

《工程力学》

实验指导书

食品科学系工程教研室 编

北京农学院

二〇〇九年四月

实验一 低碳钢的拉伸实验

一、实验目的：

1、测定低碳钢在拉伸时屈服极限 σ_s 、强度极限 σ_b 、延伸率 δ 和截断面收缩率 Ψ 。

2、观察低碳钢拉伸过程中的各种现象（包括屈服、强化、颈缩等现象），及拉伸图（ $P-\Delta L$ 曲线）。

3、观察并分析低碳钢拉伸后的断口特征。

二、实验设备：

1、WE-100B型液压式万能试验机

2、游标卡尺

三、试件：

由于试件的形状和尺寸对实验结果有一定的影响。为了便于互相比较应按统一规定加工成标准试件。

试件加工须按《金属拉伸实验试样》（GB6397-86）的有关要求进行。本实验的试件采用国家标准（GB6397-86）所规定的圆棒试件，尺寸为 $d=10\text{mm}$ ，标距长度 $L_0=100\text{mm}$ ，见图 1-1。为测定低碳钢的断后延伸率 δ ，须用刻线机在试样标距范围内刻划圆周线，将标距 L_0 分为等长的 10 格。

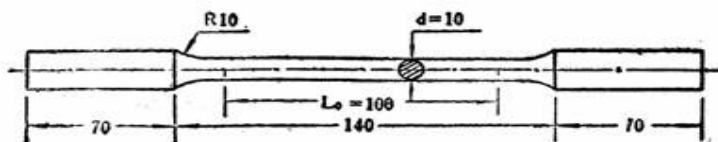


图 1-1 圆形拉伸试件

四、实验原理和方法

拉伸实验是测定材料力学性能最基本的实验之一。低碳钢的力学性能如：屈服极限、强度极限、延伸率、断面收缩率等均是由拉伸破坏实验确定的。

1、力-伸长曲线的绘制：通过实验机绘图装置可自动绘成以轴向力 P 为纵坐标、试件伸长量 ΔL 为横坐标的力-伸长曲线（ $P-\Delta L$ 图），如图 1-2 所示。低碳钢的力-伸长曲线是一种典型的形式，整个拉伸变形分四个阶段：弹性阶段、屈服阶段、强化阶段和颈缩阶段。

应当指出，绘图仪所绘出的拉伸变形 ΔL 是整个试件（不只是标距部分）的伸长，而且还包括机器本身的弹性变形和试件头部在夹头中的滑动等。试件开始受力时，头部夹头中的滑动很大，故绘出的拉伸图最初一般是曲线。

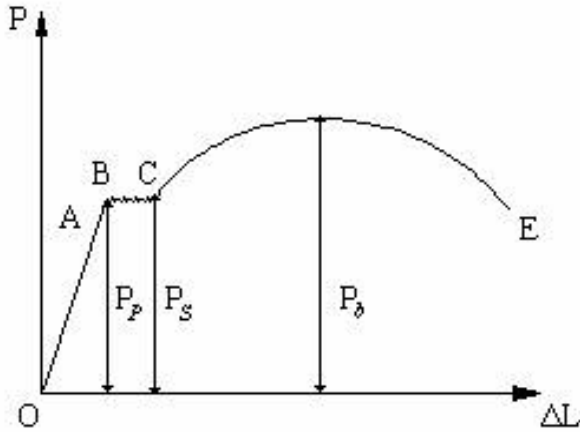


图 1-2 低碳钢拉伸图

2、屈服极限的测定：

随着荷载的增加，变形也与荷载呈正比增加， $P-\Delta L$ 图上为一直线，此即直线弹性段。过了直线弹性段，尚有一极小的非直线弹性段。弹性阶段包括直线弹性段和非直线弹性段。当荷载增加到一定程度，测力指针往回偏转，继而缓慢的来回摆动，相应地在 $P-\Delta L$ 图上画出一段锯齿形曲线，此段即屈服阶段。经过抛光的试样，在屈服阶段可以观察到与轴线约成 45° 的滑移线纹。曲线在屈服阶段力首次下降前的最大力 P_s' ，称为上屈服力，与其对应的应力称为上屈服点；不计初始瞬时效应的最小力 P_s 称为下屈服力，与其对应的应力为屈服极限 σ_s ，按式（1-1）计算

