



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106769474 A

(43)申请公布日 2017.05.31

(21)申请号 201710026628.2

(22)申请日 2017.01.14

(71)申请人 常州大学

地址 213164 江苏省常州市武进区潞湖路1号

(72)发明人 彭浩平 刘军 苏旭平 赵会军
王建华 涂浩

(51)Int.Cl.

G01N 3/08(2006.01)

G01N 3/56(2006.01)

G01N 17/02(2006.01)

G01N 17/00(2006.01)

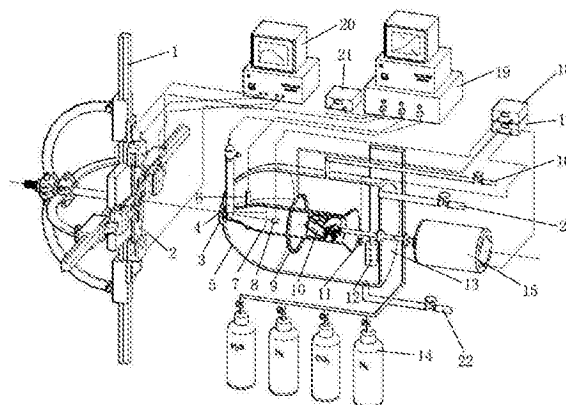
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置及测试方法

(57)摘要

本发明公开了一种加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置及测试方法,其中装置包括双向拉伸应力加载机构、十字试样、腐蚀反应池、电化学测试系统和控制系统,所述的十字试样安装于双向拉伸应力加载机构的夹具中,可以设置受不同比例双向应力模拟管道工作实际情况,所述的腐蚀反应池可提供多种组分实验介质以及工作环境。利用该装置及其测试方法,可以研究模拟多种工况金属材料在受双向应力下的腐蚀行为与规律。



1. 一种加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置,其特征在于:包括十字试样,为十字形金属材料,且试样中心区域为均匀应力场;双向拉伸应力加载机构,安装在十字试样的四端,加载十字试样所受的双向拉伸应力;腐蚀反应池,具有内腔,内腔中为腐蚀实验环境,十字试样的中心区域与内腔的腐蚀实验环境接触;

电化学测试系统,与十字试样构成电极体系,对所述十字试样施加极化电流和正弦波电位,进行极化并测试和交流阻抗图谱测试,并实时监测记录电位数据;和

控制系统,包括应力控制模块、温度控制模块和流速控制模块,控制腐蚀反应池内腔中实现多种腐蚀实验环境调节。

2. 如权利要求1所述的加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置,其特征在于:所述的双向拉伸应力加载机构,包括四个夹具、四个拉压力传感器、四个滑块和四个弯臂,以及加力螺母、支柱、工作台和轨道;

夹具安装在工作台上,工作台的四周延伸出四条所述的轨道;

所述的十字试样的四个端头各与一个夹具固定连接,十字试样与夹具之间通过聚四氟乙烯垫片隔开;每个夹具的外端面上固定连接有一个所述的拉压力传感器,拉压力传感器的一端与夹具连接,拉压力传感器的另一端固定于滑块上,每个滑块分别安装在工作台延伸出的轨道之上,轨道与滑块通过凸凹槽匹配,以通过滑块将来自于弯臂上的力分解为平行于轨道方向,弯臂与滑块底部铰接,所述支柱固定于工作台背部中心位置,四个弯臂中相对的两个弯臂两两向支柱汇聚后分别通过一个加力螺母与固定架连接,使弯臂与工作台平面呈 $20^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 夹角,通过调节加力螺母位置完成对应应力调节。

3. 如权利要求2所述的加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置,其特征在于:所述的腐蚀反应池,包括箱体、轴流泵自循环模块和气体充装模块;

所述的箱体一端具有开孔,所述开孔处均安装有密封绝缘垫片,所述密封绝缘垫片的形状尺寸与十字试样的中心区域匹配,以与十字试样形成密封,箱体上还开设有入水口和排水口,排水口处连接排水管;

所述轴流泵自循环模块包括电机和主体部分,所述轴流泵自循环模块的主体部分固定安装于箱体内部的轴心位置,所述电机安装在箱体外部;

所述的气体充装模块,包括气瓶、进气管、出气口和排气管,气瓶上设置有减压阀,出气口位于箱体内部,排气管连接箱体内部和废气处理系统。

4. 如权利要求3所述的加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置,其特征在于:所述的轴流泵自循环模块包括电机、传动轴、叶轮、导叶和轴流管;所述的电机为变频电机;电机驱动传动轴转动,叶轮和导叶同轴固定在传动轴上,传动轴、叶轮和导叶均位于轴流管内,轴流管位于箱体内,所述的导叶与叶轮的弯曲方向相反;所述的轴流管包括三段,前段呈喇叭口状,中段平直,后端为喷嘴状。

