

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102331370 B

(45) 授权公告日 2013. 01. 23

(21) 申请号 201110305113. 9

CN 101825542 A, 2010. 09. 08, 全文 .

(22) 申请日 2011. 10. 11

CN 101592573 A, 2009. 12. 02, 全文 .

CN 101520389 A, 2009. 09. 02, 全文 .

(73) 专利权人 吉林大学

地址 130025 吉林省长春市人民大街 5988 号

审查员 杨敏

(72) 发明人 赵宏伟 马志超 李秦超 王开厅
胡晓利 黄虎

(74) 专利代理机构 吉林长春新纪元专利代理有
限责任公司 22100

代理人 王怡敏

(51) Int. Cl.

G01N 3/08 (2006. 01)

G01N 3/02 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 202305330 U, 2012. 07. 04, 权利要求
1-6.

CN 101876609 A, 2010. 11. 03, 全文 .

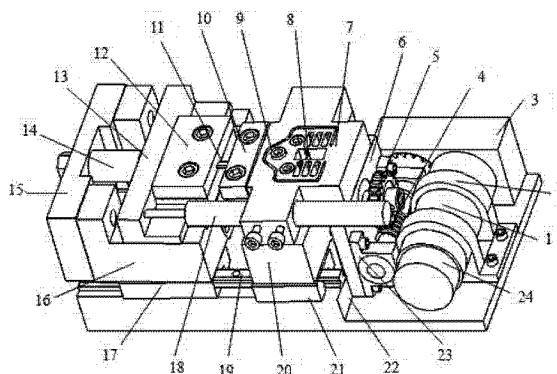
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 3 页

(54) 发明名称

基于拉伸 / 压缩模式的扫描电镜下原位高频
疲劳材料力学测试平台

(57) 摘要

本发明涉及一种基于拉伸 / 压缩模式的扫描电镜下原位高频疲劳材料力学测试平台,属于机电类。包括精密加载单元、精密运动转换单元、载荷 / 位移信号采集及控制单元、高频驱动单元及试件夹持及连接单元。本发明结构紧凑、测试精度高、应变速率及测试频率可控,可在各类成像仪器的观测下开展针对特征尺寸厘米级以上三维试件的基于拉伸 / 压缩模式的原位高频测试,对材料在疲劳应力下的微观变形、损伤与断裂过程进行在线监测,为揭示材料微观变形行为和损伤机制提供了崭新的测试方法。



1. 一种基于拉伸 / 压缩模式的扫描电镜下原位高频疲劳材料力学测试平台,其特征在于:包括精密加载单元、精密运动转换单元、载荷 / 位移信号采集及控制单元、高频驱动单元及试件夹持及连接单元;

所述的精密加载单元是:直流伺服电机(1)通过电机法兰架(2)与测试平台基座(22)连接;

所述的精密运动转换单元是:主、从动直齿轮(25、29)分别通过平键(26)与直流伺服电机(1)及蜗杆(4)连接,该蜗杆(4)通过蜗杆轴承(32)及蜗杆轴承座(23)与测试平台基座(22)连接,由滚珠丝杠螺母支架 I、II、精密双向滚珠丝杠(16、20、27)构成的精密双向滚珠丝杠螺母副通过丝杠固定支撑座(6)定位,滚珠丝杠螺母支架 I、II(16、20)的往复运动通过连接在精密导轨轨道(19)上的导轨滑块 I、II(17、21)进行导向;

所述的载荷 / 位移信号采集及控制单元由精密拉压力传感器(14)、精密接触式位移传感器(18)及高线数光电编码器(24)组成,该高线数光电编码器(24)与直流伺服电机(1)连接,精密接触式位移传感器(18)穿过精密柔性铰链(7)并通过位移传感器紧固螺钉(30)固定,精密拉压力传感器(14)与力传感器基座(15)固定连接;

所述的高频驱动单元由精密柔性铰链(7)、压电叠堆(8)组成,其中压电叠堆(8)安装于精密柔性铰链(7)的方形槽内,且与被测试件(11)共面、轴线设置;精密柔性铰链(7)通过铰链连接螺钉(9)与滚珠丝杠螺母支架 II(20)刚性连接;

所述的试件夹持及连接单元由被测试件(11)、试件夹具体支撑架(13)、夹具体压板 I、II(10、12)、力传感器基座(15)、丝杠固定支撑座(6)及测试平台基座(22)组成,被测试件(11)通过带有锯齿状结构的夹具体压板 I、II(10、12)、精密柔性铰链(7)、试件夹具体支撑架(13)以压紧方式完成夹持。

2. 根据权利要求 1 所述的基于拉伸 / 压缩模式的扫描电镜下原位高频疲劳材料力学测试平台,其特征在于:所述的精密接触式位移传感器(18)的基体部分安装于与滚珠丝杠螺母支架 II(20)刚性连接的精密柔性铰链(7)的圆孔内,并通过位移传感器紧固螺钉(30)进行固定,前端探头部分与试件夹具体支撑架(13)弹性接触,即精密接触式位移传感器(18)实际检测到的变形为试件夹具体支撑架(13)与精密柔性铰链(7)侧板之间的相对变形;精密拉压力传感器(14)与精密接触式位移传感器(18)均与被测试件(11)共面安装,且受载方向与被测试件(11)受载荷方向相同。

