



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114117826 B

(45) 授权公告日 2022.04.29

(21) 申请号 202210068797.3

(22) 申请日 2022.01.21

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114117826 A

(43) 申请公布日 2022.03.01

(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 张坤 胡铮 王志涛 魏炳忱
张万昊 张国洪 戴国文 许成法
韩明 金孔杰

(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 焦海峰

(51) Int.Cl.
G06F 30/20 (2020.01)
G06F 119/04 (2020.01)
G06F 119/14 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 111289555 A, 2020.06.16
CN 112504594 A, 2021.03.16
CN 111931393 A, 2020.11.13
CN 113268939 A, 2021.08.17
CN 104634676 A, 2015.05.20
WO 2021227925 A1, 2021.11.18
US 2019087518 A1, 2019.03.21
梁益龙 等. 磨损加疲劳载荷下的协同疲劳行为.《摩擦学学报》.2015, 第35卷(第1期), 第59-65页.

李杰 等. 高能摩擦副齿部啮合非线性冲击损伤新算法及疲劳寿命预测.《中国公路学报》.2020, 第33卷(第8期),

Keyan Ning 等. Impacting load control of floating supported friction plate and its experimental verification.《Journal of Physics Conference Series》.2017, (续)

审查员 龚秒

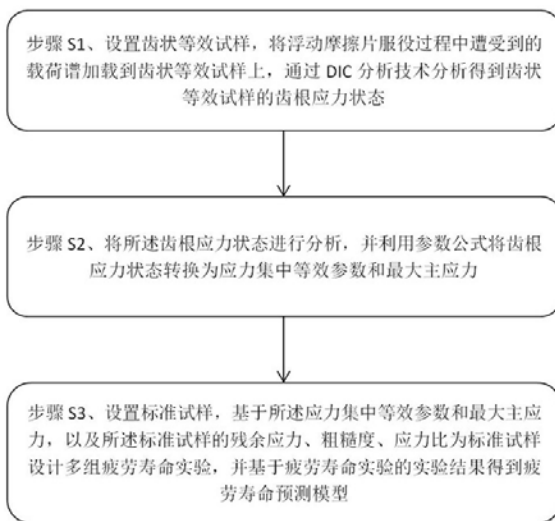
权利要求书3页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

一种针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法及装置

(57) 摘要

本发明公开了一种针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法及装置,包括以下步骤:步骤S1、设置齿状等效试样,将浮动摩擦片服役过程中遭受到的载荷谱加载到齿状等效试样上,通过DIC分析技术分析得到齿状等效试样的齿根应力状态;步骤S2、将所述齿根应力状态进行分析,并利用参数公式将齿根应力状态转换为应力集中等效参数和最大主应力;步骤S3、设置标准试样,设计多组疲劳寿命实验,并基于疲劳寿命实验的实验结果得到疲劳寿命预测模型。本发明通过齿状等效试样的实验,保证了预测结果的准确性,通过标准试样的实验,保证了实验方法的简便性,做到了准确性与简便性的统一。



CN 114117826 B

[接上页]

(56) 对比文件

王玉 等. 摩擦片非线性损伤累积计算与寿命预测(英文).《机床与液压》.2017,第45卷(第18期),

Zhuo Fu 等.Establishment and Verification of Multiaxis Fatigue Life Prediction Model.《Hindawi》.2021,

1. 一种针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤S1、设置齿状等效试样,将浮动摩擦片服役过程中遭受到的载荷谱加载到齿状等效试样上,通过DIC分析技术分析得到齿状等效试样的齿根应力状态,所述载荷谱由所述浮动摩擦片在服役过程中采集得到,所述齿状等效试样表征与浮动摩擦片具有等效齿状结构的试样,并用于等效获得浮动摩擦片的齿根应力状态;

所述将浮动摩擦片服役过程中遭受到的载荷谱加载到齿状等效试样上,通过DIC分析技术分析得到齿状等效试样的齿根应力状态,包括:

将所述载荷谱作为输入载荷,对齿状等效试样开展疲劳寿命实验,依托摄像机对疲劳寿命实验全过程进行监测;

通过DIC分析技术分析疲劳寿命实验的实验结果得到所述齿状等效试样的齿根应力状态;

步骤S2、将所述齿根应力状态进行分析,并利用参数公式将齿根应力状态转换为应力集中等效参数和最大主应力;

所述将所述齿根应力状态进行分析,并利用参数公式将齿根应力状态转换为应力集中等效参数和最大主应力,包括:

考量残余应力的影响,将所述齿根应力状态依托第一参数公式得到齿根处的等效应力水平、应力集中等效参数和最大主应力,所述第一参数公式为:

$$\begin{cases} \sigma_{\text{eff}} = \int_0^{r_0} [\sigma_{\text{appl}}(r) + \sigma_{\text{res}}(r)] dr \\ \sigma_{\text{appl}}(r) = K_t \sigma_0 \\ K_t \approx 1 + 2 \cdot \frac{a}{b} \end{cases};$$

式中, σ_{appl} 表征最大主应力, K_t 为应力集中等效参数, σ_{eff} 表征等效应力水平, r_0 表征残余应力影响区深度, a 表征齿根近似的椭圆形结构的长轴长, b 表征齿根近似的椭圆形结构的短轴长, σ_0 表征载荷谱中施加在齿根处的外载荷, r 表征残余应力影响区深度的积分变量, σ_{res} 表征残余应力;

在整个疲劳寿命实验的时间段内,依托基于韦伯概率分布的第二参数公式得到基于等效应力水平的最大估计应力,所述第二参数公式为:

$$\sigma_m = (1 + P) \sigma_{\text{eff}};$$

式中, σ_m 表征最大估计应力, P 表征概率密度;

考虑表面粗糙度影响,通过第三参数公式基于所述最大估计应力得到预测试样的最终应力水平,所述第三参数公式为:

$$\sigma_{\text{预测试样}} = \sigma_m + \chi Ra;$$

式中, $\sigma_{\text{预测试样}}$ 表征预测试样的最终应力水平, χ 表征第一修正系数, Ra 表征粗糙度,所述预测试样表征待预测疲劳寿命的试样;

步骤S3、设置标准试样,基于所述应力集中等效参数和最大主应力,以及所述标准试样的残余应力、粗糙度、应力比为标准试样设计多组疲劳寿命实验,并基于疲劳寿命实验的实验结果得到疲劳寿命预测模型,所述标准试样用于等效获得应力集中等效参数、最大主应

力、残余应力和粗糙度对浮动摩擦片疲劳特性的影响。

2. 根据权利要求1所述的一种针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法,其特征在於:所述基于疲劳寿命实验的实验结果得到疲劳寿命预测模型,包括:

通过改变所述应力集中等效参数和最大主应力,以及结合所述残余应力、粗糙度、应力比的值对标准试样进行多组的疲劳寿命实验;

通过分析多组的疲劳寿命实验的实验结果对所述应力集中等效参数和最大主应力,以及所述残余应力、粗糙度、应力比的参数影响进行评估,基于评估结果反推算出浮动摩擦片的疲劳寿命预测模型,所述疲劳寿命预测模型的函数表达式为:

$$\frac{N_{\text{标准试样}}}{N_{\text{预测试样}}} = 1 - \frac{1}{\mu} \left(\frac{\sigma_{\text{标准试样}} - \sigma_{\text{预测试样}}}{\sigma_{\text{预测试样}}} \right) - \left(\frac{1 + \mu}{2\mu^2} \right) \left(\frac{\sigma_{\text{标准试样}} - \sigma_{\text{预测试样}}}{\sigma_{\text{预测试样}}} \right)^2;$$

式中, $N_{\text{标准试样}}$ 表征标准试样的疲劳寿命, $N_{\text{预测试样}}$ 表征预测试样的疲劳寿命, $\sigma_{\text{标准试样}}$ 表征标准试样的最终应力水平, $\sigma_{\text{预测试样}}$ 表征预测试样的最终应力水平, μ 表征第二修正参数。

3. 根据权利要求2所述的一种针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法,其特征在於:在利用所述疲劳寿命预测模型对遭受固定载荷谱的多个浮动摩擦片进行疲劳寿命的预测时,仅利用与对应的浮动摩擦片具有等效齿状结构的齿状等效试样进行疲劳寿命实验即可,所述多个浮动摩擦片具有固定形状且具有不同的残余应力和不同的粗糙度,包括:

选取多组具有固定形状且具有不同的残余应力和不同的粗糙度的浮动摩擦片,并为多组所述浮动摩擦片对应设置多组齿状等效试样;

分别对多组齿状等效试样进行疲劳寿命实验分析得到实验结果,以及对选定的标准试样进行疲劳寿命实验分析得到实验结果,并基于粗糙度和残余应力构建出多组浮动摩擦片中表征 $N_{\text{标准试样}}$ 和 $\sigma_{\text{标准试样}}$ 的非线性映射关系的多组疲劳寿命曲线,所述疲劳寿命曲线的函数表达式标记为 $\sigma_{\text{标准试样},i} = F(N_{\text{标准试样},i}, Ra_i, \sigma_{\text{res},i})$, 式中, $\sigma_{\text{标准试样},i}$ 表征第 i 组浮动摩擦片对应的标准试样的最终应力水平, $N_{\text{标准试样},i}$ 表征第 i 组浮动摩擦片对应的标准试样的疲劳寿命, F 表征所述非线性映射关系的函数体, Ra_i 表征第 i 组浮动摩擦片的粗糙度, $\sigma_{\text{res},i}$ 表征第 i 组浮动摩擦片的残余应力, i 为计量常数;

基于疲劳寿命预测模型在疲劳寿命曲线中求得多组齿状等效试样的疲劳寿命,所述多组齿状等效试样的疲劳寿命的计算公式为:

$$\frac{N_{\text{标准试样},i}}{N_{\text{预测试样},i}} = 1 - \frac{1}{\mu} \left(\frac{\sigma_{\text{标准试样},i} - \sigma_{\text{预测试样},i}}{\sigma_{\text{预测试样},i}} \right) - \left(\frac{1 + \mu}{2\mu^2} \right) \left(\frac{\sigma_{\text{标准试样},i} - \sigma_{\text{预测试样},i}}{\sigma_{\text{预测试样},i}} \right)^2;$$

式中, $N_{\text{预测试样},i}$ 表征第 i 组浮动摩擦片对应的齿状等效试样的疲劳寿命, $\sigma_{\text{标准试样},i}$ 表征第 i 组浮动摩擦片对应的齿状等效试样的最终应力水平;

将多组齿状等效试样的疲劳寿命等价作为多组浮动摩擦片的疲劳寿命,以实现浮动摩擦片的疲劳寿命预测。

4. 根据权利要求3所述的一种针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法,其特征在於:所述多组齿状等效试样的实验结果和标准试样的实验结果在进行疲劳寿命预测模型运算时需要进行归一化处理。

5. 根据权利要求4所述的一种针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法,其特征在于:所述对所述浮动摩擦片进行疲劳寿命实验也可实现对所述疲劳寿命预测模型进行验证。

6. 一种根据权利要求1-5任一项所述的针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法的预测装置,其特征在于,包括:

齿状等效试样实验模块(1),用于对齿状等效试样进行疲劳寿命实验及分析;

标准试样实验模块(2),用于对标准试样进行疲劳寿命实验及分析;

模型构建及验证模块(3),用于构建疲劳寿命预测模型及验证。

7. 根据权利要求6所述的预测装置,其特征在于,所述齿状等效试样实验模块、标准试样实验模块和模型构建及验证模块中均集成有通讯模块和数据存储模块,所述通讯模块用于在所述齿状等效试样实验模块、标准试样实验模块和模型构建及验证模块中进行数据交互,所述数据存储模块用于在所述齿状等效试样实验模块、标准试样实验模块和模型构建及验证模块中进行数据存储。

8. 根据权利要求7所述的预测装置,其特征在于,所述齿状等效试样与浮动摩擦片采用同种制作材料。

一种针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及浮动摩擦片寿命预测技术领域,具体涉及一种针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法及装置。

背景技术

[0002] 对于浮动摩擦片的疲劳寿命预测是相关工程产品在服役中保持结构完整性、可靠性、稳定性关键技术之一。经典断裂疲劳理论和大量疲劳实验表明,浮动摩擦片的齿根位置由于应力集中,是裂纹萌生的主要区域。结合理论分析与浮动摩擦片的实际应用,要想对浮动摩擦片的疲劳寿命进行精确的预测,至少需要考虑以下几个因素:应力集中等效参数、最大主应力、残余应力、粗糙度、应力比、齿根的应力状态等。其中特别需要指出的是齿根的应力状态,经典断裂疲劳理论和大量疲劳实验表明,浮动摩擦片的齿根位置由于应力集中,是裂纹萌生的主要区域,因而,准确量化这一因素的影响对浮动摩擦片的疲劳寿命的精准预测至关重要。

