



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113392504 B

(45) 授权公告日 2024. 02. 02

(21) 申请号 202110538157.X

CN 111553091 A, 2020.08.18

(22) 申请日 2021.05.18

CN 110910972 A, 2020.03.24

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 109614715 A, 2019.04.12

申请公布号 CN 113392504 A

CN 109253873 A, 2019.01.22

(43) 申请公布日 2021.09.14

CN 110609052 A, 2019.12.24

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

CN 110990948 A, 2020.04.10

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

CN 109142529 A, 2019.01.04

CN 110763758 A, 2020.02.07

CN 108613889 A, 2018.10.02

US 2008015827 A1, 2008.01.17

(72) 发明人 孙成奇 魏宇杰

Weiqian Chi等.Effects of defects on fatigue behavior of TC17 titanium alloy for compressor blades: Crack initiation and modeling of fatigue strength.《Engineering Fracture Mechanics》.2021,1-13.

(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

专利代理师 胡剑辉

周松等.含缺陷的TB6钛合金疲劳性能研究和强度评估.《热加工工艺》.2021,第50卷(第12期),39-43+49.

(51) Int. Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

G06F 119/02 (2020.01)

G06F 119/04 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

审查员 游婧

(56) 对比文件

CN 1500207 A, 2004.05.26

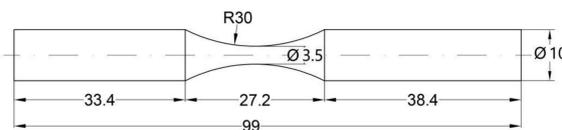
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法

(57) 摘要

本发明提供一种预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法,首先通过疲劳实验确定某寿命下光滑试样和含缺陷试样的高周和超高周疲劳强度,然后通过数学模型确定缺陷对该寿命下疲劳强度的影响关系。利用该关系,缺陷对疲劳强度的影响可以通过缺陷的尺寸来表征,进而可以预测缺陷对疲劳强度的影响。本发明公开的方法形式简单,便于应用,解决了缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的数学模型描述和难以准确评估问题,为含缺陷材料或工程零部件的疲劳性能研究和评价提供了模型和技术支撑。



1. 一种预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 对用于预测的光滑试样和含缺陷试样进行疲劳实验,获得用于预测的某寿命下光滑试样的疲劳强度,以及含缺陷试样的疲劳强度 $\sigma_{w,1}, \sigma_{w,2}, \dots, \sigma_{w,n}$ 和相应的缺陷尺寸 $\sqrt{area_1}, \sqrt{area_2}, \dots, \sqrt{area_n}$,其中 $area_i, i=1,2,\dots,n$,为缺陷 i 垂直于主应力轴的投影面积;

(2) 该寿命下疲劳强度与缺陷尺寸满足如下关系:

$$\sigma_w = \begin{cases} C(\sqrt{area})^m & \text{当 } \sqrt{area} \geq \sqrt{area_0} \\ \sigma_{w,0} & \text{当 } \sqrt{area} < \sqrt{area_0} \end{cases} \quad (1)$$

即

$$\log_{10} \sigma_w = \begin{cases} m \log_{10} \sqrt{area} + \log_{10} C & \text{当 } \sqrt{area} \geq \sqrt{area_0} \\ \log_{10} \sigma_{w,0} & \text{当 } \sqrt{area} < \sqrt{area_0} \end{cases} \quad (2)$$

其中, σ_w 表示疲劳强度, $\sigma_{w,0}$ 表示光滑试样疲劳强度; \sqrt{area} 表示缺陷尺寸,area为缺陷垂直于主应力轴的投影面积; $\sqrt{area_0}$ 为临界缺陷尺寸,小于该尺寸,缺陷对疲劳强度没有影响; m 和 C 是参数,与材料、疲劳寿命和缺陷引入形式有关; m 通过对低于光滑试样疲劳强度的缺陷试样疲劳强度和缺陷尺寸采用最小二乘法得到; m 的计算方法为:;

$$m = \frac{n \sum_{k=1}^n \log_{10} \sqrt{area_k} \log_{10} \sigma_{w,k} - \sum_{k=1}^n \log_{10} \sqrt{area_k} \sum_{k=1}^n \log_{10} \sigma_{w,k}}{n \sum_{k=1}^n (\log_{10} \sqrt{area_k})^2 - (\sum_{k=1}^n \log_{10} \sqrt{area_k})^2}; C \text{通过对低于光滑试样疲}$$

