

工程力学实验

The background of the cover is a deep blue with a complex, abstract pattern of overlapping circles and radial lines, resembling a stylized gear or a mechanical structure. A bright, multi-colored light source (white, yellow, and orange) is positioned at the center, creating a starburst effect with rays extending outwards.

GONGCHENG
LIXUE
SHIYAN

主编 邓小青

上海交通大学出版社

工程力学实验

主编 邓小青

编委 沈超明 李钦奉 顾祥生

上海交通大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程力学实验/邓小青主编. —上海:上海交通大学出版社,
2006

ISBN 7-313-04226-4

I. 工… II. 邓… III. 工程力学-实验-高等学校-教材
IV. TB12-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 005913 号

工程力学实验

邓小青 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 张天蔚

立信会计出版社常熟市印刷联营厂印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 7.5 字数: 179 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月第 1 次印刷

印数: 1~6 050

ISBN 7-313-04226-4/O · 197 定价: 16.80 元

版权所有 侵权必究

前 言

为了适应全国高等教育改革的发展趋势,培养学生的创新精神,我们对基础力学实验课程进行重新整合,编写了本教材。

我们把实验分为三个部分,即基本实验,综合性、思考性实验和提高型实验。基本实验在本书第2章中进行了比较详细的介绍,是本书的重点,它包括破坏性实验和主要力学性能测定等,对实验的具体要求和操作规程都做了比较详细的叙述,以加强实验基础知识和技能的培养。综合性、思考性实验是本书第3章的主要内容,只提实验要求,有的实验适当给予提示,要求学生自己设计实验方案和操作步骤,给学生留出充分的思考空间。本书第4章主要介绍提高型实验,是基本实验的扩充,展示了材料的各向异性、应力应变的非线性问题,以及现代测试中常遇到的贴片技术、传感器标定、实验数据的采集和处理等知识,以开阔学生的眼界。

限于编者水平,疏漏之处在所难免,深望广大师生批评指正。

编 者

2005年12月

主要符号表

符号	量的名称	符号	量的名称
A	面积, 振幅	b	宽度
C	质心, 重心	d	直径, 距离, 力偶臂
D	直径	e	偏心距
E	弹性模量或杨氏模量	f	频率
F	力, 集中载荷	F_{cr}	临界载荷, 分叉载荷
F_N	轴力, 法向约束力	F_{Ax}, F_{Ay}	A 处约束力
F_s	屈服载荷	F_u	极限载荷
G	切变模量	g	重力加速度
I	惯性矩	h	高度
I_P	极惯性矩	J	转动惯量
K	应力强度因子, 应变片灵敏系数	K_d	动荷因数
M	弯矩	M_e	外力偶矩
M_y, M_z	弯矩	m	质量, 分布力偶集度
n	转速	p	功率, 重量
P	压力	R, r	半径
R	电阻	s	路程
S	静矩	t	时间
T	扭矩, 周期	u	水平位移, 轴向位移
W	功, 弯曲截面系数, 重量	W_P	扭转截面系数
x, y, z	坐标	α	线膨胀系数, 角
α_k	冲击韧度	β	角, 表面质量因数
l	长度, 跨度	θ	梁截面的转角, 单位长度相对扭转角
φ	相对扭转角, 稳定因数	γ	切应变
ε	线应变, 相位差	ρ	曲率半径, 回转半径, 密度
σ	正应力	Δ	变形, 位移
$\Delta\sigma$	应力幅	δ	变形, 位移, 伸长率, 厚度
ε_e	弹性应变	ε_p	塑性应变
ε_{da}	实测应变	λ	柔度, 长细比
ν	泊松比	σ_e	弹性应力
σ_{cr}	临界应力	σ_p	比例极限
$\sigma_{0.2}$	条件屈服强度	σ_s	屈服应力
Ψ	断面收缩率	τ	切应力
ω_n	固有频率	ω	角速度, 角频率, 图乘面积