[0003] 当前并不具备方便的进行浮动摩擦片的疲劳寿命实验的设备,若考虑前文提到的多种因素,强行对其进行直接的多种类型的疲劳寿命实验,还会耗费大量的人力、物力和财力。而直接利用标准试样进行材料级别的实验,又无法考虑齿根的应力状态,导致预测结果不准。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法及装置,以解决现有技术中强行对其进行直接的多种类型的疲劳寿命实验,还会耗费大量的人力、物力和财力,而直接利用标准试样进行材料级别的实验,又无法考虑齿根的应力状态,导致预测结果不准的技术问题。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明具体提供下述技术方案:

[0006] 一种针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤S1、设置齿状等效试样,将浮动摩擦片服役过程中遭受到的载荷谱加载到齿状等效试样上,通过DIC分析技术分析得到齿状等效试样的齿根应力状态,所述载荷谱由所述浮动摩擦片在服役过程中采集得到,所述齿状等效试样表征与浮动摩擦片具有等效齿状结构的试样,并用于等效获得浮动摩擦片的齿根应力状态;

[0008] 步骤S2、将所述齿根应力状态进行分析,并利用参数公式将齿根应力状态转换为应力集中等效参数和最大主应力;

[0009] 步骤S3、设置标准试样,基于所述应力集中等效参数和最大主应力,以及所述标准试样的残余应力、粗糙度、应力比为标准试样设计多组疲劳寿命实验,并基于疲劳寿命实验的实验结果得到疲劳寿命预测模型,所述标准试样用于等效获得应力集中等效参数、最大主应力、残余应力和粗糙度对浮动摩擦片疲劳特性的影响。

[0010] 作为本发明的一种优选方案,所述将浮动摩擦片服役过程中遭受到的载荷谱加载

到齿状等效试样上,通过DIC分析技术分析得到齿状等效试样的齿根应力状态,包括:

[0011] 将所述载荷谱作为输入载荷,对齿状等效试样开展疲劳寿命实验,依托摄像机对疲劳寿命实验全过程进行监测;

[0012] 通过DIC分析技术分析疲劳寿命实验的实验结果得到所述齿状等效试样的齿根应力状态。

[0013] 作为本发明的一种优选方案,所述将所述齿根应力状态进行分析,并利用参数公式将齿根应力状态转换为应力集中等效参数和最大主应力,包括:

[0014] 考量残余应力的影响,将所述齿根应力状态依托第一参数公式得到齿根处的等效应力水平、应力集中等效参数和最大主应力,所述第一参数公式为:

$$[0015] \quad \begin{cases} \sigma_{\text{eff}} = \int_0^{r_0} [\sigma_{\text{appl}}(r) + \sigma_{\text{res}}(r)] dr \\ \sigma_{\text{appl}}(r) = K_t \sigma_0 \\ K_t \approx 1 + 2 \cdot \frac{a}{b} \end{cases};$$

[0016] 式中, σ_{appl} 表征最大主应力, K_t 为应力集中等效参数, σ_{eff} 表征等效应力水平, r_0 表征残余应力影响区深度,a表征齿根近似的椭圆形结构的长轴长,b表征齿根近似的椭圆形结构的短轴长, σ_0 表征载荷谱中施加在齿根处的外载荷, r 表征残余应力影响区深度的积分变量, σ_{res} 表征残余应力;

[0017] 在整个疲劳寿命实验的时间段内,依托基于韦伯概率分布的第二参数公式得到基于等效应力水平的最大估计应力,所述第二参数公式为:

$$[0018] \quad \sigma_m = (1 + P) \sigma_{\text{eff}};$$

[0019] 式中, σ_m 表征最大估计应力,P表征概率密度;

[0020] 考虑表面粗糙度影响,通过第三参数公式基于所述最大估计应力得到用于预测试样的最终应力水平,所述第三参数公式为:

$$[0021] \quad \sigma_{\text{预测试样}} = \sigma_m + \chi Ra;$$

[0022] 式中, $\sigma_{\text{预测试样}}$ 表征预测试样的最终应力水平, χ 表征第一修正系数,Ra表征粗糙度,所述预测试样表征待预测疲劳寿命的试样。

[0023] 作为本发明的一种优选方案,所述基于疲劳寿命实验的实验结果得到疲劳寿命预测模型,包括:

[0024] 通过改变所述应力集中等效参数和最大主应力,以及集合所述残余应力、粗糙度、应力比的值对标准试样进行多组的疲劳寿命实验;

[0025] 通过分析多组的疲劳寿命实验的实验结果对所述应力集中等效参数和最大主应力,以及所述残余应力、粗糙度、应力比的参数影响进行评估,基于评估结果反推算出浮动摩擦片的疲劳寿命预测模型,所述疲劳寿命预测模型的函数表达式为:

$$[0026] \quad \frac{N_{\text{标准试样}}}{N_{\text{预测试样}}} = 1 - \frac{1}{\mu} \left(\frac{\sigma_{\text{标准试样}} - \sigma_{\text{预测试样}}}{\sigma_{\text{预测试样}}} \right) - \left(\frac{1 + \mu}{2\mu^2} \right) \left(\frac{\sigma_{\text{标准试样}} - \sigma_{\text{预测试样}}}{\sigma_{\text{预测试样}}} \right)^2;$$

[0027] 式中, $N_{\text{标准试样}}$ 表征标准试样的疲劳寿命, $N_{\text{预测试样}}$ 表征预测试样的疲劳寿命, $\sigma_{\text{预测试样}}$ 表

征标准试样的最终应力水平, $\sigma_{\text{标准试样}}$ 表征预测试样的最终应力水平, μ 表征第二修正参数。

[0028] 作为本发明的一种优选方案, 在利用所述疲劳寿命预测模型对遭受固定载荷谱的多个浮动摩擦片进行疲劳寿命的预测时, 仅利用与对应的浮动摩擦片具有等效齿状结构的齿状等效试样进行疲劳寿命实验即可, 所述多个浮动摩擦片具有固定形状且具有不同的残余应力和不同的粗糙度, 包括:

[0029] 选取多组具有固定形状且具有不同的残余应力和不同的粗糙度的浮动摩擦片, 并为多组所述浮动摩擦片对应设置多组齿状等效试样;

[0030] 分别对多组齿状等效试样进行疲劳寿命实验分析得到实验结果, 以及对选定的标准试样进行疲劳寿命实验分析得到实验结果, 并基于粗糙度和残余应力构建出多组浮动摩擦片中表征 $N_{\text{标准试样}}$ 和 $\sigma_{\text{标准试样}}$ 的非线性映射关系的多组疲劳寿命曲线, 所述疲劳寿命曲线的函数表达式标记为 $\sigma_{\text{标准试样},i} = F(N_{\text{标准试样},i}, Ra_i, \sigma_{\text{res},i})$, 式中, $\sigma_{\text{标准试样},i}$ 表征第 i 组浮动摩擦片对应的标准试样的最终应力水平, $N_{\text{预测试样},i}$ 表征第 i 组浮动摩擦片对应的标准试样的疲劳寿命, F 表征所述非线性映射关系的函数体, Ra_i 表征第 i 组浮动摩擦片的粗糙度, $\sigma_{\text{res},i}$ 表征第 i 组浮动摩擦片的残余应力, i 为计量常数;

