



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(21) BR 112015011676-0 A2**



**(22) Data do Depósito:** 20/11/2013

**(43) Data da Publicação Nacional:** 03/12/2019

**(54) Título:** MANCAL AEROSTÁTICO USO COMO UM SELO

**(51) Int. Cl.:** F16C 32/06.

**(30) Prioridade Unionista:** 03/01/2013 US 13/733,806; 20/11/2012 US 61/728,595.

**(71) Depositante(es):** NEW WAY MACHINE COMPONENTS, INC..

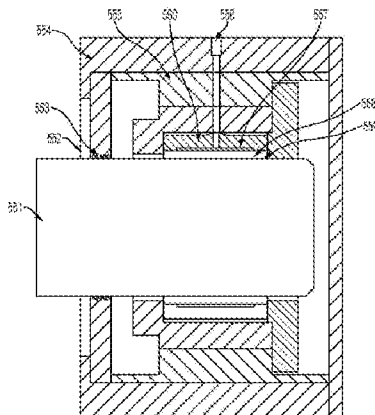
**(72) Inventor(es):** ANDREW DEVITT; RICHARD DUANE POLLOCK.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2013071114 de 20/11/2013

**(87) Publicação PCT:** WO 2014/081901 de 30/05/2014

**(85) Data da Fase Nacional:** 20/05/2015

**(57) Resumo:** MANCAL AEROSTÁTICO USO COMO UM SELO Um mancal sem contato apresenta as superfícies opostas (551, 560) com o relativo movimento e uma superfície (560) que emite uma pressão maior do que a pressão ambiente através de uma restrição porosa, sendo que a restrição porosa, fixada a áreas que contém um labirinto (557), a restrição porosa e áreas configuradas para não alterar mais que 10% de um vão (559) criado pela pressão diferencial entre cada lado da restrição porosa.



## **EQUIPAMENTO ROTATIVO**

### **Referência a pedidos relacionados**

[001] Este pedido é, em parte, uma continuação do pedido de patente Norte Americano Nº 13/733.806, depositado em 03 de janeiro de 2013, que reivindica o benefício do pedido provisório Norte Americano Nº 61/582.674, depositado em 03 de janeiro de 2012; 61/704.927, depositado em 24 de setembro de 2012; e 61/728.595, depositado em 20 de novembro de 2012, cujos conteúdos se encontram no presente documento inteiramente incorporados por meio de referência.

### **Campo da invenção**

[002] Esta aplicação em geral se refere aos mancais e vedações utilizados em bombas, compressores, turbinas, geradores, motores, turbo expansor e turbo compressor, misturadores, propulsores, impulsores, bombas em linha, refinarias, etc., que são utilizados, petróleo e gás, por exemplo, geração de energia, ar comprimido e usina hidroelétrica reversa, turbina eólica, processamento químico, fabricação de papel, aeração e purificação de água, separação de gás, e vários outros campos de processo.

### **Fundamento**

[003] O equipamento de turbo tipicamente inclui um eixo rotativo com pás de hélice ou propulsores que são mancalizados por um mancal radial em ambas as extremidades do eixo rotativo. Um mancal de impulsão é empregado em uma extremidade do eixo, a fim de acomodar a carga axial do conjunto do eixo rotativo.

[004] Normalmente, são usados selos secos a gás ou selos mecânicos para assegurar que a lubrificação de óleo do mancal não seja misturada com o fluido do processo e não contenha gases em alta pressão a partir da exaustão. Os selos secos a gás usam especificamente efeitos de mancais hidro-dinâmicos a ar para criar pequenas aberturas sem contato. Essas aberturas sem contato são eficazes como vedantes somente quando a velocidade de superfície entre as superfícies de vedação é relativamente elevada e as superfícies do mancal permanecem planas e pressionadas umas contra as outras para evitar o travamento em velocidade e/ou "*hang-ups*". Os selos mecânicos sofrem de problemas semelhantes.

[005] Em vedantes baseados em contato, as áreas do eixo e do selo são sujeitas a

desgaste e vazamentos e criam uma série de ruídos, por exemplo, vedação labial. Os selos de tipo escova e *ablatable* são uma forma de vedantes baseados em contato que usam a força centrífuga ou os diferenciais de pressão para mantê-los em contato com uma respectiva superfície de acoplamento. Em geral, nos selos de tipo escova e *ablatable* o desgaste cria partículas que aumentam significativamente os custos de manutenção; em altas velocidades, as perdas por atrito e calor entre os selos e o eixo são significativas. Os selos de tipo labirinto fornecem uma forma de vedação sem contato, que minimiza o desgaste no eixo causado pelo contato, porém, estes selos sem contato fornecem um caminho de condutância que pode resultar em enormes fluxos quando existem diferenciais de pressão no selo. Os vazamentos nos selos sem contato são reduzidos pela minimização e o alongando das folgas em uma direção axial entre as seções rotativas e estacionárias do selo. Isso acrescenta custos significativos e nem sempre é eficaz. Em equipamentos de processo, são usados os isoladores de mancal para combinar as tecnologias de selo de tipo labirinto e labial. Estes isoladores injetam fluído ou gás a uma pressão superior à pressão de fluxo do volume a ser selado, conforme se vê na patente Norte Americana Nº 7.631.878 (*Orlowski*).

[006] No equipamento turbo, os mancais hidro-dinâmicos à óleo, tal como o mancal de tipo lâmina e sulco espiral, são tipicamente configurados como uma luva ou pastilha flutuante para acomodar as cargas rotativas ou um mancal de tipo pastilha flutuante para acomodar as cargas axiais. Os mancais podem ser montados em várias configurações, tais como, por exemplo: montagem *Stud*, onde um as superfícies arredondadas ou esféricas acoplam com uma pastilha do mancal ou parte traseira, ver, o site da web "*New Way Air Bearings*" sob "*mounting components*"; montagem de flexão, onde a pastilha do mancal se move livremente em várias direções, como resultado de ser montada sobre um elemento complacente, por exemplo, um sulco ou flexão, ver genericamente, a patente Norte Americana Nº 5.743.654 (*Ide*); montagem elastomérica, em que uma pastilha do mancal apresenta complacência a partir do contato com um elemento elastomérico, por exemplo, uma montagem de vedação de tipo *O-ring*, ver genericamente, a patente Norte Americana Nº 3.360.309 (*Voorhis*); uma montagem de tipo mola que fornece a tolerância na pastilha do mancal, por exemplo, anilhas *Belleville*; e qualquer outro suporte adequado,

tal como, as ligações, as esferas endurecidas, hastes, pinos, etc.

[007] Os mancais hidro-dinâmicos à óleo fornecem selos sem contato, tais como selos secos a gás e de tipo labirinto, com base na passagem de um fluido ou gás em uma pequena abertura. Os mancais a óleo criam uma “borda” de pressão conforme certas velocidades são atingidas. Ver, selos a gás da *Pall Corporation* e *Carbone Turbograph*; a publicação Norte Americana Nº 2006/0062499 A1 (grafite de carbono, materiais de cerâmica, gás pressurizado em motores de turbina de alta velocidade). Normalmente compressores dotados de pequenos motores elétricos, por exemplo, compressores de deslocamento positivo em óleo, compressores de deslocamento positivo acionados pneumáticamente, ou compressores centrífugos de múltiplos estágios, que são acionados diretamente, de alta velocidade, e construído com aço inoxidável e sem selos internos ou sistemas de lubrificação a óleo, são utilizados na indústria para fornecer ar e uma quantidade relativamente pequena de gás de vedação a uma pressão relativamente elevada. É importante remover os particulados e condensados antes da injeção de gás dentro de um mancal a gás pressurizado externamente; a classe 3 de qualidade do ar, tal como definido na norma ISO 8573-1, é recomendada para uso em mancais a gás pressurizados externamente. Ver, *Almasi, Turbomachinery Internacional* de Nov/Dez de 2013. O uso de sistemas de vedação convencionais que combinam as tecnologias de selo de tipo labirinto e secos a gás facilita os baixos fluxos das pequenas aberturas posicionadas entre as tecnologias. O gás de descarga/tampão fornecido na pequena abertura flui para um lado do processo através do labirinto. De modo semelhante, é fornecido um gás de vedação, que flui para um lado do processo. O gás de vedação pode ser liberado por um respiro ou queimado. Algumas saídas de gás de separação através de uma câmara de mancal com uma entrada de óleo bombeado. Flutuações de temperatura na câmara de mancal causam grandes alterações na viscosidade do óleo e vazamento de óleo dos sistemas turbo, criando problemas graves; para controlar a temperatura do óleo são usados drenos e refrigeradores.

### **Síntese**

[008] De forma resumida, a presente invenção fornece uma tecnologia de mancal poroso a gás pressurizado externamente para uso como um selo em equipamentos turbo, por

exemplo, turbinas, bombas, compressores centrífugos e axiais, expansores, ventiladores, secadores, motores de alta velocidade, etc., que elimina a necessidade de mancais baseados em óleo e melhora a eficiência em equipamentos de grandes dimensões pela combinação das funções de selo e de mancal. A combinação de funções de selo e de mancal no equipamento turbo apresenta implicações no comprimento, rigidez, e no desempenho dinâmico do equipamento rotativo. Estes mancais a gás pressurizado são mancais sem contato que: operam independente do movimento relativo, por exemplo, à zero RMP; operam em temperaturas extremas, por exemplo, em aplicações criogênicas ou com vapor superaquecido; operam enquanto estiver usando gás ou líquido do processo altamente pressurizado em uma abertura do mancal sem contato; combinar a funcionalidade de vedação e mancal previne ou reduz o desgaste e a pressão entre as faces em contato; evita o "*hang-up*", que resulta da falha de travamento do mecanismo de compensação; aumenta a estabilidade dinâmica do rotor. Como selos sem contato, estes mancais a gás não apresentam atrito e desgaste. Há o atrito viscoso na película de ar, mas este é de uma ordem de grandeza menor do que o atrito do mancal. A estrutura e a funcionalidade dos mancais a gás resultam em menor manutenção e peso de todo o sistema, elimina a operação seca na partida, prolonga a vida útil dos mancais, permite que o sistema de mancal opere aerodinamicamente caso o fornecimento de gás seja interrompido (mancais magnético exigem um mancal extra no caso de uma interrupção de energia), e resulta em um consumo de energia reduzido e uma solução ambientalmente amigável em relação aos mancais a óleo.

[009] O mancal a gás pressurizado utiliza um meio poroso para restringir e distribuir uniformemente o fluxo de pressão hidrostática alimentado externamente no interior de uma abertura do mancal a ar através do exercício de uma força que é oposta às forças das diferenças de pressão ou molas usadas para forçar a faces do mancal unidas. O mancal a gás de meio poroso pressurizado externamente é capaz de operar o fluido do processo e a porosidade pode ser ajustada para restringir o fluxo de gás pressurizado no mancal a gás em função do peso molecular e/ou da viscosidade dos gases a serem usados no equipamento turbo. O meio poroso pode ser colado em um alojamento não poroso com um labirinto de distribuição de ar, que o conduz para o meio poroso.

[0010] A abertura do mancal a ar é localizada entre ao menos dois selos opostos ou contrafaces e mantém a alta pressão na abertura do mancal a ar para selar contra a migração de contaminação, líquidos e gases, e separa a pressão atmosférica a partir de um vácuo utilizado para pré-carregar a película de ar em estágios de precisão de carregamento leve. Apesar do mancal a gás pressurizado ser um sistema sem contato, os selos são mecanicamente acoplados a uma respectiva contraface do mancal por meio da compressão da película de ar e o fluxo através do meio poroso é determinado por um fluxo desejado através da abertura de ar, em geral, aproximadamente duas vezes o fluxo desejado com o eixo ou impulsor no lugar.

[0011] A pressão aerostática do sistema de mancal pode ser ajustada no ponto em que as faces do mancal são completamente descarregadas e não exista nenhuma pressão de contato entre as faces do mancal, mesmo que as faces do mancal estejam em contato. O contato entre as faces do mancal resulta em aproximadamente nenhum fluxo através da abertura de ar e haverá pressão na linha que alimenta para dentro do material poroso entre as faces do mancal. Esta força de contato pode ser facilmente ajustada através da variação da pressão de entrada para reduzir o desgaste e o calor gerado pelo atrito em selos de contato convencionais e, pelo aumento da espessura da abertura de ar, durante a rotação do eixo, para minimizar o aumento de temperatura através de perdas de energia. Esta tecnologia pode ser aplicada em mancais radiais para eixos rotativos, mancais axiais, e também para utilização na vedação de várias superfícies de componentes rotativos, por exemplo, propulsores, etc.

[0012] Ao contrário de um mancal de orifício que entrará em colapso e fechar a abertura de ar em uma condição de sobrecarga, os mancais a gás pressurizados externamente que incluem as faces de mancal de grafite poroso geram uma força atenuante em uma condição de sobrecarga. Isto ocorre porque o meio poroso não depende da abertura de ar para distribuir a pressão ao longo da face do mancal e as faces continuam a exercer pressão de ar através de todo o mancal. Isso acontece mesmo em situações de nenhuma abertura ou de fluxo nulo.

[0013] O mancal a gás pressurizado externamente têm o potencial de revolucionar o projeto fundamental do equipamento turbo. Isto é, em parte, porque os mancais a gás

pressurizado têm a capacidade de operar com gases de processo, tais como, dióxido de carbono, nitrogênio, hélio, argônio, outros gases, ou mesmo vapor, e em temperaturas de processo que permitem que os mancais a gás se movimentem a partir das extremidades dos eixos para uma posição diretamente entre os propulsores ou estágios. Além disso, os mancais a gás também pode ser posicionados e empregados em locais onde o trabalho estiver sendo feito no equipamento turbo que anteriormente se encontrava fora dos limites da tecnologia dos mancais. Isso melhora substancialmente a dinâmica do rotor uma vez que os mancais a gás nos propulsores permitem que estágios, independentemente da rotação, e motores de alta velocidade, possam ser integrados diretamente em cada estágio do impulsor; isto elimina a necessidade de um eixo rotativo, das caixas de câmbio, do alongamento dos segmentos do eixo, e os problemas de alinhamento entre o compressor e do motor/acionador. Esta é uma melhoria substancial em relação ao estado da arte uma vez que cada estágio do impulsor pode ser rotacionada de forma independente em sua velocidade mais eficiente para o equipamento turbo como um sistema global de mancal. Além disso, os mancais a gás pressurizado externamente permitem segmentos de eixo mais curtos, de maior capacidade de velocidade, mancais maiores, dureza substancial do eixo, e área de superfície de amortecimento adicional da película de compressão que elimina a necessidade de circulação e resfriamento do óleo e respiro de gases a queimar. A impossibilidade de que o oxigênio esteja presente junto aos gases inflamáveis, que estão sendo comprimidos, resulta em maior segurança para os operadores de equipamentos turbo e outra pessoas na proximidade.

[0014] Devido aos mancais a gás pressurizado externamente combinarem a funcionalidade de vedação e mancal, são possíveis selos altamente eficazes entre os estágios do impulsor, radialmente na base no diâmetro do eixo, e/ou axialmente no perímetro dos propulsores. Os mancais axiais no perímetro de uma etapa centrífuga podem ser montados com flexibilidade axial e forças de compensação. Isso fornece tanto o amortecimento quanto a flexibilidade para o aumento térmico. Mais importante ainda, tais combinações de mancal/selo eliminam as ineficiências divas a passagem de gás recirculado, evitando os problemas associados com grandes fluxos de pressão muito elevada através das aberturas de folga não determinísticas. É assim deixada em outro

local a vedação dos vãos do mancal a gás com fluxo laminar fino entre os estágios do impulsor em faixas estreitas do mancal apenas dentro do diâmetro externo de um impulsor, bem como as grandes folgas. Consequentemente, o uso dos mancais a gás pressurizado externamente resulta na redução do ruído e no equipamento turbo, o que é mais eficiente.

[0015] Um mancal sem contato também é descrito como apresentando superfícies opostas com um movimento relativo e uma superfície de emissão com pressão mais elevada do que a pressão ambiente através de uma restrição porosa, sendo que a restrição porosa é parte de um corpo poroso monolítico, ou uma camada porosa, conectada à superfície que contém um labirinto, a restrição porosa e as superfícies configuradas para não deformar mais do que 10% de uma abertura criada pela pressão diferencial entre cada lado da restrição porosa.

#### **Breve descrição dos desenhos**

[0016] A síntese acima, bem como a descrição detalhada a seguir das formas de realização preferidas, serão melhor entendidas quando lidas em conjunto com os desenhos anexos. Para o propósito de ilustrar a invenção, são mostradas nos desenhos as formas de realização que são atualmente preferidas. No entanto, deve ser entendido que a invenção não é limitada à disposição exata mostrada.

- a figura 1A é um corte de seção vertical de um selo a gás do mancal de face única simplificado.
- a figura 1B é um corte de seção detalhado de um elemento rotativo flexível de face única.
- a figura 1C é um diagrama que mostra uma imagem do estado da arte, sem descrição.
- a figura 1D é uma vista lateral de um corte de seção vertical de um selo de face em tandem.
- a figura 1E é uma vista detalhada de um primário estacionário flexível com força de fechamento de ar ajustável.
- a figura 1F é um primário estacionário flexível com força de fechamento mecânico.
- a figura 1G é um primário estacionário flexível com toróide.
- a figura 2A é um selo a gás de mancal simplificado duplo oposto.



- a figura 2B é um elemento rotativo flexível com duplo oposto preferido.
- as figuras 2C-1 a 2C-4 é um selo a gás poroso versus o hidro-dinâmico.
- a figura 2D é um gráfico de carga por elevação mancais a ar porosos.
- a figura 3A é um selo de mancal a gás circumferencial.
- a figura 3B é um método de montagem para o selo circumferencial.
- a figura 4 é um selo de lâmina única.
- a figura 5A é uma descrição detalhada do estado da arte.
- a figura 5B é um mancal a gás que elimina os selos.
- a figura 6A é um selo de múltiplas lâminas.
- a figura 6B é uma flexão paralela, motores aéreos.
- a figura 6C é uma visão aproximada da flexão paralela.
- as figura 7A - 7B é um compensação de selo angular.
- a figura 7C é um compensação de selo angular e axial.
- as figuras 8A-8B é uma compensação de selo angular, axial e radial sem saída de ar.
- as figuras 9A-9B é um radial angular axial de fonte única.
- a figura 10 é uma radial angular axial com saída de ar.
- a figura 11A é um mancal de força balanceada.
- a figura 11B é um mancal de força balanceada.
- a figura 12 é um método para produzir selos de mancal com ampla capacidade de temperatura.
- a figura 13A é um mancal a gás pressurizado externamente com pastilha com inclinação.
- a figura 13B é uma montagem de mancal e distribuição de canais de fluxo.
- a figura 13C é um mancal a gás pressurizado externamente hidro-dinâmico para eixo rotativo em máquinas turbo.
- a figura 13D são Canais não suportados versus suportados.
- a figura 14 é um mancal a gás pressurizado externamente hidro-dinâmico de grafite carbono sólido para máquinas turbo.
- a figura 15A é um meio poroso para mancais a gás pressurizado externamente – com ampliação de 5000X.

- a figura 15B é um meio poroso para mancais a gás pressurizado externamente – cm ampliação de 500X.
- a figura 16A é um mancal a gás pressurizado externamente operando no rotor de turbina suportado por vapor (Configuração 1).
- a figura 16B é um mancal a gás pressurizado externamente operando no rotor de turbina suportado por vapor (Configuração 2).
- a figura 17 é um compressor centrífugo com suporte de bancal a gás pressurizado externamente, os mancais apresentando uma funcionalidade de vedação entre os estágios.
- a figura 18 é um compressor centrífugo com eixo estacionário e os estágios independentes de mancais selados.
- a figura 19 é um compressor centrífugo no eixo estacionário com estágios de mancais selados independentes e mancais magnéticos do motor.
- a figura 20A é uma vista lateral de um compressor axial com os selos.
- a figura 20B é uma vista em 3-D de um compressor axial com os selos.
- a figura 21A é uma vista lateral de uma turbina sem eixo.
- a figura 21B é uma vista em 3-D de uma turbina sem eixo.
- a figura 22A-22E são diversas vistas de um expensor sem óleo ou um compressor radial com os selos de mancal.
- a figura 23 é um compressor de ar com pistão único recíproco suportado em mancais a ar que também são um selo.
- a figura 24A é uma vista lateral de mancais a gás pressurizado externamente para a refrigeração por deslizamento transversal viscoso.
- a figura 24B é uma vista em 3-D de um mancal a gás pressurizado externamente para refrigeração por deslizamento transversal viscoso.
- a figura 25A mostra forças balanceadas para escovas de carvão, anéis deslizantes e comutadores.
- a figura 25B é um selo de mancal para a união rotativa.
- a figura 25C mostra forças balanceadas para os uniões.
- a figura 26 mostra sulcos pressurizados diferencialmente.

- a figura 27 mostra mancais para impulso e propulsão.
- a figura 28 mostra mancais para circulação em linha.
- a figura 29 mostra um turbo-compressor.

### **Descrição detalhas das formas de realização preferidas**

[0017] Certas terminologias são utilizadas na descrição a seguir apenas por conveniência e não são limitativas. As palavras “frente”, “trás”, “esquerda”, “direita”, “interna”, “externa”, “superior”, “inferior”, “de cima”, e “de baixo” designam direções nos desenhos às quais são feitas referências. Além disso, os termos “um” e “uma” são definidos como incluindo uma ou mais dentre o(s) item/itens referenciado(s), a menos que especificamente indicado de outra forma. Uma referência a uma lista de itens que são citados como “ao menos um dentre a, b, ou c” (onde a, b, e c representam os itens a serem listados), significa qualquer um único dentre os itens a, b, ou c, ou suas combinações. A terminologia inclui as palavras especificamente mencionadas acima, suas derivadas, e palavras de significado semelhante.

[0018] Conforme ilustrado nas figuras 1A e 2A, um eixo 101 que pode rotacionar em alta velocidade 201 é acoplado a uma corrediça 110, 214 por meio de um anel *O-ring* 111, 211 ou qualquer outro mecanismo de montagem adequado. O eixo 101 pode ser equipado com uma luva 112. O anel *O-ring* 111, 211 fornece uma flexibilidade axial para a corrediça 110, 214 pela acomodação dos deslocamentos axiais do eixo 101 e/ou das aberturas auto ajustáveis que ocorrem entre a corrediça 110, 214 e uma superfície estacionária. A espessura da abertura é uma função da pressão hidrostática de entrada, as forças que incitam as faces do mancal a ar 212 unidas, as restrições do meio poroso 107 e a proporção da área de superfície para a borda de vazamento das superfícies. Estas variáveis podem ser controladas para criar selos sem contato altamente eficazes. Em uma forma de realização, a corrediça 110, 214 é firmemente montada no eixo 101 e a flexibilidade axial é concebida nos componentes estacionários de modo que a corrediça 110, 214 é livre para se mover radialmente sobre uma película de ar. Conforme ilustrado nas figuras 1B e 2A, um mecanismo de mola de carga 113 atua na corrediça 110, 214 ou na faces opostas do mancal a ar 212 de ao menos dois selos mecânicos em contato para ajustar a carga sobre as faces do selo 212 e fornece a flexibilidade axial.

[0019] Conforme ilustrado nas figuras 1A, 1B, 2A e, um corpo do selo 109 é montado em uma interface para um invólucro de alojamento 203 ou placa do adaptador 205 através de um selo de anel *O-ring* 105. O corpo do selo 109 é equipado com passagens condutoras 106 que fornecem o fluido pressurizado a um labirinto 108. O labirinto 108 distribui uniformemente o fluido pressurizado para o lado posterior de um meio poroso 107 compreendido por qualquer material poroso ou sinterizado, tais como grafite, carbono, carboneto de silício, carboneto de tungstênio, alumina, etc. Em uma forma de realização alternativa, qualquer técnica de compensação do mancal a ar pode ser utilizada, tal como, por exemplo, uma compensação por bolso, inerente, orifício, passo ou sulco, etc.

[0020] Conforme ilustrado na figura 1C, um eixo 151 de uma parte de equipamento rotativo, por exemplo, um compressor ou turbina, apresenta uma luva e o anel correspondente rotativo 152 que coopera com um anel primário 150. Um invólucro de compressor 153 recebe um cartucho de selo 159, apresentado pela norma API 682. O cartucho de selo 159 alimenta pressão a uma face porosa 154 do anel primário 150. O anel primário 150 não rotaciona e age como "elemento flexível" que introduz pressão através de uma porta 155 em uma câmara 157 que é vedada com anéis O-ring 156. Uma mola 158 ou uma flexão de tipo diafragma atua como uma força elástica e mantém o anel primário do mancal a ar 150 pressionado contra o anel 152 correspondente em rotação. Em um selo de tipo tandem, a mesma descrição é repetida no que se refere a um selo secundário.

[0021] Conforme ilustrado na figura 1D, um anel primário 169 com uma face porosa 160 e uma câmara 167 se encontram contidos no interior do cartucho do selo 159 por anéis de vedação 162. A porta 165 da câmara 167 distribui a pressão de ar por trás da face porosa 160 pela porta 168. A mola 166 ou a flexão de tipo diafragma atua como uma força elástica e mantém o anel primário 169 contra o anel correspondente para evitar quaisquer vazamentos potenciais. Para evitar o "*hang-up*" que ocorre quando o anel de compensação não é forçado contra o anel correspondente e causar um retorno indesejado de fluxo, a pressão do ar a ser alimentado na face 160 do mancal também pode ser empregada na traseira, neste caso, no anel primário 169.

[0022] Conforme ilustrado na figura 1E, um anel primário 179 com uma face porosa 170 e

um câmara 171 que distribui a pressão de ar por trás da face porosa 170 é comprimida entre os anéis O-ring 172 no interior do cartucho de selo. A porta 178 fornece a pressão de ar a partir de uma operação do mancal para uma porta 175 antes de alcançar a câmara 171. A saída 173 isola a pressão destinada para a face do mancal a ar e exerce uma força na parte traseira do anel primário. Desta forma, apenas as forças da mola ou do diafragma serão exercidas no anel primário na direção do anel correspondente.

[0023] Conforme ilustrado na figura 1F, um anel primário 189 com uma face porosa 180 e uma câmara 187 que distribui a pressão do ar por detrás da face porosa 181 é comprimido no cartucho de selo por um anel O-ring 182 e um toróide 183, por exemplo, um segmento de uma esfera ou de uma curva com diâmetro constante (ver a figura 1G). O anel primário 189, o anel O-ring 182, e o toróide 183 são firmemente instalados no interior do diâmetro do cartucho de selo 184. A porta 188 introduz a pressão de ar no mancal e fornece a pressão a uma porta 185 através da câmara 187. A câmara 187 fornece a pressão a um labirinto 181 e o labirinto 181 fornece a pressão para um meio poroso 180.

[0024] Como ilustrado na figura 2B, um eixo 221 para uma parte de um equipamento turbo apresenta um cartucho de selo 222. Um anel correspondente 223 que é um elemento flexível rotativo é fornecido no interior do cartucho de selo 222. O anel correspondente 223, conforme mostrado na figura 2B, é integralmente associado com uma luva. Em uma forma de realização, a luva e anel correspondente 223 podem ser componentes separados. O anel correspondente 223 e a luva são suportados axialmente sobre o eixo 221 por meio das molas 232 e os anéis correspondentes 223, 233 são travados unidos axialmente pelo anel de grampeamento 237. Em uma forma de realização preferida, o anel correspondente 223 é disposto contra um anel estacionário primário 229 com uma face de selagem porosa do mancal 224 e um labirinto 226 e a porta de entrada 227 para criar uma abertura hidrostática eficaz usando o meio poroso 225 como um elemento restritivo. Nesta forma de realização, por exemplo, para um selo duplo, um segundo anel correspondente 233 e uma segunda face do anel primário 230 são posicionados no lado oposto da face porosa do selo do mancal 224 do anel primário estacionário 229. Ambos os sistemas de mancais de selo simples e selo duplo são

alimentados com pressão externa e ventilados usando os mesmos sistemas e portas. O volume entre a face porosa do selo do mancal 224 e a segunda face do anel primário 230 é ventilado através de uma porta 228 para evitar o acúmulo de pressão no volume entre as faces 224, 230. As faces dos selos 230, 231 são igualmente ventiladas. Deve ser notado que um pouco do fluxo que sai pela abertura do selo 224 irá fluir para o lado do processo. A quantidade é dependente de diferença de pressão entre o volume sob pressão e a pressão de ventilação. Por exemplo, se o volume de 234 for pressurizado a 1000 PSI e o respiro 228 estiver em um fluxo de pressão ambiente, a maior parte do fluxo sairá pelo respiro, em vez de no processo. A pressão de entrada para o meio poroso 225 deve ser de 4 a 6 bar acima da pressão ele estiver selando, por exemplo, 1060 a 1090 PSI. É possível regular uma pressão menor em cascata para cada uma das faces sucessivas de a diminuir a pressão gradualmente entre os estágios. Se cada estágio apresentar uma queda de pressão de 1000 PSI, o selo poderia selar eficazmente 3000 PSI.

[0025] As aberturas de selo do mancal a ar entre as faces dos mancais porosos no anel primário estacionário 229 no interior de frente às superfícies dos anéis correspondentes 223, 233 são fixadas na montagem. O deslocamento axial do eixo em relação ao cartucho de selo permite que a luva do anel correspondente se mova sobre o eixo durante os "hang-ups" dos anéis correspondentes 223, 233 de modo que as faces do mancal não são materialmente danificadas. Em uma forma de realização, uma face porosa do mancal de carbono é posicionada no lado oposto do anel correspondente 223 na abertura 234 entre a face porosa do selo do mancal 224 e a segunda face do anel primário 230, conforme mostrado na ilustração 600.

[0026] Conforme ilustrado na figura 2C-1, um selo a gás flui para uma abertura de uma borda externa 255 através da abertura e sai em uma borda de menor pressão 256. O selo é introduzido em uma porta 253, a uma pressão mais elevada do que o gás de processo. A corrediça 252 rotaciona em alta velocidade com o eixo 251. As características aerodinâmicas 254 gravadas nas faces da corrediça 252 estabelecem uma película do mancal a ar em cada lado da corrediça.

[0027] Conforme ilustrado na figura 2C-2, uma mudança angular ou axial no eixo resulta em uma abertura menor em um lado 257 e uma abertura maior no outro lado 258.

[0028] Isto resulta em fluxo restrito de gás de selo e pressão reduzida no lado com a abertura menor 257, causando instabilidade.

[0029] Conforme ilustrado na figura 2C-3, um gás de alta pressão é introduzido através de uma porta 259 em uma câmara 260. A câmara 260 fornece o gás à pressão elevada para o meio poroso 261, que restringe o fluxo do gás à alta pressão na abertura 262 do mancal. Não há características gravadas na câmara 263. A pressão do mancal na abertura na corredeja 263 aumenta automaticamente quando ocorrer uma mudança axial ou angular semelhante na posição da corredeja 263 no sentido de uma das faces do mancal. A pressão do mancal na diferença continua a aumentar até que a corredeja realmente entre em contato com uma das faces do mancal no ponto em que a pressão tente sair do meio poroso irá se aproximar da pressão de entrada. A força relativa entre a corredeja e a face do mancal é mitigada pela tentativa da pressão sair da face do mancal na corredeja 263. O lado oposto 264 da corredeja apresenta uma pressão menor, uma vez que a abertura é maior e a restrição vem a partir do meio poroso, em vez da borda da abertura. Isto resulta em uma situação naturalmente estável em que o lado com a abertura menor cria uma pressão maior e o lado com a abertura maior apresenta uma pressão relativamente baixa. Nos selos aerodinâmicos ilustrados nas figuras 2C-1 e 2C-2 o caso é o reverso.

[0030] Conforme ilustrado na figura 2D, a dureza de uma película de ar do mancal altera conforme a sua espessura. A espessura da abertura de ar está diretamente correlacionada com a sua rigidez; uma abertura de ar mais fina aumenta a dureza da película de ar do mancal. Conforme é ilustrado no gráfico da figura 2D, a inclinação da curva de carga é representativa da dureza do mancal em um determinado ponto; a linha horizontal representa a dureza zero (0) e a linha vertical representa dureza infinita. Uma diminuição no tamanho da abertura faz com que seja cada vez mais difícil distribuir ar suficiente através de toda a superfície do mancal. Em um mancal poroso, o ar está sendo emitido a partir de toda a face do mancal diretamente para dentro da abertura e não há nenhuma dificuldade tentar conseguir que o ar flua através da abertura. Isso torna o mancal poroso um mancal a gás mais robusto. Vale a pena notar que o fluxo através da abertura é uma função cúbica da abertura; dobrar a abertura resulta em um aumento de oito vezes no

fluxo.

[0031] Conforme ilustrado na figura 3A, um eixo 301 que pode rotacionar a elevadas velocidades é rotacionado no interior de um selo de mancal cilíndrico estacionário 310. A contaminação ou as pressões que existem em um volume 308 são seladas e vetadas de passar para dentro da abertura 309 pela pressão hidrostática que sai da abertura 309. Em uma forma de realização, o alojamento ou invólucro 311 é equipado para receber o selo de mancal a ar cilíndrico 310 diretamente. Em uma forma de realização alternativa, o alojamento ou invólucro 311 é preparado para receber um bloco de adaptação 315 em uma interface; um anel O-ring 313 fornece um selo estática na interface. Em cada uma destas formas de realização, é preferido ter um retentor 303 no lado de baixa pressão do selo; uma folga 302 deve ser fornecida entre o retentor 303 e o eixo. Uma passagem 306 fornece fluido de alta pressão para o conjunto de selo cilíndrico. Em uma forma de realização, os anéis O-rings 312 selam a câmara 307, de modo que o fluido de alta pressão pode ser fornecido para dentro do corpo do selo do mancal a ar cilíndrico 310 através de uma única passagem 306; o fluido é fornecido para o interior do corpo do selo 310 sem conectar diretamente um adaptador no corpo do selo 310. Em outra forma de realização, os anéis de selo 312 fornecer compensação radial e angular de modo que o eixo fica livre para se mover axialmente sobre uma película de ar. Os anéis O-rings 312, também podem ser utilizados para conter epóxi, injetado através de um orifício 314, que preenche a abertura cilíndrica 304 entre bloco de montagem e o corpo do selo.

[0032] O fluido de alta pressão que entra através da abertura 306 e fazendo o seu caminho através do orifício no corpo do selo será distribuído axialmente e radialmente entre o corpo do selo 310 e o meio poroso 316 por meio de um labirinto 305 que pode ser no meio poroso ou no corpo do selo. Embora a compensação por meios porosos seja a forma de realização preferida, são possíveis outros métodos de compensação. A compensação do mancal a ar por meio poroso é apenas uma solução potencial, a compensação por orifício, passo, sulco, inerente ou bolso entre outras técnicas de compensação conhecidas na arte podem ser empregadas. Os mancais a ar porosos são conhecidos na arte e são descritos pelo inventor em pedidos anteriores. Além disso, os métodos para fornecer fluidos limpos sob pressão são bem conhecidos e amplamente



disponíveis. O meio poroso 316 pode compreender grafite, carbono, carboneto de silício, óxido de alumínio ou basicamente qualquer material poroso ou sinterizado. Estes materiais são normalmente encontrados como selos de face e selos mecânicos e como as corrediças e as faces de corrediças em selos secos a gás. Em vez de preencher ou selar essa porosidade, que é uma prática comum, a porosidade é usada com a função de mancal a ar.

[0033] Conforme ilustrado na figura 3B, há um eixo 351 e um alojamento 352, que estão acoplados através de um sistema de mancal 353. Sendo desejável isolar o mancal do processo ou meio ambiente na área 357, um selo a gás aerostático 355, consistente com a ilustração na figura 300 (com exceção desse exemplo, a pressão aerostática é canalizada através de um tubo flexível 356) axialmente mais curto, é acoplado ao eixo 351 através de uma película de ar de alta pressão que suporta o selo 355 de um modo sem contato com relação ao eixo. Assim, o eixo pode rotacionar a uma elevada velocidade com praticamente nenhum torque transmitido ao selo por causa das baixas forças de cisalhamento na abertura de ar, mas o selo é capaz de seguir os movimentos do eixo sem contato devido à dureza radial da película de ar. Os foles mecânicos permitem que o selo acompanhe o eixo em vez de mantê-lo rigidamente acoplado ao alojamento. Métodos adicionais para fornecer a compensação são detalhados em outras ilustrações deste pedido.

[0034] Em contraste com os selos de tipo labirinto, os selos cilíndricos do mancal a ar são acoplados ao eixo por meio da dureza da película de ar. No exemplo de 350 a bucha de selo é suportada pelo eixo giratório que ele está vedando. Isso permite a eliminação de problemas de alinhamento encontrados em selos de tipo labirinto. O selo é estacionário em relação ao estator e conectado a ele através de algum tipo de disposição de foles flexíveis 354, diafragma ou um anel O-ring axial com exemplos de montagens de compensação. Seria também possível usar um selo circunferencial e o montar entre os selos de face axial conforme descrito na figura 200 e 800.

[0035] Os isoladores de mancais semelhantes aos das figuras 2A e 3B ou das figuras 7 a 10 podem permitir a mudança do centro do eixo, movimentações angulares do eixo e deslocamentos axiais. Em alguns casos, esses isoladores de mancal usados com ar ou

água pressurizados através de um sulco anular não compensado para ajudar a fazer o efeito sobre o selo. Estes são caracterizados por fluídos altos e baixas pressões, devido às suas grandes aberturas e falta de compensação.

