



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101178345 B

(45) 授权公告日 2010. 11. 03

(21) 申请号 200710050696. 9

(22) 申请日 2007. 12. 05

(73) 专利权人 西南交通大学

地址 610031 四川省成都市二环路北一段  
111 号

(72) 发明人 朱旻昊 蔡振兵 莫继良 周仲荣  
石心余

(74) 专利代理机构 成都博通专利事务所 51208  
代理人 陈树明

(51) Int. Cl.

G01N 3/56 (2006. 01)

G01M 19/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 8-29313 A, 1996. 02. 02, 全文.

CN 1391095 A, 2003. 01. 15, 全文.

CN 1297813 C, 2007. 01. 31, 全文.

CN 1687740 A, 2005. 10. 26, 全文.

CN 101017129 A, 2007. 08. 15, 全文.

CN 201177589 Y, 权利要求 1-8.

US 6840082 B2, 2005. 01. 11, 全文.

蔡振兵, 等. PMMA 树脂扭动微动磨损行为研究. 第八届全国摩擦学大会论文集. 2007, 274-277.

审查员 阎良萍

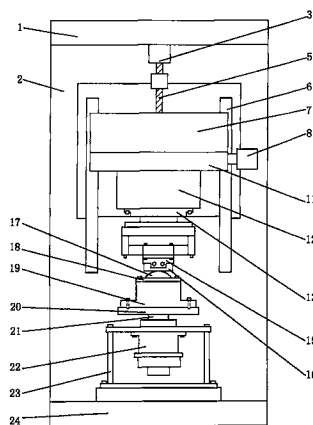
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 4 页

(54) 发明名称

一种扭动微动摩擦磨损试验装置

(57) 摘要

一种扭动微动摩擦磨损试验装置, 包括上、下夹具, 安装上、下夹具的机座; 其中, 上夹具的上端与六维力/力矩传感器相连, 六维力/力矩传感器与能够进行水平与垂向移动的二维移动台相连; 二维移动台的组成为: 垂向电机固定在机座上部的顶板上, 垂向电机的轴与垂向丝杆联接, 垂向丝杆与运动块的内螺纹配合, 运动块内侧的滑槽与立板上的导轨配合, 运动块的外侧与横梁固定连接; 横梁下部的滑轨与运动板上部的滑槽配合, 水平电机固定在机座的立板上, 水平电机的轴与水平丝杆联接, 水平丝杆与运动板的内螺纹配合, 运动板的下部与六维力/力矩传感器连接。它能方便地使材料发生小角度扭动微动摩擦磨损, 且自动化程度高, 控制与测试的精度高, 试验数据的重现性好。



1. 一种扭动微动摩擦磨损试验装置,包括上、下夹具(15、19),安装上、下夹具(15、19)的机座(1),其特征在于:

所述的下夹具(19)安装在机座(1)上的具体结构为:下夹具(19)为夹持球形的下试件(17)的夹具,下夹具(19)与高精低速转动台通过螺纹固定,且下夹具(19)的夹持腔的垂向中心线与高精低速转动台旋转轴对中;高精低速转动台安装在机座(1)的底板(24)上;

上夹具(15)安装在机座(1)上的具体结构为:上夹具(15)的上端与六维力/力矩传感器(13)相连,六维力/力矩传感器(13)与能够进行水平与垂向移动的二维移动台相连,二维移动台固定在机座(1)的中上部;

所述的二维移动台的组成为:垂向电机(3)固定在机座(1)上部的顶板上,垂向电机(3)的轴与垂向丝杆(5)联接,垂向丝杆(5)与运动块(25)的内螺纹配合,运动块(25)内侧的滑槽与立板(2)上的导轨(6)配合,运动块(25)的外侧与横梁(7)固定连接;横梁(7)下部的滑轨(10)与运动板(11)上部的滑槽配合,水平电机(8)固定在机座(1)的立板(2)上,水平电机(8)的轴与水平丝杆(9)联接,水平丝杆(9)与运动板(11)的内螺纹配合,运动板(11)的下部与六维力/力矩传感器(13)连接;

高精低速转动台、二维移动台、六维力/力矩传感器(13)均与数据采集控制系统电连接。

2. 根据权利要求1所述的一种试验装置,其特征在于,所述的运动板(11)与六维力/力矩传感器(13)连接的具体方式为:运动板(11)的下部与联接块(12)螺纹连接,联接块(12)的下部与六维力/力矩传感器(13)连接。

