



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104729933 A

(43) 申请公布日 2015. 06. 24

(21) 申请号 201510115607. 9

(22) 申请日 2015. 03. 17

(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 郇勇 代玉静 董杰 刘薇
毕贞龙

(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 3/22(2006. 01)

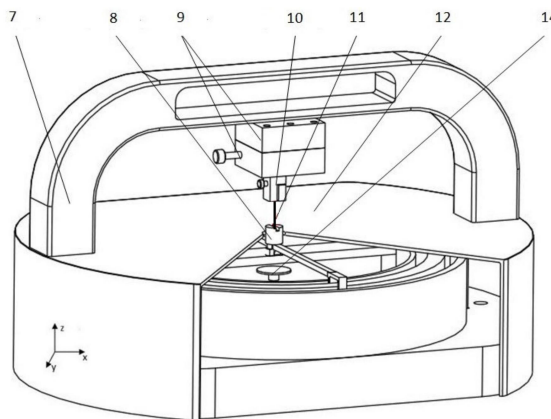
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种高分辨率电磁式微尺度扭转试验机及其
试验方法

(57) 摘要

本发明公开一种电磁式微尺度扭转试验机，其包括控制装置和试验机主机，控制装置用于设置试验方法、向试验机主机发出命令、存储和处理从试验机主机获取的实验数据；试验机主机用于对试样进行加载；试验机主机包括：机壳、电磁驱动装置、传感装置、夹持装置，电磁驱动装置和传感装置在机壳内，夹持装置在机壳外；电磁驱动装置包括外磁铁、通电线圈、中心磁铁、内磁铁，在机壳的中心处立有部分露出机壳的旋转中心轴，内磁铁、中心磁铁、外磁铁从内至外围绕旋转中心轴间隔地布置，两个通电线圈分别悬跨在中心磁铁上方且连接梁与旋转中心轴相交；传感装置分别连接旋转中心轴、控制装置；夹持装置连接在旋转中心轴的上方。还提供了试验方法。



1. 一种电磁式微尺度扭转试验机,其包括控制装置和试验机主机,所述控制装置用于设置试验方法、向试验机主机发出命令、以及存储和处理从试验机主机获取的实验数据;所述试验机主机用于对试样(11)进行加载;其特征在于:

所述试验机主机包括:机壳(12)、电磁驱动装置、传感装置、夹持装置,电磁驱动装置和传感装置在机壳内,夹持装置在机壳外;

所述电磁驱动装置包括外磁铁(1)、通电线圈(2)、中心磁铁(3)、内磁铁(4),在机壳的中心处立有部分露出机壳的旋转中心轴(5),内磁铁、中心磁铁、外磁铁从内至外围绕旋转中心轴间隔地布置,两个通电线圈分别悬跨在中心磁铁上方且这两个通电线圈的连接梁与旋转中心轴相交;

所述传感装置分别连接旋转中心轴、控制装置;

所述夹持装置连接在旋转中心轴的上方。

2. 根据权利要求1所述的电磁式微尺度扭转试验机,其特征在于:所述机壳设有固定架(13),内磁铁(4)、中心磁铁(3)、外磁铁(1)通过固定架的下部与机壳固定,固定架的上部跨在内磁铁、中心磁铁、外磁铁上。

3. 根据权利要求2所述的电磁式微尺度扭转试验机,其特征在于:所述两个通电线圈(2)通过支撑架(6)连接,支撑架通过旋转中心轴(5)连接到固定架(13),两个通电线圈绕旋转中心轴转动。

4. 根据权利要求1-3任一项所述的电磁式微尺度扭转试验机,其特征在于:所述传感装置包括电感式非接触角度传感器(14)。

5. 根据权利要求4所述的电磁式微尺度扭转试验机,其特征在于:所述夹持装置包括活动夹具(8)、固定夹具(10),活动夹具与旋转中心轴(5)同轴地固定,试样(11)放在活动夹具和固定夹具之间并与固定夹具固定。

6. 根据权利要求5所述的电磁式微尺度扭转试验机,其特征在于:所述夹持装置还包括移动平台(9),在外壳上方设有横梁(7),移动平台(9)固定到横梁(7)的中部,移动平台(9)与固定夹具(10)通过螺纹连接。

