(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 114536803 A
(43)申请公布日 2022.05.27

(21)申请号 202111351260.X

(22)申请日 2021.11.16

(30)优先权数据
63/115,160 2020.11.18 US

(71)申请人 波音公司
地址 美国伊利诺伊州

(72)发明人 J·R·肯德尔 B·J·奥特里

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127
专利代理师 党晓林 赵鹏

(51)Int.Cl.
B29C 70/34(2006.01)
B29C 35/04(2006.01)
B29L 31/30(2006.01)

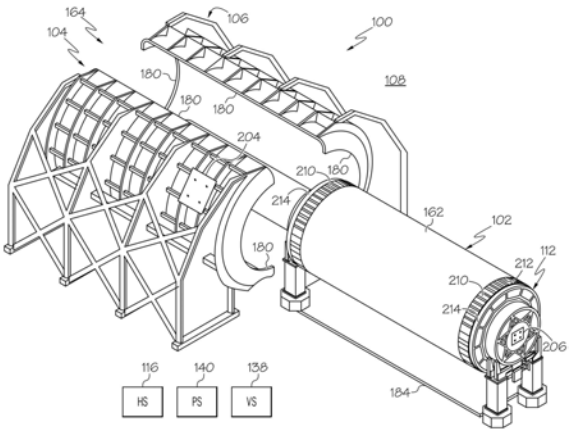
权利要求书2页 说明书32页 附图25页

(54)发明名称

用于处理复合结构的设备和方法

(57)摘要

本公开涉及一种用于处理复合结构的设备和方法。一种处理复合结构的方法包括将工具组件的第一处理工具和所述工具组件的第二处理工具从打开位置定位到关闭位置的步骤，在所述打开位置中，所述第一处理工具和所述第二处理工具分隔开，在所述关闭位置中，所述第一处理工具和所述第二处理工具密封至彼此并且密封至支撑所述复合结构的心轴工具，以形成包围所述复合结构的容器。该方法还包括处理所述复合结构的步骤。



CN 114536803 A

1.一种处理复合结构(102)的方法(1000),所述方法(1000)包括:

将工具组件(164)的第一处理工具(104)和所述工具组件(164)的第二处理工具(106)从打开位置(108)定位到关闭位置(110),在所述打开位置中,所述第一处理工具(106)和所述第二处理工具(106)分隔开,在所述关闭位置中,所述第一处理工具(104)和所述第二处理工具(106)密封至彼此并且密封至支撑所述复合结构(102)的心轴工具(112),以形成包围所述复合结构(102)的容器(114);以及

处理所述复合结构(102),

其中,处理所述复合结构(102)包括:

以下中的至少一者:

在所述工具组件(164)的第一容器壁(134)和联接至所述第一容器壁(134)的第一共形膜(136)之间施加压力;以及

在所述心轴工具(112)和所述第一共形膜(136)之间施加真空,

和以下中的至少一者:

在所述工具组件(164)的第二容器壁(144)和联接至所述第二容器壁(144)的第二共形膜(146)之间施加压力;以及

在所述心轴工具(112)和所述第二共形膜(146)之间施加真空。

2.根据权利要求1所述的方法(1000),所述方法还包括:在所述工具组件(164)处于所述打开位置(108)的情况下,将所述心轴工具(112)定位在所述工具组件(164)的所述第一处理工具(104)与所述第二处理工具(106)之间。

3.根据权利要求1或2所述的方法(1000),其中,处理所述复合结构(102)包括对位于所述容器(114)内的气体(118)加压。

4.根据前述权利要求中任一项所述的方法(1000),其中,处理所述复合结构(102)包括在所述心轴工具(112)和包围所述复合结构(102)的压缩装袋(162)之间施加真空。

5.根据前述权利要求中任一项所述的方法(1000),其中,处理所述复合结构(102)还包括使用联接至所述第一共形膜(136)的第一垫板(142)平滑所述复合结构(102)的一部分。

6.根据前述权利要求中任一项所述的方法(1000),其中,处理所述复合结构(102)还包括使用联接至所述第二共形膜(146)的第二垫板(148)平滑所述复合结构(102)的一部分。

7.根据前述权利要求中任一项所述的方法(1000),其中,处理所述复合结构(102)包括加热所述工具组件(164)、所述心轴工具(112)和位于所述容器(114)内的气体中的至少一者以加热所述复合结构(102)。

8.根据前述权利要求中任一项所述的方法(1000),其中,处理所述复合结构(102)包括:

进行加热气体(118)和加压气体(118)中的至少一者;以及

在所述关闭位置(110)中在所述第一处理工具(104)与所述第二处理工具(106)之间传递所述气体(118)。

9.根据前述权利要求中任一项所述的方法(1000),所述方法还包括:

使用所述心轴工具(112)使所述复合结构(102)的内模线(190)成形;以及

使用所述工具组件(164)使所述复合结构(102)的外模线(192)成形。

10.根据前述权利要求中任一项所述的方法(1000),所述方法还包括:

使用所述心轴工具(112)使所述复合结构(102)的外模线(192)成形;以及

使用所述工具组件(164)使所述复合结构(102)的内模线(190)成形。

11.根据前述权利要求中任一项所述的方法(1000),其中:

所述心轴工具(112)包括闭合横截面形状(182);并且

所述方法(1000)还包括加压由所述心轴工具(112)形成的内部容积(160)。

12.根据前述权利要求中任一项所述的方法(1000),其中:

所述心轴工具(112)包括开放横截面形状(186);并且

所述方法(1000)还包括加压至少部分地由所述心轴工具(112)形成的内部容积(160)。

13.根据前述权利要求中任一项所述的方法(1000),其中,处理所述复合结构(102)包括响应于将压力和热量中的至少一者施加至所述复合结构(102)而压实所述复合结构(102)。

14.根据前述权利要求中任一项所述的方法(1000),其中,处理所述复合结构(102)包括响应于将压力和热量中的至少一者施加至所述复合结构(102)而固化所述复合结构(102)。

15.根据前述权利要求中任一项所述的方法(1000),其中,处理所述复合结构(102)包括响应于将压紧压力施加至所述复合结构(102)而压紧所述复合结构(102)。

用于处理复合结构的设备和方法

技术领域

[0001] 本公开总体上涉及制造复合材料，更具体地说，本公开涉及用于处理复合结构的设备和方法。

背景技术

[0002] 复合部件通常在将热和压力施加至部件的压热器(autoclave)或将热量施加至部件的烘箱内进行处理。然而，传统的压热器和烘箱处理技术存在若干缺点，特别是在处理诸如飞行器结构之类的大型复合部件时。例如，传统的压热器和烘箱在制造设施中需要大量的地板空间，这增加了成本。此外，传统的压热器和烘箱需要时间来在处理循环之间加热和冷却，这增加了循环时间和成本。传统的压热器和烘箱通常还需要在循环之间手动安装和移除真空软管和温度传感器，这进一步增加了循环时间和成本。另外，传统的处理技术通常需要施加可消耗材料(例如装袋)，这进一步增加了成本和循环时间。此外，传统的处理技术通常需要大量的加热气体，这进一步增加了处理成本、设备成本和循环时间。因此，本领域技术人员继续在复合处理领域中进行研究和开发工作，因此旨在解决上述问题的设备和方法将发现效用。

[0003] DE102017107908A1的摘要的中文翻译描述：“本发明涉及一种尤其用FRP层压体生产纤维复合零件的模制工具1，该模制工具1具有：具有用于插入半成品纤维产品4的成型表面22的下模壳2；和在模制工具1的闭合状态下与下模壳2形成空腔5的上模壳3，可在该空腔中调节压力P1、P2，以便用基质材料浸渍所插入的半成品纤维产品4。此外，FRP层压体包括位于下模壳2和/或上模壳3上的至少一个压力腔室6、7，压力腔室6、7中的压力P3、P4可以如下方式调节，即：使得压力腔室6、7中的压力P3、P4与空腔5中的压力P1、P2之间的压差量小于模具1的环境压力和空腔5中的压力P1、P2之间的压差量。

[0004] US 2456513A涉及在模腔中模制中空制品，并同时热处理伴随刚性和柔性模具元件之间的塑料材料。

[0005] US2010/155984A1的摘要描述：“用于制造复合零件的方法”。可以在内模线工具上放置临时移除层。复合材料可以铺设在用于复合零件的内模线工具上。内模线工具可以与复合零件一起定位在外模线工具内。复合零件和临时移除层可以从内模线工具转移到外模线工具。在将复合零件和临时移除层转移到外模线工具之后，内模线工具和临时移除层可以从外模线工具的内部移除。

发明内容

[0006] 以下是根据本公开的主题的可能要求保护或可能不要求保护的示例的非详尽列表。

[0007] 在一示例中，所公开的用于处理复合结构的设备包括第一处理工具和第二处理工具，所述第一处理工具和所述第二处理工具可在打开位置与关闭位置之间移动，在所述打开位置中，所述第一处理工具和所述第二处理工具彼此分离，在所述关闭位置中，所述第一

处理工具和所述第二处理工具被构造成密封至彼此。在所述关闭位置中，所述第一处理工具和所述第二处理工具被构造成密封至位于所述第一处理工具与所述第二处理工具之间且支撑所述复合结构的心轴工具。在所述关闭位置中，所述第一处理工具、所述第二处理工具和所述心轴工具形成容器，所述容器被构造成将压力和热量中的至少一者施加至所述复合结构。

[0008] 在另一示例中，所公开的用于处理复合结构的设备包括被构造成在处理期间支撑所述复合结构的心轴工具。该设备包括工具组件，该工具组件可相对于所述心轴工具在打开位置和关闭位置之间移动。所述设备包括接口密封件，所述接口密封件被构造成将所述工具组件和所述心轴工具密封在一起，以在所述关闭位置中形成包围所述复合结构的容器。

[0009] 在另一示例中，所公开的用于处理复合结构的设备包括工具组件，该工具组件被构造成与心轴工具形成密封容器，并且被构造成将压力和热量中的至少一者施加至由所述心轴工具支撑的所述复合结构。

[0010] 在一示例中，所公开的处理复合结构的方法包括以下步骤：(1)将工具组件的第一处理工具和工具组件的第二处理工具从打开位置(其中第一处理工具和第二处理工具分隔开)定位到关闭位置，在该关闭位置中，所述第一处理工具和所述第二处理工具被密封至彼此并且密封至支撑所述复合结构的心轴工具，以形成包围所述复合结构的容器；以及(2)处理所述复合结构。

[0011] 在另一示例中，所公开的处理复合结构的方法包括以下步骤：(1)将第一处理工具密封至支撑复合结构的心轴工具；(2)将第二处理工具密封至第一处理工具和心轴工具；以及(3)利用所述第一处理工具、所述第二处理工具和所述心轴工具形成包围所述复合结构的容器。

[0012] 在另一示例中，所公开的处理复合结构的方法包括以下步骤：(1)在第二处理工具上定位支撑复合结构的心轴工具；(2)将第一处理工具密封至第二处理工具和心轴工具；以及(3)利用所述第一处理工具、所述第二处理工具和所述心轴工具形成包围所述复合结构的容器。

[0013] 通过以下详细描述、附图和所附权利要求，所公开的系统、设备和方法的其他示例将变得显而易见。

附图说明

[0014] 图1是用于处理复合结构的设备的示例的示意性立体图；

[0015] 图2是设备的示例的示意性立体图；

[0016] 图3是设备的示例的示意性端视图；

[0017] 图4是设备的示例的示意性端视图；

[0018] 图5是设备的示例的示意性截面端视图；

[0019] 图6是设备的示例的示意性截面端视图；

[0020] 图7是设备的示例的示意性端视图；

[0021] 图8是设备的示例的示意性端视图；

[0022] 图9是设备的示例的示意性截面端视图；

[0023] 图10是设备的示例的示意性截面端视图；

[0024] 图11是设备的示例的示意性截面端视图；

[0025] 图12是设备的第一处理工具的示例的示意性立体图；

[0026] 图13是设备的第二处理工具的示例的示意性立体图；

[0027] 图14是第一处理工具的示例的示意性立体图；

[0028] 图15是图14的第一处理工具的密封接口的示例的示意性立体图；

[0029] 图16是第一处理工具和第二处理工具的示例的示意性立体图；

[0030] 图17是图16的第二处理工具的密封接口的示例的示意性立体图；

[0031] 图18是第一处理工具和第二处理工具的一部分的示例的示意性截面图；

[0032] 图19是第一处理工具的一部分的示例的示意性立体图；

[0033] 图20是第一处理工具的一部分的示例的示意性截面立体图；

[0034] 图21是设备的心轴工具的一部分的示意性立体图；

[0035] 图22是设备的示例的示意性框图；

[0036] 图23是设备的示例的示意性框图；

[0037] 图24是设备的示例的示意性框图；

[0038] 图25是处理复合结构的方法的示例的流程图；

[0039] 图26是飞行器制造和保养方法的流程图；以及

[0040] 图27是飞行器的示例的示意性框图。

具体实施方式

[0041] 以下详细描述参考附图，附图示出了本公开描述的具体示例。具有不同结构和操作的其他示例不脱离本公开的范围。在不同的附图中，相同的附图标记可以指代相同的特征、元件或部件。

[0042] 下面提供根据本公开的主题的说明性、非穷尽性示例，这些可能但不一定要求保护。本文中对“示例”的引用意味着结合该示例描述的一个或多个特征、结构、元件、部件、特性和/或操作步骤被包括在根据本公开的主题的至少一个方面、实施例和/或实现方式中。因此，贯穿本公开的短语“示例”、“另一示例”、“一个或多个示例”和类似语言可以但不一定指代相同的示例。此外，表征任何一个示例的主题可以但不一定包括表征任何其他示例的主题。此外，表征任何一个示例的主题可以但不一定与表征任何其他示例的主题组合。

[0043] 本公开认识到，用于制造大型复合结构的当前技术主要施加串行流(serial flow)来处理复合结构。例如，当前的压热器处理通常涉及沿着处理流动路径执行的一系列操作，其包括：(1)装袋操作；(2)将支撑复合结构的心轴从运输推车转移到用于固化的压热器相容的推车；(3)在压热器和心轴之间安装真空软管；(4)执行系统的至少一个耗时的泄漏检查；(5)加热和冷却压热器；(6)从压热器移除心轴；(7)移除真空软管；(8)将心轴转移回到运输推车；以及(9)脱袋操作。传统的处理技术通常需要非常大量的加热气体(例如，空气)，这增加了处理成本和压热器所需的设备成本，例如使内部压力和大量气体反应的结构。本公开还认识到，该方法对与复合处理相关联的循环时间和成本降低施加了限制。

[0044] 总体上参考图1至图24，作为示例，本公开涉及用于处理复合结构102的设备100。设备100被构造成执行各种复合处理操作中的任何一个。在一个或多个示例中，设备100被

构造成通过在密封容器114内施加压紧压力来压紧(compact)复合结构102。在一个或多个示例中，设备100被构造成通过在密封容器114中施加低至中等的压实热量和施加低至中等的压实压力的组合来压实(debulk)复合结构102。在一个或多个示例中，设备100被构造成通过在密封容器114内施加中等至高的固化热量和施加中等至高的固化压力的组合来固化复合结构102。因此，设备100执行压热器或烘箱的功能，而没有与使用传统压热器和烘箱处理技术相关的缺点。

[0045] 参考图1和图2，在一个或多个示例中，设备100包括工具组件164。在一个或多个示例中，工具组件164包括第一处理工具104。在一个或多个示例中，工具组件164还包括第二处理工具106。

[0046] 在一个或多个示例中，设备100还包括心轴工具112。心轴工具112被构造成诸如在铺设和处理期间支撑复合结构102。心轴工具112通常可以被称为铺设心轴。

[0047] 在一个或多个示例中，心轴工具112可相对于工具组件164移动。在一个或多个示例中，工具组件164可相对于心轴工具112移动。在一个或多个示例中，工具组件164可相对于心轴工具112移动，并且心轴工具112可相对于工具组件164移动。

[0048] 在一个或多个示例中，工具组件164和心轴工具112被构造成形成密封容器114(图2)。在一个或多个示例中，如图1和图2所示，通过经由接口密封件180(图1)的一部分沿着第一接口124(图2)将第一处理工具104和第二处理工具106密封在一起、经由接口密封件180的另一部分沿着第二接口126(图1)围绕心轴工具112的相对端部的周边的一部分将第一处理工具104的端部密封并且经由接口密封件180的另一部分沿着第三接口132(图1)围绕心轴工具112的相对端部的周边的另一部分将第二处理工具106的端部密封而形成容器114(图2)。

[0049] 因此，所公开的设备100使得心轴工具112的端部214能够延伸超过工具组件164而位于容器114的外部。所公开的设备100还使得在处理期间支撑心轴工具112的处理推车184在处理期间位于容器114外部。使心轴工具112的一部分和处理推车184位于容器114外部有利地减小了容器114所需的尺寸，减小了容器114的内部容积，并且减少了处理复合结构102所需的时间和能量。

[0050] 在一个或多个示例中，工具组件164可在打开位置108(图1)和关闭位置110(图2)之间移动。在打开位置108中，工具组件164的第一处理工具104和第二处理工具106以这种布置定位，即：使得支撑复合结构102的心轴工具112可适当地定位在第一处理工具104与第二处理工具106之间以进行处理。在关闭位置110中，工具组件164的第一处理工具104和第二处理工具106以这样的布置定位，即：将工具组件164和心轴工具112气密地密封在一起以形成容器114。

[0051] 容器114在处理期间包围复合结构102。容器114由心轴工具112的外表面210(图1)、第一处理工具104和第二处理工具106形成。当工具组件164处于关闭位置110(图2)时，经由接口密封件180(图1)密封容器114，接口密封件180与心轴工具112的相对端部214的外表面210、第一处理工具104和第二处理工具106直接接触。换句话说，心轴工具112、第一处理工具104和第二处理工具106沿着接口密封件180形成容器114的周边。在容器114包围复合结构102形成和密封的情况下，工具组件164被构造成将压力和热量中的至少一者施加至由心轴工具112支撑的复合结构102。

[0052] 因此，与传统压热器相比，所公开的设备100有利地减少了位于容器114内并由容器114约束的气体118(图5、图6和图9至图11)的体积，所述气体诸如是加热和/或加压气体，这降低了与处理复合材料相关的处理成本和循环时间以及工具组件164对内部压力做出反应所需的结构的成本。例如，在传统的压热器中，压热器的外壁和门形成压力容器，该压力容器需要足够大以容纳支撑复合件的心轴以及在复合材件处理期间用于支撑心轴的整个处理推车。相比之下，所公开的设备100利用心轴工具112来形成容器114的结构部件。因此，心轴工具112起到支撑复合结构102(图1)(例如，复合预制件)并且形成用于处理复合结构102的容器114的一部分的双重功能。

[0053] 在一个或多个示例中，设备100包括加热系统(“HS”)116。加热系统116被构造成产生在复合结构102的处理期间使用的热量。在一个或多个示例中，加热系统116加热位于容器114内的气体118(图5、图6和图9至图11)。在一个或多个示例中，加热系统116加热工具组件164的第一处理工具104和第二处理工具106中的至少一者。在一个或多个示例中，加热系统116加热心轴工具112。

[0054] 在一个或多个示例中，设备100包括加压系统(“PS”)140。加压系统140用于产生在复合结构102的处理期间使用的正压。正压在处理期间作用在复合结构102(图1)上并且施加压缩力以固结复合结构102。在一个或多个示例中，加压系统140对位于容器114内的气体118(图5、图6和图9至图11)加压。

[0055] 在一个或多个示例中，设备100包括真空系统(“VS”)138。真空系统138用于产生在复合结构102的处理期间使用的负压。如本文更详细描述的，真空系统138被构造成抽空位于心轴工具112的外表面210与共形膜(例如，第一共形膜136(图6、图10和图11)和/或第二共形膜146(图6))或包围或围绕复合结构102的外表面212(图1)的压缩装袋(例如，压缩装袋162(图5和图9))中的一者之间的气体。

[0056] 在一个或多个示例中，设备100包括加热系统116、加压系统140和真空系统138中的两者或更多者的组合，以生成在复合结构102的处理期间使用的热、正压和负压的组合。

[0057] 因此，在本文公开的各种示例中，工具组件164打开以使心轴工具112定位并且闭合以形成包围复合结构102的容器114，以用于处理复合结构102以代替传统的压热器或烘箱处理技术。与传统的压热器和烘箱处理技术相比，设备100有利地减小了处理设备的尺寸并且改进了与处理复合结构102相关的循环时间和成本。设备100还有利地提供生产量的增加、循环成本的降低以及设施布局的灵活性。

[0058] 总体参考图1至图11，在一个或多个示例中，第一处理工具104和第二处理工具106可在打开位置108(图1、图3和图7)和关闭位置110(图2、图4至图6和图7至图11)之间移动。在打开位置108中，第一处理工具104和第二处理工具106彼此分离，使得支撑复合结构102的心轴工具112能够被适当地定位以用于处理，诸如位于第一处理工具104和第二处理工具106之间。在关闭位置110中，第一处理工具104、第二处理工具106和心轴工具112中的至少两者被构造成彼此气密密封以围绕复合结构102形成容器114。

[0059] 在一个或多个示例中，容器114是包围并封闭复合结构102以用于处理的密封腔室。容器114被构造成将压力和热量中的至少一者施加至复合结构102。

[0060] 在一或多个示例中，第一处理工具104可相对于第二处理工具106移动。在一或多个示例中，第二处理工具106可相对于第一处理工具104移动。在一或多个示例中，第一处理

工具104及第二处理工具106可相对于彼此移动。

[0061] 在一个或多个示例中，第一处理工具104和/或第二处理工具106相对于彼此和/或心轴工具112的移动通过使用驱动机构例如由计算机控制而自动执行，所述驱动机构被构造成在打开位置108与关闭位置110之间的一或多个方向上移动第一处理工具104和第二处理工具106中的至少一者。

[0062] 如在图3和图4中最佳示出的，在一个或多个示例中，在心轴工具112相对于工具组件164适当地定位的情况下，第一处理工具104和第二处理工具106中的至少一者相对于彼此并且相对于心轴工具112在打开位置108(图3)和关闭位置110(图4)之间线性地移动(例如，大致水平地)。

[0063] 在一个或多个示例中，如图1至图6所示，心轴工具112和复合结构102具有闭合的横截面形状(例如，圆形)，例如用于形成桶形复合产品。第一处理工具104和第二处理工具106被适当地设计成适应心轴工具112和复合结构102的闭合横截面形状以进行处理。

[0064] 如在图7和图8中最佳示出的，在一个或多个示例中，在心轴工具112相对于工具组件164适当地定位的情况下，第一处理工具104相对于第二处理工具106并且相对于心轴工具112在打开位置108(图7)和关闭位置110(图8)之间枢转地移动。

[0065] 在一个或多个示例(未明确示出)中，在心轴工具112相对于工具组件164适当地定位的情况下，第一处理工具104相对于第二处理工具106并且相对于心轴工具112在打开位置和关闭位置之间线性地移动(例如，大致竖直地或降低)。

[0066] 在一个或多个示例中，如图7至图11所示，心轴工具112和复合结构102具有开放横截面形状(例如，半圆形)，例如用于形成半桶形复合产品。第一处理工具104和第二处理工具106被适当地设计成适应心轴工具112和复合结构102的开放横截面形状以进行处理。

[0067] 通常，工具组件164被构造成与心轴工具112的形状和/或由心轴工具112支撑的复合结构102的形状互补。工具组件164和心轴工具112的互补形状有利于减小包围复合结构102的容器114的尺寸。例如，在传统的压热器和烘箱处理中，支撑复合件的整个心轴和支撑心轴的整个处理推车都位于压热器或烘箱的处理容器内。所公开的设备100使得心轴工具112的一部分(例如，心轴工具112的相对端部214(图1))和整个处理推车184能够位于容器114的外部，这显著地减小了容器114的尺寸。因此，并如图3至图11中所示，第一处理工具104和第二处理工具106的构造和/或形状可取决于心轴工具112和/或复合结构102的构造和/或形状(例如，闭合横截面形状或开放横截面形状)。

[0068] 另外，在关闭位置110中，工具组件164和心轴工具112可以具有多种密封构造，这取决于心轴工具112的构造和/或形状(例如，闭合横截面形状或开放横截面形状)，或者取决于由心轴工具112支撑的复合结构102的构造和/或形状(例如，闭合横截面形状或开放横截面形状)。

[0069] 图3示意性地示出了处于打开位置108的工具组件164的第一构造的示例，其中支撑复合结构102的心轴工具112位于第一处理工具104和第二处理工具106之间。图3中所示的设备100的示例描绘了第一处理工具104、第二处理工具106以及支撑复合结构102且由处理推车184支撑的心轴工具112的端视图。

[0070] 图4至图6示意性地示出了处于关闭位置110的工具组件164的第一构造的示例，其中支撑复合结构102的心轴工具112位于第一处理工具104和第二处理工具106之间并且与

第一处理工具104和第二处理工具106密封以形成容器114。图4中所示的设备100的示例描绘了第一处理工具104、第二处理工具106以及支撑复合结构102且由处理推车184支撑的心轴工具112的端视图。图5和图6所示的设备100的示例描绘了第一处理工具104、第二处理工具106和支撑复合结构102并由处理推车184支撑的心轴工具112的剖面端视图。图5描绘了利用包围或围绕复合结构102的外表面212的压缩装袋162的设备100的示例。图6描绘了使用包围或围绕复合结构102的外表面212的第一共形膜136和第二共形膜146的设备100的示例。