劳强度的缺陷试样疲劳强度和缺陷尺寸采用最小二乘法得到; C 的计算方法为:

$$C = 10^{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (\log_{10} \sigma_{w,k} - m \log_{10} \sqrt{area_k})};$$

(3) 将得到的材料参数 m 和 C 代入式(2),得到缺陷对该寿命下疲劳强度的影响模型。

2. 如权利要求1所述的预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法,其特征在于:所述的疲劳实验包括轴向应力疲劳实验、旋转弯曲疲劳实验、四点弯曲疲劳实验、超声频率疲劳实验。

3. 如权利要求1所述的预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法,其特征在于:缺陷尺寸通过缺陷的制备方法获得。

4. 如权利要求1所述的预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法,其特征在于:缺陷尺寸通过测量来确定。

5. 如权利要求4所述的预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法,其特征在于:测量方法为对疲劳断口扫描电镜图片上缺陷尺寸的测量来确定。

6. 如权利要求5所述的预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法,其特征在于:通过图像处理软件对疲劳断口扫描电镜图片上缺陷尺寸的测量来确定。

7. 如权利要求1所述的预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法,其特征在于:缺陷尺寸 $\leq 1000\mu\text{m}$ 。

一种预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种预测材料或工程零部件高周和超高周疲劳强度的方法,具体为一种预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法。

背景技术

[0002] 实际工程零部件通常不可避免地存在各种类型的缺陷,比如材料制备过程中的冶金缺陷,零部件服役过程中可能的撞击缺陷,等等。外加载荷作用下,缺陷处的局部应力集中往往会导致疲劳裂纹的萌生,并显著降低材料的抗疲劳性能。因此,建立缺陷对疲劳强度的影响方法具有重要的科学意义和工程应用价值。

发明内容

[0003] 本发明的目的是提供一种预测缺陷对材料或工程零部件高周和超高周疲劳强度影响的方法。

[0004] 本发明的技术内容为:

[0005] 一种预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法,包括如下步骤:

[0006] (1) 对用于预测的光滑试样和含缺陷试样进行疲劳实验,获得用于预测的某寿命下光滑试样的疲劳强度,以及含缺陷试样的疲劳强度 $\sigma_{w,1}, \sigma_{w,2}, \dots, \sigma_{w,n}$ 和相应的缺陷尺寸 $\sqrt{area_1}, \sqrt{area_2}, \dots, \sqrt{area_n}$,其中 $area_i$ ($i=1, 2, \dots, n$)为缺陷 i 垂直于主应力轴的投影面积;

[0007] (2) 假定该寿命下疲劳强度与缺陷尺寸满足如下关系:

$$[0008] \quad \sigma_w = \begin{cases} C(\sqrt{area})^m & \text{当 } \sqrt{area} \geq \sqrt{area_0} \\ \sigma_{w,0} & \text{当 } \sqrt{area} < \sqrt{area_0} \end{cases} \quad (1)$$

[0009] 即

$$[0010] \quad \log_{10} \sigma_w = \begin{cases} m \log_{10} \sqrt{area} + \log_{10} C & \text{当 } \sqrt{area} \geq \sqrt{area_0} \\ \log_{10} \sigma_{w,0} & \text{当 } \sqrt{area} < \sqrt{area_0} \end{cases} \quad (2)$$

[0011] 其中, σ_w 表示疲劳强度, $\sigma_{w,0}$ 表示光滑试样疲劳强度; \sqrt{area} 表示缺陷尺寸, $area$ 为缺陷垂直于主应力轴的投影面积; $\sqrt{area_0}$ 为临界缺陷尺寸,小于该尺寸,缺陷对疲劳强度没有影响; m 和 C 是参数,与材料、疲劳寿命和缺陷引入形式有关;