[0036] Na figura 4, um eixo 401 o qual pode rotacionar em alta velocidade apresenta uma corrediça de lâmina 405 acoplada a ele através de um anel de montagem 413, que é fixado ao eixo por parafusos de fixação 403 e ou um ombro. Um anel O-ring 410 pode ser empregue para selar a folga em 402. Há duas ilustrações na figura 4; na vista A, a lâmina 405 não se encontra de frente para a face do mancal de selo poroso e a abertura 406 permite uma vista da corrediça de lâmina 405, na vista B, a corrediça de lâmina se encontra no lugar e a abertura 406 entre ela e a face porosa 412 está como seria estivesse em operação, com menos de 25 micra. A lâmina em si pode ser acoplada diretamente ao ombro caso o eixo seja equipado com um ombro (um ombro seria uma face axial criada por um passo no diâmetro). A corrediça de lâmina é caracterizada por ser fina axialmente e por isso diferenciada das corrediças convencionais. A lâmina pode apresentar qualquer espessura, mas provavelmente entre 0,1 e 1 mm de espessura. Esta corrediça de lâmina apresenta a vantagem de ser leve e por isso tem um efeito mínimo no momento de inércia do eixo e em potenciais desequilíbrios provocados pela corrediça. Por conta da pressão a ser selada no volume 404 ser a mesma em toda a parte do volume, ela atua uniformemente sobre a parte de trás da flexão da lâmina, forçando-a contra a face de selo do mancal com força de área constante por unidade. Por esta razão, não é necessário ter uma corrediça pesada e rígida conectada ao eixo. A abertura 406 irá variar, mas a força igual a e as forças opostas existentes no volume 404 serão geradas na abertura de ar. Esta forma de realização pode ser bem adequada para a substituição de selos de tipo escova especialmente em turbinas concebidas como motores aéreos. Uma vez que sela de forma mais eficaz, não apresentará atrito ou desgaste ou será ao menos relativamente baixo e ocupará muito menos espaço axial.

[0037] Na porta 408, é introduzido gás de alta pressão com alguns bars a mais do que a presente no volume 404, o que conduz a pressão na câmara 409, que distribui uniformemente a pressão de ar para a parte traseira do meio poroso 412, a qual irá criar uma pressão na abertura 406 em sua face e entre a corrediça 405.

[0038] O volume de 404 representa um volume em um dos lados do selo, isso poderia ser uma alojamento de câmbio, uma alojamento de geração motora, ou um fluido ou gás de processo, tal como um misturador, purificador, bomba de água ou tubulação de gás, ou um selo entre compartimentos, propulsores ou os estágios de uma parte de um equipamento rotativo como um compressor, como exemplos. O número 414 representaria o invólucro ou o alojamento. Poderá ou não haver uma placa de adaptação conforme mostrado na figura 200, número 205. O corpo do selo 411 em si seria provavelmente montado no alojamento ou invólucro ou na placa de adaptação com um selo de tipo anel O-ring 407. O corpo do selo na ilustração 100 se refere a um selo que seria carregado de modo leve, deve ser reconhecido que o corpo do selo em sua montagem pode ser projetado para ser duro o suficiente para que não se deforme de modo significativo sob as diferenças de pressão que estão sendo seladas. De modo alternativo, ele poderá ser projetado de modo que flexione e que se flexionará para cooperar com a natureza conformável da corredeira de lâmina, que é essencialmente uma flexão de mola de aço plana.

[0039] Conforme ilustrado na figura 5A, um compressor centrífugo convencional emprega um sistema de selagem e de mancal descrito aqui (mas está é a descrição de muitas outras aplicações potenciais em equipamentos rotativos); o eixo 501 parte da câmara do compressor 504 através de um selo de tipo labirinto 502, para dentro do cartucho de selo 503, que se ajusta dentro da câmara do selo dentro do invólucro do compressor 505. Em seguida, um selo de face ou selo seco a gás executado entre o anel primário 507 e o anel correspondente 506, que iremos referir como o selo primário 508. Entre o labirinto 502 e o selo primário 508, um gás tampão é introduzido através da porta 524, a maior parte desse gás flui de volta para o lado do processo uma vez que o selo labirinto apresenta um alto grau de fluxo mesmo com apenas o equivalente a um bar de diferença de pressão. Esse gás tampão é importante para manter a abertura do selo primário limpa. Uma certa quantidade do gás flui através da face mecânica ou selo primário aerodinâmico 508 e para dentro da câmara 509, e finalmente sai pela saída 510. Em seguida, há um gás de selagem ou gás inerte introduzido pela porta 512, como a maior parte desse gás flui através do selo labirinto 511 e sai pela saída 510. Uma certa quantidade desse gás flui

através do selo secundário formado pelo anel correspondente 513 e o anel primário 514. Isso porque a pressão introduzida em 512 é maior do que a pressão no volume 515. Esse fluxo é expelido através da saída 516. Há também um gás de separação introduzido através da porta 517, que flui através do selo de separação 518. Uma parte daquele fluxo migra para o volume 515 e sai pela saída 516, e uma parte daquele fluxo passa pelo selo labirinto 519 (se houver) e para dentro da câmara do mancal 520. Assim tem-se o gás de processo e o gás tampão fluindo para fora da saída 510 que são então misturados com o gás de selagem ou inerte que foi introduzido através de 512. Isso precisa ser reprocessado ou enviado à tocha. O gás que flui através do selo secundário e para dentro do volume 515 se mistura com o gás de separação que está sendo introduzido através de 517 e depois sai pela saída 516, e também precisa ser enviado à tocha ou processado de algum outro modo ou reportado como uma emissão. Adicionalmente, o gás de separação que flui para dentro da câmara do mancal 520 irá encontrar o caminho para sair pela saída 521 e se tornará uma preocupação ambiental adicional. A câmara do mancal tem óleo sendo bombeado sob pressão para dentro dela através da porta 522, o óleo precisa em seguida ser drenado através da porta 523 (que pode estar posicionada na porção inferior), precisa ser filtrado e esfriado para que se controle sua viscosidade, o que é importante devido a ser muito sensível à temperatura. Com todos aqueles tubos saindo e entrando de cada extremidade do compressor, mais de um operador pensou estar de frente com uma medusa.

[0040] Conforme ilustrado na figura 5B, os serviços, complicações e problemas ambientais listados acima são eliminados através dos seguintes ensinamentos que representam uma novidade. Com referência à figura 550, notem, por favor, que óleo foi retirado como um meio de lubrificação para os mancais que suportam o eixo do compressor. Em vez de gás, são usados os mancais que operam no gás sendo comprimido no compressor para criar um mancal aerostático como suporte 560 para o eixo 551. O cartucho do mancal 555 e a câmara do mancal ou o câmara do selo no invólucro do compressor 554 podem mudar em projeto para se beneficiar de projetos muito mais compactos que são possíveis, mas isso não é necessário uma vez que o cartucho do mancal pode ocupar o mesmo espaço que o cartucho do mancal a óleo.

[0041] A forma de realização preferida é a utilização de uma restrição de meio poroso 558 na face do mancal axial hidrostático 560 pressurizado externamente. Esses mancais podem ser alimentados usando o mesmo gás tampão que foi empregado no estado da arte, mas esse gás tampão é, de outro modo, bombeado para dentro dos mancais a ar pressurizados externamente 560. Os mancais requerem um diferencial de pressão maior, provavelmente na faixa entre 4 a 20 bar acima da pressão no outro lado do selo labirinto no volume 552, mas o volume desse fluxo de gás tampão, que agora é gás de selagem, é muito menor do que o necessário de gás tampão no estado da arte, provavelmente menos do que um pé cúbico por minuto por mancal. O gás tampão pode ser obtido do lado de alta pressão da bomba, ou do lado de sucção, conduzido através de filtros ou secadores, comprimido se tirado do lado de sucção, e em seguida introduzido através da porta 556, para dentro do mancal 560, distribuído para o labirinto 557, restrito pelo meio poroso 558 e finalmente saindo sob pressão através da restrição final do mancal, abertura 559. Após o gás ter saído pela abertura do mancal 559, ele age para aumentar levemente a pressão no compartimento do mancal uma vez que o gás usado irá fluir de volta para o processo através do selo labirinto 553 ou algum outro anel ou selo de separação que pode ser usado naquele local.

[0042] No caso que as saídas são eliminadas, não há porque haver um fluxo de processo para dentro da câmara do mancal devido a não haver para onde ir. Isso elimina a necessidade de ser ter tochas ou emissão na atmosfera, e é uma enorme vantagem ambiental. E como há apenas um gás com o qual lidar, os serviços ficam consideravelmente simplificados, há redução nos custos de manutenção e no tempo ocioso e redução também nos custos de investimento, já que o custo de investimento em serviços de selagem podem significar o dobro do custo do selo. A segurança também é melhorada, já que ao se eliminar as saídas, também se elimina a possibilidade de entrar oxigênio nos gases inflamáveis que estão sendo comprimidos ou permitir que gases perigosos escapem.

[0043] A dinâmica do rotor é aperfeiçoada de modo expressivo através do uso da presente invenção, o comprimento do eixo que era anteriormente utilizado pelos selos pode ser eliminado, enrijecendo de modo substancial o eixo 551. O diâmetro do eixo pode

ser aumentado devido à capacidade de maiores velocidades dos mancais a gás, o que novamente enrijece o eixo e oferece mais área para se pressionar o filme dentro do mancal a gás.

[0044] Os problemas e a sujeira ambientais associados ao óleo são eliminados, não há mais vazamento de óleo. O óleo não consegue mais chegar no selo de face ou selo seco a gás e ser carbonizado. O óleo já não controla mais a temperatura com que o compartimento do selo pode operar. Os mancais a gás podem operar nas faixas de temperatura mais extremas possível, desde a criogenia até o vapor super aquecido. Deve ser notado que as técnicas convencionais para colar o meio poroso 558 nos alojamentos de aço inoxidável ou alumínio dos mancais 560 não são adequados em temperaturas extremas.

[0045] O compressor, ou também no caso de uma turbina a gás ou gerador de grandes dimensões, apresentará o rotor suportado por uma película de gás sem atrito mesmo com RPM igual a zero. Isso reduz o risco na partida e no desligamento, permite operações lentas e pausas sem o perigo de "*hang-ups*" ou danos ao mancal, e possibilita partidas e desligamentos sem atrito.

[0046] Devido às excelentes propriedades aerodinâmicas disponíveis na face porosa polida, a pressão externa no mancal pode ser com frequência interrompida quando o compressor ou a máquina turbo já estiver na velocidade suficiente, já que nesse ponto o eixo estará sendo suportado pelos efeitos aerodinâmicos. Assim, o compressor auxiliar (se houver) pode ser posto em funcionamento apenas durante a partida e o desligamento, ou em condições de funcionamento lento. Caso esse compressor auxiliar falhe durante a operação, isso não afetará a operação do compressor principal e o rotor poderá girar até uma parada no caso de uma perda de pressão sem com isso causar danos por conta das excelentes propriedades tribológicas do eixo de aço em uma face de mancal de carbono grafite. Adicionalmente, a tecnologia é adequada para compressores encapsulados destinados para compressão subaquática, uma vez que os mancais podem obter sua pressão a partir do lado de alta pressão da bomba e apresentar uma vida útil aceitável como mancais de deslizamento nos ciclos de partida e parada.

[0047] Contudo, sem vedação, e sem saídas, os mancais operam sob pressões extremas.

Se a pressão de sucção da bomba for de 100 bar, e no lado da saída do compressor for de 200 bar, então os mancais poderiam ser alimentados com 106 bar e o fluxo através desses mancais se tornaria o gás tampão. Os mancais que operam em um ambiente de 100 bar, de fato, só observarão uma diferença de 6 bar de pressão.

[0048] Conforme ilustrado na figura 6A, um eixo 601 que pode estar girando em alta velocidade apresenta, conectado a ele, múltiplas lâminas finas conforme descrito na figura 400 acima. Essas lâminas 614 são fixadas no eixo 601 por meio de um retentor e parafuso 616 e são separados um do outro por meio de anéis de separação de precisão 615. Os selos de mancais porosos 604 são conectados ao estator 603 por meio de um retentor e parafuso 612. Os selos de mancais porosos 604 também são separados por espaçadores de precisão 605, aproximadamente com o mesmo tamanho ou levemente mais espessos, mas, de preferência, não mais do que 10  $\mu$  de espessura do que as corredeiras de lâmina. Há uma folga 610 entre o diâmetro interno selos de mancal porosos e o diâmetro externo do eixo. Há uma folga complementar 611 entre o diâmetro externo das corredeiras de lâmina e o diâmetro interno do estator. Essa folga fornece o movimento radial do eixo. Se houver um diferencial de pressão entre o volume 602 e o volume 609, por exemplo, uma pressão maior no volume 602, essa pressão irá atuar contra a primeira corredeira de lâmina forçando-a contra o primeiro selo de mancal poroso. Mas devido a uma pressão maior estar sendo introduzida através das portas 606 e essa pressão ser conduzida de modo circunferencial pelo sulco 607 e, em seguida, de modo radial através do selo de mancal poroso através do orifício radial 608. Em seguida, essa pressão conduz através do meio poroso e da face entre a lâmina e o mancal criando uma força de separação que também é um selo.

[0049] Em relação à ilustração 6B; esta forma de realização também é pertinente a motores aéreos e também pode ser encontrada em aviões a jato ou turbinas a gás que empregam selos de tipo escova ou selos de tipo centrífugo. Esses tipos de selos de contato apresentam problemas de manutenção, eles criam atrito e calor, que causam perdas na eficiência e são ruidosos. Esses problemas são em grande parte solucionados ao se empregar a tecnologia de mancal aerostático de carbono poroso. A tecnologia de mancal é ensinada em várias outras passagens no relatório descritivo. Essa configuração

específica possui um eixo de turbina 651 acoplado com um mecanismo para reter as corredeiras que são montadas de modo flexível ao eixo usando a tecnologia de flexão paralela. Essas corredeiras 656 cooperam com um selo a ar de mancal estacionário 653 que, nesta forma de realização preferida, usa compensação por meio poroso 654. A parte estacionária do selo é montada no alojamento do motor/compressor/gerador 655 usando técnicas convencionais similares às que teriam sido empregadas para montar a seção estacionária do selo a base de atrito. Os espaçadores 657 são usados para alocar de modo aproximado as corredeiras axialmente com as partes estacionárias do selo e da chave de desligamento do 652, que é conectada ao eixo e travada pelo 659. As flexões paralelas 658 permitem que a corredeira translate axialmente com relação ao eixo, o que irá acontecer, por exemplo, sob a aceleração da partida, e ainda permanece paralelo à face da parte estacionária do selo.

[0050] Conforme ilustrado na figura 6C, temos uma vista aproximada da corredeira de lâmina flexível do selo mostrando a face do mancal 661, os componentes da flexão 662, um dos orifícios passantes para a montagem 663 e a área 664 que foi tanto desbastada, quanto fresada ou cortada com solda de corte (EDM) a partir de uma peça de aço inoxidável. Pode haver outras maneiras de se manufaturar uma corredeira flexível.

[0051] Conforme ilustrado nas figuras 7A - 7B, um eixo 701 de uma parte de um equipamento que contém uma corredeira 711 que apresenta um diâmetro externo esférico. A corredeira com um diâmetro (OD) esférico se acopla ao eixo por meio de dois anéis O-ring 702. Isto é vantajoso porque muitos eixos sofrem danos e/ou deformação em suas extremidades, passagens de chaves terão geralmente bordas levantadas, esses pontos de saliência podem danificar a superfície de precisão de um mancal/selo ao deslizarem por essas áreas danificadas para se posicionarem. Os anéis O-ring podem tolerar esses tipos de pontos salientes devido à sua resiliência. Outra vantagem é que isso reduz problemas com tolerância para o encaixe em 705. Isso poderá não representar um problema se o selo do cartucho que emprega essa tecnologia for associado com uma luva para o eixo que vai com o selo do cartucho. O OD da corredeira esférica se acopla com os mancais complementares de formato esférico, que na forma de realização preferencial seria restrita por meio poroso. Os mancais a ar esféricos são montados em canga 712 que é dividida



verticalmente, tal divisão não é mostrada, e o ar é alimentado na parte de trás dos elementos de restrição porosos 703 por meio de uma porta de entrada de ar 706 e do labirinto de distribuição 704. O uso desta técnica conforme ensinada possibilitará uma abertura de ar com diversos bars de pressão entre o elemento de restrição de carbono poroso 703 e o OD da corrediça esférica 711. Esta película de ar possibilita um modo, livre de atrito e desgaste, de fornecer liberdade angular ao eixo e evita uma constrição demasiada de mudanças angulares no eixo conforme indicado por 713, 707 e 710. O número 709 fornece uma saída entre os dois mancais esféricos, isso evita um acúmulo de pressão entre os dois elementos de mancal e desse modo os mancais verificam mais queda de pressão e seu desempenho aumenta.

[0052] Conforme ilustrado na figura 7C, o elemento de restrição do meio poroso 751 é ajustado de modo encolhido dentro do alojamento não poroso 752, que pode ser feito de alumínio, aço ou aço inoxidável ou algum outro tipo de material adequado. Uma câmara 753 compreendendo aproximadamente 50% da área de superfície entre o alojamento e o meio poroso e com uma condutância de ao menos 10 vezes aquela do fluxo livre através do meio poroso pode ser disposta no ID (diâmetro interno) do alojamento ou o OD do meio poroso ou algum dos dois. Um orifício de alimentação de ar 754 para a câmara fornece o fluxo de ar para a câmara e, em seguida, através do meio poroso e para dentro da abertura do mancal. A abertura do mancal fornece um grau axial de liberdade, mas como observado acima, em áreas onde um eixo de precisão não se encontra disponível, podem ser usados anéis O-ring ou uma luva para o eixo que vem com o selo do cartucho. Deve ser notado que em uma forma de realização o eixo pode girar dentro do mancal a gás e ainda permitir uma liberdade axial do eixo.

[0053] Conforme ilustrado nas figuras 8A e 8B, é fornecida uma liberdade para os deslocamentos radiais sem atrito do eixo. Isto é conseguido ao se pegar a canga 824 e 817 e a suspender entre as faces de pressão. A canga 824 é chaveada com um pino anti-rotação (não mostrado) para evitar ela gire com o eixo. Este pino anti-rotação é dotado de uma folga suficiente que permite o movimento livre dos componentes em relação à faixa limitada de compensação que se pretende. Essa canga é dividida em 821 e o selo de anel O-ring 820 é empregado. Uma placa de pressão ou colar 806 de rigidez apropriada para

essa aplicação é dotada d a porta 807 e da câmara 805 para distribuir a pressão de ar para a parte de trás do meio poroso 816. Os colares de pressão 806 podem ser selados na junção 819 por meio de um anel O-ring em um sulco tal como o 818. Os mancais a gás esféricos apresentam uma câmara 804 e uma porta para a entrada de ar 808 e um elemento poroso de restrição 803. Nesta forma de realização não há saídas entre os mancais esféricos, em vez disso, a alta pressão desenvolvida nessa região é usada para conduzir pressão através do mancal em um modo sem contato. A pressão externa entra por 810 no alojamento estacionário 822 e, a seguir, para a câmara 823, que é selada em cada lado pelos mancais de pressão, e em seguida, através da porta 809 para dentro da área entre os mancais esféricos onde ela passa, em um modo sem contato, através da porta 811 para dentro da câmara, conforme descrito em 753, a seguir, através do elemento de restrição 802 para dentro da abertura entre o rotor da face do mancal do elemento de restrição em 814.

[0054] Esta forma de realização fornece liberdade axial para o eixo, liberdade angular para o eixo, e deslocamentos radiais do eixo de modo a não haver atrito usando mancais que também são selos em todos os locais de movimento.

[0055] O eixo 801 pode girar e se mover axialmente dentro do elemento de mancal 802 e da corredeira 826. A corredeira não é acoplada a nada, com exceção de através das películas do mancal a ar e, assim, ela também pode girar. Isso permitiria que elas compartilhassem a velocidade do eixo, assim, para um eixo que gira a 20.000 RPMs, 10.000 RMPs poderiam ser pegos pelo mancal 814 caso a corredeira estivesse girando a 10.000 RPMs e os outros 10.000 RPMs poderiam ser levados entre os mancais esféricos 803, 815 e a corredeira 826.

[0056] A diferença entre as figuras 8A e 8B e a figuras 9A e 9B é que a entrada para o mancal axial oposto, que fornece movimento radial sem atrito para o eixo, teve a porta 908 e a câmara 905 movidas internamente para a canga 924 das placas de pressão 906 onde elas estavam na figura 800. Isso simplifica a fabricação das placas de pressão 906 e permite que elas tenham uma maior rigidez por conta de suas espessuras axiais, devido à canga se encontrar exposta uma carga considerável no que se refere à rigidez das colunas onde a tampa de pressão encontra uma rigidez de curvatura de tipo cantilever que não é

tão forte. Deve ser notado que em cada uma das disposições de mancal na figura 800 e figura 900, que a interface entre a superfície do mancal a gás de meio poroso e o caminho guia em que atua 916, 915 e 914 apenas um lado dos elementos de mancal está aberto à pressão ambiente, isso reduz o efeito dos mancais a ar pressurizados externamente, mas mesmo assim os mancais mantêm capacidades de cargas significativas.

[0057] A diferença entre as figuras 8A e 9B e a figura 10 é que a figura 10 é completamente ventilada, ou seja, todos os mancais a gás se encontram em completa queda de pressão entre a pressão externa de entrada e a ambiente ou as pressões do processo que estão presentes nas bordas de escape dos mancais. Portanto, a pressão externa entra pelas placas de pressão 1008 por meio de 1009 e é distribuída para a parte de trás do elemento de restrição de meio poroso pela câmara 1007. Adicionalmente, um orifício passante 1005 foi perfurado no meio poroso e diretamente para dentro da câmara 1007. Esse orifício se alinha de modo aproximado com um orifício na canga 1006, que apresenta um rebaixo 1004 que mantém a condutância entre 1005 e 1006 durante os deslocamentos projetados desse dispositivo de compensação. Ele permanece alinhado devido ao pino de anti-rotação descrito na figura 800. O orifício 1006 fornece a condutância de pressão tanto para o elemento esférico do mancal 1003 quanto para o elemento de mancal poroso 1002 por meio do orifício passante 1010 perfurado na canga 1028, que depois é plugado 1011. O número 1010 leva a pressão e o fluxo para a câmara 1020 fornecendo a pressurização externa para os elementos/mancais esféricos restritivos 1020. O orifício passante 1010 também se comunica com o orifício 1012, que é rosqueado para aceitar um encaixe, o encaixe é conectado a um tubo flexível que fornece a compensação de movimento na condutância de pressão para ser uma corrediça esférica, que agora também é encaixada na canga para fornecer uma anti-rotação em relação à canga. A pressão e o fluxo para o elemento restritivo do mancal 1002 são fornecidos através dos encaixes 1014, 1016 por meio do tubo 1015 e para dentro da câmara 1030.

[0058] Um sulco anular no centro da porção do mancal a gás fornece uma comunicação uniforme do fluxo do mancal/selo para um orifício central de saída. Este é o orifício radial na corrediça esférica 1028 e é mostrado próximo ao encaixe 1016. Esse orifício realiza a exaustão para o espaço entre os mancais esféricos e ambos esses mancais são aptos para

realizar a exaustão através do orifício que os encaixes 1014, 1016 e o tubo 1015 consomem parcialmente. O orifício 1013 através do alojamento 1026 fornece a exaustão para esses fluxos, mais o fluxo das faces axiais opostas 1021.

[0059] A fim de realizar uma vedação, conforme mostrado na figura 11A, um material poroso 1102 que compreende um lado de duas superfícies opostas é usado para distribuir de modo uniforme a pressão hidráulica de uma fonte externa de fluido pressurizado entre duas superfícies. A pressão é introduzida através de 1106 para dentro da câmara 1108, em seguida, através do meio poroso 1102 e para dentro da abertura 1107. Essa pressão hidrostática cria uma força que é oposta às forças das diferenças de pressão ou das molas que tentam unir as duas faces, e a outra face é o lado de selo de mancal do 1110. Ver também a figura 100, para a descrição relacionada a esta ilustração 1100. Essa pressão hidrostática pode ser ajustada ao ponto em que as duas faces se encontram completamente sem carga e a pressão de contato é igual a zero entre as duas faces, mesmo que as faces estejam em contato íntimo 1107. Devido às faces se encontrarem em contato, não há, aproximadamente, fluxo algum através da abertura e a linha de pressão sendo alimentada para dentro do material poroso irá estar presente entre as duas faces.

[0060] Conforme ilustrado na figura 11B, se houver 1.000 libras de força, ou nessa ilustração, uma massa de 1.000 libras representada por 1124 forçando a face do corpo do selo 1123 juntamente com a contra face 1121 e as faces do selo tiverem  $10 \text{ pol}^2$  de área entre elas e 100 PSI de pressão de ar for alimentada na porta 1125 e esta pressão for distribuída pela parte de trás do meio poroso usando uma câmara conforme já descrita diversas vezes antes nesta descrição, a face do selo poroso apresentará exatamente zero de força de contato entre as faces, uma vez que a força hidrostática entre as faces se igualará à massa ou força que está forçando as faces do selo a se unirem. Essa força de contato pode facilmente ser ajustada através da variação da pressão de entrada para reduzir o desgaste e calor gerados pelo atrito.

[0061] Esta técnica combina a alta dureza e o amortecimento de mancais de deslizamento e dos selos de contato com a capacidade de baixo atrito e alta velocidade dos mancais e selos de película de fluido.

[0062] O meio poroso 102 pode ser compreendido por grafite, carbono, carbetto de silício,

carbeto de tungstênio, óxido de alumínio ou basicamente qualquer material poroso ou sinterizado. Esses materiais são tipicamente encontrados como selos de faces e selos mecânicos e, como corrediças, e faces de corrediças em selos secos a gás. Em vez de apenas preencher ou selar essa porosidade, a porosidade é usada para conduzir e distribuir de modo uniforme a pressão hidrostática.

[0063] Compensações por orifício perfurado ou por mancais do tipo por etapa não funcionarão nesta aplicação, uma vez que apenas um meio poroso uniforme é capaz de distribuir de modo uniforme uma pressão hidrostática sem nenhuma abertura. Por exemplo, se os orifícios fossem empregados, quando as faces estivessem em contato, pressão hidrostática seria aplicada apenas sobre a área dos orifícios.

[0064] Com referência à figura 12, essa é uma ilustração de um mancal a ar radial hidrostático de carbono grafite sólido 1201. Ao fabricá-lo a partir de uma peça única, em vez de tentar laminar duas peças juntas, é evitado o problema relativo à união de dois componentes para se usar sob temperaturas extremas. A maior parte do carbono grafite não irá começar a oxidar até que esteja exposto a uma temperatura maior que 800° C, portanto, isso possibilita uma faixa de temperatura bastante extensa. Nesse caso, uma câmara para distribuir o ar para a parte de trás da face de meio poroso é obtida ao se perfurar os orifícios passantes 1203. Esses orifícios passantes são rosqueados e plugados 1204 com cerâmica ou esmalte em alta temperatura, que é então tratado com calor, ou esmaltado, para que se torne co-sinterizado com o carbono grafite. Um enxerto cerâmico de uma ferramenta de corte de metal é sinterizado em 1206 ao mesmo tempo em que distribui a carga da área de contato Hertziano do mecanismo hidro-dinâmico. O número 1205 representa um encaixe em alta temperatura já conhecido da técnica. O número 1202 representa um diâmetro que seria complementar a um eixo que tal tipo de mancal poderia suportar.

[0065] Também é possível co-esmaltar componentes cerâmicos separados, por exemplo, um alojamento não poroso com uma face de meio poroso. Esse tratamento de co-esmalte é essencialmente uma parte monolítica, mas houve uma oportunidade para se usar câmaras ou labirintos nas peças verdes antes de elas serem sinterizadas ou fundidas. Alternativamente, um sistema de colagem de vidro, semelhante a uma operação de

esmaltação feita no lado externo de uma peça de cerâmica, pode ser empregado uma vez que uma cola em alta temperatura para unir componentes cerâmicos separados em uma peça única em alta temperatura que poderia ser usada com um mancal ou selo em ambientes de extremas temperaturas.

[0066] Conforme ilustrado na figura 13A, um material oxidável 1300, tais como aço inoxidável, aço revestido, por exemplo, níquel ou cerâmica, ou alumínio anodizado que pode ser atuado por um campo magnético atrativo de um magneto poroso 1301 pode ser usado uma vez que o óleo não é empregado. O material é separado a partir do campo magnético do magneto poroso por uma película hidrostática pressurizada 1306 que é mantida por um fluxo contínuo de fluido bombeado através de um meio poroso. O fluido pressurizado é bombeado através do meio poroso a uma pressão relativamente maior do que uma respectiva pressão ambiente e é fornecido para o meio poroso por meio de uma porta de entrada 1302. Um labirinto 1304 distribui o fluido sob pressão através da parte de trás do meio poroso e pode ser fornecido em um invólucro não poroso 1303. Em uma forma de realização alternativa, o labirinto pode ser fornecido no próprio material magnético poroso. Em ambas as formas de realização, o invólucro não poroso 1303 e o material magnético poroso 1301 são laminados em conjunto por uma operação de colagem, esmaltação ou brasagem que pode ocorrer no interior do alojamento ou em um componente de mancal modular separado. O alojamento laminado 1303 e o material magnético poroso 1301 podem ser montados no interior do alojamento ou em uma estrutura usando um pino de montagem conectado através de uma flexão, montagem cardan, aparafusados ou conectados no lugar.

[0067] Em relação ao labirinto e a porta 1304, o fluxo através deste deve ser significativamente maior do que os fluxos esperados através do meio poroso para manter o labirinto e a porta de se tornar uma restrição. Em outras palavras, o que você vê no regulador de pressão deve ser a pressão que está exposta na parte de trás do meio poroso. O labirinto deve fornecer pressão de ar de ao menos 25%, mas não mais do que 75%, da parte de trás do meio poroso. Deve ser notado que é preferível não fazer os sulcos no labirinto mais largos do que a espessura do meio poroso. É muito importante que o diferencial de pressão na parte de trás do meio poroso e a pressão na abertura do

mancal não faça com que o meio poroso exploda para no interior da abertura do mancal. De fato, é preferível ter o arco do meio poroso, a partir de dito diferencial de pressão, sendo inferior a 10% da abertura do projeto, conforme mostrado na figura 13D.

[0068] Conforme ilustrado na figura 13B, o fluido de alta pressão fornecido através de uma abertura 1311 para um orifício no corpo do selo é distribuído axialmente e radialmente entre um corpo do selo 1308 e um meio poroso 1307 por meio de um labirinto 1309 que distribui uniformemente o fluido pressurizado para uma parte traseira do meio poroso. O labirinto 1309 pode alternativamente ser posicionado no meio poroso 1307 ou no corpo do selo 1308. Uma câmara que compreende aproximadamente 50% da área de superfície entre o invólucro e o meio poroso pode ser disposta sobre o diâmetro interno do alojamento ou diâmetro externo do meio poroso. Em uma forma de realização, a câmara pode ser eliminar tanto o diâmetro interno do alojamento e o diâmetro externo do meio poroso. A câmara apresenta uma condutância de ao menos 10 vezes que a do fluxo livre através do meio poroso.

[0069] A camada de meio poroso 1307, mostrada na figura 13B, em geral, apresenta entre 0,020 e 0,200 polegadas de espessura e encaixada e/ou colada no interior do alojamento não poroso 1308. O labirinto de distribuição de ar 1309 pode ser disposto entre a camada do meio poroso 1307 e o alojamento 1308. O acabamento da perfuração do mancal/face do meio poroso pode ser feito para aumentar ou diminuir o diâmetro do mancal/face do meio poroso para um diâmetro desejado. Em uma forma de realização alternativa, é realizado o acabamento plano de uma face de impulso. As aberturas ou canais de distribuição de ar ou aberturas apresentam um labirinto que distribui o ar para ao menos 25% da superfície, mas não mais do que 75% da superfície exposta à fonte de pressão alta. Geralmente as aberturas de ar são apresentam uma espessura dentre 0,0001 e 0,001 de uma polegada com energia de cisalhamento. O fluxo através da abertura é uma função que pode ser quadrática ou cúbica. O fluxo através do meio poroso é determinado pelo fluxo desejado através da abertura; em geral, a relação é de aproximadamente duas vezes o fluxo desejado do eixo ou superfície de pressão em seus lugares. À medida que a velocidade do eixo aumenta, a espessura ideal da abertura também aumenta para minimizar a produção de calor devido às perdas de energia de

cisalhamento.

[0070] Conforme ilustrado na figura 13C, um compressor (o óleo foi removido como um meio lubrificante para os mancais de suporte do eixo) apresenta mancais a gás que operam com gás comprimido e são usados para gerar um suporte de mancal a gás pressurizado externamente 1320 para o eixo 1315. Um cartucho do mancal 1319 e a câmara do mancal e/ou câmara de selo no invólucro do compressor 1318 podem ser concebidos de forma compacta; no entanto, isto não é necessário uma vez que o cartucho do mancal a gás pode caber no mesmo espaço em que um cartucho de mancal a óleo cabe. Em uma forma de realização preferida, a restrição do meio poroso 1323 ocorre na face da pastilha flutuante dos mancais a gás pressurizado externamente 1320. Estes mancais 1320 pode ser alimentados com gás tampão que é bombeado para dentro dos mancais a gás pressurizado externamente 1320. Os mancais 1320 requerem um diferencial de pressão mais elevado, na faixa de 4 a 20 bar acima da pressão sobre o outro lado do selo labirinto em um volume 1316. O volume do fluxo de gás tampão, por exemplo, o gás do mancal, é muito abaixo do gás tampão necessário do estado da arte, por exemplo, menos de um pé cúbico por minuto por mancal.

[0071] O gás tampão pode ser obtido a partir do lado de alta pressão da bomba, ou do lado de sucção, conduzido através de filtros ou secadores, comprimido (lado de sucção), e introduzido através de uma porta 1321 no mancal 1320 e distribuído para o labirinto 1322. O labirinto é restringido pelo meio poroso 1323. O gás tampão sai do labirinto sob pressão através de uma abertura final de restrição do mancal 1324. Após o gás ter saído da abertura do mancal 1324, ele atua de modo a aumentar ligeiramente a pressão no compartimento do mancal. Isto ocorre porque o gás utilizado flui de volta para o processo através do selo de labirinto 1317 ou através de algum outro selo de separação ou anel que pode ser utilizado nesse local. Na forma de realização preferida, todas as saídas são eliminadas e o fluxo do processo não entra na câmara do mancal. Isso elimina a necessidade de se ter tochas ou emissão na atmosfera e permite possibilidades motoras "encapsuladas" em futuros projetos de máquinas turbo. Na forma de realização preferida, a dinâmica do rotor é aperfeiçoada de modo expressivo e o comprimento do eixo, anteriormente utilizado pelos selos, pode ser eliminado. Isso resulta em um eixo



substancialmente mais rígido 1315.

[0072] Devido ao enrijecimento do eixo, o diâmetro do eixo pode ser aumentado devido à maior capacidade de velocidade e, portanto, o aumento da área para pressionar a película dentro do mancal a gás. Ao contrário do óleo, o qual controla a temperatura que o compartimento do mancal pode operar, os mancais a gás podem operar em faixas de temperatura extremas, desde a criogenia ao vapor super aquecido. As técnicas convencionais para colar o meio poroso 1323 nos invólucros aço inoxidável ou alumínio dos mancais 1320 não são apropriadas para temperaturas extremas. O compressor, turbina a gás, ou outro grande gerador, suporta o rotor em uma película de gás sem atrito, mesmo com RPM igual a zero. Isso permite que partidas e desligamentos sem atrito e permite operações lentas e pausas enquanto reduz o risco de *hang-ups* do selo e danos ao mancal. Devido às propriedades aerodinâmicas da face porosa polida, a pressão externa para o mancal pode ser interrompida uma vez que o compressor ou a máquina turbo tiver atingido uma velocidade suficiente, visto que o eixo é suportado pelos efeitos aerodinâmicos. Um compressor auxiliar pode ser posto em funcionamento somente na partida e no desligamento, ou durante as condições de operação lenta. A falha de um compressor auxiliar durante a operação e a perda de pressão não afetam o funcionamento do compressor principal e o rotor pode girar até uma parada sem danos. Isto é devido às propriedades tribológicas do eixo de aço em uma face do mancal de carbono grafite. A forma de realização preferida pode ser utilizada em compressores “encapsulados” destinados para compressão subaquática uma vez que os mancais podem obter sua pressão do lado da alta pressão da bomba e ter a vida útil aceitável como mancais de deslizamento nos ciclos de partida e parada.

[0073] Contudo, sem vedação e sem saídas, os mancais operam sob pressões extremas. Por exemplo, onde a pressão de sucção da bomba for de 100 bar e no lado da saída do compressor for de 200 bar, os mancais poderiam ser alimentados 106 bar, e o fluxo através desses mancais se tornaria o gás tampão; os mancais que operam em um ambiente de 100 bar só observarão uma diferença de 6 bar de pressão.

