



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107219133 B

(45)授权公告日 2019.09.20

(21)申请号 201710361801.4

G01N 3/06(2006.01)

(22)申请日 2017.05.22

G01N 3/04(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107219133 A

(56)对比文件

CN 102788727 A, 2012.11.21,

CN 205719818 U, 2016.11.23,

CN 104729933 A, 2015.06.24,

CN 103528887 A, 2014.01.22,

CN 103293066 A, 2013.09.11,

CN 102346117 A, 2012.02.08,

TW I242641 B, 2005.11.01,

(43)申请公布日 2017.09.29

审查员 温萌

(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 陈博 郁勇 王素芳 杨荣  
加海友 董杰 冯义辉

(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 3/26(2006.01)

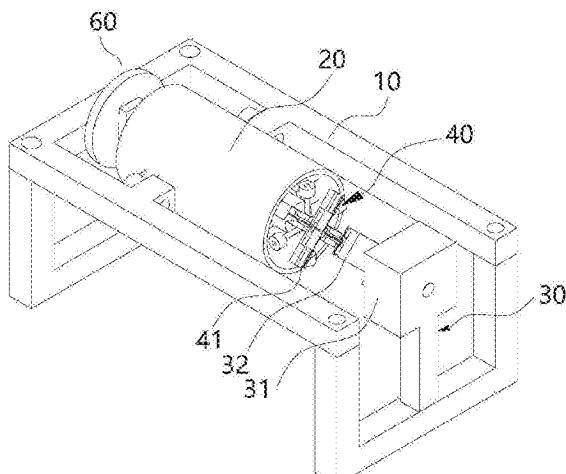
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

一种在电镜下测量材料扭转性能的横向测  
试装置及测试方法

(57)摘要

本发明提供了一种在电镜下测量材料扭转  
性能的横向测试装置及测量方法，该横向测试装  
置包括框架、第一夹持部、第二夹持部、控制装置  
和电子显微镜；第一夹持部安装在框架上，包括可  
旋转地夹持试样的定夹具；第二夹持部安装在  
框架上且与第一夹持部水平间隔相对，包括电磁  
驱动装置、夹持试样的动夹具，以及角度测量装  
置；控制装置用于设置试验方法和控制实验过  
程；电子显微镜用于在原位观察试样在实验过程  
中的变化。本发明可以解决试样横向放置后转动  
部件质量偏心所带来的额外力矩问题，可以横向  
工作，从而使电子显微镜实现原位观察。通过可  
旋转的两个夹持端使得试样可以实现大角度多  
圈加载实验。



1. 一种在电镜下测量材料扭转性能的横式测试装置, 其特征在于, 包括:  
框架;

第一夹持部, 安装在所述框架上, 包括安装座和可旋转地安装在安装座上夹持试样的定夹具;

第二夹持部, 安装在所述框架上且与所述第一夹持部水平间隔相对, 包括电磁驱动装置, 和安装在电磁驱动装置与所述定夹具相对一端夹持试样的动夹具, 以及安装在电磁驱动装置另一端的角度测量装置, 所述定夹具包括与旋转电机的驱动轴连接的底板, 和固定在底板上的柔性夹持框; 所述柔性夹持框包括位于底板长度方向两端的钢丝柱, 和分别与所述钢丝柱固定的矩形钢丝框架, 两个所述矩形钢丝框架的未固定端相接触, 所述动夹具包括十字相交的横夹板和纵夹板, 在横夹板和纵夹板的两端分别设置有夹持座, 在横夹板上安装有横夹板夹持试样后使试样垂直于横夹板的限位板,

所述电磁驱动装置包括固定框架, 和固定安装在所述固定框架内的磁柱, 在所述磁柱的两端与所述固定框架之间可转动地安装有通电线圈, 所述通电线圈通过轴杆与所述固定框架连接, 在所述固定框架靠近所述动夹具的一端设置有延伸至所述框架外的中心轴框架, 所述动夹具的纵夹板固定在所述中心轴框架上, 所述中心轴框架上还安装有力矩平衡架, 所述力矩平衡架包括十字型的力矩杆, 和分别通过螺纹方式拧在所述力矩杆各端头上的配重螺母, 所述力矩杆的固定中心与所述中心轴框架的中心对应;

控制装置, 用于设置试验方法和控制实验过程;

电子显微镜, 用于在原位观察位于所述定夹具和所述动夹具之间试样在实验过程中的变化。

2. 根据权利要求1所述的横式测试装置, 其特征在于,

所述安装座内安装有控制所述定夹具以安装点进行旋转的旋转电机。

3. 根据权利要求1所述的横式测试装置, 其特征在于,

在所述横夹板的中部设置有调整试样夹持中心的调节孔。

4. 根据权利要求1所述的横式测试装置, 其特征在于,

所述夹持座包括相对设置的两个夹持片, 两个所述夹持片的一侧边固定在所述纵夹板或横夹板上, 另一侧边在弹性下相互贴合。

5. 根据权利要求1所述的横式测试装置, 其特征在于,

所述角度测量装置为非接触式角度传感器, 包括安装在所述电磁驱动装置与动夹具相对一端的动模块, 和安装在框架上与动模块相对位置处的定模块, 定模块与所述控制装置连接。

