

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
F16C 32/04 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810095126.6

[43] 公开日 2008年9月17日

[11] 公开号 CN 101265946A

[22] 申请日 2008.3.7

[21] 申请号 200810095126.6

[30] 优先权

[32] 2007.3.8 [33] US [31] 60/905710

[32] 2007.11.2 [33] US [31] 11/934396

[71] 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 K·R·韦伯 M·A·阿利

M·埃特沙米 R·加丹吉

R·索德拉 J·D·范丹

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 庞立志 韦欣华

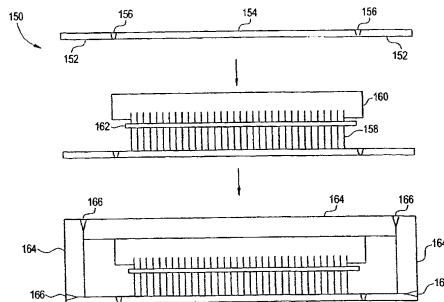
权利要求书2页 说明书16页 附图5页

[54] 发明名称

包封的定子组合件及制造方法

[57] 摘要

本发明涉及包封的定子组合件及制造方法。在操作期间使用磁性轴承来支撑转子轴的转子和定子组合件可以适合于腐蚀环境如酸性气体中。对于酸性气体应用来说，转子和定子组合件包括符合NACE的磁性轴承结构。一实施方案包括包封的定子组合件(60)，其包括磁性材料制成的定子套管(154)；与定子套管(154)共轴的、固定连接到定子套管(154)每端上的非磁性材料制成的套管延伸部(152)，其中对连接点进行热处理；和构造用于密封容纳定子且形成包封的定子组合件(60)的固定连接到套管延伸部(152)的非磁性材料制成的壁(70)。



1. 一种包封的定子组合件(60), 包括:
磁性材料制成的定子套管(152);
与定子套管(154)共轴的、固定连接到定子套管(154)每端上的非磁性材料制成的套管延伸部(152), 其中对连接点进行热处理; 和
构造用于密封容纳定子且形成包封的定子组合件(60)的固定连接到套管延伸部(152)的非磁性材料制成的壁(70)。
2. 权利要求1所述的包封的定子组合件(60), 其中所述定子套管(154)磁性材料由, 以沉淀硬化的马氏体不锈钢的总重量计, 含 10-20wt%铬的沉淀硬化的马氏体不锈钢制成。
3. 前述权利要求任一项所述的包封的定子组合件(60), 其中所述非磁性材料包括, 以镍基合金的总重量计, 含有 40-70wt%镍的镍基合金。
4. 前述权利要求任一项所述的包封的定子组合件(60), 进一步包括特征为围绕导电材料的非磁性耐腐蚀合金的线。
5. 前述权利要求任一项所述的包封的定子组合件(60), 其中阻挡层形成在定子套管(152)、套管延伸部(152)、壁(70)或它们的组合上。
6. 前述权利要求任一项所述的包封的定子组合件(60), 进一步特征在于与定子组合件(60)操作通信的传感器(36), 其中所述传感器(36)包括阻挡层。
7. 一种形成包封的定子组合件(60)的方法, 所述方法特征在于:
将非磁性材料制成的定子套管延伸部(152)焊接到磁性材料制成的定子套管(154)上, 随后在有效减轻焊接应力的温度下对所焊接的定子套管延伸部(152)和定子套管(154)进行热处理;
将定子电磁组件连接到定子套管(154); 以及
将非磁性材料制成的壳体(162)焊接到定子套管延伸部(152), 其中构造所述壳体来包封和密封定子电磁组件。
8. 权利要求7所述的方法, 其中所述磁性材料由, 以沉淀硬化的马氏体不锈钢的总重量计, 含 10-20wt%铬的沉淀硬化的马氏体不锈钢制成。
9. 根据权利要求7-8任一项所述的方法, 其中所述非磁性材料由, 以镍基合金的总重量计, 含 40-70wt%镍的镍基合金制成。

10. 根据权利要求 7-9 任一项所述的方法, 其中热处理所述焊接的定子套管延伸部(152)和定子套管(154)包括使所述定子套管延伸部(152)和定子套管(154)经受双老化硬化方法。

包封的定子组合件及制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及使用磁性轴承并且可用于腐蚀环境中的转子和定子组合件以及组装磁性轴承的方法。转子和定子组合件可用于涡轮膨胀机、泵、压缩机、电动机和发电机以及用于油气工业的相似涡轮机器。

背景技术

[0002] 涡轮膨胀机是降低原料气体物流压力的装置。在这种情况下，减压期间可以抽取出有用功。此外，涡轮膨胀机也能产生流出物物流。然后该流出物物流可以流经分离器或蒸馏塔将流出物分离成重质液体物流。涡轮膨胀机使用旋转设备，其较昂贵并通常包括设置在具有径向入口和轴向出口的壳体内部的向心式(radial inflow)涡轮转子。涡轮转子通过固定于转子上的轴旋转设置在轴承内。针对以下事情，这种涡轮膨胀机可以用于各种各样的不同气体物流，例如空气分离、天然气加工和传送、回收来自膨胀过程的压力降低能量、来自相关过程的废热的热能回收等。压缩机作为从涡轮膨胀机取得功或仅耗散能量的装置与涡轮膨胀机相联。

[0003] 可用于支撑涡轮机器如上述涡轮膨胀机或压缩机中的转子轴的轴承有三种主要类型。各种类型的轴承包括磁性轴承、滚柱-元件(roller-element)轴承和流体-薄膜轴承。磁性轴承使用电磁力定位并支撑移动轴。轴可以转动(旋转)或往复运动(直线平移)。相反，流体-薄膜轴承和滚柱-元件轴承直接与转子轴接触，通常需要流体型润滑剂，例如油。

[0004] 磁性轴承提供了优于流体-薄膜轴承和滚柱-元件轴承的性能。磁性轴承通常具有较低的阻力损失(drag losses)、较高的刚度(stiffness)和阻尼特性以及适当的负载容量。此外，不同于其他类型的轴承，磁性轴承并不需要润滑，因而省去了油、阀门、泵、过滤器、冷却器等，而这些增加了复杂性并且包括了工艺污染的风险。

[0005] 在通常的转子和定子组合件的磁性轴承结构中，包含多个电磁线圈

的定子围绕着铁磁材料形成的转子轴。称为磁性径向轴承的每个电磁线圈，因它们径向围绕转子，产生倾向于吸引转子轴的磁场。转子轴组合件由转子轴附近适当位置处定子内的这些活化(active)磁性径向轴承进行支撑。通过改变特定磁体的线圈中电流的数值，可对吸引力进行控制以使转子保持在磁体的中心。定子内的传感器围绕着转子并测量转子与中心位置的偏离。数字处理器使用来自传感器的信号来确定如何调整磁体中的电流以将转子定位在磁体的中心。检测轴位置、处理数据并调整线圈中电流的循环能够以每秒钟高达 25,000 次的速率发生。因为转子“漂浮”在空间不接触磁体，所以不需要任何种类的润滑。