5. 如权利要求2所述的加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置,其特征在于:所述电化学测试系统包括三电极体系、电化学工作站和电位差计,所述三电极体系包括工作电极、参比电极和辅助电极,所述工作电极为十字试样,参比电极和辅助电极均安装于箱体内,所述电位差计检测工作电极相对于辅助电极的电位,所述工作电极、参比电极和辅助电极通过导线连接至电化学工作站和电位差计。

6. 如权利要求5所述的加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置,其特征在于:所述参比电极为饱和甘汞电极或银/氯化银电极,置于鲁金毛细管之中以减小欧姆降影响,所述辅助电极为铂片。

7. 如权利要求2所述的加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置,其特征在于:所述的应力控制模块包括控制计算机,拉压力传感器与控制计算机信号连接;温度控制模块和流速控制模块也均连接至控制计算机上;所述的温度控制模块包括热电偶、温度控制器和加热丝;所述的温度控制器用于设置实验温度,当箱体内的介质温度低于设置温度一定范围时,自动对加热丝供电使其工作;当介质温度达到设置温度时,断开加热丝供电;所述的流速控制模块包括流速传感器和流速控制器;所述的流速控制器依据流速传感器反馈信号控制电机频率,完成相应流速调整;所述热电偶、加热丝和流速传感器位于箱体内。

8. 一种采用如权利要求2-7所述的加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置的测试方法,其特征在于实现步骤如下:

步骤一,根据所需模拟现场工况条件设计实验腐蚀介质、流速、温度、气体含量,以及试样加载双向拉伸应力大小;

步骤二,安装十字试样,将十字试样的四个加载臂分别置于四个夹具内聚四氟乙烯垫片之中并进行固定,分别轻轻拧紧加力螺母,观察对应滑块上拉压力传感器反馈的数据,调节得到实验要求工况应力加载;

步骤三,将实验介质加入腐蚀反应池,达到要求位置后,关闭排气管段,打开实验设计对应气瓶上的减压阀,完成腐蚀介质除氧或充气,关闭减压阀;

步骤四,实验工况调节与测试,打开电机,开启加热丝,调节温度控制模块和流速控制模块,待流速传感器与热电偶监测数据与实验设计相符后,记录时间开始实验;电位差计实时监测十字试样相对于参比电极的电位状态,并将信号通过模数转换存储记录于控制计算机之中;在浸泡测试体系稳定后,将三电极体系导线连接到电化学工作站,按一定实验周期进行电化学测试;

步骤五,实验结束后,将排气管连接废气处理系统,放出实验介质,将十字试样卸下,进行表面腐蚀形貌观察、腐蚀产物分析以及整个实验过程中电化学参数分析。

加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置及测试方法

技术领域

[0001] 本发明属于应力腐蚀电化学测量技术领域,具体地说是一种模拟金属试样加载双向拉伸应力时腐蚀实验及电化学测试的装置,以及使用该装置进行原位电化学实时监测的方法,即一种加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置及测试方法。

背景技术

[0002] 金属材料在实际使用过程中,不仅会受到腐蚀介质的作用,同时还会受到各种应力的作用,并常常因此造成更为严重的腐蚀破坏。石油天然气行业普遍使用埋地管线高压输送介质,在复杂的工作环境下,腐蚀介质与应力的协同作用致使管线钢存在应力腐蚀开裂(Stress Corrosion Cracking, SCC)问题,已成为其发生突发性破裂事故的主要危险之一。并且,拉应力还对腐蚀速率有较明显加速作用。

[0003] 由此,研究高压管线输送介质工作时应力对金属腐蚀行为的影响就十分必要和重要。

[0004] 现有的技术中,多是使用万能实验机或慢应变速率实验机等单向拉伸装置进行金属应力腐蚀实验。如公开号CN105300874-《慢应变速率条件下的应力腐蚀和测氢电化学原位测量装置》,是在慢应变拉伸实验基础上简单增加腐蚀反应箱体与电化学检测模块,以完成单方向拉伸应力腐蚀试验研究;CN106053325-《一种应力耦合作用下的电化学腐蚀实验装置》,是利用自制杠杆系统模仿剪式千斤顶原理以提供单向拉应力;CN104458559-《应力-电化学腐蚀测试装置》,为利用重物提供恒定拉力,可研究不同温度下厌氧菌存在时的应力腐蚀情况。

