

材料科学基础实验报告

实验名称： 金属材料机械性能测量拉伸和压缩

学 号： 22301079 姓 名： 张展铭 班 级： 22 材化

合作者： 桌 号：

指导教师：

实验日期：

实验考核

项目	实验预习	实验过程	分析与讨论	总评
评价				

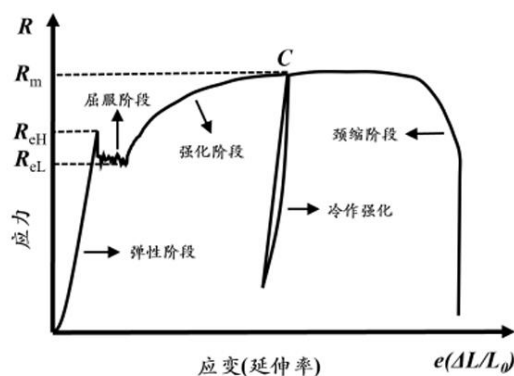
实验内容一 拉伸实验

【实验目的】

1. 了解电子万能试验机的基本结构、工作原理及使用方法；
2. 观察拉伸时所表现的各种现象；
3. 观察低碳钢和铸铁的断口特征，辨别两种材料的力学特征；
4. 通过低碳钢和铸铁的应力-应变曲线，评价二者的力学性能，掌握金属材料屈服强度，抗拉强度，断裂伸长率和断面收缩率的测定方法。

【实验原理】

1. 本实验通过静态拉伸试验，测量低碳钢和铸铁两种常见材料的力学性能。在拉伸实验中，不同材料展现了不同的应力-应变曲线特征，如弹性变形、屈服、强化和颈缩等。实验通过万能试验机进行，夹持不同材料的试样两端，并沿轴向进行拉伸，直至试样断裂。
2. 低碳钢的应力-应变曲线及特征参数：低碳钢的拉伸过程可分为弹性变形、屈服、强化和颈缩阶段。弹性变形阶段呈直线，符合胡克定律；屈服阶段表现为水平锯齿状；强化阶段表现为应力逐渐增加，塑性变形均匀，其拉伸曲线如下：



3. 铸铁的应力-应变曲线及特征参数：铸铁的拉伸过程缺乏屈服和颈缩阶段，通常表现为非常小的塑性变形，然后突然断裂。铸铁的应力-应变曲线没有明显的直线部分，通常很难观察到屈服点。抗拉强度是评价铸铁拉伸性能的主要指标。
4. 相关概念基本定义及计算公式：

弹性模量：在应力-应变曲线上，应力低于弹性极限的范围内，应力与应变的比

值，表达式为：

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1)$$

其中 σ 为应力， ε 为应变。

上屈服强度 R_{eH} ：试样发生屈服时应力下降时达到的最大值。

下屈服强度 R_{eL} ：试样屈服期间屈服平台上不计初始屈服瞬时效应的最低应力点。

抗拉强度 R_m ：试样缩颈前所达到的最大应力值。

原始标距 L_0 ：试样初始状态，夹头内用于测试的等截面积的试样部分的长度。

断后标距 L_u ：实验被拉断后，将试样断口处紧密对接，初始标线内的总长度。

断后延伸率 δ ：试样拉断后，试样原始标线之间的伸长量和原始标距之比：

$$\delta = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

断面收缩率 ψ ：试样拉断后，断口处横截面积的最大缩小量与原始标距内截面积之比：

$$\psi = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \quad (3)$$

【实验仪器】

1. 电子万能试验机，控制微机，游标卡尺，YYU-25/50 电子引伸计；
2. 低碳钢标准试样，铸铁标准试样。

【实验过程】

1. 前期测量：量取试样的平行长度 L ，在平行长度部分的两端及中部选择三个截面测量截面直径并计算截面面积，取平均值作为试样变形前直径 d_0 ；接着以平行长度的中点为中心，测定左右长各约为 $5d_0$ 的两个端点标点，标记内即为试样原始标距 L_0 。