3. 根据权利要求1所述的一种试验装置,其特征在于,所述的机座(1)的立板(2)上设有导向轴承(26),垂向丝杆(5)的下部穿过该导向轴承(26)。

4. 根据权利要求1所述的一种试验装置,其特征在于:所述高精低速转动台的组成为:支架(23)安装在机座(1)的底板(24)上,高精度低速电机(22)垂向固定在支架(23)上,高精度低速电机(22)的输出轴(21)上固定旋转台面(20),旋转台面(20)上螺纹固定下夹具(19)。

5. 根据权利要求1所述的一种试验装置,其特征在于:所述的下夹具(19)夹持腔的底部中间开有圆弧面(31),该圆弧面(31)的曲率半径与球形下试件(17)的半径相同,在圆弧面(31)的中心部位开有定位通孔(32);下夹具压板(18)开有圆弧形通孔(30),其曲率半径也与球形下试件(17)半径相同;定位通孔(32)、下夹具(19)夹持腔的圆弧面(31)及下夹具压板(18)的圆弧形通孔(30),三者的中心线重合。

6. 根据权利要求1所述的一种试验装置,其特征在于:所述的高精低速转动台的扭转运动最小转角 $\theta$ 为 $0.05^\circ$ ,转速 $\omega$ 的范围为 $0.01\text{--}5^\circ/\text{s}$ 。

7. 根据权利要求1所述的一种试验装置,其特征在于:所述的六维力/力矩传感器(13)的法向载荷测量范围为 $1\text{--}580\text{N}$ ;横向及纵向两个方向的切向力测量范围 $1\text{--}180\text{N}$ ,扭矩测量范围为 $1\text{--}10000\text{N}\cdot\text{mm}$ 、测量精度为 $1\text{N}\cdot\text{mm}$ 。

## 一种扭动微动摩擦磨损试验装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于摩擦技术研究领域,尤其属于一种微动摩擦试验方法及其试验装置。

### 背景技术

[0002] 微动 (Fretting) 是指在机械振动、疲劳载荷、电磁振动或热循环等交变载荷作用下,接触表面间发生的振幅极小的相对运动,这些接触表面通常名义上静止,即微动发生在“紧固”配合的机械部件中。微动摩擦学是研究微动运行机理、损伤、测试、监控、预防的一个学科分支,它是一门日益发展的新兴交叉学科,涉及的学科广泛,如机械学、材料学,甚至生物医学、电工学等。微动是一种相对运动幅度很小的摩擦方式,其造成的材料损伤通常表现为两种形式,即:(1) 微动导致的磨损:微动可以造成接触面间的表面磨损,产生材料损失和构件尺寸变化,引起构件咬合、松动、功率损失、噪声增加或形成污染源。(2) 微动导致的疲劳:微动可以加速裂纹的萌生与扩展,使构件的疲劳寿命大大降低,微动疲劳极限甚至可低于普通疲劳极限的 1/3。往往这种损伤形式危险性更大,造成一些灾难性的事故。

[0003] 在球-平面接触条件下,微动可以分为切向、径向、滚动、扭动等四种基本微动模式。切向微动与径向微动均为对磨副在法向载荷的作用下,在接触面上做小位移直线运动,不同之处在于:切向微动的法向载荷方向与其运动方向垂直,径向微动法向载荷方向与运动方向一致。滚动微动与扭动微动均为对磨副在法向载荷的作用下,在接触面上做小角度的旋转运动,不同之处在于:滚动微动的旋转轴与接触平面平行,如车轮与地面的摩擦;扭动微动的旋转轴与接触面垂直,如髋关节与髋关节盘发生的摩擦。

[0004] 扭动微动是在交变载荷下接触副间发生微幅扭动的相对运动。扭动微动现象大量存在于机械装备和器械中,例如汽车前轮转向机构的转向球关节的转向过程中、机车车辆转向架与车体连接的心盘在机车转弯时的摩擦,人体植入器械中的人工心脏瓣膜的阀门轴与轴座的摩擦、髋关节和膝关节杵臼状接触区内发生的微动等。扭动微动摩擦给生产、生活带来了较大的损失与麻烦。由于其人工控制再现或模拟困难,扭动微动的相关研究工作一直以来开展较少。研发扭动微动试验的新方法及其装置,对减少工程中出现的扭动微动磨损问题,改进机械与生物工程的相关设计,提高装备与器械的性能与寿命、节约能源等具有十分重要的意义。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种扭动微动摩擦磨损试验方法,该试验方法能方便地使材料发生小角度扭动微动摩擦磨损,且其自动化程度高,控制与测试的精度高,试验数据的重现性好。

[0006] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:一种扭动微动摩擦磨损试验方法,其作法是:

[0007] a、将上试件夹持在上夹具上,再将下夹具与高精低速转动台通过螺纹固定,且下夹具的夹持腔的垂向中心线与高精低速转动台旋转轴对中,用下夹具夹持球形的下试件;

