



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109086541 A

(43)申请公布日 2018.12.25

(21)申请号 201810921122.2

(22)申请日 2018.08.14

(71)申请人 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 孙成奇 宋清源 魏宇杰

(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 胡剑辉

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

G01N 3/32(2006.01)

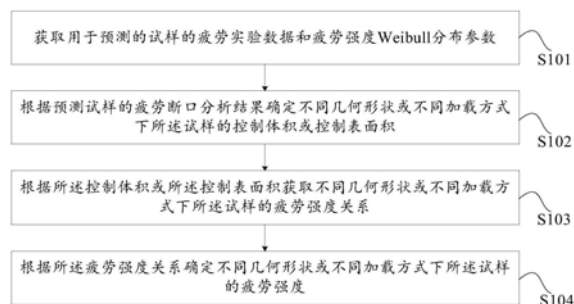
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方法

(57)摘要

本发明实施例涉及一种预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方法,所述方法包括:获取用于预测的试样的疲劳实验数据和疲劳强度Weibull分布参数;根据预测试样的疲劳断口分析结果确定不同几何形状或不同加载方式下所述试样的控制体积或控制表面积;根据所述控制体积或所述控制表面积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度关系;根据所述控制体积或所述控制表面积获得不同几何形状或不同加载方式下预测试样和被预测试样的控制体积或控制表面积;根据所述控制体积或所述控制表面积获得不同几何形状或不同加载方式下预测试样和被预测试样的疲劳强度关系;根据所述疲劳强度关系确定不同几何形状或不同加载方式下被预测试样的疲劳强度;可以有效解决预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响问题。



1. 一种预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方法,其特征在于,包括:  
 获取用于预测的试样的疲劳实验数据和疲劳强度Weibull分布参数;  
 根据预测试样的疲劳断口分析结果确定不同几何形状或不同加载方式下预测试样和被预测试样的控制体积或控制表面积;  
 根据所述控制体积或所述控制表面积获得不同几何形状或不同加载方式下预测试样和被预测试样的疲劳强度关系;  
 根据所述疲劳强度关系确定不同几何形状或不同加载方式下被预测试样的疲劳强度。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:  
 当所述试样为内部起源为主的疲劳破坏时,通常根据所述控制体积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度关系。
3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:  
 当所述试样为表面起源为主的疲劳破坏时,通常根据所述控制表面积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度关系。
4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述控制体积或所述控制表面积为疲劳裂纹可能萌生的高应力区域,所述高应力区域 $\geq 90\%$ 最大主应力区域。
5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述疲劳强度关系确定不同几何形状或不同加载方式下被预测试样的疲劳强度,包括:  
 通过疲劳强度与疲劳寿命的关联函数确定某一给定的疲劳寿命下的疲劳强度;  
 其中,所述关联函数为: 
$$\log_{10} \sigma = \begin{cases} a \log_{10} N + A, & N < N_0 \\ B, & N \geq N_0 \end{cases};$$
  
 其中,a,A和B为常数, $N_0$ 为折线拐点处疲劳寿命, $\sigma$ 为疲劳强度以及N为疲劳寿命;  
 或者;  
 通过所述关联函数将任意疲劳寿命下的疲劳强度转换为某一给定的疲劳寿命下的疲劳强度。
6. 一种预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方法,其特征在于,包括:  
 获取模块,用于获取用于预测的试样的疲劳实验数据和疲劳强度Weibull分布参数;  
 确定模块,用于根据预测试样的疲劳断口分析结果确定不同几何形状或不同加载方式下预测试样和被预测试样的控制体积或控制表面积;  
 所述获取模块,还用于根据所述控制体积或所述控制表面积获得不同几何形状或不同加载方式下预测试样和被预测试样的疲劳强度关系;  
 所述确定模块,还用于根据所述疲劳强度关系确定不同几何形状或不同加载方式下被预测试样的疲劳强度。
7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,当所述试样为内部起源为主的疲劳破坏时,所述确定模块,用于通常根据所述控制体积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度关系。
8. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,当所述试样为表面起源为主的疲劳破坏时,所述确定模块,用于通常根据所述控制表面积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度关系。

9. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,所述控制体积或所述控制表面积为疲劳裂纹可能萌生的高应力区域,所述高应力区域 $\geq 90\%$ 最大主应力区域。

10. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,所述确定模块,具体用于通过疲劳强度与疲劳寿命的关联函数确定某一给定的疲劳寿命下的疲劳强度;

$$\text{其中,所述关联函数为: } \log_{10} \sigma = \begin{cases} a \log_{10} N + A, & N < N_0 \\ B, & N \geq N_0 \end{cases};$$

其中,a,A和B为常数, $N_0$ 为折线拐点处疲劳寿命, $\sigma$ 为疲劳强度以及N为疲劳寿命;

或者;

通过所述关联函数将任意疲劳寿命下的疲劳强度转换为某一给定的疲劳寿命下的疲劳强度。

## 预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方法

### 技术领域

[0001] 本发明实施例涉及疲劳强度预测理论技术领域,尤其涉及一种预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方法。

### 背景技术

[0002] 试样几何形状和加载方式是影响疲劳强度的重要因素。比如,缺口试样由于缺口部位的应力梯度,相比光滑试样在相同疲劳寿命下通常能承受更大的峰值应力。

[0003] 然而,现有缺少预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方案。

### 发明内容

[0004] 本发明实施例提供了一种预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方法,可以有效解决几何形状和加载方式对疲劳强度影响问题。

[0005] 第一方面,本发明实施例一种预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方法,包括:

[0006] 获取用于预测的试样的疲劳实验数据和疲劳强度Weibull分布参数;

[0007] 根据预测试样的疲劳断口分析结果确定不同几何形状或不同加载方式下预测试样和被预测试样的控制体积或控制表面积;

[0008] 根据所述控制体积或所述控制表面积获得不同几何形状或不同加载方式下预测试样和被预测试样的疲劳强度关系;

[0009] 根据所述疲劳强度关系确定不同几何形状或不同加载方式下被预测试样的疲劳强度。

[0010] 在一个可能的实施方式中,所述方法还包括:

[0011] 当所述试样为内部起源为主的疲劳破坏时,通常根据所述控制体积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度关系。

[0012] 在一个可能的实施方式中,所述方法还包括:

[0013] 当所述试样为表面起源为主的疲劳破坏时,通常根据所述控制表面积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度关系。

[0014] 在一个可能的实施方式中,所述控制体积或所述控制表面积为疲劳裂纹可能萌生的高应力区域,所述高应力区域 $\geq 90\%$ 最大主应力区域。

[0015] 在一个可能的实施方式中,所述根据所述疲劳强度关系确定不同几何形状或不同加载方式下被预测试样的疲劳强度,包括:

[0016] 通过疲劳强度与疲劳寿命的关联函数确定某一给定的疲劳寿命下的疲劳强度;

[0017] 其中,所述关联函数为: 
$$\log_{10} \sigma = \begin{cases} a \log_{10} N + A, & N < N_0 \\ B, & N \geq N_0 \end{cases};$$

[0018] 其中,a,A和B为常数, $N_0$ 为折线拐点处疲劳寿命, $\sigma$ 为疲劳强度以及N为疲劳寿命;

[0019] 或者;

[0020] 通过所述关联函数将任意疲劳寿命下的疲劳强度转换为某一给定的疲劳寿命下的疲劳强度

[0021] 第二方面,本发明实施例一种预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方法,包括:

[0022] 获取模块,用于获取用于预测的试样的疲劳实验数据和疲劳强度 Weibull分布参数;

[0023] 确定模块,用于根据预测试样的疲劳断口分析结果确定不同几何形状或不同加载方式下预测试样和被预测试样的控制体积或控制表面积;

[0024] 所述获取模块,还用于根据所述控制体积或所述控制表面积获得不同几何形状或不同加载方式下预测试样和被预测试样的疲劳强度关系;

[0025] 所述确定模块,还用于根据所述疲劳强度关系确定不同几何形状或不同加载方式下被预测试样的疲劳强度。

[0026] 在一个可能的实施方式中,当所述试样为内部起源为主的疲劳破坏时,所述确定模块,用于通常根据所述控制体积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度关系。

[0027] 在一个可能的实施方式中,当所述试样为表面起源为主的疲劳破坏时,所述确定模块,用于通常根据所述控制表面积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度关系。

[0028] 在一个可能的实施方式中,所述控制体积或所述控制表面积为疲劳裂纹可能萌生的高应力区域,所述高应力区域 $\geq 90\%$ 最大主应力区域。

[0029] 在一个可能的实施方式中,所述确定模块,具体用于通过疲劳强度与疲劳寿命的关联函数确定某一给定的疲劳寿命下的疲劳强度;