2. 前期准备：打开设备，连接并按照规定要求安装引伸计、试样和拉伸模具，并在计算机上编辑试验方案，设置试验的基本参数和控制方式。

① 低碳钢的参数：

试验方向：拉向，变形传感器：引伸计，切换点：8mm，试样形状：棒材，入口

力: 20N, 预加载速度: 2mm/min, 去除点数: 5Points, 试验结束条件: 定力 10000N。

②铸铁的参数:

试验方向: 拉向, 变形传感器: 位移, 试样形状: 棒材, 入口力: 30N, 预加载速度: 2mm/min, 去除点数: 5Points, 试验结束条件: 定力 10000N。

3. 开始实验: 清零软件中的力通道、位移通道和变形通道, 接着开始测试。在拉伸过程中, 密切观察试样的形状变化和拉伸曲线的变化情况。对于低碳钢试验, 根据需要观察冷加工硬化现象, 将加载过程分为三个阶段, 分别以 2mm/min 的速度依次进行加载、卸载和再次加载。在低碳钢试验中, 根据电脑提示及时取下引伸计。

4. 测量断后试样尺寸: 实验结束后, 测量试样的断后尺寸, 包括断后标距 L_u 和断口处的最小直径 d_u 。

5. 保存数据并对其进行分析处理。

【实验数据】

1. 初始尺寸:

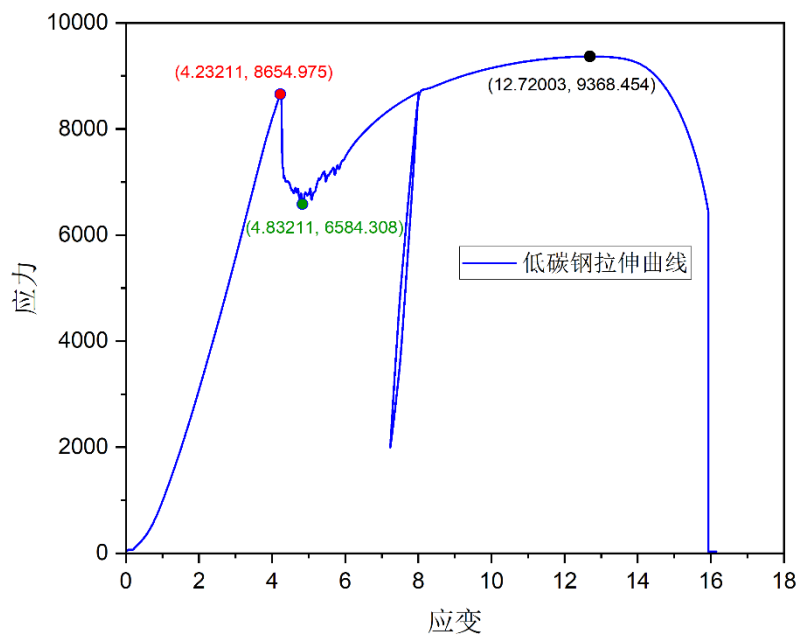
	直径 1 (mm)		直径 2 (mm)		直径 3 (mm)		d_0 (mm)	L_0 (mm)
	测量 1	测量 2	测量 1	测量 2	测量 1	测量 2		
低碳钢	5.00	4.98	4.98	5.02	5.04	5.000	5.00	50.00
铸铁	4.94	5.04	5.04	5.04	5.04	5.020	5.01	50.10

2. 断面尺寸:

