

普通高等教育规划教材

材料力学实验

金保森 卢智先 编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育规划教材

材料力学实验

金保森 卢智先 编著



机械工业出版社

本书把材料力学实验分为基本实验, 综合性、思考性实验和提高型实验三部分。基本实验包括破坏性实验, 材料弹性常数测定实验, 弯曲实验, 压杆稳定实验等; 综合性、思考性实验包括偏心拉伸实验, 拉扭弯组合变形实验和超静定梁、超静定框架实验等; 提高型实验包括应变片粘贴, 各向异性弹性常数测定, 真应力应变实验, 薄壁构件实验等。既能满足材料力学实验单独设课的需要, 也可供学时数较少、不单独设实验课的学校选用。

图书在版编目 (CIP) 数据

材料力学实验/金保森, 卢智先编著. —北京: 机械工业出版社, 2003.1

普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-11315-2

I. 材… II. ①金…②卢… III. 材料力学—实验—高等学校—教材
IV. TB301-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 100353 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 季顺利 版式设计: 冉晓华 责任校对: 李汝庚

封面设计: 姚毅 责任印制: 闫焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·3.75 印张·143 千字

定价: 10.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

近几年来, 各校的材料力学理论课时普遍减少。相反, 为了提高学生的实验技能和工作实践能力, 全面推进素质教育, 材料力学实验课时不但没有减少, 反而在逐渐增加。单独设课和开放实验室的学校在不断增加。为适应新形势下的材料力学实验课教学, 在原有单独设课教材的基础上, 结合《国家工科基础课程——力学教学基地》建设的新成果, 编写了这本教材。

全书共分四章和附录。第一章是基本实验, 包括破坏性实验和主要力学性能测定等; 第二章是综合性、思考性实验, 包括组合变形实验和超静定实验等; 第三章是提高型实验, 包括各向异性材料, 材料在非线性变形阶段的力学性能测试以及某些工程测试等; 第四章介绍常用的试验设备和仪器。附录列举了实验数据的处理、常用材料的主要力学性能参数、材料力学性能测试的相关国家标准等。

基本实验是本书的重点, 对实验的具体要求和操作规程都做了比较详细的叙述, 以期加强实验基本知识和技能的培养。思考性实验只提实验要求, 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。提高型实验是基本实验的扩充, 把材料的各向异性、应力应变的非线性问题以及现代测试中遇到的贴片技术、传感器标定、实验数据的采集与处理等知识展示出来, 以开阔眼界。试验设备的介绍以通用、常见为前提, 适当顾及实验内容。本书可作为 14~20 学时材料力学实验单独设课的教材。由于各章节内容均有一定的独立性, 故也可供学时较少、非独立设课的学校选用。

书稿承北京航空航天大学单辉祖教授审阅, 并提出许多精辟珍贵的修改意见。清华大学范钦珊教授对新实验的开发给予热心的帮助和指导。西北工业大学矫桂琼教授以及教务处的领导对本书的出版均给了许多关怀和帮助, 在此一并表示衷心的感谢。

西北工业大学材料力学教研室的邓林科、王安强、黄涛、耿小亮等老师参加了本书部分内容的编写工作, 深致谢意。

由于编者水平有限, 书中难免有不妥之处, 恳请广大师生和读者批评指正。

编 者

2003 年 3 月

目 录

前言

第一章 基本实验 1

- 第一节 拉伸、压缩破坏实验 1
- 第二节 扭转破坏实验 10
- 第三节 材料弹性模量 E 和泊松比 μ 的测定 13
- 第四节 材料切变模量 G 的测定 16
- 第五节 条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 的测定 23
- 第六节 弯曲实验 26
- 第七节 压杆稳定实验 33
- 第八节 冲击实验 36
- 第九节 疲劳实验 41
- 第十节 光弹性实验 46

第二章 综合性、思考性实验 51

- 第一节 偏心拉伸实验 51
- 第二节 测定未知载荷实验 52
- 第三节 拉扭弯联合作用下薄壁圆管应力与内力的测量实验 53
- 第四节 超静定梁实验 57
- 第五节 超静定框架实验 59

