

## 金属疲劳、应力腐蚀试验及宏观断口分析

在足够大的交变应力作用下，由于金属构件外形突变或表面刻痕或内部缺陷等部位，都可能因较大的应力集中引发微观裂纹。分散的微观裂纹经过集结沟通将形成宏观裂纹。已形成的宏观裂纹逐渐缓慢地扩展，构件横截面逐步削弱，当达到一定限度时，构件会突然断裂。金属因交变应力引起的上述失效现象，称为金属的疲劳。静载下塑性性能很好的材料，当承受交变应力时，往往在应力低于屈服极限没有明显塑性变形的情况下，突然断裂。疲劳断口（见图 1-1）明显地分为三个区域：裂纹源区、较为光滑的裂纹扩展区和较为粗糙的断裂区。裂纹形成后，交变应力使裂纹的两侧时而张开时而闭合，相互挤压反复研磨，光滑区就是这样形成的。载荷的间断和大小的变化，在光滑区留下多条裂纹前沿线。至于粗糙的断裂区，则是最后突然断裂形成的。统计数据表明，机械零件的失效，约有 70%左右是疲劳引起的，而且造成的事故大多数是灾难性的。因此，通过实验研究金属材料抗疲劳的性能是有实际意义的。

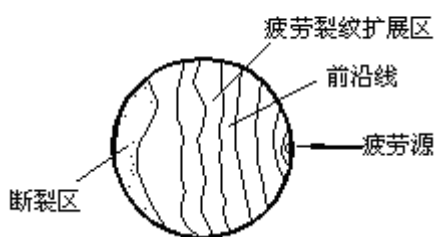


图 1-1 疲劳宏观断口

### 一、实验目的

1. 了解测定材料疲劳极限的方法。
2. 掌握金属材料拉拉疲劳测试的方法。
3. 观察疲劳失效现象和断口特征。
4. 掌握慢应变速率拉伸试验的方法。

### 二、实验设备

1. PLD-50KN-250NM 拉扭疲劳试验机。
2. 游标卡尺。
3. 试验材料 S135 钻杆钢。
4. PLT-10 慢应变速率拉伸试验。

### 三、实验原理及方法

在交变应力的应力循环中，最小应力和最大应力的比值为应力比：

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (1-1)$$

称为循环特征或应力比。在既定的  $r$  下，若试样的最大应力为  $\sigma_{1\max}$ ，经历  $N_1$  次循环后，发生疲劳失效，则  $N_1$  称为最大应力  $r$  为时的  $\sigma_{1\max}$  疲劳寿命（简称寿命）。实验表明，在同一循环特征下，最大应力越大，则寿命越短；随着最大应力的降低，寿命迅速增加。表示最大应力  $\sigma_{\max}$  与寿命  $N$  的关系曲线称为应力-寿命曲线或 S-N 曲线。碳钢的 S-N 曲线如图 1-2 所示。由图可见，当应力降到某一极限值  $\sigma_r$  时，S-N 曲线趋近于水平线。即应力不超过  $\sigma_r$  时，寿命  $N$  可无限增大。称为疲劳极限或持久极限。下标  $r$  表示循环特征。

实验表明，黑色金属试样如经历  $10^7$  次循环仍未失效，则再增加循环次数一般也不会失效。故可把  $10^7$  次循环下仍未失效的最大应力作为持久极限  $\sigma_r$ 。而把  $N_0=10^7$  称为循环基数。有色金属的 S-N 曲线在  $N>5 \times 10^8$  时往往仍未趋于水平，通常规定一个循环基数  $N_0$ ，例如取  $N_0=10^8$ ，把它对应的最大应力作为“条件”持久极限。