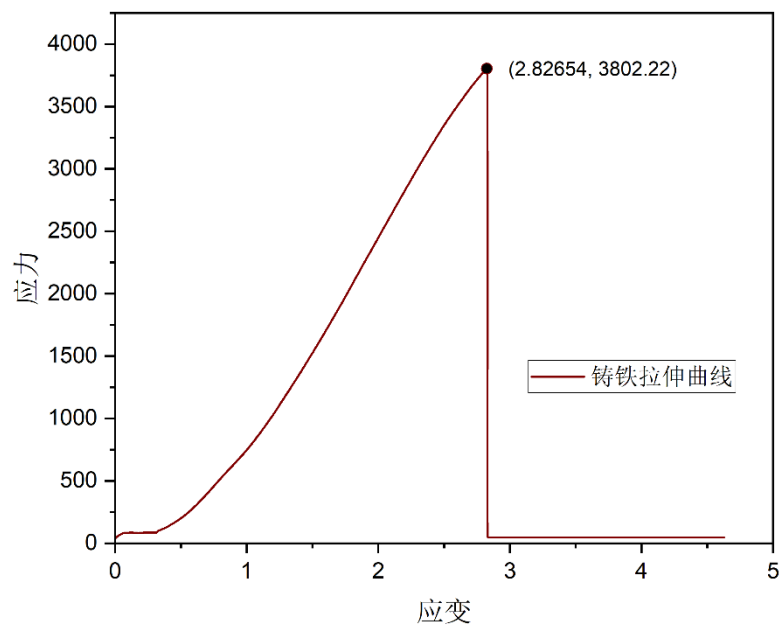
	断后标距 L_u (mm)						最小截面直径 d_u (mm)		
	1	2	3	4	5	均值	1	2	均值
低碳钢	62.00	62.08	62.06	62.12	62.08	62.068	2.78	2.80	2.790
铸铁	51.32	51.28	51.32	51.22	51.28	51.284	5.00	4.96	4.980

【数据处理】

1. 低碳钢拉伸曲线如下:



2. 铸铁拉伸曲线如下:



3. 由实验数据可以计算出:

(1) 低碳钢

断后延伸率:

$$A_1 = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{6.2068cm - 5.000cm}{5.000cm} \times 100\% = 24.136\%$$

断后收缩率率:

$$Z_1 = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% = \frac{\frac{\pi d_0^2}{4} - \frac{\pi d_u^2}{4}}{\frac{\pi d_0^2}{4}} \times 100\% = \frac{5.00^2 - 2.79^2}{5.00^2} \times 100\% = 68.86\%$$

上屈服强度:

$$R_{eH1} = \frac{F_{eH1}}{S_0} = \frac{F_{eH1}}{\frac{\pi d_0^2}{4}} = \frac{8654.975N}{\frac{\pi \times (5.000 \times 10^{-3}m)^2}{4}} = 440.794MPa$$

下屈服强度:

$$R_{eL1} = \frac{F_{eL1}}{S_0} = \frac{F_{eL1}}{\frac{\pi d_0^2}{4}} = \frac{6584.308N}{\frac{\pi \times (5.000 \times 10^{-3}m)^2}{4}} = 335.336MPa$$

抗拉强度:

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{S_0} = \frac{F_1}{\frac{\pi d_0^2}{4}} = \frac{9368.454N}{\frac{\pi \times (5.000 \times 10^{-3}m)^2}{4}} = 477.131MPa$$

(2) 铸铁

断后延伸率:

$$A_2 = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{5.1284cm - 5.010cm}{5.010cm} \times 100\% = 2.363\%$$

断后收缩率率:

$$Z_2 = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% = \frac{\frac{\pi d_0^2}{4} - \frac{\pi d_u^2}{4}}{\frac{\pi d_0^2}{4}} \times 100\% = \frac{5.01^2 - 4.98^2}{5.01^2} \times 100\% = 2.41\%$$

抗拉强度:

$$\sigma_2 = \frac{F_2}{S_0} = \frac{F_2}{\frac{\pi d_0^2}{4}} = \frac{3802.22N}{\frac{\pi \times (5.010 \times 10^{-3}m)^2}{4}} = 192.873MPa$$

4. 不确定度计算

将实验数据代入不确定度计算公式:

A 类不确定度:

$$U_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

不确定度传递公式:

$$U_u = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial u}{\partial x_i} \right)^2 U_i}$$

不确定度:

$$U_x = \sqrt{(U_A)^2 + (U_B)^2}$$

计算结果详见 5。

5. 数据统计

综上所述, 本次实验数据计算结果如下:

试样	低碳钢					铸铁		
数据名称	上屈服强度 (MPa)	下屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	断后延伸率 (%)	断后收缩率 (%)	抗拉强度 (MPa)	断后延伸率 (%)	断后收缩率 (%)

计算数据	440.794	335.336	477.131	24.136	68.86%	192.873	2.363	2.41
------	---------	---------	---------	--------	--------	---------	-------	------