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

式中， A_0 为试样标距范围内的原始横截面面积。

一般规定，指针回转后所指示的最小荷载即为屈服荷载 P_s 。

3、强度极限的测定：

过了屈服阶段，随着荷载的增加，试样恢复承载能力， $P-\Delta L$ 图的曲线上升，此即强化阶段。荷载增大到最大力 F_b 时，测力主动指针回摆，试样明显变细变长， $P-\Delta L$ 图的曲线下降，试样某一局部横截面面积急速减小而出现“缩颈”现象，很快即被拉断，此即缩颈阶段。由测力度盘上从动指针停留处读取最大力 P_b ，按式（1-2）计算抗拉强度 σ_b 。

$$\sigma_b = P_b / A_0 \quad (1-2)$$

4、延伸率 δ 的测定：

试样拉断后，将两段在断裂处紧密的对接在一起，尽量使其轴线位于同一直线上，测量试样拉断后的标距 L_1 。

断后标距 L_1 的测量方法：

1) 直测法：如果拉断处到较近标距端点的距离大于试样原始标距 L_0 的

1/3 时，直接测量断后标距 L_1 。

2) 移位法：如果拉断处到较近标距端点的距离小于或等于 $L_0/3$ 时，则按下述方法测定 L_1 ：

在试样断后的长段上从断裂处 O 取基本等于短段的格数，得 B 点。接着取等于长段所余格数（偶数）的一半，得 C 点（见图 1-3a）；或取所余格数（奇数）分别减 1 与加 1 的一半，得 C 和 C_1 点（见图 1-3b）移位后的标距 L_1 分别为

$$L_1 = AB + 2BC \quad (\text{所余格数为偶数})$$

$$\text{或} \quad L_1 = AB + BC + BC_1 \quad (\text{所余格数为奇数})$$

断后伸长率 δ 按式 (1-3) 计算

$$\delta = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\% \quad (1-3)$$

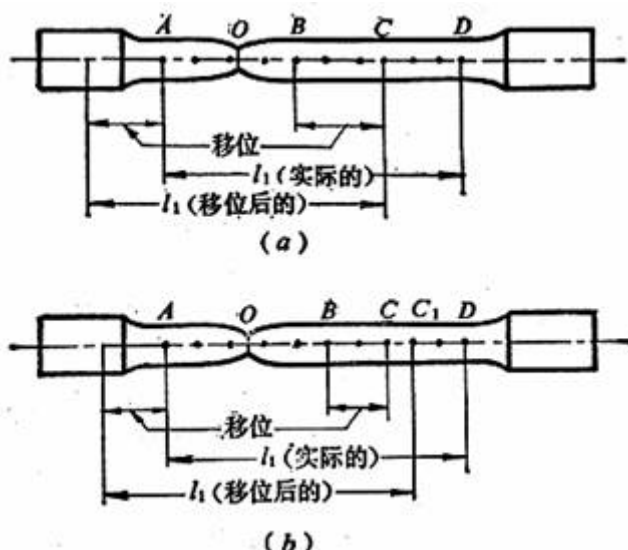


图 1-3 测量断后标距 L_1 移位法

a) 所余格数为偶数 b) 所余格数为奇数

5、断面收缩率 Ψ 的测定：

测出试样断后两端横截面上两个互相垂直方向上的直径，取其算术平均值计算出最小横截面积 A_1 ，断面收缩率 Ψ 按式 (1-4) 计算

$$\Psi = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100\% \quad (1-4)$$

δ 与 Ψ 标志着材料的塑性指标，其值越大说明材料的塑性越好，通常把 $\delta > 5\%$ 的材料称为塑性材料，如碳钢、黄铜、铝合金等；而把 $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料，如灰铸铁、玻璃、陶瓷等。

Q_{235} 钢 $\delta = 20\% \sim 30\%$, $\Psi = 60\% \sim 70\%$

五、实验步骤

1、准备试样。用刻线机在原始标距 L_0 范围内刻划圆周线，将标距分为等长的10格。用游标卡尺在试样原始标距 L_0 的两端及中间处两个相互垂直的方向上各测一次直径，取其算术平均值作为该处截面的直径，然后选用三处截面直径的最小值来计算试样的原始横截面面积 A_0 （取三位有效数字）。