第三章 提高型实验 61

- 第一节 应变电测基础和应变片粘贴实验 61

- 第二节 各向异性弹性常数的测定 68
- 第三节 真应力应变曲线的测定 72
- 第四节 薄壁构件实验 75
- 第五节 力、位移传感器的标定 78
- 第六节 实验数据的自动采集与处理 80

第四章 实验设备及仪器 83

- 第一节 液压摆式万能试验机 83
- 第二节 机械摆式万能试验机 86
- 第三节 电子万能试验机 88
- 第四节 扭转试验机 92
- 第五节 疲劳试验机 96
- 第六节 电阻应变仪 98
- 第七节 X—Y 记录仪 101
- 第八节 引伸仪 104

附录 107

- 附录 A 实验数据的直线拟合 107
- 附录 B 有效数字的确定及运算规则 108
- 附录 C 常用材料的主要力学性能 109
- 附录 D 材料力学性能测试常用国家标准及其适用范围 111

参考文献 115

第一章 基本实验

第一节 拉伸、压缩破坏实验

拉伸试验和压缩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、研究所一般都用此类方法对材料进行出厂检验或进厂复检，用测得的 σ_s ($\sigma_{0.2}$)、 σ_b 、 δ 、 ψ 和 σ_{bc} 等指标来评定材质和进行强度、刚度计算。因此，对材料进行轴向拉伸和压缩试验具有工程实际意义。

不同材料在拉伸和压缩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。低碳钢材料在压缩试验中的弹性阶段、屈服阶段与拉伸试验基本相同，低碳钢试样最后只能被压扁而不能被压断，无法测定其压缩强度极限 σ_{bc} 值。因此，一般只对低碳钢材料进行拉伸试验而不进行压缩试验。

铸铁材料受拉时处于脆性状态，其破坏是拉应力拉断。铸铁压缩时有明显的塑性变形，其破坏是由切应力引起的，破坏面是沿 $45^\circ \sim 55^\circ$ 的斜面。铸铁材料的抗压强度 σ_{bc} 远远大于抗拉强度 σ_b 。通过铸铁压缩试验观察脆性材料的变形过程和破坏方式，并与拉伸结果进行比较，可以分析不同应力状态对材料强度、塑性的影响。

一、实验目的

- 1) 观察分析低碳钢的拉伸过程和铸铁的拉伸、压缩过程，比较其力学性能。
- 2) 测定低碳钢材料 σ_s 、 σ_b 、 δ 、 ψ ；测定铸铁材料的 σ_b 和 σ_{bc} 。
- 3) 了解万能材料试验机的结构原理，能正确独立操作使用。

二、实验设备

- 1) 电子万能试验机。
- 2) 液压摆式万能试验机。
- 3) X—Y 记录仪。
- 4) 游标卡尺。

三、拉伸和压缩试样

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，应按统一规定制备试样。拉伸试样应按国标

GB/T6397—1986《金属拉伸试验试样》进行加工。压缩试样应按国标 GB/T7314—1987《金属压缩试验方法》进行加工。拉伸试样分为比例试样和定标试样两种。比例试样应符合公式 $l_0 = k \sqrt{A_0}$ 。

其中 l_0 为试样平行段标距， A_0 为试样初始横截面积，系数 k 为 5.65 或 11.3。对于直径为 d_0 的圆试样可取 $l_0 = 5d_0$ （短试样）或 $10d_0$ （长试样）。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做 δ_{10} ，用标距为 5 倍直径试样测定的伸长率记做 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 1-1 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。

