



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

**(11) BR 112014016605-6 B1**



**(22) Data do Depósito:** 03/01/2013

**(45) Data de Concessão:** 29/06/2021

---

**(54) Título:** CONJUNTO DE SELO AEROSTÁTICO OU HIDROSTÁTICO

**(51) Int.Cl.:** F16J 15/447; F16C 33/80.

**(30) Prioridade Unionista:** 03/01/2012 US 61/582,674; 20/11/2012 US 61/728,595; 24/09/2012 US 61/704,927.

**(73) Titular(es):** NEW WAY MACHINE COMPONENTS, INC..

**(72) Inventor(es):** ANDREW DEVITT.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2013020162 de 03/01/2013

**(87) Publicação PCT:** WO 2013/103732 de 11/07/2013

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 03/07/2014

**(57) Resumo:** Mancal aerostático para uso como selo A fim de se executar uma vedação, um material poroso, que compreende um lado de duas superfícies opostas, é usado para restringir e distribuir de modo uniforme gás, líquido, vapor, etc. pressurizados externamente, entre duas superfícies, imprimindo uma força que é oposta às forças das diferenças de pressão ou molas que estão tentando unir as duas faces e pode assim criar um selo sem contato que é mais estável e confiável do que os selos hidrodinâmicos correntemente em uso.

## **CONJUNTO DE SELO AEROSTÁTICO OU HIDROSTÁTICO**

### **REFERÊNCIA AOS PEDIDOS RELACIONADOS**

[0001] A presente invenção reivindica a prioridade dos pedidos provisórios americanos de N° 61/582,674, depositado em 03 de janeiro de 2012; N° 61/704,927, depositado em 24 de setembro de 2012; e N° 61/728,595, depositado em 20 de novembro de 2012, cujos conteúdos estão no presente documento inteiramente incorporados por meio de referência.

### **CAMPO DA INVENÇÃO**

[0002] A presente invenção refere-se a um selo e/ou vedação e mais particularmente a um selo para ser usado em campos tais como a seguir: petróleo e gás, geração de energia (incluindo-se armazenamento de energia como ar comprimido ou usina hidrelétrica reversível), turbinas eólicas, processamento de substâncias químicas, manufatura de papel, purificação de ar e água, separação de gás e outros processos industriais. Entre esses tipos de indústrias, é muito provável que esta tecnologia seja de serventia para: bombas, compressores, turbinas, geradores, motores, turbo-expansores, turbos, misturadores e purificadores.

### **DESCRIÇÃO DA ARTE RELACIONADA**

[0003] Criar e implementar selos eficazes para equipamento rotativo tem representado um desafio desde o aparecimento dos equipamentos de rotativos. E assim como há toda uma sorte de aplicações e tipos de equipamentos rotativos, há também uma vasta quantidade de selos que são empregados neste tipo de equipamento.

[0004] Um dos métodos mais simples e antigos de vedação, o uso de gaxetas, ainda é frequentemente utilizado. Nesse tipo de selo, uma gaxeta pode ser ajustada para comprimir o anel O-ring em volta do eixo. Assim, há um equilíbrio entre o quão apertado deve estar o anel O-ring que pode causar danos por atrito e desgaste no eixo e o quão eficaz é o selo. O vedante labial é outro tipo de selo de contato. Tais selos podem também possuir ranhuras no eixo e estão sujeitos a desgaste e vazamento. Selos do tipo labirinto são um tipo de selo sem contato, mas eles provêm um caminho de condutância que pode resultar em enormes fluxos quando há diferenciais significativos de pressão no selo. A fim de diminuir vazamentos, as folgas entre as rotações em seções estacionárias do selo são minimizados o máximo possível. Isto aumenta os custos de modo significativo e, ademais, para torná-los eficazes eles precisam, em geral, ser axialmente longos. Há

outros tipos de selos como os adaptáveis e a escova de vedação, que são selos de contato e geralmente empregam força centrífuga ou diferenças de pressão para mantê-los em unidos as suas superfícies de contato correspondentes. Tais selos criam material particulado e são um fator de desgaste que aumenta os custos de manutenção e, em altas velocidades, geram quantidades consideráveis de calor e desgaste por conto de atrito. Adicionalmente, esses selos de contato produzem muito ruído. Isoladores de mancais são comumente encontrados em equipamentos de processos, eles geralmente combinam as tecnologias dos selos tipo labirinto e do tipo vedante radial [lip seal] e por vezes empregam a injeção de um líquido ou gás a uma pressão mais alta do que aquela do volume a ser selado. Um exemplo de tal técnica é a patente americana US 7,631,878 de Orlowski.

[0005] Selos mecânicos e selos secos a gás também podem ser considerados como selos do tipo injeção, uma vez que esses selos muitas vezes utilizam algum tipo de gás de exaustão ou de vedação. Selos secos a gás usam especificamente efeitos de mancais hidrodinâmicos para criar aberturas sem contato bem pequenas que são muito eficazes em selar. Uma vez que os efeitos de vedação são dependentes deles e o mancal aerodinâmico sendo vedado somente funciona a velocidades superficiais relativamente altas entre faces de selagem. Há uma grande quantidade de tecnologia sendo utilizada nos selos para manter suas faces de selagem planas e pressionadas uma contra a outra a fim de evitar uma perda do contato por conta da velocidade entre as faces de selagem ou uma falha na vedação por conta de uma falha mecanismo que é usado para prover flexibilidade axial ("Hang Up") permitindo que se crie uma grande abertura entre as faces de selagem. Selos mecânicos também apresentam os mesmos problemas, mas suas faces de selagem são projetadas para serem partes de mancais de deslizamento relativamente boas, mas ainda assim por serem geralmente selos de contato eles se desgastam e geram calor. Um exemplo desse tipo de selo é a patente americana US 7,823, 885 de Droscher, que descreve muito bem os problemas com selos convencionais e "hang ups" e é também um exemplo de um tipo de selo de injeção convencional, adicionalmente, diz-se que esse fluido de injeção pode também ajudar a estabelecer propriedades de um mancal aerodinâmico na face do selo.

[0006] O estado da arte inclui atualmente mancais hidrodinâmicos tais como o mancal do tipo com ranhuras helicoidais e o mancal de lâmina, que podem se tornar mancais do tipo sem contato baseados na passagem de um fluido ou gás por uma abertura, há selos do tipo labirinto e selos

secos a gás que tentam criar uma restrição através de pequenas aberturas. Exemplos de selos secos a gás incluem selos da Pall Corporation e da Carbone Turbograph. No caso da Carbone, eles fabricam carbonos e grafites de meio poroso, mas eles não empregam meios porosos ou grafites como uma técnica de compensação para fins de vedação hidrostática. Assim, presumimos que isto seja uma evidência de que usar tais técnicas de compensação por meio poroso não é óbvio para eles.

[0007] Em outro exemplo atual, o pedido de patente norte americano publicado sob o nº US 2006/006-2499 A1, que ensina e reivindica especificamente o uso de grafite e materiais cerâmicos e o uso de gás comprimido, não emprega compensação por meio poroso. Essa patente está especificamente direcionada a motores de turbina de alta velocidade. Presumimos que isto seja um exemplo de que o uso de compensação porosa não seja óbvio.

#### SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[0008] Os objetivos da invenção incluem: prover superfícies de selos mecânicos e selos secos a gás mais eficazes ao revelarmos maneiras robustas de empregar tecnologia de mancal de ar comprimido externo para criar altas pressões em aberturas de selos sem contato; evitar ou reduzir o desgaste e o acúmulo de calor entre as faces que devem entrar em contato ou que podem ocasionalmente entrar em contato; revelar de que modo a combinação das tecnologias de vedação e mancais podem simplificar de modo surpreendente a vedação de um equipamento rotativo e prevenir “hang ups”, que são travamentos do sistema de compensação para manter as faces pressionadas uma contra a outra.

[0009] A tecnologia moderna de mancais aerostáticos quando aplicada em equipamento turbo apresenta aplicações muito interessantes na substituição de mancais e selos convencionais (eliminando óleo, melhorando a eficiência e reduzindo o ruído).

[0010] Selos e contrafaces projetados para usar uma das duas faces de selagem opostas como um meio poroso para restringir a entrada de pressão hidrostática externa para dentro de uma abertura entre as faces do mancal. Essa tecnologia serviria para substituir a gaxeta em grandes agitadores, misturadores ou purificadores na extremidade inferior da continuação do selo acima e na extremidade superior de selos mecânicos ou selos secos a gás. Uma configuração é a corredeira de lâmina, que se presta particularmente bem para a vedação de motores aeronáuticos permitindo uma redução enorme do atrito, do desgaste e do ruído com uma vedação por etapa aperfeiçoada.

Adicionalmente, a massa de rotação e o comprimento axial do selo ficam bastante reduzidos. Outro modo de execução revelado é a vedação facial com equilíbrio de força onde as faces dos selos mecânicos entrariam em contato virtualmente sem qualquer força de contato, ainda que haja mil quilos de força de fechamento.

[0011] Mancais de gás comprimido externo possuem muitas vantagens fundamentais para uso como selos:

[0012] São sem contato e operam de modo independente de movimento relativo (trabalham com RPM zero)

[0013] Fazem isso usando gás de processo para selar a abertura

[0014] Operam sob as temperaturas mais extremas

[0015] Utilizam altas pressões, mas fluxos baixos

[0016] Combinam as funcionalidades de selagem e de mancais

[0017] Como são selos sem contato, não possuem nenhum Coulomb de atrito e não sofrem desgaste. Há um minúsculo atrito viscoso no filme laminar de ar, mas a ordem de magnitude disso é menor do que o atrito no mancal. Isso pressagia muito bem a redução de consumo de energia e representa um forte argumento para a venda como algo ambientalmente responsável. Selos radiais, axiais ou de face ambos possíveis.

[0018] Ainda que eles sejam selos sem contato eles são acoplados de modo mecânico a suas superfícies opostas por meio da compressão do filme laminar de ar. Assim como no exemplo da figura 350, a escova de vedação é sustentada pelo eixo giratório que ela está vedando. Isso permite a eliminação de problemas de alinhamento tais como os que são encontrados em selos tipo labirinto. Esta é a capacidade de autoalinhamento. O selo é estacionário com relação ao estator e conectado a ele por meio de algum tipo de selo de fole flexível, um anel O-ring ou diafragma como exemplos de montagens flexíveis. Esses isoladores de mancais podem se encontrados na GGB, Waukesha e Crane, que são exemplos de outras montagens flexíveis que permitem a alteração do centro do eixo e também mudanças angulares do eixo. Os isoladores de mancais mencionados acima utilizam grandes quantidades de ar comprimido ou injeção de fluido dentro de uma abertura uma vez que não empregam tecnologia de mancal hidrostático compensado.

[0019] A alta pressão mantida na abertura de ar funciona como um selo de alta eficácia contra a migração de contaminação, líquidos e até gases. Selos do tipo labirinto e a gás convencionais que

empregam pressão fluindo para dentro de uma ou mais ranhuras apresentam a desvantagem de pressão relativamente baixa (alguns PSI) e alto fluxo (dezenas de pés cúbicos por minuto). No entanto, um selo de mancal aerostático pode facilmente gerar 30 PSI na abertura e o fluxo é medido em pés cúbicos por hora. Um exemplo desse tipo de mancal em uma configuração do tipo superfície de pressão é nossa linha padrão de mancais aerostáticos a vácuo pré-carregados. É contraintuitivo, mas nós usamos com sucesso 30 PSI em uma folga de ar anular para separar pressão atmosférica de vácuo que é usada para pré-carregar o filme laminar de ar em estágios de precisão de carregamento leve.

[0020] "Mancais aerostáticos têm aplicação em uma enorme variedade de categorias em tecnologia de selagem, mas eles não são (ainda) comumente empregados."

[0021] Embora mancais aerostáticos de meio poroso não sejam novidade e a ideia de selos hidrostáticos também não seja novidade, há muito pouco no estado da arte e menos ainda na prática, em que se combinem as vantagens de ambas as ideias.

[0022] Mancais aerostáticos como selos e mancais têm o potencial para revolucionar o projeto fundamental dos equipamentos turbo.

[0023] Selos hidrostáticos porosos não são de difícil fabricação. Uma camada de meio poroso geralmente entre 0,020 e 0,2 polegadas [cerca de 0,508 e 5,08 milímetros] de espessura, encolhida para se encaixar e/ou colada em um invólucro não porosa com um labirinto de distribuição de ar entre as duas camadas e um acabamento de perfuração na superfície do meio poroso de diâmetro apropriado para o munhão ou então um acabamento plano para a superfície de pressão é tudo o que é necessário. Geralmente as aberturas de ar têm entre 0,0001" e 0,001" [cerca de 0,0025 mm e 0,025 mm] com a energia absoluta [sheer energy] e o fluxo através da abertura sendo ambos funções quadradas e cúbicas da abertura. O fluxo através do meio poroso é determinado pelo fluxo desejado através da abertura e é geralmente cerca de duas vezes o fluxo desejado com o eixo ou a superfície de pressão em seus lugares. Conforme aumenta a velocidade do eixo, aumenta a espessura ideal da abertura deve também aumentar a fim de minimizar o acúmulo de calor por meio de perdas de energia absoluta. As equações usadas para determinar isto são geralmente conhecidas do estado da técnica.

[0024] A tecnologia moderna de mancais aerostáticos quando aplicada em equipamentos de turbo tem aplicações muito interessantes na substituição de mancais e selos convencionais (eliminado

óleo, e melhorando a eficácia). O descritivo que segue revela isto por meio de vários modos de execução.

[0025] A fim de se executar uma vedação, um material poroso, que compreende um lado de duas superfícies opostas, é usado para restringir e distribuir de modo uniforme gás, líquido, vapor, etc. pressurizados externamente, entre as duas superfícies, imprimindo uma força que é oposta às forças das diferenças de pressão ou molas que estão tentando unir as duas faces e pode assim criar um selo sem contato que é mais estável e confiável do que os selos hidrodinâmicos correntemente em uso. A pressão aerostática pode ser ajustada ao ponto onde as duas faces estejam completamente descarregadas e com pressão de contato zerada entre as duas faces ainda que as faces estejam em contato muito próximo. Devido às faces estarem em contato, há aproximadamente um fluxo zero através da abertura e haverá a linha de pressão sendo alimentada ao material poroso entre as duas faces. Essa força de contato pode ser facilmente ajustada ao se variar a pressão de entrada para reduzir o desgaste e calor gerados pelo atrito em selos de contato convencionais.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0026] Modos de execução preferenciais da presente invenção serão apresentados em maiores detalhes fazendo-se referência aos desenhos, em que:

[0027] 1A - Selo seco a gás de face única simplificado

[0028] 1B – Elemento de rotação de face única flexível

[0029] 1C – Imagem do estado da arte sem descrição

[0030] 1D – Selo mecânico de face em tandem no modo de execução preferencial

[0031] 1E – Primário estacionário flexível com força de fechamento a ar ajustável

[0032] 1F – Primário estacionário flexível com força de fechamento mecânico apenas

[0033] 1G - Primário estacionário flexível com toróide

[0034] 2A – Selo seco a gás simplificado duplo oposto

[0035] 2B – Elemento de rotação flexível com preferência de duplo oposto

[0036] De 2C-1 até 2C-4 – selos secos a gás porosos versus hidrodinâmicos

[0037] 2D – Gráfico da carga por elevação para selos aerostáticos porosos

[0038] 3A – Selo seco a gás circunferencial

[0039] 3B – Método de montagem para selo circunferencial

- [0040] 4 – Selo de lâmina única
- [0041] 5A – Descrição detalhada do estado da técnica
- [0042] 5B - Selos secos a gás que elimina selos, modo de execução preferencial
- [0043] 6A – Selo de múltiplas lâminas
- [0044] 6B – Flexão paralela, motores aéreos
- [0045] 6C – Vista aproximada da flexão paralela
- [0046] 7A e 7B – Compensação de selo angular
- [0047] 7C - Compensação de selo angular e axial
- [0048] 8 - Compensação de selo angular, axial e radial sem saída de ar
- [0049] 9 – Axial angular radial fonte única
- [0050] 10 - Axial angular radial com saída de ar
- [0051] 11A – Desenho de selo de força balanceada
- [0052] 11B – Exemplo de selo de força balanceada
- [0053] 12 – Método para fazer selos com ampla capacidade de temperatura

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DOS MODOS DE EXECUÇÃO PREFERENCIAIS

[0054] Modos de execução preferenciais da presente invenção serão descritos em maiores detalhes com referência aos desenhos, em que cada numeral de referência semelhante refere-se a elementos semelhantes em todos os modos de execução.

[0055] Com referência à figura 1A; um eixo 101 que pode rotacionar em alta velocidade possui uma corrediça 110 acoplada ao eixo por meio de um anel O-ring 111 (ou outro mecanismo de montagem como descrito na figura 1B ou outras configurações detalhadas neste descritivo ou conhecidas do estado da arte). Anéis O-ring provêm compensação axial à corrediça permitindo o autoajuste da abertura entre ela e a face fixa e deslocamentos axiais do eixo. Se a corrediça é montada de modo de bem firme no eixo, alguma compensação axial terá que ser projetada nos componentes fixos. A corrediça é livre para se mover radialmente sobre o filme de ar. Selos mecânicos convencionais como mostrado na figura 1B geralmente têm um mecanismo de carga de mola para forçar as faces opostas do selo a entrarem em contato. Essa técnica é bem conhecida na arte e pode ser empregada para ajustar a carga nas faces do selo e prover compensação axial. O numeral 103 representa o volume em um lado do selo, que poderia ser um invólucro de câmbio, um invólucro de geração



motriz, ou um fluido de processo ou gás tal como um misturador, purificador, uma bomba de água ou um compressor de tubulação de gás, ou um selo entre compartimentos em uma parte do um equipamento rotativo, como exemplos. O numeral 104 representaria a caixa ou invólucro. Poderá ou não haver uma placa de adaptação como mostrado por 205 na figura 2A. O corpo do selo 109 em si estaria possivelmente montado no invólucro ou placa de adaptação com o selo O-ring 105. O corpo do selo na figura 1A refere-se a um selo que seria carregado de modo leve, cumpre ressaltar que o corpo do selo e sua montagem precisam ser suficientemente rígidos para que não apresente um desempenho significativamente baixo sob as diferenças de pressão que estão sendo seladas. O corpo do selo é equipado com passagens de condução 106 para fazer a comunicação do fluido pressurizado para o labirinto 108, que distribui de modo uniforme o fluido pressurizado na porção traseira do meio poroso 107. O meio poroso 102 pode consistir de grafite, carbono, carbetto de silício, carbetto de tungstênio, óxido de alumínio ou basicamente qualquer material poroso ou sinterizado. Esses materiais são tipicamente encontrados como selos de face e selos mecânicos e como corredeiras e faces de corredeiras em selos secos a gás. Em vez de apenas preencher ou selar essa porosidade, a porosidade é usada com função de mancal aerostático. A compensação de mancal aerostático com meio poroso é apenas uma solução em potencial, compensação por orifício, etapa, ranhura, inerente ou por bolso, entre outras técnicas de compensação conhecidas do estado da técnica podem ser empregadas. Mancais porosos são conhecidos do estado da arte e foram descritos pelo inventor em outros pedidos de patente. Ademais, métodos para prover fluidos limpos sob pressão são bem conhecidos e prontamente disponíveis. Em 100 B, a diferença de 180 é que o eixo 101 está equipado com uma luva 112 que está fixa no eixo e um elemento de mola 113 atua na corredeira ou anel correspondente contra a face porosa do selo e/ou o anel primário.