[0012] (3) 将得到的材料参数 m 和 C 代入式(2),得到缺陷对该寿命下疲劳强度的影响模型。

[0013] 进一步的,所述的疲劳实验包括轴向应力疲劳实验、旋转弯曲疲劳实验、四点弯曲疲劳实验、超声频率疲劳实验。

[0014] 进一步的,缺陷尺寸通过缺陷的制备方法获得。

[0015] 还可以为,缺陷尺寸通过测量来确定。

[0016] 进一步的,测量方法为对疲劳断口扫描电镜图片上缺陷尺寸的测量来确定,优选的,通过图像处理软件对疲劳断口扫描电镜图片上缺陷尺寸的测量来确定。

[0017] 进一步的,缺陷尺寸 $\leq 1000\mu\text{m}$ 。

[0018] 进一步的,m通过对低于光滑试样疲劳强度的缺陷试样疲劳强度和缺陷尺寸采用最小二乘法得到;优选的,m的计算方法为:

$$[0019] \quad m = \frac{n \sum_{k=1}^n \log_{10} \sqrt{\text{area}_k} \log_{10} \sigma_{w,k} - \sum_{k=1}^n \log_{10} \sqrt{\text{area}_k} \sum_{k=1}^n \log_{10} \sigma_{w,k}}{n \sum_{k=1}^n (\log_{10} \sqrt{\text{area}_k})^2 - (\sum_{k=1}^n \log_{10} \sqrt{\text{area}_k})^2}。$$

[0020] 进一步的,C通过对低于光滑试样疲劳强度的缺陷试样疲劳强度和缺陷尺寸采用最小二乘法得到;优选的,C的计算方法为: $C = 10^{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (\log_{10} \sigma_{w,k} - m \log_{10} \sqrt{\text{area}_k})}$ 。

[0021] 本发明公开的方法通过疲劳实验确定某寿命下光滑试样和含缺陷试样的高周和超高周疲劳强度,然后通过数学模型确定缺陷对该寿命下疲劳强度的影响关系。利用该关系,缺陷对疲劳强度的影响可以通过缺陷的尺寸来表征,进而可以预测缺陷对疲劳强度的影响。本发明公开的方法形式简单,便于应用,解决了缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的数学模型描述和难以准确评估问题,为含缺陷材料或工程零部件的疲劳性能研究和评价提供了模型和技术支撑。

附图说明

[0022] 图1:TC17钛合金旋转弯曲疲劳试样(单位:mm)光滑试样;

[0023] 图2:TC17钛合金旋转弯曲疲劳试样(单位:mm)含缺陷A试样缺陷示意图;

[0024] 图3:TC17钛合金旋转弯曲疲劳试样(单位:mm)含缺陷B试样缺陷示意图;

[0025] 图4:TC17钛合金旋转弯曲疲劳试样(单位:mm)含缺陷C试样缺陷示意图;

[0026] 图5:TC17钛合金旋转弯曲疲劳试样(单位:mm)含缺陷D试样缺陷示意图;

[0027] 图6:TC17钛合金光滑试样和含缺陷试样S-N数据;

[0028] 图7:缺陷对TC17钛合金超高周疲劳强度的影响模型结果;

[0029] 图8:缺陷对文献中EA4T车轴钢疲劳极限的影响模型结果。

具体实施方式

[0030] 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。

[0031] 实施例1:

[0032] 首先,对图1-5所示钛合金光滑试样和含缺陷试样进行不同应力幅下的旋转弯曲疲劳实验(应力比 $R = -1$),获得其疲劳性能数据,如图6所示。图2-4中缺陷采用微型铣床在图1所示的光滑试样最小截面处进行钻孔得到,相应的缺陷尺寸为通过疲劳断口扫描电镜图片获得的尺寸平均值。以缺陷对 10^8 周次下疲劳强度的影响为例,基于图6中的实验结果,获得 10^8 周次下光滑试样的疲劳强度635MPa,含缺陷B试样的疲劳强度 $\sigma_{w,1} = 563\text{MPa}$ ($\sqrt{\text{area}_1} = 158\mu\text{m}$),含缺陷C试样的疲劳强度 $\sigma_{w,2} = 448\text{MPa}$ ($\sqrt{\text{area}_2} = 260\mu\text{m}$),含缺陷

D试样的疲劳强度 $\sigma_{w,3}=390\text{MPa}(\sqrt{\text{area}_3}=320\ \mu\text{m})$ 。这里, 10^8 周次下的疲劳强度取为已测试的实验数据中 10^8 周次前发生疲劳破坏的试样的应力幅最小值和经历 10^8 周次未发生疲劳破坏的试样的应力幅最大值的平均值。