[0006] 当磁性轴承未被供给能量时，耐磨轴承以及密封件可安装在转子轴的每个端部以支撑所述轴。这避免了转子轴和定子径向磁性轴承之间有任何接触。这些辅助或“支撑(back-up)”轴承通常是干燥的、润滑的，并在正常运行中保持空载。

[0007] 油气工业中，转子和定子组合件可以运行在也可用作冷却剂的工艺气体中。工艺气体通常是压力在约 10bar-约 200bar 下的天然气。遗憾的是，天然气可能具有大量的污染物。这些污染物可能包括腐蚀剂例如硫化氢(H_2S)、水、 CO_2 、油以及其它。在最坏的情况下，水和 H_2S 的结合产生所谓的湿酸性气体(sour gas)，一种腐蚀性更高的气体。磁性轴承通常需要冷却以保持轴承组件中的可接受的温度。使用工艺气体直接作为冷却剂提供了如下的显著的益处：能实现无缝(seal-less)系统，这消除了对缓冲(buffer)气体(在上游的油气应用中通常不可得)的需要；和提高所安装的涡轮机器的安全性和可操作性。然而，磁性轴承组合件的冷却以及其在含有上述污染物的工艺气体环境中的使用对磁性轴承的易损坏组件造成重大的风险。

[0008] 全国防腐工程师协会(The National Association of Corrosion Engineers) (NACE) 标准 MR0175, "Sulfide Stress Corrosion Cracking Resistant Metallic Materials for Oil Field Equipment"是油气工业中广泛使用的标准,规定了提供在酸性气体(sour gas)环境中使用的良好使用寿命的机械所需的适宜材料、热处理条件和硬度水平。符合 NACE 的材料或组件基本上是耐腐蚀的,所述腐蚀是例如将不符合 NACE 的材料暴露到酸性气体和/或湿酸性气体时可能发生的。例如,符合 NACE 的焊接件通常需要后焊接热处理过程以减轻通常将会促进腐蚀敏感性的任何焊接应力。目前,油气工业中使用的磁性轴承系统还没有完全是符合

NACE 的。

[0009] 符合 NACE 是合乎需要的, 因为转子轴组合件包括多个在运行中可能要暴露于酸性气体环境的组件。这些包括, 特别地, 转子轴本身、绕转子轴的磁性转子叠片(laminations)以及转子下落套管(rotor-landing sleeves)。作为对腐蚀剂敏感性的实例, 已经发现, 如果转子叠片暴露到湿酸性气体中, 它们通常由于氢脆和应力相关的腐蚀开裂而失效。应力相关的腐蚀开裂是一问题, 因为磁性转子叠片通常随冷缩配合(shrunk-fit)到转子轴上的冲压而制成。在以工作速度运行期间, 由于冷缩配合应力和施加其上的径向力, 这些组件经受较高的机械应力。

[0010] 用于转子和定子组合件中的现有磁性轴承系统的另一弊端涉及通常用于构建转子轴和/或转子叠片的钢合金。选择对酸性气体最有耐力的钢组分通常具有差的磁性能。由此, 转子轴上发生高的电磁损耗, 导致热负载超过 1.00 W/cm^2 (6.45 W/in^2)。暴露到热负载高温中会降低钢对酸性气体腐蚀的耐受力。考虑到与较大组件相关的成本和足迹(foot prints), 增大组件的尺寸以使热负载最小是不现实的。

[0011] 除了转子轴和叠片以外, 转子轴组合件通常包括冷缩配合到转子轴每端上的转子下落套管。如果转子下落, 该下落套管与滚柱-元件支撑轴承的内滚道(inner race)相啮合, 在转子下落期间, 磁性轴承失效并在随后的停止过程中支撑轴承不得不支撑转子。目前, 转子下落套管由不符合 NACE 的材料制成, 因此在酸性气体环境中遭受腐蚀。

[0012] 磁性轴承的定子是静止组件, 为转子组合件悬浮提供了磁场源。空气空隙将定子与转子轴分离开来。为了最大化磁场强度和浮力, 该空气空隙要制得尽可能的小, 同时还要满足转子轴和定子之间的机械间隙要求。所述空隙尺寸通常为毫米分数(millimeter fractions)的量级。如果所述空隙增大, 定子中的线圈需要更大的电流来浮起转子, 或者不得不增加定子的直径或轴长, 所有这些都增加了整体的定子尺寸。如果定子尺寸有限且不能增大, 那么倘若空气空隙大于机械间隙所要求的, 浮力就会降低。

[0013] 现有的定子或者被包封或者未包封。在包封定子的情况下, 定子“罐(can)”保护定子组件远离过程环境。现有的定子罐通常包括端部连接的相同材料的两同心管。该管状罐部分设置在定子和转子轴之间的空隙中。如果罐材料是

非磁性的，那么在所需的机械间隙上它增加了另外的磁空隙，这降低了承载量 (bearing capacity)。为了保持承载量，可将管状罐部分的材料选择为磁性的。

[0014] 在目前的实践中，定子罐部分与磁性的符合 NACE 的合金(典型的实例是具有 15-18wt%铬、3-5wt%镍和 3-5wt%铜含量的镍铬合金，如 17-4 沉淀硬化(PH)不锈钢)装配并焊接在一起。焊接件通常将会需要在超过 600°C 的温度下后焊接热处理以便完全符合 NACE。然而，由于经包封的电子定子组件和现有制造方法的温度限制，不进行热处理是可能的，因此，焊接件目前并不符合 NACE，且例如因暴露到酸性气体中而遭受腐蚀和失效。此外，定子的一些组件，例如传感器以及电力线和仪表线(power and instrumentation wires)，并不能被包封，并且暴露到工艺气体环境。

[0015] 现在参照现有技术的附图 1，显示了一种示例性涡轮膨胀机-压缩机系统，通常标示为附图数字 10，其包括具有多个用于支撑转子轴的磁性轴承的转子和定子组合件。系统 10 包括壳体 16 相对两端上的涡轮膨胀机 12 和压缩机 14，壳体包括多个用于支撑转子轴 20 的磁性轴承 18。

[0016] 每个磁性轴承 18 都包括绕转子轴 20 设置的定子 22。定子 22 包括定子杆、定子叠片和设置用于提供磁场的定子线圈(未示出)。固定在转子轴 20 上的是转子叠片 24，每个转子叠片与每个定子 22 匹配(align)并设置成磁性通信。在适当地供给能量时，定子 22 有效吸引转子叠片 24，以便提供转子轴 20 的浮置和径向设置。所例示的系统 10 还包括另外的轴向磁性轴承 26 和 28，以通过作用于磁性转子推力盘(thrust disk) 30 而使转子轴 20 沿轴向对准(align)。滚柱-元件支撑轴承 32 设置在转子轴每端的附近并进行定位，以当磁性轴承失效时或者当系统 10 在断开状态时以使转子下落套管 34 啮合设置在转子轴 16 上。当配置系统 10 来适应轴向或推力(thrust)负载时，要增加套管 34 的宽度来适应任何的轴向运动。