[0056] O tamanho da abertura é uma função da pressão hidrostática de entrada, as forças que impelem as faces a se unir (a partir de diferenças de pressão, forças de molas, forças dinâmicas, etc.), a restrição do meio poroso e a proporção da área de superfície para a borda de vazamento das superfícies. Essas variáveis podem ser controladas para criar selos sem contato altamente eficazes.

[0057] Com referência à figura 1C; um eixo 151 para uma parte de um equipamento rotativo tal como um compressor ou uma turbina é envolvido com uma luva e um anel de encontro 152, que coopera com um anel primário 150. O invólucro do compressor 153 recebe o selo cartucho 159

conforme é comum na arte e detalhado pela API norma 682. A face porosa 154 do anel primário, que não rotaciona, recebe pressão através do selo cartucho. Quando o anel primário é configurado para ser um "elemento flexível", aquela pressão pode ser introduzida através de um orifício 155 em uma câmara 157, que é selada com anéis O 156, assim como também descrito na ilustração 160, 170, 180 ou com um método já conhecido da arte, incluindo um tubo que seria atarraxado diretamente no anel primário (não mostrado aqui, mas vide ilustração 350). Uma força elástica que mantém o anel primário do mancal aerostático pressionado contra seu anel correspondente em rotação é aplicada através de uma mola 158 ou uma flexão do tipo diafragma, que é conhecida do estado da arte, e/ou métodos que usam pressão atmosférica, dentre os quais, dois serão descritos abaixo. Em um selo em tandem, a mesma descrição é repetida com relação ao selo secundário.

[0058] Na figura 1D, um anel primário 169 com uma face porosa 160 e uma câmara para distribuir pressão atmosférica por detrás da face porosa 161 está contido dentro de um selo cartucho por anéis O-ring 162. o orifício 165 distribui o ar da câmara 167 onde a pressão é introduzida pelo orifício 168. O numeral 166 é uma mola ou diafragma que provê uma força elástica que empurra o anel primário contra seu anel correspondente. É desejável que o anel primário seja sempre empurrado contra seu anel correspondente para evitar potenciais vazamentos. Um "hang up" do selo acontece quando o anel de compensação não é impelido com força contra seu anel correspondente por algum motivo. Isso permite refluxos indesejáveis. A fim de evitar os "hang ups", a pressão atmosférica sendo alimentada à face do selo pode também se empregada na porção traseira, neste caso, do anel primário. As diferenças de diâmetros entre 163 e 164 podem ser projetadas de modo a manter as forças de fechamento desejadas entres as faces de selagem. Desse modo, conforme a queda de pressão através do meio poroso fica provavelmente na ordem de 50% se a área descrita no diâmetro de 164 for igual a 50% da área na face de selagem, as forças seriam iguais. Isto não leva em consideração as forças advindas de outras diferenças de pressão ou das molas de compensação ou flexões, que também devem ser consideradas e projetadas conforme um técnico no assunto faria muito bem.

[0059] Na figura 1E, um anel primário 179 com uma face porosa 170 e uma câmara para distribuir pressão atmosférica por detrás da face porosa 171 é comprimido entre anéis-O 172 dentro do selo cartucho. A entrada de pressão atmosférica para o funcionamento do selo através do orifício 178 é conduzida para o orifício 175 antes de chegar à câmara 171. A saída 173 é usada para garantir que

a pressão destinada para a face de selagem fique isolada, exercendo uma força na porção traseira do anel primário. Desse modo, apenas as forças da mola ou do diafragma irão impelir o anel na direção do anel correspondente.

[0060] A figura 1F mostra um anel primário 189 com uma face porosa 180 e uma câmara para distribuir ar por detrás da face porosa 181 e é comprimido no selo cartucho por meio de um anel O-ring 182 e um toróide 183 (um segmento de uma esfera ou de uma curva com diâmetro constante) coopera com um ajuste estreito dentro do diâmetro do selo cartucho 184. Pressão atmosférica para o selo é introduzida pelo orifício 188 e se comunica com o orifício 185 através da câmara 187 e pelo labirinto 181 e então para o meio poroso 180.

[0061] Conforme mostrado na Figura 2A, um eixo que pode rotacionar em alta velocidade 201 possui uma corrediça 214 acoplada a ele por meio de um anel O-ring 211, anéis O-ring ou outros mecanismos de montagem como descritos nas outras figuras anexas. Anéis O-ring provêm compensação axial à corrediça para permitir que ele encontre o centro entre as faces de selagem e prover pequenos deslocamentos axiais do eixo. Se a corrediça for montada de modo bem fixo ao eixo, é preciso que um pouco de compensação axial seja projetada nos componentes estacionários. A corrediça é livre para se mover radialmente entre os filmes de ar. O numeral 202 representa um volume em um lado do selo, que poderia ser um invólucro de câmbio, um invólucro de geração motriz, um gás ou fluido de processo tal como um misturador, purificador, uma bomba d'água ou um compressor de tubulação de gás, como exemplos. O numeral 203 representaria a caixa ou invólucro. O numeral 205 ilustra que poderá haver uma placa de adaptação que empregaria um selo do tipo anel O-ring estacionário 204. O corpo de solo em si com montagem até o invólucro ou placa adaptadora como mostrado incluindo um possível selo do tipo anel O-ring 206 naquela interface. O selo em si compreende dois anéis 213 e 216 com faces de selagem anulares e opostas 212. Os anéis são separados por um espaçador 215, que possui dimensões axiais similares à corrediça 214. O espaçador também provê uma saída ou escoamento 208 para a atmosfera para que a pressão não se acumule no volume entre as superfícies de pressão 209. O espaçador pode ser ligeiramente maior do que a corrediça ou ligeiramente menor do que a corrediça dependendo dos objetivos dos projetos. Um espaçador maior permitiria uma folga maior, um espaçador menor proveria uma funcionalidade de grampeamento caso haja perda de pressão hidrostática, nesse caso, e com a corrediça fixa ao eixo, o selo agiria como um selo de contato convencional. Os anéis 216 e 213, que são constituídos

de material não poroso ou são selados com exceção das faces de selagem desejadas, provêm a condutividade do fluido hidrostático através do orifício 207 e um labirinto 210 para distribuir de modo uniforme dito fluido na parte detrás do meio poroso ou uma área próxima das faces desejadas. O meio poroso 212 pode consistir de grafite, carbono, carbetto de silício, óxido de alumínio ou basicamente qualquer material sinterizado. Esses materiais são comumente encontrados como selos de faces e selos mecânicos e como corrediças e faces de corrediças e selos secos a gás. Em vez de apenas preencher ou selar essa porosidade, ela é usada para funcionalidades de mancal aerostático. A compensação de mancal aerostático com meio poroso é apenas uma potencial solução, compensação por orifício, degrau, ranhura, inerente ou por bolso, entre outras técnicas de compensação conhecidas do estado da técnica podem ser empregadas. Selos aerostático porosos são conhecidos da técnica e estão descritos pelo inventor em pedidos anteriores. Métodos para prover fluidos limpos sob pressão também já são bem conhecidos e prontamente disponíveis.

[0062] Na figura 2B, o eixo 221 para uma parte de um equipamento turbo possui um selo cartucho 222, e dentro do cartucho há um anel correspondente 223 que, neste caso, é um elemento rotatório flexível. O anel correspondente como mostrado faz parte integrante de uma luva, mas a luva e o anel podem ser componentes distintos. O anel correspondente com uma luva é sustentado axialmente no eixo por meio de Molas 232 e os anéis correspondentes 223 e 233 são travados unidos um ao outro por meio do anel de grampeamento 237. O anel correspondente 223 é disposto contra um anel primário estacionário 229 que, neste modo de execução preferencial, tem uma face de selagem porosa 224 e o labirinto necessário 226 e um orifício de entrada 227 para criar uma abertura hidrostática eficaz usando o meio poroso 225 como o elemento de restrição. Neste modo de execução, como um exemplo de um selo duplo, há um segundo anel correspondente 233 e uma segunda face de anel primário 230 no lado oposto ao 229 da outra face do anel primário do mancal. Ambos os sistemas de mancais recebem pressão externa e são ventilados usando os mesmo sistemas e portas. O volume entre as faces do selo 224 e 230 é ventilado através do orifício 228, prevenindo um acúmulo de pressão nessa região. O mesmo acontece com as faces dos selos 230 e 231, que também são ventiladas. Cumpre ressaltar que um pouco do fluxo que sai pela abertura do selo 224 irá fluir para o lado do processo. A quantidade dependerá das diferenças de pressão. Assim, se o volume 234 for pressurizado a 1.000 PSI e o fluxo saindo pela saída estiver sob pressão ambiente, a maior parte do fluxo sairá pela saída em vez que entrar para o processo. A alimentação

de pressão para o meio poroso 225 dever ser de 4 a 6 bar acima da pressão que ele está selando, assim, de 1.060 a 1.090 PSI. É obviamente possível regular uma pressão em cascata em cada uma das faces sucessivas de modo a diminuir a pressão gradualmente entre das etapas. Se cada etapa tem uma queda de pressão de 1.000 PSI, o selo poderia selar de modo eficaz 3.000 PSI.

[0063] A novidade aqui, independentemente do uso de um meio poroso, é que as aberturas de vedação dos mancais entre as faces dos selos porosos em 229 nas superfícies internas dos anéis correspondentes que estão de frente uma para a outra 223 e 233 são fixados na montagem. Não se trata de um ajuste de mola carregada, então não há a possibilidade de um "hang-up", conforme observado como o problema principal no estado da arte atual pela patente de Nº 7,823,885 de Droscher, que deixa as faces de selagem abertas. A robustez dessa tecnologia de mancal aerostático como selo de meio poroso significa que mesmo que os anéis correspondentes travem no eixo e não haja o deslocamento axial do eixo com relação ao selo cartucho, as faces de selagem não serão materialmente danificadas e a luva do anel correspondente se moverá no eixo. Esse efeito pode ser aumentado ao se adicionar mais faces de anéis primários e correspondentes, a face do selo 231 no anel primário 236 é um exemplo disso. A espessura de 235 é ajustada ainda na montagem. Adicionalmente, outra face de selagem de carbono poroso poderia ser disposta no lado oposto do anel correspondente 223 no espaço descrito por 234. Isto decorre de maneira lógica da descrição da ilustração 600.

[0064] Cumpre notar que a API sugere várias configurações distintas para selos e que tais configurações incluem os selos face-a-face, costas-a-costas, duplo oposto, selos em tandem. Em alguns casos, elementos flexíveis giram sobre o eixo e em outros casos elementos flexíveis são integrados no estator. Deseja-se, e está aqui ilustrado, que essa tecnologia de mancal aerostático poroso pode ser empregada nas faces de todas as configurações de selos.

[0065] As figuras 2C-1 à 2C-4 servem para ilustrar as vantagens dos mancais aerostáticos como selos de meio poroso pressurizados externamente em relação aos selos hidrostáticos em aplicações de selos secos a gás. Na figura 2C-1, vemos a introdução de um selo seco a gás sob uma pressão maior do que o gás de processo no orifício 253, a corrediça 252 rotacionando em alta velocidade com o eixo 251 tem características aerodinâmicas 254 gravadas em suas faces para auxiliar no estabelecimento de um filme de selagem em cada lado da corrediça. O gás do selo flui para dentro da abertura a partir da borda externa 255 através das aberturas para sair pela borda de menor

pressão 256. Na figura 2C-2, uma alteração axial ou angular no eixo com relação ao estator faz com que a abertura em um dos lados fique menor 257, assim como faz com que a abertura no outro lado fique maior 258. Cumpre ressaltar que a dureza dos filmes de ar resistiriam a tal movimento, mesmo assim tais movimentos ocorrem. A esta altura, o fluxo do gás de selagem para a lateral com a abertura menor 257 seria reduzido conforme a pressão tomasse o caminho de menor resistência que é a abertura maior 258 no lado oposto. Nesse caso, em que a corrediça está mais próxima da superfície contraposta, o fluxo é restringido e há um fluxo menor para dentro da área onde gostar-se-ia de ter uma pressão maior a fim de evitar contato. No ponto de contato, a passagem de toda pressão e fluxo será pelo lado da abertura grande 258, levando a corrediça para o lado oposto 257. Esta é uma situação instável. Ainda que as características hidrodinâmicas possam estar tentando bombear pressão atmosférica para dentro dessa área, é difícil fazer com que ar flua pela abertura menor especialmente se a alteração foi axial e não angular.

[0066] Na figura 2C-3, gás de alta pressão é introduzido pelo orifício 259, na câmara 260, depois através do meio poroso 261, que restringe a entrada do fluxo na abertura do selo 262, não há características gravadas na corrediça 163. Com uma alteração axial ou angular semelhante na posição da corrediça em direção a uma das faces de selagem 263, a pressão de selagem na abertura em 263 irá aumentar automaticamente até que a corrediça entre de fato em contato, e neste momento a pressão que está tentando sair do meio poroso irá se aproximar da pressão de entrada. A força relativa entre a corrediça e a face de selagem é mitigada pela pressão que está tentando sair da face de selagem em 263. E ao mesmo tempo, o lado oposto 264 tem uma pressão menor já que a abertura é maior e a restrição está vindo do meio poroso em vez da borda da abertura, assim a abertura maior resulta em menor pressão. Isso resulta em uma situação naturalmente estável onde o lado com a abertura menor está sempre construindo a pressão maior e o lado com a abertura maior tem a menor pressão. Nos selos aerodinâmicos ilustrados em 2C-1 e 2C-2 o oposto é que ocorre.

[0067] Ao olharmos para a figura 2D é possível ver que a dureza de um filme de ar de mancal aerostático muda com sua espessura. Quanto mais fina for a abertura de ar maior será a dureza. O gráfico da figura 2D é uma curva da relação de carga por elevação; a inclinação da curva representa a dureza do mancal naquele ponto. Uma linha horizontal representa dureza zero (0) e uma linha vertical representa dureza infinita. Independentemente de se estar lidando com um orifício na face

de um mancal pressurizado externamente ou com uma abertura no perímetro de um mancal aerodinâmico, quanto menor for a abertura, mais difícil será conseguir ar suficiente para ser distribuído por toda a superfície do mancal. Com o selo poroso, o ar está sendo emitido a partir de toda a face do mancal diretamente para dentro da abertura, não há problema em se tentar conseguir que o ar passe a fluir através da abertura. Isso faz com que o mancal poroso seja um mancal seco a gás mais resistente. Adicionalmente, cumpre observar que o fluxo através da abertura é uma função cúbica da abertura, assim, dobrar a abertura resulta em um aumento de oito vezes do fluxo. A estabilidade de mancais porosos viabiliza tais aberturas pequenas com um alto grau de segurança e confiabilidade e são preferíveis.

[0068] Como visto na figura 3A, um eixo 301, que pode rotacionar em altas velocidades, é rotacionado dentro de um mancal de selo cilíndrico estacionário 310. Contaminação ou pressões que existem no volume 308 são seladas e vetadas a passagem para dentro da abertura 309 por meio de pressão hidrostática que está saindo da abertura 309. A caixa ou invólucro representada por 311 pode ser equipada para receber o mancal de selo cilíndrico estacionário diretamente ou um bloco de adaptação 315 pode ser usado, neste caso, um anel O-ring 313 proveria um selo estático naquela interface. Neste modo de execução, é preferível que se tenha um retentor 303 no lado de baixa pressão do selo e a uma folga 302 deve ser provida entre este retentor no eixo. Uma passagem 306 é necessária para conduzir fluido de alta pressão até o conjunto de selo cilíndrico. Anéis O-ring 312 podem prover múltiplas funções, uma dessas funções é selar a câmara 307 para que esse fluido de alta pressão possa ser conduzido para dentro do corpo do selo 310 através de um único buraco 306 sem que seja preciso conectar um adaptador diretamente no corpo do selo. Esses anéis O-ring também podem ser usados para prover compensação radial e angular, o eixo fica completamente livre para se mover axialmente sobre o filme de ar. Os anéis O-ring 312 também podem ser usados para conter epóxi, que pode ser injetada através de um furo 314, que irá preencher a abertura cilíndrica 304 entre o bloco de montagem e o corpo do selo que está montado sobre ele de modo sulcado se desejado for. Com a presença de pressão atmosférica, o selo irá se alinhar com o eixo, que deveria ser mantido na posição da linha central da máquina conforme o epóxi seca, fixando de modo seguro o selo em posição. (vide informações sobre montagens de mancais aerostáticos da New Way).

[0069] O fluido de alta pressão que está entrando pela abertura 306 e fazendo seu caminho através

do furo no corpo do selo será distribuído axial 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 meio poroso seja o modo de execução preferido, outros métodos de compensação são possíveis. Compensação de mancal aerostático por meio poroso é apenas uma solução potencial, compensação do tipo por orifício, degrau, ranhura, inerente ou em bolso, entre outras técnicas de compensação conhecidas na arte podem ser empregadas. Mancais aerostáticos porosos são conhecidos na arte e são descritos pelo inventor em pedidos de patente anteriores. Ademais, métodos para prover fluido limpo sob pressão são bem conhecidos e amplamente disponíveis. O meio poroso 316 pode conter grafite, carbono, carbetto de silício, óxido de alumínio ou basicamente qualquer material poroso ou sinterizado. Esses materiais são comumente encontrados como selos de face e selos mecânicos e como corredeiras e faces de corredeiras em selos secos á gás. Em vez de apenas preencher ou selar essa porosidade, que é uma prática comum, a porosidade é usada com função de mancal aerostático.

[0070] Com referência à figura 3B, há um eixo 351 e um invólucro 352, que estão acoplados por meio 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) um pouco mais curto axialmente, é acoplado ao eixo 351 através de um filme de ar de alta pressão, que sustenta o selo 355 de modo sem contato com relação ao eixo. Assim o eixo pode rotacionar em altas velocidades com virtualmente nada de torque transmitido ao selo por causa das baixas forças de cisalhamento na abertura de ar, mas o selo pode acompanhar o movimento do eixo sem contato devido à dureza radial do filme de ar. Os foles mecânicos permitem que o selo acompanhe o eixo ao invés de mantê-lo de modo fixo acoplado ao invólucro. Métodos adicionais para prover compensação são detalhados nas ilustrações de 700 a 1.000.

[0071] Ao contrário de selos tipo labirinto, mancais de vedação cilíndricos são acoplados ao eixo através da rigidez do filme de ar. No exemplo 350, a bucha de vedação é sustentada pelo eixo giratório que ela está vedando. Isso permite a eliminação de problemas de alinhamento em selos do tipo labirinto. O selo é estacionário com relação ao estator e conectado a ele através de algum tipo de arranjo de foles flexíveis 354, diafragma ou anel-O axial com exemplos de montagens de compensação. Seria também possível usar um selo circunferencial e montá-lo entre selos de faces



axiais como descrito na figura 200 e 800.