[0071] 图7示意性地示出了处于打开位置108的工具组件164的第二构造的示例，其中支撑复合结构102的心轴工具112位于第二处理工具106上。图7中所示的示例描绘了第一处理工具104、第二处理工具106以及支撑复合结构102并由第二处理工具106支撑的心轴工具112的端视图。

[0072] 图8至图10示意性地示出了处于关闭位置110的工具组件164的第二构造的示例，其中支撑复合结构102的心轴工具112位于第一处理工具104和第二处理工具106之间并且与第一处理工具104和第二处理工具106密封以形成容器114。图8中所示的设备100的示例描绘了第一处理工具104、第二处理工具106以及支撑复合结构102并由第二处理工具106支撑的心轴工具112的端视图。图9和图10所示的设备100的示例描绘了第一处理工具104、第二处理工具106以及支撑复合结构102并由第二处理工具106支撑的心轴工具112的截面端视图。图9描绘了利用包围复合结构102的外表面212的压缩装袋162的设备100的示例。图10描绘了利用包围复合结构102的外表面212的第一共形膜136的设备100的示例。

[0073] 图11示意性地示出了处于关闭位置的工具组件164的第三构造的示例，其中支撑复合结构102的心轴工具112与第一处理工具104密封以形成容器114。图11中所示的示例描绘了第一处理工具104和支撑复合结构102的心轴工具112的截面端视图。图11描绘了利用包围或围绕复合结构102的外表面212的第一共形膜136的设备100的示例。然而，图11中示出的构造可以替代地或另外地利用包围或围绕复合结构102的压缩装袋162。

[0074] 如将从本公开显而易见的，设备100不限于在图3至图11中示出的构造，并且其他构造也是可以预期的。

[0075] 如图4至图6所示，在一个或多个示例中，心轴工具112位于第一处理工具104和第二处理工具106之间。在关闭位置110中，第一处理工具104和第二处理工具106被构造成经由接口密封180(图1)的一部分沿着第一接口124彼此气密密封。在关闭位置110中，第一处理工具104被构造成经由接口密封件180的另一部分(图1)沿着第二接口126气密地密封至心轴工具112的端部214的外表面210。在关闭位置110中，第二处理工具106被构造成经由接口密封件180的另一部分(图1)沿着第三接口132气密地密封至心轴工具112的端部214的外表面210。

[0076] 参考图5和图6，在关闭位置110中，第一处理工具104和第二处理工具106形成壁216的一部分(例如，外部)，该部分形成容器114的外壳或外护罩，该外壳或外护罩例如具有圆形横截面形状。在关闭位置110中，心轴工具112形成壁216的另一部分(例如，内部)，该该部分形成容器114的内壳，该内壳例如具有圆形横截面形状。该构造有利于处理具有例如如图1至图6所示的闭合(例如，圆形)横截面形状的复合结构。

[0077] 如图8至图10所示，在一个或多个示例中，心轴工具112定位在第二处理工具106上

或由第二处理工具106支撑。在关闭位置110中，第一处理工具104和第二处理工具106被构造成经由接口密封件180的一部分沿着第一接口124彼此气密密封。在关闭位置110中，第一处理工具104还被构造成经由接口密封件180的另一部分沿着第二接口126气密地密封至心轴工具112的端部214的外表面210。

[0078] 参考图9和图10，在关闭位置110中，第一处理工具104、第二处理工具106形成容器114的壁216的一部分(例如，外部)，该部分例如具有半圆形横截面形状。在关闭位置110中，心轴工具112形成容器114的壁216的另一部分(例如，内部)，该部分例如具有半圆形横截面形状。在图7至图10中所示的示例中，第二处理工具106可以(但不需要)与心轴工具112气密密封。该构造有利于处理具有开放横截面形状(例如，半圆形)的复合结构(例如，如图7至图10所示)、平面横截面形状或其他复杂横截面形状。

[0079] 如图11所示，在一个或多个示例中，心轴工具112还用作处理工具。在关闭位置110中，第一处理工具104被构造成经由接口密封件180的一部分沿着第二接口126气密地密封至心轴工具112。在这些示例中，容器114由第一处理工具104和心轴工具112形成，而不需要使用第二处理工具106。换句话说，心轴工具112用作处理工具。在关闭位置110中，第一处理工具104形成容器114的壁216的一部分，并且心轴工具112形成容器114的壁216的另一部分。

[0080] 在关闭位置110中，第一处理工具104被构造成经由接口密封件180沿着第二接口126气密地密封至心轴工具112。在一个或多个示例中，心轴工具112包括沿着心轴工具112的长度向外延伸的相对的一对心轴凸缘238。在关闭位置110中，第一处理工具104被构造成经由接口密封件180(图1)的一部分沿着第二接口126气密地密封至心轴凸缘238，并且第一处理工具104的端部被构造成经由接口密封件180的另一部分沿着第二接口126气密地密封至心轴工具112的端部214的外表面210。因此，当工具组件164处于关闭位置110时，经由接口密封件180密封容器114，接口密封件180与心轴工具112的相对端部214的外表面210、心轴凸缘238和第一处理工具104直接接触。换句话说，心轴工具112和第一处理工具104沿着接口密封件180形成容器114的周边。

[0081] 参考附图1和图3至图11，在一个或多个示例中，第一处理工具104包括形成容器114的壁216的一部分的第一容器壁134。在一个或多个示例中，第一处理工具104还包括形成容器114的壁216的一部分的相对的一对第一容器端部194(第一容器端部194中的仅一个端部在图3、图4、图7和图8中可见)。在一示例中，第一容器端部194中的每一个容器端部都与第一容器壁134基本垂直地从第一容器壁134延伸。在这些示例中，第一容器壁134和第一容器端部194形成容器114的壁216的第一部分。

[0082] 参考附图1和图3至图6，在一个或多个示例中，第二处理工具106包括形成容器114的壁216的一部分的第二容器壁144。在一个或多个示例中，第二处理工具106还包括形成容器114的壁216的一部分的相对的一对第二容器端部196(第二容器端部196中的仅一个端部在图3和图4中可见)。在一示例中，第二容器端部196中的每一个端部都与第二容器壁144大致垂直地从第二容器壁144延伸。在这些示例中，第二容器壁144和第二容器端部196形成容器114的壁216的第二部分。

[0083] 如图5和图6所示，在一个或多个示例中，在关闭位置110中，第一容器壁134和第二容器壁144经由接口密封件180(图1)的一部分在第一接口124处密封。如图4所示，在关闭位

置110中，第一容器端部194中的每一个端部的一部分和第二容器端部196中的每一个端部的一部分经由接口密封件180的另一部分在第一接口124处密封。如图4所示，在关闭位置110中，第一容器端部194中的每一个端部的另一部分(第一容器端部194中的一个端部在图4中可见)以及心轴工具112的端部214的外表面210经由接口密封件180的另一部分在第二接口126处密封在一起。如图4所示，在关闭位置110中，第二容器端部196中的每一个端部的另一部分(第二容器端部196中的一个端部在图4中可见)以及心轴工具112的端部214的外表面210经由接口密封件180的另一部分在第三接口132处密封在一起。

[0084] 因此，在一个或多个示例中，在工具组件164处于关闭位置110的情况下，容器114由第一容器壁134、第一容器端部194、第二容器壁144、第二容器端部196和心轴工具112形成。容器114经由接口密封件180(图1)密封，接口密封件180沿着第一接口124、第二接口126和第三接口132与第一容器壁134、第一容器端部194、第二容器壁144、第二容器端部196和心轴工具112的端部214的外表面210直接接触。

[0085] 参考图7至图10，在一个或多个示例中，第二处理工具106包括形成容器114的壁216的一部分的第二容器壁144。在这些示例中，第二容器壁144形成容器114的壁216的第二部分。

[0086] 如图9和图10所示，在一个或多个示例中，在关闭位置110中，第一容器壁134和第二容器壁144经由接口密封件180的一部分在第一接口124处密封。如图8所示，在关闭位置110中，第一容器端部194中的每一个端部的一部分(第一容器端部194中的仅一个端部在图8中可见)以及第二容器壁144经由接口密封件180的另一部分在第一接口124处密封。如图8所示，在关闭位置110中，第一容器端部194中的每个端部的另一部分和心轴工具112的端部214的外表面210经由接口密封件180的另一部分在第二接口126处密封在一起。

[0087] 因此，在一个或多个示例中，在工具组件164处于关闭位置110的情况下，容器114由第一容器壁134、第一容器端部194、第二容器壁144和心轴工具112形成。容器114经由接口密封件180密封，接口密封件180沿着第一接口124和第二接口126与第一容器壁134、第一容器端部194、第二容器壁144和心轴工具112的端部214的外表面210直接接触。

[0088] 如图11所示，在一个或多个示例中，在关闭位置110中，第一容器壁134和第一容器端部194(在图11中不可见)经由接口密封件180的一部分在第二接口126处密封至心轴工具112以形成容器114。在一个或多个示例中，在关闭位置110中，第一容器壁134和第一容器端部194中的每一个端部的一部分(在图11中不可见)以及心轴凸缘238经由接口密封件180的一部分在第二接口126处密封。在关闭位置110中，第一容器端部194中的每一个端部的另一部分和心轴工具112的端部214的外表面210经由接口密封件180的另一部分在第二接口126处密封在一起。

[0089] 因此，在一个或多个示例中，在工具组件164处于关闭位置110的情况下，容器114由第一容器壁134和心轴工具112形成。容器114经由接口密封件180密封，接口密封件180沿着第二接口126与第一容器壁134、第一容器端部194、心轴凸缘238和心轴工具112的外表面210直接接触。

[0090] 图12和图13示意性地示出了接口密封件180的示例。在工具组件164处于关闭位置110的情况下，接口密封件180被构造成将工具组件164和心轴工具112密封在一起以形成包围或围绕复合结构102的容器114。图12示出了与第一处理工具104相关联的接口密封件180

的第一部分，并且图13示出了与第二处理工具106相关联的接口密封件180的第二部分。

[0091] 参照图12、图14和图15，在一个或多个示例中，第一处理工具104包括第一接口密封件122。第一接口密封件122是接口密封件180的示例或形成接口密封件180的一部分。在关闭位置110中，第一接口密封件122被构造成密封第一处理工具104与第二处理工具106之间的第一接口124。在关闭位置110中，第一接口密封件122还被构造成密封第一处理工具104与心轴工具112之间的第二接口126。例如，第一接口密封件122沿着第一容器壁134和第一容器端部194的周边延伸。第一接口密封件122形成了第一容器壁134和第二容器壁144之间的密封件的至少一部分。第一接口密封件122形成了第一容器端部194和第二容器端部196之间的密封件的至少一部分。第一接口密封件122形成了第一容器端部194和心轴工具112的端部214的外表面210之间的密封件。

[0092] 在一个或多个示例中，第一处理工具104包括第一接口表面120。在一个或多个示例中，第一接口表面120形成第一容器壁134的周边。在一个或多个示例中，第一接口表面120还形成第一容器端部194中的每一个端部的周边。在一个或多个示例中，第一接口密封件122沿着整个第一接口表面120延伸。通常，第一接口密封件122是可重复使用的密封件。

[0093] 参照图13、图16和图17，在一个或多个示例中，第二处理工具106包括第二接口密封件130。第二接口密封件130是接口密封件180的示例或形成接口密封件180的一部分。在关闭位置110中，第二接口密封件130被构造成密封第一处理工具104与第二处理工具106之间的第一接口124。在关闭位置110中，第二接口密封件130被构造成密封第二处理工具106和心轴工具112之间的第三接口132。例如，第二接口密封件130沿着第二容器壁144和第二容器端部196的周边延伸。第二接口密封件130形成了第一容器壁134和第二容器壁144之间的密封件的至少一部分。第二接口密封件130形成了第一容器端部194和第二容器端部196之间的密封件的至少一部分。第二接口密封件130形成了第二容器端部196与心轴工具112的端部214的外表面210之间的密封件。

[0094] 在一个或多个示例中，第二处理工具106包括第二接口表面128。在一个或多个示例中，第二接口表面128形成第二容器壁144的周边。在一个或多个示例中，第二接口表面128还形成第二容器端部196中的每一个端部的周边。在一个或多个示例中，第二接口密封件130沿着整个第二接口表面128延伸。通常，第二接口密封件130是可重复使用的密封件。

[0095] 如图15和图17所示，在一个或多个示例中，第一接口密封件122和第二接口密封件130具有互补几何形状。第一接口密封件122和第二接口密封件130的互补几何形状被构造成使得能够在关闭位置110处彼此配合接触以形成气密密封。互补几何形状在第一处理工具104与第二处理工具106之间的第一接口124、第一处理工具104与第二处理工具112之间的第二接口126以及第二处理工具106与心轴工具112之间的第三接口132的三向交叉处尤其有益。

[0096] 参考图2、图4和图8，在一个或多个示例中，工具组件164被临时固定在关闭位置110中，其中工具组件164和心轴工具112被密封在一起以在复合结构102的处理期间形成容器114。在一个或多个示例中，工具组件164包括至少一个紧固装置236。如图2所示，至少紧固装置236包括或采取用于将第一处理工具104和第二处理工具106紧紧地保持和固定在一起以防止移动或分离的任何合适机构，例如夹具。如图4所示，至少紧固装置236包括或采取用于将第一处理工具104和心轴工具112紧紧地保持和固定在一起以防止移动或分离的任

何合适机构，诸如夹具。

[0097] 参考图6、图10和图12，在一个或多个示例中，诸如第一处理工具104之类的设备100包括第一共形膜136。在关闭位置110中，第一共形膜136被构造成压靠在复合结构102上，如图6和图10所示。通常，第一共形膜136是设备100的可重复使用部件。在一个或多个示例中，第一共形膜136将复合结构102压缩在第一共形膜136和心轴工具112的外表面210之间。在一个或多个示例中，第一共形膜136用作可消耗真空装袋或压缩装袋的替代物。

[0098] 在一个或多个示例中，在关闭位置110中，复合结构102位于心轴工具112和第一共形膜136之间。在处理期间，第一共形膜136将压力施加至复合结构102的外表面212并且抵靠心轴工具112的外表面210压缩复合结构102。如本文将进一步描述的，在一个或多个示例中，第一共形膜136经由由压力系统140施加的正压和/或由真空系统138施加的负压中的至少一者而压靠在复合结构102的外表面212上。

[0099] 如在图12中最佳示出的，在一个或多个示例中，第一共形膜136的第一周边220联接至第一处理工具104并且被密封至第一处理工具104。在一个或多个示例中，第一共形膜136的一部分(诸如第一共形膜136的第一周边220的两个相对的第一周边第一侧222)联接至第一处理工具104的第一容器壁134并且被密封至第一处理工具104的第一容器壁134。在一个或多个示例中，第一共形膜136的另一部分(诸如第一共形膜136的第一周边220的两个相对的第一周边第二侧224)也联接至第一处理工具104的第一容器端部194并且被密封至第一处理工具104的第一容器端部194。

[0100] 第一共形膜136通过任何合适的方法或技术联接至第一处理工具104。在一个或多个示例中，第一共形膜136例如沿着第一周边220通过机械紧固件、化学结合(例如，粘结剂或其他结合剂)或机械紧固件和化学结合的组合而联接和密封(例如，气密密封)到第一处理工具104。

[0101] 参考图6和图13，在一个或多个示例中，诸如第二处理工具106之类的设备100包括第二共形膜146。在关闭位置110中，第二共形膜146被构造成压靠在复合结构102上，如图6所示。通常，第二共形膜146是设备100的可重复使用部件。在一个或多个示例中，第二共形膜146将复合结构102压缩在第二共形膜146和心轴工具112的外表面210之间。在一个或多个示例中，第二共形膜146用作可消耗真空装袋或压缩装袋的替代物。

[0102] 在一个或多个示例中，在关闭位置110中，复合结构102位于心轴工具112和第二共形膜146之间。在处理期间，第二共形膜146将压力施加至复合结构102的外表面212并且抵靠心轴工具112的外表面210压缩复合结构102。如本文将进一步描述的，在一个或多个示例中，第二共形膜146经由由压力系统140施加的正压和/或由真空系统138施加的负压中的至少一者而压靠在复合结构102的外表面212上。

[0103] 如图13所示，在一个或多个示例中，第二共形膜146的第二周边226联接至第二处理工具106并且被密封至第二处理工具106。在一个或多个示例中，第二共形膜146的一部分(诸如第二共形膜146的第二周边226的两个相对的第二周边第一侧228)联接至第二处理工具106的第二容器壁144并且被密封至第二容器壁144。在一个或多个示例中，第二共形膜146的另一部分(诸如第二共形膜146的第二周边226的两个相对的第二周边第二侧230)也联接至第二处理工具106的第二容器端部196并且被密封至第二处理工具106的第二容器端部196。

[0104] 第二共形膜146通过任何合适的方法或技术联接至第二处理工具106。在一个或多个示例中，第二共形膜146例如沿着第二周边226通过机械紧固件、化学结合(例如，粘合剂)或机械紧固件和化学结合的组合联接和密封(例如，气密密封)到第二处理工具106。

[0105] 在一个或多个示例中，第一共形膜136和第二共形膜146包括弹性体材料的宽的、平坦的柔性件(例如，片材)或由其形成。第一共形膜136和第二共形膜146的弹性体材料是不可渗透的，并且因此能够用于在处理期间经由施加正压和/或负压将机械压力施加至复合结构102。

[0106] 在一个或多个示例中，第一共形膜136和第二共形膜146由弹性体或弹性体的组合构成，诸如但不限于天然橡胶、合成橡胶、含氟聚合物弹性体(例如，Viton®)、硅树脂、三元乙丙(EPDM)橡胶等。在一个或多个示例中，第一共形膜136和第二共形膜146的弹性体或弹性体的组合由增强材料(诸如但不限于玻璃纤维、碳纤维等)增强。

[0107] 为第一共形膜136和第二共形膜146选择的弹性体材料可取决于在复合结构102的处理期间使用的处理循环参数(例如，热和压力)。

[0108] 如图12中所示，在一或多个示例中，设备100(例如第一处理工具104)包括第一垫板142。在一个或多个示例中，第一垫板142联接至第一共形膜136。在关闭位置110中，第一垫板142被构造成将复合结构102的外表面212成形和/或平滑。例如，在关闭位置110中，第一垫板142位于第一共形膜136和复合结构102的外表面212之间，并且复合结构102的一部分位于心轴工具112的外表面210和第一垫板142之间。在处理期间，第一垫板142与第一共形膜136一起压靠在复合结构102的外表面212的一部分上，以将复合结构102的外表面212成形和/或平滑。

[0109] 第一垫板142通过任何合适的方法或技术联接至第一共形膜136。在一个或多个示例中，第一垫板142与第一共形膜136的表面化学结合(例如，经由粘合剂或其他结合剂)。

[0110] 如图13中所说明，在一或多个示例中，设备100(例如第二处理工具106)包含第二垫板148。在一个或多个示例中，第二垫板148联接至第二共形膜146。在关闭位置110中，第二垫板148被构造成将复合结构102的外表面212成形和/或平滑。例如，在关闭位置110中，第二垫板148位于第二共形膜146和复合结构102的外表面212之间，并且复合结构102的一部分位于心轴工具112的外表面210和第二垫板148之间。在处理期间，第二垫板148与第二共形膜146一起压靠在复合结构102的外表面212的一部分上，以将复合结构102的外表面212成形和/或平滑。

[0111] 第二垫板148通过任何合适的方法或技术联接至第二共形膜146。在一个或多个示例中，第二垫板148与第二共形膜146的表面化学结合(例如，经由粘合剂或其他结合剂)。

[0112] 通常，第一垫板142和第二垫板148包括基本上没有表面缺陷的宽的、平坦的柔性件(例如，片材)或由其形成。第一垫板142和第二垫板148用于在处理操作期间密切地接触复合结构102的外表面212，以给复合结构102提供平滑外表面。

[0113] 在一个或多个示例中，第一垫板142和第二垫板148由纤维增强聚合物材料构成，例如但不限于碳纤维增强聚合物和碳纤维增强环氧树脂。作为示例，第一垫板142和第二垫板148由碳纤维增强苯并噁嗪或碳纤维增强双马来酰亚胺构成。在一个或多个示例中，第一垫板142和第二垫板148由金属材料构成，例如但不限于铝。在一个或多个示例中，第一垫板142和第二垫板148由金属合金构成，例如但不限于镍铁合金(例如，因瓦合金)。

[0114] 在一个或多个示例中，第一垫板142和第二垫板148具有范围从大约0.030英寸(0.76毫米)到大约0.125英寸(3.17毫米)的厚度。

[0115] 在一个或多个示例中，第一垫板142和第二垫板148的外表面(例如，被构造成接触复合结构102的外表面212的表面)具有在大约32Ra和大约63Ra之间的表面粗糙度值。

[0116] 为第一垫板142和第二垫板148选择的材料和/或厚度可以取决于在复合结构102的处理期间使用的处理循环参数(例如，热和压力)。

[0117] 参考图1、图2、图5、图9至图11、图14和图16，在一个或多个示例中，设备100包括加热系统116。加热系统116被构造成在处理期间加热支撑在心轴工具112上的复合结构102。在一个或多个示例中，加热系统116被构造成将复合结构102加热到足以使复合结构102压实并且将复合结构102维持在压实温度持续时间段的温度。压实过程通常包括温度和压力分量两者，因为压缩压力去除空隙并且有助于在压实期间固结。在一个或多个示例中，加热系统116被构造成将复合结构102加热到足以固化复合结构102并且将复合结构102维持在固化温度持续时间段的温度。固化过程通常包括温度和压力分量，因为压缩压力去除空隙并有助于在固化期间固结。

[0118] 在一个或多个示例中，加热系统116被构造成加热位于容器114内(例如，由容器114约束)的气体118(图5、图6和图9至图11)。例如，加热系统116与气体118热连通。在这些示例中，热量从加热气体118传递到复合结构102。

[0119] 在一个或多个示例中，加热系统116被构造成加热工具组件164。例如，加热系统116联接至第一处理工具104、第二处理工具106、第一共形膜136和/或第二共形膜146中的至少一者和/或与第一处理工具104、第二处理工具106、第一共形膜136和/或第二共形膜146中的至少一者热连通。在这些示例中，热量从加热的工具组件164传递到复合结构102。

[0120] 在一个或多个示例中，加热系统116被构造成加热心轴工具112。例如，加热系统116联接至心轴工具112和/或与心轴工具112热连通。在这些示例中，热量从心轴工具112传递到复合结构102。

[0121] 在一个或多个示例中，加热系统116被构造成加热第一处理工具104、第二处理工具106、位于容器114内的气体118和心轴工具112中的至少一者或者两者或更多者的组合，使得复合结构102达到期望的处理温度并保持在期望的处理温度。

[0122] 加热系统116包括任何合适布置的加热装置和/或加热元件或采取任何合适布置的加热装置和/或加热元件的形式，所述加热装置和/或加热元件被构造成加热与加热设备相关联的部件。在一个或多个示例中，加热系统116包括被构造成生成电加热的至少一个电加热器(例如，电阻热源)。在一个或多个示例中，加热系统116包括被构造成生成气体热的至少一个气体加热器(例如，气体热源)。在一个或多个示例中，加热系统116包括电加热器和气体加热器的组合。

[0123] 在一个或多个示例中，加热系统116的至少一个加热元件(诸如电阻加热元件)联接至第一处理工具104(诸如第一容器壁134和第一容器端部194)并且与第一处理工具104(诸如第一容器壁134和第一容器端部194)热连通。

[0124] 在一个或多个示例中，加热系统116的至少一个加热元件(诸如电阻加热元件)联接至第一共形膜136和/或第一垫板142中的至少一者并且与第一共形膜136和/或第一垫板142中的至少一者热连通。将加热系统116的加热元件定位在第一共形膜136和/或第一垫板

142上可促进到复合结构102的有效热传递。另外，将加热系统116的加热元件定位在第一共形膜136和/或第一垫板142上可以使得能够选择性地加热复合结构102的不同区域或部分。例如，复合结构102的较厚部分可以比复合结构102的较薄部分被更多地加热。

[0125] 在一个或多个示例中，诸如电加热器之类的加热系统116联接至第二处理工具106(诸如第二容器壁144和/或第二容器端部196)并且与第二处理工具106(诸如第二容器壁144和/或第二容器端部196)热连通。

[0126] 在一个或多个示例中，加热系统116的至少一个加热元件(诸如电阻加热元件)联接至第二共形膜146和/或第二垫板148中的至少一者并且与第二共形膜146和/或第二垫板148中的至少一者热连通。将加热系统116的加热元件定位在第二共形膜146和/或第二垫板148上可以促进到复合结构102的有效热传递。另外，将加热系统116的加热元件定位在第二共形膜146和/或第二垫板148上可以使得能够选择性地加热复合结构102的不同区域或部分。例如，复合结构102的较厚部分可以比复合结构102的较薄部分被更多地加热。

[0127] 在一个或多个示例中，加热系统116的至少一个加热元件(诸如电阻加热元件)联接至心轴工具112并且与心轴工具112热连通。

[0128] 在一个或多个示例中，加热系统116(诸如电热交换器或气体热交换器)的至少一个加热元件被定位成与气体118热连通以加热位于容器114内的气体118。在一个或多个示例中，加热系统116在气体118被引入容器114之前加热气体118(例如，预加热气体)。在一个或多个示例中，加热系统116在气体118被引入容器114内之后加热气体118(例如，后加热气体)。

