



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110199009 A

(43)申请公布日 2019.09.03

(21)申请号 201880007276.9

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所  
11105

(22)申请日 2018.01.25

代理人 王增强

(30)优先权数据

62/452,464 2017.01.31 US

(51)Int.Cl.

G10G 75/00(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

G01N 17/00(2006.01)

2019.07.17

G01N 17/04(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

G01N 33/2025(2019.01)

PCT/US2018/015219 2018.01.25

(87)PCT国际申请的公布数据

W02018/144313 EN 2018.08.09

(71)申请人 沙特阿拉伯石油公司

地址 沙特阿拉伯达兰

(72)发明人 A.谢里克 A.特莱迪亚

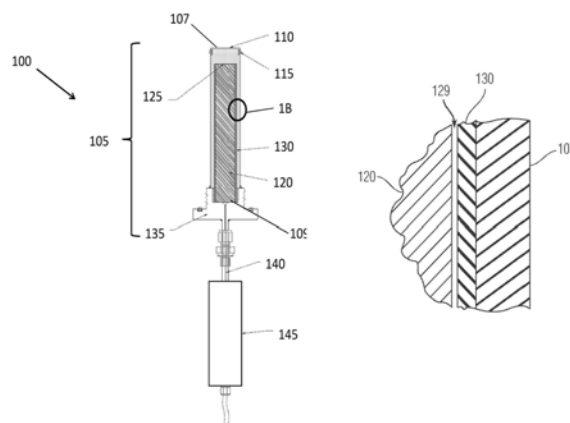
权利要求书3页 说明书10页 附图7页

### (54)发明名称

原位HIC增长监测探针

### (57)摘要

本申请涉及原位侵入式探针系统和方法。本文所述的探针系统可以与含烃结构齐平安装,诸如管道、容器或携带原油、气体或含硫油品的其他管道系统。所述探针系统包括抗氢致开裂(HIC)的微结构,使得当原子氢渗透所述探针表面时,所述探针捕获重新组合的氢气。测量所得氢气积聚的压力,并且可以预测该区域的HIC活性。



1. 一种用于齐平插入金属器材中的侵入式探针系统,其包括:

探针主体,其具有由构造成暴露于位于金属器材内的腐蚀物的暴露表面限定的第一实心端部,所述探针主体具有终止于与所述暴露表面间隔开的位置的内部开口;

插入件,其置于所述探针的内部开口内以便限定在所述插入件和所述探针主体的内壁之间限定的收集腔;

扩散屏障,其沿着所述探针主体的内壁设置并且由所述收集腔中由所述腐蚀物产生的气体基本上不能渗透的材料形成,以便防止所述气体从所述收集腔通过进入所述探针主体的周围内壁;

导管,其与所述收集腔流体连通,用于接收由所述腐蚀物产生的所述气体;和

压力测量装置,其联接到所述导管,用于测量由所述腐蚀物产生的所述气体的压力。

2. 根据权利要求1所述的探针系统,其中所述腐蚀物是在所述金属器材内部输送的液体,其中原子氢是由于所述腐蚀物和所述金属器材之间的接触而引起的所述金属器材腐蚀的副产物。

3. 根据权利要求1所述的探针系统,其中所述收集腔中由所述腐蚀物产生的所述气体是分子氢气。

4. 根据权利要求1所述的探针系统,其中所述插入件的第一端与所述探针主体的所述实心端部处于齐平邻接关系,由此所述收集腔围绕所述插入件的侧壁形成并与所述插入件的第一末端和所述实心端部之间的界面间隔开。

5. 根据权利要求1所述的探针系统,其中所述插入件包括圆柱形焊条,并且所述收集腔具有环形形状。

6. 根据权利要求1所述的探针系统,其中所述收集腔在所述探针主体内纵向延伸到距所述暴露表面的一定距离。

7. 根据权利要求1所述的探针系统,其中所述腐蚀物是在所述金属器材内输送的液体,其中原子氢是所述金属器材腐蚀的副产物,并且所述第一实心端部由允许原子氢扩散通过但具有抗HIC微结构的材料形成。

8. 根据权利要求1所述的探针系统,其中包括所述暴露表面的所述第一实心端部由与所述金属器材相同的金属等级形成。

9. 根据权利要求1所述的探针系统,其中所述扩散屏障是氧化物层。

10. 根据权利要求1所述的探针系统,其中所述扩散屏障是奥氏体不锈钢套管。

11. 根据权利要求1所述的探针系统,其中所述内部开口包括盲孔,并且所述内部开口的封闭端由所述探针主体的所述第一实心端部限定。

12. 根据权利要求1所述的探针系统,其中所述插入件由具有低氢扩散性或无氢扩散性的材料形成。

13. 根据权利要求1所述的探针系统,其中所述插入件由奥氏体不锈钢材料形成。

14. 根据权利要求1所述的探针系统,其还包括与所述探针主体的与所述第一实心端部相对的一端联接的探针帽;与探针主体联接的接入配件;和密封插入在所述金属器材中形成的接入孔中并与所述接入配件联接的联接支架。

15. 根据权利要求1所述的探针系统,其中所述探针帽包括外螺纹,所述外螺纹与所述接入配件中形成的内螺纹配合。

16. 根据权利要求1所述的探针系统,其中所述腐蚀物是在所述金属器材内部输送的液体,其中原子氢是所述金属器材腐蚀的副产物,并且所述收集腔包括HIC模拟腔,其中扩散的原子氢渗透到所述收集腔内并且在所述收集腔内重新组合形成氢气并且随着所述收集腔中的氢气含量增加,所述收集腔中的压力相应地增加,模仿HIC过程,所述压力测量装置用氢传感器监测所述收集腔内的压力并测定相应的氢积聚率。

17. 根据权利要求16所述的探针系统,其中所述压力测量装置构造成一旦所述氢积聚速率达到阈值就发送警报,所述阈值指示所述金属器材中HIC或阶式开裂(SWC)的可能性增加。

18. 根据权利要求1所述的探针系统,其中所述扩散屏障具有抗HIC微结构。

19. 根据权利要求1所述的探针系统,其中所述插入件的一端与所述实心端部之间的界面抵抗原子氢通过,从而使所述腐蚀物进入围绕所述插入件的侧壁的所述收集腔。

20. 根据权利要求1所述的探针系统,其中所述探针主体构造成使得所述暴露表面相对于所述金属器材的内壁齐平放置,所述金属器材包括其中形成所述腐蚀物的中空管。

21. 一种用于齐平插入金属器材中的侵入式探针系统,其包括:

探针主体,其具有带有暴露表面的接入端部,所述暴露表面构造成暴露于位于所述金属器材内的腐蚀物,所述接入端部具有与所述暴露表面相对形成的凹部;

插入件,其具有接入端和基座端,所述接入端邻近所述探针主体的凹部设置以便限定收集腔,所述收集腔流体密封并构造成收集渗透穿过所述探针主体的暴露表面的原子氢,由此在所述收集腔内由所述原子氢产生气体,其中所述插入件包括穿过其中并且在所述接入端和所述基座端两处开口的通孔,使得所述通孔与所述收集腔流体连通;和

压力测量装置,其与所述探针主体的通孔流体连通,用于测量所述收集腔内由扩散的原子氢产生的所述气体的压力。

22. 根据权利要求21所述的探针系统,其中所述收集腔中由所述扩散的原子氢产生的所述气体是分子氢气。

23. 根据权利要求21所述的探针系统,其中所述凹部沿所述接入端部的与所述暴露表面相对的面形成。

24. 根据权利要求21所述的探针系统,其中所述凹部具有阶梯式构造,其包括所述插入件的所述凹入端密封固定于其上的平台部。

25. 根据权利要求21所述的探针系统,其中所述通孔位于所述插入件的中心。

26. 根据权利要求21所述的探针系统,其中所述接入端部具有圆柱形状。

27. 根据权利要求21所述的探针系统,还包括与所述插入件的基座端联接的探针帽,所述探针帽具有与所述插入件中形成的所述通孔轴向对准的通孔,以限定通向所述压力测量装置的导管。

28. 根据权利要求21所述的探针系统,其中所述插入件包括圆柱形焊条。

29. 根据权利要求21所述的探针系统,其还包括联接到与所述暴露表面相邻的所述接入端部的O形环。

30. 根据权利要求21所述的探针系统,其中所述接入端部由允许原子氢扩散通过但具有抗HIC微结构的材料形成。

31. 根据权利要求21所述的探针系统,其中包括所述暴露表面的所述接入端部由与所

述金属器材相同的金属等级形成。

32. 根据权利要求21所述的探针系统,其中所述插入件由奥氏体不锈钢材料形成。

33. 根据权利要求21所述的探针系统,其还包括联接到所述插入件的基座端的探针帽;与所述探针主体联接的接入配件;和密封插入在所述金属器材中形成的接入孔中并与所述接入配件联接的联接支架。

