



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

(11) PI 0617559-7 B1

(22) Data do Depósito: 29/09/2006

(45) Data de Concessão: 15/06/2021



* B R P I 0 6 1 7 5 5 9 B 1 *

(54) Título: MOTOR ROTATIVO DE COMBUSTÃO INTERNA

(51) Int.Cl.: F02B 53/00; F02B 53/04; F02B 47/02; F02M 25/00; F01P 9/02; (...).

(30) Prioridade Unionista: 29/09/2005 US 60/721,521.

(73) Titular(es): PRIME MOVER INTERNATIONAL, LLC.

(72) Inventor(es): BARRY R. GUTHRIE.

(86) Pedido PCT: PCT US2006037868 de 29/09/2006

(87) Publicação PCT: WO 2007/041224 de 12/04/2007

(85) Data do Início da Fase Nacional: 31/03/2008

(57) Resumo: MOTOR ROTATIVO DE COMBUSTAO INTERNA Trata-se de um motor de combustão interna rotativo de pás de G-ciclo a hidrogênio que maximiza a conversão do calor do motor em trabalho útil. Uma câmara de vapor de sódio transfere o calor de combustão excessivo para as câmaras de combustão para executar o trabalho da energia útil. Um sistema de refrigeração a água ativo captura o calor do estator invólucro do motor, do rotor, e das pás deslizantes e transfere o mesmo de volta ao ciclo de combustão ao pré- misturar o mesmo com hidrogênio para reduzir o pico da temperatura de combustão e com uma injeção inicial e final da câmara de combustão para ajudar a transferir o calor da câmara de vapor de sódio, para controlar a temperatura da câmara, e para aumentar a pressão de vapor da câmara. Um sistema de vedação da câmara de combustão inclui vedações axiais entre o rotor e o estator, vedações da face da pá entre o rotor e as pás deslizantes, e vedações da páseccionada de balanceio entre os perímetros exteriores das pás deslizantes e o estator. As pás deslizantes se alternam lateralmente dentro e fora do rotor ajudadas por um sistema (...).

MOTOR ROTATIVO DE COMBUSTÃO INTERNA

A presente invenção refere-se a motores de combustão interna, e mais especificamente a motores de pás rotativas que utilizam um G-ciclo termodinâmico de combustível de hidrogênio.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

A demanda de crescimento para o petróleo de várias nações em todo o mundo está resultando em preços de energia mais altos que têm o potencial de aumentar a inflação e tensões geopolíticas entre as nações que competem pelas mesmas reservas limitadas de petróleo. Mesmo que o suprimento de petróleo pudesse ser aumentado para satisfazer a demanda, ao fazer aumenta o potencial de produção de maiores emissões de CO₂ com a possibilidade de aquecimento global mais rápido.

Atualmente, muitas empresas de transporte, petróleo e de energia e governos estão investindo bilhões de dólares em programas de pesquisa e desenvolvimento relacionados com o hidrogênio para produzir uma fonte de combustível que substitua gradualmente os combustíveis fósseis. Por exemplo, muitas empresas de carros têm desenvolvido veículos com célula de combustível de hidrogênio. No entanto, a durabilidade da célula de combustível, a eficiência, os requisitos de pureza do combustível, a armazenagem do hidrogênio e as limitações de custo são grandes barreiras à implementação.

Os fabricantes de automóveis também estão desenvolvendo sistemas híbridos de propulsão de motores elétricos/de combustão interna como um estágio de transição entre os veículos atuais de motor de combustão interna e os veículos futuros de células de combustível. No entanto, não está claro se os sistemas de propulsão elétricos híbridos propiciam benefícios de eficiência de valor adicionado suficientemente alto aos consumidores para justificar o seu

custo mais elevado.

A conversão dos sistemas de motores de combustão interna existentes para operar com hidrogênio também não ocorre sem problemas. A temperatura de combustão para o hidrogênio é muito mais elevada do que para a gasolina, resultando na formação de grandes quantidades de emissões de NOx. A utilização de misturas magras de combustível de hidrogênio reduz as emissões potenciais de NOx, mas também reduz bastante os níveis de desempenho de saída de potência. A injeção direta de hidrogênio pode melhorar esse problema, mas os injetores são muito caros e requerem altas pressões e tolerâncias. O pulso da injeção fornece uma quantidade limitada de combustível de hidrogênio que o torna insuficiente para aplicações de maior potência. A secura do hidrogênio gasoso também faz com que fique mais difícil para os injetores de pulsação trabalhar e aumenta o desgaste dos injetores. Além disso, a difusão elevada do hidrogênio gasoso resulta frequentemente na passagem de hidrogênio gasoso através de sistemas de vedação do motor para regiões do eixo de manivela, resultando em uma combustão muito indesejável que pode danificar o motor e/ou colocar o lubrificante de óleo em combustão.

DESCRIÇÃO RESUMIDA DA INVENÇÃO

Um motor de combustão interna de pás rotativas de G-ciclo de hidrogênio de alta eficiência maximiza os benefícios de energia termodinâmica para conferir uma eficiência de frenagem térmica incrementada para uma economia de combustível maior, uma densidade de potência maior para o peso e o volume do motor, com menos NOx. O motor também é otimizado para maximizar os benefícios mecânicos do motor de pás rotativas para complementar a operação de G-ciclo com uma vedação incrementada, rotor, e sistemas de abrigo para minimizar as perdas de calor, a destruição da energia de

exergia, e reduzir a atrito para melhorar a confiabilidade, a vida útil e ruído, vibração, e aspereza (NVH).

As perdas de calor termodinâmico no motor de combustão interna de G-ciclo e pás rotativas são controladas
5 através da remoção do calor e da reintrodução do mesmo ao utilizar uma câmara de vapor de sódio, injeções de água da câmara, e uma super-expansão geométrica da câmara, para empregar desse modo a entalpia do calor e do gás de exaustão que seria perdida de outra maneira para o sistema de
10 refrigeração e a atmosfera. Um sistema de refrigeração de água ativo captura o calor do invólucro e da exaustão e injeta o mesmo de volta no ciclo do motor. A combinação de todos esses fluxos de transferência de calor produz um motor com densidade de potência muito elevada e uma eficiência
15 térmica de frenagem total em 65 a 80% que é idealmente adequada para aplicações de geração de potência e propulsão.

O motor de hidrogênio da presente invenção atinge os objetivos acima mencionados mediante o emprego de um G-ciclo termodinâmico de alta eficiência elevada de hidrogênio
20 do processo de combustão incrementado, transferência de calor incrementada, refrigeração, e perdas mais baixas de rejeição de calor mediante o emprego de uma aplicação de combustível de hidrogênio incrementada, uma taxa variável de compressão da água, uma faixa operacional de equivalência de
25 combustível/ar mais ampla, uma ignição de hidrogênio incrementada, câmara expandida de combustão/expansão, uma duração maior da combustão, um sistema de transferência de calor da câmara de vapor de sódio reversível de energia com injeções de água nos estágios iniciais e finais.

30 O motor de hidrogênio da presente invenção tem um sistema de vedação aperfeiçoado que compreende vedações de pás divididas, ponta de nariz arrebitado, vedações de pás divididas axiais dinâmicas, passagens de gás de vedações de

pás, vedações axiais de rotor dinâmico, vedações de face de pá, estrutura de pá, refrigeração/transferência de calor de canal de tubulação de calor de pá, e sistema circundante anti-centrífugo de pá. O motor tem uma estrutura incrementada do rotor com controle térmico do rotor mediante o emprego de uma refrigeração/transferência de calor da câmara de vapor de água e atrito reduzido de pá de um sistema de rolamentos tangencial de pá incrementado. O motor tem um invólucro incrementado com geometria interna oval distorcida do estator do invólucro para uma expansão maior, temperaturas de operação do invólucro mais altas, lubrificantes sólidos, refrigeração/transferência de calor ativa da água de refrigeração, vazamento reduzido de hidrogênio, câmaras de vapor de água externas, e tampa de isolamento.

A presente invenção também apresenta uma potência elétrica direta incrementada de um conversor térmico-elétrico de metal alcalino (AMTEC) localizado na câmara de vapor de sódio.

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de um ciclo termodinâmico incrementado com menos perda de calor de exaustão, perda de calor do sistema de refrigeração, e menor perda de calor de atrito, o que resulta em maior eficiência de frenagem térmica total em relação aos motores de combustão interna existentes.

Segundo a segunda lei da termodinâmica, qualquer conversão de calor em trabalho é maximizada pela eficiência do ciclo de Carnot, e alguma quantidade de calor tem que ser enviada a um dissipador frio. No entanto, a eficiência do ciclo de Carnot somente é válida em reações de câmaras simples. O G-Ciclo supera as limitações da eficiência do ciclo de Carnot mediante o emprego de um ciclo de reação de múltiplas câmaras que utiliza os sistemas termodinâmico e mecânico combinados de todo o motor como ciclo termodinâmico

da reação. Uma câmara de vapor de sódio prende ou se sobrepõe a múltiplas reações da câmara em conjunto ao longo da zona de combustão/expansão. A câmara de vapor de sódio permite que o calor adicional da zona de combustão seja transferido de volta às câmaras de combustão ao longo da zona de expansão.

O motor de G-Ciclo é um sistema automático dinamicamente balanceado que controla e mantém os atributos de transferência de calor termodinâmica através do ciclo de combustão/expansão para atingir o desempenho máximo de potência e eficiência. O motor utiliza uma zona de combustão/expansão maior do que a zona de admissão/compressão onde os gases de combustão podem se expandir e executar o trabalho máximo até as pressões da câmara ficarem iguais às perdas de atrito de rotação. Uma câmara de vapor de sódio localizada ao longo da zona de combustão/expansão é utilizada para colocar em ignição uma pré-mistura de hidrogênio/água e remover o excesso de calor de combustão da zona de combustão e transferir o mesmo de volta às cavidades de combustão das câmaras rotativas ao longo da zona de expansão super-expandida. A injeção de água do estágio inicial ao longo da passagem de combustão/expansão nas câmaras de combustão também absorve o excesso de calor de combustão e o calor da câmara de vapor de sódio ao longo da zona de combustão/expansão estendida. A injeção de água do estágio final ao longo da combustão/expansão abaixa as temperaturas do gás de combustão para minimizar as perdas de calor de exaustão e para refrigerar a superfície da câmara de combustão para o ciclo de admissão seguinte.

A água do sistema de refrigeração ativo é utilizada na injeção de água dos estágios inicial e final nas cavidades de combustão. O calor absorvido no sistema de refrigeração ativo eleva a temperatura da água até aproximadamente 250 a 350 graus C ou 523 a 623 graus K. Essa temperatura fica

exatamente abaixo do ponto de ebulição do vapor de água, e permite que a água seja bombeada à alta pressão como um líquido hidráulico nas cavidades de combustão. Com temperaturas de combustão em torno de 1.800 graus K, a
5 injeção de água abaixa drasticamente a temperatura do gás de combustão. Isso acelera a transferência de calor da câmara de vapor de sódio de volta para a câmara de combustão até que o equilíbrio da temperatura seja atingido.

O motor de G-ciclo tem um grande potencial de
10 aumentar a economia de combustível e reduzir as emissões de exaustão dos motores de combustão interna (ICE) do estado da técnica. O grande potencial de aumento da economia de combustível advém do uso do calor residual das paredes do cilindro e do gás de exaustão para produzir água aquecida e
15 injetar a mesma no cilindro onde a fase de água aquecida muda de um líquido a um vapor para uma potência de expansão adicional. A eficiência do ciclo do motor de G-ciclo não fica limitada à eficiência do ciclo de Carnot devido ao fato que, no G-ciclo, a massa do meio de trabalho para produzir a
20 potência de expansão aumenta durante o ciclo, juntamente com o benefício adicional de uma relação de expansão (gera potência) mais alta do que a relação de compressão (consome potência), enquanto que no ciclo de Carnot a massa do meio de trabalho e a relação de compressão/relação de expansão é
25 fixa. Além disso, a eficiência elevada do ciclo no motor de G-ciclo não se baseia na alta temperatura de combustão (tal como o ciclo de Carnot recomenda), mas na mudança ou transferência de energia calórica em torno do ciclo. Desta maneira, a barreira da mudança de eficiência do ciclo de
30 NOx/fumaça/motor em um ICE convencional é um impacto.

Não somente o G-Ciclo utiliza todo o calor do motor de combustão, mas também utiliza o calor do atrito mecânico que é capturado no sistema de refrigeração e transferido de

volta à câmara de combustão, resultando em um sistema de energia reversível.

O que segue são os eventos do processo de G-ciclo principal, tal como ilustrado na figura 71:

5 1. A câmara do rotor gira após a porta de entrada onde apanha uma carga completa de ar fresco que é aspirado naturalmente ou é preferivelmente turbo-impulsionado.

10 2. Uma vez que a câmara do rotor tenha passado a entrada e alcançado a sua carga máxima de entrada, a geometria do invólucro irá começar a comprimir o ar de entrada. Uma quantidade variável de água aquecida a aproximadamente 250°C a 350°C ou 523°K a 623°K do sistema de refrigeração ativo é injetada na cavidade da câmara durante o estágio de compressão. Essa é a primeira injeção variável de
15 água. A água aquecida é estratificada na câmara de combustão ao longo dos lados e da metade traseira da câmara do rotor, aumentando a relação eficaz de compressão da câmara. A água aquecida é considerada um fluido incompressível, e a quantidade de água aquecida pode ser variada para controlar e
20 ajustar a relação de compressão da câmara. A câmara do rotor é estratificada com ar fresco na metade dianteira e água é injetada na metade traseira.

 3. O hidrogênio gasoso aquecido é injetado diretamente em uma cavidade da câmara do rotor durante a
25 compressão do estágio final. Utilizando a injeção direta de hidrogênio em uma cavidade da câmara do rotor, o problema de paradas da pré-ignição é eliminado. O hidrogênio é menos denso do que a massa de ar e água e irá tender a estratificar perto da metade dianteira da câmara do rotor, mantendo uma
30 concentração relativamente homogênea de hidrogênio que é misturado facilmente com o ar de entrada fresco que também é estratificado para a metade dianteira da câmara. A geração de uma mistura homogênea de concentração de hidrogênio/ar é

facilmente colocada em ignição.

4. Uma vela de ignição pode colocar o hidrogênio em ignição, ou, dependendo da relação de compressão eficaz, uma auto-ignição controlada pode ocorrer. A temperatura de auto-ignição do hidrogênio é de 585°C ou 858°K.

5. Enquanto a câmara do rotor gira depois do centro inoperante superior (TDC), o calor de combustão acima de 600°C ou 873°K passa através de um revestimento de barreira de proteção de peroskvita (TBC) na superfície interna do invólucro exterior do estator e é transferido para a câmara de vapor de sódio (SVC). O TBC de peroskvita protege o invólucro contra a ignição de combustão constante a 1.800°K. O sódio na fase de SVC muda de um líquido para um gás e flui ao longo da trajetória de expansão.

6. A temperatura da superfície do TBC de peroskvita pode combinar com a temperatura de pico do gás de 1.800°K. Essa área de superfície de alta temperatura fica bem acima da temperatura de autoignição do hidrogênio de 585°C ou 858°K e irá incrementar ainda mais a reação de combustão completa.

7. Uma segunda injeção de água da água aquecida a aproximadamente 250°C a 350°C ou 523°K a 623°K do sistema de refrigeração ativo é injetada no estágio inicial da reação de combustão/expansão para resfriar bruscamente parcialmente ou refrigerar a reação de combustão para controlar a temperatura de pico a aproximadamente 1.800°K e baixar a temperatura do gás e da água da câmara a uma temperatura de aproximadamente 600°C ou 873°K para acelerar a transferência de calor de uma temperatura mais alta da câmara de vapor de sódio de volta às câmaras do rotor ao longo da trajetória de expansão. A água aquecida irá mudar a fase de um líquido para um vapor superaquecido que se expande bastante, aumentando a pressão eficaz média da câmara (MEP) para executar o trabalho.

8. A câmara de vapor de sódio irá continuar a

transferir o calor de volta às câmaras rotativas, mantendo a temperatura da câmara em aproximadamente 600°C ou 873°K . À medida que os gases e a água das câmaras do rotor resfriam, as forças centrífugas irão forçar gotas de água mais frescas e mais pesadas de encontro à parede exterior da superfície do invólucro, o que irá ajudar a absorver o calor do SVC e acelerar a transferência de calor de volta à câmara do rotor do SVC e ainda manter a pressão de vapor elevada e MEP para executar o trabalho.

9. No terceiro refrigerador de injeção de água, a água do sistema de refrigeração ativo a 30°C ou 303°K é injetada no estágio final de combustão/expansão imediatamente antes da porta de exaustão para refrigerar a reação de combustão e o rotor da câmara de combustão, a pá, e os componentes de vedação, e para impedir o estrangulamento térmico na carga de admissão seguinte. A água fresca ajuda a aumentar a pressão e a densidade de vapor da câmara. A água fresca também ajuda a condensar o vapor de água, fazendo com que ele fique mais fácil de recuperar.

10. Os gases de exaustão com água em alta pressão, alta velocidade, temperatura mais baixa e densos seguem então através de uma turbina do turbocarregador de geometria variável e dirigem um compressor de entrada.

11. A água de exaustão é condensada, filtrada e recirculada de volta ao sistema de refrigeração ativo.

Gerenciamento Térmico da Baixa Perda de Calor

No motor de G-Ciclo, o dissipador de calor é enviado à câmara de vapor de sódio e ao sistema de refrigeração ativo com a injeção de água dos estágios inicial e final. Esses sistemas são reversíveis e têm capacidade de reciclar os fluxos de calor de volta às câmaras do motor para aumentar a eficiência termodinâmica. A água do sistema de refrigeração ativo que não deve ter normalmente nenhum valor

de exergia ou capacidade de executar trabalho é injetada de volta na câmara do motor onde pode executar trabalho de exergia positivo. O calor absorvido no SVC é desabsorvido ou transferido de volta às câmaras do motor para executar o trabalho de exergia. O calor do sistema de refrigeração de água ativo e do SVC irá interagir sinergisticamente e pode transferir o calor de e para cada sistema. Isto permite que uma grande parte do calor seja transferida continuamente de volta através do motor para conferir o benefício de trabalho de exergia positivo. Ou seja, uma parcela do calor é perdida durante cada transferência.

É bastante fácil reduzir a temperatura do gás de combustão ao regular a quantidade de água injetada de volta na câmara de combustão do rotor. A chave consiste em balancear a injeção da água para também maximizar o trabalho e a entalpia do motor no sistema da câmara e motor. Se demasiada água for adicionada, a reação irá resfriar bruscamente ou esfriar demasiadamente cedo e não terá bastante entalpia para esgotar corretamente o fluxo de ar. Se demasiadamente pouca água for injetada, todo o potencial do calor não será recuperado e pode haver perdas de calor de exaustão elevadas e/ou perdas de calor de refrigeração.

Câmara de Vapor de Sódio e Transferência de Calor

No motor de G-ciclo, uma câmara de vapor de sódio (SVC) trabalha como uma tubulação de calor bifásica, absorvendo o calor da zona quente de combustão e transferindo o mesmo de volta às câmaras rotativas durante o curso da expansão.

O SVC utiliza o sódio como um fluido de trabalho. O calor liberado pela combustão do motor é transferido para a zona do evaporador do SVC, onde o sódio líquido absorve o calor transferido e muda a fase de um líquido em vapor de gás. O vapor de gás de sódio se move então a velocidades

sônicas ao longo do SVC para a zona do condensador onde o gás de sódio transfere o seu calor de volta às câmaras de combustão rotativas ao longo da zona de expansão e o sódio muda de fase de um vapor de gás a um líquido. Uma série de
5 malhas de absorção confere atividade capilar para absorver uniformemente o sódio líquido de volta para a zona do evaporador do SVC onde o sódio é evaporado outra vez e o ciclo é repetido.

Há um retardamento do fluxo de calor no tempo que o
10 calor é absorvido no sistema de refrigeração ativo e da câmara de vapor de sódio e no tempo que ele é transferido de volta ao ciclo de expansão do motor. No entanto, esse retardamento é insignificante para o G-Ciclo de trabalho devido aos fluxos de calor contínuos. O retardamento é
15 somente aparente durante a partida quando o calor de combustão deve ser absorvido principalmente no SVC e no sistema de refrigeração ativo para carregar os mesmos até as suas faixas de temperatura de operação.

À medida que as rotações por minuto do motor
20 aumentam, a carga de calor transiente muda proporcionalmente. Isto muda a relação do retardamento de transferência de calor com as câmaras de rotação. No entanto, o SVC é um sistema de auto-balanceamento que se ajusta automaticamente a condições de cargas mais altas. À medida que as velocidades de rotação
25 aumentam, a carga de transferência de calor térmica ao SVC aumenta e o movimento do rotor também aumenta o potencial de retardamento para transferir de volta o calor às câmaras do rotor. Quanto mais elevada a temperatura de sódio do SVC, maior o diferencial de temperatura da zona do evaporador de
30 sódio quente à zona do condensador. Isso aumenta a transferência de calor dentro do SVC. À medida que a carga de calor da combustão continua, a temperatura de operação média do SVC das zonas do evaporador e do condensador pode

aumentar. Isto resulta em uma condição onde há um diferencial maior da temperatura entre o SVC e as câmaras rotativas ao longo do trajetória de expansão de modo que mais calor é transferido de volta a taxas muito mais elevadas. Além disso, a uma rpm mais elevada, há uma duração mais curta de transferência de calor de e para o SVC. Isso irá limitar a carga de calor excessiva para o SVC.

O sódio é altamente reativo com a água e pode gerar hidrogênio gasoso aquecido, o qual pode entrar em ignição. Para reduzir a interação e a reação entre o sódio e a água: primeiramente, a quantidade de sódio é mantida relativamente pequena para manter os danos limitados, até mesmo com motores de dimensões muito grandes; em segundo lugar, a tampa do motor é feita de um material de superliga que é muito forte de modo a não romper facilmente; em terceiro lugar, a curvatura do desenho da geometria da tampa do SVC também confere uma resistência tremenda às forças de impacto da transferência para impedir a ruptura; em quarto lugar, a tampa exterior ainda é protegida por uma camada muito grossa de isolamento de espuma de metal ou de material de cobertura que também protege a câmara de vapor de sódio contra impactos; em quinto lugar, um sistema regulador de pressão do SVC interno é utilizado, o qual ajuda a otimizar os fluxos de calor internos de operação do sódio, absorve as altas pressões de impacto, e reduz a possibilidade de uma ruptura; e em sexto lugar, no caso de uma ruptura, a interação da água com o sódio é tipicamente muito localizada e a velocidade da reação diminui, de modo que há algum potencial de fogo, mas não necessariamente uma explosão que resulte em estilhaços de metal.

Tampa de Isolamento de SVC Exterior

A superfície exterior do SVC é coberta com uma tampa de isolamento que ajuda a reduzir as perdas de calor

através do SVC para o meio ambiente. A tampa de isolamento também ajuda a reduzir de maneira significativa o nível de ruído dos motores de G-ciclo. A tampa de isolamento pode ser feita de uma cobertura de isolamento de materiais de cerâmica ou de espuma metálica ou de materiais cerâmicos. Esses materiais também protegem bastante o SVC contra os danos de impacto de um acidente que possa romper o SVC.

Conversor Térmico-Elétrico de Metal Alcalino

Ainda um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de um suprimento direto de eletricidade. A presente invenção apresenta sistemas de câmara de vapor de sódio para remover o excesso de calor ao longo da zona de combustão para transferir o mesmo ao longo da zona de expansão. O perfil de transferência de calor de circulação do fluido de trabalho de sódio é idêntico para a utilização de um conversor térmico-elétrico de metal alcalino (AMTEC) para gerar eletricidade. O AMTEC utiliza o sódio como um fluido de trabalho que é aquecido e pressurizado de encontro a um eletrodo sólido de beta alumina (BASE) onde o sódio é convertido de um líquido em um gás e os íons de sódio passam através da BASE para gerar eletricidade.

Refrigeração do Rotor

A superfície do rotor é coberta com um TBC de aglomerado de defeito que tem capacidade de operar até a 1.400°C. O TBC ajuda a proteger o rotor contra os danos do calor de combustão e minimiza a transferência de calor de superfície ao rotor. O calor da câmara do rotor que passa através do TBC do rotor será absorvido em uma câmara de vapor de água localizada debaixo da superfície do rotor. A câmara superior de vapor de água do rotor é uma zona do evaporador onde o fluido de trabalho de água muda a fase de um líquido a um gás e transfere o calor dentro da câmara de vapor de água aos condensadores localizados em ambos os lados do rotor. Um

sistema de refrigeração ativo de água asperge a água através dos condensadores do rotor enquanto o rotor gira para absorver o calor do condensador, por meio do que a água da câmara de vapor do rotor refrigera e muda a fase de um gás para um líquido e é então recirculada de volta para a zona do evaporador por forças centrífugas G elevadas. A câmara de vapor de água do rotor também ajuda a isothermalizar a distribuição do calor através da superfície inteira do rotor. Isso ajuda a melhorar a combustão uniforme por toda a câmara e a impedir pontos quentes térmicos e deformações na estrutura do rotor.

Alta Eficiência Termodinâmica de Frenagem

Por causa de sua transferência de calor de vapor de sódio, injeção da água, e curso prolongado de expansão, o motor de G-ciclo pode atingir uma eficiência termodinâmica de frenagem mais elevada. O calor que pode ser perdido para o invólucro e o sistema de refrigeração é recuperado do sistema da câmara de vapor de sódio. O calor que é transferido para o sistema de refrigeração ativo é reciclado de volta ao ciclo de combustão/expansão. A câmara de combustão/expansão expandida com injeção de água permite que uma quantidade máxima de calor de combustão seja convertida em MEP e trabalho, reduzindo as perdas da temperatura de exaustão. As perdas de atrito do curso de compressão e do calor das pás deslizantes e do rotor são capturadas na água do sistema de refrigeração ativo e injetadas de volta nas câmaras de combustão e no ciclo de operação. Ao utilizar o motor inteiro como ciclo reduz as perdas de calor total da combustão, da transferência de calor, da refrigeração, da exaustão e do atrito que impulsiona a potência máxima e a eficiência termodinâmica de frenagem aos níveis que alcançam 65-80%.

O G-ciclo pode ser adaptado para o uso com motores Wankel e outros motores rotativos, mas a realização preferida

é projetada especificamente para o motor de G-ciclo da presente invenção que tem uma série de sistemas mecânicos singulares projetados para otimizar a operação termodinâmica e mecânica de G-ciclo.

5 Alta Densidade de Potência Balanceada

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de uma melhor distribuição de potência balanceada que também tem uma potência mais elevada do motor para o desempenho do volume e do peso.

10 Um objetivo desse motor é a otimização de cada um dos quatro cursos de ciclo do motor e a síntese de sua operação em um sistema de motor completamente integrado que atinge uma alta eficiência do motor, assim como uma alta potência para o volume do motor e a densidade do peso da
15 massa. A configuração preferida do motor é um motor do tipo de pás rotativas em que o rotor é centrado no eixo de acionamento. O motor de estilo rotativo é ideal, uma vez que ele pode separar cada um dos quatro ciclos do motor independentemente. Ele também permite que todas as forças de
20 combustão e mecânicas trabalhem continuamente e sejam alinhadas para girar somente em uma direção em contraposição aos motores alternantes. Isso cria uma rotação mais suave e mais balanceada com menos vibração e forças de tensão. As câmaras utilizadas no motor da presente invenção são
25 relativamente menores, o que permite que a reação de combustão seja mais bem controlada de modo que o motor possa operar suavemente com apenas um rotor.

O motor também pode ter um número variável de rotores ligados no mesmo eixo motor para aumentar a
30 capacidade de potência total do sistema de motor. O número de rotores é limitado ao comprimento e à intensidade do eixo motor para suportar as cargas operacionais de todos os rotores. O motor da presente invenção também pode ter seis,

oito, nove ou doze câmaras de combustão. No entanto, a realização preferida é um motor com oito câmaras. Com seis, oito, nove, doze ou mais câmaras, dependendo da faixa do motor por 360 graus de rotação de CA, o motor pode gerar uma
5 potência de deslocamento e um torque muito elevados dentro de um volume do motor e um peso de massa pequenos.

Por exemplo, para um motor com oito câmaras de combustão no rotor, o motor irá prover oito pulsos de potência por 360 graus de rotação da manivela.

10 Relação de Compressão de Injeção de Água Variável

Embora o uso de um SVC no motor de G-ciclo de hidrogênio permita que uma cavidade de combustão seja eliminada completamente do motor, tal cavidade ajuda a controlar as propriedades de estratificação do hidrogênio e
15 da água para melhorar a ignição e gerar turbulência para uma melhor mistura da reação de combustão. No entanto, o uso de um rebaixo da cavidade de combustão gera mais volume da câmara que causa um impacto negativo na relação de compressão da câmara ao aumentar o volume da câmara que não pode ser
20 facilmente comprimido com base na interação da geometria do rotor com a superfície do estator do invólucro exterior. No motor de G-ciclo, a injeção de água é separada geometricamente da injeção de combustível. Duas injeções de água ficam localizadas anteriormente no curso de compressão
25 no ponto quando uma pá da câmara do rotor posterior limpa a porta de entrada. Isto permite uma carga completa de ar de entrada fresco antes que as injeções de água ocorram. A água aquecida do sistema de refrigeração ativo é injetada nesse momento na câmara do rotor por dois injetores de água nos
30 lados do invólucro do estator do rotor. A injeção de água é dirigida para a frente com a direção de rotação do rotor com cada injetor injetando a água em cada lado do rotor e na câmara do rotor perto das vedações axiais. A temperatura da

água é de 250 a 350 graus C perto do ponto de vapor. À medida que o rotor revolve no estator do invólucro interno, a água injetada se estratifica na metade traseira da câmara do rotor pelas forças centrífuga e de inércia. A câmara do rotor é então estratificada com ar fresco na metade dianteira e a água injetada na metade traseira. Neste momento, a água é tratada como um fluido incompressível e reduz bastante o volume eficaz da câmara. O combustível de hidrogênio é então injetado diretamente na metade dianteira central da câmara do rotor. A água adicionada ajuda a controlar o pico de temperatura de combustão e também aumenta a relação eficaz de compressão para ajudar a colocar o combustível em ignição. A estratificação da água e do combustível na câmara também ajuda o combustível a entrar em ignição mais rapidamente sem diluição de água, melhorando o desempenho da combustão. A estratificação da água e do combustível também mantém a reação de combustão na seção dianteira da câmara do rotor. Isso também melhora o nivelamento para diante das forças de combustão. Sem essa estratificação, o combustível também deve tender a estratificar na câmara rumo à metade traseira da câmara do rotor, minimizando as forças vetoriais de combustão desejadas. Uma vez que o combustível de hidrogênio entra em ignição, uma quantidade muito pequena de calor de combustão é necessária para vaporizar a água como vapor superaquecido. Esse vapor superaquecido segue para diante na direção da rotação com um movimento muito forte de explosão gerando uma turbulência tremenda da câmara para misturar com o combustível de combustão. Essa reação altamente turbulenta de combustível/água superaquecida passa então sobre a superfície da combustão da câmara de vapor de sódio com uma temperatura de superfície de 1.800°K ou 1.526 graus C. Essa seção geométrica do motor de G-ciclo tem um volume muito grande da câmara da área de superfície do invólucro e ajuda a melhorar

a taxa de combustão e a completar a combustão do combustível. A quantidade de água injetada no curso da compressão pode ser variada para mudar a relação eficaz da compressão de modo a otimizar o desempenho e a eficiência do motor sob condições de rpm diferentes.

Por exemplo, um volume de admissão geométrico de 400 cc pode ser comprimido até 40 cc com uma relação de compressão de 10:1. No entanto, se 20 cc de água incompressível forem injetados, o volume eficaz da compressão do gás é de 20 cc com uma relação de compressão de 20:1. A quantidade de água pode ser regulada para ajustar a relação eficaz da compressão às condições operacionais ideais do motor.

Perdas de Combustão Invertidas

A relação da compressão é ajustada de modo que a temperatura da pré-mistura de hidrogênio/água/ar fique muito perto de 585 graus C, isto é, a temperatura de auto-ignição. O hidrogênio é um combustível muito difuso e forma rapidamente uma carga homogênea com a água. O calor da câmara de vapor de sódio coloca a mistura de hidrogênio/água/ar em ignição. Ao utilizar a área de superfície do invólucro para inflamar a mistura, a câmara de combustão inteira é simultaneamente colocada em ignição. Pouca energia da combustão é perdida devido à temperatura da pré-mistura de hidrogênio/água/ar que está em equilíbrio com a temperatura de auto-ignição. Uma vez que o invólucro inteiro é utilizado para colocar a mistura em ignição, há uma energia de combustão muito pequena perdida da troca da parte dianteira da chama com o combustível e o ar não reagidos. Uma vez que a mistura de combustão consiste somente em hidrogênio, água e ar, os produtos e os reagentes ficam limitados apenas a esses elementos. Isto reduz as perdas de energia cinética da combustão associadas com o rompimento das ligações

moleculares de combustíveis com cadeias de hidrocarboneto maiores. Com uma mistura homogênea de hidrogênio/água/ar, a água fica nas proximidades do hidrogênio e ajudar a conter a reação de combustão, convertendo a energia de calor em energia energizada de pressão de vapor elevada para executar o trabalho. O aquecimento do vapor de água na reação de combustão é uma reação mais reversível onde o calor de combustão pode ser transferido ou conduzido entre outras moléculas de água com pouca destruição de energia.

Aplicação Incrementada de Combustível de Hidrogênio

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de um maior desempenho de aplicação e ignição de combustível hidrogênio em relação aos motores existentes. O motor de G-ciclo não somente utiliza e recicla todo o calor da reação de combustão, mas também utiliza um sistema de refrigeração ativo de água que captura o calor do atrito mecânico do motor, da compressão do ciclo e do fluxo do gás de exaustão. A água aquecida do sistema de refrigeração ativo é utilizada para a pré-mistura com o hidrogênio gasoso antes da injeção, a injeção de água dos estágios inicial e final nas zonas de combustão/expansão. Os sistemas de armazenagem de hidrogênio comprimido estão utilizando tanques com capacidade de pressões de 10.000 a 15.000 libras por polegada quadrada. O motor de G-ciclo utiliza reguladores para injetar o hidrogênio com pressão nas cavidades de combustão rotativas. Quando um gás comprimido passa da alta pressão à baixa pressão, ocorre um calor que é absorvido da expansão do gás. Se a diferença da pressão e a taxa do uso de gás forem suficientemente altas, isto pode resultar em congelamento e na falha dos reguladores e do sistema. O motor de G-ciclo utiliza a água aquecida do sistema de refrigeração ativo pré-misturada com o hidrogênio gasoso antes de penetrar na câmara de combustão do motor, e supre o calor necessário na expansão

de gás para impedir que os reguladores congelem. Com o hidrogênio que tem uma alta temperatura de auto-ignição de 585 graus C, é importante elevar rapidamente a sua temperatura mais ainda para a combustão apropriada.

5 Compressão Elevada

Um outro objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de um motor com uma compressão de admissão operacional mais elevada. O hidrogênio tem a capacidade de relações de compressão muito elevadas que podem ser tão elevadas quanto 33:1. Ao pré-misturar o hidrogênio com a água, o motor da presente invenção pode produzir relações mais elevadas de compressão > de 14:1, com um potencial reduzido para a ocorrência de paradas ou de pré-ignição. A presente invenção utiliza uma relação de compressão que coloca a pré-mistura de hidrogênio/água/ar até uma temperatura perto de 585 graus C, próxima da temperatura de autoignição. Esse equilíbrio da combustão ajuda a reduzir as perdas de calor da reação de combustão cinética para colocar a pré-mistura de combustível em ignição.

20 Faixa Operacional de Equivalência de Combustível/Ar Mais Ampla

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de um motor de hidrogênio que tem a capacidade de operar com sucesso com uma faixa mais ampla de misturas de combustível Phi e ar que podem ser ajustadas de muito magras a estequiométricas ou ($\phi = 0,4 \leq 1,0$) para otimizar a reação de combustão para um alto desempenho de potência. O hidrogênio e o ar de entrada são concentrados em conjunto para uma ignição excelente até mesmo a baixas relações de equivalência. A injeção de água pode criar uma elevada compressão que pode melhorar o desempenho da ignição. A alta temperatura da superfície interna do estator irá incrementar ainda mais a ignição da mistura de combustível magra e

completar a combustão.

Menores Emissões de NOx

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de emissões mais baixas de NOx incrementadas com um melhor desempenho de saída de potência em relação aos motores de combustão interna existentes. A pré-misturação de hidrogênio com água dilui a mistura de combustível e reduz e controla a temperatura de pico a aproximadamente 1.800 graus K, à qual emissões muito pequenas de NOx são formadas.

Ignição de Hidrogênio, Duração da Combustão, e Pressão Eficaz Média

Um outro objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de um sistema de ignição que utiliza menos energia elétrica e provê uma combustão mais instantânea e completa em relação aos sistemas de motores existentes.

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de uma reação de combustão que melhora o desempenho completo da combustão, melhora a turbulência da reação de combustão, melhora a velocidade da reação de combustão, e aumenta a duração da combustão em relação aos motores de combustão interna existentes.

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de um ciclo de combustão com uma pressão eficaz média (MEP) mais alta em relação aos sistemas de motores existentes.

O hidrogênio tem um baixo limite de extinção e a reação de combustão será extinguida ou eliminada se perder demasiado calor através da área de superfície do invólucro. O motor de pás rotativas da presente invenção é projetado com uma zona de combustão/expansão expandida que resulta em uma cavidade de combustão com uma elevada relação entre a superfície e o volume. Nos motores típicos isso irá gerar perdas elevadas de calor de combustão através da superfície

do invólucro, resultando na extinção da reação de combustão com uma combustão incompleta, uma eficiência de combustível pobre, e emissões de combustível puro. No motor da presente invenção, uma grande área de superfície em relação ao volume é um grande benefício devido à integração da câmara de vapor de sódio ao longo da zona de combustão/expansão. Uma ou duas velas de ignição colocam a pré-mistura de hidrogênio/ar/água em ignição durante a partida. Uma vez que as superfícies do motor tenham alcançado a temperatura operacional, as velas de ignição são desligados para economizar energia elétrica, e o calor da câmara de vapor de sódio através da superfície interna do invólucro é utilizado para colocar a mistura de combustível em ignição. O hidrogênio tem uma temperatura de autoignição de 585 graus C e a câmara de vapor de sódio tem uma temperatura operacional de 600 graus C. Uma vez que a pré-mistura de hidrogênio/ar/água gira para a zona onde a câmara de vapor de sódio se encontra, ela irá colocar a mistura de combustível em ignição instantaneamente. A elevada relação entre a superfície e o volume também cria uma turbulência elevada do gás devido às forças de cisalhamento com a superfície interna do invólucro do estator. Isto resulta em um maior desempenho da combustão completo e em transferência de calor com a câmara de vapor de sódio. O vapor de água tem uma densidade mais alta do que o ar e com as forças centrífugas de rotação elevadas ele tende a migrar ao longo do estator do invólucro interno onde a câmara de vapor de sódio reside. A água que se move ao longo da grande área de superfície interna do invólucro do estator melhora a transferência de calor da câmara de vapor de sódio para as cavidades de combustão. Isso também continua a manter as pressões elevadas do vapor de água e o trabalho de MEP através de todo o comprimento da zona de combustão/expansão expandida. A elevada pressão do vapor de água também ajuda a

impedir que o hidrogênio penetre atrás do sistema de vedação rumo ao compartimento interno do motor.

Sistema de Vedação da Câmara de Combustão

5 Um outro objeto ainda da presente invenção consiste na obtenção de um meio para vedar as câmaras de combustão dos motores de combustão interna de pás rotativas que atinge um elevado desempenho de vedação, desgaste de atrito diminuído, acúmulo de calor de atrito diminuído, e maior resistência e durabilidade em relação às vedações existentes.

10 Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de uma vedação da câmara de combustão que reage com as mudanças no tamanho da deformação térmica do estator do invólucro interno, utiliza gases da câmara de combustão para manter forças de vedação, reage rapidamente às pressões
15 de ar/gás, e mantém, independentemente a vedação da câmara de combustão dianteira e traseira ideal sob forças dinâmicas diferentes da câmara de combustão para conferir um desempenho de vedação incrementado em relação às vedações existentes.

Um objetivo adicional da presente invenção consiste
20 na obtenção de um sistema incrementado de interface de vedação da câmara de combustão que provê interfaces de vedação incrementadas entre as vedações de pás divididas deslizantes, vedações axiais, e vedações de face de pá em relação às vedações existentes.

25 Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de uma vedação incrementada da câmara de combustão que reduz a deformação de flexão de pá em relação às vedações existentes.

Um objetivo adicional da presente invenção consiste
30 na obtenção de uma vedação incrementada da câmara de combustão que minimiza os danos de marcas de vibração de vedação à superfície interna do invólucro do estator e diminui as vibrações operacionais e as tensões de rigidez em

relação às vedações existentes.

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de uma vedação incrementada da câmara de combustão que cria turbulência do gás da câmara de combustão para melhorar as reações de combustão em relação às vedações existentes.

A vedação da câmara de combustão é um aspecto importante da presente invenção. As pás deslizantes devem sustentar a pressão elevada da compressão e da combustão para impedir vazamento através de suas deformações de flexão para diante e para trás através de todos os ciclos. O atrito de vedação também desempenha um papel crítico na eficiência do motor da presente invenção. No entanto, a criação de mais força de vedação também gera geralmente perdas maiores de energia de atrito e desgaste. O projeto da vedação da câmara de combustão resolve as interfaces de superfícies geométricas complexas associadas com tamanhos de câmara variados contínuos. O sistema de vedação da câmara de combustão é composto por três subsistemas principais de vedação: vedações entre a pá deslizante e o invólucro do motor, entre a pá deslizante e o rotor, e entre o rotor e o invólucro do motor. A qualidade desse sistema de vedação é essencial para a potência, a eficiência, a durabilidade, e as emissões do motor.

O sistema de motor de G-ciclo utiliza um sistema de vedação dividida de pá especial onde cada pá contém duas vedações divididas. As forças centrífugas de rotação e a pressão do gás ajudam a forçar a vedação contra a superfície interna do invólucro do estator. Cada vedação dividida da pá tem perfurações de passagem de gás que permitem que quantidades pequenas de gás penetrem debaixo das vedações para força as vedações para fora de encontro à superfície interna do invólucro do estator. A carga de gás das vedações

da pá permite que a força de vedação de cada câmara equilibre as forças de vedação sem gerar um atrito adicional. O uso de duas vedações para cada pá resulta em um sistema de vedação dupla que reduz ainda mais as perdas de sopro da câmara. No
5 entanto, o sopro da câmara entre as câmaras não é parasítico ao ciclo do motor. Qualquer sopro de gás que ocorrer será ainda utilizado positivamente nessa câmara.

As vedações divididas da pá formam interfaces por meio das vedações curvadas da face da pá que vedam entre a
10 superfície da face da pá e o rotor e as vedações axiais laterais que vedam entre o rotor e o invólucro lateral. Todas juntas, as vedações divididas da pá, as vedações da face e as vedações axiais vedam cada uma das câmaras do rotor.

As vedações da face da pá e axiais também são
15 previamente carregadas com uma mola corrugada. Uma vez que o motor começa a operação, os gases da câmara também irão pressurizar as vedações. As vedações da face da pá e axiais também contêm uma tira pequena de vedação ao longo de suas superfícies de vedação. Quaisquer vibrações fortes da
20 combustão que vibrarem essas vedações podem resultar em vazamentos de gás. Essas tiras de vedação pequenas irão propiciar uma proteção de vedação adicional.

Vedações de Pá Divididas

Ainda de acordo com os objetivos acima mencionados,
25 a presente invenção apresenta vedações de pá divididas presas de maneira deslizável ao longo dos perímetros exteriores de pás deslizantes em forma de U geralmente semicirculares dentro de um motor de combustão interno de pás rotativas. Cada vedação de pá dividida contém duas vedações de pá que
30 são contornados para maximizar o contato da área de superfície com a superfície interna do invólucro do estator do motor. A grande superfície contornada de cada anel de vedação forma uma área de superfície maior de vedação de

contato versus os sistemas de vedação de ápice de borda fina existentes. Desse modo, ela propicia um melhor desempenho de vedação sob altas pressões da combustão e velocidades de rotação. A grande superfície contornada de cada vedação de pá
5 também distribui as forças de contato de vedação através de todas as superfícies dianteira, de topo e traseira de cada vedação de pá à medida que a vedação de pá dividida varre em torno da superfície interna do estator. Essa distribuição de forças de contato de vedação minimiza o desgaste de atrito
10 constante em qualquer ponto e ajuda a estender bastante a vida útil, a durabilidade e o desempenho de vedação das vedações de pá.

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de vedações de pá que comutam para a frente e
15 para trás para propiciar um contato de vedação melhor com os ângulos de contato de superfície de mudança do estator do invólucro interno.

O movimento de comutação de cada vedação de pá é facilitado por rolamentos de roletes localizados dentro de
20 canais de rolamentos de pá impressados entre as duas vedações de pá dentro de cada vedação de pá dividida, bem como entre cada vedação de pá e a sua seção adjacente do rotor. Esses rolamentos de roletes pequenos encaixados nas superfícies interna e externa das vedações de pá ajudam a comutar as
25 vedações de pá para a frente e para trás enquanto elas giram ao redor dentro do estator.

Ponta de Vedação de Nariz Arrebitado

Uma ponta de vedação de pá inclui uma ponta de nariz arrebitado que forma uma pequena ponta arredondada
30 contornada no topo da vedação de pá que pode deslizar suavemente através do perfil da superfície interna do estator do invólucro. A pequena ponta de nariz arrebitado é mais concentrada como um anel de pistão para minimizar o contato

de vedação de superfície excessivo. Durante a combustão, são criadas grandes forças de tensão e vibração. As passagens de gás de vedação irão ajudar a absorver e compensar essas forças. No entanto, a vedação de nariz arrebitado pode ser vibrada fora da superfície interna do estator do invólucro. Essa ação pode resultar em danos de marcas de vibração na superfície do estator. No entanto, ao formar a vedação de nariz arrebitado ligeiramente mais larga, as forças de impacto serão distribuídas sobre uma área de superfície ligeiramente maior e terão menos probabilidade de resultar em danos de marcas de vibração. A ponta de nariz arrebitado também é revestida com um lubrificante de óxido e o restante da superfície da ponta de vedação estendida é revestido com um revestimento de barreira térmica. Uma outra vantagem da ponta de vedação de nariz arrebitado é que ela pode transitar do centro superior da pá aos lados externos da seção da pá da seção inferior que forma uma superfície plana ideal de interface de contato com as vedações axiais e de face da pá.

Borda de Ponta Estendida

Adicionalmente, as superfícies laterais de cada borda de vedação dividida de pá se alargam para fora ou se estendem perto do topo, formando uma superfície para os gases de combustão empurrarem para fora cada vedação de pá para a superfície interna do estator. Essa ponta estendida irá agir como um reforço de estrutura de ponta de pá de viga "I" de aço para ajudar a impedir que a vedação de pá seja torcida ou deformada enquanto gira em torno do perfil interno do estator do invólucro e seja influenciada por forças de combustão.

Passagens de Gás de Vedação de Pá

Cada uma das vedações de pá irá passar sobre o topo de uma nervura da pá que ajuda a impedir que cada vedação de pá seja forçada fora da posição enquanto se move através da superfície interna do estator do invólucro. Cada vedação de

pá também pode se mover para dentro e para fora perpendicularmente ao eixo do rotor ao longo dos lados de cada pá deslizante em um movimento de comutação. Isto propicia um contato de superfície incrementado com a superfície interna do estator do invólucro enquanto ele se move em torno da superfície interna do estator do invólucro com um ponto de contato alterado. À medida que as vedações de pá comutam para dentro e para fora no topo de cada pá deslizante, os canais de passagem de gás posicionadas dentro de cada vedação de pá permitem que o gás das câmaras de combustão flua debaixo das partes de cada vedação de pá sobre a nervura da pá, forçando desse modo cada vedação de pá a um contato mais próximo com a superfície interna do estator, bem como equilibrando as forças de vedação necessárias com a pressão de gás de câmara de combustão. Uma vedação de mola de nervura da pá será colocada perto da base da seção lateral da vedação inferior para ajudar a manter pressões apropriadas de passagem de gás e impedir que o gás vaze para fora da base da vedação de pá.

Vedações de Pá Divididas Axiais Dinâmicas

Um outro aspecto dinâmico da vedação de pá é que ela é dividida em uma seção central semicircular superior e em dois segmentos laterais retos inferiores, em que cada segmento lateral que tem a liberdade de movimento em direções particulares tais que as câmaras de combustão permanecem firmemente vedadas. Ambos os segmentos são livres para se mover para dentro e para fora radialmente ao longo do plano de rotação do rotor. Os segmentos laterais inferiores também são livres para se mover para dentro e para fora axialmente, em uma direção um pouco paralela ao eixo do rotor. Um pequeno canal de gás segue abaixo do interior de cada um dos segmentos laterais inferiores. Os canais de gás conectam com as passagens de gás na seção central semicircular superior. O

gás da câmara de combustão segue através da passagem de gás da vedação de pá para ajudar a pressão a equalizar a vedação radialmente ao longo da superfície interna do invólucro. O gás flui então ao longo dos canais de gás laterais inferiores para a pressão equalizar a vedação axialmente ao longo das superfícies internas laterais do estator do invólucro. Uma vedação de mola do canal de gás ajuda a manter pressões apropriadas do canal de gás e a impedir que os gases vazem para fora da base da vedação de pá. O movimento dinâmico dos segmentos de vedação de pá centrais e laterais propicia uma faixa de vedação adicional de movimento e capacidade de reagir às mudanças da expansão térmica de um perfil de invólucro termicamente assimétrico. Esses novos desenhos fornecem o meio para vedar eficazmente cada câmara de combustão.

Vedações Axiais de Rotor Dinâmicas

A vedação axial de rotor dinâmica veda ao longo do lado do rotor e da superfície interna do estator do invólucro. Cada vedação axial do rotor dinâmica compreende uma vedação axial maior e uma tira menor de vedação que reside em um sulco pequeno na vedação axial maior ao longo da superfície de contato de vedação com o estator do invólucro interno. A vedação axial maior é dividida em uma seção central e duas seções de extremidade. Elas são conectadas entre si ao longo de uma superfície angular onde a seção de vedação axial central utiliza uma extensão de língua e as seções axiais de extremidade utilizam um rebaixo sulcado. A seção de vedação axial central é inclinada para fora do rotor pela pressão de gás da câmara de combustão e por uma mola corrugada para fazer contato de vedação com a superfície interna do estator do invólucro. À medida que a pressão de gás e a mola corrugada impele a vedação maior para fora ela também impele os segmentos axiais de extremidade para fora ou

co-radialmente para aplicar a pressão de vedação na superfície interna do estator do invólucro e na seção inferior da vedação de pá deslizante. Uma pequena tira de vedação menor encaixa em um sulco pequeno que segue através da face dos segmentos axiais e de extremidade centrais maiores. A tira de vedação menor forma uma superfície de vedação contínua através dos segmentos de vedação axiais maiores e ajuda a impedir qualquer sopro de gás em torno da vedação axial maior. As superfícies da face de vedação das vedações axiais maiores são revestidas com um lubrificante sólido para reduzir o desgaste de atrito e de vedação.

Vedações de Face de Pá

De acordo ainda com os objetivos acima mencionados, a presente invenção apresenta vedações de face de pá que criam uma vedação apertada entre o rotor e a face de cada pá deslizante, bem como propicia suporte às vedações de extremidade axiais maiores. As vedações de face de pá são estruturadas como uma tira de vedação maior e vedação menor combinada de dois estágios. As vedações de face de pá maiores são impelidas para fora de encontro à superfície da face da pá da pressão de gás da câmara de combustão e uma mola corrugada localizada atrás das mesmas para pressionar a vedação maior. A tira de vedação menor forma uma superfície de vedação contínua através dos segmentos da vedação de face de pá maior e ajuda a impedir qualquer sopro de gás além da vedação de face de pá maior. A superfície da face de vedação da vedação de face de pá maior é revestida com um lubrificante sólido para reduzir o desgaste de atrito e de vedação.

Estrutura da Pá

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de uma estrutura de pá mais leve e mais forte que seja menos suscetível às tensões térmicas e às deformações

mecânicas.

O estator do invólucro interno radial, o rotor e as pás utilizam um perfil geométrico semicircular em vez do perfil geométrico quadrado típico. Isso permite que a pá se estenda do rotor e que o rotor propicie um suporte forte ao centro da pá que combina com o perfil de curvatura semicircular da pá. Isto confere um excelente suporte para o perímetro da pá onde as vedações pressionam de encontro à superfície interna do estator do invólucro. Esse suporte do rotor na pá ajuda a minimizar as deformações da pá e da vedação das forças de combustão e de vedação.

A redução da massa da pá reduz bastante as forças de deslizamento centrífugas ao longo do estator do invólucro interno que pode resultar em deformações. A forma da pá é uma estrutura em forma de U virado para baixo com uma borda superior semicircular onde as vedações de pá residem para vedar ao longo da superfície interna do estator do invólucro. O centro da pá é cortado com apenas uma barra transversal de suporte de interfaces vertical e horizontal. Grandes furos são colocados na seção horizontal da barra de suporte para reduzir ainda mais a massa de material da pá.

A pá é feita preferivelmente de um material de pouco peso de alta resistência que também é resistente a altas temperaturas, tal como Haynes 230. A parte dianteira e a face traseira da pá são preferivelmente revestidas com um revestimento de barreira térmica para impedir danos térmicos à estrutura da pá que podem resultar na expansão térmica ou em uma deformação excessiva.

Refrigeração de Tubulação de Calor/Transferência de Calor das Pás

As pás também contêm um sistema de canal de tubulação de calor debaixo da superfície de vedação do perímetro. O canal de tubulação de calor tem preferivelmente

um perfil da pá parecido com um formato de U virado para baixo e utiliza preferivelmente a água como fluido operacional. A tubulação de calor opera principalmente por elevadas forças centrífugas G. As forças centrífugas fazem com que a água se mova para a ponta da pá debaixo das vedações na zona do evaporador. O calor das vedações é transferido ao canal de tubulação de calor e a água é aquecida e muda de fase de um líquido para um gás. O gás flui então através do canal da tubulação de calor para uma das duas extremidades laterais onde transfere o calor aos condensadores e muda de fase outra vez de um gás para um líquido. O líquido circula então de volta à ponta da pá ou da zona do evaporador para começar outra vez o ciclo. O sistema de refrigeração ativo asperge a água no rotor e através dos condensadores exteriores da pá para transferir o calor da pá na água ao sistema de refrigeração ativo. A água aquecida é então injetada e reciclada de volta ao ciclo do motor. Uma estrutura de absorção em forma de U virado para baixo porosa fica preferivelmente no canal da tubulação de calor para ajudar a absorver ou transferir a água e o gás dentro da tubulação de calor e também para impedir que proteção contra a temperatura fria da expansão da água congele. O canal da tubulação de calor da pá reduz bastante a temperatura das estruturas da pá e de vedação, permitindo que elas mantenham a sua integridade estrutura e um desempenho ideal.

Sistema de Correias Anti-Centrífugas das Pás

Ainda de acordo com os objetivos acima mencionados, a presente invenção apresenta sistemas anti-centrífugos das pás para diminuir o atrito gerado entre as vedações de pá divididas nas pás deslizantes e na superfície interna do estator. Os sistemas de força centrípeta da pá incluem um sistema de correia da pá que aplica uma força centrípeta para neutralizar a força centrífuga gerada pela rotação rápida das

pás deslizantes. Placas da correia da pá arqueadas podem ser utilizadas para reduzir as tensões nas correias das pás.

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de um sistema de correias de força anti-centrífuga da pá deslizante aperfeiçoado que tem uma faixa de movimento operacional e uma faixa aumentada de velocidade em rpm operacional em relação aos sistemas centrípetos de pá existentes.

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de um sistema de correias de força anti-centrífuga da pá deslizante aperfeiçoado que tem um desgaste de atrito diminuído, um acúmulo de calor de atrito diminuído, vibrações operacionais diminuídas, e maior resistência e durabilidade em relação aos sistemas centrípetos de pá deslizante existentes.

Enquanto as pás giram em torno do estator do invólucro interno, as forças centrífugas forçam as pás e as vedações contra a superfície interna do estator do invólucro aplainam. À medida que as velocidades em rpm aumentam, as forças centrífugas são ampliadas e resultam em forças de atrito elevadas que ficam tão grandes que as forças de atrito podem se igualar ou ficar maiores do que as forças da pressão da câmara de combustão que impelem o motor. Essa condição limita bastante a densidade de potência do motor e a eficiência térmica de frenagem. Há uma série de maneiras para se contrapor ao atrito centrífugo da pá. Uma maneira consiste em reduzir o peso da massa da pá e das vedações. Isso reduz a carga de força total das forças centrífugas. Uma outra maneira consiste em utilizar anéis e hastes de conexão que conectam as pás ao eixo motor principal. Isso permite que as pás girem a uma distância fixa ou constante da superfície interna do estator do invólucro. Esse método ajuda a solucionar o problema de atrito centrífugo da pá e da

vedação, mas só funciona com perfis geométricos de formato oval do estator do invólucro interno. Isso limita a duração de combustão/expansão a apenas 90 graus da rotação CA da ignição do TDC. Um outro método utiliza um elo rômboico que é

5 conectado às bases das pás. A vantagem do sistema de elos rômboicos é que as forças centrífugas da pá e da vedação são transformadas em forças centrípetas através do elo para balancear ou deslocar as forças centrífugas. O elo rômboico opera como um sistema de tesouras que se ajusta

10 automaticamente enquanto as pás giram em torno do perfil do estator do invólucro interno. Enquanto duas pás opostas seguem o perfil e se estendem para fora, elas fazem com que outras duas pás retraiam para dentro. O problema com o elo rômboico é outra vez que o estator do invólucro interno deve

15 ter um perfil oval que resulta em apenas 90 graus de duração de combustão/expansão. O elo rômboico também utiliza um grande número de pinos e elos que são suscetíveis ao atrito e ao desgaste. Eles também não podem ser ajustados ou re-tensionado quando o desgaste ocorre, resultando em falha do

20 sistema. Um outro método consiste em adicionar comes grandes às bases das pás e em cortar um sulco do came no invólucro interno que segue o perfil da rotação. O atrito centrífugo é transferido das pontas das pás e das vedações aos comes no canal de came. Os comes da pá e o canal de came são bem

25 lubrificados com óleo e podem até mesmo utilizar sistemas elaborados de rolamentos de roletes. Isso permite que as pás utilizem um perfil de geometria estendida com duração de combustão/expansão de mais de 90 graus CA do TDC. O problema com esse sistema é que é difícil velar e lubrificar com óleo

30 o canal de came. Esse sistema de canal de came também não permite nenhum tipo de ajuste, devido ao desgaste do sistema. Ele apenas melhora ligeiramente o problema do atrito centrífugo ao transferir as forças de carga a um came e ao

canal de came que são projetados para reduzir as cargas de atrito elevadas. O came de pá adiciona peso de massa à pá e atrito adicional no canal de came que desloca os níveis de atrito que eles estavam tentando reduzir.

