况下产生的疲劳，即低周大应力疲劳。

一、金属疲劳断裂的特点

疲劳断裂与静负荷下的断裂不同，无论在静负荷下显示脆性或韧性的材料，在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，具有很大的危险性，常常造成严重的事故。

一般来说，疲劳断口宏观来看由两个区域组成，即疲劳裂纹产生及扩展区和最后断裂区。如图 1-12 所示。

疲劳裂纹产生及扩展区：由于材料的质量、加工缺陷或结构设计不当等原因，在零件或试样的局部区域造成应力集中，这些区域便是疲劳裂纹核心产生的策源地。疲劳裂纹产生后，在交变应力作用下继续扩展长大。在疲劳裂纹扩展区常常留下一条条的同心弧线，叫做前沿线（或疲劳线），这些弧线形成了像“贝壳”一样的花样。断口表面因反复挤压、磨擦，有时光亮得象细瓷断口一样。

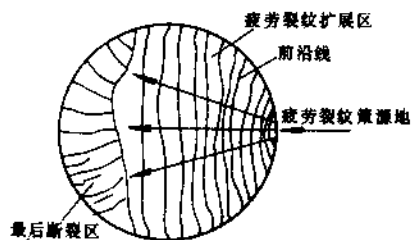


图 1-12 疲劳断裂断口示意图

最后断裂区：由于疲劳裂纹不断扩展，使零件或试样的有效断面逐渐减小，因此，应力不断增加，当应力超过材料的断裂强度时，则发生断裂，形成了最后断裂区。这部分断口和静负荷下带有尖锐缺口试样的断口相似。对于塑性材料，断口为纤维状，暗灰色；而对于脆性材料则是结晶状。

疲劳裂纹扩展区与最后断裂区所占面积的相对比例，是随所受应力大小而变，当名义应力小而又无大的应力集中时，则疲劳裂纹扩展区大；反之，则小。疲劳断口上的前沿线也常随应力集中程度及材料质量等因素不同而变化。因此，可以根据疲劳断口上两个区域所占的比例，估计所受应力高低及应力集中程度的大小。

二、疲劳曲线

在交变负荷下，金属承受的交变应力和断裂循环周次之间的关系，通常用疲劳曲线来描述。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（ $\sigma_{\max}$ ）愈大，则断裂时应力交变的次数（ N ）愈少；反之， $\sigma_{\max}$ 愈小，则 N 愈大。如果将所加的应力 $\sigma_{\max}$ 和对应的断裂周次 N 绘成图，便得到图 1-13 所示的曲线，此曲线称为疲劳曲线。从图 1-13 看出，当应力低于某值时，应力交变到无数次也不会发生疲劳断裂，此应力称为材料的疲劳极限，即曲线水平部分所对应的应力。由于疲劳断裂时的周次很多，所以疲劳曲线的横坐标通常取对数坐标。

疲劳极限通常用 σ_r 表示，注脚 r 表示应力循环对称系数。对于对称应力循环， $r = -1$ ，故疲劳极限用 σ_{-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，见图 1-14。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〔见图 1-14 (a)〕，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、在高温下或在腐蚀介质中工作的钢等，则它们的疲劳曲线上没有水平部分〔见图 1-14 (b)〕，这时就