[0072] Isolantes de mancais que se parecem com as figura 2A, 3B ou 7-10 podem ser encontrados em Garlock, Waukesha e Crane e são exemplos de outros fabricantes de selos que empregam montagens de compensação que possibilitam a mudança de centro do eixo, movimentações angulares do eixo e deslocamentos axiais. Em alguns casos, esses isoladores de mancais usavam ar ou água pressurizados através de uma ranhura anular não compensada para ajudar a fazer efeito sobre o selo, os quais são caracterizados por fluidos altos e baixas pressões devido às suas largas aberturas e falta de compensação.

[0073] Um eixo 401 que pode rotacionar em alta velocidade possui uma corrediça de lâmina 405 acoplada a ele usando um anel de montagem 413 que é afixado ao eixo por parafusos de fixação 403 e/ou um retentor de esferas. Um anel O-ring 410 pode ser empregado para selar a folga em 402. Poderá notar-se que há duas ilustrações na figura 4; na vista A, a lâmina 405 não está de frente para a face de selagem porosa do selo e a abertura 406 permite uma vista da corrediça de lâmina 405, na vista B, a corrediça de lâmina está em posição e a abertura 406 entre a corrediça de lâmina e a face porosa 412 está como estaria se estivesse em funcionamento, menos do que 25 micra. A própria lâmina pode ser acoplada diretamente no retentor de esferas se o eixo também estiver equipado com um retentor de esferas (um retentor de esferas seria a face axial criada por um passo no diâmetro) vide 600. A corrediça de lâmina é caracterizada por ser fina axialmente e por isso diferente das corrediças convencionais. A corrediça de lâmina pode ser de qualquer espessura, mas terá provavelmente entre 0,1 e 1 mm de espessura. Esta corrediça de lâmina tem a vantagem de ser leve e por isso tem um efeito mínimo no momento de inércia do eixo e em desequilíbrios potenciais causados pela corrediça. Por conta de pressão a ser selada no volume 401 ser igual em qualquer lugar do volume, ela age de modo não uniforme na porção posterior da flexão da lâmina, forçando-a contra a face do mancal de selo com uma força de área por unidade constante. Por este motivo, não é necessário ter uma corrediça pesada e rígida conectada ao eixo. A abertura 406 irá variar, mas uma força igual a e forças opostas presentes no volume 404 serão geradas na abertura de ar. Este modo de execução poderá ser muito adequado para substituir selos do tipo escova especialmente em turbinas projetadas como turbinas aéreas, uma vez que selará de modo mais eficaz, terá atrito ou desgaste zero ou pelo menos relativamente baixo e ocupará consideravelmente menos espaço axial.

[0074] Gás de alta pressão com alguns bars mais alto do que o presente no volume 404 é introduzido pelo orifício 408, que conduz a pressão à câmara 409, que distribui a pressão atmosférica de modo uniforme na porção de trás do meio poroso 412 que irá criar uma pressão na abertura 406 em sua face e entre as corredeiras 405.

[0075] O volume 404 representa um volume em um lado do selo, isso poderia ser um invólucro de câmbio, um invólucro de geração motora, ou um gás ou fluido de processo tal como um misturador, um purificador, uma bomba d'água ou tubulação de gás, ou um selo entre compartimentos, propulsores ou etapas em uma parte de um equipamento de rotação, tipo um compressor, como exemplos. O numeral 414 representaria a caixa ou invólucro. Poderá ou não haver uma placa de adaptação como mostrado na figura 200 e numeral 205. O corpo do selo em si 411 seria provavelmente montado na caixa ou invólucro ou na placa de adaptação com um selo do tipo anel O-ring 407. O corpo do selo na ilustração 100 refere-se a um selo que seria carregado de modo leve, cumpre reconhecer 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.

[0076] No estado da arte da figura 5A, um compressor centrífugo convencional emprega um sistema de selagem e de mancal aqui descrito (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 do tipo labirinto 502, para dentro do selo cartucho 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 do orifício 524, a maior parte desse gás flui de volta para o lado do processo uma vez que o selo labirinto possui 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 sai finalmente pela saída 510. Em seguida, há um gás de selagem ou gás inerte introduzido pelo orifício 512, assim como anteriormente, 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 do orifício 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 vai para dentro da câmara do mancal 520. Assim tem-se gás de processo e gás tampão fluindo para fora pela saída 510 que é então misturado 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, 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 para dentro dela através do orifício 522, o óleo precisa em seguida ser retirado através do orifício 523 (que pode estar posicionada na porção inferior), precisa ser filtrado e esfriado para que se controle sua viscosidade, o que é importante por conta de ser muito sensível à temperatura. Com todos aqueles canos saindo e entrando de cada extremidade do compressor, mais de um operador pensou estar de frente com uma medusa.

[0077] No modo de execução preferido mostrado 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 sustentando o eixo do compressor. Em vez de gás, mancais que operam no gás sendo comprimido no compressor são usados para criar um mancal aerostático como suporte 560 para o eixo 551. O cartucho do mancal 555 e a câmara do mancal ou do selo no invólucro do compressor 554 podem ter novos designs para se beneficiar dos designs mais compactos que já são possíveis, mas isso não é necessário uma vez que o cartucho do selo pode ocupar o mesmo espaço do que o cartucho do óleo.

[0078] O modo de execução preferido é usar uma restrição de meio poroso 558 na face do mancal aerostático de pastilha flutuante 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 por sua vez bombeado para dentro dos mancais 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, está muito abaixo do gás tampão necessário 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 pelo orifício 556, para dentro do mancal 560, distribuído para o labirinto 557, restringido pelo meio poroso 558 e finalmente sai sob pressão pela restrição final do mancal, a 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.

[0079] Todas as saídas são eliminadas, não há porque haver um fluxo de processo para dentro da câmara do mancal se não há 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 pode significar o dobro do custo do selo. Aumenta-se também a segurança, já que ao se eliminar saídas, também se elimina a possibilidade de embarcar oxigênio nos gases inflamáveis que estão sendo comprimidos ou permitir que gases perigosos escapem.

[0080] A dinâmica do rotor é aperfeiçoada de modo expressivo com o uso desta invenção, o comprimento do eixo que era anteriormente utilizado em selos pode ser eliminado, enrijecendo de modo substancial o eixo 551. O diâmetro do eixo pode ser aumentado por conta da capacidade de maiores velocidades dos mancais a gás, o que novamente enrijece o eixo provendo mais área para se pressionar o filme dentro do mancal a gás.

[0081] 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 na qual o compartimento do selo pode operar. Mancais a gás podem operar nas faixas mais extremas possível, desde a criogenia até vapor super aquecido. Cumpre ressaltar aqui que técnicas convencionais para colar o meio poroso 558 nas

caixas de aço inoxidável ou alumínio dos mancais 560 não é adequado em temperaturas extremas. [0082] O compressor, ou também no caso de uma turbina a gás ou gerador de grandes dimensões, terá o rotor sustentado por um filme 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.

[0083] Por causa das excelentes propriedades aerodinâmicas disponíveis na face porosa polida, a pressão externa para o mancal pode ser com frequência interrompida quando o compressor ou uma máquina turbo já tiver alcançado uma velocidade suficiente, já que nesse ponto o eixo estará sendo sustentado por meio dos 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 o funcionamento 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 de tribologia do eixo de aço numa 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 ter uma vida útil aceitável como mancais de deslizamento nos ciclos de início e final.

[0084] 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 é de 200 bar, então os mancais poderiam ser alimentados com 106 bar e o fluxo através desses mancais se torna o gás tampão. Mancais que operem em um ambiente de 100 bar, de fato só observarão uma diferença de 6 bar de pressão.

[0085] Como mostrado na figura 6A, um eixo 601 que pode estar girando em alta velocidade tem conectado a si múltiplas lâminas finas como descrito na figura 400 acima. Essas lâminas 614 são fixadas no eixo 601 por meio de um retentor e parafuso 616 e são apartados um do outro por meio de anéis de separação de precisão 615. Os mancais porosos 604 são conectados ao Estator 603 por meio de um retentor e parafuso 612. Os selos porosos 604 são também separados por espaçadores de precisão 605 aproximadamente com o mesmo tamanho ou levemente mais espessos, mas preferencialmente não mais do que 10  $\mu$  de espessura do que as corredeiras de lâmina. Há uma folga 610 entre o diâmetro interno selos porosos e o diâmetro externo no eixo. Há uma folga

complementar 611 entre o diâmetro externo das corredeiras de lâmina e o diâmetro interno do estator. Essa folga provê o movimento radial do eixo. Se existe um diferencial de pressão entre o volume 602 e o volume 609, por exemplo, uma pressão maior no volume 602, essa pressão irá agir contra a primeira corredeira de lâmina forçando-a de contra o primeiro selo poroso. Mas devido a uma pressão maior estar sendo introduzida através das portas 606 e essa pressão ser conduzida de modo circunferencial pela ranhura 607 e depois de modo radial através do selo poroso pelo 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 funciona também como um selo.

[0086] Com relação à ilustração 6B; esse modo de execução é também pertinente a motores aéreos e são também encontrados em aviões a jato ou turbinas a gás que empregam escovas de vedação ou selos tipo bomba centrífuga. 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 resolvidos 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 corredeiras que são montados de modo flexível ao eixo usando tecnologia de flexão paralela. Essas corredeiras 656 cooperam com um selo estacionário 653 que, nesse modo de execução preferível, usa compensação por meio poroso 654. A parte estacionária do selo é montada no invólucro do motor/compressor /gerador 655 usando técnicas convencionais similares ao que teria sido empregado para montar a seção estacionária do selo a base de atrito. Os espaçadores 657 são usados para localizar aproximadamente as corredeiras axialmente com as partes estacionárias do selo e chave de desligamento do 652, que está conectada ao eixo e travada pelo 659. 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 se manter paralelo à face da parte estacionária do selo.

[0087] A figura 6C é uma vista aproximada da corredeira de lâmina flexível do selo mostrando a face de selagem 661, os componentes da flexão 662, um dos furos de passagem para a montagem 663 e a área 664 que foi ou desbastado, fresados ou cortados com solda de corte (EDM) a partir de um sólido de aço inoxidável. Pode haver outras maneiras de se manufaturar uma corredeira flexível.

[0088] Métodos para prover compensação adicional; começando com os modos de execução mais

simples; nas figuras 7A e 7B, temos um eixo 701 de uma parte de um equipamento que contém uma corrediça 711 que tem um diâmetro externo esférico. A corrediça com um diâmetro externo (OD) esférico acopla-se 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 passarem por essas áreas danificadas para se posicionarem. Anéis O-ring podem tolerar esses tipos de pontos salientes devido à sua resistência. Outra vantagem é que isso reduz problemas com tolerância para o encaixe em 705. Isso poderá não representar um problema se o selo cartucho que emprega essa tecnologia for associado com uma luva para o eixo que vai com o selo cartucho. O OD esférico da corrediça se acopla com mancais complementares de formato esférico, que no modo de execução preferencial seria restrito por meio poroso. Mancais aerostáticos esféricos são montados em canga 712 que está dividido verticalmente, tal divisão não é mostrada, e ar é alimentado à parte de trás dos elementos de restrição porosos 703 por meio de um orifício de entrada de ar 706 e labirinto de distribuição 704. Usar esta técnica conforme ensinada possibilitará uma abertura de ar com vários bars de pressão entre o elemento de restrição de carbono poroso 703 e o OD da corrediça esférica 711. Esse filme de ar possibilita um modo, livre de atrito e desgaste, de prover liberdade angular ao eixo e evitar uma constrição demasiada de mudanças angulares no eixo conforme indicado por 713, 707 e 710. O numeral 709 provê uma saída entre os dois mancais esféricos, isso evita um acúmulo de pressão entre os dois elementos de vedação e desse modo os mancais experimentam mais queda de pressão e seu desempenho aumenta.

[0089] Com referência à imagem 7C. O elemento de restrição de meio poroso 751 é ajustado de modo encolhido dentro do invólucro não poroso 752, que ser feito de alumínio, aço ou aço inoxidável ou algum outro tipo de material adequado. Uma câmara 753 compreendendo aproximadamente 50% da área da superfície entre o invólucro e o meio poroso e com uma condutância de pelo menos 10 vezes aquela do fluxo livre através do meio poroso pode ser disposta no ID (diâmetro interno) do invólucro ou OD do meio poroso ou algum dos dois. Um furo de alimentação de ar 754 para a câmara provê fluxo de ar para a câmara e então através do meio poroso e para dentro da abertura do selo. A abertura do selo provê um grau axial de liberdade, mas como observado acima em áreas onde um eixo de precisão não está disponível pode ser inteligente dar preferência aos anéis-O ilustrados em 700 ou ao uso de uma luva para o eixo que vem com o selo cartucho. Cumpre ressaltar

que no modo de execução 750, o eixo pode girar dentro do munhão do mancal de gás e ainda permitir uma liberdade axial do eixo.

[0090] As figuras 8A e 8B mostram um modo de execução apropriado para prover liberdade para os deslocamentos radiais e sem atrito do eixo. Isto é alcançado ao se pegar a canga 824 e 817, também descrita em 700 e 750, e suspendê-la entre as faces de pressão similares àquelas da figura 200. A canga 824 é chaveada com um pino anti-rotação (não mostrado) para evitar ela gire com o eixo. Este pino anti-rotação é provido com folga suficiente para permitir o movimento livre dos componentes com 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 provida com o orifício 807 e a câmara 805 para distribuir a pressão atmosférica para a parte de trás do meio poroso 816. Os colares de pressão 806 podem ser selados na junção 819 por um anel O-ring em uma ranhura tal como a 818. Os mancais a gás esféricos têm uma câmara 804 e um orifício para a entrada de ar 808 e um membro poroso de restrição 803 também como descrito antes nas figuras 700 e 750. Porém, nesse modo de execução não há saídas entre os mancais esféricos, em vez disso, a alta pressão gerada nessa região é usada para conduzir pressão através do munhão sem fazer contato. Pressão externa entra por 810 no invólucro estacionário 822 e depois para a câmara 823, que é selada em todos os lados pelos mancais de pressão, e em seguida, através do orifício 809 para dentro da área entre os mancais esféricos onde ela pode passar sem fazer contato através do orifício 811 para dentro da câmara como descrito em 753, depois através do elemento de restrição 802 para dentro da abertura entre o rotor da face de selagem do elemento de restrição em 814.

[0091] Esse modo de execução provê liberdade axial para o eixo, liberdade angular para o eixo, e deslocamentos radiais do eixo de modo a não haver atrito usando mancais que são também selos em todos os lugares de movimento.

[0092] O eixo 801 pode girar e se mover axialmente dentro do elemento de mancal 802 e da corrediça 826. A corrediça não está acoplada a nada com exceção através de filmes do mancal e assim ela também pode girar. Isso permitiria que elas compartilhassem a velocidade do eixo, assim, para um eixo girando a 20.000 RPMs, 10.000 RMPs poderiam ser pegos pelo munhão 814 de a corrediça estivesse girando a 10.000 RPMs e os outros 10.000 RPMs poderiam ser levados entre os mancais esféricos 803, 815 e a corrediça 826.



[0093] A diferença entre as figuras 8A e 8B e a figuras 9A e 9B é que a entrada para o mancal axial oposto, que provê movimento radial sem atrito para o eixo, teve o orifício 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 específicas, porque a canga está exposta uma carga considerável no que concerne a rigidez das colunas onde a tampa de pressão vê uma rigidez de curvatura do tipo cantilever que não é tão forte. Cumpre ressaltar que em cada uma das configurações 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 de pressão externa, mas mesmo assim os mancais mantêm capacidades de cargas significativas.

[0094] A diferença entre as figuras 8A-9B e figura 10 é que a figura 10 é completamente ventilada, ou seja, todos os mancais a gás vêm a completa queda de pressão entre a pressão externa de entrada e o ambiente ou as pressões de um processo que estão presentes nas bordas de escape dos mancais. Então, 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 furo de passagem 1005 foi perfurado no meio poroso e diretamente para dentro da câmara 1007. Esse furo se alinha de modo aproximado com um furo na canga 1006, que tem um rebaixo 1004 que mantém a condutância entre 1005 e 1006 durante os deslocamentos projetados desse dispositivo de compensação. Ele fica alinhado devido ao pino de anti-rotação descrito na figura 800. O furo 1006 provê condutância de pressão tanto para o elemento esférico do mancal 1003 quanto para o munhão do mancal poroso 1002 por meio do furo de passagem 1010 perfurado na canga 1028, que é depois plugado 1011. O numeral 1010 leva a pressão e o fluxo para a câmara 1020 provendo a pressurização externa para os elementos/mancais esféricos restritivos 1020. O furo de passagem 1010 também se comunica com o furo 1012, que é rosqueado para aceitar um encaixe, o encaixe é conectado a um tubo flexível que provê compensação de movimento na condutância de pressão para ser uma corrediça esférica, que agora é também encaixada na canga para prover uma anti-rotação com relação à canga. A pressão e fluxo para o elemento restritivo de munhão 1002 são providos através dos encaixes 1014, 1016 por meio do tubo 1015 e para dentro da câmara 1030.

[0095] Uma ranhura anular no centro da porção de munhão do mancal a gás provê uma comunicação igual do fluxo do mancal/selo para um furo central de saída. Este é o furo radial na corrediça esférica 1028 e é mostrado próximo ao encaixe 1016. Esse furo faz a exaustão para o espaço entre os mancais esféricos e ambos esses mancais conseguem fazer a exaustão através do furo que os encaixes 1014, 1016 e o tubo 1015 consomem parcialmente. O furo 1013 através do invólucro 1026 provê a exaustão para esses fluxos mais o fluxo das faces axiais opostas 1021.

[0096] A fim de se executar uma vedação, como mostrado na figura 11A, um material poroso 1102 que compreende um lado de duas superfícies opostas é usado para distribuir de modo uniforme pressão hidráulica de uma fonte externa de fluido pressurizado (gás, líquido, vapor, etc.) entre duas superfícies. A pressão é introduzida por 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 molas que tentam unir as duas faces, e a outra face é o lado de selo do 1110. Vide também a figura 100 para a descrição relativa a esta ilustração 1100. Essa pressão hidrostática pode ser ajustada ao ponto onde as duas faces estão completamente sem carga alguma 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 estarem 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.

[0097] Assim, em outro exemplo ilustrativo com referência à figura 11B, se houver 1.000 libras (aproximadamente 453,59 Kg) de força, ou nessa ilustração, uma massa de 1.000 libras representada por 1124 estiver forçando a face do corpo do selo 1123 a se unir com a contra face 1121 e as faces do selo tiverem 10 pol<sup>2</sup> [cerca de 25 cm<sup>2</sup>] de área entre elas e 100PSI de pressão atmosférica for alimentada no orifício 1125 e esta pressão é distribuída pela parte de trás do meio poroso usando uma câmara como já descrito várias vezes antes neste relatório descritivo, a face do selo poroso terá 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 ao se variar a pressão de entrada para reduzir o desgaste e calor gerados pelo atrito.

[0098] Essa técnica combina a alta dureza e o amortecimento de mancais de deslizamento e selos de contato com a capacidade de baixo atrito e alta velocidade de mancais e selos de filme de fluido.