[0005] 但是管道实际使用中,纵向应力与环向应力同时存在,根据薄壳应力分析,其大小呈1:2关系,所以需要实验装置可同时提供两种应力,以更贴合现场生产实际情况。目前为止,双向拉伸实验还没有形成统一标准和方法,较多研究者采用冲模式双向拉伸、薄膜凸胀双向拉伸等实验方法,取得一定成果。

发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题是:为了克服现有金属应力腐蚀实验装置的不足,本发明提供一种加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置及测试方法,该实验装置不仅能进行常规的双向应力腐蚀电化学检测,实时监测试样电位状态,且能实现温度、压力、介质等多种腐蚀因素控制,研究多种工作环境中对应力腐蚀行为与规律。

[0007] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:一种加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置,包括

[0008] 十字试样,为十字形金属材料,且试样中心区域为均匀应力场;

[0009] 双向拉伸应力加载机构,安装在十字试样的四端,加载十字试样所受的双向拉伸应力;

[0010] 腐蚀反应池,具有内腔,内腔中为腐蚀实验环境,十字试样的中心区域与内腔的腐

蚀实验环境接触;

[0011] 电化学测试系统,与十字试样构成电极体系,对所述十字试样施加极化电流和正弦波电位,进行极化并测试和交流阻抗图谱测试,并实时监测记录电位数据;和

[0012] 控制系统,包括应力控制模块、温度控制模块和流速控制模块,控制腐蚀反应池内腔中实现多种腐蚀实验环境调节。

[0013] 所述的双向拉伸应力加载机构,包括四个夹具、四个拉压力传感器、四个滑块和四个弯臂,以及加力螺母、支柱、工作台和轨道;夹具安装在工作台上,工作台的四周延伸出四条所述的轨道;所述的十字试样的四个端头各与一个夹具固定连接,十字试样与夹具之间通过聚四氟乙烯垫片隔开;每个夹具的外端面上固定连接有一个所述的拉压力传感器,拉压力传感器的一端与夹具连接,拉压力传感器的另一端固定于滑块上,每个滑块分别安装在工作台延伸出的轨道之上,轨道与滑块通过凸凹槽匹配,以通过滑块将来自于弯臂上的力分解为平行于轨道方向,弯臂与滑块底部铰接,所述支柱固定于工作台背部中心位置,四个弯臂中相对的两个弯臂两两向支柱汇聚后分别通过一个加力螺母与固定架连接,使弯臂与工作台平面呈 $20^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 夹角,通过调节加力螺母位置完成对应应力调节。

[0014] 所述的腐蚀反应池,包括箱体、轴流泵自循环模块和气体充装模块;所述的箱体一端具有开孔,所述开孔处均安装有密封绝缘垫片,所述密封绝缘垫片的形状尺寸与十字试样的中心区域匹配,以与十字试样形成密封,箱体上还开设有入水口和排水口,排水口处连接排水管;所述轴流泵自循环模块包括电机和主体部分,所述轴流泵自循环模块的主体部分固定安装于箱体内部的轴心位置,所述电机安装在箱体外部;所述的气体充装模块,包括气瓶、进气管、出气口和排气管,气瓶上设置有减压阀,出气口位于箱体内部,排气管连接箱体内部和废气处理系统。

[0015] 所述的轴流泵自循环模块包括电机、传动轴、叶轮、导叶和轴流管;所述的电机为变频电机;电机驱动传动轴转动,叶轮和导叶同轴固定在传动轴上,传动轴、叶轮和导叶均位于轴流管内,轴流管位于箱体内,所述的导叶与叶轮的弯曲方向相反;所述的轴流管包括三段,前段呈喇叭口状,中段平直,后端为喷嘴状。

[0016] 所述电化学测试系统包括三电极体系、电化学工作站和电位差计,所述三电极体系包括工作电极、参比电极和辅助电极,所述工作电极为十字试样,参比电极和辅助电极均安装于箱体内,所述电位差计检测工作电极相对于辅助电极的电位,所述工作电极、参比电极和辅助电极通过导线连接至电化学工作站和电位差计。