6. 一种使用权1所述横式测量装置的测试方法, 其特征在于, 包括如下步骤:

步骤100, 将试样两端的试片分别夹持在定夹具和动夹具上, 并进行对中和力矩平衡操作;

步骤200, 通过控制模块控制动夹具和定夹具对试样进行扭转实验, 通过电子显微镜观察实验过程并记录实验数据;

步骤300, 根据实验数据, 通过参数转换得出试样所受力矩与转角的关系;

步骤400, 根据前述力矩和转角的关系, 由具体的力学模型, 即可得出当前试样相应的力学量。

## 一种在电镜下测量材料扭转性能的横向测试装置及测试方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及材料性能测量领域,特别是涉及一种在扫描电镜(SEM)下使用的、针对微尺度材料进行扭转力学性能测试的横向测试装置及其测试方法。

### 背景技术

[0002] 目前国际上微尺度材料的扭转力学性能测试技术极其稀缺,主要原因在于 $10^{-3}$ Nm以下微小扭矩测量极其困难。

[0003] 现有针对这方面的测量装置,一般是在竖直状态下进行测试,这种姿态将影响SEM的光路,而且测量装置中驱动装置的电磁线圈的漏磁也会影响SEM成像,因此现有的测量装置不能和SEM配合对细丝等材料进行原位扭转实验。

[0004] 此外,在非晶合金丝、纳米晶纤维领域,也需要利用扭转实验来进行原位观测,以获取更多极为宝贵的数据信息。

### 发明内容

[0005] 为解决现有技术中不能对微尺度材料进行原位扭转实验的问题,本发明提供一种在扫描电镜(SEM)下使用的、针对微尺度材料进行扭转力学性能测试的横向测试装置及其测试方法。

[0006] 特别地,本发明提供一种在电镜下测量材料扭转性能的横向测试装置,包括:

[0007] 框架;

[0008] 第一夹持部,安装在所述框架上,包括安装座和可旋转地安装在安装座上夹持试样的定夹具;

[0009] 第二夹持部,安装在所述框架上且与所述第一夹持部水平间隔相对,包括电磁驱动装置,和安装在电磁驱动装置与所述定夹具相对一端夹持试样的动夹具,以及安装在电磁驱动装置另一端的角度测量装置;

[0010] 控制装置,用于设置试验方法和控制实验过程;

[0011] 电子显微镜,用于在原位观察位于所述定夹具和所述动夹具之间试样在实验过程中的变化。

[0012] 在本发明的一个实施方式中,所述安装座内安装有控制所述定夹具以安装点进行旋转的旋转电机。

[0013] 在本发明的一个实施方式中,所述定夹具包括与所述旋转电机的驱动轴连接的底板,和固定在底板上的柔性夹持框;所述柔性夹持框包括位于底板长度方向两端的钢丝柱,和分别与所述钢丝柱固定的矩形钢丝框架,两个所述矩形钢丝框架的未固定端相接触。

[0014] 在本发明的一个实施方式中,所述动夹具包括十字相交的横夹板和纵夹板,在横夹板和纵夹板的两端分别设置有夹持座,在横夹板上安装有横夹板夹持试样后使试样垂直于横夹板的限位板。

[0015] 在本发明的一个实施方式中,在所述横夹板的中部设置有调整试样夹持中心的调

节孔。

[0016] 在本发明的一个实施方式中，所述夹持座包括相对设置的两个夹持片，两个所述夹持片的一侧边固定在所述纵夹板或横夹板上，另一侧边在弹性下相互贴合。

[0017] 在本发明的一个实施方式中，所述电磁驱动装置包括固定框架，和固定安装在所述固定框架内的磁柱，在所述磁柱的两端与所述固定框架之间可转动地安装有通电线圈，所述通电线圈通过轴杆与所述固定框架连接，在所述固定框架靠近所述动夹具的一端设置有延伸至所述框架外的中心轴框架，所述动夹具的纵夹板固定在所述中心轴框架上。

[0018] 在本发明的一个实施方式中，所述中心轴框架上还安装有力矩平衡架，所述力矩平衡架包括十字型的力矩杆，和分别通过螺纹方式拧在所述力矩杆各端头上的配重螺母，所述力矩杆的固定中心与中心轴框架的旋转中心对应。

[0019] 在本发明的一个实施方式中，所述角度测量装置为非接触式角度传感器，包括安装在所述电磁驱动装置与动夹具相对一端的动模块，和安装在框架上与动模块相对位置处的定模块，定模块与所述控制装置连接。