[0074] A fim de apreciar a necessidade de suportar o meio poroso através das faces dos canais, é fornecida a descrição a seguir. Com referência à figura 13D, é fornecido um

exemplo para um meio poroso que é suportado versus um que é não suportado. Para calcular a deflexão máxima do meio poroso sob pressão (por exemplo, a 600 psig), são utilizadas as "*Plate Formulas*" por *William Griffel* (*Frederick Ungar Publishing Co., New York*). No livro de *Griffel*, a deflexão máxima pode ser calculada tanto para uma caixa com suporte quanto sem suporte. Um módulo de elasticidade de  $1.4 \times 10^6$  PSI é usado para corresponder ao grafite, conforme já mencionado no estado da arte (por exemplo, *Union Carbon Grade ATJ*) em que é ensinada uma câmara sem suporte.

[0075] Na figura 13D, para a caixa suportada, a caixa 37 de Griffel produz uma deflexão máxima de 0,00005 polegadas.

[0076] Na figura 13D, para a caixa sem suporte (o que é consistente, como no caso de outra técnica anterior), o caso de Griffel 37 produz uma deformação máxima de 0,0002 polegadas (que é maior do que certas aberturas mínimas de ar necessárias para os mancais a gás pressurizado externamente). Existem muitos casos do estado da arte que mostram um meio poroso suportado indevidamente, tal como a patente da América do Norte Nº 4.710.035 (*Tittizer*), a patente da América do Norte Nº 6.404.845 (*Sharpless*), a patente da América do Norte Nº 2.683.635 e Nº 2.683.636 (*Wilcox*), a patente da América do Norte Nº 4.848.710 (*Ohta*), e outras.

[0077] A configuração sem suporte é insuficiente na prevenção de distorções uma vez que ela cede sob pressão. O fato de ceder pode resultar em um aumento da deflexão que é maior do que a abertura de ar resultando em atrito ou "travamento" de um componente correspondente. O mancal a gás pressurizado externamente não pode funcionar adequadamente quando a configuração não suportada deforma de tal modo que a deflexão é maior do que a abertura de ar.

[0078] Conforme ilustrado na figura 14, mancal a gás radial pressurizado externamente 1401 é fabricado de uma única pastilha flutuante de grafite carbono sólida. A utilização de uma única pastilha flutuante de grafite carbono sólida evita a necessidade de laminação de múltiplos componentes a temperaturas elevadas, uma vez que a maior parte do grafite carbono não irá oxidar até que a temperatura de 800° C seja excedida. Conforme mostrado na figura 14, uma câmara é utilizada para distribuir ar através dos orifícios transversais 1403 para uma parte traseira de uma face do meio poroso. Estes orifícios

transversais 1403 são rosqueados e plugados 1404 com cerâmica ou esmalte em alta temperatura, que é então tratado com calor, ou esmaltado, para que se torne co-sinterizado com o carbono grafite. Em uma forma de realização, um enxerto de cerâmica a partir de uma ferramenta de corte de metal pode ser sinterizado com a cerâmica ou esmalte em 1406 para distribuir a carga de contato hertziano do mecanismo hidrostático. É possível usinar a câmara ou labirinto separadamente e co-esmaltar os componentes cerâmicos separados em uma única peça, por exemplo, um alojamento não poroso com uma face de meio poroso. Em uma forma de realização alternativa, uma operação de colagem de vidro pode ser empregue como uma cola em alta temperatura e usada para unir os componentes cerâmicos separados em uma única peça em alta temperatura que pode ser usada como um mancal ou um selo em ambientes de temperatura extrema. Ver a figura 14, 1402 e 1405. O mancal a gás radial deve ser feito de tal modo que o raio seja do mesmo tamanho que o eixo, com margem positiva de 0,001 pol e nenhuma margem negativa.

[0079] Os Mancais a gás pressurizado externamente emprega a compensação para limitar e controlar o fluxo de ar para dentro de uma abertura do mancal. O objetivo da compensação é o de fornecer ar suficiente para dentro da abertura do mancal para manter a pressão de carga do mancal sem ter tanto ar que comprometa a estabilidade e a rigidez. O importante aqui é que é criada uma região que poderia facilmente apresentar diversos bars de pressão, e nenhum dos lados desta região passará se estiver a uma pressão inferior. Os vazamentos do selo do mancal a gás pressurizado externamente, de modo que o gás é alimentado em ambos os lados. Por exemplo, um selo de face de diâmetro de 4 polegadas apresentará um fluxo total de cerca de 0,5 pés cúbicos padrão por minuto. Uma vez que o selo é pressurizado externamente, ele funciona mesmo a uma velocidade igual a zero, conforme ocorre nas velocidades operacionais. Nos métodos de compensação por orifício ou tipo de etapa, as compensações do mancal a gás pressurizado externamente não funcionam. Isto ocorre porque apenas um meio poroso uniforme é capaz de distribuir uniformemente uma pressão hidrostática com abertura nula. Por exemplo, se os orifícios foram utilizados, quando as faces estavam em contato, a pressão hidrostática apenas poderia ser exercida sobre a área dos orifícios. Os mancais a

gás pressurizado externamente de grafite poroso são conhecidos por sua fraca resistência. Em fusos, em que a velocidade relativa entre a superfície das faces do mancal pode ser bastante elevada, a grafite tem sido usado apenas como uma face do mancal e os métodos de compensação de tipo orifício ainda são utilizados.

[0080] O mancal pode ser concebido para operar com o gás de processo por meio do controle da porosidade de grafite, carbono, ou de materiais cerâmicos, por meio de métodos conhecidos tais como a quantidade de ligante a ser queimado, a quantidade de pressão de compactação, as diferenças no esquema de queima, ou outro método conhecido no estado da arte de fabricação de cerâmicas. É possível ajustar a porosidade usada para restringir o fluxo de gás no mancal a gás para o peso molecular e/ou viscosidade dos gases a serem usados no equipamento turbo. A porosidade típica de meio poroso para selos e mancais pressurizados externamente é entre 2 a 20%.

[0081] Conforme ilustrado nas figuras 15A e 15B, na fabricação do meio poroso para os mancais a gás pressurizado externamente podem ser empregues as técnicas normalmente conhecidas na arte de fundição de cerâmica. A seguir são descritas tais técnicas e metodologias conforme encontradas na literatura.

[0082] A prensagem a seco envolve a compactação bi-direcional de pó seco de cerâmica e geralmente é usado em aplicações de grandes volumes que requerem geometria complexa e tolerâncias elevadas (tipicamente de +/- 1% acima de 10 mm e +/- 0,1 mm abaixo de 10 mm). Com as prensas mecânicas dentre 2 e 100 toneladas, podem ser produzidos componentes em uma ampla gama de tamanhos e materiais.

[0083] A fundição por congelamento é um processo para a fundição de cerâmica. O pó de cerâmica misturado com um gel à base de água é resfriado a -50° C. A expansão da água, uma vez que congela, compacta o pó na forma exata do molde. A fundição por congelamento oferece benefícios acima dos as cerâmicas refratárias atualmente disponíveis podem oferecer.

[0084] Para componentes que exigem alta precisão, e de médio a alto volume, tipicamente utilizando óxido de alumínio de alta pureza, obtém os mesmos benefícios de um componente plástico moldado por injeção, juntamente com as excelentes propriedades de material de cerâmica avançada. Os benefícios de moldagem por injeção

de cerâmica incluem: excelente tolerância atingível ( $\pm 0,025$  milímetro), alta qualidade de superfície sem a necessidade de processos adicionais de acabamento, e uma opção econômica para a produção dos componentes, que de outro modo seria de alto custo.

[0085] A prensagem isostática é utilizada para componentes cilíndricos. A prensagem isostática é uma compactação multidirecional de pó cerâmico em um molde flexível. As partes iso-pressionadas podem ser produzidas com quase todos os materiais utilizados para a prensagem a seco. Isso também permite que a produção de projetos com eixos canelados e uma série de recursos na prensagem.

[0086] A extrusão é ideal para produtos com uma seção transversal regular e oferece a vantagem de grandes comprimentos de produto com densidade uniforme. Uma cerâmica (tipicamente de óxido de alumínio, magnésio ou silicatos) é misturada com um transporte plastificado e forçado através de um molde para produzir o produto que é cortado no comprimento necessário. Os volumes podem ser desde relativamente pequenos a muito grande, e pode ser acomodar produtos de diâmetros inferior a 1 mm e orifícios inferiores a 0,25 milímetros.

[0087] Na fundição em coquilha (*slip*), às vezes chamada de fundição por dreno, um molde de gesso é preenchido com a coquilha. A coquilha é um líquido que contém um material cerâmico em uma suspensão em água. À medida que o molde absorve a água, a suspensão de cerâmica solidifica uniformemente sobre as paredes do molde. Uma vez que a espessura desejada de parede é alcançada, a coquilha restante é drenada, o molde é separado ou quebrado, e a peça é removida. A peça, agora na forma de um pó compacto ou estágio verde é, a seguir, sinterizado em um forno.

[0088] Na moldagem em fita, pó cerâmico é misturado com agentes ligantes e dispersantes, solventes, aglutinantes, plastificantes e é chamado de "coquilha". Este é uma pasta que é então fundida em um dispositivo de nivelamento que cria uma saída de medição sobre uma correia em movimento. A correia em movimento controla a espessura da fita, de até 5  $\mu\text{m}$  com largura de até 2 m. A porosidade e características rigidamente controlados por pós na coquilha. A fita se encontra em um estado "verde" e é flexível para o processamento posterior. Esta pode ser laminada ou colada a outras cerâmicas no processo de cozedura final. Em última análise as espessuras de fita serão viáveis em

escala nanométrica. Este processo pode ser automatizado e produção avançou para reduzir os custos com materiais de engenharia superiores.

[0089] Para o acabamento, podem ser usadas as técnicas de polimento de placas rígidas e a placa de cobre para produzir um acabamento superficial de excelente qualidade e nivelamento. Podem ser utilizadas técnicas de polimento (face plana), o acabamento do diâmetro externo, desbaste do orifício, desbaste de face dupla (face), e de desbaste descentralizado.

[0090] Os mancais porosos criam uma força atenuante durante os impactos devido a eles não dependerem de uma abertura para distribuir a pressão do ar em toda a face de um mancal. Um mancal de orifício em uma condição de sobrecarga entrará em colapso, fechando a abertura e deixando apenas a área do orifício ou sulco para exercer a pressão do ar. Isto significa que após o colapso, as ditas faces irão experimentar quase toda a carga nos mancais de deslizamento. Em contraste, as faces porosas do mancal continuarão a exercer pressão de ar em toda a área do mancal, mesmo em situações de abertura zero e fluxo zero. De fato, a força criada será igual à pressão na linha multiplicada pela área de superfície projetada. A fim de demonstrar o efeito na operação, foram realizadas várias experiências para determinar o coeficiente estático de atrito do grafite sobre o granito e o efeito que a pressão de ar no mancal tem sobre o atrito estático antes do descolamento.

[0091] Conforme ilustrado nas figuras 16A - 16B, em uma turbina a vapor multi-estágio 1601, um eixo 1602 é suportado por mancais a óleo 1603 e os selos 1604. O eixo suporta os propulsores. Os estágios 1601 dos propulsores apresentam folgas axial e radial do estator em seus perímetros por conta das mudanças térmicas, erros de fabricação, dinâmica do rotor e flexão do eixo. O eixo não é muito rígido uma vez que o comprimento dele é aproximadamente 10 vezes maior do que o diâmetro do eixo e em cantilever entre os mancais. Os mancais a gás eliminam a necessidade do complexo projeto em cantilever. Frequentemente é observado que os mancais magnéticos apresentam vantagem sobre os outros mancais uma vez que podem influenciar ativamente o eixo rotor para melhorar a dinâmica do rotor. No entanto, é mais eficaz empregar mancais diretamente onde o eixo e os propulsores operam. Conforme mostrado na figura 16B, os mancais empregando vapor

como meio hidrostático, restringem radialmente e axialmente o eixo nas extremidades que anteriormente tiveram mancais a óleo. Os mancais a vapor, uma vez que o óleo não é utilizado, não requerem proteção de um selo de mancal na parte traseira. Esta é uma enorme vantagem sobre os mancais a óleo em relação à manutenção e tempo médio entre falhas. Devido aos mancais a gás pressurizado externamente poderem combinar a funcionalidade vedação e mancal, também são possíveis selos altamente eficazes entre os estágios do impulsor. Isso elimina as ineficiências por impacto. O fluxo através de uma abertura é uma função cúbica da abertura, assim as folgas entre os estatores e impulsores ou palhetas têm um efeito muito sensível sobre a eficiência da bomba.

[0092] O mancal a gás pode operar a temperaturas extremas ao longo do espectro do equipamento turbo. Por exemplo, os mancais a gás pressurizado externamente podem usar gás freon ou vapor super aquecido como meio aerostático/aerodinâmico. Isto permite aos mancais a gás pressurizado externamente serem utilizados diretamente no percurso do fluxo através do equipamento turbo. Na técnica atual do equipamento turbo, o eixo tipicamente não é suportado por esta área. Isto requer grandes folgas entre estatores (não mostradas) e palhetas ou impulsores que contribuam para as ineficiências de recirculação de gases. Apesar de não mostrado, apenas um mancal a vapor pode ser adicionado no centro do espaço, tal mancal pode ser empregue entre cada estágio do impulsor. Isto elimina o retorno do fluxo para menos do que o que é alimentado para dentro dos mancais.

[0093] Conforme ilustrado na figura 17, o uso de mancais a gás no perímetro dos impulsores ou palhetas 1702 e os suportando axialmente implica em velocidades superficiais relativamente altas. O corte indesejado nessas aberturas poderia se tornar uma limitação e fonte de calor significativa, mas isso não impede a aplicação de mancais a gás com funcionalidades de vedação no ou próximo do diâmetro do impulsor, radial ou axialmente. O fato da maioria dos gases ser ao menos duas ordens de grandeza menos viscosos do que o óleo é um forte argumento de que os mancais a gás pressurizado externamente seriam capazes de apresentar velocidades superficiais mais elevadas antes que os problemas de aquecimento de cisalhamento viscoso ocorrerem. É verdade que o cisalhamento através de uma abertura é uma função cúbica da abertura e, portanto,

aberturas maiores são um modo de reduzir as perdas por cisalhamento.

[0094] Devido ao mancais a gás de meio poroso não apresentar orifícios, sulcos, etapas ou bolsos em sua face, eles têm a melhor chance de manter o fluxo laminar em altas velocidades superficiais relativas. O regime de fluxo laminar cria significativamente menos perdas de arraste e calor do que o regime turbulento. A melhor maneira de manter o fluxo laminar é ter uma face de mancal com pouco relevo, com um acabamento de superfície liso. Os mancais porosos atendem a todos esses requisitos.

[0095] Devido ao aumento linear do rotor não coincidir com o estator, recomenda-se que os mancais a gás ou mancais a vapor axiais tenham a compensação em ambos os lados e a força da mola pressione para empurrar a face contra o impulsor, conforme mostrado nas figuras 1A e 2 A. A combinação da funcionalidade de mancal e selo apresenta vantagens significativas sobre a simplificação do equipamento e a redução do comprimento no eixo 1703. Isto permite uma maior velocidade de equipamento e desenho mais compacto. Uma das maiores vantagens da combinação da tecnologia de selo e mancal é que ela permite uma revisão global do projeto do equipamento. Por exemplo, em um compressor centrífugo com multi-estágios, ilustrado na figura 29, um eixo pode ser suportado em mancais e selos. O eixo sustenta os impulsores que apresentam significativas folgas radiais e axiais em seus perímetros, onde eles estão realizando a maior parte de seu trabalho, justificando a dinâmica do rotor e outros movimentos do eixo. Em uma forma de realização alternativa, o uso dos mancais a gás pressurizado externamente como selos no perímetro dos impulsores melhoraria a pressão que poderia ser gerada por cada fase. Tais mancais/selos axiais também tenderiam a amortecer os movimentos do rotor e tornar a compressão suave por evitar o fluxo de retorno entre os estágios que representam os fluxos em alta pressão, alta velocidade, através de regiões de folga indesejadas. Esses fluxos são conhecidos por apresentarem efeitos desestabilizadores.

[0096] Conforme ilustrado na figura 17, um compressor centrífugo, de acordo com as formas de realização preferidas, não apresenta selos ou mancais em ambas as extremidades do eixo 1703. Estas extremidades poderiam ser cobertas (não representado) sem a necessidade de qualquer tipo de saída, permitindo que um compressor selado ou encapsulado. Se fosse o compressor do meio, em uma seqüência de compressores



acionados por uma única fonte de energia, os selos seriam necessários na extremidade, mas os mancais não. Avançando neste conceito, pode ser observado que, em compressores centrífugos e equipamentos turbo, os estágios são conectados a um eixo comum, e por isso não é possível otimizar a velocidade de cada fase. Se cada rotor foi suportado por um mancal a gás pressurizado externamente radial e também utilizou os mancais a gás pressurizado externamente axial como tecnologia de selo, seria possível acionar cada rotor de forma independente. No caso das turbinas, cada estágio da turbina também poderia ser operado na velocidade ideal para aquele estágio particular. Cada etapa seria sustentada por seus próprios mancais de gás pressurizado externamente axial e radial. Estes mancais também operam como selos altamente eficazes. Cada estágio pode ser acoplado ao seu próprio motor ou gerador tanto no diâmetro interno quanto no diâmetro externo do estágio do rotor ou turbina. Isto, essencialmente, eliminaria o eixo. Um dos maiores problemas no equipamento turbo é a dinâmica do rotor do eixo. Uma das melhores soluções é se livrar do eixo. Isto também permite equipamentos muito mais compactos e elimina a necessidade de alinhar os eixos do motor com o de um compressor, ou o de uma turbina com o de um gerador. Estas funções podem ser combinadas no interior do mesmo invólucro, reduzindo drasticamente o tamanho, peso e custo do equipamento, ao mesmo tempo melhorar a eficácia através da otimização de cada estágio e da melhora substancial da vedação entre os estágios. Sem um eixo eliminam-se os problemas relacionados às vedações do mesmo.

[0097] Conforme ilustrado na figura 18, um compressor centrífugo apresenta rotores que são suportados em um eixo fixo via selos de mancal a gás pressurizado externamente. Desta maneira, cada rotor pode ser rotacionado a uma velocidade que corresponde à sua eficiência ideal e é possível rotacionar cada rotor à diferentes velocidades para determinar experimentalmente qual a velocidade para cada rotor resulta na eficiência ideal para todo o conjunto de rotores. Os mancais a gás pressurizado externamente também são empregados nos lados dos rotores tanto para conter a dinâmica do rotor quanto para fornecer a restrição axial para o rotor, uma vez que já não mais é acoplado axialmente ao eixo. Os mancais a gás pressurizado também proporcionam um selo altamente eficaz para evitar o contra-golpe de pressão. Em uma forma de realização alternativa o motor pode

estar em ID e o mancal radial em OD.

[0098] Em uma forma de realização preferida, o eixo 1801 é estacionário. O eixo suporta a localização radial dos quatro rotores rotativos 1802. Os rotores giram em mancais radiais estacionários conectados ao eixo estacionário utilizando as técnicas descritas anteriormente nesta descrição. A alta pressão, que deve ser alimentada aos mancais a gás, pode ser fornecida a partir do lado da alta pressão 1806 do compressor ao 1804 para distribuir a pressão ou a partir de uma fonte externa ao 1805 para a mesma distribuição. Os selos dos mancais/estágio axiais 1807 em conjunto com os seus respectivos rotores correspondentes são isolados a partir do aumento axial do eixo estacionário através das aberturas de mancal a gás entre os mancais a ar radiais e o eixo estacionário. Ao manter uma pressão mais elevada entre os selos/mancais a gás axiais e os rotores e a pressão na descarga de retorno do rotor entre o estator do rotor é eliminada. As instabilidades que estão associadas a estes fluxos de alta velocidade/alta pressão também são eliminadas e a taxa de compressão e a eficiência de cada uma dos estágios é aumentada. O ruído gerado pelo compressor é significativamente reduzido por meio da eliminação do fluxo turbulento através dos selos de tipo labirinto. Uma vez que o eixo 1801, nesta forma de realização, não rotaciona, de ser empregue um outro método para introduzir a potência necessária para a compressão nos rotores. Atualmente isso pode ser conseguido com os motores de alta velocidade que seriam integrados a cada rotor. Isso permitirá que cada rotor rotacione de forma independente e em velocidades diferentes, a qualquer que seja a velocidade resulta no melhor desempenho do sistema. Os estágios operando de forma independente também melhoram muito a capacidade do compressor de lidar com as condições de processamento alteradas. Em uma forma de realização, os elementos do motor se encontram no perímetro externo dos rotores, fornecendo um fácil acesso às bobinas 1808, aos ímãs permanentes 1809 ou eletroímãs, para a refrigeração. Isto também fornece uma grande circunferência sobre a qual se aplica torque. A distribuição da pressão de gás para dentro dos labirintos dos mancais porosos é conduzida da mesma maneira como apresentando na figura 17.

[0099] Conforme na figura 19, é ilustrado um compressor centrífugo que emprega os rotores que são suportados em um eixo estacionário por meio de um mancal a gás

pressurizado externamente. O mancal a gás atua como um elemento magnético no motor. O motor aciona o rotor ou um gerador acionado pelo rotor. Deste modo, cada rotor pode ser rotacionado a uma velocidade que corresponde à sua eficiência ideal e é possível rotacionar cada rotor à diferentes velocidades para determinar experimentalmente qual a velocidade para cada rotor resulta em eficiência ideal para todo o conjunto de rotores. Os mancais a gás pressurizado externamente, também são empregues nas laterais dos rotores tanto para restringir a dinâmica do rotor quanto fornecer restrição axial para o rotor, uma vez que não mais é axialmente acoplado ao eixo. Os mancais a gás pressurizado fornecem um selo altamente eficaz para evitar a o retorno de pressão. Em uma forma de realização alternativa, a combinação do mancal a gás pressurizado externamente do motor poderia ser utilizada no diâmetro externo ou nos mancais de impulsão próximos ao OD ou ID.

[00100] Na forma de realização mostrada na figura 19, um eixo estacionário 1901 é mostrado com um diâmetro significativamente maior, a fim de fornecer maior distância circunferencial no diâmetro interno do rotor e diâmetro externo do eixo. Isso aumenta a dureza radial do eixo através da compressão da área de trabalho, fornece área para conduzir energia elétrica para as bobinas e para passar fluidos de refrigeração abaixo do eixo. Isto aumenta a dureza radial do eixo através da compressão da área de trabalho. Como na figura 18, os estágios do rotor podem ser acionados independentemente um do outro. Nesta forma de realização, um motor de alta velocidade é utilizado no ID do rotor para fornecer energia para a compressão. As bobinas 1908 do estator se encontram em OD do eixo estacionário, e os ímãs permanentes no ID do rotor. Isto é o avesso em comparação com a maioria dos projetos de motor, a vantagem é que os ímãs são detidos pela força centrífuga, ao invés da força centrífuga retirar os ímãs do OD do rotor. Além disso, é ensinado que o neodímio, sendo poroso, pode ser utilizado como restrição para a função de mancal hidrostático. Ver, patente Norte Americana Nº 8.427.021. Isto permite que o neodímio 1903 funcione tanto como um ímã permanente para o motor de alta velocidade, quanto como um elemento de mancal restritivo para o seu eixo de rotação. Observe que nesta forma de realização que ele está sendo alimentado 1910 a partir o lado de alta pressão do rotor. Como destacado antes, os mancais axiais podem ser alimentados

1906 a partir do lado da alta pressão do compressor. Estes mancais axiais são construídos usando tecnologias ensinadas nas figuras 1 e 2, incluindo as técnicas de compensação de montagem, conforme aplicado na figura 18.

[00101] Quando se utiliza o ímã do motor como um elemento de mancal, a alta pressão na abertura de ar irá ajudar a reter o ímã sobre o rotor; usando a alta pressão e a velocidade do ar na abertura do mancal a gás pressurizado externamente, tem-se um mecanismo para a refrigeração do motor. E, em virtude da pequena abertura de ar conseguida pela funcionalidade do mancal a gás pressurizado externamente, uma eficiência muito maior pode ser conseguida pela folga de formato menor entre o ímã e a bobina; esta relação é uma função quadrática, portanto, podem ser obtidos aperfeiçoamentos substanciais na eficiência do motor ou gerador.

[00102] Também deve se notado que os mancais do ímã do motor podem ser utilizados como mancais axiais que operam sobre os lados dos rotores 1902, assim como os motores lineares convencionais empregam ímãs em ambos os lados do conjunto de bobinas. Isto tem algumas vantagens, especialmente em altas velocidades, quando a tentativa de manter os magnetos conectados ao rotor conforme a sua força centrífuga os empurra para cima, contra um diâmetro usinado dentro do rotor 1902. Note que a ilustração mostra que os mancais axiais e radiais estão sendo alimentados 1904 a partir de lado de alta pressão do compressor. Em uma forma de realização alternativa, estes mancais podem ser alimentados a partir de uma fonte de alta pressão separada (não mostrada).

[00103] Conforme ilustrado nas figuras 20A - 20B, um compressor axial emprega os mancais/selos da presente invenção e dispõe de um conjunto de lâminas 2002 que rotacionam e são acionadas independentemente. As lâminas são restritas axialmente por meio das superfícies anulares paralelas e contínuas de ambos os lados em seu respectivo perímetro externo e interno atuando contra os mancais/selos a gás pressurizados externamente axiais 2007 conforme ensinado na figura 1. Estes mancais/selos podem ser colocados em série, tal como ensinado na figura 6, como componentes de estator de dois lados. Como na figura 6, a folga pode ser projetada entre as faces de impulsão. Alternativamente, o caminho de carga das pressões diferenciais pode ser acomodado

como uma linha reta através do centro dos mancais/selos. A montagem começa com o eixo estacionário 2001 e um conjunto de estator de estágio 2011 com um selo do mancal axial, de acordo com a figura 1. O impulsor, ou conjunto de lâminas 2002, com uma superfície anular contínua, os perímetros interno e externo, e os componentes do rotor do motor de alta velocidade 2003 são inseridos ao longo do eixo 2001 e em uma montagem do primeiro estágio do estator 2011. Um espaçador 2012, consistente com a espessura do impulsor entre as referidas superfícies paralelas contíguas ao seu perímetro mais as folgas concebidas para os selos/mancais a gás 2007, é aparafusado entre o primeiro estator e uma porção de um segundo estator a ser aparafusado no lugar. Este processo continua axialmente até que todos os estágios para a máquina sejam montados. Um único parafuso 2013 pode ser passar pelo comprimento de todos os componentes. Os motores/geradores de alta velocidade nos perímetros externos permitem que os estágios operem em velocidades independentes. Consistente com um compressor axial, um elevado volume de ar pode apresentar uma compressão limitada, por exemplo, para alimentar uma turbina de energia ou um motor grande, ou um grande volume de ar pode acionar os geradores que produzem corrente CC ou assíncrona para uso em outro local. Uma grande vantagem do presente projeto é que não há vazamento de fluxo ou refluxo nas pontas ou bordas de folga dos impulsores, e os impulsores individuais podem ser acionados a velocidades diferentes.

[00104] Conforme ilustrado nas figuras 21A - 21B, uma turbina sem eixo que implementa as mesmas técnicas indicadas na figura 20, não apresenta o eixo central, nem mesmo um eixo estacionário. O estator inclui componentes que são deslizados ao longo do eixo da figura 20 e aparafusados em conjunto para formar um estator estrutural. A turbina sem eixo das figuras 21A - 21B é mais leve do que a forma de realização descrita na figura 20 e seria adequada para aplicações aerodinâmicas. Por exemplo, os propulsores para drones leves requerem baixa emissão acústica. As turbinas sem eixo também seriam adequadas para aplicações de turbinas de energia.

[00105] Conforme mostrado nas figuras 21A - 21B, os estágios do impulsor não rotacionam independentemente para acomodar a maior eficiência possível. O volume englobado pelo relevo das lâminas é reduzido conforme o diâmetro e o fluido que é

comprimido são reduzidos. Cada conjunto de lâminas 2102 rotaciona e é acionado de forma independente. As lâminas são restritas axialmente pelas superfícies anulares paralelas e contínuas em ambos os lados nos respectivos perímetros externo e interno que atuam contra um selo/mancal a gás pressurizado externamente axial 2107. Estes selos/mancal podem ser colocados em série, tal como ensinado na figura 6, como componentes do estator de dois lados. Conforme mostrado na figura 6, a folga pode ser concebida entre as faces de impulsão. Em uma forma de realização alternativa, o caminho de carga das pressões diferenciais pode ser acomodado como uma linha reta através do centro dos mancais/selos. Um espaçador 2112, de acordo com a espessura do impulsor entre as dita superfícies paralelas contíguas em seu perímetro mais as folgas concebidas para os selos/mancais a gás 2107, é aparafusado entre o primeiro dito estator e a próxima seção do estator a ser aparafusada no lugar. Este processo continua axialmente até que todos os estágios para a máquina estejam montados.

[00106] Conforme ilustrado nas figuras 22A - 22E, no projeto de um compressor ou expansor radial, por exemplo, um turbo-expansor carregado por compressor, tal como o fabricado pela *Air Products*, os mancais a óleo convencionais e os selos são removidos e substituídos pelos mancais a gás pressurizado externamente 2203 e 2207 que sustentam os propulsores e fornecem um selo diretamente na parte de trás do impulsor. Isto permite uma substancial diminuição do comprimento do eixo entre os impulsores, mantendo a maior distância possível entre as superfícies do mancal que suporta os impulsores. Os mancais a gás pressurizado externamente permitem altas velocidades com baixas perdas por atrito e geração de calor; óleo é totalmente eliminado. Os selos de mancal podem operar nas temperaturas criogênicas, vapor ou dos gases do processo. A relação custo eficácia e a simplicidade deste projeto tornam a recuperação de energia mais econômica.

[00107] Em um expansor/compressor com estágios adjacentes, por exemplo, como pode ser visto em um turbo-expansor carregado por compressor, tal como o fabricado pela *Air Products*, um eixo é apoiado em rolamentos ou mancais a óleo, passando através de selos. O eixo sustenta os impulsores deslocados em cantilever dos mancais, que precisam apresentar significativas folgas axial e radiais em seus perímetros, onde eles estão fazendo a maior parte de seu trabalho, para considerar a dinâmica do rotor e outros

movimentos do eixo. O eixo não pode ser muito rígidos pois o comprimento do eixo entre propulsores é de cinco ou mais múltiplos de seu diâmetro.

[00108] Em uma forma de realização alternativa, mostrada na figura 22A, o uso dos mancais a gás pressurizado externamente como selos no perímetro dos impulsores 2207 iria melhorar substancialmente a dinâmica e custo através da eliminação dos selos e mancais a óleo. A combinação do selo de mancal a gás pressurizado externamente poderia operar em temperaturas criogênicas ( $-300^{\circ}\text{C}$ ), ou em vapor super aquecido. O ar alimentado sob pressão pode ser a partir do lado de alta pressão. Tal mancais/selos radiais, axiais aerostáticos, também tendem a amortecer os movimentos do rotor. Mais importante ainda, os mancais permitiria um eixo 2201 muito mais curto e manter o eixo como um eixo rígido. O estator 2211 apresenta ao menos uma porta 2204 para aceitar gás pressurizado. As vias de passagem através do estator são utilizadas para distribuir o gás pressurizado nos labirintos (não representados nesta ilustração, mas ensinados nas figuras 1, 2 e 3) na parte traseira do meio poroso, usadas como um elemento restritivo nos mancais a gás radiais 2203 e axiais 2207. Por exemplo, a porta 2208 mostrada na metade inferior do estator na figura 22A permite que o gás que foi bombeado através da restrição de meio poroso e através da restrição da abertura do mancal real escape à baixa pressão. Neste exemplo, o gás pressurizado é percolado através do meio poroso 2207 e para dentro da abertura do mancal que sai entre o impulsor 2202 e os mancais de impulsão 2207. Ele sai da abertura no perímetro externo ou no perímetro interno. A área de folga no perímetro interno também apresenta o gás do mancal que sai nele. Se você não fornecer um respiro, a pressão aumentará até que a pressão na abertura e a capacidade de carga atinjam seus limites. Neste exemplo, o respiro para o lado de baixa pressão é o preferido. Além disso, neste exemplo, praticamente 100% da parte de trás do impulsor é suportada por um mancal de impulso. Isto significa que o modo em cantilever é completamente eliminado e não há superfície não suportada. Isto permite lidar com cargas de impulso, de alta pressão, na câmara de trabalho como uma rigidez de coluna através de parte de trás do impulsor para a face do mancal. Notar também que a proporção de comprimento para o diâmetro do rotor é na ordem de 2:1 em vez de 5:1 ou 10:1, como é comum com os expansores. Deve se observado que os turbocompressores,

expansores e compressores radiais podem ser expostos a flutuações de temperatura dramáticas. Assim, algumas devem ser concebidas tolerâncias, por exemplo, os métodos ensinados na figura 1, ou alguma capacidade para o impulsor 2202 para transladar no rotor 2201, possivelmente pela aplicação de uma força de pré-carga.

[00109] Um dos lados do expensor pode ser facilmente configurado em um gerador, incluindo um projeto de gerador que emprega magnetos na parte interna do perímetro externo do eixo rotativo. Muitas vezes a energia liberada nos gases em expansão é dissipada em calor como trabalho, este projeto torna econômico captar mais energia como eletricidade. Conforme mostrado na figura 29, poderia ser eliminada a prática do uso de um expensor 2901 para acionar uma caixa de câmbio 2902, que reduziria a velocidade e, em seguida, alimenta um gerador 2903.

[00110] A figura 23 mostra um pistão de dupla face que é recíproco com um cilindro de um motor de tipo *voice coil*. O pistão é suportado no cilindro com um mancal a gás pressurizado externamente sem contato, que deriva a sua fonte de pressão do lado de alta pressão. Os mancais a gás pressurizado externamente anulares também fornecem a funcionalidade de vedação. As válvulas *Reed* ou as válvulas de cilindros convencionais com molas carregadas controlam o fluxo de fluido que é bombeado inteiramente pelas diferenças de pressão criadas. Um motor de tipo *voice coil* situado no centro relativo do cilindro e do pistão é utilizado para acionar o pistão para trás e para a frente no interior do cilindro em um modo sem contato.

[00111] Tal como em selos de face e gás seco, a carga da mola ou elástica em um lado de impulso considerada para a elevação térmica do eixo, e o suporte para o rotor diretamente na parte de trás do impulsor e próximo do perímetro foi uma melhoria substancial da estabilidade. Tais mancais/selos radiais, axiais aerostáticos, também tendem a amortecer os movimentos do rotor. A eliminação das exigências de isolamento térmico reduzido a óleo como a combinação selo de mancal a gás poderia operar em temperaturas criogênicas ou em vapor super aquecido. A pressão alimentada de gás pode ser do lado de alta pressão.

[00112] É possível combinar a função dos selos de mancal de grafite anulares com a funcionalidade magnética por meio do emprego de neodímio poroso ou diversos outros



materiais magnéticos.

[00113] Uma forma de manter alguma redução entre a velocidade do expansor e a velocidade do gerador é a utilização do raio do impulsor como alavanca de redução. Isto pode ser visto na figura 22C, em que uma luva no ID do rotor foi fixada diretamente com os magnetos do motor. Em adição, neste projeto, as faces de impulsão opostas dos dois projetos anteriores foram simplificadas pela utilização de uma pré-carga magnética contra uma única face de impulsão.

[00114] Com referência à figura 22D, em ainda uma outra redução de espaço, a pré-carga magnética utilizada no exemplo anterior, de outro modo, é fornecida pela força de atração entre os magnetos e bobinas do próprio motor/gerador. Observe que o peso físico da massa em rotação continua a ser reduzido, mas não há problemas com inércia ou de dinâmica torcional uma vez que o impulsor não é rigidamente acoplado algo.

[00115] Como motores cooperam com os mancais para acionar próximo de onde o trabalho está sendo feito, a figura 22E mostra neodímio porosa feito em um elemento de suporte pressurizado externamente.

[00116] Conforme ilustrado nas figuras 24A - 24B, os coeficientes de película convectiva, e os efeitos da camada limite são a chave para a transferência térmica eficaz a partir de uma superfície para o ar. Ao empregar a tecnologia de mancal a gás pressurizado externamente para criar um efeito de escovação (*scrubbing*) da camada limite muito estável, de alta pressão, por exemplo, várias atmosferas de pressão, não apenas as polegadas de diferenciais de pressão de água, fluxos de ar de alta velocidade através de aberturas muito estreitas podem ser conseguidos, que melhoram substancialmente a transferência térmica em significativas economias de energia. Apesar da pressão introduzida no mancal ser muito mais elevada do que o da ventoinha dos trocadores de calor refrigerados, o volume do fluxo de ar é muito menor, uma vez que está sendo forçado através de uma abertura muito restritiva de 10 a 20  $\mu$ . A energia necessária para mover o ar não é significativamente diferente. A capacidade térmica do ar é melhorada devido ao ar ser comprimido, mantido a 2 a 4 bar conforme flui através abertura sustentação do mancal a gás pressurizado externamente. Este ar de alta pressão flui a velocidades superiores a 50 m/s, o que de forma muito eficaz escova a camada

limite, você poderia pensar em um “fluxo frio gerado por um alimentador turbinado”.