[0017] 所述参比电极为饱和甘汞电极或银/氯化银电极,置于鲁金毛细管之中以减小欧姆降影响,所述辅助电极为铂片。

[0018] 所述的应力控制模块包括控制计算机,拉压力传感器与控制计算机信号连接;温度控制模块和流速控制模块也均连接至控制计算机上;所述的温度控制模块包括热电偶、温度控制器和加热丝;所述的温度控制器用于设置实验温度,当箱体内的介质温度低于设置温度一定范围时,自动对加热丝供电使其工作;当介质温度达到设置温度时,断开加热丝供电;所述的流速控制模块包括流速传感器和流速控制器;所述的流速控制器依据流速传感器反馈信号控制电机频率,完成相应流速调整;所述热电偶、加热丝和流速传感器位于箱体内。

[0019] 一种采用所述的加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置的测试方法,实现步

骤如下：

[0020] 步骤一，根据所需模拟现场工况条件设计实验腐蚀介质、流速、温度、气体含量，以及试样加载双向拉伸应力大小；

[0021] 步骤二，安装十字试样，将十字试样的四个加载臂分别置于四个夹具内聚四氟乙烯垫片之中并进行固定，分别轻轻拧紧加力螺母，观察对应滑块上拉压力传感器反馈的数据，调节得到实验要求工况应力加载；

[0022] 步骤三，将实验介质加入腐蚀反应池，达到要求位置后，关闭排气管段，打开实验设计对应气瓶上的减压阀，完成腐蚀介质除氧或充气，关闭减压阀；

[0023] 步骤四，实验工况调节与测试，打开电机，开启加热丝，调节温度控制模块和流速控制模块，待流速传感器与热电偶监测数据与实验设计相符后，记录时间开始实验；电位差计实时监测十字试样相对于参比电极的电位状态，并将信号通过模数转换存储记录于控制计算机之中；在浸泡测试体系稳定后，将三电极体系导线连接到电化学工作站，按一定实验周期进行电化学测试；

[0024] 步骤五，实验结束后，将排气管连接废气处理系统，放出实验介质，将十字试样卸下，进行表面腐蚀形貌观察、腐蚀产物分析以及整个实验过程中电化学参数分析。

[0025] 本发明的有益效果是，本发明的一种加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置及测试方法，测定金属材料在一定的双向拉伸应力状态下，处于复杂工作环境中腐蚀过程的电化学参数，以及进行原位电位实时监测，通过对电化学试验结果进行归纳总结，并结合腐蚀形貌观察以及腐蚀产物特征的分析，从而探究双向拉伸应力对金属材料腐蚀行为的影响及作用机制：

[0026] 1. 本发明选用双向拉伸应力加载机构，可调节弯臂获得不同大小、不同比例的双向应力，并且本发明样品为十字试样，区别于传统拉伸实验的单向柱状试样，可以更好地模拟管道工作中金属管材同时受环向应力和纵向应力的实际情况。

[0027] 2. 本发明采用三电极电化学测试系统搭配电位差计，可以准确测试腐蚀反应过程中各电化学参数，且可以对试样电位实时监测，分析腐蚀状态随实验时间的变化。

[0028] 3. 本发明的轴流泵自循环模块融合现有的管道冲刷实验装置与轴流泵工作特性，可实现实验介质自循环，不需要随时添加，用较低成本可完成相应腐蚀实验。

[0029] 4. 本发明选用具有变频器的电机驱动叶轮作为动力，叶轮之后的导叶可将介质旋转运动变为轴向流动，搭配流速传感器与速控器可实现符合生产实际的多种工况调节。

[0030] 5. 本发明能进行可控应力加载、可控冲刷、可控加热、可控充气，较好的模拟实现腐蚀作用的影响因素，可开展多种工作环境下的应力腐蚀实验研究。

附图说明

[0031] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0032] 图1是本发明加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置的结构示意图。

[0033] 图2是本发明双向拉伸应力加载机构的结构示意图。

[0034] 图3是本发明叶轮和导叶的结构示意图。

[0035] 图4是本发明的十字试样的结构示意图。

[0036] 图5是本发明的十字试样的剖面示意图。

[0037] 图中1、双向拉伸应力加载机构,101、弯臂,102、支柱,103、加力螺母,104、固定架,105、轨道,106、滑块,107、螺栓,108、夹具,109、拉压力传感器,110、支座,111、工作台,2、十字试样,201、激光加工槽,3、密封绝缘垫片,4、参比电极,5、腐蚀反应池,6、辅助电极,7、轴流管,8、流速传感器,9、加热丝,10、轴流泵自循环模块,1001、传动轴,1002、叶轮,1003、导叶,11、热电偶,12、出气口,13、箱体,14、气瓶,15、电机,16、排气管,17、温度控制器,18、流速控制器,19、电化学工作站,20、控制计算机,21、电位差计,22、排水管,23、入水口。