7. 根据权利要求1所述的电磁式微尺度扭转试验机,其特征在于:所述控制装置包括计算机、控制器;计算机用于设置试验方法、存储和处理实验数据;控制器用于计算机和试验机主机数据通信,用于产生控制试验机主机的驱动信号并传输给试验机主机,以驱动试验机主机的通电线圈;负责采集通电线圈上的驱动信号和角度传感器上的角度信号及其滤波和线性变换,以输出试样上真实的扭矩和扭转角。

8. 一种采用根据权利要求1所述的电磁式微尺度扭转试验机的试验方法,其特征在于:包括以下步骤:

(1) 输入被测试样的原始尺寸数据,用计算机控制控制器产生一驱动电流信号,该信号经功率放大后驱动试验机主机工作;

(2) 用控制器内采集扭转角度的电压信号和线圈的驱动电流信号;

(3) 将采集的扭转角度的电压信号和线圈的驱动电流信号分别换算为角度和扭矩值;

(4) 对步骤(3)得到的角度值和扭矩值,按照力学模型进行数据处理,得出被测试样的真实切应力-应变曲线、剪切模量和剪切强度极限。

9. 根据权利要求8所述的试验方法,其特征在于:所述步骤(4)包括以下分步骤:

(4.1) 按照公式 (2)-(7) 计算出加载在试样上真实的扭矩和扭转角

$$\phi = \phi_v \times S_\phi - \frac{T}{K_s} \quad (2)$$

$$T = T_v \times S_T - K_1 \times \phi_v \times S_v - f \quad (3)$$

$$\tau_{\max} = \frac{T}{W_p} \quad (4)$$

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16} \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{\phi d}{2l} \quad (6)$$

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (7)$$

其中 ϕ 代表试样的真实扭转角 ; S_ϕ 为角度灵敏度系数, 通过对角度传感器标定获得 ; T 为试样上加载的真实扭矩 ; K_s 为机架扭转刚度系数 ; S_T 为扭矩灵敏度系数, 通过对电磁驱动装置标定获得 ; K_1 为线框引线扭转刚度 ; f 为轴承摩擦扭矩 ; τ_{\max} 为试样表层最大切应力 ; γ 为试样表层切应变 ; W_p 为试样抗扭截面系数 ; d 为圆柱型试样的直径 ; l 为试样夹持段内的长度 ; G 为试样剪切模量 ;

(4.2) 根据被测试样的初始尺寸和扭矩、扭转角计算试样真实的切应力-切应变曲线, 得出被测试样的剪切模量。

一种高分辨率电磁式微尺度扭转试验机及其试验方法

技术领域

[0001] 本发明属于微尺度材料力学性能测试技术领域,具体地涉及一种电磁式扭转试验机,以及采用该试验机的试验方法,主要用于 10^{-3}Nm – 10^{-1}Nm 扭矩范围内的微尺度试样扭转力学性能测试。

背景技术

[0002] 目前对材料进行扭转力学性能测试,一般采用扭转材料试验机进行。根据匹配的扭矩传感器不同,试验机扭矩量程从 10^{-1}Nm 至 10^3Nm 不等,可满足工程界对宏观尺度试样扭转测试的需求。但是由于传统扭转材料试验机采用应变式扭矩传感器测量扭矩,即通过应变片测量弹性元件的变形来测量扭矩,从原理上讲,分辨力难以继续提高。更重要的是,目前扭转试验机普遍采用马达或者液压驱动,其产生的振动会影响微小扭矩的测量。因此目前国际范围内最小的商业化扭转试验机只能满足约 10^{-1}Nm 以上的扭转测试需要。

[0003] 随着材料科学以及力学基础研究向微 / 纳米尺度方向的深入开展,对直径小于 1mm 单根细丝、合成纤维的扭转测试需求变得尤为迫切。一方面,基础研究人员在微 / 纳米尺度取得的研究成果,例如,在应变梯度理论、非晶剪切流变、微尺度涂层材料的附着界面等方面的研究,使得微尺度材料对微尺度扭转实验测试的需求显得尤为迫切;另一方面,工程技术人员不再满足采用经典宏观力学知识预测微构件的强度,希望通过更为贴切的实验来指导工程设计。

