



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105716935 B

(45)授权公告日 2018.02.16

(21)申请号 201610059873.9

审查员 耿青梅

(22)申请日 2016.01.28

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105716935 A

(43)申请公布日 2016.06.29

(73)专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72)发明人 洪友士 孙成奇 刘小龙

(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理

事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51)Int.Cl.

G01N 3/00(2006.01)

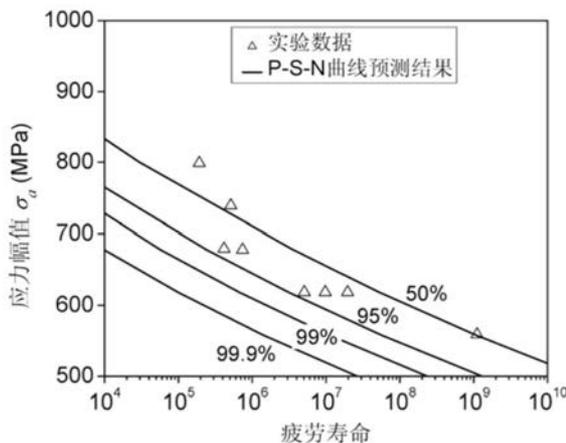
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54)发明名称

预测试样尺寸对疲劳寿命影响的方法

(57)摘要

本发明公开一种预测试样尺寸对疲劳寿命影响的方法,包括通过寿命与应力之间的函数关系,将不同应力水平下的疲劳寿命转化为同一应力水平下的寿命;对同一应力下的疲劳寿命进行统计分析,确定其最服从的概率分布形式;计算小试样和大试样的控制体积,确定大试样与小试样控制体积之比;大试样的疲劳寿命N<sup>L</sup>由同应力下小试样的疲劳寿命N的n次Monte Carlo模拟获得,即N<sup>L</sup>=min{N<sub>1</sub>,N<sub>2</sub>,...,N<sub>n</sub>};获得大试样在同一应力下多个疲劳寿命数据;获得大试样在不同应力下的疲劳寿命数据;对获得的大试样疲劳寿命数据进行统计分析,得出P-S-N曲线。有效克服大试样疲劳实验费时、费力的缺点。



1. 一种预测试样尺寸对疲劳寿命影响的方法,其特征在於,包括以下步骤:

步骤1,通过寿命与应力之间的函数关系,将不同应力水平下的疲劳寿命转化为同一应力水平下的寿命;

步骤2,对同一应力下的疲劳寿命进行统计分析,确定其最服从的概率分布形式;

步骤3,计算小试样和大试样的控制体积,确定大试样与小试样控制体积之比;

步骤4,大试样的疲劳寿命 $N^L$ 由同应力下小试样的疲劳寿命 $N$ 的 $n$ 次Monte Carlo模拟获得,即 $N^L = \min \{N_1, N_2, \dots, N_n\}$ ;其中, $n$ 为大试样与小试样的控制体积之比且 $n$ 取整数;

步骤5,重复步骤4,获得大试样在同一应力下多个疲劳寿命数据;

步骤6,重复步骤5,获得大试样在不同应力下的疲劳寿命数据;

步骤7,对获得的大试样疲劳寿命数据进行统计分析,得出P-S-N曲线。

2. 根据权利要求1所述的预测试样尺寸对疲劳寿命影响的方法,其特征在於,所述小试样和大试样的材质相同,均是金属材料;其中步骤1中,寿命与应力之间的函数为: $N(\sigma) = A_i \sigma^a$ ;

其中,寿命为 $N$ ,应力为 $\sigma$ , $A_i$ 为除应力之外的其他影响因素; $a$ 为常数,可通过最小二乘法获得。

3. 根据权利要求2所述的预测试样尺寸对疲劳寿命影响的方法,其特征在於,其中步骤2中,概率分布形式为正态分布或双参数Weibull分布。

4. 根据权利要求1所述的预测试样尺寸对疲劳寿命影响的方法,其特征在於,其中步骤3中,采用有限元计算得到小试样和大试样的控制体积。

5. 根据权利要求1-4任一所述的预测试样尺寸对疲劳寿命影响的方法,其特征在於,所述小试样和大试样的控制体积为疲劳裂纹可能萌生的区域,所述区域的所受应力为大于或等于最大应力的90%。