3. 根据权利要求 1 所述的基于拉伸 / 压缩模式的扫描电镜下原位高频疲劳材料力学测试平台,其特征在于:所述的精密双向滚珠丝杠(27)设有两段旋向相异的小导程滚道,导轨滑块 I、II(17、21)分别通过燕尾槽型机构紧贴于精密导轨轨道(19)上,并分别与滚珠丝杠螺母支架 I、II(16、20)刚性连接。

4. 根据权利要求 1 所述的基于拉伸 / 压缩模式的扫描电镜下原位高频疲劳材料力学测试平台,其特征在于:所述的试件夹具体支撑架(13)及精密柔性铰链(7)与被测试件(11)的接触面均为锯齿状结构,夹具体压板 I、II(10、12)与被测试件(11)的接触面亦采用交错线切割方式加工出滚化结构。

5. 根据权利要求 1 所述的基于拉伸 / 压缩模式的扫描电镜下原位高频疲劳材料力学测试平台,其特征在于:所述的试件夹具体支撑架(13)与滚珠丝杠螺母支架 I(16)分别设有半圆形的凹槽,并在该凹槽内设有钢球。

6. 根据权利要求 1 至 5 中任意一项所述的基于拉伸 / 压缩模式的扫描电镜下原位高频疲劳材料力学测试平台,其特征在於:所述的测试平台主体尺寸为 140mm×44mm×80mm。

基于拉伸 / 压缩模式的扫描电镜下原位高频疲劳材料力学测试平台

技术领域

[0001] 本发明涉及机电类,特别涉及一种基于拉伸 / 压缩模式的扫描电镜下原位高频疲劳材料力学测试平台。其与扫描电子显微镜、原子力显微镜、拉曼光谱仪及光学显微镜等具有良好的兼容性,结合上述成像仪器,在给定应力或应变水平下开展对材料在疲劳应力作用下的的微观变形、损伤和破坏过程进行在线观测,可以实现对载荷 / 位移信号的采集、记录与控制,为揭示材料在微纳米尺度下的力学特性和损伤机制提供了测试方法。

背景技术

[0002] 原位微纳米力学测试技术是指在微纳米尺度下对试件材料进行力学性能测试过程中,通过电子显微镜、原子力显微镜和或光学显微镜等成像仪器对载荷作用下材料发生的微观变形、损伤直至失效破坏的过程进行全程动态监测的一种力学测试技术。通过原位力学测试手段势必可以揭示出外界载荷作用下材料变形损伤的规律,发现更为新颖的现象和规律,就较大尺寸试件所开展的有关测试将更有利于研究材料及其制品服役状态下的真实力学行为与变形损伤机制。

[0003] 疲劳现象可以解释为材料、零件和构件在循环加载下,在某点或某些点产生局部的永久性损伤,并在一定循环次数后形成裂纹、或使裂纹进一步扩展直到完全断裂的现象。材料或构件在交变应力作用下引起的破坏与静载荷作用下的破坏性质完全不同。承受交变应力作用的构件在工作应力远低于材料的强度极限的情况下,经历一定的工作时间后也可能发生突然断裂。在交变应力作用下,由于构件外形和材料内部质地不均匀、有疵点,致使构件某些局部区域应力达到屈服极限,在交变应力的作用下,在此局部区域将逐渐形成细小的微观裂纹,而裂纹尖端严重的应力集中又进一步导致裂纹在交变应力作用下不断向内部扩展,最终使得材料或构件发生断裂破坏。

[0004] 商业化疲劳试验机用于提供试样或构件承受周期或随机变化的应力或应变,以测定在特定循环基数下的持久极限和疲劳寿命等指标。疲劳试验按照试验环境可以分为:室温 / 高温 / 低温疲劳试验、热疲劳试验、腐蚀疲劳试验及接触疲劳试验等;按照试件的加载方式可以分为:拉压疲劳试验、弯曲疲劳试验、扭转疲劳试验及复合盈利疲劳试验等;按照应力循环的类型可以分为:等幅疲劳试验、变频疲劳试验及随机疲劳试验等。

[0005] 目前,针对可用于扫描电镜下的原位疲劳测试相关仪器的研究尚处萌芽状态,具体表现在:(1)从测试手段和方法上来说,主要借助商业化的疲劳试验机进行的非原位疲劳测试,且疲劳试验机价格昂贵,工作噪音较大,调试复杂,测试内容单一,对结构紧凑,体积小巧的基于拉伸模式的原位疲劳测试装置鲜有提及。(2)受到扫描电子显微镜的腔体空间的限制,目前的多数都集中在以微 / 纳机电系统工艺为基础,对纳米以及薄膜材料等极微小结构的单纯原位纳米测试上,缺少对宏观尺寸(薄膜材料或三维试件)的跨尺度原位纳米力学测试,因尺寸效应的存在,对微构件的研究制约了对较大尺寸元件的力学性能的评价;(3)从测试频率上看,目前的原位疲劳试验机一般都仅提供 50Hz 以下的低周疲劳测