[0004] 然而,上述测试涉及的扭矩一般小于 10^{-1}Nm 。目前,商业领域内,传统扭转试验机扭矩量程一般在 10^{-1}Nm 以上,其量程及分辨力均难以满足微尺度材料扭转试验需求;科研领域中,2010年,郇勇等人提出的发明专利“一种微扭矩力学试验机及其测试方法”(专利号:201010560900.3)采用单线圈的电磁驱动结构提供扭矩,但其扭矩范围在 10^{-3}Nm 以下,不能满足扭转刚度相对较大微尺度材料测试需求,如直径 200 微米的钨丝等。2011年,何玉明等人所发明的“一种低维材料微扭矩力学性能测试装置”(专利号:201110049785.8),扭矩采用钨丝作为弹性敏感元件来测量,采用共振法校准钨丝扭转刚度,通过测量钨丝扭转角来换算成扭矩,但未能给出钨丝作为扭矩传感器在使用量程内扭矩和扭转角的线性关系程度。此外,该发明通过步进电机来驱动试样扭转,而步进电机存在台阶式驱动的特点,不利于微小扭矩的测量。

发明内容

[0005] 本发明的技术解决问题是:克服现有技术的不足,提供一种新结构的电磁式微尺度扭转试验机,其适用于扭矩范围在 10^{-3}Nm – 10^{-1}Nm 内的材料扭转力学性能测试,具有很好的分辨力、线性度,易于实现对扭矩量程的控制,真实模拟试样在切应力状态下的力学工况,为微纳米工程技术领域提供有效的检测手段,对基础研究领域也具有重要意义。

[0006] 本发明的技术解决方案是:这种电磁式微扭矩试验机,其包括控制装置和试验机主机,所述控制装置用于设置试验方法、向试验机主机发出命令、以及存储和处理从试验机

主机获取的实验数据 ;所述试验机主机用于对试样进行加载 ;

[0007] 所述试验机主机包括 :机壳、电磁驱动装置、传感装置、夹持装置,电磁驱动装置和传感装置在机壳内,夹持装置在机壳外 ;

[0008] 所述电磁驱动装置包括外磁铁、通电线圈、中心磁铁、内磁铁,在机壳的中心处立有部分露出机壳的旋转中心轴,内磁铁、中心磁铁、外磁铁从内至外围绕旋转中心轴间隔地布置,两个通电线圈分别悬跨在中心磁铁上方且这两个通电线圈的连接梁与旋转中心轴相交 ;

[0009] 所述传感装置分别连接旋转中心轴、控制装置 ;

[0010] 所述夹持装置连接在旋转中心轴的上方。

[0011] 由于本发明的内磁铁、中心磁铁、外磁铁从内至外围绕旋转中心轴间隔地布置,所以能够在三者之间的环形间隙中形成均匀的磁场。两个通电线圈分别悬跨在中心磁铁上且这两个通电线圈的连接梁与旋转中心轴相交并与其同轴固定,用于承载输出扭矩所需安培力。根据安培定则可知输出扭矩和电流之间呈线性关系。因此可以通过通电线圈中电流的大小测量相应的输出扭矩,本发明不同于传统意义上利用应变式扭矩传感器测量扭矩的方法,舍弃了利用敏感元件先将变形信号转换为电信号的中间过程,具有很好的分辨力、线性度。同时,可通过调整两个通电线圈之间距离的大小来控制输出扭矩量程,所以易于实现对扭矩量程的控制。本发明能够真实模拟试样在切应力状态下的力学工况,为微纳米工程技术领域提供有效的检测手段,对基础研究领域也具有重要意义。由于本发明采用了双通电线圈的结构布置,所以在实现量程增大的基础上并未增大摩擦扭矩,从而适用于扭矩范围在 10^{-3}Nm - 10^{-1}Nm 内的材料扭转力学性能测试。

[0012] 还提供了一种采用这种电磁式微尺度扭转试验机的试验方法,包括以下步骤 :

[0013] (1) 输入被测试样的原始尺寸数据,用计算机控制控制器产生一驱动电流信号,该信号经功率放大后驱动试验机主机工作 ;

[0014] (2) 用控制器内采集扭转角度的电压信号和线圈的驱动电流信号 ;

[0015] (3) 将采集的扭转角度的电压信号和线圈的驱动电流信号分别换算为角度和扭矩值 ;

[0016] (4) 对步骤 (3) 得到的角度值和扭矩值,按照力学模型进行数据处理,得出被测试样的真实切应力一切应变曲线、剪切模量和剪切强度极限。

附图说明

[0017] 图 1 是根据本发明的电磁式微尺度扭转试验机的整体系统控制结构图。

[0018] 图 2 是根据本发明的电磁式微尺度扭转试验机的试验机主机的结构示意图。

[0019] 图 3 是根据本发明的电磁式微尺度扭转试验机的电磁驱动装置的结构示意图。

[0020] 图 4 是本发明的电磁式微尺度扭转试验机的力学模型。

具体实施方式

[0021] 如图 1-3 所示,本发明中的电磁式微尺度扭转试验机,其包括控制装置和试验机主机,所述控制装置用于设置试验方法、向试验机主机发出命令、以及存储和处理从试验机主机获取的实验数据 ;所述试验机主机用于对试样 11 进行加载 ;