[0129] 仍然参照图1、图2、图5、图9至图11、图14和图16，在一个或多个示例中，设备100包括加压系统140。加压系统140联接至工具组件164(诸如第一处理工具104和第二处理工具106中的至少一者)并且与工具组件164(诸如第一处理工具104和第二处理工具106中的至少一者)连通。在关闭位置110中，在工具组件164和心轴工具112被密封在一起的情况下，加压系统140被构造成对位于容器114内的气体118(图5、图6和图9至图11)加压。在这些示例中，设备100使用正压来处理复合结构102。

[0130] 如在图5和图9中所示，在一个或多个示例中，设备100使用由加压气体118施加至复合结构102的正压来处理(例如，压紧、压实或固化)复合结构102，诸如抵靠心轴工具112的外表面210压缩复合结构102。

[0131] 如在图5和图9中所示，在一个或多个示例中，在关闭位置110中，使用加压系统140加压位于第一容器壁134、第一容器端部194和心轴工具112之间(由第一容器壁134、第一容器端部194和心轴工具112约束)的气体118。加压气体118向复合结构102施加正压，以抵靠心轴工具112的外表面210压缩复合结构102的一部分。

[0132] 如图5所示，在一个或多个示例中，在关闭位置110中，使用加压系统140加压位于第二容器壁144、第二容器端部196和心轴工具112之间(由第二容器壁144、第二容器端部196和心轴工具112约束)的气体118。加压气体118向复合结构102施加正压，以抵靠心轴工具112的外表面210压缩复合结构102的一部分。

[0133] 在一个或多个示例中，在关闭位置110中，由第一容器壁134、第一容器端部194、第二容器壁144、第二容器端部196和心轴工具112约束气体118。在关闭位置110中，加压系统140被构造成对位于第一容器壁134、第一容器端部194、第二容器壁144、第二容器端部196

和心轴工具112之间(例如,由第一容器壁134、第一容器端部194、第二容器壁144、第二容器端部196和心轴工具112约束)的气体118加压,以抵靠心轴工具112的外表面210压缩复合结构102。

[0134] 在一个或多个示例中,加压气体118将正压直接施加至复合结构102的外表面212以压缩复合结构102。在一个或多个示例中,第一容器壁134与复合结构102的外表面212之间的距离相对较小(例如,几英寸或更小),这形成了在复合结构102的处理期间需要被加压的相对小的容积。在一个或多个示例中,第二容器壁144与复合结构102的外表面212之间的距离相对较小(例如,几英寸或更小),这形成了在复合结构102的处理期间需要被加压的相对小的体积。

[0135] 在一个或多个示例中,如图5和图9所示,加压气体118将正压直接施加至包围或围绕复合结构102的压缩装袋162,并且继而压缩装袋162被压靠在复合结构102的外表面212上,以将复合结构102压缩在压缩装袋162和心轴工具112之间。在一个或多个示例中,第一容器壁134与包围或围绕复合结构102的压缩装袋162之间的距离相对较小(例如,几英寸或更小),这形成了在复合结构102的处理期间需要被加压的相对小的容积。在一个或多个示例中,第一容器壁134与包围或围绕复合结构102的压缩装袋162之间的距离相对较小(例如,几英寸或更小),这形成了在复合结构102的处理期间需要被加压的相对小的体积。

[0136] 在一个或多个示例中,如图6、图10和图11所示,加压气体118将正压直接施加至第一共形膜136,并且继而第一共形膜136被压靠在复合结构102的外表面212上,以将复合结构102压缩在第一共形膜136和心轴工具112之间。在这些示例中,加压气体118由第一容器壁134、第一容器端部194和第一共形膜136约束。在一个或多个示例中,第一容器壁134与复合结构102的外表面212之间的距离、第一容器壁134与第一共形膜136之间的距离、和/或第一共形膜136与复合结构102的外表面212之间的距离相对较小(例如,几英寸或更小),这形成了在复合结构102的处理期间需要被加压的相对小的容积。

[0137] 在一个或多个示例中,如图6所示,加压气体118将正压直接施加至第二共形膜146,并且继而第二共形膜146被压靠在复合结构102的外表面212上(例如,通过或不通过压缩装袋162)以将复合结构102压缩在第二共形膜146和心轴工具112之间。在这些示例中,加压气体118由第二容器壁144、第二容器端部196和第二共形膜146约束。在一个或多个示例中,第二容器壁144与复合结构102的外表面212之间的距离、第二容器壁144与第二共形膜146之间的距离、和/或第二共形膜146与复合结构102的外表面212之间的距离相对较小(例如,几英寸或更小),这形成了在复合结构102的处理期间需要被加压的相对小的体积。

[0138] 在一个或多个示例中,在关闭位置110中,第一处理工具104或第二处理工具106中的一者与加压系统140连通,并且第一处理工具104和第二处理工具106彼此流体连通,使得加压系统140被构造成加压由第一容器壁134、第一容器端部194、第二容器壁144、第二容器端部196和心轴工具112约束(例如,位于第一容器壁134、第一容器端部194、第二容器壁144、第二容器端部196和心轴工具之间)的气体118。

[0139] 在一个或多个示例中,第一处理工具104和第二处理工具106中的每一者联接至加压系统140并且与加压系统140连通,使得加压系统140被构造成加压由第一容器壁134、第一容器端部194、第二容器壁144、第二容器端部196和心轴工具112约束(例如,位于第一容器壁134、第一容器端部194、第二容器壁部144、第二容器端部196和心轴工具112之间)的气

体118。

[0140] 在一个或多个示例中，设备100包括多于一个加压系统140，其中专用加压系统140联接至第一处理工具104和第二处理工具106中的每一者并且与第一处理工具104和第二处理工具106中的每一者连通。在这些示例中，第一加压系统与第一处理工具104相关联并且被构造成加压由第一容器壁134、第一容器端部194和心轴工具112约束(例如，位于第一容器壁134、第一容器端部194和心轴工具112之间)的气体118。第二加压系统与第二处理工具106相关联并且被构造成加压由第二容器壁144、第二容器端部196和心轴工具112约束(例如，位于第二容器壁144、第二容器端部196和心轴工具112之间)的气体118。

[0141] 如图6、图10和图11所示，在一个或多个示例中，设备100使用由加压气体118施加至第一共形膜136和第二共形膜146中的至少一者的正压将第一共形膜136和第二共形膜146中的至少一者压靠在复合结构102上并处理复合结构102，诸如抵靠心轴工具112的外表面210压缩复合结构102压缩。

[0142] 如在图6、图10和图11中所示，在一个或多个示例中，在关闭位置110中，加压系统140被构造成在第一容器壁134和第一共形膜136之间施加正压。例如，第一共形膜136的第一周边220连接到第一容器壁134和第一容器端部194并且被密封至第一容器壁134和第一容器端部194。由第一容器壁134、第一容器端部194和第一共形膜136约束(例如，位于第一容器壁134、第一容器端部194和第一共形膜136之间)的气体118被使用加压系统140加压。加压气体118在第一容器壁134和第一共形膜136之间施加正压，以将第一共形膜136压靠在复合结构102上并且抵靠心轴工具112压缩复合结构102。因此，在这些示例中，第一共形膜136用作通常用于复合处理中的可消耗压缩装袋或真空装袋的替代物。

[0143] 如图6所示，在一个或多个示例中，在关闭位置110中，加压系统140被构造成在第二容器壁144和第二共形膜146之间施加正压。例如，第二共形膜146的第二周边226连接到第二容器壁144和第二容器端部196并且被密封至第二容器壁144和第二容器端部196。由第二容器壁144、第二容器端部196(图3和图4)和第二共形膜146约束(例如，位于第二容器壁144、第二容器端部196和第二共形膜146之间)的气体118被使用加压系统140加压。加压气体118在第二容器壁144和第二共形膜146之间施加正压，以将第二共形膜146压靠在复合结构102上并且抵靠心轴工具112压缩复合结构102。因此，在这些示例中，第二共形膜146用作通常用于复合处理中的可消耗压缩装袋或真空装袋的替代物。

[0144] 在一个或多个示例中，在关闭位置110中，工具组件164被构造成使得加压系统140被构造成同时加压由第一容器壁134、第一容器端部194和第一共形膜136约束(例如，位于第一容器壁134、第一容器端部194和第一共形膜136之间)的气体118和由第二容器壁144、第二容器端部196和第二共形膜146约束(例如，位于第二容器壁144、第二容器端部196和第二共形膜146之间)的气体118，以抵靠心轴工具112的外表面210压缩复合结构102。

[0145] 在一或多个示例中，在关闭位置110中，第一处理工具104或第二处理工具106中的一者联接至加压系统140且与加压系统140连通(例如，流体连通)。第一处理工具104和第二处理工具106彼此流体连通，使得加压系统140被构造成同时加压由(例如，位于)第一容器壁134、第一容器端部194和第一共形膜136约束(例如，位于第一容器壁134、第一容器端部194和第一共形膜136之间)的气体118和由第二容器壁144、第二容器端部196和第二共形膜146约束(例如，位于第二容器壁144、第二容器端部196和第二共形膜146之间)的气体118。

[0146] 在这些示例中的另一个中，第一处理工具104和第二处理工具106中的每一者联接至加压系统140并且与加压系统140连通(例如，流体连通)，使得加压系统140被构造成独立地加压由第一容器壁134、第一容器端部194和第一共形膜136约束(例如，位于第一容器壁134、第一容器端部194和第一共形膜136之间)的气体118，并且独立地加压由第二容器壁144、第二容器端部196和第二共形膜146约束(例如，位于第二容器壁144、第二容器端部196和第二共形膜146之间)的气体118。

[0147] 在一个或多个示例中，设备100包括多于一个加压系统140，其中专用加压系统140联接至第一处理工具104和第二处理工具106中的每一者并且与第一处理工具104和第二处理工具106中的每一者连通。在这些示例中，第一加压系统与第一处理工具104相关联并且被构造成加压由第一容器壁134、第一容器端部194和第一共形膜136约束(例如，位于第一容器壁134、第一容器端部194和第一共形膜136之间)的气体118。第二加压系统与第二处理工具106相关联并且被构造成加压由第二容器壁144、第二容器端部196和第二共形膜146约束(例如，位于第二容器壁144、第二容器端部196和第二共形膜146之间)的气体118。

[0148] 加压系统140包括被构造成控制密封容器114内部的压力的各种类型的系统中的任何一种或其组合。

[0149] 在一个或多个示例中，加压系统140被构造成利用液态氮，当液态氮被引入密封容器114内时，该液态氮被允许改变为气态。氮气的膨胀增加了密封容器114内的压力。

[0150] 在一个或多个示例中，加压系统140包括联接至第一处理工具104和第二处理工具106并且与容器114的内部容积流体连通的压缩机或泵。压缩机或泵的操作被构造成选择性地控制密封容器114内的压力。

[0151] 在一个或多个示例中，通过增加位于密封容器114内的气体118的温度来控制密封容器114的加压。增加密封容器114内的气体118的温度使气体118膨胀，这导致密封容器114内的压力增加。在一个或多个示例中，如上所述，经由加热系统116来控制气体118的温度。

[0152] 参考图12、图13和图18，在一个或多个示例中，在关闭位置110中，工具组件164被构造成在第一处理工具104和第二处理工具106之间传送气体118，如加压和/或加热的气体。举例来说，在关闭位置110中，工具组件164被构造成提供用于在第一处理工具104与第二处理工具106之间传递气体118的路径。在第一共形膜136和第二共形膜146分别联接至第一处理工具104和第二处理工具106，并且用于抵靠心轴工具112压缩复合结构102的情况下，这些示例是有利。

[0153] 如图12和图18所示，在一个或多个示例中，第一处理工具104包括第一隔板150。第一隔板150联接至第一容器壁134并且从第一容器壁134延伸。在一个或多个示例中，第一处理工具104包括多于一个的第一隔板150。在一个或多个示例中，如图12所示，第一处理工具104包括两个第一隔板150。每个第一隔板150沿着第一接口表面120的被构造成与第二处理工具106接口或接触的部分延伸。在图18中仅示出了一个第一隔板150。

[0154] 如图13和图18所示，在一个或多个示例中，第二处理工具106包括第二隔板154。第二隔板154联接至第二容器壁144并且从第二容器壁144延伸。在一个或多个示例中，第二处理工具106包括多于一个的第二隔板154。在一个或多个示例中，如图13所示，第二处理工具106包括两个第二隔板154。每个第二隔板154沿着第二接口表面128的被构造成与第一处理工具104接口或接触的部分延伸。在图18中仅示出了一个第二隔板154。

[0155] 参考图18，在一个或多个示例中，第一隔板150包括第一孔152。在一个或多个示例中，如图12所示，第一隔板150包括多个第一孔152。在一个或多个示例中，第二隔板154包括第二孔口156。在一个或多个示例中，如图13所示，第二隔板154包括多个第二孔156。

[0156] 如图18中所示，在关闭位置110中，第一隔板150和第二隔板154彼此接触，使得第一孔152或多个第一孔152(图12)和第二孔156或多个第二孔156(图13)彼此对准，以使气体118在第一处理工具104和第二处理工具106之间通过，例如在箭头198的方向上。

[0157] 如图18所示，在一个或多个示例中，气体118穿过对准的第一孔152和第二孔156(例如，在箭头198的方向上)从容器114的由第一处理工具104和心轴工具112形成的容器第一部分114-1移动到容器114的由第二处理工具106和心轴工具112形成的容器第二部分114-2。在一些示例中，在诸如第一隔板150和第二隔板154沿着第一接口124的全部定位在第一处理工具104和第二处理工具106之间的那些示例中，如图12和图13所示，气体118能够循环通过容器114，诸如在第一处理工具104和第二处理工具106之间围绕复合结构102通过。换句话说，通过组合起来，第一隔板150和第二隔板154与相关联的第一孔152和第二孔156的对准起到歧管的作用，该歧管被构造成在第一处理工具104和第二处理工具106之间共享气体118的供应。

[0158] 如图18所示，在一个或多个示例中，第一隔板150包括围绕第一孔152的周边延伸的第一孔密封件200。在一个或多个示例中，替代地或除此之外，第二隔板154包括围绕第二孔156的周边延伸的第二孔密封件202。在关闭位置110中，第一孔密封件200和/或第二孔密封件202围绕对准的第一孔152和第二孔156在第一隔板150和第二隔板154之间形成密封，以气体118通过。第一孔密封件200和/或第二孔密封件202防止气体118进入第一共形膜136、第二共形膜146和复合结构102之间的空间。

[0159] 图19和图20示意性地示出了包括第一隔板150和第一共形膜136的第一处理工具104的一部分的示例。虽然未明确示出，但包括第二隔板154和第二共形膜146的第二处理工具106的等效部分的示例在图19和图20中同样表示。

[0160] 参考图18至图20，在一个或多个示例中，第一共形膜136联接至第一隔板150。在一个或多个示例中，第一共形膜136被密封至第一隔板150。在一个或多个示例中，第一共形膜136的相对的第一周边第一侧222联接至第一隔板150并且密封至第一隔板150(在图18至图20中仅示出了一个第一隔板150和第一共形膜136的一个第一周边第一侧222)。

[0161] 在一个或多个示例中，第一隔板150支撑第一共形膜136。在关闭位置110中，第一隔板150将第一共形膜136定位成比第一容器壁134更靠近复合结构102的表面。第一处理工具104可以具有任何数量的(例如，一个或多个)第一隔板150，第一隔板150联接至第一容器壁134并且在任何数量的位置处支撑第一共形膜136。

[0162] 在一个或多个示例中，第二共形膜146联接至第二隔板154。在一个或多个示例中，第二共形膜146被密封至第二隔板154。在一个或多个示例中，第二共形膜146的相对的第二周边第一侧228联接至第二隔板154并且密封至第二隔板154(在图18中仅示出了一个第二隔板154和第二共形膜146的一个第二周边第一侧228)。

[0163] 在一个或多个示例中，第二隔板154支撑第二共形膜146。在关闭位置110中，第二隔板154将第二共形膜146定位成比第二容器壁144更靠近复合结构102的表面。第二处理工具106可以具有任何数量的(例如，一个或多个)第二隔板154，第二隔板154联接至第二容器

壁144并且在任何数量的位置处支撑第二共形膜146。

[0164] 参考图1、图2、图5、图9至图11、图14和图16，在一个或多个示例中，设备100包括真空系统138。在一个或多个示例中，真空系统138与形成在心轴工具112的外表面210和压缩装袋162(图5和图9)之间的容器流体连通。在一个或多个示例中，真空系统138与形成在心轴工具112的外表面210和第一共形膜136(图6、图10和图11)之间的熔剂或形成在心轴工具112的外表面210与第一共形膜136和第二共形膜146(图6)之间的容积流体连通。换言之，在关闭位置110中，在工具组件164和心轴工具112被密封在一起的情况下，真空系统138被构造成在容器114内例如在压缩装袋162(图5和图9)、第一共形膜136(图6、图10和图11)、或第一共形膜136及第二共形膜146(图6)中的一者与心轴工具112之间施加真空。在这些示例中，设备100使用负压来处理复合结构102。

[0165] 如图6、图10和图11所示，在一个或多个示例中，真空系统138被构造成在第一共形膜136和心轴工具112之间施加真空。真空施加负压以抽空第一共形膜136和心轴工具112的外表面210之间的气体。抽空第一共形膜136和心轴工具112的外表面210之间的气体有利于在第一共形膜136外部形成较高压力，从而将第一共形膜136推靠在复合结构102的外表面212上并且导致复合结构102抵靠心轴工具112的外表面210的压缩。

[0166] 如图6所示，在一个或多个示例中，真空系统138被构造成在第二共形膜146和心轴工具112之间施加真空。真空施加负压以抽空第二共形膜146和心轴工具112的外表面210之间的气体。抽空第二共形膜146与心轴工具112的外表面210之间的气体有利于在第二共形膜146外部形成较高压力，从而将第一共形膜136推靠在复合结构102的外表面212上并且导致复合结构102抵靠心轴工具112的外表面210的压缩。

[0167] 在一个或多个示例中，真空系统138包括一个或多个真空泵。在一个或多个示例中，真空系统138联接至心轴工具112。在一个或多个示例中，真空系统138联接至工具组件164，诸如第一处理工具104和/或第二处理工具106中的至少一者。在一个或多个示例中，真空系统138联接至工具组件164和心轴工具112。

[0168] 参考图1、图2、图14、图15和图21，在一个或多个示例中，真空系统138经由心轴歧管206联接至心轴工具112。如图21所示，在一个或多个示例中，心轴工具112包括穿过心轴工具112的外表面210形成的多个真空孔240。通常，真空孔240朝向心轴工具112的端部定位，超出支撑在心轴工具112上的复合结构102的周边边界。真空孔240经由多个心轴真空管线242与心轴歧管206流体连通。

[0169] 参考图1、图2、图14、图15和图20，在一个或多个示例中，真空系统138经由工具歧管204联接至工具组件164，诸如第一处理工具104和/或第二处理工具106。如图20所示，在一个或多个示例中，工具组件164(诸如第一处理工具104和/或第二处理工具106)包括位于第一共形膜136和/或第二共形膜146上或联接至第一共形膜136和/或第二共形膜146(图20中未示出)的至少一个真空连接件246。真空连接件246经由多个工具真空管线244与工具歧管204流体连通。与第一共形膜136(图20)相关联的真空连接件246与第一共形膜136和心轴工具112的外表面212之间的容积流体连通。与第二共形膜146(图20中未示出)相关联的真空连接件246与第二共形膜146和心轴工具112的外表面212之间的容积流体连通。

[0170] 如图5和图9所示，在一个或多个示例中，设备100包括压缩装袋162。压缩装袋162被构造成包围或围绕由心轴工具112支撑的复合结构102。通常，压缩装袋162是消耗品。在

一个或多个示例中，压缩装袋162围绕复合结构102被气密地密封至心轴工具112的外表面210。在一个或多个示例中，在工具组件164关闭并且密封至心轴工具112以包围或围绕复合结构102形成容器114之前，将压缩装袋162施加至复合结构102。

[0171] 在一个或多个示例中，加压系统140被构造成在第一容器壁134和压缩装袋162之间施加正压(图5和图9)。在一个或多个示例中，加压系统140被构造成在第二容器壁144和压缩装袋162之间施加正压(图5)。在这些示例中，压缩装袋162通过位于容器114内的加压气体118压靠(例如，推靠)在复合结构102的外表面212上，以将复合结构102压缩在压缩装袋162和心轴工具112的外表面210之间。

[0172] 在一个或多个示例中，压缩装袋162保护复合结构102免受与位于容器114内的气体118的相互作用。在一个或多个示例中，气体118是空气。在一个或多个示例中，气体118是惰性气体，诸如氮气。

[0173] 在一个或多个示例中，真空系统138被构造成在心轴工具112和压缩装袋162之间施加真空。在这些示例中，压缩装袋162的周边超过形成在心轴工具112中的真空孔240(图21)的位置联接至心轴工具112的外表面210并且密封至心轴工具112的外表面210。真空施加负压以抽空压缩装袋162与心轴工具112的外表面210之间的气体。抽空压缩装袋162与心轴工具112的外表面210之间的气体促进在压缩装袋162外部形成较高压力，因此将压缩装袋162推靠在复合结构102的外表面212上，且导致复合结构102抵靠心轴工具112的外表面210的压缩。

[0174] 虽然图11中示出的工具组件164的示例构造示出了第一共形膜136的使用，但是在工具组件164的这种构型的其他示例中，压缩装袋162被密封至心轴工具112并且包围或围绕复合结构102。

[0175] 在各种示例中，第一共形膜136和/或第二共形膜146代替压缩装袋162或用作压缩装袋162的基本上类似的目的。在这些示例中，设备100有利地减少了诸如压缩装袋162之类的消耗材料的使用。在其他示例中，设备100使用压缩装袋162和第一共形膜136和/或第二共形膜146两者。

[0176] 参考图1、图2、图14、图16和图20，在一个或多个示例中，工具歧管204位于第一处理工具104上或与第一处理工具104相关联。工具歧管204使得加压系统140、加热系统116和/或真空系统138能够与工具组件164连接(例如，电连接、数据数据、流体连接等)。工具歧管204有利地使得加压系统140、加热系统116和真空系统138能够在容器114的外部与工具组件164操作连接。

[0177] 在第一处理工具104和第二处理工具106彼此流体连通的示例中，诸如在图12、图13和图18至图20中示出的示例中，工具组件164可以仅使用与第一处理工具104或第二处理工具106中的一者相关联的一个工具歧管204。在第一处理工具104和第二处理工具106彼此不流体连通的示例中，工具组件可以使用两个工具歧管204(仅示出一个工具歧管204)，每个工具歧管204与第一处理工具104和第二处理工具106中的相应一者相关联。

[0178] 在一个或多个示例中，工具歧管204被构造成将由加热系统116加热的气体118路由到容器114中。

[0179] 在一个或多个示例中，工具歧管204被构造成将电力路由到加热系统116以加热第一容器壁134、第二容器壁144、第一共形膜136、第二共形膜146、第一垫板142和第二垫板

148中的至少一者。

[0180] 在一个或多个示例中，工具歧管204被构造成将加压系统140加压的气体118路由到容器114中。

[0181] 参考图1、图2、图14、图16和图21，在一个或多个示例中，心轴歧管206使得真空系统138和加热系统116能够与心轴工具112连接(例如，电连接、数据连接、流体连接，等等)。心轴歧管206有利地使得真空系统138和加热系统116能够在容器114外部与心轴工具112操作连接。

[0182] 在一个或多个示例中，心轴歧管206被构造成将由真空系统138从压缩装袋162和心轴工具112之间或从第一共形膜136和/或第二共形膜146和心轴工具112之间移除的气体进行路由。

[0183] 在一个或多个示例中，心轴歧管206被构造成将电力路由到加热系统116以加热心轴工具112。

[0184] 在一个或多个示例中，复合结构102可以包括具有闭合横截面形状的部分，该闭合横截面形状具有开口内部。例如，复合结构102可以包括面板和联接至面板的面板加强件(例如，帽形桁条)。在这样的示例中，可膨胀气囊(未示出)位于由面板的闭合横截面形状形成的开口内部与加强件之间。在一个或多个示例中，心轴歧管206还被构造成将(诸如来自加压系统140的)加压气体从工具组件164的外部输送到可膨胀气囊。通常，可膨胀气囊位于由面板的闭合横截面形状和加强件形成的中空空间内(例如，在帽形桁条内)，以防止加强件(例如，桁条)在处理期间被压溃。

[0185] 如图2中最佳所示，在一个或多个示例中，在关闭位置110中，心轴工具112的一部分位于容器114的外部。例如，心轴工具112的相对端部214从工具组件164延伸(例如，延伸超过第一容器端部194和第二容器端部196)并且位于容器114的外部。该构造使得能够在处于关闭位置110中在心轴工具112位于工具组件164内的同时将加热系统116和/或真空系统138例如连接和心轴歧管206和从心轴歧管206断开。

[0186] 参照图2、图4和图8，在一个或多个示例中，设备100包括一对端盖158。在图2、图4和图8中，仅一个端盖158是可见的。端盖158构造成密封心轴工具112的开口端部232(图3和图7)。在图3和图7中仅可见心轴工具112的开口端部232中的一个。例如，端盖158密封心轴工具112的开口端部232并且封闭心轴工具112的内部容积160，使得内部容积160可以在复合结构102的处理期间被加压。