[0030] 其中,所述关联函数为: 
$$\log_{10} \sigma = \begin{cases} a \log_{10} N + A, & N < N_0 \\ B, & N \geq N_0 \end{cases};$$

[0031] 其中,a,A和B为常数, $N_0$ 为折线拐点处疲劳寿命, $\sigma$ 为疲劳强度以及N为疲劳寿命;

[0032] 或者;

[0033] 通过所述关联函数将任意疲劳寿命下的疲劳强度转换为某一给定的疲劳寿命下的疲劳强度。

[0034] 本发明实施例提供的预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方法,通过获取用于预测的试样的疲劳实验数据和疲劳强度概率分布函数;根据预测试样的疲劳断口分析结果确定不同几何形状或不同加载方式下预测试样和被预测试样的控制体积或控制表面积;根据所述控制体积或所述控制表面积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度关系;根据所述疲劳强度关系确定不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度;可以有效解决预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响问题。

## 附图说明

[0035] 图1为本发明实施例提供的一种预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方法的流程示意图;

[0036] 图2为用于预测的试样和被预测试样的形状和尺寸；

[0037] 图3为旋转弯曲加载下沙漏形试样同一寿命下疲劳强度服从双参数 Weibull分布时预测的P-S-N曲线与实验数据的比较示意图；

[0038] 图4为采用旋转弯曲加载下 (R=-1) 沙漏形试样实验数据对轴向加载下 (R=-1) 沙漏形试样疲劳强度的预测结果与实验结果的比较示意图；

[0039] 图5为本发明实施例提供的一种预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方法的结构示意图。

### 具体实施方式

[0040] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，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。

[0041] 为便于对本发明实施例的理解，下面将结合附图以具体实施例做进一步的解释说明，实施例并不构成对本发明实施例的限定。

[0042] 图1为本发明实施例提供的一种预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方法的流程示意图，如图1所示，该方法具体包括：

[0043] S101、获取用于预测的试样的疲劳实验数据和疲劳强度Weibull分布参数。

[0044] S102、根据预测试样的疲劳断口分析结果确定不同几何形状或不同加载方式下的所述试样的控制体积或控制表面积。

[0045] 当所述试样为内部起源为主的疲劳破坏时，根据所述控制体积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度关系；当所述试样为表面起源为主的疲劳破坏时，根据所述控制表面积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度关系。

[0046] 其中，所述控制体积或所述控制表面积为疲劳裂纹可能萌生的高应力区域，如高应力区域应力 $\geq 90\%$ 区域。

[0047] S103、根据所述控制体积或所述控制表面积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度关系。

[0048] 如果疲劳强度采用3参数Weibull分布，相同存活率下，试样A和试样 B的疲劳强度

关系采用 $\frac{\sigma_A - \gamma}{\sigma_B - \gamma} = \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{-\frac{1}{k}}$ 或 $\frac{\sigma_A - \gamma}{\sigma_B - \gamma} = \left(\frac{S_A}{S_B}\right)^{-\frac{1}{k}}$ 计算；如果疲劳强度采用双参数Weibull

分布，相同存活率下，试样A和试样B的疲劳强度关系采用 $\frac{\sigma_A}{\sigma_B} = \left(\frac{V_A}{V_B}\right)^{-\frac{1}{k}}$ 和 $\frac{\sigma_A}{\sigma_B} = \left(\frac{S_A}{S_B}\right)^{-\frac{1}{k}}$ ，

其中 $\gamma$ 和 $k$ 分别为Weibull分布的位置参数和形状参数； $\sigma_A$ 和 $\sigma_B$ 分别为试样A和B的疲劳强度， $V_A$ 和 $V_B$ 分别为试样A和B的控制体积， $S_A$ 和 $S_B$ 分别为试样A和B的控制表面积。

[0049] S104、根据所述疲劳强度关系确定不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度。

[0050] 获得被预测试样的疲劳强度和P-S-N曲线。

[0051] 作为实际应用的例子,选取图2a所示的某型号车轴钢旋转弯曲加载下沙漏形试样作为用于预测的试样,通过疲劳强度与疲劳寿命的关联函数确定某一给定的疲劳寿命下的疲劳强度。