[0017] 支撑轴承 32 通常由滚柱-元件轴承制成。在这种轴承中，内滚道和外滚道需要高硬度(通常超过 HRC 40 (Rockwell C-级硬度))的钢合金以获得低磨损和长的轴承寿命。然而，在钢合金中，高硬度和耐腐蚀性是互相矛盾的要求。因此，现有的滚道(race)由并不满足 NACE 腐蚀要求的高硬度钢合金制成。

[0018] 系统 10 进一步包括多个表示为 36 的传感器以及与控制单元(未示出)电通信的电力线和仪表线 38。传感器 36 通常用于感测转子轴 20 上的轴向和径

向间断性使得通过控制单元能够监测沿轴的径向和轴向位移(displacement)以在转子轴 20 上产生合乎需要的磁性浮力。

[0019] 现有技术图 2 例示了示例性转子和定子组合件 50 的局部剖视图。该转子和定子组合件 50 包括转子轴组合件 52，其包括连接到转子轴 56 上的转子叠片 54。包封的定子组合件 60 围绕着转子轴组合件 50 并且包括定子架 62、包裹在导电线圈 66 中的磁性定子叠片 64 和定子套管 68。定子套管 68 通常具有 0.05-5.0 毫米(mm)范围内的厚度。包封的定子组合件 60 包括由通常约 1 厘米厚的壁 70 和定子套管 68 所限定的密封罐。罐由在各界面 72 处焊接的多个部分形成。这些焊接件是不符合 NACE 的。其它未示出的定子组件是定子槽、杆、传感器以及电力线和仪表线。空气空隙 80 将转子轴组合件 52 与定子组合件 60 分开。运行中，转子轴 56 悬浮在定子组合件 60 所产生的磁场中。

[0020] 考虑到利用磁性轴承系统的转子和定子组合件在腐蚀环境中的不断使用，存在有一种不断增加的需求，以克服上述现有磁性轴承的缺点。

发明简述

[0021] 本发明公开了一种耐腐蚀定子组合件(assembly)及制造它的方法。在一实施方案中，定子组合件包括由磁性材料制成的定子套管(sleeve)；与定子套管共轴并固定连接到定子套管每端上的非磁性材料制成的套管延伸部，其中对连接点进行热处理；以及构造用于密封容纳(house)定子且形成包封的定子组合件的、固定连接到套管延伸部的非磁性材料制成的壁。

[0022] 在另一实施方案中，定子组合件包括定子套管；包裹在与套管磁通信的导电线圈内的磁性定子叠片；和形成在定子套管、磁性定子叠片和它们的组合上的阻挡层。

[0023] 用于形成包封的定子组合件的方法，包括将非磁性材料制成的定子套管延伸部焊接到磁性材料制成的定子套管上并随后在有效减轻焊接应力的温度下对所焊接的定子套管延伸部和定子套管热处理；以及将非磁性材料制的壳体焊接到定子套管延伸部，其中所述壳体被构造用来包封和密封定子电磁组件。

[0024] 本发明所公开的组件和方法的特征和优点通过参考以下的附图和详述以及其中所包含的实施例会变得更容易理解。

附图简述

[0025] 下文的附图是为示例的目的，其中相同的元素用相同的数字表示。

[0026] 图 1 是举例说明例如用于膨胀机-压缩机中的磁性轴承转子组合件和定子的磁性轴承系统的现有技术示意图。

[0027] 图 2 是显示了相对于转子组合件设置、具有非符合 NACE 的焊接件的定子罐的包封的定子的现有技术示意图。

[0028] 图 3 是显示了包覆有聚合物阻挡层的转子组合件的示意图。

[0029] 图 4 是显示了构建具有符合 NACE 的焊接件的定子的步骤的示意图。

[0030] 图 5 是相对于转子轴和转子下落套管设置的滚柱-元件支撑轴承的示意图。

部件列表:

10	磁性轴承系统
12	涡轮膨胀机
14	压缩机
16	壳体
18	磁性轴承
20	转子轴
22	定子
24	转子叠片
26	轴向磁性轴承
28	轴向磁性轴承
30	磁性转子推力盘
32	滚柱-元件支撑轴承
34	转子下落套管
36	传感器
38	仪表线
50	定子组合件
52	转子轴组合件

54	转子叠片
56	转子轴
60	包封的定子组合件
62	定子架
64	定子叠片
66	导电线圈
68	定子套管
70	壁
72	界面
80	空气空隙
100	转子轴组合件
102	转子轴
104	转子叠片
106	阻挡层
108	转子下落套管
150	过程/方法
152	非磁性定子套管延长部部分
154	定子套管
156	界面
158	磁性叠片
160	定子架
162	导电线圈
164	定子罐部分
166	界面
200	支撑轴承
202	转子轴
204	下落套管
206	外滚道
208	内滚道

发明详述

[0031] 本发明提供了一种包含磁性轴承的转子和定子组合件以及装配适用于腐蚀环境中的磁性轴承的方法。磁性轴承组合件可制成完全符合 NACE 的，正如一些应用中所期望的。例如，符合 NACE 的转子轴组合件通过用阻挡层薄膜包覆磁性钢转子轴和转子叠片而获得。对于使用包封的定子组合件的磁性轴承系统来说，使用用于包封的磁性和非磁性材料的组合获得了符合 NACE 的定子罐，当它们焊接在一起时，仅需要在不同材料之间的结合点(joints)的热处理。同样，通过使用下文更详细说明的具体原料可将转子下落套管、支撑轴承的内滚道和外滚道以及电力线和仪表线制成符合 NACE 的。

[0032] 涡轮膨胀机用作示例性实例，但是本发明所公开的腐蚀环境用磁性轴承可用于轴向轴承以及其他磁性轴承的设备(implementations)；例如泵、压缩机、马达、发电机和其他涡轮机。

[0033] 图3例示了一种使磁性轴承的转子组合件适用于腐蚀环境如酸性气体和湿酸性气体环境的实施方案。转子轴组合件 100 包括转子轴 102、绕轴设置的转子叠片 104 和转子下落套管 108。显示了阻挡层 106 设置在转子轴组合件的所有暴露表面上。在任意的实施方案中，阻挡层形成在转子轴组合件的选定表面上。例如，阻挡层可形成在最容易腐蚀的转子组合件的选定区域上。这些包括转子轴、转子叠片或用于共同形成转子叠片的冲压器(punchings)的选定区域。在一实施方案中，阻挡层可施加到包含叠片的转子上，叠片由已知的不具有或仅具有低的耐腐蚀性的铁-硅(FeSi)制成。符合 NACE 的合金，例如 17-4 PH 不锈钢通常不需要聚合物表面涂层，因为它们天性是耐腐蚀的。

