



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0707129-9 B1

(22) Data do Depósito: 04/01/2007

(45) Data de Concessão: 24/07/2018



* B R P I 0 7 0 7 1 2 9 B 1 *

(54) Título: ESTABILIZADOR DE ROLO GIROSCÓPICO E APARELHO DE RESFRIAMENTO PARA TRANSFERIR CALOR DE E RESFRIAR UM OU MAIS COMPONENTES DE GERAÇÃO DE CALOR

(51) Int.Cl.: H02K 9/00

(30) Prioridade Unionista: 12/01/2006 US 11/330,896

(73) Titular(es): SEAKEEPER, INC.

(72) Inventor(es): JOHN D. ADAMS; SHEPARD W. MCKENNEY

(85) Data do Início da Fase Nacional: 14/07/2008

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"ESTABILIZADOR DE ROLO GIROSCÓPICO E APARELHO DE RESFRIAMENTO PARA TRANSFERIR CALOR DE E RESFRIAR UM OU MAIS COMPONENTES DE GERAÇÃO DE CALOR"**.

5 CAMPO TÉCNICO

A presente invenção refere-se a métodos e aparelho para o resfriamento de mancais, motores e outros componentes de geração de calor que suportam e acionam maquinaria rotativa, por exemplo, volantes que são fechados em um vácuo parcial.

10 ANTECEDENTES

Um giro de momento de controle ("CMG") usado para atenuação de agitação em barcos é dependente de um volante pesado operando em altas velocidades rotacionais. O volante em rotação é suportado por mancais que são submetidos a altas cargas axiais e radiais. Como um resultado, es-

15 ses mancais produzem uma quantidade substancial de calor gerado pelo atrito, que deve ser dissipado a fim de evitar a formação perigosa de calor. Se o volante é suportado em um meio ambiente convencional, o calor pode ser dissipado pela convecção do ar, que pode ser auxiliada tendo um ar soprado por ventoinha através das calhas de mancal externa e interna e os

20 elementos de metal adjacentes. Mas se o volante está fechado em um vácuo parcial, por exemplo, como descrito na patente, Patente U.S. Nº 6.973.847, pode não existir ar suficiente para permitir a convecção. O mesmo problema de resfriamento pode existir em outros dispositivos nos quais os volantes giram em invólucros parcialmente evacuados (por exemplo, dispositivos de

25 armazenamento de energia mecânica) e processos de fabricação que usam câmaras evacuadas contendo elementos de rotação que exigem mancais de geração de calor. No presente, os dispositivos de armazenamento da energia do volante tipicamente usam mancais magnéticos onerosos (que não geram calor de atrito) ao invés de mancais de elemento de rolamento muito

30 mais econômicos. Uma razão é que não existem métodos comprovados para remoção do calor das calhas internas dos mancais do elemento de rolamento em um vácuo parcial, exceto pelo jato ou circulação do óleo de resfriamento através dos mancais e isso tende a criar grandes perdas de potência.

Dois tipos de fluxo de calor - condução e convecção - precisam ser distinguidos. A condução do calor ocorre pelas moléculas batendo em outras moléculas. Assim, quando você coloca sua mão em um radiador quente, as moléculas em rápido movimento no metal quente batem em moléculas na sua pele, transferindo a energia para elas. A convecção do calor ocorre quando as moléculas são movidas como uma consequência do ar (ou outro gás ou líquido) fluindo de uma localização para outra. Assim, o radiador quente aquece uma sala pela condução do calor para o ar imediatamente adjacente à superfície do radiador e a seguir pela convecção quando esse ar aquecido flui ao redor da sala. A quentura no ar é transferida para os ocupantes da sala pela condução, quando as moléculas no ar quente contatam a pele ou a roupa da pessoa. A condução do calor pode ocorrer através de um gás, líquido ou sólido. Quando ela ocorre através de um gás, ela pode ser chamada condução gasosa. Quando ela ocorre através de um sólido (por exemplo, através de um metal ou outro bom condutor de calor), ela pode ser chamada condução sólida.

A lei de Fourier da condução do calor define uma transferência de calor unidimensional entre duas superfícies paralelas pela condução gasosa:

$$Q = KA \Delta T / \Delta X$$

Onde Q = transferência de calor (watts)

K = condutividade térmica do gás (watts/m - °C)

A = área da superfície paralela (m²)

ΔT = diferencial de temperatura entre as duas superfícies de transferência de calor (°C)

ΔX = distância entre as superfícies de transferência de calor (m)

Como mostrado na equação, a quantidade de calor transferido é diretamente proporcional à condutividade térmica do gás, à área das superfícies e à diferença de temperatura entre as superfícies e é inversamente proporcional à distância entre as superfícies. A condutividade térmica do gás (K) é constante a despeito da pressão até que a pressão é tão baixa que a trajetória livre média molecular do gás fica igual à ou maior do que a distân-

cia entre as superfícies (ΔX). Isso significa que a quantidade de calor transferido será independente da pressão até que a trajetória livre média do gás seja igual à ou maior do que a distância entre as superfícies. Abaixo da pressão onde a trajetória livre média molecular do gás é maior do que a distância entre as superfícies, as moléculas do gás continuarão a conduzir o calor, mas agora existe uma redução na condutividade térmica (e a quantidade de calor transferido) com reduções adicionais na pressão do gás.

SUMÁRIO

Descobriu-se que técnicas práticas para transferir o calor para longe dos componentes de geração de calor, por exemplo, mancais e motores, que suportam e acionam maquinaria rotativa tal como volantes. Tipicamente, o calor se formará nas calhas internas dos mancais que suportam o volante (mas outras fontes de calor, tal como calor do motor, arrasto ou deslocamento do ar são também possíveis). Uma tal formação de calor nas calhas internas pode levar à falha do aparelho, já que um grande diferencial de temperatura pode resultar entre as calhas interna e externa do mancal. As calhas externas tipicamente permanecem mais frias porque o calor pode fluir (pela condução através dos elementos de metal adjacentes) das calhas externas para o exterior do invólucro, onde o calor é dissipado pela convecção (ar passando através da superfície exterior quente). Somente uma pequena quantidade de calor é conduzida através dos mancais (das calhas internas para as externas), e assim as calhas internas e o volante no qual elas estão presas tendem a ficar com temperatura elevada. As temperaturas em elevação podem destruir a efetividade do lubrificante do mancal, e pode também submeter a calha interna a expansões térmicas não vistas pela calha externa do resfriador com a destruição catastrófica resultante dos mancais e aparelho.

Técnicas de resfriamento conhecidas incluem mergulhar os mancais em um banho de óleo circulante ou esguichar óleo através dos mancais (como em um motor de turbina a gás) ou bombear um grande volume de névoa de ar/óleo através dos mancais (como nos fusos da ferramenta de máquina) para lubrificá-los e resfriá-los. Entretanto, esses métodos são complicados e eles tendem a aumentar o calor gerado pelo mancal já

que o arrasto viscoso dos elementos de rolamento agitando-se através do óleo substancialmente aumenta a potência requerida para acionar o volante ou outro elemento de rotação. O método da névoa de óleo/ar não é aplicável em aplicações a vácuo já que ele requer fluxo de ar substancial. Alguns fabricantes de ferramenta de máquina bombeiam água para baixo de um furo que é perfurado com pistola através do eixo do fuso para remover o calor dos mancais e motor. Isso também é difícil de aplicar em aplicações de vácuo já que a água deve ser mantida em pressão ambiente para impedir que ela vaporize.

10 Em um primeiro aspecto, a invenção representa aparelho de resfriamento para transferir calor de e resfriar um ou mais componentes de geração de calor que suportam ou acionam um volante ou outro elemento de rotação. O aparelho compreende um primeiro elemento de transferência de calor preso a e rodando com o elemento de rotação, um segundo elemento
15 de transferência de calor estacionário com relação ao elemento de rotação, onde o primeiro e o segundo elementos de transferência de calor se movem em relação um ao outro e onde o primeiro e o segundo elementos de transferência de calor são formados e posicionados em proximidade um do outro de modo que calor substancial é transferido do primeiro elemento de transferência de calor para o segundo elemento de transferência de calor. A proximidade das duas superfícies ou elementos estimula a transferência do calor pela condução gasosa. O movimento rotacional relativo e a proximidade dos elementos criam fluxos da cavidade rotativa que estimulam a transferência de calor pela convecção gasosa. Esses fluxos rotativos continuamente circula
20 lam as moléculas de ar do primeiro elemento mais quente para o segundo elemento mais frio.