[0033] 然后, 将上述缺陷B、缺陷C和缺陷D试样在 10^8 周次下的疲劳强度和相应的缺陷尺寸代入(2)式, 通过最小二乘法得到参数m和C。

[0034] 最后, 将参数m和C代入(2)式, 得到缺陷对该寿命下疲劳强度的影响模型结果。图7给出缺陷对 10^8 周次下疲劳强度的影响模型结果, 并与含缺陷A试样的疲劳强度 $620\text{MPa}(\sqrt{\text{area}}=78\ \mu\text{m})$ 吻合很好。图7表明该模型能够很好地关联和预测缺陷对疲劳强度的影响。

[0035] 实施例2:

[0036] 图8给出缺陷对文献[Zhang et al. Int J Fatigue 2020, 132:105379]中EA4T车轴钢疲劳极限(以应力幅表示)的影响模型结果。可以看出, 模型结果与实验结果吻合很好。

[0037] 实施例3: 一种预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法, 包括如下步骤:

[0038] (1) 对用于预测的光滑试样和含缺陷试样进行疲劳实验, 获得用于预测的某寿命下光滑试样的疲劳强度, 以及含缺陷试样的疲劳强度;

[0039] (2) 通过数学模型确定缺陷对该寿命下疲劳强度的影响关系;

[0040] (3) 利用该关系, 通过缺陷的尺寸来表征缺陷对疲劳强度的影响, 进而预测缺陷对疲劳强度的影响。

[0041] 实施例4:

[0042] 一种预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法, 包括如下步骤:

[0043] (1) 对用于预测的光滑试样和含缺陷试样进行疲劳实验, 获得用于预测的某寿命下光滑试样的疲劳强度, 以及含缺陷试样的疲劳强度 $\sigma_{w,1}, \sigma_{w,2}, \dots, \sigma_{w,n}$ 和相应的缺陷尺寸 $\sqrt{\text{area}_1}, \sqrt{\text{area}_2}, \dots, \sqrt{\text{area}_n}$, 其中 area_i ($i=1, 2, \dots, n$) 为缺陷i垂直于主应力轴的投影面积;

[0044] (2) 假定该寿命下疲劳强度与缺陷尺寸满足如下关系:

$$[0045] \quad \sigma_w = \begin{cases} C(\sqrt{\text{area}})^m & \text{当 } \sqrt{\text{area}} \geq \sqrt{\text{area}_0} \\ \sigma_{w,0} & \text{当 } \sqrt{\text{area}} < \sqrt{\text{area}_0} \end{cases} \quad (1)$$

[0046] 即

$$[0047] \quad \log_{10} \sigma_w = \begin{cases} m \log_{10} \sqrt{\text{area}} + \log_{10} C & \text{当 } \sqrt{\text{area}} \geq \sqrt{\text{area}_0} \\ \log_{10} \sigma_{w,0} & \text{当 } \sqrt{\text{area}} < \sqrt{\text{area}_0} \end{cases} \quad (2)$$

[0048] 其中, σ_w 表示疲劳强度, $\sigma_{w,0}$ 表示光滑试样疲劳强度; $\sqrt{\text{area}}$ 表示缺陷尺寸, area为缺陷垂直于主应力轴的投影面积; $\sqrt{\text{area}_0}$ 为临界缺陷尺寸, 小于该尺寸, 缺陷对疲劳强度没有影响; m和C是参数, 与材料、疲劳寿命和缺陷引入形式有关;

[0049] (3) 将得到的材料参数m和C代入式(2), 得到缺陷对该寿命下疲劳强度的影响模型。

[0050] 实施例5:

[0051] 一种预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法,包括如下步骤:

[0052] (1) 对用于预测的光滑试样和含缺陷试样进行疲劳实验,获得用于预测的某寿命下光滑试样的疲劳强度,以及含缺陷试样的疲劳强度 $\sigma_{w,1}, \sigma_{w,2}, \dots, \sigma_{w,n}$ 和相应的缺陷尺寸 $\sqrt{area_1}, \sqrt{area_2}, \dots, \sqrt{area_n}$,其中 $area_i$ ($i=1,2,\dots,n$)为缺陷 i 垂直于主应力轴的投影面积;