34. 根据权利要求21所述的探针系统,其中所述腐蚀物包括原子氢,并且所述收集腔包括HIC模拟腔,其中所述扩散的原子氢渗透并重新组合形成氢气并且随着所述收集腔中的氢气含量增加,所述收集腔中的压力相应地增加,模仿HIC过程,所述压力测量装置用氢传感器监测所述收集腔内的压力并测定相应的氢积聚率。

35. 根据权利要求34所述的探针系统,其中所述压力测量装置构造成一旦所述氢积聚速率达到阈值就发送警报,所述阈值指示所述金属器材中HIC或阶式开裂(SWC)的可能性增加。

36. 一种用于警告金属器材中的氢致开裂的方法,所述方法包括:

将侵入式探针系统齐平插入所述金属器材中,所述侵入式探针系统具有带接入端部的探针主体,所述接入端部具有与所述金属器材的内表面齐平放置的暴露表面,所述接入端部由允许原子氢扩散通过但具有抗HIC微结构的材料形成,所述探针主体具有用于接收通过所述接入端部的所述原子氢的收集腔;

使所述原子氢渗透所述暴露表面;

在所述探针主体的所述收集腔中产生分子氢;

测量所述收集腔中的所述分子氢的压力;并且

确定测量的压力是否高于指示所述金属器材中氢致开裂风险增加的值,如果是,则生成警报。

37. 根据权利要求37所述的方法,其还包括以下步骤:根据测量的氢致开裂风险调度高级超声检测。

38. 一种用于监测金属器材内表面的在线检查系统,其包括:

用于齐平插入金属器材中的侵入式探针装置,其包括:

探针主体,其具有由构造成暴露于位于金属器材内的腐蚀物的暴露表面限定的第一实心端部,所述探针主体具有终止于与所述暴露表面间隔开的位置的内部开口;

插入件,其置于所述探针的内部开口内以便限定在所述插入件和所述探针主体的内壁之间限定的收集腔;

扩散屏障,其沿着所述探针主体的内壁设置并且由所述收集腔中由所述腐蚀物产生的气体基本上不能渗透的材料形成,以便防止所述气体从所述收集腔通过进入所述探针主体的周围内壁;

导管,其与所述收集腔流体连通,用于接收由所述腐蚀物产生的所述气体;

压力测量装置,其联接到所述导管,用于测量由所述腐蚀物产生的所述气体的压力;

第一通信模块,其与所述侵入式探针装置相关联;

PIG装置,其构造为沿着所述金属器材的内表面行进,所述PIG装置包括第二通信模块,所述第二通信模块构造为与所述第一通信模块通信以允许所述侵入式探针装置和所述PIG装置之间的数据传输。

## 原位HIC增长监测探针

[0001] 相关专利申请的交叉引用

[0002] 本申请基于并要求保护2017年1月31日提交的美国临时专利申请62/452,464的优先权,其全部内容通过引用并入本文,如同在本文中各自完整地阐述一样。

### 技术领域

[0003] 本发明总体涉及评估对金属结构的器材损害。更具体地,本发明涉及用于评估对金属管道的氢致损害的探针系统。

### 背景技术

[0004] 对于金属(例如钢)结构,例如管道、压力容器和其他管道系统,特别是那些由非抗HIC钢和服务烃类产物(例如,含硫气体或天然气)组成的结构,氢致开裂(HIC)是持久性问题。烃类产物中的天然存在的酸性气体,如CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>S,溶解在烃类液体产物的水相中。与这些过程相关的电化学反应产生原子氢,原子氢被吸附在器械的腐蚀内壁表面上。大部分这种吸附的原子氢重新组合到钢表面上,形成分子氢(氢气),并且“起气泡”,对钢无损害。然而,在H<sub>2</sub>S存在下,某一部分吸附的原子氢不会重新组合成氢气,而是渗透通过钢表面,扩散通过金属晶格并最终在金属壁厚度内的“空隙”内重新组合。这些空隙与炼钢过程中形成的冶金缺陷(通常为硫化锰(MnS)非金属夹杂物)相关。由这些空隙内产生的氢气产生的压力可以达到极高的值(在没有钢表面钝化的情况下高达12,000巴,即1,200MPa)。这些极高压力促成非金属夹杂物尖端的内聚力局部降低(氢脆),并最终导致起泡、裂纹萌生和后续的HIC增长。HIC裂缝还可导致更严重的全厚度开裂,称为阶式开裂(SWC)。与HIC和SWC相关的泡和裂缝会随着时间的推移而增长,并导致金属管道的破坏。

[0005] 完整性工程师通过定期检查管道来识别和监测受HIC影响的区域,从而管理HIC引起的降解并保持结构完整性。例如,完整性工程师执行管道在线检查(ILI)以识别HIC集群,然后通过高级超声测试(AUT)进行挖掘以进行更仔细的检查。进行AUT以验证ILI结果,确定管道的剩余壁厚,并且还检查SWC的存在(使用常规ILI技术,例如磁通量泄漏和常规超声波测试无法检测)。然后使用服务适意性(FFS)行业标准代码(如API-579或ASME B31G)分析这些结果,并做出完整性决策。AUT检查在高严重性位置进行,以获得评估所需的数据。根据评估结果,更频繁地进行AUT检查,频率通常部分取决于对线性HIC或阶式开裂(SWC)的检查。然而,这种方法对于管道来说是不可行的,因为对于埋地输送管道进行频繁的AUT检查(例如,每半年一次)不切实际且成本效率低,并且难以在同一线路上对多个受影响的线路区段进行优先级排序。此外,AUT检查缺乏一种方式来识别检查之间可能出现的高活性HIC活动区域并确定其优先顺序。

[0006] 而且,常规的原位系统采用电化学方法、基于压力的方法和基于真空的探针方法,其间接地根据测量的渗透气体速率计算腐蚀速率,因此对管道是非侵入式的。非侵入式电化学方法和探针,以及基于压力和基于真空的探针,测量氢的灵敏度有限,因为它们只能测量从结构内表面到结构外表面的氢积聚量。从结构内壁扩散的大部分氢不会完全扩散通过

结构到达其外表面,而是将氢截留在壁厚内。这种限制将产生的氢量低估,实际压力可能高得多,因此可产生计算错误的腐蚀速率,因为腐蚀速率基于氢积聚量的测量。此外,此类探针对于埋地线是不实用的,并且可包括对于器械中存在的化学液体而言对于侵入式现场应用不可行的测量化学品。

[0007] 因此,需要提供识别氢压力积聚有效区域的警告系统,并优先AUT检查以首先检查金属结构的大部分HIC活动区域。还需要一种侵入式原位监测探针。关于这些问题和其它问题,提供了本发明。

## 发明内容

[0008] 在整个说明书中,术语可具有超出明确陈述含义的,上下文中表明或暗示的有细微差别的含义。同样,如本文所用的短语“在一个实施例中”不一定是指相同的实施例,并且如本文所用的短语“在另一个实施例中”不一定是指不同的实施例。类似地,如本文所用的短语“一个或多个实施例”不一定指相同的实施例,并且如本文所用的短语“至少一个实施例”不一定指不同的实施例。意图是,例如,所要求保护的主体包括整个或部分示例实施例的组合。

[0009] 本公开详述了用于安装在油或气结构表面(例如,钢管道)处以便监测和测量氢气压力积聚的侵入式警报探针系统和方法。为了安装探针系统,通过管道表面钻孔,并将具有螺纹内表面的联接支架固定在孔中。然后通过接入配件将探针系统拧入联接支架中。具体地,探针设备布置成使得探针的暴露表面至少基本上与所述结构的内表面齐平定位(即,“齐平几何形状”)。暴露的探针表面由与结构表面相同的材料等级制成,以确保在探针和油/气结构处发生相同的腐蚀和氢致开裂(HIC)过程,但不同于结构表面,暴露的探针表面经过冶金改性,具有抗HIC微结构。以这种方式,扩散氢可以进入探针系统,但不会陷入暴露的探针表面内的冶金腔中。

[0010] 探针系统包括HIC模拟腔(收集腔或内腔),其中扩散原子氢(H)渗透到腔内并在腔内重新组合形成氢气(H<sub>2</sub>)。为了确保所有渗透的原子氢留在腔内并且不会逸回到油/气结构中,该腔的一个或多个表面包括原子氢扩散屏障。随着腔中的氢气含量增加,腔中的压力相应地增加,从而模仿HIC过程。所述系统使用氢传感器(例如,数字氢测量仪、转换器等)监测腔压力并测定相应的氢积聚率。氢积聚率高表明HIC或阶式开裂(SWC)的可能性增加,从而提供关于哪些结构区域可能需要工程师检查的警报系统。另外,模拟腔有利地设计成具有比市售探针小得多的体积,这提供了对压力积聚的更高监测灵敏度。