[0008] b、通过数据采集控制系统控制上夹具的上下移动,使上、下试件接触并施加设定的载荷  $P$ ,同时通过数据采集控制系统的控制使下夹具及其夹持的下试件以设定的转速  $\omega$ 、转角  $\theta$  和往复次数  $N$  的往复旋转,实现上、下试件间的扭动微动摩擦;

[0009] c、在上、下试件发生扭动微动摩擦的同时,通过与上夹具相连的六维力 / 力矩传感器测出摩擦扭矩,并送至数据采集控制系统,数据采集控制系统分析得出设定转速和载荷条件下的扭矩 - 角位移曲线,以表征扭动微动摩擦的动力学特性。

[0010] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0011] 一、由于下夹具的夹持腔的垂向中心线与高精低速转动台旋转轴对中,高精低速转动台旋转时能保证下夹具夹持的球形试件的垂向中心线与其旋转轴重叠,使得旋转时球形试件的垂向顶点在水平位置不发生改变,也即不会发生两轴不重合时的销 - 盘磨损现象,从而使扭动微动得以实现。二、通过数据采集控制系统的控制,能精确实现上夹具位置的调整及加载设定载荷,也能精确实现下夹具及其下试件按给定转速、转角进行往复旋转。从而精确实现给定参数条件下的扭动微动摩擦磨损试验。三、通过与上夹具相连的六维力 / 力矩传感器测出扭动微动时的摩擦扭矩,并送数据采集处理系统处理,得出设定条件下的扭矩 - 角位移曲线,可以准确表征扭动微动的动力学特性;并可将试验后的材料进行其它相关的磨损分析。

[0012] 总之,该试验方法能方便的使材料发生精确的小角度扭动微动摩擦磨损,试验直接由数据采集控制系统控制给定相应测试参数,并用其进行自动分析及处理,自动化程度高,控制与测试的精度高,试验数据的重现性好。

[0013] 本发明的另一目的是提供一种实施上述的扭动微动摩擦磨损试验方法的试验装置,该装置结构简单,能够方便的实现该试验方法,能够进行不同工况与规格的材料试验,可以精确控制试验参数。

[0014] 本发明实现该发明目的所采用的技术方案是:一种扭动微动摩擦磨损试验方法的试验装置,包括上、下夹具,安装上、下夹具的机座,其结构特点是:

[0015] 所述的下夹具安装在机座上的具体结构为:下夹具为夹持球形试件的夹具,下夹具与高精低速转动台通过螺纹固定,且下夹具的夹持腔的垂向中心线与高精低速转动台旋转轴对中;高精低速转动台安装在机座的底板上;

[0016] 上夹具安装在机座上的具体结构为:上夹具的上端与六维力 / 力矩传感器相连,六维力 / 力矩传感器与能够进行水平与垂向移动的二维移动台相连,二维移动台固定在机座的中上部;

[0017] 高精低速转动台、二维移动台、六维力 / 力矩传感器均与数据采集控制系统电连接。

[0018] 该装置的使用方法及工作过程为:

[0019] 将上试样固定上夹具上,下试样固定在下夹具上,通过数据采集控制系统控制二维移动平台的运动,以调整上试样在水平、竖直两个方向的位置,使其与下试样接触并给定设定载荷。通过数据采集控制系统控制,控制高精低速转动台,使下试样按设定参数进行往复旋转,再用六维力 / 力矩传感器实时监测扭动微动时的扭矩,送数据采集控制系统进行处理,得到扭矩 - 角位移曲线。

[0020] 给定不同的参数,即可进行不同工况下的扭动微动摩擦磨损试验。对于不同尺寸

的下试件,采用对应尺寸的下夹具即可完成试验。

[0021] 可见,采用以上装置,可以方便的实现本发明的试验方法,能够进行不同工况与规格的材料试验,可以精确控制试验参数,并且该装置结构简单。

[0022] 上述的二维移动台的组成为:垂向电机固定在机座上部的顶板上,垂向电机轴与垂向丝杆联接,垂向丝杆与运动块的内螺纹配合,运动块内侧的滑槽与立板上的导轨配合,运动块的外侧与横梁固定连接;横梁下部的滑轨与运动板上部的滑槽配合,水平电机固定在机座侧部立板上,水平电机的轴与水平丝杆联接,水平丝杆与运动板的内螺纹配合,运动板的下部与六维力/力矩传感器连接。