【结果分析】

1. 数据分析

实验测量绘制的低碳钢拉伸曲线主要分为五个阶段（详见思考题 2），与理论图像的曲线非常相符，说明本次实验真实反映了低碳钢在拉伸应力作用下的形变过程。同时，我们可以从测得的铸铁拉伸曲线中看出，铸铁在较小应力下（3802.22N）就发生了断裂，与理论相符。但有一点值得注意，理论的铸铁延伸率参考值为 0.4%，而本实验计算出的延伸率为 2.363%。根据本人分析推测，这可能是因为我们所得的曲线并非真应力曲线，而是通过测量计算仪器的位移值得出的结果，诸如试件的不均匀拉伸、过程中横截面积的改变没有纳入实验考虑范围之内。由此，该曲线也无法反应试样真实的应力应变关系。

2. 误差分析

（1）系统误差

- ①环境：实验当天的温度、湿度所带来的误差。查阅资料得知，温度、湿度会在一定程度下影响材料的力学性质，进而影响实验测量。
- ②仪器：诸如测量数据时的精度，加载应力时的均匀程度之类仪器本身的误差，以及用游标卡尺测量直径和长度时精度带来的误差。
- ③试样：不同的试样中的组成成分差异带来的误差。
- ④原理：如 1 中所说，诸如试件的不均匀拉伸、过程中横截面积的改变没有纳入实验考虑范围之内所带来的误差。

（2）偶然误差

- ①读数：在用游标卡尺测量试样的长度和直径时，可能会由于估读而产生读取数据的误差。
- ②计算：在对数据进行处理分析时，可能会由于四舍五入而产生计算的误差。

（3）有关减小误差的改进方案

鉴于本次实验的测量仪器和试样都已经非常标准，若要减少实验误差，只能通过提升以下操作来实现：

①读数：本实验通过多次测量后求平均值的方法，减小了由于实验人员读数所带来的偶然误差。

②计算：本实验在数据处理过程中，尽可能用测量数据直接代入总计算式进行整体运算，减小了对中间数据四舍五入所带来的误差。

【思考题】

1. 比较低碳钢和铸铁的拉伸曲线，讨论其差异。

答：低碳钢和铸铁的差异主要在以下几个方面：

①**强度**：比较本实验低碳钢和铸铁的拉伸曲线可知，低碳钢的抗拉强度为 9368.454N，铸铁的抗拉强度为 3802.22N。由此可见，低碳钢通常比铸铁具有更高的拉伸强度。这是因为低碳钢具有更均匀的结晶结构和较少的缺陷，使其具有更高的抗拉性能。

②**延展性**：低碳钢通常比铸铁具有更好的延展性。根据曲线可以看出，低碳钢的图像出现了一段水平锯齿状的曲线，这意味着受力时低碳钢发生了塑性变形而不会立即断裂。相比之下，铸铁则没有塑性变形阶段，更容易发生脆性断裂。

2. 低碳钢在拉伸过程中可分为几个阶段，各阶段有何特征？

答：

①**弹性阶段**：在这个阶段，材料受到外力时，会产生应力，但这个应力与应变成正比关系，即满足胡克定律。此时，材料发生的变形是完全可逆的，材料会在去除外力后恢复原状。

②**屈服阶段**：随着应力的增加，材料达到一定的应力值后，开始出现非线性变形，即发生塑性变形，这一点称为屈服点。在屈服点之后，材料会出现永久性的变形，而不是完全恢复到原来的状态。

③**屈服后硬化阶段**：在超过屈服点后，材料会经历硬化阶段。尽管材料仍然发生塑性变形，但其抗拉强度继续增加，这是由于在变形过程中形成了更多的位错，导致材料内部发生局部加固。

④**颈缩阶段**：当材料达到一定的应力值时，开始在局部区域发生颈缩，这是因为材料在这些区域发生了更多的塑性变形，导致其截面积减小。在这个阶段，材料

的应力基本上保持不变，但变形集中在颈缩区域。

⑤**断裂阶段**：最终，材料达到其最大承载能力，无法再继续承受应力。在这个阶段，材料会发生断裂，使其失去了结构完整性。

3. 何谓“冷作硬化”现象？此现象在工程中如何运用？

答：

①**冷作硬化现象**：冷作硬化是指在常温下通过加工，如拉伸、压缩、弯曲等，使金属材料的晶粒发生变形，产生位错密集区，从而提高了材料的抗拉强度和硬度。这种变形是塑性变形，与热加工不同，在常温下进行，也称为冷加工。