5 O sistema anti-centrífugo de pá e vedação da presente invenção utiliza uma série de correias que são conectadas a um sistema de comutação unido à base de cada uma das pás. Duas séries de correias são formadas onde as duas correias são divididas entre pás alternadas. Uma correia
10 segue ao longo do centro radial do motor e em torno do eixo motor e a outra correia é dividida na metade e segue na parte externa da correia central. Cada uma das correias externas é metade da largura da correia central. A operação do sistema de correia opera similarmente ao conjunto de berço de gato de
15 cordão/dedo onde os jogadores utilizam um laço de cordão para fazer formas de cordão criativas ao distorcer o laço com seus dedos. Para manter a forma criativa do cordão, os jogadores devem utilizar ambas as mãos e puxá-las afastando uma da outra para aplicar tensão na corda. Os jogadores podem mudar
20 a forma ou a posição do cordão ao ajustar o cordão com seus dedos, mas devem manter uma tensão constante no cordão com todos os dedos. A presente invenção opera de uma maneira similar. Em um sistema de motor de oito pás, quatro pás alternadas são conectadas ao sistema da correia central, e
25 quatro pás são conectadas ao sistema da correia externa. Em cada sistema de correia, quando duas pás seguem o perfil do estator do invólucro interno e começam a se estender do centro do rotor, elas puxam outras duas pás de volta ao rotor. Esse sistema também opera muito parecido com o sistema
30 de elo rômbo ao balancear as forças centrífugas da pá e da vedação com forças centrípetas das outras pás e vedações. A vantagem da presente invenção é que ela também utiliza um sistema de comutação de correia de pá e uma correia de perfil

que permite que as pás e as vedações sigam os perfis do invólucro interno assimétricos onde a combustão/expansão é maior do que 90 graus CA do TDC. As comutações permitem que os segmentos da pá sejam estendidos ou encurtados para se
5 ajustar às distorções do perfil do invólucro interno. Um sistema de correias de perfil é um terceiro sistema de correias que compreende duas correias menores que seguem o perímetro externo dos dois sistemas de correias internos. O sistema de correias de perfil conecta os sistemas de correias
10 central e externo em conjunto como um sistema unificado e age como um canal de came dinâmico para ajudar a manter as pás e as vedações na posição apropriada com a superfície interna do estator do invólucro enquanto eles giram em torno de um perfil do estator do invólucro interno oval assimétrico ou
15 distorcido. Uma outra vantagem da invenção proposta é que cada um dos sistemas de comutação da pá é conectado a uma barra de tensão ajustável que pode ajustar a tensão da correia de qualquer desgaste do sistema ou estiramento da correia.

20 Utilizando um sistema de refrigeração ativo para aspergir a água no centro do rotor, a temperatura em torno do sistema de correias pode ser mantida em aproximadamente 100 graus C ou 212 graus F. A essa temperatura, uma grande variedade de materiais diferentes pode ser utilizada como
25 material de correias. Esses materiais incluem vidro trançado Nextel 610 e 933-S2 da AGY, fibra de vidro, fibras de carbono, ou cabo de aço inoxidável. O material de correias preferido consiste em fibras de alta resistência à tração que são trançadas como segmentos lisos de correia e conectadas às
30 comutações das pás. As correias da pá irão passar sobre os arcos da correia localizados entre duas pás conectadas. Os arcos da correia irão conter rolamentos de roletes para ajudar ainda mais no movimento das correias através dos arcos

da pá. Os rolamentos de roletes também são conectados a um sistema de mola que comprime a altas velocidades de mais de 1.000 rpm. A essas velocidades, os rolamentos de roletes rompem o contato com as correias da pá e as correias deslizam
5 através de pequenas superfícies arredondadas do arco da correia que foram revestidas com um lubrificante sólido. O lubrificante sólido permite um movimento muito elevado da correia da pá através do arco da correia com atrito e desgaste muito baixos. As próprias correias também podem ser
10 revestidas com um lubrificante sólido para reduzir ainda mais o atrito e o desgaste.

Estrutura do Rotor

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de uma estrutura de rotor incrementada que seja
15 mais leve e mais resistente do que outros sistemas de rotor.

O rotor do motor é composto por oito ou seis segmentos, dependendo do tamanho e da configuração do motor. O eixo motor é preferivelmente de formato octagonal ou hexagonal para combinar com oito ou seis segmentos do rotor,
20 respectivamente. A base de cada um dos segmentos do rotor é preferivelmente apoiada em uma das superfícies planas do eixo motor. Placas de travamento redondas deslizam sobre cada uma das extremidades do eixo motor e travam todos os segmentos diferentes do rotor uns nos outros para formar um único
25 rotor. O rotor tem preferivelmente um formato semicircular de topo que combina com o perfil do invólucro interno. O topo do rotor é conectado a duas placas laterais que transformam o rotor em um formato de U virado para baixo tal como a pá e forma um grande espaço aberto sob a superfície do rotor. O
30 formato semicircular de topo age como um arco forte e confere uma grande resistência ao rotor e permite o grande espaço aberto embaixo. Isso reduz o peso do motor e o custo material de manufatura do rotor. Ele também provê espaço para a

operação de modo que o sistema de correias anti-centrífugo da pá opere.

Turbulência de Vórtice da Cavidade de Combustão

A cavidade de combustão forma um formato de lua crescente e é mais estreitas do que as câmaras de combustão típicas. O hidrogênio tem uma velocidade de chama muito mais elevada do que a gasolina e os combustíveis diesel. Isso gera o cisalhamento da superfície com os gases da câmara e a água com a superfície externa do invólucro para gerar uma turbulência mista para melhorar a propagação da frente da flama através de toda a câmara. Com uma temperatura de superfície do invólucro interno elevada, a turbulência de cisalhamento através dessa superfície aquecida irá acelerar ainda mais a combustão e a propagação da frente da flama.

O rebaixo da combustão é principalmente para estratificar ligeiramente o hidrogênio e a água. Isso ajuda a obter uma ligeira seção de combustão homogênea de hidrogênio separada da água que irá ficar nas laterais e na parte de trás. A curvatura do rebaixo da combustão também ajuda a gerar a turbulência da câmara para melhorar a combustão do hidrogênio e então a mistura com a água.

Uma vez que o hidrogênio é inflamado na parte dianteira da câmara, a água é estratificada para a seção de trás da câmara. Uma vez que o rotor gira através de 90 graus CA de TDC, a curvatura do rebaixo de combustão permite que a água chapinhe e esguiche através desse ponto de compressão mais facilmente e de maneira suave sem estar em uma posição travada da compressão na parte de trás da câmara. A água também está se deslocando para a frente a uma alta velocidade para melhorar a turbulência do gás e para a mistura com o hidrogênio da combustão.

Controle Térmico do Rotor e
Refrigeração/Transferência de Calor da Câmara de Vapor de

Água

Um objetivo adicional da presente invenção é a minimização da penetração de calor no rotor e a obtenção de um sistema de refrigeração de rotor incrementado para remover
5 tal penetração de calor.

A superfície superior do rotor e a superfície dos três rebaixos da cavidade de combustão são revestidas preferivelmente com um revestimento de barreira térmica (TBC), tal como zircônio estabilizado com ítrio YSZ. O TBC
10 impede que o calor devido à combustão penetre na superfície do rotor e em componentes internos do rotor. Uma câmara de vapor de água localizada debaixo da superfície do rotor captura todo o calor que passa através do TBC da superfície e penetra no rotor. A câmara de vapor de água do rotor ajuda a
15 isolar termicamente a superfície ao rotor e propicia uma distribuição mais uniforme de calor através da superfície para ajudar a estabilizar a reação de combustão. A câmara de vapor do rotor opera similarmente ao sistema de tubulação de calor da pá. A câmara de vapor do rotor utiliza a água como
20 um fluido de trabalho até uma temperatura de 202 graus C. A câmara do vapor é um sistema de circulação de gravidade que utiliza elevadas forças de G-rotação para circular a água entre a seção do evaporador que está sob a superfície exterior da cavidade de combustão dos rotores e dois
25 condensadores laterais. A câmara de vapor do rotor também utiliza preferivelmente uma camada fina e espessa de malha de absorção para melhorar a distribuição da água através de toda a área de superfície do rotor e melhorar a circulação da água entre o evaporador e o condensador. Dois tubos de absorção
30 porosos também são colocados na câmara de vapor do rotor para melhorar a circulação do fluido de trabalho e para ajudar a impedir danos de expansão do congelamento da água ao rotor e/ou à câmara de vapor de água. Um envoltório poroso é

cingido em torno da seção semicircular do rotor axialmente de um condensador lateral ao outro condensador lateral. O outro envoltório poroso passa através do centro da câmara de vapor de água radialmente. A água do sistema de refrigeração ativo
5 é aspergida no invólucro do motor de ambos os lados e através dos condensadores laterais do rotor. O calor da câmara de vapor de água do rotor é transferido através do condensador na água do sistema de refrigeração ativo. A água aquecida é então circulada para fora do invólucro do motor e injetada de
10 volta na cavidade da combustão ou misturada com o hidrogênio como uma pré-mistura.

Sistema de Rolamento Tangencial da Pá

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de um sistema de rolamento tangencial de pá
15 deslizando incrementado que tem uma velocidade operacional aumentada, um desgaste de atrito diminuído, um acúmulo de calor de atrito diminuído, e resistência e durabilidade incrementadas em relação aos sistemas de rolamentos tangenciais de pá deslizando existentes.

20 Na passagem da pá do rotor ao longo da superfície anterior do rotor, pequenas superfícies em ziguezague levantadas preferivelmente revestidas com um lubrificante de óxido são utilizadas para ajudar as pás a deslizar de encontro e transferir a sua força de combustão capturada ao
25 rotor. As superfícies em ziguezague levantadas minimizam a área de superfície de contato, e o lubrificante de óxido minimiza o atrito de deslizamento. As superfícies em ziguezague levantadas também agem como pequenos canais de vapor. A água do sistema de refrigeração do rotor interno
30 entra nos canais em ziguezague e é convertida em vapor de alta pressão das pás enquanto elas são retraídas de volta no rotor através da passagem da pá. O vapor cria a pressão que força alguma carga da pá para fora da superfície levantada

para minimizar o atrito deslizante da pá. Com o vapor exercendo pressão igualmente em todas as direções, ele também transfere algumas das forças de combustão da pá ao rotor para impelir o motor. Pequenos rolamentos de roletes posicionados nos rebaixos nas passagens da pá do rotor transferem as forças de combustão da pá ao rotor e minimizam o atrito deslizante da pá. Os rolamentos de roletes são utilizados principalmente durante as operações a rpm mais baixas a 1.000 rpm ou menos. A velocidades a rpm mais altas, os rolamentos de roletes são conectados a pequenas molas de rolamento que se comprimem devido às forças centrífugas da rotação, retraindo o rolamento de roletes na passagem do rolamento do rotor. Nesse ponto, a pá está se estendendo e retraindo do rotor tão rapidamente que os rolamentos de roletes só devem estar adicionando atrito inercial e reduzindo a eficiência do motor. Quando a velocidade do motor caem para menos de 1.000 rpm, as molas do rolamento de rolo se descomprimem e pressionam o rolamento de roletes para fazer contato direto com a superfície da pá deslizante e acarretar benefícios positivos de eficiência para reduzir o atrito da pá deslizante e transferir forças da combustão da pá ao rotor.

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de um sistema de amortecimento de rolamento tangencial de pá deslizante que tem uma maior capacidade de absorção de vibração do que os sistemas de amortecimento de rolamento tangencial de pá deslizante existentes.

A combinação dos canais de água/vapor em ziguezague levantados reduz não somente o atrito deslizante da pá e transfere as forças da combustão da pá ao rotor, mas também reduz bastante as vibrações ásperas dos pulsos da combustão e os movimentos de extensão e retração das pás. Isso minimiza as tensões de NVH para todos os outros componentes do motor e melhora a operação e a durabilidade do motor.

Invólucro do Motor

Uma vez que o motor da presente invenção opera a temperaturas muito mais altas do que os motores padrão, ele incorpora a seguinte combinação singular de elementos para
5 minimizar o acúmulo de calor em áreas críticas: lubrificantes de óxido, revestimentos de barreira térmica, sistemas de câmaras de vapor, e um sistema de refrigeração a água ativo para transportar eficientemente o excesso de calor para a isothermalização do invólucro exterior do motor. O invólucro e
10 os componentes do motor são fabricados mediante o emprego de ligas de alta temperatura e revestimentos de barreira térmica que são resistentes à tensões térmicas e às deformações. O invólucro exterior do motor é coberto preferivelmente com uma manta térmica espessa para minimizar a perda de calor e para
15 reduzir o ruído do motor.

Geometria do Estator do Invólucro Interno Oval Distorcida

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de um perfil de geometria que maximize ou super-
20 expanda a zona de combustão/expansão e minimize a zona de admissão/compressão, enquanto é obtido um desempenho ideal de ciclo termodinâmico em relação aos sistemas de motor existentes.

Um objetivo adicional da presente invenção consiste
25 na obtenção de uma geometria do estator do invólucro interno incrementada que minimize as deformações da pá e da vedação em relação aos sistemas de motor existentes.

A presente invenção utiliza um perfil de geometria do estator do invólucro interno onde a zona de
30 combustão/expansão se expande gradualmente do TDC a um tamanho máximo a um ângulo de manivela de aproximadamente 145 graus do TDC, que também é a extremidade do ponto de expansão. Isso propicia 61% a mais de duração da

combustão/expansão em relação aos motores de pás rotativas existentes e permite que mais do calor termodinâmico cinético seja convertido em trabalho mecânico. A porta de exaustão será localizada pela pá deslizante da câmara dianteira quando a pá traseira da mesma câmara atingir a extremidade do ponto de expansão. Quando a zona de combustão/expansão se expande gradualmente, ela reduz bastante as tensões da combustão nos componentes da pá e da vedação. Imediatamente depois da localização do TDC, as forças de combustão e as pressões estão no seu valor mais elevado. Nessa localização, as pás e as vedações são recuadas para o rotor de modo a não ficar bastante expostas às forças intensas que podem resultar na deformação e danos à pá e à vedação. Enquanto as pás giram em torno da zona de combustão/expansão, elas se estendem gradualmente do rotor à vedação ao longo da superfície interna do estator do invólucro. As pás atingem a sua extensão máxima do rotor quando alcançam a extremidade do ponto de expansão. Nesse ponto, as pressões da câmara de combustão são muito menores e o risco de deformação da pá e da vedação é muito menor. Após a extremidade do ponto de expansão, a geometria do invólucro interno encolhe rapidamente para melhorar a limpeza de exaustão. As portas de exaustão são localizadas radialmente ao longo do eixo do motor para permitir que as forças centrífugas de rotação sejam utilizadas para esgotar fácil e completamente os gases de vapor de água mais pesados através da porta de exaustão. Há uma única abertura de comprimento da câmara de combustão entre a pá traseira da câmara pela porta de exaustão e da pá dianteira pela porta de entrada. A porta de entrada também é localizada radialmente ao longo do eixo do motor para permitir que o ar de entrada fresco entre diretamente nas câmaras de combustão girando. Durante o curso de entrada, a pá dianteira da câmara irá alcançar o seu ponto máximo de

expansão de entrada quando a pá traseira da mesma câmara termina de passar através da porta de entrada. Uma vez que esse ponto é alcançado, o perfil do estator do invólucro interno é reduzido rapidamente ao longo da zona de compressão. Quando o curso de compressão é iniciado, e as pressões da câmara de combustão começam a se elevar, as pás começam a retrair de volta ao rotor. Isso ajuda a minimizar as deformações da pá e da vedação das forças de compressão.

Temperaturas de Operação do Invólucro Mais Altas

Ainda um outro objetivo da presente invenção consiste na obtenção de uma reação de combustão que opere a temperaturas de operação de combustão mais altas em relação aos motores de combustão interna existentes. Embora a temperatura do gás de combustão de motores diferentes possa ser similar àquela no motor da presente invenção, os materiais do motor utilizados precisam ser refrigerados até uma temperatura de 350 a 450 graus F. Essa refrigeração resulta no fato que aproximadamente 27% do calor termodinâmico da combustão são perdidos para o sistema de refrigeração. Os motores diesel perdem somente aproximadamente 20% de seu calor de combustão para o sistema de refrigeração devido a uma relação muito maior entre o volume e a área de superfície do cilindro, e mais da energia do calor de combustão é convertida em trabalho. O motor da presente invenção utiliza ligas resistentes a altas temperaturas, tal como Haynes 230, que permitem temperaturas do invólucro de pico de até 900 graus C. Não obstante, temperaturas operacionais de expansão do invólucro de aproximadamente 600 graus C são empregadas para otimizar o desempenho do ciclo termodinâmico com a câmara de vapor de sódio. A temperaturas de mais de 600 graus C, há uma quantidade maior de transferência de calor através do invólucro externo e da câmara de vapor de sódio e

potencialmente perdido ao meio ambiente. Também há uma quantidade maior de tensão térmica exercida no invólucro do motor e nos componentes mecânicos que pode resultar em deformações térmicas, desgaste e danos.

5 Lubrificantes de Nanocompósitos de Óxido Sólidos e Superduros

Ainda um outro objetivo da presente invenção consiste na eliminação do uso de lubrificação de óleo e para fazer uso completamente de lubrificantes sólidos. Os
10 lubrificantes de óxidos binários, lubrificantes sólidos auto-lubrificantes, revestimentos do tipo de diamante e revestimentos de carbono quase sem atrito serão utilizados em vários componentes do motor para reduzir o atrito, melhorar a durabilidade dos componentes, e reduzir as emissões de HC em
15 relação aos motores que utilizam óleo.

O motor de G-ciclo não utiliza lubrificantes de óleo. Todas as superfícies de contato de vedação são revestidas preferivelmente com um lubrificante de óxido, tal como o Plasma Spray PS 304 desenvolvido na NASA Glenn. O
20 lubrificante de óxido PS 304 provê o mesmo coeficiente de nível de atrito que uma superfície com óleo para temperaturas de até 900 graus Celsius. Alternativamente, um revestimento de lubrificante Superhard Nanocomposite (SHNC) que está sendo desenvolvido no laboratório da Argonne National poderia ser
25 utilizado. Ambos o OS 304 e o SHNC oferecem um baixo coeficiente de atrito, mais uma durabilidade excepcional de milhões de ciclos de deslizamento.

As camadas de PS 304 ou de SHNC são preferivelmente aspergidas com plasma em todas as superfícies de contato de
30 vedação. Para as vedações divididas da pá, uma camada grossa especial de PS 304 ou SHNC é preferivelmente acumulada para criar uma superfície de vedação de nariz arrebitado arredondada. A superfície exterior das vedações divididas da

pá encontra as maiores forças de vedação e de atrito. Essa vedação de nariz arrebitado arredondada mais grossa provê uma superfície de vedação concentrada para minimizar o desempenho operacional de atrito e vedação mais longo contra o desgaste da vedação.

Refrigeração/Transferência de Calor de Água Ativa

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de menos perda de calor do invólucro incrementado em relação aos motores de combustão interna existentes.

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de sistemas de refrigeração/transferência de calor de rotor e pá aperfeiçoados em relação aos sistemas de refrigeração/transferência de calor de rotor de motores de combustão interna existentes.

Um sistema de refrigeração/transferência de calor de água ativa é utilizado para refrigerar o invólucro exterior do curso de compressão, a zona do rolamento do eixo motor principal, e o interior do invólucro do motor para o rotor e as pás. O calor da compressão e do atrito é transferido desses sistemas para a água circulante. A água aquecida injeta o calor de volta no ciclo de reação para a pré-mistura com hidrogênio, e as injeções da zona de combustão/expansão de estado inicial e final. O calor que deve ser perdido para o sistema de refrigeração e o atrito é de aproximadamente 20% e 10% por cento, respectivamente, e é capturado na água e reutilizado de volta no ciclo do motor. Isto não somente melhora bastante a eficiência térmica do freio do motor em aproximadamente 30%, mas a água adiciona uma grande quantidade de pressão da câmara de combustão ao converter o calor em vapor de água energizado para melhorar o trabalho do MEP. A água injetada também ajuda a reduzir as perdas do calor de exaustão que são de aproximadamente 30%, a refrigeração da reação de combustão de dentro da cavidade de

combustão resulta em temperaturas de exaustão baixas, mas com velocidade muito elevada e alta pressão. A água na exaustão pode ser condensada e circulada de volta ao sistema de refrigeração ativa do motor.

5 Vazamento de Hidrogênio

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na redução da ignição do hidrogênio gasoso atrás das vedações da câmara em localizações de componentes do rotor interno ou exalando através do motor. A água do sistema de refrigeração
10 ativa é aspergida no centro do motor para refrigerar o rotor e as pás. Muita dessa água é direcionada através de canais de refrigeração em ziguezague e debaixo das vedações do rotor. A água ajuda a melhorar o desempenho da vedação e impede que qualquer hidrogênio passe pelas vedações. Qualquer hidrogênio
15 que passar pelas vedações é diluído pela água e coletado pelo sistema de refrigeração ativa e removido do motor em um sistema de circuito fechado. Qualquer hidrogênio gasoso coletado é utilizado outra vez ao ser injetado de volta nas câmaras com a injeção de água.

20 NVH Reduzido

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de uma reação de combustão que reduza as vibrações de pulsos de potência de combustão em relação aos motores de combustão interna existentes.

25 Quando o hidrogênio é pré-misturado com a água e é injetada água na cavidade de combustão, a temperatura de pico da combustão é reduzida. Ela transforma o perfil da pressão de pico de modo que o seu nível da pressão de pico seja mais baixo e seja distribuído suavemente em mais graus de ângulo
30 de manivela, aumentando desse modo a pressão eficaz média para executar o trabalho (MEP). Isso reduz os pontos de pulso de potência elevados que resultam em choques ásperos e tensões nos componentes de motor e produz um funcionamento

mais suave do motor.

A câmara de vapor de sódio isola termicamente a zona de combustão/expansão ao absorver as temperaturas de combustão de pico na zona da combustão e ao transferir o calor de volta às câmaras de combustão ao longo da zona de expansão. Isso também estabiliza a temperatura do invólucro, minimizando desse modo as deformações do invólucro.

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na obtenção de sistemas de redução de ruído no invólucro exterior incrementados em relação aos motores de combustão interna existentes.

O invólucro exterior do motor ao longo da zona de combustão/expansão sobre a câmara de vapor de sódio será coberto com uma manta de isothermalização grossa ou uma espuma metálica para minimizar a perda de calor e para ajudar a reduzir o ruído do motor.

Portas de Entrada/Exaustão com Nervuras de Suporte de Vedação de Pá

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na minimização da deformação da pá e da vedação enquanto elas passam sobre as portas de entrada e de exaustão.

As portas de entrada e de exaustão são localizadas radialmente com a rotação do rotor e da pá e das vedações. As aberturas das portas envolvem em torno do invólucro semicircular axialmente. Isto provê a melhor orientação para a troca de gás e permite grandes tamanhos de aberturas de portas. As portas são divididas abaixo do centro radial com a seção de retenção das duas metades do motor. Uma nervura de suporte adicional é transposta através do meio de cada metade de porta e é ligeiramente angulada na abertura da porta. A seção de retenção central e duas nervuras de suporte conferem suporte à pá e à vedação enquanto elas passam sobre as aberturas da portas para impedir a deformação. A angulação

das nervuras de suporte na porta distribui o ponto de contato com a pá e as vedações em uma área maior de modo que nem sempre ocorre na mesma localização. As aberturas de portas são anguladas ligeiramente, de modo que as pás e as vedações têm um efeito de tesourar sobre as bordas da porta. Isto impede qualquer dano se as pás e as vedações forem esquadrinhadas com as aberturas da portas e qualquer deformação ocorrer e as pás e as vedações colidirem com as bordas das aberturas das portas. A velocidade de rotação cria as forças centrífugas do gás que incrementam ainda mais a exaustão do gás. O perfil da geometria do estator do invólucro interno se estreita até nenhum espaço enquanto passa na porta de exaustão. Isto ajuda a melhorar a remoção completa e assegura que todos os gases da câmara de combustão são esgotados através da porta de exaustão. O perfil da geometria do estator do invólucro interno se abre bastante depois da porta de entrada. Isto confere um efeito de sucção de Venturi que ajuda bastante a puxar o ar de entrada fresco para a câmara de combustão através da porta de entrada.

Câmaras de Vapor de Água do Invólucro

Um objetivo adicional da presente invenção consiste na minimização das deformações térmicas do invólucro em relação aos sistemas de motor existentes.

A câmara de vapor de sódio estabiliza a temperatura do invólucro em torno da zona de combustão/expansão e o sistema de refrigeração de água ativa estabiliza a temperatura das outras seções principais do invólucro. Há um grande intervalo da temperatura entre esses dois sistemas. A câmara de vapor de sódio opera a uma temperatura de 600 graus C e o sistema de refrigeração ativa opera a uma temperatura entre 25 e 98 graus C. Essa diferença da temperatura pode resultar em deformações térmicas do invólucro que podem danificar componentes internos do rotor, da vedação e da pá.

Ligas resistentes a altas temperaturas, tal como Haynes 230, que têm um baixo coeficiente de expansão térmica são preferivelmente utilizadas para a seção da câmara de vapor de sódio. A água a uma temperatura mais baixa e ligas resistentes a hidrogênio tais como o aço inoxidável 316L ou 330 são utilizadas preferivelmente para outras seções do invólucro do motor. Um revestimento de barreira térmica também é aspergido com plasma entre as duas seções de retenção para minimizar a transferência de calor da seção da câmara de vapor de sódio para as outras seções do invólucro do motor. As câmaras de vapor de água também são utilizadas na seção principal do invólucro que une a abertura entre as duas zonas de temperatura. As câmaras de vapor de água operam a 202 graus C e ajudam a isolar termicamente ou estabilizar a temperatura do invólucro para minimizar as deformações térmicas do invólucro entre a câmara de vapor de sódio e a zona principal do invólucro com o sistema de refrigeração ativo. A isothermalização estável da câmara de vapor de sódio e das seções principais do invólucro permite modelos de expansão térmica exatos para calcular o ajuste para a câmara de vapor de sódio e as geometrias do invólucro principal que podem levar essas expansões térmicas em consideração para minimizar as deformações do invólucro durante o funcionamento do motor.

Materiais de Pouco Peso, Durabilidade e Custo

Ainda um outro objetivo da presente invenção consiste na obtenção de um motor de combustão interna de pás rotativas de hidrogênio poderoso, de pouco peso, durável e confiável que possa ser manufaturado economicamente.

Com a redução drástica no volume e na massa do motor, o motor de G-ciclo pode utilizar ligas mais avançadas e mais caras. O motor de G-ciclo emprega preferivelmente ligas baseadas em cobalto/níquel, tal como Haynes 230, para

componentes da zona de alta temperatura. Ligas de aço inoxidável tais como 316L, 330, e alumínio são preferivelmente utilizadas para componentes de temperatura mais baixa. O uso dessas ligas avançadas também reduz a massa do motor e melhora bastante a potência do motor, a durabilidade, e minimiza as deformações térmicas. Essas ligas também são resistentes à permeação de hidrogênio e à fragilidade. Ao adaptar sábia e estrategicamente os benefícios das ligas às áreas e aos componentes estruturais 5
10 chaves específicos do motor de G-ciclo, as quantidades dessas ligas são reduzidas ainda mais, minimizando os custos e maximizando os seus benefícios de propriedades do material para o motor.

A durabilidade do motor é baseada no uso de materiais avançados e desenho dos componentes. As superligas tais como Haynes 230 podem suportar temperaturas e pressões elevadas com aproximadamente 30.000 horas de vida útil. Isto é protegido por um revestimento de barreira térmica em áreas críticas. Os lubrificantes de óxido podem propiciar milhões de deslizamentos sem virtualmente nenhum desgaste. As 15
20 vedações são projetadas de modo que permitam o desgaste do lubrificante e ajustem dinamicamente para manter o desempenho da vedação. A análise mecânica térmica e a análise de falha constituem um aspecto importante da pesquisa. Estudos 25
adicionais com nanomateriais com essas ligas e óxidos irão incrementar ainda mais o seu desempenho e durabilidade.

Conversor Termoelétrico de Metal Alcalino

Ainda um outro objetivo da presente invenção consiste na obtenção de uma fonte direta de eletricidade. A 30
presente invenção apresenta sistemas de câmara de vapor de sódio para remover o calor excessivo ao longo da zona de combustão e para transferir o mesmo ao longo da zona de expansão. O perfil de transferência de calor de circulação do

fluido de trabalho de sódio é idêntico para a utilização de um conversor termoelétrico de metal alcalino (AMTEC) para gerar a eletricidade. O AMTEC utiliza o sódio como um fluido de trabalho que é aquecido e pressurizado contra um eletrodo sólido de beta-alumina (BASE) onde o sódio é convertido de um líquido em um gás e os íons sódio passam através do BASE, gerando eletricidade.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

As características e as vantagens das realizações serão apreciadas, bem como os métodos de operação e a função das partes relacionadas, de um estudo da seguinte descrição detalhada, das reivindicações anexas, e dos desenhos, todos os quais fazem parte do presente pedido. Nos desenhos:

A FIGURA 1 é uma vista elevacional lateral do motor de G-ciclo de hidrogênio.

A FIGURA 2 é uma vista superior em perspectiva do motor de G-ciclo de hidrogênio.

A FIGURA 3 é uma vista em perspectiva destacada parcial do motor de G-ciclo de hidrogênio.

A FIGURA 4 é uma vista em seção transversal lateral do invólucro do motor de G-ciclo que mostra as câmaras do rotor e do motor pelo ângulo da manivela.

A FIGURA 5 ilustra a passagem de retorno da água do invólucro do motor interno com componentes de retorno da água explodidos.

A FIGURA 6 ilustra uma vista de planta destacada do motor de G-ciclo de hidrogênio.

A FIGURA 7 ilustra uma vista em perspectiva de vedações da câmara de combustão.

As FIGURAS 8 a 10 ilustram vistas detalhadas laterais, superior e inferior em perspectiva das vedações da câmara de combustão.

As FIGURAS 11 a 13 ilustram a parte dianteira, o

fundo e a parte traseira do conjunto de pás deslizantes com as vedações de pás divididas fixadas.

A FIGURA 14 ilustra um destaque em seção transversal detalhado lateral de vedações de pás divididas, e
5 vedações da face da pá.

As FIGURAS 15 a 17 ilustram as vistas em perspectiva anterior, lateral e superior da pá deslizante e da vedação de pá dividida com duas vedações de pás explodidas.

10 As FIGURAS 18 a 21 ilustram as vistas em perspectiva anterior, superior, inferior e lateral da pá deslizante e do conjunto de vedação de pá dividida.

As FIGURAS 22 e 23 ilustram vistas em seção transversal superiores da pá deslizante, da vedação de pá
15 dividida, e do conjunto de comutação de correia da pá.

A FIGURA 24 ilustra uma vista em seção transversal inferior da pá deslizante e da vedação de pá dividida.

As FIGURAS 25 e 26 ilustram vistas em seção transversal laterais da pá deslizante e da vedação de pá
20 dividida.

A FIGURA 27 ilustra uma vista em seção transversal anterior da pá deslizante e da vedação de pá dividida.

A FIGURA 28 ilustra uma vista explodida de uma pá deslizante e conjuntos de vedações de pás divididas.

25 A FIGURA 29 ilustra uma vista em perspectiva destacada do invólucro do motor com pás deslizantes e do sistema de correias anti-centrífugo.

As FIGURAS 30 e 31 ilustra vistas em perspectiva laterais do rotor e do sistema de correias anti-centrífugo de
30 pás deslizantes.

As FIGURAS 32 a 37 ilustram vistas em perspectiva detalhadas do sistema de correias anti-centrífugo deslizante de pás deslizantes e de arco de correia.

As FIGURAS 38 e 39 ilustram vistas em perspectiva laterais de um conjunto de arco de correia simples e duplo.

A FIGURA 40 ilustra a vista lateral de um segmento de rotor montado.

5 As FIGURAS 41 e 42 ilustram vistas lateral e anterior do conjunto do segmento do rotor.

A FIGURA 43 ilustra uma vista em seção transversal anterior do conjunto do segmento do rotor.

10 A FIGURA 44 ilustra uma vista anterior em seção transversal descentralizada do conjunto do segmento do rotor.

A FIGURA 45 ilustra uma vista em seção transversal lateral do conjunto do segmento do rotor.

A FIGURA 46 ilustra uma vista detalhada da mola de limite da correia do perfil da pá.

15 A FIGURA 47 ilustra uma vista em seção transversal lateral do conjunto do segmento do rotor que mostra o conjunto de rolamento de roletes tangencial da pá.

As FIGURAS 48 e 49 ilustram as vistas em seção transversal inferiores do conjunto do segmento do rotor.

20 As FIGURAS 50 e 51 ilustram vistas explodidas superior e inferior do rotor segmentam o conjunto.

A FIGURA 52 ilustra a vista em perspectiva externa superior da câmara de vapor de sódio e do AMTEC.

25 As FIGURAS 53 a 55 ilustram as vistas superior interna e lateral do conjunto da câmara de vapor de sódio e do conversor termoelétrico de metal alcalino.

30 As FIGURAS 56 a 61 ilustram as vistas lateral externa, em seção transversal lateral e em seção transversal anterior do conjunto da câmara de vapor de sódio e do conversor termoelétrico de metal alcalino.

As FIGURAS 62 a 64 ilustram as vistas explodidas lateral, inferior e superior do conjunto da câmara de vapor de sódio e do conversor termoelétrico de metal alcalino.

As FIGURAS 65 a 67 ilustram as vista superior, lateral e inferior do invólucro inferior do motor com componentes explodidos da câmara de vapor de água.

5 A FIGURA 68 ilustra uma vista em perspectiva lateral do conjunto de motor com a tampa de isolamento da câmara de vapor de sódio e do conversor termo elétrico de metal alcalino explodida.

As FIGURAS 69 e 70 ilustram vistas em seção transversal lateral e anterior do conjunto do motor inteiro.

10 A FIGURA 71 ilustra processos do motor de pás rotativas de G-ciclo.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Visão Geral do Funcionamento do Motor

O motor de G-ciclo 1 inclui um invólucro exterior 2
15 que tem uma superfície interna 37 do invólucro em um formato oval distorcido dentro do qual gira um conjunto de rotor 183 no sentido horário. Vide as figuras 3 e 4. O invólucro 2 inclui uma câmara de vapor de sódio 229 separada e não em comunicação com as zonas de compressão, combustão e expansão
20 31, 32 e 33, respectivamente, do motor 1. Desse modo, a superfície interior 37 do invólucro 2 inclina de maneira arqueada para dentro rumo a um eixo motor 18 em torno do qual o rotor 183 gira de um porta de entrada 6 a ângulos de manivela de aproximadamente 0 graus a aproximadamente 105
25 graus para uma localização circunferencial adjacente ao início da câmara de vapor de sódio 229. A superfície interna 37 do invólucro 2 adjacente ao início da câmara de vapor de sódio 229 e ao início da zona de expansão 33 se move de maneira arqueada para fora se afastando do eixo motor 18 para
30 obter uma distância geométrica máxima do centro do eixo motor 18 a aproximadamente 147 graus além do início da zona de expansão 33. Desse ponto da distância máxima do centro do eixo motor 18, a superfície interna 37 do invólucro 2

estende-se gradualmente de maneira arqueada para dentro rumo ao centro do eixo motor 18 através do ângulo de manivela restante, isto é, através da zona de compressão 31. Desse modo, o formato interior do invólucro 2 fica sendo um formato oval distorcido ou toro com a câmara de vapor de sódio 229 se
5 sobrepondo à zona de expansão 33 da cavidade de combustão 34.

O rotor 183 inclui, tal como ilustrado na figura 3, oito pás de rotor 116 deslocáveis radialmente para dentro e para fora para o contato de vedação com a superfície interior
10 37 do invólucro 2. As pás 116 são espaçadas circunferencialmente umas das outras, e os segmentos 310 das pás do rotor se estendem entre as pás adjacentes 116. As pás 116 têm vedações de pás duplas 80 para vedar contra a superfície interna 37 do invólucro 2 por todas as zonas de
15 compressão e expansão 31 e 33, respectivamente, e vedações de face de pá laterais 111 para vedar contra os segmentos 310 do rotor.

A câmara de vapor de sódio 229 é uma câmara fechada que contém sódio, potássio ou enxofre, embora o sódio seja o
20 preferido porque ele maximiza a capacidade de transferência de calor. Dentro da câmara 229 são dispostas as malhas de absorção fina, média e grossa 230, 231 e 232, respectivamente (figura 3). A câmara de vapor de sódio 229 é sobreposta às zonas de combustão e expansão 32 e 33 do início da câmara de
25 vapor de sódio até o ponto de expansão máxima da zona de expansão 33, isto é, adjacente à extremidade da câmara de vapor de sódio. A câmara de vapor de sódio 229, quando o motor está funcionando, flui o calor das cavidades de combustão 186 do rotor, e distribui esse calor de maneira
30 substancialmente uniforme através da câmara de vapor 229 enquanto o sódio muda continuamente de fase de um líquido próximo do ponto de ignição a um vapor. Na porta de entrada 6, o ar é fornecido ao motor 1. A uma velocidade, ar, água e

combustível de hidrogênio são comprimidos e auto-inflamados em uma cavidade de combustão 186 do rotor quando se encontra na zona de combustão 32 adjacente ao início da câmara de vapor de sódio 229 sobrejacente. À medida que a zona de combustão aumenta no volume a ângulos de manivela crescentes, as pás 116, sob a força centrífuga, acoplam e vedam de encontro à superfície interior 37 do invólucro 2. Desse modo, a câmara de vapor de sódio 229 absorve o calor da combustão transferido através do invólucro interno entre a câmara de vapor de sódio 229 e a zona de combustão 32 na zona 379 do evaporador de sódio e na zona de expansão 33 após a combustão, substancialmente sem perda de calor, isto é, o calor é retornado ao sistema das cavidades de combustão 34 ao longo da zona 380 do condensador da câmara de vapor de sódio. Por essa isothermalização, o calor é transferido continuamente à câmara de vapor de sódio 229 e de volta à reação de combustão e expansão.

Um sistema de correias da pá é utilizado para reduzir o desgaste da força centrífuga e desse modo a vedação entre as pás 116 e a superfície interna 37 do invólucro 2, bem como para balancear as pás 116 quando duas pás estão se estendendo e outras pás estão se contraindo ou retraíndo. Por causa da natureza oval distorcida do invólucro 2, a pressão não-uniforme das vedações 80 da pá contra a superfície 37 do invólucro fica na média através do uso do sistema de correias.

Com referência às figuras 32 e 34, e reconhecendo que o rotor 183 tem preferivelmente oito pás 116, um sistema de correias de pá simples (figura 32) é utilizado para minimizar as forças centrífugas para um primeiro conjunto de quatro pás ortogonalmente relacionadas, e um sistema de correias de pás duplas, tal como ilustrado na figura 34, é utilizado para o segundo conjunto de quatro pás

ortogonalmente relacionadas restantes. Com referência às figuras 32 e 11, e ao sistema de correias de pá simples, cada pá 116 inclui um par de suportes 151 da haste da correia da pá de extremidade ao longo das suas extremidades internas

5 bifurcadas montando um sistema de barra de comutação simples 142 montado em pivô entre os suportes 151. O comutador 142 inclui um par de barras 146 da correia da pá (figura 11) montadas em uma haste 145 da correia da pá montada em pivô nos suportes 151. Conforme ilustrado na figura 32, os

10 rolamentos de arco 156 da correia de pá simples são suportados em pivô por placas de extremidade do rotor em lados opostos do rotor 183 fixados aos segmentos do rotor. Quatro correias 137 de pá simples são fixadas nas extremidades opostas às barras 146 da correia da pá das pás

15 adjacentes 116 e se estendem ao longo da superfície interna do rolamento de arco 156 entre essas pás. Conseqüentemente, as pás ortogonalmente relacionadas podem se estender ou retrair para combinar a geometria oval distorcida da superfície interna do invólucro com as excentricidades da

20 geometria oval distorcida que é acomodada pelos comutadores em pivô e pelos rolamentos de arco.

Com referência à figura 34, um sistema de correias de pás duplas é empregado para as quatro pás ortogonalmente relacionadas 116 restantes. Cada uma das pás de correias

25 duplas inclui sistemas de barras de comutação duplas 143 montados em uma haste da correia carregada em pivô pelos suportes 151 da pá 116. Um par de rolamentos de arco 158 (figura 34) tem os rolamentos espaçados axialmente um do outro e montados para o movimento de pivô em relação às

30 placas de extremidade do rotor. Um par de correias 138 da pá é fixado nas extremidades opostas às barras 143 da correia da pá dos comutadores de pás adjacentes e se estende ao longo do interior dos rolamentos de arco 158. Uma ação similar é

obtida com respeito a essas quatro pás, tal como com o sistema de correia de pá simples para combinar as pás ao contorno oval distorcido da superfície interna da parede do estator do invólucro. Deve ser observado que as correias da pá e os conjuntos simples e duplos de sistemas de correias da pá são espaçados axialmente uns dos outros, bem como os respectivos comutadores e rolamentos de arco.

Com referência às figuras 29 e 36, os sistemas de correias de pás simples e duplas são unidos por um par de correias de perfil 139 nos lados axialmente opostos dos sistemas de correias de pá simples e duplas. Tal como melhor ilustrado na figura 36, um par de correias de perfil axialmente espaçadas 139 é montado sobre os pinos 365 da correia no sistema de correias de pá simples, que montam nos rolamentos de arco 156, e os pinos 159, que montam no par de rolamentos de arco 158 no sistema de correias de pá duplas. Conforme ilustrado na figura 36, o par de correias de perfil 139 estende-se sobre as partes de extremidade dos pinos 365 e 159 dentro das placas de extremidade limite 157. As placas 157 são fixadas aos segmentos 310 do rotor entre as pás 116.

Os detalhes do motor, incluindo a interação entre a câmara de vapor de sódio e a câmara de combustão, assim como o sistema de correias que permite que a pá se estenda e retraia radialmente, enquanto mantém as vedações contra a superfície interna do invólucro, são apresentados em seguida e nas figuras dos desenhos mencionadas na seguinte discussão.

O motor 1 de G-ciclo de hidrogênio utiliza injeções de água aquecida e hidrogênio gasoso. Com referência às figuras 1, 2 e 3, dois reguladores de injeção de água 57 irão fornecer a água aquecida à cavidade de combustão 34 do rotor do motor no início da zona de compressão 31. Dois reguladores de injeção de hidrogênio 26 fornecem o hidrogênio à cavidade de combustão 34 do rotor do motor em uma zona de compressão

31. Duas velas de ignição 29 inflamam a mistura de hidrogênio/ar/água. Um sistema de refrigeração ativo circula água deionizada de um tanque de armazenagem de água fria através do invólucro inferior 2, da entrada 30 e das zonas de compressão 31, do eixo motor zona de expansão 19, e do rotor interno 183 e do motor 1 e das pás deslizantes 52, e para um tanque de armazenagem de água quente (não mostrado). A água aquecida é injetada no motor no início da zona de compressão 31 com os injetores de água 57, no estágio inicial de compressão/expansão da câmara de combustão pela injeção 60 e água fresca é injetada durante o estágio final de compressão/expansão pela injeção 61. Todo o vapor de água na câmara de combustão 34 do rotor é esgotado do motor 1 através da porta de exaustão 9 e da tubulação de exaustão 10 e para um condensador de água de exaustão (não mostrado), onde o vapor de água é condensado de um gás em um líquido e retornado ao tanque de armazenagem de água fria, e o ar é esgotado para fora da tubulação de exaustão do condensador. Para impedir os danos de expansão do congelamento da água ao motor 1 e todos os seus componentes, álcool etílico armazenado em um tanque de armazenagem de álcool etílico (não mostrado), durante a paralização do motor, quando as temperaturas são menores do que 32 graus F, é circulado em uma mistura de água/álcool etílico por todo o motor 1. Uma unidade de controle eletrônico (ECU) (não mostrada) controla todos os reguladores e bombas de velocidade variável (não mostrados). A ECU também monitora uma série de sensores da temperatura e nível de água para ajudar a controlar todos os reguladores e a bomba de velocidade variável para assegurar que o motor 1 fique sempre funcionando corretamente.

Injeção de Hidrogênio/Água

Durante o funcionamento do motor de G-ciclo 1, a água é injetada na cavidade de combustão 34 do motor 1

através dos reguladores de injeção de água 57 e do tubo de água 308. O hidrogênio gasoso é injetado na cavidade de combustão 34 do motor 1 através de um regulador de injeção de hidrogênio 293 e do tubo de hidrogênio 294 e em um regulador de hidrogênio 280. Do regulador 280, o hidrogênio gasoso passa através dos tubos de hidrogênio 28 e 27 e para os reguladores de injeção de hidrogênio/água 26 e para a câmara de combustão 34 no local de injeção 38 na zona de compressão 31.

À medida que o hidrogênio gasoso se expande da compressão elevada para abaixar a pressão da injeção, ele absorve a energia calórica que pode resultar em danos de congelamento no regulador de injeção de hidrogênio 293, no tubo de hidrogênio 294, e no regulador de hidrogênio 280. Para neutralizar o potencial de congelamento térmico, água deionizada aquecida é bombeada na tubulação que é enrolada em torno da tubulação de hidrogênio 294 perto do regulador de hidrogênio 280. O calor absorvido pela água é liberado e transferido ao hidrogênio gasoso em expansão na tubulação de hidrogênio para ajudar a impedir danos de congelamento no regulador de hidrogênio 280, e no regulador de injeção de hidrogênio 26. O regulador de hidrogênio balanceia corretamente a mistura de hidrogênio e injeta a mistura de hidrogênio através da tubulação de hidrogênio 28 e 27 e para os reguladores de injeção de hidrogênio 26 e para a cavidade de combustão 34 no local de injeção 38 na zona de compressão 31.

Sistema de Refrigeração a Água Ativo

A água deionizada armazenada em um tanque de armazenagem de água fria (não mostrado) é utilizada para refrigerar o invólucro exterior do motor na zona de admissão/compressão 2, os rolamentos do eixo motor e a zona de expansão 19, e o rotor interno 183 e as pás deslizantes

116. A água deionizada é utilizada porque ela é uma forma mais pura de água sem contaminadores que pode penetrar nos componentes do motor 1 e porque tem uma baixa tensão superficial para minimizar as forças de atrito enquanto ela é bombeada através dos tubos, se move dentro da cavidade interna 363 do rotor, e ao longo da superfície interna 37 do estator do invólucro dos estatores 2 e 4 do invólucro. Para a refrigeração do invólucro exterior 2 do motor 1, da entrada 30 e da zona de compressão 31, água de refrigeração deionizada é bombeada do tanque de armazenagem de água fria por uma bomba de água de velocidade variável através da tubulação de refrigerante de água 321 e do componente de tubo em forma de T 56 e da tubulação de refrigerante de água dividida 48 e do componente de 90 graus 54 do invólucro para a entrada de refrigerante 62 das zonas de admissão/compressão do invólucro e a passagem de refrigerante 63 da zona de admissão/compressão e através da saída de admissão/compressão 64, e então do componente de 90 graus 54 do invólucro, em seguida da tubulação de refrigerante de retorno dividida 49, através do componente de tubo em forma de T 56, e através de uma tubulação de refrigerante de retorno simples 322 e então através de um filtro de água quente e então para um tanque de armazenagem de água quente.

Para refrigerar o rolamento de eixo motor 19 do rotor do motor 1 e as zonas de expansão 31, a água de refrigeração deionizada é bombeada do tanque de armazenagem de água fria por uma bomba de velocidade variável através da tubulação de refrigeração de água 323 e do componente de tubo em forma de T 56 e então da tubulação de refrigeração de água dividida 50 e do componente reto 55 do invólucro para a entrada de refrigeração de água 65 do rolamento do eixo moto/zona de expansão e através da passagem de refrigeração de água 66 do rolamento do eixo motor/zona de expansão e

através da saída 67 da passagem de refrigeração de água do rolamento do eixo motor/zona de expansão, a seguir o componente reto 55 do invólucro, a seguir a tubulação de refrigeração de retorno dividida 51, através do componente de

5 tubo em forma de T 56 e então através de uma tubulação de refrigeração de retorno simples 324 e então do filtro de água quente e para o tanque de armazenagem de água quente.

Para refrigerar o conjunto de rotor interno 183 e as pás deslizantes 116, a água de refrigeração deionizada é

10 bombeada do tanque de armazenagem de água fria por uma bomba de velocidade variável através da tubulação de refrigeração de água 325 e do componente em forma de T 56 e então da tubulação de injeção de refrigeração de água dividida 52 e para o componente de 90 graus 54 do invólucro e através da

15 entrada de injeção de água 334 do rotor interno/pá através do condensador externo 202 do rotor e do condensador 132 da pá deslizante. A água é coletada ao longo dos lados da superfície interna 37 do estator do invólucro pelas pás deslizantes móveis 116 e forçada através do rebaixo de

20 retorno de água 44 do invólucro interno e do entalhe de retorno de água 47 na tampa de retorno de água 45 que é parafusada em um rebaixo 276 da tampa de retorno de água por um parafuso 46 da tampa de retorno de água, tal como mostrado na figura 5.

25 A água retorna então através da saída de água 335 do rotor interno/pá e para o componente de 90 graus 56 do invólucro e através da tubulação de retorno de refrigeração de água dividida 53 e através do componente de tubo em forma de T 56, e então através de uma tubulação de refrigeração de

30 retorno simples 326 e então do filtro de água quente e para o tanque de armazenagem de água quente.

A injeção de água 61 da câmara de combustão/expansão no estágio final utiliza a água deionizada

320 armazenada no tanque de armazenagem de água fria e bombeada por uma bomba de água de alta pressão através da tubulação de alta pressão de água fria 328 e para o componente de tubo em forma de T de alta pressão 59 e para a tubulação dividida de alta pressão 279 e para o componente de invólucro de 90 graus de alta pressão 58 e fora do bocal de aspersão de água fria de estágio final 337 para a cavidade de combustão 34 do rotor no local de injeção 61 do estágio final de compressão/expansão.

Todas as bombas de velocidade variável utilizadas no sistema de refrigeração de água ativo são controladas e reguladas eletricamente para utilizar a quantidade mínima de energia elétrica necessária para bombear a água.

Injeção de Água Quente

Durante o funcionamento do motor 1, a água aquecida é injetada no início da zona de compressão 31 com o regulador de injeção de água quente 57 e a injeção 60 no estágio inicial da câmara de combustão/expansão. Para a injeção da zona de compressão de água quente, a água deionizada aquecida 320 é bombeada do tanque de armazenagem de água quente por uma bomba de água de alta pressão através da tubulação de injeção de água quente 308 e para o regulador de injeção de água 57. O regulador de injeção de água 57 regula a quantidade de água aquecida a ser injetada na cavidade de combustão 34 do rotor na zona de compressão 31. A água deionizada 320 injetada na zona de compressão 31 irá ajustar a relação de compressão eficaz e misturar parcialmente a mesma com o hidrogênio gasoso injetado 336. Para a injeção de água quente no estágio inicial de combustão/expansão, a água deionizada aquecida é bombeada do tanque de armazenagem de água quente por uma outra bomba de água de alta pressão e para a tubulação de alta pressão de água quente 327 e para o componente de tubulação em forma de T de alta pressão 59 e

para a tubulação dividida de alta pressão 278 e o componente de invólucro de 90 graus de alta pressão 58 e através da passagem de injeção de água quente 42 do invólucro e do tubo de conexão 43 e para fora do bocal de aspersão de água quente de estágio inicial 40 para a câmara de combustão 34 do rotor no local de injeção 60 do estágio inicial de compressão/expansão. No estágio inicial 60, a injeção de água quente da combustão/expansão na câmara de combustão 34 do rotor interage com a combustão do hidrogênio para ajudar a regular a temperatura de combustão de pico. A água deionizada injetada também interage e absorve o calor da câmara de vapor de sódio ao longo da superfície 4 do estator do invólucro da câmara de vapor de sódio, e também confere algumas qualidades da lubrificação e de vedação às vedações de pás deslizantes 118 e de pás divididas 79 enquanto elas se movem através da superfície interna 37 do estator do invólucro.

O vapor de água deionizada tem uma massa mais pesada do que outros gases da câmara de combustão 34. A velocidade de rotação e as forças centrífugas do rotor 183 irão forçar o vapor de água deionizada mais pesado radialmente para fora ao longo da superfície interna 37 do estator do invólucro e para fora através da porta de exaustão radial 9 e através da tubulação de exaustão 10. Isso ajuda a água deionizada a fazer um bom contato e na transferência de calor com o estator 4 da câmara de vapor de sódio, e também é muito benéfico no esgotamento completo de todo o vapor de água deionizada através da porta de exaustão 9 e da tubulação de exaustão 10.

Geometria Oval Distorcida do Estator do Invólucro

A figura 4 mostra a vista em seção transversal lateral do motor de pás rotativas 1 da presente invenção. A figura 3 ilustra uma vista em perspectiva destacada do motor 1. O motor 1 inclui um estator 37, um rotor 183 e uma

multiplicidade de pás deslizantes 116 que se estendem e retraem das passagens 184 de pás do rotor. O invólucro 2 do estator inferior e do estator superior 4 da câmara de vapor de sódio cria uma forma de geometria oval distorcida que tem

5 uma superfície interna geralmente lisa 37. O invólucro 2 do estator inferior 2 e o invólucro 4 do estator superior da câmara de vapor são separados por uma junta de metal 5 para ajudar a prender um encaixe e vedação uniforme entre os segmentos diferentes do invólucro do motor. As pás

10 deslizantes 116 utilizam as vedações de pás divididas 79 que compreendem uma vedação de pá dianteira e traseira 80 para vedar as pás deslizantes 116 ao longo das superfícies internas 37 do estator. Uma câmara de combustão 34 é definida por duas pás deslizantes adjacentes 116 e duas vedações

15 axiais 102 do rotor. O motor 1 também inclui uma porta de entrada 6 para o suprimento de entrada de ar. A zona de entrada 30 começa quando a vedação de pá traseira 80 da pá dianteira 116 da câmara de combustão começa a passar sobre a porta de entrada 30 a ângulos de manivela de 0 grau e

20 continua ao longo do eixo de rotação até que a vedação de pá dianteira 80 termine de passar sobre a porta de entrada 30 a um ângulo de rotação de manivela de entrada de aproximadamente 60 graus. A um ângulo de manivela de aproximadamente 60 graus, o invólucro interno 37 do estator

25 se encontra em sua distância máxima de entrada da superfície 185 do rotor e inclina agudamente para dentro de volta para a superfície 185 do rotor para formar a zona de compressão 31. A zona de compressão 31 provê aproximadamente 45 graus totais de rotação do ângulo de manivela até a localização da vela de

30 ignição 29 a um ângulo de manivela de 105 graus. O centro inoperante superior (TDC) fica a um ângulo de manivela de 110 graus. A zona de combustão 32 segue da localização 29 da vela de ignição até a injeção de água de estágio inicial 60 a um

ângulo de manivela de aproximadamente 145 graus. A zona de expansão 33 continua desse ponto até a vedação de pá traseira 80 da pá deslizante dianteira 116 começar a passar sobre o ponto máximo de expansão a um ângulo de manivela de 270 graus, propiciando um total de aproximadamente 160 graus de ângulo de manivela de deslocamento da combustão e da expansão. O estator interno 37 do invólucro inclina gradualmente para fora se afastando da superfície 185 do rotor ao longo das zonas de combustão 32 e de expansão 33 até alcançar a sua distância máxima a um ângulo de manivela de aproximadamente 270 graus. Nesse ponto, a superfície interna 37 do estator do invólucro inclina agudamente de volta para a superfície 185 do rotor ao centro inoperante inferior (BDC) a um ângulo de manivela de 338 graus. A injeção de água de estágio final 61 também ocorre a um ângulo de manivela de aproximadamente 275 graus onde a superfície interna 37 do estator do invólucro está na distância máxima da superfície 185 do rotor. O esgotamento da câmara de combustão 34 ocorre quando a vedação de pá traseira 80 da pá deslizante dianteira 116 da câmara de combustão começa a passar sobre a porta de exaustão 9 a um ângulo de manivela de aproximadamente 280 graus e continua até que a vedação da pá dianteira 80 da pá traseira 116 da câmara de combustão termine de passar sobre a porta de exaustão 9 a um ângulo de manivela de aproximadamente 360 graus, provendo um total de 80 graus do ângulo de manivela para a exaustão da câmara de combustão 34. Uma vez que a câmara de combustão 34 tenha terminado de esgotar os gases da câmara, a vedação de pá traseira 80 da pá dianteira 116 da câmara de combustão está pronta para cruzar sobre a porta de entrada 7 e começar o ciclo seguinte.

O estator superior 4 da câmara de vapor de sódio fica localizado ao longo das zonas de combustão 32 e de expansão 33 do ponto do TDC a um ângulo de manivela de 110

graus e continua até um ângulo de manivela de 255 graus. Um revestimento de barreira térmica 36 é aplicado à superfície interna 37 do estator do invólucro imediatamente antes dos locais de injeção de hidrogênio/água a um ângulo de manivela de 85 e continua até precisamente passar o local de injeção de água de estágio inicial 60 a um ângulo de manivela de aproximadamente 160 graus.

Estator do Invólucro Interno Com Rotor e Pás

A figura 3 ilustra a metade inferior do estator 2 do invólucro. A metade em seção transversal superior do estator 4 da câmara de vapor de sódio, uma imagem no espelho da metade 2 do estator inferior, é removida para mostrar as partes localizadas dentro dos estatores 2 e 4 do invólucro. Um rotor 183 tem uma forma de disco geralmente circular com uma superfície exterior 185 e uma multiplicidade de entalhes 184 da pá (figura 4) cortados verticalmente ao longo de seu perímetro. Cada pá deslizante 116 encaixa dentro de um entalhe de pá 184. O rotor 183 pode ter seis, oito, nove ou doze entalhes de pá 184 e as pás deslizantes 116, dependendo da escala do motor 1. A realização preferida tem oito entalhes de pá 184 contendo oito pás deslizantes 116 correspondentes. Essa configuração cria oito câmaras de combustão separadas 34 limitadas pela superfície de rotor exterior 185 do rotor 183, pela superfície interna 37 dos estatores 2 e 4 do invólucro, e pelas pás deslizantes 116. Cada pá deslizante 116 tem uma face dianteira e traseira geralmente aplainada com uma forma semi-oval exterior que corresponde à forma da superfície interna 37 dos estatores 2 e 4. Em operação, o rotor 183 gira em torno do eixo motor 18, forçando as pás deslizantes 116 a serem varridas ao longo da superfície interna 37 dos estatores 2 e 4 em um movimento circular contínuo. Esse movimento gira continuamente as câmaras de combustão 34 em torno do rotor 183. As pás

deslizantes 116 comutam dentro e fora dos entalhes 184 de pás para manter o contato de superfície constante entre o arranjo geralmente circular das pás deslizantes 116 e a forma geralmente oval da superfície interna 37 dos estatores 2 e 4 do invólucro.

Vedações da Câmara de Combustão

Para que o motor 1 funcione eficaz e eficientemente, a câmara de combustão 34 deve manter a vedação entre o estator lateral 37, o rotor 183 e as pás deslizantes 116, e as pás deslizantes e a superfície interna 37 do invólucro do rotor 183 do estator do invólucro. A figura 7 mostra as vedações 78 da câmara de combustão utilizadas para isolar cada câmara de combustão individual 34 e ajudar a manter as pressões do gás de combustão apropriadas em cada cavidade de combustão 34. As vedações 78 da câmara de combustão incluem as vedações axiais 102, as vedações de face de pá 111, e as vedações de pás divididas 79.