[0022] 所述试验机主机包括：机壳 12、电磁驱动装置、传感装置、夹持装置，电磁驱动装置和传感装置在机壳内，夹持装置在机壳外；

[0023] 所述电磁驱动装置包括外磁铁 1、通电线圈 2、中心磁铁 3、内磁铁 4，在机壳的中心处立有部分露出机壳的旋转中心轴 5，内磁铁、中心磁铁、外磁铁从内至外围绕旋转中心轴间隔地布置，两个通电线圈分别跨在中心磁铁上方且这两个通电线圈的连接梁与旋转中心轴相交，并固定于旋转中心轴上；

[0024] 所述传感装置分别连接旋转中心轴、控制装置；

[0025] 所述夹持装置连接在旋转中心轴的上方。

[0026] 由于本发明的内磁铁、中心磁铁、外磁铁从内至外围绕旋转中心轴间隔地布置，所以能够在磁铁间隙中形成均匀的环形磁场。两个通电线圈分别悬跨在中心磁铁上方且这两个通电线圈的连接梁与旋转中心轴相交，用于承载输出扭矩所需安培力。根据安培定责可知输出扭矩和电流之间呈线性关系（具体地，根据安培定责，扭矩形成原理为：载流线圈在均匀磁场中受安培力，线圈上安培力反向作用于旋转中心轴而产生扭转效应。在确定磁场和两载流线圈之后，线圈上输出安培力的大小与电流呈线性关系，即： $F \propto I$ ，其中 F 为单个载流线圈所受到安培力的大小，I 为载流线圈中的电流，则该装置可输出的扭矩 T，大小为：

$$[0027] \quad T = 2FL \propto I \quad (1)$$

[0028] 式中 L 为两载流线圈距离旋转中心轴的中心距离。) 因此可以通过电流大小测量扭矩，本发明不同于传统意义上利用应变式扭矩传感器测量扭矩的方法，舍弃了利用敏感元件先将变形信号转换为电信号的中间过程，具有很好的分辨力、线性度。同时，可通过调整两个通电线圈中心距的大小来控制输出扭矩量程，所以易于实现对扭矩量程的控制。本发明能够真实模拟试样在切应力状态下的力学工况，为微纳米工程技术领域提供有效的检测手段，对基础研究领域也具有重要意义。由于本发明采用了双通电线圈和磁场，所以在实现量程增大的基础上并未增大摩擦扭矩，从而适用于扭矩范围在 10^{-3}Nm - 10^{-1}Nm 内的材料扭转力学性能测试。

[0029] 另外，所述机壳设有固定架 13，内磁铁 4、中心磁铁 3、外磁铁 1 通过固定架的下部与机壳固定，固定架的上部跨在内磁铁、中心磁铁、外磁铁上。这样能够使得内磁铁、中心磁铁、外磁铁间隔指定距离地固定，从而形成稳定均匀的磁场。

[0030] 另外，所述两个通电线圈 2 通过支撑架 6 连接，支撑架通过旋转中心轴 5 连接到固定架 13。通过采用支撑架使得两个通电线圈保持同时、确定间隔地运动。

[0031] 另外，所述传感装置包括电感式非接触角度传感器 14。当然，也可以采用其它非接触式的角度传感器，例如非接触电容式传感器、光学类传感器等等。

[0032] 另外，所述夹持装置包括活动夹具 8、固定夹具 10，活动夹具 8 与旋转中心轴 5 同轴地固定，固定夹具 10 与移动平台 9 固定连接，试样 11 放在活动夹具和固定夹具之间并与固定夹具固定。这样就可以通过固定夹具在 x、y 方向的移动，带动试样相对于活动夹具在 x、y 方向的移动。

[0033] 另外，所述夹持装置还包括移动平台 9，在外壳上方设有横梁 7，移动平台 9 固定到横梁 7 的中部，移动平台 9 与固定夹具 10 通过螺纹连接。这样就可以通过调整固定夹具上的螺栓来调整试样相对于活动夹具的旋转，从而可以通过微调移动平台的 x、y 向位移和固定夹具 10 的旋转角度，来实现试样 11 与活动夹具 8 同轴，以保证扭转的纯粹性，该移动平

