



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102866066 B

(45) 授权公告日 2015. 07. 22

(21) 申请号 201210344406. 2

(22) 申请日 2012. 09. 17

(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 谢季佳 李端义 武晓雷 姜萍  
刘元富

(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 王艺

(51) Int. Cl.  
G01N 3/20(2006. 01)  
G01N 3/08(2006. 01)  
G01N 3/32(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 87210621 U, 1988. 03. 30, 全文.  
CN 101290279 A, 2008. 10. 22, 全文.  
CN 102103056 B, 2012. 07. 11, 全文.  
CN 102087183 A, 2011. 06. 08, 说明书第 2-4

页.

审查员 李保安

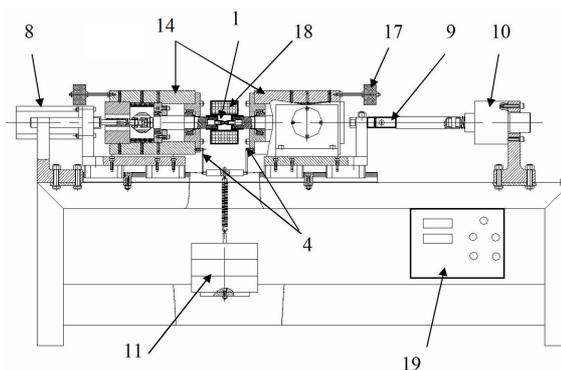
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置和方法

(57) 摘要

本发明公开一种带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置和方法,该装置包括旋转弯曲疲劳加载装置以及对试验样品施加轴向力的轴向载荷加载与控制装置。本发明以现有的旋转弯曲疲劳装置和方法为基础,通过增加轴向载荷加载与控制装置保证了样品在旋转弯曲疲劳加载的条件下,同时受到轴向载荷作用,从而实现不同应力比条件下的旋转弯曲疲劳试验。控制轴向载荷随时间周期变化,从而实现两种不同频率载荷作用下的复合疲劳。关闭旋转并去除弯曲载荷,控制轴向载荷单调增加,从而实现单调拉伸试验。本发明的带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验装置结构简单、低能耗,制造与使用成本低,适合于平均拉应力载荷条件下的高周与超高周疲劳试验。



1. 一种带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置,包括旋转弯曲疲劳加载装置,其特征在于,所述带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置还包括对试验样品施加轴向力的轴向载荷加载与控制装置;

所述旋转弯曲疲劳加载装置包括:两根样品固定轴、两个圆锥滚子轴承、两个固定套筒、四个铰支点、旋转装置、弯曲加载装置、底板;所述试验样品固定在所述两根样品固定轴之间样品固定轴通过圆锥滚子轴承安装在固定套筒中间,实验样品与样品固定轴绕它们自身轴旋转;所述四个铰支点包括固定铰支点、轴向加载铰支点和两个弯曲加载铰支点,其中固定铰支点和轴向加载铰支点分别位于两个固定套筒上,且与底板连接,用于支承整个四点弯曲受力结构的重量,两个弯曲加载铰支点分别位于两个固定套筒上,与所述弯曲加载装置相连,用于产生弯矩作用于试验样品;所述旋转装置与一根样品固定轴相连,通过旋转装置带动样品固定轴旋转,以实现试验样品的旋转运动;

所述轴向载荷加载与控制装置包括:伺服电机与丝杠传动装置、轴向力传感器和显示与控制系统;所述伺服电机与丝杠传动装置与所述旋转弯曲疲劳加载装置相连,用于给试验样品施加轴向力,所述轴向力通过轴向加载铰支点传递到右侧的固定套筒并进一步通过圆锥滚子轴承和样品固定轴施加到实验样品从而实现带轴向载荷作用下的旋转弯曲疲劳加载;所述轴向力传感器与所述伺服电机与丝杠传动装置和显示与控制系统相连,用于测量所施加的轴向力的大小,并传输至显示与控制系统;所述显示与控制系统与所述伺服电机与丝杠传动装置相连,用于控制所述伺服电机与丝杠传动装置所施加的轴向力的大小。

2. 如权利要求 1 所述的带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置,其特征在于,所述显示与控制系统根据所述力传感器传输的轴向力测量值与程序设定值的差值反馈控制轴向力的大小。

