

3 金属材料扭转力学性能的测定

一、实验目的

- 1、测定低碳钢的扭转屈服极限 τ_s 和扭转强度极限 τ_b 。
- 2、测定铸铁的扭转强度极限 τ_b 。
- 3、观察低碳钢和铸铁的断口情况，并分析其原因。

二、实验仪器及设备

- 1、电子式扭转试验机



图 2-13 扭转试验机主机结构图

试验机由加载机构、测力单元、显示器、试验机附件等组成。加载机构安装在导轨上，由伺服电机带动，通过减速器使夹头旋转，对试件施加扭矩。试验机的正反加载和停车，可由控制面板按钮或计算机操控。为了适应各种材料扭转力的需要，试验机具有较宽的调速范围。测力单元通过夹头传递的力矩经传感器处理输出，在显示器和计算机上同步显示出来。

- 2、游标卡尺

三、实验原理及方法

（一）试件标准

根据国家标准，一般采用圆截面试件，标距 $L_0 = 100\text{ mm}$ ，标距部分直径 $d = 10\text{ mm}$ 。如图 2-14 所示。

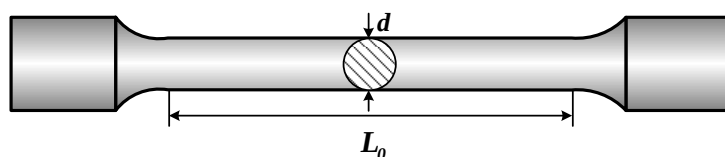


图 2-14 扭转试件

(二) 塑性材料的扭转（低碳钢）

圆截面直杆试件在受扭转时，横截面上产生切应力。在试验机自动绘图装置上得到扭转力偶矩和转角的关系曲线，如图 2-15 所示。

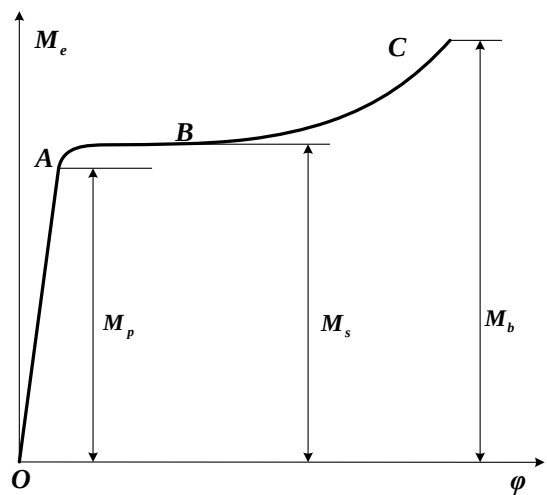


图 2-15 低碳钢扭转的扭矩和转角的关系图

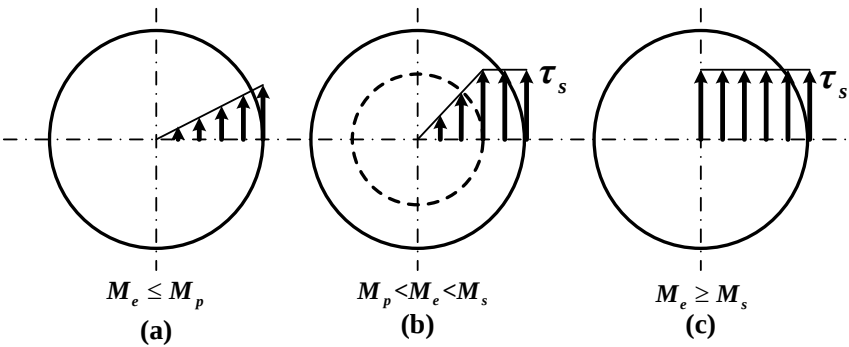


图 2-16 低碳钢扭转时截面塑性区变化图

当扭转力偶矩增加到 A 点（即 $M_e = M_p$ ）时，OA 段为直线，表示塑性材料在比例极限内，切应力与切应变服从剪切胡克定律，切应力沿径向呈线性分布，最大切应力发生在截面的边缘（图 2-16 (a)）。扭转力偶矩超过 M_p 后，出现应力不增加而扭转角继续增加的现象，材料开始屈服，切应力分布沿径向不再呈线性分布，边缘发生屈服形成环形塑性区。转角愈大，塑性区愈往中心深入（图 2-16(b)）。随着变形持续增加， $M_e - \varphi$ 图曲线稍微上升，达到 B 点后趋于平坦，这时扭矩几乎不变，这说明塑性区已扩展为整个截面（图 2-16(c)），材料发生全面屈服，记录下此时的屈服扭转力偶矩 M_s ，即为屈服扭矩 T_s 。

在达到 M_s 时，假定截面上各点的切应力同时达到屈服极限 τ_s （理想塑性），横

截面上 τ_s 均匀分布，屈服极限的近似计算公式如下：

$$M_s = T_s = \int_F (\tau_s dA) \cdot \rho$$

式中 τ_s 是常数， $dA = 2\pi\rho \cdot d\rho$ 。

所以

$$M_s = \tau_s \int_0^R \rho \cdot 2\pi\rho \cdot d\rho = \frac{2\pi R^3}{3} \cdot \tau_s = \frac{4}{3} W_t \tau_s$$