[00117] Em equipamentos rotativos turbo de alto desempenho, a temperatura, e a transferência de temperatura pode se tornar um problema de produção significativo. Na indústria de aquecimento, ventilação e refrigeração, a transferência de temperatura é um componente chave para a eficiência. Em ambos os casos, o uso de fluxos de gás em alta pressão e velocidade através de uma abertura do mancal a gás apresenta algumas vantagens fundamentais para as tecnologias convencionais de refrigeração de ar. Em primeiro lugar, o ar pressurizado na abertura de ar apresenta uma densidade maior, e assim uma capacidade térmica maior do que o ar que está na ou próximo da pressão ambiente, como é típico em radiadores refrigerados por ventoinha e nas torres de refrigeração. Em segundo lugar, devido à alta pressão e velocidades elevadas também serem típicas das aberturas de mancal a gás; maior velocidade do ar significa muitas mais moléculas de ar fluindo através das superfícies. Em terceiro lugar, e possivelmente mais importante, não há um efeito de escovação ou lavagem de gases (*scrubbing*) da camada limite que remove as moléculas que tentam se fixar na superfície a ser resfriada. Este efeito de escovação da camada limite é muito mais eficaz do que àquela que pode ser conseguida com ventiladores devido às pressões e velocidades muito elevadas disponíveis com mancais a gás.

[00118] Conforme ilustrado na figura 24, um tubo de transporte de água quente 2401 ou condensação de vapor, ou mesmo algum fluido que se destina a ser aquecido é integralmente associado a uma técnica de conexão de elevada condução térmica 2202, por exemplo, as aletas de refrigeração. O tubo e as aletas de refrigeração seriam estacionários. Para obter a funcionalidade de refrigeração, ar relativamente frio seria introduzido nas portas de entrada de ar 2404. Este ar, ou gás, é conduzido para os discos de meio poroso em forma de anel através do orifício 2406. O gás pressurizado se infiltra através do disco de meio poroso 2403 e nas aberturas entre disco de meio poroso 2403 e a aleta de refrigeração 2402. O gás então flui entre os dois componentes, escovando a camada limite da aleta de refrigeração, e levando o calor. Em seguida, o gás sai através das portas de exaustão 2405 e retorna para a atmosfera.

[00119] Em nenhuma figura é mostrado o conceito de que os mancais a gás

pressurizado externamente aqui descritos podem ser dotados de com sondas de temperatura, sensores de proximidade, dinamômetros, acelerômetros, ou qualquer outro tipo de sensor/sonda que pode se tornar útil para permitir a um operador monitorar a vida e a saúde do mancal. Esse acompanhamento permitirá o reconhecimento de quando o mancal precisa de manutenção. A montagem de tal instrumentação pode ser feita por meio de perfuração e envasamento e/ou quaisquer meios que dê à sonda a proteção adequada para o seu propósito.

[00120] Conforme ilustrado na figura 27, um impulsor "*rim-driver*" ou propulsor 2701, um tipo de turbomáquina compreende um estator 2702, um rotor 2703, as lâminas 2704, que estão montadas no rotor 2703, e os ímãs permanentes 2705. A água do mar passa através da abertura 2714 do rotor-estator. Em vez de usar mancais que são de materiais endurecidos e lubrificados pela água do mar, que é comum na arte, são usados os mancais a gás pressurizado externamente de meio poroso. Os dois suportes radiais do mancal 2710 fornecem a montagem para dois mancais radiais de meio poroso 2709, para que o gás seja fornecido através câmara 2712 e através de múltiplos canais de distribuição de ar 2713, compreendendo um labirinto para distribuir ar nos mancais radiais de meio poroso 2709. Os dois mancais axiais de meio poroso 2707 e 2708 são montados em dois suportes de mancal 2706, para que o gás seja fornecido através do orifício 2711 e através do canal 2716. Os mancais a gás pressurizado externamente não são submetidos aos detritos na água do mar devido à pressão positiva através do meio poroso impedir tal contaminação.

[00121] Conforme ilustrado na figura 28, uma configuração semelhante à dos mancais a gás pressurizado externamente da figura 27, representando um impulsor ou propulsor mostra o conjunto de *rim-driven* 2803 conectado entre dois tubos 2801 e 2802, e aparafusado por meio de elementos de flange 2804 e 2805, com o fluxo de entrada 2806 e fluxo de saída 2807. Esta forma de realização de bombeamento/circulação em linha é uma que pode ser usada para circular o fluxo, como em uma refinaria ou outra disposição de tubulação. Esta fornece uma solução sem vedação para a tubulação, e uma em que os mancais a gás pressurizado externamente podem operar no fluido de processo sem a possibilidade de contaminação a partir de quaisquer detritos, devido à pressão

positiva fornecida ao meio poroso.

[00122] As escovas de carvão, normalmente conhecidas na arte, fornecem contato elétrico entre componentes rotativos e estacionários de máquinas CC e algumas CA (por exemplo, motores, geradores, alternadores, e semelhantes). As escovas transportam corrente nas partes rotativas, e auxiliam no processo de comutação. As escovas de carvão são retidas por retentores de escova e mantém contato com um conjunto de anel deslizante ou comutador.

[00123] Apesar das escovas de grafite variarem em qualidades de material (por exemplo, grafite carvão, escovas eletrográficas, e grafites de metal) e métodos de contato (por exemplo, vários tipos de suporte da escova e tipos de molas), a principal questão na operação é manter a quantidade adequada de pressão de contato. Se a pressão de contato for muito baixa, qualquer uma dentre as situações a seguir pode ocorrer: centelha na escova, aumento do desgaste do anel deslizante, aumento do desgaste da escova, ou um aumento de temperatura do anel deslizante. Se a pressão de contato for muito alta, qualquer uma dentre as situações a seguir pode ocorrer: aumento das perdas mecânicas, maior desgaste da escova e desgaste do anel deslizante, e aumento de temperatura. Assim, uma pressão de contato mantida de modo adequado é fundamental no projeto e operação da escova de carvão. Uma vez que o desgaste mecânico e elétrico são considerações importantes (com compensações conforme as mudanças de pressão de contato), uma condição ideal seria aquela em que há contato contínuo e preciso entre a escova e o anel de deslizamento ou comutador. Uma fonte específica sugere que, para equipamentos de grande porte CC, 4 PSI é uma pressão ideal - em que as perdas elétricas e mecânicas são otimizadas.

[00124] A fim de manter a pressão de contato correta, existem vários fatores que contribuem, incluindo: escova e tamanho do suporte da escova, posição do suporte da escova, ângulo do suporte da escova e o altura de colocação do suporte da escova. No entanto, o fator único mais importante na manutenção da pressão de contato tem sido a mola que é utilizada. Historicamente, vários tipos de dispositivos de molas têm sido utilizados, incluindo molas de tipo relógio, barras de torção, molas de alavanca, e molas helicoidais. Um problema comum é que, como a força da mola diminui com o tempo,

ocorre uma aceleração do desgaste elétrico. Uma solução para a manutenção da força adequada tem sido o uso de molas de força constante. No entanto, mesmo as molas de força constante apresentam limitações que incluem uma tolerância força da mola fabricada de aproximadamente  $\pm 10\%$ , requisitos específicos de ruptura, e desempenho prematuro caso elas conduzam corrente. Independentemente do método utilizado, as deficiências permanecem em relação à arte atual em relação à manutenção de uma pressão constante entre as escovas de carvão e um anel de deslizamento ou comutador.

[00125] Conforme ilustrado na figura 25A, uma escova de carvão de pressão constante 2500 compreendida por um elemento de meio poroso 2505 para fornecer a força balanceada, um suporte 2501, uma mola 2503, um fio condutor 2504, com o gás sendo fornecido através câmara 2506 e através de múltiplos canais de distribuição de ar compreendendo um labirinto para distribuir ar no meio poroso. Para conseguir uma força balanceada, a força da mola, que diminui ao longo do tempo, é balanceada pela pressão externa que é introduzida através da porosidade na própria escova de carvão através do orifício 2506. Para explicar isso, assumindo que a pressão de contato desejada seja de 4 PSI, uma mola 2503 pode ser concebida para transmitir uma pressão superior a esta (por exemplo, 10 psi). Inicialmente, quando a mola 2503 é nova, é assumido que a pressão da mola 2503 seria um total de 10 psi. Uma vez que apenas 4 PSI é a pressão de contato desejada, ajustar o ar pressurizado para 6 PSI pode ser introduzido na escova de carvão de modo que a pressão resultante (diferencial) na face restrição do meio poroso 2507 que os entra em contato com o comutador ou anel de deslizamento 2502 seja de 4 PSI de pressão de contato. À medida que a pressão da mola diminui com o tempo, o ar fornecido externamente será ajustado (diminuído) de tal modo que a pressão de contato resultante (a pressão diferencial entre a força da mola e o ar pressurizado externamente) permanece constante.

[00126] Em uma forma de realização alternativa, as uniões rotativas, normalmente conhecidas na arte como um mecanismo que permite a transferência de fluido a partir de um elemento estacionário para um elemento rotativo, enquanto mantém o selo no ponto de conexão. Com referência à figura 25B, um invólucro 2508, permite a entrada de fluido através dos orifícios 2509, que fluem em canais no interior do alojamento. O fluido é

transferido através dos orifícios 2514 em um elemento rotativo ou eixo 2513 e, o fluido sai do eixo em uma saída 2515. A fim de preservar o selo do mecanismo, tradicionalmente, os dispositivos de selo são contidos no alojamento. Na forma de realização preferida, é utilizado um selo de mancal de meio poroso, compreendendo o meio poroso 2511 em um suporte 2510, com o gás fornecido através da câmara 2512 e através de múltiplos canais de distribuição de ar, compreendendo um labirinto para distribuir o ar no meio poroso. O selo do mancal a gás pressurizado externamente é instalado no alojamento 2508 e atua tanto como um mancal para o eixo quanto como uma vedação, impedindo que o fluido escape do mecanismo rotativo global. Apenas um selo de mancal foi mostrado na figura 25B, apesar de que, normalmente, poderia ser usado mais do que um.

[00127] Em uma variação da forma de realização de união rotativa mencionada acima, a figura 25C mostra um meio de empregar a metodologia de força balanceada na face de uma união rotativa. Um elemento estacionário 2516 permite o fluxo 2517 através do elemento estacionário 2516 e através de elemento rotativo 2519 que gira na direção indicada por 2526, sem vazamento na face 2522. O elemento estacionário mantém os elementos de meio poroso 2523 e 2518 na forma de dois anéis concêntricos, com um abertura anular 2526 entre os ditos anéis de meio poroso. O gás 2525 é introduzido no meio poroso através da câmara 2524 e através de múltiplos canais de distribuição de ar para fornecer pressão de gás para ambos os anéis de meio poroso. Esta pressão de gás neutraliza uma força que atua sobre o lado superior da união rotativa 2520, que pode ocorrer a partir de uma mola, flexão, ou outros meios. A pressão do gás fornecido e a força que atua sobre o lado superior da união rotativa são balanceadas de modo a que a força na abertura na face 2522 é igual a zero, e de tal modo que não haja contato, isto previne vazamentos quando o fluxo 2517 passa a partir do elemento estacionário 2516 através do elemento rotativo 2519 e para dentro do lado de operação 2521 de uma máquina, como em uma rotação de ferramenta da máquina, ou outro elemento similar.

[00128] Conforme ilustrado na figura 26, o conceito de força balanceada é mostrado com sulcos bombeados diferencialmente. Nesta forma de realização, um eixo 2601 rotaciona com uma corrediça 2602 conectada a ele. Um invólucro do selo 2604 é conectado ao estator 2608, e uma face do meio poroso 2603 apresenta um movimento

relativo com a correção 2602. Por exemplo, uma pressão do sistema 2609 pode ser a 3000 psig. Cada um dos três canais de distribuição de pressão do gás para o meio poroso 2603 é alimentado com uma pressão diferente e ajustável. Estas pressões ajustáveis são tal que a pressão resultante na posição 2610 será de zero psig. Isto pode ser conseguido por meio de uma pressão na primeira localização do canal de, digamos, 6 bar acima da pressão do sistema, ou, aproximadamente, 3090 psig, a qual será reduzida no momento em que sai do meio poroso, mas ainda mais elevada do que a pressão 2609 do sistema. O próximo canal 2606 pode estar a 2000 psig, e no último canal 2605 a pressão pode estar a 1000 psig.

[00129] Em nenhuma das figuras é mostrada a noção de que os mancais a gás pressurizado externamente aqui descritos podem ser utilizados para o balanceamento em alta velocidade do equipamento rotativo. Normalmente, o balanceamento do rotor em alta velocidade e os testes são realizados utilizando mancais hidrodinâmicos lubrificados a óleo. O uso dos mancais a gás pressurizado externamente elimina a dificuldade associada com o uso do óleo, que resulta em vazamento de óleo nos conjuntos rotativos, e também a nebulização em várias partes dos *bunkers* de teste de alta velocidade. Além disso, devido aos efeitos sem contato e sem atrito dos mancais a gás pressurizado externamente (mesmo em zero rpm) é permitida uma melhor análise da dinâmica do rotor. Além disso, a instalação é simplificada uma vez que é eliminada a lubrificação com óleo dos mancais, juntamente com os sistemas de pressão associados.

[00130] Apesar das formas de realização preferidas terem sido definidas em detalhe com referência aos desenhos, os especialistas na arte que avaliaram a presente descrição apreciarão facilmente que outras formas de realização podem ser realizadas dentro do escopo da invenção, a qual deve, portanto, ser entendidas como limitadas apenas pelas reivindicações anexas.

## Reivindicações

1. Equipamento rotativo, **caracterizado** pelo fato de compreender:

- um alojamento;
- ao menos um impulsor contido no alojamento;
- uma primeira pluralidade de mancais a gás pressurizados externamente configurados para suportar ao menos um impulsor radialmente; e
- uma segunda pluralidade de mancais a gás pressurizados externamente configurados para suportar o impulsor axialmente.

2. Equipamento rotativo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que ao menos um impulsor é disposto ao longo de um eixo.

3. Equipamento rotativo de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o eixo é fixo; e a primeira pluralidade de mancais a gás pressurizados externamente é disposta entre o eixo e cada um dentre ao menos um dos impulsores.

4. Equipamento rotativo de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o ao menos um impulsor corresponde a ao menos dois impulsores, e a primeira pluralidade de mancais a gás pressurizados externamente é disposta ao longo do eixo entre cada dentre ao menos um dos impulsores.

5. Equipamento rotativo de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que a primeira pluralidade de mancais a gás pressurizados externamente é disposta ao longo do eixo em cada um dos lados de ao menos um impulsor.

6. Equipamento rotativo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de qualquer uma dentre a primeira pluralidade de mancais pressurizados externamente ou a segunda pluralidade de mancais pressurizados externamente são configuradas para servir como um selo.

7. Equipamento rotativo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o ao menos um impulsor corresponde a ao menos dois impulsores, e cada um dentre os impulsores é acionado a velocidades diferentes.

8. Equipamento rotativo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que qualquer um dentre a primeira pluralidade de mancais pressurizados externamente ou a segunda pluralidade de mancais pressurizados externamente também é um elemento



magnético em um motor ou gerador.

9. Equipamento rotativo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a segunda pluralidade de mancais a gás pressurizados externamente é disposta em lados opostos de cada um dentre ao menos um impulsor para fornecer o suporte axial.

10. Equipamento rotativo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que cada um dentre a primeira pluralidade mancais pressurizados externamente ou da segunda pluralidade de mancais pressurizados externamente inclui uma restrição porosa selecionada a partir do grupo de grafite, carbono, carboneto de silício, carboneto de tungstênio, óxido de alumínio, neodímio, ou outros materiais sinterizados e combinações dos mesmos.

11. Equipamento rotativo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que cada um dentre a primeira pluralidade mancais pressurizados externamente ou da segunda pluralidade de mancais pressurizados externamente inclui uma restrição porosa formada usando um processo de impressão 3D.

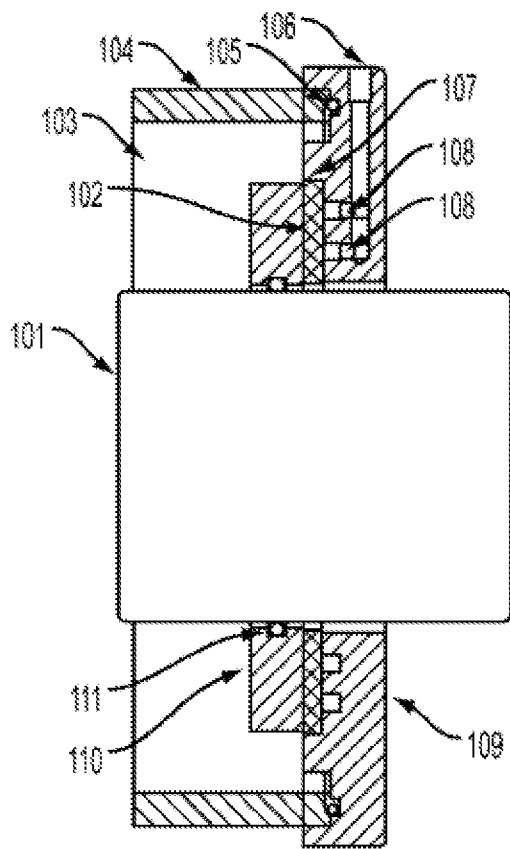


FIG. 1A

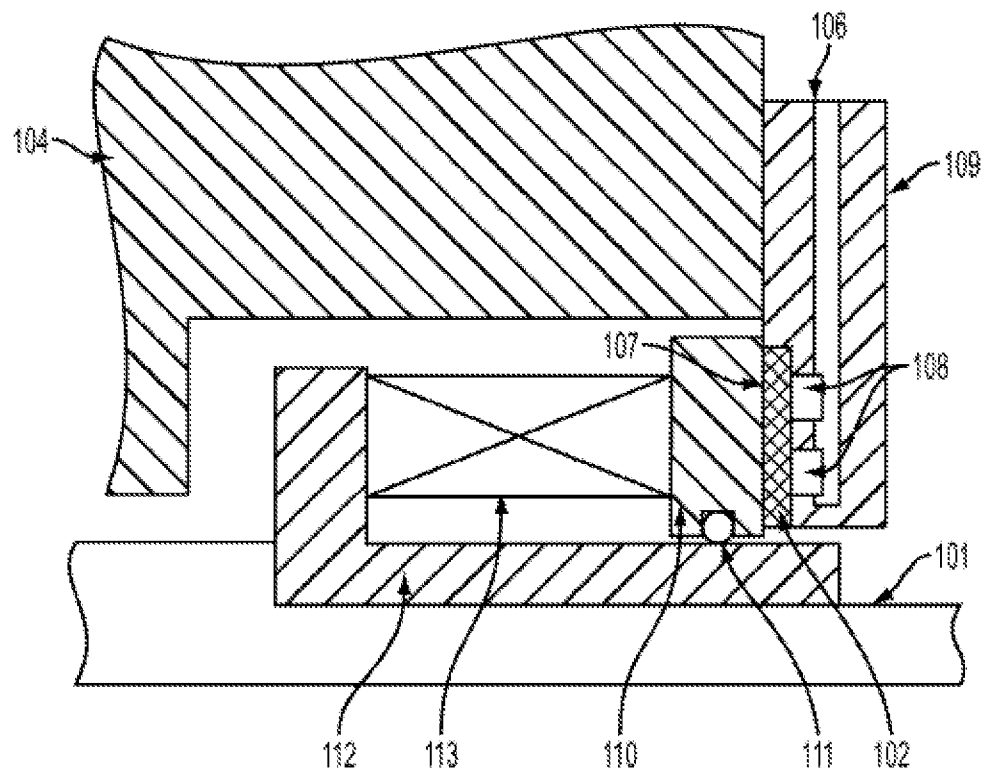


FIG. 1B

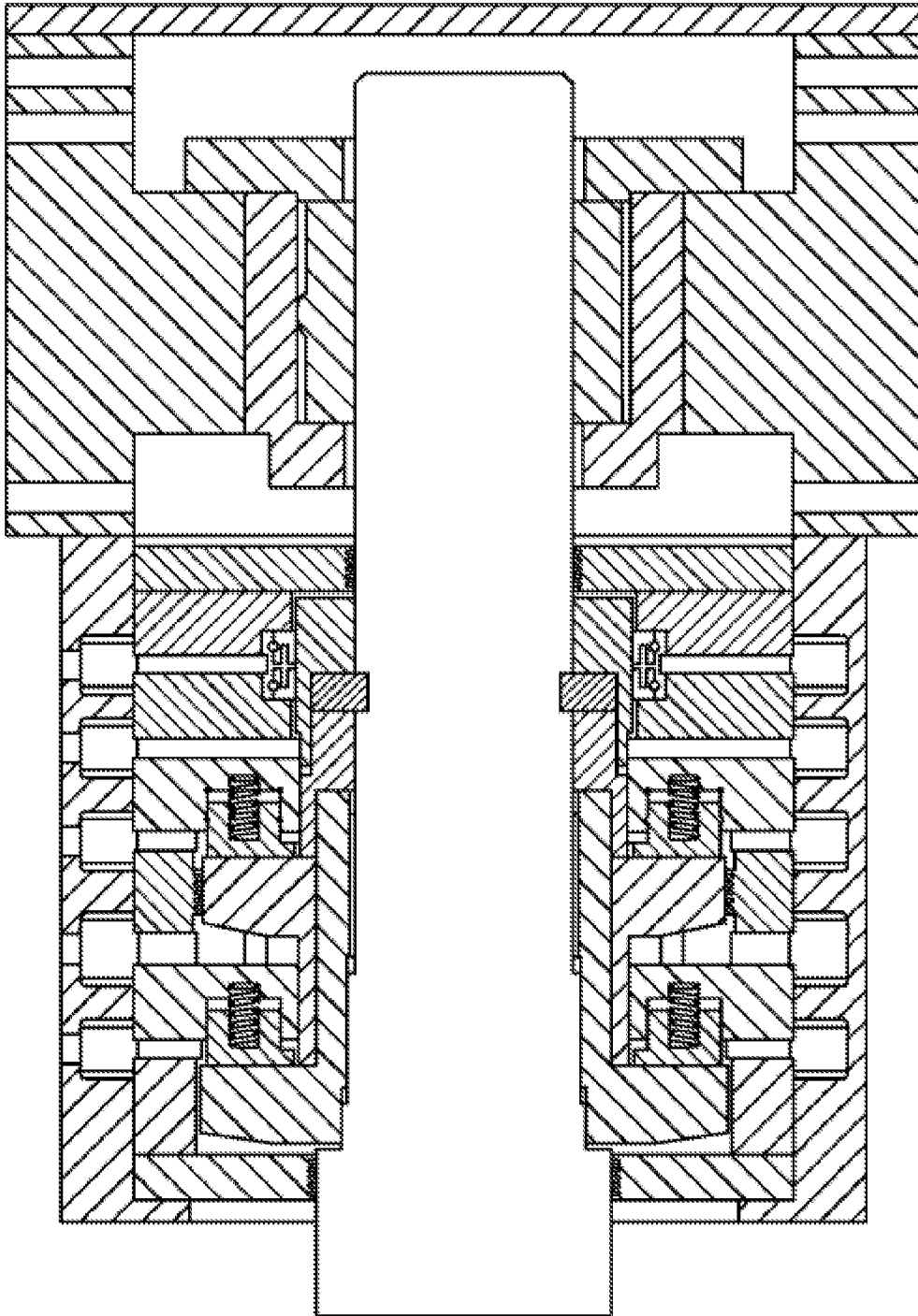
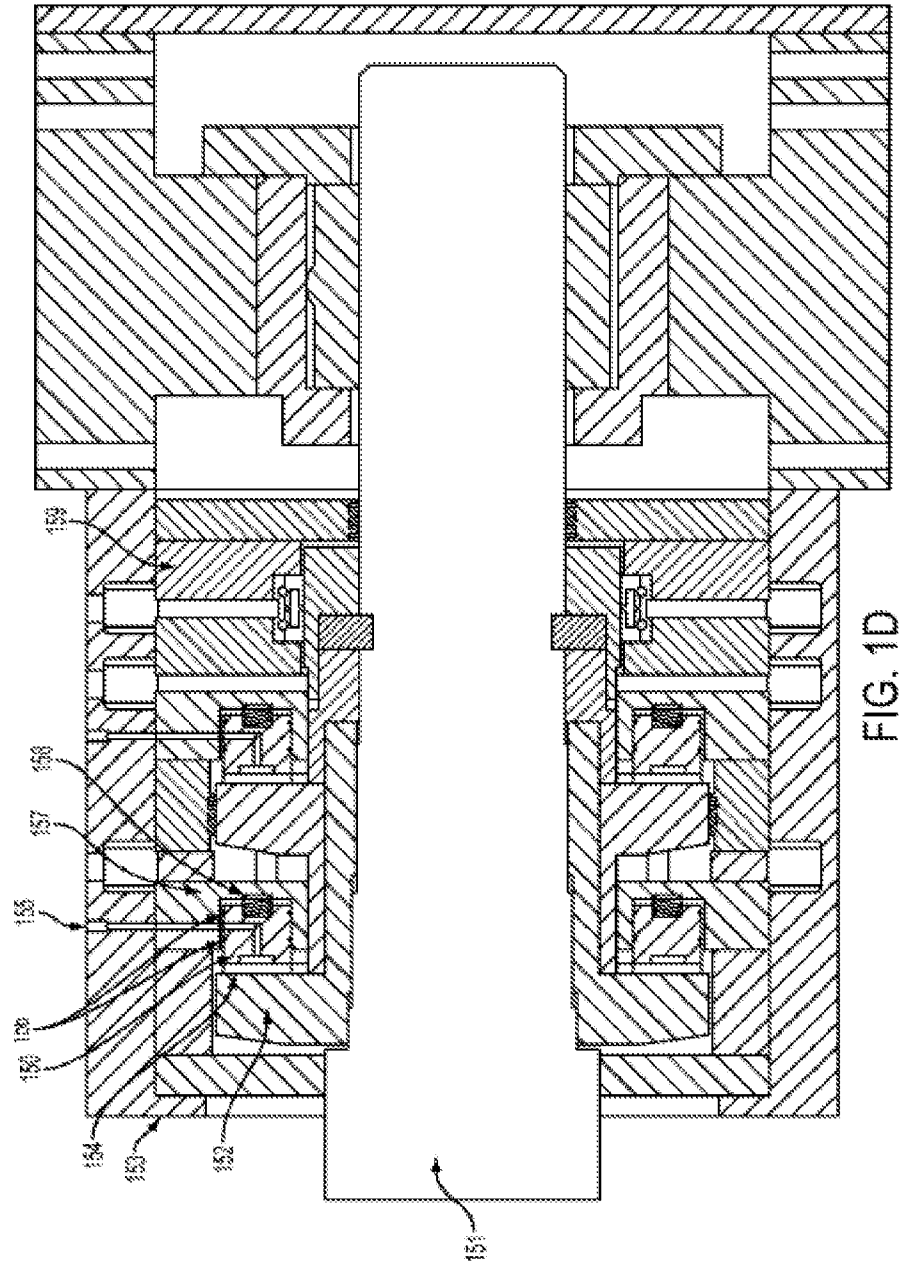


FIG. 1C



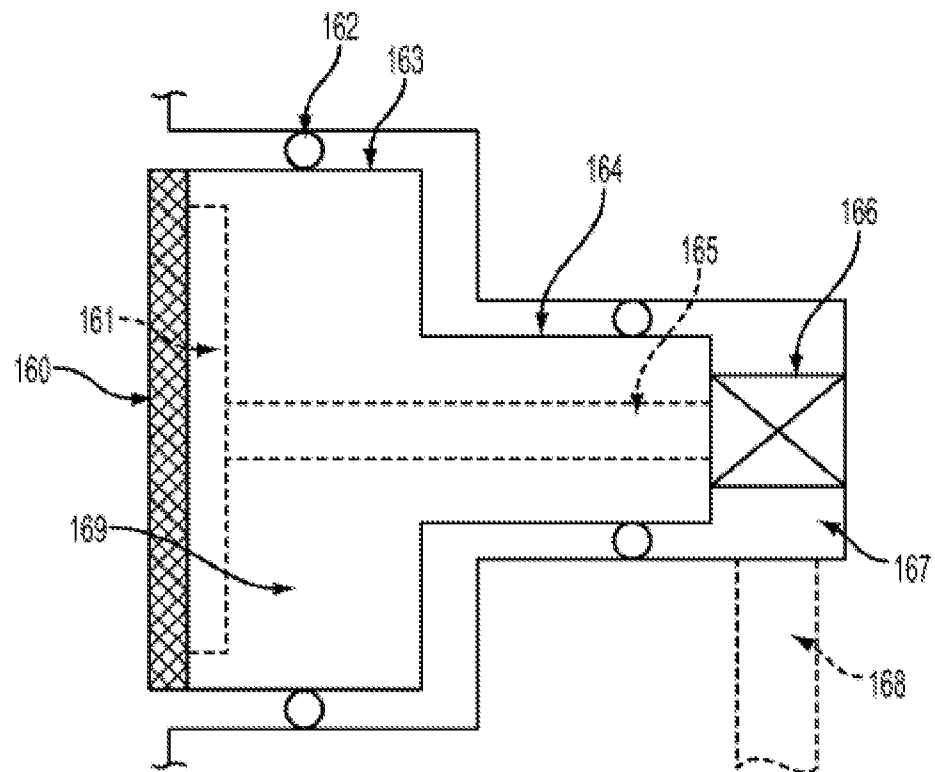


FIG. 1E

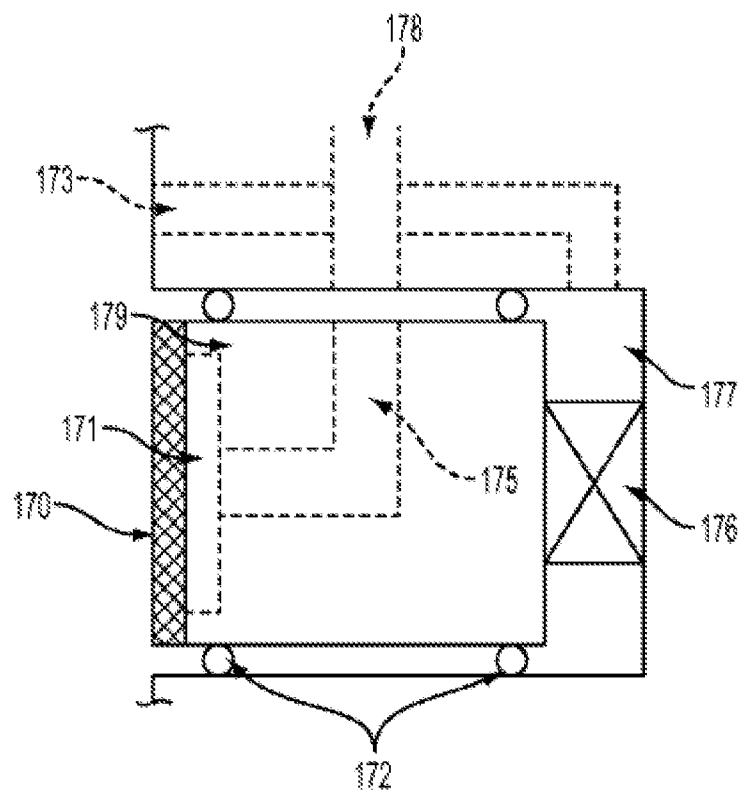


FIG. 1F

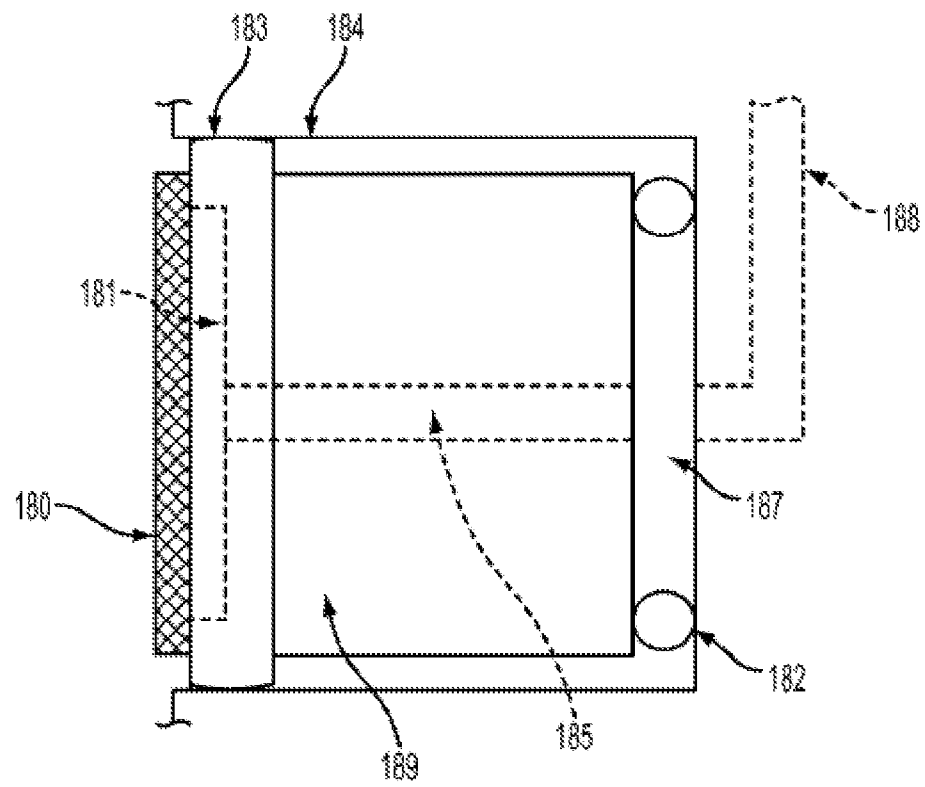


FIG. 1G

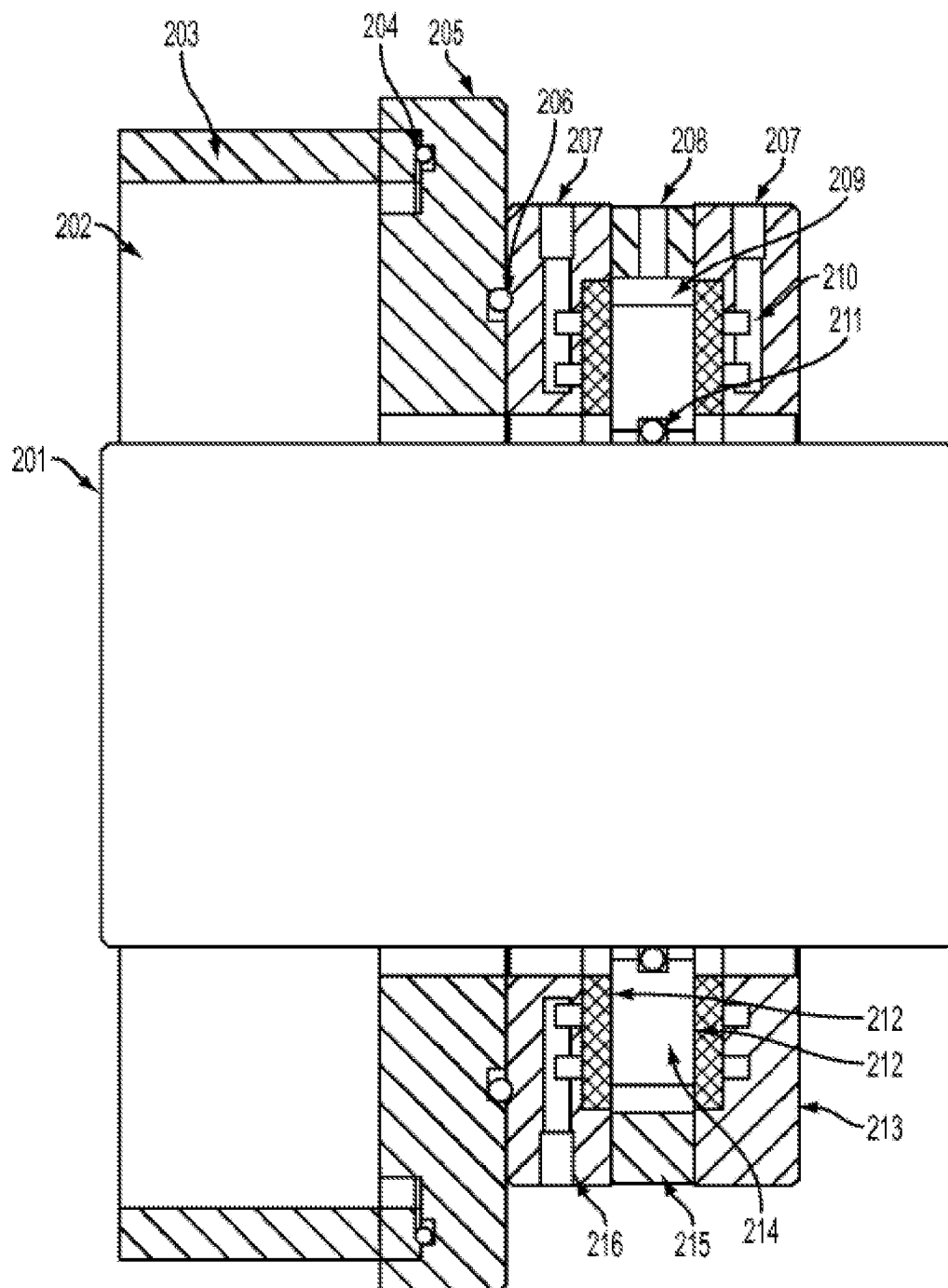
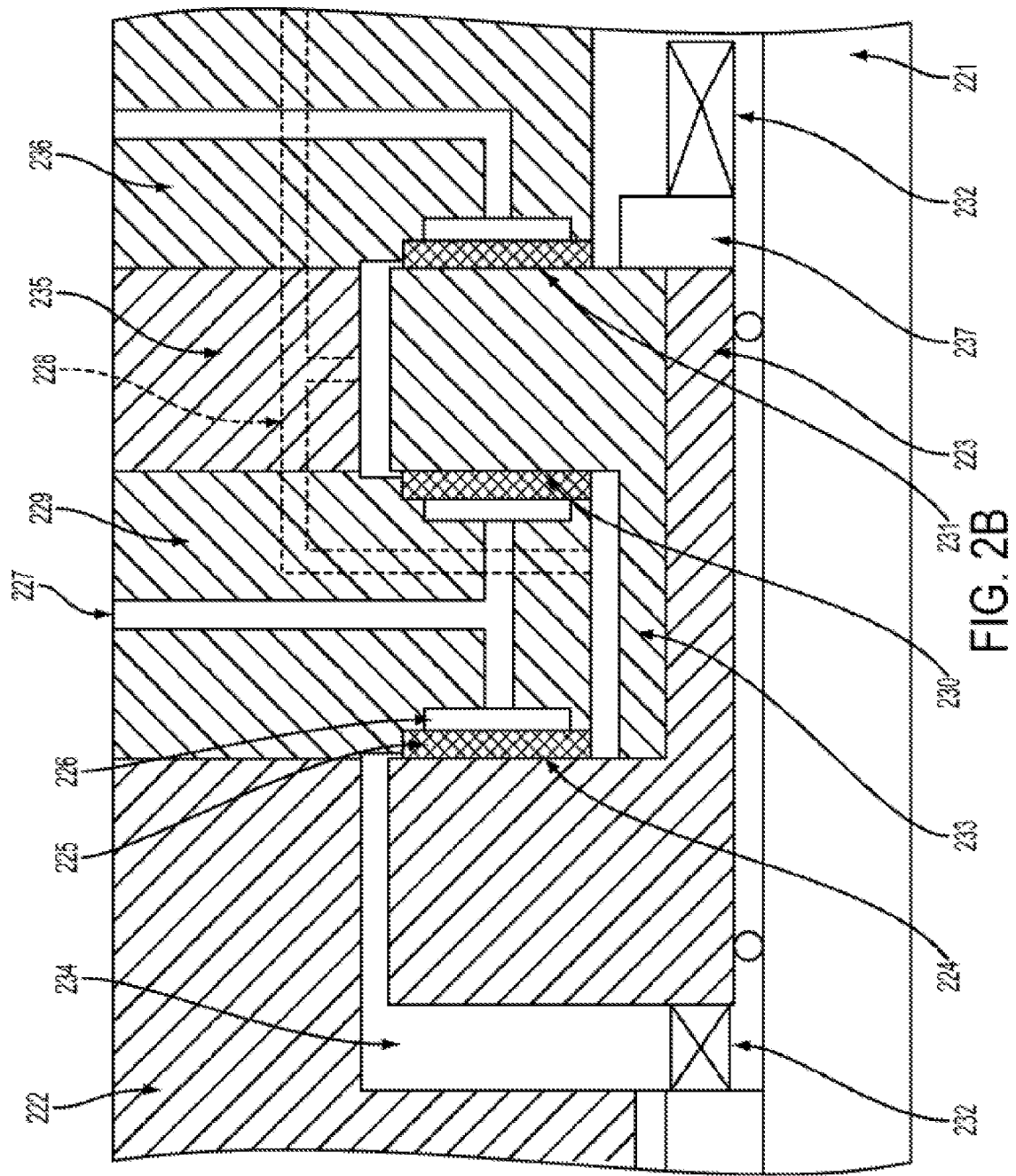