2、调整实验机。根据低碳钢的抗拉强度 σ_b 和原始横截面面积 A_0 估算试样的最大荷载，配置相应的摆锤，选择合适的测力度盘。开动实验机，使工作台上升10mm左右，以消除工作台系统自重的影响。调主动指针对准零点，从动指针与主动指针靠拢，调整好自动绘图装置。

3、装夹试样。先将试样装夹在上夹头内，再将下夹头移动到合适的夹持位置，最后夹紧试样下端。

4、检查与试车。请教师检查以上步骤完成情况。开动实验机，预加少量载荷（载荷对应的应力不能超过材料的比例极限），然后卸荷到零，以检查实验机工作是否正常。

5、进行实验。开动实验机，缓慢而均匀的加载（应力速度的范围为1~10MP/s），仔细观察测力指针转动和绘图装置绘制 $P-\Delta L$ 图的情况。注意捕捉下屈服力 P_s 值，将其记录下来用以计算下屈服点 σ_s 。屈服阶段注意观察滑移现象。过了屈服阶段，加载速度可以快些。达到最大力时，注意观察“缩颈”现象。试样断后立即停车，记录最大值 P_b 值。

6、取下试样和记录纸。

7、用游标卡尺测量断后标距 L_1 。

8、用游标卡尺测量缩颈处最小直径 d_1 ，用此计算最小横截面面积 A_1 。

9、结束实验。

请教师检查实验记录。将实验设备、工具复原，清理实验现场。最后整理数据，完成实验报告。

六、注意事项

1. 认真阅读实验机的构造原理、使用方法和注意事项。

2. 调整测力指针指零时，一定要使液压式万能材料试验机开机，工作台上升少许。

3. 装夹拉伸试样必须正确，防止装偏或夹持部分装夹过短。

4. 加载要缓慢均匀，特别是对液压式万能材料试验机，不能把油门开得过大。以避免发生突然加载或超载，使实验失败，甚至造成事故。

5. 为防止损伤试验机，实验进行到屈服阶段后，所加最大载荷值不得超过测力度盘的80%。

七、思考题

1、对照实验现象和结果，说明低碳钢在拉伸时有哪四个典型阶段？每个阶段的特征是什么？

2、实验时如何观察低碳钢的屈服极限？

实验二 低碳钢和铸铁的压缩实验

一、实验目的：

- 1、确定压缩时低碳钢的屈服极限 σ_s 和铸铁的强度极限 σ_b 。
- 2、观察低碳钢和铸铁压缩时的变形及破坏现象并进行比较。
- 3、分析铸铁在压缩时的破坏原因。

二、实验设备

- 1、WE-100B型液压式万能试验机
- 2、游标卡尺

三、试件

试样加工须按《金属压缩试验方法》(GB7314—87)的有关要求进行。

试样一律做成圆柱形。取试样长度 $L=(2.5\sim 3.5)d_0$ ，试样加工的技术要求如图 2—1 所示。

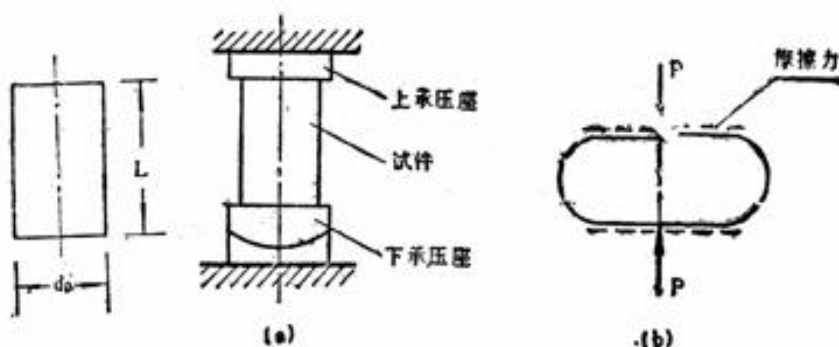


图 2-1 压缩试件及压缩试验时的球形承垫及试件端面的摩擦力

四、实验原理和方法

压缩实验是研究材料性能常用的实验方法。对铸铁、铸造合金、建筑材料等脆性材料尤为合适。通过压缩实验观察材料的变形过程、破坏形式，并与拉伸实验进行比较，可以分析不同应力状态对材料强度、塑性的影响，从而对材料的机械性能有比较全面的认识。