Nas implementações preferidas, um ou mais dos seguintes podem ser incorporados. A transferência de calor entre o primeiro e o segundo elementos de transferência de calor pode ocorrer tanto por condução gasosa
30 quanto por convecção. A transferência de calor entre o primeiro e o segundo elementos de transferência de calor pode ser primariamente pela condução gasosa. O primeiro e o segundo elementos de transferência de calor podem

ter superfícies expostas estritamente espaçadas através das quais o calor é transferido. O primeiro elemento de transferência de calor pode compreender uma pluralidade de primeiras pás, o segundo elemento de transferência de calor pode compreender uma pluralidade de segundas pás, as primeiras pás podem se mover com relação às segundas pás, as primeiras pás podem se estender para dentro de vãos entre as segundas pás, de modo que a primeira e a segunda pás são intercaladas e calor substancial pode ser transferido das primeiras pás para as segundas pás. Um invólucro pode circundar o elemento de rotação, o primeiro elemento de transferência de calor pode compreender a superfície externa do elemento de rotação e o segundo elemento de transferência de calor pode compreender a superfície interna do invólucro espaçada por um pequeno vão do elemento de rotação, de modo que calor substancial é transferido pela condução gasosa do elemento de rotação para o invólucro. A separação entre as primeiras pás e as segundas pás pode ser maior do que 0,025 mm, mas menor do que 10 mm. O elemento de rotação pode ser envolvido dentro de um invólucro contendo um gás em pressão abaixo da ambiente ou densidade abaixo da ambiente, o primeiro elemento de transferência de calor e as primeiras pás podem rodar em relação ao invólucro, o segundo elemento de transferência de calor e as segundas pás podem ser fixados em relação ao invólucro e o segundo elemento de transferência de calor pode ser posicionado de modo que o calor pode ser prontamente transferido do segundo elemento de transferência de calor para o exterior do invólucro. O gás pode estar tanto na pressão abaixo da ambiente quanto na densidade abaixo da ambiente. O eixo geométrico de rotação ao redor do qual o elemento de rotação roda pode definir uma direção axial, as primeiras pás podem ser elementos cilíndricos que se estendem em uma primeira direção axial de uma primeira base presa no elemento de rotação, as segundas pás podem ser elementos cilíndricos que se estendem em uma segunda direção axial, oposta à primeira direção axial, a partir de uma segunda base presa no invólucro e os vãos entre as segundas pás podem ser canais cilíndricos formados e posicionados para receber as primeiras pás cilíndricas. O eixo geométrico de rotação ao redor do qual o ele-

mento de rotação roda pode definir uma direção axial, a primeira e a segunda pás podem ser elementos planares que se estendem em direções radiais perpendicularmente à direção axial e os vãos entre as segundas pás podem ser canais planares formados e posicionados para receber as primeiras pás

5 planares. O primeiro e o segundo elementos de transferência de calor podem ficar localizados adjacentes a um mancal que suporta o elemento de rotação, o mancal pode ter uma calha interna e uma calha externa, as primeiras pás e a calha interna podem ser presas no elemento de rotação, de modo que o calor flui pela condução da calha interna para as primeiras pás e

10 do elemento de rotação para as primeiras pás, a calha externa pode ser presa no invólucro e a calha interna, elemento de rotação, primeiras pás e segundas pás podem ser dimensionados e posicionados de modo que o calor da calha interna do mancal flui pela condução sólida da calha interna para o elemento de rotação e para as primeiras pás, pela condução sólida do elemento de rotação para as primeiras pás e pela condução gasosa e convecção das primeiras pás para as segundas pás, e pela condução sólida das segundas pás para o exterior do invólucro. O aparelho pode compreender pelo menos dois mancais, cada um com seu próprio primeiro e segundo elementos de transferência de calor como descrito. O elemento de rotação

20 pode ser um volante e o volante e o invólucro podem ser parte do estabilizador de agitação giroscópico para um barco. A invenção pode também compreender um dissipador de calor no qual o calor flui das segundas pás. O dissipador de calor pode compreender aletas resfriadas a ar no exterior do invólucro. O gás entre o primeiro e o segundo elementos de transferência pode ter uma trajetória livre média molecular igual à ou menor do que a distância entre os elementos de transferência de calor. A invenção pode também compreender uma pluralidade de conjuntos de primeira e segunda pás. O gás pode ter uma maior condutividade térmica do que o ar. O componente de geração de calor pode compreender um ou mais mancais. O componente

25 de geração de calor pode compreender um ou mais motores elétricos.

30

O vão entre as pás rotativas mais quentes e as pás não rotativas mais frias pode ser mantido muito pequeno, e assim prover uma trajetória de

calor para o exterior do dispositivo contanto que as pás rotativas fiquem mais quentes do que as pás estacionárias. O calor pode ser conduzido dos componentes de geração de calor para as pás rotativas pela condução sólida, a seguir através do vão de ar para as pás estacionárias pela condução gasosa e convecção e a seguir pela condução e convecção para a atmosfera ou um dissipador de calor.

Esse primeiro aspecto da invenção tem vantagens significativas. Por exemplo, quando aplicado a condições de pressão ambiente e acima da ambiente, ele não exige o bombeamento de grandes volumes de ar ou fluido de resfriamento para resfriar os componentes de geração de calor. Entretanto, vantagens até mesmo maiores são encontradas em pressão abaixo da ambiente, onde o resfriamento convectivo com ar se torna muito difícil por causa da pressão reduzida, e a transferência de calor radiante pode ser insignificante porque os diferenciais de temperatura podem não ser grandes o suficiente para transferir uma quantidade significativa de calor. A confiança na condução gasosa se beneficia do fato que a condutividade térmica de um gás aumenta com a temperatura de modo que à medida que o gás se aquece, ele conduzirá mais calor através do vão (para um diferencial de temperatura fixo) entre as pás rotativas e estacionárias. Isso ajuda a estabilizar o comportamento térmico.

Fluxos da cavidade rotativa existirão nos pequenos vãos entre as pás fixas e rotativas mesmo em um vácuo parcial. Em algumas aplicações, a densidade do gás e/ou a velocidade rotacional serão altas o suficiente que a convecção gasosa aumentará o resfriamento por condução gasosa. O fluxo rotativo circula as moléculas do gás de modo que elas são continuamente transportadas das pás rotativas quentes para as pás estacionárias mais frias.

O primeiro aspecto permite que o calor seja removido passivamente sem circular quaisquer fluidos dentro do invólucro. Isso consideravelmente simplifica o dispositivo ou máquina, já que uma bomba de refrigerante, motor, filtro e trocador de calor não são requeridos. Mancais lubrificados com graxa podem ser usados e esses terão menos torque por atrito do que

os mancais lubrificados a óleo.

Em um segundo aspecto, a invenção representa o aparelho de resfriamento para transferir calor de e resfriar um ou mais componentes de geração de calor que suportam ou acionam um volante ou outro elemento de rotação. O aparelho compreende um conjunto de pás rotativas montadas para rodar com o elemento de rotação, um orifício configurado para direcionar um borrifado de líquido de resfriamento sobre as pás rotativas, onde o líquido de resfriamento é borrifado sobre as pás rotativas em uma localização radialmente para dentro, de modo que o líquido flui radialmente para fora sobre a superfície das pás como uma película fina de líquido e é lançado para fora das pás pela ação centrífuga e aparelho de coleta configurado para coletar o líquido lançado para fora das pás.

Implementações preferidas desse aspecto da invenção podem incorporar um ou mais dos seguintes. A intenção pode também compreender aparelho de resfriamento configurado para resfriar o líquido coletado pelo aparelho de coleta, e onde o líquido resfriado pode ser retornado para o orifício. Pode existir uma pluralidade de borrifos de líquido de resfriamento, cada corrente pode ser mais estreita do que o vão entre as pás rotativas e cada corrente pode ser direcionada de modo que ela geralmente percorre entre as pás para a localização radialmente interior. O líquido de resfriamento pode ser um óleo. O elemento de rotação pode ser envolvido dentro de um invólucro contendo um gás em pressão abaixo da ambiente ou densidade abaixo da ambiente, as pás rotativas podem rodar com o elemento de rotação dentro do invólucro e o orifício pode ser fixado em relação ao invólucro. A pressão do vapor do líquido de resfriamento pode ser menor do que a pressão de operação do gás dentro do invólucro. Pode existir uma pluralidade de conjuntos de pás rotativas. O óleo usado para o resfriamento pode também ser usado para lubrificação de pelo menos um mancal.

O aspecto de resfriamento do líquido da invenção tem vantagens significativas. Por exemplo, a película de líquido mais fria se movendo em alta velocidade através da superfície mais quente das pás rotativas constitui um trocador de calor muito eficiente. O óleo que sai das pás pode ser facil-

mente coletado e resfriado, tanto passiva quanto ativamente, e a seguir retornado para o orifício para ser borrifado nas pás novamente.