[0099] O meio poroso 102 pode consistir de grafite, carbono, carbetos de silício, carbetos de tungstênio, óxido de alumínio ou basicamente qualquer material poroso ou sinterizado. Esses materiais são geralmente encontrados como selos de faces e selos mecânicos e como corredeiras e faces de corredeiras em selos secos a gás. Em vez de apenas preencher ou selar essa porosidade, a porosidade é usada para conduzir e distribuir de modo igual a pressão hidrostática.

[0100] Compensações por orifício perfurado ou por mancais do tipo por etapa não funcionarão nesta aplicação, já que apenas um meio poroso uniforme é capaz de distribuir de modo uniforme uma pressão hidrostática sem nenhuma abertura. Por exemplo, se empregássemos orifícios, quando as faces estivessem em contato, pressão hidrostática seria aplicada apenas sobre a área dos orifícios.

[0101] Com referência à figura 12, essa é uma ilustração de um mancal radial de pastilhas flutuantes de carbono grafite sólido 1201. Ao fabricá-lo a partir de uma peça única em vez de tentar laminar duas peças juntas, evita-se o problema relativo à junção 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, então, 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 furos de passagem 1203. Esses furos de passagem 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 encarte 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 de pastilhas flutuantes. O numeral 1205 representa um encaixe em alta temperatura já conhecido da técnica. O numeral 1202 representa um diâmetro que seria complementar a um eixo que tal tipo de mancal poderia sustentar.

[0102] É também possível co-esmaltar componentes cerâmicos separados, por exemplo, um invólucro não poroso com uma face de meio poroso. Esse tratamento de co-esmaltar 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.

[0103] Embora modos de execução preferenciais tenham sido descritos em detalhes com referência aos desenhos, os técnicos no assunto que leram a presente descrição irão prontamente realizar que outros modos de execução podem ser executados que estão compreendidos no escopo da invenção, que deverá ser interpretado como estando limitado apenas pelas reivindicações que seguem.

### Reivindicações

1. Conjunto de selo aerostático ou hidrostático compreendendo:

- um eixo rotativo (101) com uma corrediça (110) acoplada ao eixo rotativo;
- um invólucro (104) localizado de modo concêntrico ao eixo e que define uma cavidade (103);
- um corpo de selo anular (109) acoplado ao invólucro;
- sendo que o corpo de selo anular (109) inclui um meio poroso (102, 160, 170) posicionado ao longo da câmara (108, 161, 171) e um orifício conectado à câmara (108, 161, 171), o corpo de selo anular (109) inclui uma passagem de condução (106, 168, 178) para fazer a comunicação de líquido pressurizado com a câmara (108, 161, 171) através da passagem de condução (106, 168, 178), a câmara (108, 161, 171) sendo configurada para distribuir o líquido pressurizado entre a corrediça (110) e o meio poroso (102, 160, 170) para criar um filme anular entre a corrediça (110) e o meio poroso (102, 160, 170), o conjunto de selo sendo **caracterizado por** uma montagem de compensação (111) que é um O-ring acoplado à corrediça (110) ou meios porosos (102, 160, 170), sendo que a montagem de compensação é configurada para posicionar a corrediça (110) e os meios porosos (102, 160, 170) face a face independentemente do deslocamento axial do eixo, sendo que o corpo de selo anular (109) é acoplado a uma extremidade do invólucro (104) que é concêntrica ao eixo (101) com um segundo selo O-ring (105) disposto entre os mesmos de modo que o fluido pressurizado entre o canal (110) e os meios porosos (102, 160, 170) evita que o conteúdo presente na cavidade (103) escape.

2. Conjunto de selo aerostático ou hidrostático, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** os meios porosos (102, 160, 170) ser selecionado de um grupo que contém grafite, carbono, carbetto de silício, carbetto de tungstênio, óxido de alumínio e a combinação desses elementos.

3. Conjunto de selo aerostático ou hidrostático, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** uma placa de adaptação (205) ser posicionada entre o invólucro e o corpo do selo, e um anel O-ring (206) ser posicionado entre a placa de adaptação e o corpo do selo.

4. Conjunto de selo aerostático ou hidrostático, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o meio poroso ser um material sinterizado.

5. Conjunto de selo aerostático ou hidrostático, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** a câmara possuir uma condutância que é pelo menos 9 vezes a de um fluxo

livre através do meio poroso.

6. Conjunto de selo aerostático ou hidrostático, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o líquido pressurizado ser um gás, um líquido ou vapor.

7. Conjunto de selo aerostático ou hidrostático, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** a corredeira possuir uma superfície curvada.

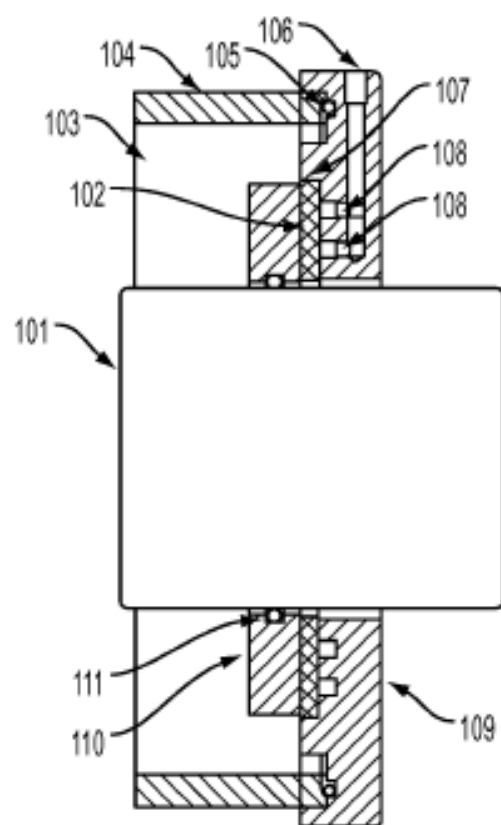


FIG. 1A

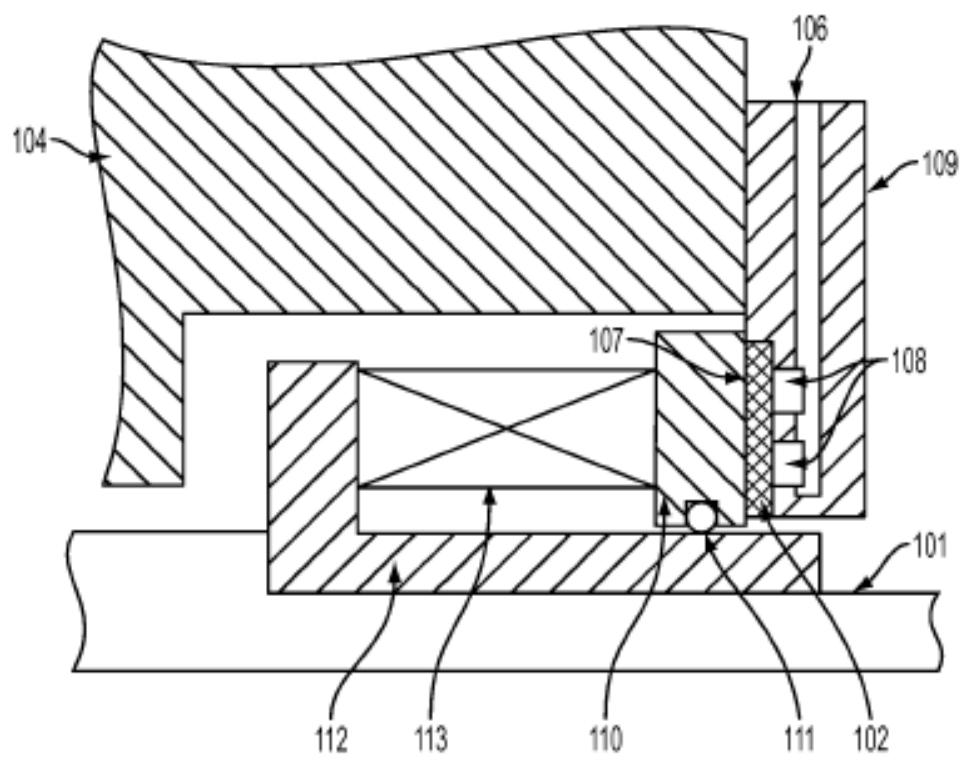


FIG. 1B

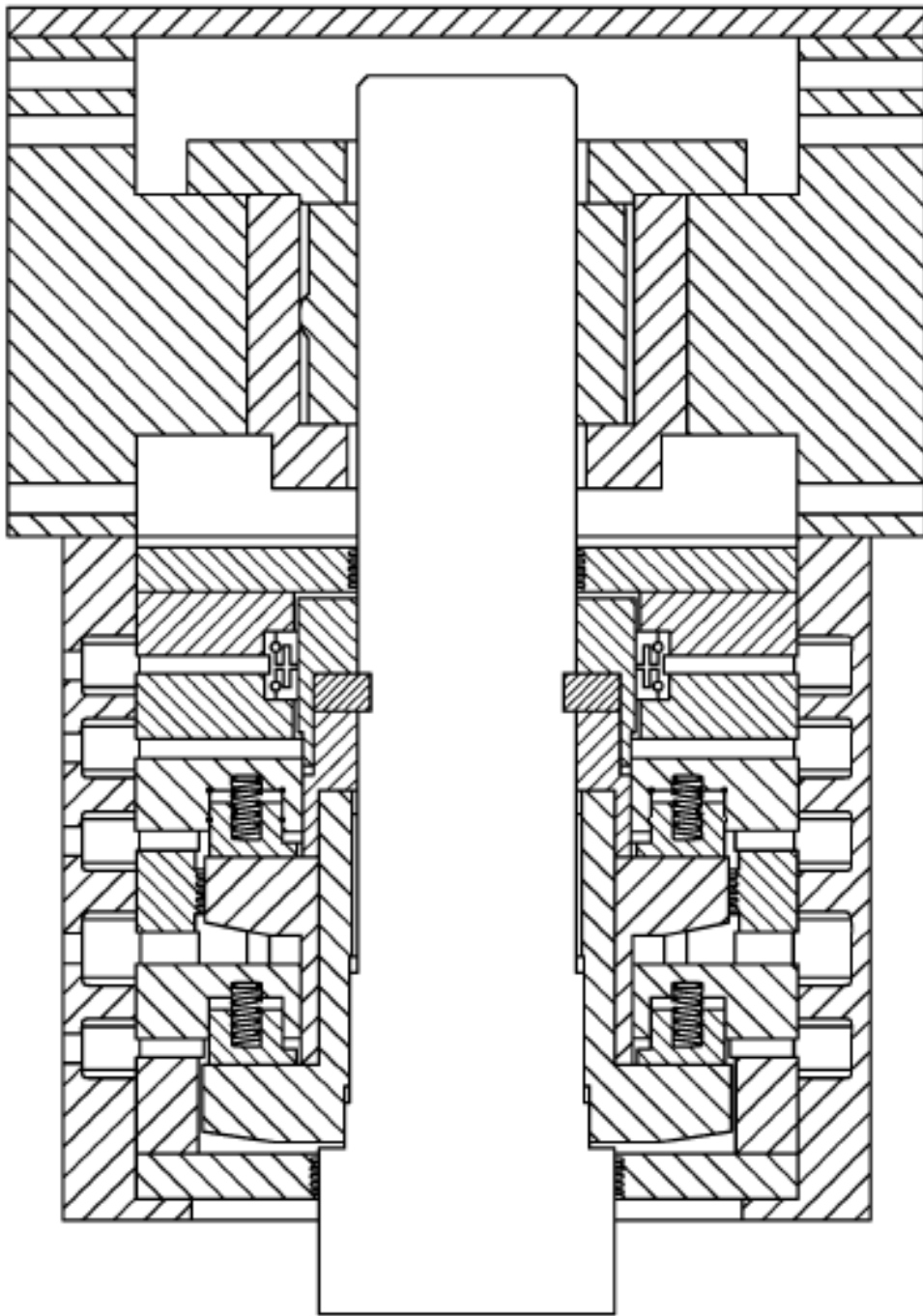
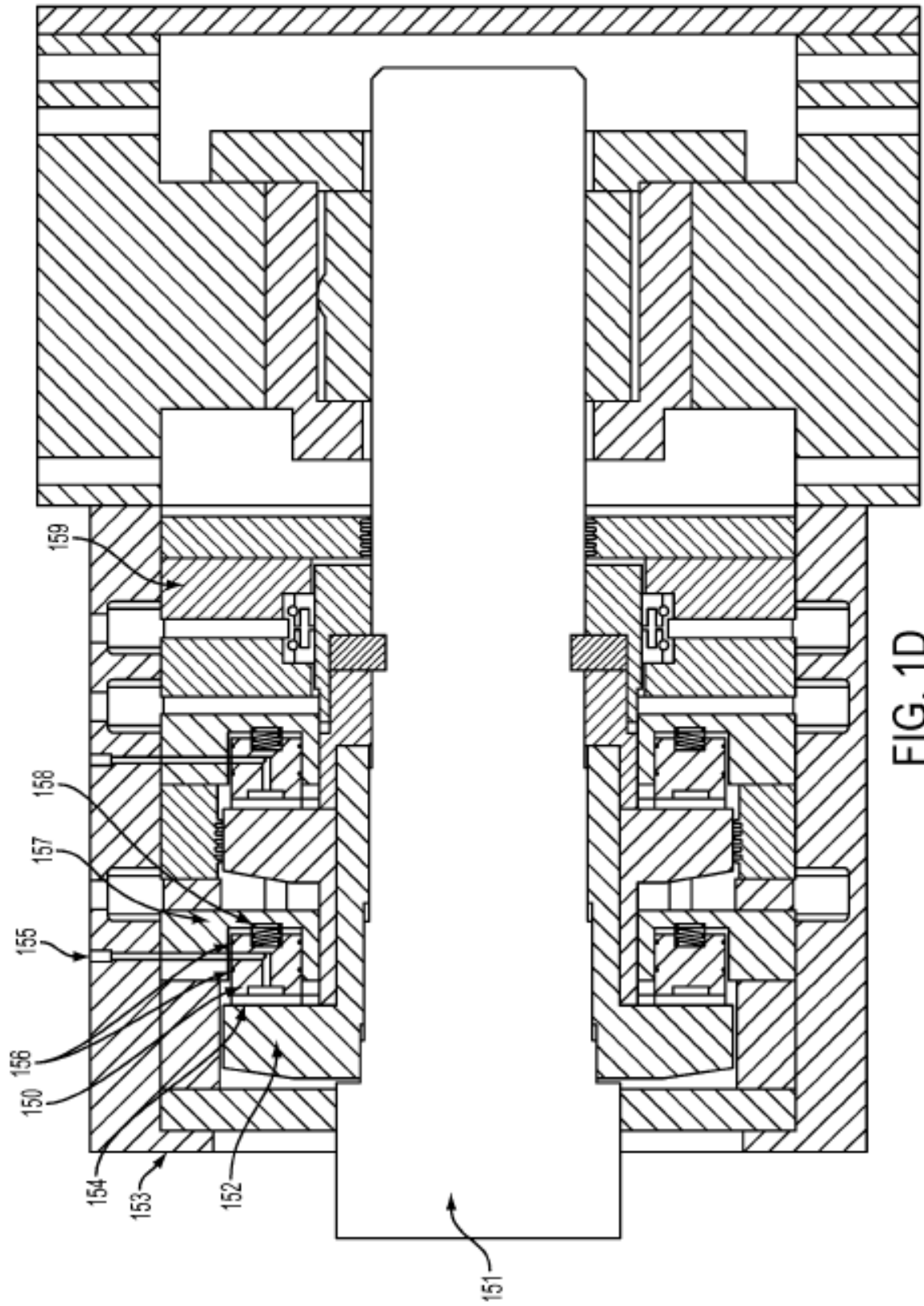