具体实施方式

[0038] 下面结合附图对本发明作进一步阐述。

[0039] 参阅图1至图5所示,本发明中一种加载双向拉伸应力试样腐蚀电化学实验装置,包括双向拉伸应力加载机构1、十字试样2、腐蚀反应池5、电化学测试系统和控制系统。

[0040] 如图1所示,本发明实验装置中,双向拉伸应力加载机构1、电化学测试系统与控制系统都置于腐蚀反应池5外侧,而作为装置主体的腐蚀反应池5自身主要包括箱体13、轴流泵自循环模块10和气体充装模块。腐蚀反应池5的箱体13左端开孔处设置有密封绝缘垫片3,其形状尺寸正好匹配于十字试样2的中心凹陷区域,以形成密封,箱体13的其余开孔处也配置有相应密封材料。轴流泵自循环模块10的除电机15外的主体部分安装在箱体13内部,并固定安装于腐蚀反应池5轴心位置处。腐蚀反应池5内部还设置有电化学测试系统中的参比电极4、辅助电极6、轴流管7、流速传感器8、加热丝9、热电偶11、气体充装模块中的出气口12。另外,箱体13顶部位置处设置排气管16,连接废气处理系统。箱体13上还开设有入水口23和排水口,排水口处连接排水管22。

[0041] 如图2所示,双向拉伸应力加载机构1,包括工作台及轨道105,轨道105与滑块106通过凹凸槽搭配,可以将来自于弯臂101上的力分解为平行于轨道105方向,四个滑块106分别通过支座110装有拉压力传感器109与夹具108,夹具108上设置内六角固定螺丝以完成十字试样2的装配与固定工作。工作台中心处垂直装有支柱102,其上设置有加力螺母103,可以带动支柱102上固定架104靠近工作台,通过弯臂101牵引滑块106在轨道105上运动,从而提供双向拉伸应力。可以通过更换不同长度的弯臂101以及将弯臂101安装于不同位置固定架104之上来调节双向拉伸应力不同比例大小。弯臂101与滑块106以及固定架104之间通过螺栓107连接,弯臂101整体与工作台平面呈 $20^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 范围。

[0042] 如图3所示为轴流泵自循环模块10主体部分,主要为传动轴1001、四片叶轮1002、六片导叶1003,其中叶轮1002通过传动轴1001从电机15上获得动力,从而提供实验介质循环流动的能量;而导叶1003与叶轮1002弯曲方向相反,调节旋转水液为轴向流动。另外,轴流管7包括三段,前段呈喇叭口状,中段平直,后端为喷嘴状。

[0043] 图4为十字试样2的平面图,十字试样2的每个加载臂有4个激光加工槽201,使分解到十字试样2中心处的加载力更加均匀。图5所示,十字试样2的中心处厚度减薄,同样也是为了在中心区域获得均匀应力场。

[0044] 所述的电化学测试系统包括三电极体系(工作电极、参比电极4和辅助电极6)、电化学工作站19和电位差计21;其中,工作电极为十字试样2,参比电极4优选为饱和甘汞电极或银/氯化银电极,置于鲁金毛细管之中以减小欧姆降影响,辅助电极6优选为铂片,电位差计21具有模数转换功能,并配有函数记录功能可以实时监测电位数据。除三电极体系安装

于箱体13之上,其余部件独立于腐蚀反应池5存在,各部件通过导线连接。

[0045] 所述的控制系统包括应力控制模块、温度控制模块和流速控制模块;所述的应力控制模块包括控制计算机20,温度控制模块和流速控制模块也均连接至控制计算机20上以记录相关实验数据。

[0046] 进一步的,所述的温度控制模块主要包括热电偶11、温度控制器17、加热丝9;所述的温度控制器17可设置实验温度,当介质温度低于设置温度一定范围时,自动对加热丝9供电使其工作;当介质温度达到设置温度时,断开加热丝9供电。

[0047] 进一步的,所述的流速控制模块主要包括流速传感器8、流速控制器18;所述的流速控制器18依据流速传感器8反馈信号控制电机15频率,完成相应流速调整。

[0048] 本发明还提供一种双向拉伸应力试样腐蚀电化学测试试验方法,实现步骤如下:

[0049] (A) 现场工况条件模拟化,具体方法如下:

[0050] a、根据生产现场工况条件确定实验介质组分、确定流速大小以及温度,根据腐蚀反应池容积计算得到相应气体充装量。

[0051] b、按照现场金属材料受力条件,根据其所受应力大小选择加载载荷大小。

[0052] (B) 安装加载十字试样2及参比电极4与辅助电极6的过程,具体方法如下:

[0053] a、十字试样2的加载臂放置于夹具108之中,中间装有聚四氟乙烯垫片,对齐各孔位置,旋紧内六角固定螺丝进行固定。

[0054] 根据实验设计,选用合适长度的弯臂101,轻轻拧紧加力螺母103,观察拉压力传感器109所测数据,进行准确双向应力加载。

[0055] 将双向拉伸应力加载机构1连同十字试样2一起靠近腐蚀反应池5的箱体13,密封绝缘垫片3正好镶嵌于十字试样2的中心凹陷区域,形成密封。

[0056] b、在箱体13上部固定开孔处安装参比电极4和辅助电极6,参比电极4外部鲁金毛细管弯管嘴应尽量靠近十字试样2。

[0057] (C) 实验介质流动环境的实现,具体方法如下:

[0058] a、检查箱体13的密封状态,关闭排水管22,从入水口23处灌入符合实验要求的介质溶液,达到指定位置后,完成入水口23密封。

[0059] b、关闭排气管路,根据实际环境需要,确定对腐蚀反应池5中的实验介质进行除氧或充装特定气体,打开气瓶14相应减压阀,气体从出气口12进入实验介质,当气体充装达到要求后,关闭减压阀。

[0060] c、打开腐蚀反应池5配套的温度控制模块,控制实验介质达到温度设计要求,打开流速控制模块,调节变频电机15的频率带动轴流泵自循环模块10工作,利用流速传感器8校准流速,利用热电偶11校准温度。

[0061] (D) 对加载双向拉伸应力试样进行电化学测试,具体方法如下:

[0062] a、将十字试样2、参比电极4、辅助电极6的导线连接至电化学工作站19和电位差计21。

[0063] b、实验开始检测后,电差位计21实时监测十字试样2相对于辅助电极6的电位,通过模数转换板记录存储相应数据于控制计算机20之中。

[0064] c、在测试体系稳定后,按照设定时间周期利用电化学工作站19进行电化学测试,记录实验测试结果。

[0065] (E) 试样分析及电化学数据分析,具体方法如下:

[0066] a、实验结束后,停止加热,将排气管16与废气处理系统连接,放出气体,打开排水
管22排除液体。

[0067] b、将双向拉伸应力加载机构1远离箱体13,松开夹具108上固定螺丝,将十字试样2
卸下,观察十字试样2的表面腐蚀形貌、分析腐蚀产物。

[0068] c、对电化学测试结果进行分析,讨论双向拉伸应力作用下金属材料在复杂工况时
的腐蚀行为。

[0069] 以上述依据本发明的理想实施例为启示,通过上述的说明内容,相关工作人员完
全可以在不偏离本项发明技术思想的范围内,进行多样的变更以及修改。本项发明的技术
性范围并不局限于说明书上的内容,必须要根据权利要求范围来确定其技术性范围。