目 录

第 1 章 绪论	1
§ 1-1 概述	1
§ 1-2 内容简介	1
§ 1-3 实验的标准、方法和要求	2
§ 1-4 实验时注意事项	3
第 2 章 基本实验	5
§ 2-1 拉伸实验	5
§ 2-2 压缩实验	11
§ 2-3 扭转实验	13
§ 2-4 材料弹性模量 E 的测定	18
§ 2-5 钢材切变模量 G 的测定	21
§ 2-6 条件屈服强度的测定	26
§ 2-7 纯弯曲实验	29
§ 2-8 压杆稳定实验	33
§ 2-9 光弹性实验	36
§ 2-10 扭转振动实验	40
第 3 章 综合性、思考性实验	45
§ 3-1 弯曲变形实验	45
§ 3-2 动荷挠度实验	46
§ 3-3 静不定梁实验	48
§ 3-4 弯、扭组合实验	50
§ 3-5 被动隔振实验	55
§ 3-6 主动隔振实验	57
第 4 章 提高型实验	59
§ 4-1 应变电测基础和应变片粘贴实习	59
§ 4-2 胶结叠合梁的实验研究	65
§ 4-3 槽钢梁的实验研究	66
§ 4-4 实验数据的自动采集与处理	68
第 5 章 实验设备及仪器	71
§ 5-1 液压式万能试验机	71
§ 5-2 机械式拉力试验机	73

§ 5-3 电子万能试验机	75
§ 5-4 扭转试验机	79
§ 5-5 电阻应变仪	81
§ 5-6 引伸仪	89
附录 I 数据处理和误差分析	91
附录 II 有效数字的确定及运算规则	98
附录 III 电阻应变片的粘贴	100
附录 IV 单位换算表	102
附录 V t 分布表	103
附录 VI 常用材料的主要力学性能	105
附录 VII 材料力学性能测试常用国家标准及其适用范围	108
参考文献	111

第1章 绪 论

§ 1-1 概述

实验是科学研究的重要方法,科学史上许多发明是依靠科学实验而得的,许多新理论的建立也要靠实验来证明。例如,工程力学中应力应变的线性关系就是虎克于1668年到1678年间做了一系列的弹簧实验之后建立起来的。工程力学的任务是在满足强度、刚度和稳定性的要求下,以最经济的代价为构件确定合理的形状和尺寸,选择适宜的材料为构件设计提供必要的理论基础和计算方法。不仅如此,实验对工程力学有极其重要的一面,因为工程力学的理论是建立在将真实材料理想化、实际构件典型化、公式推导假设化基础之上的,它的结论是否正确以及能否在工程中应用,都只有通过实验验证才能断定。在解决工程设计中强度、刚度等问题时,首先要知道材料的力学性能和表达力学性能的材料常数。这些常数只有靠材料试验才能测定。有时实际工程中构件的几何形状和载荷都十分复杂,构件中的应力靠计算难以得到正确的数据,在这种情况下必须借助于实验应力分析的手段才能解决。

§ 1-2 内容简介

一、工程力学实验内容

1. 验证理论性的实验

工程力学的一些公式都是在简化和假设(平面假设,材料均匀性、弹性和各向同性假设)的基础上推导出来的。事实上,材料的性质往往跟完全均匀、弹性的情况是有差异的。因此,必须通过对根据假设推导的公式加以验证,才能确定公式的正确性和适用范围。其实验就成为验证、修正和发展理论的必要手段。

2. 材料力学机械性能实验

材料力学性能是指在力或能的作用下,材料在变形强度等方面表现出的一些特性。如弹性极限,屈服极限、屈服点、强度极限、弹性模量、疲劳极限等。这些强度指示和参数都是构件强度,刚度和稳定性计算的依据,而它们一般是依据国家规范。按照标准化的程序进行实验来测定的,随着材料科学的发展,各种新型合金材料、合成材料不断涌现,力学性能的测定是研究每一种新型材料的重要任务。

3. 应力分析实验

工程上很多实际构件的形状和受载情况较为复杂。因而构件内部的应力大小及分布情况,单纯依靠理论计算就不易解决。这时就可用不同的实验方法进行测定。这种方法则为“实验应力分析”,有电测法、光测法、全息法、云纹法等。

二、工程力学实验分类

在近几年的实验教学中,基于对实验教学应适应培养高素质人才需要的认识,以“加强基础、注重能力、培养素质、突出创新”为指导思想,培养 21 世纪人才的需求。根据实验目的、要求;不同试验测试手段、方法;涌现出新思想、新方法、新材料。又将上述三个方面实验归为基本实验,综合性、思考性实验,提高型实验。由浅入深,由易到难,更加有助于培养学生的动手能力和创造能力。

1. 基本实验

基本实验是《材料力学》、《理论力学》课程基本要求规定的实验内容,把传统的实验项目精选、提高、归并,突出实验的代表性,使实验能反映基本概念和规律。譬如材料的机械性能、梁的纯弯曲、压杆稳定等。通过这些实验让学生掌握金属材料的拉伸、压缩、扭转时的力学性能,掌握 σ_p 、 σ_r 、 σ_s 、 σ_b 、 $\sigma_{0.2}$ 、 E 、 G 、 ν 等的测试方法(包括电测法和机测法);掌握应变分析的原理及应变花的使用;掌握桥路的变化及串、并联原理;掌握灵活运用应力分析的能力。