试,与材料及其制品的实际工况不符,也限制了相关研究的深入与发展。

[0006] 因此,设计一种测试精度高,结构紧凑,测试频率较高,并能够与电子显微镜等成像系统兼容使用的基于拉伸模式的原位高频疲劳材料力学测试平台已十分必要。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种基于拉伸/压缩模式的扫描电镜下原位高频疲劳材料力学测试平台,解决了现在技术存在的上述问题。本发明可在扫描电镜等观测仪器的动态监测下开展在任意给定应力或应变水平下的原位高频测试,并开展室温下等幅或变频疲劳试验,测试频率可控。相对于传动疲劳试验机的离位测试,本发明可在扫描电镜等成像仪器的动态监测下开展拉伸/压缩模式下的原位疲劳试验并可同步进行载荷/位移信号的精密检测与闭环控制。测试装置与 Zeiss EVO 18 型扫描电子显微镜具有良好的兼容性,亦可与各类具有腔体或载物台结构的成像系统兼容使用,如原子力显微镜、拉曼光谱仪、X 射线衍射仪及光学显微镜等。可通过原位疲劳测试获得材料的持久极限等重要力学参数,对材料的裂纹萌生、扩展和材料失效断裂过程进行原位监测,为揭示材料在微纳米尺度下的力学特性和损伤机制提供了测试方法。

[0008] 本发明的上述目的通过以下技术方案实现:

[0009] 基于拉伸/压缩模式的扫描电镜下原位高频疲劳材料力学测试平台,包括精密加载单元、精密运动转换单元、载荷/位移信号采集及控制单元、高频驱动单元及试件夹持及连接单元;

[0010] 所述的精密加载单元是:直流伺服电机 1 通过电机法兰架 2 与测试平台基座 22 连接,通过精密脉冲/方向控制方式提供给定角速度及动态扭矩输出;

[0011] 所述的精密运动转换单元是:通过直齿轮壳体 3 内的主、从动直齿轮 25、29 构成的一级直齿轮传动副、由蜗杆、蜗轮 4、5 构成的二级蜗轮蜗杆传动副将直流伺服电机 1 输出的具有微小分辨率的扭矩动力及角位移输出进行一定程度的减速、增距;最终通过由滚珠丝杠螺母支架 I、滚珠丝杠螺母支架 II、精密双向滚珠丝杠 16、20、27 构成的精密双向滚珠丝杠螺母副将旋转运动转换成精密往复直线运动;主、从动直齿轮 25、29 分别通过平键 26 与直流伺服电机 1 及蜗杆 4 连接,该蜗杆 4 通过蜗杆轴承 32 及蜗杆轴承座 23 与测试平台基座 22 连接,由滚珠丝杠螺母支架 I、II、精密双向滚珠丝杠 16、20、27 构成的精密双向滚珠丝杠螺母副通过丝杠固定支撑座 6 定位,滚珠丝杠螺母支架 I、II、(16、20) 的往复运动通过连接在精密导轨轨道(19)上的导轨滑块 I、II (17、21) 进行导向;

[0012] 所述的载荷/位移信号采集及控制单元由精密拉压力传感器 14、精密接触式位移传感器 18 及高线数光电编码器 24 组成,该高线数光电编码器 24 与直流伺服电机 1 连接,精密接触式位移传感器 18 穿过精密柔性铰链 7 并通过位移传感器紧固螺钉 30 固定,精密拉压力传感器 14 与力传感器基座 15 固定连接;直流伺服电机 1 的脉冲/方向闭环控制模式的反馈信号源由变形速率、载荷速率两种模拟量及编码器标定位移速率数字量提供,即测试平台可实现恒变形速率、恒载荷速率及恒位移速率三种加载/卸载方式为高频测试提供精确的应力及应变参考量;

[0013] 所述的高频驱动单元由精密柔性铰链 7、压电叠堆 8 组成,其中压电叠堆 8 安装于精密柔性铰链 7 的方形槽内,且与被测试件 11 共面、轴线设置;精密柔性铰链 7) 特殊结构

可以保证在给定拉应力作用下,压电叠堆 8 始终处于受压状态,精密柔性铰链 7 通过铰链连接螺钉 9 与滚珠丝杠螺母支架 II 20 刚性连接;

[0014] 所述的试件夹持及连接单元由被测试件 11、试件夹具体支撑架 13、夹具体压板 I、II 10、12、力传感器基座 15、丝杠固定支撑座 6 及测试平台基座 22 组成,被测试件 11 通过带有锯齿结构的夹具体压板 I、II 10、12、精密柔性铰链 7、试件夹具体支撑架 13 以压紧方式完成夹持。