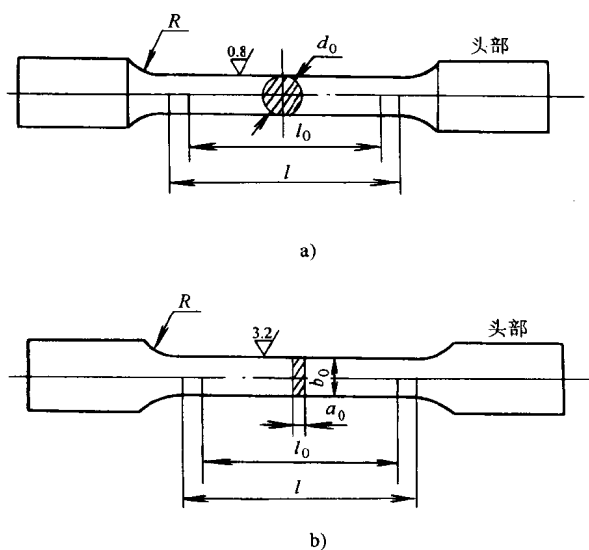


图 1-1

a) 圆形试样 b) 矩形试样

压缩试样通常为柱状，横截面分为圆形和方形两种，如图 1-2 所示。试样受压时，两端面与试验机压头间的摩擦力很大使端面附近的材料处于三向压应力状态，约束了试样的横向变形，试样越短，影响越大，实验结果越不准确。因此，试样应有一定的长度。但是，试样太长又容易产生纵向弯曲而失稳。金属材料的压缩试样通常采用圆试样。铸铁压缩实验时取 $l = (1 \sim 2) d_0$ 。

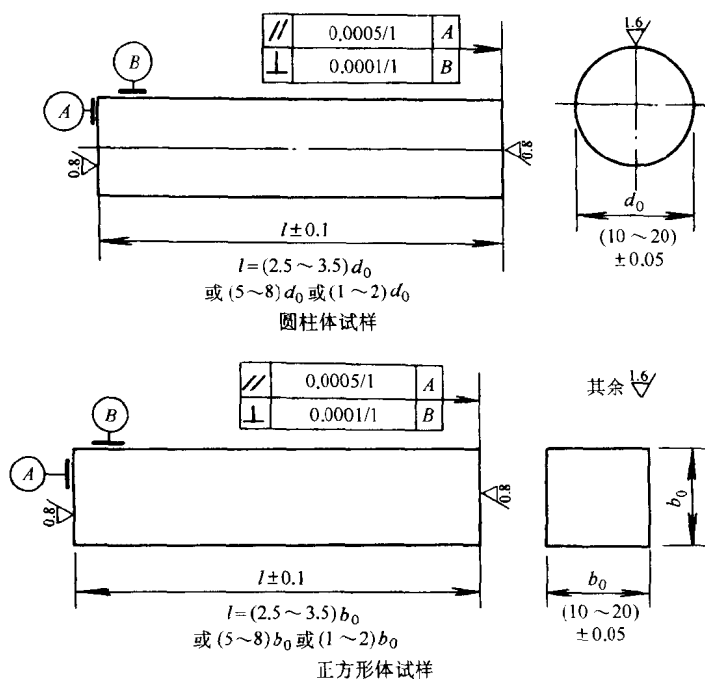


图 1-2

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 1-3 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。

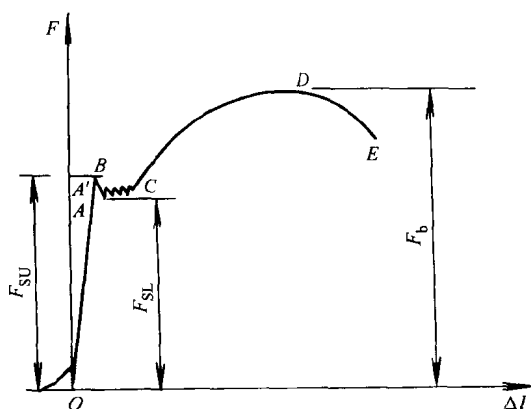


图 1-3

(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。

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 1-4 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 (1-1)、式 (1-2)、式 (1-3) 计算出屈服点、下屈服点和上屈服点。

$$\sigma_s = F_S / A_0 \quad (1-1)$$

$$\sigma_{SL} = F_{SL} / A_0 \quad (1-2)$$

$$\sigma_{SU} = F_{SU} / A_0 \quad (1-3)$$

(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_b , 对应的应力是材料的强度极限或抗拉极限, 记为 σ_b , 用式 (1-4) 计算