②**应用**：冷作硬化在工程中有多应用。例如，在制造高强度螺栓、弹簧、钢丝绳等需要高强度和硬度的零件时，可通过冷作硬化提高材料的性能。此外，冷作硬化也常用于金属材料的强化处理，例如在铝合金中，通过冷轧、冷拔等加工方式可以增强其力学性能。但过度的冷作硬化可能会导致材料变脆，降低其韧性和抗冲击性能，因此在工程设计中需要权衡利弊。

实验内容二 压缩实验

【实验目的】

1. 测定低碳钢在压缩时的名义屈服强度 $R_{pc0.2}$;
2. 测定铸铁在压缩时的强度极限 R_m ;
3. 观察上述材料在压缩时的变形及破坏形式, 并分析其破坏原因;
4. 比较塑性材料与脆性材料的力学性能及特点。

【实验原理】

1. 低碳钢

低碳钢是一种常见的结构钢, 其含碳量较低, 通常在 0.05%到 0.25%之间。这种含碳量较低的设计使得低碳钢具有良好的可塑性和焊接性, 适用于各种冷加工和热加工工艺。由于其塑性能力, 低碳钢通常用于制造各种零部件, 例如汽车车身、家具、建筑结构等, 以及一些冲压和深冲工艺的应用。

低碳钢在压缩试验中表现出良好的可塑性和韧性。开始加载时, 力-变形曲线呈直线上升, 符合胡克定律。随着载荷的增加, 试样的变形速度加快, 但没有明显的屈服现象。随着塑性变形的增加, 试样横截面积逐渐增大, 增加了其承载能力, 同时纵向变形速度下降, 导致力-变形关系曲线逐渐向上弯曲。

由于低碳钢的塑性特性, 试件在受力过程中并不发生破坏, 而是被压扁, 由圆柱形变成鼓形。因此, 无法直接求出其强度极限。在这种情况下, 我们可以通过规定非比例压缩强度 (R_{pc}) 来评估其性能, 例如在 0.2%压缩应变下的非比例压缩强度 ($R_{pc0.2}$)。低碳钢的 $R_{pc0.2}$ 可以表示其在压缩加载下的名义屈服强度。相关计算公式为:

$$R_{pc0.2} = \frac{F_{pc0.2}}{S_0}$$

2. 铸铁

铸铁制造工艺相对简单, 可通过铸造成形, 使得复杂形状的零件制造变得容易。铸铁的压缩曲线在开始时接近直线, 随着载荷增加, 曲率逐渐增大, 最终至破坏,

试件的断面法线方向与轴线夹角约为 45° – 55° 。

铸铁在抗压能力方面表现出色，在压缩试验中，铸铁试样没有明确的屈服极限，只有在最大载荷下测出的强度极限（ R_m ）。铸铁的抗压强度极限通常比其抗拉强度极限高 3~4 倍。与其他脆性材料（如混凝土、石料等）相比，铸铁的抗压强度远高于相应材料的抗拉强度，其抗压强度极限比抗拉强度极限高 3~4 倍。

此外，铸铁还具有良好的耐磨性和耐腐蚀性，适用于制造各种承受高压和磨损的零部件，例如汽车发动机缸体、水管、制动盘等。在建筑行业中，铸铁也常用于制造排水系统的管道和排水井盖等。尽管铸铁的塑性和韧性相对较差，但其高强度和刚性使得其在受压场合下仍然表现出色，因此在建筑结构中也有广泛应用。