试件受压时，其上下两端面与试验机承压板之间产生很大的摩擦力，使试件两端的横向变形受到阻碍，故压缩后试件呈鼓形。摩擦力的存在会影响试件的抗压能力甚至破坏形式。为了尽量减少摩擦力的影响，实验时试件两端必须保证平行，并与轴线垂直，使试件受轴向压力。另外，端面

加工应有较高的光洁度。

实验时利用自动绘图装置绘出低碳钢和铸铁的压缩图。低碳钢压缩时也会发生屈服，但并不象拉伸那样有明显的屈服阶段。因此，在测定 P_s 时要特别注意观察。在缓慢均匀加载下，测力指针等速转动，当材料发生屈服时，测力指针转动将减慢，甚至倒退。这时对应的载荷即为屈服荷载 P_s 。屈服之后加载到试件产生明显的变形即停止加载。这是因为低碳钢受压时变形较大而不破裂，因此愈压愈扁。横截面增大时，其实际应力不随外荷载增加而增加，故不可能得到最大载荷 P_b ，因此也得不到强度极限 σ_b ，所以在实验中是以变形来控制加载的。

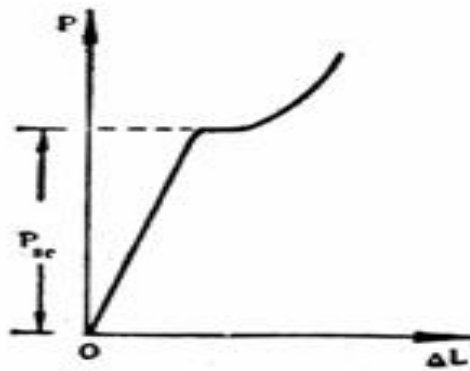


图 2-2 低碳钢压缩图

铸铁试件压缩时，在达到最大载荷 P_b 前出现较明显的变形然后断裂，此时试验机测力指针迅速倒退，从动针读取最大载荷 P_b 值，铸铁试件最后略呈鼓形，断裂面与试件轴线大约呈 45° ，说明破坏的主要原因是由于剪应力所引起的。

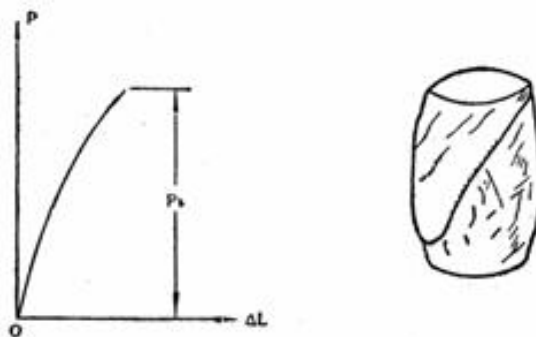


图 2-3 铸铁压缩图及铸铁试件在压缩下的破坏图

五、实验步骤

1. 试件准备：用游标卡尺测量试件两端及中部三处截面的直径，每

处应在互相垂直的方向各测一次，取平均值作为该处的直径，取三处中最小一处的直径计算横截面面积。

2. 试验机准备：根据铸铁等材料的强度极限和截面大小估算最大荷载，并选择相应的测力度盘。

3. 安装试件：将试件二端涂上润滑油，然后准确地放在试验机球形承垫的中心处。

4. 检查及试车：启动万能机，使下支座及试件上升，当上支座接近试件时（注意此时勿使二者接触受力，减慢上升速度，以避免急剧加载）。同时使自动绘图器工作，在试件受力后，用慢速预先加少量荷载，然后卸载接近零点，以检查试验机工作是否正常。

5. 进行实验：缓慢匀速地加载，随时观察指针的转动情况和压缩图的绘制效果。对于低碳钢，要及时记录其屈服荷载，超过屈服荷载后，继续加载，将试件压成鼓形即可停止加载。铸铁试件加压至试件破坏为止，记录最大荷载值。