[0031] 基于疲劳寿命预测模型在疲劳寿命曲线中求得多组齿状等效试样的疲劳寿命, 所述多组齿状等效试样的疲劳寿命的计算公式为:

$$[0032] \quad \frac{N_{\text{标准试样},i}}{N_{\text{预测试样},i}} = 1 - \frac{1}{\mu} \left(\frac{\sigma_{\text{标准试样},i} - \sigma_{\text{预测试样},i}}{\sigma_{\text{预测试样},i}} \right) - \left(\frac{1 + \mu}{2\mu^2} \right) \left(\frac{\sigma_{\text{标准试样},i} - \sigma_{\text{预测试样},i}}{\sigma_{\text{预测试样},i}} \right)^2;$$

[0033] 式中, $N_{\text{预测试样},i}$ 表征第 i 组浮动摩擦片对应的齿状等效试样的疲劳寿命, $\sigma_{\text{标准试样},i}$ 表征第 i 组浮动摩擦片对应的齿状等效试样的最终应力水平;

[0034] 将多组齿状等效试样的疲劳寿命等价作为多组浮动摩擦片的疲劳寿命, 以实现浮动摩擦片的疲劳寿命预测。

[0035] 作为本发明的一种优选方案, 所述多组齿状等效试样的实验结果和标准试样的实验结果在进行疲劳寿命预测模型运算时需要进行归一化处理。

[0036] 作为本发明的一种优选方案, 所述对所述浮动摩擦片进行疲劳寿命实验也可实现对所述疲劳寿命预测模型进行验证。

[0037] 作为本发明的一种优选方案, 本发明提供了一种根据所述的针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法的预测装置, 包括:

[0038] 齿状等效试样实验模块, 用于对齿状等效试样进行疲劳寿命实验及分析;

[0039] 标准试样实验模块, 用于对标准试样进行疲劳寿命实验及分析;

[0040] 模型构建及验证模块, 用于构建疲劳寿命预测模型及验证。

[0041] 作为本发明的一种优选方案, 所述齿状等效试样实验模块、标准试样实验模块和模型构建及验证模块中均集成有通讯模块和数据存储模块, 所述通讯模块用于在所述齿状等效试样实验模块、标准试样实验模块和模型构建及验证模块中进行数据交互, 所述数据存储模块用于在所述齿状等效试样实验模块、标准试样实验模块和模型构建及验证模块中进行数据存储。

[0042] 作为本发明的一种优选方案,所述齿状等效试样与浮动摩擦片采用同种制作材料。

[0043] 本发明与现有技术相比较具有如下有益效果:

[0044] 本发明通过齿状等效试样的实验获得应力集中等效参数、最大主应力、残余应力、粗糙度,保证了预测结果的准确性,通过标准试样的实验获得了齿根的应力状态,保证了实验方法的简便性,做到了准确性与简便性的统一,最终形成了一套浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法及模型,模型在应用上还具有很好的广泛适应性。

附图说明

[0045] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图引伸获得其它的实施附图。

[0046] 图1为本发明实施例提供的针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法流程图;

[0047] 图2为本发明实施例提供的等效应力水平示意图;

[0048] 图3(1)为本发明实施例提供的基于粗糙度的标准试样疲劳寿命曲线示意图;

[0049] 图3(2)为本发明实施例提供的基于残余应力的标准试样疲劳寿命曲线示意图

[0050] 图4为本发明实施例提供的预测装置结构框图;

[0051] 图5为本发明实施例提供的实验件模型结构示意图。

[0052] 图中的标号分别表示如下:

[0053] 1-齿状等效试样实验模块;2-标准试样实验模块;3-模型构建及验证模块。

具体实施方式

[0054] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0055] 如图1所示,浮动摩擦片的寿命预测需要考虑多种因素,其中必不可少的包含上文中提到的应力集中等效参数、最大主应力、残余应力、粗糙度、应力比、齿根的应力状态等。在本发明提出的方法中,将参数主要分为三类。第一类参数为结构相关参数,如齿根的应力状态,第二类参数为材料相关参数,如应力集中等效参数、最大主应力、残余应力、粗糙度,第三类参数为可通过公式转化的参数如应力比等,若考虑前文提到的多种因素,强行对其进行直接的多种类型的疲劳寿命实验,还会耗费大量的人力、物力和财力。而直接利用标准试样进行材料级别的实验,又无法考虑齿根的应力状态,导致预测结果不准,因此本发明提供了一种针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法,通过齿状等效试样的实验获得第二类参数,保证了预测结果的准确性,通过标准试样的实验获得了第一类参数,保证了实验方法的简便性,做到了准确性与简便性的统一。

[0056] 一种针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法,包括以下步骤:

[0057] 步骤S1、设置齿状等效试样,将浮动摩擦片服役过程中遭受到的载荷谱加载到齿

状等效试样上,通过DIC分析技术分析得到齿状等效试样的齿根应力状态,DIC分析技术即数字图像相关分析技术,所述载荷谱由所述浮动摩擦片在服役过程中采集得到,所述齿状等效试样表征与浮动摩擦片具有等效齿状结构的试样,并用于等效获得浮动摩擦片的齿根应力状态;

[0058] 所述将浮动摩擦片服役过程中遭受到的载荷谱加载到齿状等效试样上,通过DIC分析技术分析得到齿状等效试样的齿根应力状态,包括:

[0059] 将所述载荷谱作为输入载荷,对齿状等效试样开展疲劳寿命实验,依托摄像机对疲劳寿命实验全过程进行监测;

[0060] 通过DIC分析技术分析疲劳寿命实验的实验结果得到所述齿状等效试样的齿根应力状态。

[0061] 步骤S1的操作主要对象为一个齿状等效试样,这也是本实施例有别于传统方法的一个重要特点。传统的方法主要为用材料的疲劳力学特性预测结构的疲劳性能,有一些还会结合上有限元的方法。本方法考虑了传统方法中忽视的齿根的应力状态这一重要因素。第一步中的输入为浮动摩擦片遭受的载荷谱,载荷谱是在浮动摩擦片服役过程中采集到的。将该载荷谱作为输入载荷,对齿状等效试样开展疲劳寿命实验,依托摄像机对实验全过程进行监测,通过对DIC结果的分析,可以得到齿状等效试样的齿根应力状态,即第一类参数。