[0011] 一方面,本文提供了探针系统,其包括具有接入端和基座端的探针主体。在接入端,暴露表面暴露于腐蚀物。在基座端有带有螺纹以与探针主体的基座端互锁啮合的帽。在一个或多个实施例中,探针主体具有由构造成暴露于位于金属器材内的腐蚀物的暴露表面限定的第一实心端部。探针主体具有终止于与所述暴露表面间隔开的位置的内部开口。插入件,诸如焊条,置于所述探针的内部开口(盲孔)内以便限定在所述插入件和所述探针主体的内壁之间限定的收集腔。在一个或多个实施例中,扩散屏障沿着所述探针主体的内壁设置并且由所述收集腔中由所述腐蚀物产生的气体基本上不能渗透的材料形成,以便防止所述气体从所述收集腔通到进入所述探针主体的周围内壁。导管与所述收集腔流体连通用于接收由所述腐蚀物产生的所述气体。在一个或多个实施例中,压力测量装置联接到所述

导管用于测量由所述腐蚀物产生的气体的压力。例如,压力测量装置可以是压力计或转换器。

[0012] 另一方面,本文提供了探针系统,其包括具有接入端和基座端的探针主体。在接入端,暴露表面暴露于腐蚀物。在基座端有带有螺纹以与探针主体的基座端互锁啮合的帽。在一个或多个实施例中,探针具有探针主体,其包括具有暴露表面的接入端部,所述暴露表面构造成暴露于位于金属器材内的腐蚀物。接入端部具有与暴露表面相对形成的凹部。插入件具有接入端和基座端,所述接入端邻近所述探针主体的凹部设置以便限定收集腔,所述收集腔流体密封并构造成收集渗透穿过所述探针主体的暴露表面的腐蚀物,由此在所述收集腔内由所述腐蚀物产生气体。所述插入件包括穿过其中并且在所述接入端和所述基座端两处开口的通孔,使得所述通孔与所述收集腔流体连通。

[0013] 在一个或多个实施例中,压力测量装置联接到所述导管用于测量由所述腐蚀物产生的气体的压力。例如,压力测量装置可以是压力计或转换器。

[0014] 本文提供了用于警告氢致开裂(HIC)的方法。该方法包括将侵入式探针系统插入金属结构中,侵入式探针系统至少基本上与金属结构的内壁齐平。侵入式探针系统如本文所述。接下来,使原子氢渗透探针系统的暴露表面。此后,在探针系统的内腔中产生分子氢。然后测量分子氢的压力。然后所述方法确定测量的压力是否标识氢致开裂的风险。最后,所述方法根据氢致开裂的风险调度高级超声波测试。

## 附图说明

[0015] 在附图的图片中对本发明进行了说明,这些附图旨在为示例性而非限制性,其中相同的附图标记旨在表示相同或相应的部分,并且其中:

[0016] 图1A说明了根据本发明的一个或多个实施例的侵入式探针系统。

[0017] 图1B是图1的侵入式探针系统的一部分的极大放大视图,示出了在一个实施例中可具有约10微米至50微米宽度的内腔。

[0018] 图2A说明了固定到油或气体结构中的图1的侵入式探针系统。

[0019] 图2B说明了图1的侵入式探针系统,其固定到油或气体结构中并且构造成与该结构的内表面齐平。

[0020] 图3说明了根据本发明的一个或多个实施例的侵入式探针系统的腔内的原子氢的产生和氢气的重新组合。

[0021] 图4说明了根据本发明的一个或多个实施例的替代侵入式探针系统;并且

[0022] 图5说明了图4的替代侵入式探针系统,其固定到油或气体结构中并且构造成与该结构的内表面齐平。

## 具体实施方式

[0023] 如本文所述,“结构”可包括油或气体管道、其他容器或金属器材。例如,本文所述的探针系统可以在钢管道结构处实施。

[0024] 本文提供了原位侵入式探针系统和方法,其模拟与钢结构(例如管道、压力容器和管道系统)中的HIC裂缝相关的空隙。侵入式探针系统模拟在高级超声波测试(AUT)或在线检查(ILI)检查中检测到的预先存在的HIC裂缝中由输送的烃类产物(原油、气体或酸性一

次性水)引起的腐蚀过程产生的原子氢的重新组合而产生的氢气压力积聚。具体地,本文所述的探针系统联接到所述结构的外表面并提供至少基本上与该结构的内表面齐平的探测氢进入表面。至少基本上齐平的几何形状确保探针暴露的进入表面对结构内壁是液体密封的,使得探针经历与结构内壁其余部分相同的流体流动特征(例如,流体速度、剪切应力、局部水含量和化学性质),并且齐平的几何形状确保不妨碍内部检查程序和/或清洁程序。

[0025] 在一个或多个实施例中,正如通过本文所述的侵入式探针系统和方法所执行的那样,原位或“现场”测量和监测氢气压力积聚包括以下步骤:(1)检查目标结构(例如,油或气体管道)的现有ILI图,并识别HIC集群的位置或最大腐蚀速率的位置;(2)在这些识别位置附近的结构壁上钻接入点;(3)将联接支架固定在接入点处;(4)将探针系统穿过接入配件并将接入配件拧到联接支架上,直到探针表面与所述结构的内表面齐平;(5)用压力传感装置(例如,数字氢测量计、转换器等)监测探针系统处的氢气压力积聚,因为原子氢渗透探针系统并在探针的腔内重新组合成氢气;并且(6)优先在大部分HIC活动区域(即显示最高氢气压力积聚率的区域)进行AUT检查。可以优先AUT检查,因为测量的氢气压力数据与由第一原理方程确定的或者由实验工作和/或广泛的现场经验确定的HIC增长率相关(即,由连续的ILI运行确定的压力积聚率和HIC增长率之间的经验相关性)。通过实时在线监测或离线监测(例如使用数据记录器)收集氢气压力数据。在一个或多个实施例中,本文所述的探针系统包括本领域已知会在探针系统和远程控制区域之间进行通信的无线通信系统。

[0026] 以这种方式,本文所述的侵入式探针系统和方法通过优化和优先化挖掘和AUT检查来优化检查资源,监测过程扰乱,提供用于研究添加的化学物质(例如,DRA、抑制剂)对氢气渗透通过钢的影响的机制。此外,收集的数据可用于构建更准确的HIC/SWC预测模型。

[0027] 现在参考图1,提供了根据一个或多个实施例的侵入式探针系统100。探针100包括具有接入端107和基座端109的探针主体105,其构造成定位为使得接入端107与金属结构(例如,图2A的结构205)齐平并暴露于其中产生原子氢的液体或气体。如图1所示,探针主体105可以形成具有在其中形成的开口(孔)以便限定内腔,其中接入端107是探针主体105的封闭端,而基座端109是探针主体105中的开口可以进入其中的开口端。

[0028] 探针主体105的接入端107包括暴露(外)表面110。暴露表面110由与待监测结构相同的金属(例如,钢)等级制成,但具有抗HIC微结构。这种布置容许原子氢进入探针100,如下所述,通过与周围结构中相同的机制和相同的速率形成氢气,但是接入端107的抗HIC微结构防止氢气被截留在冶金腔中。换句话说,在封闭端(接入端107)中,没有分子氢形成,而是原子氢自由地穿过这种材料进入腔内(其模仿与HIC裂缝相关的空隙),如下所述。应当理解,分子氢仍然沿着接入端107的暴露表面形成并且起泡,但是由于接入端107由抗HIC的钢制成,没有任何截留氢的冶金缺陷,所以氢的渗透部分不会被截留在接入端107的主体内部。此外,(探针主体105的)抗HIC微结构妨碍探针系统100自身内HIC/SWC裂缝的发展。在一个或多个实施例中,探针100的接入端107包括一个或多个O形环115。O形环115布置在探针主体105的外表面周围,邻近接入端107,以确保液体密封的几何形状,使得没有液体进入探针和结构壁之间。

[0029] 如上所述,探针主体105包括内腔129(中空空间)(参见图1B),以收集已经穿过探针100的接入端107的扩散氢气。内腔129至少部分地由在主体105中形成的封闭端开口限定,并且在一个或多个实施例中,内腔129也由插入在探针主体105中形成的开口的焊条(插



入件) 120 限定。换句话说, 内腔 129 形成在焊条 120 和中空探针主体 105 的内壁之间, 如图 1B 中最佳显示。焊条 120 具有第一 (接入) 端, 并且第二端或 (基座端) 插入内腔中, 从而产生并限定从接入 (闭合) 端 107 接收原子氢的内腔 129。应当理解, 腔 129 是焊条紧密配合到孔中的结果。紧密配合将留下环形 (环形空间将由焊条 120 的表面粗糙度和中空探针主体 105 的内壁的表面粗糙度确定。应当理解, 环形空间 (腔 129) 的宽度可以是大约 10 微米至 50 微米。然而, 应当理解, 这些值不是限制性的, 并且在本发明的范围内, 在该范围之外的尺寸同样是可能的。