[0052] 其中,某一相同寿命下疲劳强度的Weibull分布参数通过以下方式获得,即确定疲劳强度 $\sigma$ 与疲劳寿命 $N$ 的关联函数:

$$[0053] \quad \log_{10} \sigma = \begin{cases} a \log_{10} N + A, & N < N_0 \\ B, & N \geq N_0 \end{cases}$$

[0054] 即

$$[0055] \quad \log_{10} \sigma = \begin{cases} a(\log_{10} N - \log_{10} N_0) + B, & N < N_0 \\ B, & N \geq N_0 \end{cases}$$

[0056] 其中, $a$ , $A$ 和 $B$ 为常数, $N_0$ 为折线拐点处疲劳寿命。 $a$ , $B$ 和 $N_0$ 可通过

$\sum_{N_k < N_0} [\log_{10} \sigma_k - a \log_{10}(N_k / N_0) - B]^2 + \sum_{N_k \geq N_0} (\log_{10} \sigma_k - B)^2$ 的最小值获得。对于本算

例,通过数值计算获得 $a = -0.1067$ , $N_0 = 1445440$ , $B = 2.537$ 。

[0057] 对于任意疲劳寿命 $N_k$ ( $k = 1, 2, \dots, n$ )下的疲劳强度 $\sigma_k$ 均可转化为某一给定的疲劳寿命 $N'_k$ 下的疲劳强度,具体包括:

[0058] 当 $N'_k < N_0$ 时,

$$[0059] \quad \log_{10} \sigma'_k = \begin{cases} a \log_{10} \frac{N'_k}{N_k} + \log_{10} \sigma_k, & N_k < N_0 \\ a \log_{10} \frac{N'_k}{N_0} + \log_{10} \sigma_k, & N_k \geq N_0 \end{cases}$$

[0060] 当 $N'_k \geq N_0$ 时,

$$[0061] \quad \log_{10} \sigma'_k = \begin{cases} a \log_{10} \frac{N_0}{N_k} + \log_{10} \sigma_k, & N_k < N_0 \\ \log_{10} \sigma_k, & N_k \geq N_0 \end{cases}$$

[0062] 图3给出了该试样在同一寿命下疲劳强度服从双参数Weibull分布时预测的P-S-N曲线与实验数据的比较示意图。

[0063] 采用有限元方法计算得到图2a和2b所示试样的控制表面积(主应力 $\geq 90\%$ 最大主应力区域)分别为 $22.6\text{mm}^2$ 和 $69.0\text{mm}^2$ ,其中,(a)旋转弯曲加载下沙漏形试样( $K_t = 1.08$ );(b)轴向加载下沙漏形试样( $K_t = 1.04$ )。

[0064] 图4给出采用旋转弯曲加载下沙漏形试样实验数据对轴向加载下沙漏形试样疲劳强度的预测结果与实验结果的比较示意图。可见,预测结果与实验结果吻合。

[0065] 本发明实施例提供的预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方法,通过获取用于预测的试样的疲劳实验数据和疲劳强度Weibull分布函数;根据预测试样的疲劳断口分析结果确定不同几何形状或不同加载方式下所述试样的控制体积或控制表面积;根据所述控制体积或所述控制表面积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳

强度关系;根据所述疲劳强度关系确定不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度;可以有效解决预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响问题。

[0066] 图5为本发明实施例提供的一种预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方法的结构示意图,如图5所示,该方法具体包括:

[0067] 获取模块501,用于获取用于预测的试样的疲劳实验数据和疲劳强度 Weibull分布参数;

[0068] 确定模块502,用于根据预测试样的疲劳断口分析结果确定不同几何形状或不同加载方式下预测试样和被预测试样的控制体积或控制表面积;

[0069] 所述获取模块501,还用于根据所述控制体积或所述控制表面积获得不同几何形状或不同加载方式下预测试样和被预测试样的疲劳强度关系;

[0070] 所述确定模块502,还用于根据所述疲劳强度关系确定不同几何形状或不同加载方式下被预测试样的疲劳强度。

[0071] 可选地,当所述试样为内部起源为主的疲劳破坏时,所述确定模块 502,用于通常根据所述控制体积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度关系。

[0072] 可选地,当所述试样为表面起源为主的疲劳破坏时,所述确定模块 502,用于通常根据所述控制表面积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度关系。