2. 综合性思考性实验

综合性思考性实验,主要是综合了实验内容、方法、手段,给学生留有更多的自由空间,使学生具有思维的空间,培养学生的工程素质,开发学生的智慧。在学生掌握了基本操作过程,有了一定理论知识的基础上,让学生综合运用所掌握的一些理论基础知识,基本实验技能来独立完成实验。这部分实验主要包括具有工程背景的静不定梁、动荷挠度、弯扭组合以及主、被动隔振实验等。这类实验重在调动学生的积极性,发挥学生的主观能动性,初步培养学生综合运用知识和技能、发现问题、解决问题的能力及创新精神。

3. 提高型实验

提高型实验更加注重与工程实际、科学研究的紧密结合。实验涉及到力学学科及其他相关交叉学科,引入了新的材料、新的结构形式和新的实验技术,这就要求学生对较宽的知识面和刻苦钻研的精神。例如胶接叠合梁(复合梁)实验,槽钢梁的实验研究等,这些实验旨在开阔学生的视野,扩大学生的知识面,培养学生的科研兴趣及创新的思维方式,并使学生在获得基本的科研能力。

§ 1-3 实验的标准、方法和要求

材料的强度指标如屈服极限、强度极限、持久极限等,虽是材料的固有属性,但往往与试样的形状、尺寸、表面加工精度、加载速度、周围环境(温度、介质)等有关。为使试验结果能相互比较,国家标准对试样的取材、形状、尺寸、加工精度、试验手段和方法以及数据处理等都作了统一规定。我国国家标准的代号是 GB。其他国家也有各自的标准,如美国标准的代号为 ASTM,国际标准的代号为 ISO。国际间需要做仲裁试验时,以国际标准为依据。

对破坏性试验,如材料强度指标的测定,考虑到材料质地的不均匀性,应采用多根试样,然后综合多根试样的结果,得出材料的性能指标。对非破坏性试验,如构件的变形测量,因为要借助于变形放大仪表,为减小测量系统引入的误差,一般也要多次重复进行,然后综合多次测量的数据得到所需结果。

实验应力分析除前面提到的电测法及光弹性法外,还有激光全息光弹性法、散斑干涉法、

云纹法、声弹法等。采用何种方法取决于试验的目的和对试验精度的要求。一般说,如仅需了解构件某一局部的应力分布,电测法比较合适;如需了解构件的整体应力分布,则以光弹性法为宜。有时也可把几种方法联合使用,例如可用光弹性法判定构件危险截面的位置,再使用电测法测出危险截面的局部应力分布。关于实验应力分析,本书主要介绍电测法,并对光弹性法作简要介绍。至于其他方法,如有需要可参看实验应力分析方面的著作。

整理实验结果时,应剔除明显不合理的数据,并以表格或图线表明所得结果。若实验数据中的两个量之间存在线性关系,可用最小二乘法拟合为直线,然后进行计算(参看附录 I)。数据运算的有效位数要依据机器、仪表的测量精度来确定。有效数后面的第一位数的进位规则如附录 I 所示。最后,要求写出实验报告。作为示范,本书中有几个试验记录和报告可供参考。其余实验的报告则要求读者独立完成。

§ 1-4 实验时注意事项

在常温、静载荷条件下,工程力学实验所涉及的物理量并不多,主要的是测量作用在试件上的载荷和试件的变形。载荷一般要求较大,由几吨到几十吨,故加力设备较大,而变形则很小,绝对变形可以小到千分之一毫米,相对变形(应变)可小到 $10^{-5} \sim 10^{-6}$,因而变形设备必须精密。在进行实验时,力与变形要同时测量,因此,非一人所能完成,一般需要三、四人。这就要很好地互相配合,要有责任心,否则不能较好地完成实验。为此,实验时应注意以下几个方面:

一、实验准备工作

(1) 明确实验目的、原理和步骤。选定试件对象,并拟出加载方式,设计记录表格,以备实验时记录数据之用。

(2) 以班为单位,事先分好实验小组。组内应分工明确,实验要互相配合,要有默契式口令,以便互相呼应,彼此协调,不致于导致实验失败。参加实验人员一般可作如下分工:

