

# 环境对橡胶材料应变疲劳寿命的影响

谢基龙

(北方交通大学 100044)

**摘要** 研究了哑铃状橡胶试样在对称恒幅应变下的疲劳寿命及空气、氮气、蒸馏水环境对其疲劳寿命的影响。结果表明,相对于空气环境而言,橡胶的疲劳寿命在惰性气体(氮气)中有一定的提高,而在蒸馏水中无明显变化;橡胶材料的疲劳寿命服从 Manson-Coffin 关系;可用 50% 疲劳寿命下的循环耗散能  $\Delta W$  规范地表征材料的疲劳寿命,其结果与试验环境无关。

**关键词** 环境, 疲劳寿命

橡胶材料的疲劳耐久性取决于很多因素。一般而言,橡胶的疲劳寿命主要与试样的几何形状、尺寸、加载速率及环境因素(腐蚀介质、温度、湿度等)有关<sup>[1-3]</sup>。从目前的资料看,很少涉及到环境对橡胶疲劳的影响,且对其影响机制亦不甚清楚。为此,本文将研究目标放到环境影响因素上,用 Manson-Coffin 关系和能量准则描述两种橡胶材料的疲劳寿命并探讨空气、氮气、蒸馏水等不同环境对其疲劳寿命的影响。

## 1 实验

实验所用材料为汽车工业常用的两种天然橡胶硫化胶,代号分别为 A 与 B。试样的形状及几何尺寸如图 1 所示。实验在 Mayes

疲劳机上进行,采用对称正弦波加载,控制频率为 3.5 Hz。

## 2 结果与讨论

### 2.1 真实应力-应变关系

根据橡胶材料是一种瞬时受力变形后可恢复原状的弹性体,在给定的变形条件下,真实应力-应变( $\sigma_v$ - $\epsilon_v$ )关系可表示为:

$$\sigma_v = \frac{4P}{\pi d^2} = \frac{4Pl}{\pi l_0 d_0^2} = \frac{4P}{\pi d_0^2} \exp(\epsilon_v) \quad (1)$$

$$\epsilon_v = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) \quad (2)$$

式中  $P$  为即时载荷; $d_0$  和  $d$  分别为试样初始直径和即时直径; $l_0$  和  $l$  分别为变形夹测到的初始长度和即时长度。

### 2.2 循环特性

图 2 示出真实应力幅  $\Delta\sigma/2$  随循环周次发展变化的三个阶段:首先是最初几千周内应力幅快速下降阶段;然后出现一个占总寿命 90% 以上应力幅缓慢下降并渐趋稳定的阶段;最后出现一个占总寿命 8% 左右的应力幅迅速下降试样断裂阶段。

热电偶测出的试样表面温度随循环周次的变化(图 3)表明,表面温度在最初几千周内一直上升,基本上与第一阶段的应力幅下降相对应;在应力幅下降的第二、三阶段表面温度上升并渐趋稳定。这说明材料的软化是由疲劳升温所致,第三阶段则对应着疲劳裂

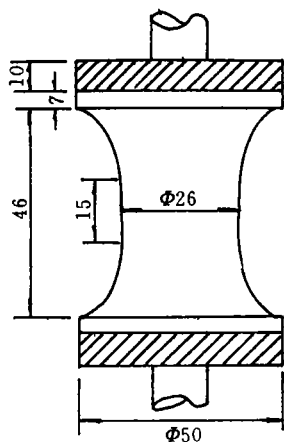


图 1 哑铃状试样几何尺寸(mm)

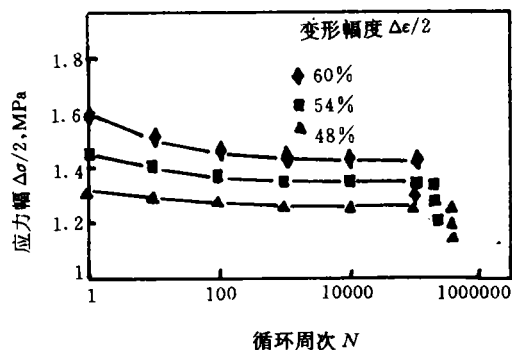


图2 应力幅  $\Delta\sigma/2$  随循环周次  $N$  增加的变化(材料 A, 在空气中)

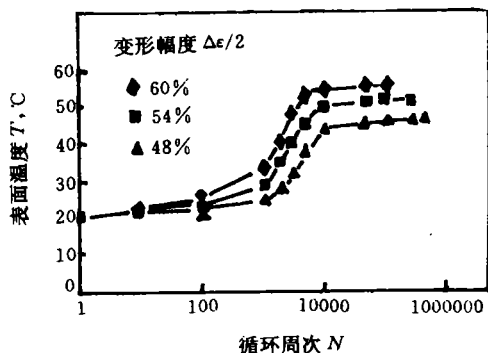


图3 表面温度  $T$  随循环周次  $N$  增加的变化(材料 A, 在空气中)

口快速扩展。

### 2.3 应变-寿命关系

图4示出不同环境下橡胶材料A和B的真实应变幅-疲劳寿命( $\Delta\epsilon/2-N_f$ )关系曲线,可见其在双对数坐标上呈线性关系。因此,试样的疲劳寿命  $N_f$  可用 Manson-Coffin 关系  $N_f(\Delta\epsilon/2)^n = C$  表述,其中  $n$  和  $C$  是与环境有关的材料常数,该式是适用于分析橡胶材料疲劳寿命的经验公式之一。结果表明,相对于空气环境而言,材料的疲劳寿命在氮气环境中得到提高,而在蒸馏水中几乎没有改变;在变形幅度较高的情况下,材料A的疲劳寿命比材料B高。材料A和B的 Manson-Coffin 关系表述为:

