

## 实验 8 金属材料扭转实验

姓名：邹佳驹

学号：12012127

同组人：刘鸿磊

### 1. 实验目的（5 分）

- 1)测定低碳钢材料在常温、静载条件下的剪切屈服极限，剪切强度极限；
- 2)比较低碳钢在受扭时的变形规律及其破坏特征。

### 2. 实验标准/原理(如使用了应变片，请说明测点位置和测量桥路，10 分)

材料的扭转破坏过程可用纯扭转曲线即  $M_n - \phi$  曲线（又称扭转图）来描述，低碳钢扭转图见下图。

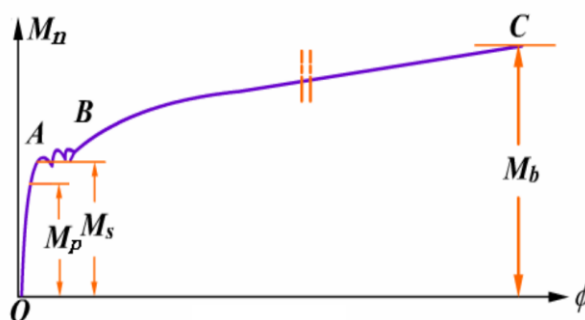


图 1 低碳钢扭转图

#### 弹性阶段(OA):

外加扭矩不超过弹性范围时，变形是弹性的， $M_n - \phi$  曲线是一条直线。在这个范围内卸载，试样可恢复原状，没有残余变形产生。截面上的应力成线形分布，表面的剪应力最大。

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{\rho \phi}{L} \\
 r_{\max} &= \frac{c \phi}{L} \\
 \Rightarrow r &= \frac{\rho}{c} r_{\max} \\
 \tau &= r \cdot G \quad (\text{Hooke's law}) \\
 \Rightarrow \tau &= \frac{\rho}{c} \tau_{\max}
 \end{aligned}$$

Linear shear-strain distribution

(From Pearson)

$$\begin{aligned}
 T &= \int \rho \tau dA = \int \rho \cdot \frac{\rho}{c} \cdot \tau_{\max} dA = \frac{\tau_{\max}}{c} \int \rho^2 dA = \frac{\tau_{\max}}{c} \cdot J \\
 \Rightarrow \tau_{\max} &= \frac{T \cdot c}{J} = \frac{T}{W_t}
 \end{aligned}$$

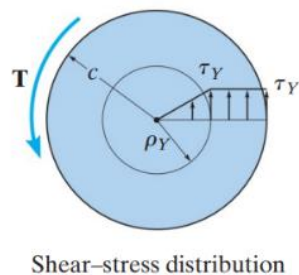
#### 屈服阶段(AB):

超过弹性范围后试样开始屈服。屈服过程是由表面至圆心逐渐进行的，这时曲线开始变弯，横截面的塑性区逐渐向圆心扩展，截面上的应力不再是线形分布。试样整体屈服后， $M_n - \phi$  曲线上出现屈服平台，此时主动指针指示的最小值屈服扭矩记作  $M_s$ 。

$$\begin{aligned}
 T &= \int \rho \tau dA \\
 T &= 2\pi \int_0^c \tau \rho^2 d\rho
 \end{aligned}$$

Elastic and plastic torque:

$$\begin{aligned}
 T &= 2\pi \int_0^c \tau \rho^2 d\rho \\
 &= 2\pi \int_0^{\rho_Y} \left( \tau_Y \frac{\rho}{\rho_Y} \right) \rho^2 d\rho + 2\pi \int_{\rho_Y}^c \tau_Y \rho^2 d\rho \\
 &= \frac{2\pi}{\rho_Y} \tau_Y \int_0^{\rho_Y} \rho^3 d\rho + 2\pi \tau_Y \int_{\rho_Y}^c \rho^2 d\rho \\
 &= \frac{\pi}{2\rho_Y} \tau_Y \rho_Y^4 + \frac{2\pi}{3} \tau_Y (c^3 - \rho_Y^3) \\
 &= \frac{\pi \tau_Y}{6} (4c^3 - \rho_Y^3)
 \end{aligned}$$