[0030] 在如图 1 所示的示例性实施例中, 焊条 120 从探针主体 105 的基座端朝向接入端 107 纵向延伸。因此, 将焊条 120 的第一端识别为更靠近探针主体 105 的接入端 107 的端部, 并且将焊条 120 的第二端识别为更靠近探针主体 105 的基座端 109 的端部。

[0031] 焊条 120 的第一端可以与探针主体 105 的接入端 107 呈邻接关系 (即, 紧密接触) 放置, 从而将内腔 129 (用于收集氢气) 限定为介于焊条 120 的侧壁的外表面和探针主体 105 的内壁之间, 所述内壁限定在探针主体 105 中形成的开口。在焊条 120 具有圆柱形状并且探针主体 105 中的开口具有圆形形状的实施例中, 内腔 129 具有环形 (环) 形状。环形腔 129 的一端邻接探针主体 105 的接入端 107, 因此穿过接入端 107 的原子氢在此端进入环形腔 129 中。如下所述, 焊条 120 由不利于氢扩散性的材料形成, 因此原子氢无法从探针主体 105 的接入端 107 迁移到焊条 120 中。相反, 将原子氢引导到围绕焊条 120 的环形空腔中。可以使用任何数量的常规技术将焊条 120 的第一端连接到接入端 107 (即, 限定在探针主体 105 中形成的开口的端壁)。

[0032] 应当理解, 在探针主体 105 中形成的开口 (孔) 的尺寸和焊条 120 的尺寸决定了接收原子氢的内腔 129 的尺寸。仔细控制这些部件允许人们创建内部空间 (环形腔), 其提供增加的探针 100 灵敏度, 用于测量探针 100 内的氢气积聚。存在于油或气体结构中的原子氢通过暴露表面 110 扩散到环形内腔 129, 在那里原子氢可以重新组合形成氢气 (分子氢)。

[0033] 如上所述, 在一个或多个实施例中, 焊条 120 由具有低氢扩散性或不具有氢扩散性的材料制成。例如, 焊条 120 可以由奥氏体不锈钢或氧化碳钢或玻璃制成。选择这种类型的材料用于焊条 120 迫使穿过探针 100 的接入端 107 的原子氢被引导至围绕焊条 120 的环形腔, 而不是进入并穿过焊条 120 本身。

[0034] 在一个或多个实施例中, 焊条 120 的端部和暴露表面 110 之间的材料可以由相同的金属等级制成并且具有与暴露表面相同的抗 HIC 微结构。换句话说, 接入端 107 (即主体 105 的封闭端) 由限定暴露表面 110 的相同材料形成, 因为暴露表面 110 实际上是接入端 107 的外表面。

[0035] 在一个或多个实施例中, 设有扩散屏障 130 并且位于环形腔内, 以防止探针主体 105 捕获的氢气 (即, 位于环形腔内的氢气) 逸到周围环境 (即, 逸到管道或外部环境)。更具体地, 扩散屏障 130 可以沿探针主体 105 的内侧壁形成, 该内侧壁限定在其中形成的开口, 因此, 在焊条 120 的侧壁和扩散屏障 130 之间形成环形 (氢气收集) 腔形成 (参见图 1B)。如上所述, 由于焊条 120 由具有低氢扩散性或不具有氢扩散性的材料形成, 因此, 与扩散屏障 130 组合, 限定了收集腔, 其中限定收集腔 129 的内壁和外壁都设计成防止氢气从中逸出。

[0036] 扩散屏障 130 可以由任何数量的合适材料形成, 只要它们防止氢扩散, 并且例如可以是通过在富氧气氛中对所述腔进行热处理, 沿腔壁 (即, 外腔壁) 形成的氧化物层 (例如,

氧化铁)或其他涂层(例如,奥氏体不锈钢层和陶瓷层,如 $\text{Si}_3\text{N}_4$ )。以这种方式,可以在没有原子氢或氢气扩散到周围结构中(例如,通过扩散到围绕扩散屏障130的主体105的侧壁中)的情况下,可靠地测量捕获的氢的量。

[0037] 继续参考图1,帽135联接到探针主体105的基座端109。在一个或多个实施例中,帽135带有螺纹以与探针主体105的基座端109互锁啮合。在其他实施例中,帽135通过其他方式,例如螺钉、粘合剂、紧固件等联接到探针主体105。帽135可由任何合适的材料,例如金属或塑料制成。可以设有O形环137以确保如下所述,帽135与相邻的邻接结构之间的密封配合。如图所示,收集腔129至少部分地由帽135限定,因为焊条120的一端置于帽129内,并且收集腔129形成在焊条120周围。

[0038] 导管140还联接到焊条120的基座端。导管140可以是通道、管道或管,其设计成捕获在环形腔(收集腔或腔室)内组合的氢气(还将理解,一些原子氢可以在导管140中组合形成氢气)。导管140还联接到压力测量装置140。导管140与环形腔129流体连通,使得环形腔129中的氢气流入导管140内,然后当氢气通过导管140时,压力测量装置145测量氢气积聚所产生的压力,该压力转而提供对结构(例如,管壁)处原位氢气积聚量的估计。因此,氢气将沿着环形腔129流动并且在焊条120的底端下方流动进入导管140。压力测量装置145可以是压力计或转换器或其他合适的装置。

[0039] 现在参考图2A-B,说明了向结构205安装探针系统100。结构205可以是输送烃类产物的金属(例如,钢)结构,诸如管道、压力容器或输送油或气体的其他管道系统。为了将探针系统100联接到结构205,首先将探针系统联接到接入配件210。在一个或多个实施例中,接入配件210是螺纹金属或塑料部件,其尺寸和形状设计成与帽135或探针主体105的其他部分联接。在其他实施例中,接入配件210通过螺钉、粘合剂、紧固件等联接到探针主体。接入配件210和帽135联接形成气密密封,以防止任何氢气逸出。穿过结构205的壁钻孔,其尺寸和形状设计成接收探针系统100。在某些实施例中,联接支架215固定在结构205中钻的孔处,以便接收接入配件210。例如,联接支架215可以是螺纹金属或塑料部件,其尺寸和形状设计成与接入配件210配合。

[0040] 如图2A所示,探针系统100固定在接入配件210内,接入配件联接到联接支架215,使得得到结构205的入口220与探针系统的暴露表面110的尺寸相同或相似。然后,如图2B所示,将探针系统100联接就位,使得暴露表面110与结构205的内壁齐平。如果将探针系统100安装成使得暴露表面110基本上不延伸超过结构205的内壁并且不相对于结构205的内壁凹陷(例如,距离结构205的内壁小于约1mm),则认为探针系统100是“齐平的”。如果探针系统100仅安装在结构205的外壁上,则认为不是齐平的,如在“贴片探针”中那样。与贴片探针不同,其中原子氢在到达贴片探针之前在结构壁中重新组合,在齐平构造中,探针系统100在结构205的边界处捕获扩散的原子氢,原子氢在探针的腔中而不是在结构本身中重新组合成分子氢。与贴片探针相比,这种布置更好地模拟HIC生成并且允许增加的且更准确的氢通量测量。另外,探针系统100的齐平布置提供了优于完全侵入探针类型(即,其中探针延伸到超出内壁的结构中,通常进入烃类产物中—例如,由Rohrback Cosasco制造的6400型氢探针)的优点,因为在那些类型中,水积聚在探针和结构表面之间的空间中,这改变了探针周围的局部pH并影响腐蚀速率和氢渗透速率。因此,对于完全侵入式探针,测量的压力积聚量不能反映结构部分处进入探针的真实氢气量。而且,探针系统100的齐平几何形状不会妨碍

管道操作(例如,清洁和检查操作),并且不允许液体或气体逸出结构205。

[0041] 现在参考图3,说明了根据本发明的一个或多个实施例的侵入式探针系统的腔内的原子氢的产生和氢气的重新组合。例如,如前所述,探针系统100可以至少基本上与结构205齐平安装。结构205容纳液体或气体形式的产生原子氢310的液体或气体烃类产物305。原子氢310迁移到结构205的内表面,在那里原子氢310渗透结构205的表面并重新组合成氢气。如图3所示,某些原子氢310渗透探针系统100的暴露表面110,如上所述,探针系统100以齐平取向安装。如前所述,在通过探针主体105的接入端107之后,原子氢流入上述氢气收集腔129,在那里原子氢组合成氢气。氢气继续进入导管140,在那里收集氢气并通过压力测量装置140测量压力。

[0042] 现在参考图4,提供了根据本发明的一个或多个实施例的替代侵入式探针系统400。探针系统400包括具有接入端407和基座端409的探针主体405,探针系统400构造成定位为使得接入端407与金属结构(例如,管道)齐平并暴露于其中产生原子氢的液体或气体。以这种方式,将探针系统400构造为具有与探针系统100相同的齐平几何形状。探针主体405的接入端407包括暴露表面410。与暴露表面110一样,暴露表面410由与待监测结构相同的金属(例如,钢)等级制成,但具有抗HIC微结构。在一个或多个实施例中,探针400的接入端407包括一个或多个O形环415。O形环415布置在探针主体405的外表面周围,以确保液体密封的几何形状,使得在安装探针系统400时,没有液体进入探针和结构壁之间。