① 记录者一人:在整个实验中,应充当总指挥作用,掌握好实验数据与全部资料,随时注意数据可靠性及实验是否完整。

② 测变形者一人:应深入了解仪表的性能,要预习一遍仪表的操作规程,弄清仪表的单位和放大系数,以免读错。如发现仪表异常,应立即停机检查。

③ 试验机操作一人及测力一人:首先要阅读机器操作规程,遵照规程进行严格的操作。事先要试车,注意安全。发现异常时应立即停车。

二、进行实验

在正式开始实验之前,要检查试验机测力度盘指针是否对准零位;变形仪、试件装置是否正常,由指导教师检查后,方可动手进行实验。此时同学们要注意观察该试验中的一些现象,从中找出规律,作好记录。实验完毕后,关机、检查数据是否齐全,并注意清理设备。仪器放回原处后方可离去。

三、实验报告的书写

实验报告是实验者最后交出的试验成果,是实验资料的总结。其内容包括如下:

- (1) 实验名称,实验日期,当时温度,实验者及组员姓名。
- (2) 实验目的,原理及装置,应画装置简图。
- (3) 实验原理需阐述理论依据、采取验证的实验方法、手段,注明使用的机器、仪表、用具的名称、型号和精度(或放大系数)等。
- (4) 实验数据处理。首先将所测得的数据填在记录纸上绘制的表格中,并注明测量单位和精度以便计算。此外,在试验中,有时为了准确获得一物理量,往往需要采用逐渐加载法进行多次测量,以减小测量误差。对所测得的同一物理量的一组数据需进行数据处理和误差分析。常用测量数据的算术平均值作为该物理量的点估计值。
- (5) 计算:在计算中,须明确写出公式及其各符号的代表意义,并注意单位的统一。同时注意有效数字的运算的法则。
- (6) 结果的表示:应根据多数点的所在位置,描绘出光滑的曲线或用最小二乘法进行计算,选出最佳拟合曲线。
- (7) 讨论与结论。说明本实验的优缺点,主要结果是否正确,并对误差加以分析。同时回答指导书中的思考题。

第2章 基本实验

根据每个基本实验目的、要求,主要介绍机测法、电测法、光测法三种测试方法。

拉伸、压缩、扭转破坏实验

拉伸试验、压缩试验、扭转试验是研究材料力学性能的最基本试验,方法简单,数据可靠。工矿企业,研究所一般都用机械测试方法对材料进行出厂检验式进行复检,用测得的 $\sigma_s(\sigma_{0.2})$ 、 σ_b 、 δ 、 Ψ 和 τ_s 、 τ_b 等指标来测定材质和进行强度,刚度计算。因此,对材料进行轴向拉伸,压缩和扭转试验具有工程实际意义。

不同材料在拉、压、扭过程中表现出不同的力学性质和现象。低碳钢和铸铁分别是典型的塑性材料和脆性材料。低碳钢材料具有良好的塑性,在拉伸试验中弹性、屈服、强化和颈缩四个阶段尤为明显和清楚。在压缩试验中的弹性阶段、屈服阶段与拉伸试验基本相同,最后试样只能被压扁而不能被压断,无法测定其压缩强度极限 σ_b 值。低碳钢在扭转试验中,必经过了弹性、屈服和强化三个阶段,在屈服阶段过程中比拉伸时产生屈服阶段的时间长,属于弹塑性力学问题,超过了工程力学范围,最后破坏是被剪坏。

铸铁材料受拉时处于脆性状态,其破坏是拉应力拉断。受压时有明显的塑性变形,其破坏由切应力引起的,破坏是沿大于 $45^\circ\sim 55^\circ$ 的斜面。受扭时成螺旋线 45° 方向被拉应力破坏。铸铁材料的抗压强度远远大于抗拉强度,通过铸铁拉、压、扭试验观察脆性材料的变形过程和破坏方式。并与低碳钢受拉、压、扭结果进行比较。可以分析不同应力状态时材料强度,塑性的影响。

§ 2-1 拉伸实验

一、实验目的

- (1) 测定低碳钢的屈服强度 σ_s 、强度极限 σ_b 、伸长率 δ 、断面收缩率 Ψ 。
- (2) 测定铸铁的强度极限 σ'_b 。
- (3) 观察材料在拉伸过程中的主要机械性质。

二、实验设备

- (1) 材料万能试验机。
- (2) 游标卡尺。

三、拉伸试样

试样的形状和尺寸对实验结果是有一定影响的。为了减少形状和尺寸对实验结果的影响,便于比较实验结果。应统一规定制备试样。拉伸试样应按国标 GB/T6397—1986《金属拉伸试