FIG. 2A





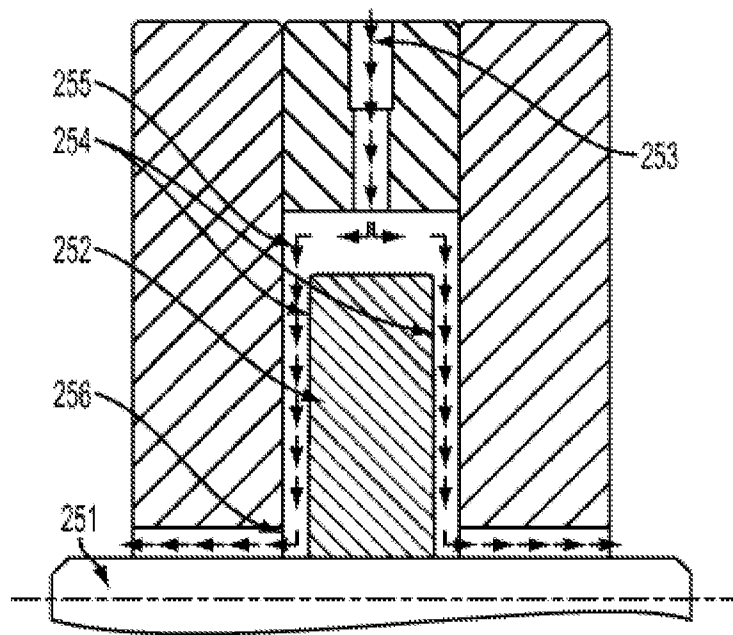


FIG. 2C-1

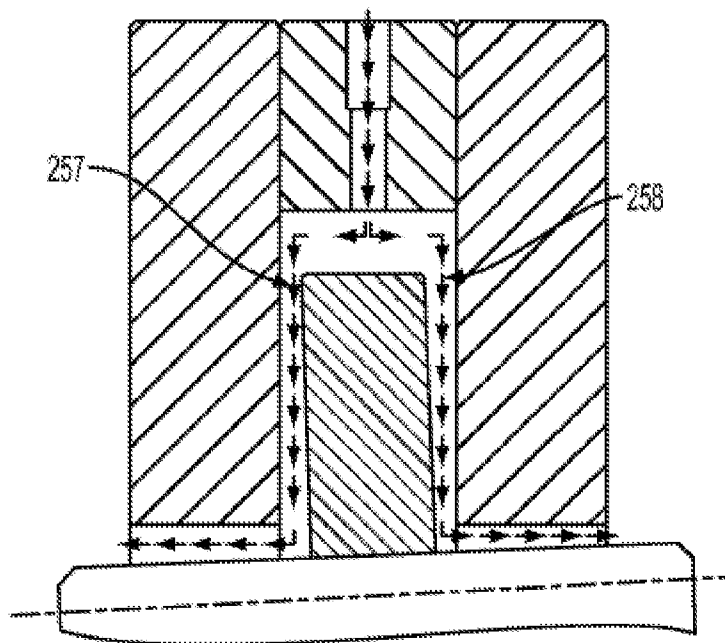


FIG. 2C-2

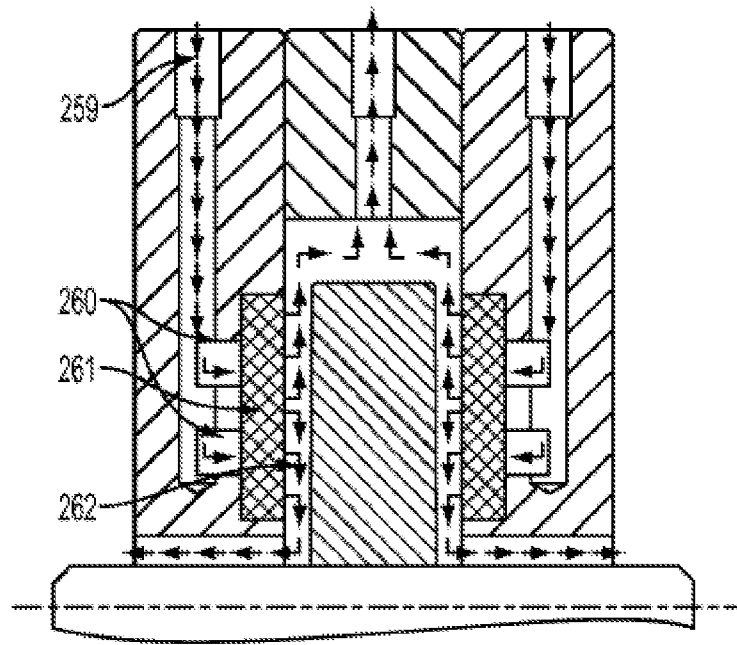


FIG. 2C-3

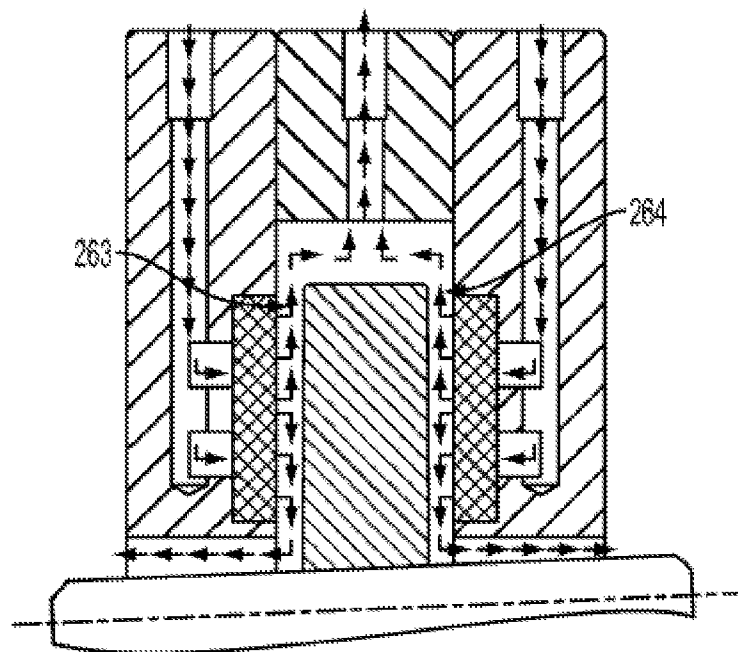


FIG. 2C-4

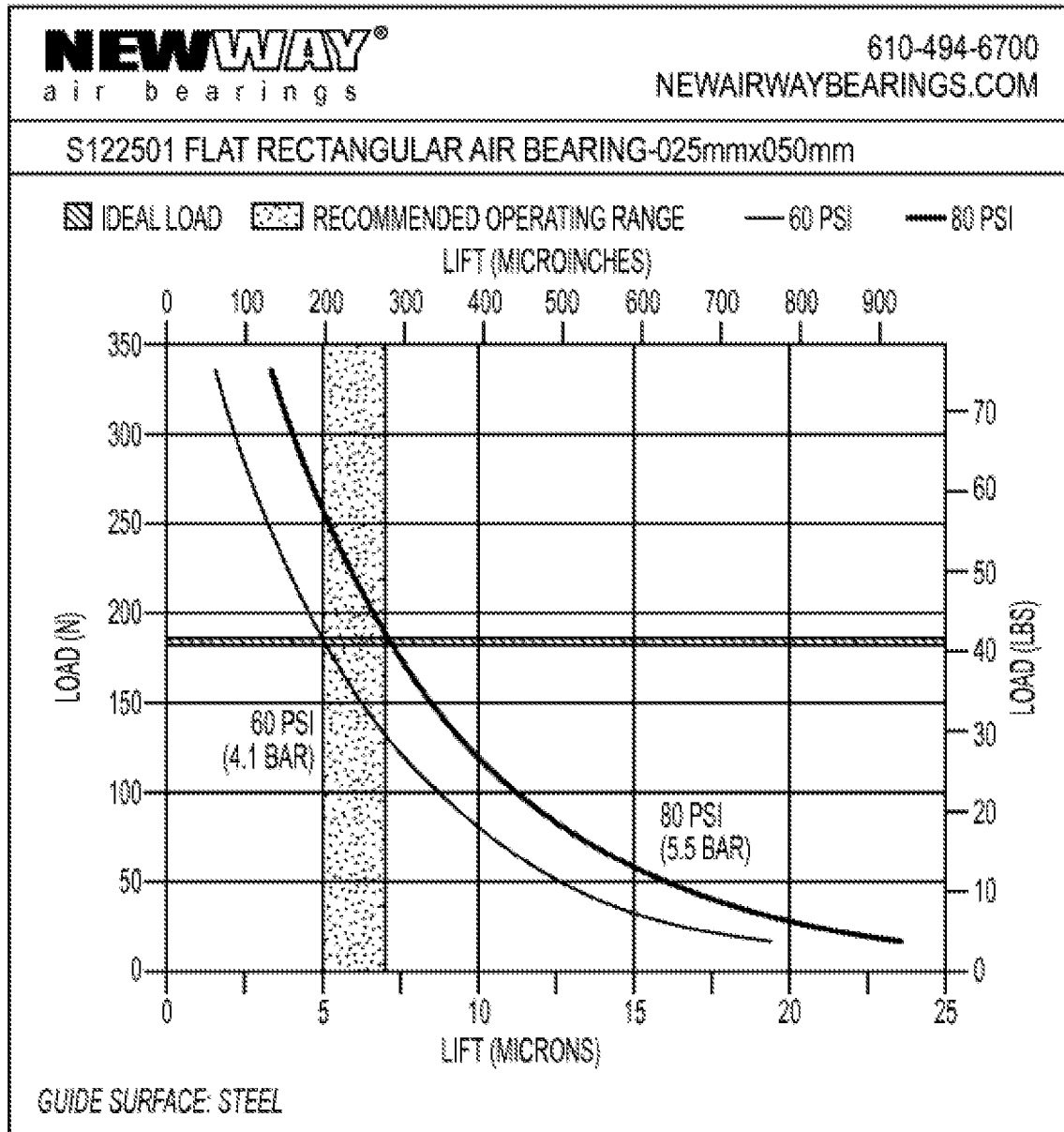


FIG. 2D

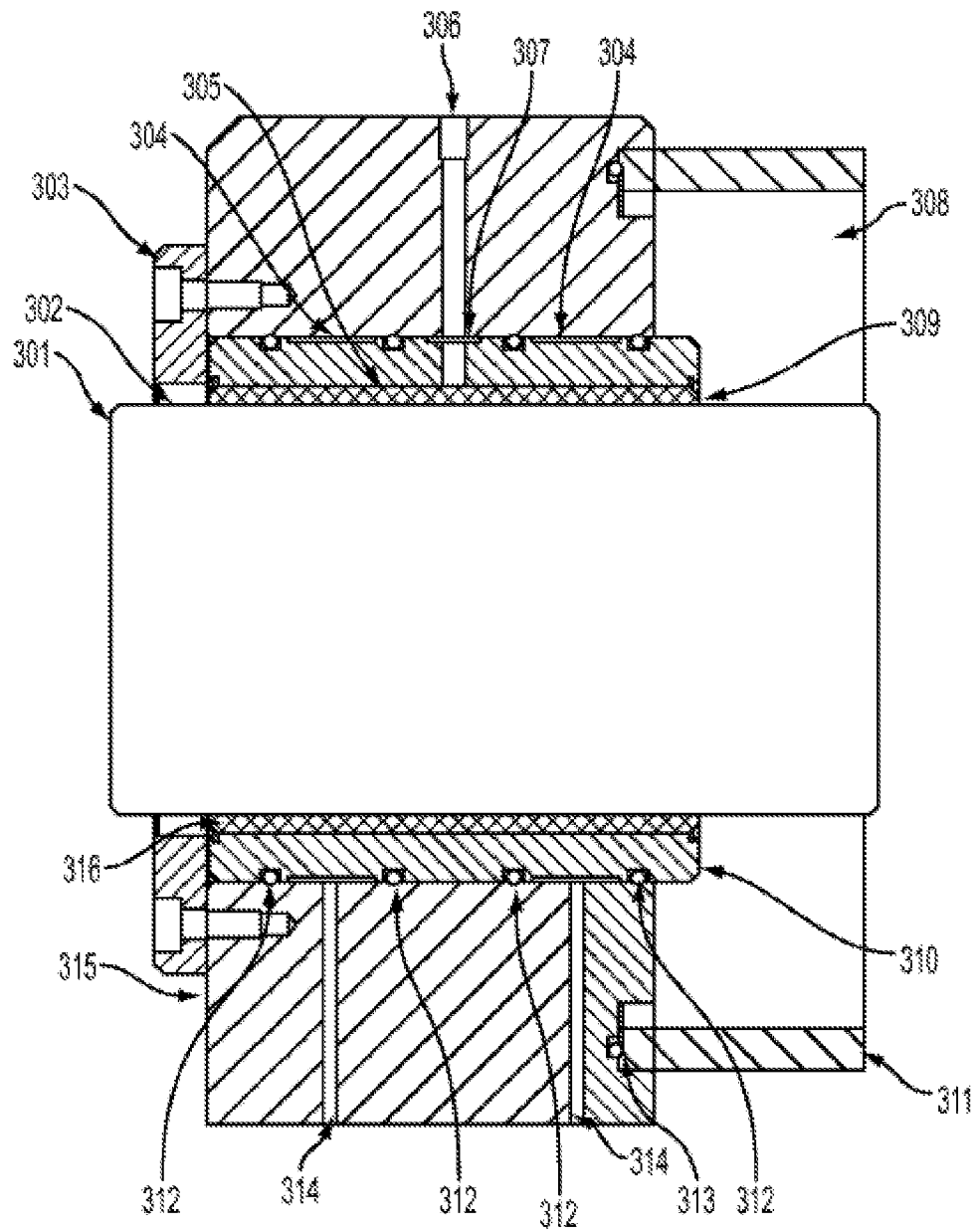


FIG. 3A

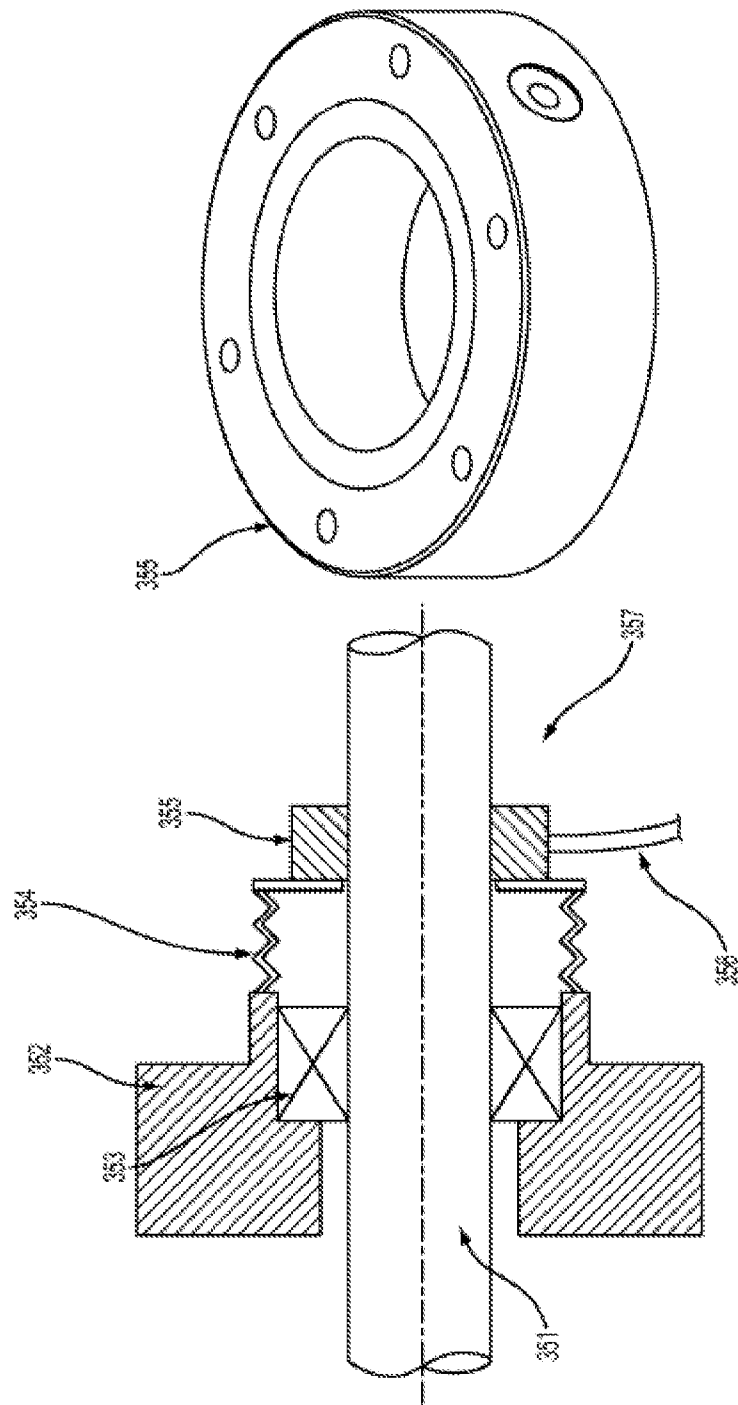


FIG. 3B

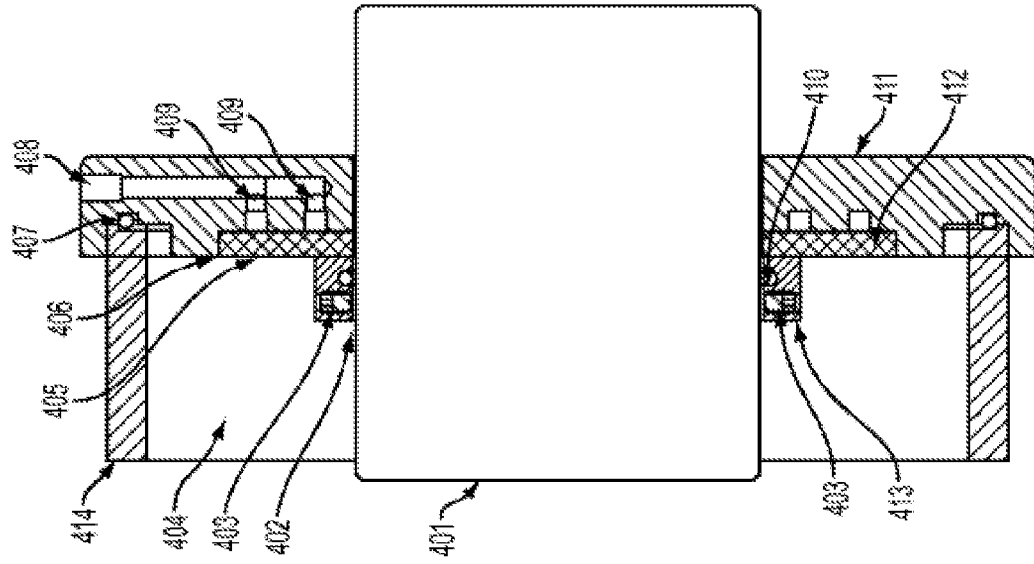


FIG. 4B

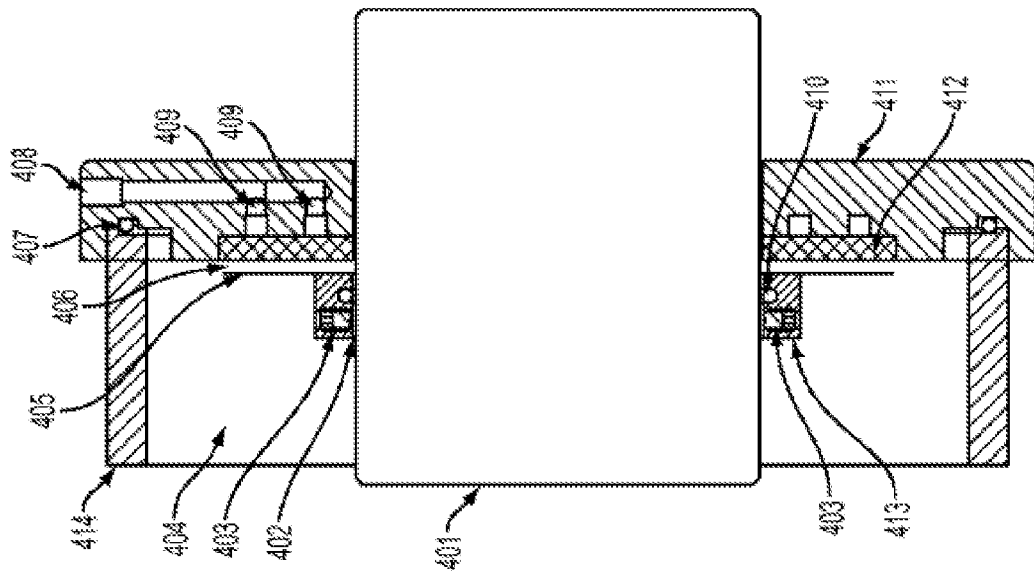


FIG. 4A

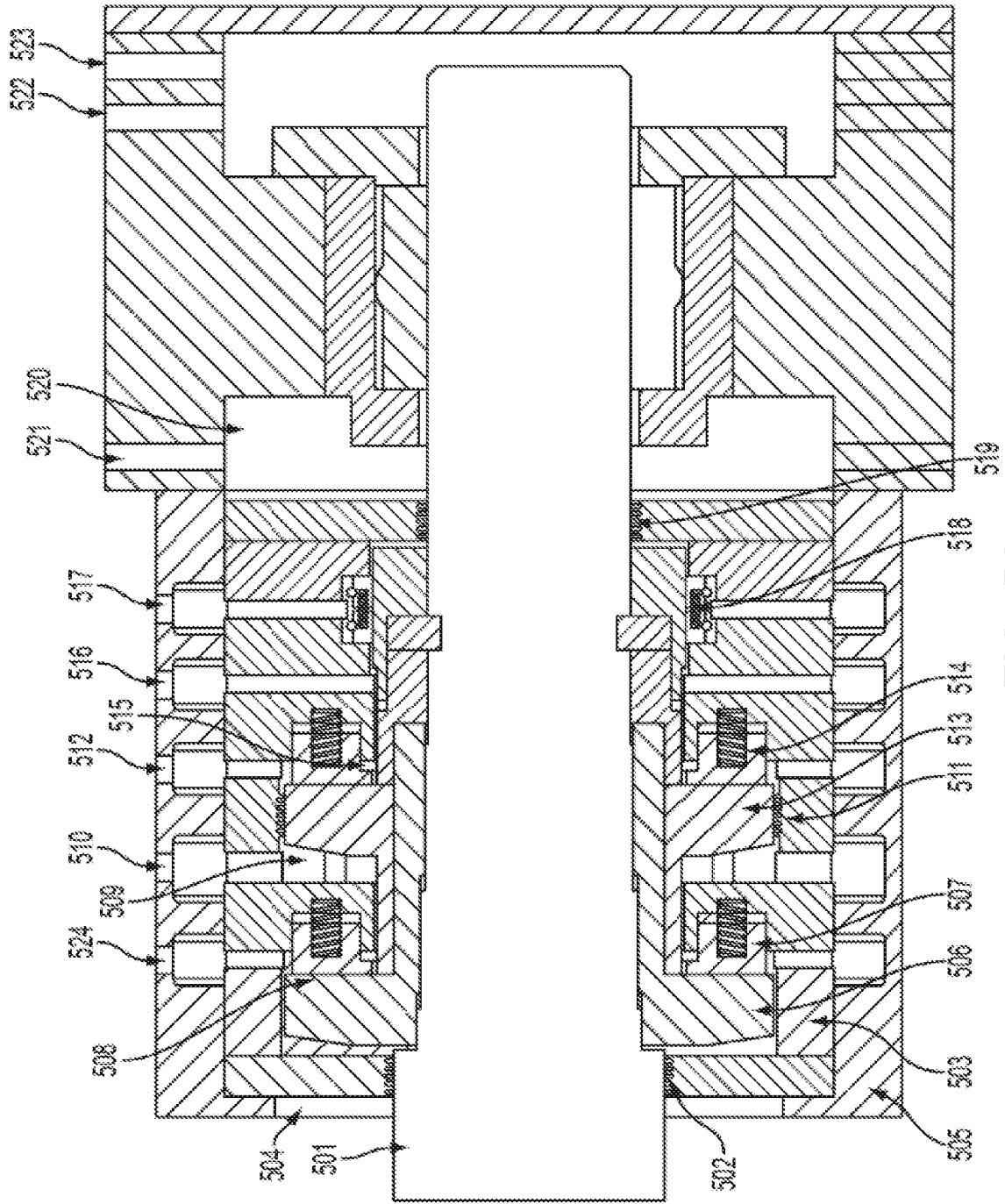


FIG. 5A  
ESTADO DA ARTE

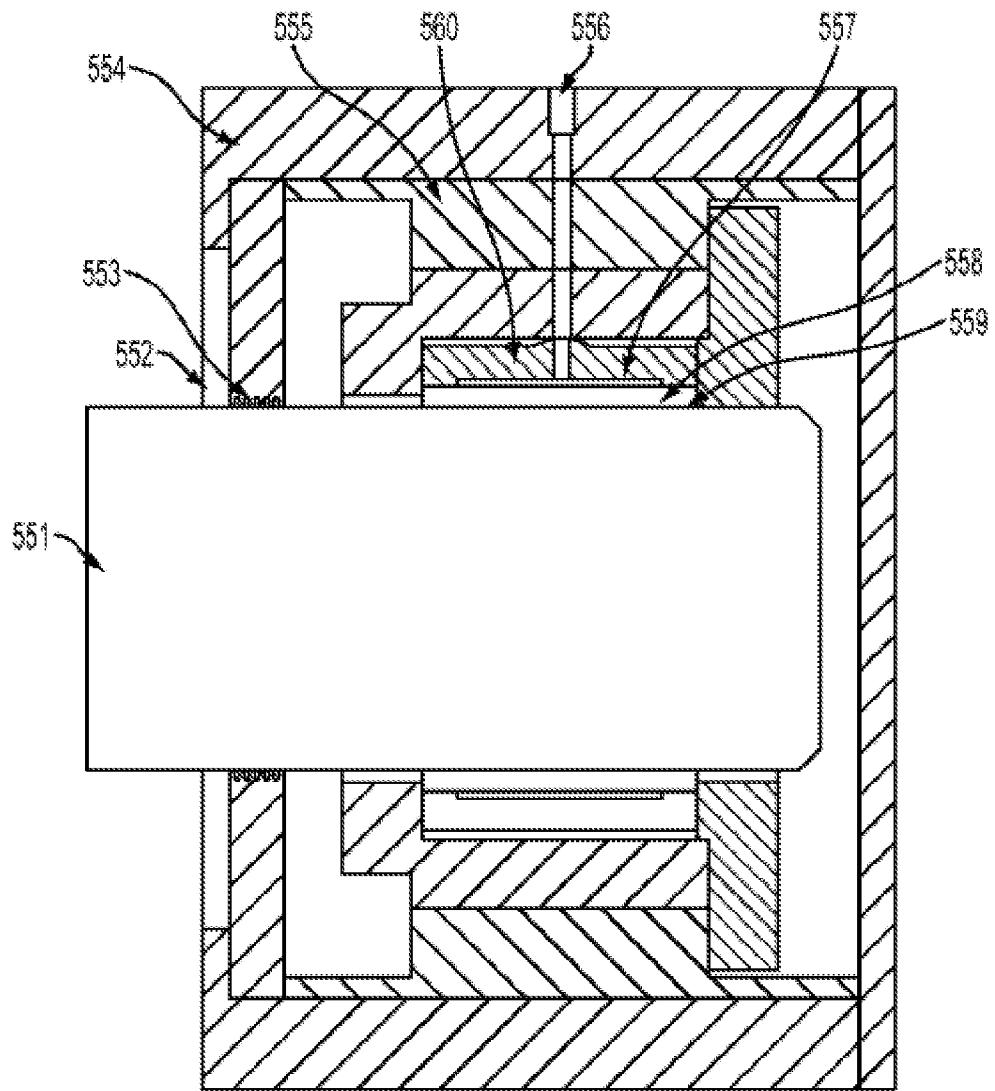


FIG. 5B



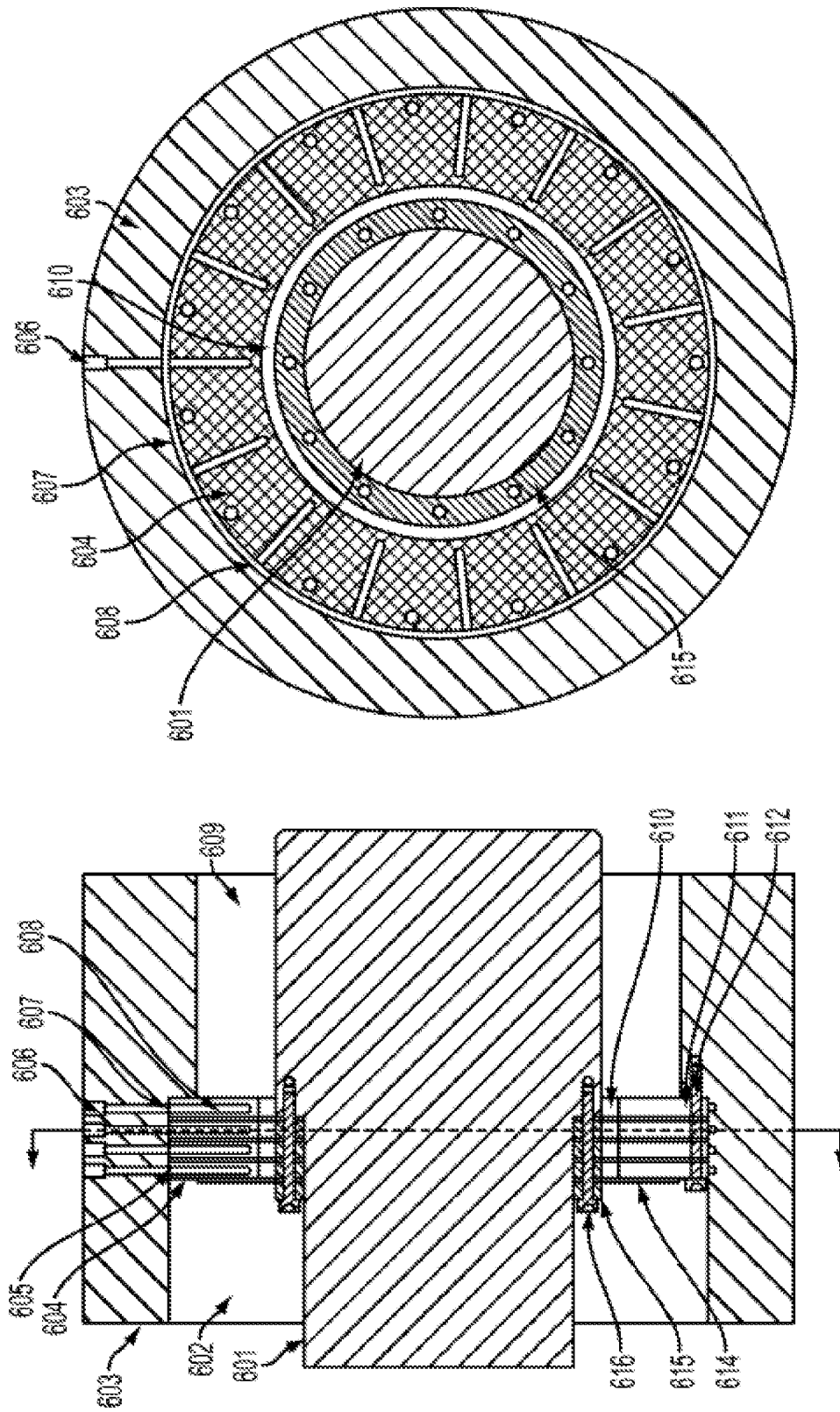


FIG. 6A

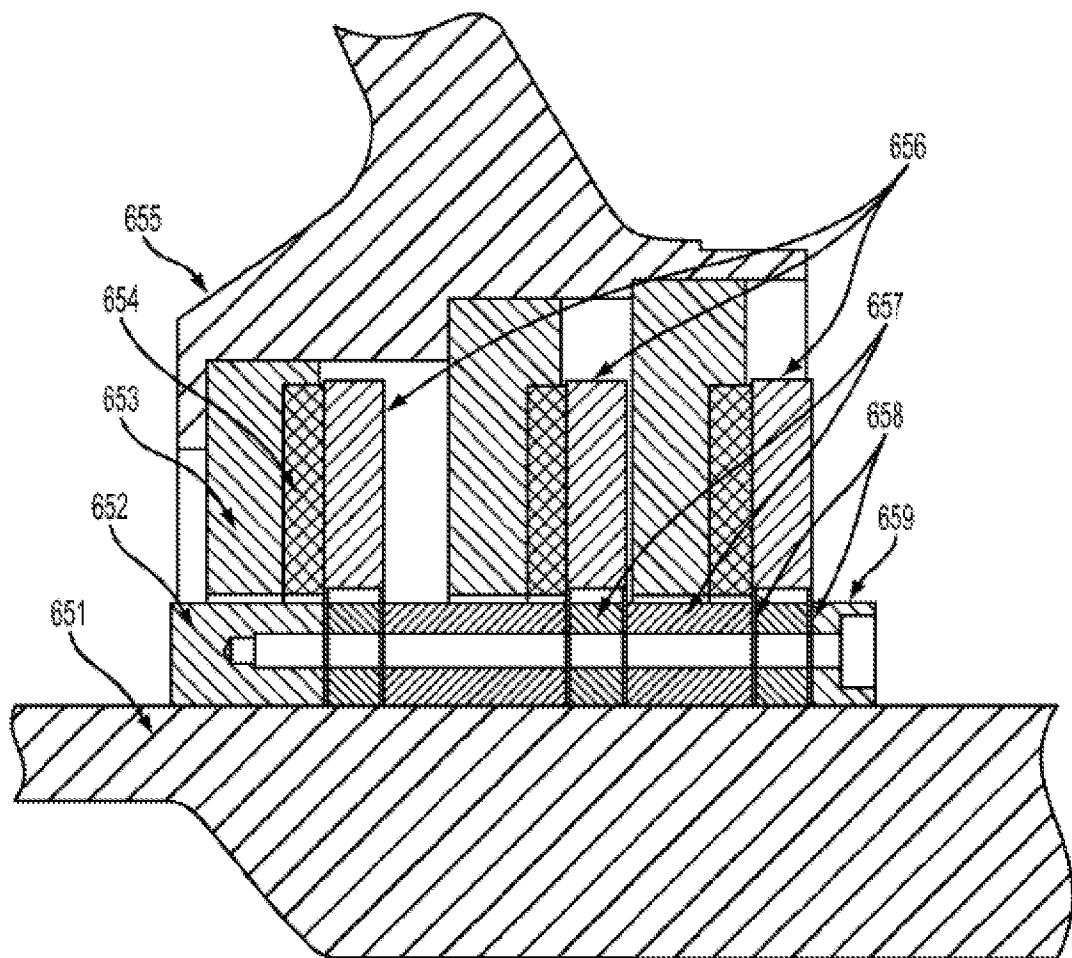


FIG. 6B

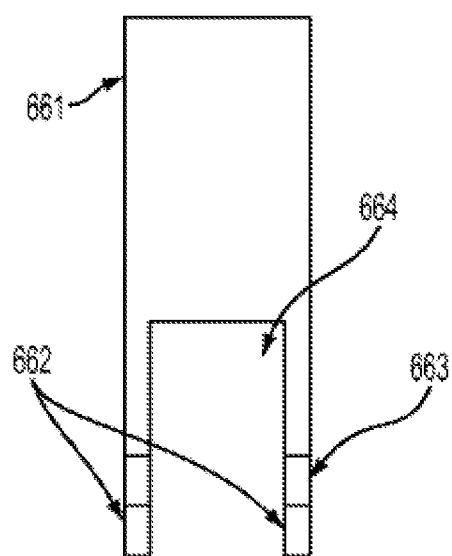


FIG. 6C

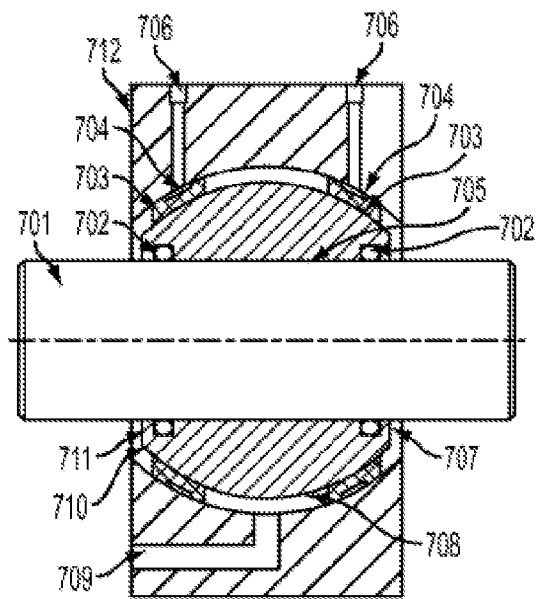


FIG. 7A

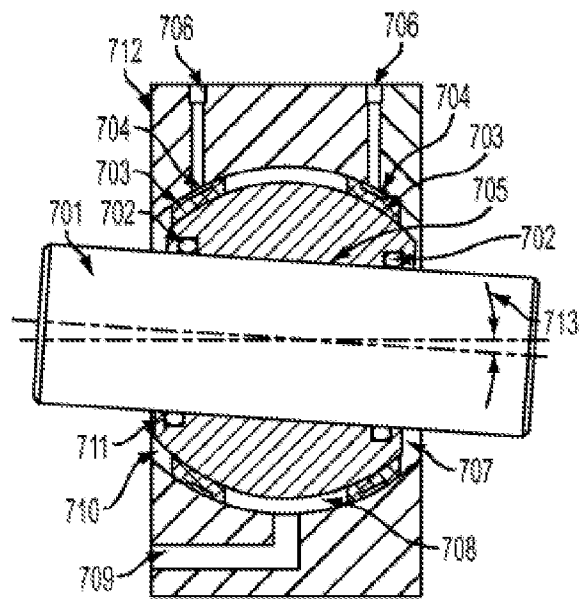


FIG. 7B

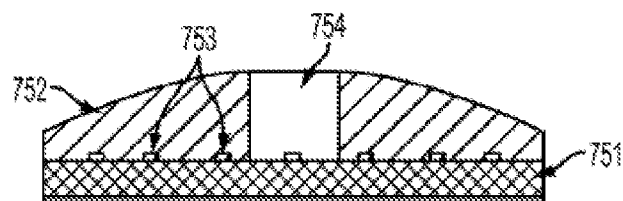
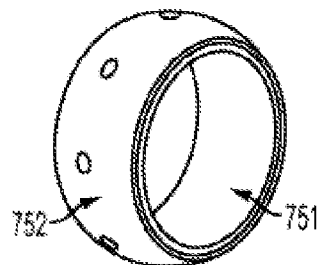