[0043] 在所示实施例中,探针主体405由多个部件形成,这些部件联接在一起形成组装的探针主体405。更具体地,探针主体405包括接入端构件411和接收在接入端构件411内的焊条420。接入端构件411包括沿其一个面的暴露表面410,并且与暴露表面410相对的面包括焊条420的第一端(接入端)接收在其中的凹部413。在接入端构件411中形成的凹部413不仅接收焊条420的第一端,而且还用于限定在焊条420的第一端和氢收集腔425的底板之间限定的氢收集腔425。如图所示,凹部413可以具有阶梯式结构,其中限定在其中的平台提供焊条420的第一端固定于其上的表面。接入端构件411的宽度大于焊条420,因为焊条420接收在其内部。

[0044] 使用任何数量的常规技术将焊条420的第一端联接到接入端构件411,包括使用紧固件、粘结剂、粘合剂等。在所示实施例中,焊条420的第一端是通过如图所示的焊接方式联接到接入端构件411。

[0045] 焊条420具有第二端(基座端),其联接到帽430(例如,与帽135相同或类似)。O形环437可以设于帽430上,以确保帽430和另一邻接结构之间的密封配合。在一个或多个实施例中,焊条420是具有低氢扩散性或不具有氢扩散性的金属棒。例如,焊条420可以由奥氏体不锈钢或本文公开的其他材料制成。

[0046] 如图所示并且与探针系统100不同,探针系统400的焊条420不插入在探针主体中形成的用于收集重新组合的氢气的开口内,而是插入到接入端构件411的凹部中。

[0047] 相反,在一个或多个实施例中,氢气收集腔425是可调腔425,其模仿HIC空隙的产生。更具体地,腔425的尺寸(体积)可以定制用于不同的特定应用。可调节性是在制造水平上,因为可以选择凹部的尺寸。具体而言,可以形成更大深度的凹腔425以形成体积增大的腔,同时可以形成更小深度的凹腔425以形成体积减小的腔。另外,可以改变接收焊条420的第一端的平台的位置,以便改变空腔425的体积。因此可以改变可调腔425的体积以模拟在

结构的不同厚度深度处出现的HIC。随着可调腔425的体积减小,探针系统400对压力积聚的灵敏度增加。在某些实施例中,可调腔425的体积为 $2-3\text{cm}^3$ 、 $1-2\text{cm}^3$ 或 $0.0314\text{cm}^3$ 至 $0.628\text{cm}^3$ (用较小的腔尺寸获得较高的灵敏度)。还应当理解,对于尺寸越小的腔,观察到的压力速率越高,因此使用者将不得不以更大的频率释放环状结构中截留的氢气。换言之,灵敏度越高导致探针重新初始化越频繁。

[0048] 在某些实施例中,可调腔425距暴露表面410的深度小于1cm。在某些实施例中,可调腔425距暴露表面410的深度小于约0.5cm。

[0049] 当原子氢渗透暴露表面410时,它穿过接入端构件411进入可调腔425内,原子氢在可调腔425中重新组合成氢气。

[0050] 在焊条420中形成导管435,更具体地,导管435可以是沿着焊条420的长度延伸并且在焊条420的第一端和第二端处开口的纵向通道。导管435还与可调腔425流体连通以及穿过帽430,以便还与压力测量装置440流体连通。换言之,可以认为导管435是穿过探针主体405、帽430和压力测量装置440的至少一部分的连续通道。与导管140类似,氢气在可调腔425中积聚,然后通过流过导管435而进入压力测量装置440。压力测量装置440可以是任何氢气压力计或转换器。

[0051] 与前一实施例一样,接入端构件411由抗HIC,但允许原子氢通过(扩散)到氢气收集腔425以在其中重新组合的材料形成。相反,焊条420,与焊条120一样,具有低氢扩散性质或不具有氢扩散性质,因此,在腔425中形成的氢气流入在焊条420中形成的导管435并且不会扩散到焊条420本身中。因此,形成的氢气穿过探针400到达压力测量装置440,压力测量装置440构造成测量由于原子氢渗透而产生的氢气积聚量而周围结构没有显著损失。

[0052] 现在参考图5,说明了向结构505安装探针系统400。结构505可以是输送烃类产物的钢结构,诸如管道、压力容器或输送油或气体的其他管道系统。如在其他实施例中一样,探针系统400联接到接入配件510,接入配件510转而联接到联接支架515。如图5所示,探针系统400的接入端构件411与联接支架515的内壁齐平安装,并且暴露表面410至少基本上与结构505的内表面齐平安装。在该布置中,结构505内的烃类产物不会穿过暴露表面410而进入探针主体405。还优选设有O形环415以在探针400(即,其接入端构件411)和联接支架515之间形成液体和气密密封。

[0053] 在所示实施例中,接入配件510可以是开放式结构,其具有接收探针主体的中心开口。如图所示,接入配件510的中心开口的至少一部分可以是带螺纹的(内螺纹),并且帽430包括与内螺纹配合的外螺纹,以将探针400联接到接入配件510。还应当理解,螺纹布置允许相对于接入配件510调节探针400,并且尤其,在至少一个实施例中,探针400延伸超出接入配件510的远端的长度可以通过两个部分之间的螺纹布置而改变。在另一个实施例中,探针400和接入配件510之间存在固定位置(取向)。

[0054] 可以实施如本文所述的探针系统以提供关于结构部分中可能的HIC损坏的警报系统。如果氢气压力增加超过某些阈值,则指示应该进行检查(例如,AUT)。另外,如果探针系统指示特定部分的HIC或SWC开裂的可能性增加,则也可以调度结构的附近部分进行检查。

[0055] 因此,本文提供了用于警告氢致开裂的方法。在该方法中,将诸如探针系统100或探针系统400的侵入式探针系统安装在结构(例如,钢管道、压力容器、管道系统)处。可以如本文所述进行安装,例如通过实现诸如帽135、接入配件210和联接支架215的联接部件。接

下来,在结构内通过天然烃过程产生原子氢。原子氢渗透结构和探针系统的暴露表面(例如,暴露表面110、暴露表面410)。原子氢迁移到腔内,在那里原子氢重新组合形成氢气。腔可以用焊条填充,或者腔可以是可调节的,正如在可调腔425中那样。该方法继续,测量腔中分子氢的压力。此类测量可以通过压力计、转换器或其他合适的氢气压力装置进行。如果压力高于特定阈值,则存在HIC或SWC的风险。然后该方法确定测量的压力是否呈现此类风险。存在多种用于进行此类确定的方法。例如,第一种方法使用第一原理计算(参见,Traidia等人,IJHE2012,其通过引用整体并入)。第二种方法使用压力增加率和测量的裂缝增长率(AUT)之间的经验相关性(在实验室实验中开发的)。

[0056] 如果识别出HIC或SWC的风险,则该方法可以警告用户并在该结构区域调度AUT检查。调度可以自动完成,例如通过在压力设备处包括通信设备,该通信设备在测量处理器使用合适的软件来调度检查而进行处理的特定压力时将信号发送给处理器。

[0057] 在一个实施例中,用于执行ILI检查的装置(PIG)可以在管道内行进的同时从探针无线拾取测量值(例如,使用Zigbee技术或相关技术)。如业内所知,PIG是属于用于检测管道状况,例如检测和测量腐蚀的在线检查(ILI)工具的装置。然后,探针的测量值可以直接集成到ILI报告中,帮助解释结果并决定是否进行挖掘验证和/或修复。因此,本发明的探针可以包括通信模块(例如,无线模块或其他通信协议(例如,蓝牙),其与PIG中的模块通信以实现其间的数据传输和通信。PIG和探针之间的通信允许PIG在沿着管道的内表面移动时收集数据,因此可以由收集的数据生成单个报告。

[0058] 在许多实验中测试了本发明的探针结构,这些实验在模拟携带引起暴露表面的酸腐蚀的流体的管道中的空隙的条件下监测一段时间内收集腔中的氢气压力。结果是在数天的时间内在模拟的空隙中观察到氢气压力积聚,从而表明本发明的探针结构在监测和检测管道内指示管道内HIC或SWC形成和增长的状况方面是有效的。

[0059] 图1至图5是允许解释本发明的概念图。本领域技术人员应该理解,本发明的实施例的各个方面可以用硬件、固件、软件或其组合来实现。在此类实施例中,各种部件和/或步骤将以硬件、固件和/或软件实现,以执行本发明的功能。也就是说,相同的硬件、固件或软件模块可以执行所示方框中(例如,部件或步骤)的一个或多个。