[0015] 所述的精密柔性铰链 7 可以保证被测试件 11 在受拉应力作用时,安装于精密柔性铰链 7 的方形槽内的压电叠堆 8 始终处于受压状态,即可保证在给定应力水平下压电叠堆 8 具有一定的位移及载荷输出能力,压电叠堆 8 与被测试件 11 共面、轴线布置,亦可保证试件 11 受单轴疲劳应力作用;精密柔性铰链 7 通过铰链连接螺钉 9 与滚珠丝杠螺母支架 II 20 刚性连接的方式同时可保证按照一定的比例系数将压电叠堆 8 输出的精密往复位移进行传递至铰链前端用于夹持被测试件 11 的锯齿形结构处。

[0016] 所述的接触式位移传感器 18 的基体部分安装于与滚珠丝杠螺母支架 II 20 刚性连接的精密柔性铰链 7 的圆孔内,并通过位移传感器螺钉 30 进行固定,前端探头部分与试件夹具体支撑架 13 弹性接触,即接触式位移传感器 18 实际检测到的变形为试件夹具体支撑架 13 与精密柔性铰链 7 侧板之间的相对变形;为平衡接触式位移传感器 18 的重量,精密柔性铰链 7 的异侧做了必要的配重;精密拉压力传感器 14 与接触式位移传感器 18 均于试件 28 共面安装,且受载方向与被测试件 11 受载荷方向相同。

[0017] 所述的精密双向滚珠丝杠 27 设有两段旋向相异的小导程滚道,即可确保在给定应力水平的拉伸测试过程中,滚珠丝杠螺母支架 I、II 16、20 可实现同步的反向运动,从而保证被测试件 11 的几何中心位置始终处于成像区域的最中央,便于成像仪器的观测及图像记录,同时,导轨滑块 I、II 17、21 分别通过燕尾槽型机构紧贴于精密导轨轨道 19 上,并分别与滚珠丝杠螺母支架 I、II 16、20 刚性连接,对精密双向滚珠丝杠螺母副所输出的往复运动起到精密导向作用。

[0018] 所述的试件夹具体支撑架 13 及精密柔性铰链 7 与被测试件 11 的接触面均采用线切割方式加工为锯齿状结构,夹具体压板 I、II (10、12) 与被测试件(11) 的接触面亦采用交错线切割方式加工出滚化结构,可提高高频测试中试件夹持的可靠性和稳定性。

[0019] 所述的试件夹具体支撑 13 与滚珠丝杠螺母支架 I 16 均通过线切割方式加工出带有半圆形的凹槽,并在该凹槽内设有钢球,通过内嵌在凹槽中的钢球减小载荷信号采集过程中因摩擦因素带来的检测误差。

[0020] 本发明的测试平台主体尺寸约为 140mm×44mm×80mm,与 Zeiss EVO 18 型扫描电子显微镜具有良好的结构兼容性、真空兼容性及电磁兼容性。

[0021] 本发明的有益效果在于:与现有技术相比,本发明结构紧凑,测试精度高,可提供的测试内容丰富、与 Zeiss EVO 18 型扫描电子显微镜具有良好的兼容性,亦可与各类具有腔体或载物台结构的成像系统兼容使用,应用范围广泛。可以对各种特征尺寸厘米级以上的三维试件进行跨尺度原位疲劳力学测试,对材料及其制品在载荷在下疲劳应力作用下的裂纹萌生、扩展进行动态观测,以揭示材料在微纳米尺度下的力学行为和损伤机制。并通过载荷/位移信号的同步检测,结合相关算法,亦可自动拟合生成载荷作用下的应力应变曲线及疲劳曲线。综上所述,本发明对丰富原位和促进材料力学性能测试技术及装备具有重

要的理论意义和良好的应用开发前途。

附图说明

[0022] 图 1 为本发明的整体外观结构示意图；

[0023] 图 2 为本发明的主视示意图；

[0024] 图 3 为本发明的后视示意图；

[0025] 图 4 为本发明的俯视示意图；

[0026] 图 5、图 6 为本发明的柔性铰链结构示意图；

[0027] 图 7、图 8 为本发明的夹具体支撑架示意图。

[0028] 图中：1、直流伺服电机 2、电机法兰架 3、直齿轮壳体 4、蜗杆 5、蜗轮 6、丝杠固定支承座 7、精密柔性铰链 8、压电叠堆 9、铰链连接螺钉 10、夹具体压板 I 11、被测试件 12、夹具体压板 II 13、试件夹具体支撑架 14、精密拉压力传感器 15、力传感器基座 16、滚珠丝杠螺母支架 I 17、导轨滑块 I 18、接触式位移传感器 19、精密导轨轨道 20、滚珠丝杠螺母支架 II 21、导轨滑块 II 22、测试平台基座 23、蜗杆轴承座 24、高线数光电编码器 25、主动直齿轮 26、平键 27、精密双向滚珠丝杠 28、力传感器紧固螺钉 29、从动直齿轮 30、位移传感器紧固螺钉 31、电机法兰盘固定螺钉 32、蜗杆轴承 33、夹具体紧固螺钉。