六、实验结果处理

(1) 计算低碳钢的屈服极限

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

(2) 计算铸铁的强度极限

$$\sigma_b = P_b / A_0 \quad (2-2)$$

七、思考题

1、铸铁试样压缩时，为什么沿着与轴线大致成 45° 的斜截面破裂？

2、从低碳钢和铸铁的拉、压实验，可以看出塑性材料和脆性材料的拉、压力学性能有何不同？

【附录】WE-100B型液压式万能试验机简介

液压式万能试验机广泛应用于材料试验中，其结构原理可分为四大部分。液压万能试验机的外形如图 A-1，结构原理如图 A-2 所示。

（一）、加力部分

在液压万能试验机的机座上装有两根固定立柱，主要由这两根立柱支承上横梁、下横梁、大活塞和工作台。当开动电动机时，传动皮带就带动油泵工作，高压油液经油管进油阀输送到工作油缸，推动大活塞往上运动。下横梁固定在大活塞顶上，活塞上升时，通过两根活动立柱带动工作台往上运行。做拉伸实验时，将拉伸试件的两端夹于上拉伸夹头和下拉伸夹头（固定不动）之间，当工作台上升时，使试件发生拉伸变形；做压缩实验时，把压缩试件放在下压头中心位置处，当工作台上升时使上压头接触试件后，产生压缩变形；做弯曲实验时，把弯曲试件放在两支座上，当工作台上升时使上压头接触试件后，产生弯曲变形。进油阀用来控制输入工作油缸中的油量，以控制试件的变形速度。实验完毕，关闭进油阀，打开回油阀，把工作油缸里的油液泄回油箱，使工作台回到原始位置。

由于试件长度不相同，装卡拉伸试件时，可开动机座旁的电动机，使下拉伸夹头很快地上升或下降，以便装卡拉伸试件。当试件夹紧后，就不能用该电动机加载，否则会烧毁电动机，或发生其他事故。