[0060] 在软件实施例中,计算机软件(例如,程序或其他指令)和/或数据作为计算机程序产品的一部分存储在机器可读介质上,并且经由可移动存储驱动器、硬盘驱动器或通信接口加载到计算机系统或其他设备或机器中。计算机程序(也称为计算机控制逻辑或计算机可读程序代码)存储在主存储器和/或辅助存储器中,并由一个或多个处理器(控制器等)实现,以使所述一个或多个处理器执行如本文所述的本发明的功能。在该文件中,术语“机器可读介质”、“计算机程序介质”和“计算机可用介质”通常用于指诸如随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可移动存储单元(例如,磁盘或光盘、闪存设备等)、硬盘等介质。

[0061] 值得注意的是,上面的附图和实例并非意在将本发明的范围限于单个实施例,因为通过一些或所有所描述或示出的要素的互换,其他实施例是可能的。而且,在使用已知部件可以部分或完全实现本发明的某些要素的情况下,仅描述对于理解本发明所必需的此类已知部件的那些部分,而将对此类已知部件的其他部分的详细描述省略以免使本发明模糊。在本说明书中,除非本文另有明确说明,否则示出单个部件的实施例不应限于包括多个相同部件的其他实施例,且反之亦然。而且,除非明确阐述,否则申请人不打算将说明书或

权利要求中的任何术语赋予不常见或特殊含义。此外,本发明涵盖通过举例的方式在本文中提到的已知部件的现有的和未来已知的等同物。

[0062] 前面对具体实施例的描述将充分揭示本发明的一般性质,其他人可通过应用相关领域的技术范围内的知识(包括所引用并通过引用并入本文的文件的内容),在不脱离本发明的一般概念的情况下,在不进行过度实验的情况下,容易地修改和/或调整此类特定实施例的各种应用。因此,基于本文呈现的教导和指导,此类改编和修改旨在落在所公开实施例的等同方案的含义和范围内。应理解,本文中的措辞或术语是出于描述而非限制的目的,使得本说明书的术语或措辞将由本领域技术人员根据本文呈现的教导和指导,结合相关领域的技术人员的技术人员的知识来解释。

[0063] 虽然上面已经描述了本发明的各种实施例,但是应该理解,它们是作为实例而非限制来呈现的。对于相关领域的技术人员显而易见的是,在不脱离本发明的精神和范围的情况下,可以在其中进行形式和细节上的各种变化。因此,本发明不应受上述任何示例性实施例的限制,而应仅根据以下权利要求及其等同物来限定。