[0187] 在一个或多个示例中，端盖158被构造成联接至心轴工具112的开口端部232并且围绕心轴工具112的开口端部232气密密封，心轴工具112的开口端部232位于工具组件164的外部。用端盖158密封开口端部232封闭并密封心轴工具112的内部容积160。在心轴工具112的内部容积160被密封的情况下，内部容积160可以例如使用加压系统140被加压。对心轴工具112的内部体积160加压增加了心轴工具112的结构完整性，以对在处理期间由工具组件164施加至心轴工具112的正压做出反应。

[0188] 在一个或多个示例中，端盖158联接至工具组件164或形成工具组件164的一部分。在一个或多个示例中，端盖158联接至心轴工具112或形成心轴工具112的一部分。

[0189] 在一个或多个示例中，心轴歧管206被构造成将加压气体(诸如来自加压系统140)引导到心轴工具112的内部容积160中。

[0190] 如在图1和图2中最佳示出的，在一个或多个示例中，设备100包括处理推车184。处理推车184被构造成在处理期间支撑心轴工具112。在关闭位置110中，处理推车184(例如，整个处理推车184)位于容器114的外部。将处理推车184定位在由工具组件164和心轴工具112形成的容器114之外减少了处理复合结构102所需的体积，并且减少了在复合结构102的处理期间加热的热质量，从而减少了循环时间并减少了处理复合结构102所需的能量。

[0191] 参照图22，在一个或多个示例中，心轴工具112被构造成使复合结构102的内模线(inner mold line)190成形。在这些示例中，工具组件164(例如第一处理工具104或第一处理工具104及第二处理工具106)被构造成使复合结构102的外模线192成形。在示例中，第一共形膜136或第一垫板142使复合结构102的外模线(outer mold line)192的至少一部分成形。在示例中，第一共形膜136或第一垫板142使复合结构102的外模线192的一部分成形，并且第二共形膜146或第二垫板148使外模线192的另一部分成形。

[0192] 参考图23，在一个或多个示例中，心轴工具112被构造成使复合结构102的外模线192成形。在这些示例中，工具组件164(例如第一处理工具104或第一处理工具104及第二处理工具106)被构造成使复合结构102的内模线190成形。在示例中，第一共形膜136或第一垫板142使复合结构102的内模线190的至少一部分成形。在示例中，第一共形膜136或第一垫板142使复合结构102的内模线190的一部分成形，并且第二共形膜146或第二垫板148使内模线190的另一部分成形。

[0193] 如上所述并且总体上如在图3至图11中示出的，工具组件164具有与心轴工具112和由心轴工具112支撑的复合结构102的横截面形状互补的横截面形状。与传统的压热器或烘箱处理设备相比，与心轴工具112的横截面形状互补且大致匹配的工具组件164的横截面形状有利地减小了充分处理复合结构102所需的设备的尺寸。整体尺寸的这种减小有益地提高了设备100的效率，并且为设施布局提供了更小的占用空间。

[0194] 参考图24，在一个或更多示例中，第一处理工具104包含第一开放横截面形状168。在一个或多个示例中，第一处理工具104(例如，第一开放横截面形状168)与心轴工具112的第一部分(诸如心轴工具112的第一半部或第一侧)互补。在一个或多个示例中，第一容器壁134包括第一非平面构件174。第一容器壁134的第一非平面构件174围绕心轴工具112的第一部分。该构造的示例在图3至图11中示出。

[0195] 在一个或多个示例中，第二处理工具106包括第二开放横截面形状170。在一个或多个示例中，第二处理工具106(例如，第二开放横截面形状170)与心轴工具112的第二部分(诸如心轴工具112的第二半部或相对的第二侧)互补。在一个或多个示例中，第二容器壁144包括第二非平面构件178。第二容器壁144的第二非平面构件178围绕心轴工具112的第二部分。该构造的示例在图3至图6中示出。

[0196] 在一或多个示例中，第二处理工具106包含第一平面横截面形状172。在一个或多个示例中，第二处理工具106(例如，第一平面横截面形状172)与心轴工具112的一部分(诸如心轴工具112的第二半部或相对的第二侧)互补。在一个或多个示例中，第二容器壁144包括平面(planar)构件176。平面构件176支撑心轴工具112。该构造的示例在图7至图10中示出。

[0197] 在一个或多个示例中，心轴工具112包括闭合横截面形状182。第一容器壁134的第一开放横截面形状168与心轴工具112的闭合横截面形状182的第一部分互补。第二容器壁

144的第二开放横截面形状170与心轴工具112的闭合横截面形状182的第二部分互补。

[0198] 在一个或多个示例中，心轴工具112的闭合横截面形状182是圆形的，并且第一容器壁134的第一开放横截面形状168和第二容器壁144的第二开放横截面形状170各自是半圆形的。在该示例中，心轴工具112的圆形横截面形状和第一容器壁134和第二容器壁144的半圆形横截面形状可以用于形成具有圆形横截面形状的复合结构102，诸如飞行器机身的筒段。该构造的示例在图3至图6中示出。

[0199] 在一个或多个示例中，心轴工具112包括第三开放横截面形状186。第一容器壁134的第一开放横截面形状168与心轴工具112的第三开放横截面形状186互补。第二容器壁144的第一平面横截面形状172被构造成支撑心轴工具112以用于处理。该构造的示例在图7至图10中示出。

[0200] 在一个或多个示例中，心轴工具112包括第二平面横截面形状188。第一容器壁134的第一开放横截面形状168与心轴工具112的第二平面横截面形状188的第一部分(诸如心轴工具112的第一表面)互补。第二容器壁144的第一平面横截面形状172与心轴工具112的第二平面横截面形状188的第二部分(诸如心轴工具112的相对的第二表面)互补，以支撑心轴工具112。

[0201] 在一个或多个示例中，心轴工具112包括复杂横截面形状208。第一容器壁134的第一开放横截面形状168与心轴工具112的复杂横截面形状208的第一部分互补。第二容器壁144的第二开放横截面形状170与心轴工具112的复杂横截面形状208的第二部分互补。或者，第二容器壁144的第一平面横截面形状172与心轴工具112的复杂横截面形状208的第二部分互补，以支撑心轴工具112。

[0202] 也可预期其它构造，例如第一处理工具104、第二处理工具106和心轴工具112的其它横截面形状。

[0203] 参考图25，作为示例，本公开还涉及处理复合结构102的方法1000。一般地参考图1至图24，在一个或多个示例中，使用所公开的设备100来执行方法1000的实现。

[0204] 根据所公开的方法1000执行的处理包括任何合适的制造过程，其中使用热、压力或热和压力的组合来处理复合结构102。在示例中，方法1000被绘制成压紧过程，其中将复合叠层(layup)压紧以去除捕获的空气。在另一示例中，方法1000被绘制到压实(debulking)过程，其中在中等的热和压力和/或真空下压实厚的层压件以移除大部分空气，以确保在工具上就位，并且防止褶皱。在又一示例中，方法1000被绘制到固化过程，其中热固性树脂的性质通过在热和压力和/或真空下的化学反应而改变。

[0205] 在一个或多个示例中，方法1000包括铺设复合结构的步骤(框1002)。在一个或多个示例中，铺设复合结构的步骤(框1002)包括在心轴工具112上铺设复合结构102的步骤。心轴工具112被构造成在处理期间支撑复合结构102并且向复合结构102的至少一部分提供形状。

[0206] 在一个或多个示例中，铺设复合结构的步骤(框1002)还包括在复合结构102上施加压缩装袋162的步骤和将压缩装袋162气密地密封至心轴工具112以将复合结构102密封在压缩装袋162内的步骤。可以理解，并不是在所公开的方法1000的每个示例实施方式中都必须使用压缩装袋162。

[0207] 在一个或多个示例中，方法1000包括定位心轴工具112的步骤(框1004)。在一个或

多个示例中，定位心轴工具的步骤(框1004)包括相对于工具组件164定位心轴工具112的步骤，诸如定位在第一处理工具104和第二处理工具106之间的步骤。在一个或多个示例中，使用支撑心轴工具112的处理推车184执行相对于工具组件164定位心轴工具112的步骤。

[0208] 在一个或多个示例中，定位心轴工具的步骤(框1004)包括以下步骤：在工具组件164处于打开位置108的情况下，将心轴工具112定位(例如，移动)在工具组件164内，诸如定位在第一处理工具104和第二处理工具106之间。

[0209] 在一个或多个示例中，心轴工具112包括闭合横截面形状182。第一处理工具104包括与心轴工具112的闭合横截面形状182的第一部分互补的第一开放横截面形状168。第二处理工具106包括与心轴工具112的闭合横截面形状182的第二部分互补的第二开放横截面形状170。第一处理工具104和第二处理工具106在气密密封在一起并与心轴工具112气密密封时包围复合结构102，以在关闭位置110中形成容器114。

[0210] 在一个或多个示例中，定位心轴工具112的步骤(框1004)包括以下步骤：在工具组件164处于打开位置108的情况下，将支撑复合结构102的心轴工具112定位在第二处理工具106上。

[0211] 在一个或多个示例中，心轴工具112包括第二平面横截面形状188。第二处理工具106包括第一平面横截面形状172，其被构造成支撑心轴工具112的第二平面横截面形状188。第一处理工具104包括与复合结构102的形状(诸如复合结构102的内模线190或外模线192)互补的第一开放横截面形状168。

[0212] 在一个或多个示例中，方法1000包括关闭工具组件164的步骤(框1006)。在一个或多个示例中，关闭工具组件164的步骤(方框1006)包括将工具组件164的第一处理工具104和第二处理工具106从打开位置108(其中第一处理工具104和第二处理工具106分隔开)定位到关闭位置110的步骤。通常，关闭工具组件164(例如，通过将第一处理工具104和第二处理工具106定位在关闭位置110中)的步骤(框1006)将工具组件164(例如，第一处理工具104和第二处理工具106)放置成与支撑复合结构102的心轴工具112接触，以形成包围复合结构102的容器114。

[0213] 在一个或多个示例中，将工具组件164从打开位置108定位到关闭位置110的步骤包括使第一处理工具104和第二处理工具106中的至少一者相对于彼此移动的步骤。在示例中，第一处理工具104和第二处理工具106中的至少一者相对于另一者在打开位置108和关闭位置110之间线性地(例如，大致水平地或大致竖直地)移动。在另一示例中，第一处理工具104相对于第二处理工具106在打开位置108和关闭位置110之间枢转地移动。

[0214] 在一个或多个示例中，方法1000包括将工具组件164与心轴工具112密封的步骤(框1008)。在一个或多个示例中，将工具组件164与心轴工具112密封的步骤(框1008)包括将工具组件164和心轴工具112气密地密封在一起的步骤。通常，关闭工具组件164(例如，通过将第一处理工具104和第二处理工具106定位在关闭位置110中)的步骤(框1006)将工具组件164密封(例如，将第一处理工具104和第二处理工具106彼此密封)，并且将工具组件164(例如，第一处理工具104和第二处理工具106)与支撑复合结构102的心轴工具112密封，并且由此密封包围复合结构102的容器114(例如，形成密封容器114)。

[0215] 在一个或多个示例中，将工具组件164和心轴工具112密封在一起的步骤(框1008)包括将第一处理工具104密封至支撑复合结构102的心轴工具112的步骤。将工具组件164和

心轴工具112密封在一起的步骤(框1008)还包括将第二处理工具106密封至第一处理工具104和心轴工具112的步骤。

[0216] 在一个或多个示例中,将工具组件164和心轴工具112密封在一起的步骤(框1008)包括将第一处理工具104密封至第二处理工具106和心轴工具112的步骤。

[0217] 在一个或多个示例中,将工具组件164和心轴工具112密封在一起的步骤(框1008)包括将第一处理工具104密封至心轴工具112的步骤。

[0218] 在一个或多个示例中,方法1000包括形成容器114的步骤(框1010)。在一个或多个示例中,形成容器114的步骤(框1010)通过以下步骤实现:关闭工具组件的步骤(框1006);和将工具组件164和心轴工具112密封在一起的步骤(框1008)。容器114包围复合结构102。

[0219] 在一个或多个示例中,形成容器114的步骤(框1010)包括利用第一处理工具104、第二处理工具106和心轴工具112形成包围复合结构102的容器114。

[0220] 在一个或多个示例中,形成容器114的步骤(框1010)包括利用第一处理工具104和心轴工具112形成包围复合结构102的容器114的步骤。

[0221] 在一个或多个示例中,方法1000包括处理复合结构102的步骤(框1012)。在一个或多个示例中,处理复合结构102的步骤(框1012)包括施加热量的步骤。在一个或多个示例中,处理复合结构102的步骤(框1012)包括施加压力的步骤。在一个或多个示例中,处理复合结构102的步骤(框1012)包括施加热量和压力。在一个或多个示例中,处理复合结构102的步骤(框1012)包括将压力和热量中的至少一者施加至复合结构102的步骤,例如以执行压紧操作、压实操作或固化操作。

[0222] 在一个或多个示例中,施加压力的步骤包括使用正压。在一个或多个示例中,向复合结构102施加压力的步骤包括对位于容器114内的气体118加压的步骤。在这些示例中,加压气体118(正压)推靠复合结构102的外表面212,以抵靠心轴工具112的外表面210压缩复合结构102。

[0223] 在一个或多个示例中,施加压力的步骤包括使用负压。在一个或多个示例中,向复合结构102施加压力的步骤包括在包围或围绕复合结构102的压缩装袋162和心轴工具112之间施加真空(负压)的步骤。在这些示例中,负压抽空压缩装袋162和复合结构102的外表面212之间的气体以产生压差。通常,抽空压缩装袋162下方的气体(例如,真空装袋)促进在压缩装袋162外部形成较高压力,以推靠压缩装袋162,从而导致复合结构102的压缩。在这些示例中,真空系统138用于在压缩装袋162和心轴工具112之间施加真空。另外,抽空压缩装袋162下方的气体去除了空气、水蒸气和/或在处理期间可能从复合结构102逸出的其它挥发物。

[0224] 在一个或多个示例中,向复合结构102施加压力的步骤包括在第一处理工具104的第一容器壁134与联接至第一容器壁134的第一共形膜136之间施加正压的步骤。例如,施加正压的步骤包括增加容器114内的大气压力的步骤,从而增加处理期间作用在复合结构102上的压缩力。在这些示例中,容器114中的加压气体118将第一共形膜136推靠在复合结构102的外表面212的一部分上,以抵靠心轴工具112的外表面210压缩复合结构102。在这些示例中,加压系统140用于对第一容器壁134与第一共形膜136之间的气体118加压,并且对第一共形膜136施加压力。

[0225] 在一个或多个示例中,将压力施加至复合结构102的步骤包括在心轴工具112和第

一共形膜136之间施加真空(负压)的步骤。在这些示例中,负压抽空第一共形膜136和心轴工具112的外表面210之间的气体以产生压差。通常,抽空第一共形膜136和心轴工具112的外表面210之间的气体有利于在第一共形膜136外部形成较高压力以推靠第一共形膜136,从而导致复合结构102的压缩。在这些示例中,真空系统138用于在第一共形膜136和心轴工具112之间施加真空。另外,抽空第一共形膜136和心轴工具112之间的气体去除了空气、水蒸气和/或在处理期间可能从复合结构102逸出的其他挥发物。在这些示例中,第一共形膜136可以代替压缩装袋162或起到与压缩装袋162类似的目的。

[0226] 在一个或多个示例中,处理复合结构102的步骤(框1012)包括使用第一共形膜136和/或压缩装袋162使复合结构102的一部分成形的步骤。

[0227] 在一个或多个示例中,经由容器114中的加压气体118施加正压将第一共形膜136和/或压缩装袋162推靠在复合结构102的外表面212的一部分上,这继而使复合结构102的外表面212的形状成形。

[0228] 在一个或多个示例中,容器大气压力与第一共形膜136和心轴工具112之间或压缩装袋162下方的真空之间的压力差导致在处理期间对复合结构102施加压缩力。

[0229] 在一个或多个示例中,复合结构102的由第一共形膜136或压缩装袋162成形的部分是复合结构102的外模线192的至少一部分。在这些示例中,心轴工具112使复合结构102的内模线190成形。

[0230] 在一个或多个示例中,复合结构102的由第一共形膜136或压缩装袋162成形的部分是复合结构102的内模线190的至少一部分。在这些示例中,心轴工具112使复合结构102的外模线192成形。

[0231] 在一个或多个示例中,处理复合结构102的步骤(框1012)包括使用联接至第一共形膜136的第一垫板142使复合结构102的一部分成形和/或平滑的步骤。在这些示例中,由于第一共形膜136上的压力(例如,正压)和/或真空(例如,负压)的施加,第一垫板142推在复合结构102的外表面212的一部分上,以使复合结构102的外表面212成形和/或平滑。例如,通过第一共形膜136的任一侧上的压差将第一垫板142推入复合结构102中,以使复合结构102的外表面212成形和/或平滑。

[0232] 在一个或多个示例中,复合结构102的由第一垫板142成形的部分是复合结构102的外模线192的至少一部分。在这些示例中,心轴工具112使复合结构102的内模线190成形。

[0233] 在一个或多个示例中,复合结构102的由第一垫板142成形的部分是复合结构102的内模线190的至少一部分。在这些示例中,心轴工具112使复合结构102的外模线192成形。

[0234] 在一个或多个示例中,将压力施加至复合结构102的步骤包括在第二处理工具106的第二容器壁144和联接至第二容器壁144的第二共形膜146之间施加正压的步骤。例如,施加正压的步骤包括增加容器114内的大气压力的步骤,从而在处理期间增加复合结构102上的压缩力。在这些示例中,容器114中的加压气体118将第二共形膜146推靠在复合结构102的外表面212的一部分上,以抵靠心轴工具112的外表面210压缩复合结构102。在这些示例中,加压系统140用于对位于第二容器壁144和第二共形膜146之间的气体118加压,并且对第一共形膜136施加压力。

[0235] 在一个或多个示例中,将压力施加至复合结构102的步骤包括在心轴工具112和第二共形膜146之间施加真空(负压)的步骤。在这些示例中,负压抽空第二共形膜146和心轴

工具112的外表面210之间的气体以产生压差。通常，在第二共形膜146和心轴工具112的外表面210之间抽空气体有利于在第二共形膜146外部形成较高压力以推靠第二共形膜146，从而导致复合结构102的压缩。在这些示例中，真空系统138用于在第二共形膜146和心轴工具112之间施加真空。另外，抽空第二共形膜146和心轴工具112之间的气体去除了空气、水蒸气和/或在处理期间可能从复合结构102逸出的其他挥发物。在这些示例中，第二共形膜146可以代替压缩装袋162或提供与压缩装袋162类似的目的。

[0236] 在一个或多个示例中，处理复合结构102的步骤(框1012)包括使用第二共形膜146和/或压缩装袋162使复合结构102的一部分成形的步骤。

[0237] 在一个或多个示例中，经由容器114中的加压气体118施加正压将第二共形膜146和/或压缩装袋162推靠在复合结构102的外表面212的一部分上，这继而使复合结构102的外表面212的形状成形。

[0238] 在一个或多个示例中，容器大气压力与第二共形膜146和心轴工具112之间或压缩装袋162下方的真空之间的压力差导致在处理期间对复合结构102施加压缩力。

[0239] 在一个或多个示例中，复合结构102的由第二共形膜146成形的部分是复合结构102的外模线192的至少一部分。在这些示例中，心轴工具112使复合结构102的内模线190成形。

[0240] 在一个或多个示例中，复合结构102的由第二共形膜146成形的部分是复合结构102的内模线190的至少一部分。在这些示例中，心轴工具112使复合结构102的外模线192成形。

[0241] 在一个或多个示例中，处理复合结构102的步骤(框1012)包括使用联接至第二共形膜146的第二垫板148使复合结构102的一部分成形和/或平滑的步骤。在这些示例中，由于第二共形膜146上的压力(例如，正压)和/或真空(例如，负压)的施加，第二垫板148推在复合结构102的外表面212的一部分上，以使复合结构102的外表面212成形和/或平滑。例如，通过第二共形膜146的任一侧上的压差将第二垫板148推入复合结构102中，以成形和/或平滑复合结构102的外表面212。

[0242] 在一个或多个示例中，复合结构102的由第二垫板148成形的部分是复合结构102的外模线192的至少一部分。在这些示例中，心轴工具112使复合结构102的内模线190成形。

[0243] 在一个或多个示例中，复合结构102的由第二垫板148成形的部分是复合结构102的内模线190的至少一部分。在这些示例中，心轴工具112使复合结构102的外模线192成形。

[0244] 在一个或多个示例中，处理复合结构102的步骤(框1012)包括加热工具组件164、位于容器114内的气体118和心轴工具112中的至少一者以加热复合结构102的步骤。

[0245] 在一个或多个示例中，将压力和热量中的至少一者施加至复合结构102的步骤包括在关闭位置110中使气体108在第一处理工具104和第二处理工具106之间传递的步骤。在这些示例中，气体118是加热气体和加压气体中的至少一种。在这些示例中，使用加压系统140对气体118加压。在这些示例中，使用加热系统116加热气体118。

[0246] 在一个或多个示例中，处理复合结构102的步骤(框1012)包括以下步骤中的两个或更多个的组合：(1)在第一容器壁134和第一共形膜136之间施加压力；(2)在第二容器壁144和第二共形膜146之间施加压力；(3)在心轴工具112和第一共形膜136之间施加真空；(4)在心轴工具112和第二共形膜146之间施加真空；(5)在压缩装袋162和心轴工具112之间

施加真空；(6)加热工具组件164(例如，第一处理工具104、第二处理工具106、第一共形膜136、第二共形膜146、第一垫板142和/或第二垫板148)；(7)加热位于容器114内的气体118；以及(8)加热心轴工具112。

[0247] 在一个或多个示例中，处理复合结构102的步骤(框1012)包括使用心轴工具112使复合结构102的内模线190成形的步骤和使用工具组件164使复合结构102的外模线192的至少一部分成形的步骤。

[0248] 在一个或多个示例中，处理复合结构102的步骤(框1012)包括使用心轴工具112使复合结构102的外模线192成形的步骤和使用工具组件164使复合结构102的内模线190的至少一部分成形的步骤。

[0249] 在一个或多个示例中，心轴工具112包括闭合横截面形状182。在一个或多个示例中，处理复合结构102的步骤(框1012)包括对由心轴工具112形成的内部容积160加压的步骤。对心轴工具112的内部容积160加压使得心轴工具112能够在结构上与在处理期间施加至复合结构102和心轴工具112的正压做出反应。在这些示例中，使用一对端盖158封闭心轴工具112的内部容积160，并且使用加压系统140加压心轴工具112的内部容积160。

[0250] 在一个或多个示例中，心轴工具112包括第三开放横截面形状186。在一个或多个示例中，处理复合结构102的步骤(框1012)包括对由心轴工具112至少部分地形成的内部容积160加压的步骤。对心轴工具112的内部容积160加压使得心轴工具112能够在结构上与在处理期间施加至复合结构102和心轴工具112的正压做出反应。在这些示例中，使用一对端盖158封闭心轴工具112的内部容积160，并且使用加压系统140加压心轴工具112的内部容积160。

[0251] 在一个或多个示例中，处理复合结构102的步骤(框1012)包括响应于将压紧压力施加至复合结构102而压紧复合结构102的步骤。

[0252] 在一个或多个示例中，处理复合结构102的步骤(框1012)包括响应于将压实压力和压实热量中的至少一者施加至复合结构102而将复合结构102压实的步骤。

[0253] 在一个或多个示例中，处理复合结构102的步骤(框1012)包括响应于将固化压力和固化热量中的至少一者施加至复合结构102而固化复合结构102的步骤。

[0254] 因此，所公开的设备100和方法1000通过将心轴工具112与工具组件164结合来提供最小尺寸的容器114(例如，处理腔室)，该工具组件164与心轴工具112互补以形成包围或围绕复合结构102的容器114。与传统压热器相比，容器114的最小体积导致容器114的加热和通风的显著减少。例如，更少的体积导致在每个处理循环期间更快的加压和更快的加热和冷却。

[0255] 现在参考图26和图27，设备100和方法1000的示例可以在如图26的流程图所示的飞行器制造和保养方法1100和如图27示意性所示的飞行器1200的背景下使用。

[0256] 参考图27，在一个或多个示例中，飞行器1200包括机身1202和多个高级系统1204。高级系统1204的示例包括推进系统1208、电气系统1210、液压系统1212和环境系统1214中的一者或多者。在其他示例中，飞行器1200可以包括任何数量的其他类型的系统，诸如通信系统、引导系统等。

[0257] 使用设备100或根据方法1000制造的复合结构102可以是飞行器1200的结构、组件、子组件、部件、零件或任何其他部分中的任一者，诸如高级系统1204中的一者或多者、机

身1202的一部分、内部1206。例如，复合结构102可以是飞行器翼梁、机翼部分、机身筒段、内部面板、外部蒙皮面板等中的任何一者。

[0258] 参考图26，在预生产期间，方法1100包括飞行器1200的规格和设计(框1102)和材料采购(框1104)。在飞行器1200的生产期间，发生飞行器1200的部件和子组件制造(框1106)和系统集成(框1108)。此后，飞行器1200经历认证和交付(框1110)以投入使用(框1112)。日常维护和保养(方框1114)包括飞行器1200的一个或多个系统的修改、重新构造、翻新等。