[0062] 步骤S2、将所述齿根应力状态进行分析,并利用参数公式将齿根应力状态转换为应力集中等效参数和最大主应力,即为第二类参数;

[0063] 步骤S2的操作作为一个分析过程,主要的目的为将所有的参数统一到第二类参数进行表征。具体包括两个方面:第一个方面为将齿根的应力状态依托第一参数公式基于图2在考虑残余应力的影响下得到齿根处的等效应力水平,其中 r_0 是残余应力影响区深度,齿根近似为椭圆形结构(a为长轴长,b为短轴长), K_t 为应力集中系数, σ_0 为施加的外载荷。

[0064] 所述将所述齿根应力状态进行分析,并利用参数公式将齿根应力状态转换为应力集中等效参数和最大主应力,包括:

[0065] 考量残余应力的影响,将所述齿根应力状态依托第一参数公式得到齿根处的等效应力水平、应力集中等效参数和最大主应力,所述第一参数公式为:

$$[0066] \begin{cases} \sigma_{\text{eff}} = \int_0^{r_0} [\sigma_{\text{appl}}(r) + \sigma_{\text{res}}(r)] dr \\ \sigma_{\text{appl}}(r) = K_t \sigma_0 \\ K_t \approx 1 + 2 \cdot \frac{a}{b} \end{cases} ;$$

[0067] 式中, σ_{appl} 表征最大主应力, K_t 为应力集中等效参数, σ_{eff} 表征等效应力水平, r_0 表征残余应力影响区深度,a表征齿根近似的椭圆形结构的长轴长,b表征齿根近似的椭圆形结构的短轴长, σ_0 表征载荷谱中施加在齿根处的外载荷, r 表征残余应力影响区深度的积分变量, σ_{res} 表征残余应力;

[0068] 在整个疲劳寿命实验的时间段内,依托基于韦伯概率分布的第二参数公式得到基于等效应力水平的最大估计应力,所述第二参数公式为:

[0069] $\sigma_m = (1+P)\sigma_{\text{eff}}$;

[0070] 式中, σ_m 表征最大估计应力, P 表征概率密度;

[0071] 考虑表面粗糙度影响, 通过第三参数公式基于所述最大估计应力得到用于预测试样的最终应力水平, 所述第三参数公式为:

[0072] $\sigma_{\text{预测试样}} = \sigma_m + \chi Ra$;

[0073] 式中, $\sigma_{\text{预测试样}}$ 表征预测试样的最终应力水平, χ 表征第一修正系数, Ra 表征粗糙度, 所述预测试样表征待预测疲劳寿命的试样。

[0074] 步骤S3、设置标准试样, 标准试样选取标准无具体要求, 一般只要满足疲劳实验的实验要求即可, 如实验机无法给出具体尺寸要求, 推荐采用GB/T 15248-2008中6.1.3 板材试样, 基于所述应力集中等效参数和最大主应力, 以及所述标准试样的残余应力、粗糙度、应力比为标准试样设计多组疲劳寿命实验, 并基于疲劳寿命实验的实验结果得到疲劳寿命预测模型, 所述标准试样用于等效获得应力集中等效参数、最大主应力、残余应力和粗糙度对浮动摩擦片疲劳特性的影响。

[0075] 步骤S3的操作主要对象为标准试样。通过上述步骤S2的操作, 将第一类参数和第三类参数都转化到了第二类参数中进行表征。通过改变这些第二类参数的值并对标准试样进行一系列的疲劳实验, 通过分析得到的一系列数据, 进而可以评估上述不同参数的影响, 进而可以反推出浮动摩擦片的疲劳寿命预测模型。利用本实施例提到的步骤S1至S3中的实验和分析, 结合疲劳寿命预测模型, 可以对遭受固定载荷谱的固定形状的各种不同的残余应力和不同的粗糙度的浮动摩擦片的疲劳寿命进行预测。通过对一个完整的浮动摩擦片进行实验也可以对本疲劳寿命预测模型进行验证。

[0076] 所述基于疲劳寿命实验的实验结果得到疲劳寿命预测模型, 包括:

[0077] 通过改变所述应力集中等效参数和最大主应力, 以及结合所述残余应力、粗糙度、应力比的值对标准试样进行多组的疲劳寿命实验;

[0078] 通过分析多组的疲劳寿命实验的实验结果对所述应力集中等效参数和最大主应力, 以及所述残余应力、粗糙度、应力比的参数影响进行评估, 基于评估结果反推算出浮动摩擦片的疲劳寿命预测模型, 所述疲劳寿命预测模型的函数表达式为:

[0079]
$$\frac{N_{\text{标准试样}}}{N_{\text{预测试样}}} = 1 - \frac{1}{\mu} \left(\frac{\sigma_{\text{标准试样}} - \sigma_{\text{预测试样}}}{\sigma_{\text{预测试样}}} \right) - \left(\frac{1+\mu}{2\mu^2} \right) \left(\frac{\sigma_{\text{标准试样}} - \sigma_{\text{预测试样}}}{\sigma_{\text{预测试样}}} \right)^2$$
;

[0080] 式中, $N_{\text{标准试样}}$ 表征标准试样的疲劳寿命, $N_{\text{预测试样}}$ 表征预测试样的疲劳寿命, $\sigma_{\text{标准试样}}$ 表征标准试样的最终应力水平, $\sigma_{\text{预测试样}}$ 表征预测试样的最终应力水平, μ 表征第二修正参数。

[0081] 本实施例提到的模型在应用上还具有很好的广泛适应性。在本模型的应用中, 基于已有数据, 如想对材质相同的其他载荷谱或其他形状的另一浮动摩擦片进行疲劳寿命预测, 只需利用该种浮动摩擦片的等效齿状结构进行实验即可, 而无需再进行标准试样的实验即可得到对应的疲劳寿命预测模型。

[0082] 在利用所述疲劳寿命预测模型对遭受固定载荷谱的多个浮动摩擦片进行疲劳寿命的预测时, 仅利用与对应的浮动摩擦片的等效齿状结构的齿状等效试样进行疲劳寿命实验即可, 所述多个浮动摩擦片具有固定形状且具有不同的残余应力和不同的粗糙度, 包括:

[0083] 选取多组具有固定形状且具有不同的残余应力和不同的粗糙度的浮动摩擦片,并为多组所述浮动摩擦片对应设置多组齿状等效试样;