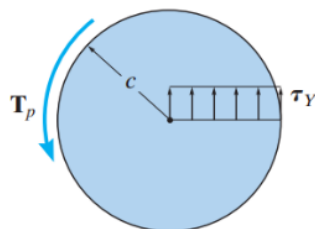


Shear-stress distribution

(From Pearson)

Plastic torque:

$$\begin{aligned}
 T_p &= 2\pi \int_0^c \tau_Y \rho^2 d\rho \\
 &= \frac{2\pi}{3} \tau_Y c^3
 \end{aligned}$$



Fully plastic torque

(From Pearson)

### 强化阶段(BC):

超过屈服阶段后 Mn-φ 曲线又开始上升, 表明材料又恢复了抵抗变形的能力, 即材料要继续变形扭矩就必须不断增长。低碳钢有很长的强化阶段但没有颈缩直至断裂。剪切强度极限为  $\tau_b$ 。

$$\begin{aligned}
 T_b &= 2\pi \int_0^c \tau_b \rho^2 d\rho \\
 &= \frac{2\pi}{3} \tau_b c^3
 \end{aligned}$$

### 3. 实验仪器设备与工具(5 分)

- 1) 扭转机
- 2) 马克笔
- 3) 游标卡尺

### 4. 实验步骤 (10 分)

- 1) 测量试件尺寸: 使用游标卡尺测量低碳钢试件的直径, 测量 3 次取平均值;
- 2) 调整试验机: 编辑实验方案, 加载速度设为 30mm/min (后因实验时间限制, 加速到 50mm/min);

- 3) 放置试件：在试件表面使用马克笔进行直线标记后，启动扭转机并对正，将试件夹头部分塞入扭转机，另一端通过推动扭转机进行固定；
  - 4) 参数清零：试验机扭矩、扭角转角等参数清零；
  - 5) 开始实验：加载，观察扭矩-转角曲线变化和实验现象，并记录相关重要情况；
  - 6) 结束实验：低碳钢试件断裂(扭矩曲线下降)后，停止试验，取出并观察试件，测量相关参数，规整实验仪器。
5. 实验数据记录（包含实验前/后试件尺寸测量、原始实验数据整理，对于数据量较大的数据，比如载荷-位移/时间，可以提取部分数据并加以说明；实验现象记录等，20 分）

实验前尺寸测量(3 次测量取平均值)

