

第五章 材料力学实验

5.1 拉伸

拉伸是材料力学最基本的实验，通过拉伸可以测定出材料一些基本的力学性能参数，如弹性模量、强度、塑性等。

一. 实验目的

1. 测定塑性材料的上下屈服强度 R_{eH} 、 R_{eL} 、抗拉强度 R_m 、断后延伸率 A 和截面收缩率 Z ；测定脆性材料的抗拉强度 R_m ；
2. 掌握用引伸计测定塑性材料的弹性模量的方法；
3. 绘制材料的载荷-位移曲线；
4. 观察和分析上述两种材料在拉伸过程中的各种现象，并比较它们力学性质的差异；
5. 了解电子万能材料试验机的构造和工作原理，掌握其使用方法。

二. 仪器、设备及试件

电子万能材料试验机，引伸计，游标卡尺等。
最常见的拉伸试件的截面是圆形和矩形，如图 5.1-1 (a)、(b) 所示。

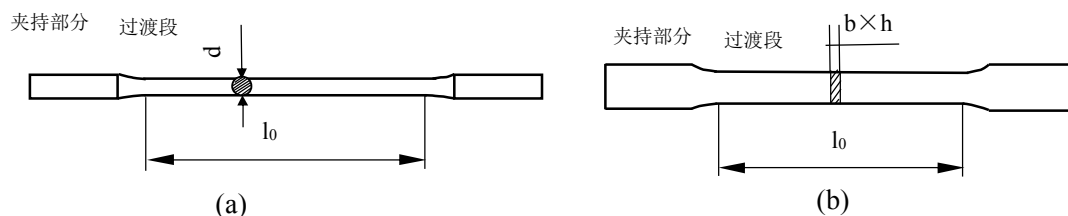


图 5.1-1 试件的截面形式

试件分为夹持部分、过渡段和待测部分。标距 (l_0) 是待测部分的主体，其截面积为 S_0 。按标距 (l_0) 与其截面积 (S_0) 之间的关系，拉伸试件可分为比例试件和非比例试件。按国家标准 GB228-2002 的规定，比例试件的有关尺寸如下表 5.1-1。

表 5.1-1

试件		标距 l_0 , (mm)	截面积 S_0 , (mm ²)	圆形试件直径 d , (mm)	延伸率
比例	长	$11.3\sqrt{S_0}$ 或 $10d$	任意	任意	A
	短	$5.65\sqrt{S_0}$ 或 $5d$			A

三. 实验原理

1. 塑性材料弹性模量的测试

在弹性范围内大多数材料服从虎克定律，即变形与受力成正比。纵向应力与纵向应变的比例常数就是材料的弹性模量 E ，也叫杨氏模量。因此金属材料拉伸时弹性模量 E 的测定是材料力学最主要最基本的实验。

测定材料弹性模量 E 一般采用比例极限内的拉伸实验，材料在比例极限内服从虎克定律，其荷载与变形关系为：

$$\Delta l = \frac{Fl_0}{ES_0} \quad (5.1-1)$$

若已知荷载 F 及试件尺寸，只要测得试件标距内的伸长量 Δl 或纵向应变即可得出弹性模量 E 。

$$E = \frac{Fl_0}{\Delta l S_0} = \frac{F}{\varepsilon S_0} \quad (5.1-2)$$

本实验采用引伸计在试件预拉后，夹持在试件的标距范围内，并在弹性阶段测试；当进入过弹性阶段或屈服阶段，取下引伸计。其中塑性材料的拉伸实验不间断。

2. 塑性材料的拉伸（低碳钢）

实验原理如图 5.1-2 (a) 所示，首先，实验各参数的设置由 PC 传送给测控中心后开始实验，拉伸时，力传感器和引伸计分别通过两个通道将试样所受的荷载和变形连接到测控中心，经相关程序计算后，再在 PC 机上显示出各相关实验结果。