故屈服极限

$$\tau_s = \frac{3M_s}{4W_t}$$

式中： $W_t = \frac{\pi}{16} d^3 = \frac{\pi}{2} R^3$ 。

若试件继续变形，材料进一步强化，当达到 $M_e - \varphi$ 上的 C 点时，试件破坏，可读出最大扭转力偶矩 M_b ，与屈服时的塑性变形过程相似，可得扭转强度极限：

$$\tau_b = \frac{3M_b}{4W_t}$$

断裂后试样断面与试样的轴线垂直，断口齐整并有回旋状塑性变形痕迹（图 2-17）。

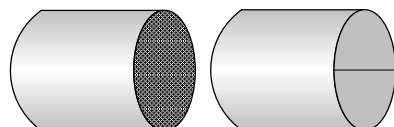


图 2-17 低碳钢圆轴扭转的断口形貌

（三）脆性材料的扭转（铸铁）

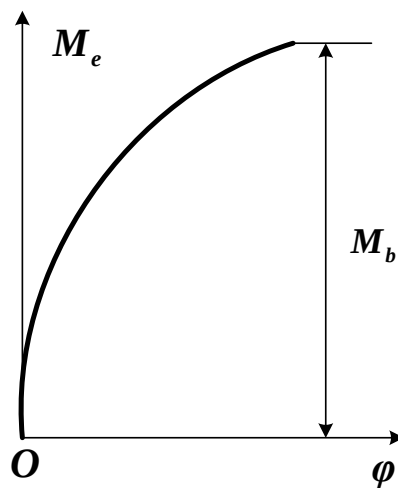


图 2-18 铸铁扭转的扭矩和转角的关系图

图 2-18 为铸铁的扭矩-转角曲线，铸铁扭转时在变形很小的情况下破坏，只能测到最大扭转力偶矩 M_b 。铸铁扭转由开始直到破坏近似直线，其扭转强度极限 τ_b 因铸铁试件在断裂前呈脆性破坏，故可近似应用弹性公式计算：

$$\tau_b = \frac{M_b}{W_t}$$

铸铁因抗拉强度较弱，扭转破坏时的断口为与轴线成 45° 螺旋面，并因该面上的最大拉应力所拉断，如图 2-19 所示。

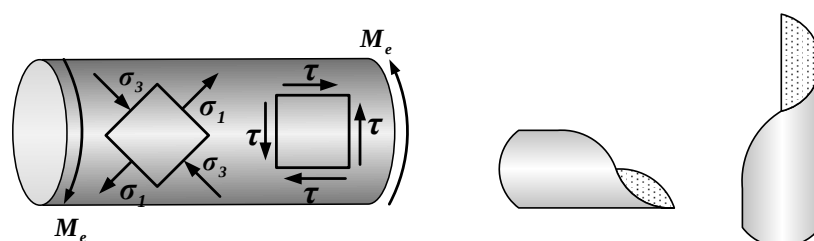


图 2-19 铸铁圆轴扭转的应力状态和断口形貌

四、实验步骤

（一）金属材料的扭转

1、测量试件的直径 d_0 ，取试件两端及中部三处用游标卡尺测量，每一处都要在两个相互垂直的方向上量出直径，取其最小截面处的平均直径作为试件的直径，计算抗扭截面系数 W_t 。

2、调整扭转试验机夹具之间的距离，并选择相应的夹头，将试件安装于扭转试验机的夹具中。

3、设定参数并将扭转力偶矩及转角计数器调零。

4、在试件的轴线方向，用粉笔划一直线，以便直观地观察扭转变形。

5、低碳钢试件：先慢速加载，试样整体屈服前用慢速，速度应在 $0^\circ \sim 36^\circ/\text{min}$ 的范围内，至 $M_e - \phi$ 曲线已超过线性阶段，然后提高加载速度至试件破坏。铸铁试件以匀速加载直至破坏。

6、观察 $M_e - \phi$ 曲线的生成过程，及时记录屈服扭矩 T_s 和断裂时的最大扭矩 T_b 、及断裂时的相对扭转角 ϕ 等数据。

7、从夹具中取出破坏的试件，观察断口形状，关机。

（二）注意事项

- 1、推动试验机移动支座时，切忌用力过大，以免损坏试样或传感器。
- 2、夹持试件时，确保三向夹头与试件充分接触并上紧，以免实验过程中发生滑脱。
- 3、使用软件前确保试验机电源已打开，退出软件前确保试验机电源已关闭。

五、实验数据记录

表 2-4 实验数据记录表

试件材料	直 径 d (mm)				抗扭截面 模量 W_t (mm ³)	屈服扭 矩 T_s (Nm)	破坏扭 矩 T_b (Nm)	屈服极限 τ_s (MPa)	强度极限 τ_b (MPa)
	测量 部位	沿两正交 方向测得 的数值	平均值	最小平 均值					
低碳钢	上								
	中								
	下								
铸铁	上								
	中								
	下								

六、实验数据分析

低碳钢实验中，选取屈服阶段最小扭矩作为屈服极限扭矩，选取最大扭矩作为强度极限扭矩；铸铁实验中，选取最大扭矩作为强度极限扭矩。

七、思考题

- 1、为什么低碳钢试样扭转破坏断面与横截面重合，而铸铁试样是与试样轴线成 45° 螺旋断裂面？
- 2、圆截面试样拉伸实验屈服极限和扭转实验剪切屈服极限有什么区别和联系？
- 3、用拉伸（压缩）实验能否间接测量材料的切变模量 G 、低碳钢的扭转屈服极限和强度极限？
- 4、如用木材或竹材制成纤维平行于轴线的圆截面试样，它们的破坏方式将是怎样？