[0084] 如图3(1)和3(2)所示,分别对多组齿状等效试样进行疲劳寿命实验分析得到实验结果,以及对选定的标准试样进行疲劳寿命实验分析得到的实验结果,并构建出多组浮动摩擦片中基于粗糙度和残余应力对应表征 $N_{\text{标准试样}}$ 和 $\sigma_{\text{标准试样}}$ 非的线性映射关系的多组疲劳寿命曲线,所述疲劳寿命曲线的函数表达式标记为 $\sigma_{\text{标准试样},i} = F(N_{\text{标准试样},i}, Ra_i, \sigma_{\text{res},i})$,式中, $\sigma_{\text{标准试样},i}$ 表征第i组浮动摩擦片对应的标准试样的最终应力水平, $N_{\text{预测试样},i}$ 表征第i组浮动摩擦片对应的标准试样的疲劳寿命, F 表征所述非线性映射关系的函数体, Ra_i 表征第i组浮动摩擦片的粗糙度, $\sigma_{\text{res},i}$ 表征第i组浮动摩擦片的残余应力, i 为计量常数;

[0085] 基于疲劳寿命预测模型在疲劳寿命曲线中求得多组齿状等效试样的疲劳寿命,所述多组齿状等效试样的疲劳寿命的计算公式为:

$$[0086] \quad \frac{N_{\text{标准试样},i}}{N_{\text{预测试样},i}} = 1 - \frac{1}{\mu} \left(\frac{\sigma_{\text{标准试样},i} - \sigma_{\text{预测试样},i}}{\sigma_{\text{预测试样},i}} \right) - \left(\frac{1 + \mu}{2\mu^2} \right) \left(\frac{\sigma_{\text{标准试样},i} - \sigma_{\text{预测试样},i}}{\sigma_{\text{预测试样},i}} \right)^2;$$

[0087] 式中, $N_{\text{预测试样},i}$ 表征第i组浮动摩擦片对应的齿状等效试样的疲劳寿命, $\sigma_{\text{标准试样},i}$ 表征第i组浮动摩擦片对应的齿状等效试样的最终应力水平;

[0088] 将多组齿状等效试样的疲劳寿命等价作为多组浮动摩擦片的疲劳寿命,以实现浮动摩擦片的疲劳寿命预测。

[0089] 所述多组齿状等效试样的实验结果和标准试样的实验结果在进行疲劳寿命预测模型运算时需要进行归一化处理。

[0090] 所述对所述浮动摩擦片进行疲劳寿命实验也可实现对所述疲劳寿命预测模型进行验证。

[0091] 如图4所示,基于上述针对浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法,本发明提供了一种装置,包括:

[0092] 齿状等效试样实验模块1,用于对齿状等效试样进行疲劳寿命实验及分析;

[0093] 标准试样实验模块2,用于对标准试样进行疲劳寿命实验及分析;

[0094] 模型构建及验证模块3,用于构建疲劳寿命预测模型及验证。

[0095] 所述齿状等效试样实验模块、标准试样实验模块和模型构建及验证模块中均集成有通讯模块和数据存储模块,所述通讯模块用于在所述齿状等效试样实验模块、标准试样实验模块和模型构建及验证模块中进行数据交互,所述数据存储模块用于在所述齿状等效试样实验模块、标准试样实验模块和模型构建及验证模块中进行数据存储。

[0096] 所述齿状等效试样与浮动摩擦片采用同种制作材料。实验件模型如图5所示:

[0097] (1) 齿状等效试样示意图:示意图为基本形状,对该件进行实验并进行分析,可获得齿根处的应力状态,获得第一类参数。

[0098] (2) 标准试样形状示意图:示意图为基本形状,实际应用过程中对其施加人工缺口等各种特征,利用此类型试件可获得第二类参数对疲劳特性的影响。

[0099] (3) 浮动摩擦片示意图:示意图为某类型浮动摩擦片基本形状,利用本专利提出的

方法,可获得浮动摩擦片的疲劳寿命预测模型,对该实际浮动摩擦片进行疲劳实验,可验证本方法和模型的可靠性。

[0100] 预测试样为一个完整的浮动摩擦片,属于一个结构,是最终要预测的试样,但直接对其进行疲劳寿命实验较为复杂;标准试样是一个常规的试样,该试样可以方便的进行疲劳寿命试验,本发明目的为利用标准试验对预测试样的疲劳寿命进行预测。但是由于预测试样本身具有一定的结构特征,采用标准试样对预测试样进行寿命预测需要了解预测试样的受力状况。直接采用现有的标准试样进行实验,难点也在于无法确定预测试样的受力状况,进而无法得到标准试样的实验条件;齿状等效试样是预测试样和标准试验之间的过度,对齿状等效试样模拟预测式样进行实验,输入为预测试样的实验条件,输出为近似的预测式样的受力状况,对该受力状况进行分析处理可以得到标准试样的实验条件。总结,通过齿状等效试样的过度,实现了利用标准试样对预测试样的疲劳寿命的预测。本发明通过齿状等效试样的实验获得应力集中等效参数、最大主应力、残余应力、粗糙度,保证了预测结果的准确性,通过标准试样的实验获得了齿根的应力状态,保证了实验方法的简便性,做到了准确性与简便性的统一,最终形成了一套浮动摩擦片跨尺度疲劳寿命预测方法及模型,模型在应用上还具有很好的广泛适应性。

[0101] 同样上述过程可实现对所述浮动摩擦片进行疲劳寿命实验也可实现对所述疲劳寿命预测模型进行验证。

[0102] 以上实施例仅为本申请的示例性实施例,不用于限制本申请,本申请的保护范围由权利要求书限定。本领域技术人员可以在本申请的实质和保护范围内,对本申请做出各种修改或等同替换,这种修改或等同替换也应视为落在本申请的保护范围内。