具体实施方式

[0029] 下面结合附图进一步说明本发明的详细内容及其具体实施方式。

[0030] 参见图 1 至图 8，本发明的基于拉伸/压缩模式的扫描电镜下原位高频疲劳材料力学测试平台，包括精密加载单元、精密运动转换单元、载荷/位移信号采集及控制单元、高频驱动单元及试件夹持及连接单元；

[0031] 所述的精密加载单元是：直流伺服电机 1 通过电机法兰架 2 与测试平台基座 22 连接，通过精密脉冲/方向控制方式提供给定角速度及动态扭矩输出；直流伺服电机 1 通过电机法兰盘固定螺钉 31 固定在测试平台基座 22 上；

[0032] 所述的精密运动转换单元是：通过直齿轮壳体 3 内的主、从动直齿轮 25、29 构成的一级直齿轮传动副、由蜗杆、蜗轮 4、5 构成的二级蜗轮蜗杆传动副将直流伺服电机 1 输出的具有微小分辨率的扭矩动力及角位移输出进行一定程度的减速、增距；最终通过由滚珠丝杠螺母支架 I、滚珠丝杠螺母支架 II、精密双向滚珠丝杠 16、20、27 构成的精密双向滚珠丝杠螺母副将旋转运动转换成精密往复直线运动；主、从动直齿轮 25、29 分别通过平键 26 与直流伺服电机 1 及蜗杆 4 连接，该蜗杆 4 通过蜗杆轴承 32 及蜗杆轴承座 23 与测试平台基座 22 连接，由滚珠丝杠螺母支架 I、II、精密双向滚珠丝杠 16、20、27 构成的精密双向滚珠丝杠螺母副通过丝杠固定支撑座 6 定位，滚珠丝杠螺母支架 I、II、(16、20) 的往复运动通过连接在精密导轨轨道(19)上的导轨滑块 I、II (17、21) 进行导向；

[0033] 所述的载荷/位移信号采集及控制单元由精密拉压力传感器 14、精密接触式位移传感器 18 及高线数光电编码器 24 组成，该高线数光电编码器 24 与直流伺服电机 1 连接，精密接触式位移传感器 18 穿过精密柔性铰链 7 并通过位移传感器紧固螺钉 30 固定，精密拉压力传感器 14 与力传感器基座 15 固定连接；直流伺服电机 1 的脉冲/方向闭环控制模式的反馈信号源由变形速率、载荷速率两种模拟量及编码器标定位移速率数字量提供，即

测试平台可实现恒变形速率、恒载荷速率及恒位移速率三种加载 / 卸载方式为高频测试提供精确的应力及应变参考量；

[0034] 所述的高频驱动单元由精密柔性铰链 7、压电叠堆 8 组成,其中压电叠堆 8 安装于精密柔性铰链 7 的方形槽内,且与被测试件 11 共面、轴线设置;精密柔性铰链 7) 特殊结构可以保证在给定拉应力作用下,压电叠堆 8 始终处于受压状态,精密柔性铰链 7 通过铰链连接螺钉 9 与滚珠丝杠螺母支架 II 20 刚性连接;

[0035] 所述的试件夹持及连接单元由被测试件 11、试件夹具体支撑架 13、夹具体压板 I、II 10、12、力传感器基座 15、丝杠固定支撑座 6 及测试平台基座 22 组成,被测试件 11 通过带有锯齿结构的夹具体压板 I、II 10、12、精密柔性铰链 7、试件夹具体支撑架 13 以压紧方式完成夹持。

[0036] 所述的精密柔性铰链 7 可以保证被测试件 11 在受拉应力作用时,安装于精密柔性铰链 7 的方形槽内的压电叠堆 8 始终处于受压状态,即可保证在给定应力水平下压电叠堆 8 具有一定的位移及载荷输出能力,压电叠堆 8 与被测试件 11 共面、轴线布置,亦可保证试件 11 受单轴疲劳应力作用;精密柔性铰链 7 通过铰链连接螺钉 9 与滚珠丝杠螺母支架 II 20 刚性连接的方式同时可保证按照一定的比例系数将压电叠堆 8 输出的精密往复位移进行传递至铰链前端用于夹持被测试件 11 的锯齿形结构处。

[0037] 所述的接触式位移传感器 18 的基体部分安装于与滚珠丝杠螺母支架 II 20 刚性连接的精密柔性铰链 7 的圆孔内,并通过位移传感器螺钉 30 进行固定,前端探头部分与试件夹具体支撑架 13 弹性接触,即接触式位移传感器 18 实际检测到的变形为试件夹具体支撑架 13 与精密柔性铰链 7 侧板之间的相对变形;为平衡接触式位移传感器 18 的重量,精密柔性铰链 7 的异侧做了必要的配重;精密拉压力传感器 14 与接触式位移传感器 18 均于试件 28 共面安装,且受载方向与被测试件 11 受载荷方向相同。