台和固定夹具具有两个平移方向自由度和一个旋转方向自由度。

[0034] 另外,所述控制装置包括计算机、控制器;计算机用于设置试验方法、存储和处理实验数据;控制器用于计算机和试验机主机数据通信,主要用以产生控制试验机主机的驱动信号并传输给试验机主机,以驱动试验机主机的通电线圈;同时,负责采集通电线圈上的驱动信号和角度传感器上的角度信号及其滤波和线性变换,以输出试样上真实的扭矩和扭转角。

[0035] 还提供了一种采用这种电磁式微尺度扭转试验机的试验方法,包括以下步骤:

[0036] (1) 输入被测试样的原始尺寸数据,用计算机控制控制器产生一驱动电流信号,该信号经功率放大后驱动试验机主机工作;

[0037] (2) 用控制器内采集扭转角度的电压信号和线圈的驱动电流信号;

[0038] (3) 将采集的扭转角度的电压信号和线圈的驱动电流信号分别换算为角度和扭矩值;

[0039] (4) 对步骤(3)得到的角度值和扭矩值,按照力学模型进行数据处理,得出被测试样的真实切应力-切应变曲线、剪切模量和剪切强度极限。

[0040] 另外,所述步骤(4)包括以下分步骤:

[0041] (4.1) 按照公式(2)-(7)计算出加载在试样上真实的扭矩和扭转角

$$[0042] \quad \phi = \phi_v \times S_\phi - \frac{T}{K_s} \quad (2)$$

$$[0043] \quad T = T_v \times S_T - K_1 \times \phi_v \times S_v - f \quad (3)$$

$$[0044] \quad \tau_{\max} = \frac{T}{W_p} \quad (4)$$

$$[0045] \quad W_p = \frac{\pi d^3}{16} \quad (5)$$

$$[0046] \quad \gamma = \frac{\phi d}{2l} \quad (6)$$

$$[0047] \quad G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (7)$$

[0048] 其中 ϕ 代表试样的真实扭转角; S_ϕ 为角度灵敏度系数,通过对角度传感器标定获得; T 为试样上加载的真实扭矩; K_s 为机架扭转刚度系数; S_T 为扭矩灵敏度系数,通过对电磁驱动装置标定获得; K_1 为线框引线扭转刚度; f 为轴承摩擦扭矩; τ_{\max} 为试样表层最大切应力; γ 为试样表层切应变; W_p 为试样抗扭截面系数; d 为圆柱型试样的直径; l 为试样夹持段内的长度; G 为试样剪切模量;

[0049] (4.2) 根据被测试样的初始尺寸和扭矩、扭转角计算试样真实的切应力

[0050] 切应变曲线,得出被测试样的剪切模量。

[0051] 下面结合附图对本发明的实施例进行详细说明:

[0052] 图1所示为本发明装置所涉及到的结构系统整体示意图,其中包括计算机、控制器、试验机主机三大部分。其中,计算机用以设置试验方法以及存储和处理实验数据;控制器用于计算机和试验机主机数据通信,用于产生控制试验机的驱动信号并将驱动信号放

大,传输到试验机,以驱动试验机内部通电线圈组;同时,用于采集通电线圈 2 上的驱动信号和角度传感器上的角度信号,并将采集到的信号进行滤波和线性变换,以输出加载试样上真实的扭矩和扭转角。试验机主机则用以对试样进行加载、试验,与控制器通讯,受控制器信号发生模块驱动信号的控制,同时将通电线圈上的扭矩电压信号和角度传感器上的角度信号传输到信号采集模块。

[0053] 现结合图 2 图 3 对本装置进行说明。

[0054] 图 3 为本发明装置的主机机械结构图,主要包括:横梁 7、活动夹具 8、移动平台 9、固定夹具 10、试样 11、机壳 12、机壳内部的角度传感器 14 和电磁驱动装置的核心部分(如图 3)。其中,固定夹具 10 安装于移动平台 9,移动平台 9 固定于横梁 7,移动平台 9 和固定夹具 10 为螺纹连接,固定夹具 10 具有 x、y 两个方向移动的自由度,通过微调移动平台位移和旋转角度可调整试样 11 与活动夹具 8 同轴,以保证扭转的纯粹性,该调整平台具有 2 个方向平移自由度和一个方向旋转自由度。