[0023] 采用电机驱动丝杆机构及滑轨、滑槽机构来实现水平及垂向的运动。这些机构构造简单、运行可靠;并且电机受数据采集控制系统控制,使得其位置调整精确,简便。

[0024] 上述的运动板与六维力/力矩传感器连接的具体方式为:运动板的下部与联接块螺纹连接,联接块的下部与六维力/力矩传感器连接。

[0025] 这样使得传感器能更平稳牢固的安装在运动板上、并且更换时也很方便。

[0026] 上述的立板上设有导向轴承,垂向丝杆的下部穿过该导向轴承。

[0027] 这样使得二维移动台的垂向稳定性更好。

[0028] 上述高精低速转动台的组成为:支架安装在机座的底板上,高精度低速电机垂向固定在支架上,高精度低速电机的输出轴上固定旋转台面,旋转台面上螺纹固定下夹具。

[0029] 这样使得高精低速转动台的构造简单,传动直接,控制精确。

[0030] 上述的下夹具夹持腔的底部中间开有圆弧面,该圆弧面的曲率半径与球形下试件的半径相同,在圆弧面的中心部位开有定位通孔;下夹具压板开有圆弧形通孔,其曲率半径也与球形下试件半径相同,定位通孔、下夹具夹持腔的圆弧面及下夹具压板的圆弧形通孔,三者的中心线重合。

[0031] 这样可确保旋转时下夹具夹持的球形试件的垂向中心线与其旋转轴重叠,使得旋转时球形试件的垂向顶点在水平位置不发生改变,使扭动微动磨损得以精确实现,避免出现销-盘磨损。

[0032] 上述的高精低速转动台的扭转运动最小转角  $\theta$  为  $0.05^\circ$ , 转速  $\omega$  的范围为  $0.01-5^\circ/s$ 。

[0033] 上述的六维力/力矩传感器的法向载荷测量范围为 1-580N;横向及纵向两个方向的切向力测量范围 1-180N,扭矩测量范围为 1-10000N·mm、测量精度为 1N·mm。

[0034] 这样使得本发明装置能够实现高精度小角度的扭动微动摩擦磨损试验,其测试结果精确、可靠。

[0035] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的描述。

## 附图说明

[0036] 图 1 是本发明实施例的试验装置的主视结构示意图。

[0037] 图 2 是图 1 的右视图。

[0038] 图 3 是本发明实施例的试验装置,未夹持下试件时的下夹具及旋转台面的剖视放大结构示意图。

[0039] 图 4a 是用本发明实施例的试验装置及本发明的方法对一具体试件材料进行试验

得到的扭矩 - 角位移 ( $T-\theta$ ) 曲线。试验的上试件为  $20\text{mm}\times 10\text{mm}\times 10\text{mm}$  的 LZ50 车轴钢试块, 下试件为  $\Phi 40\text{mm}$  的 GCr15 钢球, 试验参数为: 法向载荷  $P = 50\text{N}$ , 往复旋转 (扭转) 角速度  $\omega = 0.2^\circ / \text{s}$ , 转角  $\theta$  为  $0.5^\circ$ , 往复循环次数  $N = 10^3$ 。

[0040] 图 4b 是用图 4a 相同的试验装置、试件材料, 其试验参数也基本相同, 仅仅是转角  $\theta$  改为  $2^\circ$  进行试验得到的扭矩 - 角位移曲线。

[0041] 图 5a 是图 4a 的上试件试验后的磨痕形貌图。

[0042] 图 5b 是图 4b 的上试件试验后的磨痕形貌图。

[0043] 图 6a 是图 4a 的上试件试验后的磨痕磨屑 X 射线能谱图 (EDX), 其中横坐标为: 能量 / 千电子伏 (energy/kev); 纵坐标为: 计数 (counts)。

## 具体实施方式

[0044] 实施例

[0045] 本发明的一种具体实施方式是, 一种扭动微动摩擦磨损试验方法, 其作法是:

[0046] a、将上试件夹持在上夹具上, 再将下夹具与高精低速转动台通过螺纹固定, 且下夹具的夹持腔的垂向中心线与高精低速转动台旋转轴对中, 用下夹具夹持球形的下试件;

[0047] b、通过数据采集控制系统控制上夹具的上下移动, 使上、下试件、接触并施加设定的载荷  $P$ , 同时通过数据采集控制系统的控制使下夹具及其夹持的下试件以设定的转速  $\omega$ 、转角  $\theta$  和往复次数  $N$  的往复旋转, 实现上、下试件间的扭动微动摩擦;

[0048] c、在上、下试件发生扭动微动摩擦的同时, 通过与上夹具相连的六维力 / 力矩传感器测出摩擦扭矩, 并送至数据采集控制系统, 数据采集控制系统分析得出设定转速和载荷条件下的扭矩 - 角位移曲线, 以表征扭动微动摩擦的动力学特性。