## 预测试样尺寸对疲劳寿命影响的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及疲劳寿命预测理论方法领域,尤其是一种预测试样尺寸对疲劳寿命影响的方法。

### 背景技术

[0002] 疲劳失效分析与寿命预测是工程结构完整性的关键力学问题之一。大量事实表明,大尺寸试样往往比相同加载条件下的小试样具有较低的疲劳寿命。疲劳实验耗时、费力,特别是大尺寸试样长寿命疲劳实验。因此,发展通过小试样的疲劳实验数据对大试样的疲劳寿命和P-S-N(失效概率-应力-寿命)曲线进行预测具有十分重要的应用价值。

### 发明内容

[0003] 本发明提供一种预测试样尺寸对疲劳寿命影响的方法,用于克服现有技术中的缺陷,方便、快捷获得不同尺寸试样的疲劳寿命。

[0004] 本发明提供一种预测试样尺寸对疲劳寿命影响的方法,包括以下步骤:

[0005] 步骤1,通过寿命与应力之间的函数关系,将不同应力水平下的疲劳寿命转化为同一应力水平下的寿命;

[0006] 步骤2,对同一应力下的疲劳寿命进行统计分析,确定其最服从的概率分布形式;

[0007] 步骤3,计算小试样和大试样的控制体积,确定大试样与小试样控制体积之比;

[0008] 步骤4,大试样的疲劳寿命 $N^L$ 由同应力下小试样的疲劳寿命 $N$ 的 $n$ 次Monte Carlo模拟获得,即 $N^L = \min \{N_1, N_2, \dots, N_n\}$ ;

[0009] 步骤5,重复步骤4,获得大试样在同一应力下多个疲劳寿命数据;

[0010] 步骤6,重复5,获得大试样在不同应力下的疲劳寿命数据;

[0011] 步骤7,对获得的大试样疲劳寿命数据进行统计分析,得出P-S-N曲线。

[0012] 本发明提供的预测试样尺寸对疲劳寿命影响的方法,能够通过少数小试样的疲劳实验数据获得大试样的疲劳寿命和P-S-N曲线结果,有效克服大试样(特别是大尺寸构件)疲劳实验高时间成本、高经费成本的缺点,特别是超高周范畴( $10^7$ 周次及以上寿命)的疲劳实验,为方便、快捷获得不同尺寸试样的疲劳寿命提供了方法。

### 附图说明

[0013] 图1a是本发明实施例提供的预测试样尺寸对疲劳寿命影响的方法中弹簧钢小试样的形状及尺寸示意图;

[0014] 图1b是本发明实施例提供的预测试样尺寸对疲劳寿命影响的方法中弹簧钢大试样的形状及尺寸示意图;

[0015] 图2是图1a中弹簧钢小试样S-N数据和P-S-N曲线预测结果示意图;

[0016] 图3是图2中弹簧钢大试样S-N数据与Monte Carlo预测结果比较示意图;

[0017] 图4是图2中弹簧钢大试样S-N数据与P-S-N曲线预测结果比较示意图。

## 具体实施方式

### [0018] 实施例

[0019] 本发明提供一种预测试样尺寸对疲劳寿命影响的方法,并选用已有文献中的一组小试样和大试样实验数据,表明本发明方法的一般性和有效性。主要包括以下步骤:

[0020] 步骤1,首先确定小试样的疲劳寿命概率分布函数,本实施例中对弹簧钢的大试样(参见图1b)和同材质的弹簧钢小试样(图1a)为例进行说明和具体实验,具体步骤如下:

[0021] 步骤11,通过寿命 $N$ 与应力 $\sigma$ 之间的函数 $N(\sigma)$ ,如 $N(\sigma) = A_i \sigma^a$  ( $A_i$ 为除应力之外其他因素的影响; $a$ 为常数,可通过最小二乘法获得),将不同应力水平下的疲劳寿命转化为同一应力水平下的寿命。寿命与应力之间的函数跟试样的材质有直接关系,可根据具体的材质,通过试验及理论计算获得寿命与应力之间的函数关系。

[0022] 作为实际应用的例子,选取文献中一种弹簧钢小试样(参见图1a)及其寿命与应力的试验数据(参见图2中的方块■),寿命与应力关联的函数取为: $N(\sigma) = A_i \sigma^a$ 则任意应力水平 $\sigma_k$  ( $k=1, 2, \dots, n$ )下的寿命 $N_k$ 均可转化为某一给定应力 $\sigma'$ 下的寿命,即

$$[0023] \quad N'_k = \frac{\sigma'^a}{\sigma_k^a} N_k \text{ 或 } \log_{10} N'_k = a \log_{10} \frac{\sigma'}{\sigma_k} + \log_{10} N_k \quad (k = 1, 2, \dots, n)$$