Para mancais de volante de velocidade muito alta, a lubrificação com óleo é obrigatória e nesse caso o esquema de resfriamento do líquido tem
5 uma vantagem, já que o óleo pode ser usado para resfriar e lubrificar os mancais. A quantidade de óleo requerido para lubrificar os mancais é muito pequena. Portanto, esguichar o óleo sobre as pás rotativas para o resfriamento exige muito menos potência do que esguichar ou circular o óleo através dos mancais como nos esquemas de resfriamento de mancal tradicionais.

10 Ambos o primeiro e o segundo aspectos da invenção superam o problema do resfriamento de componentes rotativos que geram calor e são envolvidos em um vácuo parcial. Eles ambos permitirão o desenvolvimento de giros de momento de controle (CMGs) para estabilizar pequenos barcos e o desenvolvimento de dispositivos de armazenamento de energia do volante
15 que usam mancais de elemento de rolamento, já que agora existe uma maneira para remover o calor desses componentes rotativos que não aumenta as exigências da potência de operação. Adicionalmente, a invenção pode auxiliar no resfriamento das calhas internas dos mancais, motores e outros componentes de geração de calor rotativos que operam em espaços confi-
20 nados em pressão ambiente ou acima da ambiente (por exemplo, fusos de ferramenta de máquina).

Outros aspectos e vantagens da invenção serão encontrados na descrição detalhada, desenhos e reivindicações.

DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

25 A figura 1 é uma vista em seção transversal de um CMG de estabilidade de barco incorporando uma implementação do primeiro aspecto da invenção.

A figura 2 é uma ampliação da porção do mancal superior 2-2 da figura 1.

30 A figura 3 é uma ampliação da porção do mancal inferior 3-3 da figura 1.

A figura 4 é uma vista da seção transversal (tomada ao longo de

4-4 na figura 5) através do elemento de transferência de calor externo da implementação da figura 1.

5 A figura 5 é uma vista plana (tomada ao longo de 5-5 na figura 4) olhando para cima nas pás do elemento de transferência de calor da figura 4.

A figura 6 é uma vista em elevação do elemento de transferência de calor da figura 4.

10 A figura 7 é uma vista plana (tomada ao longo de 7-7 na figura 6) olhando para baixo na superfície superior do elemento de transferência de calor da figura 4.

A figura 8 é uma vista da seção transversal (tomada ao longo de 8-8 na figura 9) através do elemento de transferência de calor interno da implementação da figura 1.

15 A figura 9 é uma vista plana (tomada ao longo de 9-9 na figura 8) olhando para baixo na superfície superior do elemento de transferência de calor interno da figura 8.

A figura 10 é uma vista da seção transversal de um CMG de estabilidade de barco incorporando uma implementação do resfriamento com líquido do segundo aspecto da invenção.

20 A figura 11 é uma ampliação da porção de mancal superior 11-11 da figura 10.

A figura 12 é uma ampliação da porção de mancal superior 12-12 da figura 10.

25 A figura 13 é uma elevação do conjunto de pás rotativas da implementação da figura 10.

A figura 14 é uma vista de seção transversal do conjunto de pás rotativas da figura 13.

DESCRIÇÃO DETALHADA

30 Existem muitas implementações possíveis da invenção, muitas para descrever aqui. Algumas implementações possíveis que são atualmente preferidas são descritas abaixo. Não pode ser enfatizado muito fortemente, entretanto, que essas são descrições de implementações da invenção e

não descrições da invenção, que não é limitada às implementações detalhadas descritas nessa seção, mas é descrita em termos mais amplos nas reivindicações.

É mostrado na figura 1 um estabilizador de agitação giroscópico para pequenos barcos (do tipo descrito na Patente U.S. N°. 6.973.847, incorporada aqui por referência). Um volante de aço 12 gira dentro de um invólucro de alumínio 14, que é evacuado para uma pressão abaixo da ambiente, e pode incluir um gás de densidade abaixo da ambiente (por exemplo, hélio ou hidrogênio) para reduzir o atrito no volante em rotação. Um motor elétrico (sem escova DC sem armação) 16 integrado dentro do interior do invólucro aciona o volante, que é suportado por um conjunto de mancal superior 18 e conjunto de mancal inferior 20.

Como mostrado nas ampliações das figuras 2-3, cada conjunto de mancal inclui um alojamento externo 22,24, calha externa 26,28, calha interna 30,32 e bolas 34. As vedações 36 são providas em ambos o topo e a base de cada mancal. Retentores superior e inferior 40,42 mantêm o mancal superior no lugar. Esses mancais são lubrificados por um pacote de graxa.

O calor gerado pelas calhas internas do mancal e rotor do motor elétrico é transferido para o exterior pelos conjuntos de colar de resfriamento 50,52 (uma de muitas implementações dos elementos de transferência de calor) localizados adjacentes a cada mancal. Cada conjunto de colar de resfriamento inclui um colar rotativo interno 54,56 e um colar estacionário externo 58,60 que também forma a tampa de extremidade do invólucro. Os colares 54, 56, 58, 60 podem ser construídos de uma variedade de materiais com boa condutividade térmica (por exemplo, alumínio, cobre ou plástico).

Como mostrado nas figuras 4-5, os colares externos 58,60 tem dez pás cilíndricas 62, cada uma de um raio diferente. Os vãos cilíndricos 64 são formados entre as pás. As pás são aproximadamente de 2,77 mm de espessura radial, e a separação radial entre as pás (isto é, a largura radial dos vãos) é aproximadamente 4,78 mm. As pás 62 são aproximadamente de 32 mm de comprimento ao longo da direção axial.

Os colares internos 54,56 têm onze pás cilíndricas 66 e vãos

cilíndricos 68 entre as pás (figuras 2-3), cada um de um raio diferente, e dimensionado e posicionado de modo que as pás 66 se unem com as pás 62 dos colares externos correspondentes. As pás 66 são aproximadamente do mesmo comprimento (32 mm), largura e espessura radial como as pás 62 e
5 são recebidas nos vãos 64 entre as pás 62.

Depois que os colares interno e externo são unidos, com as pás intercaladas, a separação radial entre uma pá rotativa de um colar e uma pá estacionária de um outro é aproximadamente 1 mm. Para melhorar a transferência de calor pela condução gasosa, essa separação pode ser feita tão
10 pequena quanto possível sujeita às limitações práticas tal como tolerâncias de usinagem e operação. Nas aplicações de vácuo parcial, a separação tipicamente não é menor do que a trajetória livre média das moléculas de gás na pressão de operação. Essa pequena separação garante que a condutividade térmica do gás não seja reduzida pela pressão do vácuo e auxilia a
15 transferência do calor pela convecção gasosa.

Em uma implementação, a pressão de operação é 133 pascal (1 torr), a temperatura de operação é 100 C e a trajetória livre média molecular do ar é 0,066 mm, que é significativamente menor do que 1 mm de separação radial. Na prática, a distância pode variar dessas orientações gerais con-
20 tanto que calor substancial seja transferido através da separação.

Como mostrado nas figuras 6-7, as superfícies exteriores dos colares externos 58,60 têm pás de transferência de calor adicionais 70, que transferem o calor do colar para a atmosfera circundante (pela condução na superfície das pás, com a convecção movendo o ar além das pás).

Na implementação mostrada, as pás rotativas e estacionárias
25 66, 62 têm, cada uma, uma área de superfície total de 0,34 metros quadrados. Um diferencial de temperatura típico entre as pás rotativas e estacionárias é 15 C e a condução do ar sozinha transferirá 153 watts através do vão para resfriar a calha interna do mancal nesse diferencial. Se for necessário
30 prover mais resfriamento, as pás estacionárias poderiam ser ativamente resfriadas soprando ar sobre elas (fora da restrição) para criar um diferencial de temperatura maior entre as pás rotativas e estacionárias. Um diferencial de

temperatura de 30 C transferiria 306 watts pela condução gasosa sozinha. Alternativamente, a quantidade de transferência de calor poderia ser aumentada pelo enchimento de novo da câmara de vácuo com hélio ou hidrogênio depois do bombeamento descendente inicial. A condutividade térmica do

5 hélio é aproximadamente 5,6 vezes essa do ar, e, portanto, um diferencial de temperatura de 15 C transferiria 855 watts de calor pela condução gasosa sozinha. Se mais aumentos na transferência de calor fossem requeridos, a separação radical entre as pás fixas e rotativas poderia ser reduzida de 1 mm para 0,5 mm. É tipicamente possível operar com essa pequena separa-

10 ção radial em máquinas como CMGs e dispositivos de armazenamento de energia de volante são tipicamente fabricados em tolerâncias muito estreitas (menores do que 0,025 mm tipicamente) e seus volantes são suportados em mancais de elemento de rolamento de precisão muito alta. Se o volante está envolvido em hélio em 133 pascal (1 torr), a separação radial é de 0,5 mm e

15 o diferencial de temperatura é 15 C, então 1710 watts de calor podem ser transferidos das calhas internas do mancal pela condução gasosa sozinha. É também possível ajustar a quantidade de calor transferido aumentando ou diminuindo a área de superfície das pás.