[0049] 为使上述试验方法得以更方便快捷地实现, 本例采用的试验装置的具体构成如下。

[0050] 图 1、2 示出, 实现本发明的扭动微动摩擦试验方法的试验装置, 包括上、下夹具 15、19, 安装上、下夹具的机座 1。

[0051] 下夹具 19 安装在机座 1 上的具体结构为: 下夹具 19 为夹持球形试件的夹具, 下夹具 19 与高精低速转动台通过螺纹固定, 且下夹具 19 的夹持腔的垂向中心线与高精低速转动台旋转轴对中; 高精低速转动台安装在机座 1 的底板 24 上。

[0052] 上夹具 15 安装在机座 1 上的具体结构为: 上夹具 15 的上端与六维力 / 力矩传感器 13 相连, 六维力 / 力矩传感器 13 与能够进行水平与垂向移动的二维移动台相连, 二维移动台固定在机座的中上部。

[0053] 高精低速转动台、二维移动台、六维力 / 力矩传感器 13 均与数据采集控制系统电连接。

[0054] 以上的二维移动台的组成为: 垂向电机 3 固定在机座 1 上部的顶板上, 垂向电机轴与垂向丝杆 5 联接, 垂向丝杆 5 与运动块 25 的内螺纹配合, 运动块 25 内侧的滑槽与立板 2 上的导轨 6 配合, 运动块 25 的外侧与横梁 7 固定连接; 横梁 7 下部的滑轨 10 与运动板 11 上部的滑槽配合, 水平电机 8 固定在机座 1 侧部立板 2 上, 水平电机轴与水平丝杆 9 联接, 水平丝杆 9 与运动板 11 的内螺纹配合, 运动板 11 的下部与六维力 / 力矩传感器 13 连接。

[0055] 以上的运动板 11 与六维力 / 力矩传感器 13 连接的具体方式为 : 运动板 11 的下部与联接块 12 螺纹连接, 联接块 12 的下部与六维力 / 力矩传感器 13 连接。

[0056] 机座的立板上还设有导向轴承 26, 垂向丝杆 5 的下部穿过该导向轴承 26。

[0057] 以上的高精低速转动台的组成为 : 支架 23 安装在机座的底板 24 上, 高精度低速电机 22 垂向固定在支架 23 上, 高精度低速电机 22 的输出轴 21 上固定旋转台面 20, 旋转台面 20 上螺纹固定下夹具 19。

[0058] 图 3 示出, 下夹具 19 夹持腔的底部中间开有圆弧面 31, 该圆弧面 31 的曲率半径与球形下试件 17 的半径相同, 在圆弧面的中心部位开有定位通孔 32 ; 下夹具压板 18 开有圆弧形通孔 30, 其曲率半径也与球形下试件 17 半径相同, 定位通孔 32、下夹具 19 夹持腔的圆弧面 31 及下夹具压板 18 的圆弧形通孔 30, 三者的中心线重合。这样, 可确保下试件 17 置入夹持腔、再压紧下夹具压板 18 后, 被夹持的下试件 17 的垂向直径与夹持腔的垂向中心线重叠, 也即与高精低速旋转台的旋转轴重叠。

[0059] 本例采用的高精低速转动台的扭转运动最小转角  $\theta$  为  $0.05^\circ$ , 转速  $\omega$  的范围为  $0.01\text{--}5^\circ/\text{s}$ 。也即, 高精度低速电机 22 的最小输出转角为  $0.05^\circ$ , 转速的范围为  $0.01\text{--}5^\circ/\text{s}$ 。

[0060] 本例采用的六维力 / 力矩传感器 13 的法向载荷测量范围为  $1\text{--}580\text{N}$ ; 横向及纵向两个方向的切向力测量范围  $1\text{--}180\text{N}$ , 扭矩测量范围为  $1\text{--}10000\text{N}\cdot\text{mm}$ 、测量精度为  $1\text{N}\cdot\text{mm}$ 。

[0061] 采用以上本发明的装置及其试验方法进行的两次具体试验的结果如下 :

[0062] 试验材料为 : 上试件为  $20\text{mm}\times 10\text{mm}\times 10\text{mm}$  的 LZ50 车轴钢试块, 下试件为  $\Phi 40\text{mm}$  的 GCr15 钢球。试验条件 : 载荷  $P = 50\text{N}$ , 角速度  $\omega = 0.2^\circ/\text{s}$ , 转角  $\theta$  为  $0.5^\circ$ 、 $2^\circ$ , 往复次数  $N = 1000$ 。两个试验仅仅是转角  $\theta$  不同, 第一个的转角  $\theta$  为  $0.5^\circ$ , 第二个的转角  $\theta$  为  $2^\circ$ 。