[0020] 本发明一个实施方式提供一种使用前述横式测量装置的测试方法，包括如下步骤：

[0021] 步骤100，将试样两端的试片分别夹持在定夹具和动夹具上，并进行对中和力矩平衡操作；

[0022] 步骤200，通过控制模块控制动夹具和定夹具对试样进行扭转实验，通过电子显微镜观察实验过程并记录实验数据；

[0023] 步骤300，根据实验数据，通过参数转换得出试样所受力矩与转角的关系；

[0024] 步骤400，根据前述力矩和转角的关系，由具体的力学模型，即可得出当前试样相应的力学量。

[0025] 本发明可以解决试样横向放置后转动部件质量偏心所带来的额外力矩问题，可以横向工作，从而使电子显微镜实现原位观察。此外，通过对中、力矩平衡、夹持功能为一体的动端结构，在保证各功能需求的同时，大大减小了整个装置的体积，使整个实验过程可在电子显微镜有限的空间中工作。通过可旋转的两个夹持端使得试样可以实现大角度多圈加载实验。

[0026] 本发明的测试方法通过巧妙的实验方法步骤，可克服原有电磁驱动装置几何约束的限制，实现大角度多圈加载实验，满足更广的实验需求。

## 附图说明

[0027] 图1是本发明一个实施方式的横式测试装置的结构示意图；

[0028] 图2是本发明一个实施方式的定夹具结构示意图；

[0029] 图3是本发明一个实施方式的试样结构示意图；

[0030] 图4是本发明一个实施方式的动夹具结构示意图；

[0031] 图5是本发明一个实施方式的动夹具横夹板结构示意图；

[0032] 图6是本发明一个实施方式的电磁驱动装置结构示意图；

[0033] 图7是本发明一个实施方式的测试方法流程示意图。

## 具体实施方式

[0034] 如图1所示,本发明一个实施例的横式测试装置一般性地包括一个用于安装各种设备的框架10,安装在框架10上分别夹持试样50一端的第一夹持部30和第二夹持部40,控制实验过程的控制装置以及观察实验过程的电子显微镜(图中未示出)。

[0035] 第一夹持部30安装在框架10的一端,包括与框架10固定的安装座31,和可旋转地安装在安装座31上以夹持试样50的定夹具32。

[0036] 第二夹持部40安装在框架10的另一端且与第一夹持部30水平间隔相对,包括提供试样50扭转动力的电磁驱动装置20,在电磁驱动装置20与定夹具32相对的一端安装有夹持试样50的动夹具41,在电磁驱动装置20的另一端安装有测量的动夹具41旋转角度的角度测量装置60。

[0037] 控制装置用于设置试验方案和控制实验过程;包括提供工作电力、控制实验步骤以及采集数据和控制电子显微镜。该控制装置可以包括具备输入输出硬件设备功能的计算机,供电设备、输入输出设备;其中的计算机也可以由工控机、单片机等来代替,通过预先编制的软件实现不同实验要求的编制和控制。供电设备可以是经过处理的市电、蓄电池等。输入输出设备可以控制实验中过程中的扭转加载以及数据采集,如传感器。

[0038] 本实施方式中,第一夹持部30和第二夹持部40水平相对,分别夹持试样50的一端,使试样50处于水平状态下,然后通过对中操作,使得试样50能够与定夹具32和电磁驱动装置20的中心旋转轴对齐,再进行力矩平衡操作,然后通过控制装置对试样50进行扭转,记录下实验过程的各个转角和驱动电信号,再根据相应的计算要求,即可得到相关的结果。在试样50的扭转过程中,其在自身轴线(实验时的中心旋转轴)的位置本身不动,可以通过电子显微镜在原位观察位于定夹具32和动夹具41之间的试样50在扭转过程中的变化。

[0039] 本实施方式可以解决试样50横向放置后转动部件质量偏心所带来的额外力矩问题,可以横向工作,从而使电子显微镜实现原位观察。此外,通过对中、力矩平衡、夹持功能为一体的动端结构,在保证各功能需求的同时,大大减小了整个装置的体积,使整个实验过程可在电子显微镜有限的空间中工作。通过可旋转的两个夹持端使得试样可以实现大角度多圈加载实验。

[0040] 如图2所示,在本发明的一个实施方式中,在前述实施例的基础上,安装座31垂直地固定在框架10上,在安装座31内安装有控制定夹具32以安装点进行相对旋转的旋转电机(图中未示出),定夹具32可以安装在旋转电机的驱动轴上,旋转电机的工作状态由控制装置控制。通过旋转电机可以控制定夹具32在夹持试样50后自动按指定的方向和角度进行旋转。

[0041] 进一步地,在本发明的一个实施方式中,定夹具32可以包括与旋转电机的驱动轴连接的底板321,和固定在底板321上的柔性夹持框33;柔性夹持框33包括两矩形钢丝框架331,矩形钢丝框架331一边的两个角(固定端)与固定在底板331两端的钢丝柱332固结,两矩形钢丝框架331的位置相互对称,矩形钢丝框架331平面悬空平行于底板321,两矩形钢丝框架331相对的一端(自由端)贴合接触。

[0042] 试样50插在两矩形钢丝框架331自由端中间的空隙中,通过矩形钢丝框架331自由端挤压所产生的摩擦力夹持在定夹具32上。由材料力学计算,矩形钢丝框架331的自由端在中心旋转轴线方向的刚度相比于垂直于此轴线方向的刚度很小,可在提供力矩和夹持力