Esses exemplos mostram como o método de resfriamento e o

20 aparelho podem ser ajustados para prover a quantidade de resfriamento que os componentes de geração de calor exigem a fim de obter as temperaturas de operação estáveis. O projetista pode variar a área da pá, separação radial, tipo do gás, densidade do gás e a diferença de temperatura entre as pás rotativas e estacionárias para obter a solução ótima para uma aplicação es-

25 pecífica.

As figuras 10-14 mostram uma implementação do esquema de resfriamento com líquido. A implementação de resfriamento com líquido também depende dos colares de resfriamento no eixo rotativo adjacente à fonte primária de calor, isto é, a calha interna dos mancais do volante. Entre-

30 tanto, com resfriamento com líquido, as aletas nos colares consistem em discos planares espaçados que se estendem radialmente para fora do eixo, e não existem aletas fixas correspondentes presas na restrição do volante.

Preferivelmente, o resfriamento é realizado por jatos de óleo posicionados na restrição externa aos discos que esguicham correntes de óleo entre os discos rotativos e em direção ao centro do eixo do volante, assim conduzindo o calor dos discos para o óleo, que é então arremessado pela força centrífuga para fora para ser coletado por um forro interno dentro da restrição, mas fora do perímetro do volante. Isso força, por sua vez, o óleo quente a seguir a curvatura interna da restrição na sua trajetória gravitacional descendente, onde ele transfere o calor para a restrição, auxiliado pelas arestas interiores na restrição que aumentam a área de superfície contatada pelo óleo. O óleo é coletado em um reservatório no fundo do dispositivo, onde ele é bombeado de volta até os jatos de óleo, completando o ciclo de resfriamento.

Com referência novamente à figura 10, o calor gerado pelas calhas internas do mancal e rotor do motor elétrico é transferido para os conjuntos de colar de resfriamento superior e inferior 71,72 localizados adjacentes às calhas internas do mancal superior e inferior 73,74. No caso do mancal superior, um alojamento estacionário 75 circunda o colar de resfriamento superior e forma a tampa de extremidade do invólucro. No caso do mancal inferior, o alojamento estacionário 76 circundando o colar de resfriamento inferior é parte do conjunto do reservatório de óleo 77.

O conjunto do reservatório também contém o óleo de resfriamento 78, bomba de resfriamento 79, motor da bomba de resfriamento 80 e um filtro e válvulas (não mostrados). Os conjuntos do colar de resfriamento 71,72 podem ser construídos de uma variedade de materiais que têm boa condutividade térmica (por exemplo, alumínio e cobre).

Como mostrado em mais detalhes nas figuras 11-14, cada um dos conjuntos de colar de resfriamento tem 4 pás horizontais que formam 3 vãos entre as pás. O raio interno dos vãos é de 54 mm, o raio externo é de 89 mm e a largura dos vãos é de 2,4 mm. Os alojamentos estacionários superior e inferior que circundam os colares de resfriamento contêm, cada um, 3 jatos de óleo 81 (um por vão). Esses jatos são montados e orientados tal que eles borrifam uma corrente de óleo de resfriamento para dentro e para-

lela aos vãos entre as pás horizontais. O diâmetro do orifício do jato é de 0,64 mm onde a corrente sai.

5 A corrente muito fina de óleo de resfriamento contata o fundo de cada vão nas pás do colar de resfriamento e é redirecionada pela alta velocidade de rotação tal que ela cria uma película fina que cobre completamente as superfícies da pá antes que as forças centrífugas lancem a película para fora. A película de óleo mais fria se movendo em alta velocidade através da superfície da pá mais quente absorve o calor pela condução e o transporta para longe pela convecção. O resultado é uma transferência de
10 calor muito eficiente da calha interna do mancal para o colar de resfriamento e a seguir para o óleo de resfriamento.

O óleo aquecido que sai das pás do colar superior bate no alojamento estacionário 75, cai através de furos no alojamento do mancal 82 e é coletado por um forro interno 83 dentro da restrição, mas fora do perímetro
15 do volante 84. O forro é montado nas nervuras interiores da restrição 85 para aumentar a área de superfície em contato com o óleo. Essa disposição de forro/nervura força o óleo quente a seguir a curvatura interna da restrição na sua trajetória gravitacional descendente para o reservatório abaixo do mancal inferior. À medida que o óleo segue o seu contorno, ele transfere o calor
20 para a restrição mais fria, que diminui de maneira estável a temperatura do óleo até que ele alcança o reservatório 77.

Pode também existir um fluxo de óleo desviado que é borrifado na restrição entre as nervuras e o forro um pouco abaixo do mancal superior. Esse fluxo desviado aumenta a quantidade de óleo em contato com a restrição
25 ção e ajuda a resfriar o óleo no reservatório.

O óleo quente que sai das pás do colar inferior 72 cai dentro do reservatório 77 sem resfriamento significativo. Em qualquer ponto no tempo, o reservatório contém uma mistura de óleo do colar superior que foi resfriado pela restrição, óleo desviado que foi resfriado pela restrição e óleo do colar inferior que não foi resfriado. As áreas de superfície interna e externa da restrição e o resfriamento externo podem ser projetados de modo que calor
30 suficiente seja extraído do óleo que sai do colar superior e do fluxo do óleo

desviado para resfriar a mistura de óleo no reservatório. O óleo no reservatório é capturado pela bomba e bombeado de volta até os jatos de óleo e borrifado sobre os colares superior e inferior e através dos jatos desviados, assim completando o ciclo de resfriamento.

5 Essa implementação de colar de resfriamento particular tem uma área de superfície de pá total de 0,093 metros quadrados em contato com o óleo. A bomba de óleo entrega 0,5 Litros por minuto por colar ou 0,165 Litros por minuto por jato. A temperatura do óleo aumenta 15°C (da sua entrada sobre as pás até a sua saída das pás) para transferir 250 watts de calor da
10 calha interna do mancal e manter a calha interna em uma temperatura na faixa de 80-100 C.

 Como o esquema das figuras 1-9, o esquema do resfriamento com líquido é flexível se é necessário prover mais resfriamento. A área da pá de resfriamento, número de vãos/jatos e taxa de fluxo de resfriamento po-
15 dem todos ser aumentados para aumentar a taxa de transferência de calor das calhas internas do mancal e motor para a restrição. Se o óleo usado para a transferência de calor não é suficientemente resfriado pela restrição, então o resfriamento por ar forçado pode ser aplicado no exterior da restrição. Alternativamente, o óleo do reservatório pode ser circulado através de
20 um trocador de calor dedicado de óleo/ar ou óleo/água para extrair mais calor do óleo e também diminuir a temperatura do óleo antes de borrifá-lo sobre os colares.

 Adicionalmente, em algumas aplicações de volante de velocidade muito alta, pode ser necessário usar óleo ao invés de graxa para lubrificar
25 os mancais. Nesses casos, o mesmo óleo usado para a transferência de calor com os colares de resfriamento pode ser usado para lubrificar os mancais. A quantidade de óleo requerido para lubrificar os mancais é muito pequena. Portanto, ele pode ser entregue por um número de métodos incluindo jatos, micro dosagem, escorrimento ou deixando uma pequena quantidade
30 do óleo saindo das pás do colar entrar no mancal.

 Muitas outras implementações diferentes dessas descritas acima estão dentro da invenção, que é definida pelas reivindicações seguintes.

Como mencionado anteriormente, não é possível descrever aqui todas as implementações possíveis da invenção, mas umas poucas possibilidades não mencionadas acima incluem o seguinte:

Implementações do primeiro aspecto da invenção podem incluir

5 múltiplos conjuntos de pá ou colar instalados em um único eixo para resfriar um número de componentes de geração de calor ou melhorar o resfriamento de um componente. Gases que têm maiores condutividades térmicas e calores específicos do que o ar (por exemplo, hélio e hidrogênio) podem ser usados para melhorar a transferência de calor no vácuo parcial e aplicações

10 fechadas. Os conjuntos de pá podem ser construídos de metais com boa condutividade térmica (tais como cobre e alumínio) ou plástico termicamente condutor.

A condução gasosa e o resfriamento convectivo podem ser providos mantendo o vão entre o volante e seu invólucro muito pequeno, dessa

15 maneira permitindo que o calor flua da borda do volante e/ou disco para o invólucro mais frio. Essa disposição pode prover uma segunda trajetória de transferência de calor ou ela pode ser a trajetória de transferência de calor principal.