[0024] 通过最小二乘法得到 $a = -30.11$ ;

[0025] 通过该步骤将任意应力下的寿命转换为任意的同一应力下的寿命数据;

[0026] 若同一应力下已有多个疲劳寿命数据供统计分析,则不需要此步骤,直接对上述某一给定应力下的多个疲劳寿命数据进行统计分析,确定这些数据最服从的概率分布形式;如果在对小试样进行试验时,选择同一应力(例如800MPa)下进行,可以通过上述步骤11获得其他同一应力(例如700MPa)下的疲劳寿命数据。

[0027] 步骤12,根据转化后的某一给定应力 $\sigma'$ 下的疲劳寿命选择一种概率分布形式,如正态分布形式或Weibull分布形式;

[0028] 本实施例中对弹簧钢小试样在同一应力下的对数疲劳寿命服从双参数Weibull分布时的P-S-N曲线进行预测,参见图2,其中包含概率分别是50%、95%、99%及99.9%的P-S-N曲线,其中方块(■)是对弹簧钢小试样进行的疲劳寿命实验数据,通过比较可以看出:实验数据基本分布在概率50%的P-S-N预测曲线周围;

[0029] 步骤2,计算弹簧钢小试样和弹簧钢大试样的控制体积(这里是指疲劳裂纹可能萌生的高应力区域,通常取应力 $\geq 90\%$ 最大应力的区域,也可以根据预测要求取不同的值),确定大试样与小试样控制体积之比: $n = V_L / V_S$  ( $n$ 取整数);弹簧钢大试样的示意图参见图1b,采用有限元计算得到弹簧钢小试样的控制体积为 $V_S = 33\text{mm}^3$ ,大试样的控制体积为 $V_L = 912\text{mm}^3$ ,求出控制体积之比 $n = V_L / V_S = 28$ ;如果试样的形状规则,还可采用理论计算方法求出控制体积;无论试样的形状如何,均可采用有限元计算方法求出控制体积,适用范围广。

[0030] 步骤3,由弹簧钢小试样的疲劳寿命数据,获得不同应力下弹簧钢大试样的疲劳寿命数据,对其进行统计分析获得P-S-N曲线;

[0031] 步骤31,弹簧钢大试样的疲劳寿命 $N^L$ 由同应力下弹簧钢小试样的疲劳寿命 $N$ 的 $n$ 次Monte Carlo模拟获得,即 $N^L = \min \{N_1, N_2, \dots, N_n\}$ ;

[0032] 步骤32,重复步骤31,获得弹簧钢大试样在同一应力下多个疲劳寿命数据;图3给出了采用弹簧钢小试样实验数据和Monte Carlo模拟对弹簧钢大试样( $V_L=912\text{mm}^3$ ) S-N数据的预测结果与实验结果比较示意图;其中方块(■)是弹簧钢小试样的疲劳寿命实验数据,三角( $\Delta$ )是弹簧钢大试样的疲劳寿命实验数据,叉号( $\times$ )是弹簧钢大试样疲劳寿命的预测数据;经比较可见预测结果与实验结果吻合。

[0033] 步骤33,重复步骤32,获得弹簧钢大试样在不同应力下的疲劳寿命数据;

[0034] 步骤34,对获得的大试样疲劳寿命数据进行统计分析,得出P-S-N曲线预测结果,其中包含概率分别是50%、95%、99%及99.9%的P-S-N曲线,其中三角( $\Delta$ )是弹簧钢大试样的疲劳寿命的实验数据。经比较可以看出,实验数据分布在概率50%的P-S-N曲线周围。

[0035] 上述方法,其中大试样和小试样需要同种材质。(注:所选用的小试样和大试样实验数据引自“Furuya,Y.Notable size effects on very high cycle fatigue properties of high-strength steel.Mater.Sci.Eng.A,2011,528:5234-5240.”)。