FIG. 1C





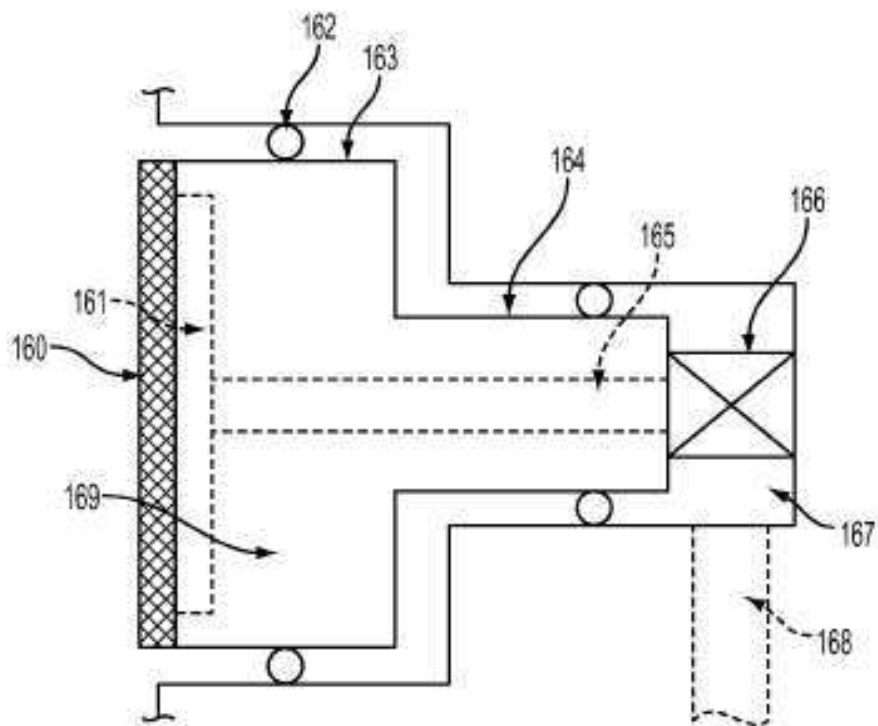


FIG. 1E

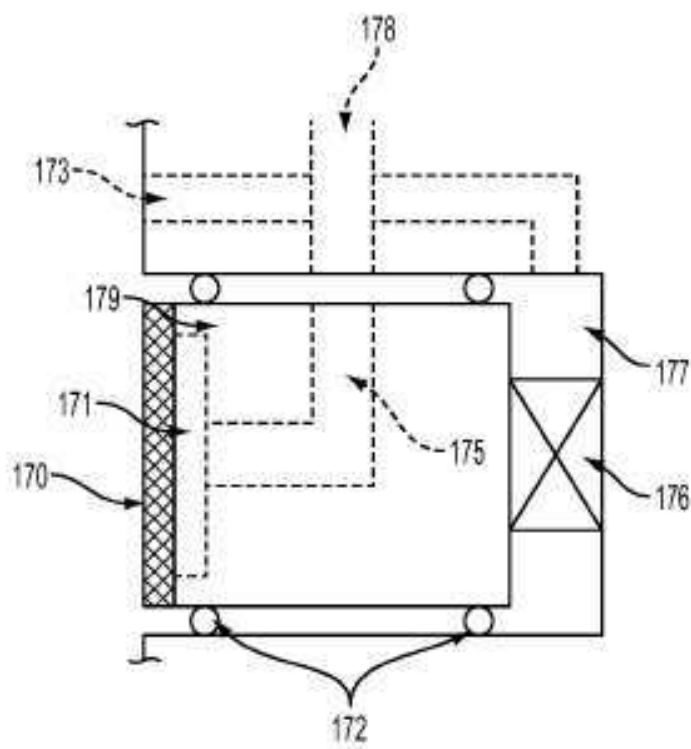
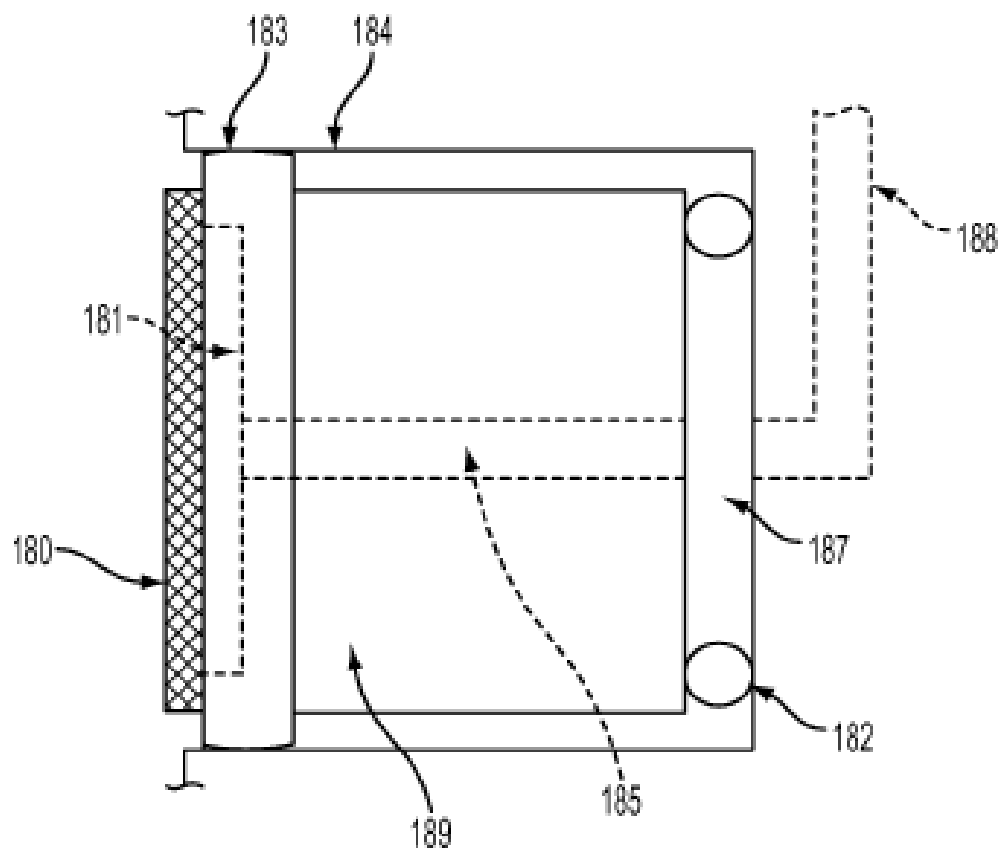