图 5.1-2 (b) 所示是典型的低碳钢拉伸图。

当试件开始受力时，因夹持力较小，其夹持部分在夹头内有滑动，故图中开始阶段的曲线斜率

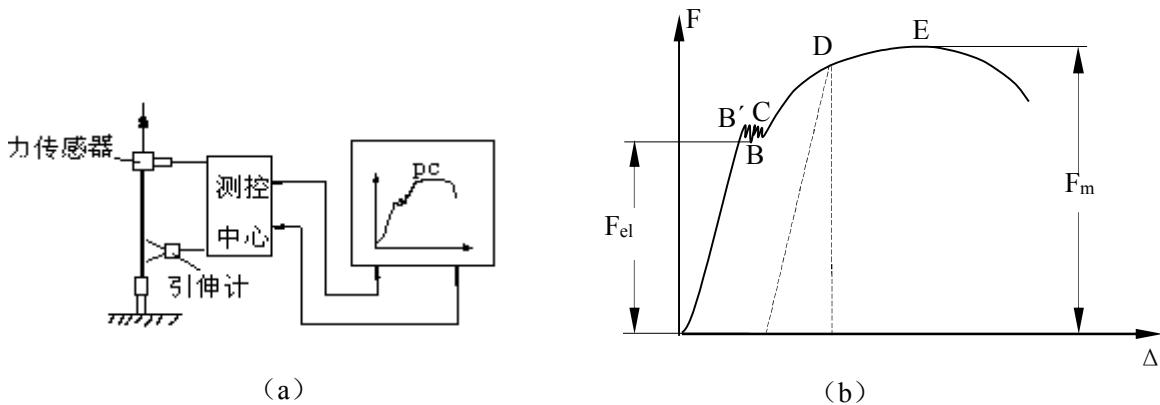


图 5.1-2 实验原理与典型塑性材料拉伸

较小，它并不反映真实的荷载—变形关系；荷载加大后，滑动消失，材料的拉伸进入弹性阶段。

低碳钢的屈服阶段通常为较为水平的锯齿状（图中的 $B'-C$ 段），与最高荷载 B' 对应的应力称上屈服极限，由于它受变形速度等因素的影响较大，一般不作为材料的强度指标；同样，屈服后第一次下降的最低点也不作为材料的强度指标。除此之外屈服过程中的最小值（ B 点）作为屈服强度 R_{el} ：

$$R_{el} = \frac{F_{el}}{S_0} \quad (5.1-3)$$

当屈服阶段结束后（ C 点），继续加载，荷载—变形曲线开始上升，材料进入强化阶段。若在这一阶段的某一点（如 D 点）卸载至零，则可以得到一条与比例阶段曲线基本平行的卸载曲线。此时立即再加载，则加载曲线沿原卸载曲线上升到 D 点，以后的曲线基本与未经卸载的曲线重合。可见

经过加载、卸载这一过程后，材料的比例极限和屈服极限提高了，而延伸率降低了，这就是冷作硬化。

随着载荷的继续加大，拉伸曲线上升的幅度逐渐减小，当达到最大值（E 点） R_m 后，试件的某一局部开始出现颈缩，而且发展很快，载荷也随之下降，迅速到达 F 点后，试件断裂。材料的强度极限 R_m 为：

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (5.1-4)$$

当载荷超过弹性极限时，就会产生塑性变形。金属的塑性变形主要是材料晶面产生了滑移，是剪应力引起的。描述材料塑性的指标主要有材料断裂后的延伸率 A 和截面收缩率 Z 来表示。

$$A = \frac{l_u - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (5.1-5)$$

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \quad (5.1-6)$$

式中 l_0 、 l_u 和 S_0 、 S_u 分别是断裂前后的试件标距的长度和截面积。

l_u 可用下述方法测定：

直接法：如断口到最近的标距端点的距离大于 $l_0/3$ ，则直接测量两标距端点间的长度为 l_u ；

移位法：如断口到最近的标距端点的距离小于 $l_0/3$ ，如图 5.1-3 所示：在较长段上，从断口处 O 起取基本短段的格数，得到 B 点，所余格数若为偶数，则取其一半，得到 C 点；若为奇数，则分别取其加 1 和减 1 的一半，得到 C、C' 点，那么移位后的 l_u 分别为： $l_u = AO + OB + 2BC$ ， $l_u = AO + OB + BC + BC'$ 。