Implementações de resfriamento de líquido podem incluir múltiplos

20 plos conjuntos de pá ou colar instalados em um único eixo para resfriar um número de componentes de geração de calor ou melhorar o resfriamento de um componente. Se óleo é usado como o fluido refrigerante, ele pode também ser usado para lubrificar os mancais. Os conjuntos de pá podem ser construídos de metais de boa condução térmica (tais como cobre e alumínio)

25 ou plástico termicamente condutor. O fluido usado para o resfriamento poderia ser óleo, água ou um fluido de transferência de calor.

Ambos o primeiro e o segundo aspectos da invenção funcionarão em um ambiente pressurizado, na pressão ambiente ou em um vácuo parcial.

30 Como usado nas reivindicações, quando um elemento é dito estar "preso em" um outro elemento esse inclui o caso de lá existir um ou mais elementos intermediários entre os elementos, bem como o caso no qual os

elementos estão em contato direto.

Nem todos os aspectos descritos acima e que aparecem em algumas das reivindicações abaixo são necessários para a prática da invenção. Somente os aspectos recitados em uma reivindicação particular são necessários para a prática da invenção descrita nessa reivindicação. Aspectos foram intencionalmente deixados fora das reivindicações a fim de descrever a invenção em uma amplitude consistente com a contribuição dos inventores. Por exemplo, embora em algumas implementações, pás intercaladas sejam usadas para transferir calor, tais pás intercaladas não são necessárias para a prática da invenção de outras reivindicações. Embora em algumas implementações o refrigerante líquido seja circulado através das pás, o refrigerante líquido não é requerido para a prática da invenção de outras reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. Estabilizador de rolo giroscópico para um barco tendo um membro de rotação alojado em um invólucro encerrando o dito membro de rotação (12), o invólucro (14) contendo e mantendo um gás em pressão
5 abaixo da pressão ambiente, caracterizado pelo fato de que o dito gás tem uma densidade abaixo da densidade ambiente, e compreendendo ainda:

(a) uma primeira pluralidade de pás (66) fixadas ao membro de rotação (12) de modo que a primeira pluralidade de pás (66) gira com o membro de rotação (12) em relação ao invólucro (14);

10 (b) uma segunda pluralidade de pás (62) fixas em relação ao invólucro (14) e ao membro de rotação (12) de modo que as primeiras pás (66) se movem em relação às segundas pás (62), as segundas pás (62) se estendem em vãos (64) para dentro dos quais estendem-se as primeiras pás (66), de modo que as primeiras e segundas pás são intercaladas e localiza-
15 das adjacentes a um mancal (18, 20) que suporta o membro de rotação (12),

(d) o mancal (18, 20) possui uma calha interna (30, 32) e uma calha externa (30, 28), as primeiras pás (66) e calha interna (30, 32) são fixadas ao membro de rotação (12), de modo que calor flui por condução a partir da calha interna (30, 32) para as primeiras pás (66) e a partir do mem-
20 bro de rotação (12) para as primeiras pás (66), a calha externa (30, 28) é fixada ao invólucro (14), e

(e) a calha interna (30, 32), membro de rotação (12), primeiras pás e segundas pás (66, 62) são dimensionadas e posicionadas de modo que calor proveniente da calha interna (30, 32) do mancal (18, 20) flui por
25 condução sólida a partir da calha interna (30, 32) para o membro de rotação (12) e para as primeiras pás (66), por condução sólida a partir do membro de rotação (12) para as primeiras pás, e por condução gasosa e convecção a partir das primeiras pás (66) para as segundas pás (62), e por condução sólida das segundas pás para o exterior do invólucro (14).

30 2. Estabilizador de rolo giroscópico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a transferência de calor entre as primeiras e segundas pás (66, 62) é primariamente pela condução gasosa.

3. Estabilizador de rolo giroscópico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que as primeiras e segundas pás (66, 62) possuem superfícies expostas estreitamente espaçadas, através das quais o calor é transferido.

5 4. Estabilizador de rolo giroscópico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a separação entre as primeiras e segundas pás (66, 62) é maior do que 0,025mm, porém menor do que 10mm.

5. Estabilizador de rolo giroscópico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o gás está tanto em pressão abaixo da
10 ambiente como em densidade abaixo da ambiente.

6. Estabilizador de rolo giroscópico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o membro de rotação (12) é um volante e o volante e o invólucro (14) são partes de um estabilizador de rolo giroscópico para um barco.

15 7. Estabilizador de rolo giroscópico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que ainda compreende um dissipador de calor para o qual o calor flui a partir das segundas pás (62).

8. Estabilizador de rolo giroscópico, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o dissipador de calor compreende ale-
20 tas resfriadas a ar no exterior do invólucro (14).

9. Estabilizador de rolo giroscópico, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o gás possui uma trajetória livre média molecular igual ou menor do que a distância entre as primeiras e segundas pás (66, 62).

25 10. Estabilizador de rolo giroscópico, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o gás possui uma condutividade térmica maior do que a do ar.

11. Aparelho de resfriamento para transferir calor de e resfriar um ou mais componentes de geração de calor que suportam ou acionam um
30 volante ou outro membro de rotação, compreendendo:

um invólucro (14) encerrando o membro de rotação (12), o invólucro (14) contendo e mantendo um gás em pressão abaixo da pressão am-

biente,

caracterizado pelo fato de que o gás tem densidade abaixo da densidade ambiente, e em que um eixo geométrico de rotação em torno do qual o membro de rotação (12) gira define uma direção axial;

5 compreendendo ainda:

uma primeira pluralidade de pás (66) fixadas ao membro de rotação (12) de modo que a primeira pluralidade de pás (66) gira com o membro de rotação (12) em relação ao invólucro (14), onde as primeiras pás (66) são elementos cilíndricos estendendo-se em uma primeira direção substancialmente paralela à direção axial;

10 uma segunda pluralidade de pás (62) fixas em relação ao invólucro e ao membro de rotação (12) de modo que as primeiras pás (66) movem-se em relação às segundas pás (62), onde as segundas pás (62) são elementos cilíndricos estendendo-se em uma segunda direção paralela à direção axial e oposta à primeira direção, as segundas pás (62) definindo canais de formato cilíndrico para dentro dos quais estendem-se as primeiras pás, de modo que as primeiras e segundas pás são intercaladas; e

15 em que as primeiras e segundas pás (66, 62) são posicionadas em estreita proximidade umas das outras, de modo que calor substancial é transferido das primeiras pás para as segundas pás (62) e as segundas pás (62) são configuradas de tal modo que aquele calor pode ser prontamente transferido a partir das segundas pás para o exterior do invólucro (14).

20 12. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que a transferência de calor entre as primeiras e segundas pás (66, 62) ocorre tanto por condução gasosa como por convecção.

13. Aparelho, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a transferência de calor entre as primeiras e segundas pás (66, 62) e primariamente por condução gasosa.

30 14. Aparelho, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que as primeiras e segundas pás (66, 62) possuem superfícies expostas estreitamente espaçadas através das quais calor é transferido.

15. Aparelho, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado

pelo fato de que a separação entre as primeiras e as segundas pás (66, 62) é maior do que 0,025mm, porém menor do que 10mm.

16. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o gás está tanto em pressão abaixo da ambiente como em
5 densidade abaixo da ambiente.

17. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o membro de rotação (12) é um volante e o volante e o invólucro (14) são partes de um estabilizador de rolo giroscópico para um bar-
co.

10 18. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que compreende ainda um dissipador de calor par o qual flui o calor proveniente das segundas pás.

19. Aparelho, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de que o dissipador de calor compreende aletas resfriadas a ar no
15 exterior do invólucro.

20. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o gás tem uma trajetória livre média molecular igual à ou menor do que a distância entre as primeiras e segundas pás.

21. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado
20 pelo fato de que o gás possui uma condutividade térmica maior do que a do ar.

22. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o componente de geração de calor compreende um ou mais mancais (18, 20).

25 23. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o componente de geração de calor compreende um ou mais motores elétricos (16).