[0073] 可选地,所述控制体积或所述控制表面积为疲劳裂纹可能萌生的高应力区域,所述高应力区域 $\geq 90\%$ 最大主应力区域。

[0074] 可选地,所述确定模块502,具体用于通过疲劳强度与疲劳寿命的关联函数确定某一给定的疲劳寿命下的疲劳强度;

[0075] 其中,所述关联函数为: 
$$\log_{10} \sigma = \begin{cases} a \log_{10} N + A, & N < N_0 \\ B, & N \geq N_0 \end{cases};$$

[0076] 其中,a,A和B为常数, $N_0$ 为折线拐点处疲劳寿命, $\sigma$ 为疲劳强度以及N为疲劳寿命;

[0077] 或者;

[0078] 通过所述关联函数将任意疲劳寿命下的疲劳强度转换为某一给定的疲劳寿命下的疲劳强度。

[0079] 本发明实施例提供的预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响的方法,通过获取用于预测的试样的疲劳实验数据和疲劳强度Weibull分布函数;根据预测试样的疲劳断口分析结果确定不同几何形状或不同加载方式下所述试样的控制体积或控制表面积;根据所述控制体积或所述控制表面积获取不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度关系;根据所述疲劳强度关系确定不同几何形状或不同加载方式下所述试样的疲劳强度;可以有效解决预测试样几何形状和加载方式对疲劳强度影响问题。

[0080] 专业人员应该还可以进一步意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、计算机软件或者二者的结合来实现,为了清楚地说明硬件和软件的可互换性,在上述说明中已经按照功能一般性地描述了各示例的组成及步骤。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本发明的范围。



[0081] 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限定本发明的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