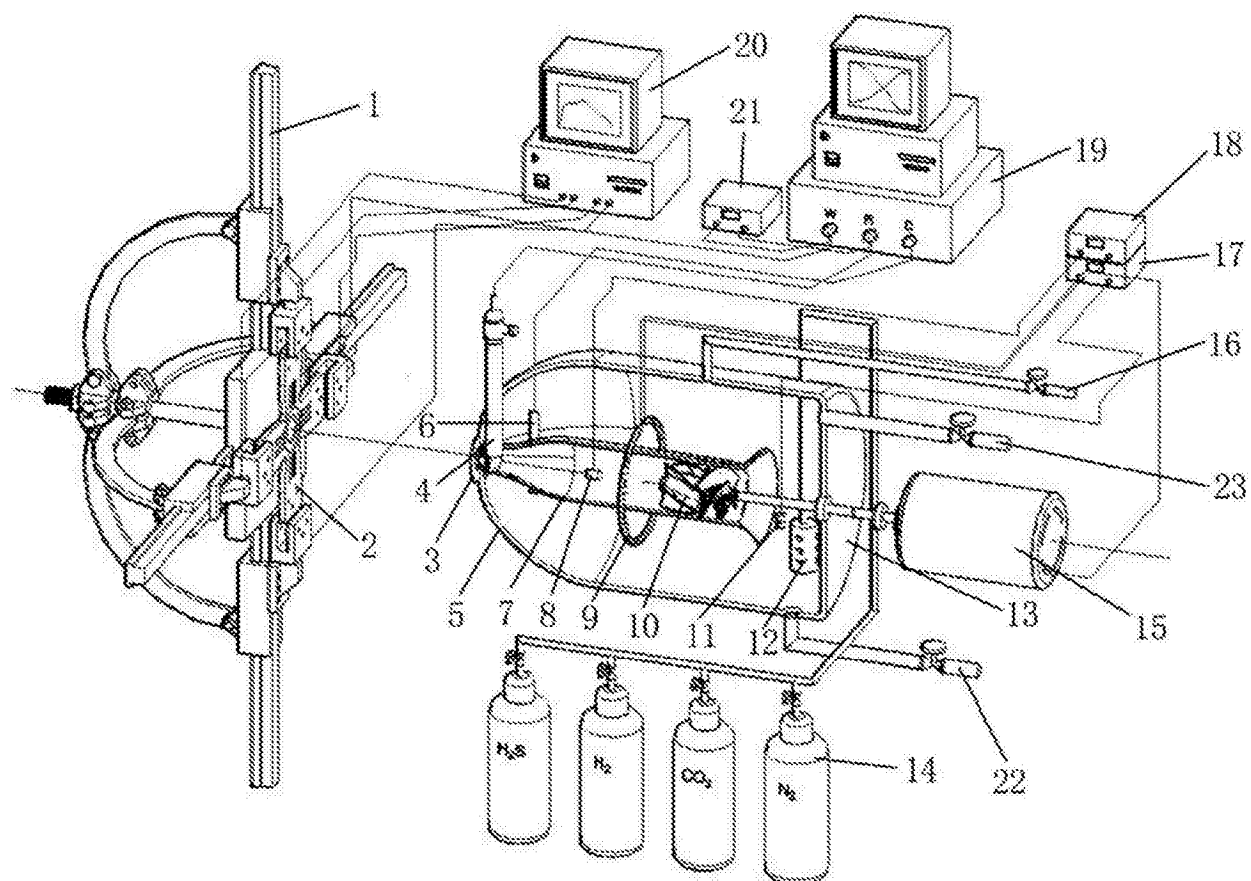


图1

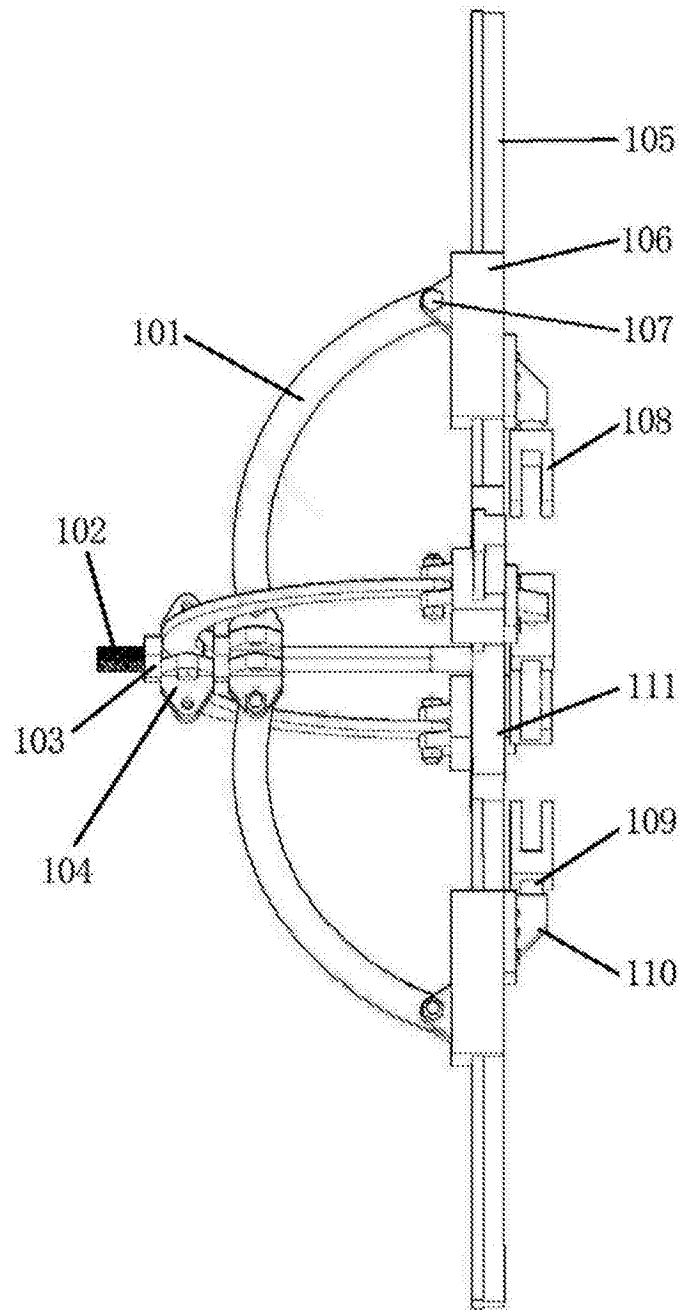


图2

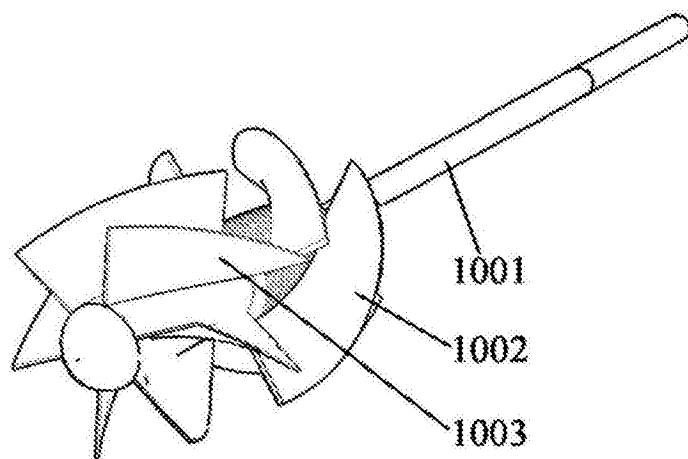