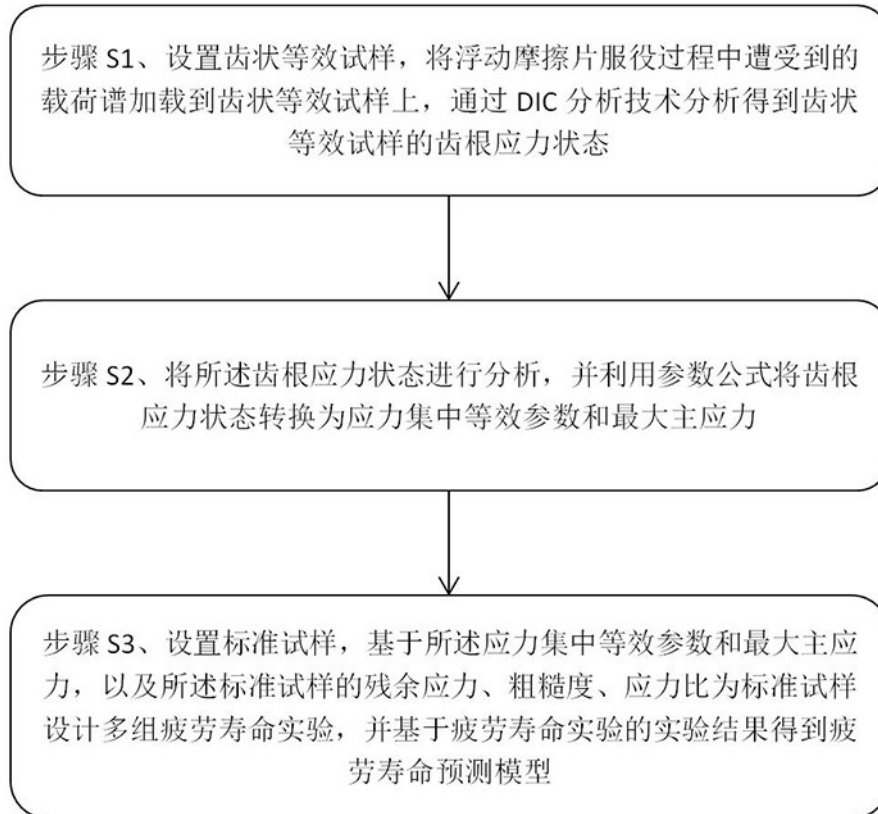


图1

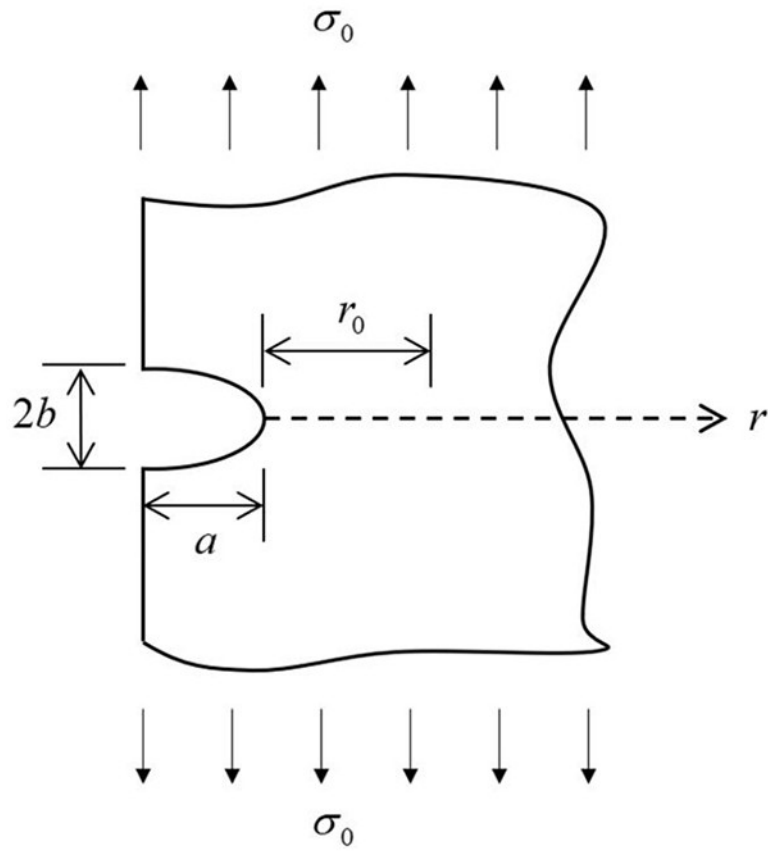


图2

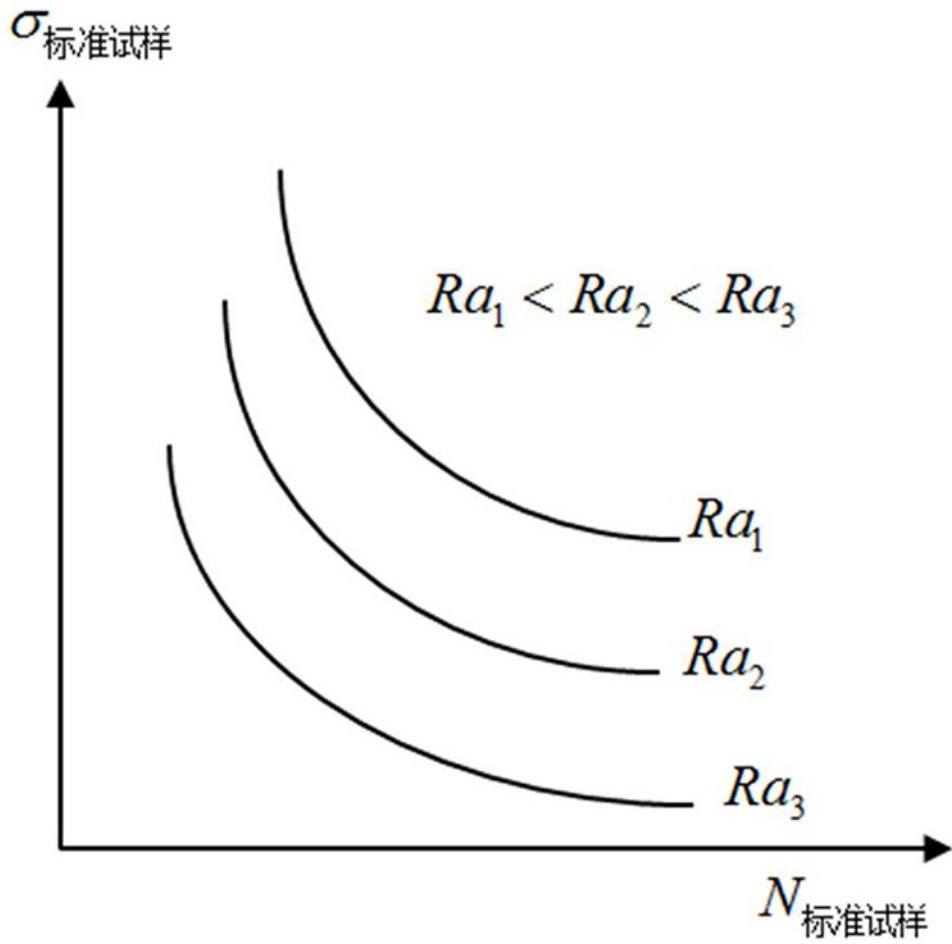


图3 (1)