[0034] 非必需地，在阻挡层施加之前可施加底涂层(primer coat)。底涂层的具体厚度将依赖于所选的阻挡层材料的类型，但通常应该进行选择以有效用于设置磁性轴承的具体环境中。根据聚合物的组成和预期的应用来最优化层的厚度是在本领域技术人员知识范畴内的。

[0035] 用于形成阻挡层 106 来保护腐蚀环境中的转子轴组合件 100 的适宜材料包括但并不旨在限制于各种全部氟化(也就是全氟化)和部分氟化的聚合物。适宜的全部氟化聚合物包括聚四氟乙烯(PTFE)和全氟烷氧基-四氟乙烯共聚物(PFA)、氟化乙烯-丙烯共聚物(FEP)等。PFA 是四氟乙烯[CF₂=CF₂]与全氟化烷基乙烯醚[F(CF₂)_nCF₂O-CF=CF₂]的共聚物。获得的聚合物包含典型的 PTFE 与全氟

烷氧基侧链的 C-F 主链。适合阻挡层的一种具体形式的 PFA 是四氟乙烯-全氟甲基乙烯基醚共聚物(MFA)。部分氟化的聚合物包括乙烯-三氟氯乙烯共聚物(ECTFE)、乙烯-四氟乙烯共聚物(ETFE)和聚偏二氟乙烯(PVDF)。

[0036] 氟化聚合物的组合以 Whitford 公司的商标名 Xylan™进行销售, 且杜邦(Dupont)的 Teflon™和 Teflon-S™也是有用的阻挡层材料。Xylan™涂层部分包括 PTFE、PFA 和 FEP。Teflon™涂层部分包括 PTFE、PFA、FEP 和 ETFE 碳氟化合物树脂。Teflon-S™是包含有粘合树脂的另一相关系列的碳氟化合物涂层, 其提供了增加的硬度和抗磨性或其他合乎需要的性能。

[0037] 用于形成阻挡层的其他有机材料包括粉状的环氧树脂类、填充环氧树脂类、填充硅酮和填充 PPS(聚苯硫)。代表性的热固性环氧树脂粉涂层包括但不旨在限制于购自 3M 公司的 Scotchkote™ 134 和 Scotchkote™ 6258。

[0038] Scotchkote™ 134 熔融粘结的环氧树脂涂层(FBEC)是一部分可热固化的热固性环氧树脂涂层, 其部分包括二(4-羟苯酚)异亚丙基二环氧甘油醚(diglycidyl ether)-二(4-羟苯酚)异亚丙基共聚物。Scotchkote™ 6258 熔融粘结的环氧树脂涂层(FBEC)是一部分可热固化的热固性环氧树脂涂层, 其部分包括二(4-羟苯酚)异亚丙基二环氧甘油醚-二(4-羟苯酚)异亚丙基共聚物和表氯醇-邻甲酚-甲醛聚合物的混合物。Scotchkote™ 134 和 Scotchkote™ 6258 以干燥粉的形式非必需地施加到 25.4 微米(1 mil)的苯酚底涂层上并在 150°C-250°C 的温度下热固化直到 30 分钟达 254-381 微米(10-15 mil)的厚度。

[0039] 用于形成图 3 中的阻挡层 106 的其它材料包括氧化物、磷酸盐和铬酸盐的转化涂层(conversion coatings), 更具体来说, 转化材料以 Sermatech 的商标名 Sermalon™、Sermaloy™、Sermagard™和 Sermatel™进行销售。

[0040] Sermalon™涂层系统包括铝填充的铬酸盐/磷酸盐粘结涂层, 中间的高温聚合抑制涂层和 PTFE 浸渍外涂层(topcoat)。涂层厚度范围为 100-150 微米。SermaLoy™是具有富硅外层的金属间镍铝化物。Sermatel™是粘结到金属上产生金属-陶瓷复合物的无机涂层系列。Sermagard™是具有陶瓷粘结剂的水基铝化涂层。

[0041] 聚合物阻挡层 106 的厚度范围可以从 2 微米-600 微米(0.079 mil-23.6 mil)。

[0042] 聚合物阻挡层 106 可以以液体分散液或粉末形式施加到衬底(也就

是在转子组合件的全部表面或选定表面上), 非必需地在底层(primer)之上。在水或溶剂悬浮液中含有聚合物材料的液体分散液可用喷涂(spray)和干燥涂膜法(bake coating process)予以施加, 其中将液体分散液喷雾到衬底上以供随后加热高于在所述分散液中所包含的聚合物材料的熔化温度。施加粉状聚合物材料的已知方法包括例如使用静电聚焦电子枪(electrostatic gun)、静电流化床或静电植绒枪(flocking gun)将粉末喷涂到衬底上。在另一实施例中, 粉末可喷涂到已经加热至聚合物材料熔化温度之上的衬底上来形成涂层, 也称为热喷涂。使用称为“旋转加衬(rotolining)”的方法施加涂层也是已知的, 其中例如在聚合物材料的熔化温度之上于炉体中加热衬底和粉末, 同时旋转衬底以在衬底上形成无缝的涂层。

[0043] 如上所述, 阻挡层 106 被施加到转子轴组合件 100 的至少一个暴露的选定表面上, 该表面可以包括一个或多个由转子叠片 104、转子轴 102、转子下落套管 108 所限定的表面, 其它转子组合件表面或完全装配的转子 100。目的在于将转子组合件的部分或全部包封到抑制例如暴露到酸性气体时可发生的腐蚀的保护涂层中。

[0044] 转子轴组合件的组件通常由磁性钢制成。在一实施方案中, 转子叠片由铁硅(FeSi)材料制成且其上设置有聚合物阻挡涂层。

[0045] 在另一实施方案中, 转子叠片覆盖有含耐氢镍基合金的阻挡层, 以镍基合金的总重量计, 该合金含有 40-90wt%(重量百分数)的镍。本文中“X-Ywt%”意味着“Xwt%-Ywt%”, 其中 X 和 Y 为数值。特别地, 耐氢镍基合金是 Haynes 国际(Haynes International)的 HASTELLOY® C22®, 以镍基合金的总重量计, 包括约 56wt%的镍、约 2.5wt%钴、约 22wt%铬、约 13wt%钼、约 3wt%钨、约 3wt%铁、约 0.5wt%锰、约 0.08wt%硅、约 0.35wt%矾和约 0.010wt%碳。