3. 如权利要求 1 所述的带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置,其特征在于,所述旋转装置包括相连的旋转电机和十字联轴器,所述十字联轴器与一根样品固定轴相连,该十字联轴器的轴心位于该样品固定轴与固定铰支点对应的轴线交点。

4. 如权利要求 1 所述的带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置,其特征在于,所述弯曲加载装置为砝码或者液压加载装置。

5. 如权利要求 1 所述的带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置,其特征在于,所述旋转弯曲疲劳加载装置还包括滑轨;所述底板包括固定底板和活动底板,所述活动底板安装在滑轨上,可沿装置的轴向滑动;所述固定铰支点与所述固定底板相连,所述轴向加载铰支点与所述活动底板相连;所述活动底板与所述伺服电机与丝杠传动装置相连,所述轴向力传感器位于所述活动底板与所述伺服电机与丝杠传动装置之间。

6. 如权利要求 1~5 中任意一项所述的带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置,其特征在于,还包括温度控制装置,所述温度控制装置与显示与控制系统相连,位于所述试验样品的外部,用于按照所述显示与控制系统的控制,调节试验样品的环境温度。

7. 一种带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的方法,使用如权利要求 1~6 中任一项所述的带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置,在实施不同应力比下旋转弯曲疲劳实验时,包括:

- (1) 将试验样品安装在旋转弯曲疲劳加载装置的样品固定轴上;
- (2) 利用轴向载荷加载与控制装置对试验样品施加平均应力;

- (3) 计算试验中试验样品所受的应力幅对应的弯矩大小；
- (4) 利用旋转弯曲疲劳加载装置对试验样品施加弯矩；
- (5) 打开旋转电机带动样品固定轴以一定速率旋转,通过转速控制试验频率；
- (6) 利用温度控制装置来控制试验过程中试验样品的试验温度；
- (7) 继续进行试验直到试验样品疲劳破坏,记录断裂周次并保存断裂的试验样品。

8. 一种带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的方法,如权利要求 1 ~ 6 中任一项所述的带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置,在实施两种不同频率不同幅值的复合疲劳实验时,包括:

- (1) 将试验样品安装在旋转弯曲疲劳加载装置的样品固定轴上；
- (2) 利用轴向载荷加载与控制装置对试验样品施加循环轴向载荷；
- (3) 计算试验中试验样品所受的应力幅对应的弯矩大小；
- (4) 利用旋转弯曲疲劳加载装置对试验样品施加弯矩；
- (5) 打开旋转电机带动样品固定轴以一定速率旋转,通过转速控制试验频率；
- (6) 利用温度控制装置来控制试验过程中试验样品的试验温度；
- (7) 继续进行试验直到试验样品疲劳破坏,记录断裂周次并保存断裂的试验样品。

## 一种带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置和方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种对材料样品进行疲劳实验的装置和方法,尤其涉及一种带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置和方法。

### 背景技术

[0002] 疲劳是指材料或结构在交变载荷循环作用下的损伤累积直至破坏的现象。疲劳行为根据发生疲劳破坏所需的载荷循环周次,分为低周疲劳(循环周次少于  $10^5$ )、高周疲劳(循环周次在  $10^5$ 到  $10^7$ 之间)以及超高周疲劳(循环周次在  $10^7$ 以上)。

[0003] 现有的疲劳试验设备主要包括液压伺服疲劳试验机、高频共振式的疲劳试验机以及旋转弯曲疲劳试验机。其中旋转弯曲疲劳试验机结构简单、能耗低、制造与使用成本低,十分适合进行高周或超高周疲劳试验。

[0004] 但是现有的旋转弯曲试验机只能进行应力比等于  $-1$  的疲劳试验,无法给试验样品施加平均应力,更难以进行两种波形叠加的疲劳试验,也无法进行材料的单调拉伸试验。

### 发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是为了克服现有旋转弯曲疲劳试验技术中无法施加平均载荷的限制,提供一种带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置和方法。

[0006] 为了解决上述问题,本发明提供一种疲劳实验的装置,包括旋转弯曲疲劳加载装置,所述装置还包括对试验样品施加轴向力的轴向载荷加载与控制装置;

[0007] 所述轴向载荷加载与控制装置包括:伺服电机与丝杠传动装置、轴向力传感器和显示与控制系统;所述伺服电机与丝杠传动装置与所述旋转弯曲疲劳加载装置相连,用于给试验样品施加轴向力;所述轴向力传感器与所述伺服电机与丝杠传动装置和显示与控制系统相连,用于测量所施加的轴向力的大小,并传输至显示与控制系统;所述显示与控制系统与所述伺服电机与丝杠传动装置相连,用于控制所述伺服电机与丝杠传动装置所施加的轴向力的大小。