FIG. 7C

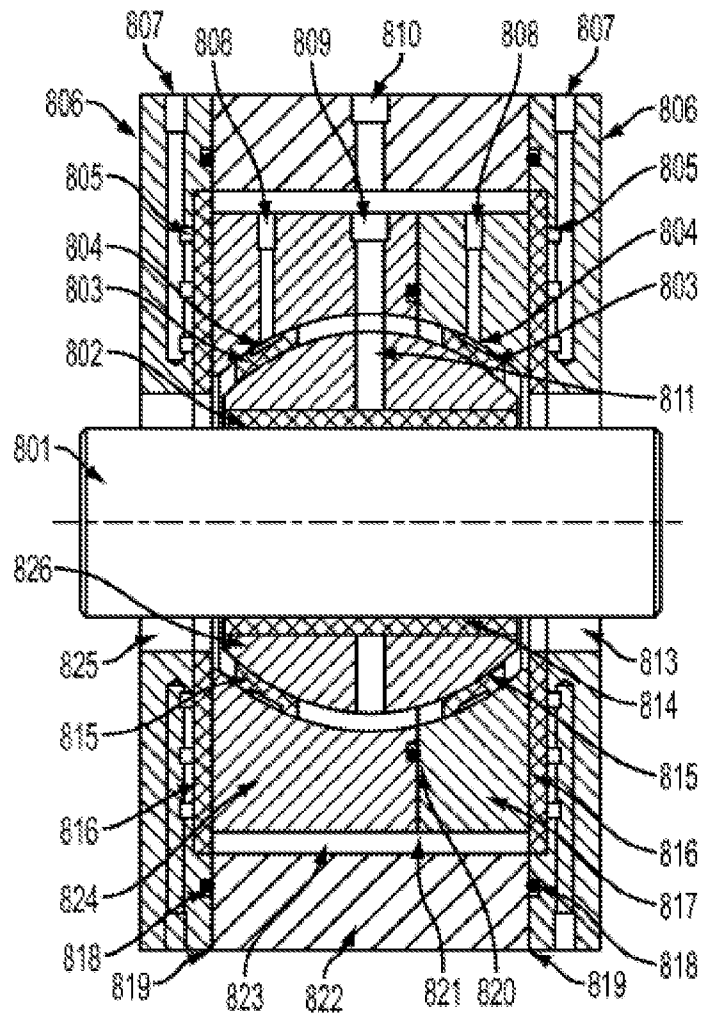


FIG. 8A

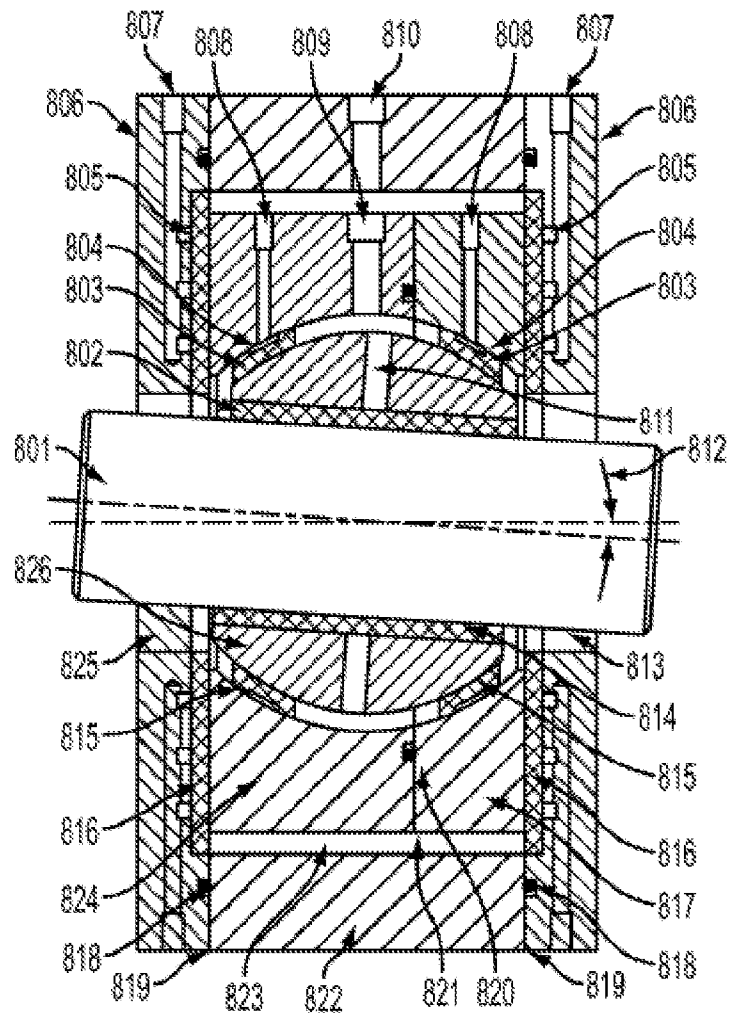


FIG. 8B

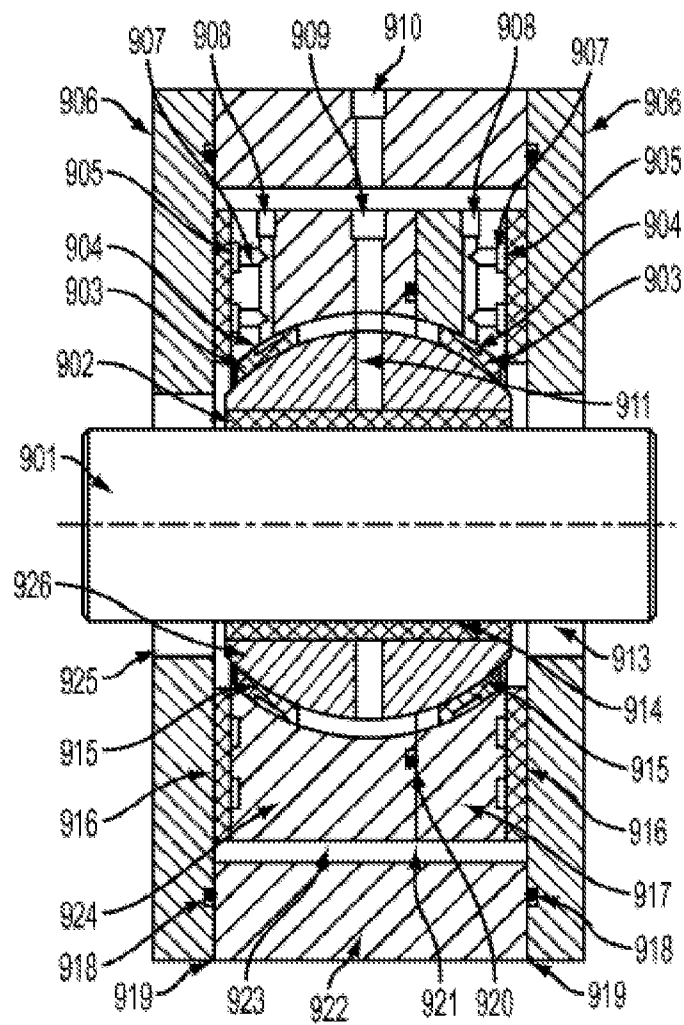


FIG. 9A

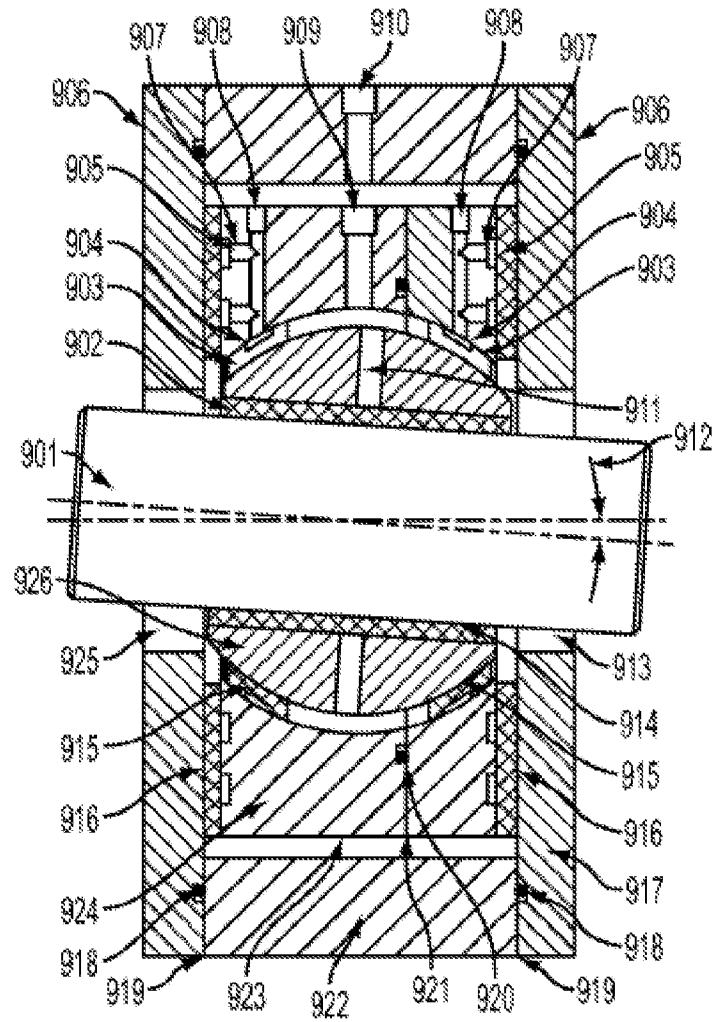


FIG. 9B

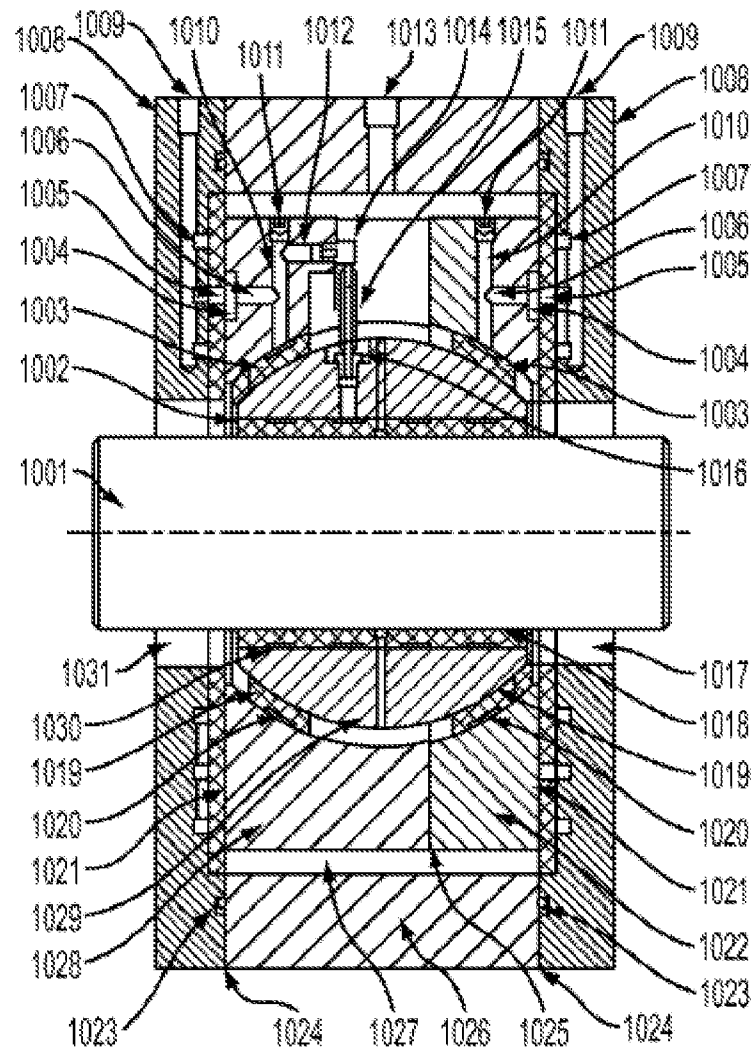


FIG. 10A



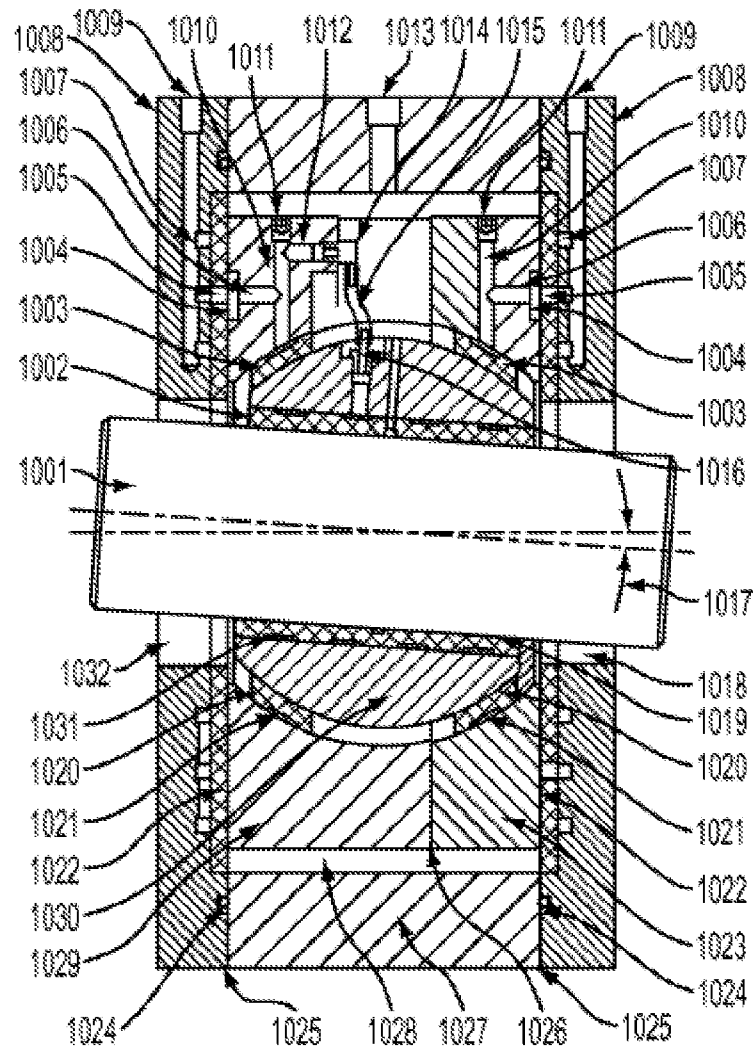


FIG. 10B

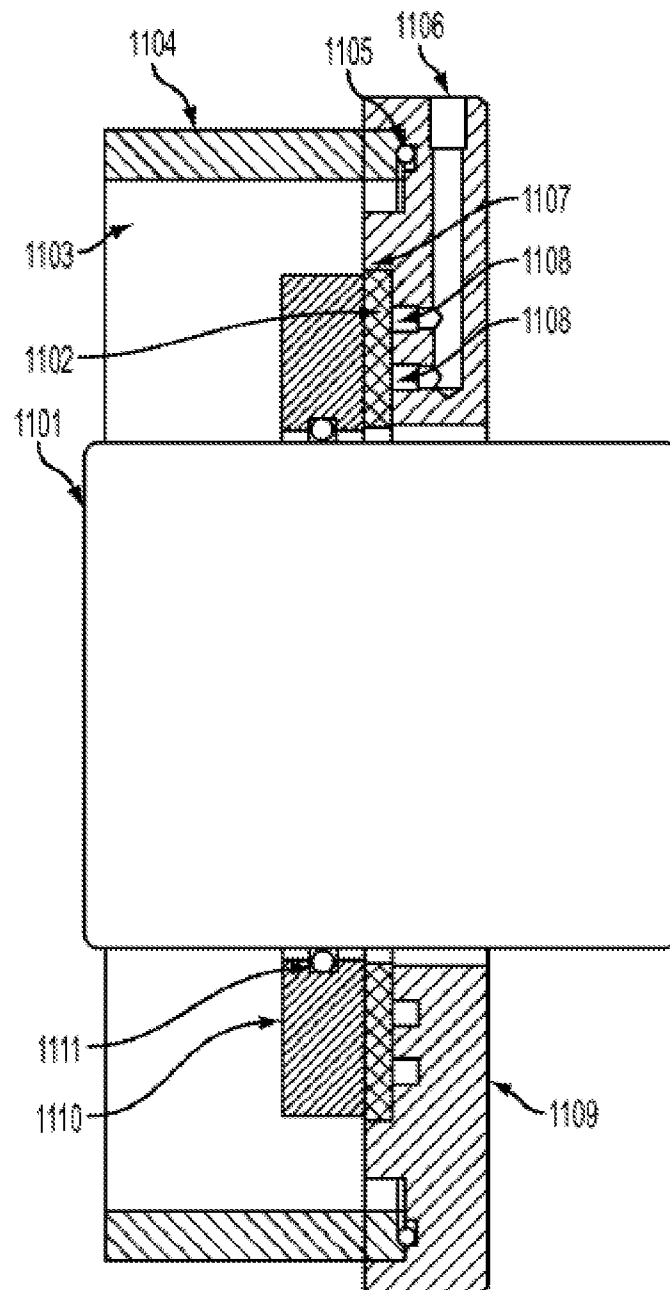


FIG. 11A

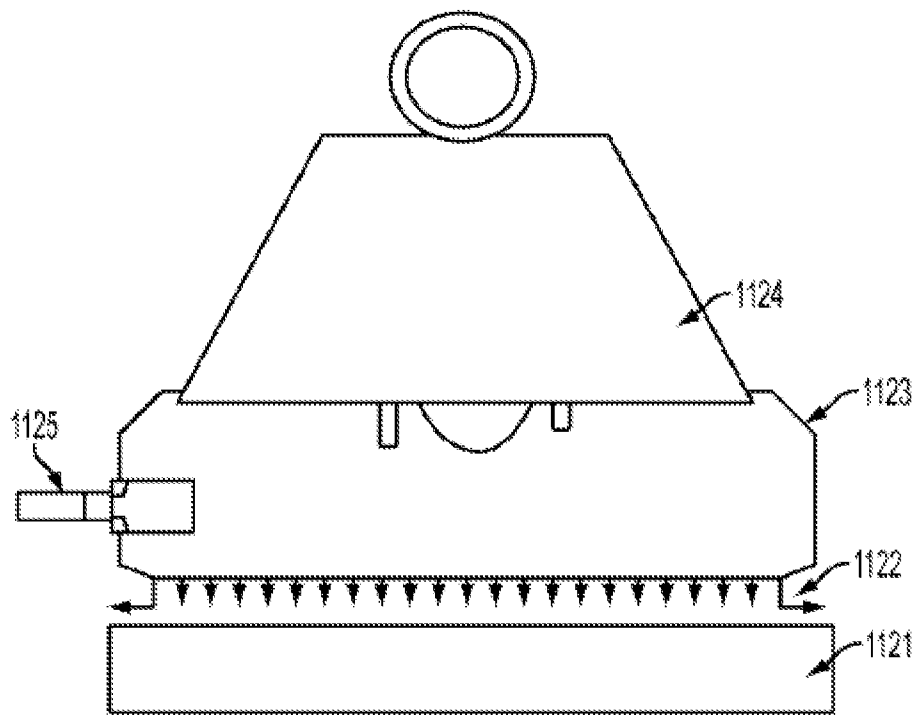


FIG. 11B

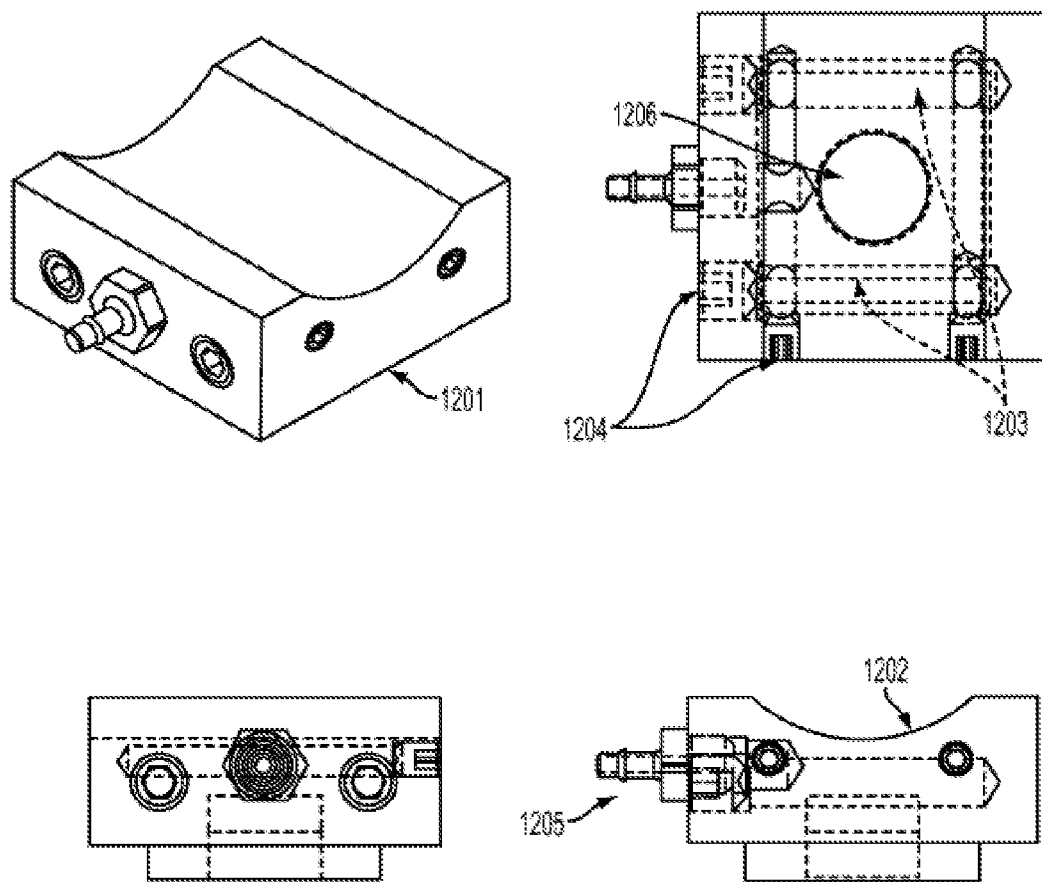


FIG. 12

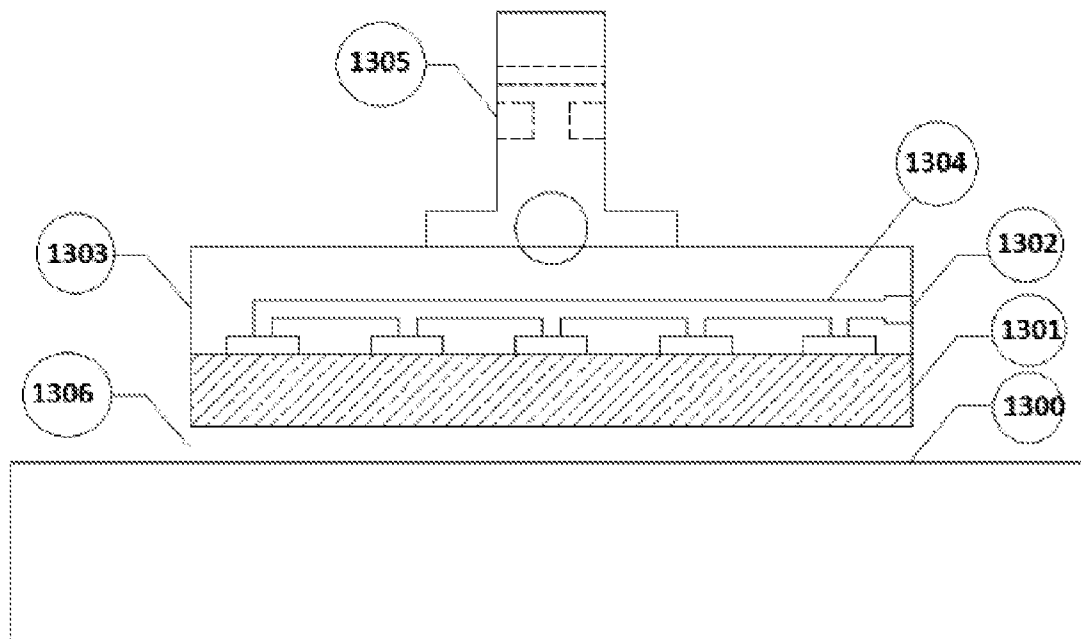


FIG. 13A

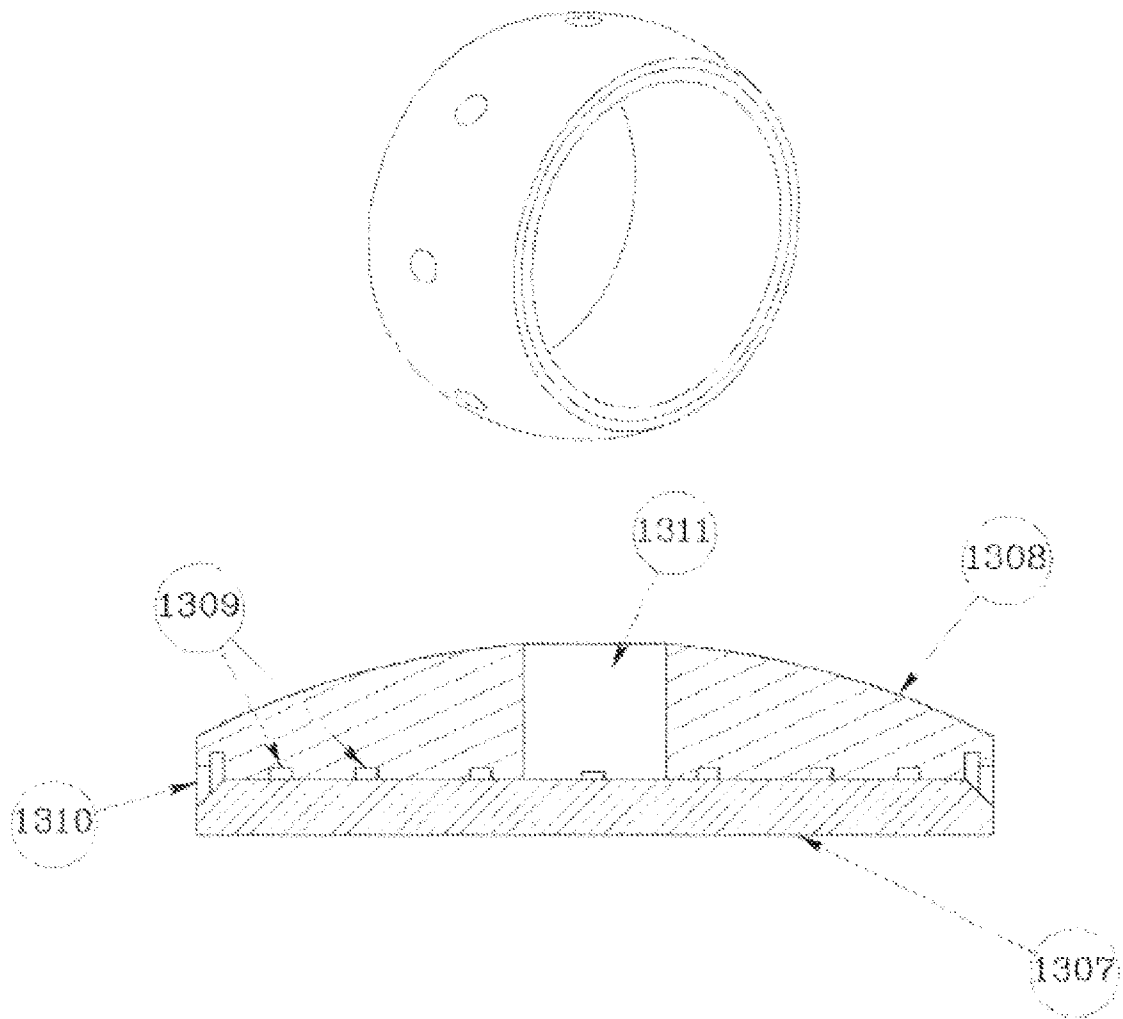


FIG. 13B

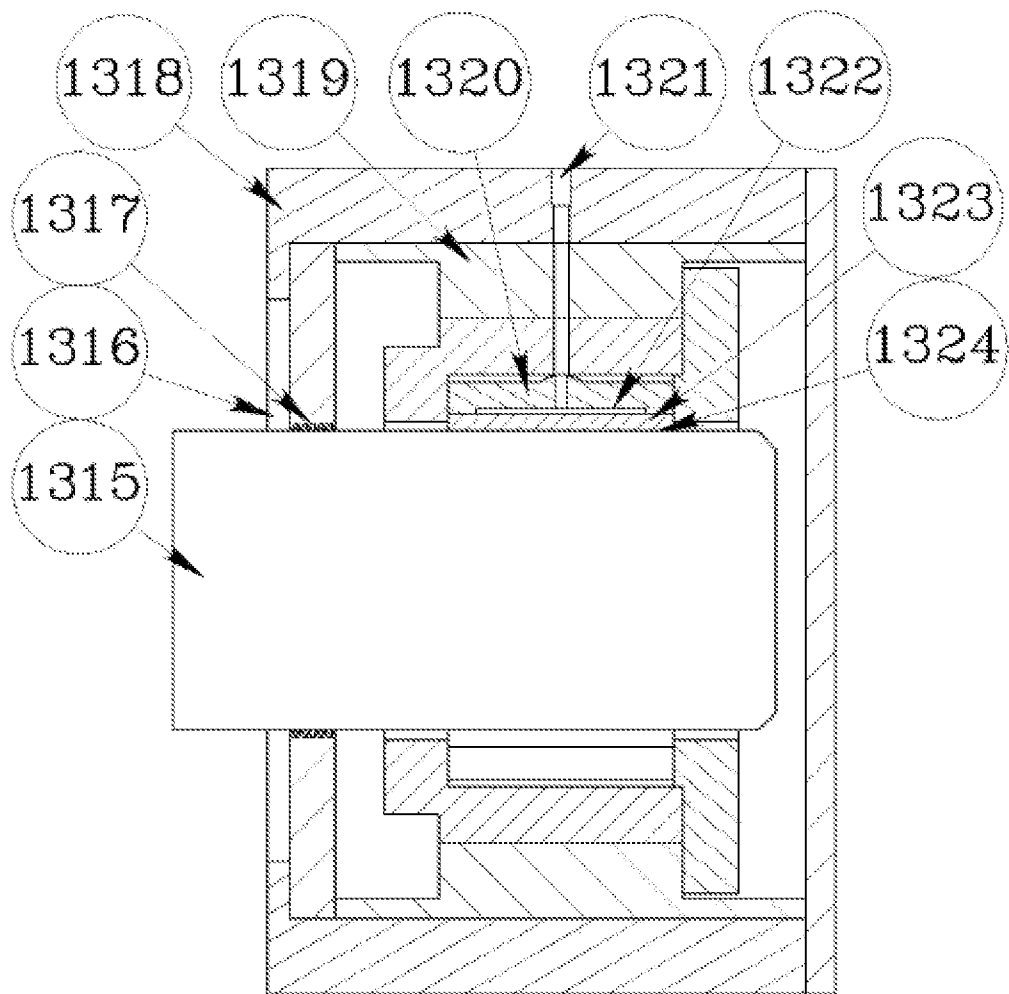


FIG. 13C

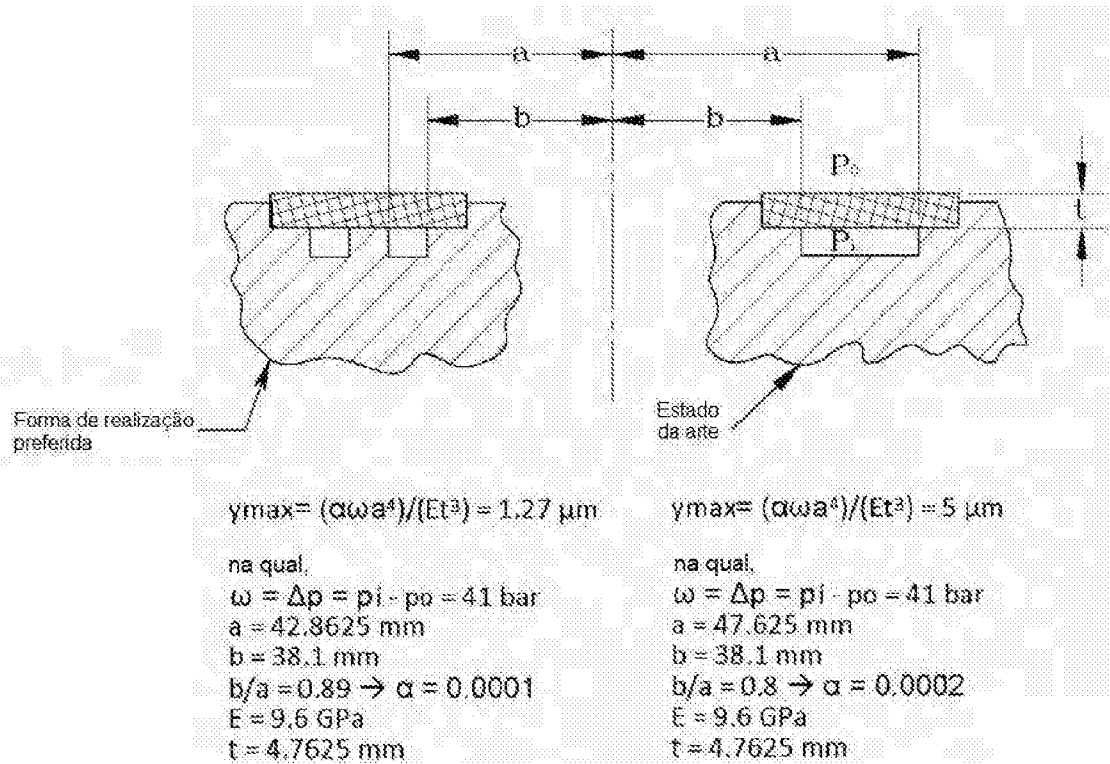


FIG. 13D



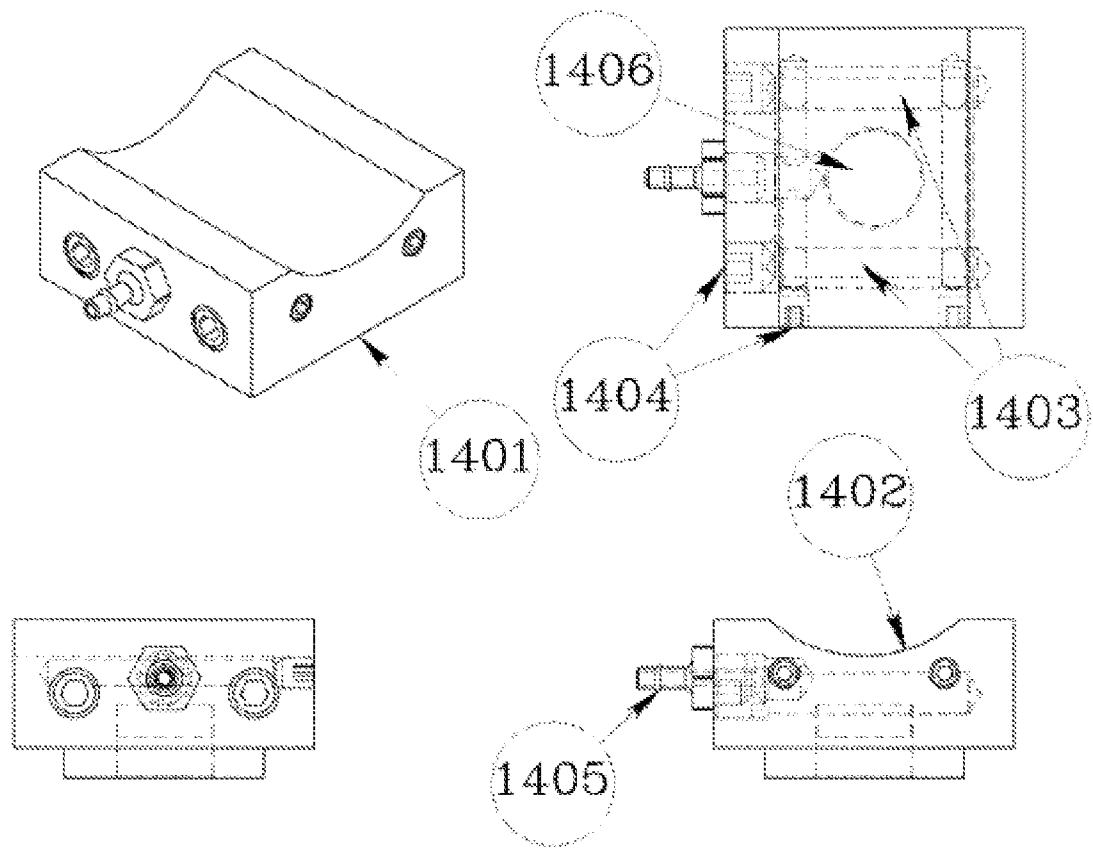


FIG. 14

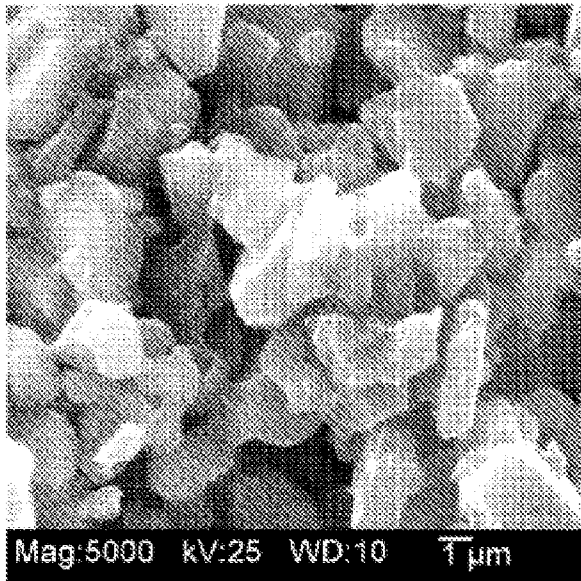


FIG. 15A

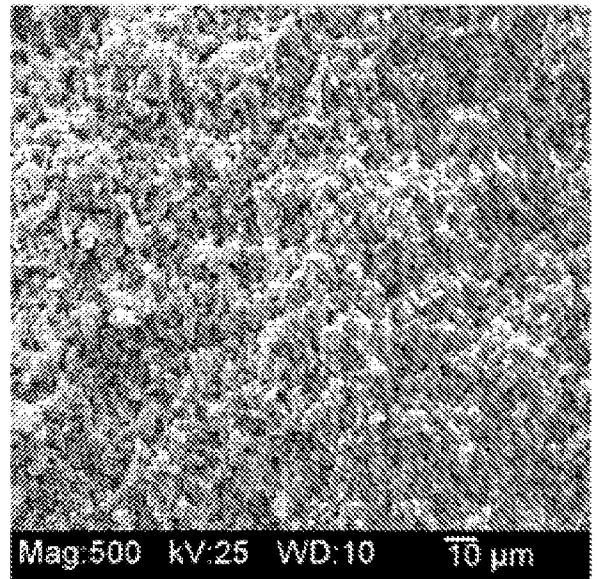


FIG. 15B