时,保证中心旋转轴方向的力很小,在实验需要整个装置倾转而导致旋转部件有中心旋转轴方向相对位移的时候,试样50不会因为轴向移动而受到很大的轴向力作用,且可以保持旋转中心位置轴不变。

[0043] 进一步地,在能够保持试样50稳定的情况下,该矩形钢丝框架331可设置成不同的平面形状,只要满足刚度要求即可。

[0044] 如图3、4、5所示,在本发明的一个实施方式中,该动夹具41包括十字相交的横夹板411和纵夹板412,横夹板411上安装有与横夹板411垂直且十字形相交的限位板414,限位板414的中心位置设置有向横夹板方向凹进的限位槽415的,限位板414的两端被夹持在纵夹板412的夹持座上,在横夹板411两端设置有夹持座413,用于夹持试片51。纵夹板412与电磁驱动装置20连接。

[0045] 在本实施方式中,为方便夹持试样50并保持试样50在扭转过程中的稳定,在试样50的两端分别固定连接一个试片51,试片51与试样50平行,且试样50垂直固定在试片51一个侧边的中部,两边的试片51位于同一水平面上,整个结构为“工”字形。

[0046] 横夹板411和纵夹板412与试片51垂直,试片51被横夹板411上的夹持座413夹持,试片51的中部卡入限位板414上的限位槽415内,限位槽415可以使插入的试片51保持垂直于横夹板411与纵夹板412的状态。

[0047] 采用十字形的结构,可以使横夹板411相对于纵夹板412能调整的方向,和试片51相对于横夹板411能调整的方向相互垂直,因此,可以实现试片51在垂直于中心旋转轴平面内任意位置的调整,实现试样50轴向与中心旋转轴向对中。

[0048] 进一步地,为方便对试样50轴向与中心旋转轴向对中。在本发明一个实施方式中,可以在横夹板411的中部设置观察并调整夹持中心的调节孔416,调节孔416是一个贯穿横夹板411的通孔,其形状可以是圆形或是方形,通过对称的调节孔416,可以看到被压在下方的纵夹板412,从而根据事先标定好的在纵夹板412上的相应标记或是圆心点来使试样50对中。如果试片51的位置偏移,则可以通过调整纵夹板412上限位板414相对于纵夹板412的位置,以及试片51相对于横夹板411的位置,通过适当的移动,使调节孔416显示出的的中心标记点与试样50对中,使得试样轴线与中心旋转轴保持一致。

[0049] 在本发明的一个实施方式中,具体的夹持座413可以包括相对设置的两个夹持片417,两个夹持片417的一侧边固定在相应的结构上,另一侧边在弹性下相互贴合。在夹持试片51时,可以将两个夹持片417掰开,再将试片51插入进去。夹持片417可以具备一定的深度,使试片51在轴向上有一定的移动量,以为不同长度的试样50留下调节量。

[0050] 如图6所示,在本发明的一个实施方式中,电磁驱动装置20一般性地包括一个矩形的固定框架21,在固定框架21两个相对的侧边连接有用于支撑通电线圈23的旋转头座24,在固定框架21上固定有圆柱形的磁柱22,在旋转座头24与磁柱22之间的空间中可转动地安装有矩形的通电线圈23,通电线圈23两侧固结延伸出的两短轴杆231(即中心旋转轴),轴杆231卡在旋转座头24所提供的旋转槽内。磁柱22与固定框架21固定连接,通电线圈23在通电后会以轴杆231为旋转轴转动,但转动范围受固定框架21的限制。

[0051] 在通电线圈23靠近动夹具41的一端设置有延伸至固定框架21外的U形中心轴框架25,动夹具41的纵夹板412被固定在中心轴框架25上。纵夹板412可随通电线圈23的转动而同步转动。进一步地,中心轴框架25也可以直接改装为动夹具41中的纵夹板412,可直接将

夹持座设置在中心轴框架25上，以减少部件。

[0052] 在一个实施方式中，可以在通电线圈23的另一端设置相应的U形中心轴框架，可以起到平衡作用，同时也可作为一些部件的安装基座。

[0053] 在本发明的一个实施方式中，在动夹具41一侧的中心轴框架25上还可以安装力矩平衡架26，力矩平衡架26包括十字型的力矩杆261，和分别通过螺纹方式拧在力矩杆261各杆上的配重螺母262。力矩杆261固定在通电线圈23延伸出的中心轴框架25上，力矩平衡架26的安装位置与动夹具41的纵夹板412的安装面相反，固定后的力矩杆261的中心与中心轴框架25的旋转中心对应。当安装好试样50后，可旋转部分(通电线圈23、中心轴框架25、力矩平衡架26、动夹具41和试样50作为一整体)的重心相对于中心旋转轴有偏心时，可以通过相应方向的配重螺母262在力矩杆261上的位置来调整整个旋转部件质心的位置，实现轴向力矩平衡。具体平衡方法如下：定夹具32和动夹具41安装好试样50后，以中心旋转轴为旋转轴，缓慢倾转整个仪器，若在倾转过程中，可旋转部分与磁体22的相对角度位置保持不动，则力矩已经实现平衡；若可旋转部分相对于磁体22旋转的方向与缓慢倾转整个仪器的方向相同，则调整靠下方的配重螺母262向外侧或靠上方的配重螺母262向内侧移动；若可旋转部分相对于磁体旋转的方向与缓慢倾转整个仪器的方向相反，则调整靠下方的配重螺母262向内侧或靠上方的配重螺母262向外侧移动，直至在缓慢倾转整个仪器的过程中，中心轴框架25与磁体22相对角度位置保持不动，即完成对中。