[0008] 优选地,上述装置还具有以下特点:

[0009] 所述显示与控制系统根据所述力传感器传输的轴向力测量值与程序设定值的差值反馈控制轴向力的大小。

[0010] 优选地,上述装置还具有以下特点:

[0011] 所述旋转弯曲疲劳加载装置包括:两根样品固定轴、两个圆锥滚子轴承、两个固定套筒、四个铰支点、旋转装置、弯曲加载装置、底板;所述试验样品固定在所述两根样品固定轴之间,样品固定轴通过圆锥滚子轴承安装在固定套筒中间;所述四个铰支点包括固定铰支点、轴向加载铰支点和两个弯曲加载铰支点,其中固定铰支点和轴向加载铰支点分别位于两个固定套筒上,且与底板连接,用于支承整个四点弯曲受力结构的重量,两个弯曲加载铰支点分别位于两个固定套筒上,与所述弯曲加载装置相连,用于产生弯矩作用于试验样品;所述旋转装置与一根样品固定轴相连,通过旋转装置带动样品固定轴旋转,以实现试验

样品的旋转运动。

[0012] 优选地,上述装置还具有以下特点:

[0013] 所述旋转装置包括相连的旋转电机和十字联轴器,所述十字联轴器与一根样品固定轴相连,该十字联轴器的轴心位于该样品固定轴与固定铰支点对应的轴线交点。

[0014] 优选地,上述装置还具有以下特点:

[0015] 所述弯曲加载装置为砝码或者液压加载装置。

[0016] 优选地,上述装置还具有以下特点:

[0017] 所述旋转弯曲疲劳加载装置还包括滑轨;所述底板包括固定底板和活动底板,所述活动底板安装在滑轨上,可沿装置的轴向滑动;所述固定铰支点与所述固定底板相连,所述轴向加载铰支点与所述活动底板相连;所述活动底板与所述伺服电机与丝杠传动装置相连,所述轴向力传感器位于所述活动底板与所述伺服电机与丝杠传动装置之间。

[0018] 优选地,上述装置还具有以下特点:

[0019] 还包括温度控制装置,所述温度控制装置与显示与控制系统相连,位于所述试验样品的外部,用于按照所述显示与控制系统的控制,调节试验样品的环境温度。

[0020] 为了解决上述问题,本发明提供一种带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的方法,在实施不同应力比下旋转弯曲疲劳实验时,包括:

[0021] (1) 将试验样品安装在旋转弯曲疲劳加载装置的样品固定轴上;

[0022] (2) 利用轴向载荷加载与控制装置对试验样品施加平均应力;

[0023] (3) 计算试验中试验样品所受的应力幅对应的弯矩大小;

[0024] (4) 利用旋转弯曲疲劳加载装置对试验样品施加弯矩;

[0025] (5) 打开旋转电机带动样品固定轴以一定速率旋转,通过转速控制试验频率;

[0026] (6) 利用温度控制装置来控制试验过程中试验样品的试验温度;

[0027] (7) 继续进行试验直到试验样品疲劳破坏,记录断裂周次并保存断裂的试验样品。

[0028] 为了解决上述问题,本发明提供一种带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的方法,在实施两种不同频率不同幅值的复合疲劳实验时,包括:

[0029] (1) 将试验样品安装在旋转弯曲疲劳加载装置的样品固定轴上;

[0030] (2) 利用轴向载荷加载与控制装置对试验样品施加循环轴向载荷;

[0031] (3) 计算试验中试验样品所受的应力幅对应的弯矩大小;

[0032] (4) 利用旋转弯曲疲劳加载装置对试验样品施加弯矩;

[0033] (5) 打开旋转电机带动样品固定轴以一定速率旋转,通过转速控制试验频率;

[0034] (6) 利用温度控制装置来控制试验过程中试验样品的试验温度;