[0063] 图 4a 为第一个 (小角度,  $\theta = 0.5^\circ$ ) 试验得到的 LZ50 钢扭动微动条件下的扭矩 - 角位移曲线。曲线形状呈椭圆状, 可以判定其属于微动的部分滑移状态。这与切向微动摩擦的试验特征一致。

[0064] 图 4b 为第二个 (大角度,  $\theta = 2^\circ$ ) 试验得到的呈现出平行四边形状  $T-\theta$  曲线, 可以判定其属于微动的完全滑移状态 ; 也与切向微动摩擦的试验特征一致。

[0065] 图 5a 为以上第一个试验后的 LZ50 钢的磨痕形貌。该图表明部分滑移时, 上试件的磨痕中心粘着、损伤轻微 ; 外侧发生微滑即相对滑移, 其磨损较严重。说明发生了部分滑移, 也与图 4a 的判定一致。

[0066] 图 5b 为以上第二个试验后的 LZ50 钢的磨痕形貌。从图中看出, 接触区产生完全滑移, 所有接触区域均磨痕损伤严重, 这也与图 4b 的判定一致。也与切向微动磨损的试验特征一致。

[0067] 图 6a 为经过以上第一个试验后的 LZ50 钢, 其微动磨痕表面红褐色磨屑的 EDX 结果, 发现经磨损后的氧含量明显升高, 说明接触表面产生了扭动微动磨损。

[0068] 显然, 本发明的上夹具 15 及二维移动台, 下夹具 19 及高精低速转动台可对称互换, 也即将上夹具及二维移动台旋转  $180^\circ$ , 安装在机座 1 的下部 ; 而下夹具 19 及高精低速转动台旋转  $180^\circ$  安装于机座 1 的上部 ; 属于本发明试验装置的简单等同替换。