验试样》进行加工。拉伸试样分为比例试样和定标试样两种：

1. 比例试样(矩形试样)

$$L_0 = 11.3 \sqrt{A_0} \text{ 或 } L_0 = 5.56 \sqrt{A_0}$$

2. 定标试样(圆截面试样)

$$l_0 = 10d_0 \text{ 或 } l_0 = 5d_0$$

定标试样的 l_0 与横截面积 A_0 不必满足前述关系, l_0 的长短参照有关标准或协商确定。低碳钢试样, 颈缩部分及其影响区的塑性变形在伸长率中占很大的比例。显然, 同种材料的伸长率不仅取决于材质, 而且还取决于试样的标距。试样愈短, 局部变形所占的比例愈大, δ 也就愈大。为了便于相互比较, 测定伸长率应采用比例试样。用标距为 10 倍直径试样测定的伸长率记作 δ_{10} , 用标距为 5 倍直径试样测定的伸长率记作 δ_5 。国家标准推荐使用短比例试样。

一般拉伸试样采用哑铃状(特别是脆性材料), 由工作部分(或称平行长度部分)、圆弧过渡部分和夹持部分组成, 如图 2-1 所示。工作部分的表面粗糙度应符合国标规定, 以确保材料表面的单向应力状态。平行长度段的有效工作长度即为标距 l_0 , 平行长度为 l , 圆截面试样 $l \geq l_0 + d_0$, 矩形截面试样 $l \geq l_0 + b_0/2$ 。圆弧过渡应有适当的圆角和台阶, 脆性材料的圆角半径要比塑性材料的大一些, 以减小应力集中, 确保试样不会在该处断裂。试样两端的夹持部分用以传递拉伸载荷, 其形状和尺寸要与试验机的钳口夹块相匹配。一般对于直接用钳口夹紧的试样, 其夹持部分长度应不小于钳口深度的 $3/4$ 。

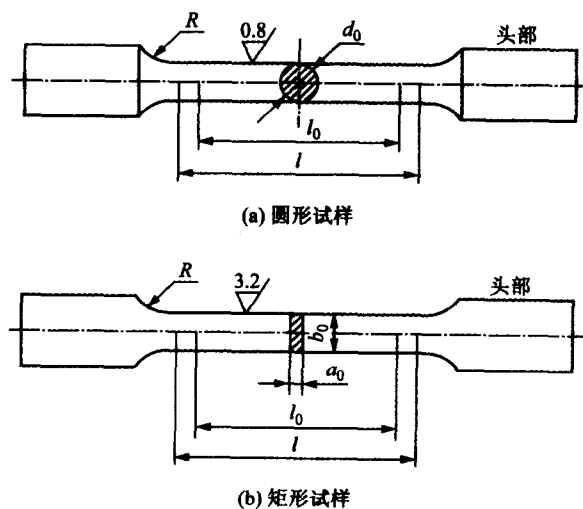


图 2-1

四、实验原理和方法

1. 低碳钢拉伸实验

低碳钢试样在静拉伸试验中, 通常可直接得到拉伸曲线, 如图 2-2 所示。用准确的拉伸曲线可直接换算出应力应变 $\sigma-\epsilon$ 曲线。首先将试件安装于试验机的夹头内, 之后匀速缓慢加载(加载速度对力学性能是有影响的, 速度越快, 所测的强度值就越高), 试样依次经过弹性、屈服、强化和颈缩四个阶段, 其中前三个阶段是均匀变形的。

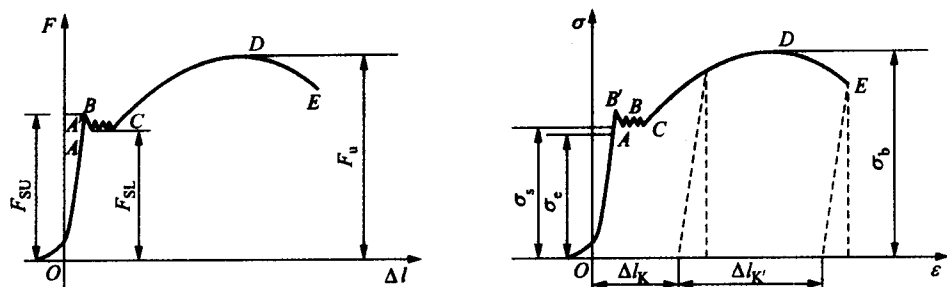


图 2-2

(1) 弹性阶段:是指拉伸图上的 OA' 段,没有任何残留变形。在弹性阶段,载荷与变形是同时存在的,当载荷卸去后变形也就恢复。在弹性阶段,存在一比例极限点 A ,对应的应力为比例极限 σ_p ,此部分载荷与变形是成比例的,材料的弹性模量 E 应在此范围内测定,具体方法详见有关章节。