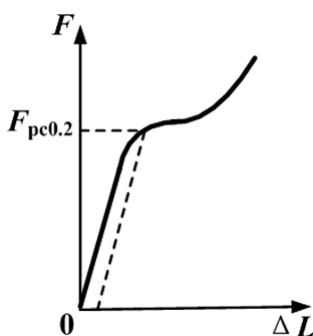


图1 低碳钢压缩曲线

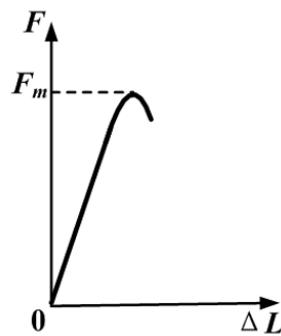
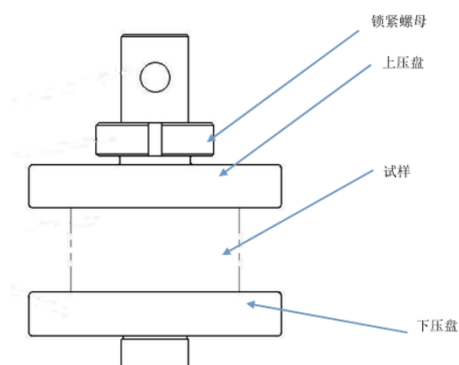


图2 铸铁压缩曲线

【实验仪器】

1. 电子万能试验机，控制微机，游标卡尺，YYU-25/50 电子引伸计；
2. 低碳钢标准试样，铸铁标准试样；
3. 压缩模具



【实验过程】

1. 前期测量：用游标卡尺在互相垂直方向两次测量金属材料试件的直径，取其平均值为截面直径(用于计算试件原始截面面积)，同时测量试件高度(测一次即可)。

2. 前期准备：打开设备,连接并按照规定要求安装引伸计、试样和拉伸模具，并在计算机上编辑试验方案，设置试验的基本参数和控制方式。

①低碳钢实验参数：

试验方向：压向，变形传感器：位移，试样形状：棒材，返车速度：20mm/min，入口力：10N，预加载速度：2mm/min，去除点数：5Points，试验结束条件：定力10000N，定位移5mm直至载荷为10kN。

②低碳钢实验参数：

试验方向：压向，变形传感器：位移，试样形状：棒材，返车速度：20mm/min，入口力：10N，预加载速度：2mm/min，去除点数：5Points，试验结束条件：定力8000N。