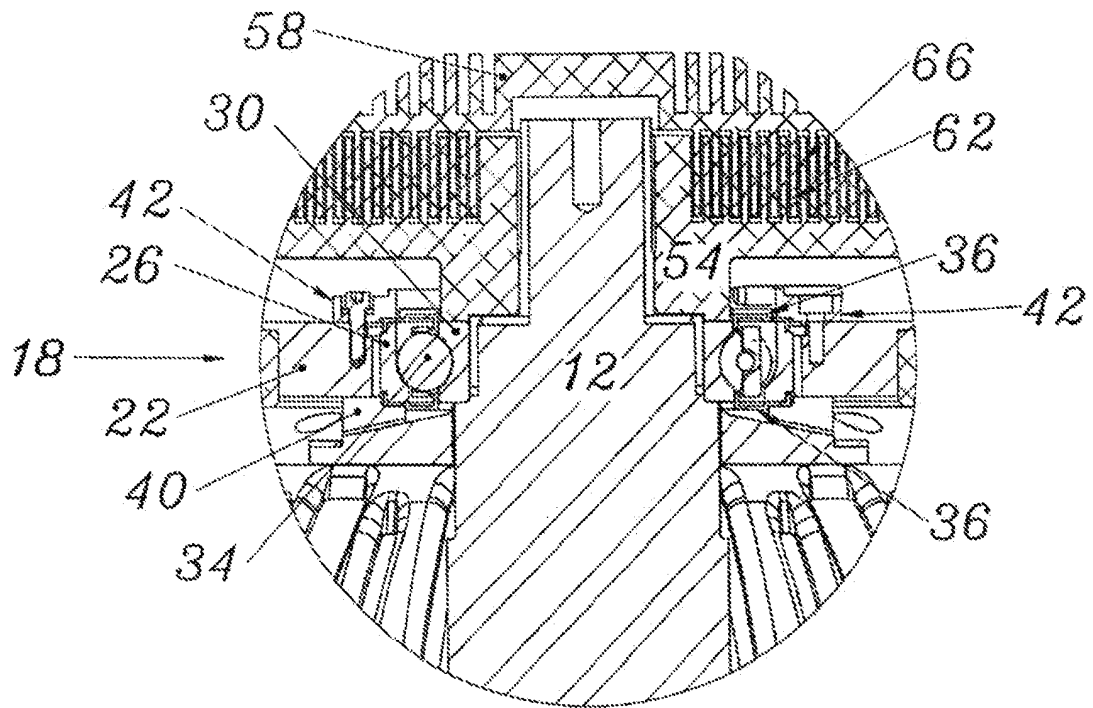


FIG. 2

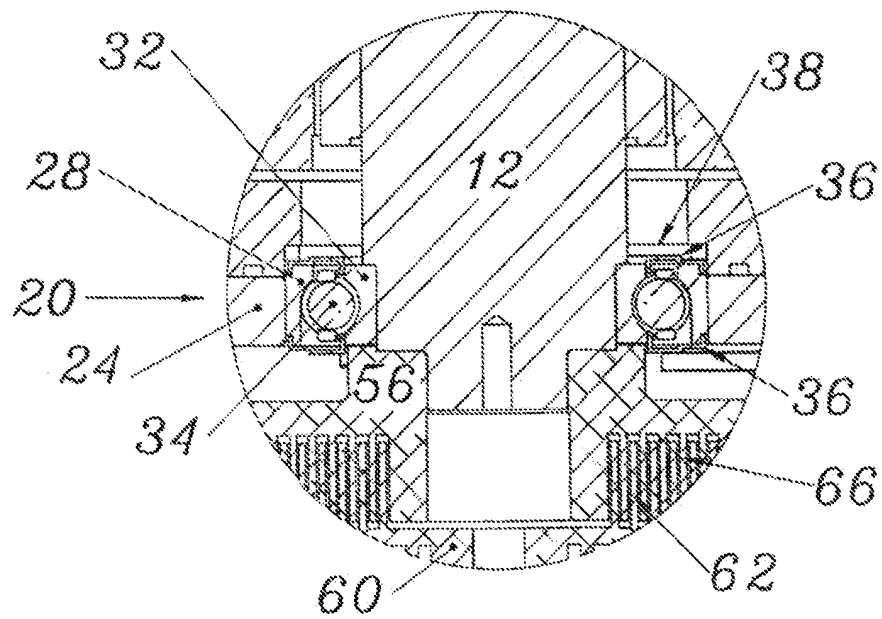


FIG. 3

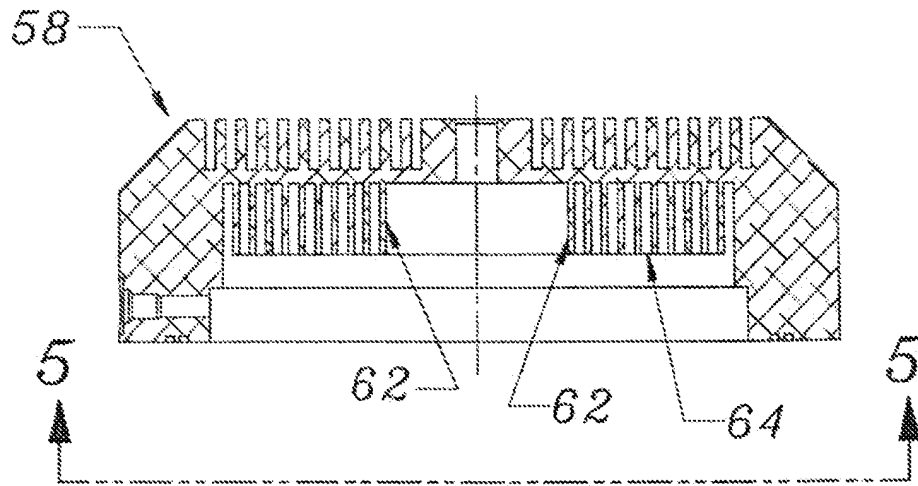


FIG. 4

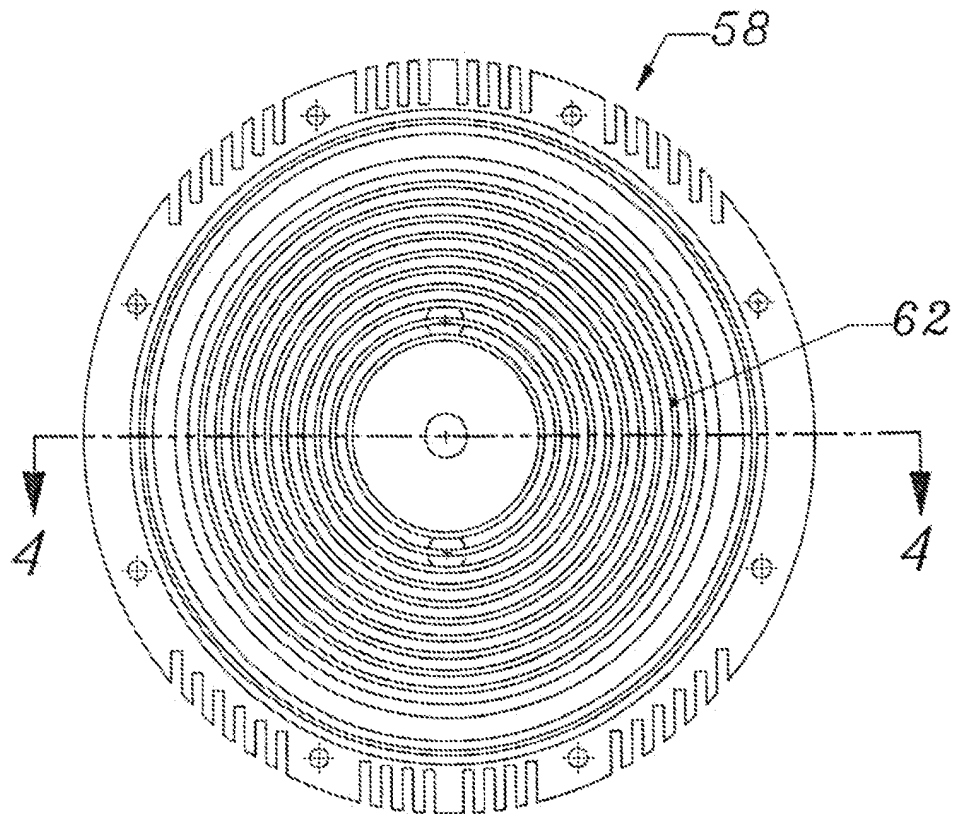


FIG. 5