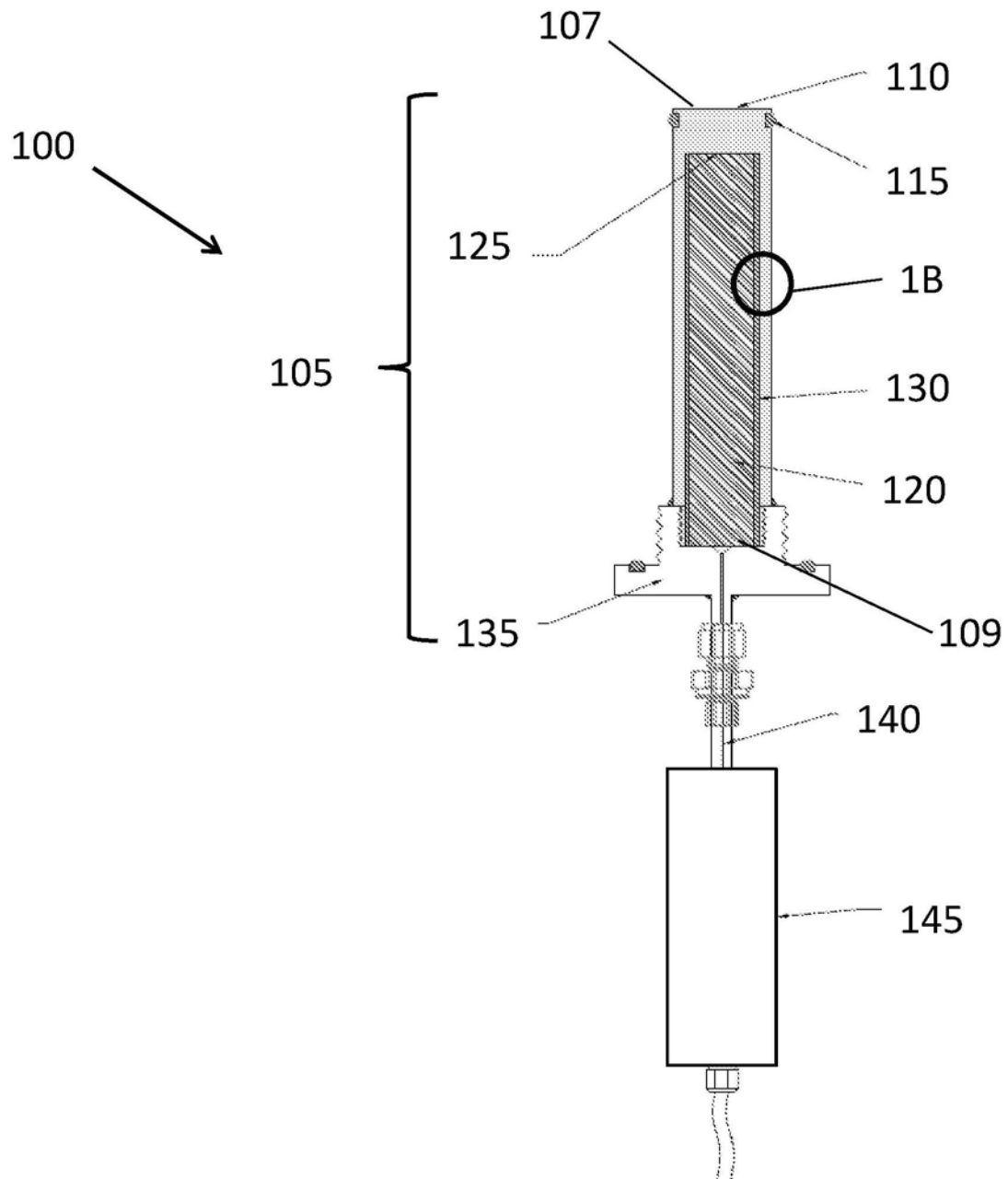


图1A

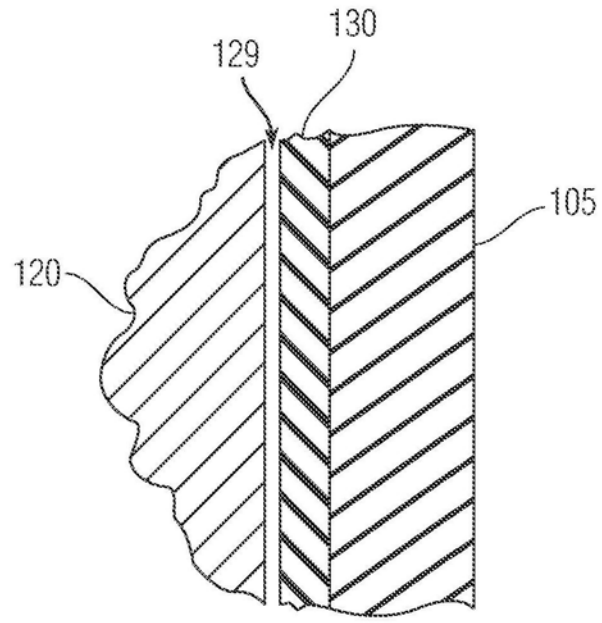


图1B



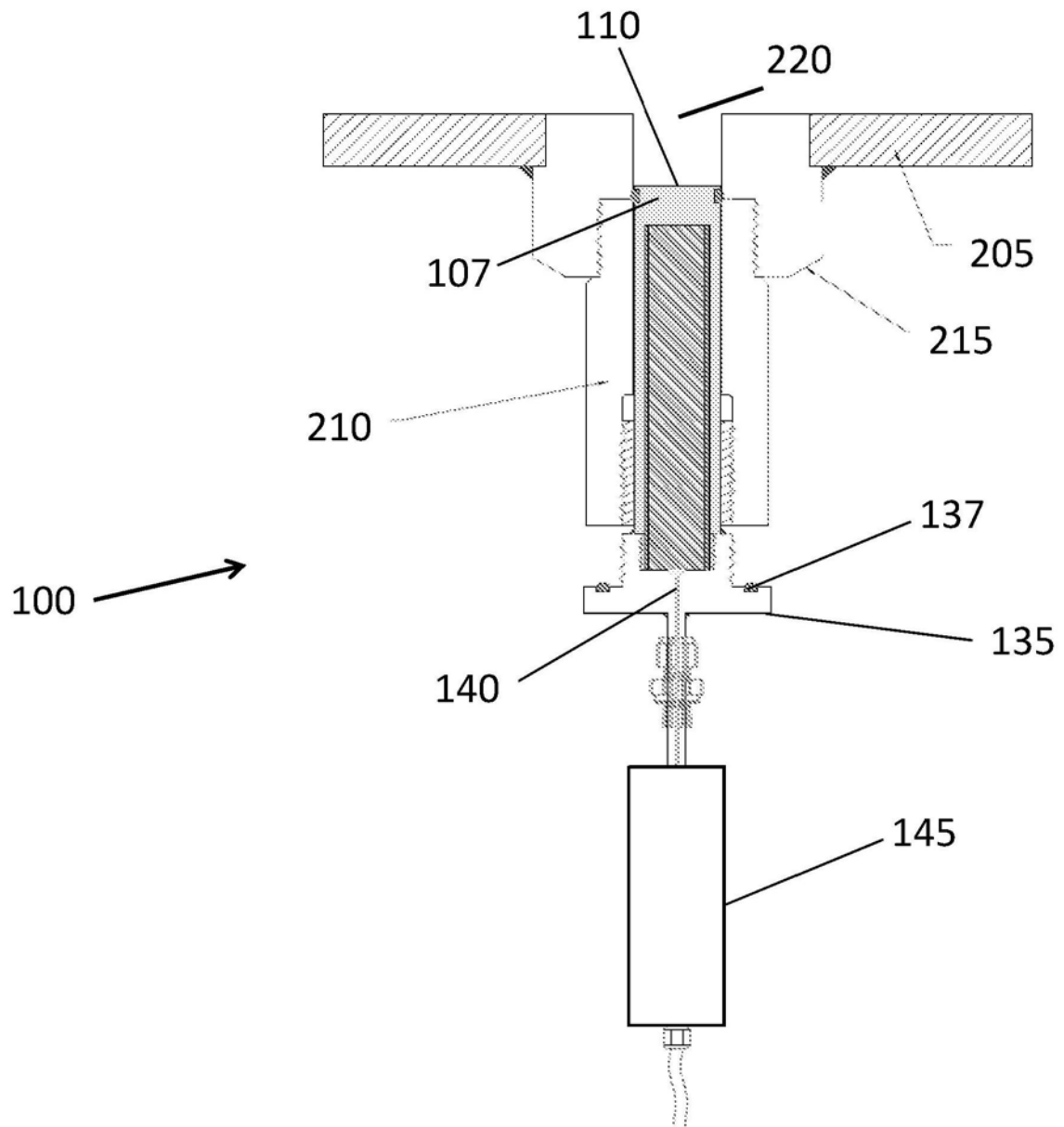


图2A