Vedações Axiais

As vedações axiais 102 mostradas nas figuras 3 e 7 asseguram a vedação sem folga entre o rotor 183 e o estator lateral 37 do invólucro. As vedações axiais 102 são geralmente segmentos em forma de arco. A vedação axial 102 também assegura uma vedação sem folga entre o segmento de vedação dividida de pá inferior 82 ao longo da superfície de contato 95 de vedação axial da vedação da pá e do rotor 183. A vedação axial 102 compreende uma seção de vedação axial central 103 e duas seções de extremidade de vedação axiais 104 que são conectadas uma à outra ao longo da interface de vedações axiais central e de extremidade 105 onde a seção central axial 103 contém uma interface de lingüeta 106 e a seção de extremidade axial 104 contém uma interface de sulco 107. A interface de vedações axiais central e de extremidade 105 é angulada em relação à superfície de vedação dianteira.

Isso permite que ambos o segmento central axial 103 e o segmento de extremidade axial 104 se movimentem livremente ao longo da interface 105 e ainda mantenham uma vedação contígua com a superfície interna 37 do estator. As superfícies da interface de lingüeta 106 do segmento central axial 103, onde o sulco adjacente 107 do segmento de extremidade axial 104 se encontra, são revestidas com um lubrificante sólido 35 que compreende óxidos para um lubrificante de alta temperatura e durabilidade para minimizar o atrito de deslizamento ao longo da interface de segmento axial central e de extremidade 105 e aumentar a velocidade de seu movimento de vedação.

A superfície superior 358 da vedação axial 102 é ligeiramente afunilada à medida que segue de volta da superfície de vedação dianteira da vedação axial. Isso permite que os gases pressurizados da câmara de combustão 34 sigam ao longo dessa superfície afunilada superior 358 para ajudar a impelir a vedação axial para fora, fazendo um contato de vedação com a superfície interna 37 do estator do invólucro.

As molas corrugadas 110 são localizadas atrás do segmento axial central 103 da vedação axial 102. As molas corrugadas 110 são utilizadas inicialmente para aplicar pressão no segmento de vedação axial central 103, que aplica uma força de deslizamento ao longo da interface de vedação axial central e de extremidade 105 para forçar o segmento de extremidade de vedação axial 104 axialmente para fora de encontro à superfície interna 37 do estator do invólucro e radialmente de encontro à superfície inferior 95 do segmento de vedação de pá e a vedação de pá dividida inferior 82. As molas corrugadas 110 aplicam somente uma quantidade limitada de força para criar uma vedação inicial entre a vedação axial principal 102. As pressões do gás da combustão e da câmara 34 são a força dominante que determina o seu desempenho de

vedação para equalizar as forças necessárias para a vedação central axial 103 e os segmentos de vedação de extremidade 104 da vedação axial 102 manter as condições apropriadas de vedação contra a superfície interna 37 do estator do
5 invólucro dos estatores internos 2 e 4 do invólucro.

Uma pequena tira de vedação axial 109 fica localizada em um sulco axial 108 da tira de vedação que segue através do comprimento total da face de vedação do segmento central axial 103 e das vedações de extremidade axiais 104. A
10 tira de vedação axial 109 ajuda a vedar quaisquer gases da câmara de combustão que passam através da borda de vedação axial superior acima do sulco de percurso 107 da vedação axial. A borda traseira superior da tira de vedação axial 109 tem um pequeno chanfro 351 que segue por todo o comprimento
15 da tira de vedação axial 109 que irá ajudar a impelir a tira de vedação axial 109 para fora de encontro à superfície interna 37 do estator do invólucro. As superfícies de contato da vedação axial 102 e da tira de vedação axial 109 são revestidas com um lubrificante sólido que compreende óxidos
20 para a operação a alta temperatura e durabilidade.

O segmento central axial 103 e os segmentos de extremidade axiais 104 da vedação axial 103, da tira de vedação 109 e da mola corrugada 110 são curvados para combinar com o perfil do rotor 183.

25 Vedações da Face da Pá

A figura 8 mostra uma vista lateral em perspectiva do sistema de vedação da câmara de combustão do sistema de vedação de câmara de combustão 78 com uma tira de vedação de face de pá 113 explodida.

30 As vedações da face da pá 111 ficam localizadas na passagem 184 da pá do rotor para assegurar a vedação sem folga entre o rotor 183 e as pás deslizantes 116. As vedações da face da pá 111 são geralmente em forma de U virado para

baixo semi-oval, que corresponde aproximadamente ao perfil de formato curvo das pontas das pás deslizantes 116. Desse modo, há dezesseis vedações 111 na realização preferida, uma adjacente a cada lado da face 349 da pá, das oito pás deslizantes 116. As vedações da face da pá 111 têm uma superfície superior ligeiramente afunilada 359 que segue rumo às bordas traseiras das vedações 111. Isso permite que a pressão do gás de câmara de combustão 34 ajude a impelir para fora as vedações da face da pá 111 para vedar desse modo de encontro à superfície 349 da face da pá.

A vedação da face da pá 111 também é impelida para fora por uma mola corrugada 114 posicionada no rebaixo 189 da mola de vedação da face da pá do rotor. A vedação da face da pá 111 também contém uma tira de vedação 113 localizada no pequeno sulco 112 da tira de vedação que segue através de todo o comprimento da superfície de vedação da face da pá 111 para ajudar a prover mais vedação ao longo da superfície 349 da face da pá. A borda traseira superior da tira de vedação da face da pá 113 tem um pequeno chanfro 352 que segue por todo o comprimento da tira de vedação da face da pá 113 que ajuda a impelir a tira de vedação da face da pá 113 para fora de encontro à superfície 349 da face da pá. A superfície de vedação de contato da vedação da face da pá 111 e da tira de vedação da face da pá 113 é revestida com um lubrificante sólido 35 que compreende óxidos de lubrificação para a lubrificação a alta temperatura e durabilidade. As extremidades da vedação da face da pá 115 se estendem para fora a 90 graus da vedação da face da pá 111 principal para ajudar na interface e na vedação através do segmento de vedação axial 82 da pá dividida inferior, fazendo contato de vedação com a superfície 95 e para encaixar sobre e ajudar a suportar a peça de extremidade 104 da vedação axial.

A vedação da face da pá 111, a tira 113 da vedação

da face da pá e a mola corrugada 114 da vedação da face da pá são geralmente em forma de U virado para baixo semi-oval, que corresponde aproximadamente à forma das pontas de cada pá deslizante 116.

5 Vedações de Pás Divididas

Com referência às figuras 8 e 11, uma vedação de pá dividida 79 é presa de maneira deslizável ao longo do perímetro exterior 350 de cada pá deslizante 116. As vedações de pás divididas 79 asseguram a vedação sem folga entre as pás deslizantes 116 e a superfície interna 37 do estator dos estatores 2 e 4 do invólucro. As vedações de pás divididas 79 são geralmente em forma de U virado para baixo semi-oval, similares na forma total, mas ligeiramente maior do que as vedações da face da pá 111. Cada vedação de pá dividida 79 tem duas vedações de pá 80 que são imagens no espelho uma da outra. Desse modo, há dezesseis vedações de pá 80 na realização preferida, duas para cada uma das oito pás deslizantes 116. Utilizando duas vedações de pá 80 para cada pá deslizante 116, é obtido um desempenho de vedação duplo para a câmara de combustão 34 e as perdas de sopro da vedação de pá 80 são minimizadas. Isso também permite que duas câmaras de combustão 34 adjacentes a cada pá deslizante 116 tenham as suas forças de vedação otimizadas e balanceadas para requisitos específicos de vedação de cada câmara ao desempenho maximizado do motor 1 e minimizem o atrito e o desgaste excessivos.

Vedações de Pás Segmentadas

Com referência às figuras 11 a 18, cada uma das duas vedações de pá 80 dentro de cada vedação de pá dividida 87 comuta para diante e para trás no topo da pá deslizante 116 para combinar com o perfil da superfície interna 37 dos estatores 2 e 4 do invólucro para manter condições apropriadas de vedação. No entanto, devido a um perfil

térmico de motor bipolar com uma zona de admissão-compressão constantemente mais fresca e uma zona de combustão-expansão mais quente, o segmento de vedação de pá inferior 82 ou uma parte reta lateral de cada vedação de pá dividida 87 precisa se expandir para fora para manter as condições apropriadas de vedação ao longo do lado axial da pá deslizante 116. Para executar isto, cada vedação de pá dividida 87 é segmentada em um segmento central superior 81 e dois segmentos inferiores laterais 82. A seção central superior da vedação de pá tem dois sulcos de interface base angulados enviesados acopláveis 84 em cada extremidade. Cada um dos segmentos inferiores 82 tem uma extensão de interface de lingüeta formada base angulada inclinada acoplável 85. Os segmentos central de vedação de pá superior 81 e dois segmentos inferiores 82 de cada vedação de pá 80 são intercalados conjuntamente com uma interface de lingüeta e sulco base angulada inclinada 83. Essa interface de segmento de vedação de pá angulada inclinada 83 permite que os segmentos inferiores 82 deslizem ligeiramente para dentro e para fora ao longo da interface de vedação de pá angulada inclinada 83, vedando desse modo a superfície interna 37 do estator ligeiramente se contraindo e expandindo varrida para fora pela pá deslizante 116 enquanto ela gira. Os canais de gás laterais 97 atrás do segmento de vedação de pá inferior 82 utilizam a pressão de gás da câmara de combustão 34 para pressionar cada segmento de vedação de pá inferior 82 de encontro à superfície interna 37 do estator. A segmentação das vedações de pá 80 não somente ajuda a melhorar o desempenho da vedação das pás deslizantes 116 das variações no contorno da superfície interna 37 do estator, as vibrações da combustão, mas também melhora a durabilidade operacional da vedação de pá 80 devido ao desgaste. Devido ao fato que a superfície exterior do segmento de vedação de pá inferior pode se desgastar devido

ao atrito de deslizamento com a superfície 37 do estator do invólucro interno, o segmento de vedação de pá inferior 82 pode deslizar para fora ao longo da interface 83 do segmento de vedação de pá para continuar a fazer contato de vedação com a superfície interna do estator do invólucro 37. Isso aumenta bastante a durabilidade operacional da vedação de pá e reduz o potencial para falha de vedação.

Ponta de Vedação de Pá de Nariz Arrebitado Contornada

Com referência às figuras 9 e 14, a ponta 80 da vedação de pá inclui uma ponta de nariz arrebitado 90 que forma uma ponta arredondada contornada pequena que pode deslizar suavemente através do perfil da superfície interna do estator do invólucro. A pequena ponta de nariz arrebitado 90 é mais concentrada para minimizar o contato de superfície de vedação excessivo. Durante a combustão, as grandes forças de tensão e de vibração são criadas. No entanto, a vedação de nariz arrebitado pode ser vibrada fora da superfície interna do estator do invólucro. Essa ação pode resultar em danos de marca de vibração à superfície interna 37 do estator do invólucro. No entanto, quando se tem a vedação de nariz arrebitado 90 ligeiramente mais larga, as forças de impacto são distribuídas sobre uma área de superfície ligeiramente maior e tem menos probabilidade de resultar em danos de marca de vibração. O contorno curvo da ponta de nariz arrebitado 90 faz um bom contato com os ângulos variáveis da superfície interna 37 do estator do invólucro, enquanto as pás deslizantes 116 e o rotor 183 revolvem em torno dos estatores internos 2 e 4 do invólucro. Isso também distribui o ponto de vedação de contato através da superfície contornada curva da ponta de nariz arrebitado 90, o que ajuda a estender a durabilidade operacional da vedação de pá 80 e a minimizar a falha de vedação. A ponta da vedação de nariz arrebitado 90

curva em torno do perfil central superior do segmento de vedação de pá central 81 e da vedação de pá 80 e transita para os lados externos 92 da vedação de pá ao longo da seção inferior de vedação de pá 82 da vedação de pá 80. A vedação lateral de nariz arrebitado 92 propicia uma boa vedação axial do segmento inferior 82 da vedação de pá e da superfície interna lateral 37 do estator do invólucro 2 e 4 do estator. Ela também permite que a vedação de pá 80 forme uma interface de vedação com a vedação axial 102 e a vedação de face de pá 111. A superfície de face de segmento de vedação de pá inferior plana 95 forma uma superfície de interface de contato plana com os segmentos de extremidade de vedação axiais 104 e as extensões de interface de vedação de face de pá 115. Para impedir que os gases sejam soprados pela ponta de vedação de nariz arrebitado 90 e sigam entre as duas vedações de pá 80 para não irem para as seções internas do rotor 183, a superfície de vedação de nariz arrebitado irá continuar a enrolar em torno da borda inferior 93 das vedações de pá 80. Então a superfície 90 da vedação de nariz arrebitado também enrola de volta ao longo da borda interna 94 da vedação de pá onde as duas vedações de pá 80 se encontram e deslizam em conjunto. Essa borda interna curta 94 da vedação de nariz arrebitado é suficientemente longa de modo que, quando as vedações de pá 80 comutam, elas ainda se sobrepõem uma à outra para impedir que quaisquer gases internos de vedação de pá escapem para fora das aberturas no fundo das vedações de pá 80. A água do sistema de refrigeração ativo e as injeções de água migram entre as pontas 90 da vedação de nariz arrebitado e ajudam a obter a lubrificação de deslizamento para as vedações de nariz arrebitado e as superfícies internas 2 e 4 do estator do invólucro. Uma parte da água também é convertida em vapor que enche e pressuriza o espaço entre as duas vedações de nariz

arrebicado 90. Isso ajuda a impedir o sopro entre as câmaras de combustão 34 adjacentes.

As pontas da vedação de pá superior de nariz arrebicado 90, as bordas laterais 92, as bordas inferiores 93, as bordas internas 94, e as superfícies de face planas 95 das vedações de pá 80 são revestidas com um lubrificante sólido 35 que compreende óxidos para a lubrificação a alta temperatura e durabilidade.

Impulsão do Gás da Vedação de Pá

Com referência à figura 14, durante a funcionamento do motor 1, os gases de combustão na câmara de combustão 34 tendem a passar para as aberturas de gás 355 entre as vedações de pá 80 e a superfície interna 37 do estator, forçando as vedações de pá 80 a se afastar da superfície interna 37, comprometendo desse modo a vedação das câmaras de combustão 34. Para se opôr eficazmente a essas forças de combustão muito intensas, cada vedação de pá 80 é preferivelmente impelida por gás para a utilização rápida dos gases de combustão para equalizar as forças que separam as vedações de pá 80 da superfície interna 37 do estator. Na realização preferida, essa impulsão pelo gás é obtida de duas maneiras, mediante o emprego de uma ponta estendida 91 da vedação de pá com uma superfície angular 256 e o fundo 257, e mediante o emprego das passagens de gás de vedação de pá 96 das vedações de pá 80.

Ponta Estendida Angulada da Vedação de Pá

Com referência outra vez à figura 14, o primeiro método de impulsão de gás para se opôr às forças do gás nas aberturas de gás 355 utiliza uma ponta estendida 91 da vedação de pá com uma superfície lateral exterior angular 356 e a superfície inferior 357 em cada vedação de pá 80. Os lados externos angulados 356 aumentam a largura de cada vedação de pá 80 quando uma se move mais perto da superfície

interna 37 do estator. As pontas estendidas 91 da vedação de pá, os lados externos angulados 356 e a superfície inferior 357 formam desse modo áreas de superfície que são anguladas para fora, de maneira tal que os gases de combustão em
5 expansão tendem a empurrar as vedações de pá 80 para a superfície interna de estator 37 dos estatores 2 e 4, desse modo vedando cada câmara de combustão 34 mais eficazmente.

Um revestimento de barreira térmica (TBC) 36 é aplicado às superfícies superiores da ponta estendida 91 de
10 vedação de pá e aos lados externos angulados 356 das vedações de pá 80 para minimizar as tensões e deformações térmicas da vedação de pá dividida 79, de modo a melhorar o desempenho de vedação da vedação de pá dividida 79 com a superfície interna 37 do estator do invólucro e estende a sua operação,
15 durabilidade e vida útil.

Passagens de Gás da Vedação de Pá

Com referência ainda à figura 14, o segundo método de impulsão de gás para se opôr às forças do gás de combustão nas aberturas de gás 355 consiste no uso das passagens de gás
20 96. Múltiplas passagens de gás 96 perfuram cada vedação de pá 80 da superfície angulada 356 da vedação de pá no local onde a vedação de pá 80 toca na superfície interna 354 da vedação de pá acima da nervura de suporte 118 da pá deslizante 116. As passagens de gás 96 suportam a nervura 118 da pá deslizante
25 116, criando desse modo uma superfície para que os gases de combustão impulsionem a vedação de pá 80 para cima para a superfície interna 37 do estator, e vedando desse modo a câmara de combustão 34 mais eficazmente. As passagens de gás 96 são distribuídas ao longo de toda a seção central curva da
30 vedação de pá 81 das vedações de pá 80 tal como mostrado nas figuras 11 a 13. Qualquer um ou ambos desses métodos de impulsão de gás podem ser utilizados.

Os canais de gás axiais 97 cortam nas vedações de

pá 80 para dirigir os gases de combustão através do topo para o lado das nervuras de suporte 118 da pá atrás do segmento inferior de vedação de pá 82 da pá deslizante 116. Isso força o segmento inferior de vedação de pá 82 para fora de encontro
5 ao lado da superfície interna 37 do estator do invólucro, fazendo um contato de vedação mais apertado entre as vedações de pá 82 da pá deslizante 116 e a superfície interna de estator 37 dos estatores 2 e 4 do invólucro. Esse contato de vedação mais apertada ajuda a minimizar os vazamentos do gás
10 de combustão através das vedações de pá divididas 87. Ele também cria um pouco de força de atrito que ajuda a reduzir o movimento abrupto das vedações de pá divididas 87 devido aos elevados surtos de energia rápidos dos gases da combustão.

Um benefício do uso das vedações de pá divididas 87
15 com as passagens de gás 96 e os canais de gás laterais 97 é que elas não somente propiciam um desempenho de vedação superior, mas permitem que cada vedação de pá 80 dentro de uma vedação de pá dividida 87 seja isolada para cada câmara de combustão 34 adjacente e crie uma força de vedação baseada
20 em condições de pressão individuais dessa câmara de combustão 34. Desse modo, cada uma das câmaras de combustão anterior e posterior 34 das pás deslizantes 116 pode ter requisitos de pressão e de vedação diferentes, e as vedações de pá divididas 87 com as passagens de gás 96 e os canais de gás
25 laterais 97 ajustam automaticamente as forças de vedação para combinar esses requisitos de pressão e de vedação. O balanceamento das forças de vedação da câmara com pressões do gás da câmara de combustão 34 assegura que somente uma força de vedação apenas suficiente será aplicada contra a
30 superfície interna 37 do estator do invólucro para vedar corretamente a câmara de combustão 34, mas não uma força de vedação em demasia para resultar em um atrito de vedação excessivo que pode reduzir o potencial de desempenho do motor

1 e aumentar o desgaste da vedação de pá 80 e da superfície 37 do estator do invólucro. As passagens de gás 96 e os canais de gás axiais 97 do gás da vedação de pá 80 irão ajudar a absorver e compensar as forças de ignição da
5 combustão intensas que poderiam resultar em marcas de vibração na superfície interna 37 do estator do invólucro que também poderia danificar as vedações de pá 80. A impulsão do gás das vedações de pá 80 ajuda a otimizar o desempenho de vedação da câmara de combustão 34 com operação deslizante
10 suave que estende a durabilidade da vedação de pá 80 e da superfície interna 37 de estatores de invólucro dos estatores 2 e 4 do invólucro.

Ação de Comutação da Vedação de Pá

Em operação, as duas vedações de pá 80 em cada
15 vedação de pá dividida 79 deslizam uma contra a outra em um movimento alternado de uma em relação à outra, enquanto comutam para dentro e para fora lateralmente em relação ao rotor 183 dentro do plano do rotor geralmente em forma de disco 183. Essa ação de comutação complementa a ação de
20 comutação das próprias pás deslizantes 116, conferindo à câmara de combustão 34 uma capacidade de vedação adicional ao combinar melhor o perfil geométrico da superfície interna 37.

Rolamentos de Roletes de Pás Divididas

A figura 15 mostra o conjunto de pás deslizantes
25 116 com as vedações de pá 80 da vedação de pá dividida 79 explodidas, mostrando desse modo o conjunto de vedações de pá interno 351 e o conjunto de vedações de pá externo 352. Para ajudar a facilitar a ação de comutação das pás 80 da vedação de pá dividida 79, um conjunto de rolamentos interno de
30 vedações de pá 351 e um conjunto de rolamento externo de vedações de pá 352 são utilizados. Para o rolamento interno, o conjunto 351 compreende rolamentos de roletes pequenos 98 que ficam localizados nos canais de rolamentos de roletes

internos de vedação de pá 99 encaixados nas vedações de pá divididas 79 ao longo da superfície interna 353 de vedação de pá onde as duas vedações de pá 80 em cada vedação de pá dividida 79 se encontram e comutam conjuntamente. O conjunto de rolamentos externo de vedação de pá 352 compreende rolamentos de roletes pequenos 100 que são menores do que o rolamento de roletes interno 98, e são posicionados nos canais de rolamentos externos de vedação de pá nas vedações de pá divididas 79 ao longo da superfície externa 354 da vedação de pá que faz contato com a superfície de sulco de pá interna 117 da pá deslizante 116.

A localização dos rolamentos de roletes internos 98 e dos canais internos de rolamentos de roletes 99 fica deslocada dos rolamentos de roletes externos 100 e dos canais externos de rolamentos de roletes 101 na vedação de pá 80 de modo a não enfraquecer a resistência estrutural da vedação de pá 80.

As superfícies internas de vedação de pá 353 das vedações de pá 80 são revestidas com um lubrificante sólido 35 que compreende óxidos para a lubrificação a altas temperaturas e durabilidade. O lubrificante sólido 35 também ajuda com a ação de comutação das vedações de pá 80 ao reduzir o atrito ao longo de suas superfícies de contato internas de vedação de pá 353. O lubrificante sólido 35 que compreende óxidos também é aplicado à superfície do lado de saída das nervuras de suporte de vedação de pá dividida 118 da pá deslizante 116 para reduzir ainda mais o atrito de comutação entre as vedações de pá 80 e a pá deslizante 116.

Nervuras de Suporte de Vedação de Pá

Tal como mostrado nas figuras 14, 15 e 16, duas nervuras de suporte de vedação de pá 118, separadas por um sulco de vedação de pá dividida 117, ficam localizadas ao longo do perímetro externo 350 de cada pá deslizante 116. As

nervuras de suporte 118 seguem por todo o comprimento do perímetro exterior em forma de U semi-oval alongado 350 de cada pá deslizante 116, ajudando a manter cada vedação de pá dividida 79 presa de maneira deslizável ao longo do perímetro exterior 350 de cada pá deslizante 116. Sem as nervuras de suporte 118, a vedação de pá dividida 79 deve tender a sair da posição enquanto é varrida ao longo da superfície interna 37 do estator dos invólucros 2 e 4 do estator.

Sulco de Vedação de Pá e Vedações de Mola de

10 Nervura

Com referência às figuras 22, 24 e 27, em operação, a borda inferior do segmento inferior de vedação de pá 82 das vedações de pá 80 deve ser fechada para impedir que quaisquer gases de combustão localizados debaixo das vedações de pá 80 no sulco de pá dividida 117 e no topo das nervuras de vedação de pá 118 penetrem mais profundamente no motor 1. Portanto, a borda interna inferior de um segmento inferior de vedação de pá 82 contém uma vedação de mola 86 que é encaixada no canal de rebaixo de vedação de mola 87. A vedação de mola 86 pressiona para dentro na direção da pá deslizante 116 para ajudar a vedar o sulco de fundo de pá dividida 117. A superfície de vedação anterior da vedação de mola de sulco de pá 86 é revestida com um lubrificante sólido 35 que compreende óxidos para a lubrificação a altas temperaturas e durabilidade. As nervuras de suporte inferiores de vedação de pá d118 da pá deslizante 116 são vedadas pelas vedações de mola de nervura 119 encaixados nos rebaiços de mola de nervura 120 posicionados perto do fundo das nervuras de suporte de vedação de pá 118. A vedação de mola de nervura 119 é empurrada para fora da vedação de nervura de pá 118 de encontro à superfície interna da vedação de pá inferior 82, vedando o canal de gás axial 97 para impedir que os gases de combustão do canal de gás 97 passem para fora do fundo da

vedação de pá inferior 82 e para as seções internas do rotor 183. A superfície de vedação da vedação de mola de nervura 119 também é revestida com um lubrificante sólido 35 que compreende óxidos para a operação a altas temperaturas e durabilidade.

Passagem de Dreno de Água

Com referência à figura 18, a borda inferior das pás deslizantes 80 da vedação de pá dividida 79 é angulada de volta para essa pá deslizante 116. Isso ajuda a assegurar que as vedações de pá deslizantes 80 permaneçam assentadas na pá deslizante 116 e não se estendam para fora do topo da pá deslizante 116. Isso também cria uma passagem de dreno de 125 água onde uma pequena quantidade de água deionizada 320 da área de refrigeração de rotor interno e pá 361 do sistema de refrigeração ativo 362 pode ficar debaixo do fundo das vedações de pá 80 ao longo das nervuras de suporte de pá 118 até atingir a vedação de mola de nervura de pá 119 que veda o gás de combustão na superfície superior e a água deionizada 320 do fundo. A água deionizada 320 do sistema de refrigeração ativo 362 dentro da passagem de dreno de água 125 também ajuda a amortecer os choques e a vibração nas vedações de pá 80 das vedações de pá divididas 79 das forças de combustão, o contato de deslizamento com a superfície interna 37 do estator do invólucro dos estatores 2 e 4 do invólucro, e enquanto as vedações de pá comutam para diante e para trás. Isso resulta em uma operação mais suave do motor e melhora o desempenho de vedação e a durabilidade da vedação de pá 80.

Lubrificantes Sólidos

Com referência às figuras 8 a 28, lubrificantes sólidos baseados em materiais de óxidos são aplicados às superfícies de contato de carga de todas as vedações 78 da câmara de combustão. Isso ajuda a reduzir o atrito entre

todas as peças móveis, reduzindo desse modo o acúmulo de calor. Também provê um sistema de lubrificação que não se mistura nem contamina a reação de combustão dentro da câmara de combustão 34. Óxidos binários especiais e o revestimento de lubrificante Superhard Nanocomposite (SHNC) que está sendo desenvolvido no Argonne National Laboratory podem ser utilizados para essa aplicação. Preferivelmente, podem ser utilizados lubrificantes sólidos de óxidos do tipo óxidos aspergidos por plasma P5304 que têm uma faixa de operação máxima de 900 graus Celsius.

Estrutura de Pá Deslizante

Com referência às figuras 18 a 27, a pá deslizante 116 é geralmente em forma de U virado para baixo semi-oval, similar na forma total ao perfil de geometria da superfície interna de estator de invólucro 37 dos estatores internos 2 e 3 do invólucro. A pá deslizante tem um sulco de pá dividida 117 para prender as pás de vedação 80 da vedação de pá dividida 79 e as nervuras de suporte de vedação de pá 118 para ajudar a impedir que as vedações de pá 80 da vedação de pá dividida 79 fiquem tortuosas e/ou se deformem fora da posição apropriada de contato de vedação com a superfície interna 37 de estator de invólucro 37 dos estatores 2 e 4 do invólucro.

Seção Central em Forma de U virado para baixo

Com referência à figura 18, a seção em forma de U virado para baixo ou invertido central 360 da pá deslizante 116 é destacada para iluminar a massa de material da pá deslizante. Enquanto a pá deslizante 116 revolve em torno da superfície interna 37 do estator do invólucro, o peso da massa da pá deslizante pode exercer uma força centrífuga considerável nas vedações de pá divididas 79 e na superfície interna 37 do estator do invólucro que pode resultar em forças de atrito excessivas, resultando em um menor

desempenho do motor 1, deformação da pá deslizante 116 e desgaste da vedação de pá dividida 78. A remoção dessa seção em forma de U virado para baixo central 360 da pá deslizante 116 reduz bastante o peso de massa desnecessário da pá deslizante 116 peso maciço e as forças de atrito excessivas para melhorar o desempenho do motor 1, a durabilidade da pá 116 e o desempenho de vedação e durabilidade da vedação de pá dividida 78. Para assegurar que a estrutura da pá deslizante 116 não deforme devido à remoção da grande seção em forma de U invertido 360, pequenas barras de suporte verticais 121 e horizontais 122 são colocadas através da abertura em forma de U invertido 360 da estrutura de pá deslizante 116. A barra de suporte horizontal 122 da pá deslizante 116 tem múltiplos furos 123 perfurados através sua superfície para reduzir o peso de massa da estrutura de suporte horizontal 123 e também para permitir o movimento livre da água deionizada 320 da área do rotor interno e da pá deslizante 361 do sistema de refrigeração de água ativo 362. As superfícies de extremidade inferior 126 da pá deslizante são anguladas ou inclinadas do centro da pá deslizante 116 para fora rumo aos invólucros laterais 2 e 4 do estator, o que permite que a água deionizada 320 do sistema de refrigeração ativo 362 dentro do centro do rotor 183 seja desviada para fora para os rebaixos de retorno de água laterais 44 do invólucro interno localizados em ambos os lados dos estatores internos inferiores 2 do invólucro e então rumo ao tanque de armazenagem de água quente 300.

Revestimento de Barreira Térmica

Com referência às figuras 18 a 28, um revestimento de barreira térmica (TBC) 36 é aplicado às faces dianteira e traseira 349 das pás deslizantes 116. O TBC 36 protege as pás deslizantes contra as altas temperaturas do gás de combustão que provém da câmara de combustão 34 que podem danificar ou

amolecer as pás deslizantes 116 e resultar em deformações térmicas. As deformações térmicas das pás deslizantes 116 podem ficar ainda mais intensas devido às forças de combustão da câmara de combustão 34 e do contato da pá deslizante com a superfície interna de estator de invólucro 37 dos estatores 2 e 4 do invólucro. Isso pode fazer com que as vedações de pá 80 fiquem desalinhadas com a superfície interna 37 do invólucro e cause os danos às vedações de pá 80 e/ou à superfície interna 37 do estator do invólucro, ou falha de vedação. O TBC 36 ajuda a proteger a pá deslizante 116 das altas temperaturas de combustão que podem resultar em deformações térmicas. Isso ajuda melhorar a vedação das vedações de pá 80 da pá deslizante 116 e o desempenho de vedação da vedação de pá dividida 79 da câmara de combustão 34 ao longo da superfície interna de estator de invólucro 37 dos estatores 2 e 4 do invólucro.

Os revestimentos de barreira térmica 36 também ajudam a impedir a oxidação do material do substrato. Os revestimentos de barreira térmica de baixa condutividade térmica feitos de zircônio estabilizado com ítrio (YSZ) dopado com óxidos adicionais que são escolhidos para criar estruturas de retícula termodinamicamente estáveis altamente defletivas com faixas costuradas de tamanhos de aglomerados de defeitos adaptados para reduzir a condutividade térmica e para melhorar a aderência de ligação com a superfície do rotor. O TBC de YSZ de aglomerado de defeitos tem uma condutividade térmica de 1,55 a 1,65 watts por metro grau centígrado entre 400 e 1.400 graus centígrados.

Canal de Tubulação de Calor

Com referência às figuras 18 a 27, cada uma das pás deslizantes 116 contém um canal interno de tubulação de calor 127 que tem uma forma de U invertido e é similar ao perímetro 350 da pá deslizante e localizado imediatamente sob o sulco

117 da vedação de pá. O canal interno 127 da tubulação de calor da pá é ligeiramente preenchido com água como fluido de trabalho que transfere o calor da área 129 do evaporador da tubulação de calor da pá em torno do perímetro 350 da pá deslizante ao condensador interno 130 da tubulação de calor da pá. Ao permitir que a água de trabalho flua para mudar continuamente de um líquido em um gás e então de volta em um líquido permite outra vez que grandes quantidades de calor sejam transferidas a velocidades sônicas. O canal 127 da tubulação de calor da pá opera entre 24 e 202 graus centígrados, ou 75 e 397 graus Fahrenheit, e quanto maior a diferença da temperatura entre a área 129 e o condensador interno 130 do evaporador da tubulação de calor da pá mais rápida a velocidade de transferência de calor.

A área do evaporador da tubulação de calor ajuda a absorver e transferir o calor da câmara de combustão 34 que impacta o perímetro de pá deslizante 350 da pá deslizante 116, os vedações de pá 80 das vedações de pá divididas 79, as nervuras 118 da vedação de pá, e o sulco de vedação de pá dividida 117. Também ajuda a transferir o calor que passa através do TBC 36 ao longo das superfícies de faces dianteira e traseira 349 das pás deslizantes 116. O calor que é transferido desses componentes ajuda a impedir danos térmicos e deformações que podem danificar a pá deslizante 116 e as vedações de pá divididas 78, a superfície interna 37 do estator do invólucro, e resultam em falha na vedação dos componentes.

Durante a operação do canal 127 da tubulação de calor da pá, o calor da câmara de combustão 34 é absorvido pela área 129 do evaporador da câmara da tubulação de calor ao longo do topo da seção de perímetro curva de pá 350 da pá deslizante 116 onde o calor das superfícies de face dianteira e traseira 349 da pá deslizante 116, das vedações de pá

divididas 79, das nervuras de suporte de pá 118, e do sulco de vedação de pá dividida 117 é transferido para o canal 127 da tubulação de calor de modo que o fluido de trabalho de água muda de um líquido a um gás ao longo da superfície da área 129 do evaporador da tubulação de calor da pá. O vapor de gás aquecido é transferido através do canal da tubulação de calor da pá a um dos dois condensadores internos 126 localizados nos cantos inferiores da pá deslizante 116 onde o calor do gás é transferido ao condensador interno da tubulação de calor e o gás muda de fase de volta à água e é circulada de volta à área 129 do evaporador da tubulação de calor. O calor no condensador interno da tubulação de calor da pá é transferido pela condução a um condensador exterior da tubulação de calor da pá onde transfere o calor pela condução à água deionizada 320 que é aspergida na área 361 do rotor interno e da pá do sistema de refrigeração ativo 362. A água aquecida 320 é coletada em um canal de retorno de água 44 do invólucro interno 44 e circulada através da tubulação de retorno 326 do invólucro interno e da pá e para o tanque de armazenagem de água quente 300.

A água deionizada 320 é o material de trabalho preferido para dentro do canal 127 da tubulação de calor da pá. As tubulações de calor são operadas tipicamente mediante o emprego da gravidade ou um sistema de absorção. No sistema da gravidade, o calor é absorvido no evaporador do canal da tubulação de calor da pá inferior, fazendo com que o material de trabalho interno mude de um sólido ou um líquido em um vapor de gás que se eleva até o condensador superior do canal da tubulação de calor da pá pela convecção para desse modo transferir e liberar o seu calor. No entanto, na pá deslizante 116 da presente invenção, o canal 127 da tubulação de calor da pá está girando no rotor 183, o que gera intensas forças centrífugas que criam elevadas G-forças que invertem a

direção de operação da gravidade de transferência de calor no canal 127 da tubulação de calor da pá de modo que a direção ideal de transferência de calor possa ocorrer do perímetro exterior ou das superfícies superiores 350 da pá deslizante 116 ao longo da área 129 do evaporador da tubulação de calor da pá e para as extremidades inferiores laterais internas da pá deslizante 116 para os condensadores internos 130 do canal da tubulação de calor da pá que também é rumo ao centro do rotor 183 acima do eixo motor 18.

O canal 127 da tubulação de calor da pá é envolvido em torno da superfície 349 do perímetro da pá deslizante 116 onde intensas forças da combustão e de contato da superfície com a superfície interna 37 do estator podem resultar em tensões térmicas e mecânicas ao longo dessa superfície 349 do perímetro. O canal da tubulação de calor da pá ajuda a controlar as tensões térmicas ao refrigerar a pá deslizante 116, mas também pressuriza o canal 127 da tubulação de calor da pá para adicionar força estrutural à pá deslizante 116. Enquanto a água dentro da tubulação de calor da pá é aquecida, ela muda seu estado de fase em um gás a uma pressão mais alta, o que eleva a pressão interna do canal 127 da tubulação de calor da pá para melhor combinar com as pressões da câmara de combustão exterior 34. Isso permite que massa adicional seja reduzida ainda mais da pá deslizante 116 pela inclusão do canal da tubulação de calor da pá sem afrouxar nenhuma integridade estrutural.

Condensadores Internos e Externo do Canal da Tubulação de Calor da Pá

Com referência à figura 27, o condensador interno 130 do canal da pá é construído preferivelmente de materiais altamente condutores de calor, tal como o alumínio, que também é resistente à oxidação da água e do hidrogênio e é abrasado nas extremidades dos canais da tubulação de calor da

pá para vedar e envolver completamente o sistema 127 do canal da tubulação de calor da pá. O condensador interno 130 do canal da pá transfere o calor ao condensador externo 132 da tubulação de calor da pá pela condução. A superfície de face
5 dianteira do condensador externo 132 do canal da tubulação de calor da pá é coberta com nervuras e sulcos angulados 134. O calor é transferido então para a água deionizada 320 do sistema de refrigeração ativo 362.

O condensador externo do canal da tubulação de
10 calor da pá também é preferivelmente construído de material altamente condutor, tal como o alumínio, que é abrasado à seção 131 da nervura e do sulco do condensador interno da tubulação de calor da pá. A superfície inferior do condensador exterior 132 da pá é angulada ou inclinada para
15 fora para os lados dos estatores internos 2 e 4 do invólucro. Isso ajuda a desviar a água deionizada 320 do sistema de refrigeração ativo 362 que fica dentro da seção central interna do rotor 183 para ser desviada para ambos os lados dos estatores internos 2 e 4 para ser coletada pelos rebaixos
20 de retorno de água 44 do invólucro localizados nos estatores internos inferiores 2 do invólucro. Essa superfície angulada inferior do condensador externo da tubulação de calor da pá combina com a superfície angulada inferior 126 da pá deslizante 116 de modo que a água deionizada 320 possa ser
25 desviada suavemente através de ambas as superfícies contiguamente aos dois estatores internos laterais 2 e 4 do invólucro.

Tubo de Absorção/Congelamento Poroso de Canal da Tubulação de Calor da Pá

30 Com referência outra vez à figura 27, dentro do canal 127 da tubulação de calor da pá é colocado um tubo de absorção/congelamento poroso 128 que é enrolado em torno de todo o comprimento para o canal 127 da tubulação de calor da

pá de um condensador interno 130 da tubulação de calor ao outro condensador 130 da tubulação de calor. O tubo de absorção/congelamento poroso 128 é feito de malha de aço inoxidável ou preferivelmente de ligas de metais de forma

5 (SMA) feitas de liga de cobre, zinco e alumínio (CuZnAl) que são trançadas umas nas outras e abrasadas ou soldadas por pontos em uma forma de tubo. Uma vez que o canal 127 da tubulação de calor da pá é completamente vedado com fluido de trabalho de água em seu interior, ele é suscetível aos danos

10 de expansão por congelamento da água em tempos frios quando o motor 1 é exposto às temperaturas de 32 graus F e mais baixas. Para se opôr à expansão pelo congelamento da água, o tubo poroso isola parte do fluido de trabalho de água dentro do centro do tubo de absorção/congelamento poroso 128. Quando

15 fluido de trabalho começa a congelar e se expandir, o fluido de trabalho de água não congelado no centro do tubo de absorção/congelamento poroso é absorvido ao longo do tubo de absorção/congelamento poroso 128. Isso permite que o fluido de trabalho de água se expanda ao implodir para dentro ao

20 invés de explodir para fora, e elimina as pressões da expansão que poderiam resultar em danos ao canal da tubulação de calor da pá 127 ou à pá deslizante 116. Utilizando um SMA para o tubo de absorção/congelamento poroso 128, a seção inferior do tubo de absorção/congelamento poroso 128 pode ser

25 deformada enquanto o fluido de trabalho de água se expande e implode o tubo de absorção/congelamento poroso 127. Uma vez que temperatura da câmara 127 da tubulação de calor da pá se eleva até aproximadamente 32 graus F, e o fluido de trabalho muda de fase de gelo de volta em um líquido, o tubo de

30 absorção/congelamento poroso retorna de volta à sua forma original.

Quando o rotor 183 está em uma posição parada, as pás deslizantes 116 são orientadas em vários ângulos que

empoçam o fluido de trabalho de água em um de dois locais. O primeiro é ao longo dos dois condensadores internos inferiores 130 da tubulação de calor da pá e o outro é ao longo da superfície da área 129 do evaporador da tubulação de calor. Com o tubo de absorção/congelamento poroso 129 enrolado em torno de todo o comprimento do canal 127 da tubulação de calor da pá, as extremidades do tubo de absorção/congelamento poroso controlam qualquer fluido de trabalho de congelamento que é empoçado pelos dois condensadores internos da tubulação de calor da pá. Quando o material poroso enrola em torno do canal 127 da tubulação de calor da pá, ele faz contato direto com a superfície superior ou externa do meio da área 129 do evaporador da tubulação de calor. Isso controla qualquer fluido de trabalho de congelamento que empoçar ao longo da área 129 do evaporador da tubulação de calor para ser absorvido em duas direções do centro do tubo absorção/congelamento poroso 128 para as duas extremidades do tubo absorção/congelamento poroso 128. Isso permite que a água do fluido de trabalho empoçada em qualquer ângulo de orientação no rotor 183 seja controlada pelo tubo absorção/congelamento poroso 128.

Sistema de Comutação de Correia de Pá

Com referência às figuras 18, 25, 27, e 29, a seção inferior na abertura em forma de U invertido de pá deslizante 116 contém um sistema de barra de comutação de correia de pá 363 que pode ser um único de barra de comutação de correia simples 142 para uma única correia de pá central 137 do sistema de correias de pá 136, ou um sistema de barras de comutação de correias duplas 143 para duas correias de pá externas 138 do sistema de correias de pá 136. Os sistemas de barras de comutação simples 142 e duplas 143 conectam as correias de pás simples 137 e duplas 138 do sistema de correia de pá 136 às pás deslizantes. A ação de comutação dos

sistemas de barras de comutação simples 142 e duplas 143 confere ao sistema de correias de pá 136 uma faixa mais larga de extensão e retração de correia 142 e correias duplas 143 para melhor combinar com a forma oval distorcida geométrica interna do perfil interno 37 da superfície do invólucro dos estatores 2 e 4 do invólucro. O sistema de barra de comutação de correia de pá 363 compreende uma haste de correia de suporte central 145, a qual prende um conjunto simples ou um conjunto duplo de elos de comutação de correia 147 através dos furos de barra de comutação centrais 144. Os elos de comutação mantêm duas barras de correia menores 146 da pá unidas aos elos de comutação 147 através dos furos 148 de barra de correia de pá localizados nas extremidades de cada um dos elos de barra de comutação 147. Uma bucha de barra de comutação 149 desliza sobre as barras de correia de pá 146. A bucha de barra de metal 149, ao invés das interfaces de circuito de correia 367 das correias de pá simples 137 e duplas 138, leva a maior parte do desgaste do movimento de comutação. Os furos de barras de comutação centrais 144 e as barras de correia de pá menores 146 são revestidos com um lubrificante sólido, que compreende preferivelmente um lubrificante de carbono do tipo carbono quase sem atrito ou diamante para melhorar ainda mais a ação de comutação a alta velocidade e para reduzir o desgaste dos elos de correia de pá 147 e o movimento de rotação das buchas de barra de pá de metal 148.

A fixação de segmentos de correias de pás simples 140 e duplas 141 às buchas de barra de correia de pá 148 das pás deslizantes alternadas 116 une umas às outras para criar um sistema de correia de circuito fechado de correias de pás simples 137 ou duplas 138 para ajudar a controlar as posições das pás deslizantes 116 enquanto elas giram com o rotor 183 dentro da superfície interna 37 do estator. Os sistemas de

comutação de correias de pás simples 142 e duplas 143 permitem que as extremidades dos segmentos de correias de pás sejam conectadas como um sistema de correia contínua sem requerer que a correia seja construída apenas como um
 5 segmento da correia. Isso deve requerer que as correias de pá simples 137 e duplas 138 façam uma curvatura muito apertada debaixo de cada pá deslizante 116 dentro da passagem estreita 184 da pá do rotor que poderia resultar em tensão e ruptura da correia.

10 Sistema de Ajuste de Tensão de Correia de Pá

Com referência outra vez às figuras 18, 27 e 29, para manter a tensão apropriada em qualquer uma das correias de pá simples 137 ou duplas 138 do sistema de correias de pá 136, as seções laterais inferiores na abertura em forma de U
 15 invertido interna 360 da pá deslizante 116 contêm um sistema de ajuste de tensão de correia de pá 150 que pode ajustar a posição da haste principal da correia, e desse modo a tensão das correias de pá simples 136 ou duplas 138 conectadas. A haste principal 145 da correia da pá é conectada a dois
 20 retentores da haste da correia da pá de suporte de extremidade 151 através dos furos 152 da haste da correia da pá de suporte. Os dois retentores 151 da haste da correia da pá são assentados no fundo dos canais de ajuste da tensão da correia da pá posicionados em ambos os lados da abertura em
 25 forma de U invertido central inferior interna 360 da pá deslizante 116. Dois parafusos de ajuste de tensão 153 são inseridos através dos furos de parafuso de ajuste de tensão 154 no fundo da pá deslizante 116, da haste da correia da pá, e dos retentores 151 da haste da correia da pá de
 30 extremidade. Os parafusos de ajuste de tensão de pá 155 giram livremente nos furos de parafuso não roscados 154 da pá deslizante 116, mas utilizam os furos de parafuso roscados 154 na haste 145 da correia da pá e nos retentores 151 da

haste da correia da pá de extremidade para ajustar a sua posição em cima e em baixo dentro do canal 124 de ajuste da tensão da correia da pá. Uma vez que a tensão da correia apropriada tenha sido ajustada, o parafuso de ajuste de
5 tensão 153 é travado no lugar com uma contraporca 155 do parafuso de tensão. Um sistema de ajuste da tensão da correia da pá alternativo seria o uso de conjuntos diferentes de retentores 151 da haste da correia da pá de extremidade que têm posições diferentes de tensão da haste 145 da correia da
10 pá. Calços pequenos podem ser colocados sob o retentor 151 da haste da correia para travar ainda mais a tensão no lugar.

Sistemas Anti-Centrífugos de Pá

Sistema de Correia de Pá

Com referência à figura 29, o sistema de correias
15 de pá anti-centrífugas 136 propicia a capacidade de girar em torno de um perfil de geometria oval assimétrico ou distorcido da superfície interna 37 do estator do invólucro e de minimizar as forças centrífugas de vedação excessivas da pá deslizante 116. Independentemente da velocidade em rpm do
20 motor 1, a força de vedação da pá deslizante 116 de encontro à superfície interna 37 do estator do invólucro permanece relativamente constante em torno de todo o perímetro.

Esse sistema de correia de pá 136 compreende uma correia central simples 137, correias externas duplas 138, e
25 sistemas de correias de perfil 139. Com referência à figura 44, a correia central simples 137 da pá é conectada às buchas de barra de correia de pá 148 dos sistemas de comutação de uma correia simples 142 de quatro pás deslizantes alternadas 116. Com referência à figura 46, as correias externas duplas
30 138 da pá são meio tão largas quanto a correia central simples 137 da pá e são conectadas às buchas de barra de correia de pá 148 dos sistemas de comutação de correias duplas de pá 143 das outras quatro pás deslizantes alternadas

116. Durante a operação do sistema de correias de pá 136, a correia central simples 137 da pá segue no centro da rotação radial do rotor 183 e as duas correias externas 138 da pá são operadas fora de ambos os lados da correia central interna 137 da pá de modo que a correia central simples 137 da pá e as correias externas duplas 138 da pá não interferem umas nas outras e mantêm o balanço apropriado.

O sistema de correias de pá 136 é extremamente dinâmico na combinação do perfil de geometria oval distorcido de rotação da superfície interna 37 do estator do invólucro. A comutação 142 da correia simples da pá e a comutação 143 das correias duplas da pá permitem para a correia simples 137 e as correias duplas 138, respectivamente, uma faixa de operação mais ampla da extensão da correia do rotor e ajuda a retrainir de volta as pás no rotor, reduzindo a tensão da pá deslizante 116.

Com referência às figuras 29 a 36, durante a operação do sistema de correia central simples 137 ou de correias externas duplas 138, uma vez que uma ou mais das quatro pás deslizantes conectadas por correias 116 se estendem para fora do centro do rotor 183, outras pás deslizantes conectadas por correias 116 são puxadas de volta para dentro rumo ao centro do rotor 183, balanceando as forças centrífugas externas com as forças centrípetas internas das pás deslizantes 116 para obter uma força de vedação externa relativamente constante contra a superfície interna 37 do estator do invólucro. No entanto, elevadas forças centrífugas de pico ainda podem resultar no ponto onde as pás deslizantes 116 são estendidas ao máximo a partir do rotor 183, o que ocorre na posição máxima de expansão 33. Para ajudar a minimizar esse ponto de força de pico, duas pequenas correias de perfil 139 são unidas aos rolamentos de correia de perfil 175 que são unidos nas extremidades

laterais externas de ambas barras de suporte de arco 159 das correias simples 137 e duplas 138 alternadas da pá, tal como mostrado nas figuras 41 e 48. As duas correias de perfil 139 ligam o movimento de ambos os sistemas de correia simples 137 da pá e de correias duplas 138 da pá conjuntamente como um sistema de correias unificadas 136 da pá. Ele ainda permite que ambas as correias operem independentemente ao estender e retrain as pás deslizantes 116 para combinar com a superfície interna 37 do estator do invólucro, mas de uma maneira mais restrita ou na média que combina mais suavemente o perfil interno da superfície interna 37 do estator do invólucro. Em vez de utilizar apenas quatro pás deslizantes alternadas 116 para combinar com a superfície interna 37 do estator do invólucro, as correias de perfil 139 podem ligar e utilizar todas as oito pás deslizantes 116 dos sistemas de correia simples 137 e correias duplas 138 para melhor combinar com o perfil interno da superfície 37 do estator do invólucro. Isso reduz bastante a força centrífuga de pico no local de extensão mais distante. No entanto, as forças centrífugas de pico ainda podem ser suficientemente fortes para puxar e distorcer o sistema de correias 136 inteiro para esse ponto de extensão mais distante. Com referência à figura 29, para controlar isto, as molas de limite de arco de correia 212 são encaixadas na cavidade interna 363 do rotor que alinha com o arco lateral 176 da correia de perfil que é unido às extremidades de cada uma das barras de suporte de arco de correia 159. As molas de limite de arco de correia 169 ficam em uma posição fixa que corresponde ao ponto máximo de extensão das pás deslizantes 116 enquanto elas revolvem e deslizam através da superfície interna 37 do estator do invólucro. Cada arco lateral 176 da correia de perfil tem duas molas de limite de arco de correia 212 em cada barra de suporte de arco de correia 159 para um total de quatro molas

de limite de arco de correia 212 para cada barra de suporte de arco de correia 159. Há uma barra de suporte de arco de correia 159 que é orientada debaixo de cada uma das pás deslizantes 116. Uma vez que as pás deslizantes rotativas 116 alcançam o ponto mais estendido na zona de expansão 33, os dois arcos laterais 176 da correia de perfil comprimem as quatro molas de limite de arco de correia 212 combinadas para limitar a extensão das barras de suporte de arco de correia 159 e a pá deslizante correspondente 116. Isso mantém todas as pás deslizantes 116 em equilíbrio com uma força centrífuga constante que é aplicada uniformemente ao longo da superfície interna 37 do estator do invólucro dos estatores 2 e 4 do invólucro durante toda a rotação do rotor 183, independentemente da velocidade do motor em rpm. Essa força centrífuga constante reduz significativamente o atrito de deslizamento total das pás deslizantes 116 com respeito à superfície interna 37 do estator do invólucro, o que é especialmente útil durante os estágios finais de combustão e expansão quando as pressões de gás estão caindo e as pás deslizantes 116 são estendidas ao máximo para fora do rotor 183 onde as forças centrífugas estão em seu nível mais elevado.

As molas de limite de arco de correia 212 também ajudam a absorver e amortecer as forças de vibração intensas nas pás deslizantes 116 e no sistema de correias de pá 136.

Suporte Arqueado de Correia de Pá

Com referência às figuras 32 e 34, na conexão das pás deslizantes alternadas 116 umas às outras, as correias simples 137 e duplas 138 da pá devem flexionar 90 graus entre duas pás deslizantes 116 conectadas adjacentes. Um dos problemas associados com o conceito de correias da pá é que o material das correias precisa ser dobrado em torno dos cantos a altas velocidades. Para que isso seja realizado, sistemas

de rolamentos de arcos simples 156 e duplos 157 são utilizados para os sistemas de correias simples 137 e duplas 138 de pá, respectivamente.

Com referência às figuras 38 e 39, os sistemas de rolamentos arqueados de correia simples 137 e duplas 138 de pá compreendem preferivelmente o suporte de correia de pá arqueado central 158, uma série de múltiplos rolamentos de roletes 178 de correia da pá e nervuras deslizantes 161.

Suporte de Arco Central

Cada uma das superfícies superiores do suporte de arco de correia simples e correias duplas da pá 158 é curvada com um arco grande que minimiza o ângulo de flexão agudo das correias simples 137 e duplas 138 da pá através do ângulo de 90 graus entre as pás deslizantes 116 alternadas. Cada um dos suportes de arco também contém três rebaixos 160 de rolamentos de roletes que prendem os rolamentos de roletes 178 da correia e quatro nervuras deslizantes 161 da correia da pá entre cada um dos rolamentos de roletes 178, e furos de drenagem de água para drenar a água deionizada 320 da cavidade interna 363 do rotor do sistema de refrigeração ativo 362 para impedir que a água se acumule no rebaixo 160 do rolamento de roletes. A água deionizada 320 propicia alguma lubrificação e refrigeração ao sistema de correias 136 da pá e aos rolamentos de roletes da correia da pá. Isso ajuda a reduzir o atrito da correia e a aumentar a durabilidade e a resistência das correias.

Placas de Travamento de Arcos Laterais

Cada suporte de arco de correia de pá 158 tem duas placas de travamento de arcos laterais 163 que são fixadas ao suporte de arco de correia de pá 158 por quatro rebites 166 que seguem através do suporte de arco de correia de pá 158. As placas de travamento de arcos laterais 163 e os rebites 166 adicionam força estrutural ao arco de suporte 158. As

bordas superiores das placas de travamento de arcos laterais 163 são estendidas mais alto do que a superfície do suporte de arco de correia de pá 158 para formar dentes arredondados 164 da correia da pá para ajudar a manter as correias simples 137 e duplas 138 da pá móveis na posição de alinhamento apropriada enquanto elas se movem através dos arcos de suporte de correia de pá 158.

Rolamentos de Roletes de Arco da Correia da Pá

O uso dos rolamentos de roletes 178 da correia da pá no topo do suporte de arco de correia 158 irá melhorar o movimento das correias 136 da pá. Os rolamentos de roletes 178 da correia da pá compreendem um rolamento de roletes 180 que tem um diâmetro pequeno que reduz as forças de inércia de aceleração e desaceleração de massa para ajudar a melhorar o movimento da correia através do suporte de arco 158 da correia. Os rolamentos de roletes externos 180 têm furos pequenos 181 perfurados através do rolamento para permitir que a água deionizada 320 ajude a lubrificar e refrigerar o rolamento de roletes 180 da correia da pá e o eixo 179 do rolamento de roletes. O eixo 179 também é revestido com um lubrificante sólido 35 tal como de carbono quase sem atrito ou de carbono do tipo diamante. As extremidades do eixo 179 são parafusadas nos suportes de mola 182 do rolamento de roletes que são assentados nas aberturas 165 de suporte de mola de rolamento nas placas de travamento de arcos laterais 163 localizadas em cada lado do suporte 158 do arco da correia da pá. As aberturas 165 do suporte de mola de rolamento são posicionadas nas placas de travamento de arcos laterais 163 para orientar corretamente os rolamentos de roletes 180 dentro do rebaixo 160 do rolamento de roletes e para fazer um contato bom com as correias simples 137 e duplas 138 da pá.

Durante o funcionamento do motor, a velocidades

baixas em rpm de menores ou iguais a aproximadamente 1.000 rpm, as correias simples 137 e duplas 138 da pá do sistema de correias de pá 136 fazem contato com a superfície dos rolamentos de roletes 180 da correia da pá para ajudar a
5 melhorar a velocidade do movimento e a reduzir o atrito do movimento das correias simples 137 e duplas 138 da pá para diante e para trás através dos suportes de rolamento de arco 158 da correia da pá. Os suportes 182 da mola do eixo do rolamento da correia da pá também ajudam a amortecer todas as
10 vibrações nas correias simples 137 ou duplas 138 da pá para um movimento com operação suave.

A velocidades operacionais mais elevadas de mais de aproximadamente 1.000 rpm, a massa do rolamento de roletes resulta em uma grande aceleração e forças de inércia que
15 impedem que as correias simples 137 e duplas 138 da pá se movam. No entanto, durante operações do motor a velocidades maiores, os suportes de mola do eixo do rolamento de roletes da correia da pá se comprimem devido a forças de rotação maiores centrífugas do rotor 183 e permitem que as correias
20 simples 137 e duplas 138 da pá se movam através do suporte de arco de correia de pá 158 sem fazer nenhum contato com os rolamentos de roletes 180. Durante a operação à alta velocidade, os rolamentos de roletes 180 da correia da pá permanecem comprimidos dentro do rebaixo 160 do rolamento de
25 roletes do suporte de arco 158 até que a velocidade de operação do motor desacelere até menos ou igual a aproximadamente 1.000 rpm, onde os rolamentos de roletes da correia da pá recuperam o contato dominante com as correias simples 137 e duplas 138 móveis da pá do sistema de correias
30 136 da pá. Para continuar a melhorar o movimento das correias simples 137 e duplas 138 da pá e reduzir o atrito através do suporte de arco de correia de pá 158, são utilizadas as nervuras deslizantes 161 da correia da pá.

Nervuras Deslizantes da Correia da Pá

Com referência às figuras 38 e 39, à medida que as correias simples 137 e duplas 138 da pá se deslocam à alta velocidade sobre o topo do suporte de arco de correia de pá 158, os rolamentos de roletes 80 da correia da pá são comprimidos nos rebaixos 160 e as correias simples 137 e duplas 138 da pá se movem através das nervuras deslizantes 161. As nervuras deslizantes 161 são revestidas com um lubrificante sólido 35 que compreende o carbono quase sem atrito ou carbono do tipo diamante para a lubrificação, ou preferivelmente um revestimento de lubrificante Superhard Nanocomposite (SHNC) que está sendo desenvolvido no Argonne National Laboratory poderia ser utilizado. As nervuras deslizantes 161 e os rebaixos do rolamento de roletes criam um fluxo de ar turbulento que, por sua vez, cria uma almofada de ar entre as correias simples 137 e duplas 138 da pá e a superfície superior do suporte arqueado 158. Isso permite que as correias simples 137 e duplas 138 se movam a velocidades ainda mais elevadas com um atrito de contato muito baixo através das nervuras deslizantes 161 da correia da pá.