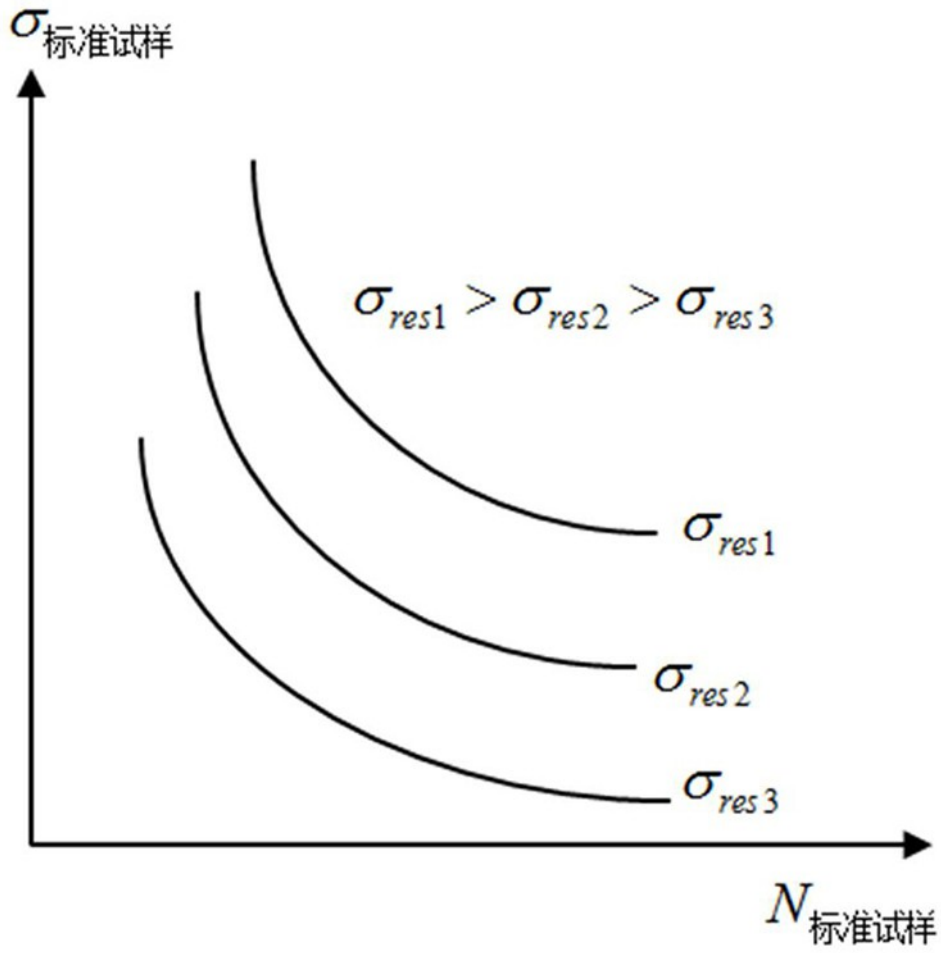


图3 (2)

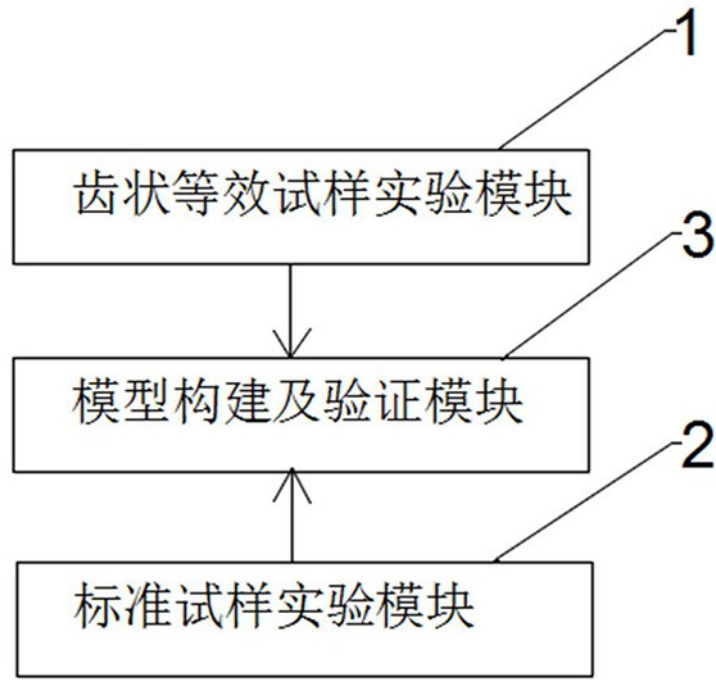


图4

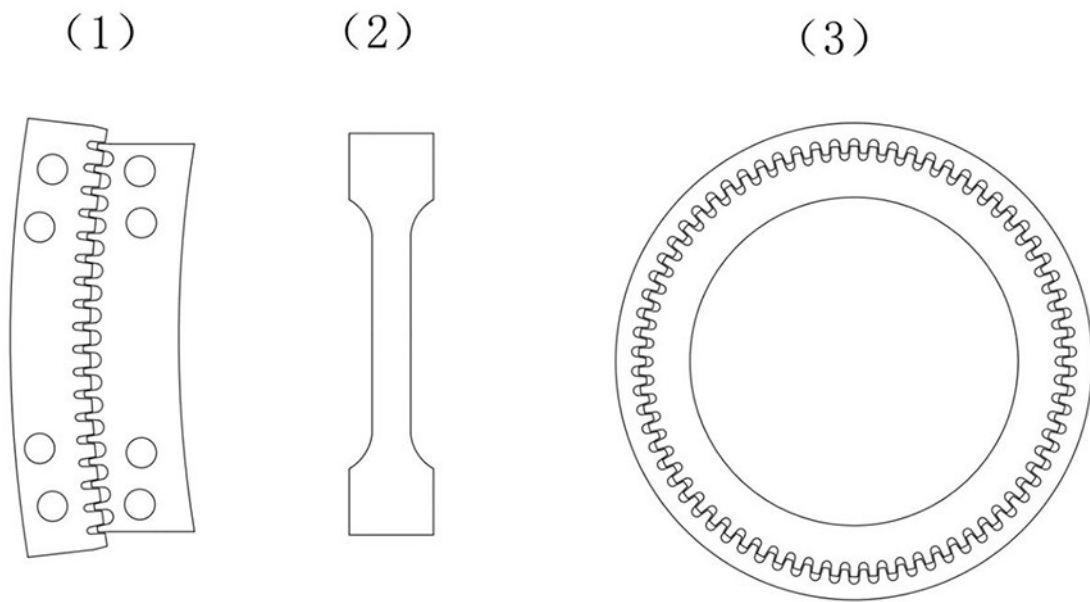


图5