FIG. 1F

**FIG. 1G**

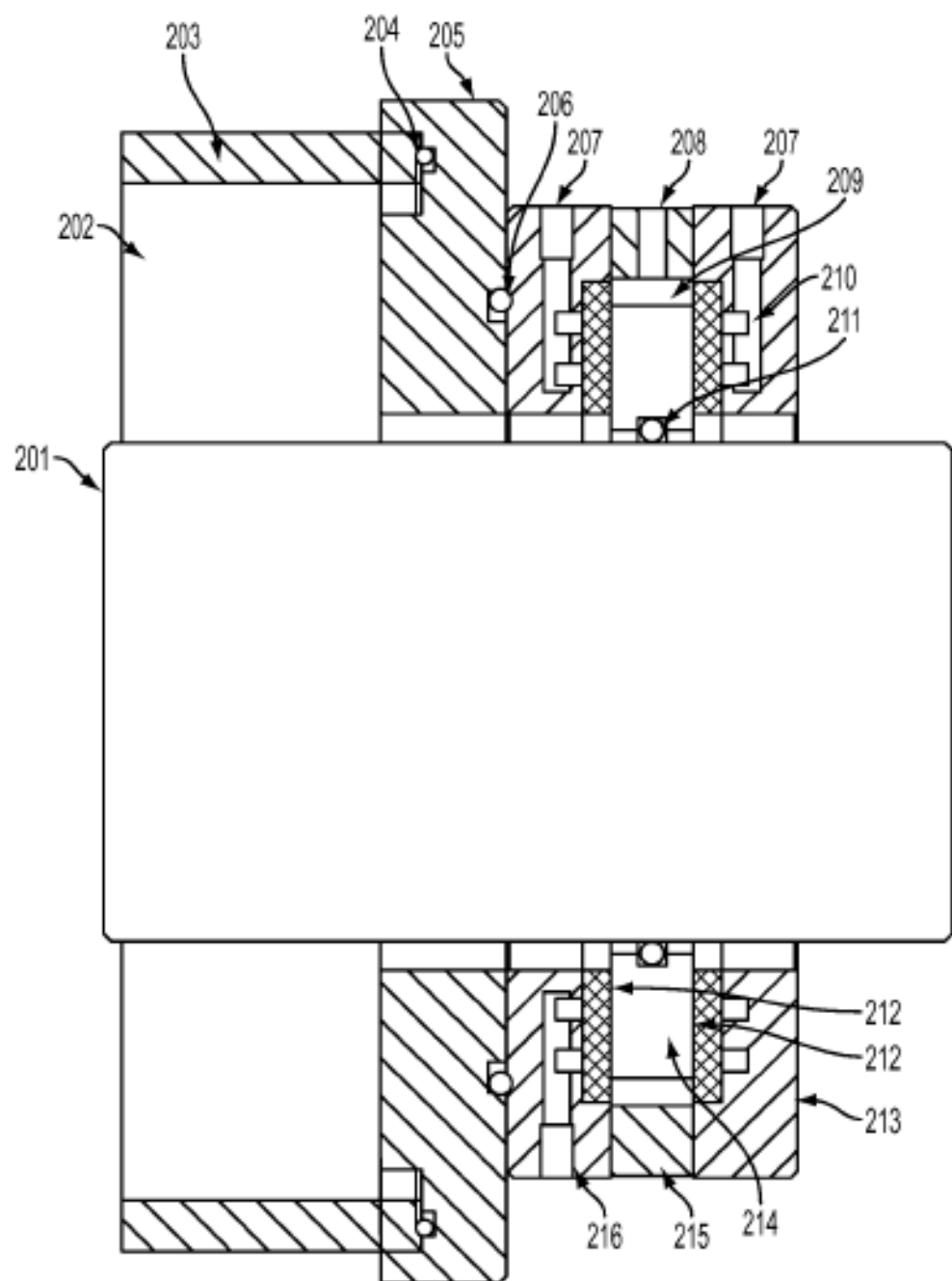


FIG. 2A



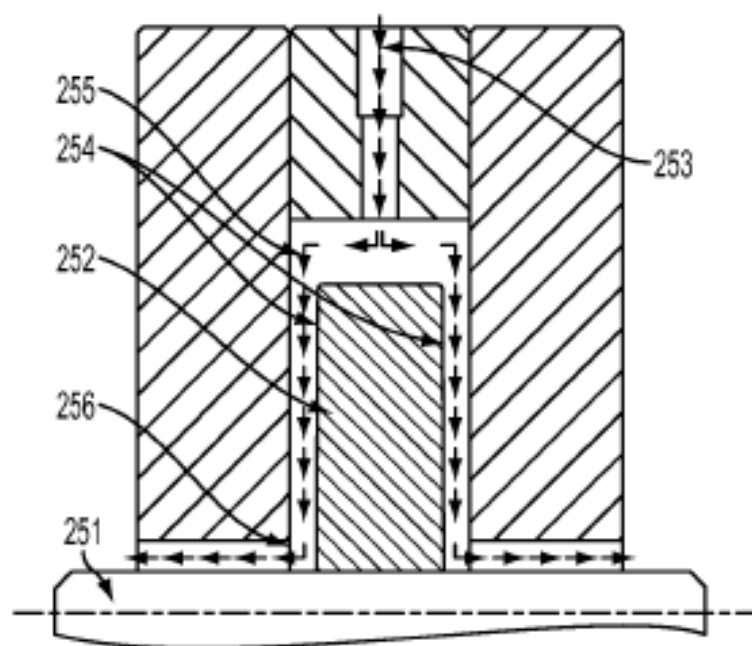


FIG. 2C-1

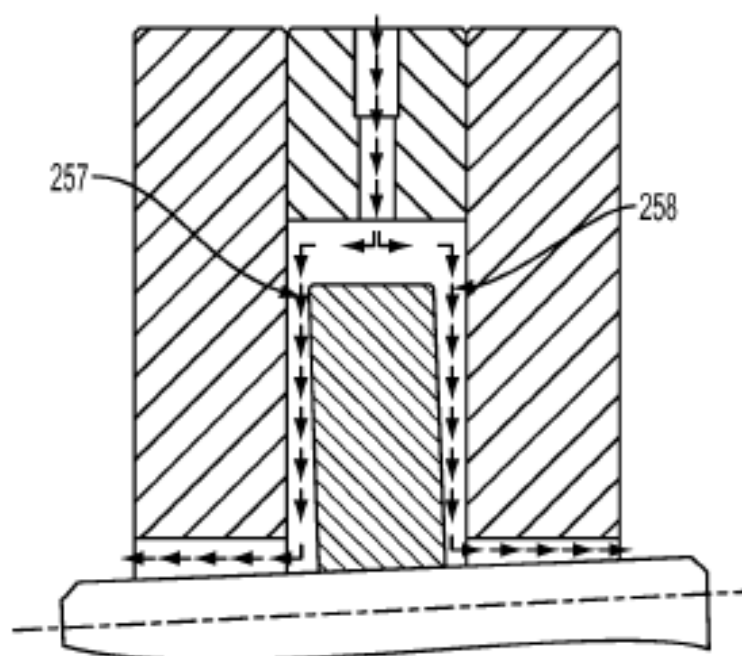


FIG. 2C-2

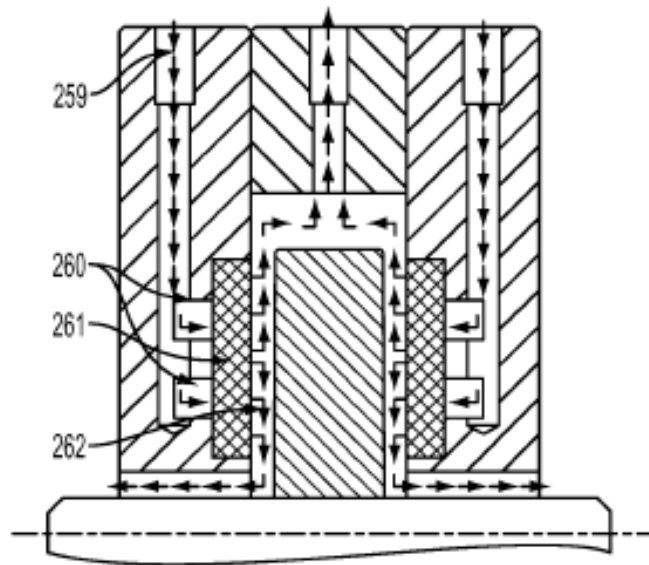


FIG. 2C-3

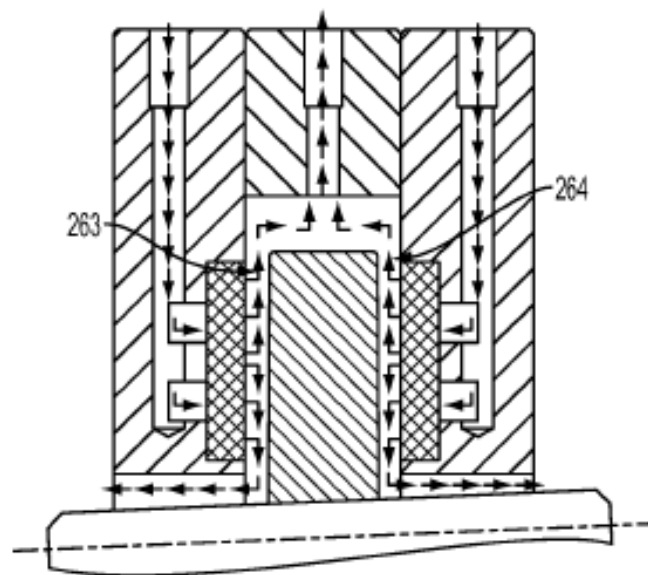


FIG. 2C-4

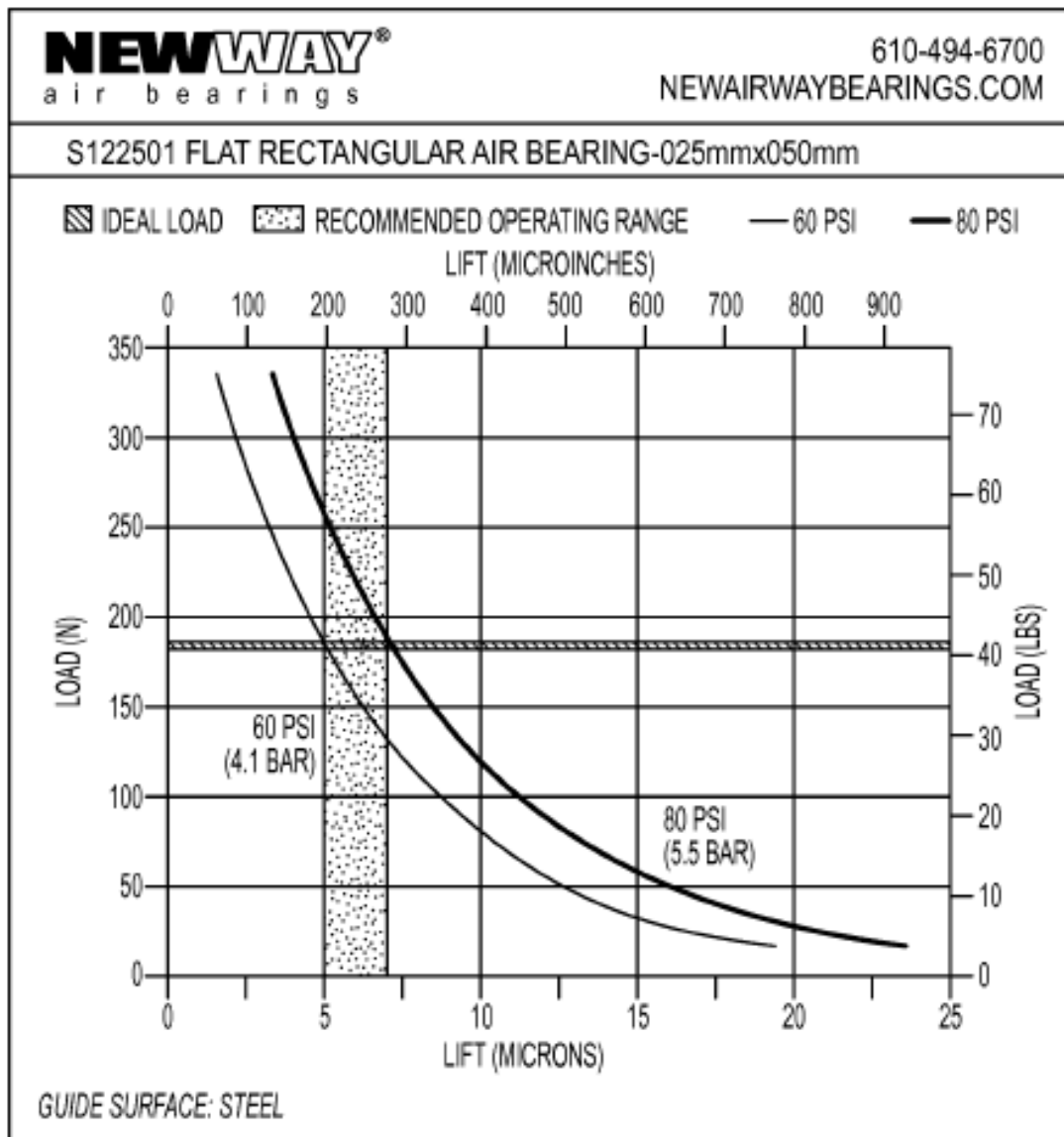


FIG. 2D



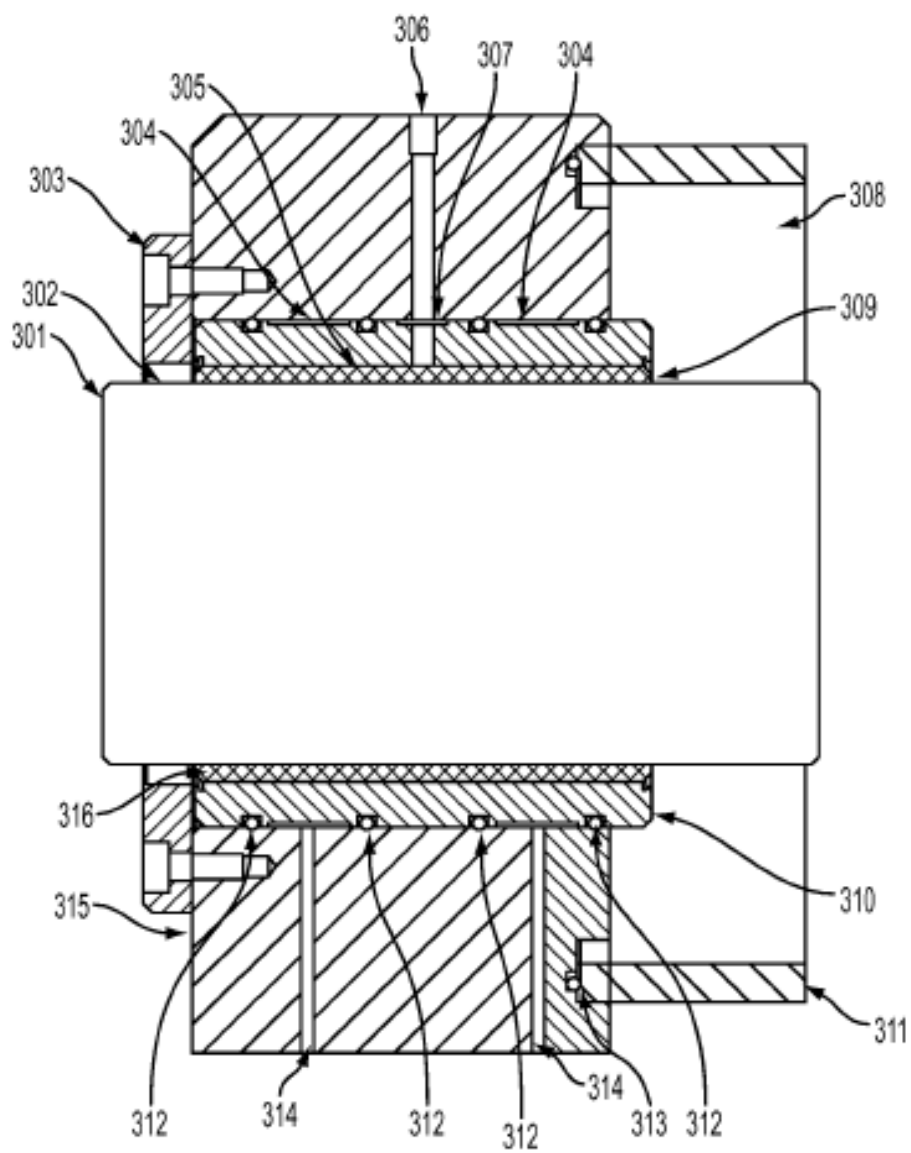


FIG. 3A

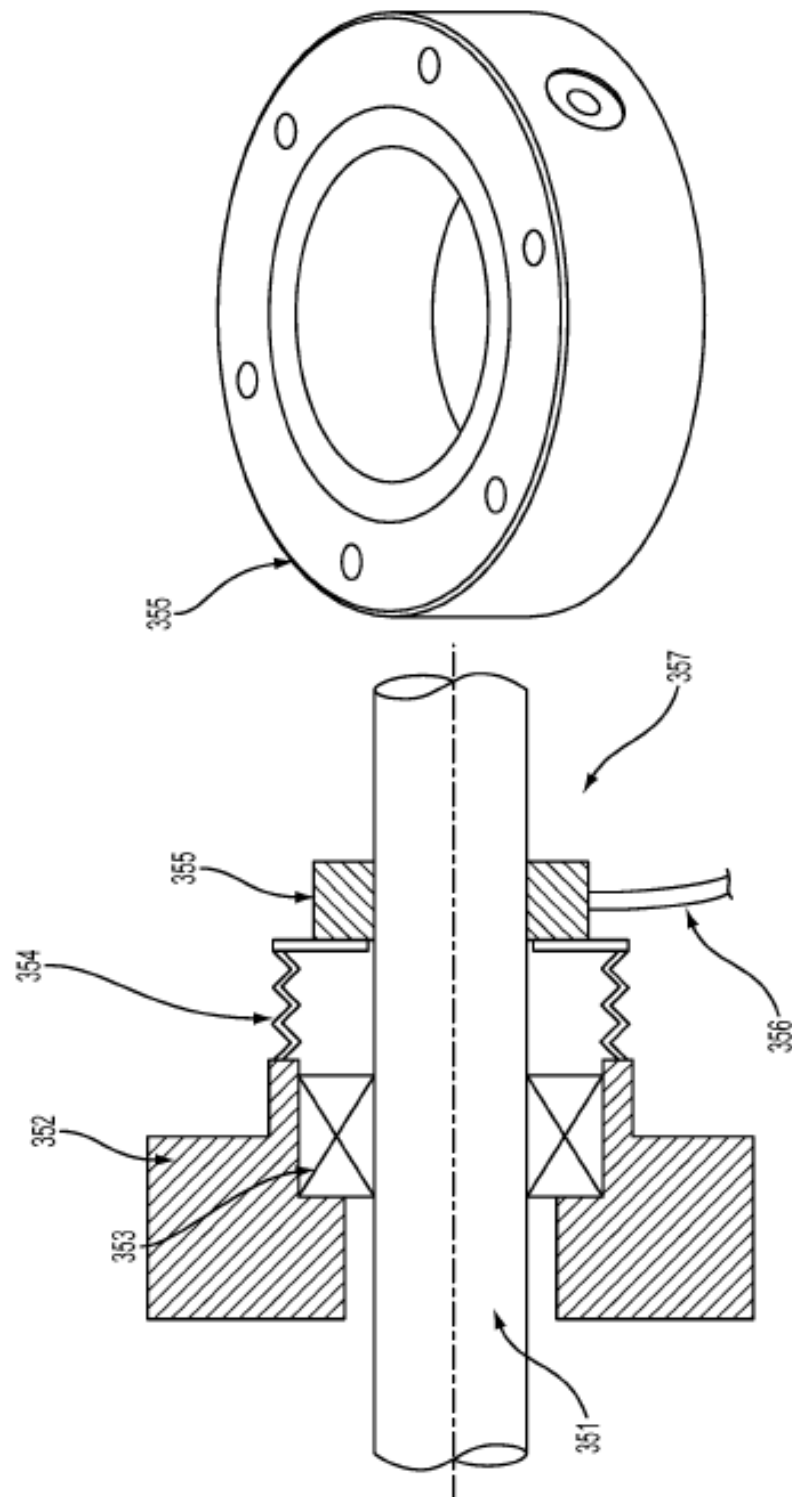


FIG. 3B

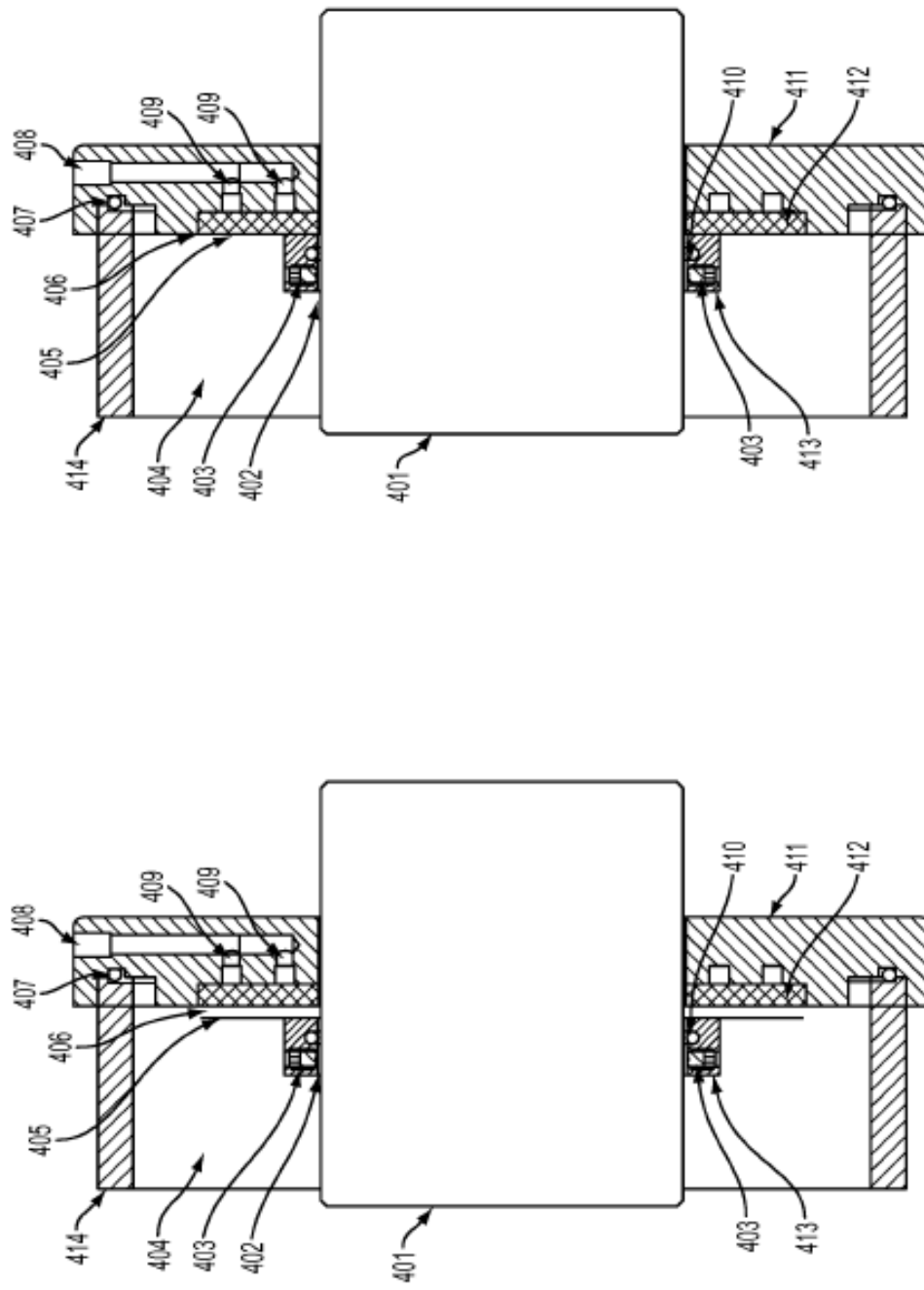
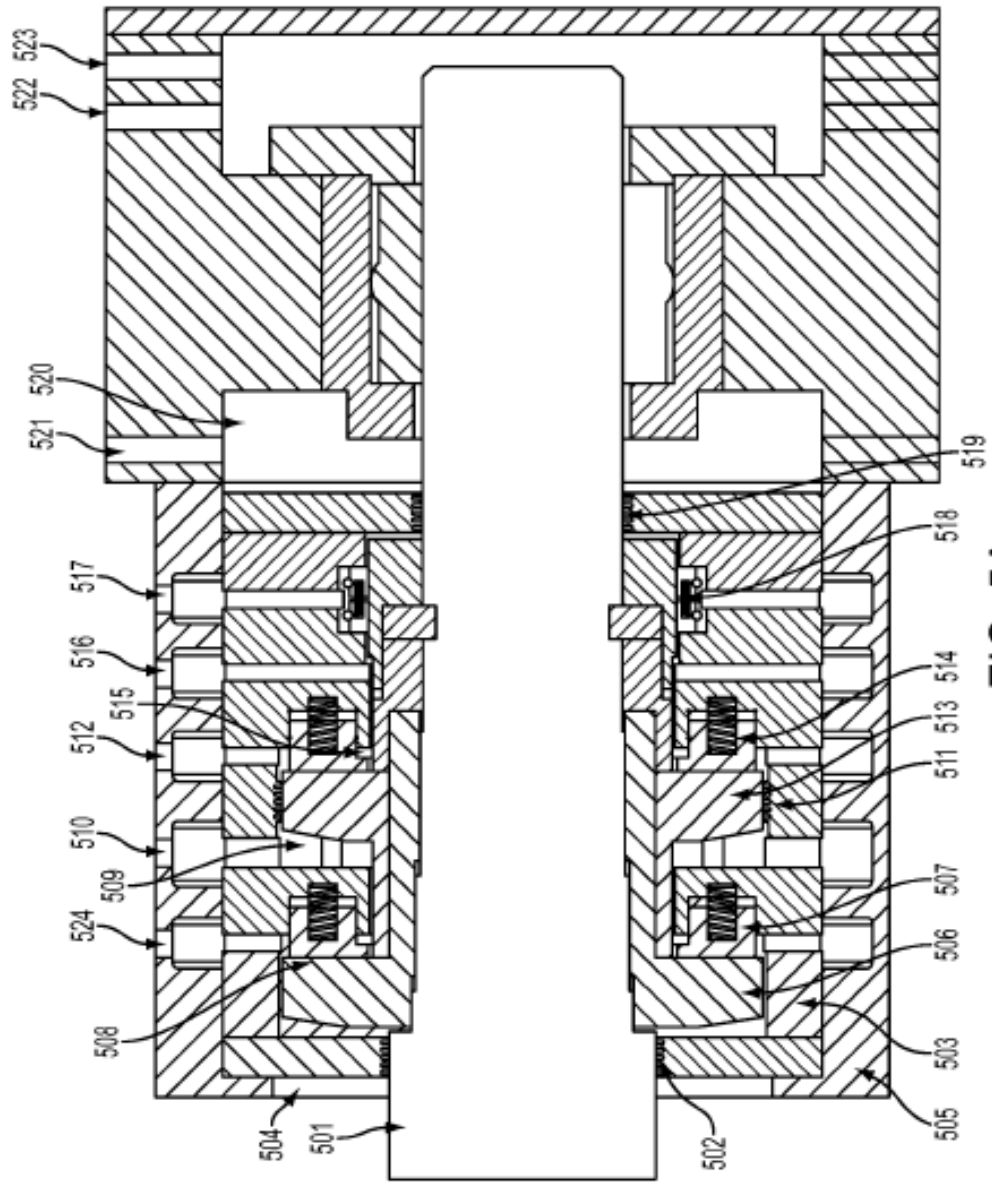