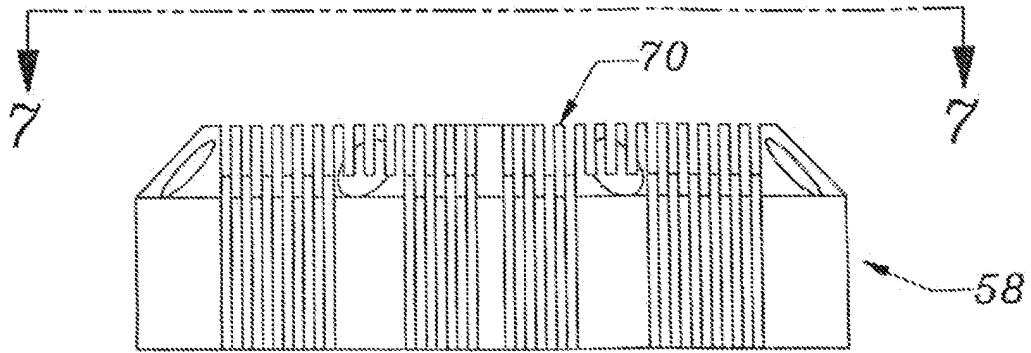


FIG. 6

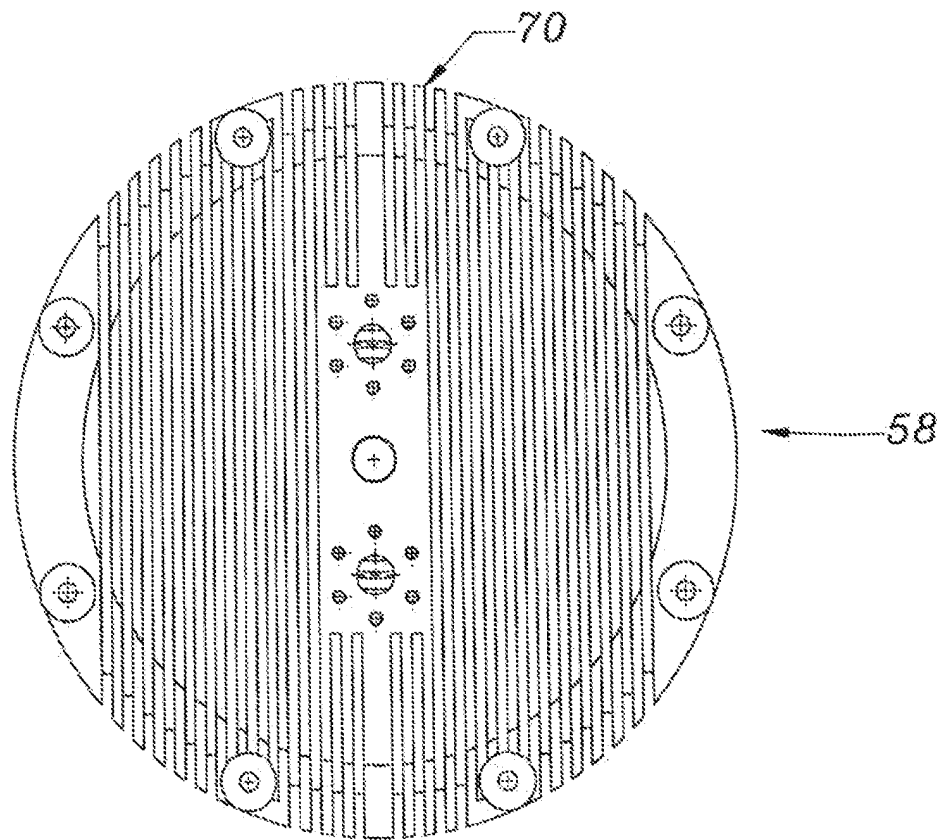


FIG. 7

5/8

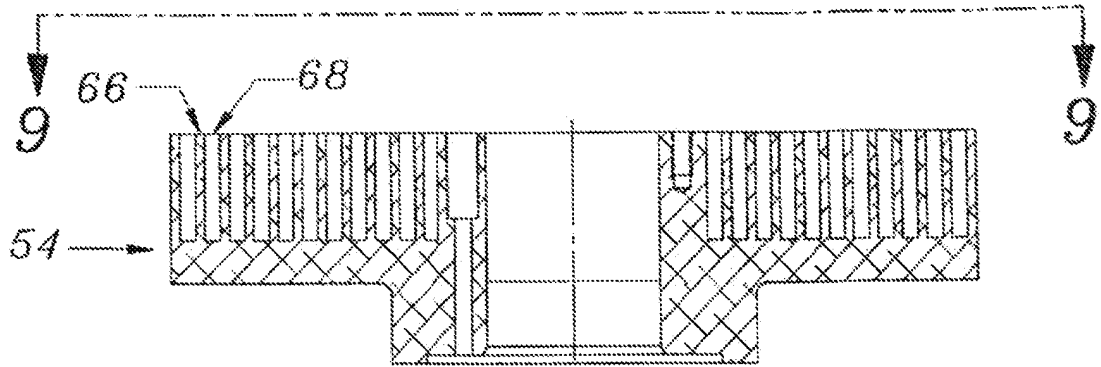


FIG. 8

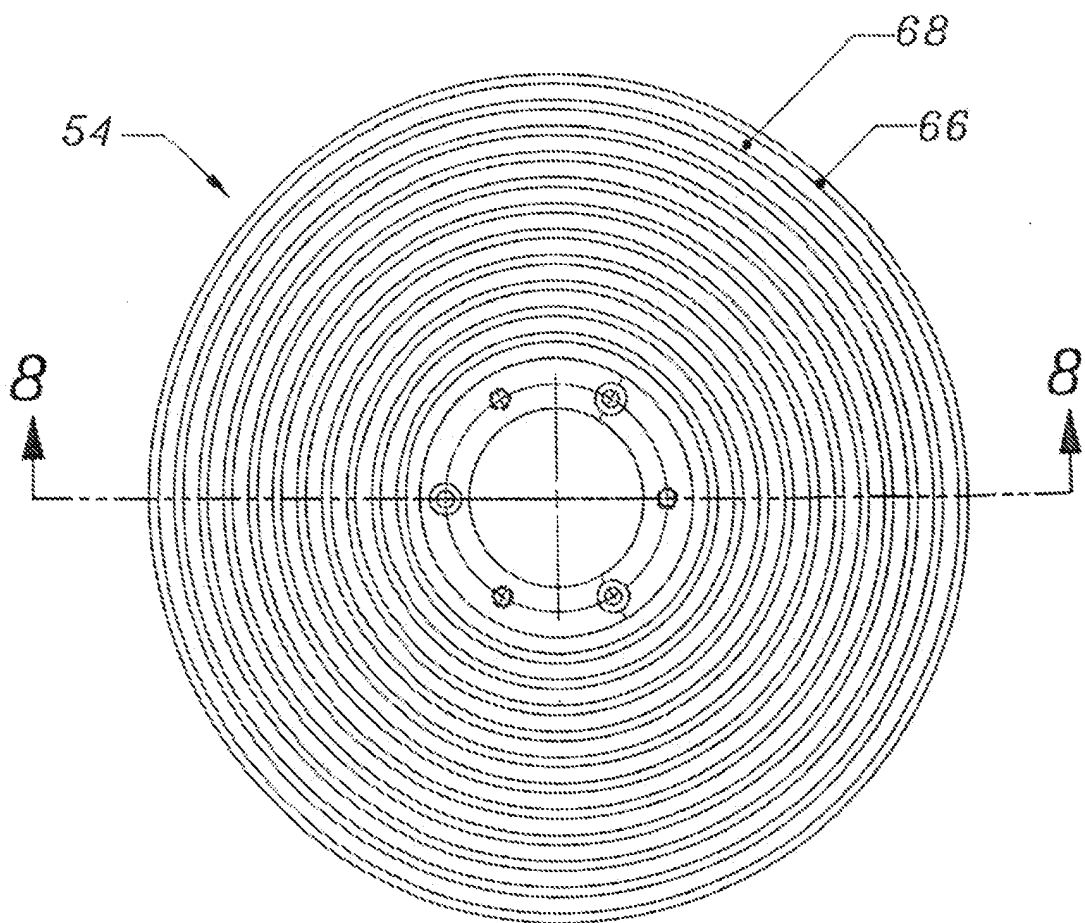


FIG. 9

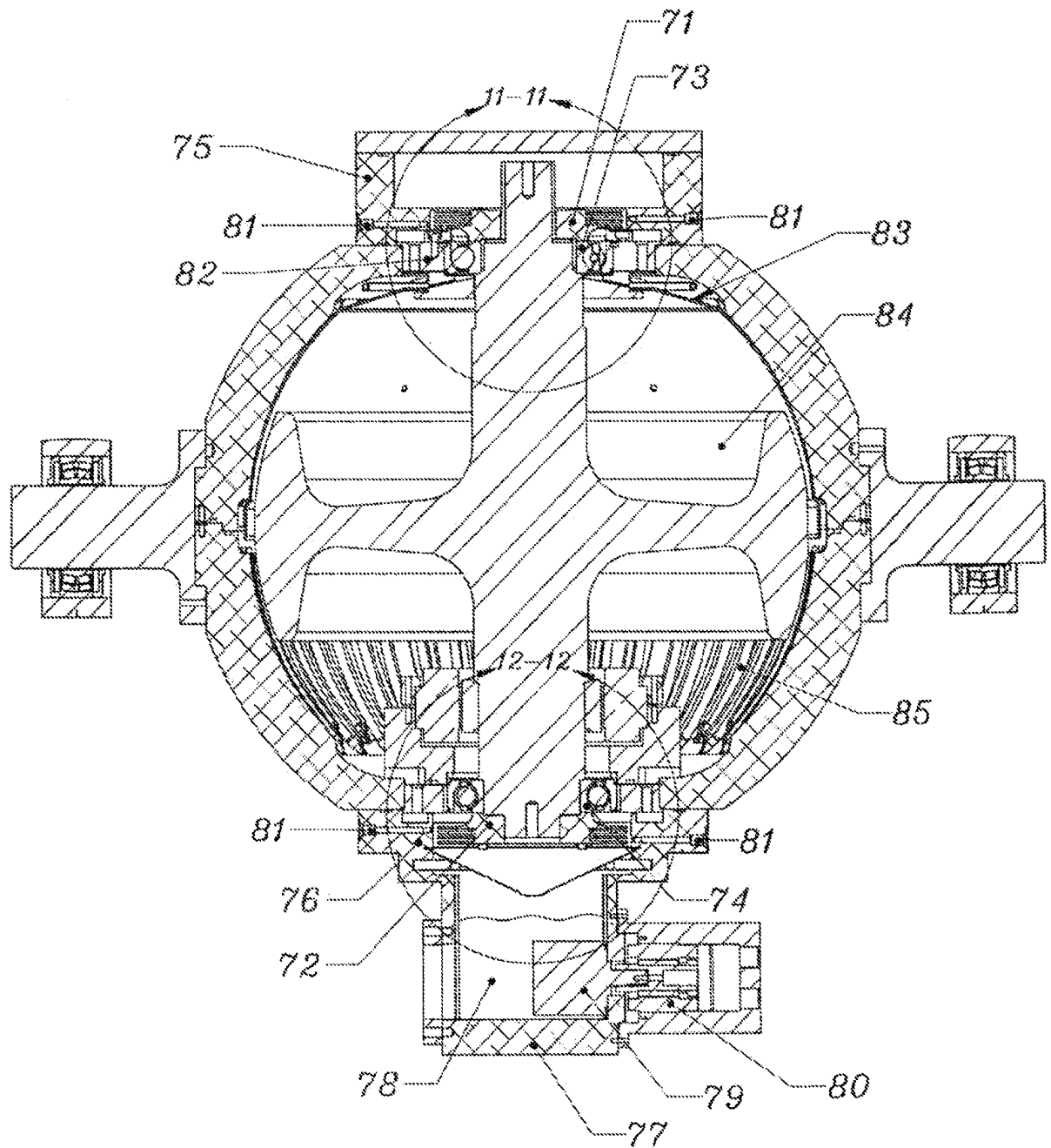