[0055] 图 3 所示为本发明装置核心的电磁驱动结构示意图,其实体结构安装于机壳 12 内部。如图 2 剖视部分所示,包括外磁铁 1、通电线圈 2、中心磁铁 3、内磁铁 4、旋转中心轴 5、支撑架 6 和固定架 13 几部分。其中,磁铁、线圈等组件均按照旋转中心轴 5 独立的对称分布,现以旋转中心轴 5 左半部分的线圈受力情况为例进行说明。外磁铁 1、内磁铁 4 和中心磁铁 3 均固定于机壳底部,三者之间的间隙分别形成均匀的磁场,通电线圈 2 由支撑架 6 连接,并通过旋转中心轴 5 固定于固定架 7,线圈组接受控制器信号产生的驱动信号,线圈内部产生电流,由安培定则可得到:匀强磁场中的通电线圈 2 受到垂直于纸面向里或者向外的安培力作用,磁场确定后线圈受力方向由电流方向决定;同理,右半部分线圈受到的安培力方向由右线圈中通电电流决定,通过控制左右两个线圈的电流方向,可实现两线圈沿旋转中心轴 5 转动。两线圈的驱动力和长距离的力臂保证了微电流、大扭矩的输出。

[0056] 一方面,活动夹具 8 和旋转中心轴 5 同轴固定,在旋转中心轴 5 的支撑通过支撑架 5 将线圈上输出的转动扭矩传递到活动夹具 8;另一方面,旋转中心轴 5 连接于电感式非接触角度传感器,用以测量扭转角度。

[0057] 实验时,试样 11 安装在固定夹具 10,通过调整移动平台 9 的平移、固定夹具 10 的相对的旋转来保证试样 11 扭转中心与活动夹具 8 同轴。活动夹具 8 输出扭矩直接作用于待测试样 11。

[0058] 现以非晶丝扭转试验为例对本发明装置使用步骤例下:

[0059] 1. 如图 1 所示,将准备好的非晶丝试样 11 夹持于固定夹具 10,调整移动平台 9,夹持试样和旋转轴同轴。

[0060] 2. 调整完毕后,通过计算机编写扭转试验方法。

[0061] 3. 扭转试验开始:通过控制器产生线圈驱动信号,并对信号进行功率放大,输出到扭转试验机主机的左右两支通电线圈,试验机主机输出扭矩,并作用于非晶试样进行扭转试验。

[0062] 其驱动原理为:载流线圈在均匀磁场中受电磁力,电磁力的大小与电流成正比,即: $F \propto I$,式中 F 为电磁力, I 为通过线圈中的电流。由两线圈产生的扭矩大小可通过下面的式 $T = 2FL$ 计算得到,式中 L 为线圈至旋转中心轴的距离, F 为一侧线圈所受到电磁力。

[0063] 4. 试验过程中采集到的角度信号和通电线圈中的驱动信号通过控制器传输到计

算机,并通过变换得到加载在非晶试样上的扭转角和扭矩值。

[0064] 5. 根据采集到的数据,按照力学模型进行后续数据处理。现结合力学模型图 2 对试样表层真实切应力、切应变计算的具体操作说明如下:

[0065] 图 2 是结合本装置的机械机构和动力学模型抽象出的力学模型。

[0066] 现将采集的角度信号定义为 ϕ_v ,采集的驱动信号定义为 T_v ,转换后加载在试样上的角度和扭矩值为:

$$[0067] \quad \phi = \phi_v \times S_\phi - \frac{T}{K_s} \quad (2)$$

$$[0068] \quad T = T_v \times S_T - K_1 \times \phi_v \times S_v - f \quad (3)$$

[0069] 式中 ϕ 代表试样的真实扭转角; S_ϕ 为角度灵敏度系数,通过对角度传感器标定获得; T 为试样上加载的真实扭矩; K_s 为机架扭转刚度系数; S_T 为扭矩灵敏度系数,通过对电磁驱动装置标定获得; K_1 为线框引线扭转刚度; f 为轴承摩擦扭矩。