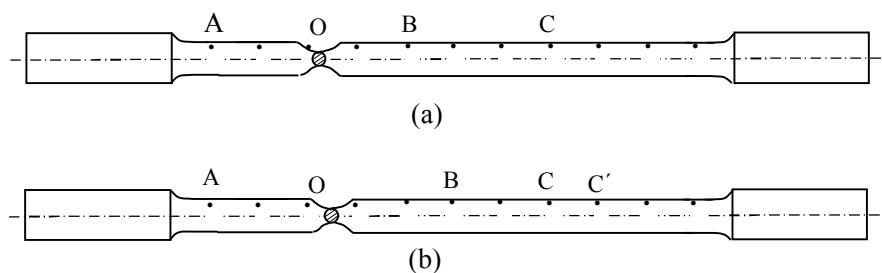


图 5.1-3 断口位置

四. 实验步骤

1. 塑性材料的拉伸（圆形截面低碳钢）

1) 确定标距

根据表 5.1-1 的规定，选择适当的标距（这里以 $10d$ 作为标距 l_0 ），并测量 l_0 的实际值。为了便于测量 l_u ，将标距均分为若干格，如 10 格。

2) 试件的测量

用游标卡尺在试件标距的两端和中央的三个截面上测量直径，每个截面在互相垂直的两个方向各测一次，取其平均值，并用三个平均值中最小者作为计算截面积的直径 d ，并计算出 S_0 值。

3) 仪器设备的准备

根据材料的强度极限 R_m 和截面积 S_0 估算最大载荷值 F_m ，根据 F_m 选择试验机合适的档位，并调零；同时调整好试验机的自动绘图装置。

4) 安装试件

试件先安装在试验机的上夹头内，再移动下夹头，使其达到适当的位置，并把试件下端夹紧。

5) 试加载、卸载。注意试加载值不能超过比例极限。

6) 测试过程

采用 ZWICK 万能材料试验机操作步骤如下：

- (1) 打开主机电源；
- (2) 静候数秒，以待机器系统检测；
- (3) 打开 TestXpert 测试软件，选取相应测试程序（或直接在电脑桌面上双击程序图标）；
- (4) 按主机“ON”按钮，以使主机与程序相连；
- (5) 点击“L_e”图标以使夹具恢复到设定值；
- (6) 用游标卡尺测量试件尺寸，并输入；
- (7) 摆放试件于试件台，用夹具夹持试件一端；
- (8) 点击“Force 0”图标，以使力值清零；
- (9) 用夹具夹持试件另一端；
- (10) 点击“Start”图标，开始测试；
- (11) 弹出试件尺寸确认框，点击“OK”；
- (12) 测试终止后，取出试件；
- (13) 按“L_e”按钮，使横梁自动恢复到初始位置，程序自动计算测试结果并作出图表；
- (14) 开始下一次测试
- (15) 所有测试结束后，点击“Protocol”图标，输入测试报告台头；
- (16) 点击“Print”图标，打印测试报告；
- (17) 保存测试结果文件，另存为*.zse 格式的文件；
- (18) 退出程序；
- (19) 关闭主机电源，清理工作台；
- (20) 将断裂试件的两断口对齐并尽量靠紧，测量断裂后标距段的长度 l_u ；测量断口颈缩处的直径 d_u ，计算断口处的横截面积 S_u 。

2. 脆性材料的拉伸（圆形截面铸铁）

铸铁等脆性材料拉伸时的载荷—变形曲线不像低碳钢拉伸那样明显地分为弹性、屈服、颈缩和断裂四个阶段，而是一根接近直线的曲线，且载荷没有下降段。它是在非常小的变形下突然断裂的，断裂后几乎测不到残余变形。因此，测试它的 R_{eL} 、 A 、 Z 就没有实际意义，只要测定它的强度极限 R_m 就可以了。

实验前测定铸铁试件的横截面积 S_0 ，然后在试验机上缓慢加载，直到试件断裂，记录其最大载荷 F_m ，求出其强度极限 R_m 。

五. 讨论与思考

1. 当断口到最近的标距端点的距离小于 $l_0/3$ 时，为什么要采取移位的方法来计算 l_u ？
2. 用同样材料制成的长、短比例试件，其拉伸实验的屈服强度、伸长率、截面收缩率和强度极限都相同吗？
3. 观察铸铁和低碳钢在拉伸时的断口位置，为什么铸铁大都断在根部？
4. 比较铸铁和低碳钢在拉伸时的力学性能。

六. 实验报告要求

实验报告应包括：实验名称。实验目的。仪器设备名称、规格、量程。实验记录及计算结果，如低碳钢及铸铁拉伸时的机械性能图，两种试件破坏时的断口状态图等。分析讨论低碳钢和铸铁破坏情况及原因。