[0054] 在发明的一个实施方式中，具体的角度测量装置60可以为非接触式角度传感器，可以包括安装在电磁驱动装置20与动夹具41相对另一端的动模块，和安装在框架10上与动模块相对位置处的定模块，定模块与控制装置连接。当通电线圈23通电转动后，其上安装的动模块即产生同步转动，而安装在框架10上的定模块利用霍尔效应根据动模块的转动角度得到当前的转角，并将相应的测量数据发送给控制装置。

[0055] 在本发明的一个实施方式中，提供一种利用前述夹具实现试样测量的测量方法。

[0056] 步骤100，将试样两端的试片分别夹持在定夹具和动夹具上，并进行对中和力矩平衡操作；

[0057] 对中操作是将“工”字形试样两头的试片分别夹持在动夹具和定夹具上，再调整试样径向上的位置，直至与事先标定好的旋转中心点对齐，即完成对中。

[0058] 力矩平衡操作是在试样对中后，以中心旋转轴为旋转轴，缓慢倾转整个仪器，若在倾转过程中，可旋转部分与磁体的相对角度位置保持不动，则力矩已经实现平衡，若发生相对转动，则需微调配重螺母位置，微调方法：若可旋转部分相对于磁体旋转的方向与缓慢倾转整个仪器的方向相同，则调整靠下方的配重螺母向外侧或靠上方的配重螺母向内侧移动；若可旋转部分相对于磁体旋转的方向与缓慢倾转整个仪器的方向相反，则调整靠下方的配重螺母向内侧或靠上方的配重螺母向外侧移动，直至在缓慢倾转整个仪器的过程中，中心轴框架与磁体相对角度位置保持不动，即完成对中。

[0059] 步骤200，通过控制模块控制动夹具和定夹具对试样进行扭转实验，通过电子显微镜观察实验过程并记录实验数据；

[0060] 其中的控制模块可以是计算机，扭转实验处理过程如下：

[0061] 1. 首先对电磁驱动装置通以电流，使得通电线圈顺时针旋转，记录电流(I)、角度传感器的转角( $\theta$ )和底板相对安装座的转角( $\varphi$ )的数据；

[0062] 2. 继续通以电流,使得转角( $\theta$ )大于位置极限 $\theta_{\max}$ 的时候,保持电流大小不变,改用旋转电机驱动定夹具旋转进行扭转实验,使得定夹具逆时针旋转,记录电流(I)、角度传感器的转角( $\theta$ )和底板相对安装座的转角( $\varphi$ )的数据;

[0063] 在旋转电机扭转加载时,使得角度传感器的转角( $\theta$ )小于位置极限 $\theta_{\min}$ 的时候,即可完成此步。这时试样两端已经有一定的相对扭转角,这即对试样有了一定角度的扭转加载,若实验还需继续对试样施加更大的扭转加载,则重复前述步骤1、2,继续增大试样两端的相对扭转角。直至达到实验所需的扭转加载。实验结束。

[0064]  $\theta_{\max}$ 与 $\theta_{\min}$ 事先由电磁驱动装置的几何限制预设。是通电线圈在固定框架的约束下以顺时针方向为正,最大和最小可到达的角度位置,由角度传感器的位置和测量角度确定。

[0065] 步骤300,根据实验数据,通过参数转换得出试样所受力矩与转角的关系;

[0066] 根据前述步骤记录的一系列实验数据(I、 $\theta$ 、 $\varphi$ ),按照参数转换得出试样所受力矩(M)与转角( $\theta$ )的关系:

$$[0067] \Theta = \varphi - \theta$$

$$[0068] M = aI - b\theta$$

[0069] 其中,a为事先标定的电磁驱动装置的电流(I)与输出力矩(M)的比例参数,b为事先标定的通电线圈电极引线的刚度。

[0070] 步骤400,根据前述力矩和转角的关系,由具体的力学模型,即可得出当前试样相应的力学量。

[0071] 例如:

$$[0072] \text{试样表面的剪切变形: } \gamma = \frac{\theta D}{2L}$$

$$[0073] \text{试样表面的剪切应力: } \tau = \frac{16M}{\pi D^3}$$

$$[0074] \text{剪切模量: } G = \frac{\tau}{\gamma}$$

[0075] 其中,D为试样直径,L为试样两段的相对距离(扭转的有效长度)。

[0076] 本方法通过巧妙的实验方法步骤,可克服原有电磁驱动装置几何约束的闲置,实现大角度多圈加载实验,满足更广的实验需求。

[0077] 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。

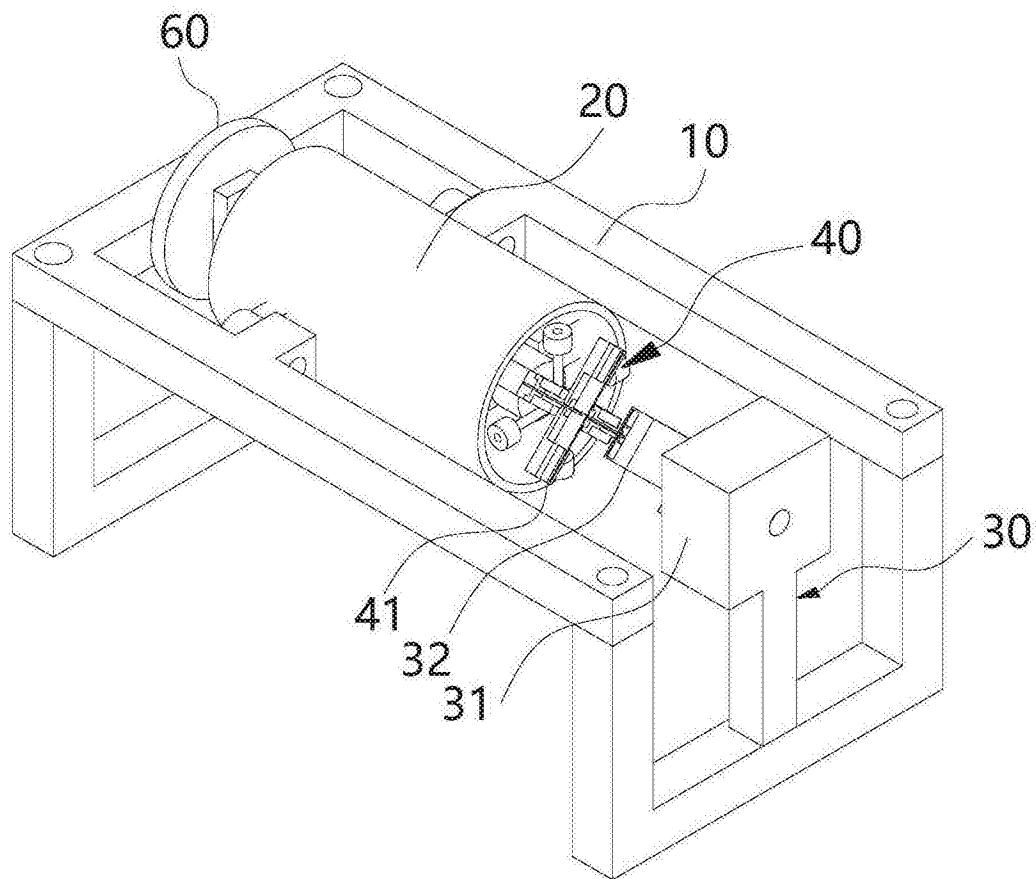


图1

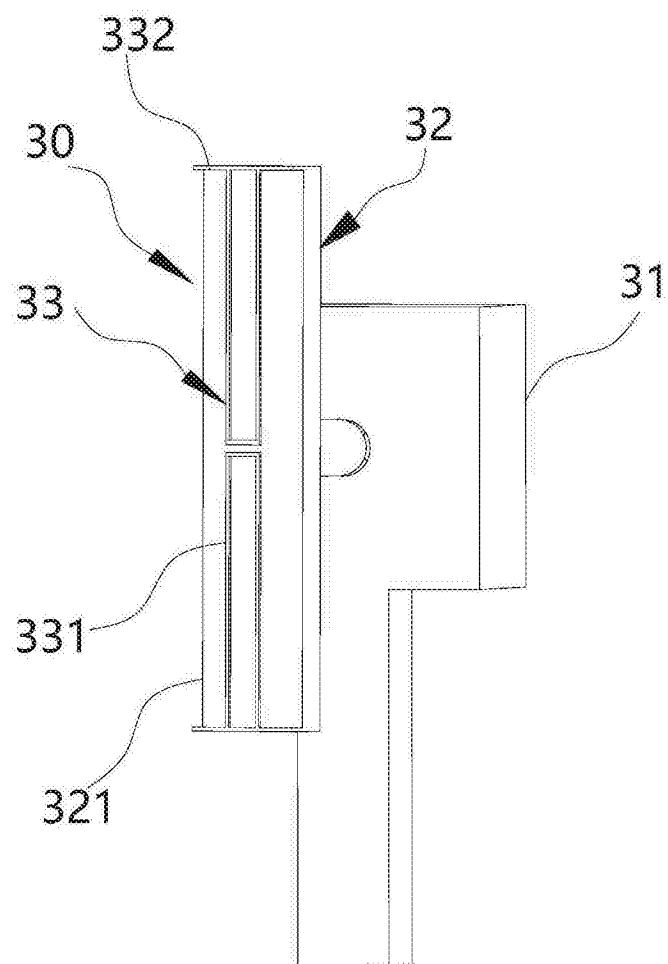


图2