[0035] (7) 继续进行试验直到试验样品疲劳破坏,记录断裂周次并保存断裂的试验样品。

[0036] 本发明利用旋转弯曲疲劳加载装置对试验样品施加机械弯矩,从而控制样品表面的载荷幅值。通过轴向载荷加载与控制装置来控制样品的轴向载荷的大小及随时间的变化。当不施加机械弯矩时,利用轴向载荷加载与控制装置,本发明可以实现单轴拉伸试验;当轴向载荷在疲劳过程中保持恒定时,本发明可以实现有平均应力作用下的等幅疲劳试验;当机械弯矩保持恒定,轴向载荷随时间而变化时,本发明可以实现两种幅值与频率载荷作用下的组合加载。配合温度控制装置或环境介质控制装置,可以进行特殊环境下的疲劳试验。

[0037] 本发明的优点在于：本发明结合旋转弯曲实验机与轴向加载技术，保证了在不同平均拉应力作用下进行等幅疲劳试验。通过控制轴向力随时间的变化，可以进行单轴加载试验或组合频率、幅值下的疲劳试验。由于能耗低，结构简单，制造与使用成本低，可用于高周和超高周下不同应力比的疲劳实验。通过控制轴向载荷与环境温度随时间的变化，尤其适合用于航空发动机材料的热疲劳行为模拟。

### 附图说明

[0038] 图 1 是本发明实施例的带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验装置的结构原理图；

[0039] 图 2 是本发明实施例的主视图；

[0040] 图 3 是本发明实施例的俯视图；

[0041] 其中：

[0042] 1—试验样品，2—样品固定轴，3—固定铰支点，4—弯曲加载铰支点，5—轴向加载铰支点，6—横向作用力，7—轴向力，8—旋转电机，9—轴向力传感器，10—伺服电机与丝杠传动装置，11—砝码，12—十字联轴器，13—圆锥滚子轴承，14—固定套筒，15—底板，16—滑轨，17—调平配重，18—加热炉，19—显示与控制系统。

### 具体实施方式

[0043] 下文中将结合附图对本发明的实施例进行详细说明。需要说明的是，在不冲突的情况下，本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互任意组合。

[0044] 如图 1 所示的装置，其基本结构是一个四点弯曲的受力结构。该装置包括：试验样品 1、两根样品固定轴 2、两个圆锥滚子轴承 13、两个固定套筒 14、固定套筒 14 上铰支点 3、4、5。试验样品 1 固定在样品固定轴 2 的中间，试验样品 1 与样品固定轴 2 绕自身轴旋转。样品固定轴 2 通过圆锥滚子轴承 13 安装在固定套筒 14 中间。固定套筒 14 上的固定加载铰支点 3 和轴向加载铰支点 5 支承整个四点弯曲受力结构的重量。两个固定套筒 14 中间的弯曲加载铰支点 4 受横向作用力 6 的作用，产生弯矩作用于试验样品 1，结合旋转运动产生旋转弯曲加载效果。轴向力 7 通过轴向加载铰支点 5 传递到右侧的固定套筒 14，并进一步通过圆锥滚子轴承 13 和样品固定轴 2 施加到试验样品 1。从而实现带轴向载荷作用下的旋转弯曲疲劳加载。

[0045] 本发明所涉及的试验样品 1 为圆截面样品，试验样品 1 的表面应力可由下式计算：

$$[0046] \quad \sigma = \frac{4F_1}{\pi D^2} + \frac{32F_2 L}{\pi D^3} \sin(2\pi\omega t)$$

[0047]  $F_1$ —轴向力 7 的大小； $F_2$ —横向作用力 6 的大小； $t$ —时间； $\omega$ —试验样品 1 的旋转转速； $L$ —每个固定套筒 14 上两个铰支点的间距（即固定加载铰支点 3 与在该固定套筒上弯曲加载铰支点 4 的间距，或轴向加载铰支点 5 与在该固定套筒上弯曲加载铰支点 4 的间距）； $D$ —试验样品 1 试验段的直径。

[0048] 若  $F_1$  在试验过程中保持恒定，则试验样品 1 将在带平均应力的加载条件下进行疲劳。若  $F_2$  为 0，而  $F_1$  随时间增大，则试验样品 1 将进行单轴加载的拉伸试验。若  $F_1$  在试验过程中随时间周期变化，则试验样品 1 将在两种不同频率不同幅值的载荷联合作用下进行

疲劳。

[0049] 如图 2 和图 3 所示,为本发明实施例的带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置示意图,该装置包括:旋转弯曲疲劳加载装置以及对实验样品施加轴向力的轴向载荷加载与控制装置。