Barra de Suporte de Arco Dinâmico

A barra de suporte de arco 159 prende os rolamentos de arco de correias simples 157 ou duplas 157 da pá. Os rolamentos de arco de correias simples 157 ou duplas 157 da pá são presos na posição apropriada na barra de suporte de arco 159 por um grampo de suporte de arco 172 que fica em um rebaixo 173 do grampo de arco localizado em ambos os lados dos suportes de rolamento de arco de correias simples 157 ou duplas 157 da pá.

As extremidades de cada uma das barras de suporte de arco 159 prendem uma arruela 174 da correia de perfil para ajudar a prender as correias de perfil 139 na posição ao longo da borda interna do rolamento 175 da correia de perfil

que permite que as correias de perfil 139 se movam livremente radialmente sobre as superfícies de rolamento 175 da correia de perfil. Um arco 176 da correia de perfil prende as correias de perfil 139 na posição ao longo da borda exterior do rolamento 175 da correia de perfil.

Durante a operação à alta velocidade do motor 1, onde as rpm do rotor 183 são iguais ou maiores do que aproximadamente 1.000 rpm, as molas de suporte de arco de correia 169 se comprimem e a barra de suporte de arco 158 se move para baixo na abertura 168 da barra de suporte de arco nas placas de suporte de arco laterais 163 e no canal 368 da barra de suporte de arco, permitindo que os suportes de arco das correias simples 157 ou duplas 157 da pá se estendam para fora para permitir que as nervuras deslizantes 161 da correia da pá mantenham o contato apropriado com as correias simples 137 e duplas 138 da pá. Quando a velocidade operacional do motor 1 desacelera até aproximadamente 1.000 rpm ou menos, as molas de suporte de arco de correia 169 se expandem, assim como as molas de suporte 182 de rolamento de roletes da correia da pá salta, e a barra de suporte de arco 159 se move para cima nas aberturas 168 da barra de suporte de arco nas placas de suporte de arco laterais 163 e no canal 368 da barra de suporte de arco, permitindo que os rolamentos de roletes 180 da correia de pá façam um contato preliminar com as correias simples 137 e duplas 138 da pá. As molas de suporte de arco de correia 169 também ajudam a amortecer a vibração da operação intensa e ajudam a obter uma operação suave do sistema de correias 136 da pá.

Materiais da Correia da Pá

Com referência à figura 36, as correias 137 e 138 da pá são feitas preferivelmente de fibras finas de elevada resistência à tração que são trançadas como uma correia. Nextel 610 e o vidro 933-S2 da AGY são fibras potenciais que

poderiam ser utilizadas. As fibras são trançadas como correias de superfície plana lisa com dois laços em cada extremidade 367 para formar interface com a bucha de comutação 148 da correia da pá da pá dividida 116 do sistema de comutação de correias simples 142 ou duplas 143. Com o sistema de refrigeração ativo 262 circulando a água deionizada 320 para a cavidade 363 do rotor interno, o sistema de correias 136 da pá tem uma temperatura operacional de pico que é de aproximadamente 250 graus F. Isso ajuda a manter a resistência da fibra e minimiza a expansão térmica da fibra. Alternativamente, fibra de vidro ou fibras de Kevlar podem ser trançadas como correias para o sistema de correias 136 da pá. Esses materiais são de pouco peso e têm uma elevada resistência à tração, um baixo alongamento, com uma temperatura operacional contínua máxima de 450 graus F.

Para melhorar o desempenho e a durabilidade das correias, as correias 137 e 138 da pá são preferivelmente construídas com camadas múltiplas de fibras e então costuradas umas nas outras. A camada superior principal é a camada de resistência 169 que contém fibras de tamanho grande, e em consequência disto tem uma textura trançada de trama e urdidura mais graúda. Essa textura gera quantidades maiores de atrito, de vibração e de desgaste enquanto desliza através da estrutura da nervura de arco de suporte 161. Para incrementar o desempenho de deslizamento, uma camada de material de cisalhamento inferior 171 é preferivelmente costurada junto com a camada de resistência superior. Essa camada de cisalhamento inferior tem preferivelmente um tamanho de fibra mais fino e resulta em uma textura trançada de trama e urdidura mais fina.

As fibras da correia também podem ser revestidas com um lubrificante sólido tal como Teflon ou carbono quase sem atrito para reduzir ainda mais o seu atrito e desgaste. O

revestimento de Teflon PTFE tem um coeficiente de atrito de 0,06. O carbono quase sem atrito tem um coeficiente de atrito de 0,02.

Emendas de Articulação de Pino da Correia da Pá

5 Com referência às figuras 32 a 36, o rolamento 158 da correia de pá arqueada cria uma grande superfície arqueada lisa para que as correias simples 137 ou duplas 138 da pá se desloquem. Isso reduz bastante as tensões de flexão no material de correia da correia da pá. Para melhorar ainda
10 mais as correias simples 137 e duplas 138 da pá e também a flexibilidade da correia de perfil, os pinos de ligação 365 com as emendas de articulação 366 podem ser colocados nos segmentos de correias simples 140 e duplas 141 da pá e de perfil 364. Os pinos de ligação 365 podem ser de aço
15 inoxidável ou de materiais não-metálicos. Os pinos podem ser revestidos com um lubrificante sólido de Teflon, carbono quase sem atrito, ou carbono to tipo diamante, para reduzir o desgaste do pino 365 e aumentar a velocidade do movimento das articulações 366 e para reduzir o desgaste. Para obter uma
20 durabilidade extra, as articulações de pino 366 podem preferivelmente ser feitas de aço inoxidável.

Com referência às figuras 33, 35 e 37, quando as articulações de pino 366 são incluídas nas correias, elas adicionam uma pequena superfície de interface que não é
25 nivelada com a correia. Essa superfície de interface pode resultar na operação áspera da correia. Para contrabalançar esse deslocamento, uma outra camada de trama de cisalhamento 170 pode ser adicionada, a qual combina com a espessura da dobradiça de pino 366. Esta pode ficar localizada entre a
30 camada de resistência superior 169 e a camada de cisalhamento inferior 171, e todas as três camadas podem ser costuradas umas nas outras. Isso permite que a camada de cisalhamento inferior opere muito suavemente através das nervuras de

suporte de arco 161.

Conexão de Bucha da Correia e Comutação

Para unir as correias simples 137 e duplas 138 da pá aos comutadores simples 142 e duplos 143, as correias compósitas se enrolam em torno da bucha de rolete de metal 149, e são mantidas no lugar por uma tampa de trava de bucha de correia 369. Para minimizar a flexão da correia em torno da bucha 149 da correia, uma pequena cunha triangular 370 da bucha da correia (não mostrada) é inserida para tornar o ângulo de fixação da correia mais gradual com menos tensão nas correias.

Estrutura do Rotor

Com referência à figura 3, o conjunto 183 do rotor compreende seis ou oito conjuntos 310 de segmentos do rotor, dependendo da configuração do motor 1. A realização preferida do motor 1 consiste na utilização de oito conjuntos 310 de segmentos do rotor. As pás deslizantes 116 são posicionadas entre cada conjunto 310 de segmento do rotor e formam uma passagem de pá 184 para as pás deslizantes 116 se moverem. Todos os conjuntos 310 de segmentos do rotor são mantidos unidos pelas placas de travamento laterais 215 para formar o rotor 183.

Conjunto de Segmentos do Rotor

Com referência à figura 40, cada conjunto 310 de segmento do rotor compreende um segmento de combustão do rotor superior 311, um sistema de controle térmico do rotor, placas laterais 209 do rotor, abas de travamento 208, tampa 210 da placa interna, rolamentos tangenciais 223 da pá deslizante 116, vedações 111 da face da pá, vedações axiais 102 do rotor, e as molas de limite 212 da correia de perfil da pá.

Segmento de Combustão do Rotor

A superfície exterior do rotor 185 e os rebaixos de

combustão do rotor 186 também são revestidos com um revestimento de barreira térmica. O revestimento de barreira térmica ajuda a impedir que o calor da combustão penetre no segmento de combustão do rotor 311, na câmara de vapor de água do rotor 190, e na cavidade interna 363 do rotor, resultando em danos térmicos e deformação no rotor 183, nas pás deslizantes 116, ou no sistema de correias 136 da pá deslizante.

Vedações Axiais e da Face da Pá do Rotor

Com referência às figuras 40 e 50, o segmento de combustão do rotor 311 também contém um rebaixo de vedação de pá axial 187 e um rebaixo de mola axial 378 que se curva ao longo da superfície lateral do segmento de combustão do rotor 311 para prender a vedação axial 102 e a mola de vedação axial 110. Um rebaixo 188 da vedação de face da pá e o rebaixo 189 da mola de vedação da pá, localizado nas faces dianteira e traseira 371 da pá deslizante do rotor 371 do segmento de combustão do rotor 311, prende as vedações de face da pá 111 e as molas de vedação da face da pá 114.

Sistema de Rolamento Tangencial da Pá Deslizante

Com referência às figuras 40 e 47, para melhorar o movimento "para dentro e para fora" das pás deslizantes 116 do rotor 183, os rolamentos de roletes pequenos 223 são encaixados por todas as faces dianteira e traseira 371 da pá deslizante dos segmentos de combustão do rotor 311 que formam os entalhes 184 da pá deslizante do rotor. Cada rolamento de roletes 223 compreende um eixo de rolamento de roletes 227 que é revestido com um lubrificante sólido feito de óxidos para a lubrificação a altas temperaturas e durabilidade. Um rolamento de roletes externo 225 é oco e colocado sobre o eixo 227 do rolamento para fazer um contato direto e girar com as superfícies de face dianteira e traseira móveis 349 das pás deslizantes 116. O rolamento de roletes externo

também tem furos pequenos 226 por toda a sua superfície de modo que água/vapor 320 do sistema de refrigeração ativo 362 possa ajudar a lubrificar e refrigerar o rolamento tangencial externo 225 e o eixo 227 do rolamento interno. O eixo 227 é
5 preferivelmente feito de uma liga de alta resistência e revestido com um lubrificante de óxido. Os suportes 228 da mola do eixo do rolamento de roletes são unidos a cada extremidade do eixo 227 do rolamento de roletes.

Os rolamentos de roletes 223 são orientados entre
10 quarenta e cinco e noventa graus em relação à rotação do rotor 183, mas preferivelmente a 45 graus e podem ser utilizados para ajudar às pás deslizantes 116 a se mover para diante e para trás na passagem 184 da pá deslizante do rotor 183. Durante o funcionamento do motor, quando as rpm do rotor
15 183 são menores ou iguais a aproximadamente 1.000 rpm, os rolamentos de roletes externos 225 irão fazer contato direto com as superfícies de face dianteira e traseira 349 das pás deslizantes 116 para reduzir o seu atrito de deslizamento e desgaste enquanto se movem para diante e para trás dentro da
20 passagem 184 da pá do rotor. Durante o funcionamento do motor à alta velocidade, quando as rpm do rotor 183 são maiores do que aproximadamente 1.000 rpm, a aceleração e as forças da inércia de rotação rolamento de roletes 225 são muito mais significativas e adicionam mais atrito às pás deslizantes
25 móveis 116. No entanto, nesse ponto a mola do rolamento de roletes tangencial da pá suporta a compressão e a retração dos rolamentos de roletes tangenciais 223 da pá nos rebaixos 224 do rolamento de roletes tangencial da pá, rompendo o contato de superfície do rolamento de roletes tangencial
30 externo 225 da pá com a superfície de face móvel 349 da pá deslizante 116. Isso permite que as pás deslizantes 116 se movam ao longo das nervuras deslizantes em ziguezague 221 da pá na passagem 184 da pá do rotor a velocidades muito mais

elevadas e com atrito mais baixo.

Nervuras Deslizantes em Ziguezague da Pá

Com referência outra vez à figura 40, para melhorar ainda mais o movimento "para dentro e para fora" das pás deslizantes 116 dentro dos entalhes 184 da pá, há nervuras em ziguezague 221 que seguem verticalmente por todas as superfícies deslizantes de face dianteira e traseira da pá do rotor. Os topos dessas nervuras em ziguezague são revestidos com um lubrificante sólido que compreende óxidos para a lubrificação em altas temperaturas e durabilidade. Alternativamente, um revestimento de lubrificante Superhard Nanocomposite (SHNC) poderia ser utilizado. O lubrificante de óxido cria um coeficiente de atrito que é menor ou igual a 0,2 com uma taxa muito baixa de desgaste.

Canais de Água/Vapor

Com referência uma vez mais à figura 40, entre as nervuras em ziguezague há canais de água/vapor 222. Quando a pá deslizante 116 se move para dentro e para fora na passagem 184 da pá deslizante do rotor 183, as nervuras em forma de ziguezague 221 criam uma turbulência elevada dentro dos canais de água/vapor 222, que cria por sua vez uma almofada de ar entre as superfícies de contato. Isso intensifica ainda mais o movimento das pás deslizantes 116 e reduz o seu atrito. Enquanto a água deionizada 320 da área 361 do rotor interno e da área da pá deslizante do sistema de refrigeração ativo 362 entra e flui através do canal de água/vapor 222, ela também flui de encontro às superfícies de face dianteira e traseira 349 das pás deslizantes 116 que foram aquecidas devido à exposição à combustão na câmara de combustão 34, transformando a água deionizada 320 em vapor. Uma vez que a água deionizada 320 ajuda a refrigerar as superfícies de face dianteira e traseira 349 quentes das pás deslizantes 116, a água deionizada 320 muda de fase para vapor de alta pressão.

Esse vapor de alta pressão ainda se expande nos canais de água/vapor 222 para elevar ligeiramente as superfícies de face dianteira e traseira 349 das pás deslizantes 116 fora das nervuras deslizantes em ziguezague 221, permitindo que elas se movam mais livremente dentro da passagem 184 da pá deslizante com atrito e desgaste reduzidos. O vapor de água 320 também ajuda a absorver vibrações intensas para reduzir ainda mais os danos e o desgaste, propiciando um funcionamento mais suave do motor 1. O vapor aquecido e ou a água de vapor condensada serão circulados aos lados exteriores do rotor 183, ao longo dos lados internos 2 e 4 do estator do invólucro, e forçados através do rebaixo de retorno de água/vapor 44 e para o tanque de armazenagem de água quente do sistema de refrigeração ativo 362.

Sistemas de Controle Térmico do Rotor

Durante o processo da combustão, o calor passa através da superfície 183 do rotor e penetra no segmento de combustão do rotor 311 e na cavidade central do rotor 363, que pode resultar em danos térmicos ao sistema de correias 136 da pá e aos componentes do segmento de conjunto do rotor 310. Para remover ativamente o calor excessivo do segmento do rotor de combustão 311 e da cavidade interna 363 do rotor, é utilizado um sistema 190 da câmara de vapor do rotor conjuntamente com o sistema de refrigeração de água ativo 362.

Ligas de Alta temperatura do Rotor

Os materiais de ligas resistentes a altas temperaturas, tais como Haynes 230 ou 188, são utilizados preferivelmente na construção do segmento de rotor de combustão 311. Esses materiais retêm as suas propriedades de resistência a altas temperaturas e na exposição longa às condições de combustão de mais de 35.000 horas a 600 graus centígrados. Essas ligas têm um baixo coeficiente de expansão

térmica em torno de 8.2×10^{-6} por grau Fahrenheit. Isso ajuda a minimizar as deformações térmicas e a fadiga térmica.

Revestimento de Barreira Térmica do Rotor

Os revestimentos de barreira térmica 36 também ajudam a impedir a oxidação do material do substrato. Os revestimentos de barreira térmica de baixa condutividade térmica feitos de YSZ dopado com óxidos adicionais que são escolhidos para criar estruturas de retícula termodinamicamente estáveis, altamente defletivas com faixas adaptadas de tamanhos de aglomerados de defeitos para reduzir a condutividade térmica e para melhorar a aderência de ligação com a superfície do rotor.

O TBC de aglomerado de defeitos de Zircônio Estabilizado com Ítrio (YSZ) tem uma condutividade térmica de 1,55 a 1,65 watts por metro grau centígrado entre 400 e 1.400 graus centígrados.

Sistemas de Câmara de Vapor do Rotor

Com referência às figuras 43, 44, 45, 47, 48, 49, 50 e 51, a construção dos componentes do motor 1 que são expostos diretamente às altas temperaturas da combustão, tal como o segmento de combustão do rotor 311, com ligas de alta temperatura e a sua cobertura com os revestimentos de barreira térmica 36, reduz bastante os danos térmicos e retardam a penetração do calor na cavidade interna 363 do rotor. No entanto, ainda é necessário remover o calor excessivo que eventualmente penetra na superfície 183 do rotor e o conduz para a cavidade interna 363 do rotor do conjunto de segmentos do rotor 310. Uma câmara de vapor de água 190 do rotor é utilizada dentro de cada segmento de rotor 310 do rotor 183. As câmaras de vapor de água 190 do rotor ficam localizadas imediatamente sob a superfície superior 185 do rotor e do rebaixo 186 da cavidade de combustão do segmento de combustão do rotor 311. O calor que

penetra nessas superfícies aquece a água dentro das câmaras de vapor de água 190 do rotor ao longo da superfície superior ou exterior 191 do evaporador, que combina com a forma das curvas de perfil da superfície superior 183 do rotor radial e axialmente. Enquanto a água é aquecida ao longo da superfície 191 do evaporador da câmara do vapor do rotor, ela muda a fase de um líquido em um gás, absorvendo grandes quantidades de calor da superfície 191 do evaporador e transferindo o calor ao gás de vapor de água. As pressões internas da câmara circulam o vapor de água aquecido aos condensadores internos do rotor localizados em ambos os lados axiais do conjunto de segmentos do rotor 310, onde o vapor de água aquecido transfere o calor ao condensador interno 200 e a fase muda de volta em um líquido e circula de volta à superfície 191 do evaporador da câmara de vapor do rotor.

A água deionizada 320 é o material de trabalho preferido para o interior da câmara de vapor 190 do rotor. Ao permitir que a água do fluido de trabalho mude continuamente de fase de um líquido em um gás, e então de volta em um líquido outra vez, é permitido que grandes quantidades de calor sejam transferidas a velocidades sônicas. A câmara de vapor de água 190 do rotor opera entre 24 e 202 graus centígrados, ou 75 e 397 graus Fahrenheit, e quanto maior a diferença da temperatura entre a área 191 do evaporador da câmara de vapor do rotor e o condensador interno do rotor 200, mais rápida a velocidade de transferência de calor.

A câmara de vapor de água do rotor opera exatamente como uma tubulação de calor onde um sistema de gravidade ou de absorção é utilizado para circular o fluido de trabalho. Em um sistema de gravidade, o calor é absorvido ao longo da superfície inferior do evaporador da câmara de vapor, fazendo com que o material de trabalho interno se transforme de um sólido ou de um líquido em um vapor de gás que se eleva para

o condensador superior da câmara de vapor pela convecção para transferir e liberar o seu calor. No entanto, no rotor 183 da presente invenção, a câmara de vapor 190 do rotor está girando dentro do rotor 183, o que gera intensas forças centrífugas que criam elevadas G-forças que invertem a direção de operação da gravidade de transferência de calor na câmara de vapor de água 190. Essa direção invertida de transferência de calor é ideal para o motor 1 da presente invenção, permitindo que uma transferência de calor ideal ocorra da superfície superior 191 do evaporador da câmara de vapor 190 do rotor exatamente debaixo da superfície exterior 185 do rotor e transfira o calor absorvido para as extremidades de baixo laterais inferiores da câmara de vapor 190 do rotor ao condensador interno 200 do rotor. No condensador interno 200 da câmara de vapor do rotor, o vapor de água de trabalho interno muda de fase de gás em um líquido enquanto transfere o calor ao condensador interno 200 do rotor. O líquido da água circula então de volta para fora para a superfície 191 do evaporador da câmara de vapor do rotor para recircular outra vez.

Com referência às figuras 44 e 50, para melhorar o fluxo capilar dos fluidos de trabalho de água perto das áreas de superfície externa 191 do evaporador da câmara de vapor de água 190 do rotor, uma camada de malha de absorção fina 192 é preferivelmente utilizada. Isto permite que pequenas gotas de água líquidas de alta pressão fluam facilmente ao longo da superfície externa 191 do evaporador do rotor e mudem de fase de um líquido em um gás. Uma camada de malha capilar de absorção grossa 193 será utilizada dos condensadores internos 200 do rotor de extremidade ao longo dos lados da câmara de vapor 190 do rotor para formar uma interface com a camada de malha fina 193. Isto permite que gotas maiores de água líquida de baixa pressão fluam facilmente à camada de malha

capilar de absorção fina externa 193 do líquido de trabalho para qualquer local na câmara de vapor 190 do rotor ao longo da área de superfície externa 191 do evaporador. A malha de absorção grossa 193 estende-se ligeiramente debaixo da malha de absorção fina 192 na interface de malha 369. Isto permite que gotas maiores de água se movam mais perto da superfície 191 do evaporador da câmara de vapor do rotor. Isso também permite que gotas menores de água sejam absorvidas de volta mais perto do condensador interno 200 da câmara de vapor do rotor. Ambas as malhas de absorção fina 192 e grossa 193 são circundadas por uma malha de perímetro fino 194. A malha de absorção de perímetro fino 194 ajuda a distribuir o fluido de trabalho em torno de todas as superfícies da câmara de vapor de água 190 do rotor. Isso também ajuda a manter o fluido de trabalho ao longo das superfícies de face dianteira e traseira do conjunto de segmentos do rotor 310 para ajudar a refrigerar o calor transferido na passagem 184 da pá deslizante e das vedações 111 da face da pá.

Para melhorar a circulação de gás fluido de trabalho, as nervuras de extensão 196 da câmara de vapor no lado da superfície interna da cobertura 195 da câmara de vapor inferior do rotor prendem e comprimem junto as camadas de malha de absorção fina 192 e grossa 193. Elas também criam grandes espaços vazios da câmara de vapor do rotor ou canais 197 entre as nervuras de extensão 196 para que os gases fluidos de trabalho fluam facilmente.

A câmara de vapor de água do rotor ajuda a manter a superfície 183 do rotor e a cavidade de combustão 184 em boas temperaturas operacionais. Ela também ajuda a isothermalizar a temperatura dessas superfícies para minimizar todos os pontos quentes térmicos, minimizar os danos térmicos e estabilizar as condições da reação de combustão dentro da câmara de combustão 34.

Condensadores Internos e Externos da Câmara de Vapor do Rotor

Com referência às figuras 41, 43, e 50, o condensador interno 200 da câmara de vapor do rotor é
5 construído preferivelmente de materiais altamente condutores de calor, tal como o alumínio, e abrasado nas extremidades do segmento de combustão do rotor 311 para vedar e envolver completamente o sistema de câmara de vapor de água 190 do rotor. A superfície externa do condensador interno 200 da
10 câmara de vapor do rotor também é preferivelmente construída de um material altamente condutor tal como o alumínio, e contém as nervuras e os sulcos verticais 201 que são utilizados para formar uma interface com as nervuras e os sulcos 203 do condensador externo 202 da câmara de vapor do rotor. A superfície de face dianteira do condensador externa
15 202 da câmara de vapor do rotor também é coberta com uma combinação de nervuras e sulcos curvos 204 e nervuras e sulcos retos radiais 205. Ambas as nervuras e sulcos curvos 204 e retilíneos 205 aumentam a área de superfície de contato para a transferência de calor com água deionizada 320 para
20 absorver o calor do condensador externo 202 da câmara de vapor do rotor.

Tubo de Absorção/Congelamento Poroso da Câmara de Vapor de Água do Rotor

25 Com referência às figuras 43 e 45, os tubos de absorção/congelamento porosos orientados axial 198 e radial 199 serão colocados dentro da câmara de vapor de água 190 do rotor. Os envoltórios dos tubos porosos de absorção/congelamento axiais através de todo o comprimento
30 para a câmara de vapor de água 190 do rotor de um condensador interno 200 da câmara de vapor do rotor do outro lado do condensador interno 200 da câmara de vapor do rotor. O tubo poroso de absorção/congelamento radial 199 segue radialmente

através da seção central superior da câmara interna de vapor de água 190 do rotor. Os tubos de absorção/congelamento porosos axial 198 e radial 199 são feitos de malha de fio de aço inoxidável ou preferivelmente de ligas de metais de forma (SMA) feitas de liga de cobre, zinco e alumínio (CuZnAl) que são trançadas conjuntamente e abrasadas ou soldadas por pontos em uma forma de tubo. O tubo poroso radial 199 ajuda a absorver a água radialmente através da superfície superior da câmara de vapor de água 190 do rotor. Mais preponderantemente, uma vez que a câmara de vapor de água 190 do rotor é completamente vedada com fluido de trabalho de água no interior, ela é suscetível a danos por expansão pelo congelamento da água quando o motor 1 é exposto às temperaturas de 32 graus F e mais baixas. Para se opôr à expansão pelo congelamento da água, o tubo poroso isola uma parte do fluido de trabalho de água dentro dos tubos porosos de absorção/congelamento axial 198 e radial 199. Quando o fluido de trabalho começa a congelar e se expandir, o fluido de trabalho de água não congelada no centro dos tubos porosos de absorção/congelamento é absorvido ao longo dos tubos porosos de absorção/congelamento axial 198 e radial 199. Isto permite que o fluido de trabalho de água se expanda ao implodir para dentro nos tubos porosos de absorção/congelamento ao invés de explodir para fora, gerando as pressões de expansão que poderiam resultar nos danos à câmara de vapor de água 190 do rotor ou ao conjunto de rotor 310 do rotor 183. Utilizando uma SMA para os tubos porosos de absorção/congelamento axial 198 e radial 199, as suas seções inferiores podem ser deformadas quando o fluido de trabalho de água congela e se expande implodindo os tubos porosos de absorção/congelamento axial 198 e radial 199. Uma vez que a temperatura da câmara de vapor de água do rotor se eleva até aproximadamente 32 graus F, e o fluido de trabalho muda de

fase de gelo de volta a um líquido, os tubos porosos de absorção/congelamento axial 198 e radial 199 retornam de volta às suas formas originais.

Os tubos porosos de absorção/congelamento axial 198 e radial 199 são colocados nas aberturas e perfurações axial 264 e radial 265 de canais nas malhas de absorção fina 192, grossa 193, e de perímetro 194. Isto ajuda a manter todos os materiais e tubos de absorção diferentes em suas posições apropriadas durante o funcionamento do motor 1. Também permite que os tubos axial 198 e radial 199 fiquem por todos os cantos e nas superfícies inferiores onde o fluido de trabalho, a água irá ficar empoçada.

Tampa da Câmara de Vapor de Água do Rotor

Com referência à figura 50, a tampa 195 da câmara de vapor de água do rotor encaixa no fundo do segmento de combustão do rotor 311. A superfície interna do rotor contém as extensões de nervuras 196 que formam os espaços vazios 197 da câmara de vapor de água do rotor que permitem o movimento rápido do vapor de gás de água dentro da câmara de vapor de água 190 do rotor. As nervuras da superfície interna também ajudam a prender as malhas de absorção internas fina 192 e grossa 193 no lugar durante o funcionamento do motor 1.

As superfícies internas das nervuras 196 da câmara de vapor de água do rotor e dos canais 197 da tampa 195 da câmara de vapor de água do rotor são revestidas com um revestimento de barreira térmica 36. O revestimento de barreira térmica 36 ajuda a manter o calor dentro da câmara de vapor de água 190 do rotor e impede que o calor seja transferido através da tampa 195 da câmara de vapor de água e para a área interna 363 da cavidade do rotor.

Placa de Tampa Interna do Rotor

Com referência às figuras 42, 45, e 69, uma placa de tampa interna 210 do rotor é soldada ao fundo do segmento

311 de cavidade de combustão que segue pela tampa da câmara de vapor de água 197 do rotor sobre a aba de travamento 208 e é soldada ao longo das superfícies internas das placas laterais 209 do rotor. A tampa 210 do rotor adiciona alguma
5 força estrutural ao conjunto 310 de segmentos do rotor. Ela também é utilizada para criar um espaço vazio de isolamento térmico para impedir que o calor da superfície 185 do rotor e da câmara de vapor de água 190 do rotor penetre na cavidade interna 363 do rotor. Ela também é utilizada para fechar as
10 grandes áreas abertas dentro da cavidade interna 363 do rotor. Isto ajuda a restribir a água deionizada 320 do sistema de refrigeração ativo 362 a áreas chaves dos canais de água/vapor 222 ao longo das faces dianteira e traseira 371 da pá deslizante das passagens 184 da pá deslizante. Também
15 cria canais de intensa turbulência dentro da cavidade 363 do rotor pelo movimento das pás deslizantes móveis 116 e do sistema de correias 136 da pá. Essa turbulência intensa ajuda a distribuir a água deionizada 320 e o vapor do sistema de refrigeração ativo 362 uniformemente por todo o interior da
20 cavidade 363 do rotor.

As superfícies externas 211 da placa de tampa interna 210 do rotor serão anguladas do centro da cavidade interna 363 do rotor aos lados externos do rotor 183.

Molas de Limite da Correia de Perfil de Pá

25 Com referência às figuras 42, 48, e 46, as molas de limite da correia de perfil de pá 212 têm as extensões básicas 213 que encaixam em um rebaixo base 214 localizado na superfície interna da placa lateral 209 do rotor nas áreas da cavidade interna do rotor 363. As extensões base 213 da mola
30 de limite de correia de perfil de pá são soldadas com pegajosidade no lugar para manter as mesmas presas firmemente nos rebaixos base 214 das placas internas laterais 209 do rotor. As molas de limite de correia de pá 212 limitam a

extensão máxima dos arcos laterais 176 da correia da pá de perfil para ajudar a manter as correias 139 e o restante do perfil do sistema de correias da pá 136 e as pás deslizantes 116 no alinhamento apropriado com a superfície interna 37 do estator do invólucro dos estatores 2 e 4 do invólucro.

Sistema de Câmara de Vapor de Sódio

Com referência às figuras 3, 6 e 71 o motor 1 utiliza um sistema de transferência de calor 229 da câmara de vapor de sódio para transferir o calor das zonas de combustão de alta temperatura 32 aos estágios médio e final das zonas de expansão 33. A câmara de vapor de sódio 229 utiliza o sódio como um fluido de trabalho e opera entre 600 e 1.100 graus Celsius, mas preferivelmente a 900 graus Celsius. Para o motor 1, a câmara de vapor de sódio 229 isothermaliza a temperatura através do estator 4 da câmara de vapor de sódio nas zonas de combustão 32 e de expansão 33 até uma temperatura de operação de aproximadamente 600 graus Celsius. Durante a combustão, a mistura de hidrogênio/água/ar entra em combustão na câmara de combustão 32 e atinge uma temperatura máxima de aproximadamente 1.800 graus Kelvin ou 1.526 graus Celsius. Um revestimento de barreira térmica 36 é aplicado a um rebaixo 277 do revestimento de barreira térmica ao longo da superfície interna dianteira 37 do estator do estator 4 da câmara de vapor de sódio para proteger a câmara de vapor de sódio contra as temperaturas de carga de calor excessivas constantes. Uma parte do calor de combustão irá passar através do revestimento de barreira térmica 36 e do estator 4 da câmara de vapor de sódio e penetra na câmara de vapor de sódio 229 ao longo da seção 379 do evaporador onde o fluido de trabalho de sódio muda de fase de um líquido em um gás. Durante os estágios médio e final da combustão-expansão nas zonas da câmara de expansão 33, as temperaturas de expansão do gás podem ficar mais baixas do que a temperatura da câmara

de vapor de sódio 229 e o fluido de trabalho de sódio muda de fase de um gás em um líquido, transferindo o seu calor da câmara de vapor de sódio 229 ao longo da zona 380 do condensador através do estator 4 da câmara de vapor de sódio, e de volta para a câmara de combustão 34 para ajudar a manter as altas pressões de gás do estágio final. O líquido de sódio é então absorvido de volta para a zona do evaporador 379 através das absorções e da pressão capilar.

Malhas de Absorção da Câmara de Vapor de Sódio

Com referência às figuras 57 a 62, o sistema de câmaras de vapor de sódio 229 utiliza uma série de malhas de absorção para ajudar a mover o fluido de trabalho de sódio. Para melhorar o fluxo capilar do fluido de trabalho de sódio próximo às áreas de superfície externa 379 do evaporador da câmara de vapor de sódio 229, uma camada de malha 200 de absorção fina 230 é utilizada. Isto permite que pequenas gotas de sódio líquido de alta pressão que fluem facilmente ao longo da superfície externa 379 do evaporador da câmara de vapor de sódio mudem de fase de um líquido em um gás. Uma camada 232 de malha 100 capilar de absorção grossa é utilizada na extremidade oposta da câmara de vapor de sódio 229 ao longo da zona 380 do condensador. Isto permite que as gotas de sódio líquido maiores de baixa pressão fluam facilmente de volta para a zona 379 do evaporador. Para melhorar ainda mais a absorção do fluido de trabalho de sódio, uma malha 150 capilar de absorção média 231 é colocada entre as seções fina 230 e grossa 232 da malha de absorção para formar uma malha de absorção de transição para gotas de sódio líquidas de tamanho médio.

Todas as três seções das malhas de absorção fina 230, média 231 e grossa 232 são circundadas por uma malha 150 de perímetro médio 234. A malha de absorção de perímetro 234 ajuda a distribuir o fluido de trabalho por todas as

superfícies da câmara de vapor de sódio 229. Ela também ajuda a melhorar as condições de partida de congelamento de sódio ao prover uma pequena poça de sódio líquido na zona 379 do evaporador. Os problemas de partida da câmara de vapor e danos podem ocorrer porque não há fluido de trabalho suficiente na zona do evaporador, resultando em pontos secos que podem superaquecer. No motor 1, a forma curvada da câmara de vapor de sódio 229 empoça o fluido de trabalho de sódio próximo a ambas as extremidades da câmara de vapor de sódio 229, para a extremidade 379 do evaporador e a extremidade 380 do condensador. Isto permite que um pouco do sódio fique imediatamente disponível na zona 379 do evaporador durante a partida, e mediante o emprego de uma malha de absorção de perímetro médio permite que uma parte do fluido de trabalho de sódio seja distribuída em torno da zona 379 do evaporador da câmara de vapor de sódio e faça contato direto com o estator 4 da câmara de vapor de sódio.

Com referência às figuras 57, 61, e 62, para melhorar a circulação do gás fluido de trabalho de sódio, as nervuras 252 da câmara de vapor de sódio se estendem do lado da superfície interna da tampa exterior 251 da câmara de vapor de sódio. As extensões 252 das nervuras da câmara de vapor de sódio também ajudam a prender as seções de malha de absorção fina 230, média 231 e grossa 232 em suas posições apropriadas dentro da câmara de vapor de sódio 229. As extensões 252 das nervuras também criam espaços vazios da câmara de vapor de sódio ou grandes canais 253 entre as extensões 252 de nervuras para que os gases do fluido de trabalho de sódio fluam facilmente.

Com referência às figuras 52 e 59 a 64, a superfície externa da tampa 251 da câmara de vapor de sódio tem uma série de nervuras de suporte axiais e radiais 257 que adicionam resistência de reforço estrutural à tampa externa

251 da câmara de vapor de sódio. As nervuras de reforço 257 também criam um espaço vazio entre a tampa 251 e o material isolante externo 258 da câmara de vapor de sódio para ajudar ainda mais a criar o bloco térmico de calor para impedir a
5 perda de calor através da tampa externa 251 da câmara de vapor do sistema de câmaras de vapor de sódio 229.

Câmara de Ruptura de Ajuste da Pressão da Câmara de Vapor de Sódio

Com referência às figuras 52, 57, 60 e 62 a 64, o
10 sódio é altamente reativo com a água, e, quando aquecido do funcionamento do motor 1, irá gerar uma elevada pressão dentro da câmara de vapor de sódio 229. Para ajudar a impedir que a câmara de vapor de sódio se rompa do alto impacto de um acidente, ou de uma pressão em demasia dentro da câmara de
15 vapor de sódio 229, a superfície externa da tampa 251 da câmara de vapor de sódio inclui o sistema de câmara de ruptura 245. Isto provê um sistema de segurança para aliviar a pressão dentro da câmara de vapor de sódio e para impedir que a câmara de vapor de sódio 229 se rompa e libere o sódio.
20 O sistema de ruptura da câmara de vapor de sódio 245 compreende um cilindro de ruptura 246, uma câmara de gás 248, um disco de ajuste de pressão de sódio 247, um disco de sinal de ruptura 249, e um sinalizador de sinal de ruptura 250. O cilindro de ruptura de ajuste de pressão 246 é parafusado na
25 tampa superior 251 da câmara de vapor de sódio onde um disco de ajuste de pressão 247 é exposto à câmara interna 229 de vapor de sódio de trabalho. O topo do cilindro de ruptura 246 é fechado por um disco de sinal de ruptura 249 que cria um espaço de gás 248 entre o disco de ajuste de pressão e o
30 disco de sinal de ruptura 249. O espaço de gás 248 é preenchido com um gás inerte compressível tal como o argônio ou preferivelmente o kriptônio. Se a superfície externa da câmara de vapor de sódio 229 tiver um impacto elevado, ou se

a pressão interna se tornar demasiadamente alta, irá pressionar o disco de ajuste de pressão no espaço de gás 248 e comprimir o gás. O gás de vapor de sódio também irá penetrar na câmara de ajuste de pressão 248 do cilindro de ruptura 246, abaixando a pressão interna total da câmara de vapor de sódio 229 para impedir uma ruptura de sódio através da tampa externa 251 da câmara de vapor de sódio. Se a pressão de gás ficar demasiadamente grande, ela irá forçar o disco de sinal de ruptura 249 para fora no meio, o que irá forçar o sinalizador de sinal de ruptura 250 através do furo de sinal de ruptura 267 no material isolante externo 258 como um sinal que o disco de ruptura 247 se quebrou e precisa ser substituído. A câmara de vapor de sódio 229 ainda vai operar, mas a uma pressão mais baixa mais segura devido ao acesso do sódio ao volume adicionado da câmara de vácuo 248 do sistema de câmara de ruptura 245.

O sistema de ajuste de pressão 245 da câmara de vapor de sódio também irá ajudar a manter as condições operacionais ideais da câmara interna mediante a regulação da pressão interna da câmara de vapor de sódio. Uma vez que o calor é transferido para a câmara de vapor de sódio 229 a temperatura e a pressão se elevam. Para manter fluxos ideais de vapor, uma pressão mais baixa é benéfica. Para fazer isto, o disco de ajuste de pressão 247 irá se estender para o cilindro de ruptura 246 e irá comprimir o gás 248, reduzindo desse modo a pressão de trabalho interna relativa da câmara de vapor de sódio 229.

Conversor Eletrotérmico de Metal Alcalino (AMTEC)

Com referência às figuras 62 a 64, o fluido de trabalho de sódio, a temperatura de operação, e o perfil da circulação de sódio dentro da câmara de vapor de sódio 229 são idênticos para a operação requerida para um conversor eletrotérmico de metal alcalino (AMTEC) 235. O sódio é um

metal líquido que pode mudar de fase de um líquido em um gás e de volta em um líquido dentro da câmara de vapor de sódio 229. O sódio também pode passar os seus íons através de um eletrodo sólido de beta-alumina (BASE) 236 para gerar
5 eletricidade. O BASE 236 é uma estrutura do tipo microplaquetas de batata em forma de U com uma superfície de forma corrugada para aumentar a área de superfície do BASE 236 e a sua capacidade de gerar eletricidade. As extremidades do BASE 236 são fechadas ao longo da superfície exterior 381
10 para ajudar a conter a alta pressão de gás de sódio debaixo do BASE 236 para ajudar os íons de sódio a passar através da superfície inferior de cátodo positivo 237 do BASE 236 para superfície de ânodo superior 238 do BASE 236. O BASE 236 é unido à superfície interna da tampa 251 da câmara de vapor de sódio pelo parafuso 241 do BASE que parafusa através do BASE 236 e no furo de parafuso 241 na tampa 251 da câmara de vapor de sódio.
15

Para isolar elétrica e ionicamente o BASE 236, o parafuso 241 do BASE é feito de um material inerte elétrica e
20 ionicamente tal como o zircônio, que impede que o BASE 236 fique em curto circuito. A superfície interna da câmara de vapor de sódio também é coberta com um TBC 36 tal como zircônio estabilizado com ítrio (YSZ) que também ajuda a isolar elétrica e ionicamente a superfície de ânodo superior
25 238 do BASE 236. Para isolar elétrica e ionicamente a superfície de cátodo inferior 237 do BASE 236, uma malha de absorção fina feita de fibras de sílica 233 é colocada diretamente sob o BASE 236 e sobre o topo das seções de malha de absorção fina 230 e média 231. A malha de absorção de
30 perímetro externo 234 também é feita de material elétrica e ionicamente inerte, tais como fibras de sílica ou feltro, para isolar o BASE 236. Ao isolar elétrica e ionicamente o BASE 236, uma maior quantidade de potencial elétrico pode ser

gerada sem perda ou curtos circuitos pelo contato com as superfícies dos materiais condutores elétricos ou iônicos.

Com referência às figuras 53, 54 e 59, um conector elétrico interno 242 desliza para um rebaixo de entalhe 244 na borda exterior 381 do BASE 236. As camadas de cátodo inferior 238 e de ânodo superior 237 seguem para o rebaixo de entalhe 244 e a borda inferior do conector elétrico interno 242 irá fazer contato com a camada de cátodo 238 e a seção superior do conector elétrico interno 242 faz contato com a camada de ânodo 237, formando um circuito elétrico com o BASE 236. O conector elétrico interno segue através de um furo conector 239 do BASE na tampa 251 da câmara de vapor de sódio, e é soldado ou abrasado no lugar para vedar a câmara de vapor de sódio 229. Um conector elétrico externo 244 do BASE forma uma interface com o conector elétrico interno 244 do BASE. O conector elétrico externo 244 do BASE segue então através de um furo 266 do conector no isolamento externo 258 da câmara de vapor de sódio. Fios são conectados então ao conector elétrico externo do BASE a um inversor de energia elétrica 370 para formar um circuito com o BASE e condicionar a energia elétrica gerada pelo BASE 236 do sistema conversor termoelétrico de metal alcalino 235.

Tampa e Isolamento Externo da Câmara de Vapor de Sódio

Com referência às figuras 56 a 64, para reduzir ainda mais a perda de calor potencial da câmara de vapor de sódio 229 à atmosfera ambiente, a superfície interna da tampa 251 da câmara de vapor de sódio junto com as extensões de nervuras 252 e os canais 253 é revestida com um revestimento de barreira térmica de YSZ 35. O zircônio também irá prover uma ação de captação de hidrogênio para absorver todo o hidrogênio livre que puder disassociar ou passar através do estator 4 do invólucro. Adicionalmente, a parte externa da

tampa 251 da câmara de vapor de sódio é coberta com um material de isolamento térmico grosso 258, tal como uma manta de isolamento, uma espuma de metal ou de cerâmica, ou esferas ou pelotas de isolamento que são contidas por um envoltório exterior. O material de isolamento também ajuda a absorver todo o ruído e as vibrações que puderem passar através da tampa 251 da câmara de vapor de sódio.

Com referência às figuras 53 a 64, a tampa exterior 251 da câmara de vapor de sódio é soldada no estator 4 da câmara de vapor de sódio. Uma pequena junta de arame 254 encaixa em um canal de junta de arame 255 que segue em torno do perímetro exterior da câmara de vapor de sódio 229. A junta de arame ajuda a impedir qualquer vazamento de sódio da tampa 251 da câmara de vapor de sódio.

Câmaras de Vapor de Água do Invólucro Externo

Com referência às figuras 67 e 70, devido às zonas de entrada-compressão e de combustão-expansão segmentadas, há um gradiente térmico de quente/frio bipolar por todo o motor 1 que pode resultar em intensas deformações térmicas dos estatores 2 e 4 do invólucro. A temperatura do estator superior 4 da câmara de vapor de sódio opera a aproximadamente 600 a 900 graus Celsius. O invólucro inferior 2 do estator é refrigerado pelo sistema de refrigeração ativo e opera a uma temperatura máxima de 98 graus Celsius. Um revestimento de barreira térmica é colocado ao longo do parafuso acima da superfície do estator superior 4 da câmara de vapor de sódio para minimizar a transferência de calor térmico ao estator inferior 2 do invólucro. Para ajudar a minimizar a deformação térmica do estator inferior 2 do invólucro, dois sistemas de câmara de vapor de água 68 do invólucro são colocados no invólucro inferior 2 do estator ao longo da superfície de conexão com o estator superior 4 da câmara de vapor de sódio.

As câmaras de vapor de água ajudam a isothermalizar a superfície inferior do estator 2 do invólucro ao longo da seção de parafuso com o estator superior 4 da câmara de vapor de sódio. Isto ajuda a manter uma temperatura uniforme ao longo da superfície de parafuso para minimizar quaisquer pontos quentes potenciais que puderem causar deformações térmicas.

O fluido de trabalho de água na câmara de vapor de água 68 do invólucro absorve o calor ao longo da superfície superior 69 do evaporador que penetra através do TBC 36 ao longo da superfície de parafuso do estator 4 da câmara de vapor de sódio adjacente e transfere o mesmo à sua superfície lateral inferior 77 do condensador que é adjacente às passagens de circulação de água de admissão/compressão 63 e de rolamento/expansão 66 do rotor do sistema de circulação de água de refrigeração ativo 262. Enquanto a água é aquecida ao longo da superfície 69 do evaporador da câmara de vapor do invólucro, ela muda de fase de um líquido em um gás, absorvendo grandes quantidades de calor da superfície 69 do evaporador e transferindo o calor ao gás de vapor de água. As pressões internas da câmara circulam o vapor de água aquecido à superfície 77 do condensador da câmara de vapor de água do invólucro. Onde o vapor de água aquecido transfere o calor à área de superfície 77 do condensador, voltando a fase líquida e circula de volta à superfície 69 do evaporador da câmara de vapor de água do invólucro.

As câmaras de vapor de água 68 do invólucro operam a uma temperatura entre 24 e 202 graus centígrados, ou 75 e 397 graus Fahrenheit. Quanto maior a diferença da temperatura entre a superfície 69 do evaporador da câmara de vapor de água ao longo do estator 4 da câmara de vapor de sódio e a superfície 77 do condensador da câmara do vapor de água ao longo das passagens de circulação de água de

admissão/compressão 63 e de rolamento/expansão 66 do rotor do sistema de circulação de água ativo 262, mais rápida a velocidade de transferência de calor.

As câmaras de vapor de água 69 do invólucro têm um
5 formato relativamente longo e estreito. Embora seja importante transferir o calor da área de superfície 69 do evaporador através da câmara estreita de vapor de água do invólucro à área de superfície 77 do condensador, também é importante transferir o calor ao longo do comprimento da
10 câmara de vapor de água 68 do invólucro para isothermalizar o estator inferior 2 do invólucro para manter um estator inferior 2 uniforme 2 do invólucro e para impedir pontos quentes e deformações térmicas. Para melhorar o fluxo capilar do fluido de trabalho de água, uma malha de absorção de
()- 15 perímetro em forma de U 72 envolve as camadas fina 71 e grossa 72 de malhas de absorção capilares. A malha de absorção de perímetro em forma de U é colocada em contato direto com a área de superfície 69 do evaporador da câmara de vapor de água do invólucro e ao longo de ambas as superfícies
20 laterais da extremidade da câmara de vapor de água 68 do invólucro. A malha de absorção de perímetro em forma de U é feita de malha fina para permitir que pequenas gotas de água líquida de alta pressão fluam ao longo do comprimento da superfície 69 do evaporador da câmara de vapor de água do
25 invólucro para permitir que o fluido de trabalho de água mude de fase de um líquido em um gás. Uma camada de malha de absorção fina 71 é utilizada ao longo da superfície inferior do rebaixo 270 da câmara de vapor de água do invólucro. Isto permite que pequenas gotas de água líquida de alta pressão
30 fluam facilmente ao longo do comprimento da câmara de vapor de água 68 do invólucro e à superfície exterior 69 do evaporador do rotor para permitir que o fluido de trabalho de água mude de fase de um líquido em um gás. Uma camada de

malha de absorção capilar grossa 70 é colocada sobre o topo da camada de malha de absorção fina 71. Isto permite que gotas de água líquida maiores de baixa pressão fluam facilmente ao longo do comprimento da câmara de vapor de água 68 do invólucro e para a camada de malha de absorção capilar fina inferior 71.

Com referência à figura 67, para melhorar a circulação do fluido de trabalho de gás, as nervuras de extensão 74 da câmara do vapor de água do invólucro no lado da superfície interna da tampa 73 da câmara de vapor do invólucro criam espaços vazios da câmara de vapor de água do invólucro ou canais 75 entre as nervuras de extensão 74 para que os gases do fluido de trabalho fluam facilmente. As nervuras 74 da câmara do vapor do invólucro também prendem e pressionam as camadas de malha de absorção fina 71 e grossa 70 juntas na posição. As nervuras de extensão 74 do invólucro têm uma borda maior 382 da extensão da nervura para o lado da superfície do condensador da câmara de vapor de água do invólucro, tornando a extensão total da nervura ligeiramente em forma de L. Essa borda maior 382 da extensão da nervura também cria uma área vazia atrás das camadas de malha de absorção fina 71 e grossa 70 e a superfície 77 do condensador da câmara de vapor de água do invólucro. Isto permite que o vapor de água aquecido faça facilmente contato com a área de superfície 77 do condensador da câmara de vapor de água do invólucro e libere o seu calor e mude a fase de um vapor de gás em um líquido.

Tubos de Absorção/Congelamento da Câmara de Vapor de Água do Invólucro

Com referência às figuras 65 a 67, uma vez que a câmara de vapor de água 76 é completamente vedada com fluido de trabalho de água em seu interior, ela é suscetível a danos por expansão pelo congelamento quando o motor 1 é exposto a

temperaturas de 32 graus F e mais baixas. Para se opôr à expansão pelo congelamento da água, um tubo de absorção/congelamento poroso 76 é colocado dentro da câmara de vapor de água 68 do invólucro. O tubo

5 absorção/congelamento poroso 76 é feito de ligas de metais de forma (SMA) que são trançadas juntas e enroladas em forma de tubo e abrasadas ou soldadas por pontos umas às outras. O tubo poroso isola uma parte do fluido de trabalho de água dentro do centro do tubo de absorção/congelamento poroso 76

10 de modo que, quando o fluido de trabalho começa a congelar e se expandir, o fluido de trabalho de água não congelada no centro do tubo de absorção/congelamento poroso é absorvido ao longo do tubo de absorção/congelamento poroso 76. Isto permite que o fluido de trabalho de água se expanda

15 implodindo para dentro ao invés de explodir para fora, eliminando desse modo as pressões de expansão que poderiam resultar em danos à câmara de vapor de água 68 do invólucro ou ao estator inferior 2 do invólucro. Utilizando um SMA para o tubo de absorção/congelamento poroso 76, a seção inferior

20 do tubo de absorção/congelamento poroso 76 pode ser deformada enquanto o fluido de trabalho de água se expande e implode o tubo de absorção/congelamento poroso 76. Uma vez que a temperatura da câmara de vapor de água 68 do invólucro se eleva até aproximadamente 32 graus F e o fluido de trabalho

25 de água muda de fase de gelo em um líquido, o tubo de absorção/congelamento poroso 76 retorna de volta à sua forma original sem nenhum dano.

Os tubos de absorção/congelamento porosos são presos em uma aberturas de entalhe 268 na malha de absorção

30 grossa 70. A malha de absorção grossa 70 irá mais provavelmente conter gotas grandes de água que irão congelar e se expandir. As extremidades dos tubos de absorção/congelamento porosos também penetram na malha de

absorção de perímetro nas perfurações de furo 269 para chegar mais perto das bordas da superfície inferior da câmara de vapor de água 68 do invólucro onde o fluido de trabalho de água pode empoçar.

5 Revestimento de Barreira Térmica do Invólucro Interno

Com referência outra vez à figura 67, devido à alta temperatura operacional dentro da câmara de combustão 34, um revestimento de barreira térmica 36 é utilizado na superfície
10 interna 37 do estator de um estator inferior 2 do invólucro ao longo das bordas da zona de combustão 32 e das zonas de expansão 33 para minimizar a transferência de calor excessivo ao estator inferior 2 do invólucro e ao sistema de câmara de vapor de água 68 do invólucro.

15 A tampa externa de isolamento térmico 258 tem uma abertura de canal pequena em torno de seu perímetro 260 para encaixar sobre os topos dos parafusos 13, das porcas 14, e das arruelas de conexão 15 dos estatores 2 e 4 do invólucro. A tampa externa de isolamento térmico 258 é fixada ao motor 1
20 por uma série de parafusos sextavados 16 que seguem através dos furos de parafuso 262 na tampa de isolamento externa 258 e nos furos de parafuso 17 ao longo do perímetro das duas bordas inferiores do estator 2 do invólucro. Os rebaixos de parafuso 261 na tampa de isolamento externa 258 permitem que
25 os parafusos sextavados 16 sejam nivelados com a superfície exterior da tampa de isolamento.

Embora a invenção tenha sido descrita em relação ao que é atualmente considerado como a realização mais prática e mais preferida, deve ficar compreendido que a invenção não
30 deve ficar limitada à realização apresentada, mas ao contrário, se presta a cobrir várias modificações e arranjos equivalentes incluídos dentro do caráter e do âmbito das reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. MOTOR ROTATIVO DE COMBUSTÃO INTERNA, caracterizado pelo fato de compreender:

um estator que inclui uma superfície interna que
5 define uma cavidade de formato oval distorcida que inclui uma zona de entrada, uma zona de compressão, uma zona de expansão e uma zona de exaustão;

um rotor rotativo dentro da cavidade, e que inclui uma superfície externa, e uma pluralidade de cavidades de
10 combustão e uma pluralidade de entalhes localizados ao longo de uma periferia do rotor; e

uma pluralidade de pás radialmente projetadas e móveis dispostas dentro dos entalhes e se estendendo para e acoplando com a superfície interna do estator, de modo a
15 formar uma pluralidade de câmaras rotativas dentro das quais uma mistura de combustível é comprimida para a ignição na pluralidade de cavidades de combustão do rotor;

uma câmara de vapor que se sobrepõe a uma parte da cavidade de formato oval e que inclui um fluido para absorver
20 o calor da ignição da mistura de combustível nas cavidades de combustão do rotor e para retornar o calor às cavidades de combustão enquanto elas giram através da zona de expansão; e

um sistema de refrigeração ativo para proteger o motor rotativo contra calor excessivo, em que o sistema de
25 refrigeração compreende o estator, a pluralidade de pás e um sistema de refrigeração/transferência de calor localizado dentro do rotor.

2. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma
30 porta de entrada para a entrada de ar frio em cada câmara da pluralidade de câmaras rotativas, em que a porta de entrada precede a zona de entrada ao longo de uma periferia da superfície externa do estator, e uma porta de exaustão para a

exaustão do gás de combustão de cada câmara da pluralidade de câmaras rotativas, em que a porta de exaustão segue a zona de expansão ao longo da periferia da superfície interna do estator.

5 3. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente um eixo motor em torno do qual gira o rotor.

10 4. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o fluido da câmara de vapor muda de fase de um líquido a um gás enquanto absorve calor durante a ignição, e de um gás a um líquido enquanto retorna o calor às cavidades de combustão.

15 5. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o fluido de trabalho da câmara de vapor é um metal alcalino líquido.

20 6. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que o fluido de trabalho da câmara de vapor é selecionado do grupo de metais alcalinos líquidos que consistem em sódio, potássio e enxofre.

25 7. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a superfície interna do estator é substancialmente lisa e a pluralidade de pás acopla de maneira deslizável com a superfície interna do estator enquanto o rotor gira dentro do estator.

30 8. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a pluralidade de pás compreende um primeiro grupo de pás deslizantes alternantes e um segundo grupo de pás deslizantes alternantes, em que cada pá tem um formato semi-oval substancialmente liso e alongado, um perímetro exterior, e duas faces.

 9. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma pluralidade de vedações entre cada pá da pluralidade de pás e

a superfície interna do estator.

10. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente um sistema de correia de pá para reduzir as forças centrífugas na pluralidade de pás, por meio do que é reduzido o desgaste das vedações entre as pás e a superfície interna do estator.

11. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que o sistema de correia de pá compreende primeiro e segundo conjuntos de correias para ajudar a pluralidade das pás a se mover radialmente para se conformar às mudanças em uma distância entre uma periferia da superfície externa do rotor e uma periferia da superfície interna do estator.

12. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que o sistema de correia de pá compreende:

uma primeira pluralidade de segmentos de correia de pá que liga o primeiro grupo de pás deslizantes alternantes;

uma segunda pluralidade de segmentos de correia de pá que liga o segundo grupo de pás deslizantes alternantes;

uma primeira placa de correia de pá arqueada sobre a qual desliza a primeira pluralidade de segmentos de correia de pá; e

uma segunda placa de correia de pá arqueada sobre a qual desliza a segunda pluralidade de segmentos de correia de pá.

13. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente barras de pá estendidas que unem os segmentos de correia de pá às pás deslizantes.

14. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente:

uma primeira mola para aplicar uma pressão na

primeira placa de correia de pá arqueada para forçar dinamicamente a primeira placa de correia de pá arqueada para dentro; e

5 uma segunda mola para aplicar uma pressão na segunda placa de correia de pá arqueada para forçar dinamicamente a segunda placa de correia de pá arqueada para dentro.

10 15. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a primeira placa de correia de pá arqueada e a segunda placa de correia de pá arqueada são cobertas pelo menos parcialmente com uma pluralidade de nervuras de formato arredondado elevadas e revestidas com um revestimento quase sem atrito.

15 16. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que a pluralidade de nervuras de formato arredondado elevadas estende as larguras da primeira placa de correia de pá arqueada e da segunda placa de correia de pá arqueada, e em que o revestimento quase sem atrito é um revestimento do tipo lubrificante sólido.

20 17. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que os segmentos de correia de pá compreendem segmentos de correia de pá centrais e segmentos de correia de pá laterais.

25 18. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a primeira placa de correia de pá arqueada compreende uma primeira placa de correia de pá arqueada central e pelo menos uma primeira placa de correia de pá arqueada lateral, e em que a segunda placa de correia de pá arqueada compreende uma segunda placa de correia de pá arqueada central e pelo menos uma segunda
30 placa de correia de pá arqueada lateral.

 19. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente:

uma pluralidade de eixos alinhados transversais aos segmentos de correia de pá;

uma pluralidade de rolamentos de roletes ocos segmentados colocados nos eixos, de maneira tal que os
5 rolamentos de roletes ocos segmentados giram livremente em torno dos eixos, e os rolamentos de roletes ocos segmentados tocam nos segmentos de correia de pá;

uma primeira pluralidade de molas de eixo unidas à primeiras placa de correia de pá arqueada; e

10 uma segunda pluralidade de molas de eixo unidas à segunda placa de correia de pá arqueada,

em que a primeira e a segunda molas de eixo são alinhadas paralelas aos segmentos de correia de pá, e suportam os eixos.

15 20. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de que a primeira pluralidade de molas de eixo é soldada por pontos na primeira placa de correia de pá arqueada, e em que a segunda pluralidade de molas de eixo é soldada por pontos na segunda placa de
20 correia de pá arqueada.

21. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma pluralidade de emendas intercaladas dentro dos segmentos de correia de pá.

25 22. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que as emendas são emendas de pinos.

23. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que as emendas são emendas de
30 articulações.

24. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que os segmentos de correia de pá compreendem segmentos de correia de pá centrais que têm

duas extremidades e segmentos de correia de pá laterais que têm duas extremidades, e o sistema de correia de pá compreende adicionalmente:

5 uma pluralidade de barras de alavanca centrais unidas às barras de pá estendidas;

 uma pluralidade de primeiras passagens de barra de correia de pá cortadas da primeira placa de correia de pá arqueada, em que cada uma das primeiras passagens de barra de correia de pá é alinhada com uma barra diferente das barras
10 de pá estendidas;

 uma pluralidade de segundas passagens de barra de correia de pá cortadas da segunda placa de correia de pá arqueada, em que cada uma das segundas passagens de barra de correia de pá é alinhada com uma barra diferente das barras
15 de pá estendidas;

 uma pluralidade de barras de correia de pá centrais, em que duas das barras de correia de pá centrais são unidas a cada uma das barras de alavanca centrais;

 uma pluralidade de barras de correia de pá laterais, em que dois pares de barras de correia de pá laterais são unidos a cada uma das barras de alavanca centrais;

 uma pluralidade de buchas de roletes de metal que cobrem as barras de correia de pá centrais e as barras de correia de pá laterais, em que cada extremidade de cada um dos segmentos de correia de pá centrais é enganchada sobre uma bucha diferente das buchas de roletes de metal que cobrem as barras de correia de pá centrais, e cada extremidade de cada um dos segmentos de correia de pá laterais é enganchada sobre uma bucha diferente das buchas de roletes de metal que
25 cobrem as barras de correia de pá laterais; e
30 uma pluralidade de tiras de isolamento térmico unida a e isolando termicamente as pás deslizantes do sistema

de correia de pá.

25. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma série exterior de correias localizadas em ambos os lados do primeiro e do segundo jogos de correias, em que a série exterior de correias é apoiada em suportes pequenos de arco nas extremidades das barras de suporte de arco de correia que conectam o primeiro e o segundo jogos de correias um ao outro, e a série exterior de correias ajuda o primeiro e o segundo grupos de correias a combinar com o perfil da superfície do estator.

26. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que uma distância de uma periferia da superfície externa do rotor a uma periferia da superfície interna do estator varia enquanto o rotor gira através da zona de entrada, da zona de compressão, da zona de expansão, e da zona de exaustão, e em que a pluralidade de pás radialmente projetadas se move radialmente para acomodar as mudanças na distância e para continuar desse modo a acoplar de maneira deslizável com a superfície interna do estator enquanto o rotor gira.

27. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente um sistema de liberação de pressão conectado à câmara de vapor.

28. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a mistura de combustível compreende hidrogênio, água e ar.

29. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente:

um primeiro injetor de água para injetar em cada câmara da pluralidade de câmaras rotativas uma quantidade de água que é variada para a finalidade de controlar a relação de compressão do motor rotativo;

um injetor de combustível para injetar em cada cavidade da pluralidade de cavidades de combustão o combustível que entrou em ignição nas cavidades;

um segundo injetor de água para injetar em cada
5 câmara da pluralidade de câmaras rotativas uma segunda quantidade de água para resfriar bruscamente parcialmente em cada câmara da pluralidade de câmaras rotativas um gás resultante da ignição do combustível na cavidade de combustão do rotor localizada dentro da câmara rotativa para reduzir a
10 temperatura do gás na câmara; e

um terceiro injetor de água para injetar em cada câmara da pluralidade de câmaras rotativas uma terceira quantidade de água para refrigerar o rotor, as pás e as vedações que compreendem a câmara rotativa em resposta ao
15 calor transferido à câmara rotativa da câmara de vapor sobreposta à zona de expansão.

30. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma pluralidade de vedações para vedar cada uma das câmaras
20 rotativas, em que a pluralidade de vedações compreende:

primeira e segunda vedações localizadas axialmente ao longo do primeiro e do segundo lados do rotor, em que as vedações axiais são curvadas para combinar com um perfil circular da superfície externa do rotor;

25 as vedações axiais são segmentadas em uma seção central e duas seções de extremidade; a seção central da vedação axial tem uma extensão de lingüeta angular ao longo de ambas as extremidades que combina com um rebaixo de sulco angular dos segmentos de vedação de extremidade axial;

30 cada um dos segmentos da seção central e de extremidade da vedação axial tem uma superfície superior que é inclinada de modo que a pressão de gás da câmara impele a vedação axial para a superfície interna do estator;

uma superfície de vedação exterior de cada um dos segmentos centrais e de extremidade da vedação axial inclui um corte de sulco no comprimento inteiro da vedação axial, criando desse modo um rebaixo para uma tira de vedação axial;

5 e

uma mola corrugada posicionada atrás do segmento central da vedação axial também para impelir para fora as vedações axiais, por meio do que, quando o segmento central da vedação axial é impelido para fora pela pressão de gás e pela mola corrugada, o segmento central da vedação axial também impele para fora os segmentos de extremidade da vedação axial para formar um vedação ao longo da superfície interna do estator e ao longo do segmento inferior das vedações de pá localizadas acima do rotor.

15 31. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 30, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente:

uma pluralidade de vedações de face de pá para formar um vedação contínua em uma área de formato de anel semi-oval substancialmente alongada entre uma face dianteira e uma face traseira de uma pá da pluralidade de pás e uma vedação imediatamente adjacente a uma área da superfície externa do rotor, e

25 uma pluralidade de vedações de pá para formar uma vedação contínua entre um perímetro exterior de uma pá da pluralidade de pás e a superfície interna do estator.

32. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 31, caracterizado pelo fato de que cada pá da pluralidade de pás inclui uma superfície de vedação de pá curvada, e em que o motor rotativo compreende adicionalmente:

30 uma pluralidade de canaletas de rolamentos de roletes encaixadas entre as vedações de pá e entre cada uma das vedações de pá e uma pá correspondente,

uma pluralidade de rolamentos de roletes dispostos

dentro das canaletas de rolamentos de roletes,

em que cada uma das vedações de pá inclui lados exteriores angulados para impelir a gás a vedação de pá, por meio do que a vedação da pá é impelida dinamicamente para a superfície interna do estator durante a operação do motor rotativo, e

uma pluralidade de passagens de gás que perfura as vedações de pá, em que a área de cada passagem de gás aumenta à medida que a passagem de gás se estende dinamicamente para fora e é impelida radialmente para a superfície interna do estator durante a operação do motor rotativo.

33. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 32, caracterizado pelo fato de que cada uma das pás tem um formato semi-oval substancialmente liso e alongado, um perímetro exterior e duas faces, e o perímetro exterior de cada pá compreende:

um sulco da pá que se estende ao longo de um centro do comprimento inteiro do perímetro exterior,

duas nervuras de suporte que se estendem ao longo do comprimento inteiro do perímetro exterior, o sulco da pá é limitado pelas nervuras de suporte, e as nervuras de suporte se projetam radialmente além do sulco da pá, e

duas bordas que se estendem ao longo do comprimento inteiro do perímetro exterior, as bordas de suporte são limitadas pelas nervuras de suporte, e as bordas de suporte se projetam radialmente mais do que o sulco da pá, porém menos do que as nervuras de suporte.

34. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 33, caracterizado pelo fato de que a pluralidade de passagens laterais de gás cria canaletas abertas das câmaras às nervuras de suporte.

35. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 31, caracterizado pelo fato de que cada uma das vedações de

pá é dividida por duas interfaces em um segmento central superior e dois segmentos inferiores laterais axialmente extensíveis.

36. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 35, caracterizado pelo fato de que os dois segmentos inferiores laterais são impelidos axialmente de modo a serem forçados para a superfície interna do estator e impelidos radialmente de modo a serem forçados para o segmento central superior.

37. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 35, caracterizado pelo fato de que cada interface compreende pelo menos uma conexão de lingüeta e sulco em forma de fecho deslizante.

38. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que cada pá da pluralidade de pás tem um formato semi-oval substancialmente liso e alongado, um perímetro exterior, e duas faces, e em que o motor rotativo compreende adicionalmente um sistema de rolamento para facilitar o movimento radial de cada uma das pás, e o sistema de rolamento compreende:

uma pluralidade de canaletas de rolamentos de roletes encaixadas em cada uma das faces da pá, e as canaletas de rolamentos de roletes são orientadas axialmente, e

uma pluralidade de rolamentos de roletes dispostos dentro da pluralidade de canaletas de rolamentos de roletes.

39. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 38, caracterizado pelo fato de que o sistema de rolamentos compreende adicionalmente uma pluralidade de placas de pá do rotor, em que cada placa é unida a um de dois lados de cada entalhe no rotor em que as pás são dispostas, cada placa de pá do rotor é coberta pelo menos parcialmente por nervuras em formato de losango ou nervuras em zigue-zague, e em que cada

face da pluralidade de pás é coberta pelo menos parcialmente por nervuras em formato de losango ou nervuras em zigue-zague, e as nervuras são cobertas com um revestimento de barreira térmica e um lubrificante óxido.

5 40. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 39, caracterizado pelo fato de que o sistema de rolamentos compreende adicionalmente:

 uma pluralidade de eixos centrais axialmente orientados,

10 uma pluralidade de rolamentos de roletes ocos segmentados colocados nos eixos centrais, de maneira tal que os rolamentos girem livremente em torno dos eixos, e

 uma pluralidade de molas de suporte de rolamentos de roletes radialmente orientadas unidas a cada placa de pá do rotor, e os eixos centrais são unidos às molas de suporte de rolamentos de roletes.

 41. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente um sistema de correia de pá que compreende uma correia de pá externa unida ao primeiro grupo de pás deslizantes alternantes, e uma correia de pá interna unida ao segundo grupo de pás deslizantes alternantes.

 42. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 41, caracterizado pelo fato de que cada uma dentre a correia de pá externa e a correia de pá interna tem uma pluralidade de curvaturas, e em que o sistema de correia de pá compreende adicionalmente uma pluralidade de rolamentos de roletes que tocam as curvaturas.

 43. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 41, caracterizado pelo fato de que o sistema de correia de pá compreende adicionalmente uma pluralidade de pinos de correia de pá que unem a correia de pá externa ao primeiro grupo de pás deslizantes alternantes e unem a correia de pá interna ao

segundo grupo de pás deslizantes alternantes.

44. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 41, caracterizado pelo fato de que cada uma dentre a correia de pá externa e a correia de pá interna é feita de uma pluralidade de fibras de alta resistência à tração conectadas por pinos e elos.

45. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente um sistema de transferência de calor do rotor que compreende:

10 uma pluralidade de câmaras de vapor do rotor intercaladas dentro do rotor entre os entalhes de pás;

um fluido de trabalho interno de água da câmara de vapor do rotor dentro das câmaras de vapor do rotor;

15 uma pluralidade de câmaras de vapor do rotor que se estendem radialmente e que se curvam para combinar com o perfil de superfície do rotor exterior, em que cada uma das câmaras de vapor do rotor compreende uma zona de evaporação interna centrada debaixo da superfície externa do rotor e duas extremidades de condensação axiais internas;

20 uma pluralidade de malhas de transferência finas localizadas por toda a seção do evaporador da câmara de vapor do rotor;

25 uma pluralidade de malhas de transferência grossas localizadas por todas as seções e interface do condensador com uma malha de transferência fina na pluralidade de câmaras de vapor do rotor;

30 uma pluralidade de malhas de transferência médias de perímetro localizadas ao longo da superfície interna do perímetro da câmara de vapor do rotor que fazem contato com a malha de transferência fina do evaporador e a malha de transferência grossa do condensador;

uma pluralidade de nervuras localizadas ao longo da tampa interna da câmara de vapor do rotor oposta à superfície

debaixo da superfície de combustão externa orientada em uma pluralidade fileiras que seguem axialmente através da câmara de vapor do rotor;

5 uma pluralidade de espaços vazios da câmara de vapor do rotor localizados entre as nervuras da câmara de vapor do rotor;

10 uma pluralidade de tubos de congelamento de transferência que seguem radialmente através da câmara de vapor do rotor e perfuram a malha de transferência fina do evaporador e a malha de transferência de perímetro;

15 uma pluralidade de tubos de refrigeração de transferência que seguem axialmente através da câmara de vapor do rotor de um lado do condensador ao outro, perfurando a malha de transferência grossa do condensador e a malha de transferência fina do condensador e a malha de perímetro; e

20 uma pluralidade de condensadores exteriores da câmara de vapor do rotor que transferem o calor dos condensadores internos da câmara de vapor do rotor à água de refrigeração do sistema de refrigeração ativo.

20 46. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 41, caracterizado pelo fato de que o fluido de trabalho interno da câmara de vapor do rotor compreende a água.

25 47. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente um sistema de transferência de calor do estator para proteger o motor rotativo contra calor excessivo.

30 48. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 47, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma porta de entrada e uma porta de exaustão, e o sistema de transferência de calor do estator compreende adicionalmente um sistema de refrigeração líquida do estator, em que o sistema de refrigeração líquida do estator compreende:

um tubo de refrigeração líquida do estator que

entra no motor rotativo perto da porta de entrada, faz meandros perto da porta de entrada, círculos em torno do eixo motor, e então sai do motor rotativo perto da porta de exaustão;

5 um refrigerante líquido do estator dentro do tubo de refrigeração líquida do invólucro;

 um monitor da temperatura do refrigerante líquido do invólucro; e

 um dispositivo para ajustar o fluxo do refrigerante
10 líquido do invólucro.

49. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 48, caracterizado pelo fato de que o refrigerante líquido do invólucro compreende a água.

50. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação
15 3, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma porta de entrada, uma porta de exaustão e em que a câmara de vapor é um sistema de câmara de vapor de sódio para isothermalizar as seções de combustão e de expansão do motor rotativo, e o sistema de câmara de vapor de sódio se estende
20 ao longo de uma parte substancial do perímetro do estator substancialmente oposta à porta de entrada e à porta de exaustão.

51. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 50, caracterizado pelo fato de que a câmara de vapor de sódio
25 compreende:

 fluido do sódio contido dentro da câmara de vapor de sódio do estator;

 uma camada de malha de transferência de graduação fina dentro da seção do evaporador da câmara de vapor de
30 sódio do estator, em que a camada de malha de transferência de graduação fina fica localizada na direção das zonas de ignição e de combustão do motor;

 uma camada de malha de transferência de graduação

grossa dentro da seção do condensador da câmara de vapor de sódio do estator; em que a camada de malha de transferência de graduação grossa fica localizada na direção da extremidade da zona de expansão do motor;

5 uma camada de malha de transferência de graduação média entre as camadas fina e grossa da câmara de vapor de sódio do estator; em que a camada de malha de transferência de graduação média fica localizada no meio da seção de expansão do motor; e

10 uma malha de transferência de graduação média que reveste o perímetro inteiro da câmara de vapor de sódio do estator e que encerra as malhas de transferência fina, média e grossa.

52. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação
15 51, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma tampa externa da câmara de vapor de sódio do estator, em que a tampa externa compreende:

20 uma pluralidade de nervuras de extensão segmentada paralelas que cobrem uma superfície interna da tampa e seguem pelo comprimento da câmara de vapor de sódio do estator;

 uma pluralidade de espaços vazios localizados dentro da câmara de vapor de sódio do estator entre as nervuras de extensão que cobrem a superfície interna da tampa externa; e

25 um revestimento de barreira térmica que cobre a superfície interna da tampa externa.

53. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação
50, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma câmara externa de vapor de água do estator em ângulo em torno
30 do eixo motor dentro do estator, em que a câmara de vapor de água do estator compreende:

 fluido de água contido dentro da câmara de vapor de água do estator;

uma camada de malha de transferência fina que reveste o perímetro da câmara de vapor de água do estator;

uma camada de malha de transferência fina dentro da câmara de vapor de água do estator; e

5 uma camada de malha de transferência grossa dentro da câmara de vapor de água do estator; e

uma câmara de água do estator posicionada entre a câmara de vapor de sódio do estator e o canal de água do sistema de refrigeração ativo do estator.

10 54. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 30, caracterizado pelo fato de que o rotor tem oito entalhes de pá, e o arranjo de vedação tem dezesseis vedações de face de pá e oito vedações de pá.

15 55. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a mistura de combustível é colocada em ignição por pelo menos uma vela de ignição.

56. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a mistura de combustível é colocada em ignição pela auto-ignição.

20 57. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente um injetor para injetar diretamente o hidrogênio nas cavidades de combustão do rotor.

25 58. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente um sistema de refrigeração ativo para condensar, filtrar e recircular a água contida no gás de exaustão.

59. MOTOR ROTATIVO DE COMBUSTÃO INTERNA, caracterizado pelo fato de compreender:

30 um estator que inclui uma superfície interna que define uma cavidade de formato oval distorcida que inclui pelo menos uma zona de compressão e uma zona de expansão;

um rotor rotativo dentro da cavidade, e que inclui

uma superfície externa, e uma pluralidade de cavidades de combustão e uma pluralidade de entalhes localizados ao longo de uma periferia do rotor; e

uma pluralidade de pás radialmente móveis dispostas dentro dos entalhes e se estendendo para e acopladas de maneira deslizável à superfície interna do estator, de modo a formar uma pluralidade de câmaras rotativas dentro das quais uma mistura de combustível é comprimida para a ignição na pluralidade de cavidades de combustão do rotor; e

uma câmara de vapor que se sobrepõe a uma parte da cavidade de formato oval e que inclui um fluido para absorver o calor da ignição da mistura de combustível nas cavidades de combustão do rotor e para retornar o calor às cavidades de combustão enquanto elas giram após a zona de expansão.

60. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 59, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma porta de entrada para a entrada de ar frio em cada câmara da pluralidade de câmaras rotativas, e uma porta de exaustão para a exaustão do gás de combustão de cada câmara da pluralidade de câmaras rotativas.

61. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 59, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente um sistema de correia de pá para ajudar a pluralidade de pás a se mover radialmente para se conformar às mudanças em uma distância entre uma periferia da superfície externa do rotor e uma periferia da superfície interna do estator.

62. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 59, caracterizado pelo fato de que uma distância de uma periferia da superfície externa do rotor a uma periferia da superfície interna do estator varia enquanto o rotor gira dentro do motor, e em que a pluralidade de pás radialmente móveis se move radialmente para acomodar as mudanças na distância e para continuar desse modo a acoplar de maneira

deslizável com a superfície interna do estator enquanto o rotor gira.

63. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 59, caracterizado pelo fato de que a mistura de combustível
5 inclui hidrogênio, água e ar.

64. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 59, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente:

um primeiro injetor de água para injetar em cada câmara da pluralidade de câmaras rotativas uma quantidade de
10 água que é variada para a finalidade de controlar a relação de compressão do motor rotativo;

um injetor de combustível para injetar em cada cavidade da pluralidade de cavidades de combustão hidrogênio que faz parte do combustível que entrou em ignição nas
15 cavidades;

um segundo injetor de água para injetar em cada câmara da pluralidade de câmaras rotativas uma segunda quantidade de água para resfriar bruscamente parcialmente em cada câmara da pluralidade de câmaras rotativas um gás
20 resultante da ignição do combustível na cavidade de combustão do rotor localizada dentro da câmara rotativa para reduzir a temperatura do gás na câmara; e

um terceiro injetor de água para injetar em cada câmara da pluralidade de câmaras rotativas uma terceira
25 quantidade de água para refrigerar o rotor, as pás e as vedações que compreendem a câmara rotativa em resposta ao calor transferido à câmara rotativa da câmara de vapor sobreposta à zona de expansão.

65. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 30 59, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma pluralidade de vedações para vedar cada uma das câmaras rotativas, em que a pluralidade de vedações compreende:

primeira e segunda vedações localizadas axialmente

ao longo do primeiro e do segundo lados do rotor, em que as vedações axiais são curvadas para combinar com um perfil circular da superfície externa do rotor;

uma pluralidade de vedações de face de pá para formar um vedação contínua em uma área em formato de anel semi-oval substancialmente alongada entre uma face dianteira e uma face traseira de uma pá da pluralidade de pás e uma vedação imediatamente adjacente a uma área da superfície externa do rotor, e

uma pluralidade de vedações de pá para formar uma vedação contínua entre um perímetro exterior de uma pá da pluralidade de pás e a superfície interna do estator.

66. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 59, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente um sistema de rolamentos para facilitar o movimento radial de cada uma das pás.

67. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 59, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente um sistema de transferência de calor do estator para proteger o motor rotativo contra calor excessivo.

68. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 59, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente um sistema de transferência de calor do rotor para proteger o motor rotativo contra calor excessivo.

69. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 59, caracterizado pelo fato de que a pluralidade de pás compreende oito pás.

70. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 59, caracterizado pelo fato de que a pluralidade de pás compreende um número de pás selecionadas do grupo que consiste em seis pás, oito pás, nove pás ou doze pás.

71. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 59, caracterizado pelo fato de que a pluralidade de câmaras

rotativas compreende um número de câmaras selecionadas do grupo que consiste em seis câmaras, oito câmaras, nove câmaras ou doze câmaras.

5 72. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 59, caracterizado pelo fato de que a pluralidade de cavidades de combustão do rotor compreende um número de cavidades de combustão do rotor selecionadas do grupo que consiste em seis cavidades de combustão do rotor, oito cavidades de combustão do rotor, nove cavidades de combustão do rotor ou doze
10 cavidades de combustão do rotor.

73. MOTOR ROTATIVO DE COMBUSTÃO INTERNA, caracterizado pelo fato de compreender:

um estator do invólucro que inclui uma superfície interna que define uma cavidade de formato oval distorcida
15 que inclui pelo menos uma zona de compressão e uma zona de expansão;

um rotor rotativo dentro da cavidade, e que inclui uma superfície externa, e uma pluralidade de cavidades e uma pluralidade de entalhes de combustão localizados ao longo de
20 uma periferia do rotor; e

uma pluralidade de pás radialmente projetadas e móveis dispostas dentro dos entalhes e se estendendo para e acoplado de maneira deslizável com a superfície interna do estator, para formar uma pluralidade de câmaras rotativas
25 dentro das quais uma mistura de combustível é comprimida para a ignição na pluralidade de cavidades de combustão do rotor; e

uma câmara de vapor que se sobrepõe a uma parte da cavidade de formato oval e inclui um fluido para absorver o
30 calor da ignição da mistura de combustível nas cavidades de combustão do rotor e para retornar o calor às cavidades de combustão enquanto elas giram após a zona de expansão.

74. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação

1, caracterizado pelo fato de que as zonas de combustão e de expansão são maiores do que as zonas de entrada e de compressão, por meio do que os gases de combustão podem se expandir e executar o trabalho máximo até que as pressões
5 dentro da câmara de combustão do motor rotativo se igualem às perdas de atrito de rotação.

75. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 29, caracterizado pelo fato de que o motor rotativo utiliza a transferência de calor de vapor de sódio, a recuperação de
10 calor do sistema de refrigeração a água ativo, o revestimento de barreira térmica, a injeção de água, e um curso de expansão estendido para atingir uma maior eficiência termodinâmica de frenagem.

76. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação
15 9, caracterizado pelo fato de que cada vedação da pluralidade de vedações entre as pás e a superfície interna do estator inclui uma ponta de nariz arrebitado que é uma ponta pequena, contornada arredondada que pode deslizar suavemente através da superfície interna do estator.

20 77. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o motor inclui um invólucro e em que o motor inclui lubrificantes sólidos quase sem atrito, revestimentos de barreira térmica resistentes às tensões térmicas e às deformações, uma pluralidade de
25 sistemas de câmara de vapor, e um sistema de refrigeração de água ativo para transportar o calor excessivo para a isothermalização do invólucro exterior do motor.

78. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o motor inclui um invólucro
30 feito de ligas de alta temperatura, e em que o invólucro é coberto com uma cobertura térmica grossa para minimizar a perda de calor e para reduzir o ruído do motor.

79. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação

9, caracterizado pelo fato de que a superfície interna do estator tem uma geometria que minimiza as deformações da pá e da vedação enquanto o motor rotativo é operado.

80. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 5 2, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma pluralidade de vedações entre cada pá da pluralidade de pás e a superfície interna do estator, e em que cada uma das portas de entrada e de exaustão é uma abertura que passa ao redor da superfície interna do estator, e cada porta é seccionada em 10 duas metades com as duas metades do motor rotativo, em que cada metade inclui uma nervura de suporte que é transposta através de uma metade de cada meia porta e que é ligeiramente angulada na abertura da porta para fornecer suporte à pluralidade de pás e de vedações enquanto elas passam sobre a 15 abertura da porta para impedir a deformação.

81. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que cada pá da pluralidade de pás inclui um sistema de barra de balanceio de correia de pá para permitir que a pá balanceie enquanto se move com 20 respeito à superfície interna do estator para obter uma vedação maior de suas câmaras rotativas correspondentes com respeito à superfície interna do estator.

82. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 81, caracterizado pelo fato de que o sistema de barra de 25 balanceio de correia de pá é um sistema de barra de balanceio de correia simples para uma correia de pá central simples do sistema de correia de pá.

83. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 81, caracterizado pelo fato de que o sistema de barra de 30 balanceio de correia de pá é um sistema de barra de balanceio de correia dupla para duas correias de pá exteriores do sistema de correia de pá.

84. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação

10, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente um sistema de ajuste de tensão de correia de pá para ajustar a tensão de uma correia de pá simples ou uma correia de pá dupla utilizada com o sistema de correia de pá.

5 85. MOTOR ROTATIVO DE COMBUSTÃO INTERNA, caracterizado pelo fato de compreender:

um estator que inclui uma superfície interna que define uma cavidade de formato oval distorcida que inclui uma zona de entrada, uma zona de compressão, uma zona de expansão
10 e uma zona de exaustão;

um rotor rotativo dentro da cavidade, e que inclui uma superfície externa, e uma pluralidade de cavidades de combustão e uma pluralidade de entalhes localizados ao longo de uma periferia do rotor;

15 um eixo motor em torno do qual gira o rotor;

uma pluralidade de pás radialmente projetadas e móveis dispostas dentro dos entalhes e se estendendo para e acoplando com a superfície interna do estator, para formar uma pluralidade de câmaras rotativas dentro das quais uma
20 mistura de combustível que inclui o hidrogênio é comprimida para a ignição na pluralidade de cavidades de combustão do rotor;

uma câmara de vapor que se sobrepõe a uma parte da cavidade de formato oval e que inclui um fluido para absorver
25 o calor da ignição da mistura de combustível nas cavidades de combustão do rotor e para retornar o calor às cavidades de combustão enquanto elas giram após a zona da expansão;

uma porta de entrada para a entrada de ar frio em cada câmara da pluralidade de câmaras rotativas, em que a
30 porta de entrada precede a zona de entrada ao longo de uma periferia da superfície externa do estator;

uma porta de exaustão para a exaustão do gás de combustão de cada câmara da pluralidade das câmaras

rotativas, em que a porta de exaustão segue a zona de expansão ao longo da periferia da superfície interna do estator;

um sistema de correia de pá para reduzir as forças centrífugas na pluralidade de pás, por meio do que é reduzido o desgaste das vedações entre as pás e a superfície interna do estator;

uma pluralidade de vedações para vedar cada uma das câmaras rotativas;

um sistema de refrigeração/transferência de calor de vapor de água para o controle da temperatura do rotor;

um sistema de refrigeração a água/transferência de calor ativo para capturar o calor do invólucro exterior do motor rotativo, e do interior do invólucro do motor do curso de compressão, da zona de rolamentos do eixo motor, e do rotor e da pluralidade de pás, e para retornar o calor capturado para ser reutilizado no ciclo do motor;

um primeiro injetor de água para injetar em cada câmara da pluralidade de câmaras rotativas uma quantidade de água que é variada para a finalidade de controlar a relação de compressão do motor rotativo;

um injetor de combustível para injetar em cada cavidade da pluralidade de cavidades de combustão o combustível que entrou em ignição nas cavidades;

um segundo injetor de água para injetar em cada câmara da pluralidade de câmaras rotativas uma segunda quantidade de água para resfriar bruscamente parcialmente em cada câmara da pluralidade de câmaras rotativas um gás resultante da ignição do combustível na cavidade de combustão do rotor localizada dentro da câmara rotativa para reduzir a temperatura do gás na câmara; e

um terceiro injetor de água para injetar em cada câmara da pluralidade de câmaras rotativas uma terceira

quantidade de água para refrigerar o rotor, as pás e as vedações que compreendem a câmara rotativa em resposta ao calor transferido à câmara rotativa da câmara de vapor sobreposta à zona de expansão.

5 86. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma turbina do turbocarregador de geometria variável que aciona um compressor de entrada que impele o ar tomado pela porta de entrada.

10 87. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a câmara de vapor se sobrepõe às zonas de combustão e de expansão, por meio do que a câmara de vapor se sobrepõe a uma primeira pluralidade de cavidades de combustão do rotor nas quais ocorre a ignição do
15 combustível e uma segunda pluralidade de cavidades de combustão do rotor para as quais a câmara de vapor retorna o calor absorvido das ignições na primeira pluralidade de cavidades de combustão do rotor.

 88. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação
20 1, caracterizado pelo fato de que o calor absorvido pela câmara de vapor coloca em ignição a mistura de combustível em uma primeira pluralidade de cavidades de combustão do rotor que giram através da zona de combustão, absorve o calor da combustão resultante da ignição da mistura de combustível na
25 primeira pluralidade de cavidades de combustão do rotor, e transfere o calor de volta para uma segunda pluralidade de cavidades de combustão do rotor que giram através da zona de expansão.

 89. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação
30 29, caracterizado pelo fato de que a refrigeração da câmara rotativa pela água injetada pelo terceiro injetor de água refrigera a superfície da câmara em preparação para um ciclo seguinte de entrada.

90. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 29, caracterizado pelo fato de que a quantidade de água injetada pelo primeiro injetor de água resulta em uma relação eficaz de compressão em que a auto-ignição pode ocorrer.

5 91. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a superfície interna do estator é revestida com um revestimento de barreira térmica de peroskvita para proteger o estator contra a ignição de combustão constante e para reduzir transferência de calor de
10 combustão para fora do estator.

92. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 28, caracterizado pelo fato de que a mistura de combustível é estratificada com uma mistura de hidrogênio e ar em sua metade dianteira e de água injetada em sua metade traseira,
15 por meio do que a mistura de hidrogênio e de ar entra facilmente em ignição.

93. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 29, caracterizado pelo fato de que a refrigeração dos segmentos do rotor, pás e vedações que compreendem a câmara
20 rotativa resulta em forças centrífugas causadas pelo rotor girando dentro da cavidade forçando o refrigerador e gotas de água mais pesadas contra a superfície interna do estator para absorver desse modo o calor da câmara de vapor e acelerar a transferência de calor da parte traseira da câmara de vapor
25 de volta para a câmara rotativa para manter a pressão de vapor alta e a pressão eficaz média dentro da câmara rotativa para executar o trabalho.

94. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a câmara de vapor utiliza o
30 sódio como fluido para absorver o calor da ignição, e em que o sódio líquido muda de fase, em uma zona do evaporador da câmara de vapor, para um vapor de gás de sódio quando absorve o calor da zona de combustão, se move à velocidade sônica ao

longo da câmara de vapor para uma zona do condensador da câmara de vapor onde o gás de sódio transfere o calor de volta para as cavidades de combustão do rotor girando ao longo da zona de expansão e muda de fase, na zona do
5 condensador, para um líquido de sódio.

95. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 94, caracterizado pelo fato de que a câmara de vapor de sódio compreende adicionalmente uma pluralidade de malhas de transferência que propiciam a atividade capilar para
10 transferir uniformemente o sódio líquido da zona do condensador para a zona do evaporador da câmara de vapor de sódio onde o sódio líquido está disponível para absorver o calor adicional da zona de combustão quente.

96. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação
15 1, caracterizado pelo fato de que o sistema de refrigeração de água ativo e a câmara de vapor transferem o calor para e de cada um, desse modo permitindo que uma grande parte do calor produzido pela combustão do motor rotativo da mistura de combustível seja transferida continuamente de volta
20 através do motor rotativo para conferir o benefício do trabalho de energia positivo.

97. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a superfície externa do rotor é coberta com um revestimento de barreira térmica para
25 proteger o rotor contra os danos do calor de combustão e minimizar a transferência de calor de superfície para o rotor.

98. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 97, caracterizado pelo fato de que o rotor compreende
30 adicionalmente uma câmara de vapor de água localizada sob a superfície externa do rotor, em que a câmara de vapor de água absorve o calor de combustão que passa através do revestimento de barreira térmica do rotor.

99. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 98, caracterizado pelo fato de que a câmara de vapor de água do rotor é uma zona do evaporador onde um fluido de água absorve o calor que passa através do revestimento de barreira
5 térmica do rotor, e desse modo muda a fase de um líquido para um gás e transfere o calor absorvido aos condensadores localizados em ambos os lados do rotor.

100. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 99, caracterizado pelo fato de que o sistema de refrigeração
10 de água ativo asperge a água através dos condensadores do rotor enquanto o rotor gira para absorver o calor do condensador, por meio do que a água da câmara de vapor do rotor esfria e muda a fase de gás para um líquido e recircula então de volta para a zona do evaporador por forças
15 centrífugas de G elevado.

101. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 98, caracterizado pelo fato de que a câmara de vapor de água do rotor ajuda a isothermalizar a distribuição do calor através da superfície externa inteira do rotor.

20 102. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a superfície interna do estator tem um perfil geométrico, em que as zonas de combustão e de expansão são maiores do que as zonas de entrada e de compressão de modo que o desempenho
25 termodinâmico do ciclo do motor rotativo é aumentado durante a operação.

103. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente um sistema de transferência de calor de refrigeração de pá que
30 compreende:

uma pluralidade de câmaras de tubulação de calor da pá localizadas dentro de cada pá;

uma câmara de tubulação de calor de pá com fluido

de trabalho interno de água;

uma pluralidade de câmaras de tubulação de calor de pá que se estendem ao longo do perímetro exterior da pá que se curva para combinar com o perfil exterior da pá, em que
5 cada uma das câmaras de tubulação de calor compreende uma zona de evaporação interna centrada debaixo da superfície externa da pá e duas extremidades de condensação axiais internas localizadas ao longo dos lados axiais do rotor imediatamente abaixo das vedações axiais do rotor;

10 uma pluralidade de tubos de congelamento de transferência que funcionam axialmente através da câmara de tubulação de calor de pá de um lado do condensador ao outro;
e

uma pluralidade de condensadores exteriores da
15 câmara de tubulação de calor de pá que transferem o calor dos condensadores internos da câmara de tubulação de calor de pá à água de refrigeração do sistema de refrigeração ativo.

104. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 103, caracterizado pelo fato de que o fluido de trabalho
20 interno da câmara de tubulação de calor de pá compreende a água.

105. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 103, caracterizado pelo fato de que na seção do evaporador central da câmara de tubulação de calor de pá o fluido de
25 trabalho de água muda de fase de um líquido para um gás enquanto absorve calor durante a ignição e a combustão e na seção do condensador o fluido de trabalho de água muda de fase de um gás para um líquido enquanto transfere o seu calor à água de refrigeração do sistema de refrigeração ativo.

30 106. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 89, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente um sistema de liberação da ruptura de ajuste de pressão da câmara de vapor de sódio que compreende:

uma câmara de pressão cheia com um gás compressível inerte;

um disco de ajuste de pressão;

um disco de ruptura; e

5 uma bandeira de sinal de ruptura.

107. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 106, caracterizado pelo fato de que o gás compressível inerte é o nitrogênio, o argônio, ou de preferência o kriptônio.

108. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 10
59, caracterizado pelo fato de que a pluralidade de correias de pá é de duas e três.

109. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 108, caracterizado pelo fato de que o sistema de duas correias de pá pode ser construído com uma pluralidade de
15 três ou quatro pás em cada correia, resultando em um motor com seis ou oito pás.

110. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 108, caracterizado pelo fato de que o sistema de três correias de pá pode ser construído com uma pluralidade de
20 três ou quatro pás em cada correia, resultando em um motor com nove ou doze pás.

111. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 110, caracterizado pelo fato de que no sistema de três correias de pá a terceira correia será uma segunda correia
25 dupla, um arco, e um sistema de alavanca de pá que é orientado exatamente fora do primeiro sistema de correia dupla.

112. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o calor absorvido pela água
30 do sistema de refrigeração ativo é injetado de volta nas câmaras do rotor durante a primeira injeção de água na zona de compressão e a segunda injeção de água logo na zona de combustão/expansão.

113. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 76, caracterizado pelo fato de que a pluralidade de vedações de nariz arrebitado de formato arredondado é revestida com um revestimento quase sem atrito.

5 114. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 113, caracterizado pelo fato de que na pluralidade de vedações de nariz arrebitado de formato arredondado o revestimento quase sem atrito é um revestimento do tipo lubrificante sólido.

10 115. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o revestimento de barreira térmica na superfície do rotor reduz a perda de calor no sistema de refrigeração do rotor.

15 116. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma câmara de vapor que compreende um conversor elétrico térmico de metal alcalino para a geração direta de eletricidade.

20 117. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 116, caracterizado pelo fato de que o conversor elétrico térmico de metal alcalino compreende uma forma de eletrodo sólido de beta alumina.

25 118. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 117, caracterizado pelo fato de que o eletrodo sólido de beta alumina é feito bem fino com uma forma de grande área de superfície.

30 119. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 117, caracterizado pelo fato de que o eletrodo sólido de beta alumina é revestido com um material de cátodo na superfície interior para a fonte de calor da câmara do motor e um revestimento de ânodo na outra superfície externa que fica voltado para a cobertura exterior da câmara de vapor.

120. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 117, caracterizado pelo fato de que o eletrodo sólido de beta

alumina é isolado iônica e eletricamente do fluido de trabalho de sódio líquido e qualquer contato de metal direto condutor.

121. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 5 117, caracterizado pelo fato de que o eletrodo sólido de beta alumina também é isolado iônica e eletricamente pelo uso de uma malha de fibra de isolamento de silício ou molibdênio inerte em sua superfície interna e revestimento de barreira térmica feito de zircônio estabilizado com ítrio em sua 10 superfície externa e parafusos isolantes e de zircônio inerte que ajudam a prender o eletrodo sólido de beta alumina no lugar dentro da câmara de vapor de sódio.

122. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 117, caracterizado pelo fato de que o eletrodo conversor 15 elétrico de metal alcalino gera corrente de elétrons de eletricidade enquanto o vapor de sódio aquecido passa ionicamente através do eletrodo sólido de beta alumina de uma superfície de cátodo a uma superfície de ânodo.

123. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 20 117, caracterizado pelo fato de que o eletrodo conversor elétrico térmico de metal alcalino inclui um conector de eletrodo que forma independentemente interface com uma superfície de cátodo e uma superfície de ânodo do eletrodo sólido de beta alumina, desse modo criando um circuito de 25 conexão elétrica física do cátodo e do ânodo que passa através da parte externa da tampa exterior da câmara de vapor de sódio que pode formar interface com um conector elétrico exterior que é conectado a um dispositivo elétrico, criando uma conexão de circuito elétrico direta de cátodo e de ânodo 30 entre o eletrodo sólido de beta alumina do conversor elétrico de metal alcalino e o dispositivo elétrico para suprir um fluxo de eletricidade de elétrons ao dispositivo elétrico através da passagem de circuito de cátodo e para retornar um

fluxo de eletricidade de elétrons do dispositivo elétrico ao eletrodo sólido de beta alumina do conversor elétrico térmico de metal alcalino através da passagem de circuito de ânodo.

124. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 5 1, caracterizado pelo fato de que o revestimento de barreira térmica na superfície interior da tampa da câmara de vapor reduz a perda de calor da câmara de vapor para a atmosfera ambiente.

125. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 10 91, caracterizado pelo fato de que o revestimento de barreira térmica compreende zircônio estabilizado com ítrio.

126. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 125, caracterizado pelo fato de que o zircônio irá adicionalmente absorver o gás de hidrogênio que penetra 15 através do estator da cavidade de combustão e desassocia do material de liga do invólucro do estator.

127. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 50, caracterizado pelo fato de que estruturas de malhas de transferência finas, médias e grossas são feitas de fibras de 20 aço inoxidável ou de sílica, ou de preferência de molibdênio, que são tecidas conjuntamente a densidades variadas para formar estruturas de malhas de transferência finas, médias e grossas.

128. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 25 50, caracterizado pelo fato de que estruturas de malhas de transferência finas, médias e grossas são feitas de fibras ou de pó sinterizado de liga de metal que compreende níquel-titânio, NiTi, que podem ser formadas a densidades variadas para formar estruturas de malhas de transferência finas, 30 médias e grossas para otimizar o fluxo capilar do fluido de trabalho da câmara de vapor de sódio.

129. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 106, caracterizado pelo fato de que o sistema de liberação de

ruptura compreende um sistema de ajuste de pressão para regular continuamente a pressão de vapor dentro da câmara de vapor.

5 130. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 106, caracterizado pelo fato de que o sistema de liberação de ruptura de ajuste de pressão da câmara compreende adicionalmente um controle de ruptura de pressão e um sinal de ruptura.

10 131. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o tipo de combustível utilizado pode ser de qualquer tipo que puder ser injetado na câmara do rotor e entrar em ignição para produzir calor.

15 132. MOTOR ROTATIVO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o combustível é de preferência o hidrogênio.