[0259] 图26中所示的方法1100的每个过程可以由系统集成商、第三方和/或运营商(例如，客户)来进行或执行。出于本说明书的目的，系统集成商可以包括但不限于任何数量的航天器制造商和主系统分包商；第三方可以包括但不限于任何数量的供应商、分包商和供货商；并且运营商可以是航空公司、租赁公司、军事实体、服务组织等。

[0260] 本文中示出和描述的设备100和方法1000的示例可以在图26所示的流程图中示出的制造和保养方法1100的任何一个或多个阶段期间采用。在示例中，所公开的设备100和方法1000的实施方式可以形成部件和子组件制造(框1106)和/或系统集成(框1108)的一部分。例如，使用所公开的设备100和方法1000的实施方式的飞行器1200、机身1202和/或其部件的组装可以对应于部件和子组件制造(框1106)，并且可以以在飞行器1200投入使用(框1112)时准备的部件或子组件类似的方式来准备。此外，可以在系统集成(框1108)和认证和交付(框1110)期间利用所公开的设备100和方法1000的实施方式。类似地，可以例如但不限于当飞行器1200处于在使用期间(框1112)的同时以及在维护和保养(框1114)期间使用所公开的设备100和方法1000的实施方式。

[0261] 因此，参考图1至图27，还公开了使用设备100制造飞行器1200的一部分(图11)的方法。还公开了根据方法1000制造的飞行器1200的一部分。

[0262] 虽然示出了航空航天示例，但是本文所公开的示例和原理可以应用于其他行业，诸如汽车行业、空间行业、建筑行业以及其他设计和制造行业。因此，除了飞行器之外，本文公开的示例和原理可以应用于其他车辆(例如，陆地车辆、船舶、宇宙飞船等)的复合结构和独立的结构。

[0263] 如本文所使用的，“被构造成”执行指定功能的系统、设备、装置、结构、物品、元件、组件或硬件确实能够在没有任何改变的情况下就执行指定功能，而不是仅在进一步修改之后具有执行指定功能的潜力。换言之，“被构造成”执行指定功能的系统、设备、装置、结构、物品、元件、组件或硬件被具体地选择、创建、实现、利用、编程和/或设计用于执行指定功能的目的。如本文所使用的，“被构造成”表示使得系统、设备、结构、物品、元件、部件或硬件能够在没有进一步修改的情况下执行指定功能的系统、设备、结构、物品、元件、部件或硬件的现有特性。出于本公开的目的，被描述为“被构造成”执行特定功能的系统、设备、装置、结构、物品、元件、组件或硬件可以附加地或替代地被描述为“适于”和/或“可操作地”执行该功能。

[0264] 除非另有说明，否则术语“第一”、“第二”、“第三”等在本文中仅作为标签使用，并且不旨在对这些术语所指的项目施加顺序、位置或层次要求。此外，对例如“第二”项目的引用不要求或排除例如“第一”或较低编号项目和/或例如“第三”或更高编号项目的存在。

[0265] 出于本公开的目的，术语“联接”和类似术语指的是彼此接合、链接、紧固、附接、连

接、设置成连通或以其他方式相关联(例如,机械地、电气地、流体地、光学地、电磁地)的两个或更多个元件。在各种示例中,这些元件可以直接或间接地相关联。作为示例,元件A可以与元件B直接相关联。作为另一示例,元件A可以例如经由另一元件C间接地与元件B相关联。因此,也可以存在除了附图中描绘的那些联接之外的联接。

[0266] 如本文中所使用,术语“大约”和“近似地”是指或表示接近但不完全是所陈述的条件的条件,该条件仍执行所要功能或实现所要结果。作为示例,术语“大约”和“近似地”是指在可接受的预定公差或精度内的条件。例如,术语“大约”和“近似地”是指在所陈述的条件的10%内的条件。然而,术语“大约”和“近似地”不排除确切地为所陈述的条件的条件。

[0267] 在上面提到的图22至图24中,块可以表示功能元件、特征或其组件,并且连接各个块的线不一定暗示任何特定的结构。因此,可以对所示结构进行修改、添加和/或省略。另外,本领域技术人员将理解,并不是在上面提到的图1至图24、图27中描述和示出的所有元件都需要被包括在每个示例中,并且并不是在每个说明性示例中都必然描绘本文所描述的所有元件。除非另有明确说明,否则在上面提到的图1至图24、图27中描绘的示例的示意图并不意味着暗示关于说明性示例的结构限制。相反,尽管指示了一个说明性结构,但是应当理解的是,可以在适当时修改该结构。

[0268] 在上面提到的图25和图26中,框可以表示操作、步骤和/或其部分,并且连接各个框的线并不暗示操作或其部分的任何特定顺序或依赖性。将理解,并非必须表示各种所公开操作当中的所有依赖性。图25和图26以及描述本文阐述的所公开的方法的操作的所附公开内容不应当被解释为必须确定要执行操作的顺序。相反,尽管指示了一个说明性的顺序,但是应当理解的是,可以在适当时修改这些操作的顺序。因此,可以对所示出的操作进行修改、添加和/或省略,并且可以以不同的顺序或同时地执行某些操作。另外,所属领域的技术人员将了解,并非需要执行所描述的所有操作。

[0269] 此外,贯穿本说明书对特征、优点或本文使用的类似语言的引用并不暗示可以利用本文公开的示例实现的所有特征和优点应当是或在任何单个示例中。相反,参考特征和优点的语言被理解为意味着结合示例描述的特定特征、优点或特性被包括在至少一个示例中。因此,贯穿本公开所使用的特征、优点和类似语言的讨论可以但不一定是指相同的示例。

[0270] 所描述的一个示例的特征、优点和特性可以以任何合适的方式在一个或多个其他示例中组合。相关领域的技术人员将认识到,可以在没有特定示例的一个或多个具体特征或优点的情况下实践本文描述的示例。在其他情况下,在某些示例中可以识别可能不存在于所有示例中的附加特征和优点。此外,尽管已经示出和描述了设备100和方法1000的各种示例,但是本领域技术人员在阅读本说明书时可以进行修改。本申请包括这样的修改,并且仅由权利要求的范围限制。

[0271] 此外,本公开包括以下列举的条款,这些条款限定了本公开的示例性实施例。

[0272] 1.一种处理复合结构的方法,所述方法包括:

[0273] 将工具组件的第一处理工具和所述工具组件的第二处理工具从打开位置定位到关闭位置,在所述打开位置中,所述第一处理工具和所述第二处理工具分隔开,在所述关闭位置中,所述第一处理工具和所述第二处理工具密封至彼此并且密封至支撑所述复合结构的心轴工具,以形成包围所述复合结构的容器;以及

[0274] 处理所述复合结构。

[0275] 2.根据条款1所述的方法，所述方法还包括：在所述工具组件处于所述打开位置的情况下，将所述心轴工具定位在所述工具组件的所述第一处理工具与所述第二处理工具之间。

[0276] 3.根据条款1或2所述的方法，其中，处理所述复合结构包括对位于所述容器内的气体加压。

[0277] 4.根据前述条款中任一项所述的方法，其中，处理所述复合结构包括在包围所述复合结构的压缩装袋和所述心轴工具之间施加真空。

[0278] 5.根据前述条款中的任一项所述的方法，其中，处理所述复合结构包括以下中的至少一者：

[0279] 在所述工具组件的第一容器壁和联接至所述第一容器壁的第一共形膜之间施加压力；以及

[0280] 在所述心轴工具和所述第一共形膜之间施加真空。

[0281] 6.根据条款5所述的方法，其中，处理所述复合结构还包括使用联接至所述第一共形膜的第一垫板平滑所述复合结构的一部分。

[0282] 7.根据前述条款中的任一项所述的方法，其中，处理所述复合结构包括以下中的至少一者：

[0283] 在所述工具组件的第二容器壁和联接至所述第二容器壁的第二共形膜之间施加压力；以及

[0284] 在所述心轴工具和所述第二共形膜之间施加真空。

[0285] 8.根据条款7所述的方法，其中，处理所述复合结构还包括使用联接至所述第二共形膜的第二垫板平滑所述复合结构的一部分。

[0286] 9.根据前述条款中任一项所述的方法，其中，处理所述复合结构包括加热所述工具组件、所述心轴工具和位于所述容器内的气体中的至少一者以加热所述复合结构。

[0287] 10.根据前述条款中任一项所述的方法，其中，处理所述复合结构包括：

[0288] 进行加热气体和加压气体中的至少一者；以及

[0289] 在所述关闭位置中在所述第一处理工具与所述第二处理工具之间传递所述气体。

[0290] 11.根据前述条款中任一项所述的方法，所述方法还包括：

[0291] 使用所述心轴工具对所述复合结构的内模线成形；以及

[0292] 使用所述工具组件对所述复合结构的外模线成形。

[0293] 12.根据前述条款中任一项所述的方法，所述方法还包括：

[0294] 使用所述心轴工具使所述复合结构的外模线成形；以及

[0295] 使用所述工具组件使所述复合结构的内模线成形。

[0296] 13.根据前述条款中任一项的方法，其中：

[0297] 所述心轴工具包括闭合横截面形状；并且

[0298] 所述方法还包括加压由所述心轴工具形成的内部容积。

[0299] 14.根据前述条款中任一项的方法，其中：

[0300] 所述心轴工具包括第三开放横截面形状；并且

[0301] 所述方法还包括加压至少部分地由所述心轴工具形成的内部容积。

[0302] 15.根据前述条款中任一项所述的方法，其中，处理所述复合结构包括响应于将压力和热量中的至少一者施加至所述复合结构而压实所述复合结构。

[0303] 16.根据前述条款中任一项所述的方法，其中，处理所述复合结构包括响应于将压力和热量中的至少一者施加至所述复合结构而固化所述复合结构。

[0304] 17.根据前述条款中任一项所述的方法的制造的飞行的一部分。

[0305] 18.一种用于处理复合结构的方法，可选地根据前述条款中任一项所述的方法，所述方法包括：

[0306] 将第一处理工具密封至支撑所述复合结构的心轴工具；

[0307] 将第二处理工具密封至所述第一处理工具和所述心轴工具；以及

[0308] 利用所述第一处理工具、所述第二处理工具和所述心轴工具形成包围所述复合结构的容器。

[0309] 19.根据条款18所述的方法，所述方法还包括：

[0310] 将压力和热量中的至少一者施加至所述复合结构。

[0311] 20.根据条款18或19所述的方法，所述方法还包括以下中的至少一者：

[0312] 在所述第一处理工具的第一容器壁和联接至所述第一容器壁的第一共形膜之间以及在所述第二处理工具的第二容器壁和联接至所述第二容器壁的第二共形膜之间施加压力；以及