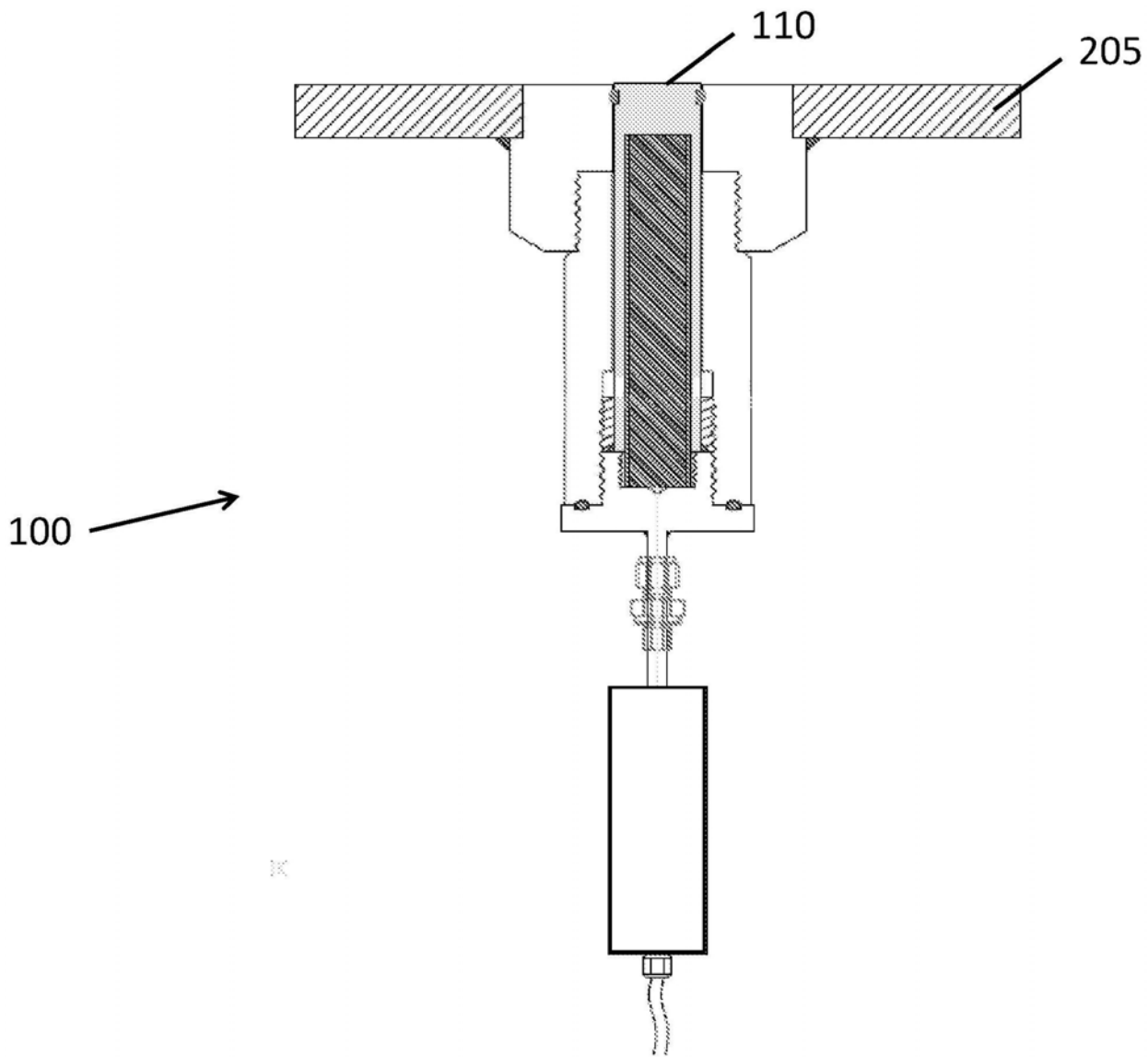


图2B

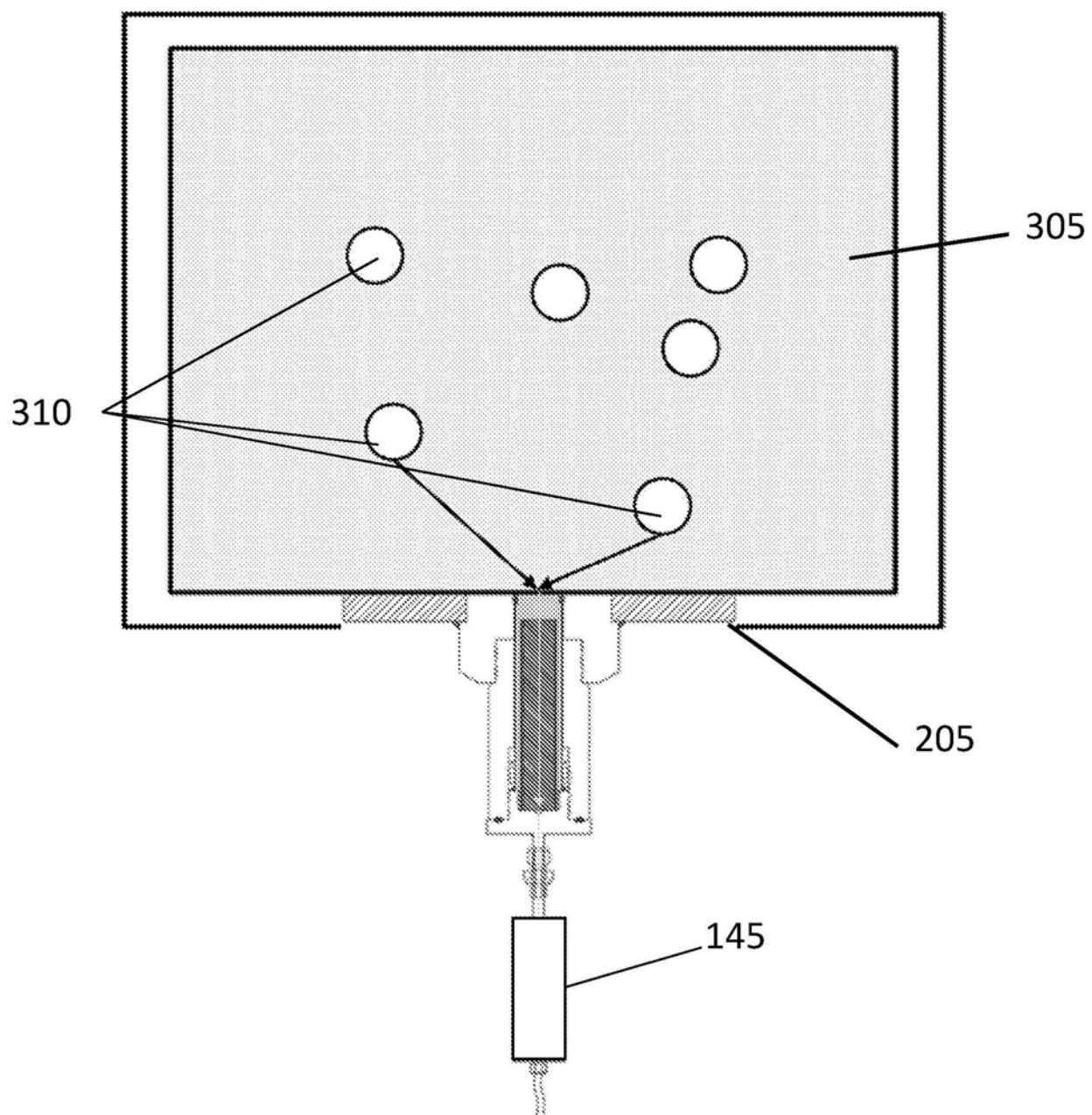


图3

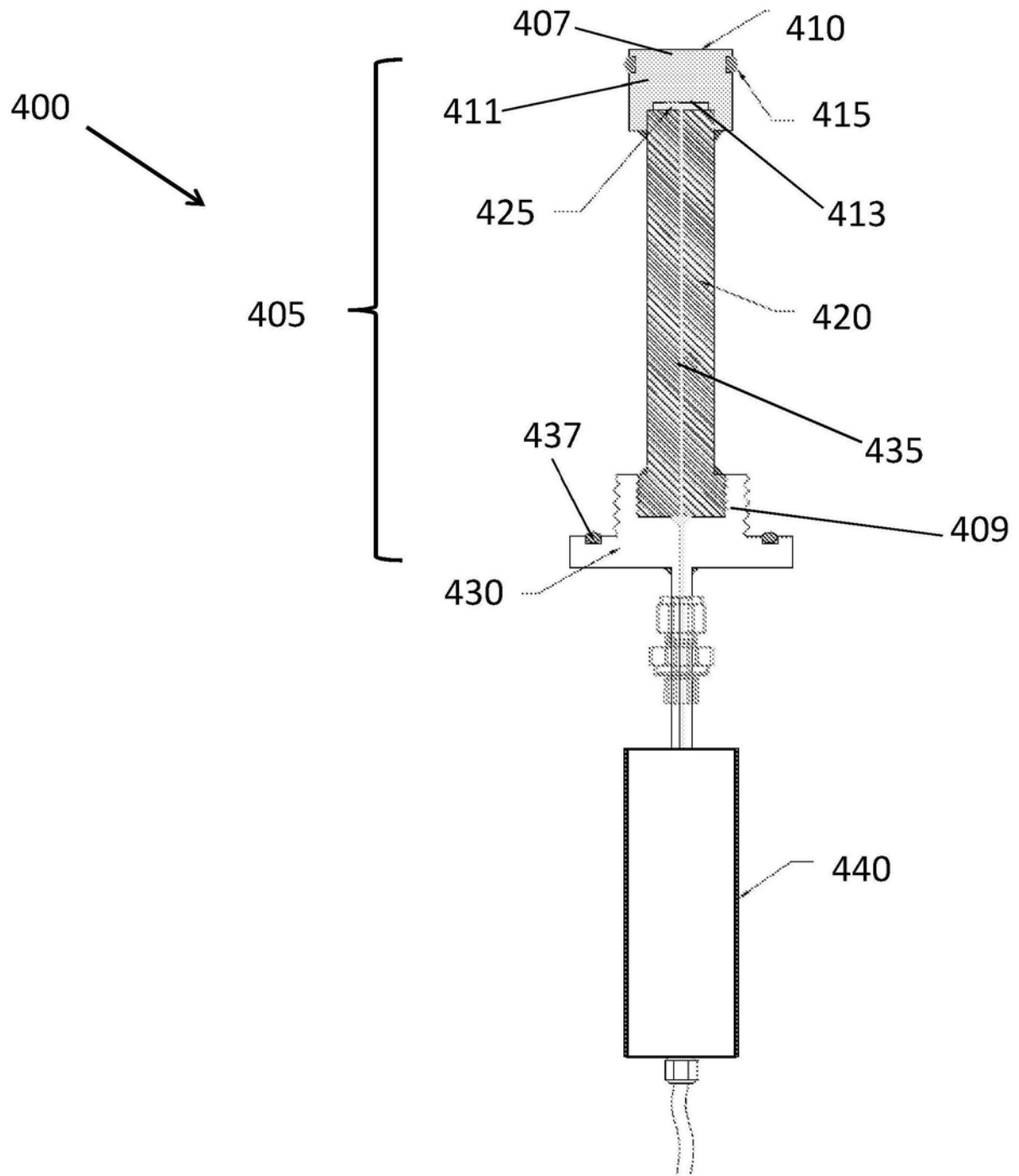


图4

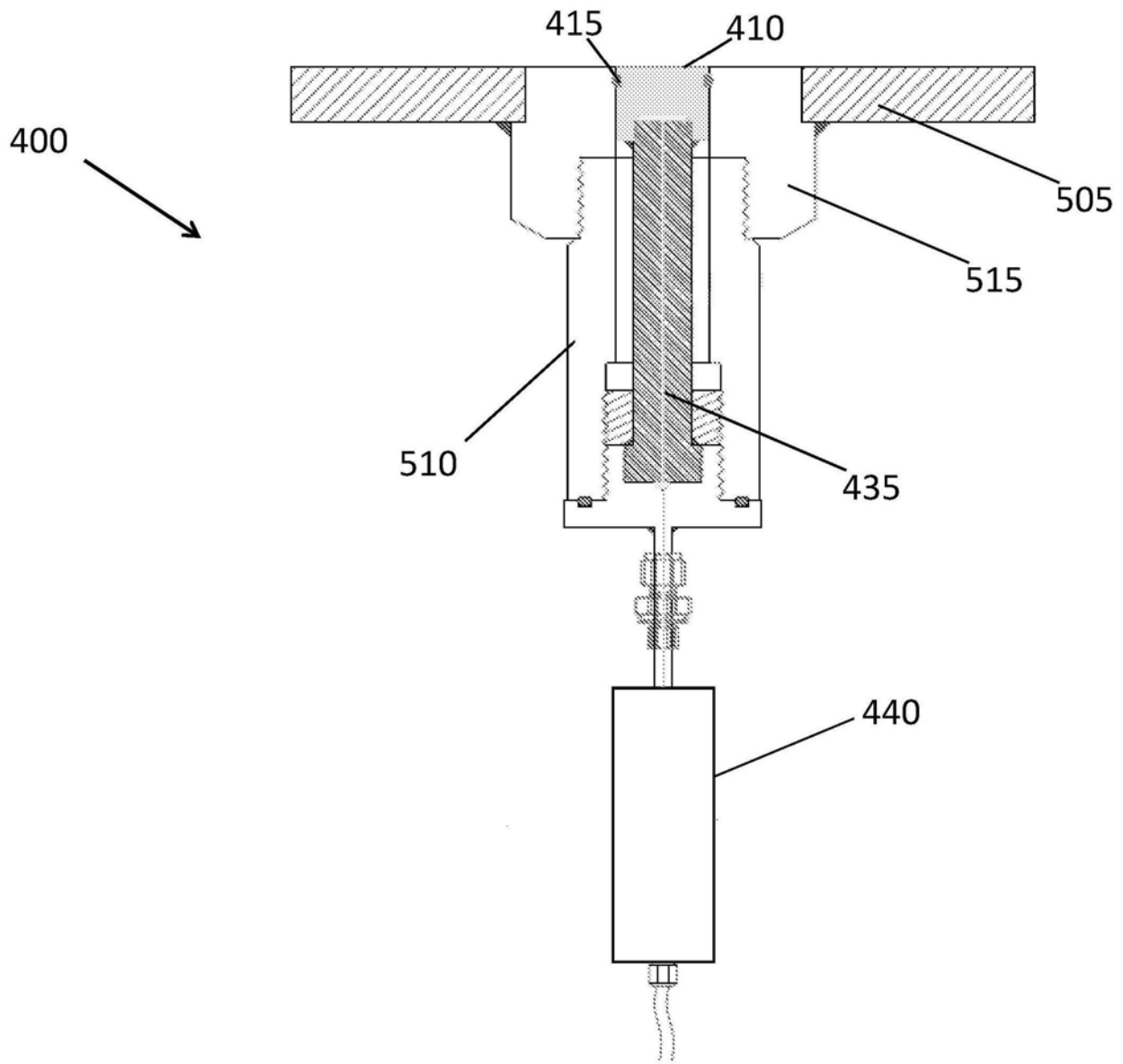


图5