$$\sigma_b = F_b / A_0 \quad (1-4)$$

(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

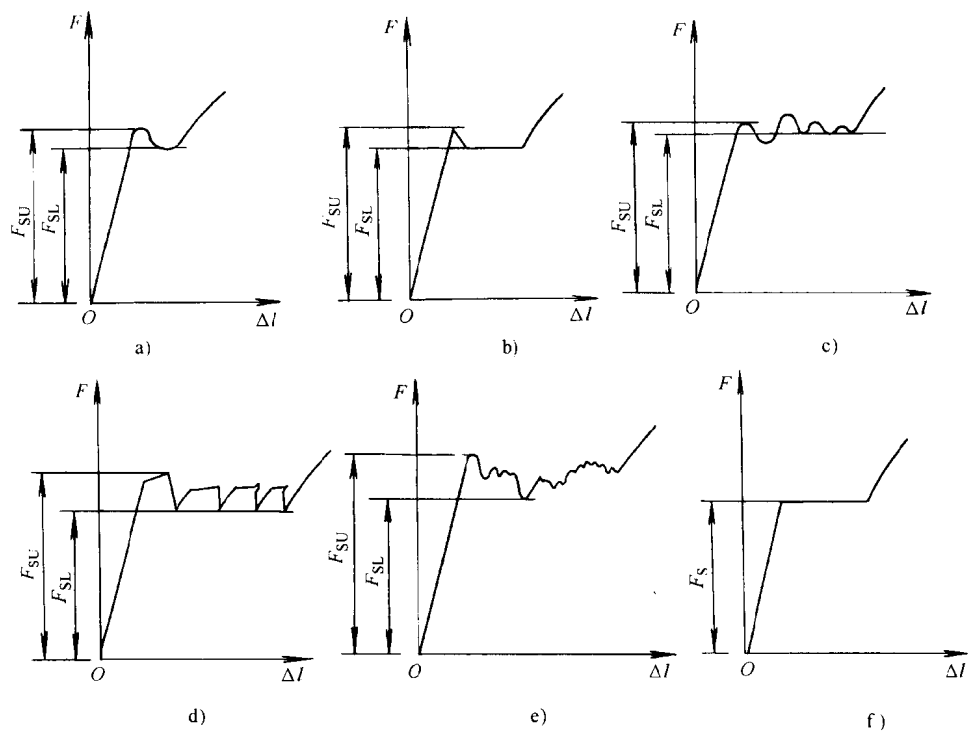


图 1-4

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

$$\delta = (l_1 - l_0) / l_0 \times 100\% \quad (1-5)$$

$$\psi = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100\% \quad (1-6)$$

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，见图 1-5。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 $\frac{l_0}{3}$ ，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

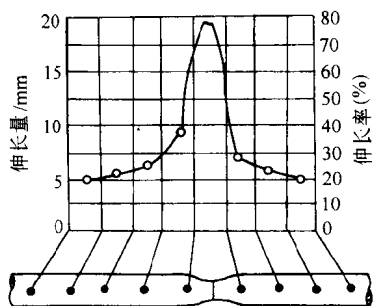


图 1-5

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) 几个问题讨论

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 $\frac{l}{3}$ 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数，则取其一半得 C 点，这时， $l_1 = AB + 2BC$ ，见图 1-6a。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 $l_1 = AB + BC + BC_1$ ，见图 1-6b。