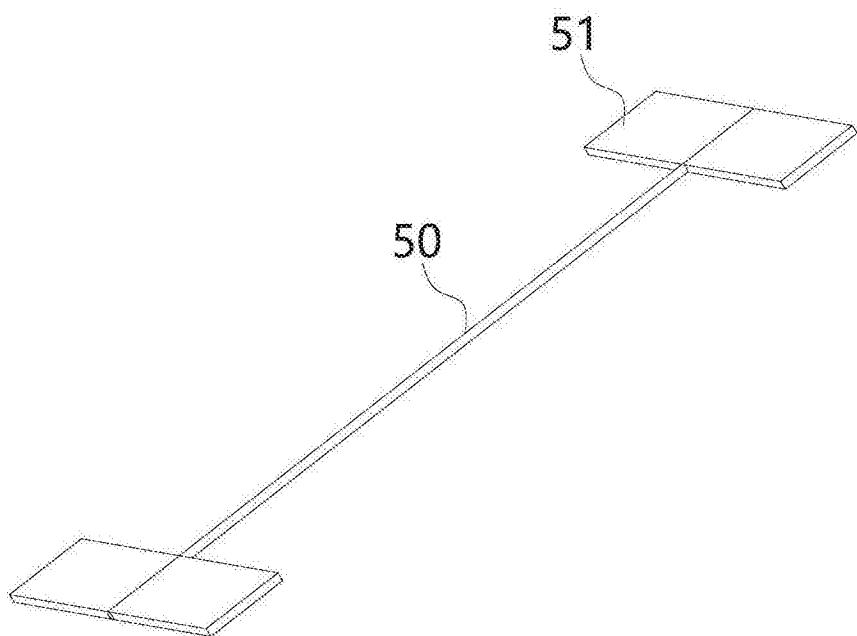


图3

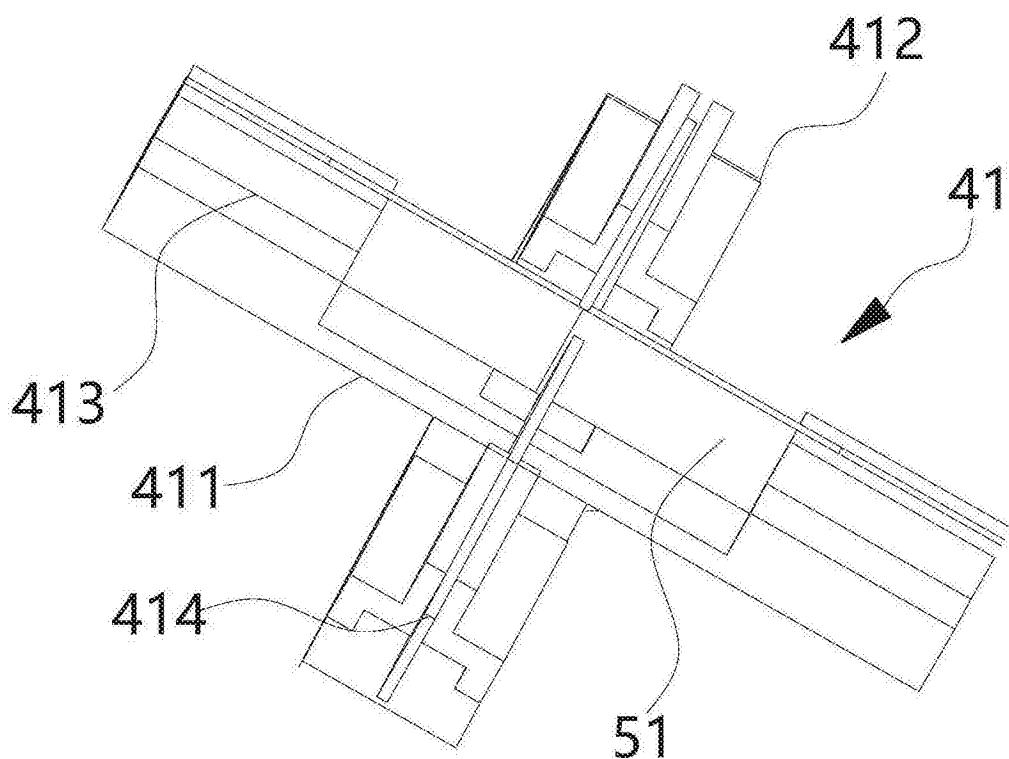


图4

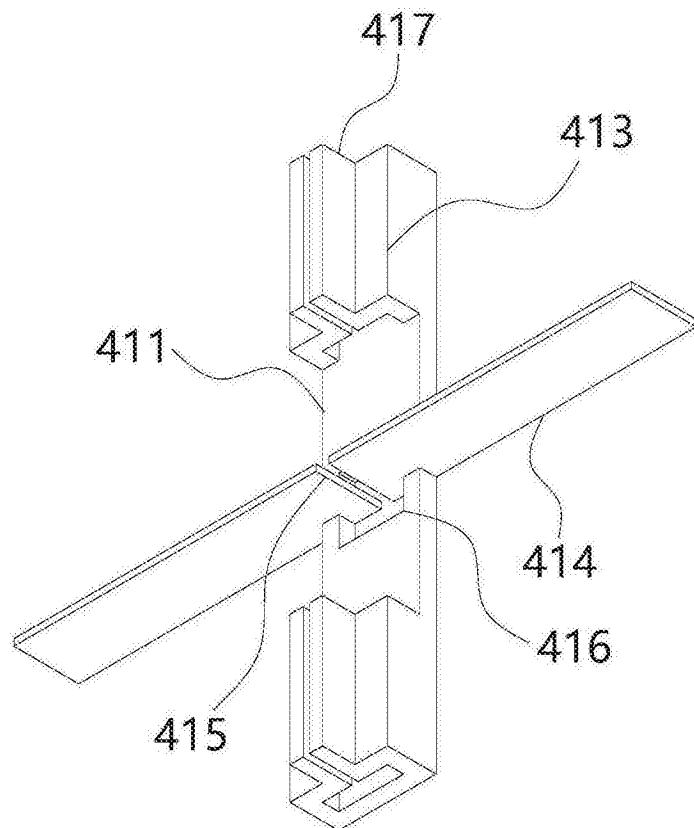


图5

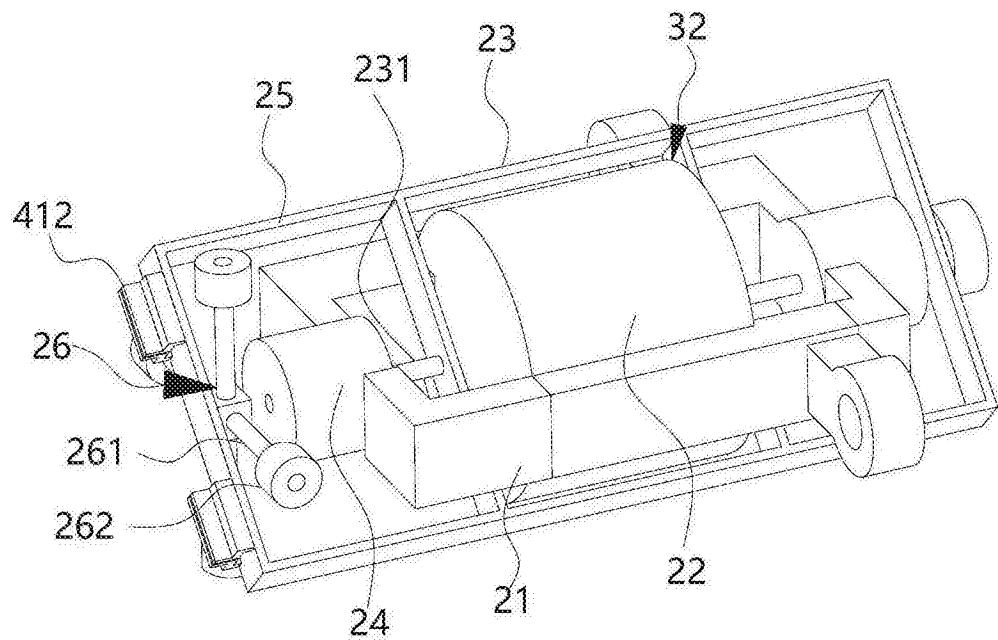


图6

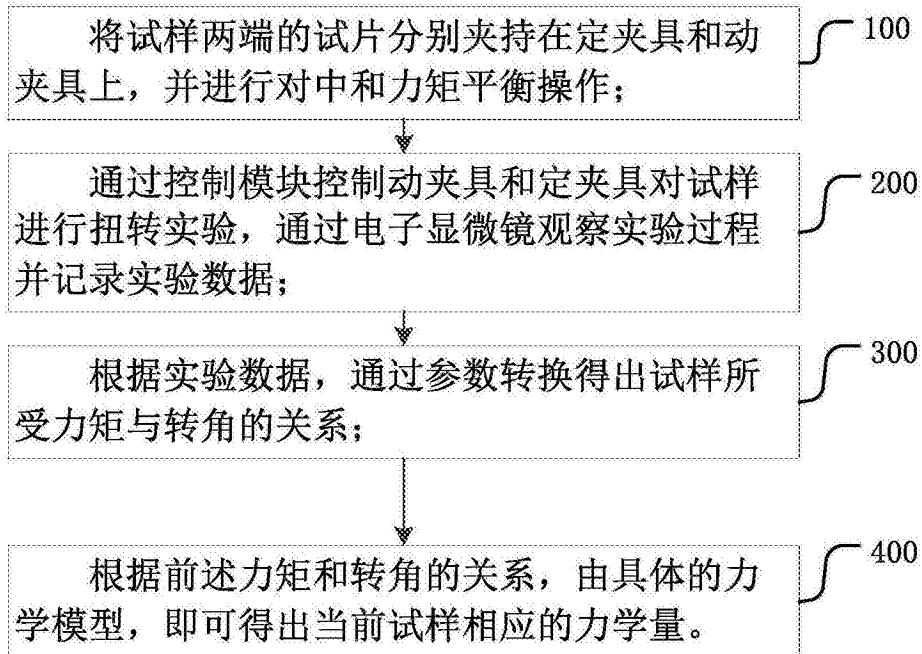


图7