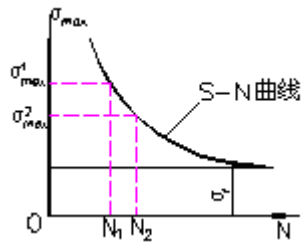


图 1-2 疲劳试验 S-N 曲线

工程问题中，有时根据零件寿命的要求，在规定的某一循环次数下，测出  $\sigma_{max}$ ，并称之为疲劳强度。它有别于上面定义的疲劳极限。

疲劳试验常采用循环加载，其加载波形如图 1-3 所示。

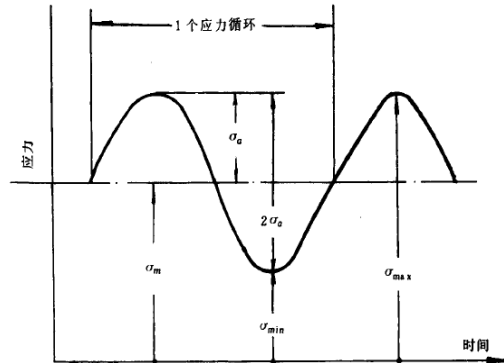


图 1-3 疲劳应力循环

扭转疲劳试验在 PLD-100KN 型拉-拉电液伺服疲劳试验机上进行，扭转疲劳试验时，采用应力控制，加载频率为 5Hz，加载波形为三角波，试验环境为实验室大气。

慢应变速率法是基于在一定的应变速率  $\dot{\epsilon}$  下，发生应力腐蚀开裂的倾向最大的现象提出来的。该方法是将试样（一般是光滑试样，但也可用缺口试样或预制裂纹的试样）浸入介质中，以恒定的速率（ $\dot{\epsilon}$  在  $10^{-4} \sim 10^{-8}$  /s 范围内）将试样拉断，测量断口的断面收缩率。

定义介质影响系数  $\beta$ ：

$$\beta = \frac{\psi_K - \psi_S}{\varphi_K} \quad (1-2)$$

作为断口脆化程度来预测金属的应力腐蚀开裂倾向。式 (1-2) 中  $\psi_K$  和  $\psi_S$  分别为试样在空气和介质中的断面收缩率。所以确定  $\beta$  或断口脆化程度都要参照在空气中金属的试验结果。