[0053] (2) 假定该寿命下疲劳强度与缺陷尺寸满足如下关系:

$$[0054] \quad \sigma_w = \begin{cases} C(\sqrt{area})^m & \text{当 } \sqrt{area} \geq \sqrt{area_0} \\ \sigma_{w,0} & \text{当 } \sqrt{area} < \sqrt{area_0} \end{cases} \quad (1)$$

[0055] 即

$$[0056] \quad \log_{10} \sigma_w = \begin{cases} m \log_{10} \sqrt{area} + \log_{10} C & \text{当 } \sqrt{area} \geq \sqrt{area_0} \\ \log_{10} \sigma_{w,0} & \text{当 } \sqrt{area} < \sqrt{area_0} \end{cases} \quad (2)$$

[0057] 其中, σ_w 表示疲劳强度, $\sigma_{w,0}$ 表示光滑试样疲劳强度; \sqrt{area} 表示缺陷尺寸, $area$ 为缺陷垂直于主应力轴的投影面积; $\sqrt{area_0}$ 为临界缺陷尺寸,小于该尺寸,缺陷对疲劳强度没有影响; m 和 C 是参数,与材料、疲劳寿命和缺陷引入形式有关;

[0058] (3) 将得到的材料参数 m 和 C 代入式(2),得到缺陷对该寿命下疲劳强度的影响模型;

[0059] 缺陷尺寸通过缺陷的制备方法获得,制备方法包括微型铣床、电火花、压痕等现有技术。

[0060] 实施例6:

[0061] 一种预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法,包括如下步骤:

[0062] (1) 对用于预测的光滑试样和含缺陷试样进行疲劳实验,获得用于预测的某寿命下光滑试样的疲劳强度,以及含缺陷试样的疲劳强度 $\sigma_{w,1}, \sigma_{w,2}, \dots, \sigma_{w,n}$ 和相应的缺陷尺寸 $\sqrt{area_1}, \sqrt{area_2}, \dots, \sqrt{area_n}$,其中 $area_i$ ($i=1,2,\dots,n$)为缺陷 i 垂直于主应力轴的投影面积;

[0063] (2) 假定该寿命下疲劳强度与缺陷尺寸满足如下关系:

$$[0064] \quad \sigma_w = \begin{cases} C(\sqrt{area})^m & \text{当 } \sqrt{area} \geq \sqrt{area_0} \\ \sigma_{w,0} & \text{当 } \sqrt{area} < \sqrt{area_0} \end{cases} \quad (1)$$

[0065] 即

$$[0066] \quad \log_{10} \sigma_w = \begin{cases} m \log_{10} \sqrt{area} + \log_{10} C & \text{当 } \sqrt{area} \geq \sqrt{area_0} \\ \log_{10} \sigma_{w,0} & \text{当 } \sqrt{area} < \sqrt{area_0} \end{cases} \quad (2)$$

[0067] 其中, σ_w 表示疲劳强度, $\sigma_{w,0}$ 表示光滑试样疲劳强度; \sqrt{area} 表示缺陷尺寸, $area$

为缺陷垂直于主应力轴的投影面积; $\sqrt{area_0}$ 为临界缺陷尺寸, 小于该尺寸, 缺陷对疲劳强度没有影响; m 和 C 是参数, 与材料、疲劳寿命和缺陷引入形式有关;

[0068] (3) 将得到的材料参数 m 和 C 代入式 (2), 得到缺陷对该寿命下疲劳强度的影响模型;

[0069] 缺陷尺寸通过测量来确定; 测量方法为对疲劳断口扫描电镜图片上缺陷尺寸的测量来确定; 通过图像处理软件 (如 Image-Pro Plus 软件) 对疲劳断口扫描电镜图片上缺陷尺寸的测量来确定。

[0070] 实施例7:

[0071] 一种预测缺陷对高周和超高周疲劳强度影响的方法, 包括如下步骤:

[0072] (1) 对用于预测的光滑试样和含缺陷试样进行疲劳实验, 获得用于预测的某寿命下光滑试样的疲劳强度, 以及含缺陷试样的疲劳强度 $\sigma_{w,1}, \sigma_{w,2}, \dots, \sigma_{w,n}$ 和相应的缺陷尺寸 $\sqrt{area_1}, \sqrt{area_2}, \dots, \sqrt{area_n}$, 其中 $area_i$ ($i=1, 2, \dots, n$) 为缺陷 i 垂直于主应力轴的投影面积;