[0046] 在另一实施方案中, 转子轴由 17-4PH 型不锈钢合金的磁性钢, 一种以沉淀硬化的马氏体不锈钢的总重量计包含 10-20wt%铬并进一步包含铜和铌的添加物的沉淀硬化的马氏体不锈钢制成。更具体来说, 以沉淀硬化的马氏体不锈钢的总重量计, 所述沉淀硬化的马氏体不锈钢包含约 16.5wt%铬、约 4.5 wt%镍、约 3.3wt%铜和约 0.3wt%铌。磁性钢的使用能够构建具有紧凑尺寸的转子轴组合件。聚合物阻挡层或转子叠片上非必需的 HASTELLOY® C22®涂层为如来自暴露到酸性气体的腐蚀提供了附加的耐受性。然而, 耐酸性气体的合金例如 17-4PH 型合金的使用, 与例如铁硅合金(FeSi)相比, 影响了转子的磁性能, 因而

增加了电磁损耗。这提出了重要的挑战，特别是在美国石油学会(American Petroleum Institute)所要求的装配机器的环境空气测试中。环境空气具有显著较低的压力，因而，相比于加压的工艺气体，具有更低的冷却能力。此外，其热性能和输运性能劣于许多工艺气体，与加压工艺气体相比，进一步减低了其冷却能力。对此补偿的一种方法是增加转子的尺寸以便增加暴露的区域，从而降低转子表面热通量并增加冷却能力。然而，这降低了目的应用中磁性轴承的吸引力。如果不增加转子尺寸，获得的转子可具有超过 1 W/cm^2 (6.45 W/in^2) 的转子表面热通量。如果在环境空气中测试，这会容易地导致过热升高超过叠片式转子(laminated rotor)隔热材料能力。所有这些弊端都可通过在空气或其他气体(例如氮气)中于维持轴承组件的可接受温度的足够高的压力下和/或足够低的温度下测试装配机器来避免。所需压力和温度的确切组合在设计上是相关的并需要在适当选择的测试条件下对预期转子损耗的认识。除了 17-4PH 合金以外的合金，例如西部电子公司(Western Electric Company)的 PERMALLOY™和 Allegheny Ludlum 公司的 MOLY PERMALLOY™合金、低碳马氏体不锈钢、或相似材料，也可用于制造转子叠片。以合金的总重量计，PERMALLOY™和 MOLY PERMALLOY™包括约 80wt%镍、约 14wt%铁、约 4.8wt%钼、约 0.5wt%锰和约 0.3wt%的硅。以低碳马氏体不锈钢的总重量计，低碳马氏体不锈钢包括约 11.5-17.0wt%铬、约 3.5-6.0wt%镍、和不超过 0.060wt%的碳。

[0047] 在另一实施方案中，如图 3 中所示的转子下落套管 108 由以钴基超合金钢制成，以钴基超合金钢的总重量计，其含有 40-70wt%的钴。使用钴基超合金钢有利地使得转子下落套管符合 NACE。更具体来说，适宜的钴基超合金钢包括但不旨在限制于 Haynes 国际公司(Haynes International Corp.)销售的商标名为 ULTIMET®的钴基超合金钢，以钴基超合金钢的总重量计，包括约 54wt%钴、约 26wt%铬、约 9wt%镍、约 5wt%钼、约 3wt%铁、约 2wt%钨、约 0.8wt%锰、约 0.3wt%硅、约 0.8wt%氮和约 0.06wt%碳。其它适宜的钴基超合金钢包括 HAYNES™ 6B 以及由 Armoloy 公司以商标名 Armoloy®销售的铬涂层，其中 HAYNES™ 6B 以钴基超合金钢的总重量计包括约 51wt%钴、约 10wt%镍、约 20wt%铬、约 15wt%钨、约 3wt%铁、约 1.5wt%锰、约 0.4wt%硅和约 0.10wt%碳。ULTIMET®和 HAYNES™ 6B 合金主要包括钴、铬和镍。这些钴基超合金显示出突出的摩擦特性，该性能在当转子轴落在滚柱-元件支撑轴承上时在磁性

轴承失效期间防止对转子轴表面的损害是必需的,此时同时满足了耐腐蚀性的要求。此外,存在有镍-钴基合金(例如 MP35N 合金),其可进行加工硬化(work hardened)和老化来增加它们的硬度以及由此的强度并且仍保持符合 NACE。

[0048] 图 5 显示了滚柱-元件支撑轴承 200 的一般性示意图,其包括相对于转子轴 202 和下落套管 204 的内滚道 208 和外滚道 206。在另一实施方案中,滚柱-元件支撑轴承的内滚道和外滚道由马氏体含氮不锈钢制成,以马氏体含氮不锈钢的总重量计,其包含 10-20wt%铬和 0.1-1.0wt%氮。以组成的总重量计,典型的组成为约 0.25-0.35wt%碳、约 0.35-0.45wt%氮、约 0.5-0.6wt%硅、约 14.5-15.5wt%铬和约 0.95-1.05wt%钼。这些马氏体含氮不锈钢是以 Cronidur-30™ 市购自 Barden 公司或者以 VC444 市购自 SKF Bearings USA。这些马氏体含氮不锈钢可获得足够高的硬度以用于滚柱-元件支撑轴承滚道中(HRC 高于 55),另外提供了优良的耐腐蚀性。

[0049] 在又一实施方案中,可通过向选定表面施加阻挡层材料使各种定子组件得以保护免受腐蚀性气体环境。这些包括定子罐表面、电力线和仪表线、定子传感器和定子套管。对于未包封的定子组合件来说,这是有利的。

[0050] 在另一实施方案中,本发明公开的测试方法能够,在现场安装前,于工厂环境下,测试转子表面热通量超过 1 W/cm^2 (6.45 W/in^2) 的紧凑的磁性轴承。与在石油开采地点所使用的甲烷或天然气相反,这需要在空气或其他惰性气体的加压气氛下在工厂中运转轴承。空气或其他惰性气体通过冷却器或换热器预冷或者任选地是一种在被供给到磁性轴承之前膨胀到选定温度和压力的低温流体。气氛的温度范围是 -260°C 至 40°C 。气氛加压到至少 2 bar 以增加其排热能力同时保持转子温度在工程限制内。

[0051] 如上所述,转子和定子组合件可包括包封的定子组合件,本发明也称为定子罐(stator can)。在一实施方案中,定子罐用符合 NACE 的材料构造并使用磁性和非磁性钢合金的组合进行焊接。磁性钢合金设置在磁性钢提供电磁优点的定子罐的区域例如定子套管中。非磁性钢(例如 Inconel)具有较好的耐腐蚀性且不需要后焊接热处理,因此其被设置在不需磁性钢性能的区域中。

[0052] 在一实施方案中,包封的定子的磁性钢合金包括沉淀硬化的马氏体不锈钢,以沉淀硬化的马氏体不锈钢的总重量计,其含有 10-20wt%铬。更具体来说,以沉淀硬化的马氏体不锈钢的总重量计,该沉淀硬化的马氏体不锈钢包