[0070] 根据材料力学知识,对于各向同性、线弹性材料、小变形时等截面圆轴试样的扭转,试样表层切应力最大,其值为:

$$[0071] \quad \tau_{\max} = \frac{T}{W_p} \quad (4)$$

[0072] 式中, W_p 为抗扭截面系数。对于实心圆柱模型,

$$[0073] \quad W_p = \frac{\pi d^3}{16} \quad (5)$$

[0074] 式中 d 为圆轴试样的直径。由式 (4) 和 (5) 可得到切应力。

[0075] 在小变形范围内,切应变为

$$[0076] \quad \gamma = \frac{\phi d}{2l} \quad (6)$$

[0077] 式中 l 为试样夹持段内的长度, ϕ 由试验机测得, γ 为试样表层切应变;。有式 (6) 可得到切以切应变。剪切模量 G 为:

$$[0078] \quad G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (7)$$

[0079] 6. 得出并输出试验结果。

[0080] 该尺度下非晶扭转测试试验对研究非晶的剪切流变、微观非晶纤维与宏观块体非晶性质研究具有有重要的参考价值。

[0081] 本发明提供的试验机和试验方法主要针对微尺度试样的扭转力学性能测试而设计的。以弥补商业领域扭矩量程在 $10^{-3}\text{Nm} \sim 10^{-1}\text{Nm}$ 的测试空白。该试验方法具有较高扭矩分辨力和线性度。测量装置体积小、重量轻,自动化程度高,使用方便。

[0082] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例,并非对本发明作任何形式上的限制,凡是依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰,均仍属本发明技术方案的保护范围。