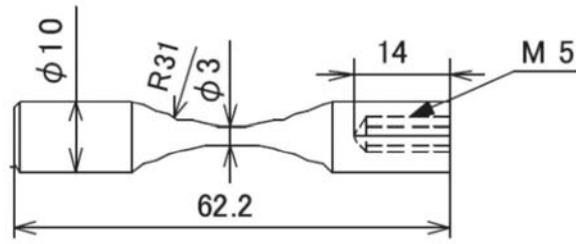


图1a

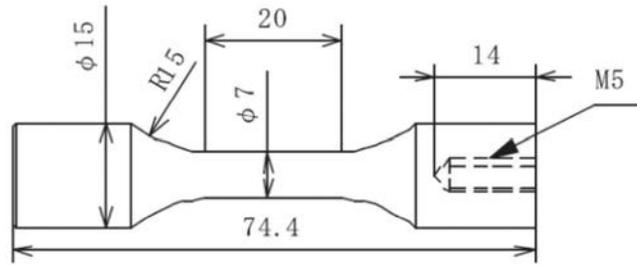


图1b

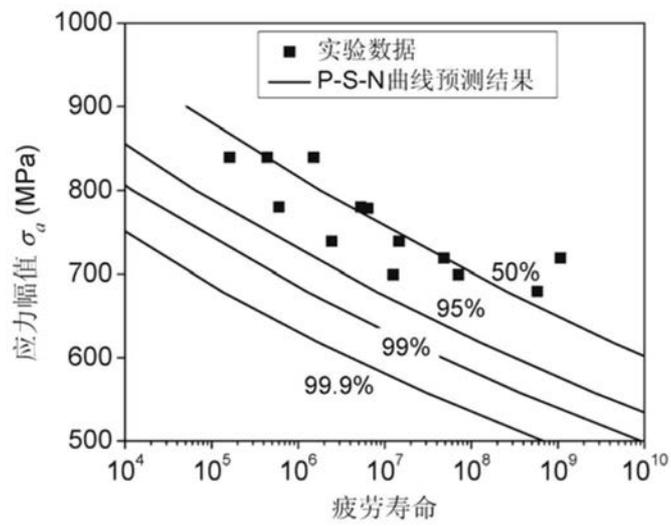


图2

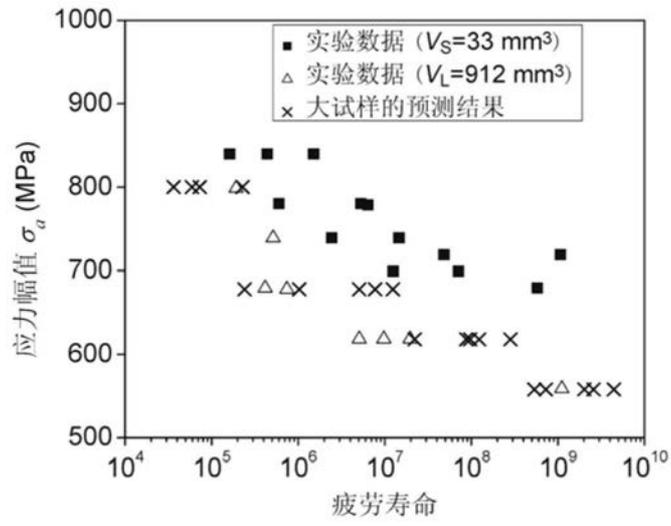


图3

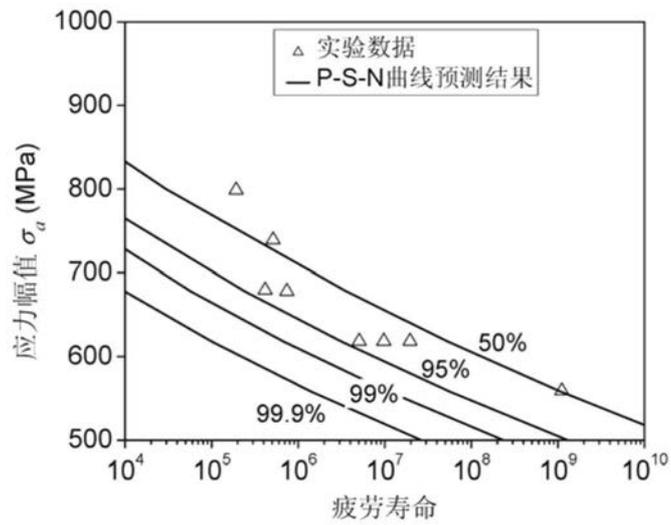


图4