[0073] (2) 假定该寿命下疲劳强度与缺陷尺寸满足如下关系:

$$[0074] \quad \sigma_w = \begin{cases} C(\sqrt{area})^m & \text{当 } \sqrt{area} \geq \sqrt{area_0} \\ \sigma_{w,0} & \text{当 } \sqrt{area} < \sqrt{area_0} \end{cases} \quad (1)$$

[0075] 即

$$[0076] \quad \log_{10} \sigma_w = \begin{cases} m \log_{10} \sqrt{area} + \log_{10} C & \text{当 } \sqrt{area} \geq \sqrt{area_0} \\ \log_{10} \sigma_{w,0} & \text{当 } \sqrt{area} < \sqrt{area_0} \end{cases} \quad (2)$$

[0077] 其中, σ_w 表示疲劳强度, $\sigma_{w,0}$ 表示光滑试样疲劳强度; \sqrt{area} 表示缺陷尺寸, $area$ 为缺陷垂直于主应力轴的投影面积; $\sqrt{area_0}$ 为临界缺陷尺寸, 小于该尺寸, 缺陷对疲劳强度没有影响; m 和 C 是参数, 与材料、疲劳寿命和缺陷引入形式有关;

[0078] (3) 将得到的材料参数 m 和 C 代入式 (2), 得到缺陷对该寿命下疲劳强度的影响模型;

[0079] 缺陷尺寸通过测量来确定; 测量方法为对疲劳断口扫描电镜图片上缺陷尺寸的测量来确定;

[0080] m 通过对低于光滑试样疲劳强度的缺陷试样疲劳强度和缺陷尺寸采用最小二乘法得到; 优选的, m 的计算方法为:

$$[0081] \quad m = \frac{n \sum_{k=1}^n \log_{10} \sqrt{area_k} \log_{10} \sigma_{w,k} - \sum_{k=1}^n \log_{10} \sqrt{area_k} \sum_{k=1}^n \log_{10} \sigma_{w,k}}{n \sum_{k=1}^n (\log_{10} \sqrt{area_k})^2 - (\sum_{k=1}^n \log_{10} \sqrt{area_k})^2};$$

[0082] C 通过对低于光滑试样疲劳强度的缺陷试样疲劳强度和缺陷尺寸采用最小二乘法得到; 优选的, C 的计算方法为: $C = 10^{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (\log_{10} \sigma_{w,k} - m \log_{10} \sqrt{area_k})}$ 。

[0083] 至此, 本领域技术人员应认识到, 虽然本文已详尽示出和描述了本发明的多个示例性实施例, 但是, 在不脱离本发明精神和范围的情况下, 仍可根据本发明公开的内容直接