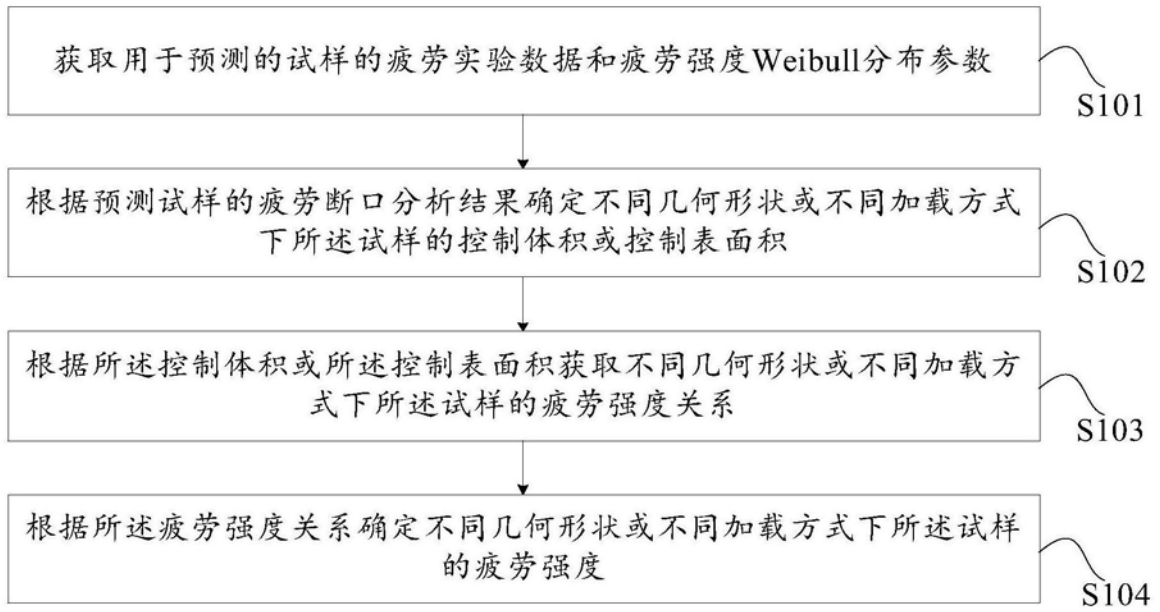


图1

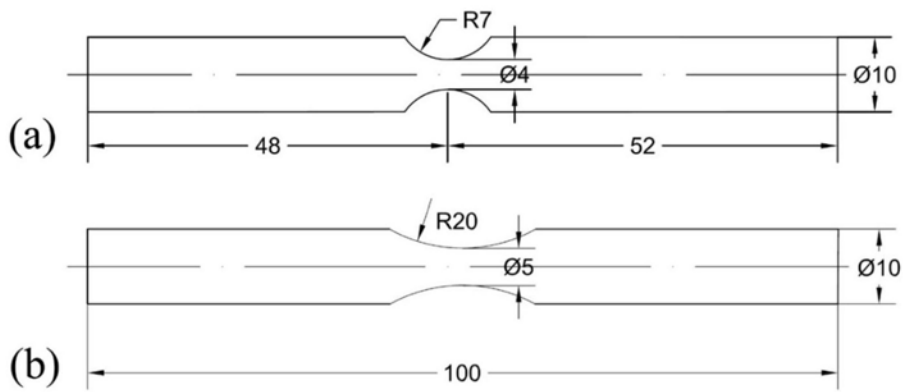


图2

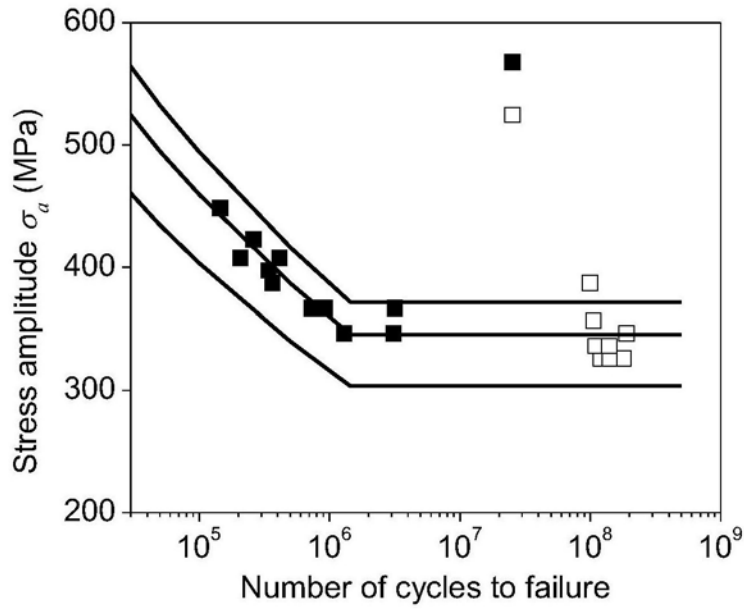


图3

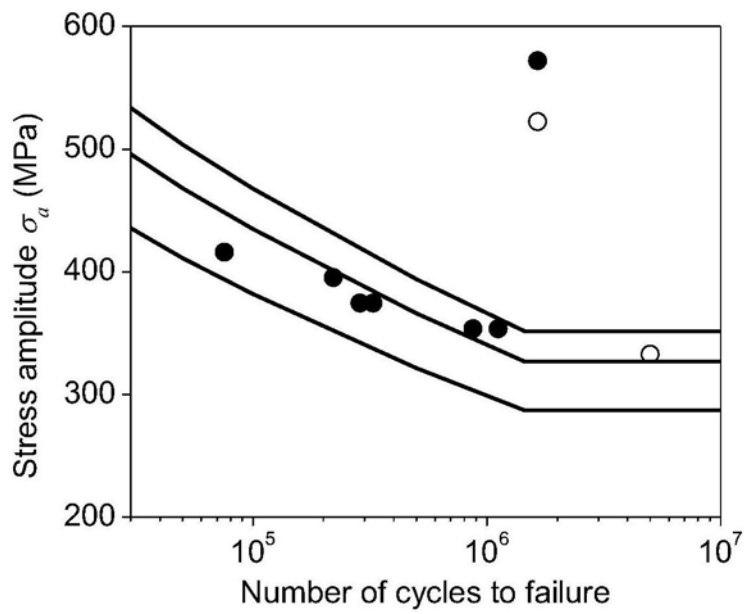


图4

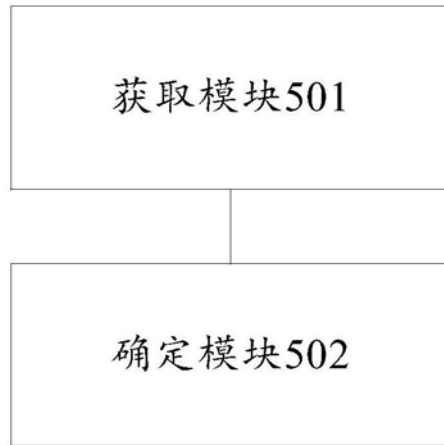


图5