[0313] 在所述心轴工具和所述第一共形膜之间以及在所述心轴工具和所述第二共形膜之间施加真空。

[0314] 21.根据条款20所述的方法，所述方法还包括使用联接至所述第一共形膜的第一垫板和联接至所述第二共形膜的第二垫板平滑所述复合结构。

[0315] 22.根据条款18至21中任一项所述的方法制造的飞行器的一部分。

[0316] 23.一种处理复合结构的方法，可选地根据条款1至21中任一项所述的方法，所述方法包括：

[0317] 在第二处理工具上定位支撑所述复合结构的心轴工具；

[0318] 将第一处理工具密封至所述第二处理工具和所述心轴工具；以及

[0319] 利用所述第一处理工具、所述第二处理工具和所述心轴工具形成包围所述复合结构的容器。

[0320] 24.根据条款23所述的方法，所述方法还包括：

[0321] 将压力和热量中的至少一者施加至所述复合结构。

[0322] 25.根据条款23或24所述的方法，所述方法还包括以下中的至少一者：

[0323] 在所述第一处理工具的第一容器壁和联接至所述第一容器壁的第一共形膜之间施加压力；以及

[0324] 在所述心轴工具和所述第一共形膜之间施加真空。

[0325] 26.根据条款25所述的方法，所述方法还包括使用联接至所述第一共形膜的第一垫板平滑所述复合结构。

[0326] 27.根据条款23至26中任一项所述的方法制造的飞行器的一部分。

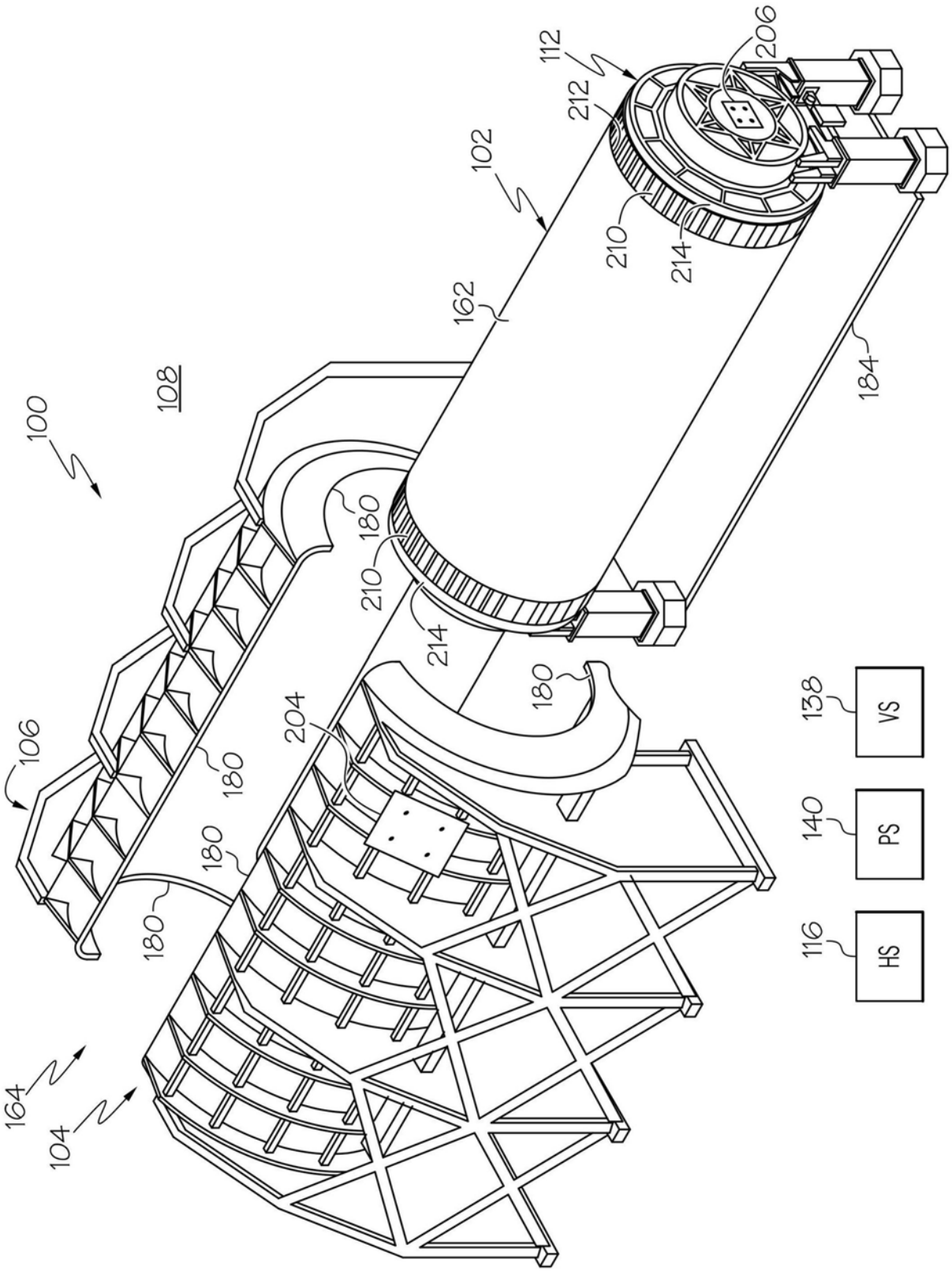

112
206
212
102
210
214
162
184
100
108
180
210
214
180
204
106
180
180
180
138
VS
140
PS
116
HS
164
104

图1

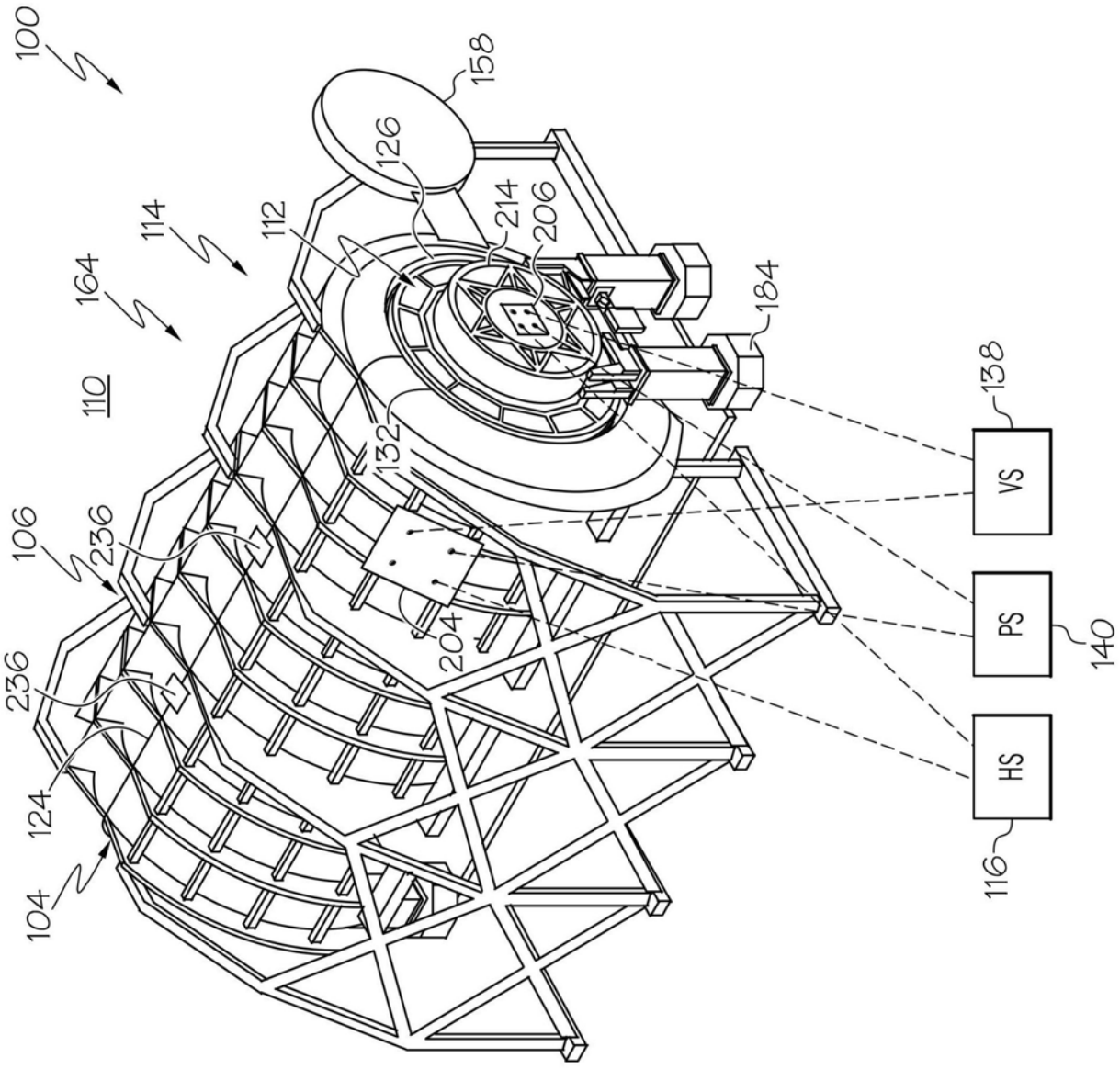

100
158
126
114
112
214
206
164
184
110
138
132
VS
106
236
PS
140
204
236
HS
124
116
104

图2

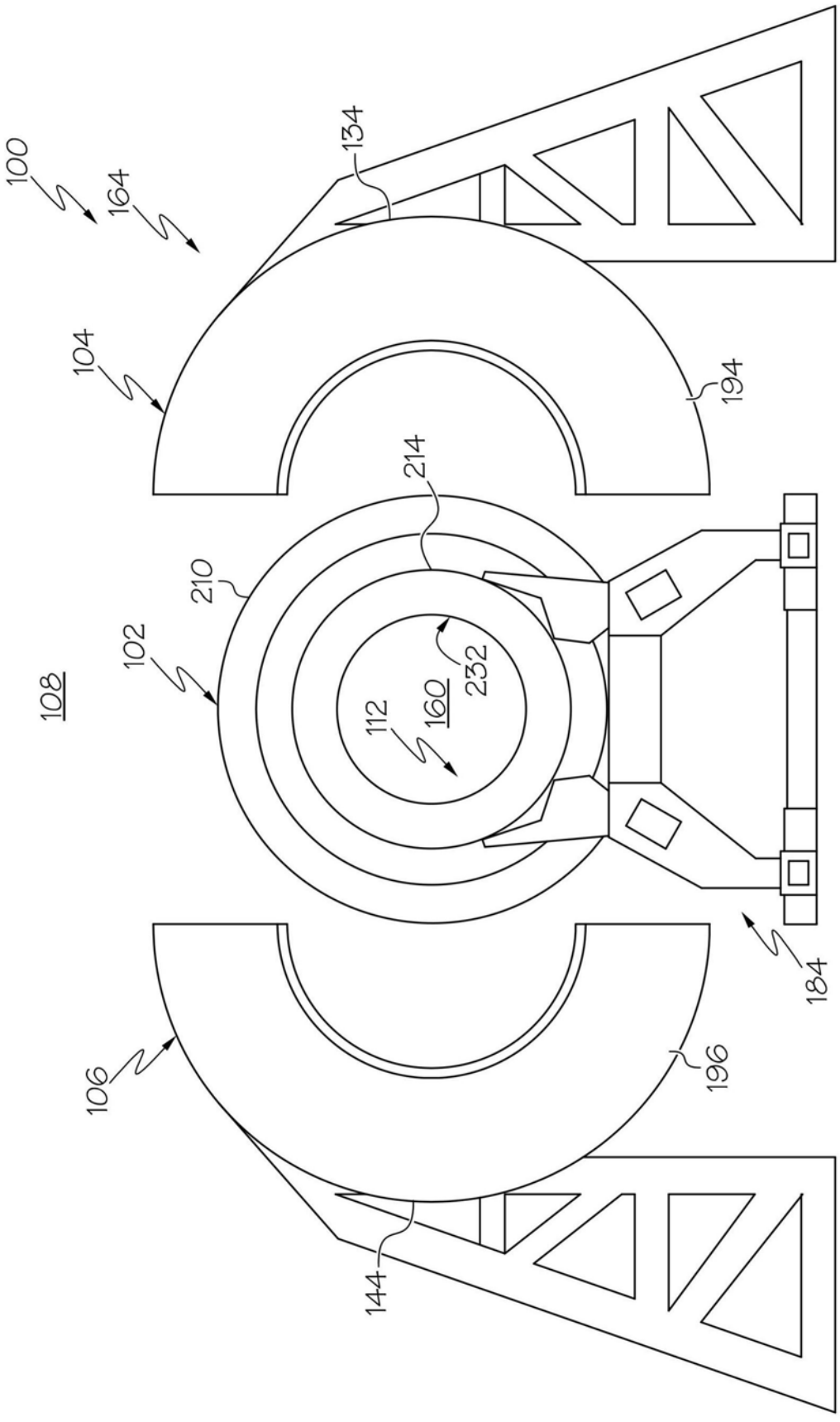


图3

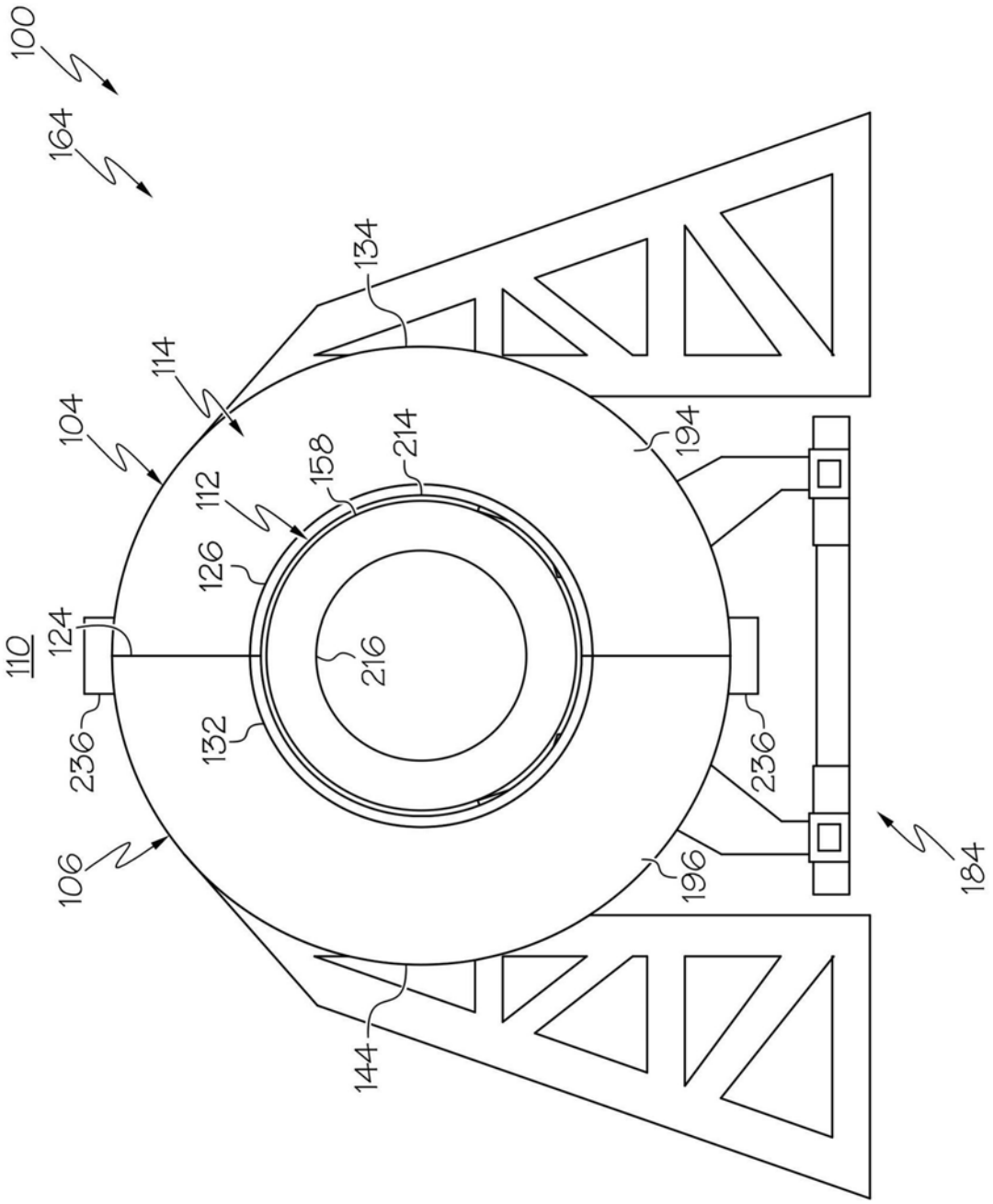

100
164
134
114
104
158
214
194
112
126
124
110
216
132
236
236
106
196
184
144

图4

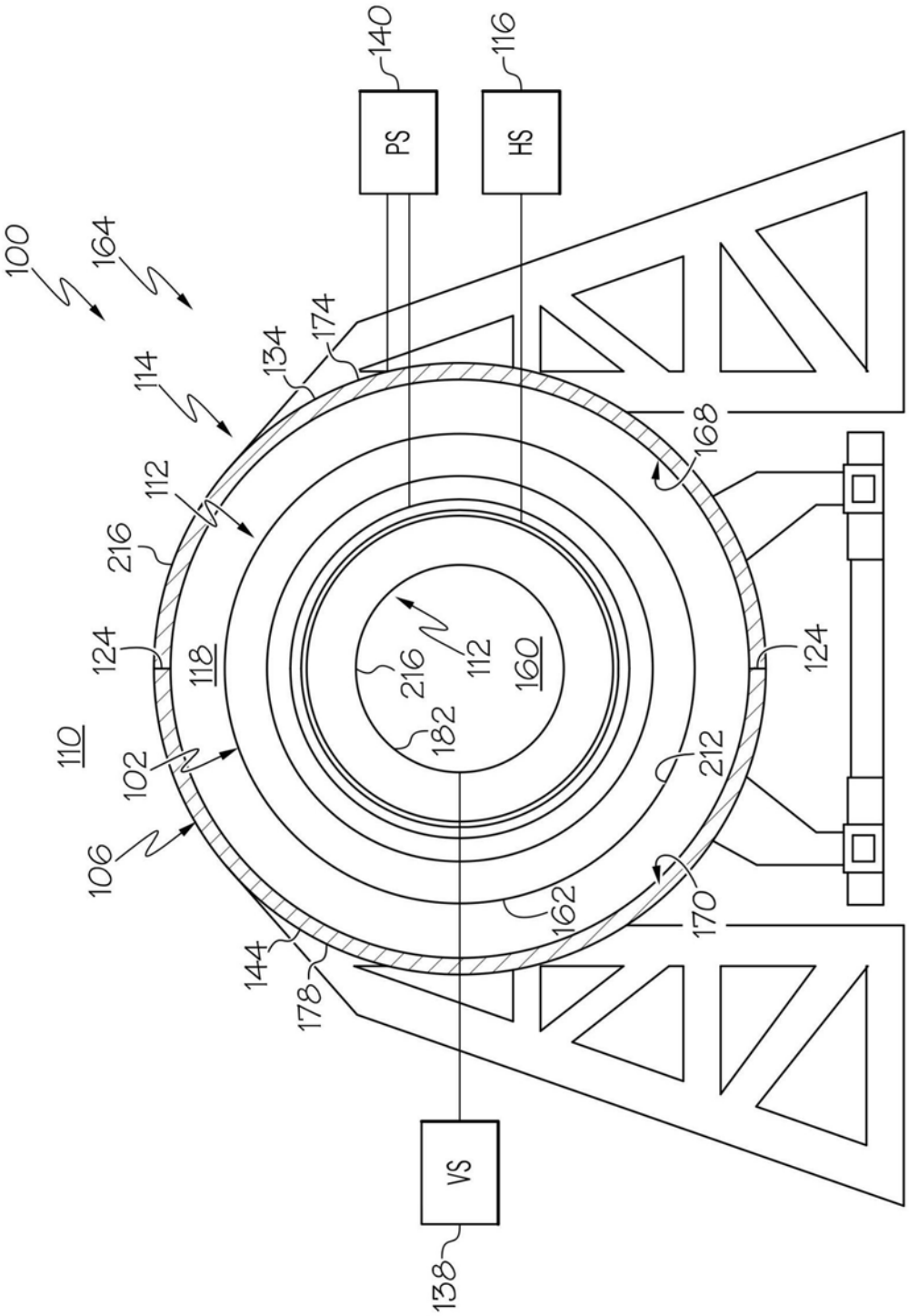

100
164
114
134
174
140
PS
116
HS
112
216
124
118
110
102
106
144
178
162
170
168
124
212
182
216
112
160
VS
138

图5

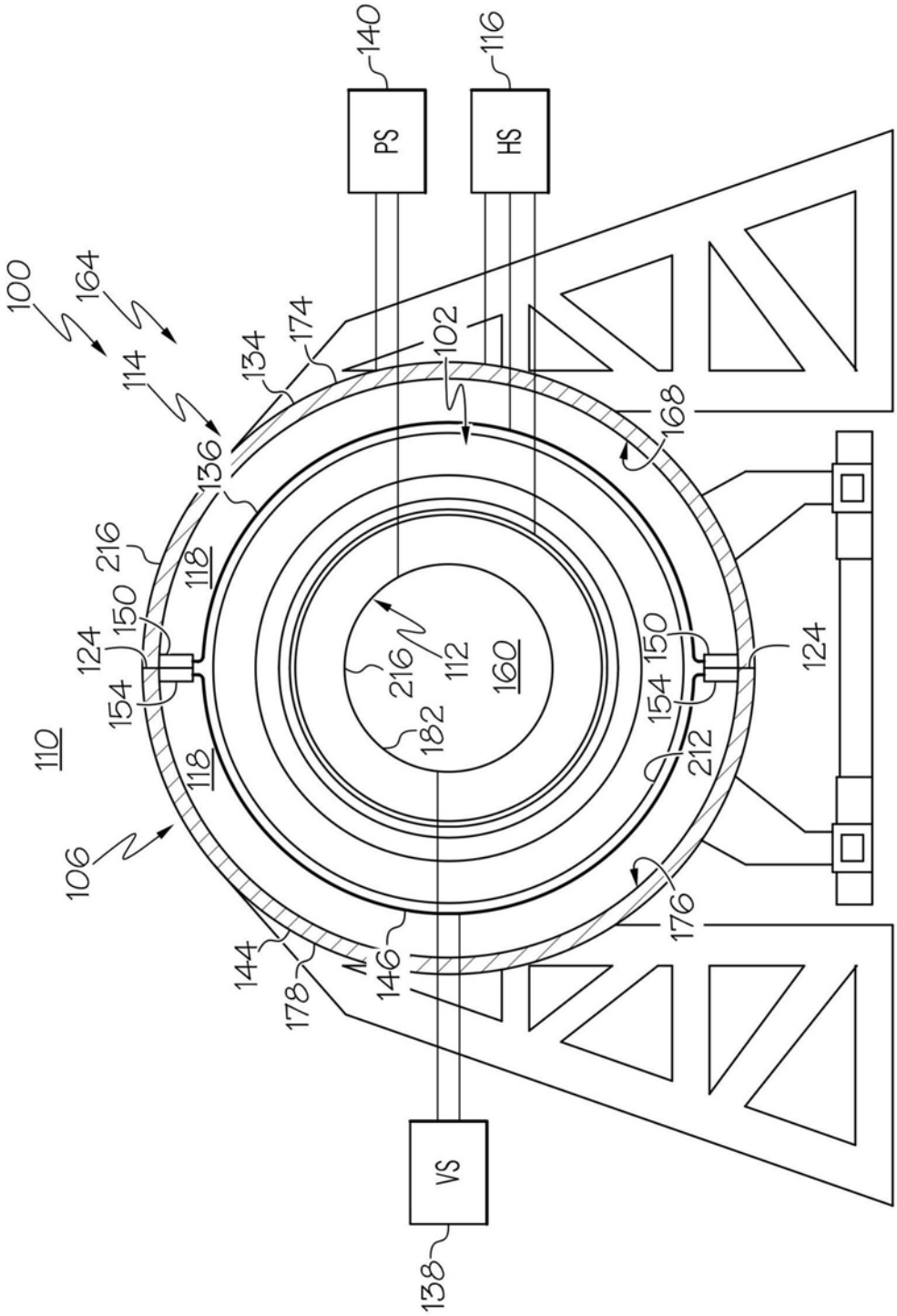

140
116
PS
HS
100
164
114