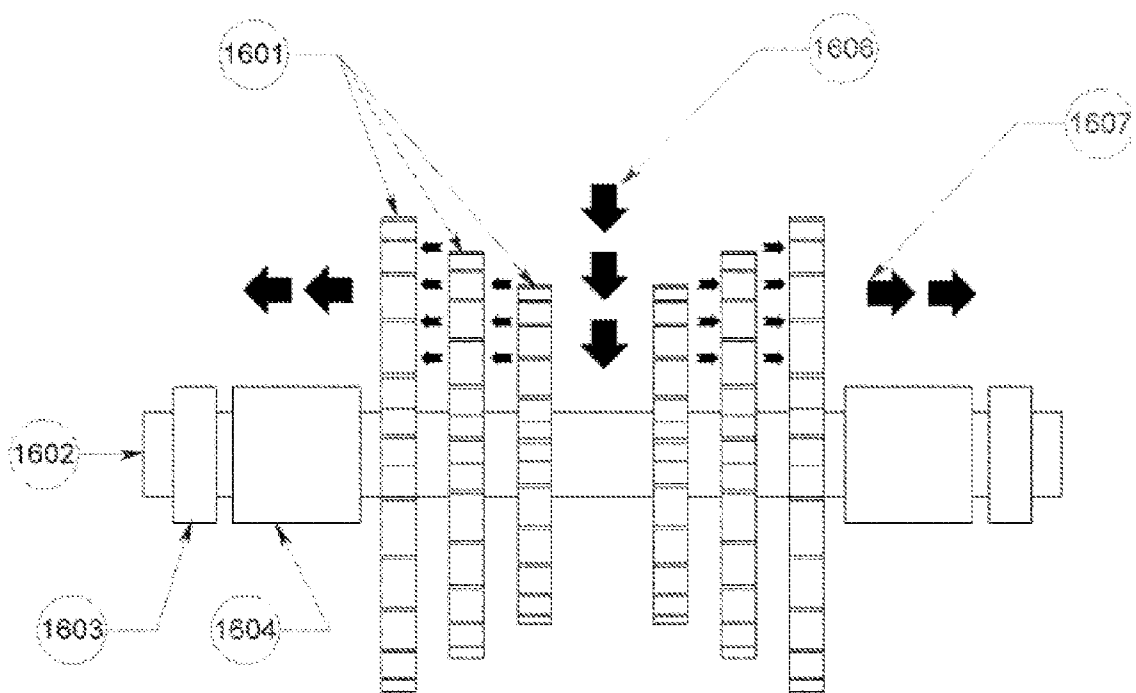


FIG. 16A

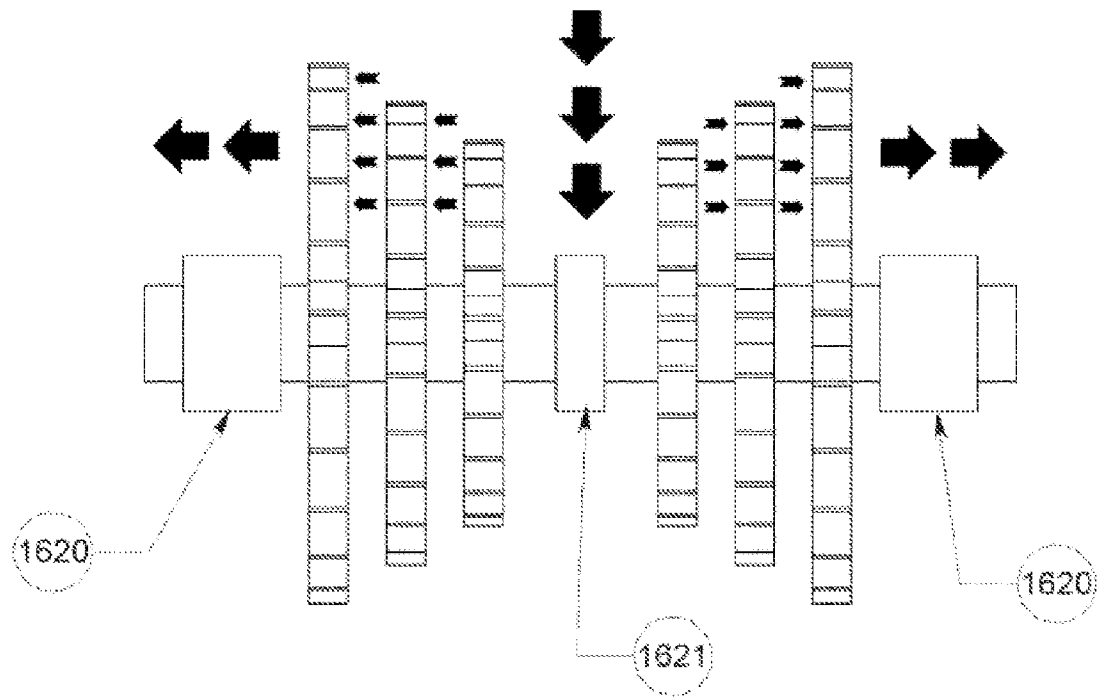


FIG. 16B

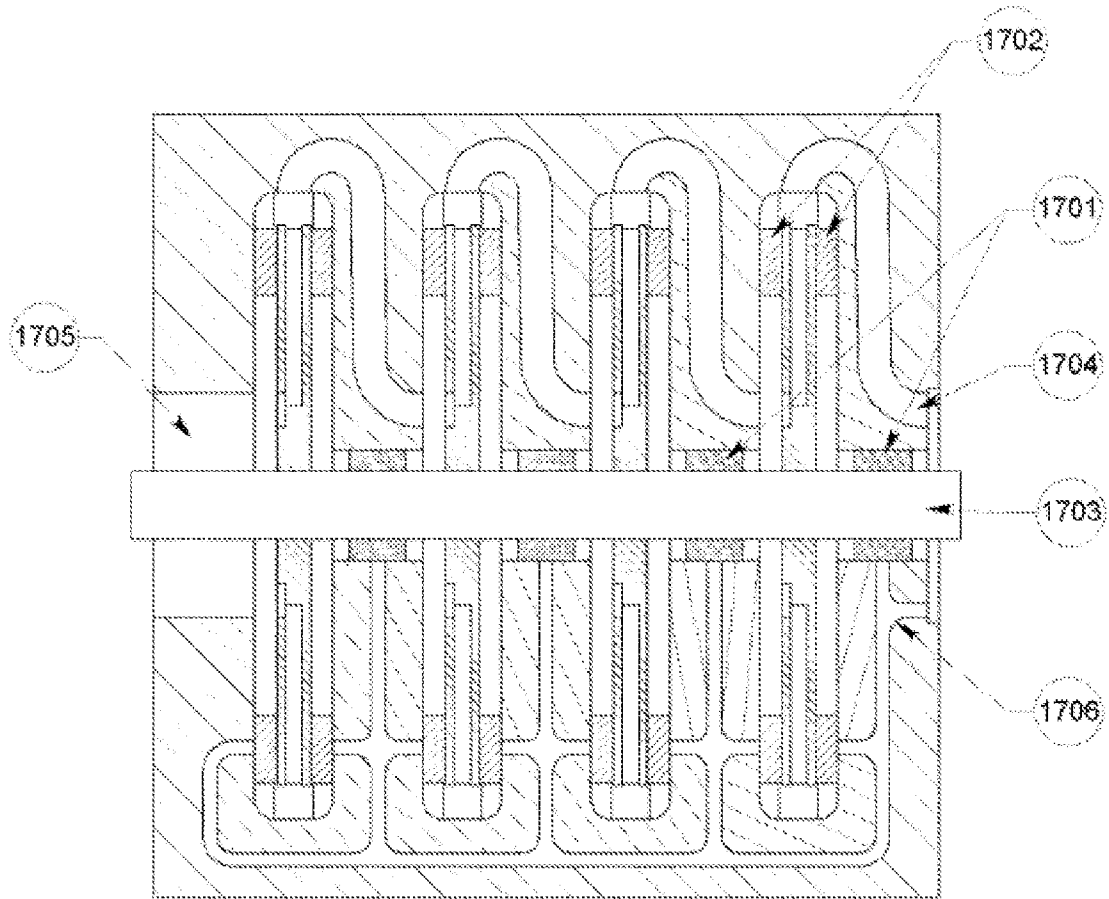


FIG. 17

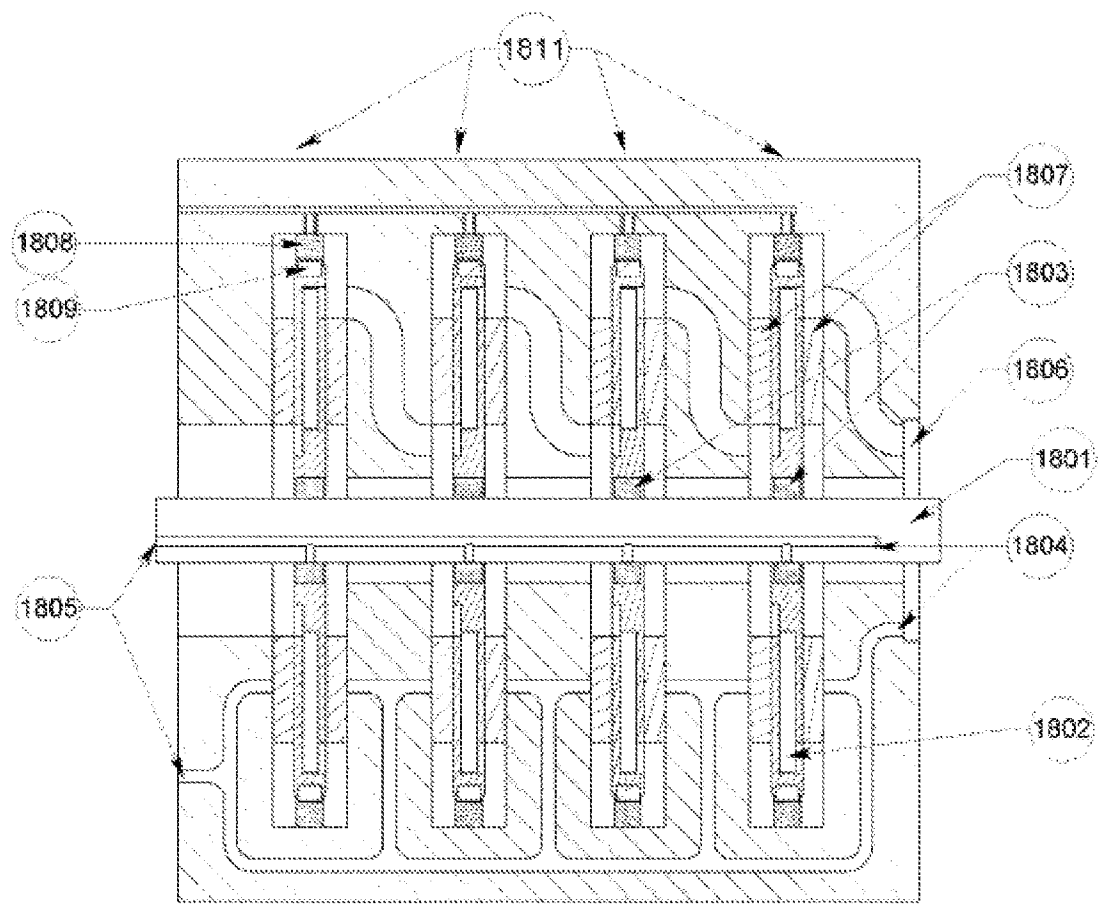


FIG. 18

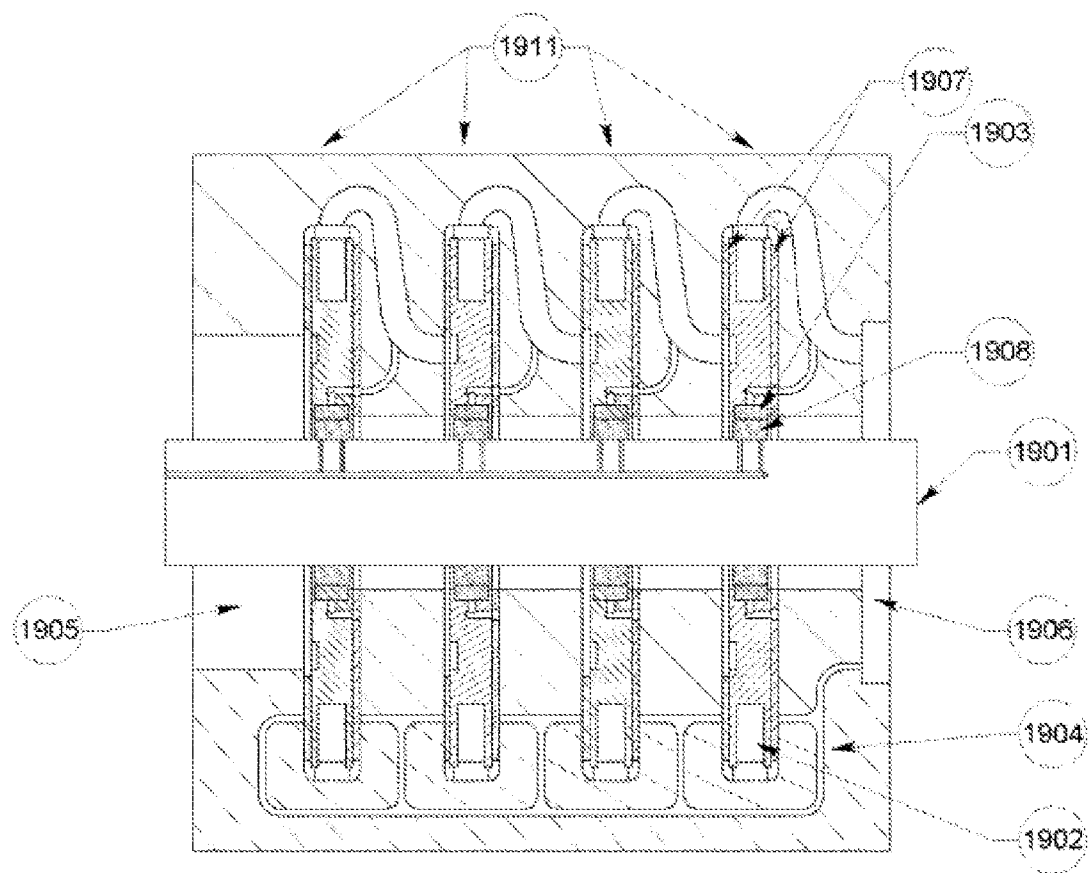


FIG. 19

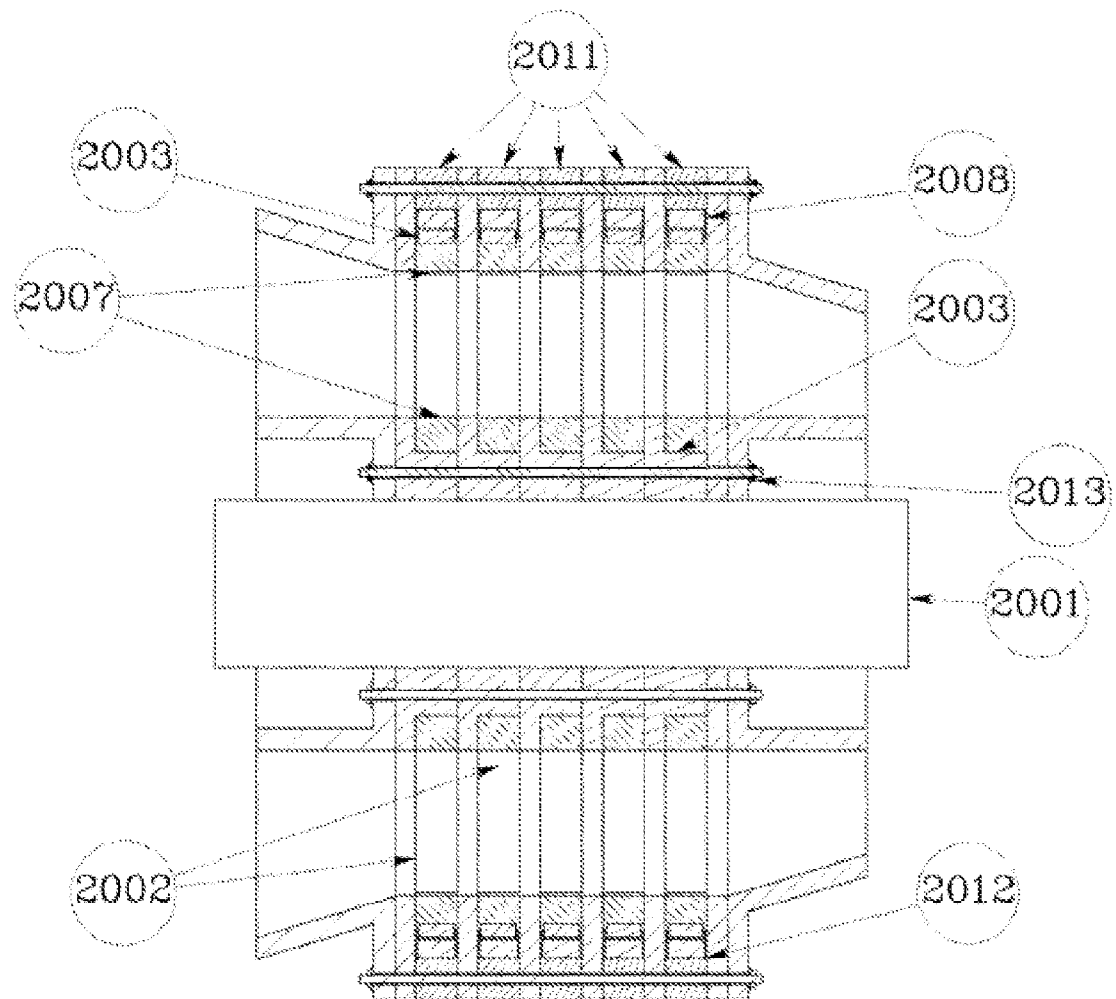


FIG. 20A

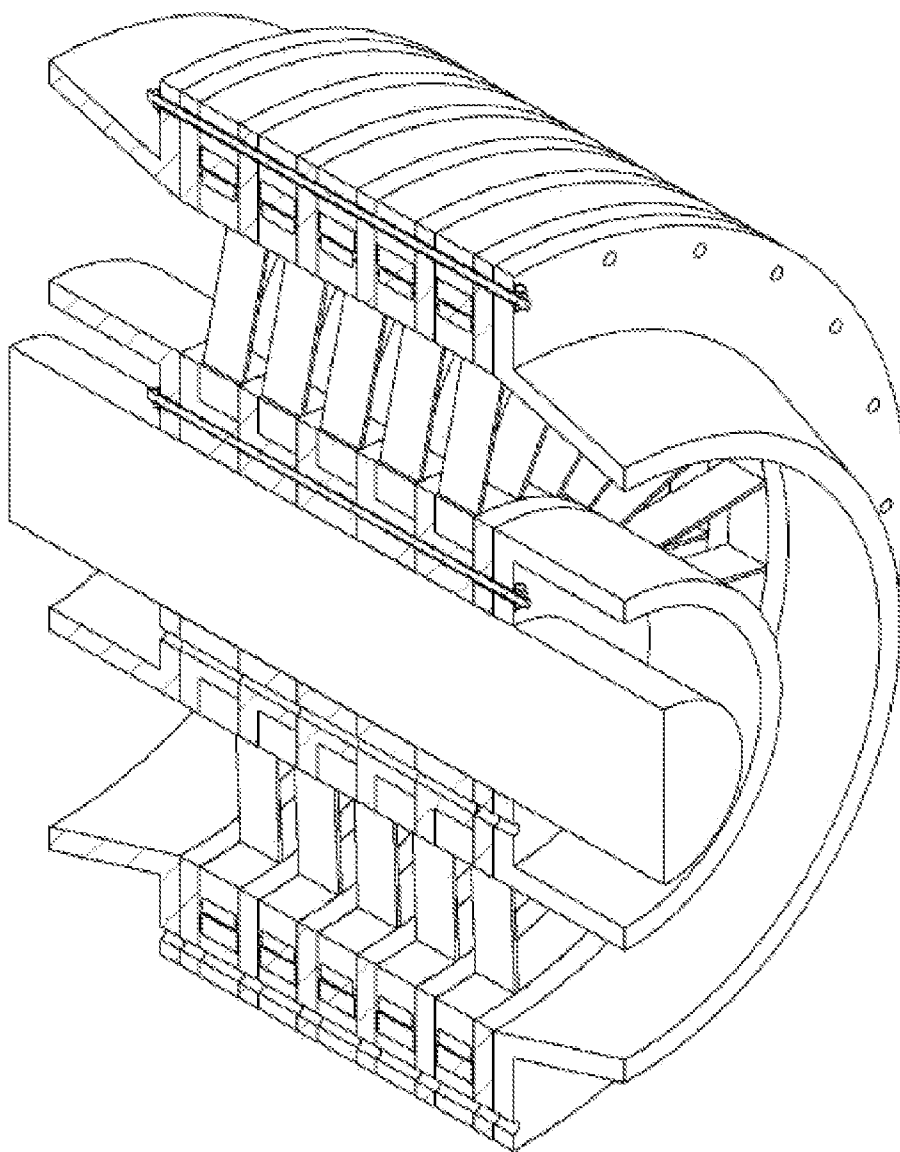


FIG. 20B



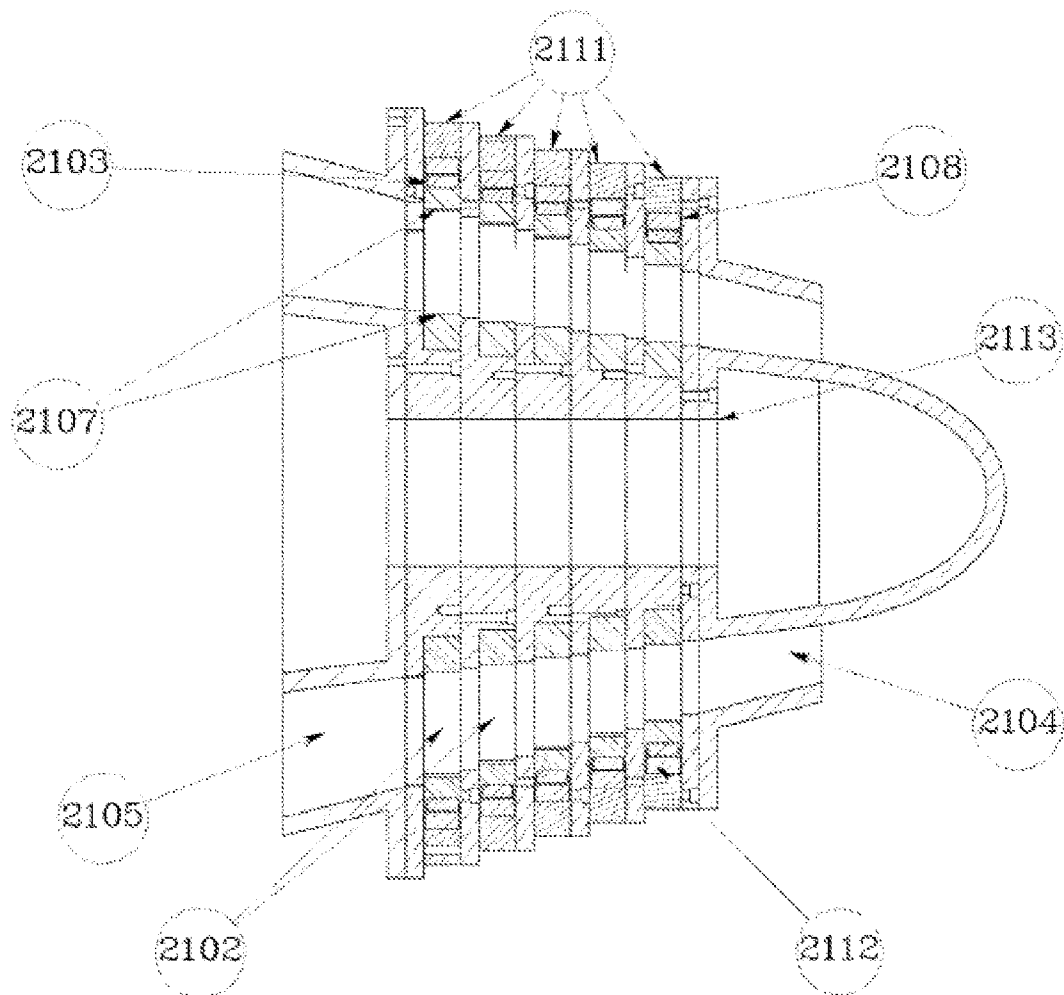


FIG. 21A

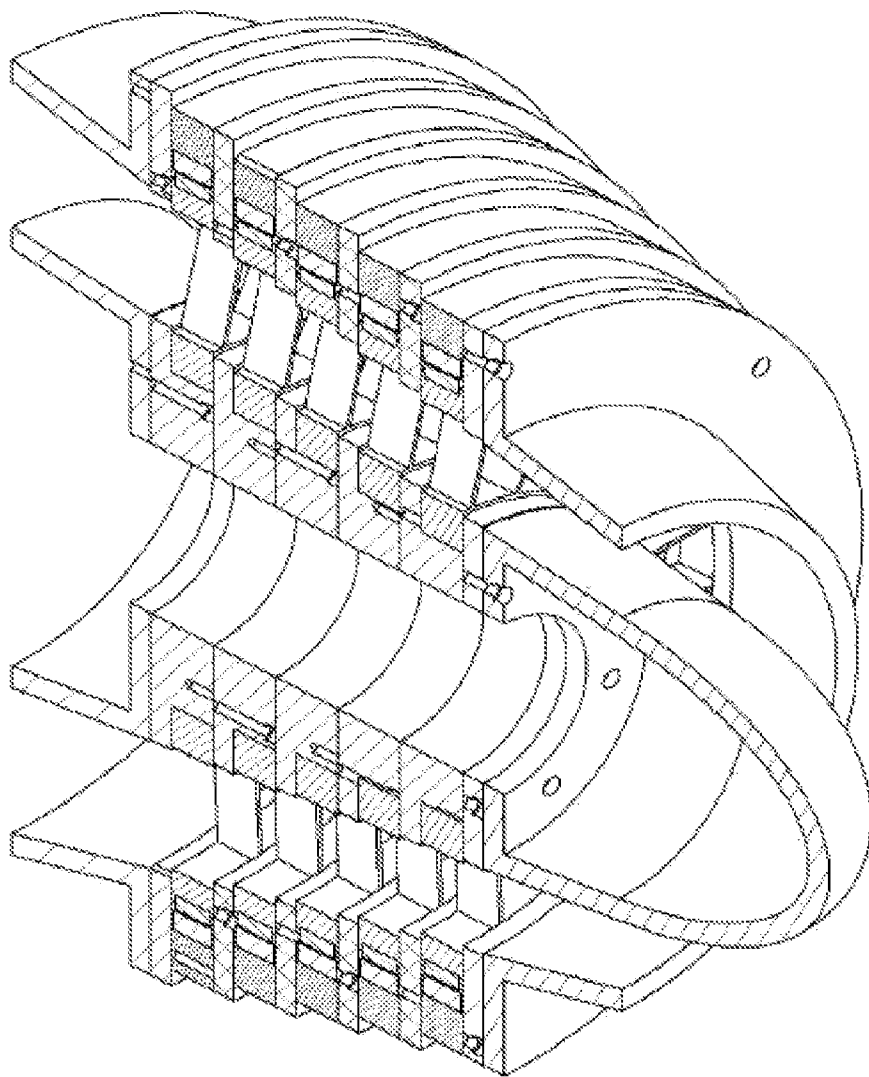


FIG. 21B

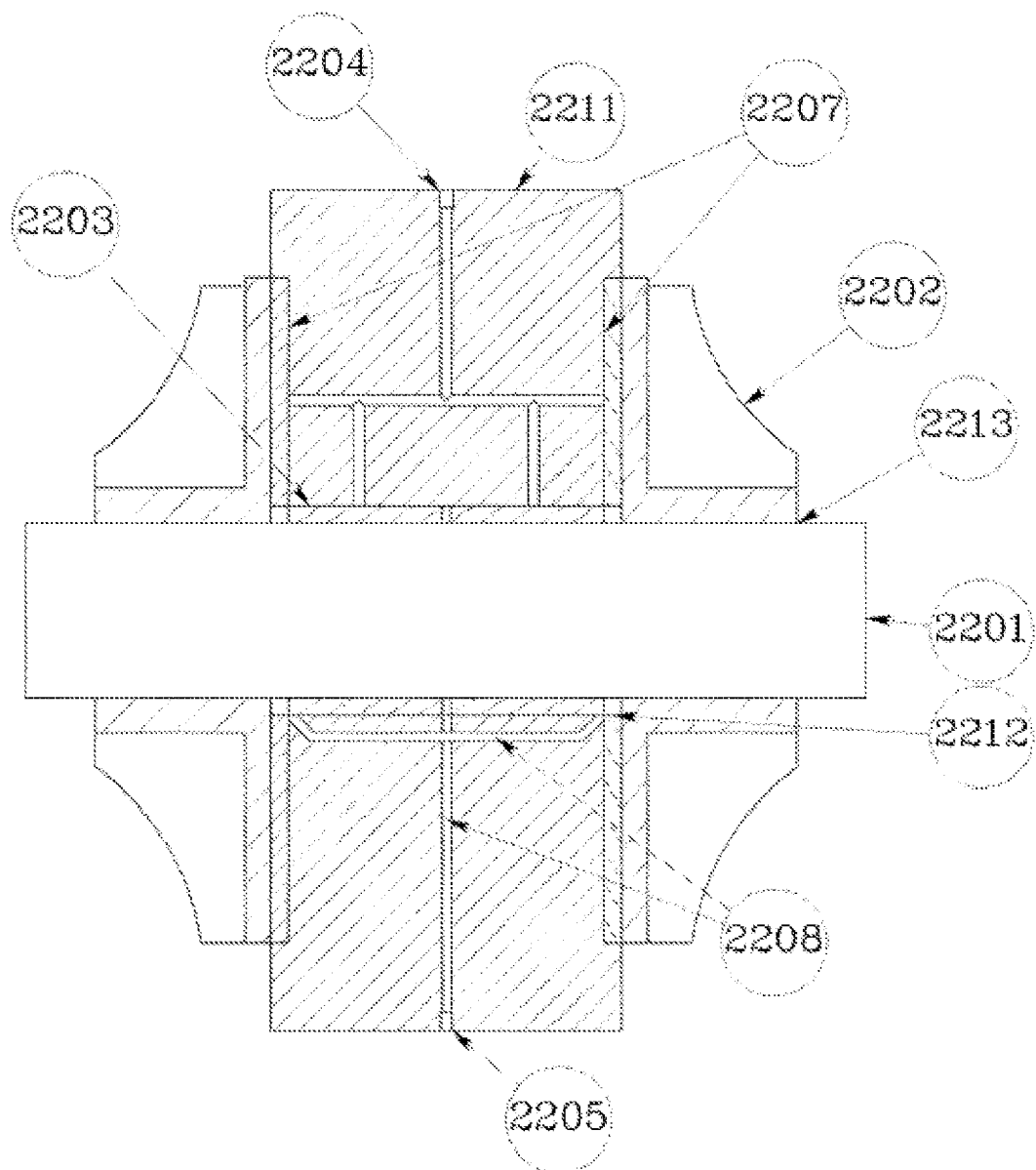


FIG. 22A

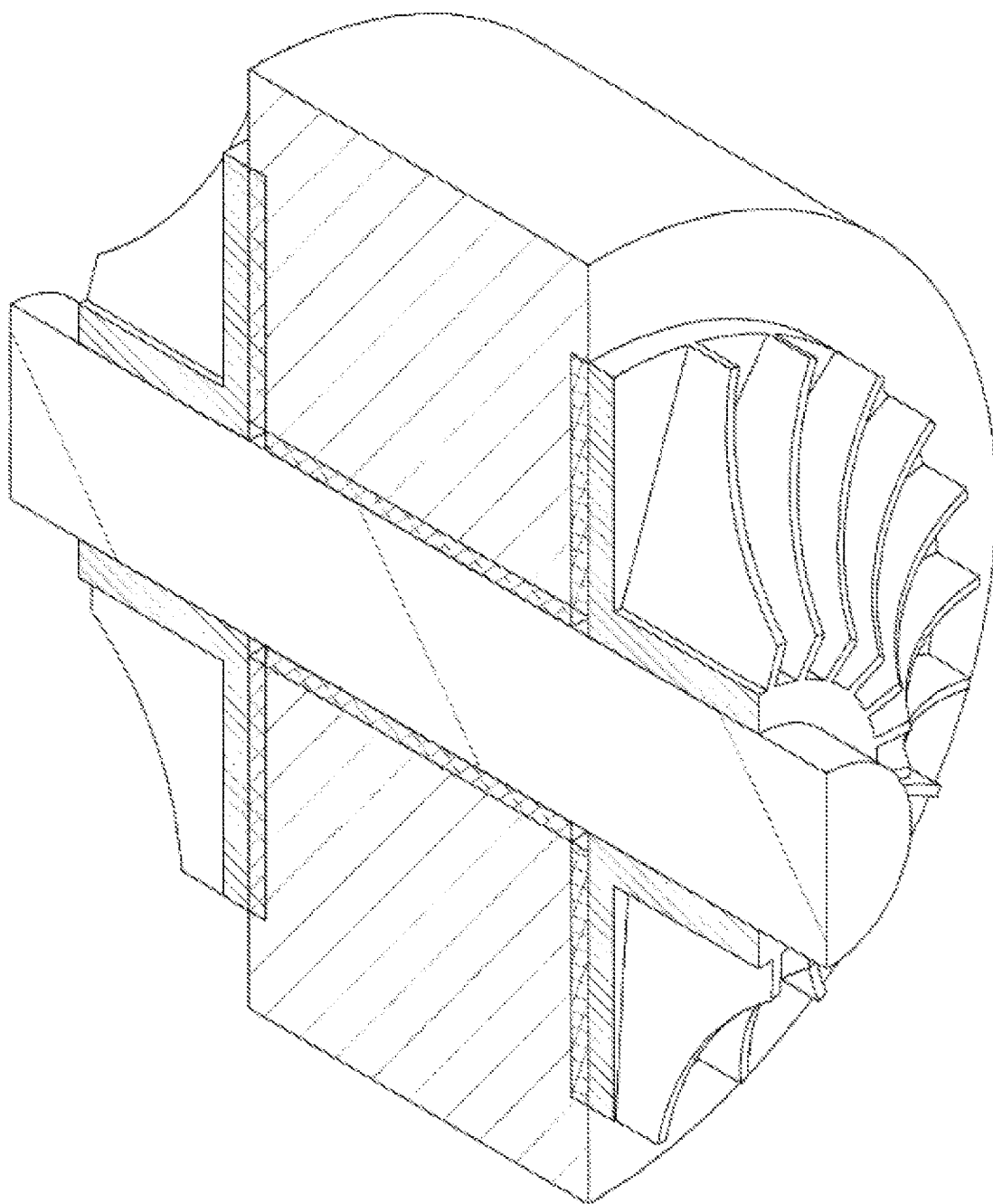


FIG. 22B

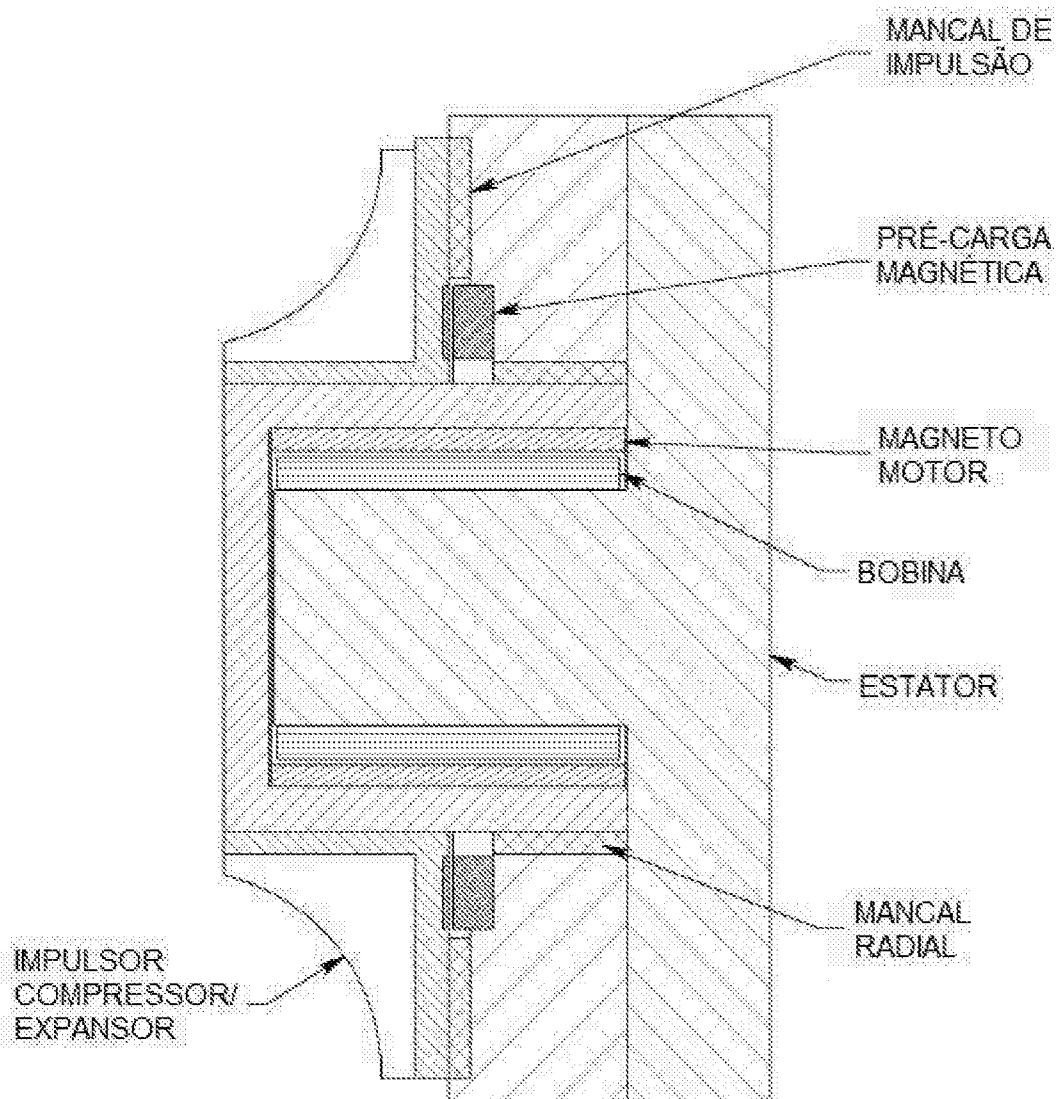


FIG. 22C

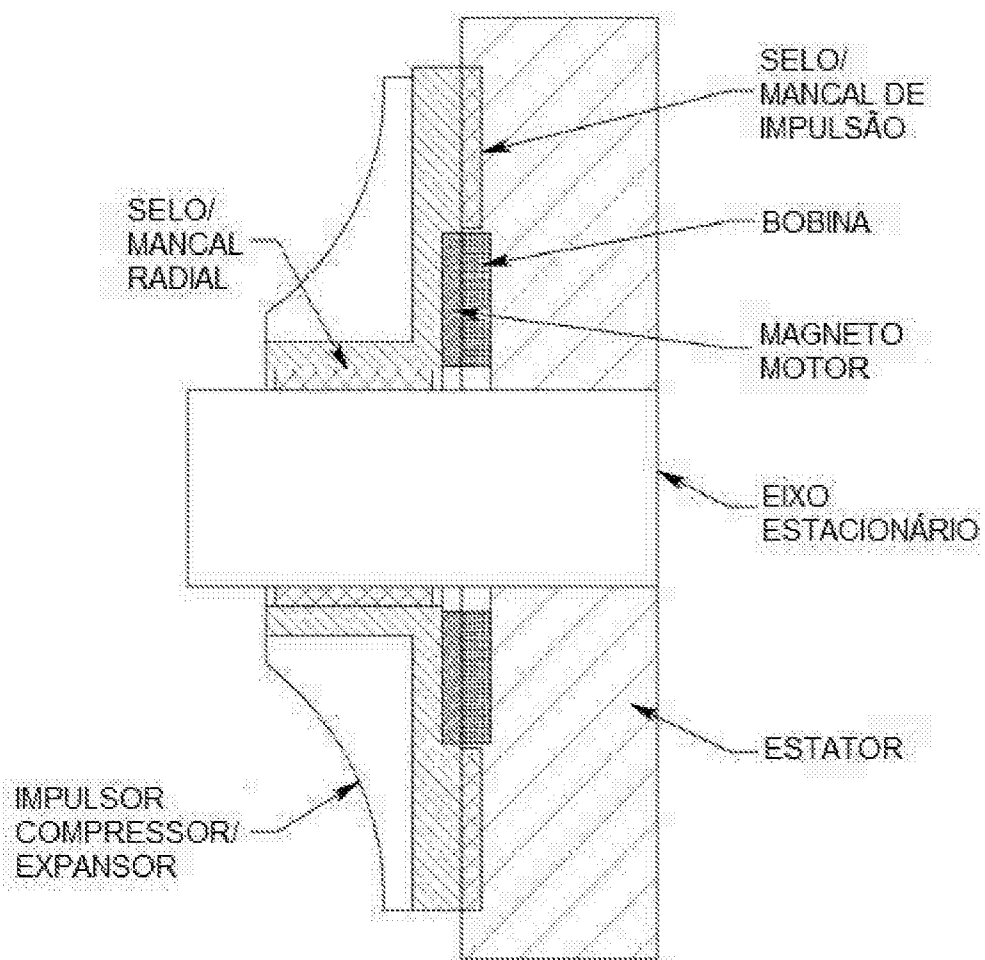


FIG. 22D

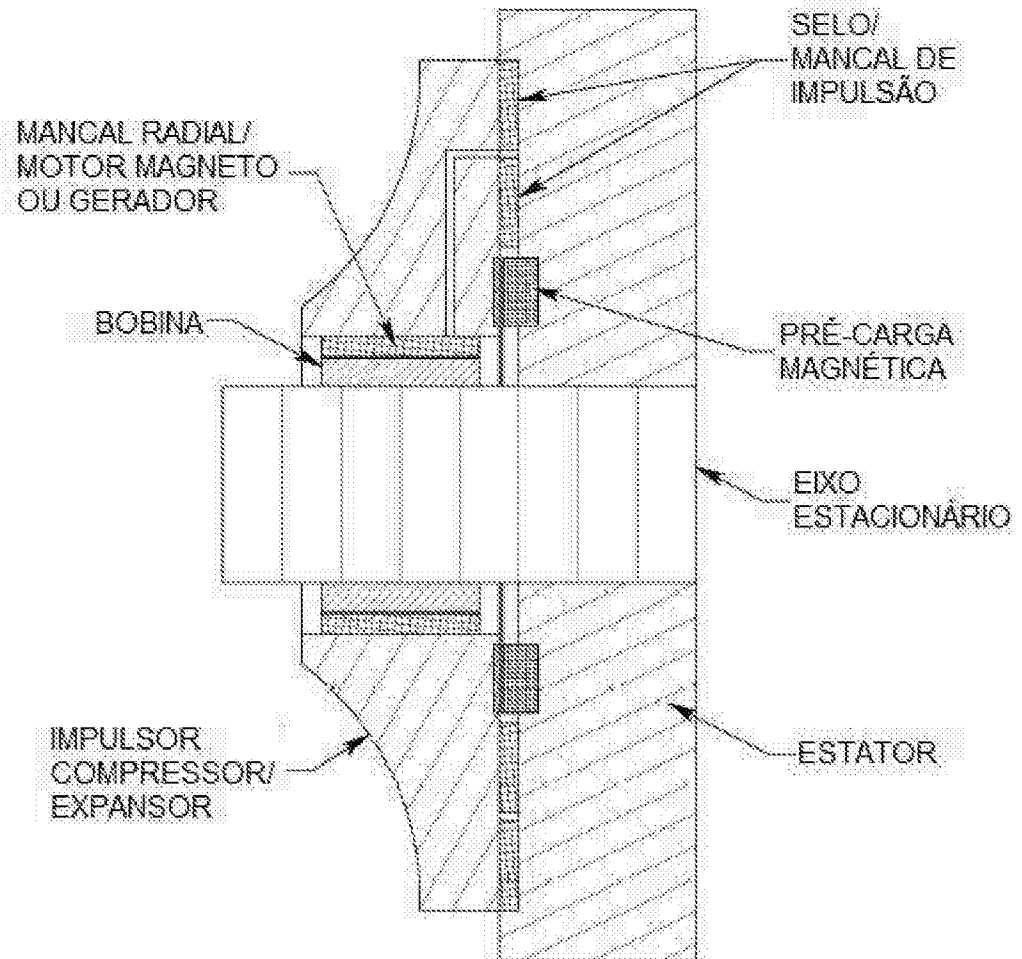


FIG. 22E

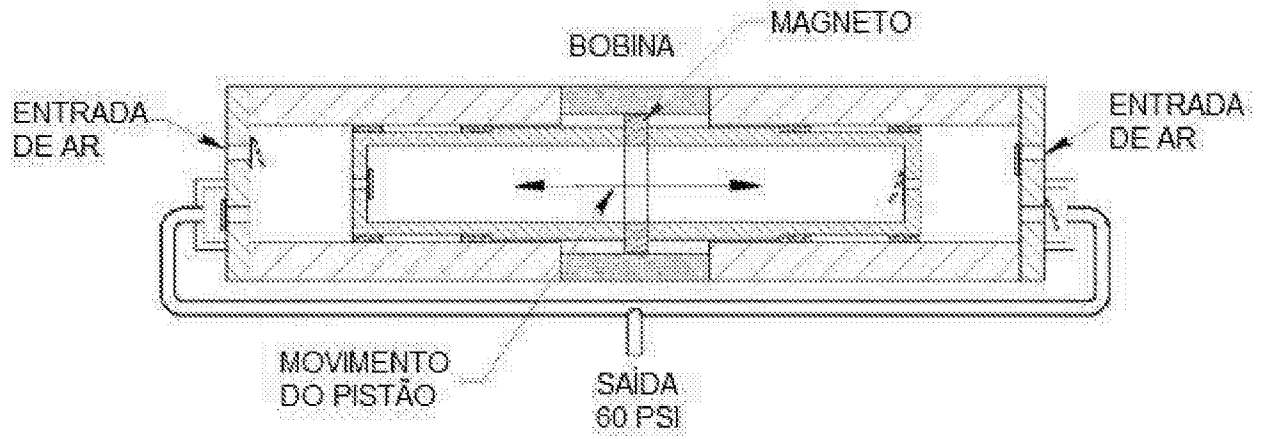


FIG. 23

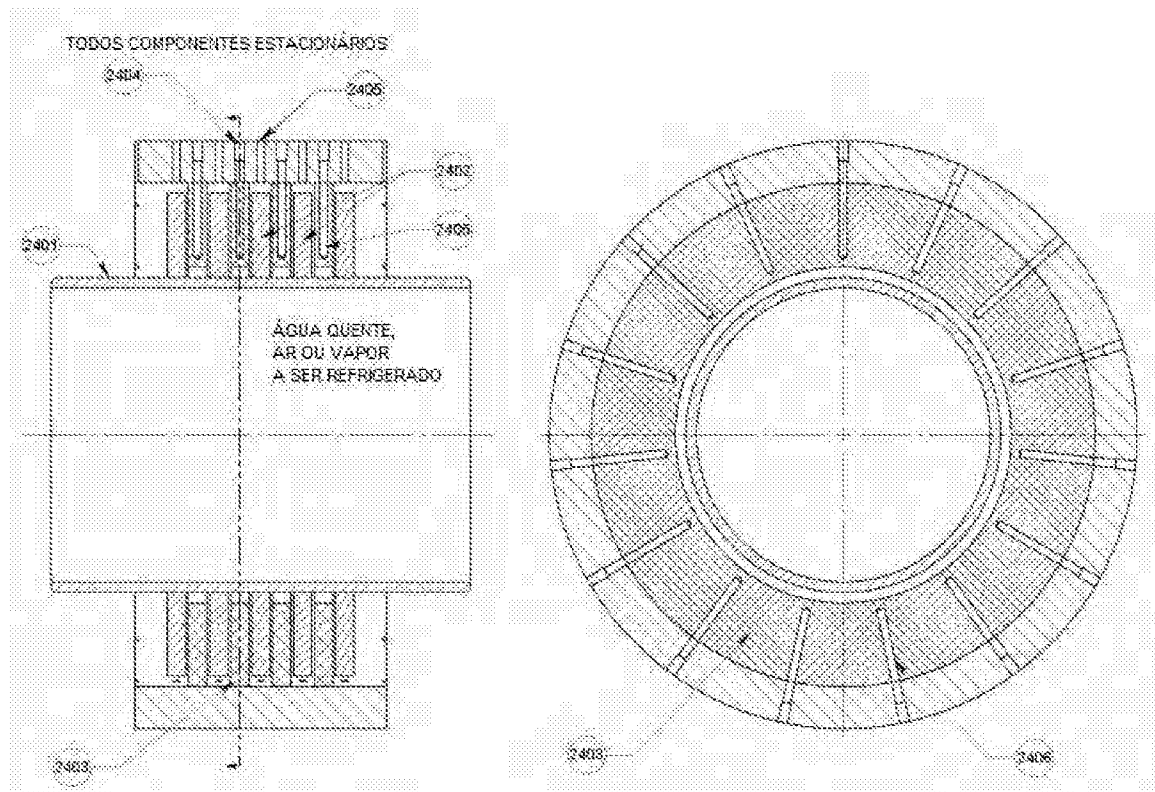


FIG. 24A