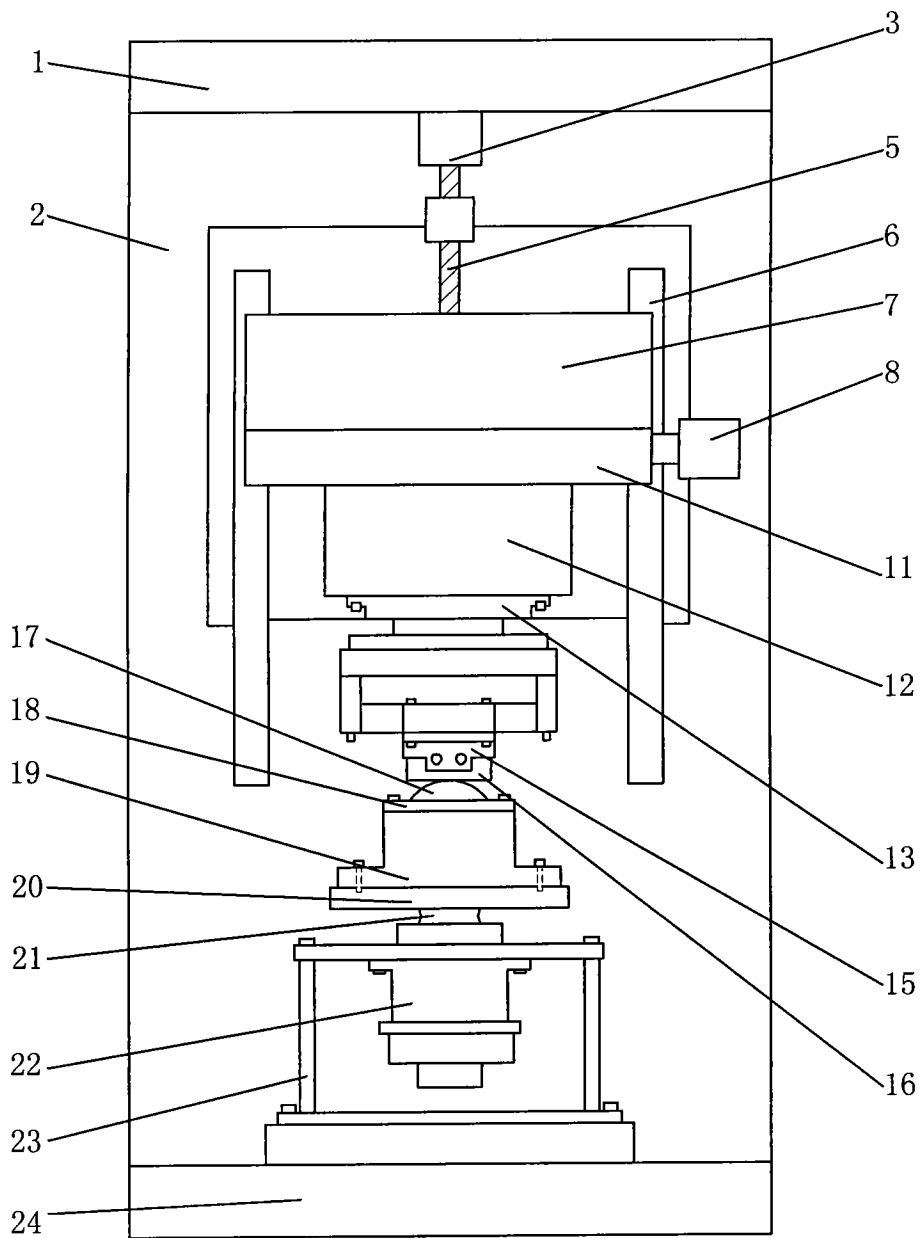


图 1

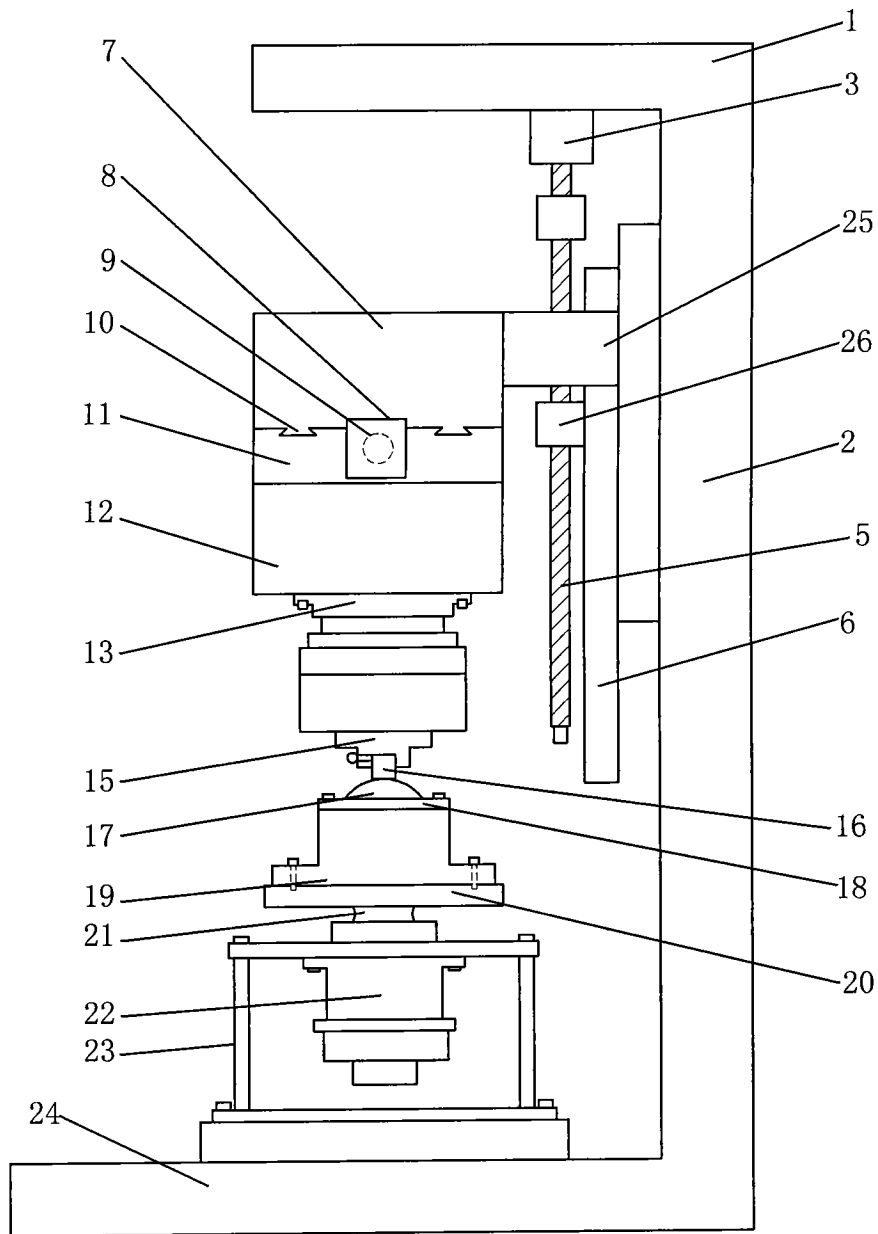


图 2

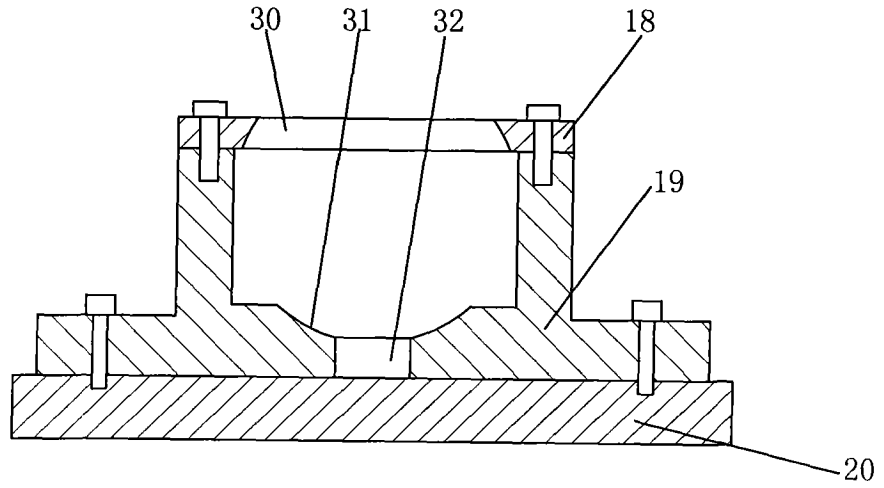


图 3

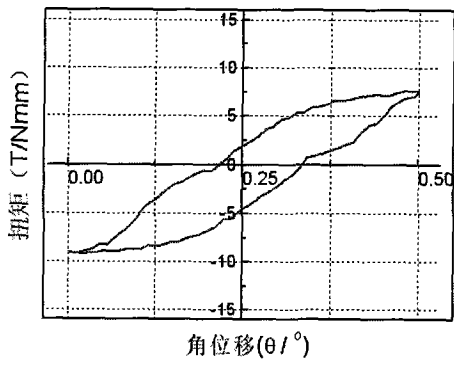


图 4a