FIG. 4B

FIG. 4A



**FIG. 5A**  
PRIOR ART

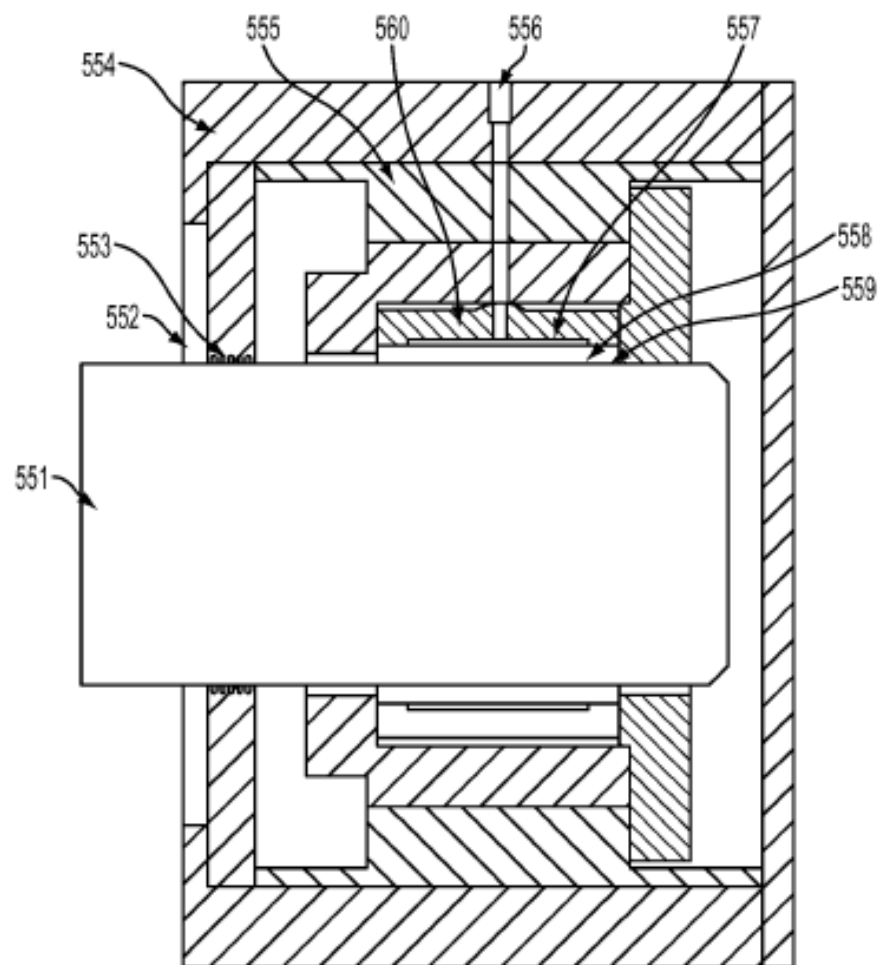


FIG. 5B

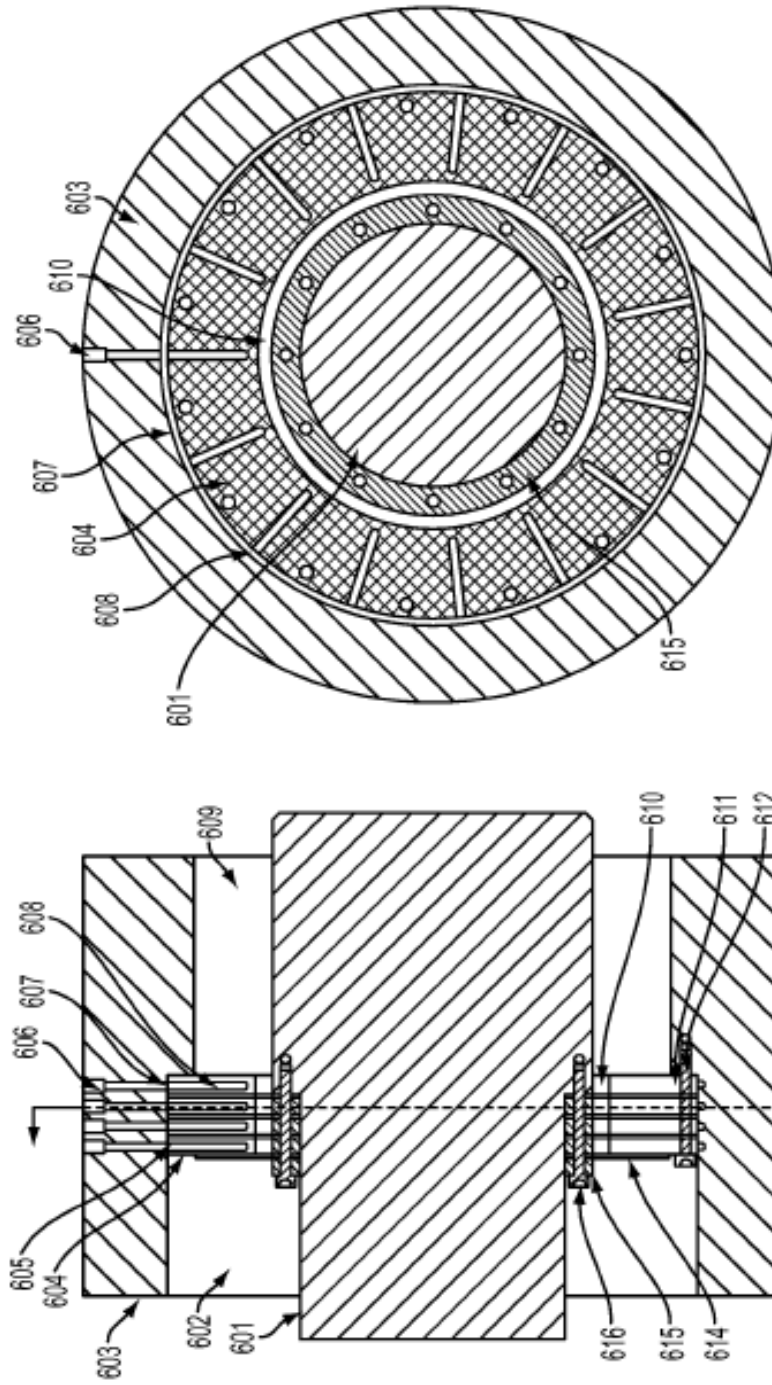


FIG. 6A

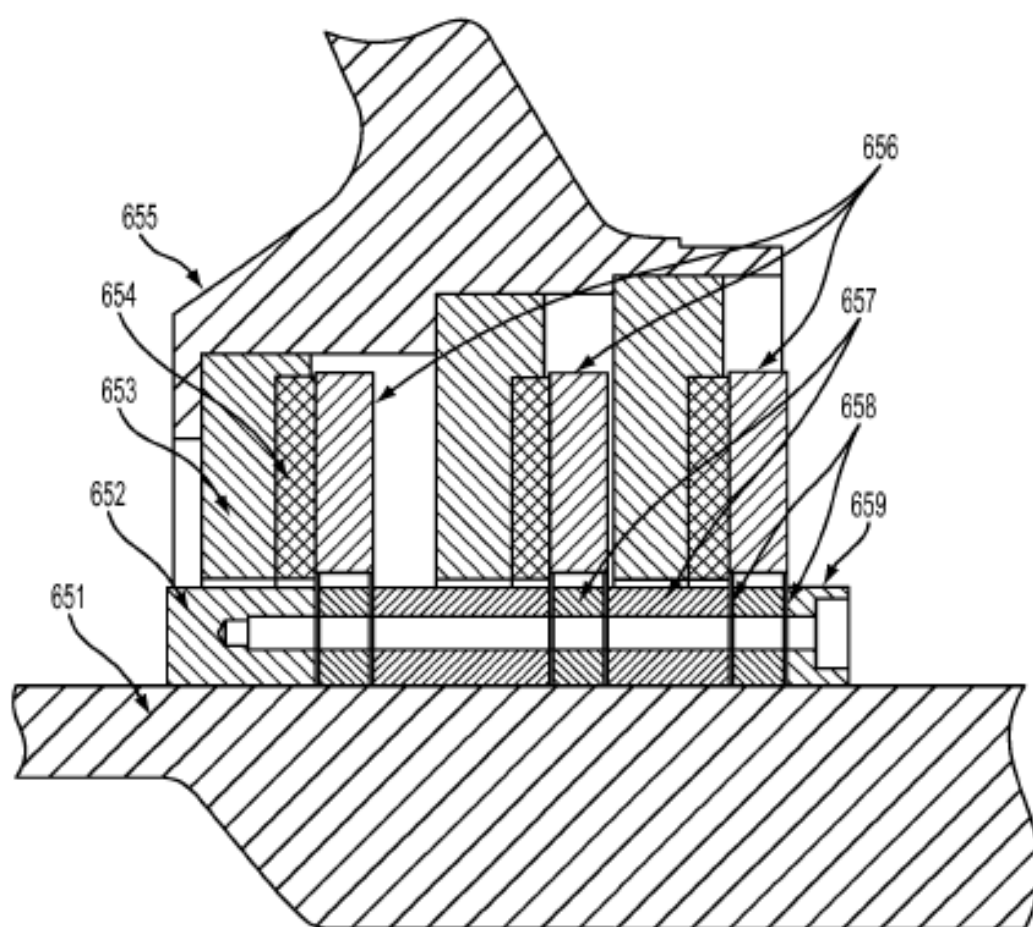


FIG. 6B

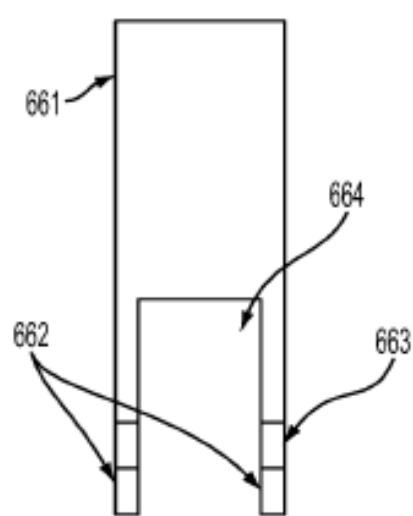
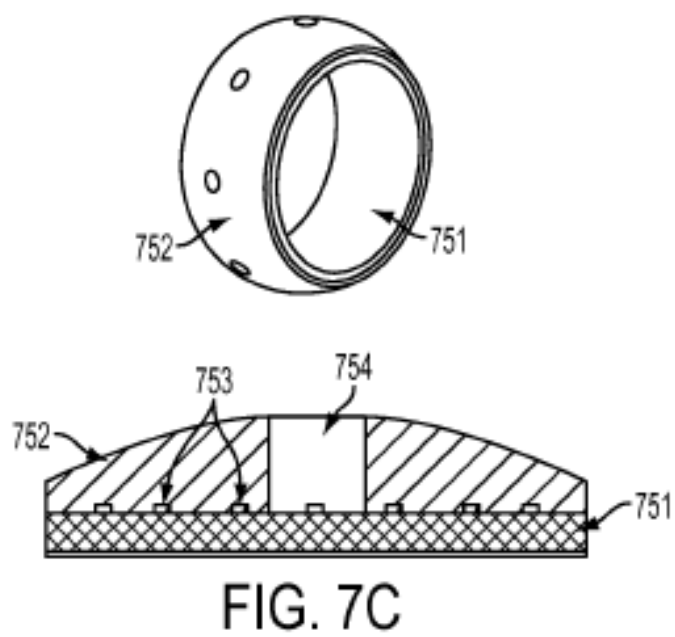
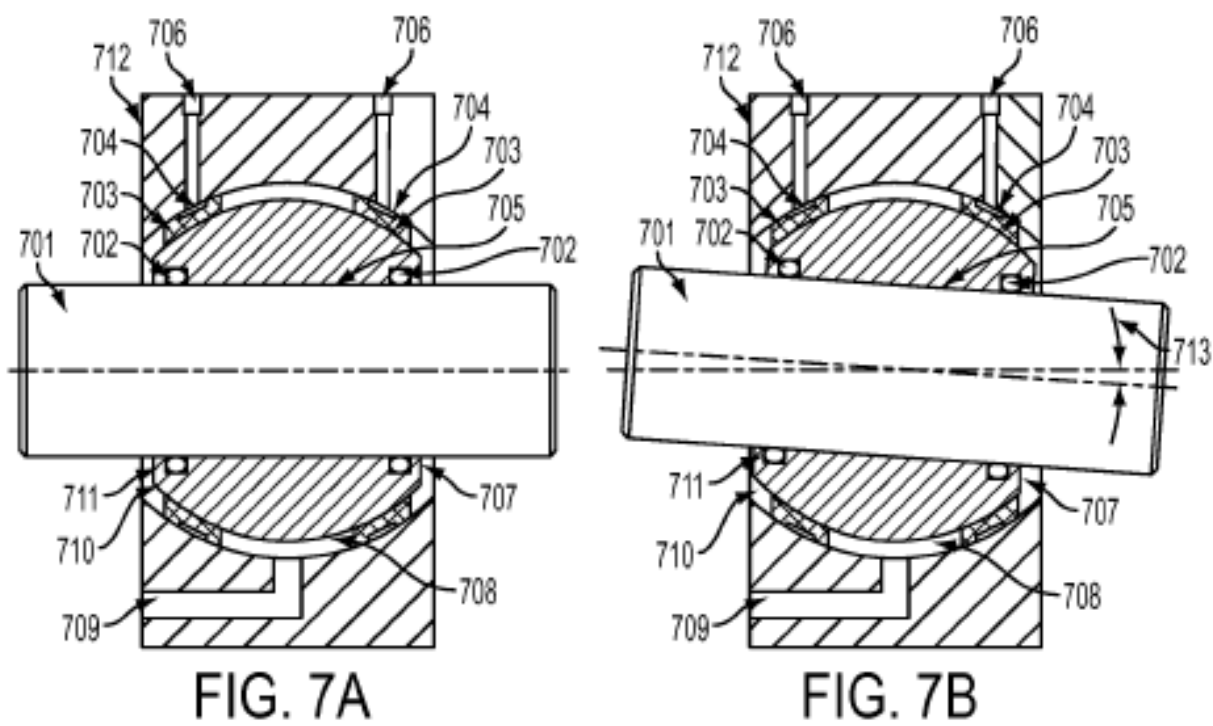