(2) 屈服阶段:对应拉伸图上的 BC 段。金属材料的屈服是宏观塑性变形开始的一种标志,是位错增值和运动的结果,是由切应力引起的。在低碳钢的拉伸曲线上,当载荷增加到一定数值时出现了锯齿现象。这种载荷在一定范围内波动而试样还继续变形伸长的现象称为屈服现象。屈服阶段中一个重要的力学性能就是屈服点。低碳钢材料存在上屈服点和下屈服点,不加说明,一般都是指下屈服点。上屈服点对应拉伸图中的 B 点,记为 F_{SU} ,即试样发生屈服而力首次下降前的最大力值。下屈服点记为 F_{SL} ,是指不计初始瞬时效应的屈服阶段中的最小力值,注意这里的初始瞬时效应对于液压摆式万能试验机由于摆的回摆惯性尤其明显,而对于电子万能试验机或液压伺服试验机不明显。

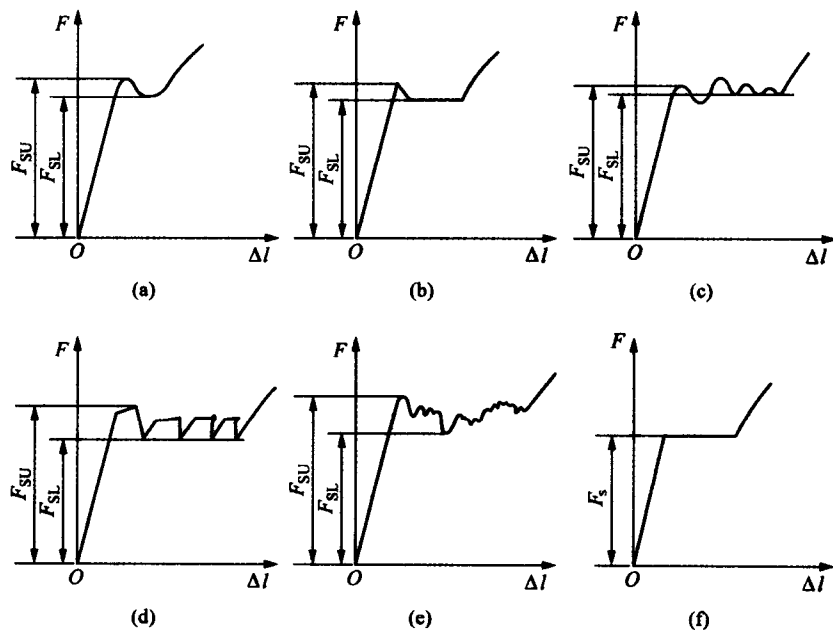


图 2-3

一般通过指针法或图示法来确定屈服点,综合起来具体做法可概括为:当屈服出现一对峰谷时,则对应于谷低点的位置就是屈服点;当屈服阶段出现多个波动峰谷时,则除去第一个谷值后所余最小谷值点就是屈服点。图 2-3 给出了几种常见屈服现象和 F_{su} 、 F_{sl} 的确定方法。用上述方法测得屈服载荷,分别用式 (2-1)、式 (2-2)、式 (2-3) 计算出屈服点、下屈服点和上屈服点

$$\sigma_s = F_s / A_0, \quad (2-1)$$

$$\sigma_{sl} = F_{sl} / A_0, \quad (2-2)$$

$$\sigma_{su} = F_{su} / A_0. \quad (2-3)$$

(3) 强化阶段:对应于拉伸图中的 CD 段。变形强化标志着材料抵抗继续变形的能力在增强。这也表明材料要继续变形,就要不断增加载荷。在强化阶段过程中如果卸载,弹性变形会随之消失,塑性变形将会永久保留下来。强化阶段的卸载路径与弹性阶段平行。卸载后重新加载时,加载线仍与弹性阶段平行。重新加载后,材料的比例极限明显提高,而塑性性能会相应下降。这种现象称之为形变硬化或冷作硬化。冷作硬化是金属材料的宝贵性质之一。工程中利用冷作硬化工艺的例子很多,如挤压、冷拔、喷丸等。 D 点是拉伸曲线的最高点,载荷为 F_u ,对应的应力是材料的强度极限或抗拉极限,记为 σ_b ,用式 (2-4) 计算

$$\sigma_b = F_u / A_0. \quad (2-4)$$

(4) 颈缩阶段:对应于拉伸图的 DE 段。载荷达到最大值后,塑性变形开始局部进行。这是因为在最大载荷点以后,形变强化跟不上变形的发展,由于材料本身缺陷的存在,于是均匀变形转化为集中变形,导致形成颈缩。颈缩阶段,承载面积急剧减小,试样承受的载荷也不断下降,直至断裂。断裂后,试样的弹性变形消失,塑性变形则永久保留在破断的试样上。材料的塑性性能通常用试样断后残留的变形来衡量。轴向拉伸的塑性性能通常用伸长率 δ 和断面收缩率 Ψ 来表示,计算公式为