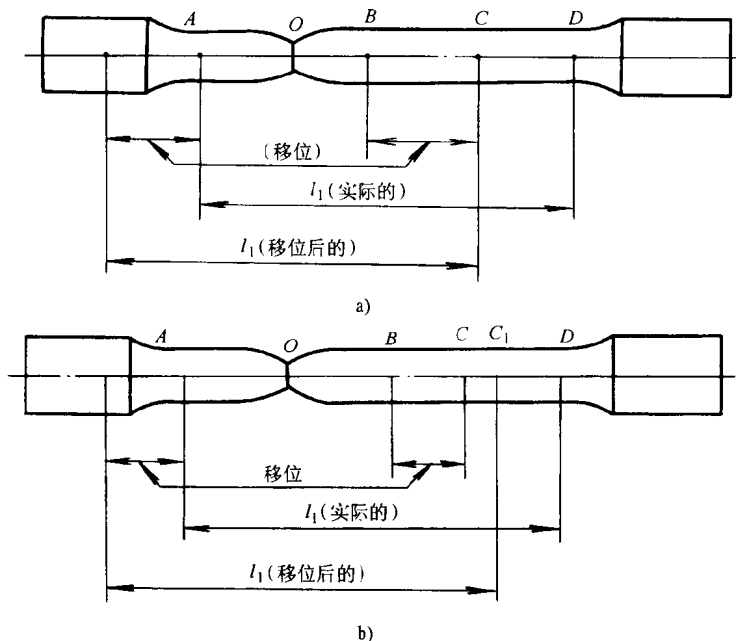


图 1-6

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 $\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 = \alpha l_0 + \beta \sqrt{A_0}$ ，伸长率为

$$\delta = \Delta l / l_0 = (\alpha l_0 + \beta \sqrt{A_0}) / l_0 = \alpha + \beta \sqrt{A_0} / l_0 \quad (1-7)$$

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 , 见图 1-7。

2. 铸铁拉伸实验

铸铁是典型的脆性材料, 拉伸曲线如图 1-8 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。其强度指标也只有抗拉强度 σ_b , 用实验测得的最大力值 F_b , 除以试样的原始面积 A_0 , 就得到铸铁的抗拉强度 σ_b , 即

$$\sigma_b = F_b / A_0 \quad (1-8)$$

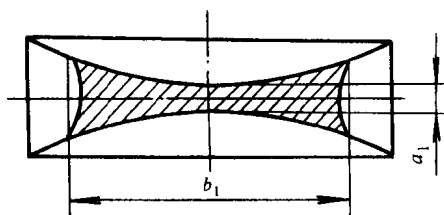


图 1-7

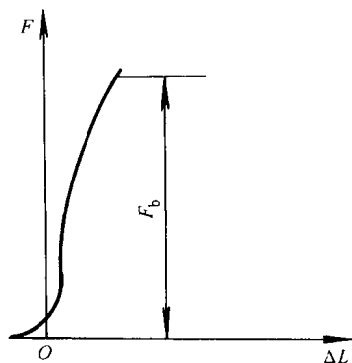


图 1-8

3. 铸铁压缩实验

铸铁在压缩实验过程中, 压缩曲线有明显的非线性。试件在到达最大压缩载荷时有明显的塑性变形, 圆柱形被压缩成鼓形, 最后破坏。测出压缩破坏载荷 F_b , 同样按式 (1-8) 计算铸铁的抗压强度 σ_b 。进行压缩试验时, 常用球面支承加载, 以保证试件端面与垫板均匀接触、均匀受压和压力通过试件轴线。图 1-9 给出了铸铁压缩试验的支承、曲线和断口情况。

五、实验步骤

(1) 试件准备 在低碳钢试件上划出长度为 l_0 的标距线, 并把 l_0 分成 n 等份 (一般 10 等份)。对于拉伸试件, 在标距的两端及中部三个位置上, 沿两个相互垂直方向测量直径, 以其平均值计算各横截面面积, 再取三者中的最小值为试件的 A_0 。对于压缩试件, 以试件中间截面相互垂直方向直径的平均值计算 A_0 。