[0050] 所述轴向载荷加载与控制装置包括:伺服电机与丝杠传动装置 10、轴向力传感器 9 和显示与控制系统 19;所述伺服电机与丝杠传动装置 10 与所述旋转弯曲疲劳加载装置相连,用于给试验样品 1 施加轴向力;轴向力传感器 9 与伺服电机与丝杠传动装置 10 和显示与控制系统 19 相连,用于测量所施加的轴向力的大小,并传输至显示与控制系统 19;所述显示与控制系统 19 与所述伺服电机与丝杠传动装置 10 相连,用于控制所述伺服电机与丝杠传动装置 10 所施加的轴向力的大小。其中,显示与控制系统 19 可根据力传感器 9 传输的轴向力测量值与程序设定值的差值反馈控制轴向力的大小。

[0051] 所述旋转弯曲疲劳加载装置包括:两根样品固定轴 2、两个圆锥滚子轴承 13、两个固定套筒 14、四个铰支点 3、4、5、旋转电机 8、十字联轴器 12、砝码 11、底板 15;试验样品 1 固定在两根样品固定轴 2 之间,样品固定轴 2 通过圆锥滚子轴承 13 安装在固定套筒 14 中间;所述四个铰支点包括固定铰支点 3、轴向加载铰支点 5 和两个弯曲加载铰支点 4,其中固定铰支点 3 和轴向加载铰支点 5 分别位于两个固定套筒 15 上,且与底板 15 连接,用于支承整个四点弯曲受力结构的重量,两个弯曲加载铰支点 4 分别位于两个固定套筒 14 上,与砝码 11 相连,用于产生弯矩作用于试验样品 1;旋转电机 8 通过十字联轴器 12 连接到一根样品固定轴 2 以实现试验样品 1 的旋转运动。十字联轴器 12 的轴心位于样品固定轴 2 与固定铰支点 3 对应的轴线交点,这样可保证旋转运动的传递过程不对试验样品 1 产生附加弯矩。

[0052] 旋转弯曲疲劳加载装置还包括滑轨 16;底板 15 包括固定底板和活动底板,所述活动底板安装在滑轨 16 上,可沿装置的轴向滑动;所述固定铰支点 3 与所述固定底板相连,所述轴向加载铰支点 5 与所述活动底板相连;所述活动底板与所述伺服电机与丝杠传动装置 10 相连,所述轴向力传感器 9 位于所述活动底板与所述伺服电机与丝杠传动装置 10 之间。

[0053] 固定套筒 14 上还装有调平配重 17 用于在实验前消除固定套筒 14 不平衡带来的附加弯矩。

[0054] 本装置还包括温度控制装置,在本实施例中为加热炉 18,该加热炉 18 与显示与控制系统 19 相连,位于所述试验样品 1 的外部,用于按照所述显示与控制系统 19 的控制,调节试验样品 1 的环境温度。

[0055] 在本实施例中,横向作用力 6 的大小等于砝码 11 与悬挂零件质量总和的 1/2。

[0056] 利用本实施例的带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置进行单调拉伸实验的方法如下:

[0057] 1、利用调平配重 17 调整固定套筒 14 到水平状态以消除不平衡带来的附加弯矩;

[0058] 2、将加工好的试验样品 1 安装到样品固定轴 2 上;

[0059] 3、利用轴向载荷加载与控制装置对样品施加单调拉伸;

[0060] 在本步骤中,打开显示与控制系统 19,驱动伺服电机与丝杠传动装置 10 对试验样品 1 施加轴向载荷;

[0061] 4、实验过程中力、位移、应变等数据由相应传感器记录保存;

[0062] 在本步骤中,轴向载荷值由轴向力传感器 9 测量并显示到显示与控制系统 19;

[0063] 5、持续拉伸直到试验样品 1 断裂。

[0064] 利用本实施例的带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置进行带拉伸平均应力疲劳试验的方法如下:

[0065] 1、利用调平配重 17 调整固定套筒 14 到水平状态以消除不平衡带来的附加弯矩;

[0066] 2、将加工好的试验样品 1 安装到样品固定轴 2 上;

[0067] 3、利用轴向载荷加载与控制装置对试验样品 1 施加平均应力;

[0068] 在本步骤中,打开显示与控制系统 19,驱动伺服电机与丝杠传动装置 10 对试验样品 1 施加轴向载荷,轴向载荷值由轴向力传感器 9 测量并显示到显示与控制系统 19;