3. 开始测试：以1mm/min的速度压缩试样，观察曲线变化，做好记录。

4. 保存数据并对其进行分析处理。

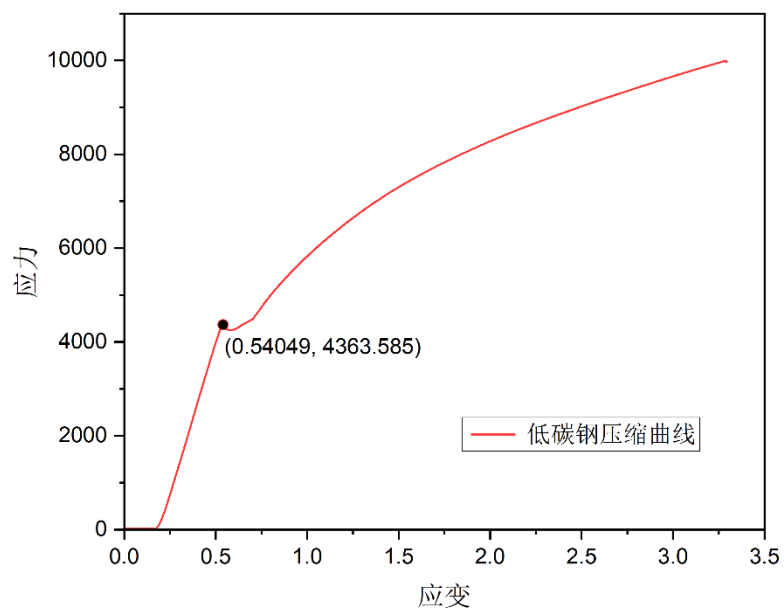
【实验数据】

初始尺寸：

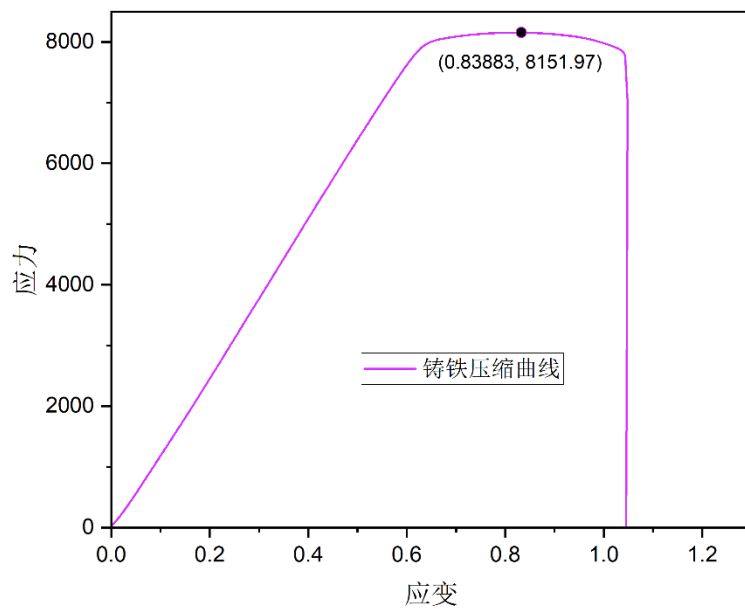
	截面直径 (mm)					
	1	2	3	4	5	平均值
低碳钢	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94
铸铁	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92

【数据处理】

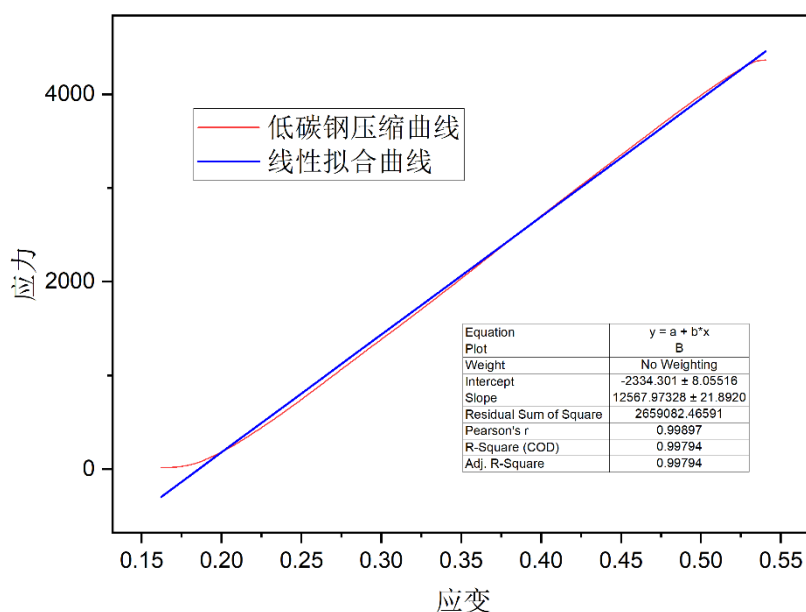
1. 低碳钢压缩曲线如下:



2. 铸铁压缩曲线如下:



3. 对低碳钢压缩曲线的前半部分进行线性拟合，可以得出：



拟合曲线方程为： $y = 12567.97x - 2234.30$

其中， $R^2 = 0.9979$

4. 由实验数据可以计算出：

(1) 低碳钢

强度极限：

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_1}{\frac{\pi d_0^2}{4}} = \frac{4363.585N}{\frac{\pi \times (3.94 \times 10^{-3}m)^2}{4}} = 357.90Mpa$$

(2) 铸铁

$$\sigma_2 = \frac{F_2}{S_2} = \frac{F_2}{\frac{\pi d_0^2}{4}} = \frac{8151.97N}{\frac{\pi \times (3.92 \times 10^{-3}m)^2}{4}} = 675.46Mpa$$

【结果分析】

1. 数据分析

(1) 实验计算的低碳钢的名义屈服强度为 357.90MPa，与理论值 207MPa 的相对误差高达 72.90%，经过查阅资料，本人推测可能是因为低碳钢的名义屈服强度