174
134
102
168
136
216
118
150
124
154
112
160
182
212
110
106
144
146
178
176
VS
138

图6

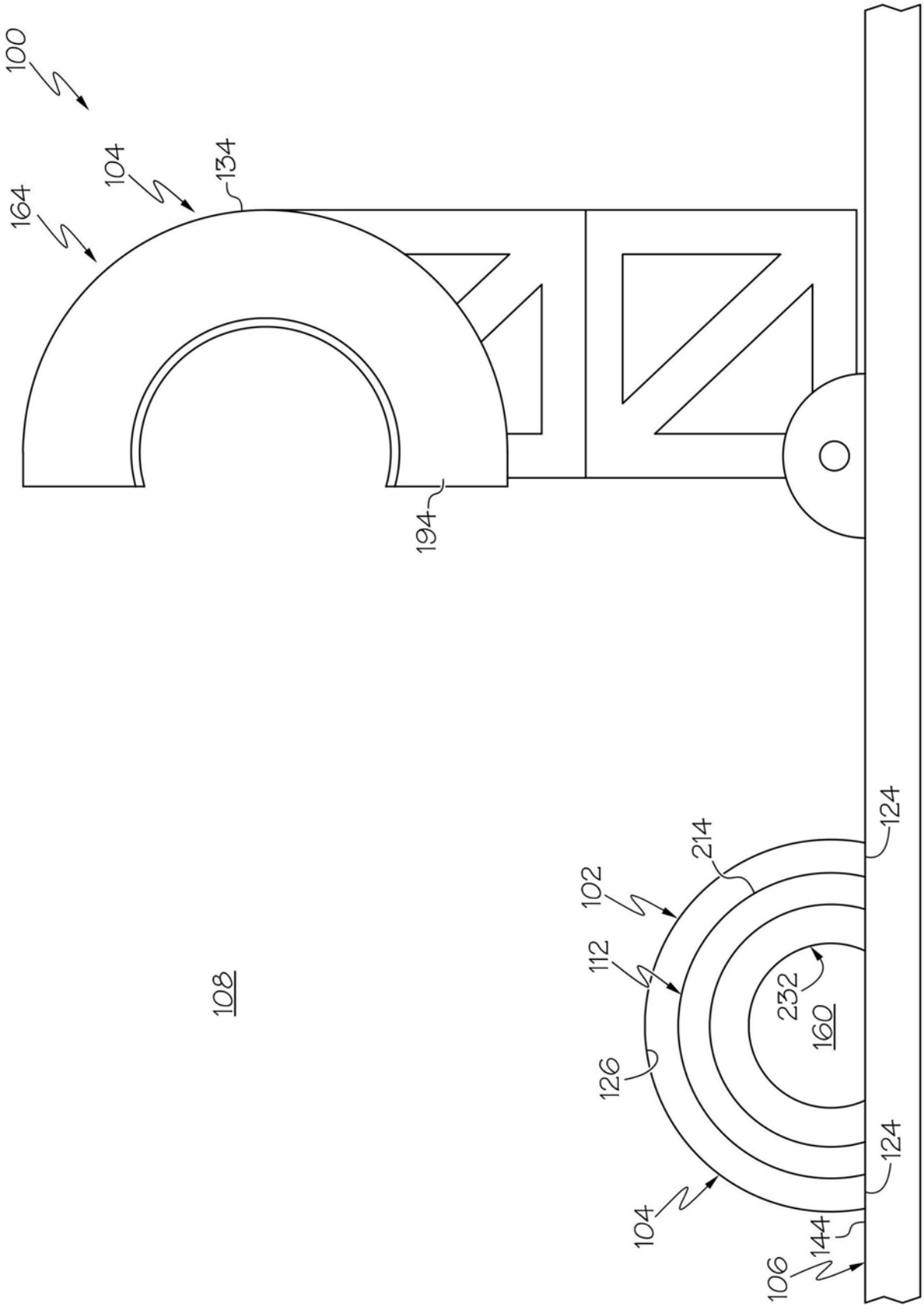

100
104
134
164
194
108
124
214
102
112
232
160
126
124
104
144
106

图7

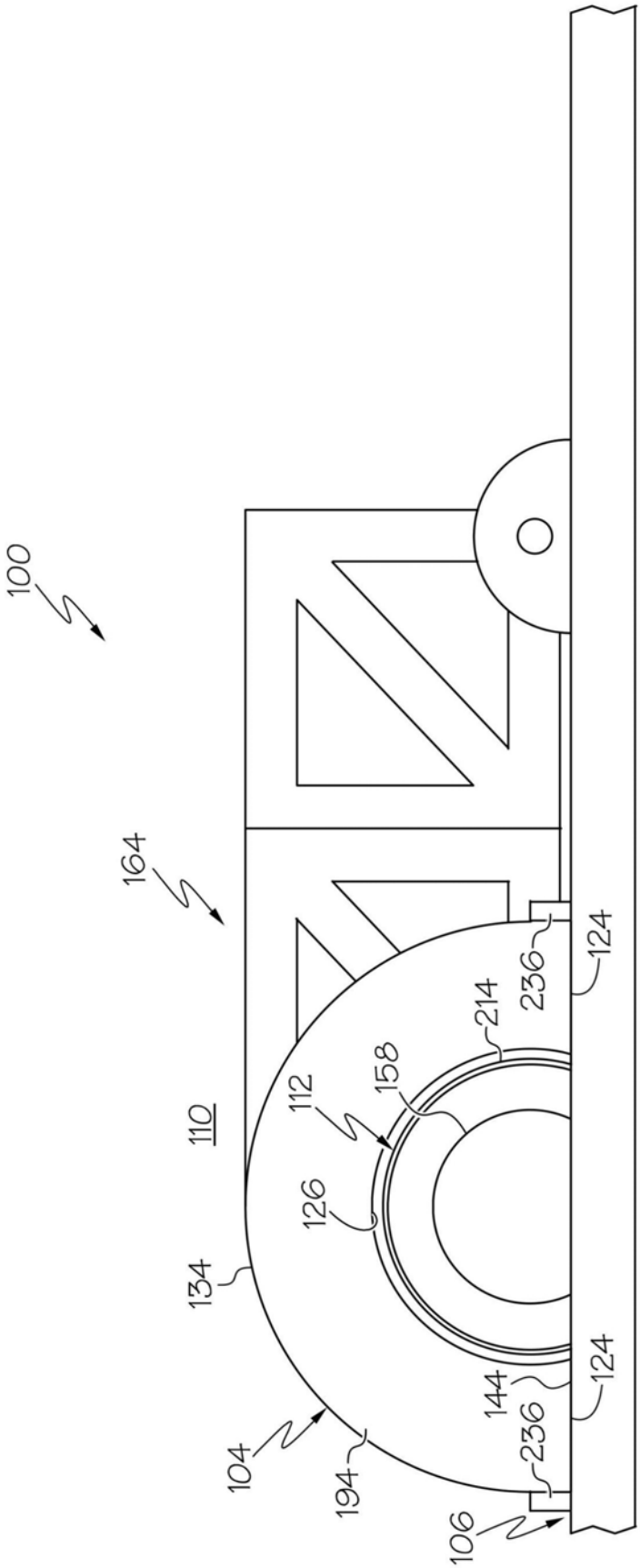


图8

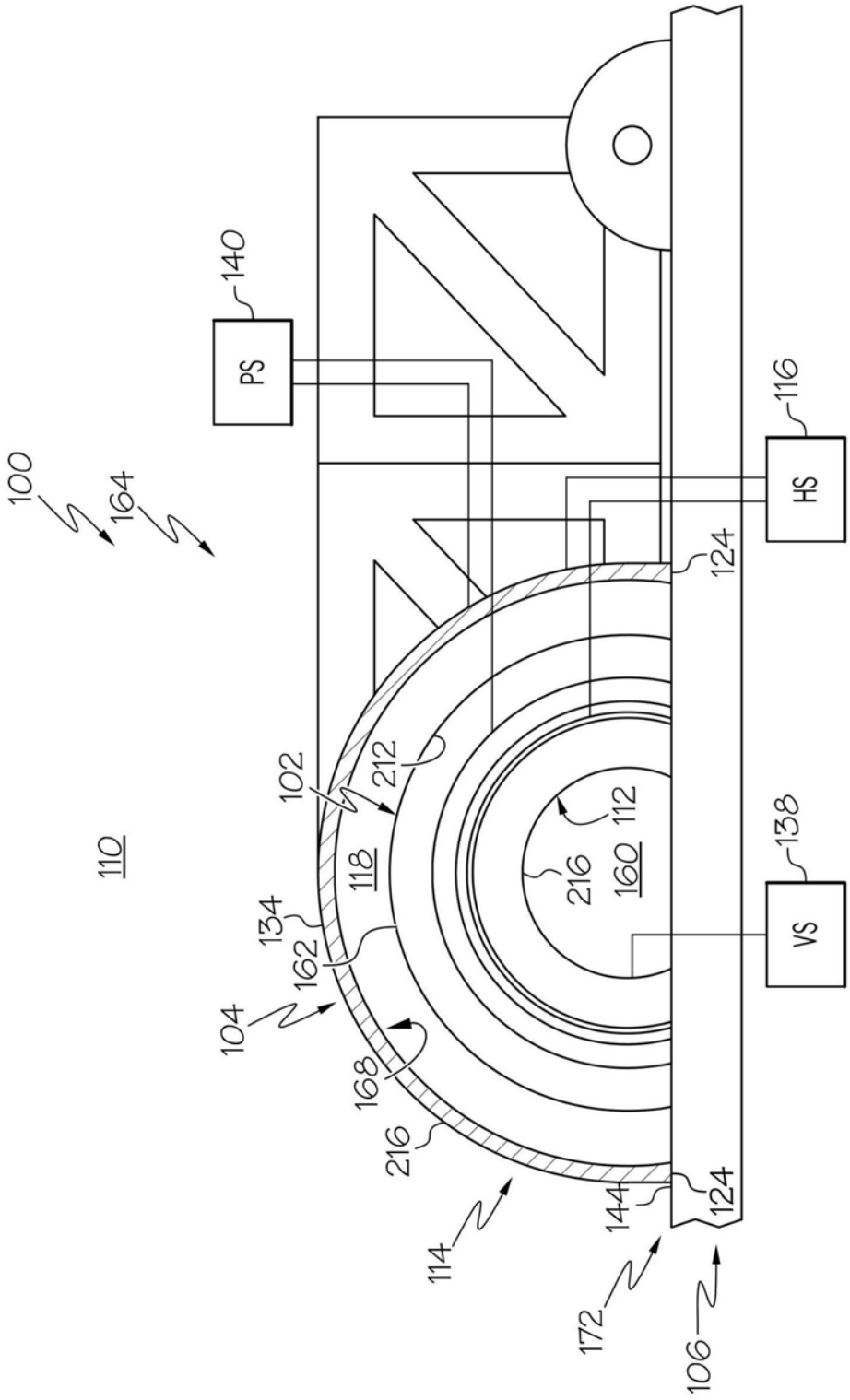

140
PS
116
HS
100
164
124
102
212
112
160
216
138
VS
110
118
134
162
104
168
216
144
124
114
172
106

图9

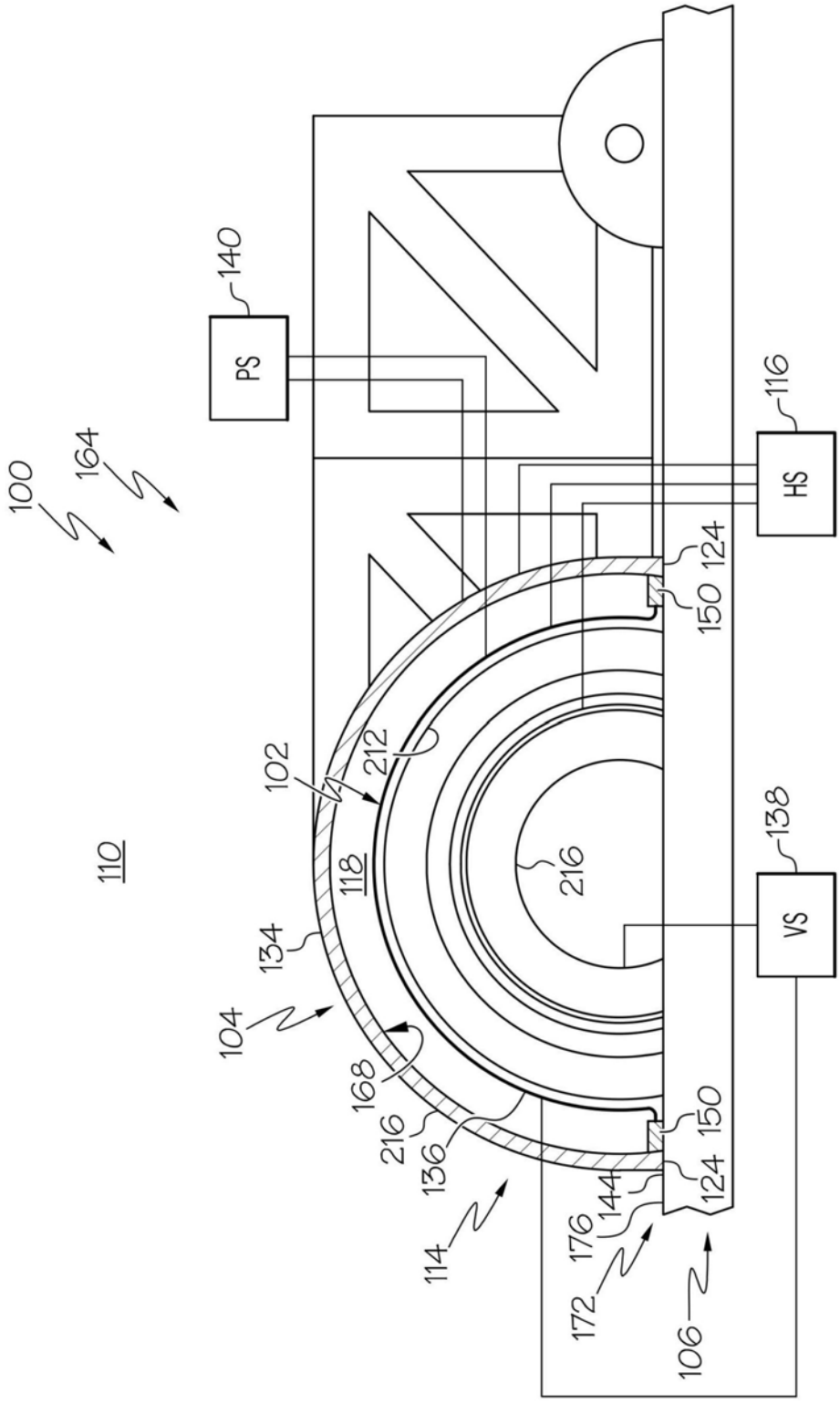

100
164
110
140
PS
116
HS
124
150
102
212
118
216
138
VS
134
104
168
216
136
150
124
144
176
172
114
106

图10

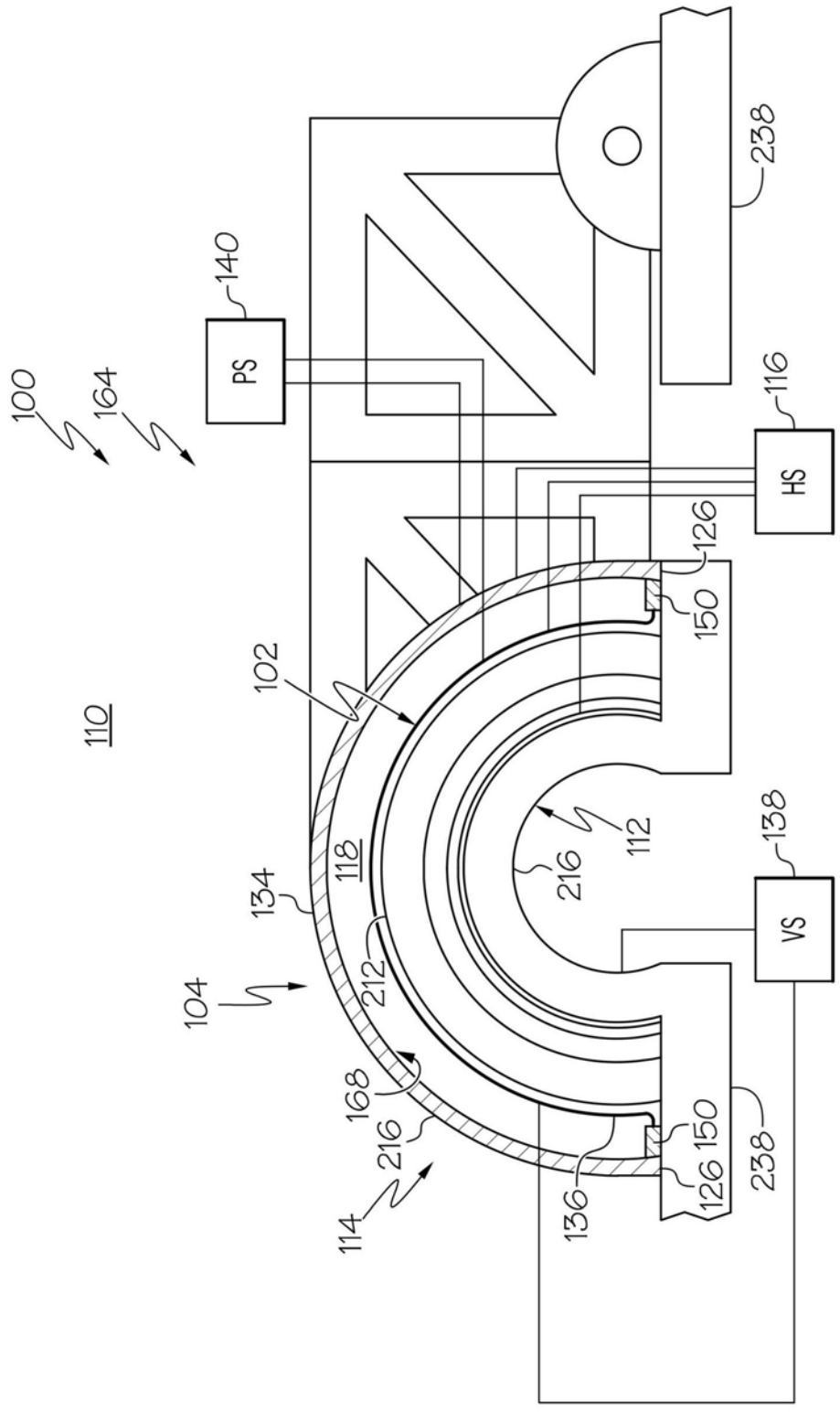

100
164
140
PS
238
116
HS
126
150
102
110
112
216
138
VS
118
134
212
104
168
216
114
136
126
150
238

图11

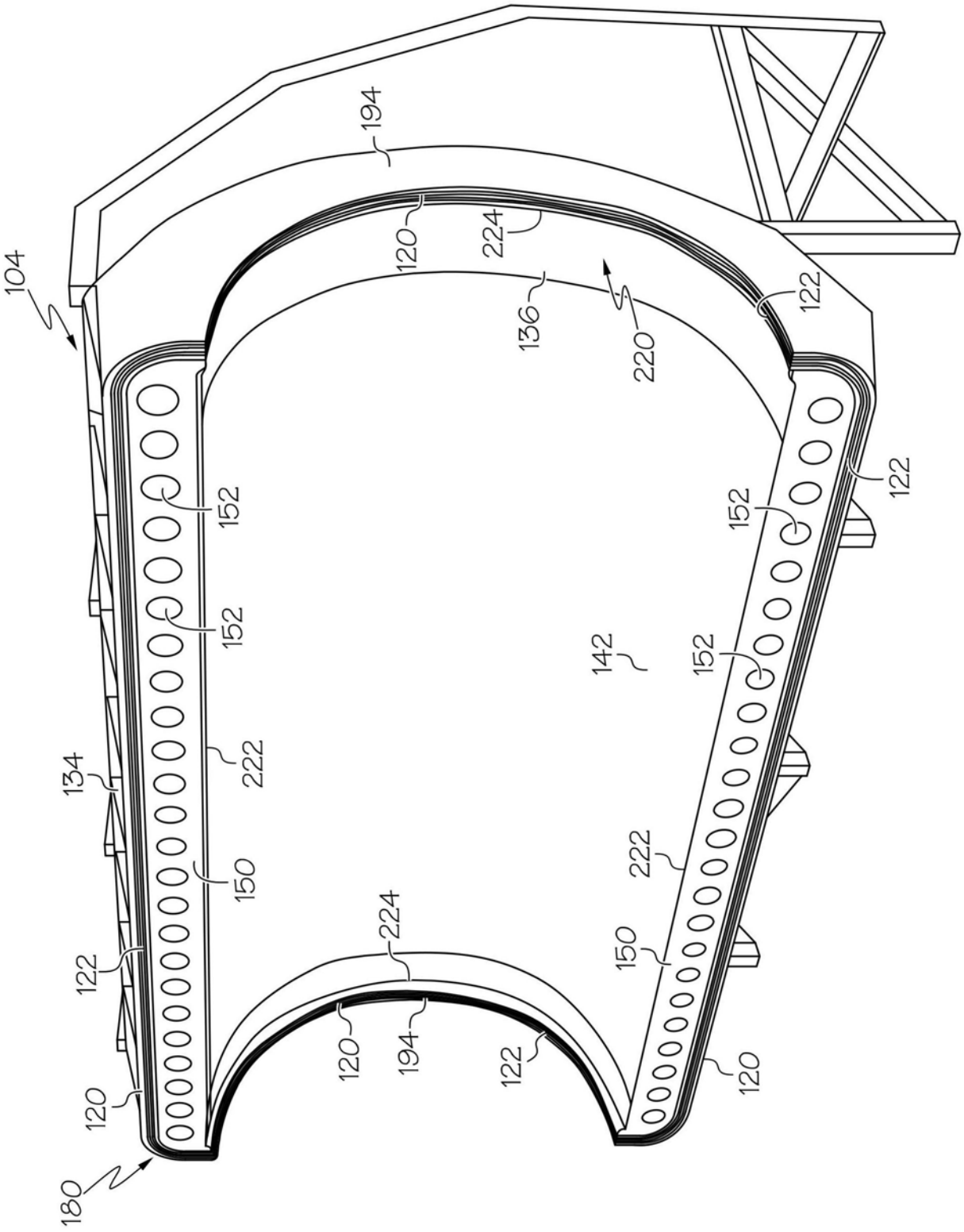

194
104
120
224
136
220
122
152
152
142
152
122
134
222
150
222
150
224
122
120
194
122
120
120
180

图12

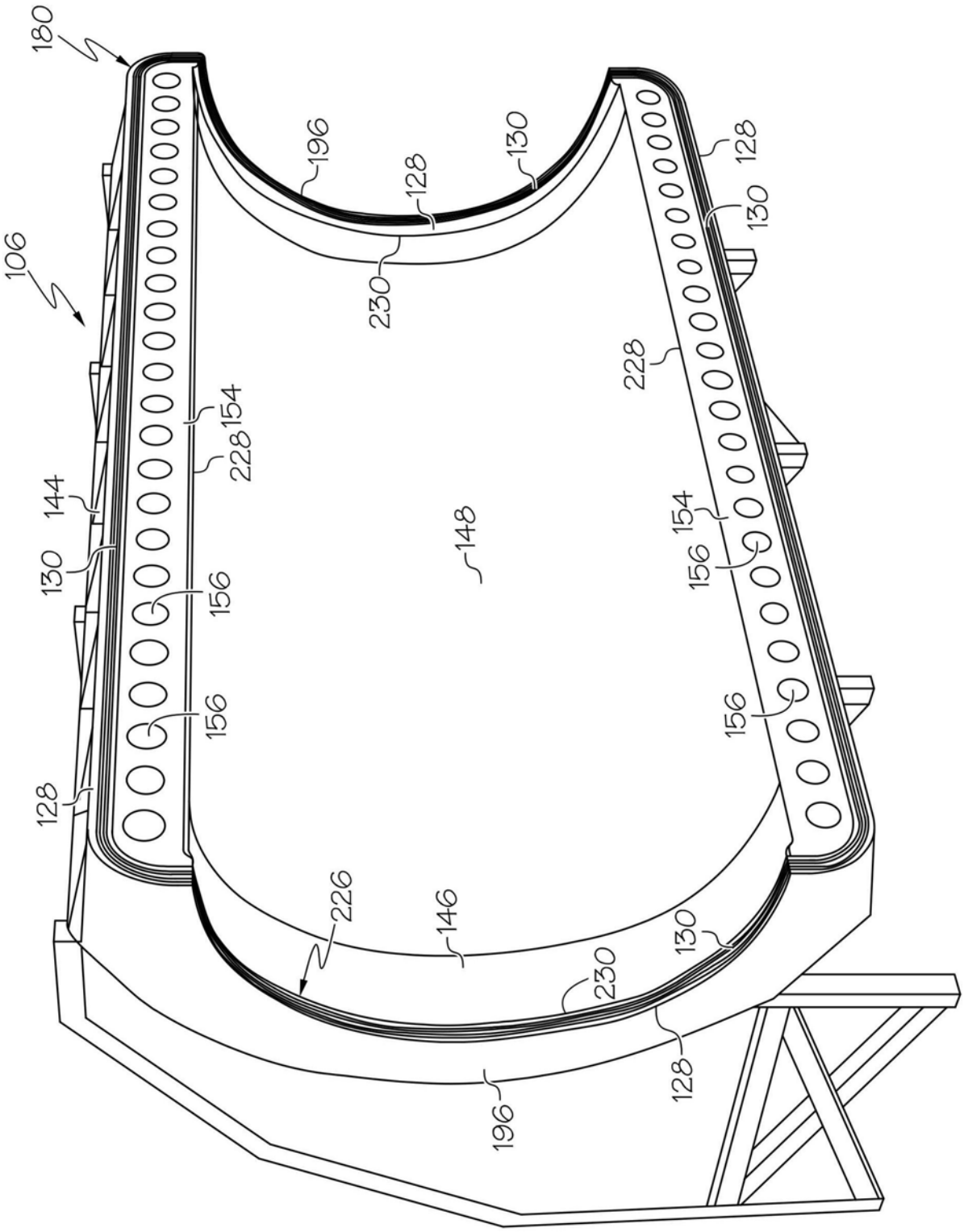


图13

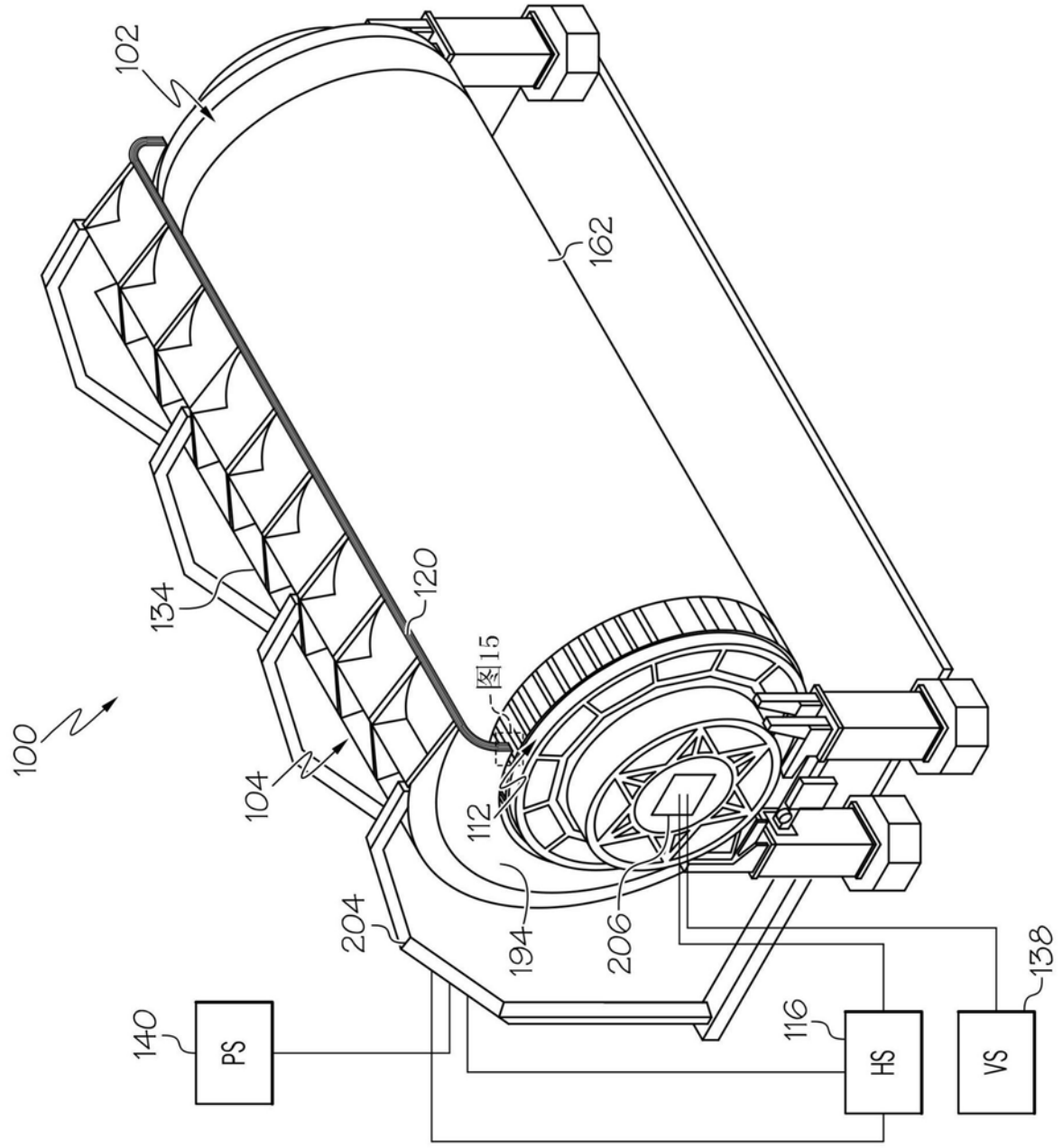


图14

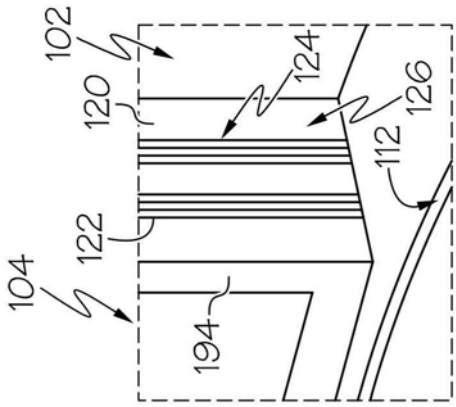


图15

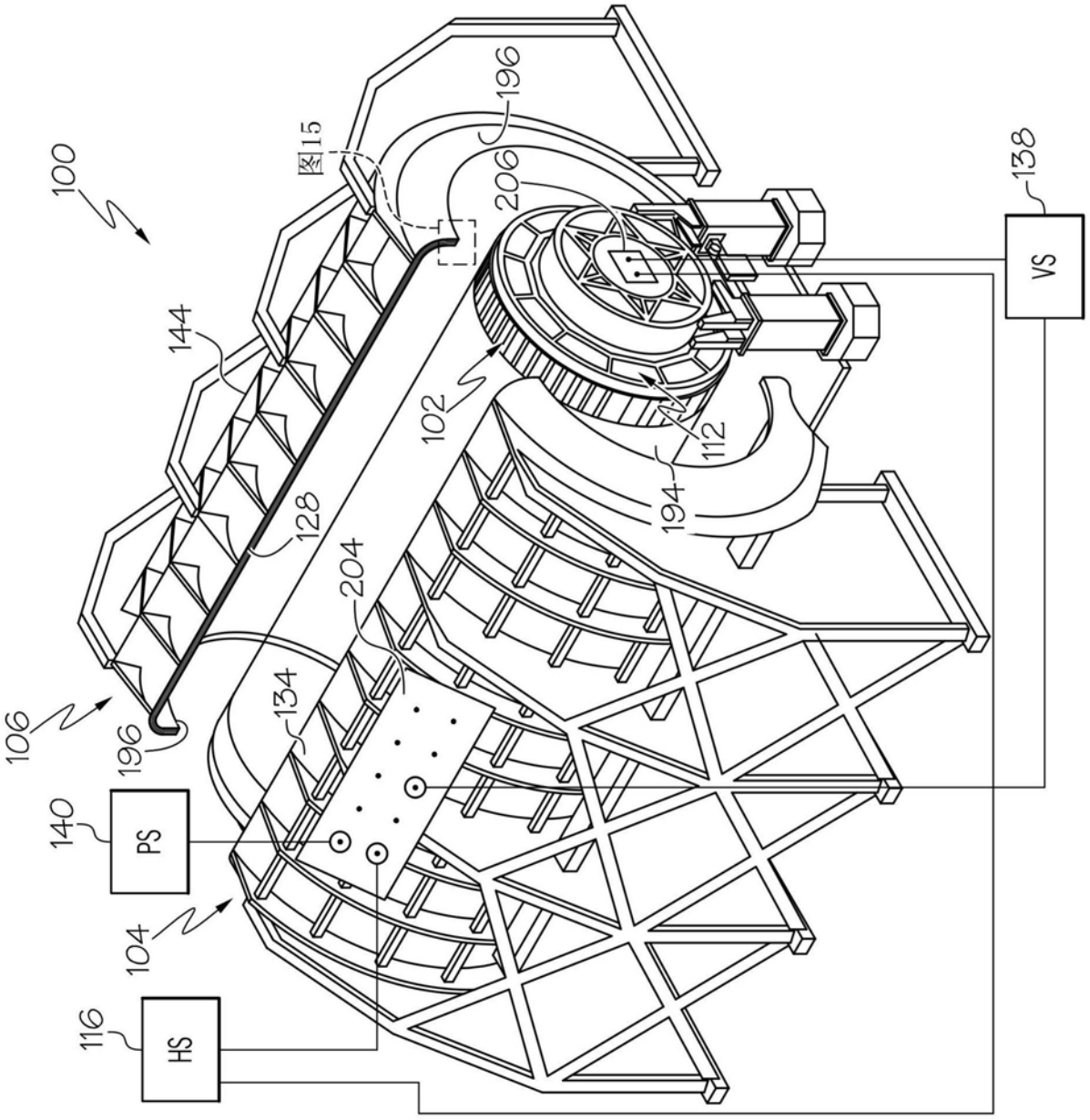

100
图15
196
206
138
VS
144
102
112
194
128
204
106
196
134
140
PS
104
116
HS

图16

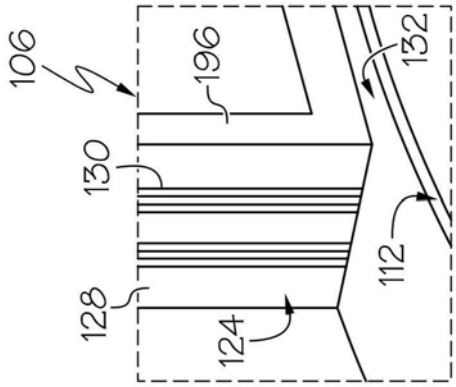


图17

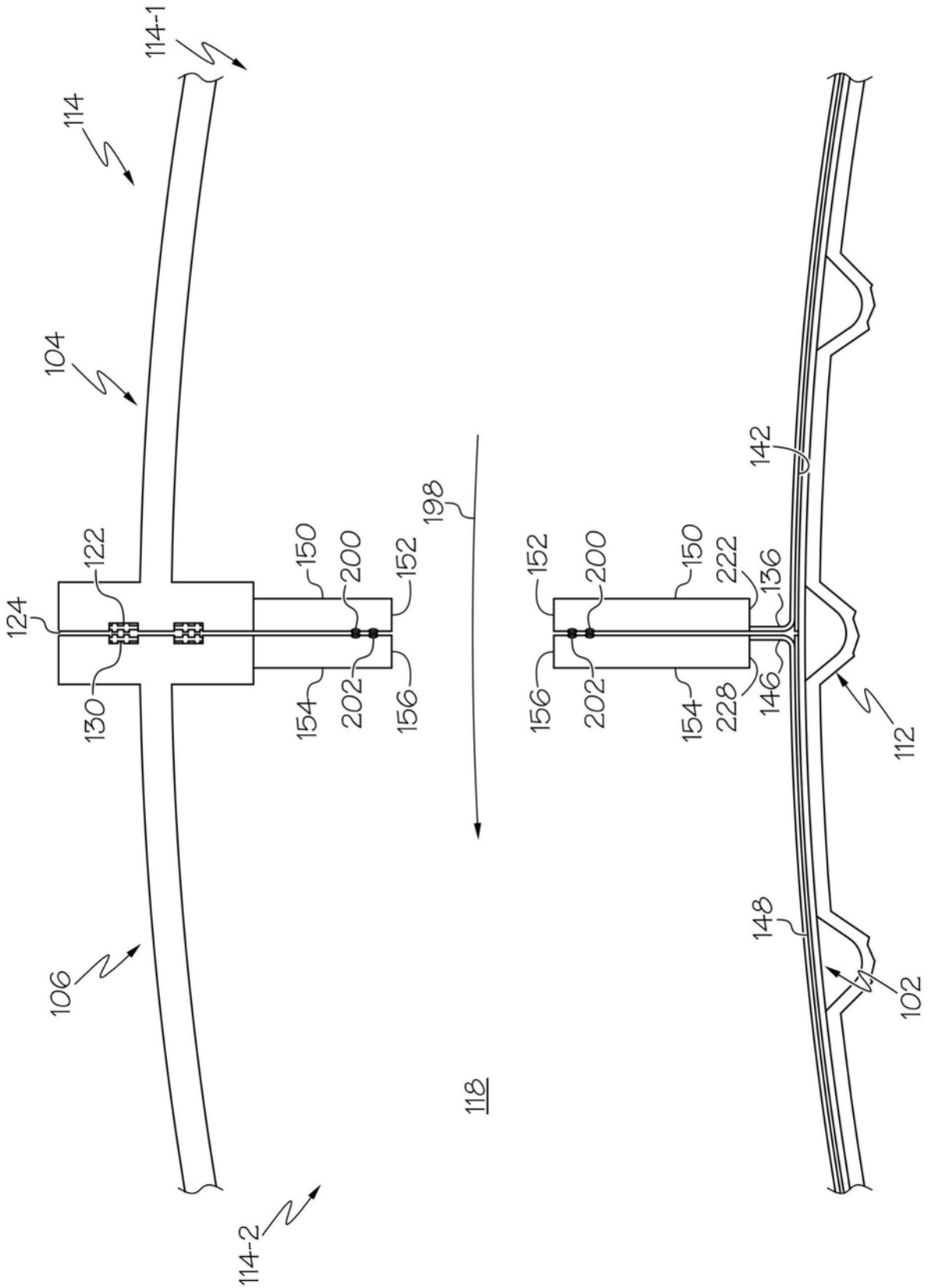

114-1
114
104
106
114-2
118
198
122
124
130
150
200
152
154
202
156
142
136
222
228
146
148
112
102