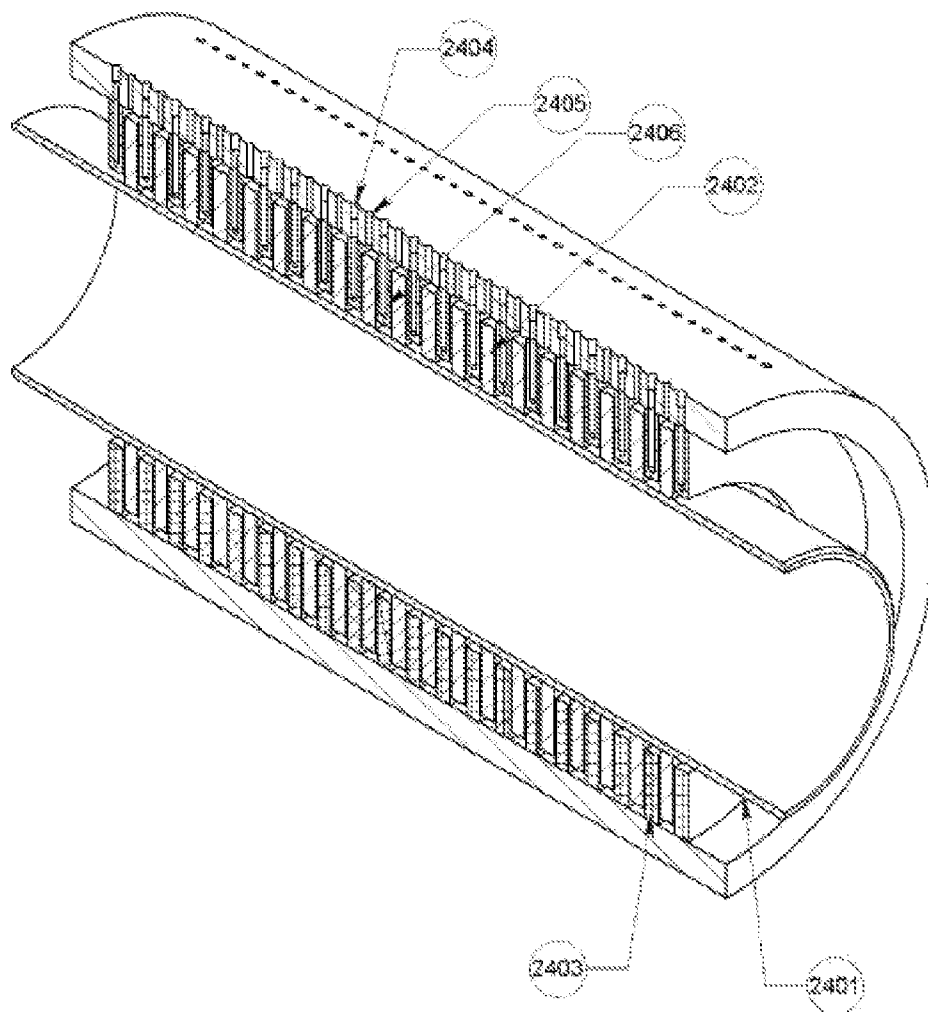


FIG. 24B

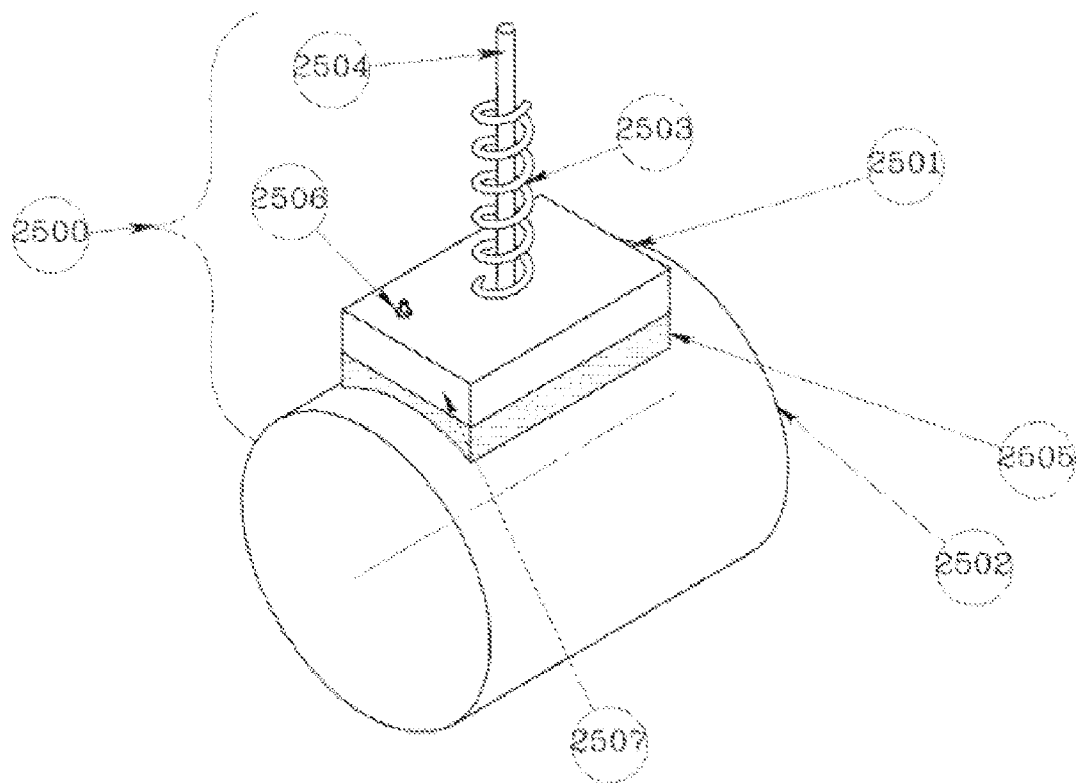


FIG. 25A

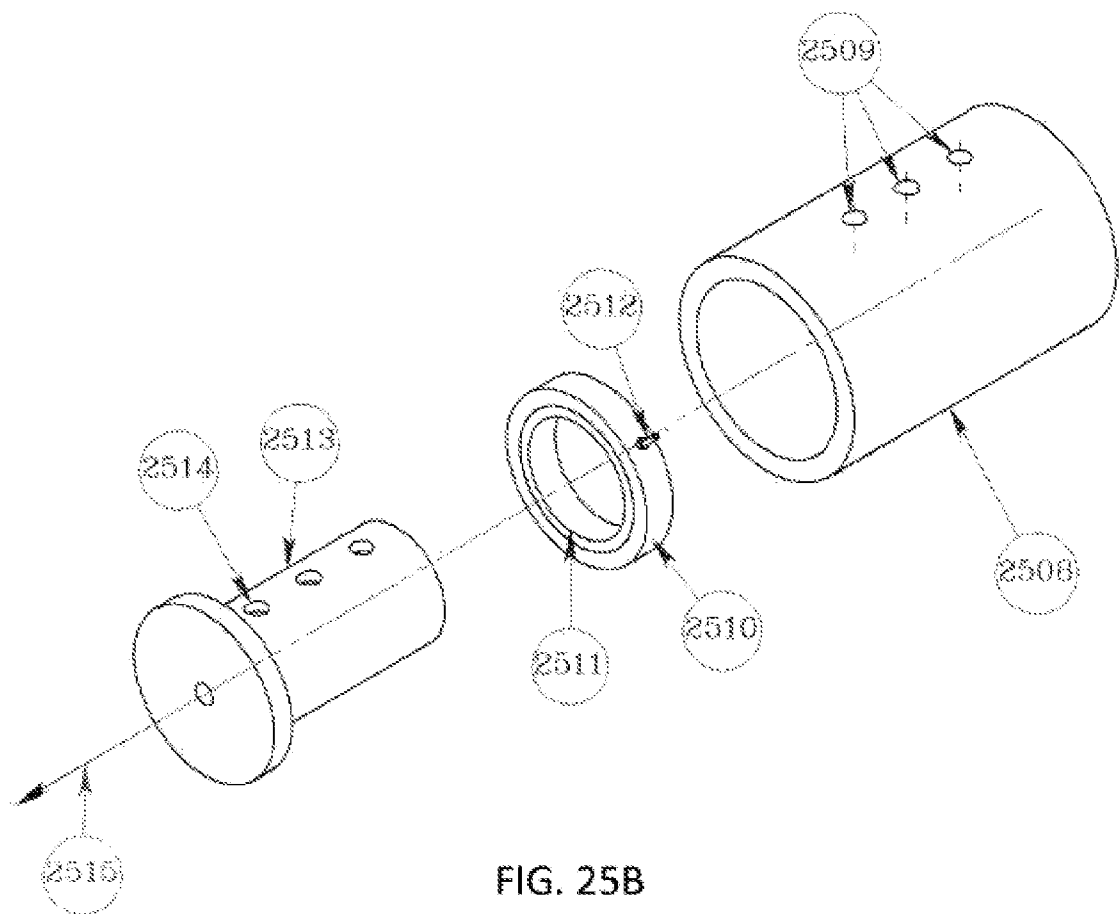


FIG. 25B

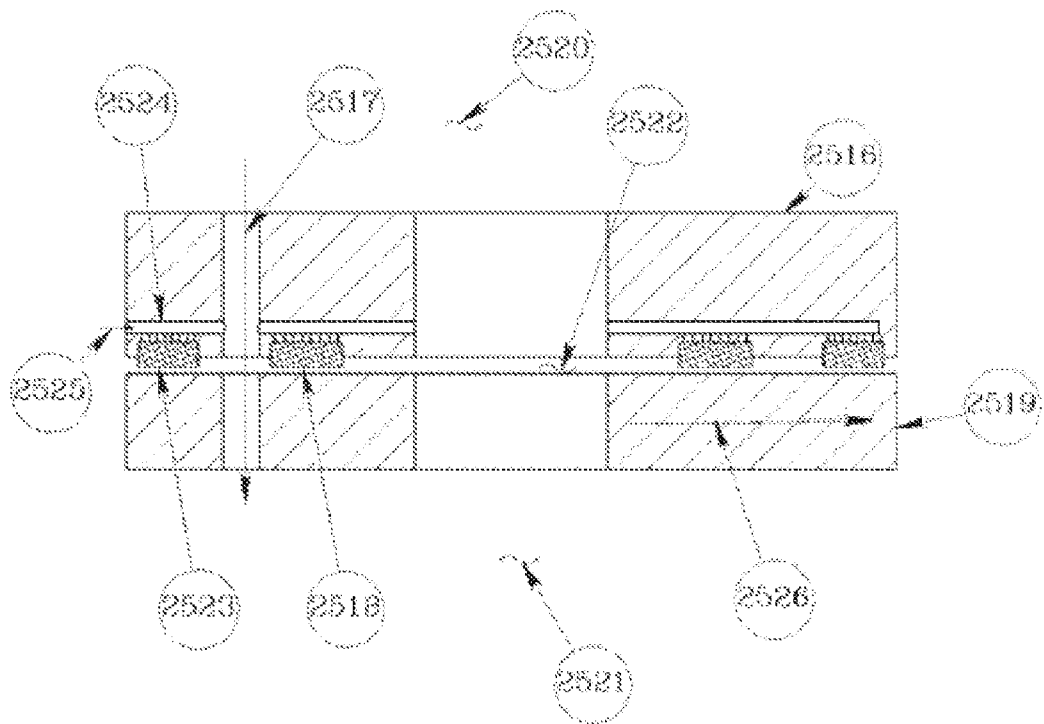


FIG. 25C



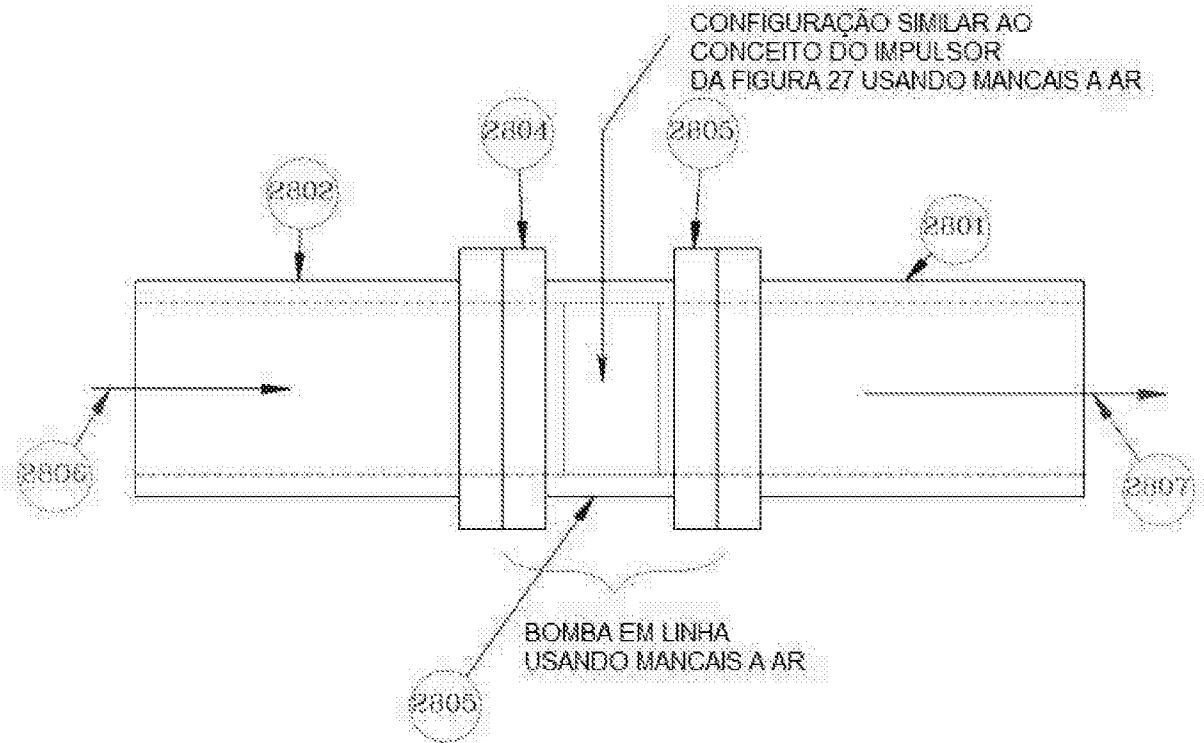


FIG. 28

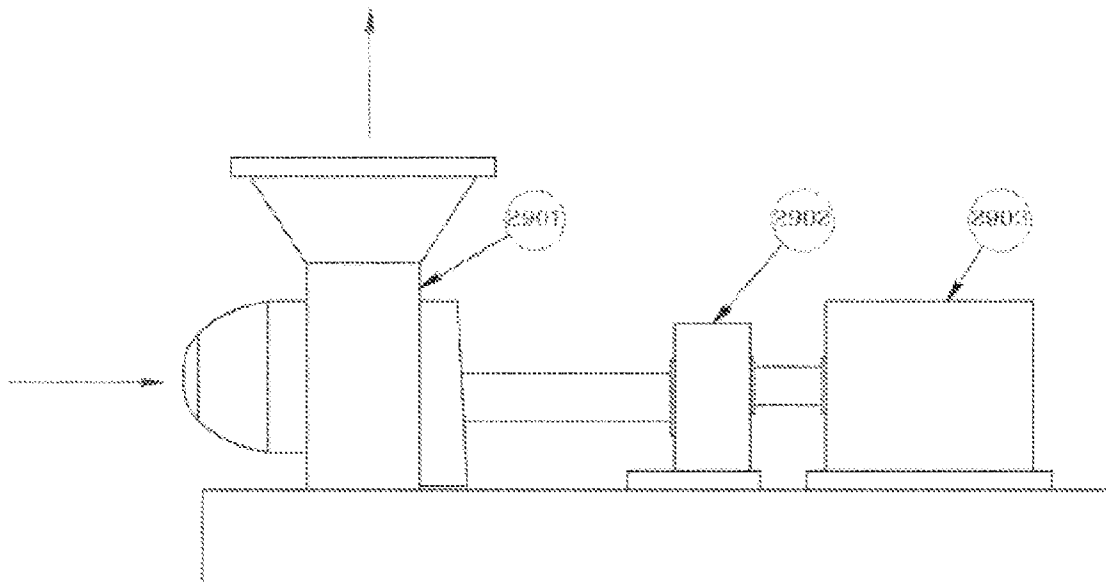


FIG. 29

## **Resumo**

### **EQUIPAMENTO ROTATIVO**

Um mancal sem contato apresenta as superfícies opostas (551, 560) com movimento relativo e uma superfície (560) de fluxo superior à pressão ambiente através de uma restrição porosa, sendo que a restrição porosa (558) é parte de um corpo poroso monolítico, ou uma camada porosa, conectada às superfícies contendo um labirinto (557), a restrição porosa e as superfícies sendo configuradas para não deformar mais do que 10% de uma abertura (559) criada pela pressão diferencial entre cada lado da restrição porosa.