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%, \quad (2-5)$$

$$\Psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%. \quad (2-6)$$

式中: l_0 、 A_0 分别表示试样的原始标距和原始面积; l_1 、 A_1 分别表示试样标距的断后长度和断口面积。

塑性材料颈缩部分的变形在总变形中占很大比例,研究表明,低碳钢试样颈缩部分的变形占塑性变形的 80% 左右,如图 2-4 所示。测定断后伸长率时,颈缩部分及其影响区的塑性变形都包含在 l_1 之内,这就要求断口位置到最邻近的标距线大于 $l_0/3$,此时可直接测量试样标距两端的距离得到 l_1 。否则就要用移位法使断口居于标距的中央附近。若断口落在标距之外则试验无效。

(5) 讨论几个问题:

① 断口移位法:当试样断口到最邻近标距端线的距离小于或者等于 $1/3$ 时,必须用断口移位法来计算 l_1 。具体方法是:在进行试验前先把试样在标距内 n 等份(一般十等份),并打上标记。拉断试样后,在长段上从拉断处 O 取基本等于短段格数得 B 点。若长段所余格数为偶

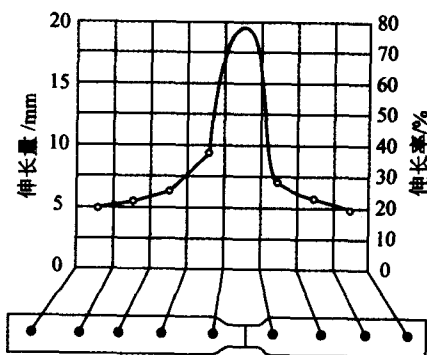


图 2-4

数,则取其一半得 C 点,这时 $l_1 = AB + 2BC$,如图 2-5(a)所示。若长段所余格数为奇数,则减 1 后的一半得到 C 点、加 1 后的一半得到 C_1 点,这时 $l_1 = AB + BC + BC_1$,如图 2-5(b)所示。

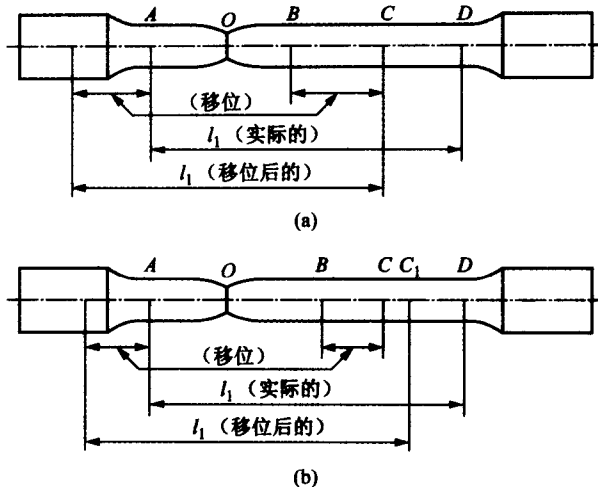


图 2-5

② 试样标距对伸长率 δ 的影响:把试样断裂后的塑性伸长量 Δl 分成均匀变形阶段的伸长量 Δl_1 和颈缩阶段的伸长量 Δl_2 两部分。研究表明, Δl_1 沿试样标距长度均匀分布, Δl_2 主要集中于缩颈附近。远离缩颈处的变形较小, Δl_1 要比 Δl_2 小得多,一般 Δl_1 不会超过 Δl_2 的 5%。实验与理论研究表明, Δl_1 与试样初始标距长度 l_0 成正比,即 $\Delta l_1 = \alpha l_0$; Δl_2 与试样横截面积的大小 A_0 有关,即 $\Delta l_2 = \beta \sqrt{A_0}$, α 、 β 是材料常数。因此, $\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 = \alpha l_0 + \beta \sqrt{A_0}$,伸长率

$$\delta = \Delta l / l_0 = (\alpha l_0 + \beta \sqrt{A_0}) / l_0 = \alpha + \beta \sqrt{A_0} / l_0. \quad (2-7)$$