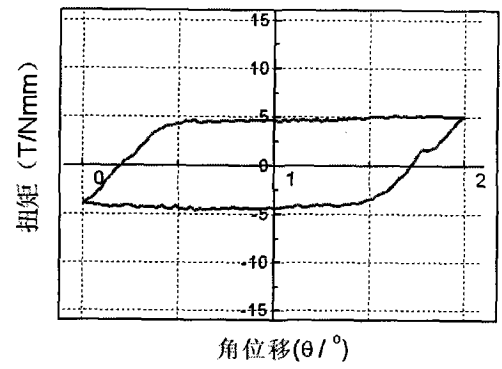


图 4b

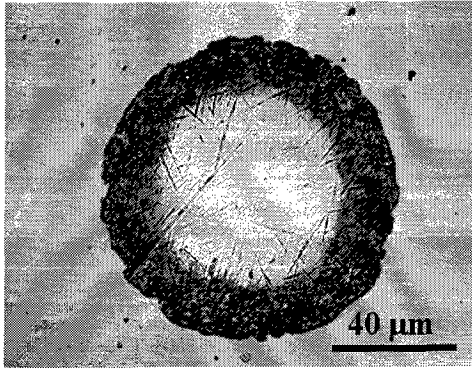


图 5a

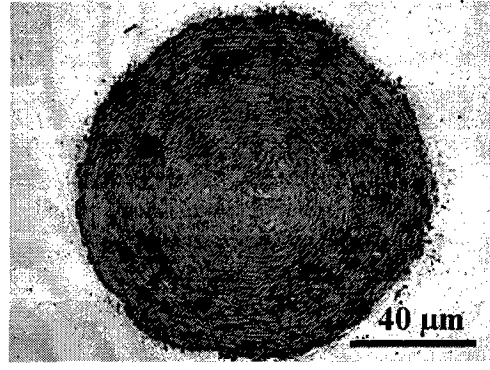


图 5b

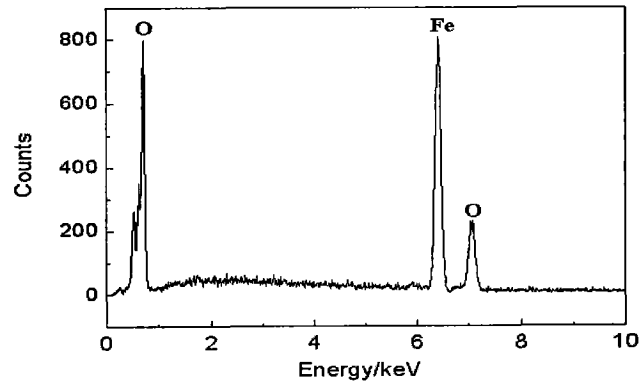


图 6a