

## 疲劳小裂纹试验方法及测试技术

丁传富 吴学仁(北京航空材料研究院)

小裂纹通常是指自然萌生的物理小裂纹(尺寸 $a=10\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ )。已有研究结果显示,小裂纹扩展阶段的行为与同种材料的长裂纹扩展行为存在显著差异。因此,建立和发展疲劳小裂纹实验方法和测试技术是研究小裂纹问题的重要方面。本文介绍了金属疲劳小裂纹扩展速率试验方法院标(Q/6S 1265-96)的基本要点。

### 1 小裂纹试样的设计与制备

根据不同的裂纹形状和研究目的,开发出几种典型的小裂纹试样,如带表面裂纹的矩形或圆柱形试样,带角裂纹的方形试样和带有表面裂纹或角裂纹的单边缺口拉伸试样(SENT)。其中,单边缺口拉伸试样已被广泛应用,其特点是:裂纹自然萌生;便于用覆型方法和其他方法跟踪缺口根部的裂纹长度。在制备半圆形缺口过程中,由于机械加工引发的残余应力和表面粗糙度可能明显地影响小裂纹的扩展行为,因此应尽可能使残余应力减至最小和提高表面光洁度。建议采用多级铣削加工,然后采用化学抛光和电解抛光方法抛光缺口表面。

### 2 小裂纹长度的测量方法

目前用于监测小裂纹长度的方法很多,例如,覆型法,表面超声波技术,电位法,显微照相法,激光干涉测量法和SEM法。这些方法各有其优点和局限性,适用于

不同的目的、试样和环境。其中覆型法应用最广泛,其特点是使用非常简单、成本极低、可检测几微米小裂纹的尺寸和多条裂纹的相对位置,但操作麻烦、费时费力。每个试样至少要制25至30个覆膜,每个膜需借助光学显微镜测出每条裂纹的相对位置,以便获得小裂纹扩展的 $a-N$ 数据点。为获得小裂纹形状数据,通常要在静载荷下将具有不同裂纹长度的试样拉断,由断口上观测裂纹形状。

### 3 小裂纹数据表达

精确的三维小裂纹应力强度因子的解是表征小裂纹扩展行为的重要断裂力学参量。对SENT试样,半圆形缺口根部的表面裂纹和角裂纹的应力强度因子 $\Delta K$ 的表达式采用下式计算:

$$\Delta K = \Delta S F_m \sqrt{\pi a / Q} \quad (1)$$

式中, $Q$ 为形状因子; $F_m$ 为边界修正因子。对应的小裂纹扩展速率采用割线法确定:

$$da/dN = \frac{\Delta a}{\Delta N} = \frac{a_{i+1} - a_i}{N_{i+1} - N_i} \quad (2)$$

式中, $a_i$ 是在循环数为 $N_i$ 时的裂纹长度;循环间隔 $\Delta N$ 是两相邻覆型间循环数的差值。

## 应用回归分析求 GH500 合金持久强度极限

蒋景和(上海第五钢铁厂研究所)

为设计单位提供GH500发动机盘持久强度极限数据,对采用双真空冶炼的成分符合技术条件规定的GH500合金,经1120℃固溶和1080℃,845℃二次时效处理后的试样,在BII-2试验机上做750℃、850℃、870℃三种温度10个不同应力的持久试验,最长试验时间达5921h。用Larson-Miller和葛庭燧-Dorn两种热强参数进行回归分析,得到回归方程

$$\begin{aligned} \text{L-M} \quad \lg t = & -18.4244 - 41324.8/T + 15622.3 \lg \sigma / T \\ & - 2319.35 \lg^2 \sigma / T + 64262.6 \lg^3 \sigma / T \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{葛-D} \quad \lg t = & 37.9222 - 62.6697/T + 25.6244 \lg \sigma \\ & + 3.81962 \lg^2 \sigma + 424821 \lg^3 \sigma \end{aligned}$$

预测了550℃、600℃、650℃、700℃、750℃、800℃、815℃、850℃、870℃、900℃经50h、100h、500h、1000h、3000h、5000h、10000的持久强度极限,两种方程用全相关系数 $R$ 检查,前后两者各为0.983439和0.983750,均接近1,表明回归分析处理得很好。另外求出标准偏差, $K-D$ 为0.135052; $L-M$ 为0.136329,表明数据分析标准偏差都不大,两者比较,葛庭燧-Dorn法优于Larson-Miller法。

为了确保构件使用安全性,最后求出上述10种强度5种寿命的具有95%存活率的持久强度下限值数据供设计部门使用。