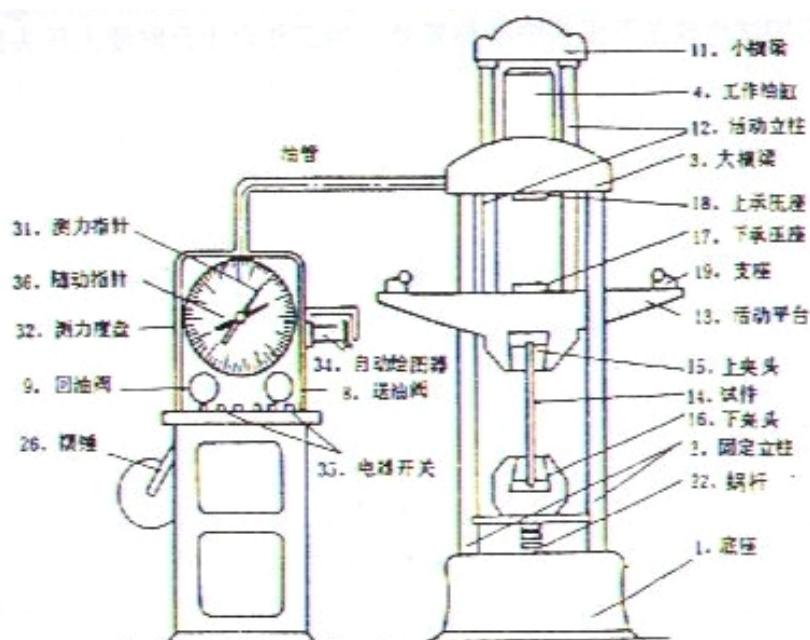


图 A-1 液压万能试验机外形图

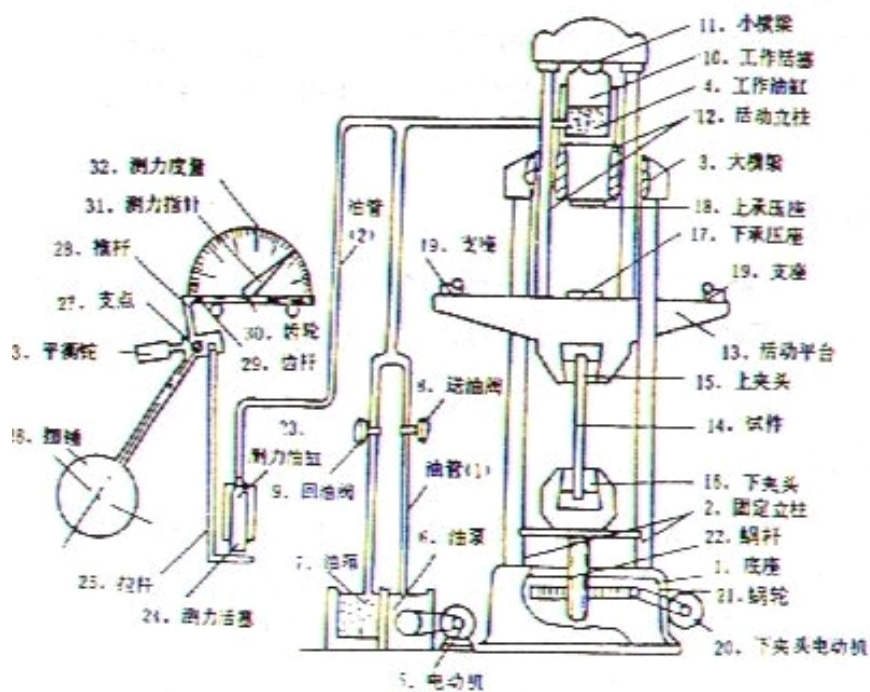


图 A-2 液压万能试验机结构原理图

（二）、测力部分

实验时，试件受力的大小可在测力盘上直接读出指示值。试件受力后，工作油缸的油具有一定的压力，压力的大小与试件受力的大小是成比例的。由于工作油缸和测力油缸是联通的，故工作油缸和测力油缸所受的油压是相等的。此油压推动测力活塞和测力拉杆，使推杆和摆锤绕支点转动，推杆推动螺杆运动，使齿轮和测力指针旋转，测力盘所读得的数值即表示试件受力的大小。随着科学技术的发展，近来液压万能试验机上已设置了荷载显示电压表。

油压万能试验机的荷载范围可由摆锤的重量来确定。一般试验机都备有三种砝重作为选择荷载范围用，测力盘上相应有三种荷载刻度。如 300kN 万能试验机，有 60kN、150kN、300kN 三种测量范围。

（三）、绘图部分

液压试验机绘图装置有两种方式，第一种是通过固定在万能试验机上夹头上的拉绳带动绘图滚筒转动，滚筒转动方向为变形坐标，螺杆运动方向为力坐标。第二种方式采用电子自动绘图仪绘图。

（四）、操作部分

该部分主要由进油阀、回油阀和电器开关等组成。进油阀的作用是将油箱里的油送至工作油缸。进油阀的阀门开得大，表示油送到工作油缸的速度快，也就说明试件受力大，变形快。实验时要严格控制进油阀门的大小，保证荷载盘指针均匀地转动。回油阀的作用可使试件卸载，实验做完后，须打开回油阀门，使工作油缸的油流回油箱。万能试验机的具体操作方法如下：

1. 选择荷载范围

实验前，首先根据试件材料能承受的最大荷载，选择相应的砝重，确定荷载的范围(如 300kN 万能试验机分为：0~60kN，0~150kN，0~300kN)。若在万能试验机上挂上 A 砝，表示 0~60kN 范围，挂上 A、B 砝表示 0~150kN 范围，挂上 A、B、C 砝表示 0~300kN 范围。如直径为 10mm 的低碳钢拉伸试件，估计其最大承载力为 40kN 左右，选用 0~60kN 范围即可，其目的是提高荷载测试精度。

2. 荷载调零

开动油泵电机，关闭回油阀，再打开进油阀，向工作油缸送油，使工作平台略上升 5~10mm 后(消除工作平台的自重)转动螺杆使指针对准测力盘上的零点。

3. 拨回被动指针。加载时，主动指针带动被动指针转动，试件破坏后，主动指针返回零位，被动指针停留在原位，所指示值就是试件的最大荷载值。

4. 安装调整绘图仪的纸和笔。加载时能自动绘制试件受力与变形的曲线图。

5. 安装试件。装卡拉伸试件时，先调整上夹头位置，使拉伸区空间与试件长度相适应。调整上夹头位置时，可开动电动机使上夹头上升或下降。当试件夹紧后，就不允许再用电动机使上夹头上升或下降，以免电动机超负荷而烧毁。