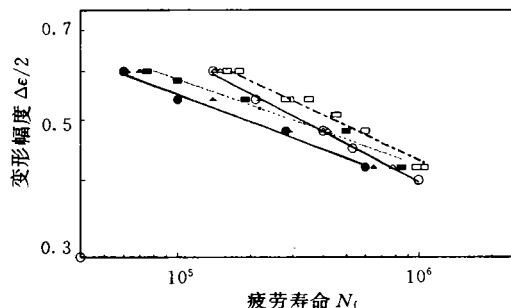


图4 不同环境下材料A和B的真实应变幅-疲劳寿命( $\Delta\epsilon/2-N_f$ )关系曲线

●○—空气;▲△—蒸馏水;■□—氮气  
空心图形—材料A;实心图形—材料B

在空气或蒸馏水中

$$\text{材料 A } N_f \left( \frac{\Delta\epsilon}{2} \right)^{4.6} = 2.3 \times 10^4$$

$$\text{材料 B } N_f \left( \frac{\Delta\epsilon}{2} \right)^{6.5} = 4.9 \times 10^3$$

在氮气中

$$\text{材料 A } N_f \left( \frac{\Delta\epsilon}{2} \right)^{4.9} = 1.3 \times 10^4$$

$$\text{材料 B } N_f \left( \frac{\Delta\epsilon}{2} \right)^{6.9} = 1.7 \times 10^3$$

### 2.4 能量-寿命关系

在疲劳试验中,发现在应力幅值随循环周次发展的第二阶段应力幅值较为稳定,因此在该阶段中每一循环的变形耗散能  $\Delta W$  基本不变。用占疲劳寿命50%循环周次下的  $\Delta W$  作为参数,则发现  $\Delta W$  与  $N_f$  有如下关系:

$$N_f^m \Delta W = C' \quad (3)$$

式中  $m$  和  $C'$  是与材料有关的常数。

图5示出  $\Delta W$  与  $N_f$  在双对数坐标中的关系,可见不同环境的实验点基本上都在一条直线上,说明唯有循环耗散能  $\Delta W$  规范地表征了材料的断裂寿命,而其结果与试验环境无关。材料A和B的能量  $\Delta W$ -寿命  $N_f$  关系表述为:

$$\text{材料 A } N_f^{0.35} \Delta W = 61.6$$

$$\text{材料 B } N_f^{0.29} \Delta W = 12.4$$

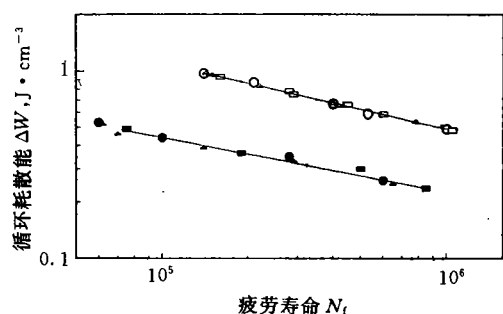


图5 占疲劳寿命50%循环周次下的耗散能 $\Delta W$ 与疲劳寿命 $N_f$ 的关系

图注同图4

### 3 结论

(1)相对于空气而言,橡胶的疲劳寿命在惰性气体(氮气)中有一定的提高,而在蒸馏

水中无明显变化;

(2)橡胶材料的疲劳寿命服从 Manson-Coffin 关系;

(3)可用50%疲劳寿命下的循环耗散能 $\Delta W$ 规范地表征材料的疲劳寿命,而其结果与试验环境无关。

### 参考文献

- 1 Takemori M T. Polymer fatigue. Annual Review of Materials Science, 1984; 14: 171—204
- 2 Rabinowitz S *et al.* Cyclic deformation and fracture of polymers. Journal of Materials Science, 1974; (9): 81—99
- 3 Beardmore P *et al.* Fatigue deformation of polymers. Treatise on Materials Science and Technology, 1975; 6: 267—331

收稿日期 1995-05-18

多年以来,我们坚持**技术为本、诚信为本**的原则,为轮胎橡胶行业的工艺过程自动化改造提供服务。STAR SYSTEM是我们自行开发的计算机控制系统,它已成功地投用到河南某轮胎厂的锅炉、除氧站、橡胶压延等工艺过程的自动化控制中,取得了良好的经济效益,获得一致好评并进行了推广应用。现已组态生成的系统有:

- ① STAR SYSTEM 锅炉控制系统
- ② STAR SYSTEM 除氧站控制系统
- ③ STAR SYSTEM 橡胶压延控制系统
- ④ STAR SYSTEM 硫化机监控系统

同时,我们也为广大用户提供与控制系统配套使用的温度传感器、压力变送器、变频调速器、厚度计等一次仪表和执行机构并以精湛的计算机技术承接计算机网络工程。

**诚心诚意,敬候垂询。**

深圳市卓然立自动化技术有限公司

联系人:曹先生 俞先生

地址:深圳振兴路四号华匀大厦七层

邮编:518031

电话:(0755)3237163,3237164,3237166 转 16

传真:(0755)3237165