确定或推导出符合本发明原理的许多其他变型或修改。因此,本发明的范围应被理解和认定为覆盖了所有这些其他变型或修改。

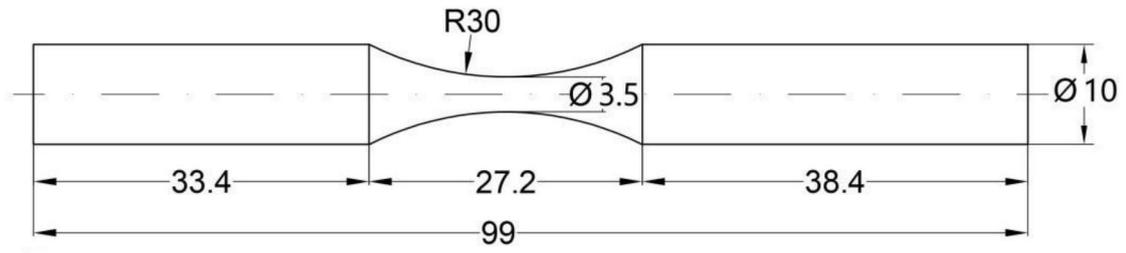


图1

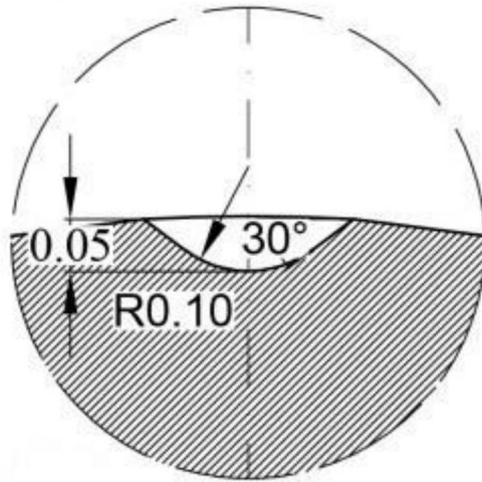


图2

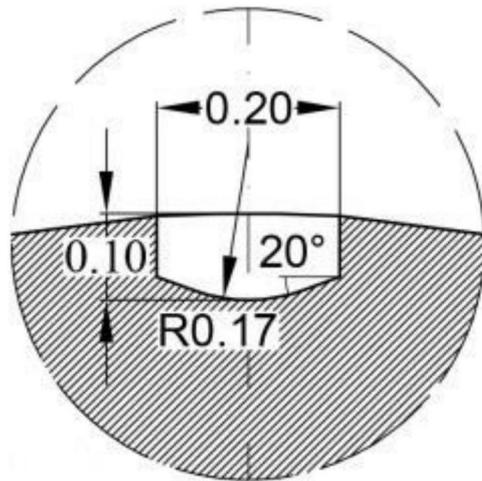


图3