括约 16.5wt%铬、约 4.5wt%镍、约 3.3wt%铜和约 0.3wt%的铌。

[0053] 在一实施方案中，包封的定子的非磁性材料包括镍基合金，以镍基合金的总重量计，其含有 40-70wt%镍。更具体来说，以镍基合金的总重量计，该镍基合金含有约 58wt%镍、约 21.5wt%铬、约 9wt%钼和约 5wt%铁。

[0054] 图 4 示意性地例示了制造符合 NACE 的定子罐的过程/方法。该过程/方法 150 包括在界面 156 处将非磁性定子套管延伸部部分 152 焊接到定子套管 154。通过形成其上没有设置任何定子组件的套管的组成部分(composite)，符合 NACE 的焊接件可通过将该焊接组成部分暴露到保证焊接区域和所有热影响区域有低硬度(低于 HRC 33)的后焊接热处理而制成。焊接件通过现有技术中允许后焊接热处理的任何焊接方法制成，以便减轻因不同材料焊接而引起的焊接应力并达到小于 HRC 33 的硬度。示例性的焊接方法包括自生(auto-genous)电子束和填充电子束(electron-beam with filler)、激光焊接、TIG 焊接、MIG 焊接、电弧焊接(arc weld)、吹管焊接(torch weld)和包括至少一种上述方法的组合。例如，定子套管延伸部部分 152 可包括焊接到包括 17-4PH 型磁性钢的定子套管 154 每端的非磁性超合金钢。更具体来说，非磁性超合金钢可以包括镍基合金，以镍基合金的总重量计，其含有 40-70%镍。甚至更具体的是，镍基合金可以包括市购自 Inco Alloys International (Inco 合金国际)的 Inconel 625®，其包括约 58wt%镍、约 21.5wt%铬、和约 9wt%钼和约 5wt%铁。随后对所得的单元(unit)进行热处理以在界面 156 处形成符合 NACE 的焊接件。

[0055] 一种适宜的后焊接热处理方法是双老化硬化方法(double age hardening process)，根据 NACE MR0175，进行以下热循环之一：1) 溶液在 $1040\pm 14^{\circ}\text{C}$ 退火(anneal)并空冷或液体淬火到低于 32°C ；然后在 $620\pm 14^{\circ}\text{C}$ 下进行第一次沉淀硬化循环，在该温度下最少 4 小时并空冷或液体淬火到低于 32°C ；然后在 $620\pm 14^{\circ}\text{C}$ 下进行第二次沉淀硬化循环，在该温度下最少 4 小时并空冷或液体淬火到低于 32°C ；或者 2) 溶液在 $1040\pm 14^{\circ}\text{C}$ 退火并空冷或液体淬火到低于 32°C ；然后在 $760\pm 14^{\circ}\text{C}$ 下进行第一次沉淀硬化循环，在该温度下最少 4 小时并空冷或液体淬火到低于 32°C ；然后在 $620\pm 14^{\circ}\text{C}$ 下进行第二次沉淀硬化循环，在该温度下最少 2 小时并空冷或液体淬火到低于 32°C 。

[0056] 此外，连接有定子组件，例如包括包裹在导电线圈 162 中的磁性定子叠片 158 的定子架 160。然后在界面 166 处焊接剩下的定子罐部分 164 以完成

定子罐。罐部分 164 由前面所用的相同或相似的非磁性钢制成，例如上述的 Inconel™ 625 超合金钢。因为焊接相似的材料，所以界面 166 处的焊接件是符合 NACE 的，且不需要后焊接热处理。因此，符合 NACE 的包封的定子可以进行装配并且内部的定子电子组件不遭受破坏水平的热量。

[0057] 接下来，电力线和仪表线连接到定子组件。为提供最大的腐蚀防护，外部电力线和仪表线可制成符合 NACE 的，其中所述的线(wires)包括线套管，其包括围绕导电材料的非磁性耐腐蚀合金。这种符合 NACE 的线实例是使用符合 NACE 的材料如 Inconel 合金作为线套管材料。线套管包封了，例如用陶瓷，如在加压条件下提供了优良电绝缘性的氧化镁(MgO)，进行绝缘的导体。

[0058] 以下的实施例落在上述更广泛描述的方法的范围内并用来举例说明书。实施例仅为示例的目的而呈现，并不旨在限制本发明的保护范围。

实施例 1

[0059] 在这个实施例中，单个的金属样品粉末包覆有 Scotchkote™ 6258 热固性环氧树脂作为阻挡层涂层，并热固化成厚度为 300 微米和 327 微米(之间)。在施加粉末之前，将该部分预热到 150°C-246°C 的温度。然后在 177°C 固化粉末 30 分钟。这些样品在具有工艺气体的高压釜中进行测试以确定涂层在酸性气体环境中的适用性。进行了一系列的测试，其中天然气中的硫化氢含量在 6,000 ppm(百万分之一)至 20,000 ppm 之间变化，水汽含量在 50 ppm 水到饱和之间变化。样品也暴露到 30°C-130°C 的不同温度中。

[0060] 在低于 79°C 的温度下，在暴露到硫化氢和水中的样品中并未观察到腐蚀。

实施例 2

[0061] 在这个实施例中，小规格的转子(2-3 英寸外径的数量级)粉末包覆有 Scotchkote™ 134。在施加粉末之前，将转子预热到 150°C-246°C 的温度。然后在 177°C 下固化粉末 30 分钟至厚度为 300 微米-327 微米。同样将这些样品在具有工艺气体的高压釜中进行测试以确定涂层在酸性气体环境中的适用性。

[0062] 当暴露到高水平的硫化氢(6,000-20,000 ppm)和水(50 ppm 至饱和)和 80 °C 时，样品并未显示出腐蚀。

实施例 3

[0063] 在这个实施例中，两个全尺寸产品转子包覆有厚度为 178 微米-406 微米(7 mil-16 mil)的 Sermalon™。在生产条件下现场对它们进行测试并通过。这些产品转子现场安装，涂层经受腐蚀性操作气体环境超过 2,000 小时并且防止酸性气体对下层(underlying)金属组件的腐蚀。样品没有显示出腐蚀。

实施例 4

[0064] 在这个实施例中，对典型的支撑轴承滚道的 Cronidur 30 样品进行 NACE 环境测试。该材料通过标准耐 720 小时环测试(standard 720 hour proof ring tests)，根据 NACE TM0177 方案 A，在典型的支撑轴承滚道的应力水平下，而没有腐蚀的迹象。

实施例 5

[0065] 在这个实施例中，对典型的支撑轴承下落套管的 Haynes 6-B 样品进行 NACE 环境测试。该材料通过标准耐 720 小时环测试，根据 NACE TM0177 方案 A，在典型的支撑轴承下落套管的应力水平下，而没有腐蚀的迹象。

实施例 6

[0066] 在这个实施例中，对典型的定子罐焊接件的 Inconel 625 和 17-4 PH 焊接样品进行 NACE 环境测试。该材料通过标准耐 720 小时环测试，根据 NACE TM0177 修改方案 A，在典型的定子罐的应力水平下，而焊接件中没有腐蚀的迹象。