[0069] 4、根据弯曲应力公式计算计算试验中试验样品 1 所受的应力幅对应的弯矩大小,获得所需砝码 11 的质量;

[0070] 5、砝码 11 通过悬挂装置安装到弯曲加载较支点 4 以控制试验样品 1 表面机械载荷的幅值;

[0071] 6、打开旋转电机 8 通过十字联轴器 12 带动样品固定轴 2 和试验样品 1 以一定速率旋转,通过转速控制试验频率;

[0072] 7、利用加热炉 18 来控制试验过程中试验样品 1 的试验温度;(本步骤为可选步骤)

[0073] 8、继续进行试验直到试验样品 1 疲劳破坏,记录断裂周次并保存断裂的试验样品 1。

[0074] 利用本实施例的带轴向载荷控制的旋转弯曲疲劳实验的装置进行两种频率下热机械疲劳试验的方法如下:

[0075] 1、利用调平配重 17 调整固定套筒 14 到水平状态以消除不平衡带来的附加弯矩;

[0076] 2、将加工好的试验样品 1 安装到样品固定轴 2 上;

[0077] 3、利用轴向载荷加载与控制装置对试验样品 1 施加循环轴向载荷;

[0078] 在本步骤中,打开显示与控制系统 19,设定轴向力波形参数:载荷极大值、载荷极小值、上升段时间、保持时间等。这样就确定了由轴向力控制部分的波形;

[0079] 4、根据轴向力波形参数设定加热炉 18 的温度波形,其上升段时间、保持时间与轴向力波形基本一致;

[0080] 5、根据弯曲应力公式计算计算试验中试验样品 1 所受的应力幅对应的弯矩大小,获得所需砝码 11 的质量;

[0081] 6、砝码 11 通过悬挂装置安装到弯曲加载较支点 4 以控制试验样品 1 表面机械载荷由旋弯控制部分波形的幅值;

[0082] 7、打开旋转电机 8 通过十字联轴器 12 带动样品固定轴 2 和试验样品 1 以一定速率旋转,通过转速控制由旋弯部分波形对应的试验频率;

[0083] 8、显示与控制系统 19 执行设定的轴向力波形与温度波形进行试验;

[0084] 9、持续进行试验直到试验样品 1 疲劳破坏,记录断裂周次并保存断裂的试验样品 1。

[0085] 以上介绍的是本发明的优选实施例。然而,应该理解的是,在不背离本发明的精神和范围的前提下,可以进行各种修改。例如:除了采用砝码,其他可对试样施加纯弯曲加载的装置也可以应用在本发明中,例如:液压加载装置等。又例如:除了采用电机,其他可对