图3

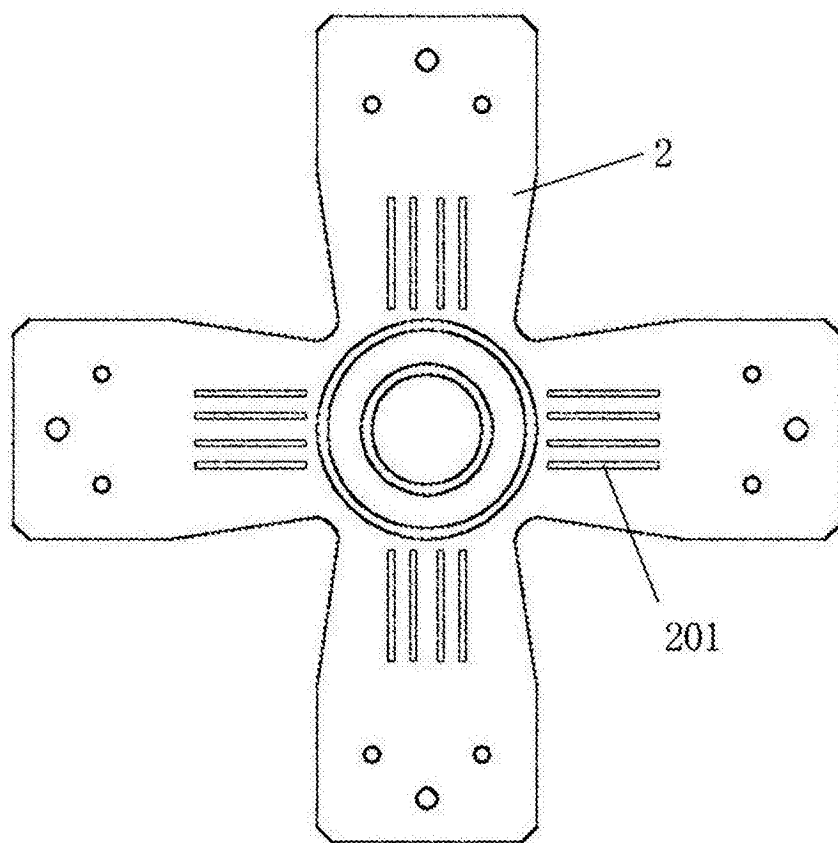


图4

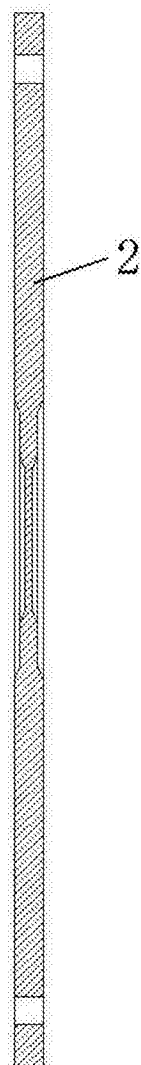


图5