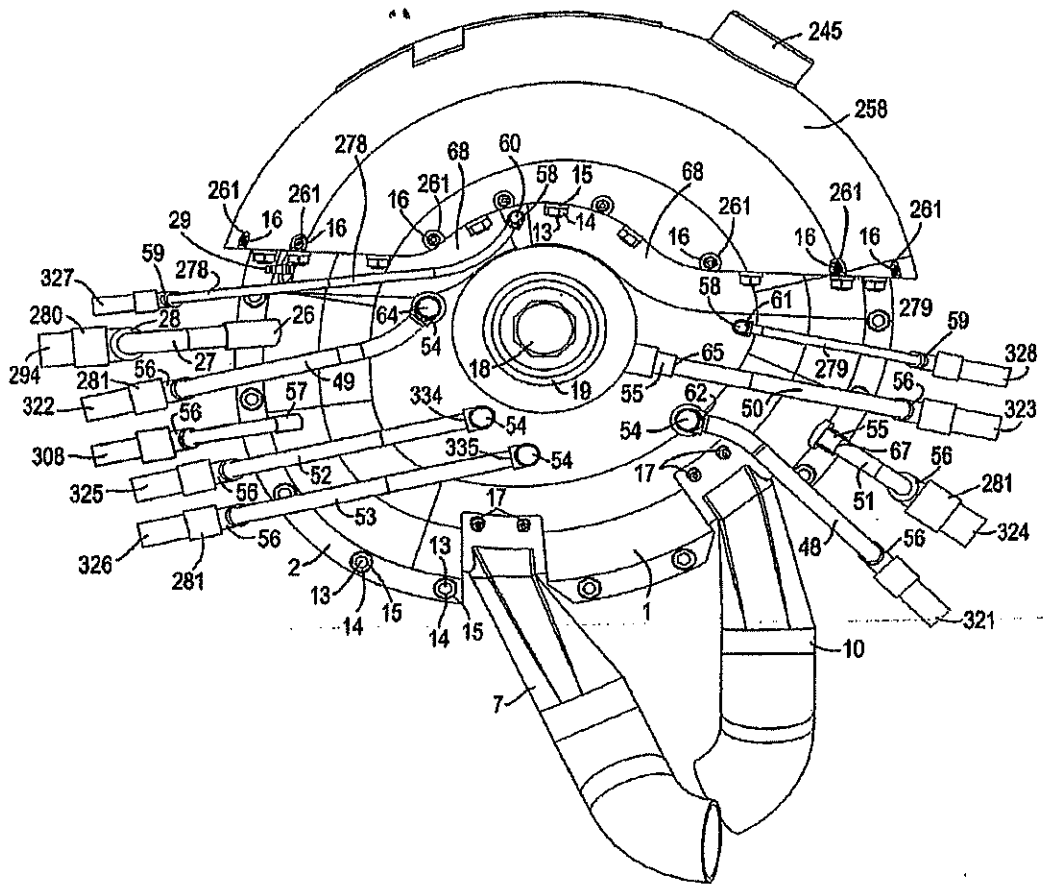


Fig. 1

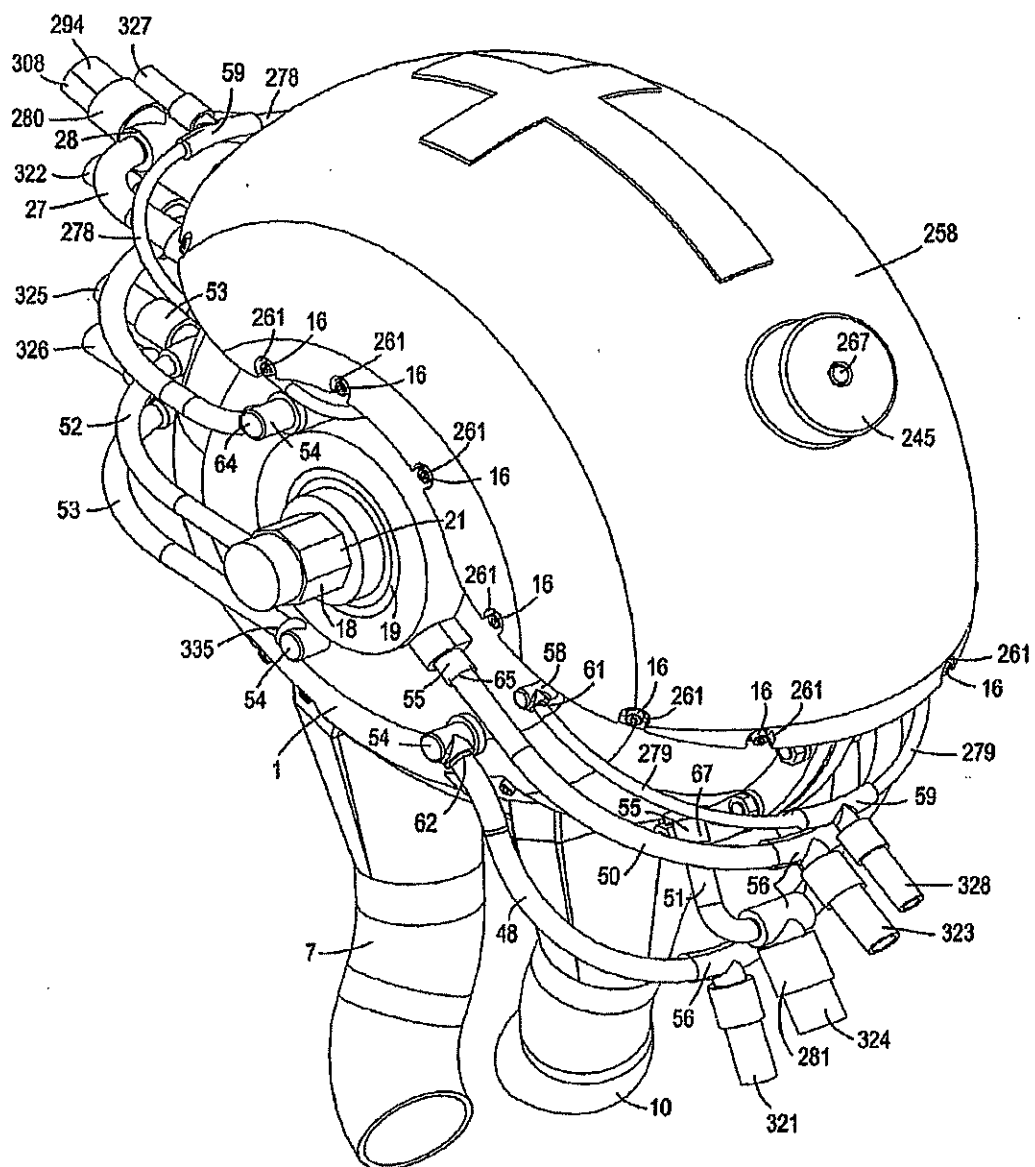


Fig. 2

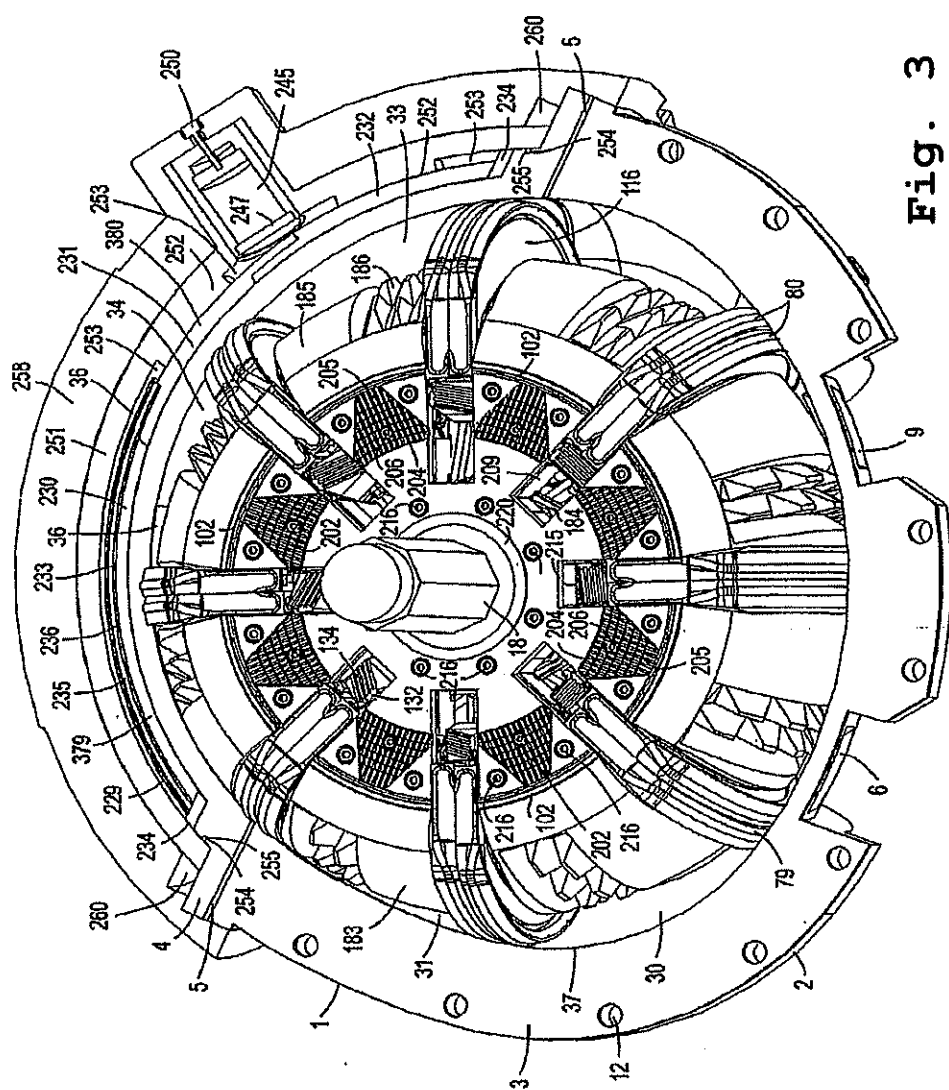


Fig. 3

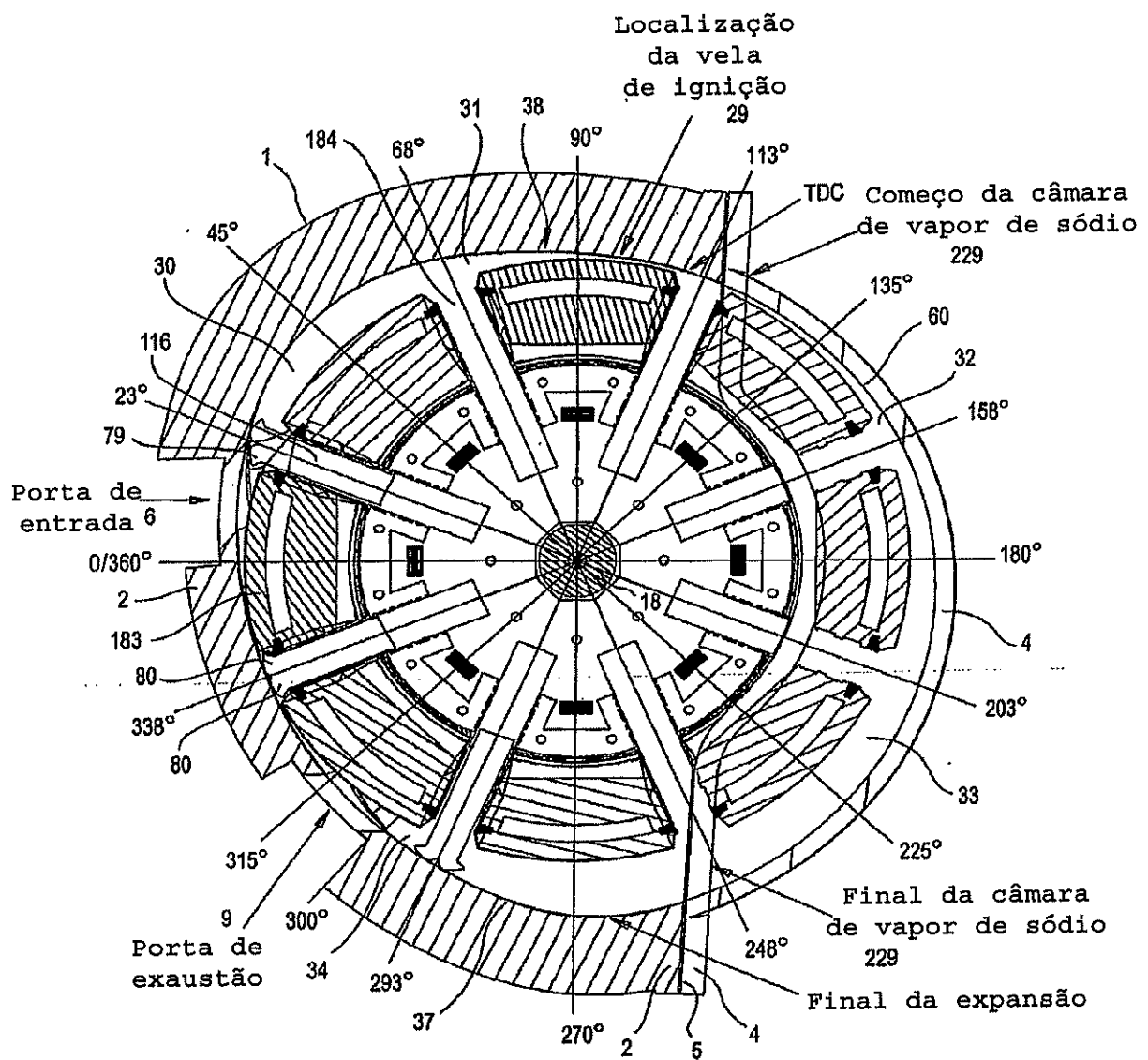


Fig. 4

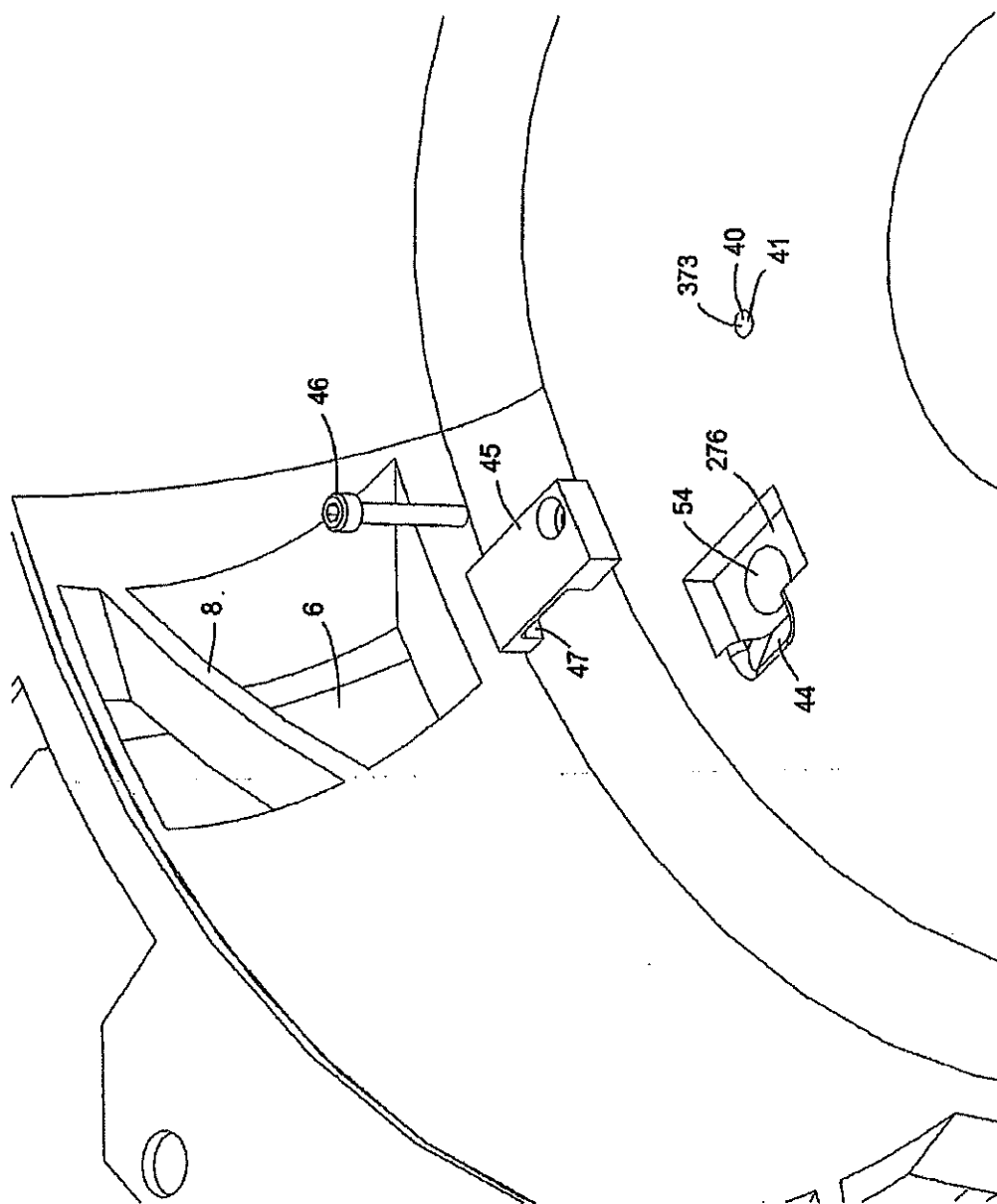


Fig. 5

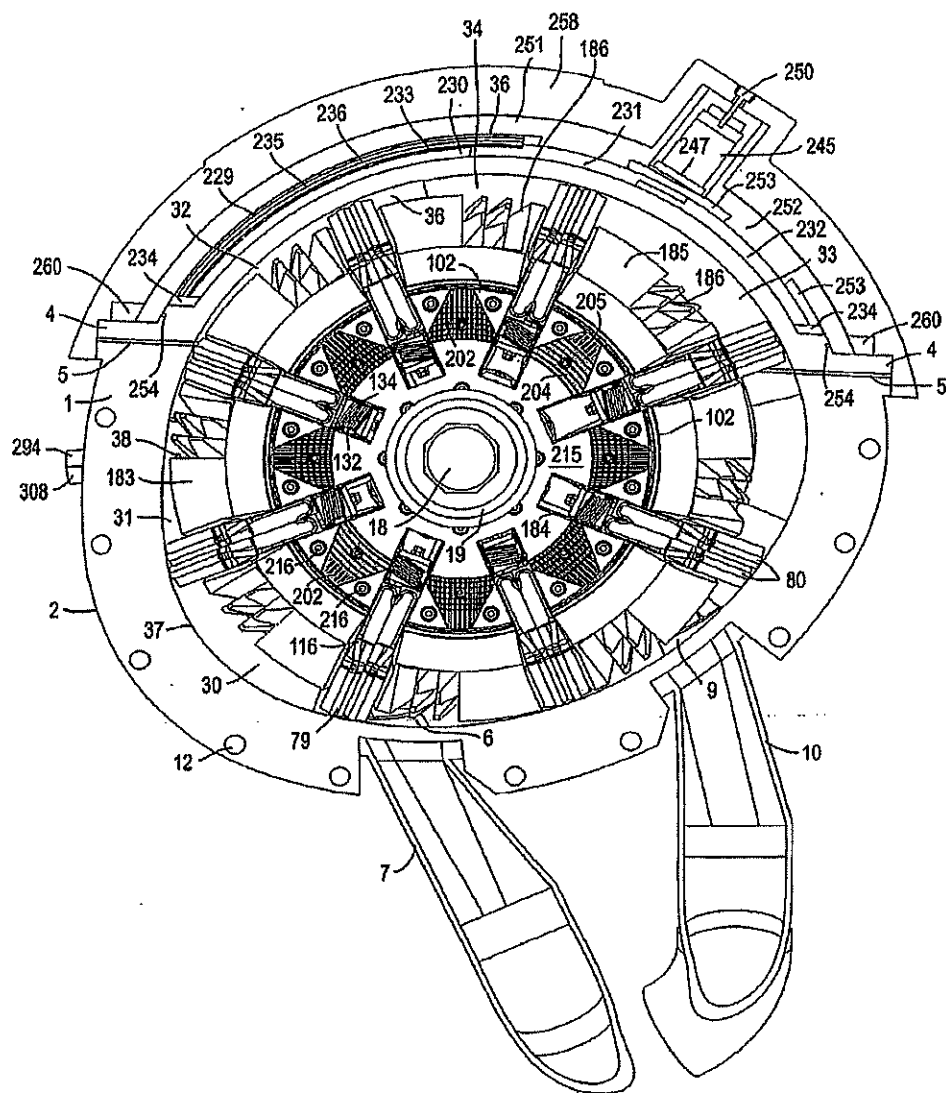


Fig. 6

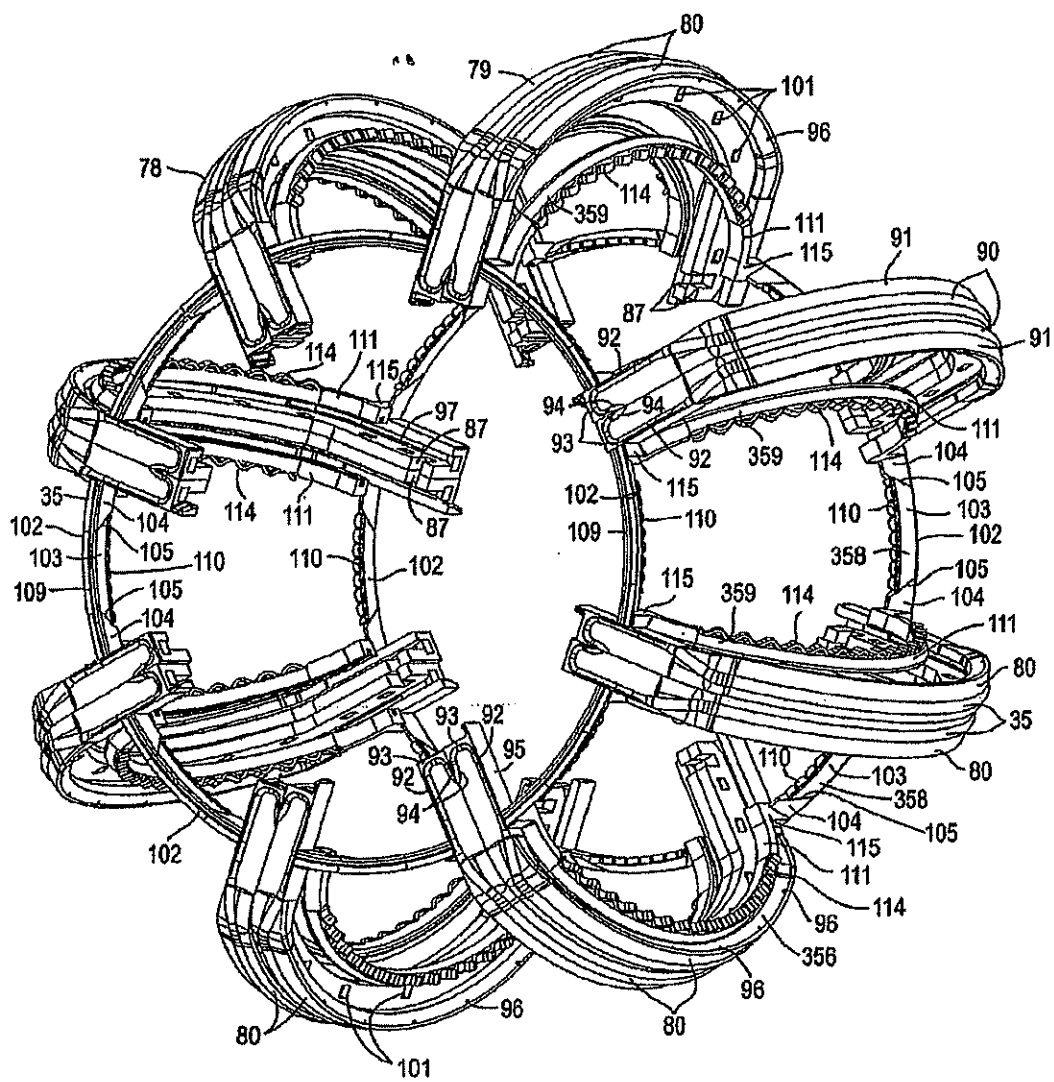


Fig. 7

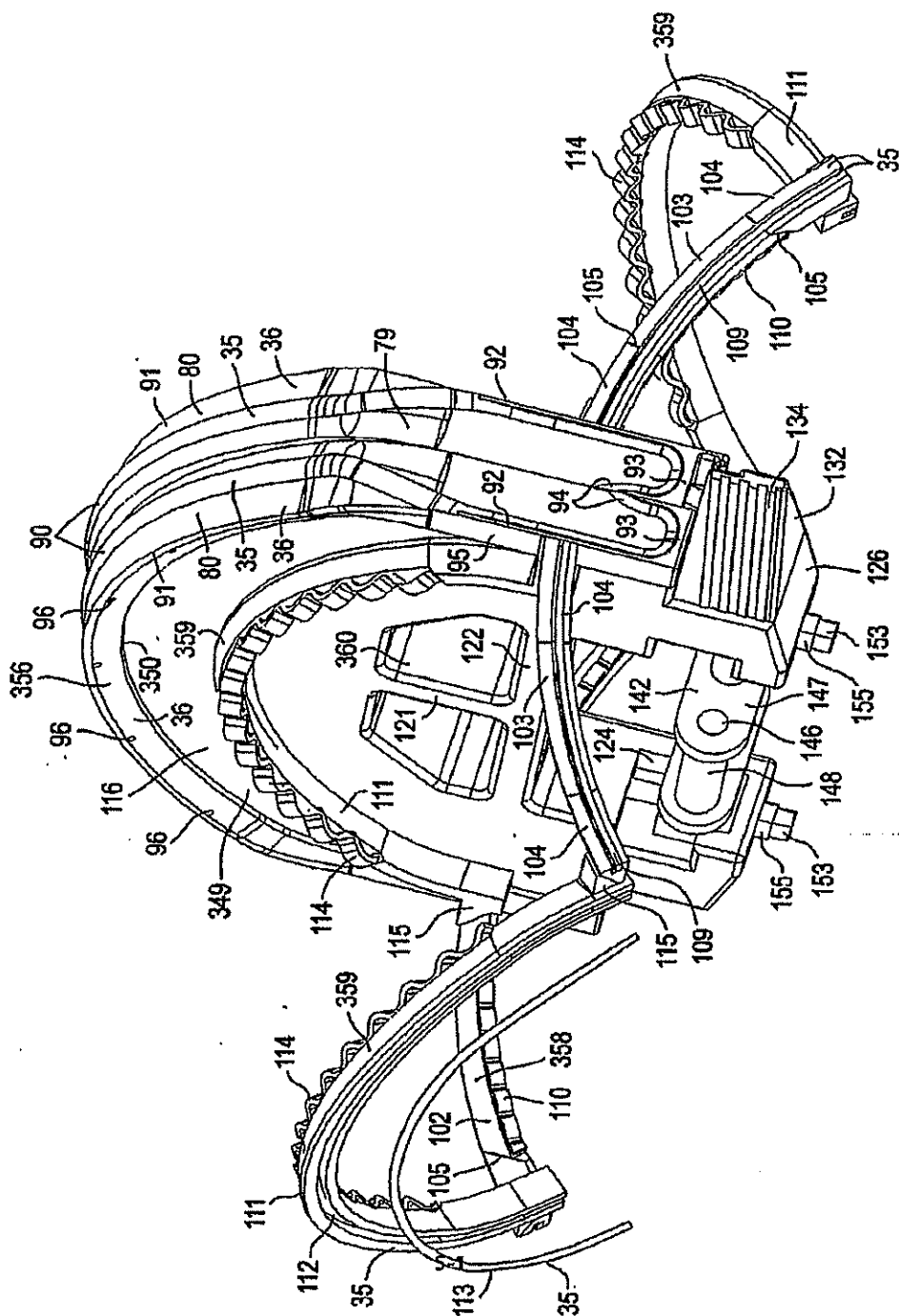


Fig. 8

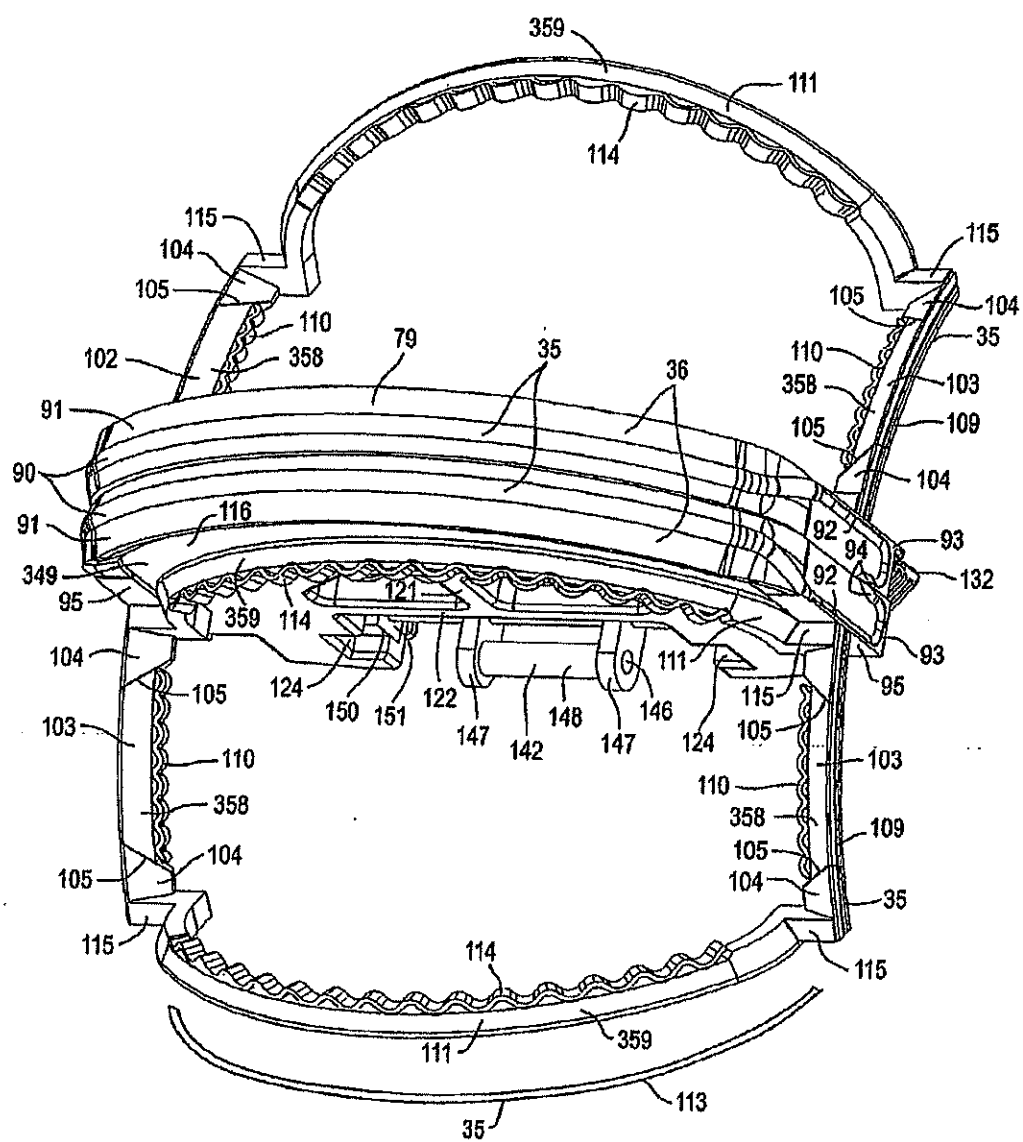


Fig. 9

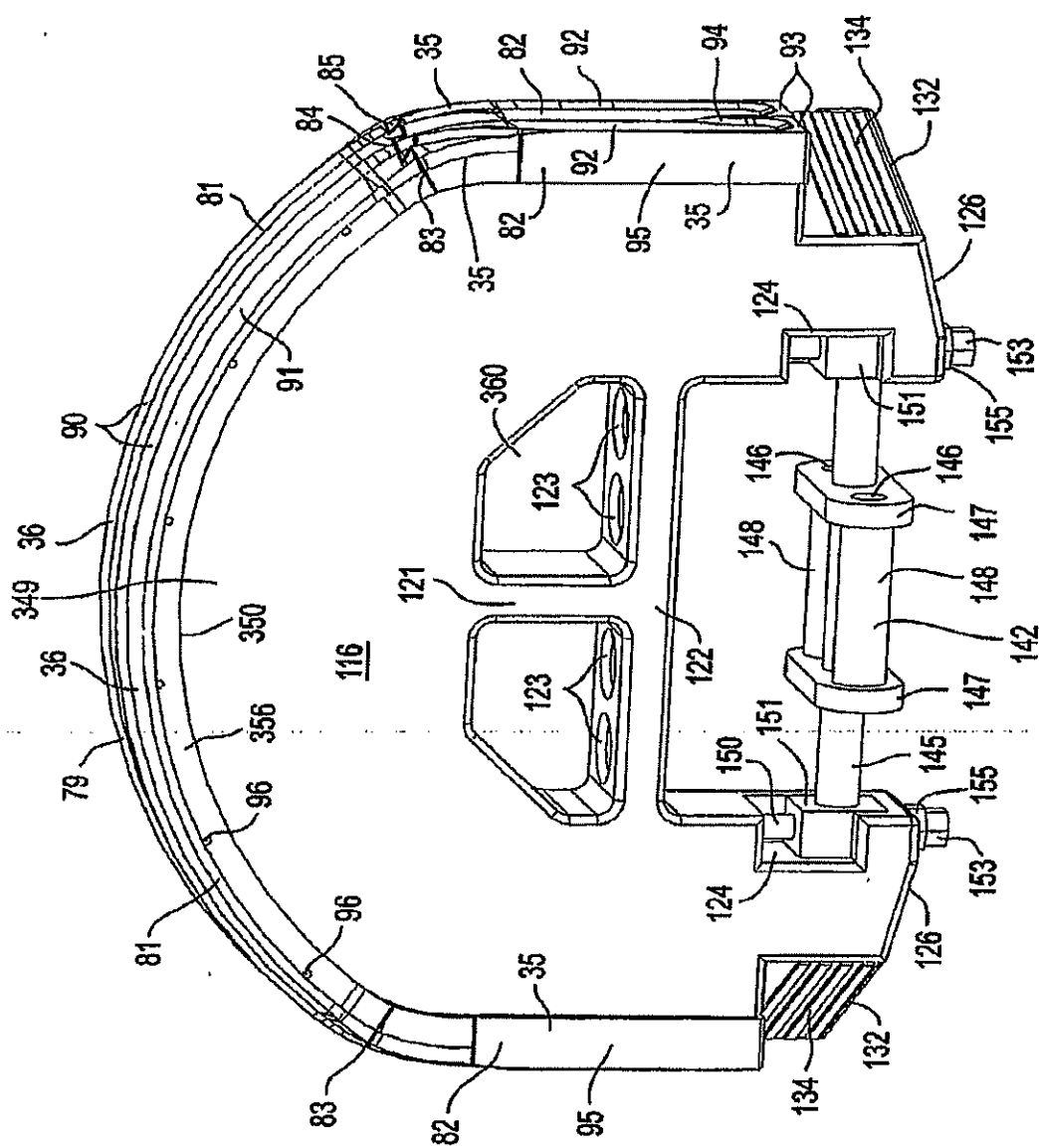


Fig. 11

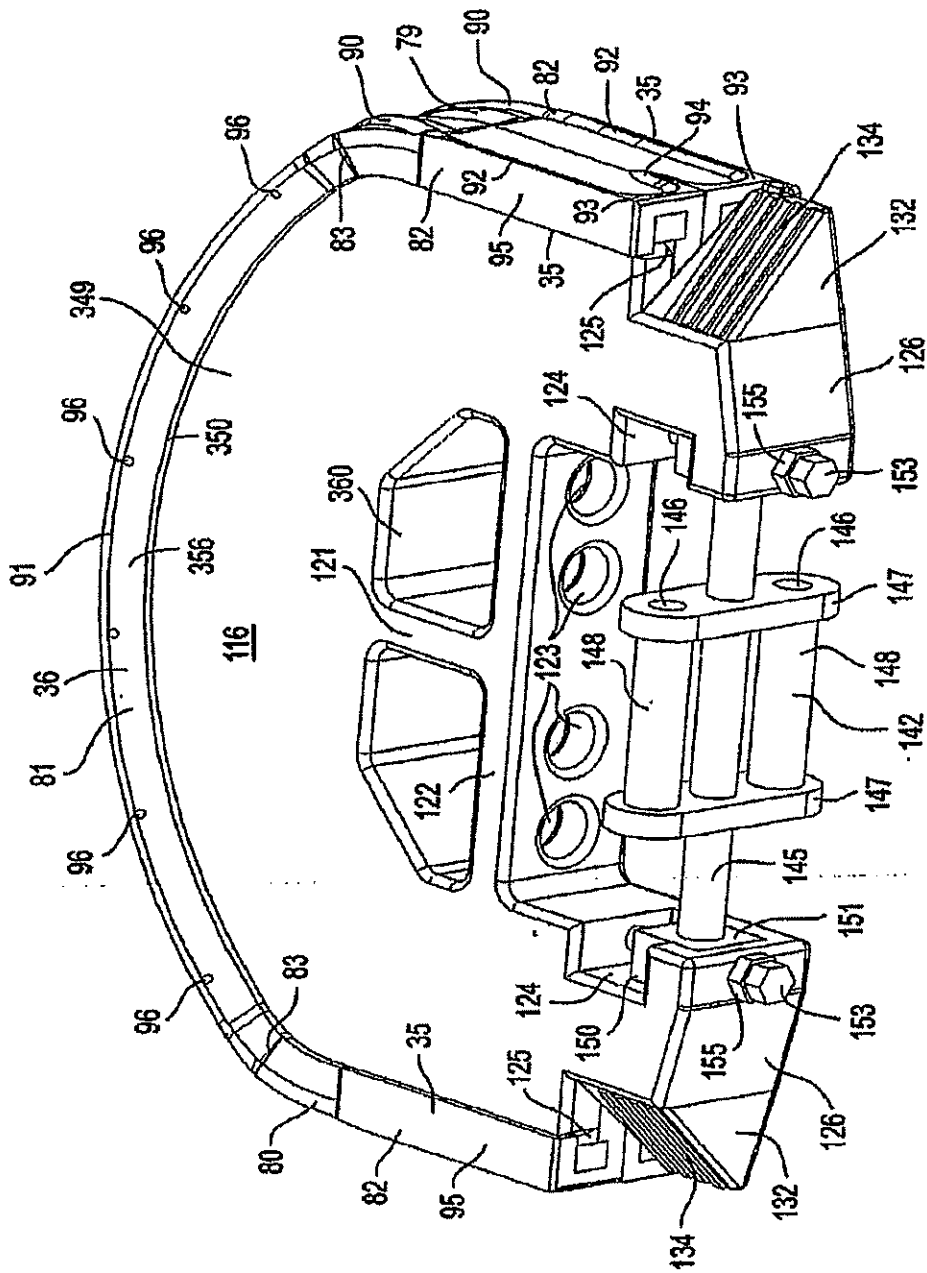


Fig. 12

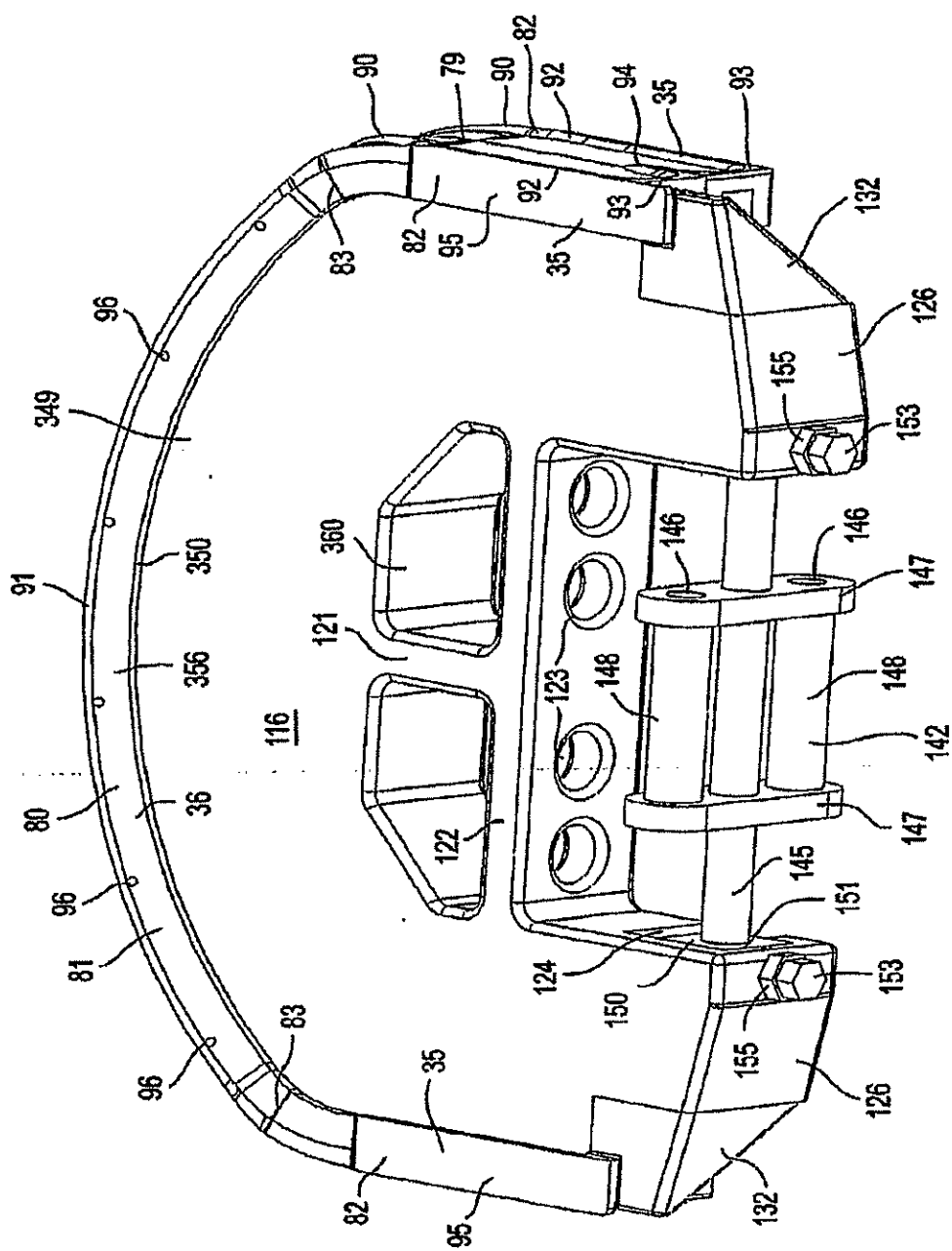


Fig. 13

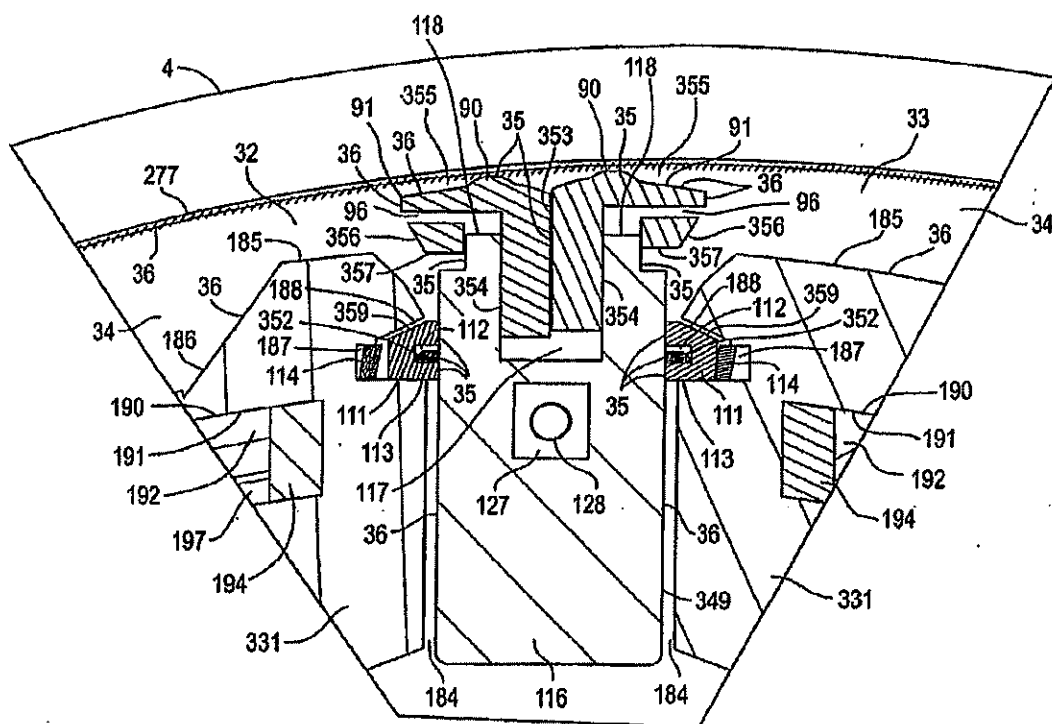


Fig. 14

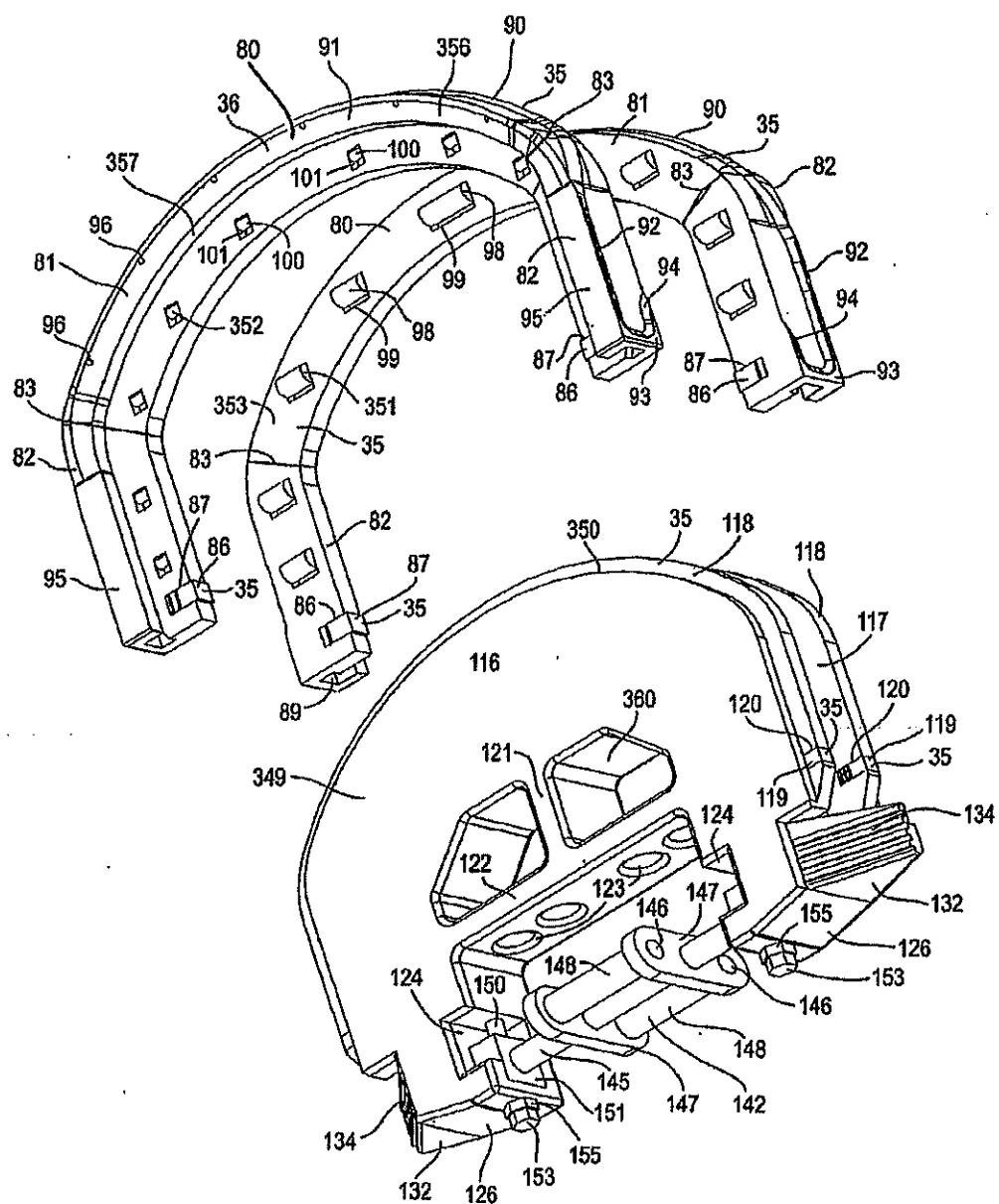


Fig. 15

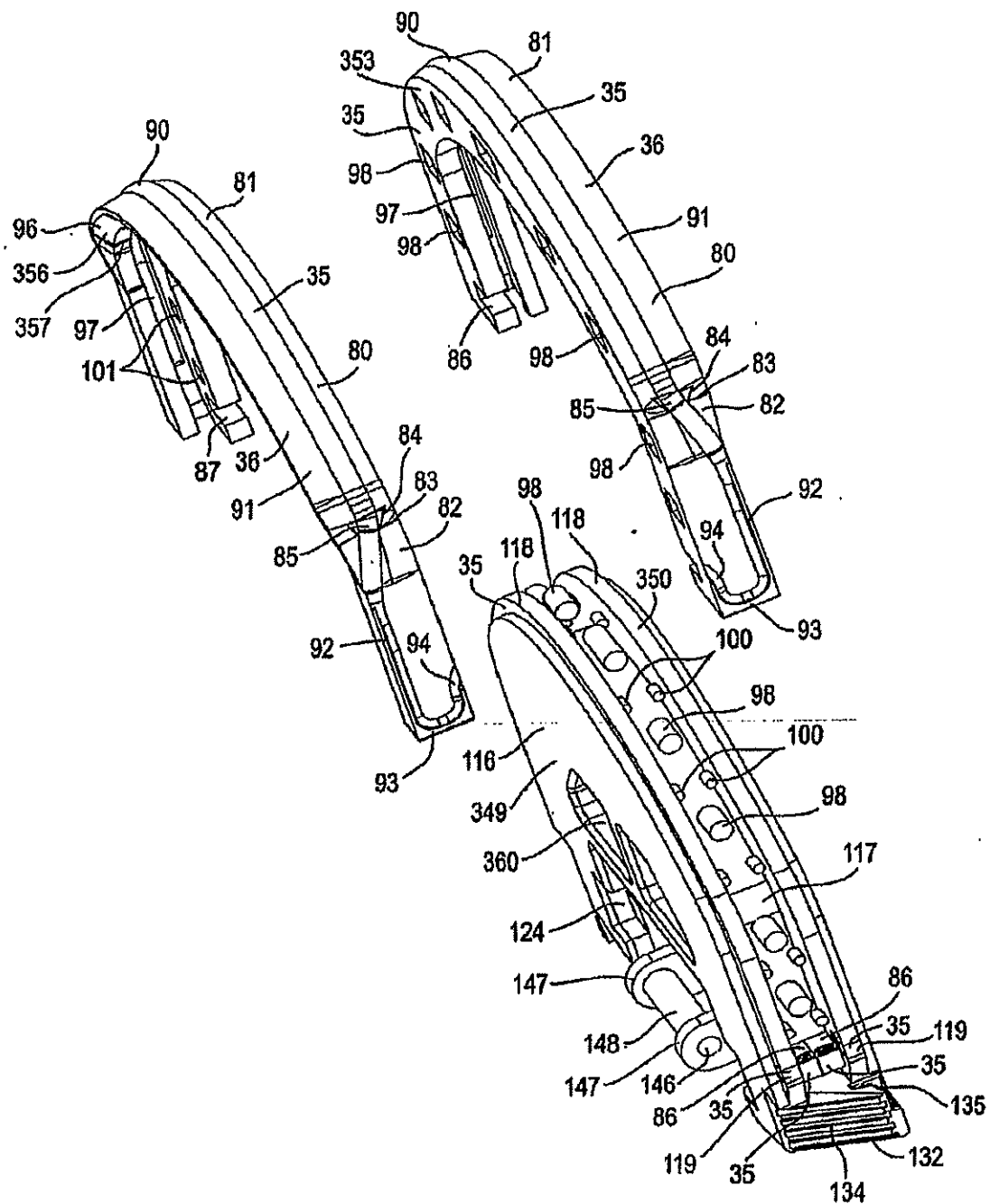


Fig. 16

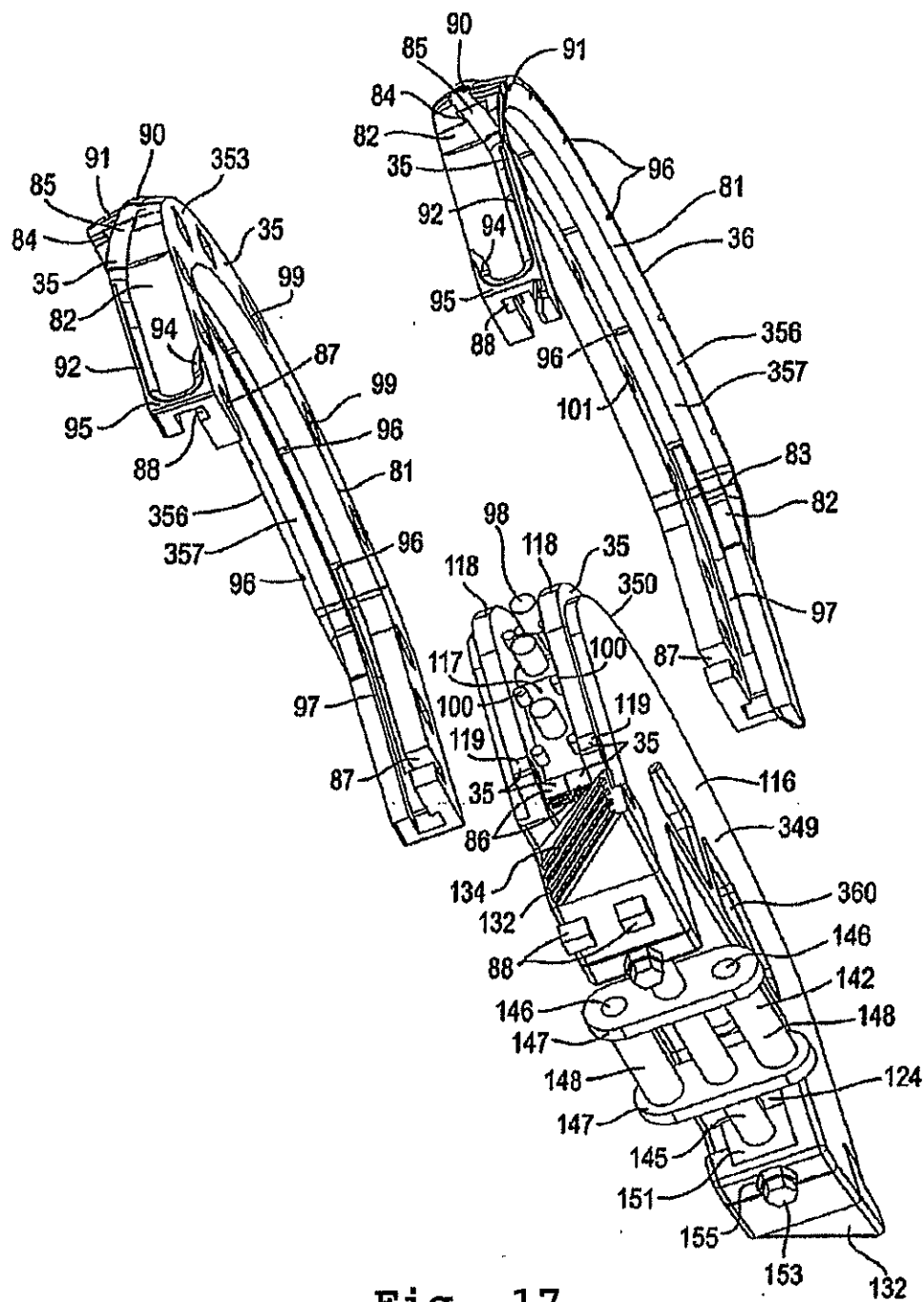


Fig. 17

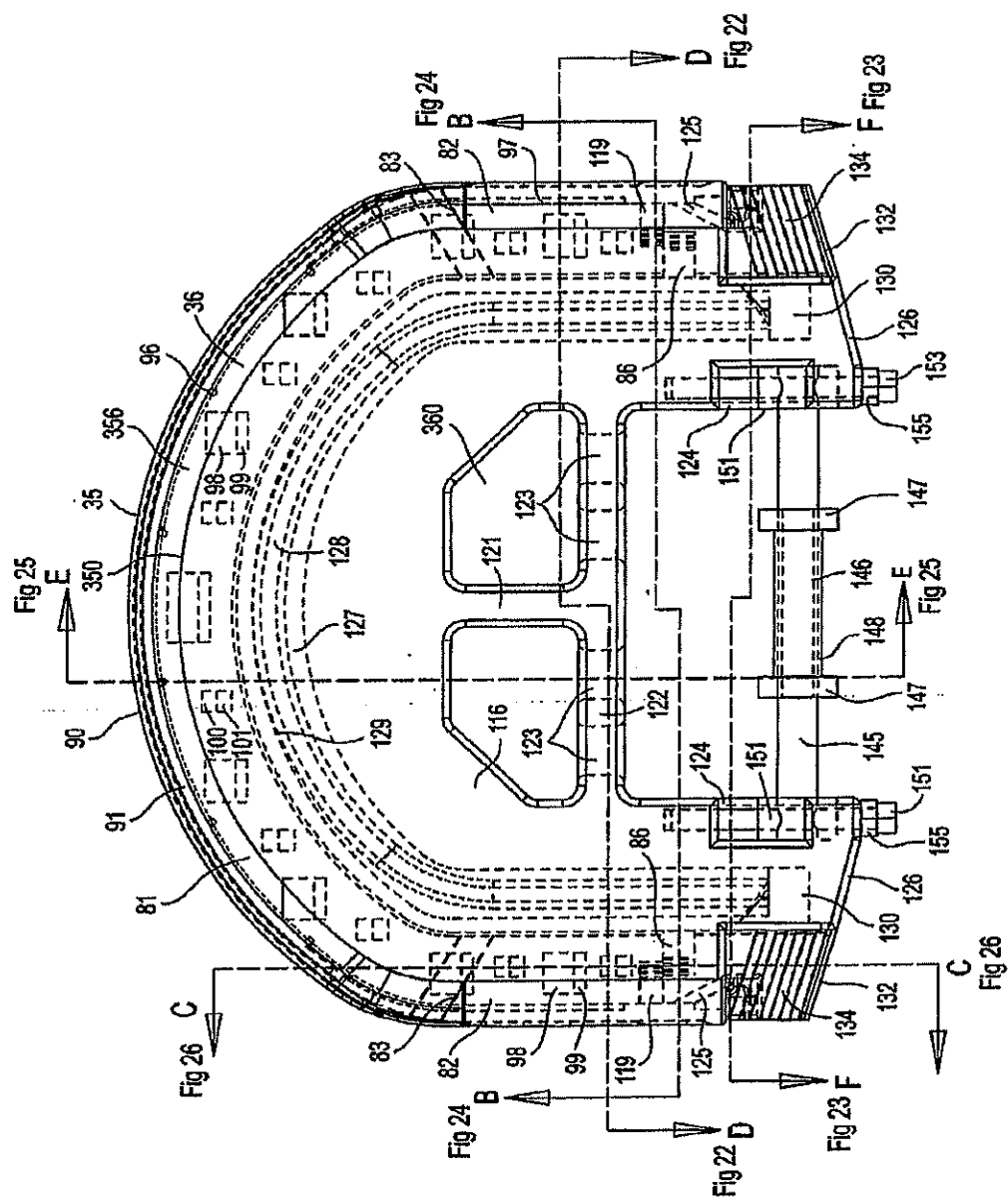


Fig. 18

19/65

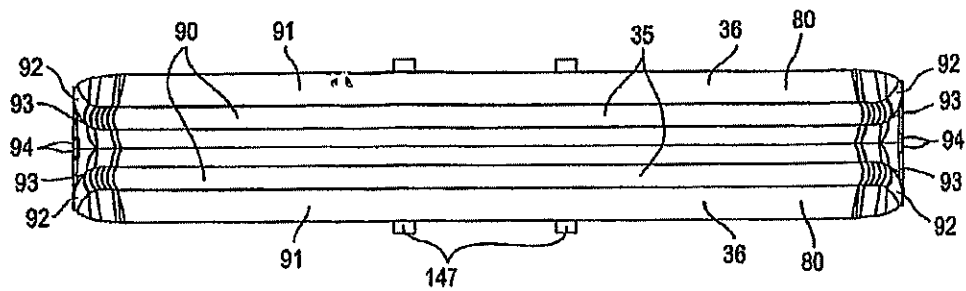


Fig. 19

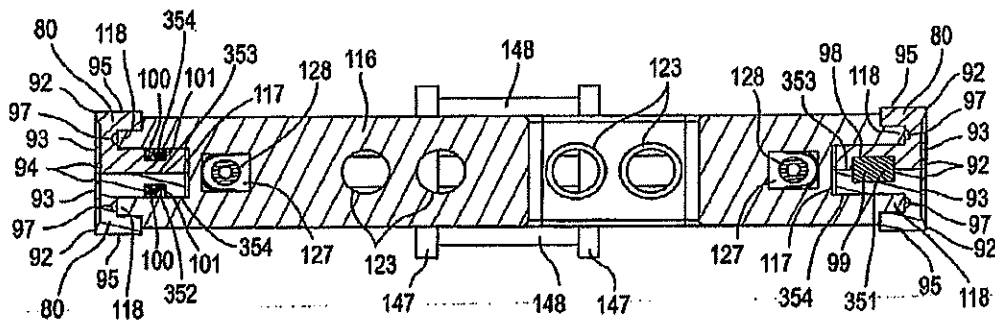


Fig. 22

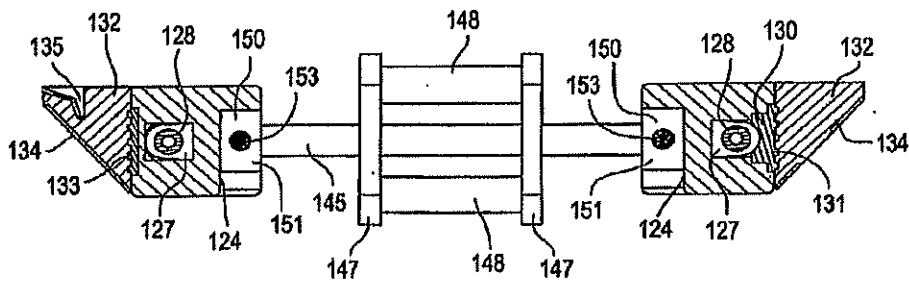


Fig. 23

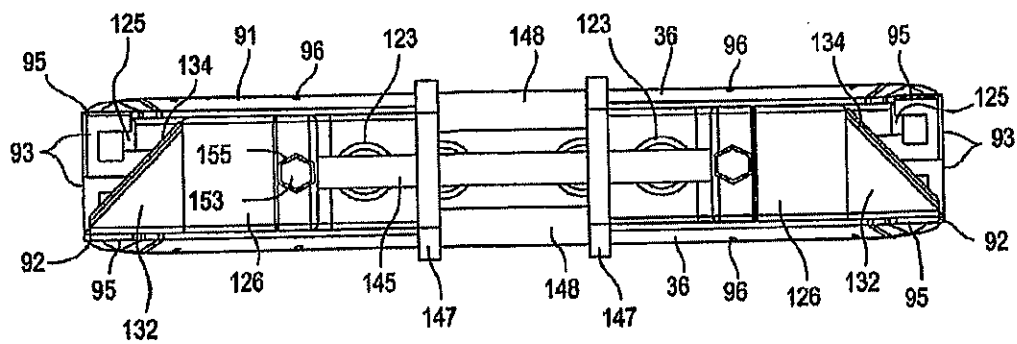


Fig. 20

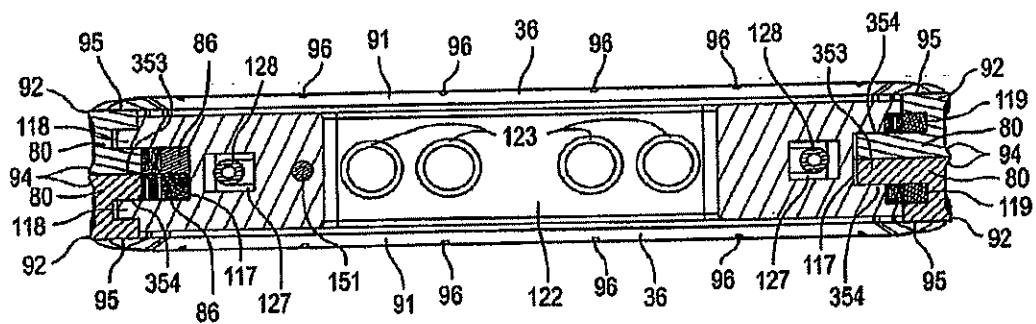


Fig. 24