[0038] 所述的精密双向滚珠丝杠 27 设有两段旋向相异的小导程滚道,即可确保在给定应力水平的拉伸测试过程中,滚珠丝杠螺母支架 I、II 16、20 可实现同步的反向运动,从而保证被测试件 11 的几何中心位置始终处于成像区域的最中央,便于成像仪器的观测及图像记录,同时,导轨滑块 I、II 17、21 分别通过燕尾槽型机构紧贴于精密导轨轨道 19 上,并分别与滚珠丝杠螺母支架 I、II 16、20 刚性连接,对精密双向滚珠丝杠螺母副所输出的往复运动起到精密导向作用。

[0039] 所述的试件夹具体支撑架 13 及精密柔性铰链 7 与被测试件 11 的接触面均采用线切割方式加工为锯齿状结构,夹具体压板 I、II (10、12) 与被测试件(11) 的接触面亦采用交错线切割方式加工出滚化结构,可提高高频测试中试件夹持的可靠性和稳定性。

[0040] 所述的试件夹具体支撑 13 与滚珠丝杠螺母支架 I 16 均通过线切割方式加工出带有半圆形的凹槽,并在该凹槽内设有钢球,通过内嵌在凹槽中的钢球减小载荷信号采集过程中因摩擦因素带来的检测误差。

[0041] 本发明的测试平台主体尺寸约为 140mm×44mm×80mm,与 Zeiss EVO 18 型扫描电子显微镜具有良好的结构兼容性、真空兼容性及电磁兼容性。

[0042] 参见图 1 至图 8,本发明所涉及的基于拉伸模式的扫描电镜下原位高频疲劳材料力学测试平台,该测试平台的整体尺寸约为 140mm×44mm×80mm,是根据 Zeiss EVO 18 型扫描电镜的真空腔体和成像条件所设计的,同时可与 X 射线衍射仪、拉曼光谱仪、原子力显

显微镜及光学显微镜等主流成像仪器的兼容使用。其中涉及到的元器件和具体型号为：压电叠堆 8（型号为 NEC-AE0505D08F）、直流伺服电机 1（型号为 Maxon RE-MAX22 25W）、接触式位移传感器 18（型号为 WYM-1 型）和精密拉压力传感器 14（型号为 TEST-304 型）、高线数光电编码器 24（型号为 HEDL9140-1000），针对直流伺服电机 1 的脉冲 / 方向控制，测试平台可提供变形速率控制、力速率控制两路模拟量反馈源及位移速率控制数字量反馈。被测试件 11 长度范围为 4-26mm，最小宽度为 1mm，直流伺服电机 1 及与之匹配使用的高线数光电编码器 24 可结合 Accelnet 型伺位置控制单元对直流伺服电机 1 进行精确的角位移及扭矩输出控制，从而保证测试过程中试件 11 的应变速率可控制。结合压电驱动模块亦可实现对压电叠堆 8 的精密运动控制。

[0043] 本发明在具体的测试过程中，首先，被测试件 11 在进行疲劳测试前，需采用线切割加工方法试制处带有应力薄弱区域或预知缺口的标准试件，并通过单面抛光处理得到可用于高分辨率显微成像监测的较好表面光洁度，或通过化学腐蚀等工艺得到金相等显微形貌，然后将被测试件 11 安放于精密柔性铰链 7 及夹具体支撑架 13 前端带有锯齿结构的夹持端，后通过夹具体压板 I、II 10、12 及夹具体紧固螺钉 33 完成被测试件 11 的夹持过程，进一步，通过调整夹具的位置及利用水平仪和千分表的检测来保证被测试件 11 在测试过程中的共面性和准确位置。接触式位移传感器 18 的基体部分安装于与滚珠丝杠螺母支架 II 20 刚性连接的精密柔性铰链 7 的圆孔内，并通过位移传感器螺钉 30 进行固定，前端探头部分与试件夹具体支撑架 13 弹性接触，即接触式位移传感器 18 实际检测到的变形为试件夹具体支撑架 13 与精密柔性铰链 7 侧板之间的相对变形。为平衡接触式位移传感器 18 的重量，精密柔性铰链 7 的异侧做了必要的配重。精密拉压力传感器 14 与接触式位移传感器 18 均于试件 28 共面安装，且受载方向与被测试件 11 受载荷方向相同。然后，关闭扫描电子显微镜真空腔密闭挡板并通过扫描电镜自身的载物平台在 XOY 平面内拟定测试点的准确位置。