低碳钢试件直径： $d_g = 10.00mm$

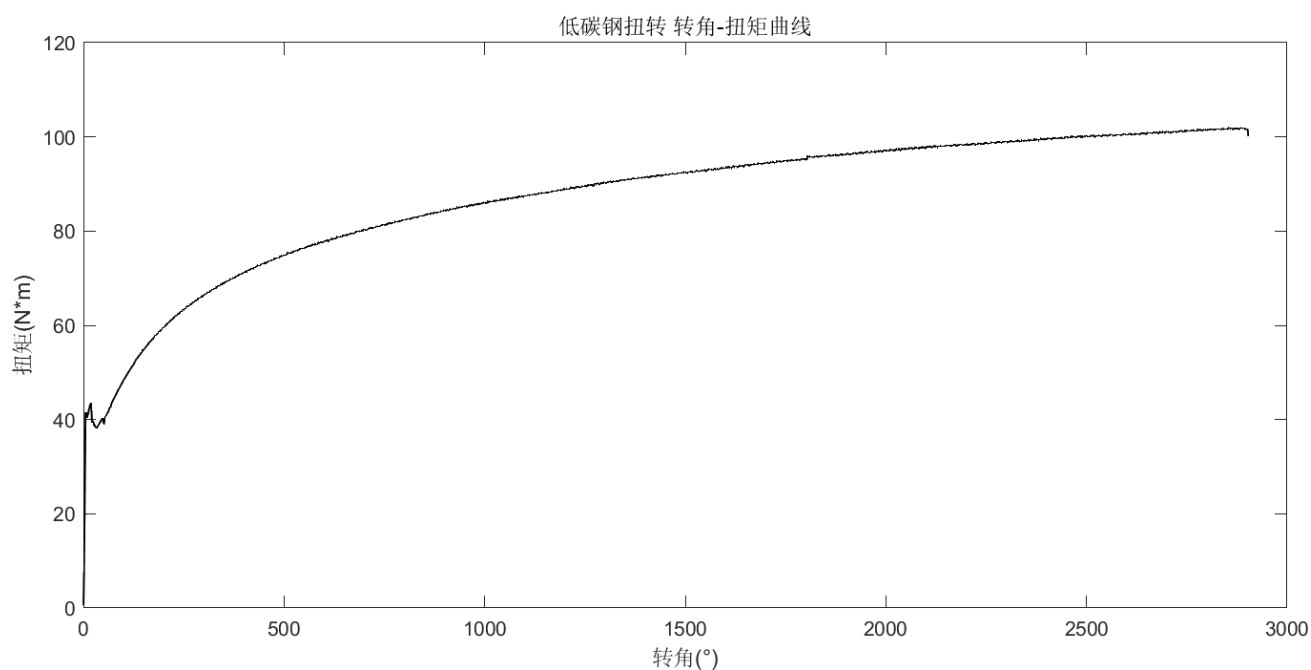


图 2 低碳钢实验扭转图

6. 实验数据处理（数据处理图表整理、实验数据选取、材料性能参数计算等，30 分）

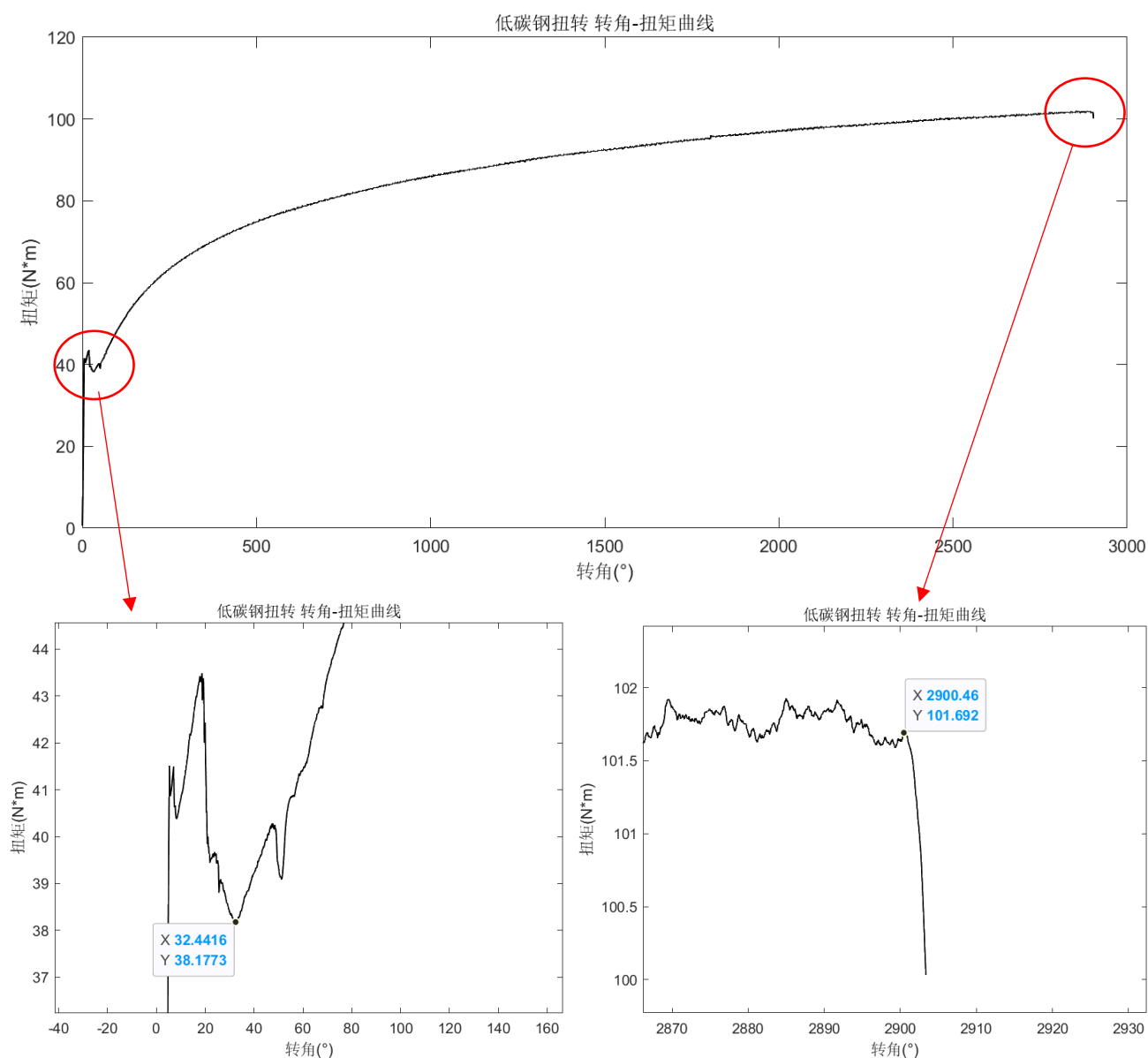


图3 低碳钢扭转 屈服扭矩与强度扭矩

屈服扭矩  $M_S = 38.1773 \text{ N} \cdot \text{m}$

$$\text{剪切屈服极限 } \tau_s = \frac{3M_S}{2\pi c^3} = \frac{3 \times 38.1773}{2\pi \times \left(\frac{0.010}{2}\right)^3} = 145.83 \text{ MPa}$$

强度扭矩  $M_b = 101.692 \text{ N} \cdot \text{m}$

$$\text{剪切强度极限 } \tau_b = \frac{3M_b}{2\pi c^3} = \frac{3 \times 101.692}{2\pi \times \left(\frac{0.010}{2}\right)^3} = 388.43 \text{ MPa}$$