6. 加载与卸载。试件安装完毕，即可开启进油阀，逐渐对试件进行加载，加载时要求测力指针匀速平稳地转动。切忌猛开进油阀导致加载速度失控，损坏测力机构。实验完毕，关闭电源开关和进油阀，打开回油阀，使工作油缸的油流回邮箱，工作平台下降到初始位置。

实验报告一 拉伸实验

班级_____ 姓名_____ 成绩_____
组员_____ 学号_____ 日期_____

一、实验目的：

二、实验设备

仪器型号名称：_____ 选用量程_____ KN，精度_____ N

量具名称：_____，精度_____ mm。

三、实验记录

1. 试件原始尺寸记录

| 材料名称 | 试件标距 l_0 (mm) | 直 径 d (mm) | | | | | | | | | 最小截面面积 A_0 (mm ²) |
|------|--------------------|--------------|-----|----|-------|-----|----|--------|-----|----|---------------------------------------|
| | | 截面 I | | | 截面 II | | | 截面 III | | | |
| | | (1) | (2) | 平均 | (1) | (2) | 平均 | (1) | (2) | 平均 | |
| 低碳钢 | | | | | | | | | | | |

2. 荷载实验记录

| 材料名称 | 屈服荷载 P_s (KN) | 最大荷载 P_b (KN) |
|------|-----------------|-----------------|
| 低碳钢 | | |

3. 测 δ 、 φ 实验记录

| 材料名称 | 断后标距 | 断口（颈缩处）直径 d_1 (mm) | | | | | | 断口（颈缩处）最小截面积 A_1 (mm ²) |
|------|------|----------------------|-----|----|-----|-----|----|---------------------------------------|
| | | 左 段 | | | 右 段 | | | |
| | | (1) | (2) | 平均 | (1) | (2) | 平均 | |
| 低碳钢 | | | | | | | | |

四、实验结果

1. 拉伸图

| 材料 | 低碳钢 |
|-----|-----|
| 拉伸图 | |

2. 计算结果（注意单位）

$$\sigma_s = P_s / A_0 =$$

$$\sigma_b = P_b / A_0 =$$

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

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

五、实验结果讨论

1、对照实验现象和结果，说明低碳钢在拉伸时有哪四个典型阶段？每个阶段的特征是什么？

2、实验时如何观察低碳钢的屈服极限？

实验报告二 压缩实验

班级_____姓名_____成绩_____
组员_____学号_____日期_____

一、实验目的：

二、实验设备

仪器型号名称：_____选用量程_____KN，精度_____N

量具名称：_____，精度_____mm。

三、实验记录

1. 试件原始尺寸记录

| 材料名称 | 试件标距 $l_0(mm)$ | 直径 d(mm) | | | | | | | | | 最小截面面积 $A_0 (mm^2)$ |
|------|-------------------|----------|-----|----|-------|-----|----|--------|-----|----|------------------------|
| | | 截面 I | | | 截面 II | | | 截面 III | | | |
| | | (1) | (2) | 平均 | (1) | (2) | 平均 | (1) | (2) | 平均 | |
| 低碳钢 | | | | | | | | | | | |
| 铸铁 | | | | | | | | | | | |

2. 荷载实验记录

| 材料名称 | 屈服荷载 P_s (KN) | 最大荷载 P_b (KN) |
|------|-----------------|-----------------|
| 低碳钢 | | |
| 铸铁 | | |

四、实验结果

1、压缩时的 P-ΔL 图

| 材料 | 低碳钢 | 铸 铁 |
|-------------|-----|-----|
| 压 缩 图 | | |

2、计算结果

(1) 低碳钢 $\sigma_s = P_s / A_0 =$

(2) 铸铁 $\sigma_b = P_b / A_0 =$

五、实验结果讨论

1、铸铁试样压缩时，为什么沿着与轴线大致成 45° 的斜截面破裂？

2. 从低碳钢和铸铁的拉、压实验，可以看出塑性材料和脆性材料的拉、压力学性能有何不同？