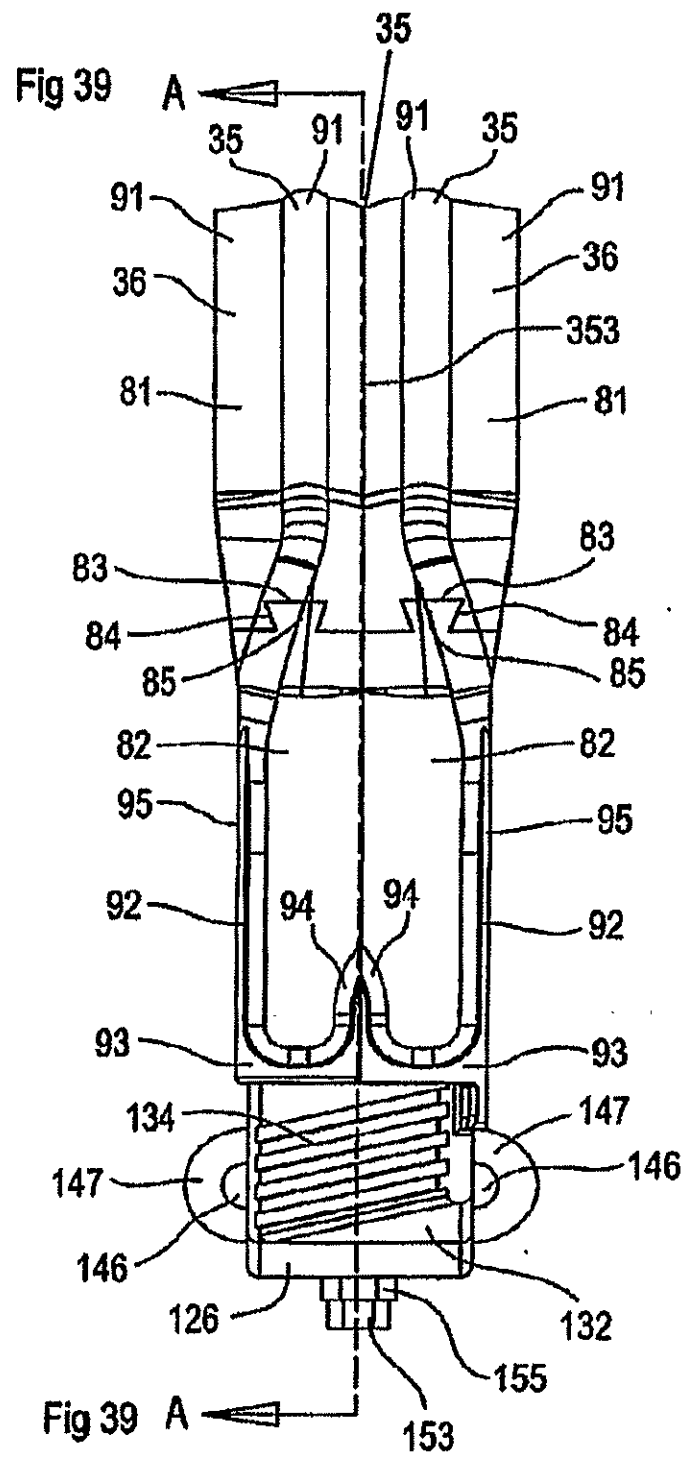


Fig. 21

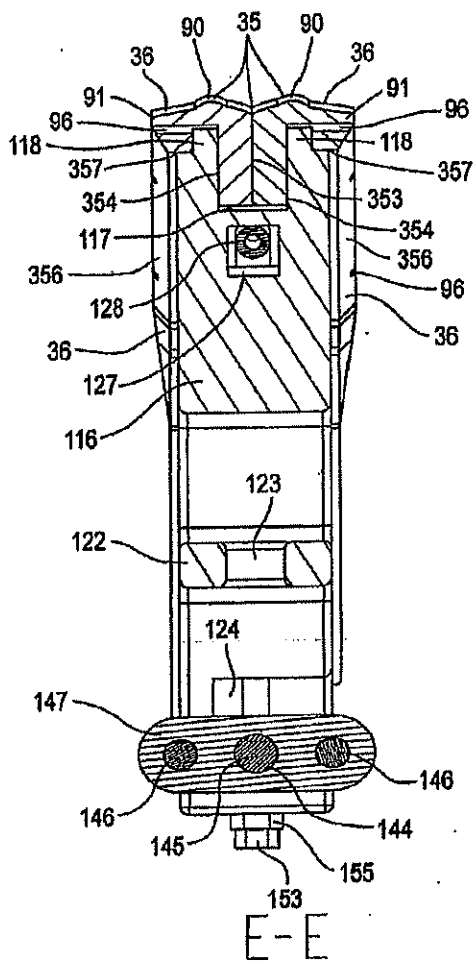


Fig. 25

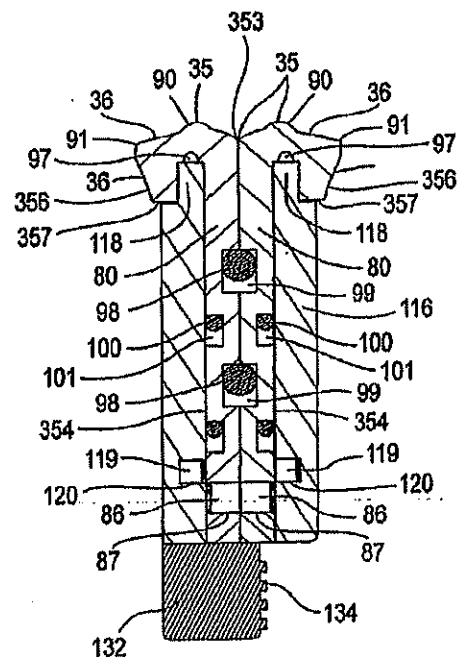


Fig. 26

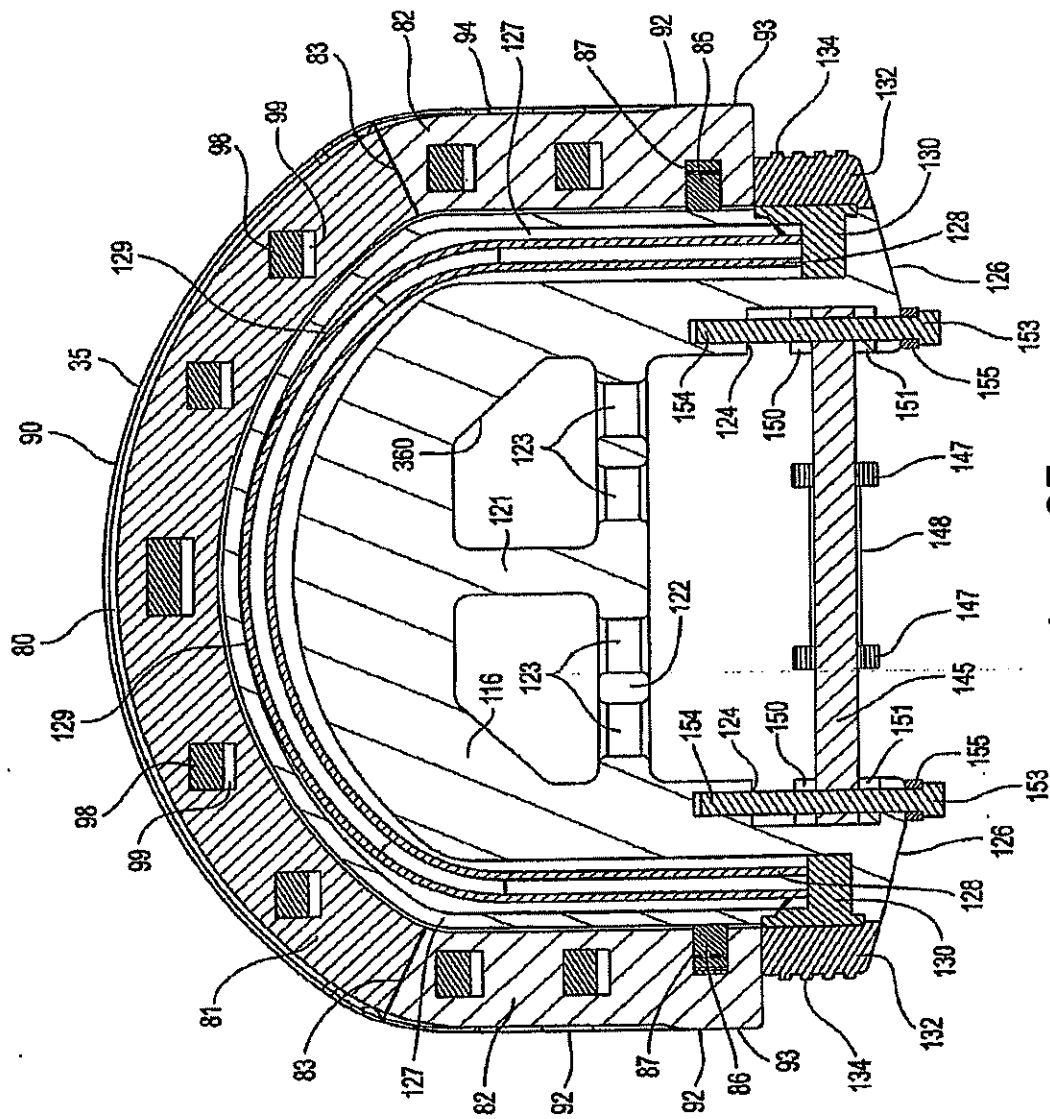


Fig. 27

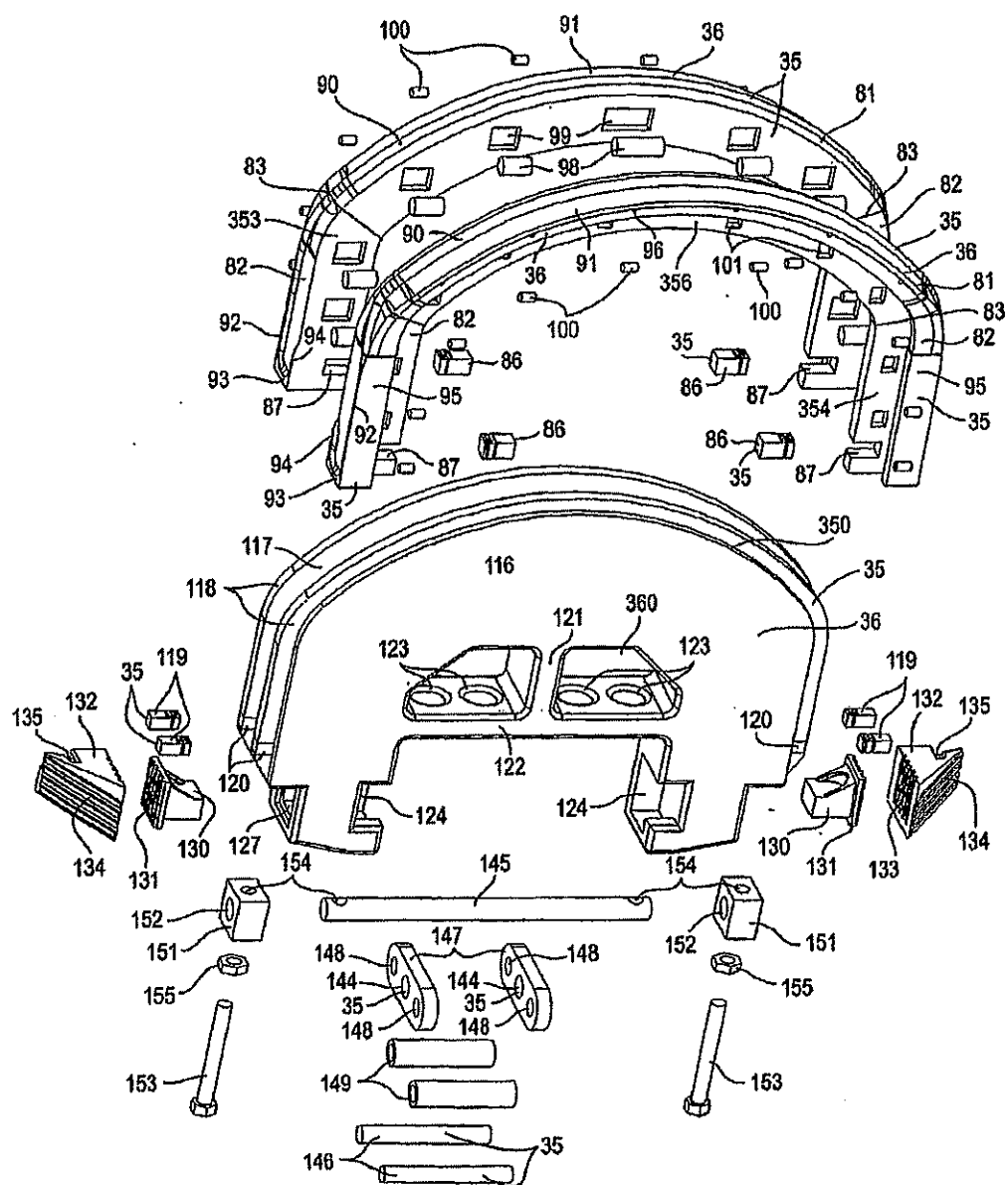


Fig. 28

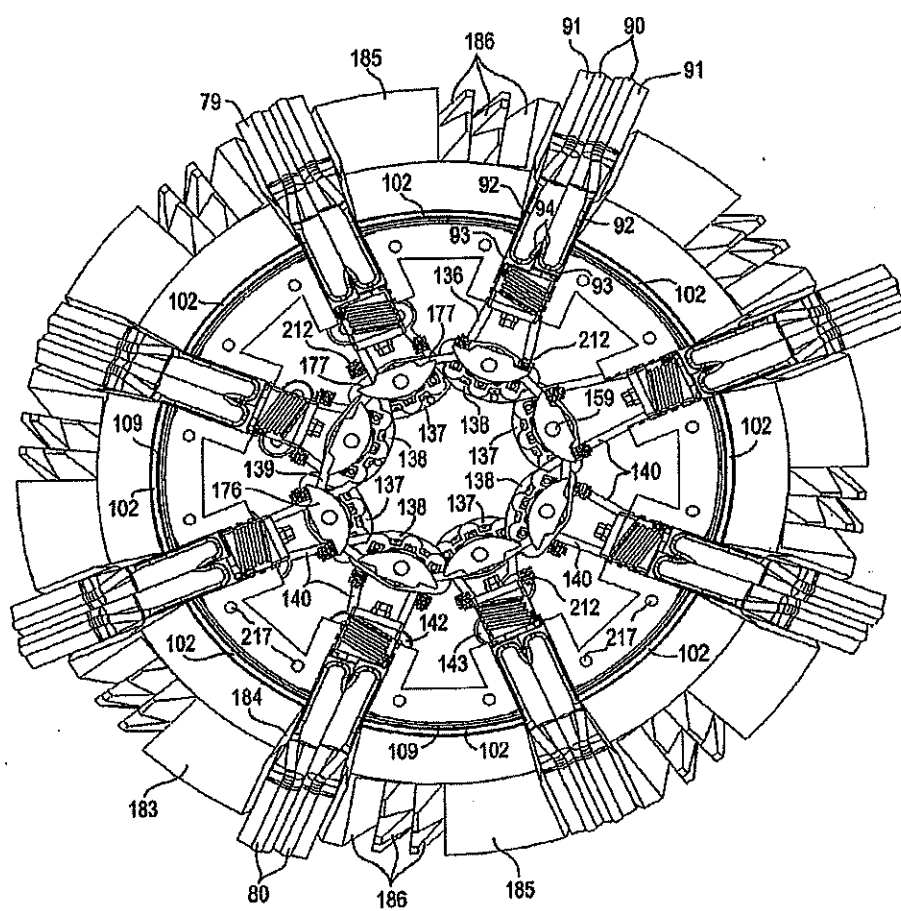


Fig. 30

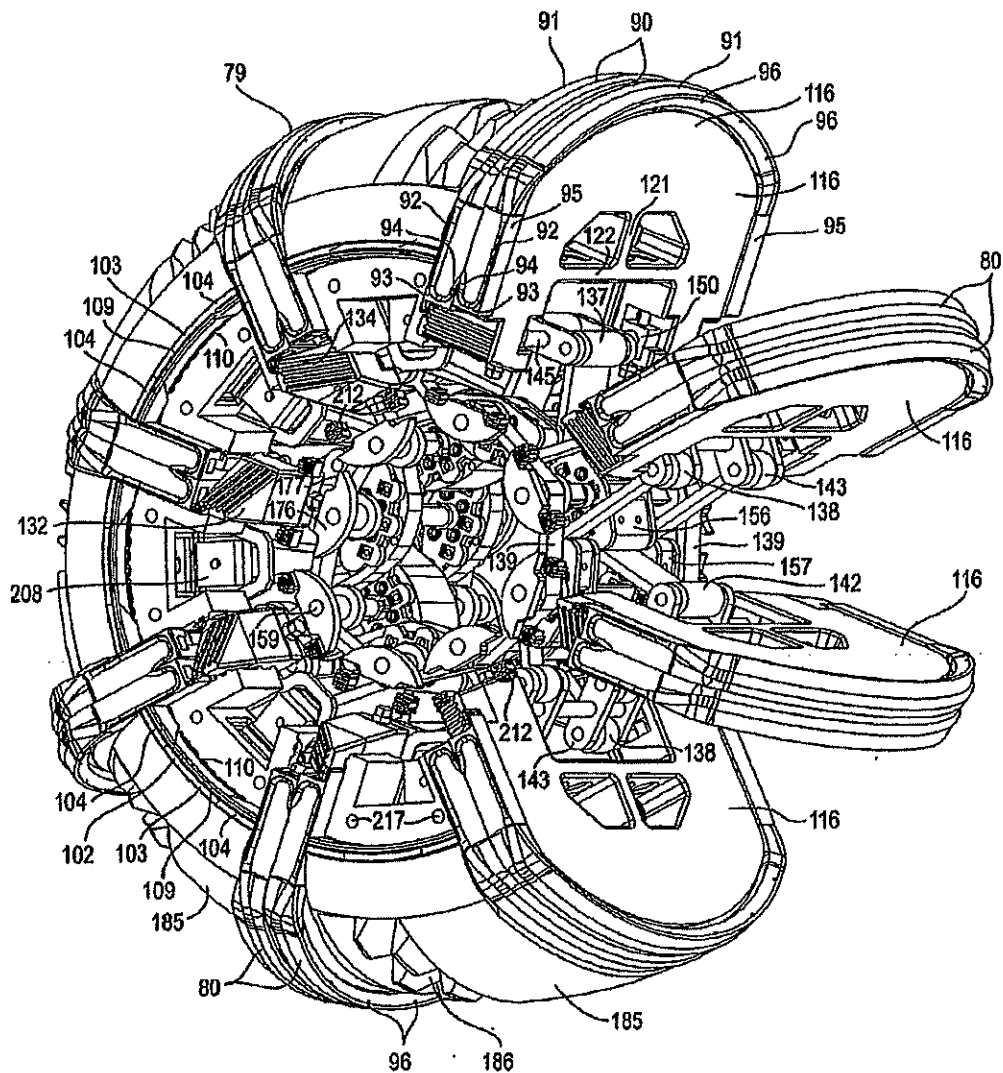


Fig. 31

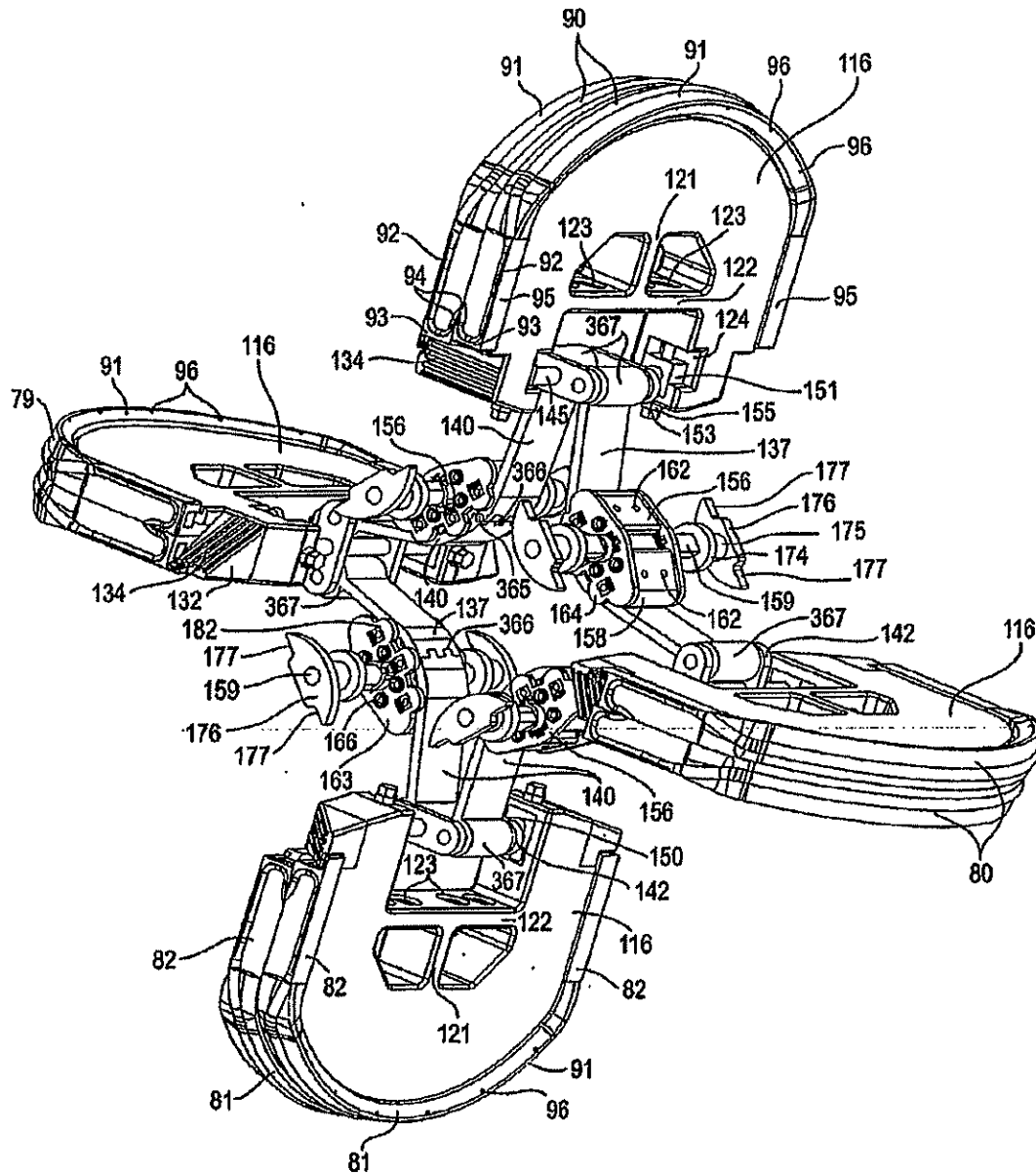


Fig. 32

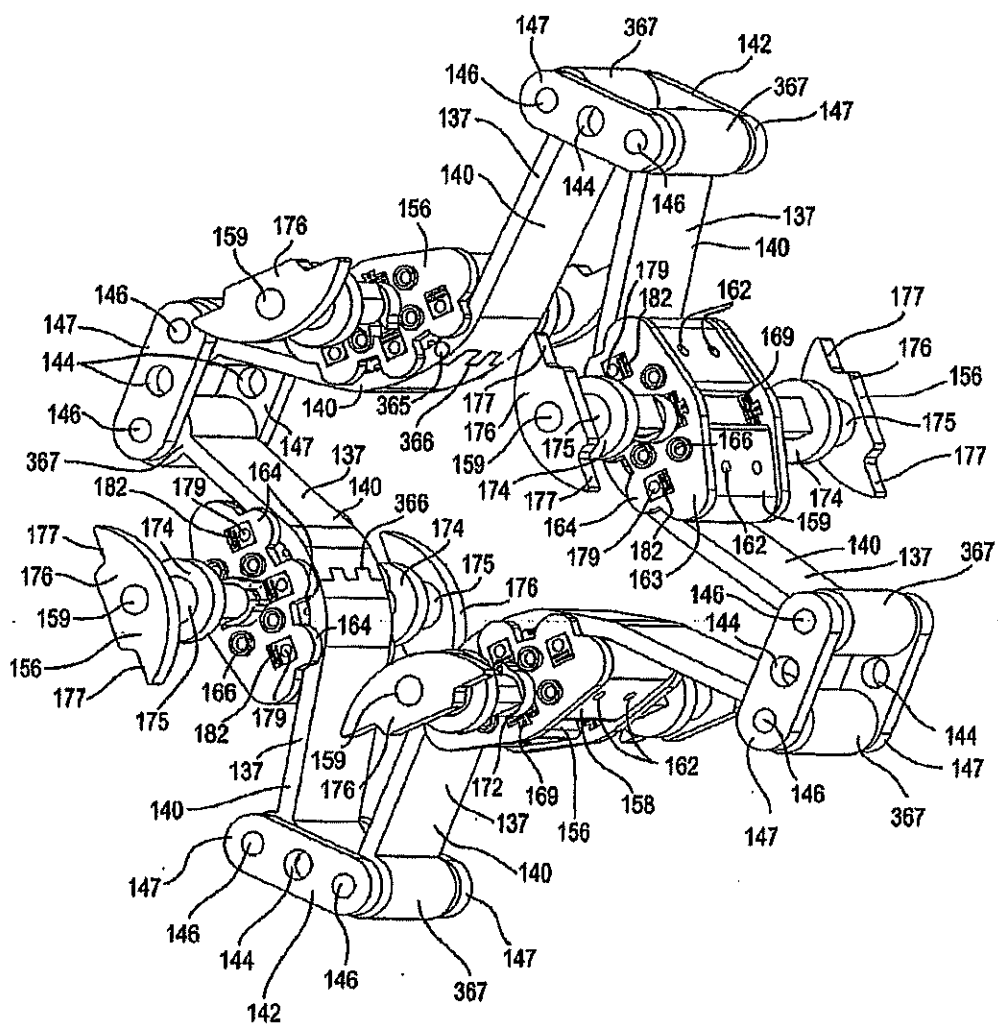


Fig. 33

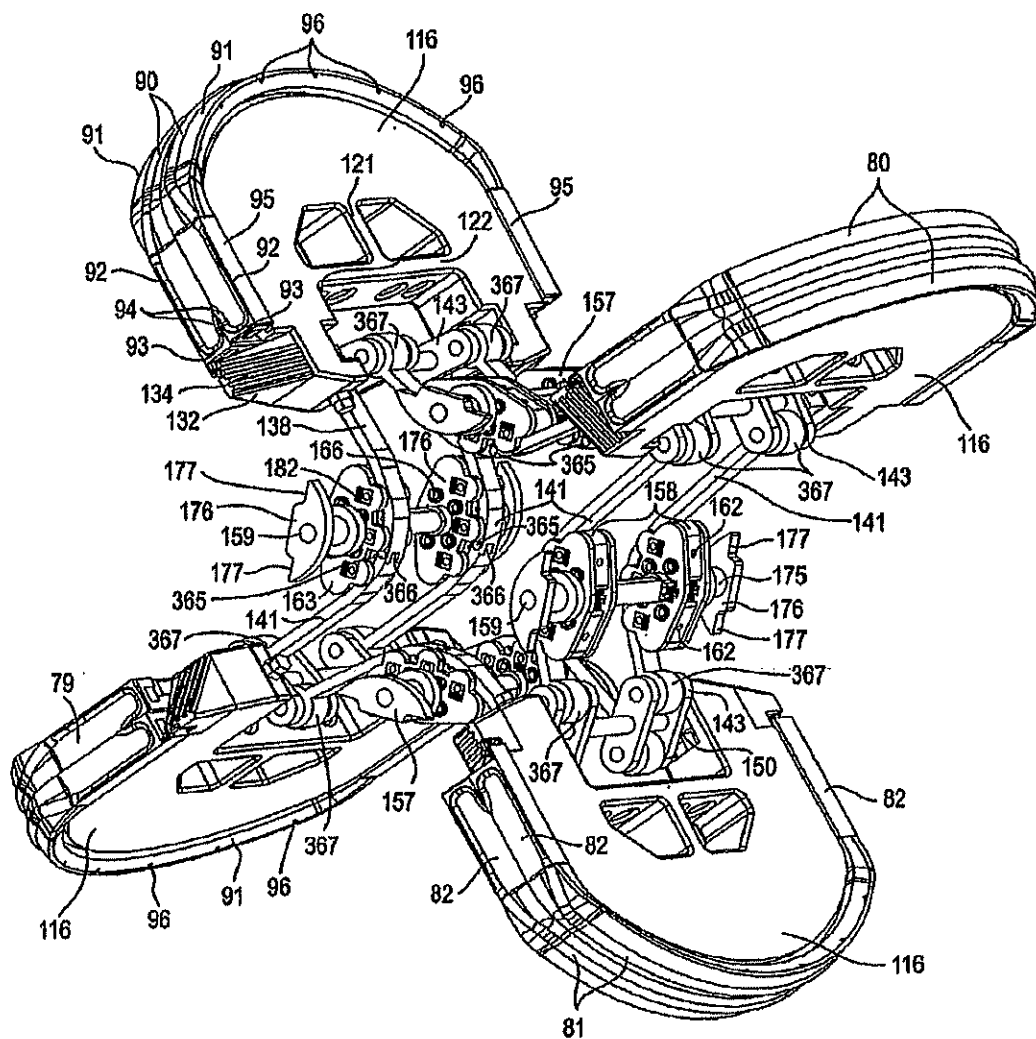


Fig. 34

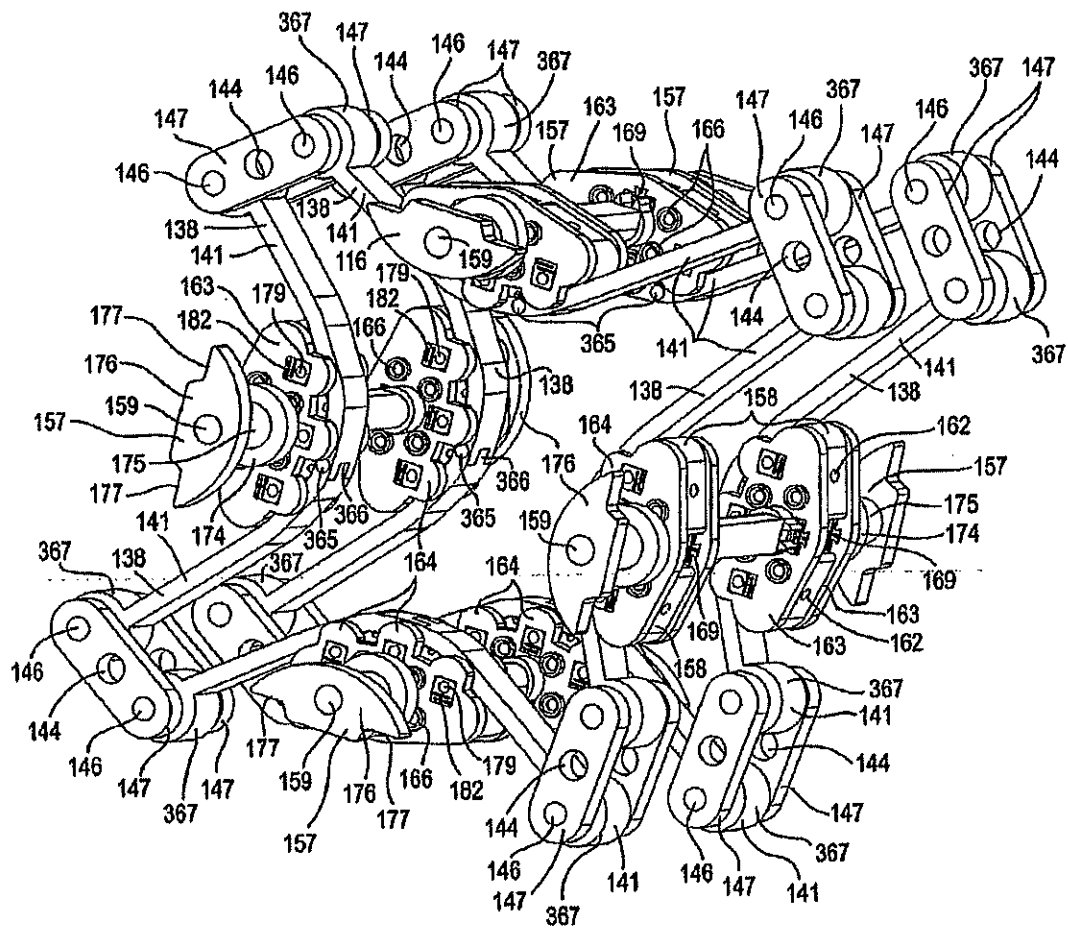


Fig. 35

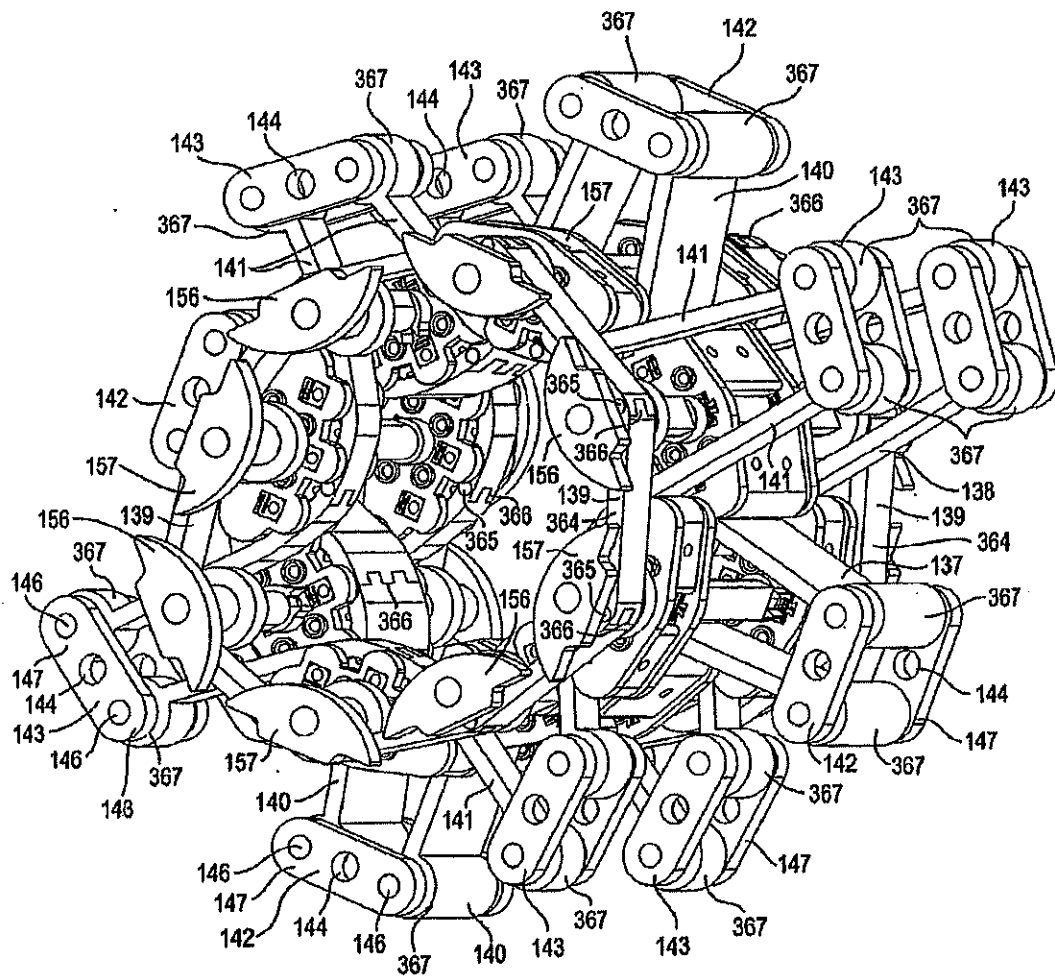


Fig. 36

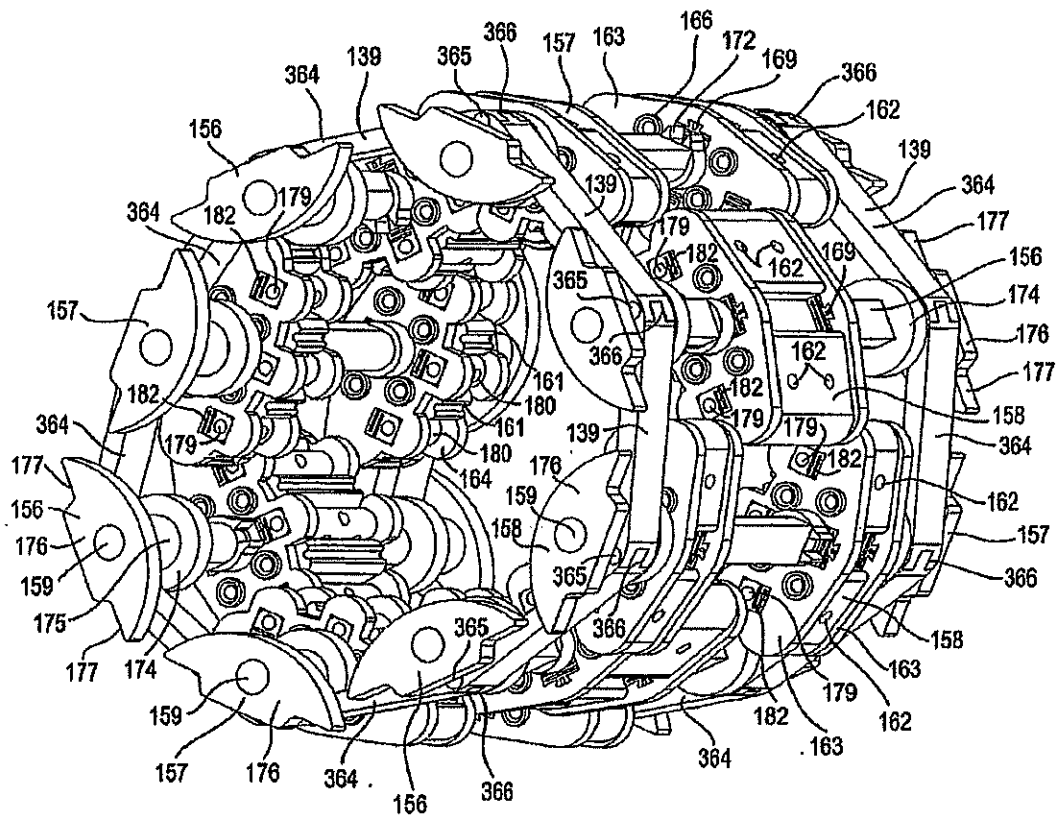


Fig. 37

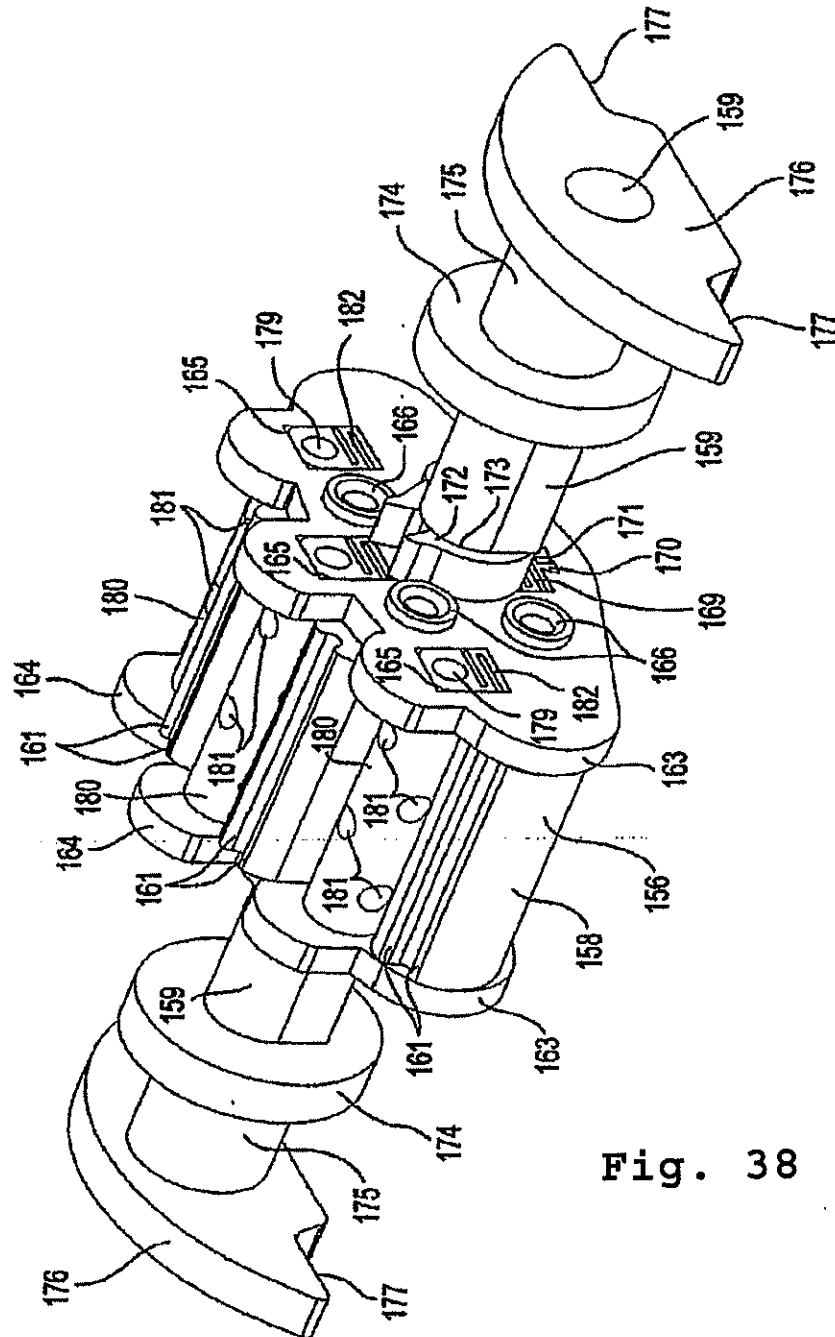


Fig. 38

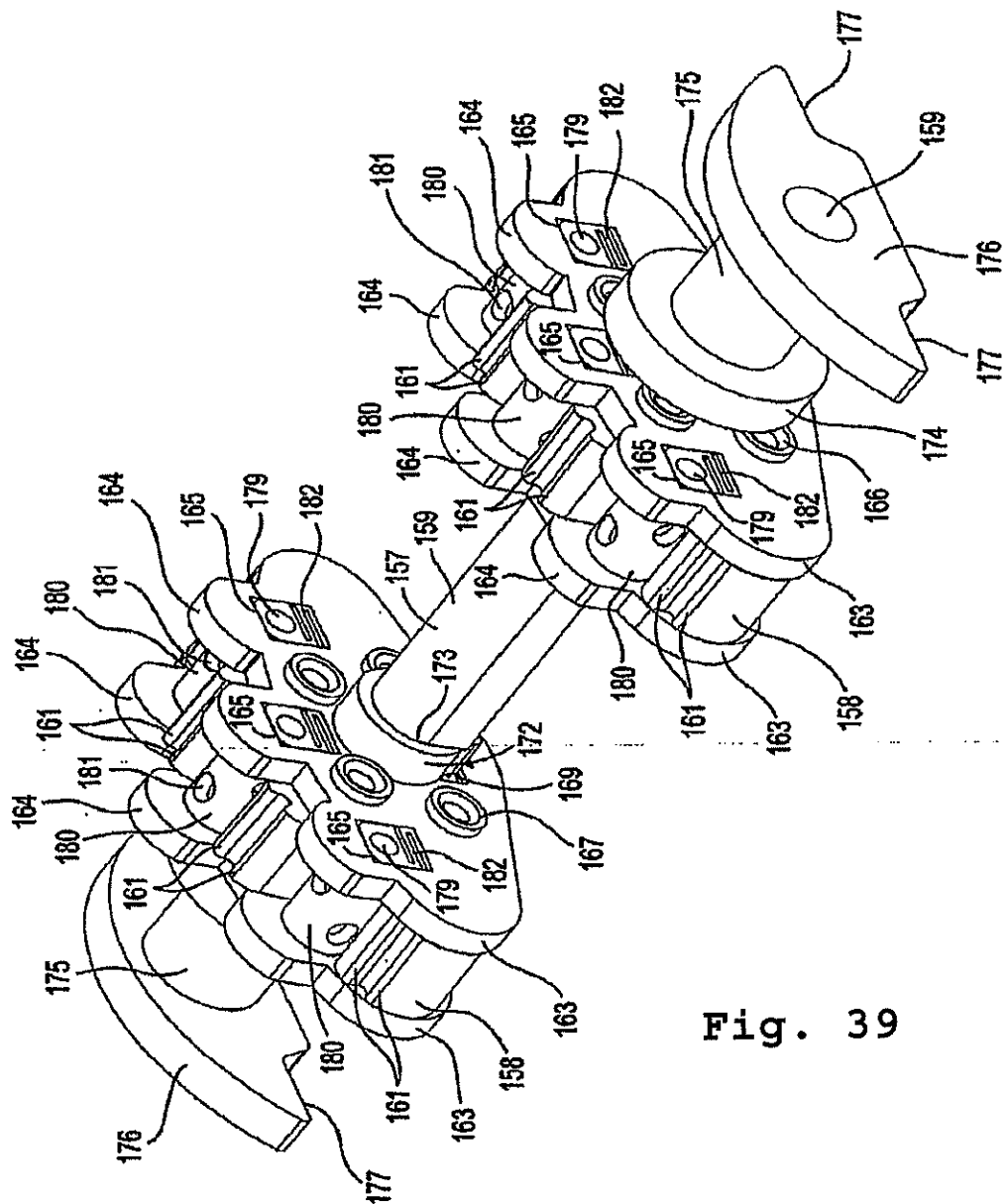


Fig. 39

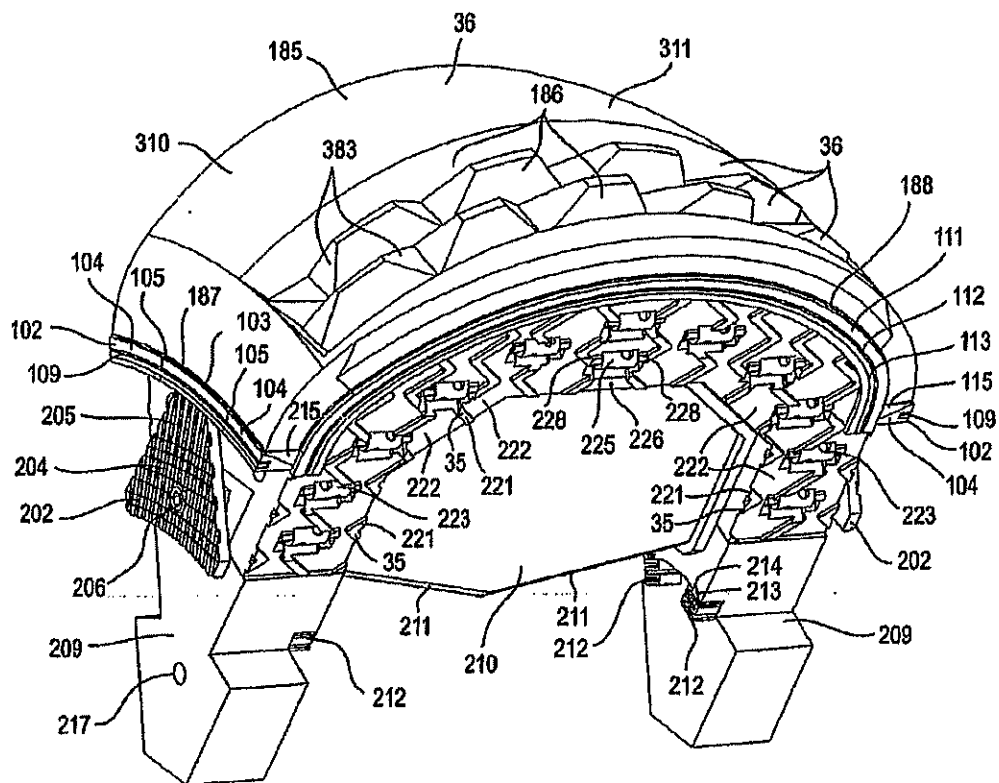


Fig. 40

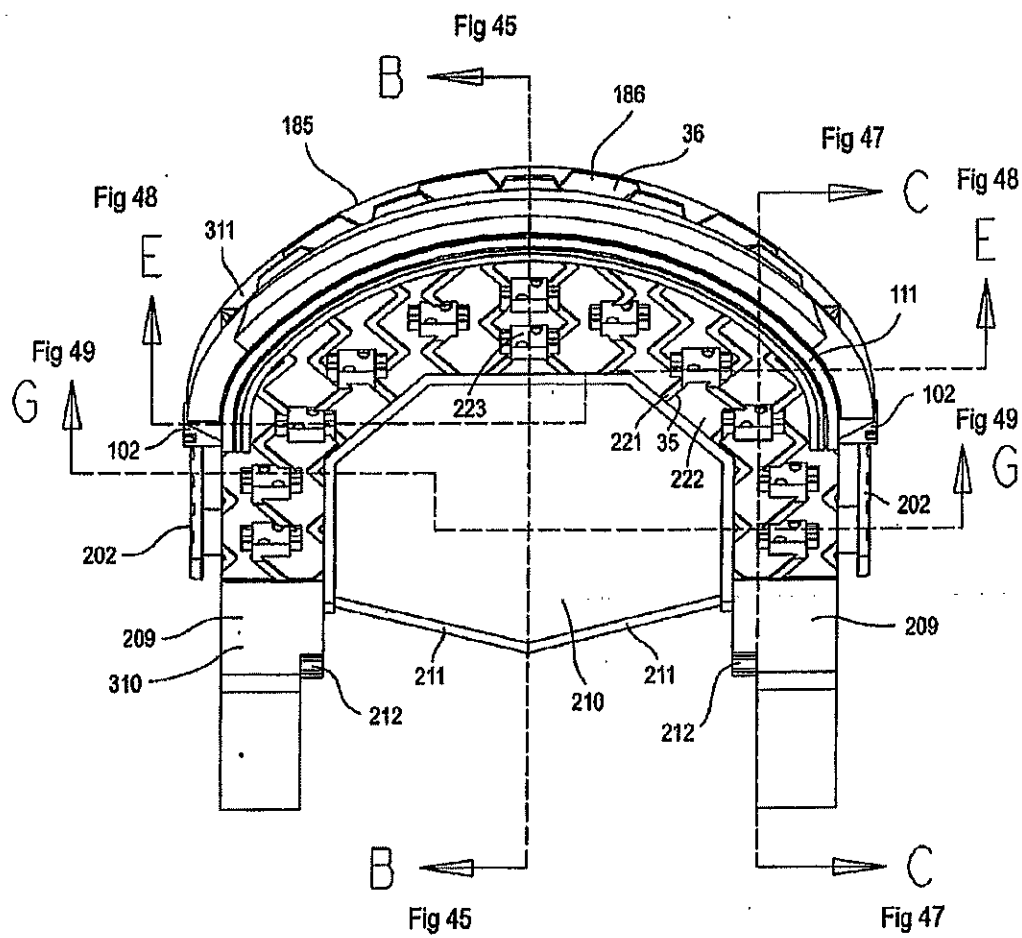
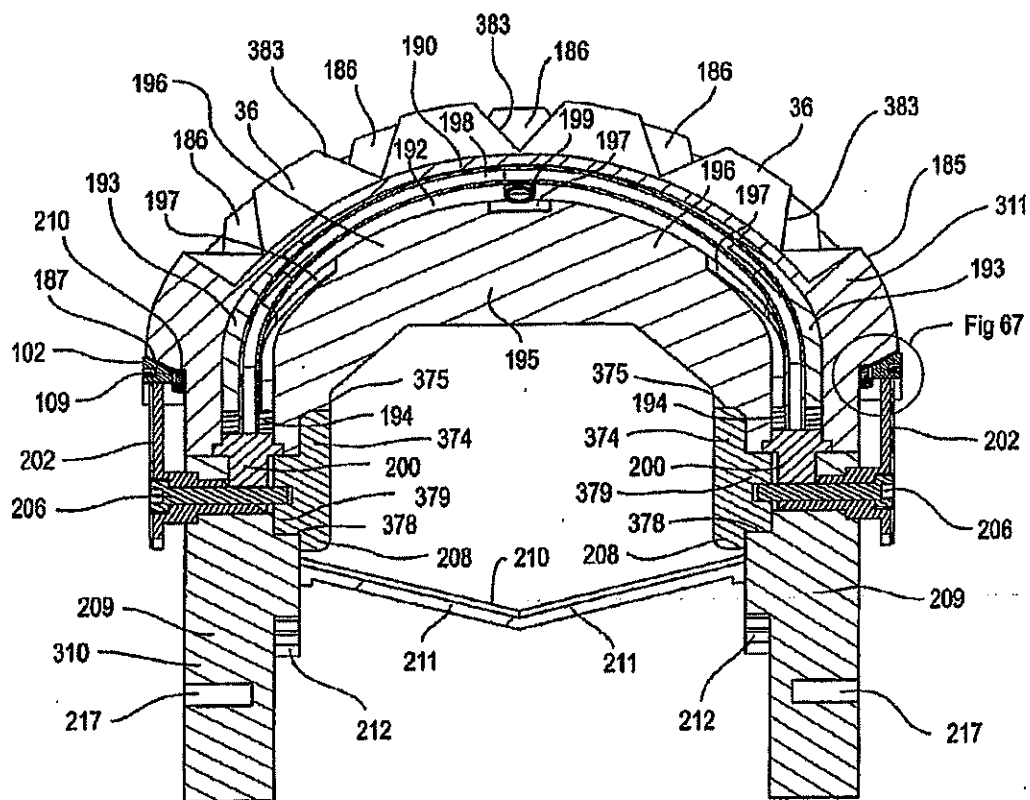


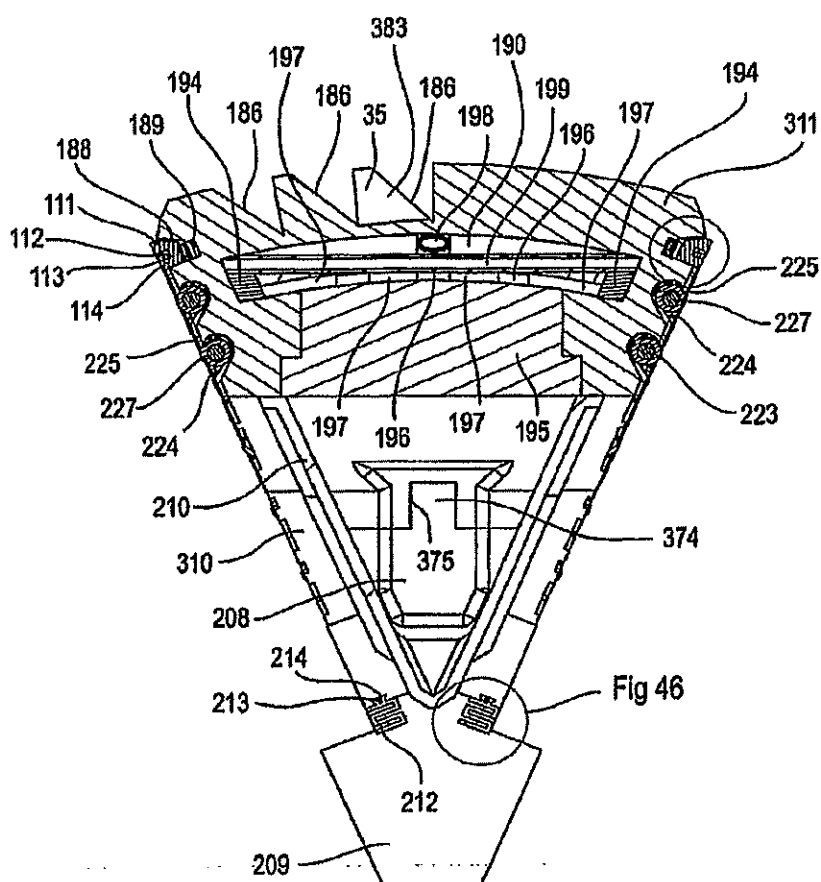
Fig. 42

39 / 65



SECTION . A-A

Fig. 43



SECTION B-B

Fig. 45

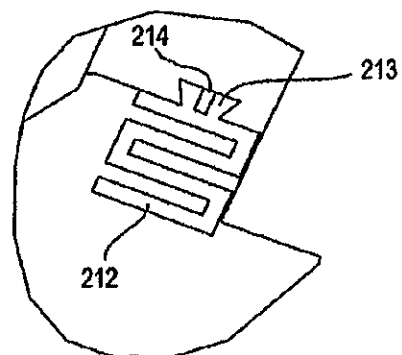
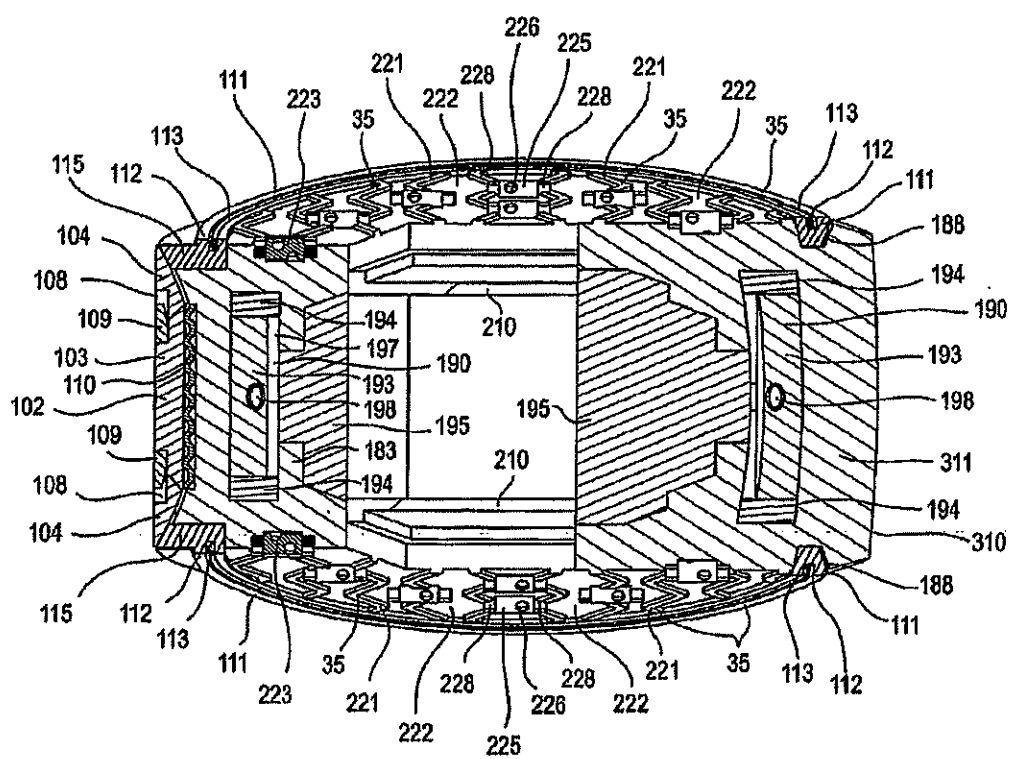
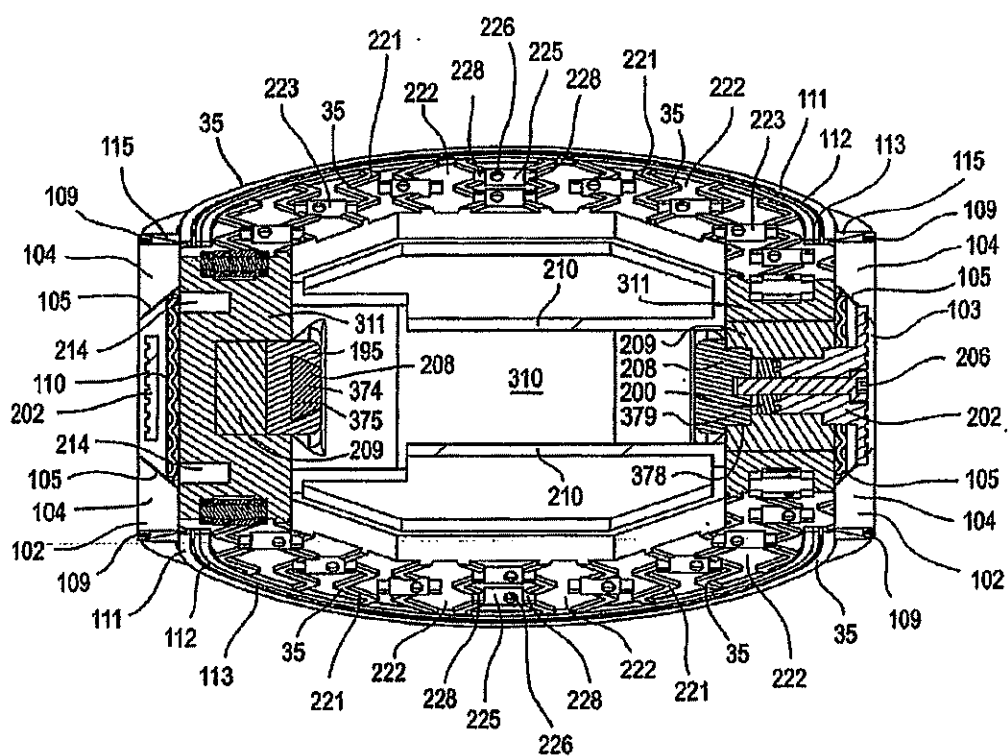