(2) 试验机准备 对于液压试验机, 根据试件的材料和尺寸选择合适的示力

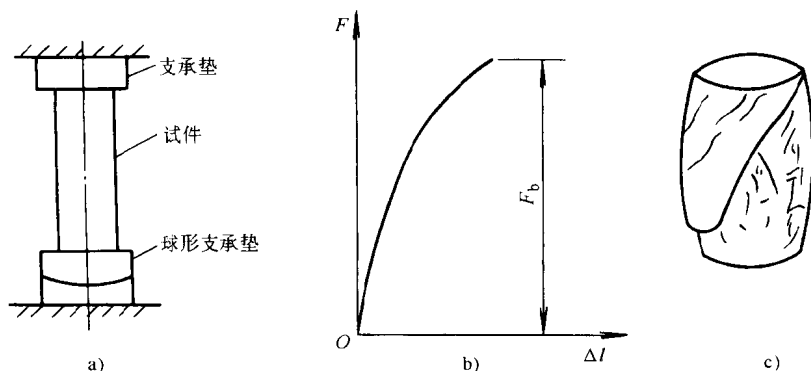


图 1-9

a) 压缩试验时球形支承垫 b) 铸铁压缩图 c) 铸铁试样在压缩下的破坏图

盘和相应的摆锤。对于电子拉力试验机，要选择合适的量程和加载速度。标定记录仪的 x 轴（一般按变形 Δl ）和 y 轴（一般拉力 F ）。

(3) 安装试件 按第四章第一节和第四章第三节中的操作步骤进行操作。

(4) 正式实验 控制液压机的进油阀或电子拉力试验机的升降开关缓慢加载。实验过程中，注意记录 F_s 值。屈服阶段后，打开峰值保持开关，以便自动记录 F_b 值。

(5) 关机取试件 试件破坏后，立即关机。取下试件，量取有关尺寸。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 ，铸铁的抗拉强度 σ_{bt} 和抗压强度 σ_{bc} 。下面给出实验报告的一种格式，可供参考（见本节末尾“附”）。

七、预习要求

- 1) 预习材料力学实验和材料力学教材有关内容，明确实验目的和要求。
- 2) 了解试验机操作规程，预习第四章第一、二、三节。
- 3) 设计实验数据记录表格。

八、思考题

- 1) 本次实验自动绘制的低碳钢拉伸曲线中，横坐标量 Δl 与试样标距内的变形量是否一致，为什么？
- 2) 什么情况下采用断口移位法？如何进行断口移位？
- 3) 什么是比例试样？一根 $8\text{mm} \times 8\text{mm}$ 的板状试样，其标距应是多长？
- 4) 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？

5) 实验时如何观察低碳钢的屈服点? 测定 σ_s 时为何要对加载速度提出要求? 初始瞬时效应在电子万能试验机上和液压万能试验机上的反映程度如何, 为什么?

6) 比较低碳钢拉伸、铸铁拉伸和压缩的断口, 分析破坏的力学原因。

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。

2) 实验用仪器设备: 机 (仪) 器名称、型号、精度, 量具名称、型号、精度。

3) 实验原理方法简述。

4) 实验步骤简述。

5) 实验数据和结果处理 (见表 1-1 拉伸试件尺寸表和表 1-2 实验数据和处理结果。)

表 1-1 拉伸试件尺寸表

材料名称	标距 l_0 /mm	试验前								试验后		
		直 径 d_0 /mm								断后 标长	缩颈 直径	缩颈 面积
		①		②		③		A_0 /mm ²		l_1 /mm	d_1 /mm	A_1 /mm ²
			平均		平均		平均					

表 1-2 实验数据和处理结果

受力形式	材料	强 度				塑 性	
		屈服载荷 F_s /kN	最大载荷 F_b /kN	屈服点 σ_s /MPa	抗拉(压)强度 σ_b /MPa	伸长率 δ (%)	断面收缩率 ψ (%)
拉伸							
压缩							

6) 根据实验结果绘制应力—应变曲线, 以及试样断口草图。

7) 分析讨论和回答思考题。

第二节 扭转破坏实验

工程中承受扭转的构件很多,如各类电动机轴、传动轴、钻杆等。材料在扭转变形下的力学性能,如扭转屈服点 τ_s 、抗扭强度 τ_b 、切变模量 G 等,是进行扭转强度计算和刚度计算的依据。本节将介绍 τ_s 、 τ_b 的测定方法及扭转破坏的规律和特征。

一、实验目的

- 1) 观察低碳钢和铸铁在扭转过程中的变形规律和破坏特征。
- 2) 测定低碳钢扭转时的屈服点 τ_s 和抗扭强度 τ_b , 测定铸铁扭转时的抗扭强度 τ_b 。
- 3) 了解扭转试验机的结构和原理,掌握操作方法。