由上式可知,对同一种材料,只有在试样的 $\sqrt{A_0} / l_0$ 值为常数的条件下,其断后伸长率 δ 才是材料常数。若面积 A_0 相同时, l_0 大,则 δ 小; l_0 小,则 δ 反而大。故有 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。

③ 矩形试样断后面积 A_1 的测量:用颈缩处的最大宽度 b_1 乘以最小厚度 a_1 得到断后面积 A_1 ,如图 2-6 所示。

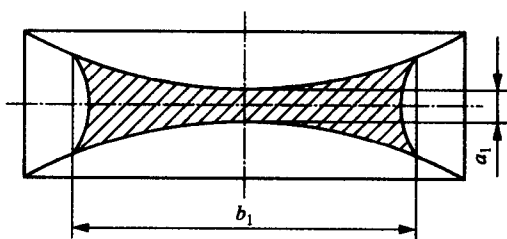


图 2-6

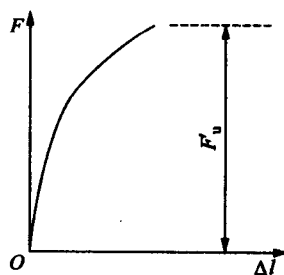


图 2-7

2. 铸铁拉伸实验

铸铁是典型的脆性材料。拉伸曲线如图 2-7 所示,可以近似认为经弹性阶段直接断裂。断裂面平齐且为闪光的结晶状组织,说明是由拉应力引起的。由图 2-7 看到铸铁拉伸时并没有经

过屈服阶段,因而无法从测力盘中读出屈服强度。要确定类似这种材料的屈服强度。即屈服极限,通常指产生屈服应力。一般规定残余变形量值取为标距 l_0 的0.2%,对应的应力记为 $\sigma_{0.2}$ 。具体使用方法参考国家标准规定(参见§2-6)。在此,只要同学们测出试件拉断时的最大载荷 F'_u ,即可按下式计算抗拉强度极限

$$\sigma'_b = \frac{F'_u}{A_0} \quad (2-8)$$

五、实验步骤

(1) 试件准备。在拉伸试件上,用游标卡尺测量试件标距部分的直径。按国标规定,在标距范围的中间及两端处,每处互相垂直方向量得的平均值为该处直径,取三个数值中的最小值为计算直径,并记下。然后,在试件上打好标距($l_0=10d_0$ 或 $l_0=5d_0$,取整数)。其方法为:

① 用洋冲在靠试件一端打一冲印点后,用游标卡尺量此点至试件同一母线上距离为 l_{01} 处,打上第二个冲印点,使两冲印点距离为标距 l_{01} 。用同样的方法再打一对冲印点,标距为 l_{02} ,使 l_{01} 与 l_{02} 相互尽量错开。

② 将一标距分为10等分,用位移法来测定 l_1 。

(2) 试验机准备。对试验机根据试件的材料和尺寸选择合适的示力盘和相应的摆锤。调整测力指针,对准“零点”。

(3) 按第5章所讲的试验机操作步骤进行操作,开始实验。

(4) 正式实验,控制好试验机升降阀门开关,缓慢加载。注意观察实验过程中试件变化,记下所需数据。

(5) 实验结束,关机、复原,取出试件,量取有关尺寸(d_1 和 l_1),观察断口形貌。

六、实验结果处理

以表格的形式处理实验结果。根据记录的原始数据,计算出低碳钢的 σ_s 、 σ_b 、 δ 和 Ψ ,铸铁的 σ_b ,最后写出实验报告(具体格式见本节末【附】)。

七、思考题

- (1) 试比较低碳钢和铸铁的拉伸机械性能。
- (2) 试以不同的断口特征说明金属的两种基本破坏形式。
- (3) 材料和面积相同而标距长短不同的两根比例试样,其断后伸长率 δ_5 和 δ_{10} 是否相同。
- (4) 试述冷作硬化对塑性材料力学性能的影响。
- (5) 试分析表面磨光低碳钢试件在拉伸实验中,当应力到达屈服点时,沿与试件轴线成 45° 角方向出现滑移线的原因?
- (6) 低碳钢拉伸实验中,试件为什么不是在应力应变曲线图的最高点处拉断?
- (7) 在什么情况下,需要用断口移位法来测量拉伸后的标距长度?

【附】 实验报告格式(仅供参考)

实验名称:	实验日期:	班级:	同组者:
报告人:	温度:	湿度:	

(1) 实验目的。