FIG. 6C





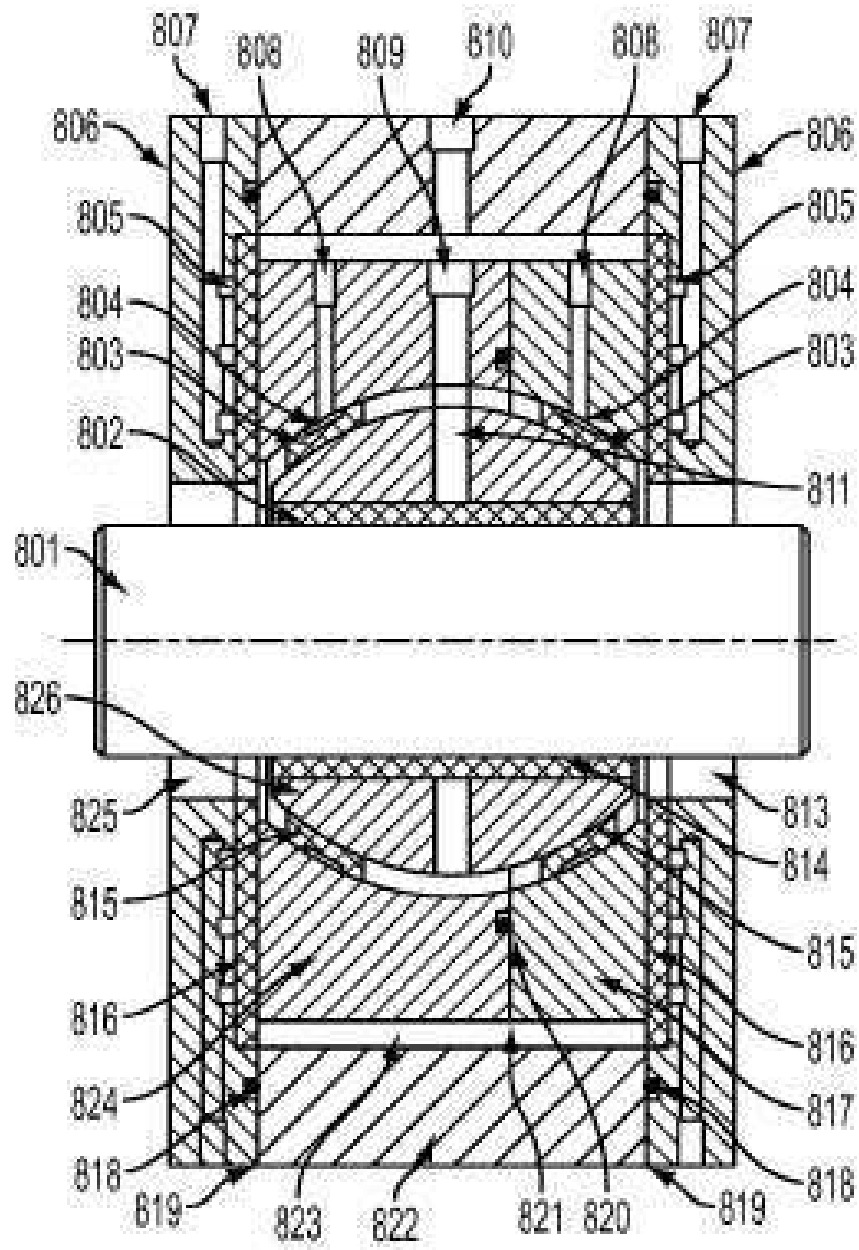


FIG. 8A

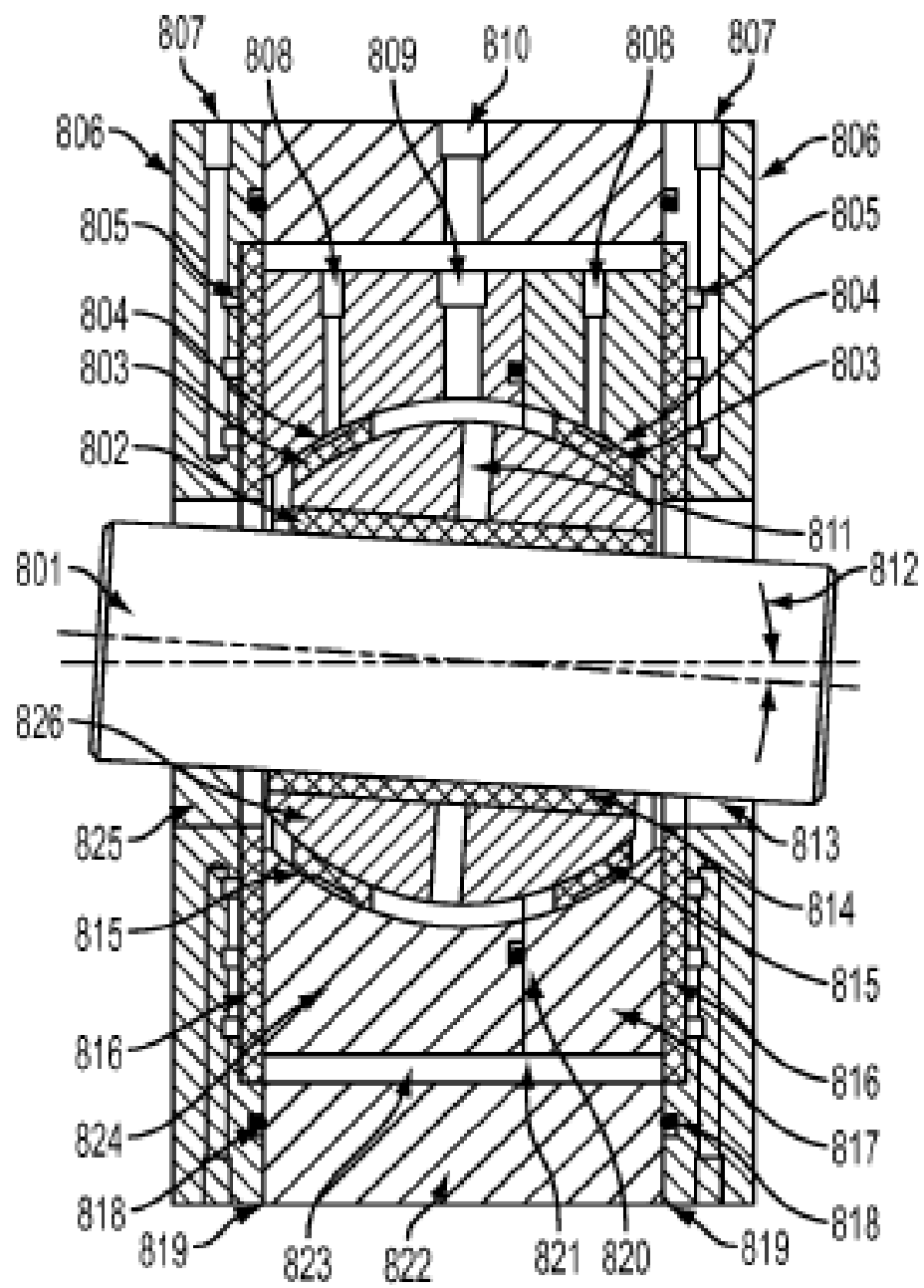


FIG. 8B

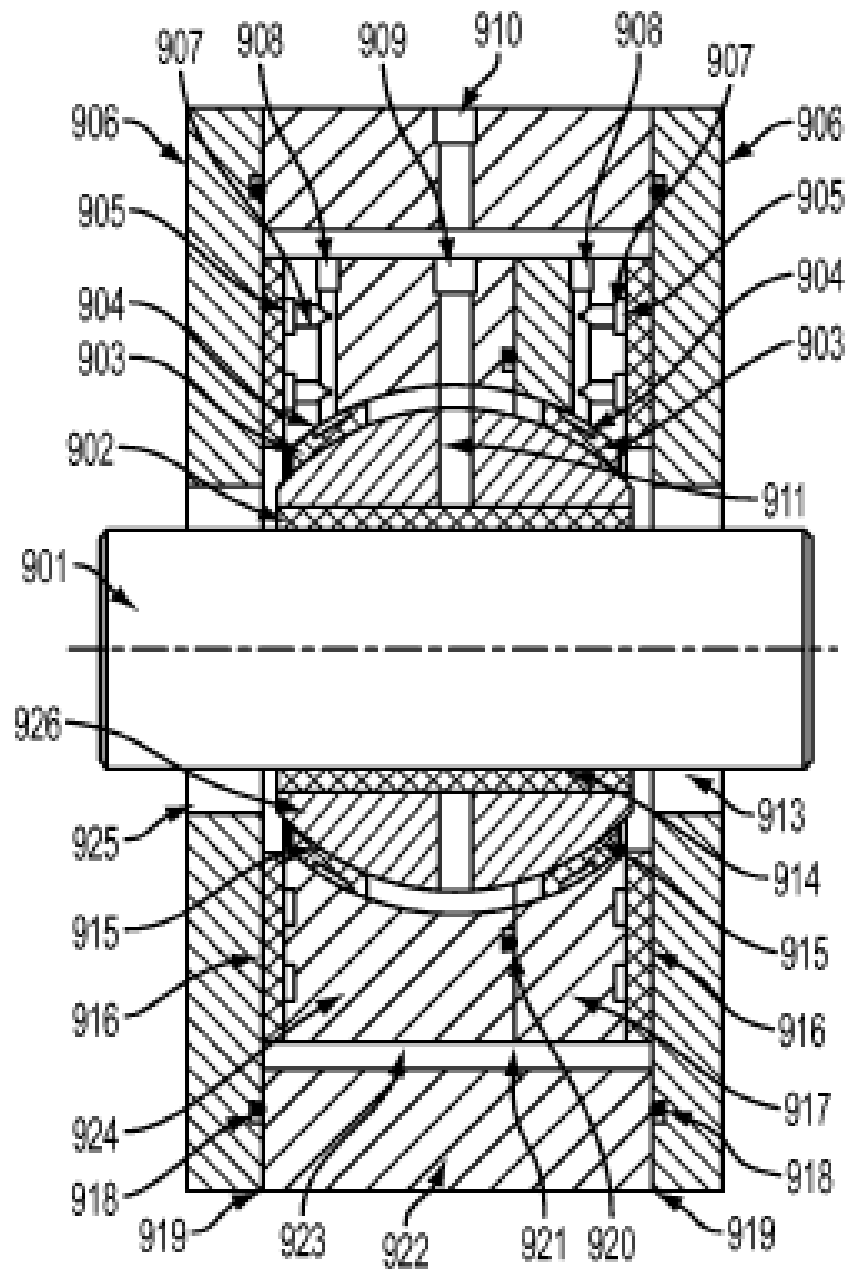


FIG. 9A

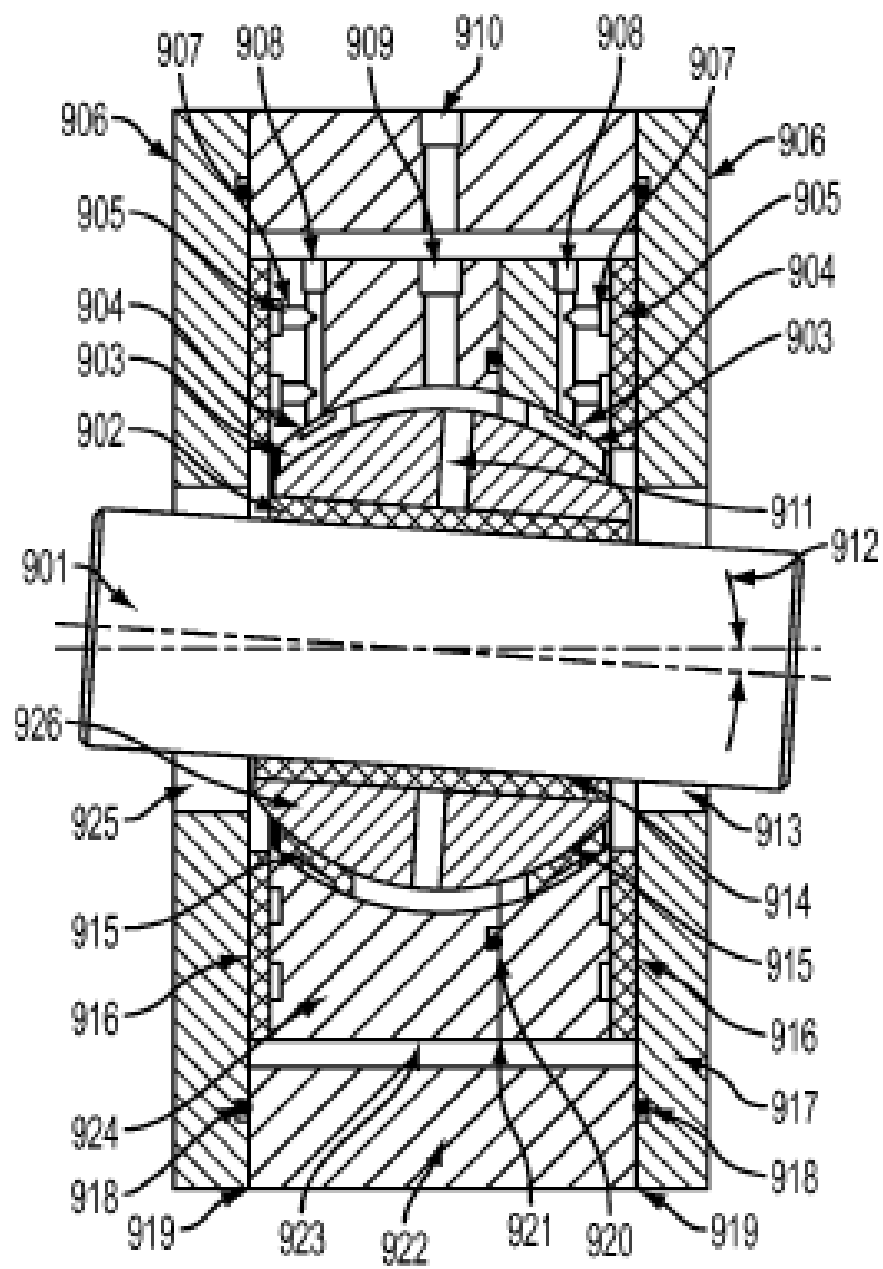


FIG. 9B

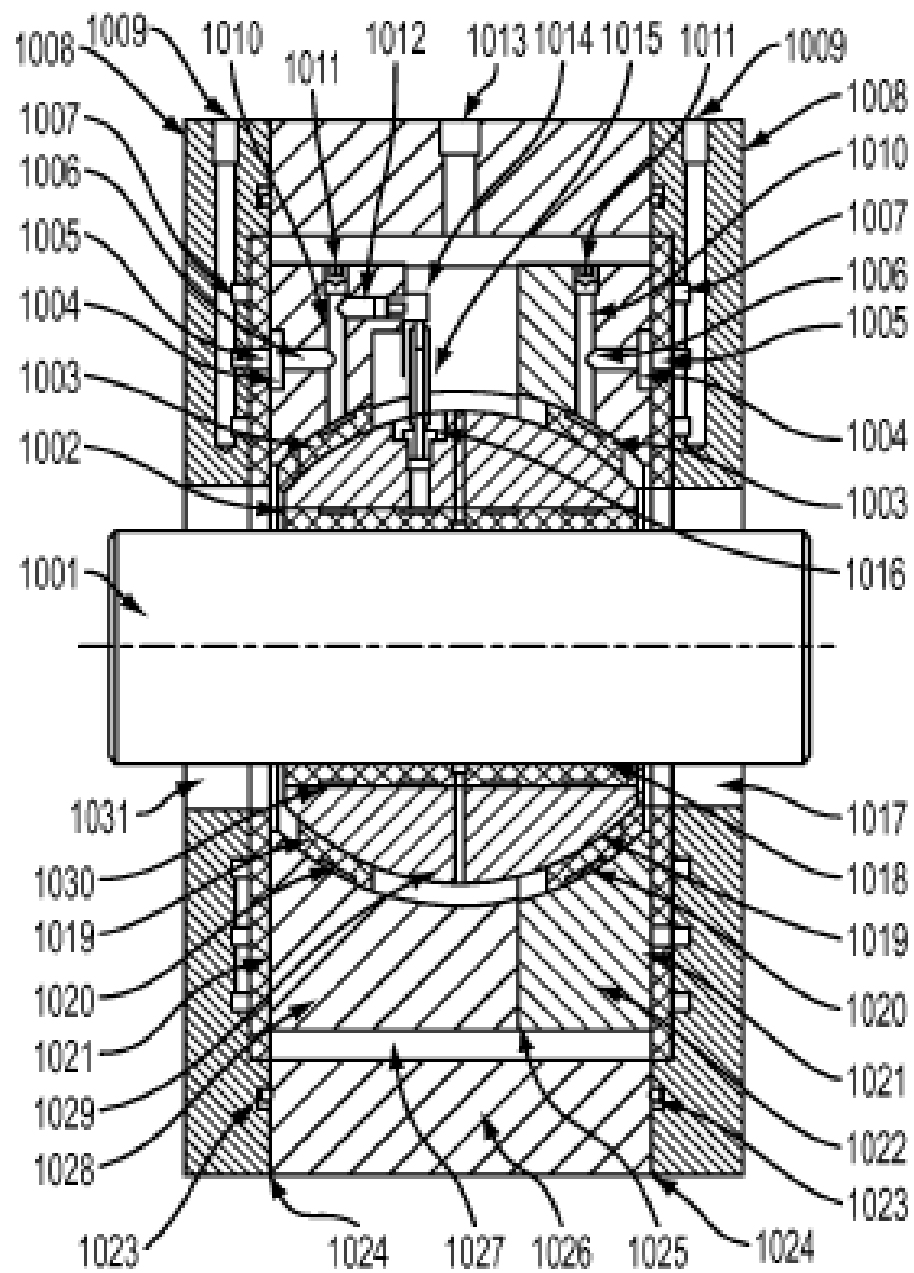


FIG. 10A

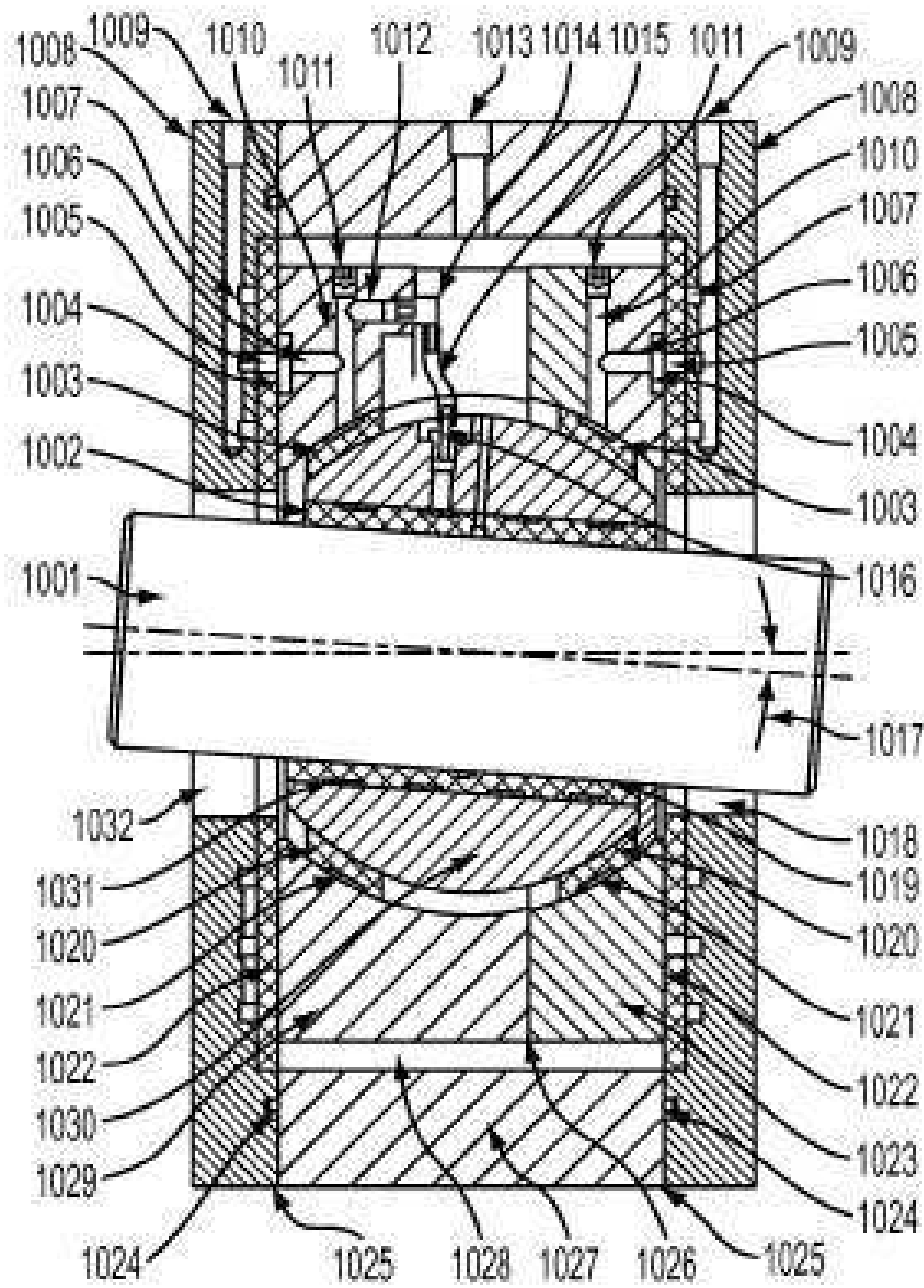


FIG. 10B

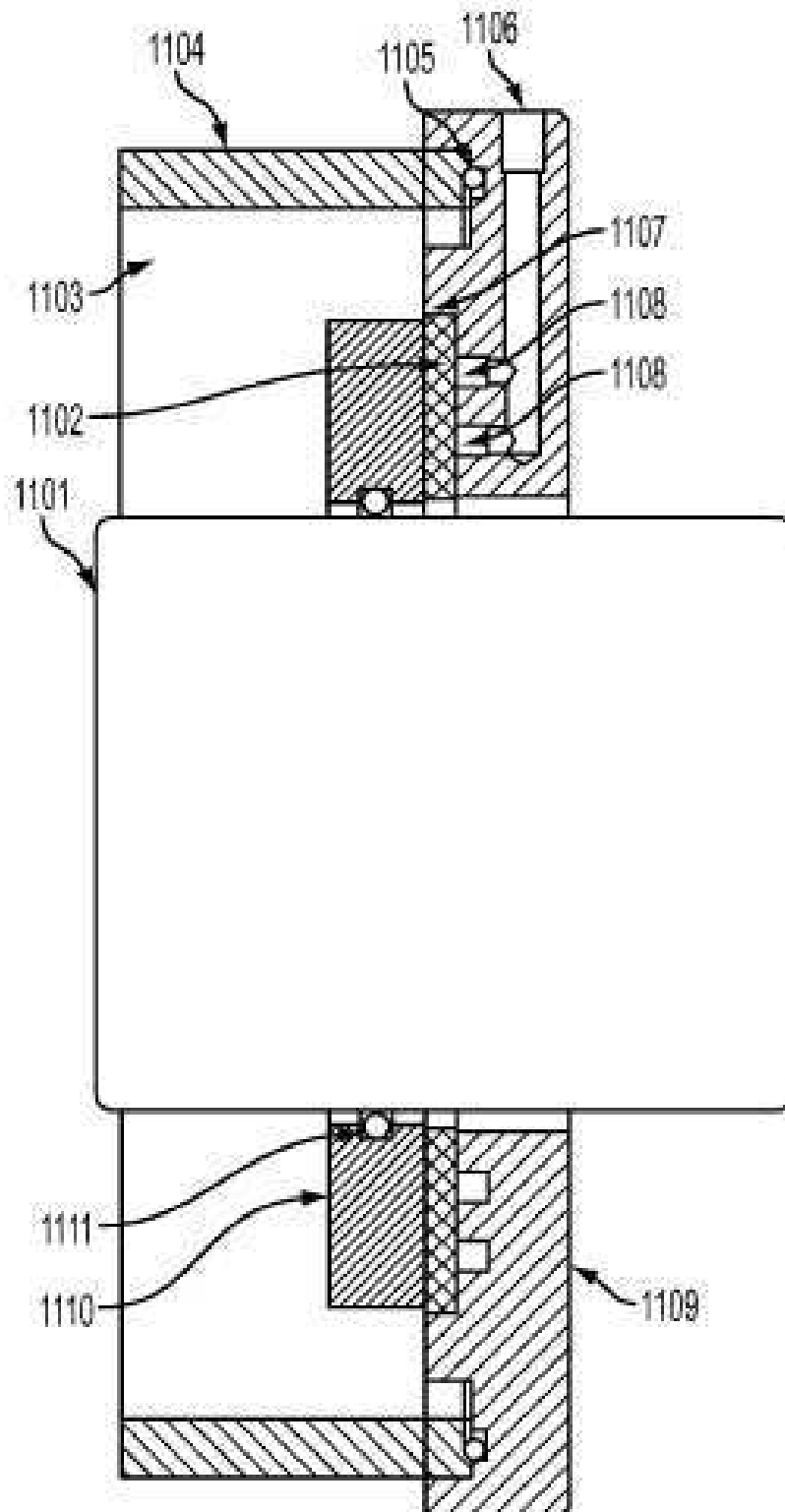


FIG. 11A

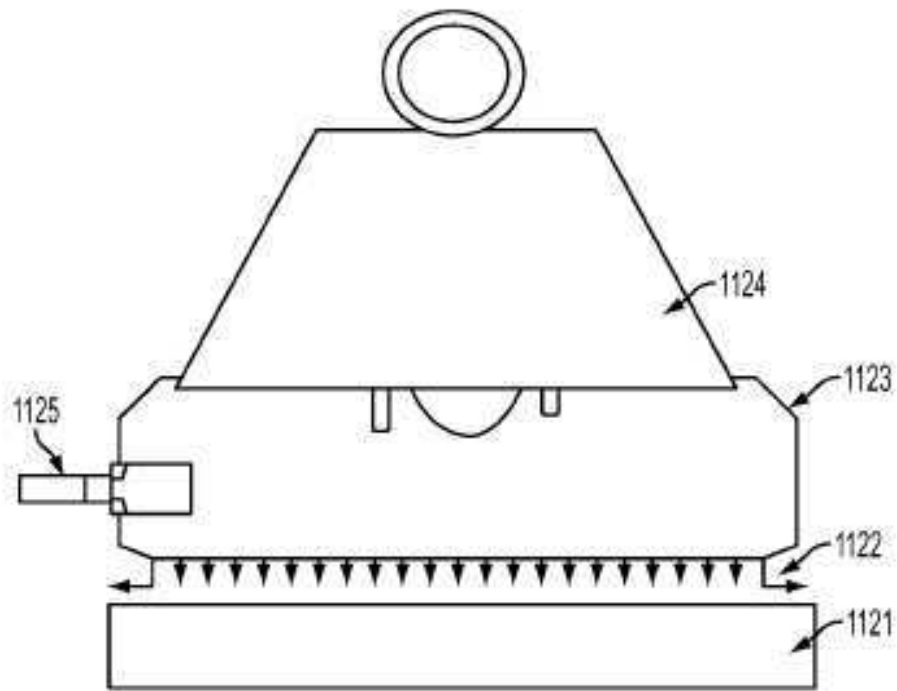


FIG. 11B



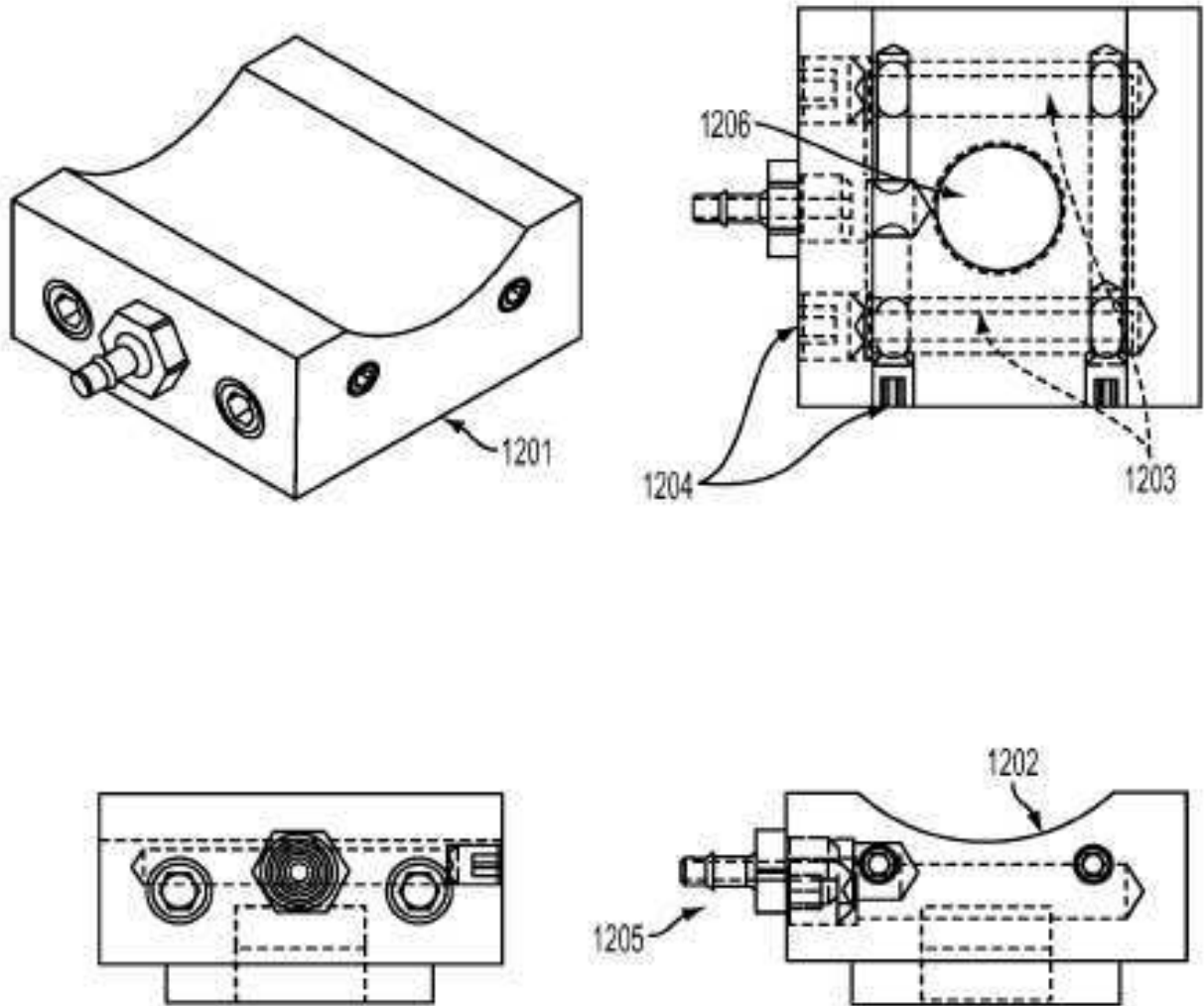


FIG. 12