#### 四、实验方法

##### 1. 试验标准

本实验参照 GB/T 12443-2007《金属材料扭应力疲劳试验方法》和 GB 3075-80《金属轴向疲劳试验方法》进行试验。

##### 2. 试样

疲劳试样的主要有圆柱形、漏斗形、板状，如图 1-4 所示。

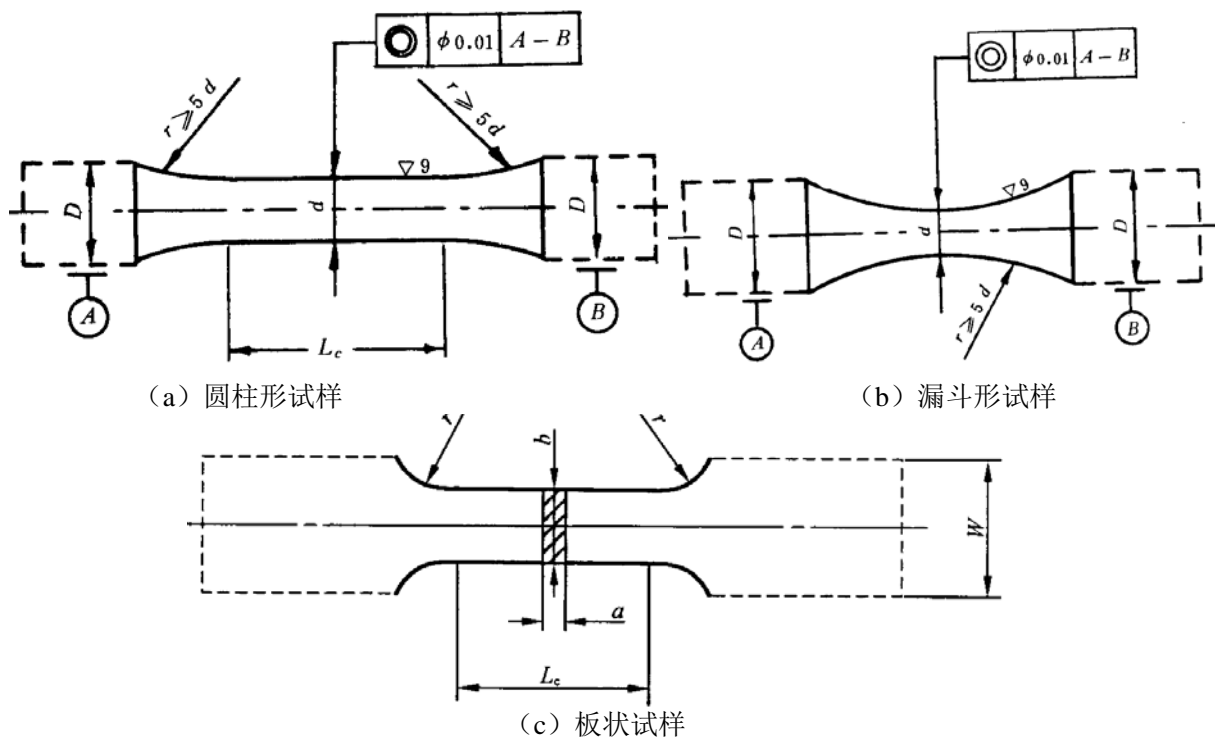


图 1-4 试样形状

### 3. 试验参数的确定

轴向应力由下式求得：

$$\sigma = \frac{F}{\pi r^2} \quad \text{或} \quad \sigma = \frac{F}{ab} \quad (1-3)$$

式中， $F$  为轴向应力， $r$  为试验件的半径。

试验过程中试验机的夹头以一定的位移速度移动，试样即以慢恒速 ( $\Delta L / \Delta t$ ) 拉伸。由于试验机部分的刚度比试样高的多，所以试样伸长  $\Delta L$  可用卡头的相应位移来代替。可按照下式计算：

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (1-4)$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\Delta L}{L_0} \frac{1}{\Delta t} = \frac{1}{L_0} \frac{\Delta L}{\Delta t} \quad (1-5)$$

式中： $\varepsilon$ -工程应变； $L_0$ -试样标距长度； $\dot{\varepsilon}$ -应变速率； $\Delta L / \Delta t$ -夹头的位移速度。

当夹头移动速度保持恒定时，可认为试样的应变速率保持不变。但严格地说，试样的应变速率应该是  $\frac{1}{L_0} \frac{\Delta L}{\Delta t}$ ， $L$  为瞬时标距长度。事实上，在整个试验过程中  $L$  是一个变量，所以试样的应变速率在整个试验过程中并不是恒定的量，而是变量。特别是对韧性金属材料拉伸时，一旦出现颈缩，则在颈缩区的实际应变速率可能会增加一个数量级。这就有可能使试样的应变速率进入或者偏离临界应变速率范围。预制裂纹试样裂纹尖端塑性区尺寸如果保持相同，则应变速率也保持在一恒定值。因此，用预制裂纹试样做慢应变速率试验要比采用普通的光滑试样更为合适、方便。

## 五、试样的制备

### 1. 取样及要求

试验取样部位、取向和方法按有关标准和双方协议。同一批试样所用材料应为同一牌号和同一炉号，并要求质地均匀没有缺陷。疲劳强度与试样取料部位、锻压方向等有关，并受表面加工、热处理等工艺条件的影响较大。