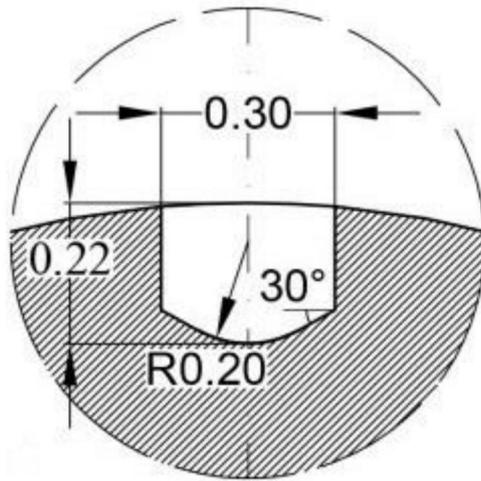


图4

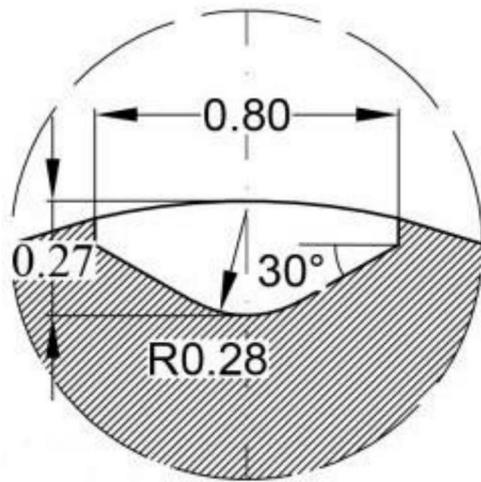


图5

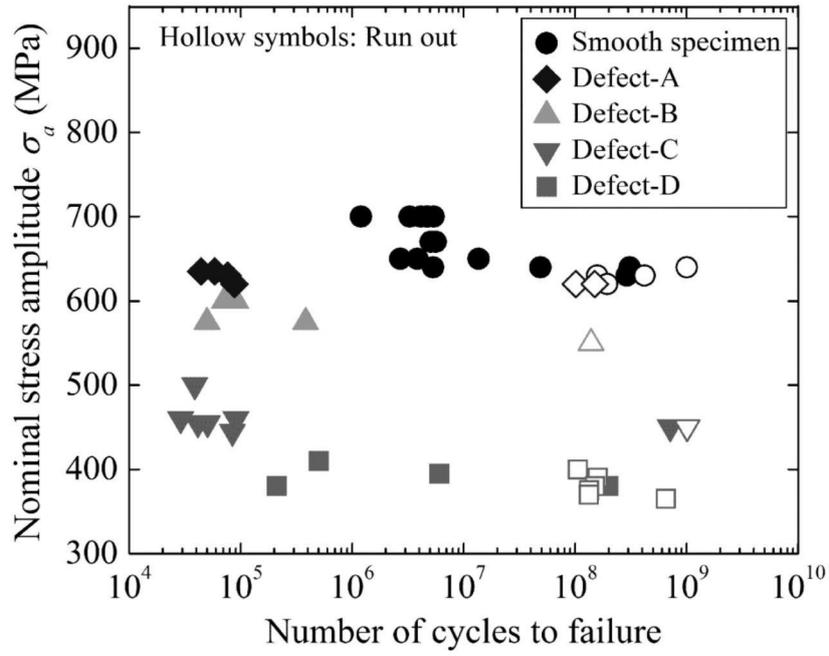


图6

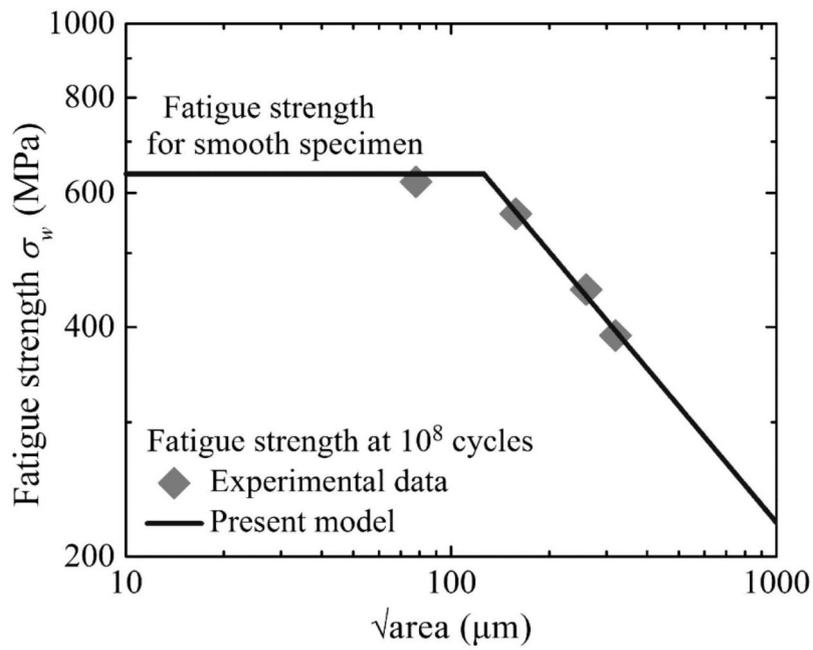


图7

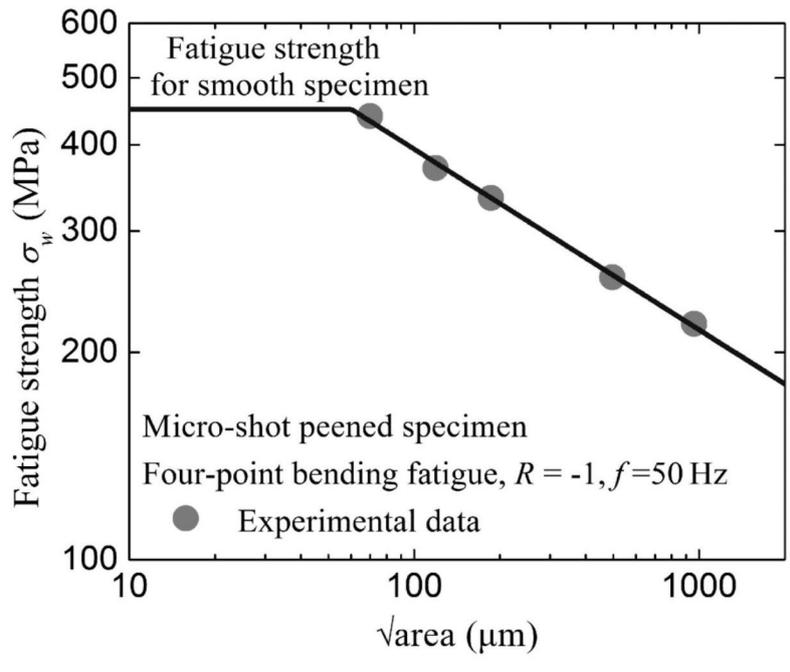


图8