[0067] 上述各种实施方案的组合提供了一种对例如在酸性气体环境中可遇到的腐蚀元素具有优良耐受性的磁性轴承。

[0068] 单数形式的“a(一种)”、“an(一种)”和“the(该/所述)”包括复数的指示物，除非上下文另外清楚地说明。涉及相同特征或组分的所有范围的端值可独立地组合并包括所列举的端值。

[0069] 本说明书使用了实施例来公开本发明，包括最佳实施方式并且也能使任何本领域的技术人员实施本发明，包括制造和使用任何设备或系统并进行

任何所引入的方法。本发明的专利性范围由权利要求进行限定，并包括本领域的技术人员想到的其他实例。这种其他实例意欲落在权利要求的范围内，条件是它们具有并非不同于权利要求的文字语言的结构元件或者条件是它们包括与权利要求文字语言没有实质性差异的等同结构元件。

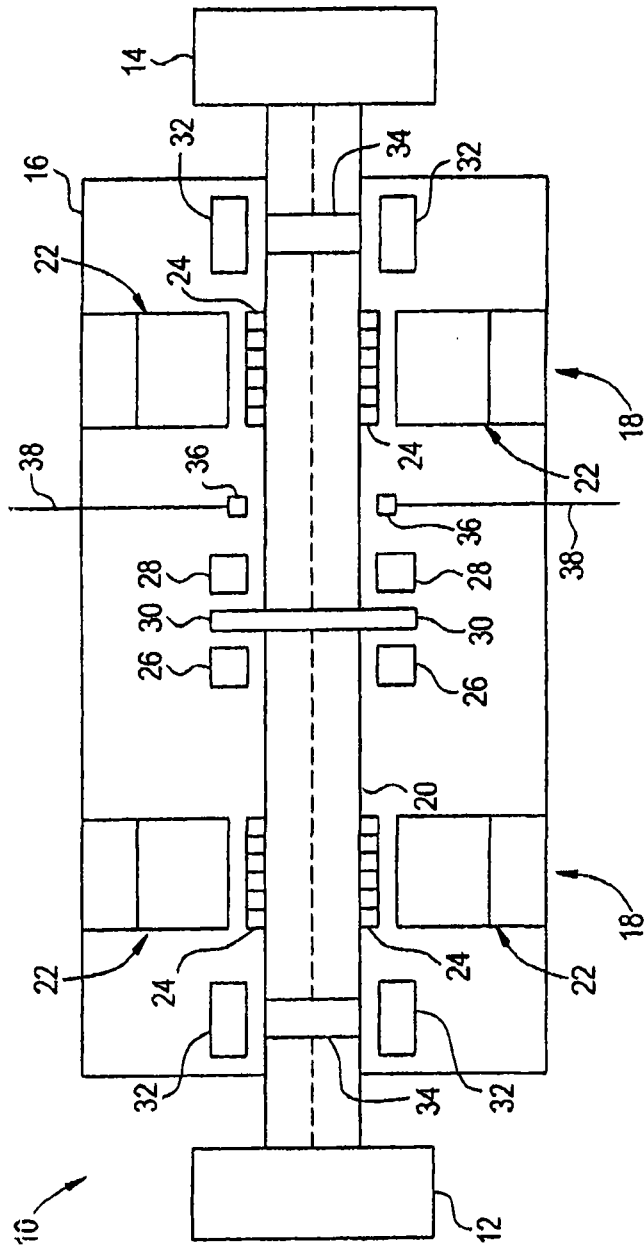


图 1
现有技术

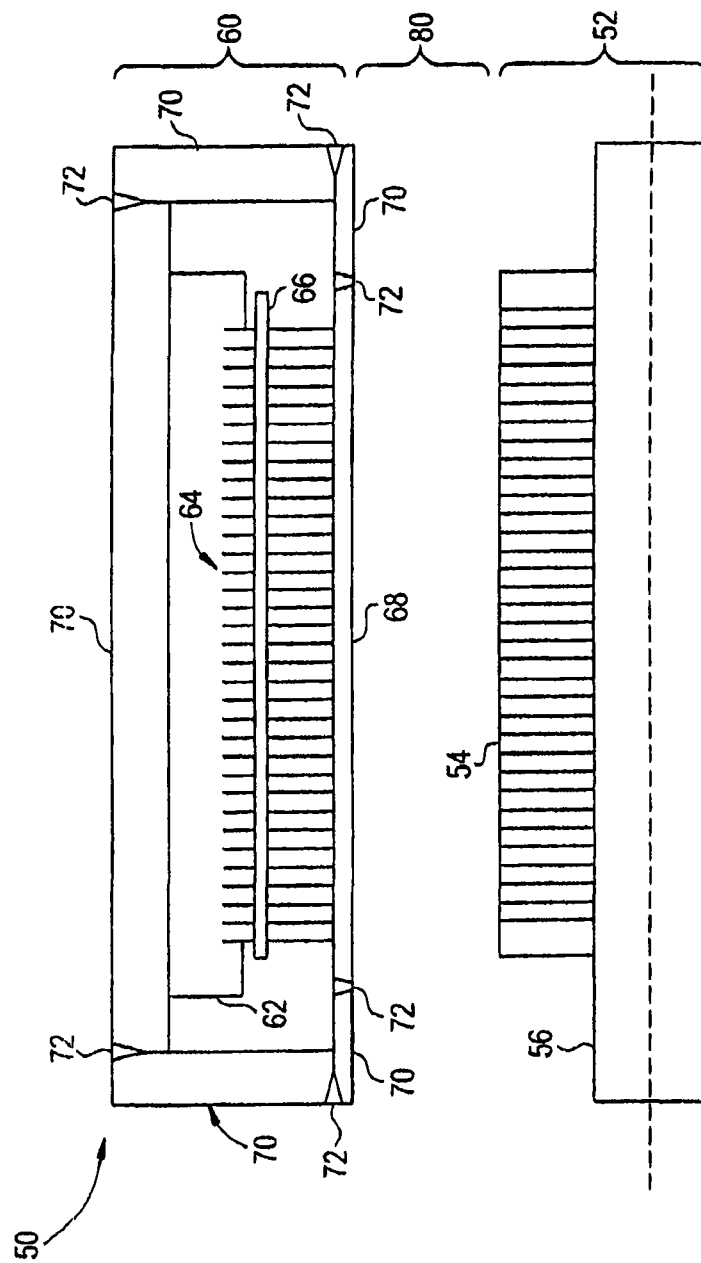


图 2
现有技术

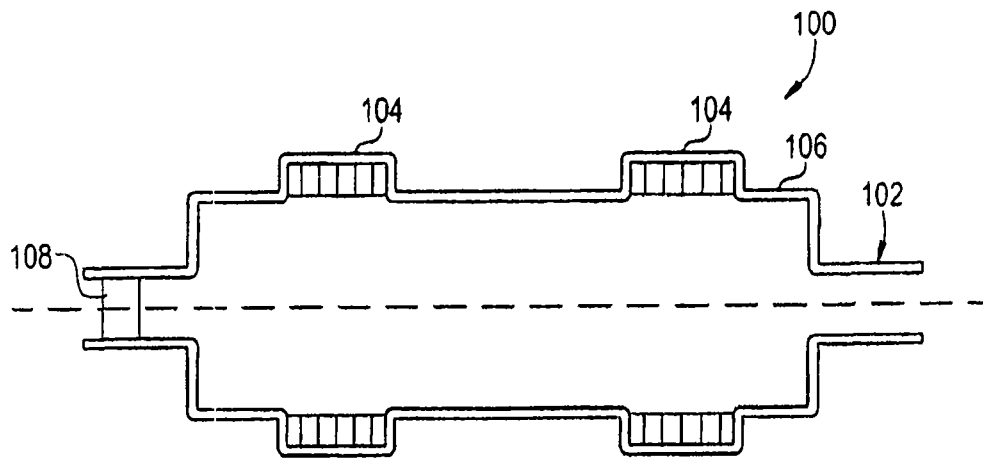


图 3

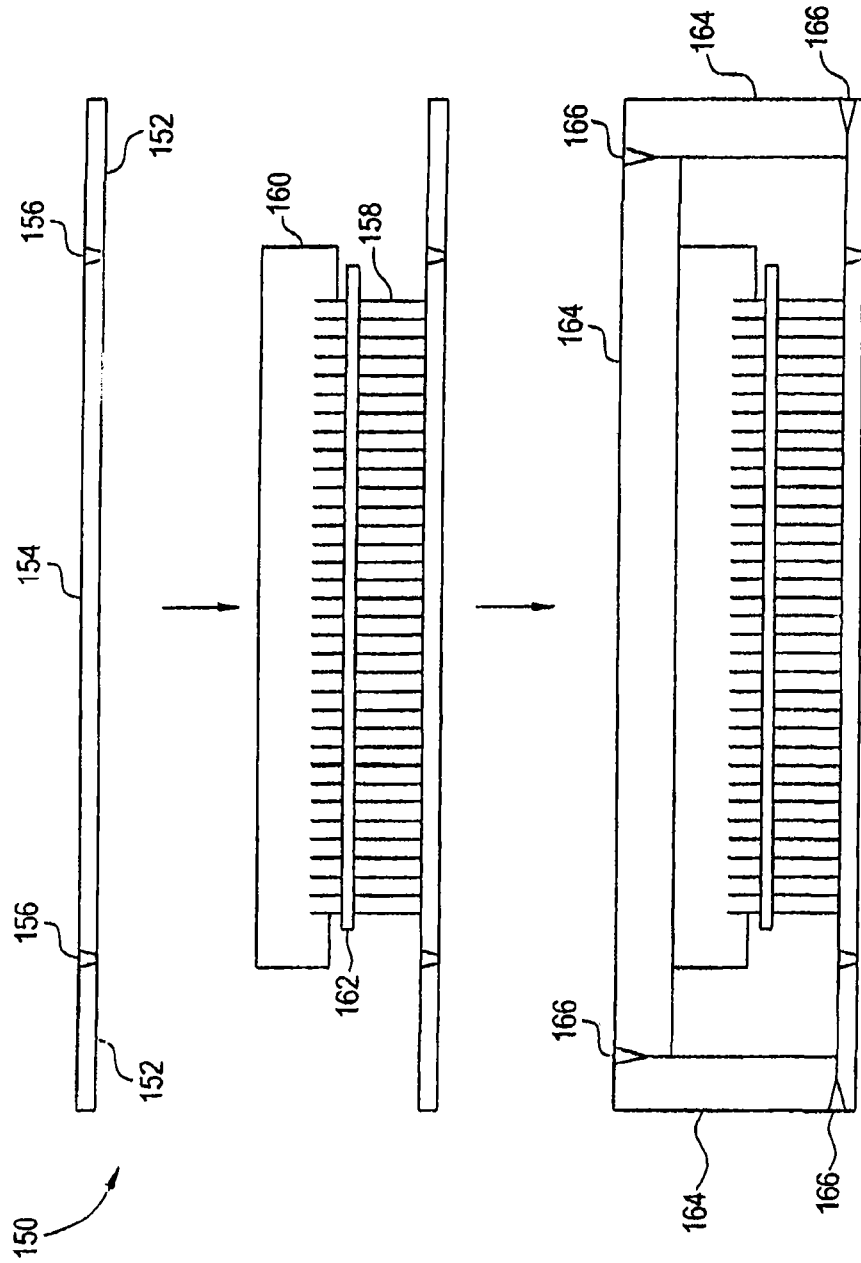


图 4

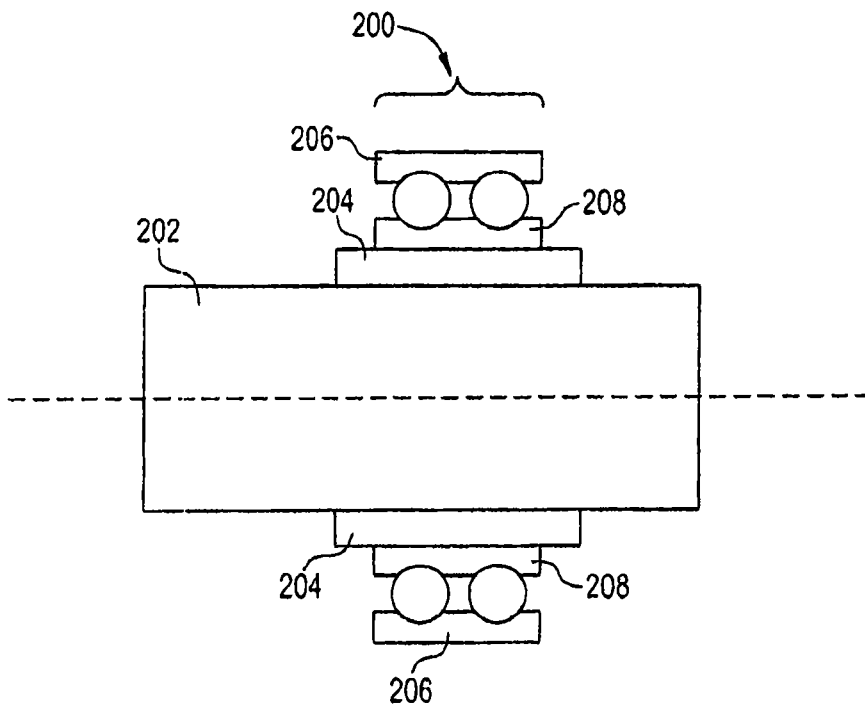


图 5