二、实验设备

- 1) 扭转试验机。
- 2) 游标卡尺。

三、试件

扭转试验所用试件与拉伸试件的标准相同,一般使用圆形试件, $d_0 = 10\text{mm}$, 标距 $l_0 = 50\text{mm}$ 或 100mm , 平行长度 l 为 70mm 或 120mm 。其他直径的试样,其平行长度为标距长度加上两倍直径。为防止打滑,扭转试样的夹持段宜为类矩形,如图 1-10 所示。

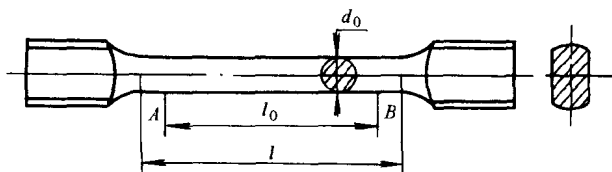


图 1-10

四、实验原理和方法

扭转试验是材料力学试验最基本、最典型的试验之一。进行扭转试验时,把试样两夹持端分别安装于扭转试验机的固定夹头和活动夹头之间,开启直流电动机,经过齿轮减速器带动活动夹头转动,试样就承受了扭转载荷,试样本身随之产生扭转变形。扭转试验机上可以直接读出扭距 T 和扭转角 ϕ ,同时试验机也自动绘出了 $T-\phi$ 曲线图,一般 ϕ 是试验机两夹头之间的相对扭转角。要想测得试样上任意两截面间的相对转角,必须增装测量扭角的传感器。扭转试验的标准是 GB/T10128—1988。

因材料本身的差异,低碳钢扭转曲线有两种类型,如图 1-11 所示。扭转曲线表现为弹性、屈服和强化三个阶段,与低碳钢的拉伸曲线不尽相同,它的屈服过程是由表面逐渐向圆心扩展,形成环形塑性区。当横截面的应力全部屈服后,试样才会全面进入塑性。在屈服阶段,扭矩基本不动或呈下降趋势的轻微波动,而扭转变形继续增加。当首次扭转角增加而扭矩不增加(或保持恒定)时的扭矩为屈服扭矩,记为 T_s ;首次下降前的最大扭矩为上屈服扭矩,记为 T_{su} ;屈服阶段中最小的扭矩为下屈服扭矩,记为 T_{SL} (不加说明时指下屈服扭矩)。对试样连续施加扭矩直到扭断,从试验机扭矩度盘上读得最大值 T_b 。考虑

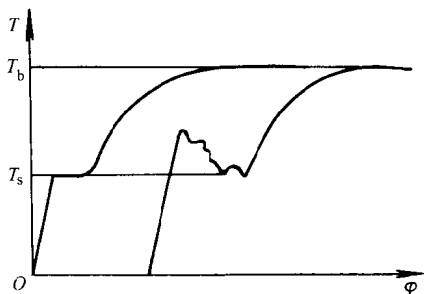


图 1-11

到整体屈服后塑性变形对应力分布的影响,低碳钢扭转屈服点和抗扭强度理论上应该按下式计算

$$\tau_s = 3T_s/4W_P \quad \tau_b = 3T_b/4W_P \quad (1-9)$$

但是,为了试验结果相互之间的可比性,根据国标 GB/T10128-1988 规定,低碳钢扭转屈服点和抗扭强度采用(1-10)式计算

$$\tau_s = T_s/W_P \quad \tau_b = T_b/W_P \quad (1-10)$$

铸铁试样扭转时,其扭转曲线不同于拉伸曲线,它有比较明显的非线性偏离,见图 1-12。但由于变形很小就突然断裂,一般仍按弹性公式计算铸铁的抗扭强度,即

$$\tau_b = T_b/W_P \quad (1-11)$$

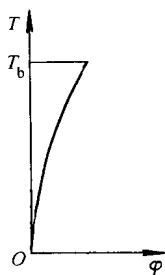


图 1-12

圆形试件受扭时,横截面上的应力应变分布如图 1-13b、c 所示。在试样表面任一点,横截面上有最大切应力 τ ,在与轴线成 $\pm 45^\circ$ 的截面上存在主应力 $\sigma_1 = \tau$, $\sigma_3 = -\tau$ (见图 1-13a)。低碳钢的抗剪能力弱于抗拉能力,试样沿横截面被剪断。铸铁的抗拉能力弱于抗剪能力,试样沿与 σ_1 正交的方向被拉断。图 1-14