Fig. 46



SECTION E-E

Fig. 48



SECTION G-G

Fig. 49

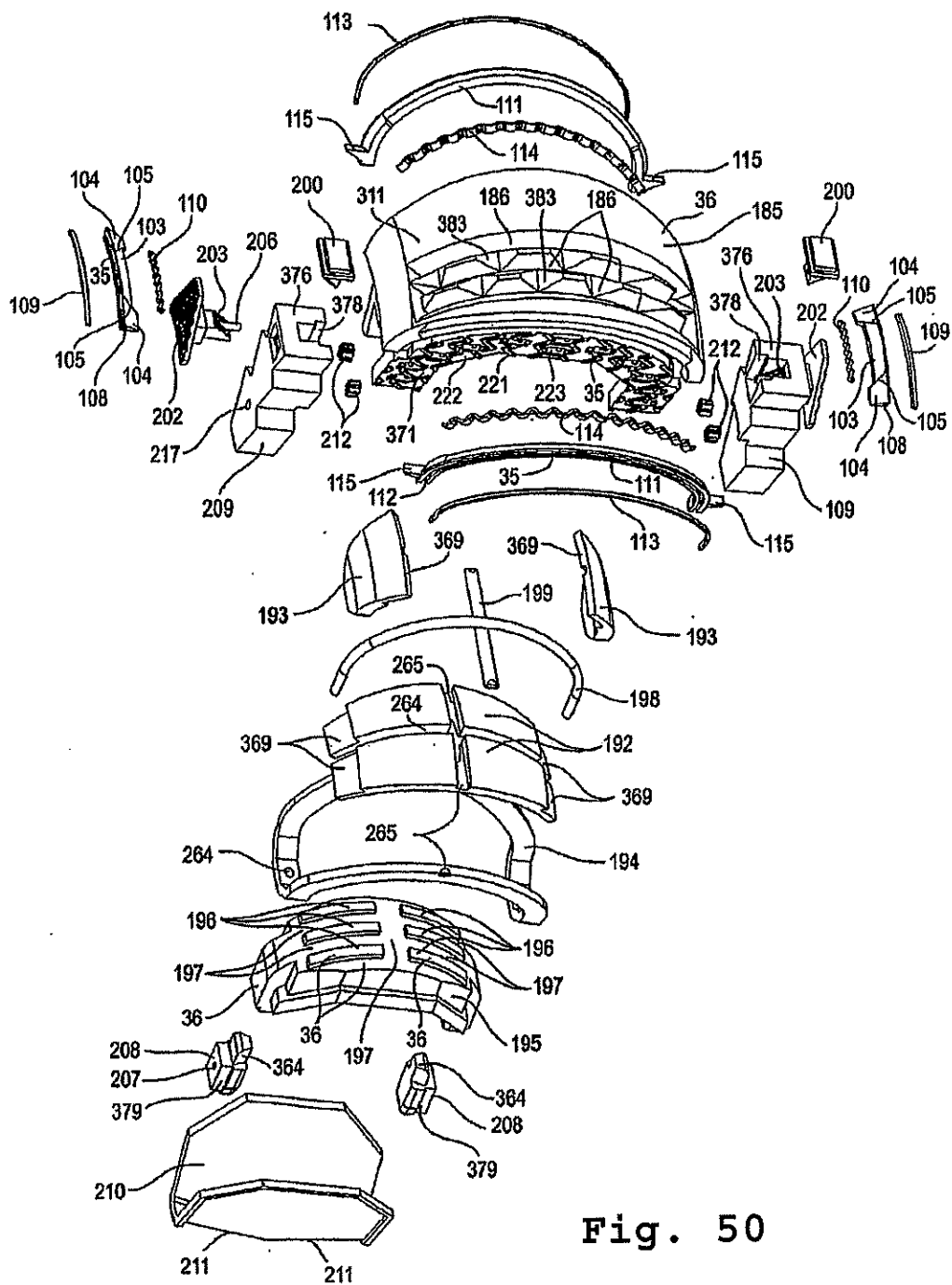


Fig. 50

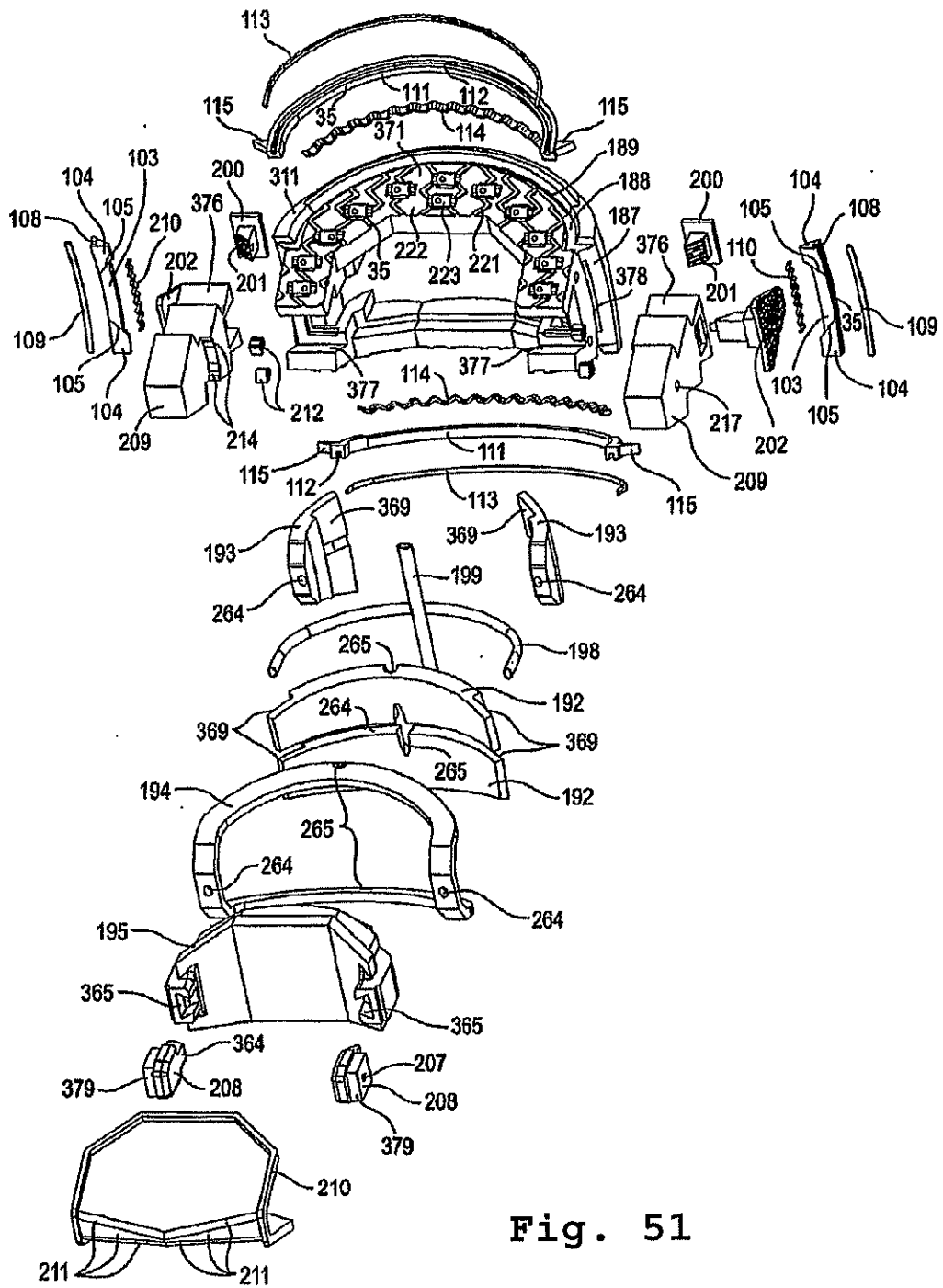


Fig. 51

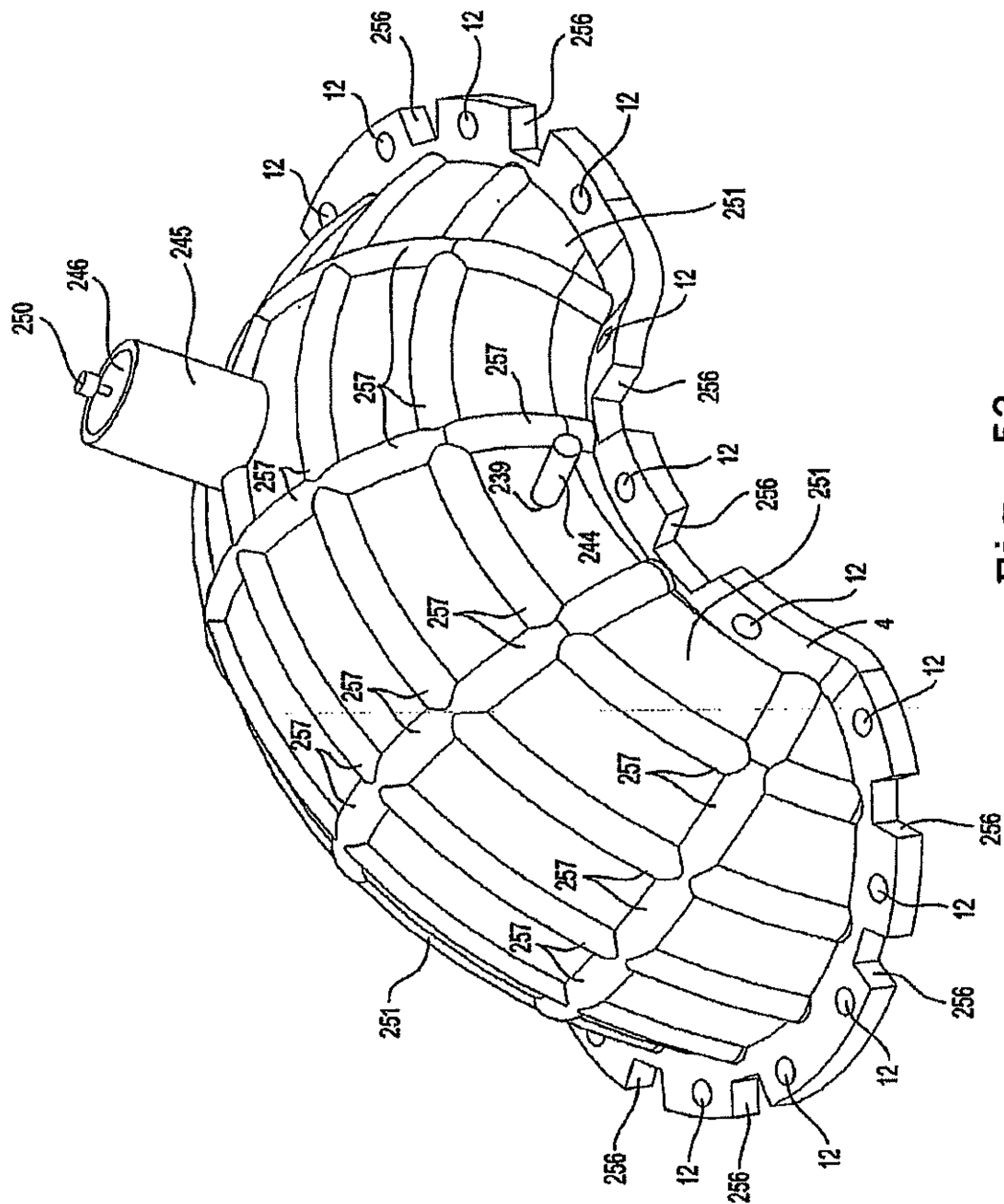


Fig. 52

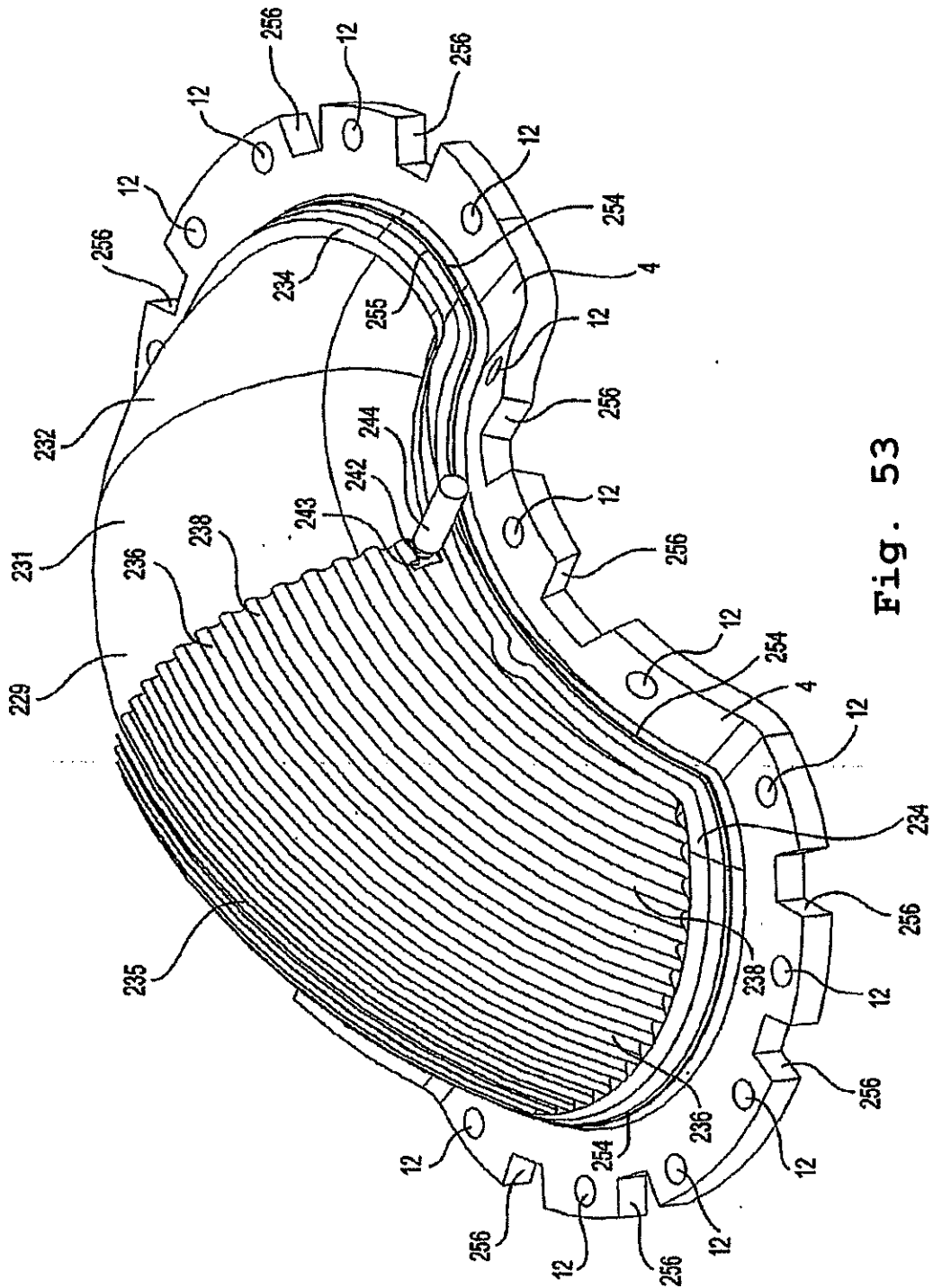


Fig. 53

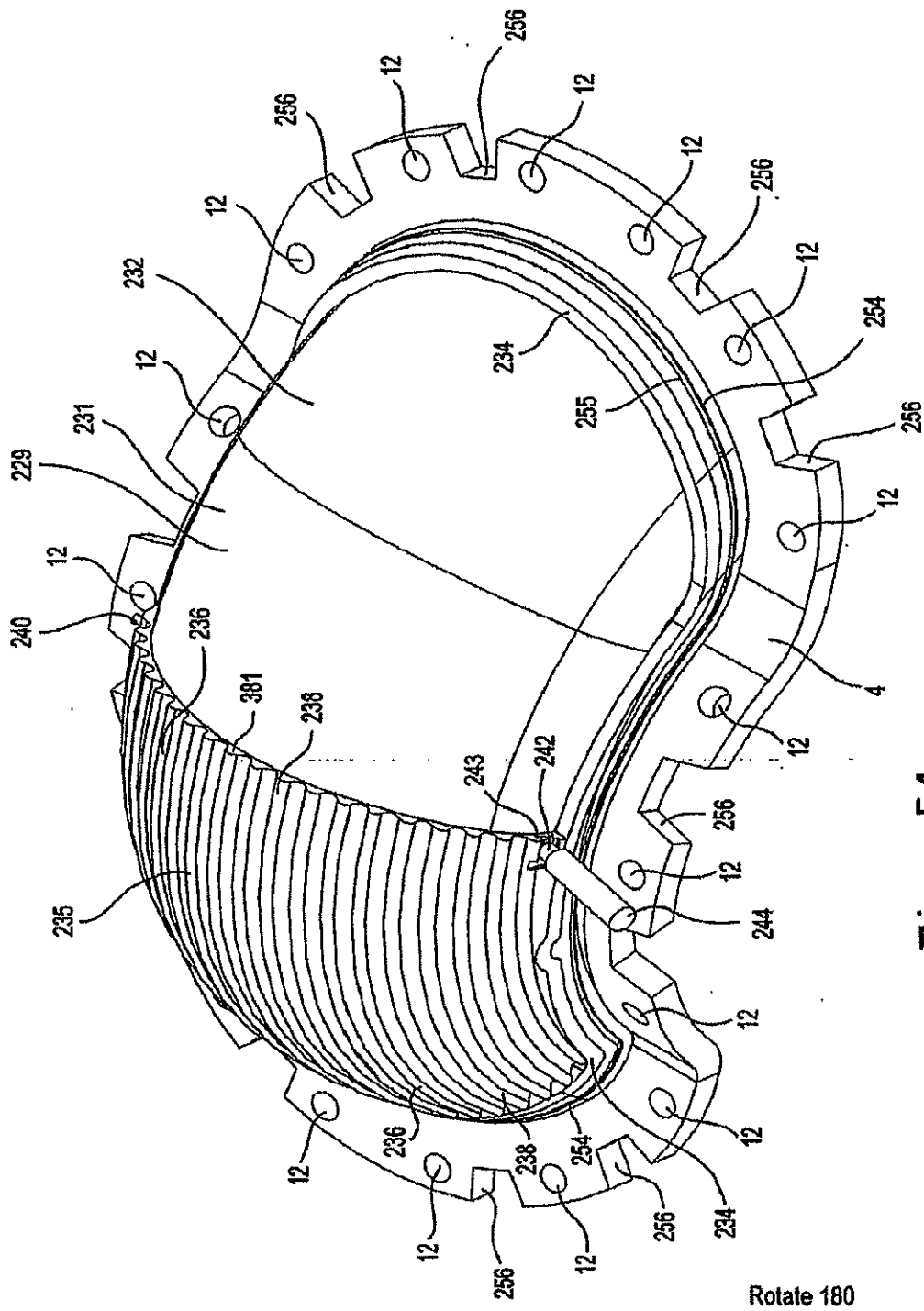


Fig. 54

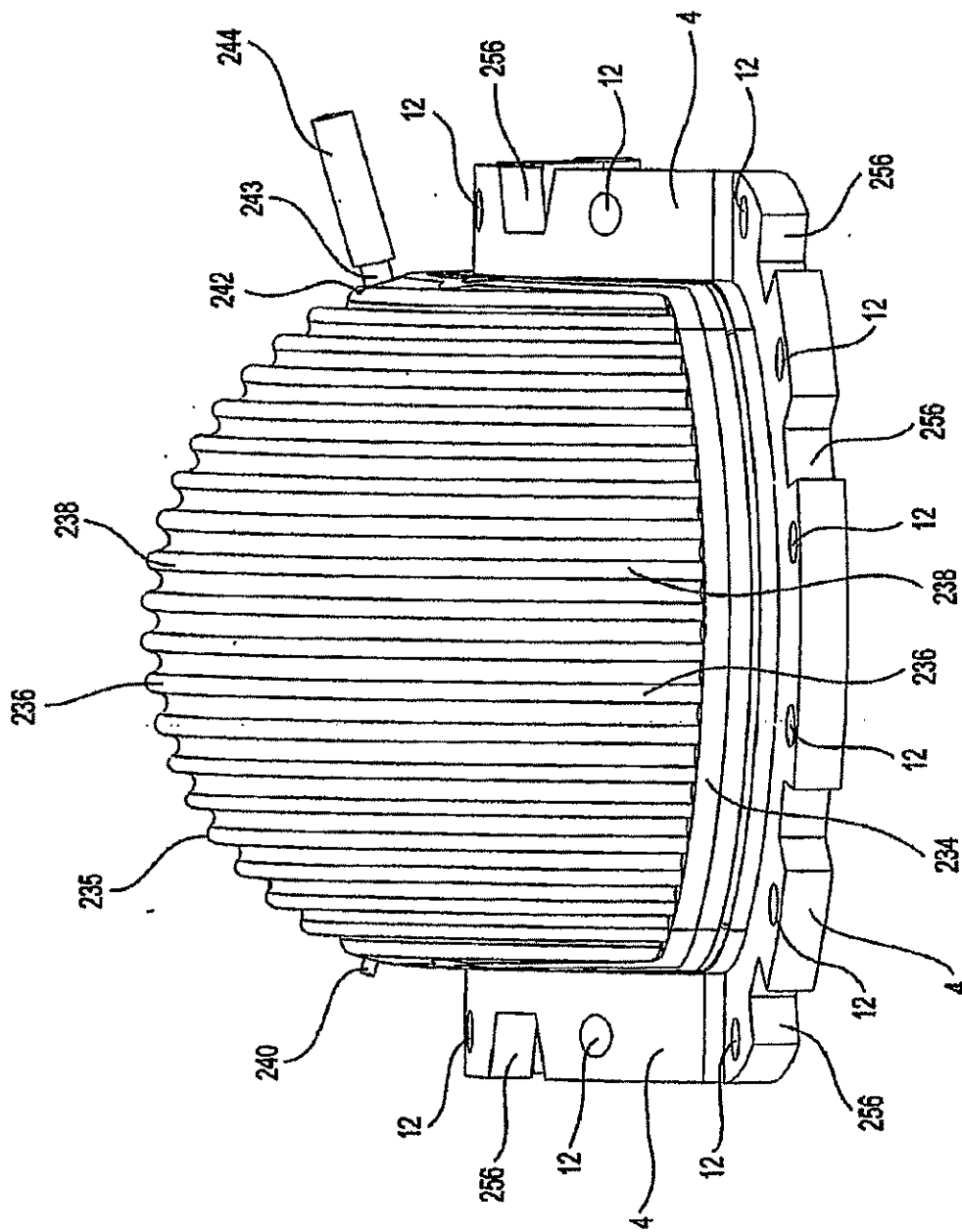


Fig. 55

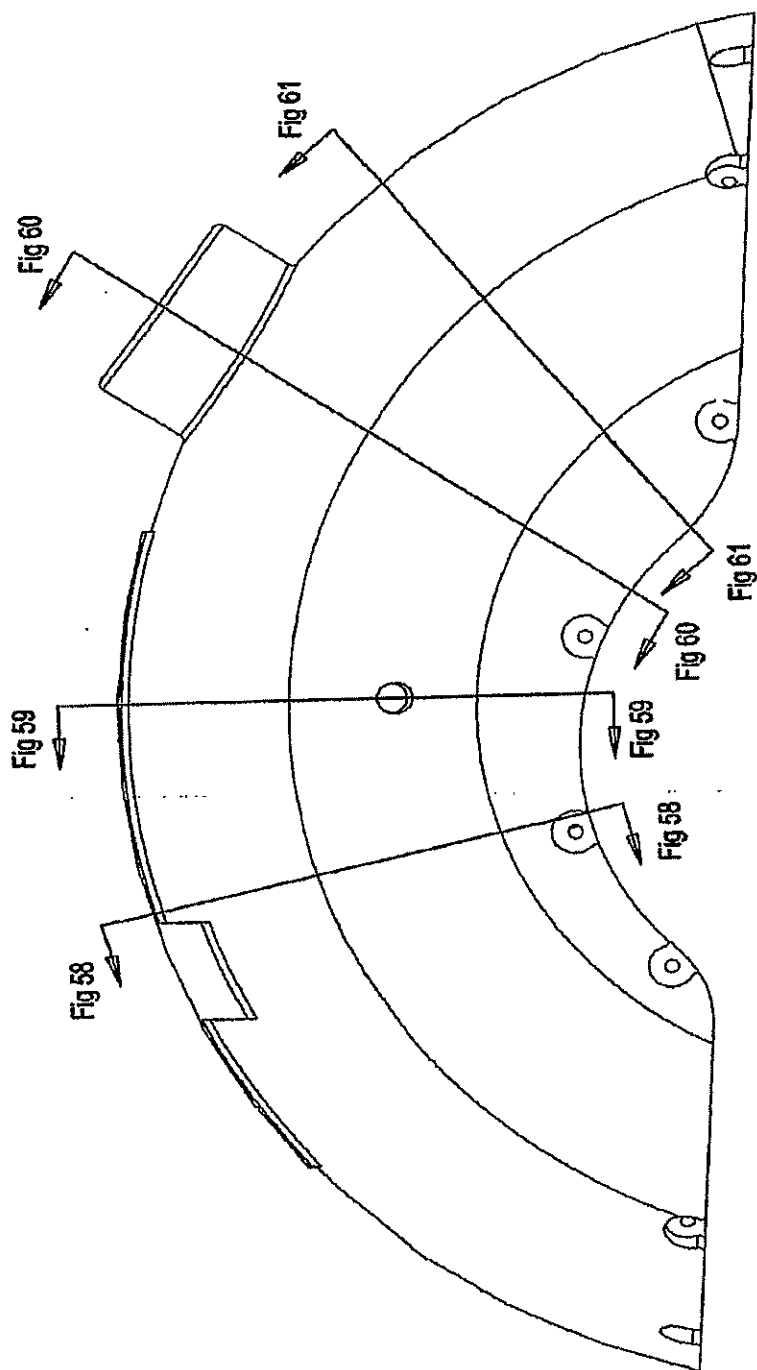


Fig. 56

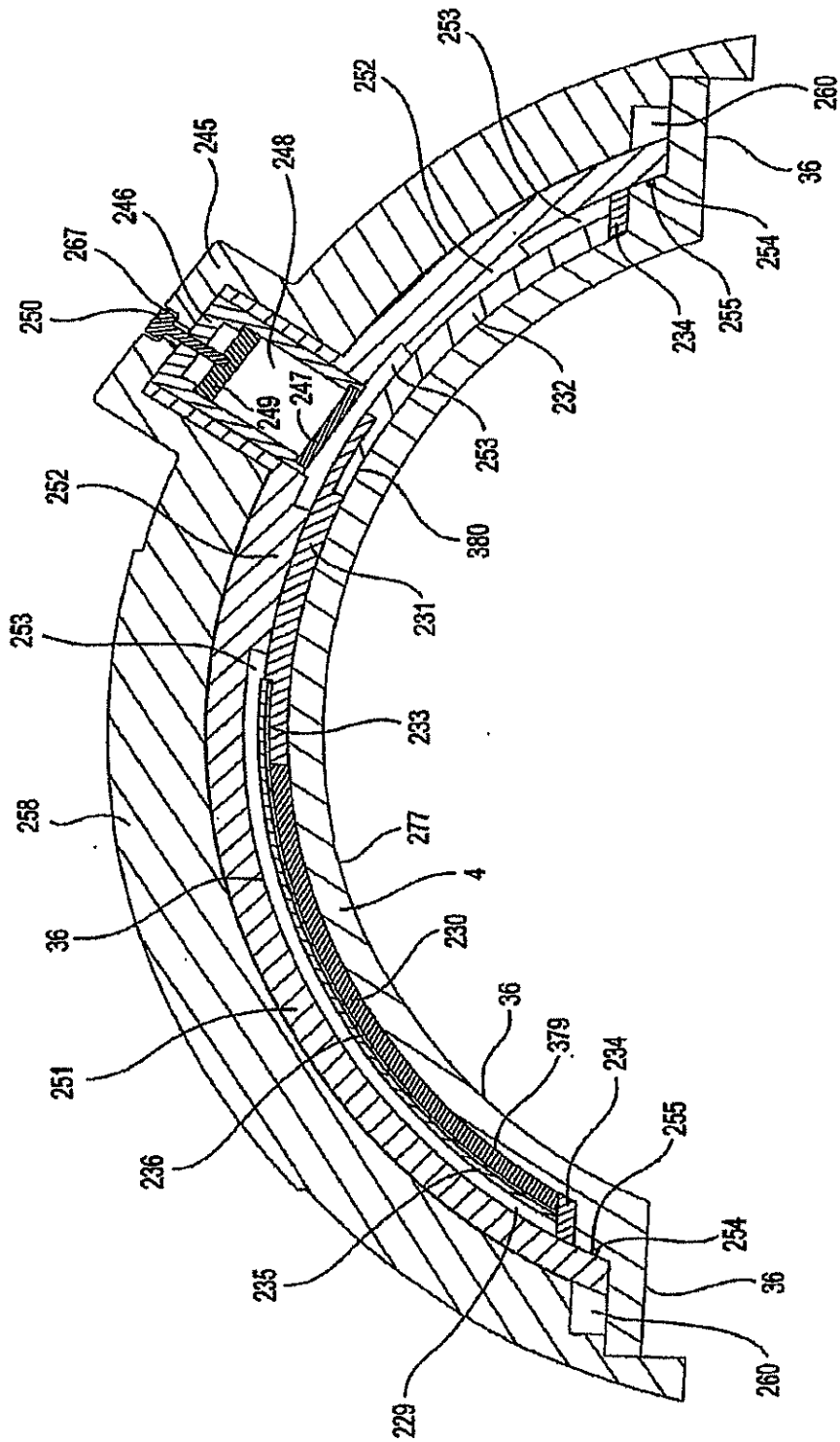


Fig. 57

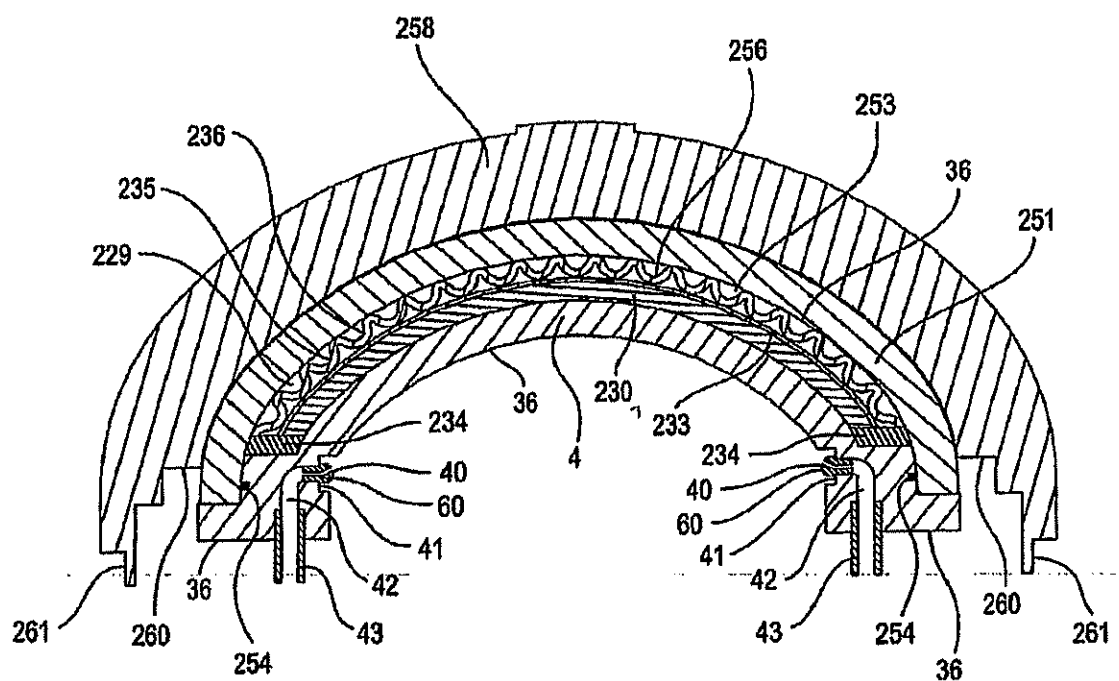


Fig. 58

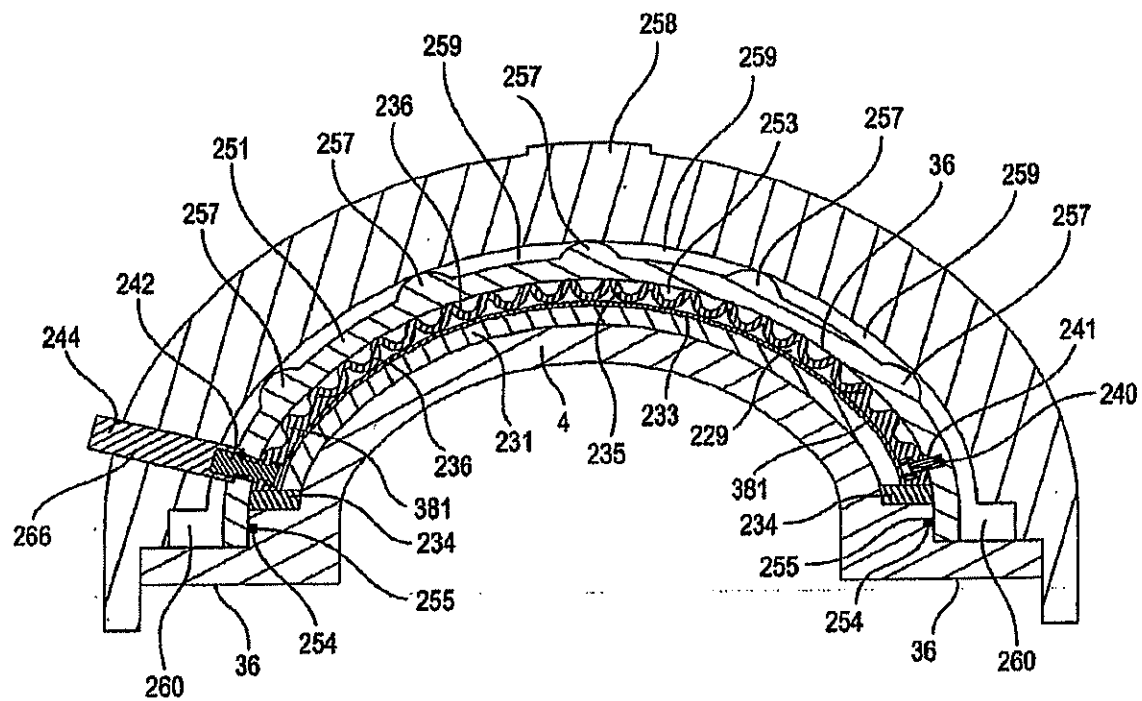


Fig. 59

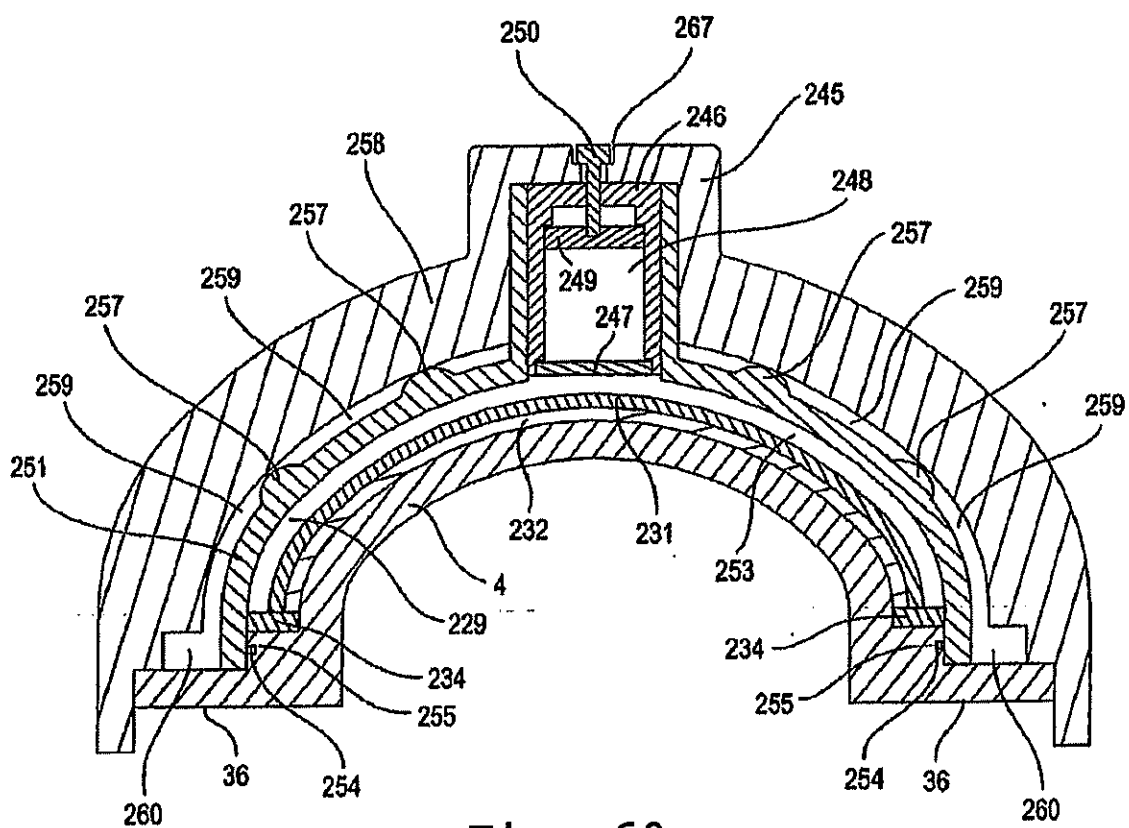


Fig. 60

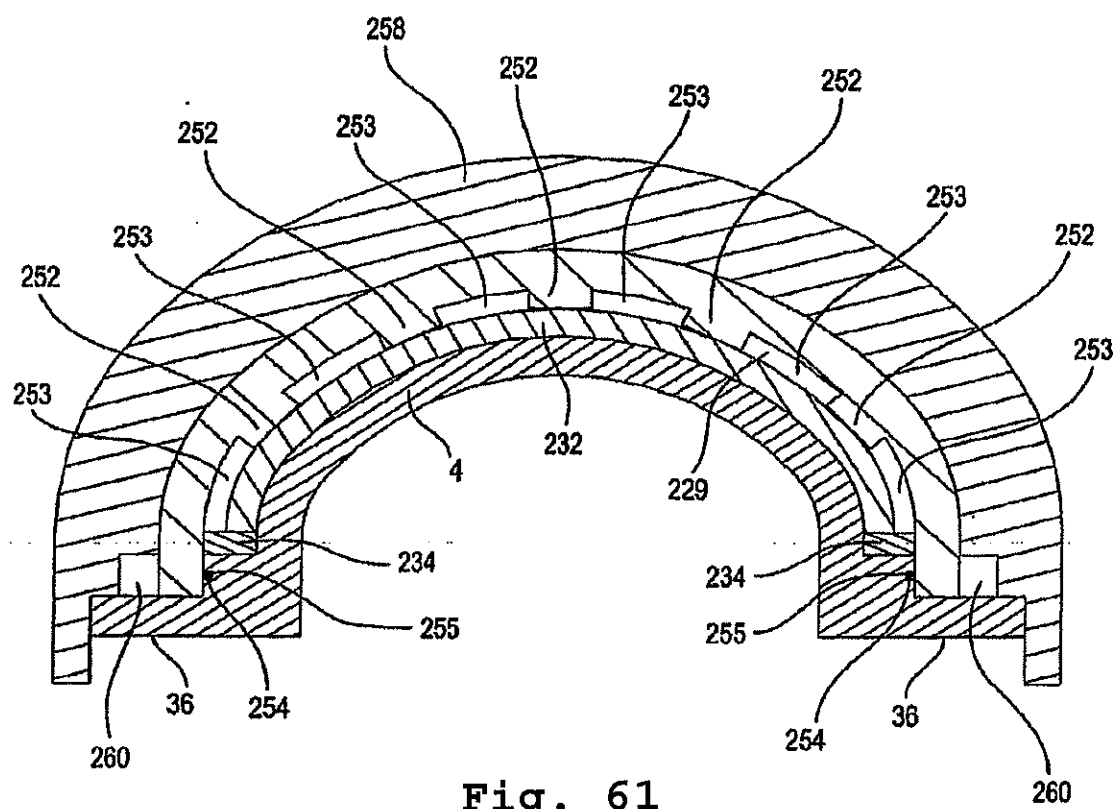


Fig. 61

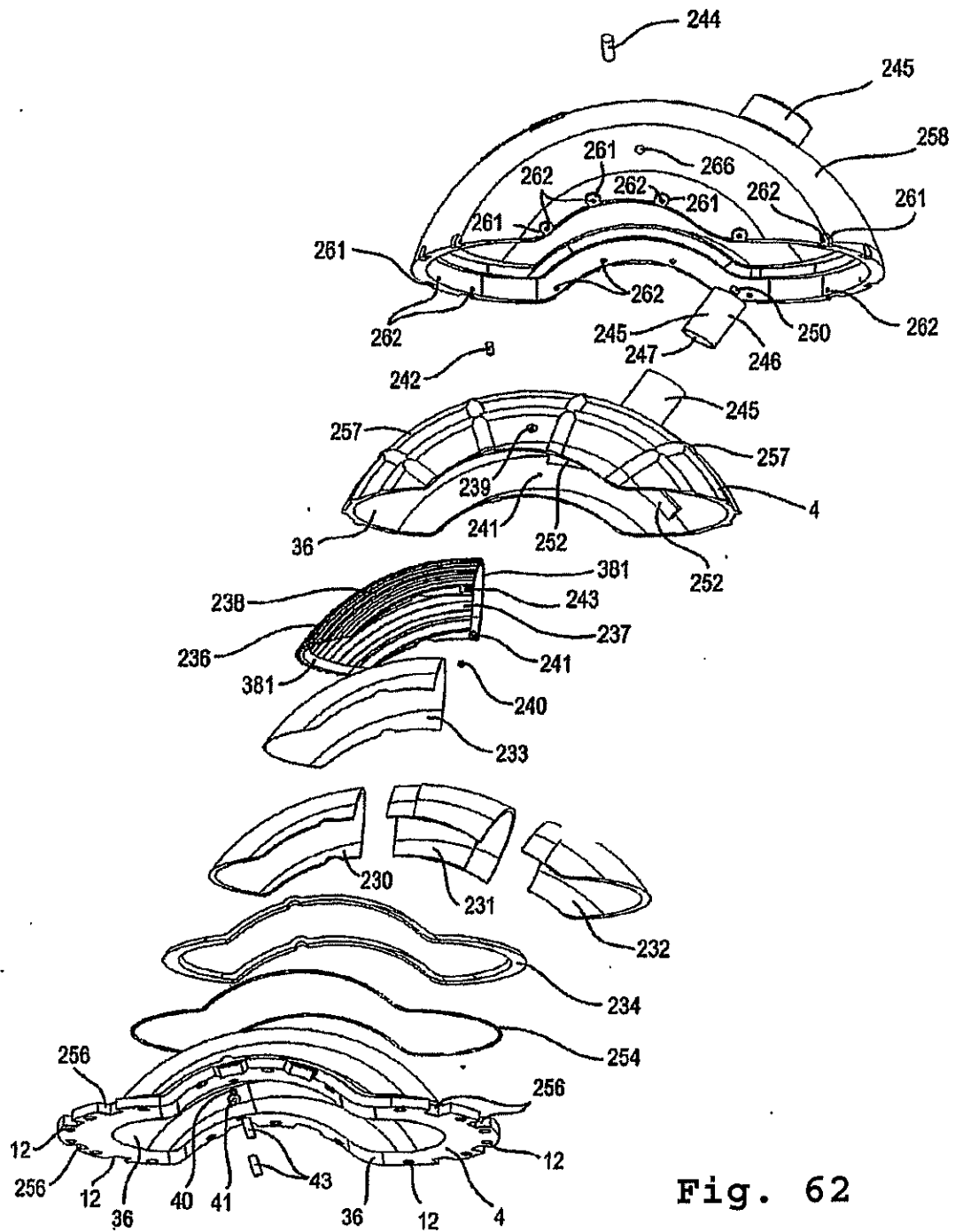
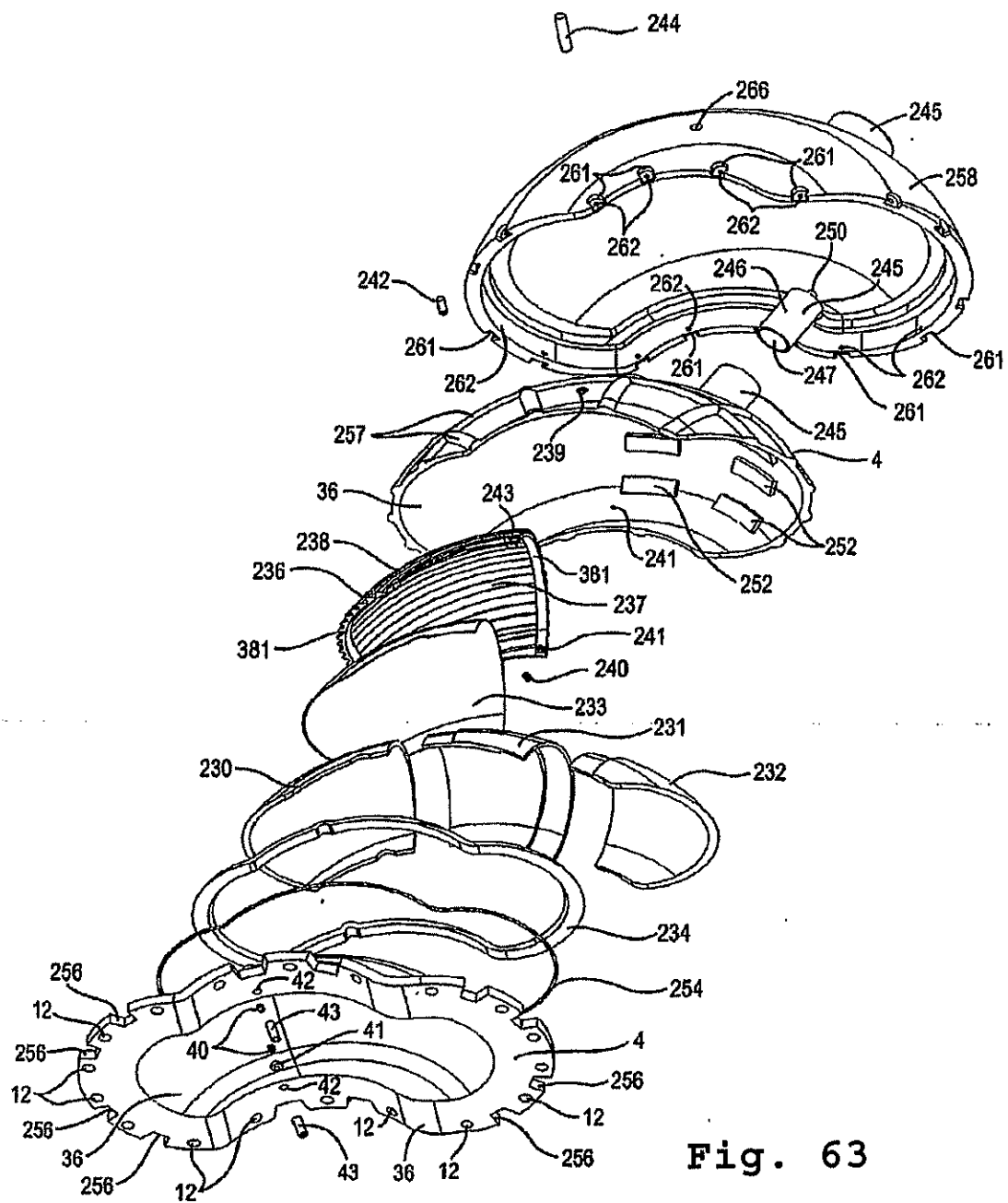


Fig. 62



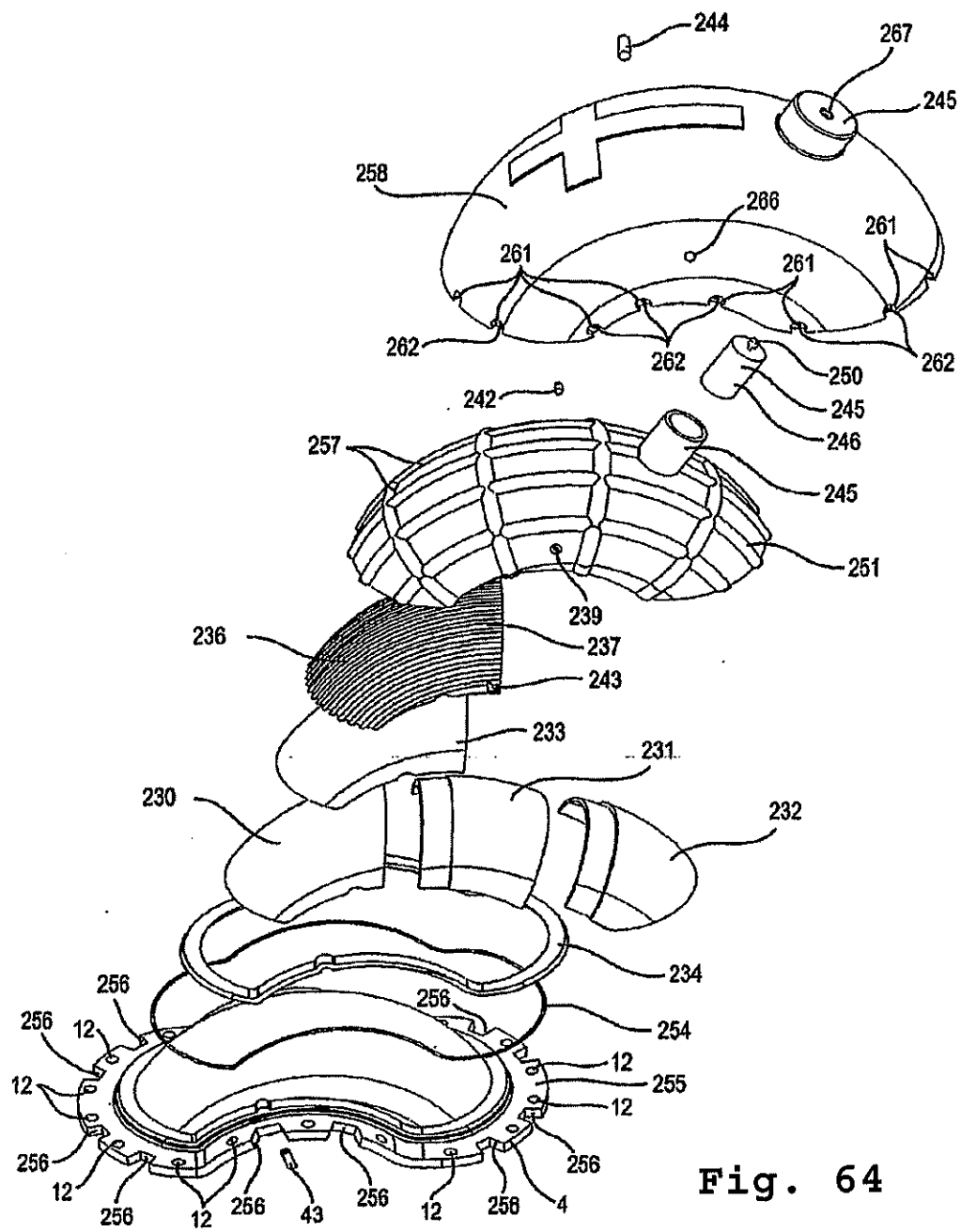


Fig. 64

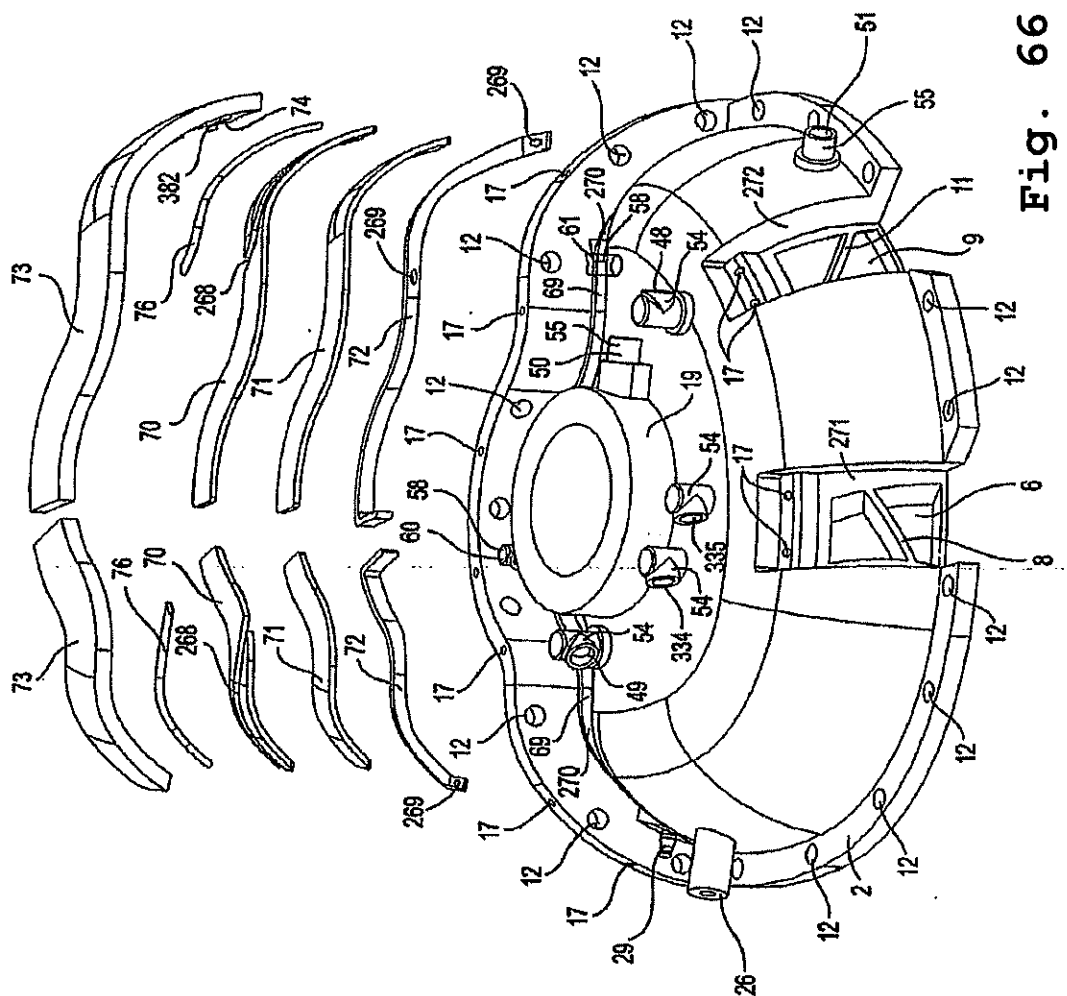


Fig. 66

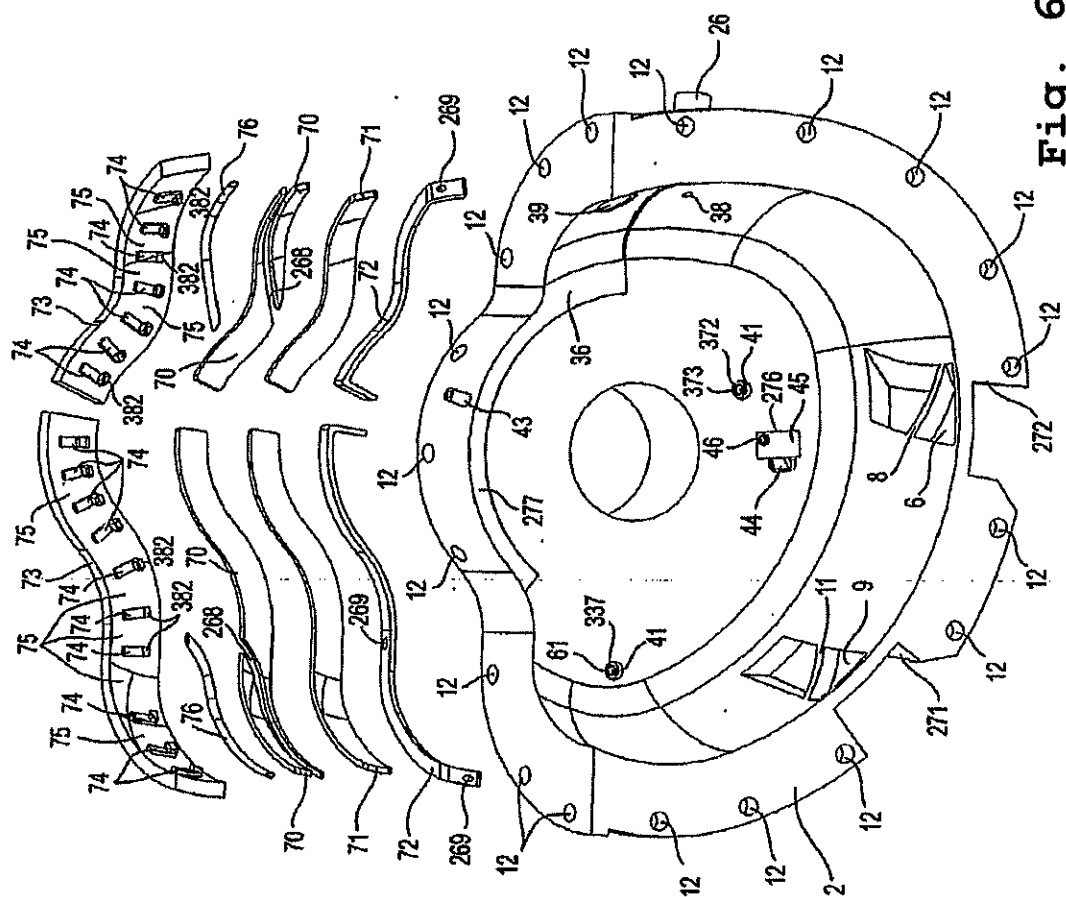


Fig. 67

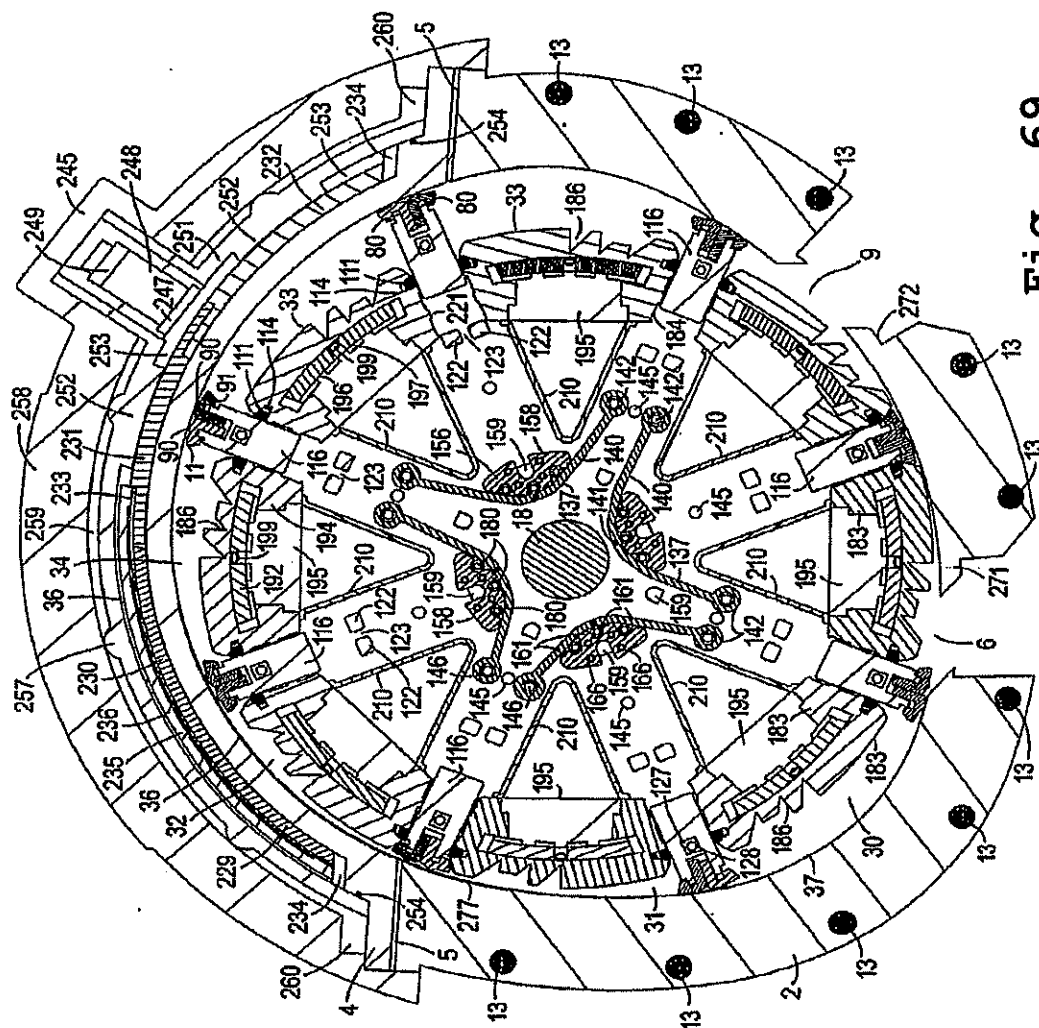


Fig. 69

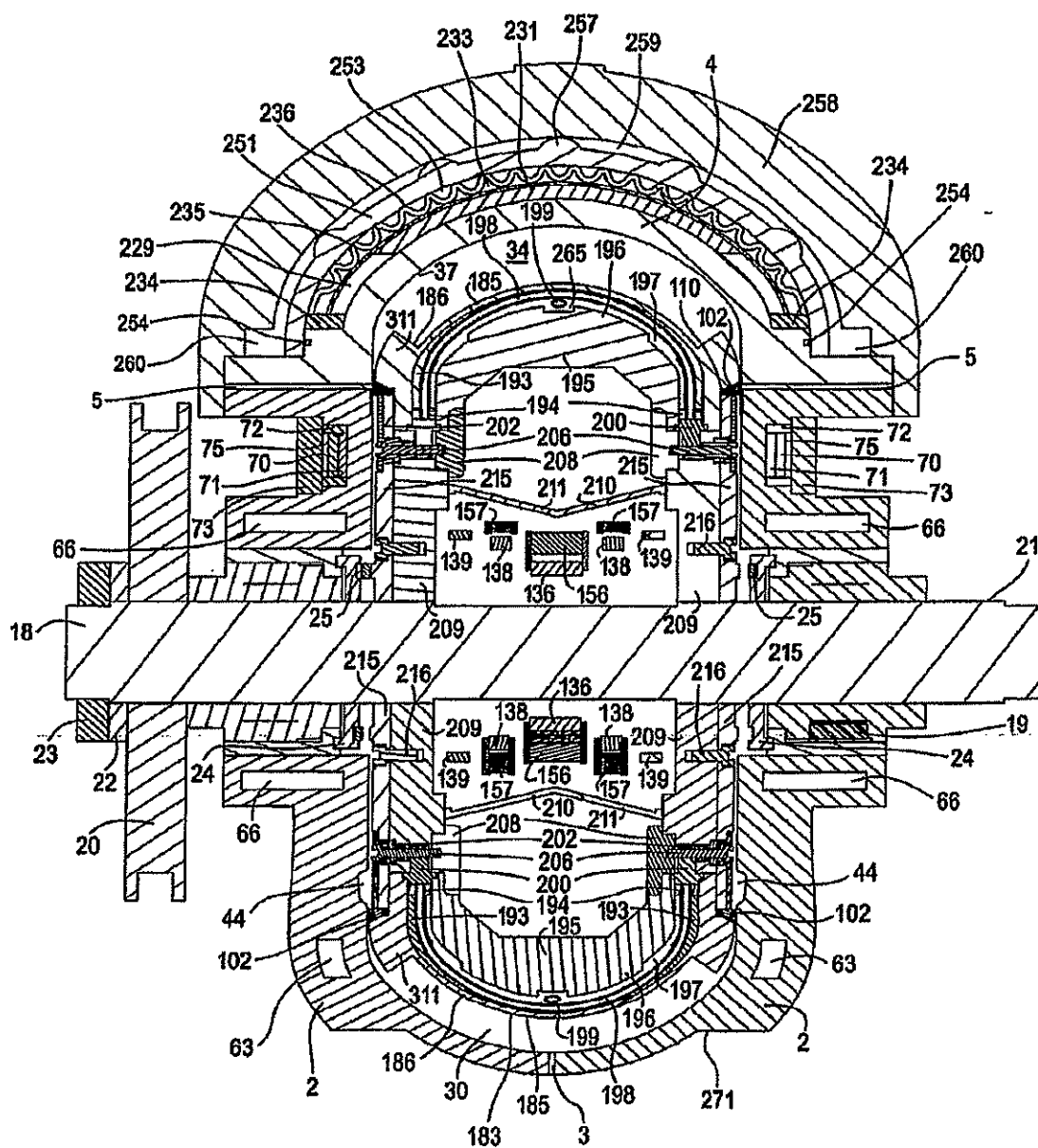


Fig. 70

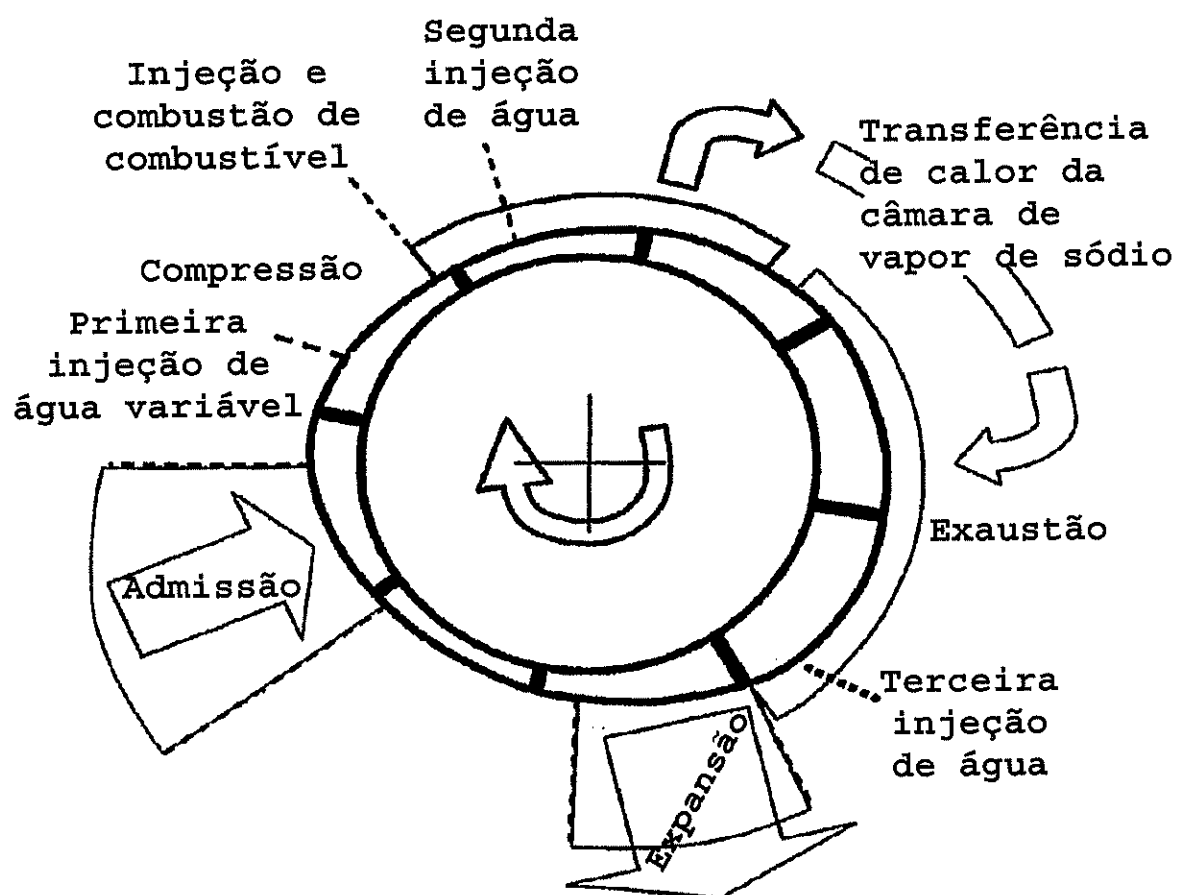


Figura 3. Processos de motor de pás rotativas de G-ciclo

Fig. 71