图 4 实验结束的试件

试验前使用马克笔在试样表面画的直线在试验后变成了麻花状曲线，说明低碳钢扭转断裂前存在很大的塑性变形。



图 5 低碳钢扭转实验 断面

塑性材料通常在剪切中失效，因此，当低碳钢受到扭转时，会沿着垂直于轴的平面发生断裂，如上图所示。

#### 7. 实验结论（参照实验目的，给出实验结论，比如断面分析、极限强度等，10 分）

此次实验使用扭转机对低碳钢试件进行扭转实验，通过计算得到低碳钢剪切屈服极限 $\tau_s$ 为 $145.83MPa$ ，剪切强度极限 $\tau_b$ 为 $388.43MPa$ 。低碳钢试件受扭发生断裂，断面沿着垂直于轴的平面。

#### 8. 思考题（15 分）

将低碳钢扭转极限强度与拉伸极限强度进行对比，是否相同并说明原因。

低碳钢扭转剪切强度极限 $\tau_b$ 为 $388.43MPa$ ，拉伸极限强度 $\sigma_b$ 为 $433.230MPa$ （实验 2），两者不同，剪切强度极限小于拉伸强度极限，原因在于低碳钢是典型的塑性材料，具有较高的延展性，拉伸时可以承受较大的应力，进而导致低碳钢拉伸极限强度大于扭转极限强度。