图18

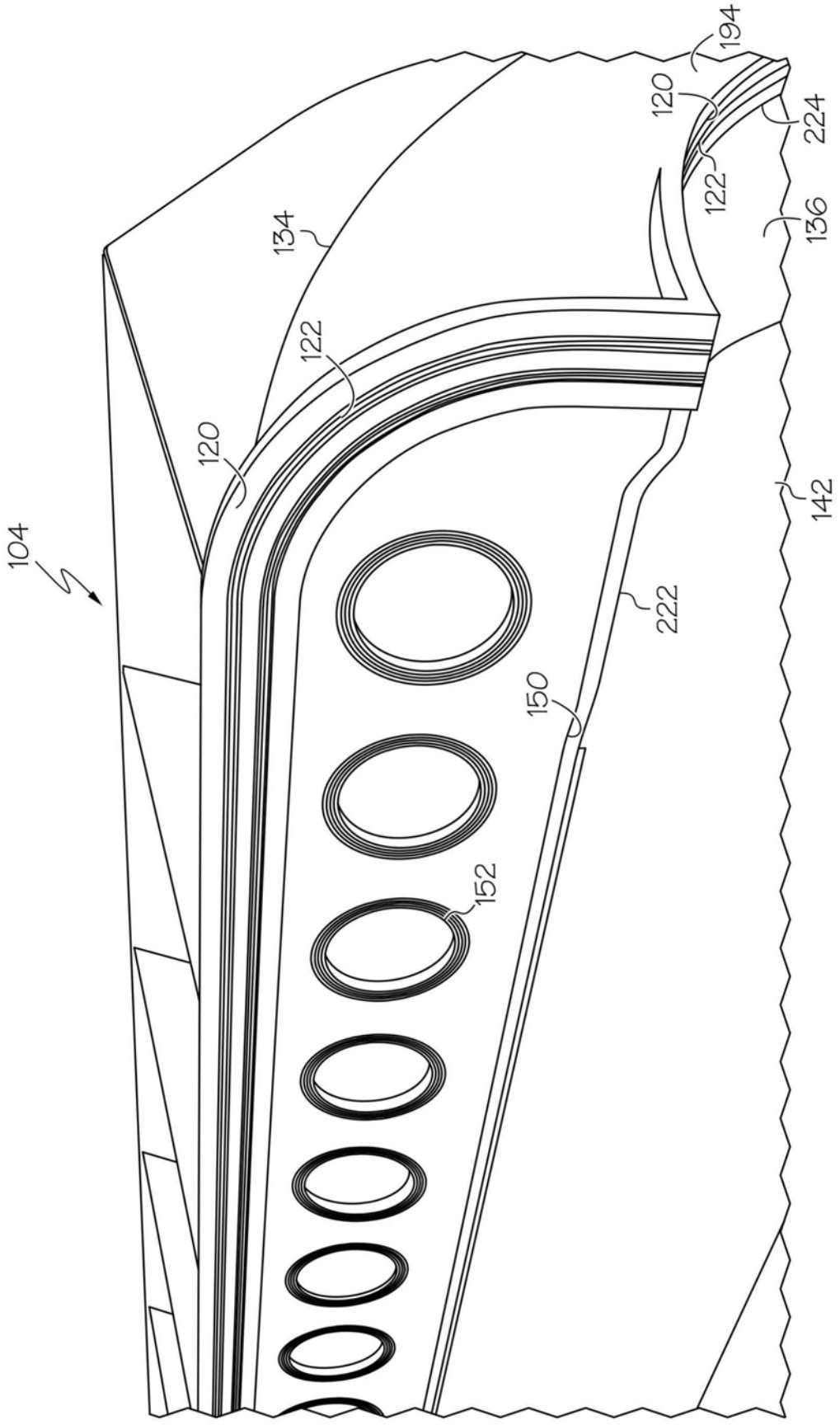


图19

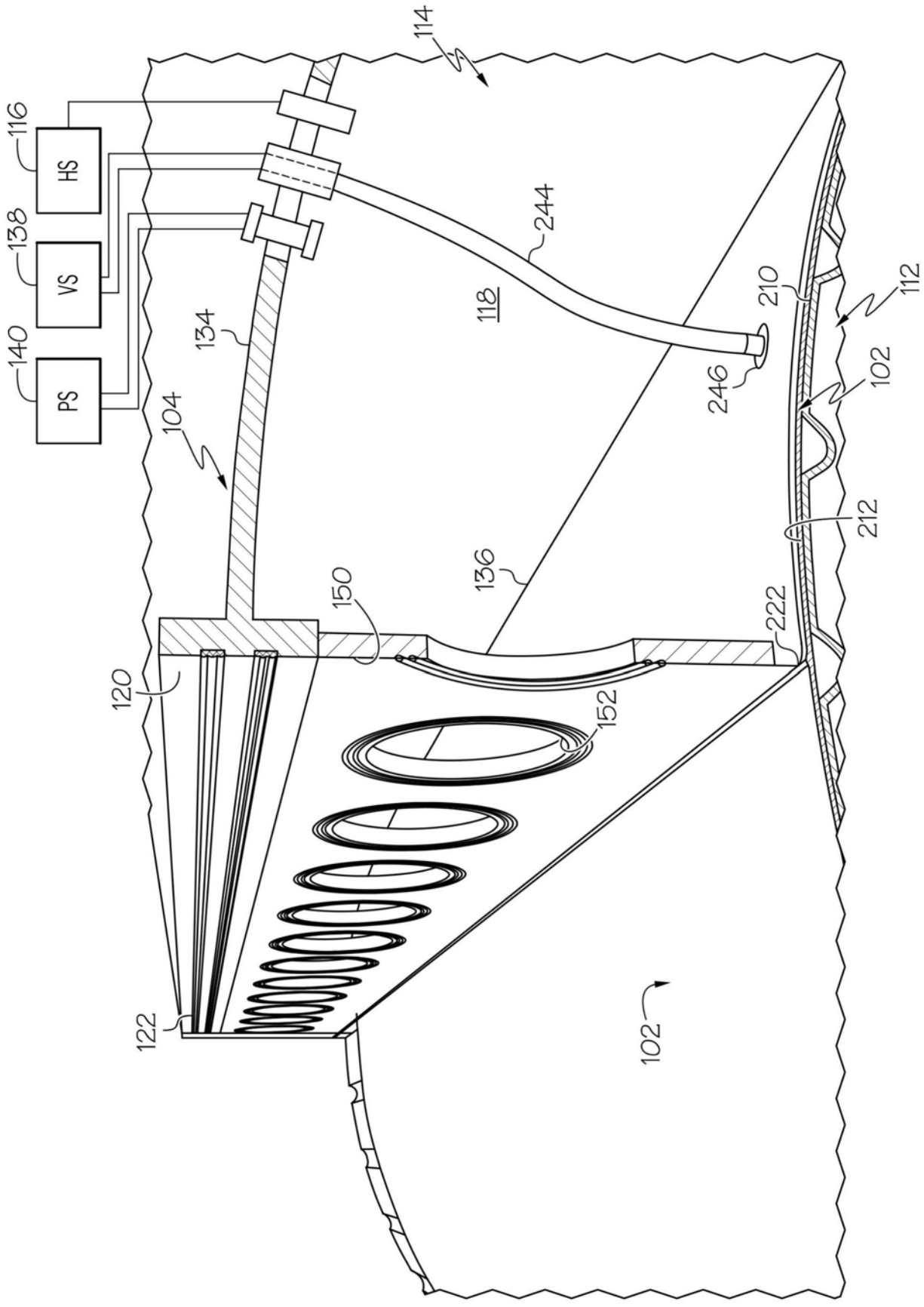

114
116
HS
138
VS
140
PS
244
118
210
112
134
246
102
104
212
136
150
222
120
152
122
102

图20

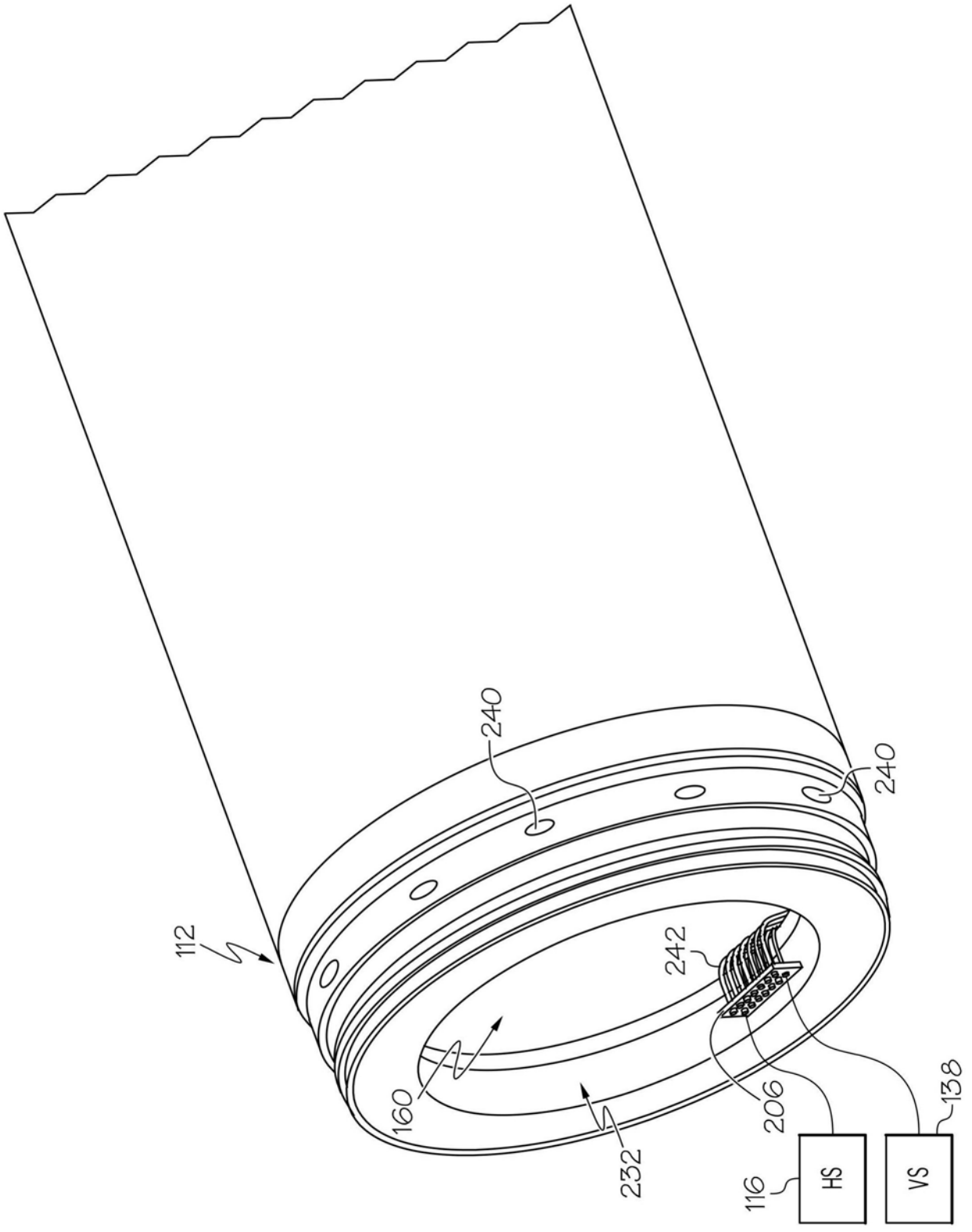


图21

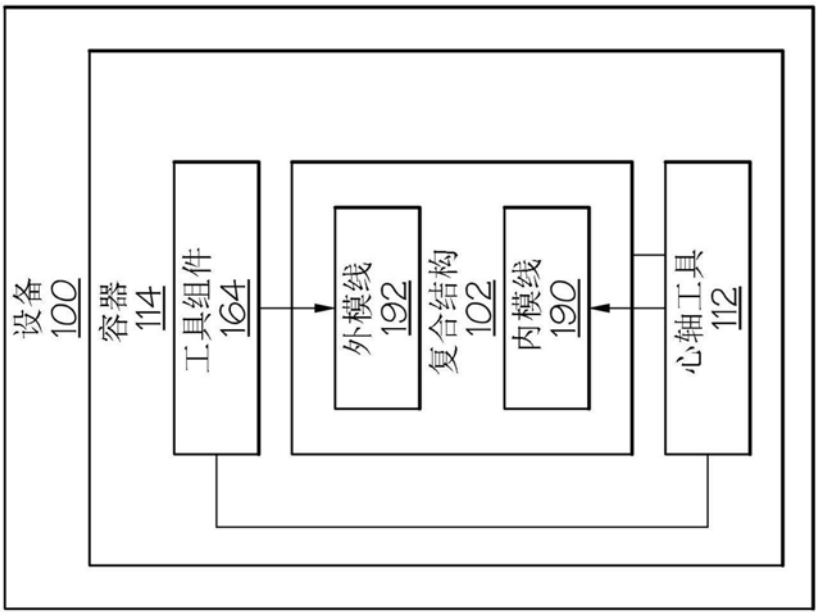

设备
100
容器
114
工具组件
164
外模线
192
复合结构
102
内模线
190
心轴工具
112

图22

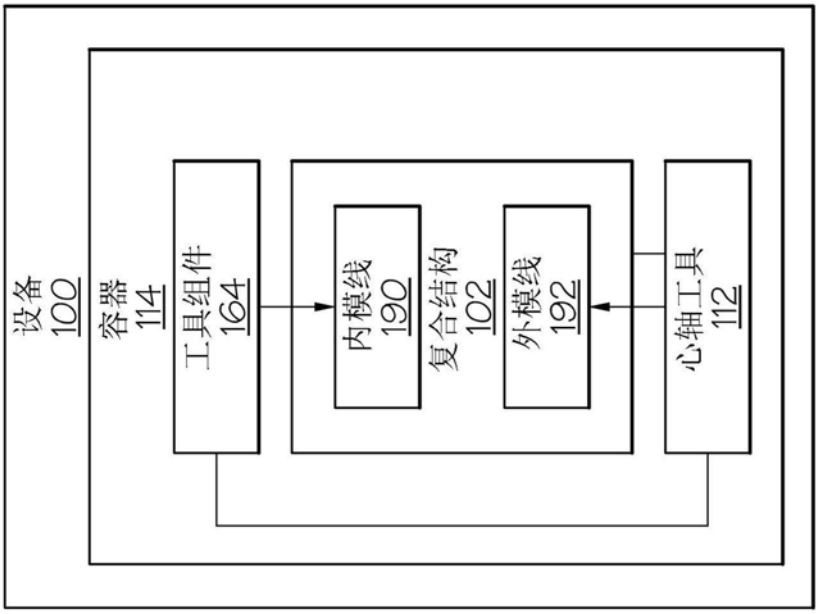

设备
100
容器
114
工具组件
164
内模线
190
复合结构
102
外模线
192
心轴工具
112

图23

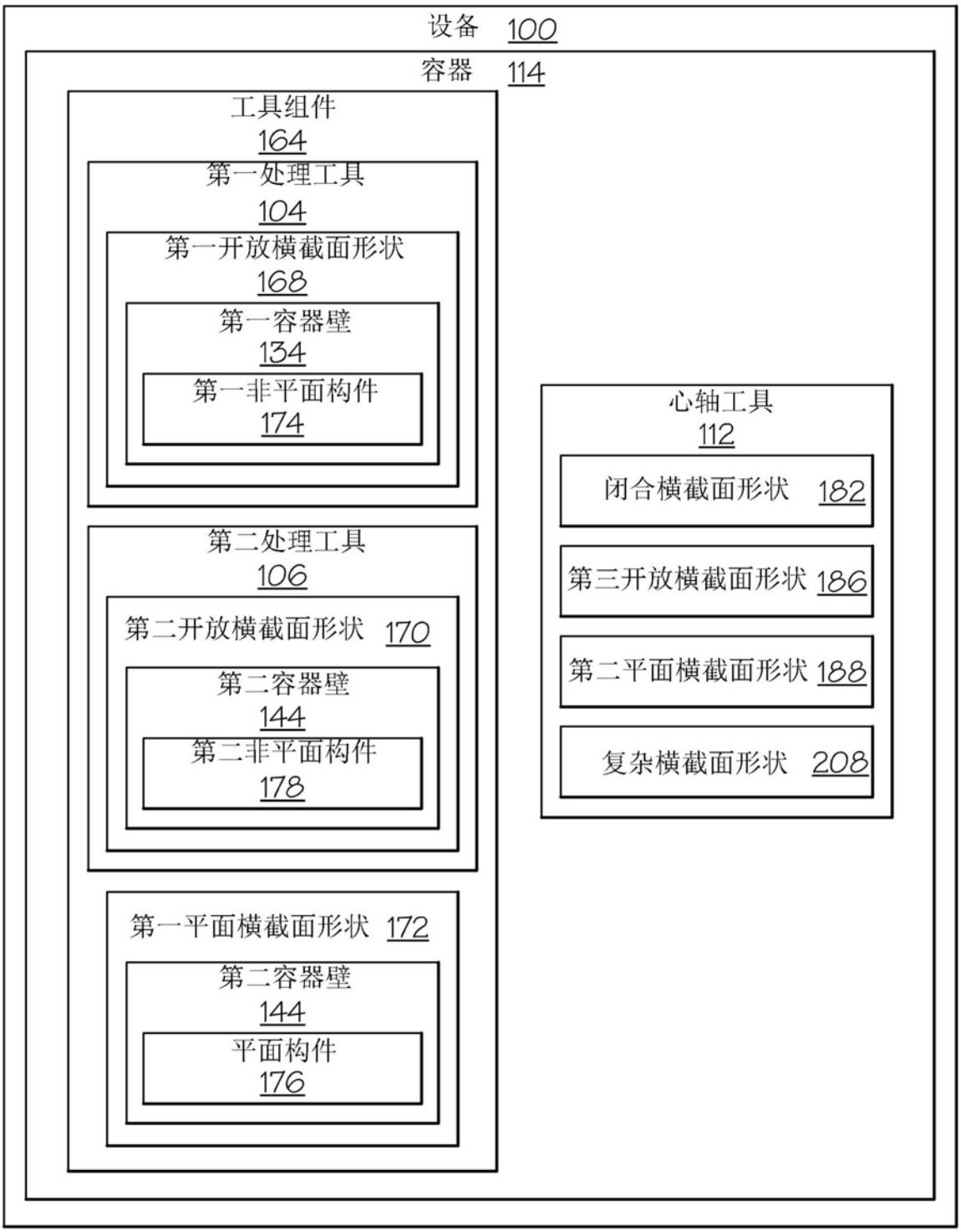

设备 100
容器 114
工具组件
164
第一处理工具
104
第一开放横截面形状
168
第一容器壁
134
第一非平面构件
174
第二处理工具
106
第二开放横截面形状 170
第二容器壁
144
第二非平面构件
178
第一平面横截面形状 172
第二容器壁
144
平面构件
176
心轴工具
112
闭合横截面形状 182
第三开放横截面形状 186
第二平面横截面形状 188
复杂横截面形状 208

图24

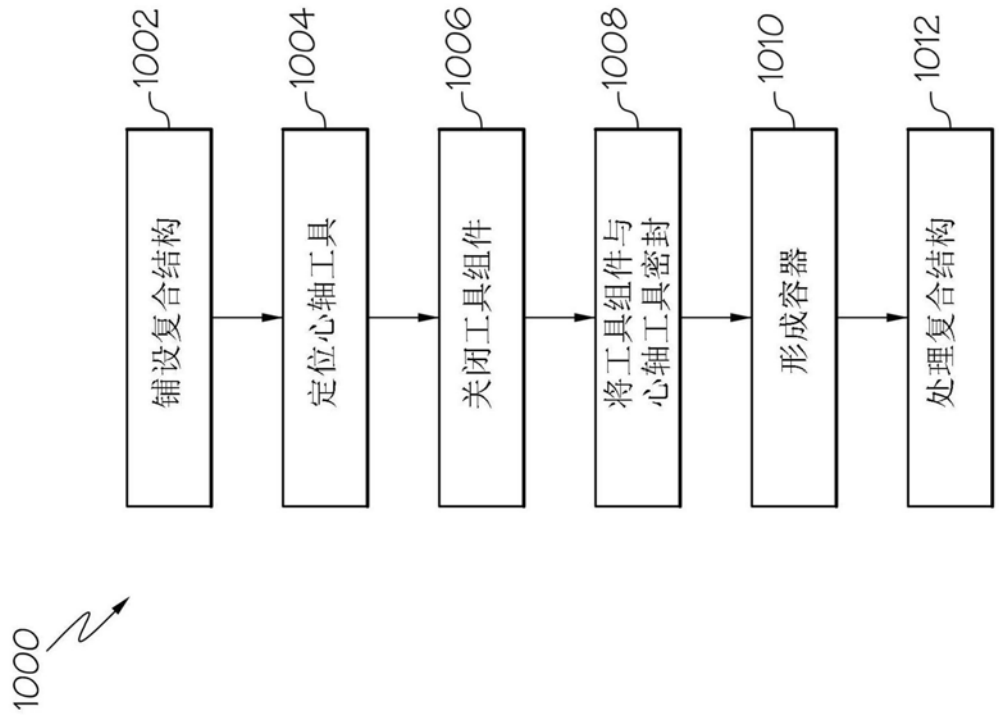

1000
1002
铺设复合结构
1004
定位心轴工具
1006
关闭工具组件
1008
将工具组件与心轴工具密封
1010
形成容器
1012
处理复合结构

图25

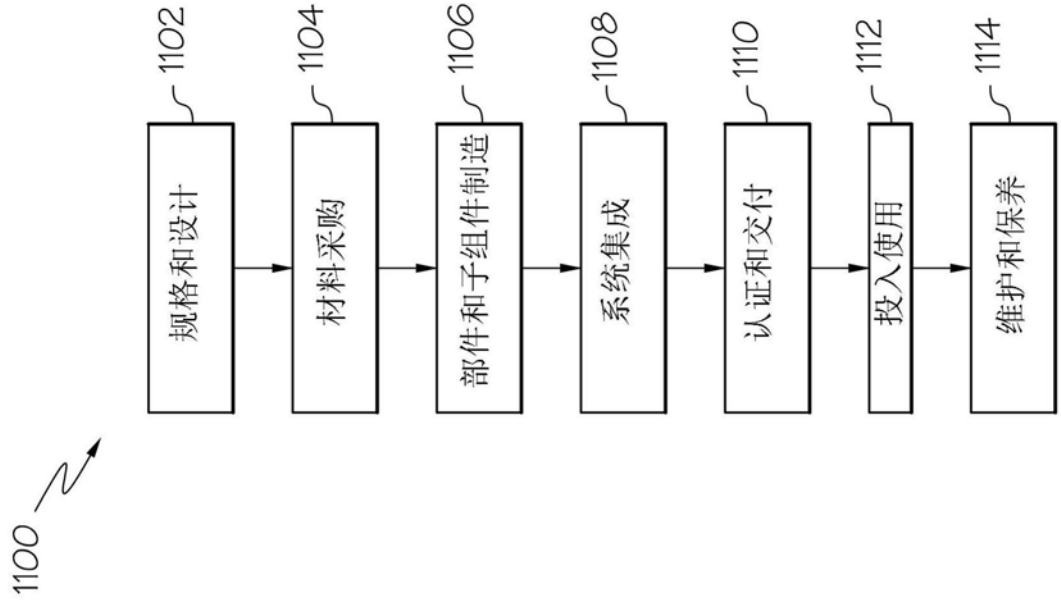

1100
1102
规格和设计
1104
材料采购
1106
部件和子组件制造
1108
系统集成
1110
认证和交付
1112
投入使用
1114
维护和保养

图26

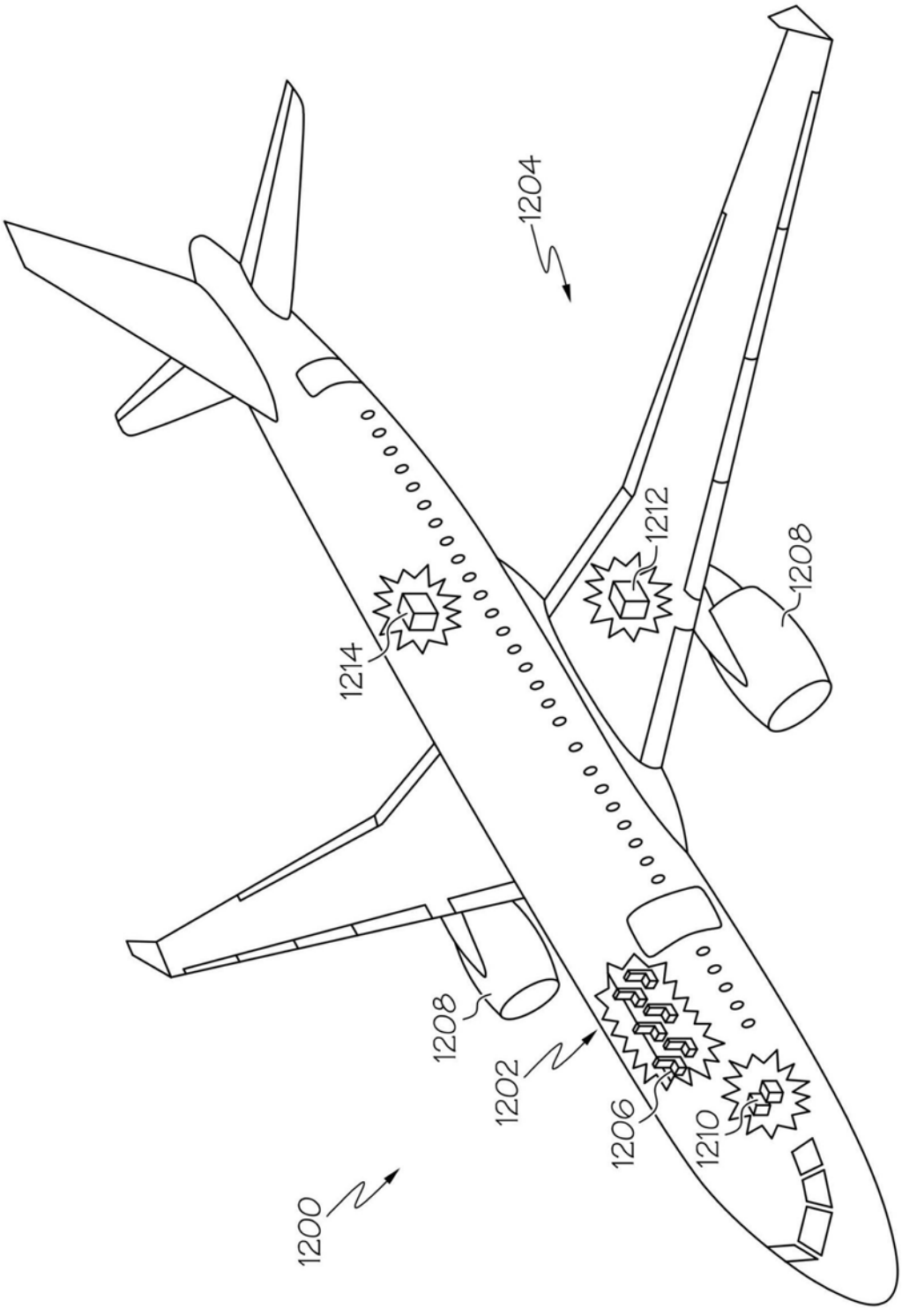


图27