FIG. 10

7/8

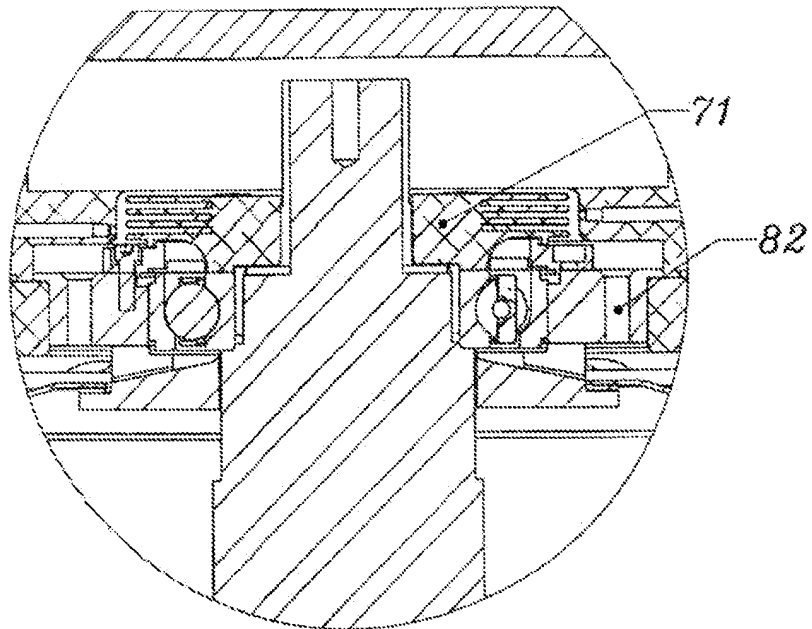


FIG. 11

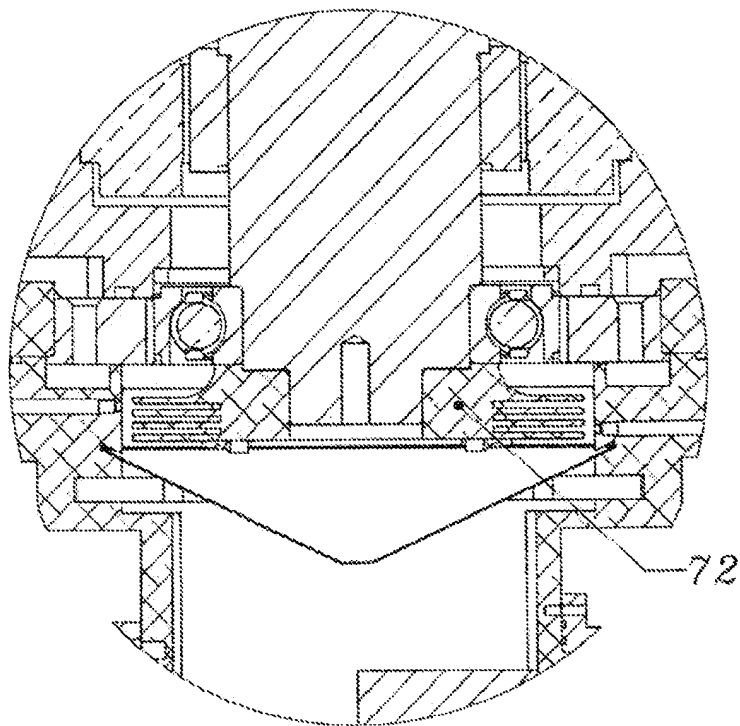


FIG. 12

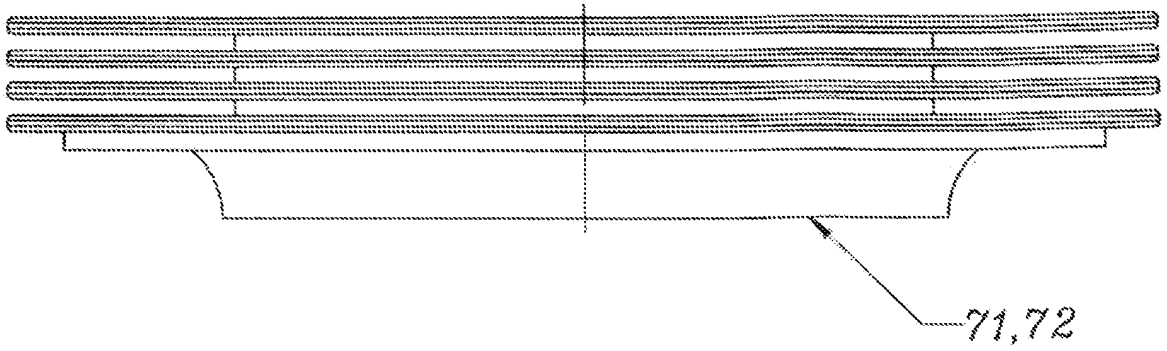


FIG. 13

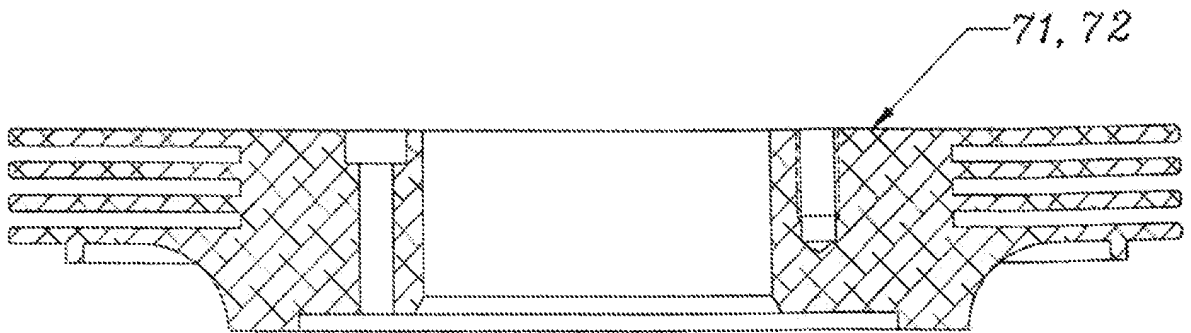


FIG. 14