会随着含碳量和试件高度而改变，如 GB/T700-2006 中给出了部分标准低碳钢的名义屈服强度 (165-275MPa)，以及可能有摩擦力等因素的影响。

(2) 实验计算的铸铁的强度极限为 675.46MPa，查阅文献可以知道强度极限参考值在 602-700MPa，实验测量结果是处于范围之内。

(3) 从拟合曲线图可以看到，拟合的相关系数 $R^2=0.9979$ ，说明初始阶段材料几乎服从胡克定律。但当载荷达到一定值以后，我们可以从低碳钢压缩曲线图看出，随载荷增加，曲线不再为线性，但试样无明显屈服现象。随载荷进一步增大，曲线增长速度减缓。这是因为随着塑性变形的迅速增长，试样横截面积逐渐增大，增加了承载能力，使变形速度下降。而从铸铁压缩曲线可以看出，铸铁在达到强度极限后直接被破坏，这是因为被压缩时试样受压时将沿与轴线成 $45^\circ - 55^\circ$ 倾角的斜截面发生错动，而且铸铁的微观结构中含有大片石墨和脆性相，以及铸铁的晶粒较大且不均匀，晶界处容易集中应力，使铸铁在压缩过程中发生断裂。

2. 误差分析

(1) 系统误差

①环境：实验当天的温度、湿度所带来的误差。查阅资料得知，温度、湿度会在一定程度下影响材料的力学性质，进而影响实验测量。

②仪器：诸如测量数据时的精度，加载应力时的均匀程度之类仪器本身的误差，以及用游标卡尺测量直径和长度时精度带来的误差。

③试样：不同的试样中的组成成分差异带来的误差。

(2) 偶然误差

①读数：在用游标卡尺测量试样的长度和直径时，可能会由于估读而产生读取数据的误差。

②计算：在对数据进行处理分析时，可能会由于四舍五入而产生计算的误差。

(3) 有关减小误差的改进方案

鉴于本次实验的测量仪器和试样都已经非常标准，若要减少实验误差，只能通过提升以下操作来实现：

①读数：本实验通过多次测量后求平均值的方法，减小了由于实验人员读数所带来的偶然误差。

②计算：本实验在数据处理过程中，尽可能用测量数据直接代入总计算式进行整

体运算，减小了对中间数据四舍五入所带来的误差。

【思考题】

1. 试分析低碳钢和铸铁试件在压缩过程中及破坏后有哪些区别。

答：低碳钢在在压缩过程中受到压缩力作用时通常会产生明显的塑性变形，在初始阶段遵从胡克定律，压缩曲线呈线性上升，压缩过程中表面可能呈现出流动纹理。而在压缩过程中破坏后，常呈现薄片状或扭曲变形的形态。相比之下，铸铁由于其较低的延展性，在初始阶段压缩曲线呈线性上升，但在压缩过程中可能更快地发生形变，通常不会表现出明显的流动纹理，在破坏后可能呈现更为脆性的断裂形态，表面出现鳞片状或贝壳状特征。

2. 与拉伸实验相比较，分析低碳钢和铸铁在压缩时的破坏原因。

答：

①低碳钢：当受到压缩力时，钢材会在晶粒间和晶粒内发生塑性形变，晶界滑移和位错滑移会使材料产生变形，使试件产生薄片状或扭曲变形。在屈服极限后试件越压越扁，抗压能力不断提高，直至被压成饼状。

②铸铁：被压缩时试样受压时将沿与轴线成 45° - 55° 倾角的斜截面发生错动而破坏。除此之外，铸铁的微观结构中含有大片石墨和脆性相，以及铸铁的晶粒较大且不均匀，晶界处容易集中应力，都会导致在压缩过程中容易发生断裂。

3. 为什么低碳钢压缩时测不出强度极限？

答：低碳钢延展性强，载荷虽然不断增加，但试件只是被压扁而并未被破坏，即便被压成饼状也不会断裂，因此无法求出强度极限。

4. 简述低碳钢和铸铁的力学性能的主要区别。

答：低碳钢具有良好的塑性和延展性，抗拉强度和屈服强度相对较高，但相对硬度较低。适用于需要强度和韧性兼备的场合，如结构件、机械零件等。而铸铁具有较高的硬度和耐磨性，但延展性较差，容易发生脆性断裂。常用于制造需要抗压、耐磨的零件，如汽车发动机缸体、机械床身等。