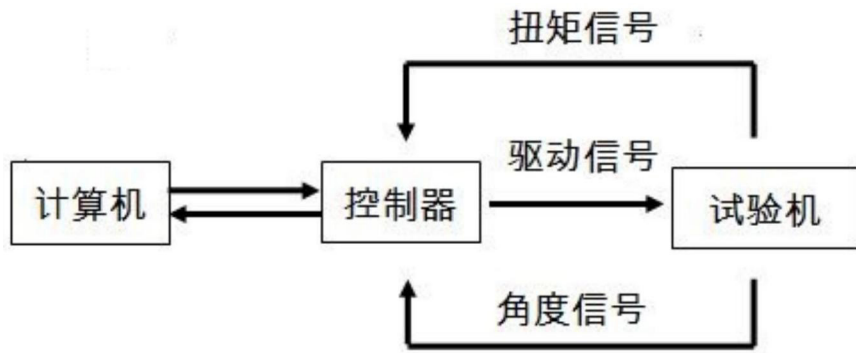


图 1

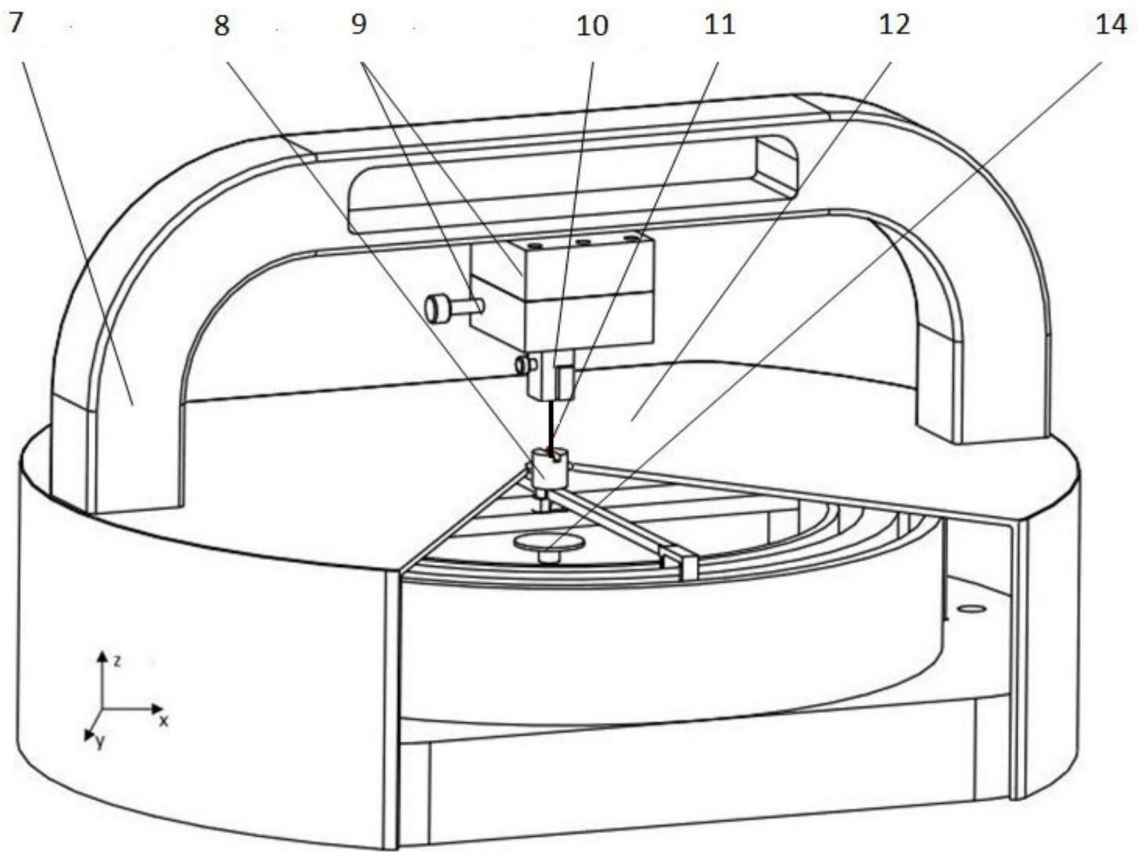


图 2

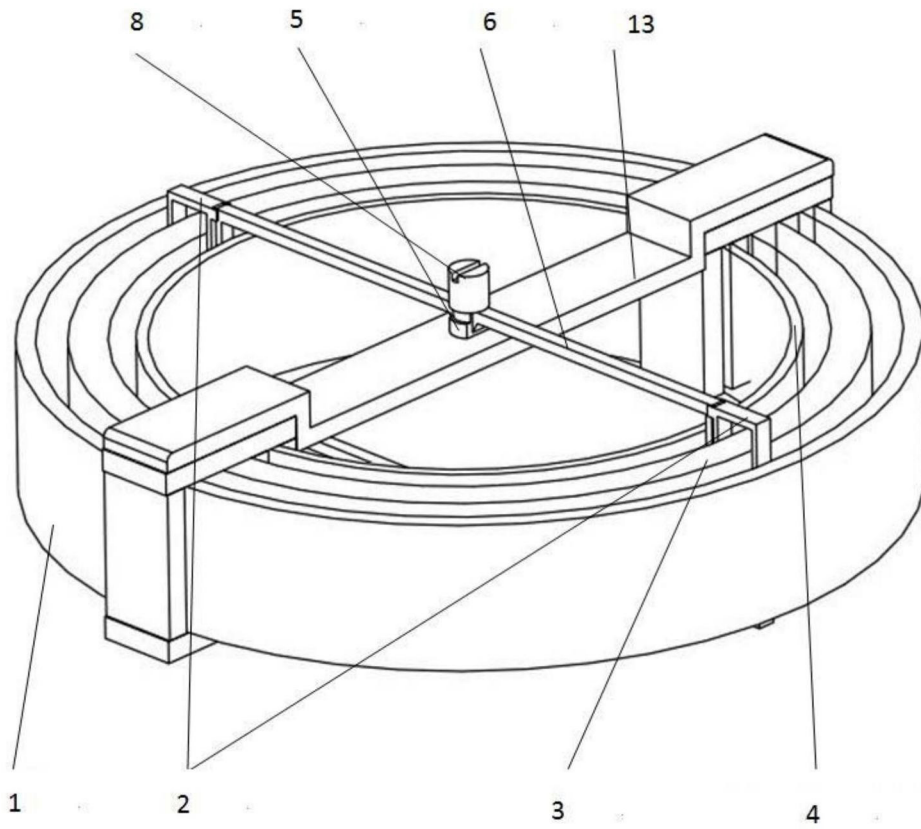


图 3

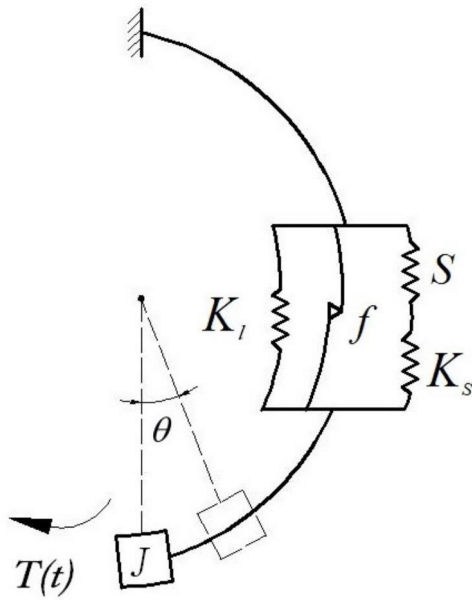


图 4