## 2.机加工

所有的机械加工不允许改变试样的冶金组织或力学性能，且引起的试样表面加工硬化应尽可能小。磨削精加工较硬材料的试样时，应提供足够的冷却液，确保试样表面不过热。

工作部分与过度圆弧的连接应光滑，不应出现机加工痕迹。

## 3.表面抛光

抛光后，试样工作部分的表面粗糙度  $R_a$  的允许最大值为  $0.32 \mu m$

## 六、试验过程

### 1.安装试样

将试样紧固于试验机上，使试样与试验机夹头保持良好同轴。

### 2.试验参数设置

包括轴向应力幅、平均应力、试验频率

### 3.测定在一定轴向应力下的疲劳性能

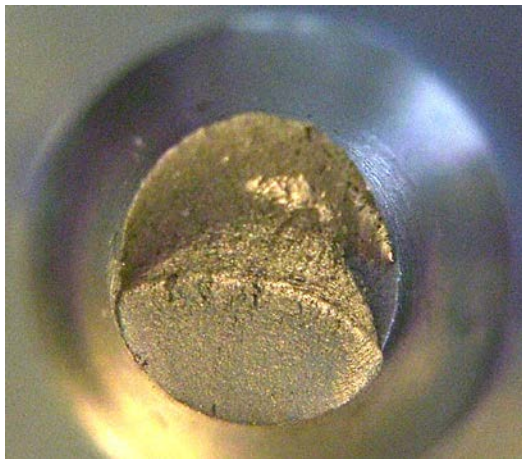
## 七、实验结果处理

1.下列情况实验数据无效：载荷过高致试样弯曲变形过大，造成中途停机；断口有明显夹渣致使寿命偏低。

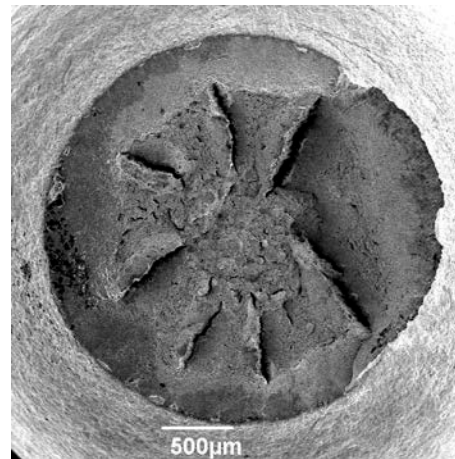
### 2.将所得实验数据列表。

材 料	应力比 $r$	应力幅 $\sigma_a$	疲劳寿命 $N_f$
S135	0.1	444.4	169059

### 3.观察破坏断口的特征。

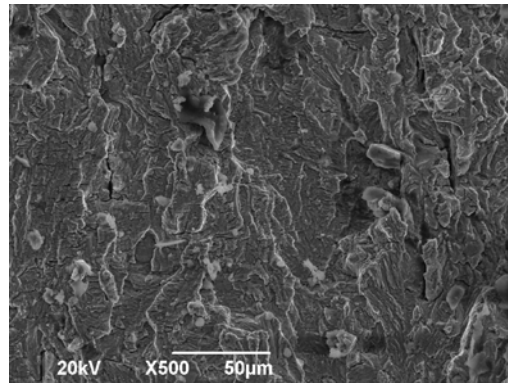
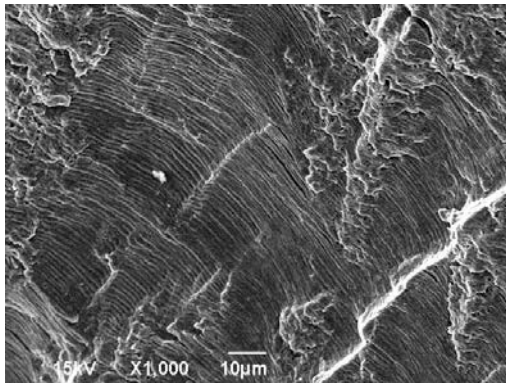
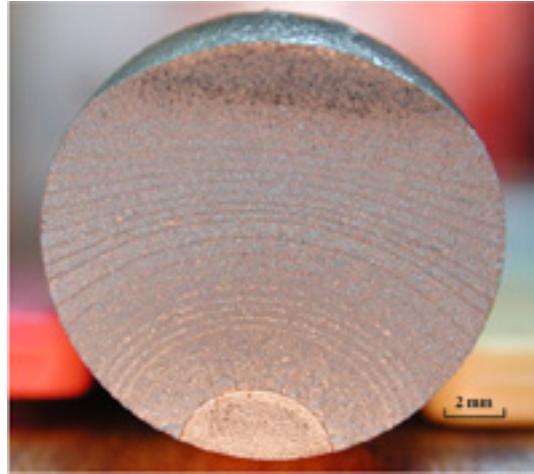
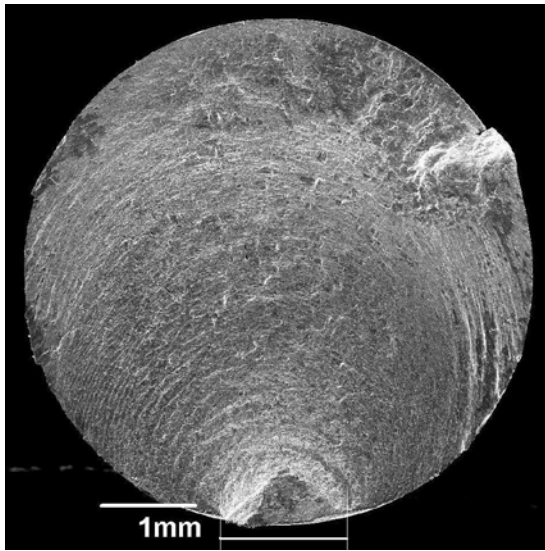


S135 钻杆钢疲劳断口



S135 钻杆钢拉伸断口、

### 4.结合所学知识区分说明下列断口的特征。



## 八、思考题

1. 疲劳试样的有效工作部分为什么要磨削加工，不允许有周向加工刀痕？
2. 实验过程中若有明显的振动，对寿命会产生怎样的影响？