给出了几种典型材料的宏观断口特征。由此可见,不同材料,其变形曲线、破坏方式、破坏原因都有很大差异。

五、实验步骤

(1) 测定试件直径 选择试件标距两端及中间三个截面,每个截面在相互垂直方向各测一次直径后取平均值,用三处截面中平均值最小的直径计算 W_P 。

(2) 试验机准备 根据试件的材料和尺寸选择度盘,调整画图系统,调节试

⊙ 参见荷文选主编《材料力学》(I),西北工业大学出版社,2000年。

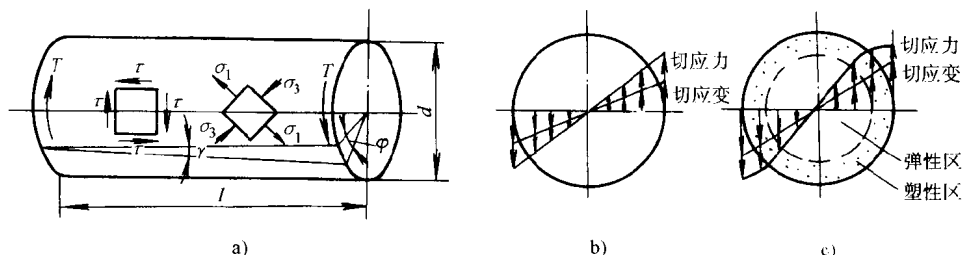


图 1-13

- a) 试样表面的应力状态 b) 弹性变形阶段横截面上切应力与切应变的分布
c) 弹塑性变形阶段横截面上切应力与切应变的分布

验机零点。

(3) 安装试件 先将试件的一端安装于试验机的固定夹头上，检查试验机的零点，调整试验机活动夹头并夹紧试件的另一端。沿试件表面画一母线以定性观察变形现象。

(4) 调试 扭转角度盘调零。

(5) 开机试验 为了方便观察和记录数据，对于铸铁试件和屈服前的低碳钢试件，用慢速加载。屈服后的低碳钢试件可用快速加载。加载要求匀速缓慢。试验过程中要及时记录屈服扭矩 T_s 和最大扭矩 T_b 。

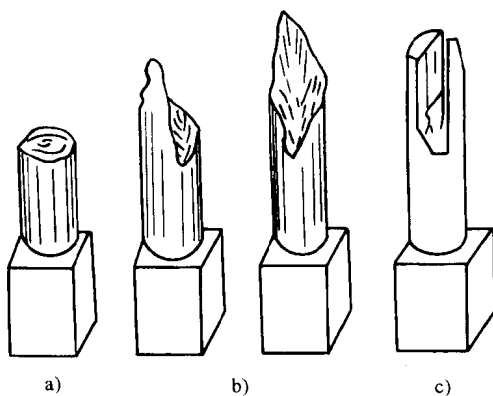


图 1-14

- a) 切断断口 b) 正断断口 c) 木纹状断口

(6) 关机取试件 试样断裂后立即停机，取下试件，认真观察分析断口形貌和塑性变形能力。取下所画的 $T-\phi$ 曲线。

(7) 结束实验 试验机复原，关闭电源，清洁现场。

六、试验结果处理

以表格的形式处理实验结果（表格形式见本节末的参考表）。根据记录的原始数据，计算出低碳钢的屈服点 τ_s ，抗扭强度 τ_b ，铸铁的抗扭强度 τ_b 。画出两种材料的扭转破坏断口草图，并分析其产生的原因。

七、预习要求

- 1) 预习材料力学实验和材料力学教材有关内容，明确实验目的和要求。
- 2) 预习有关扭转试验机内容。
- 3) 设计试验数据记录表格（见表 1-3）。