试样施加旋转运动的装置也可以应用在本发明中,例如:汽油发动机等。因此,其他实施例涵盖在随附的权利要求范围中。

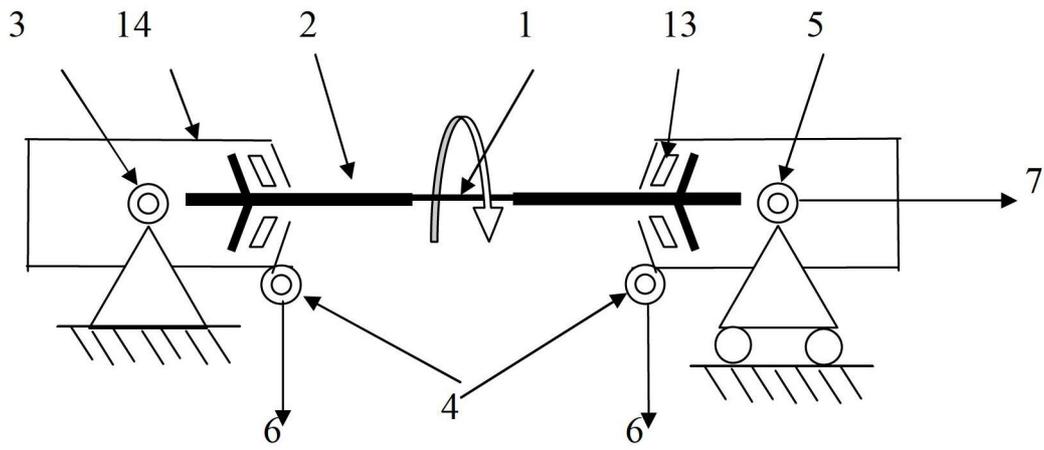


图 1

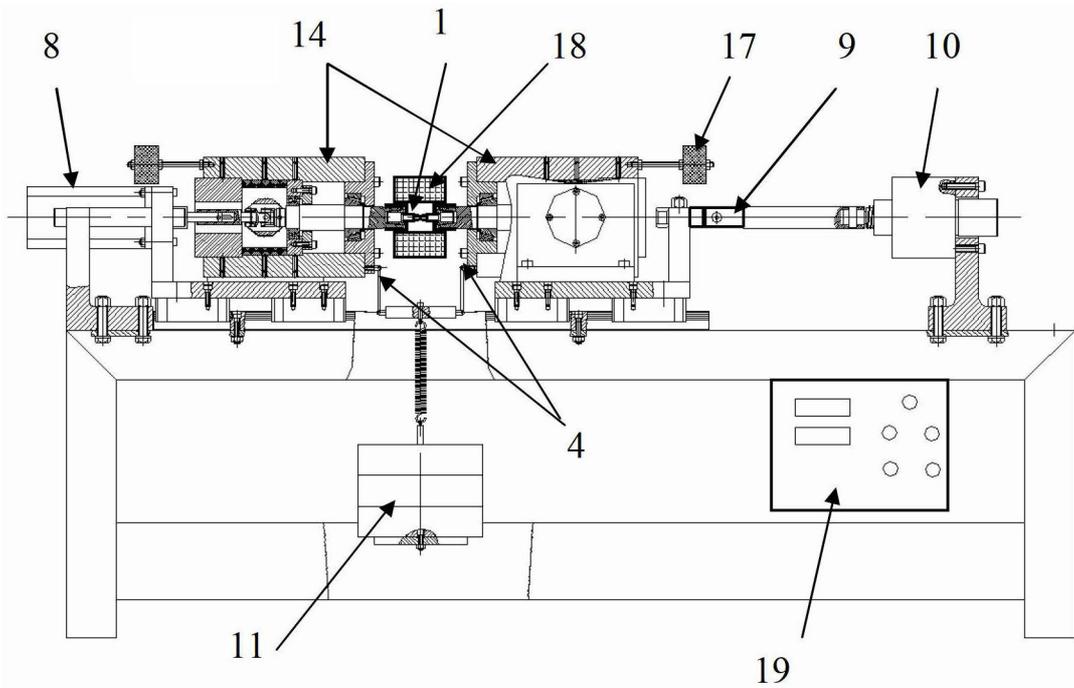


图 2

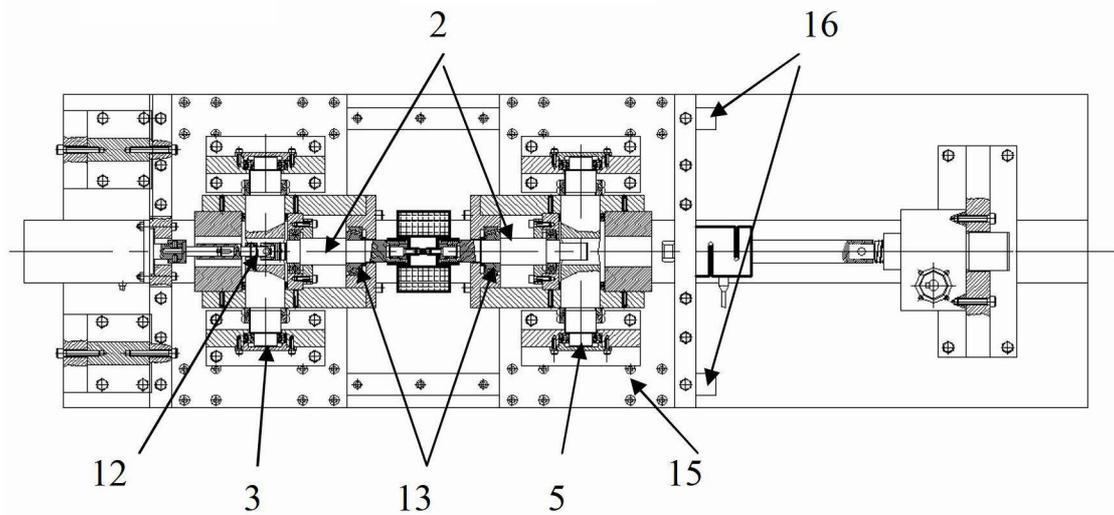


图 3