[0044] 然后，给定疲劳测试前加载的拉伸应力或应变值，以给定脉冲输出的方式驱动直流伺服电机 1 开始测试过程，即通过测试算法程序设定测试条件和参数，在时序脉冲控制信号作用下直流伺服电机 1 输出精确角位移，通过一级直齿轮传动副、二级蜗轮蜗杆传动副及精密双向滚珠丝杠螺母副将直流伺服电机 1 输出的旋转运动转换成往复直线运动测试过程中精密拉压力传感器 14 对拉伸压缩轴向的载荷 F 进行检测；同时试件的变形量 h 由精密接触式位移传感器 18 同步拾取。给定的应力水平可以是材料抗拉强度一下的任意值。此时，压电叠堆 8 处于受压状态，此后，由任意波形 / 脉冲发生器给定特定的频率信号，以正弦和方波信号为例，通过功率放大器，将输出的电压信号作用于压电叠堆 8 的两个电极上，完成对压电叠堆 8 的精密驱动，给定的信号可以是固定频率信号，亦可是扫频信号，信号的频率范围可以达到 200Hz，压电叠堆 8 输出的往复位移通过精密柔性铰链 7 按照一定的比例进行放大，最终作用于被测试件 11，载荷 / 位移两路信号通过模数转换并进行必要的信号调理后送入计算机。在测试的整个过程中，被测试件在拉伸载荷及交变载荷作用下材料的裂纹萌生、扩展及变形损伤情况由高放大倍率的扫描电子显微镜成像系统进行动态监测，并可同时记录图像，结合上位机调试软件亦可实时获取表征材料力学性能的持久极限、弹性模量等重要力学参数。

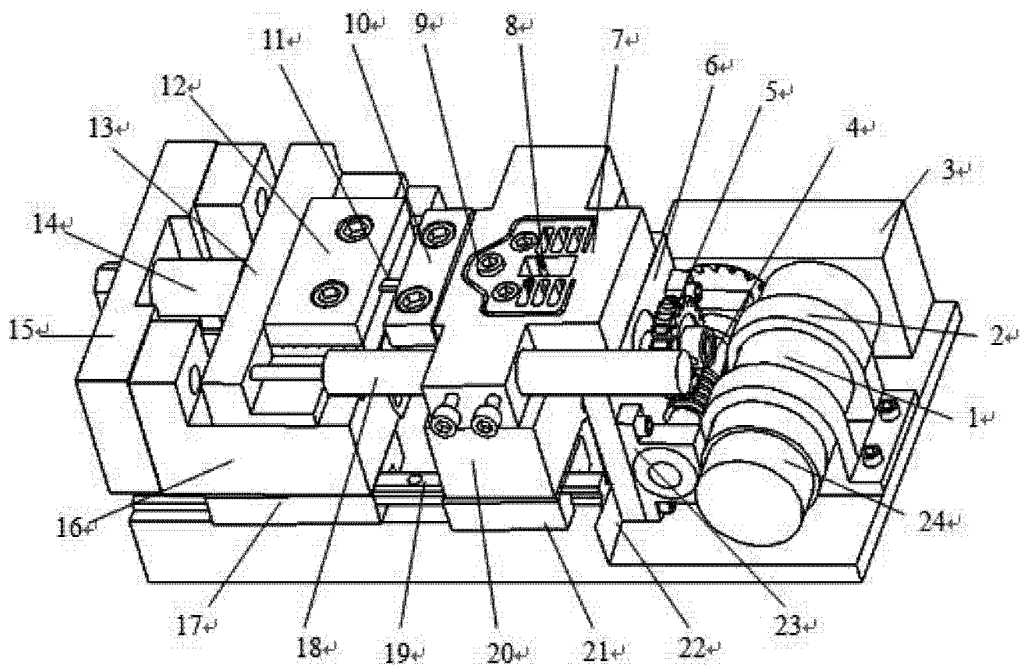


图 1

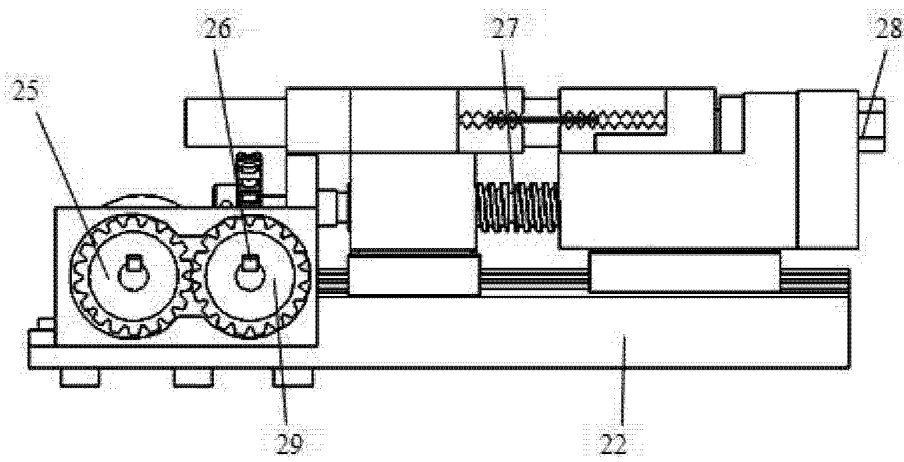


图 2

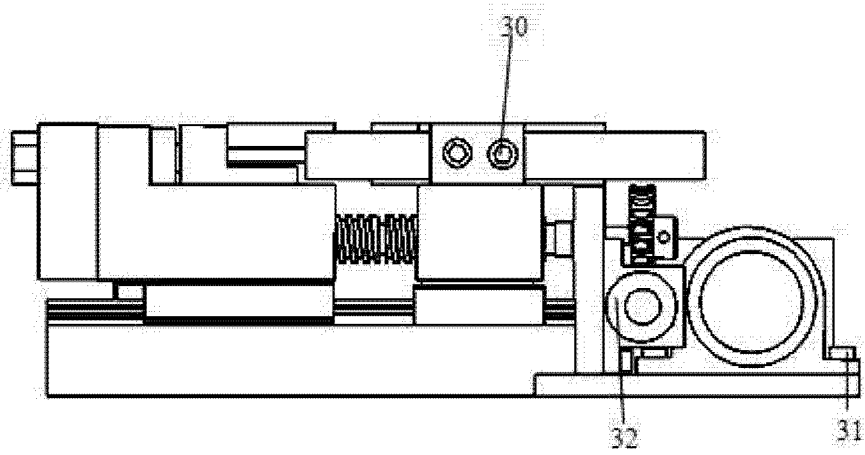


图 3

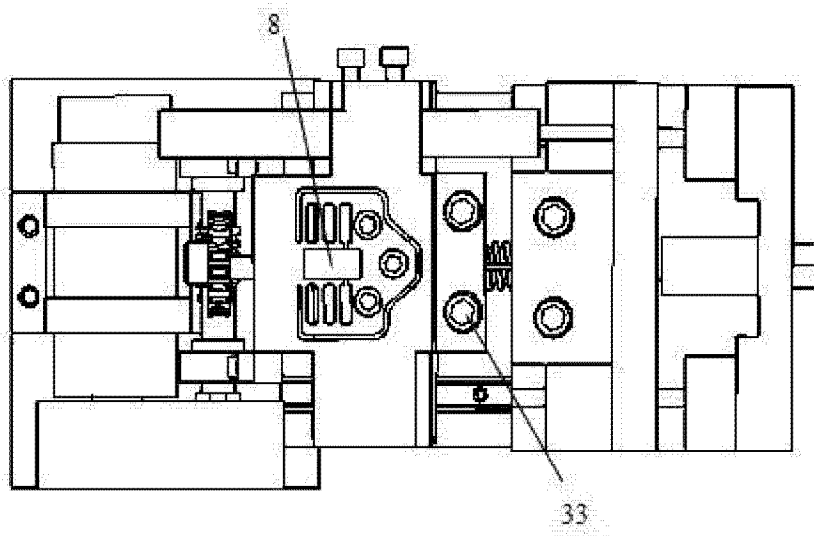


图 4

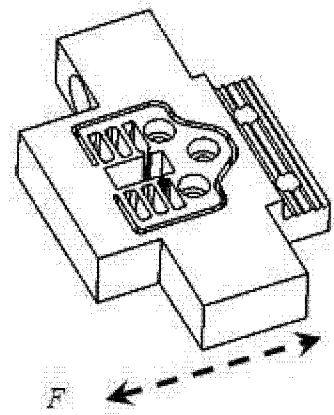


图 5

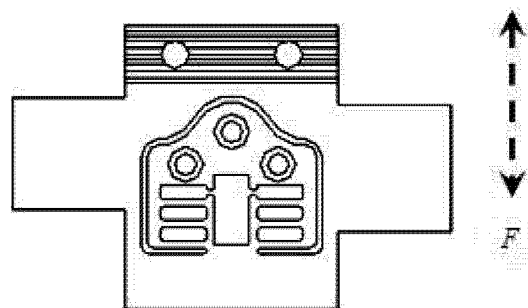


图 6

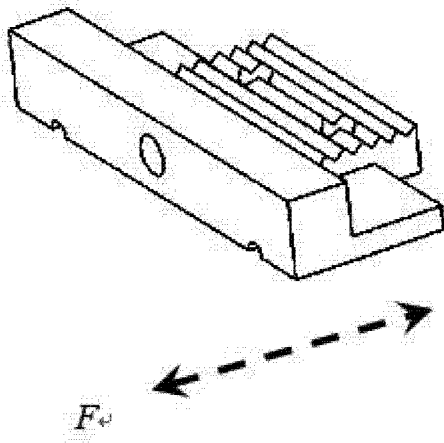


图 7

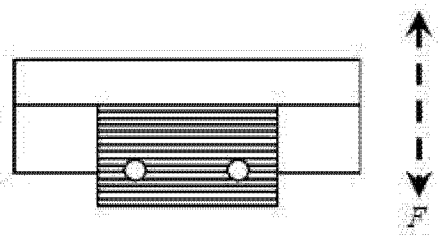


图 8