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

(11) BR 112013015184-6 B1

(22) Data do Depósito: 15/12/2011

(45) Data de Concessão: 22/12/2020

(54) Título: SISTEMA DE TURBINA A GÁS AQUECIDA INDIRETAMENTE E VEÍCULO COM SISTEMA DE TURBINA A GÁS

(51) Int.Cl.: F02C 1/04.

(30) Prioridade Unionista: 15/12/2010 SE 1051322-4.

(73) Titular(es): MASTON AB.

(72) Inventor(es): STEFAN LARSSON; ANDERS LINDSTRÖM; HANSI KOBES.

(86) Pedido PCT: PCT SE2011051519 de 15/12/2011

(87) Publicação PCT: WO 2012/082062 de 21/06/2012

(85) Data do Início da Fase Nacional: 17/06/2013

(57) Resumo: Sistema de turbina a gás aquecida indiretamente A presente invenção refere-se a um sistema de turbina a gás aquecida indiretamente que compreende uma câmara de combustão (3), que se estende ao longo de um eixo central do sistema de turbina a gás, para a combustão do ar comprimido e do combustível provido, onde o gás de combustão é formado, uma turbina (2) impulsionada por um fluido de trabalho, um compressor (1), conectado rotativamente à turbina, para compressão do fluido de trabalho e/ou do ar para a câmara de combustão, e um primeiro dispositivo trocador de calor (8) para a transferência de calor entre o gás de combustão e o fluido de trabalho. O primeiro dispositivo trocador de calor e a câmara de combustão estão integralmente formados como uma unidade monolítica, estando o primeiro dispositivo trocador de calor substancialmente posicionado no interior da extensão axial da câmara de combustão ao longo do eixo central. Pela configuração integrada da câmara de combustão e do primeiro dispositivo trocador de calor, consegue se um sistema compacto de turbina a gás, aquecida indiretamente, de alta eficiência.

SISTEMA DE TURBINA A GÁS AQUECIDA INDIRETAMENTE E VEÍCULO COM SISTEMA DE TURBINA A GÁS

[001] A presente invenção refere-se a um sistema de turbina a gás aquecida indiretamente, compreendendo: uma câmara de combustão para a combustão do ar comprimido e do combustível fornecido, onde o gás de combustão é formado, uma turbina impulsionada por um fluido de trabalho, um compressor rotativamente conectado à turbina para compressão do fluido de trabalho e/ou ar para a câmara de combustão e um primeiro dispositivo trocador de calor para transferir calor entre o gás de combustão e o fluido de trabalho.

Estado da técnica

[002] Turbina a gás é uma turbina acionada por gases de combustão fluindo de uma câmara de combustão, que é a fonte de energia apropriada. Assim, uma turbina a gás é igual a um motor a jato onde os gases, em vez de fluir para fora como um jato, impulsionam uma turbina rotativamente conectada, por exemplo, a um gerador elétrico. Portanto, o campo de aplicação habitual de uma turbina a gás é a geração de energia elétrica.

[003] Turbinas a gás têm elevada potência em relação ao seu tamanho e peso e são de configuração relativamente simples quando comparadas com os motores de pistão. Adicionalmente, as turbinas a gás têm mais baixa emissão em combustão e têm menos peças móveis do que os motores de pistão. Pequenas turbinas a gás, denominadas micro turbinas, geralmente têm baixa eficiência, enquanto as turbinas a gás de 1MW ou mais têm alta eficiência, porém nunca comparável à dos motores de pistão. Com uma potência acima de 1 MW, contudo, a turbina a gás tornou-se a alternativa mais econômica, de tal forma que, apesar da diferença na eficiência, pode superar o motor de pistão.

[004] O processo de operação de uma turbina a gás, onde os principais componentes são um compressor, uma câmara de combustão e uma turbina, é descrito pelo ciclo de Brayton, que é um ciclo termodinâmico. O ar ambiente é sugado para um ou mais estágios do compressor, onde é comprimido. O ar comprimido é, então, direcionado para a câmara de combustão, onde é queimado juntamente com o combustível fornecido. O gás de combustão

aquecido, formado por combustão, então, se expande através de um ou mais estágios da turbina, onde, ao fazê-lo dissipa sua energia. O estágio da turbina é geralmente rotativamente conectado ao estágio do compressor para acioná-lo, porém o estágio do compressor pode também ser acionado por um motor ou outra fonte de energia.

[005] Em caso ideal, a compressão e a expansão são processos isentrópicos, ou seja, a entropia do sistema permanece constante. Contudo, em função das perdas de energia através do compressor e da turbina a gás, estes processos são adiabáticos. Compressão e expansão ocorrem tão rapidamente que, em princípio, não há transferência de calor para ou do fluido de trabalho. Quando a pressão aumenta por compressão, ocorre aquecimento adiabático e o fluido de trabalho, neste caso o ar ambiente aspirado, é aquecido. Resfriamento adiabático ocorre quando a pressão diminui por expansão na turbina. Parte do calor dissipado pode ser extraído na forma de trabalho para impulsionar a turbina. Em virtude da alta eficiência, uma grande parte da energia aquecida pode ser extraída.

[006] Micro turbina é, como o nome indica, uma pequena turbina a gás de alta velocidade, que tem menor pressão e temperatura na câmara de combustão, quando comparada com uma turbina a gás maior. Uma micro turbina tipicamente tem potência entre 50 a 500 KW e tamanho de aproximadamente $3m^3$ com um peso total de 2 t ou mais.

[007] Como combustível para acionar uma turbina a gás, são geralmente utilizados combustíveis fósseis diferentes, tais como gás natural (metano, propano), gasolina, diesel, óleo combustível, gás de petróleo liquefeito e lodo digerido, ou combustíveis não fósseis, tais como biogás, biodiesel e E85 (uma mistura de aproximadamente 85% de etanol e aproximadamente 15% de gasolina). Na prática, gás natural é predominantemente utilizado, o qual tem os mais baixos valores de emissão. Também combustíveis de biomassa na forma sólida, tais como pellets de madeira, cana, palha ou grama têm sido considerados, porém são associados com a desvantagem de que o gás de combustão e os produtos de combustão da câmara de combustão podem causar obstruções e contaminação das palhetas da turbina quando atravessam o estágio da turbina, o que pode incrementar as perdas de

energia e, desse modo, a baixa eficiência da turbina a gás. As palhetas da turbina ficam expostas ao risco de ataque químico, na forma de corrosão, dependendo do combustível utilizado.

[008] Portanto, nas turbinas a gás, aquecidas por combustível de biomassa sólida, é desejável utilizar um fluido de trabalho, também denominado gás de expansão ou ar de turbina, que é separado do gás de combustão. No chamado ciclo de trabalho de aquecimento indireto, calor é transferido do gás de combustão para o fluido de trabalho, através de um trocador de calor, sendo dito fluido mantido fisicamente separado.

[009] O documento WO 03/093665 descreve uma micro turbina indiretamente aquecida, que utiliza o ciclo de Brayton em uma turbina a gás, tendo ciclos separados para gás de combustão e fluido de trabalho. A câmara de combustão está posicionada distante do trocador de calor, sendo o gás de combustão alimentado da câmara de combustão para o trocador de calor, do qual o calor é transferido para o fluido de trabalho comprimido pelo compressor.

[010] Outros exemplos de micro turbinas a gás, aquecidas indiretamente, são mostrados por GB 2 402 172, FR 2 913 724 e US 2008/0041057.

[011] O documento WO 02/39045 descreve um sistema de turbina a gás aquecida diretamente, que tem um recuperador na forma de anel para transferir o calor entre o gás de exaustão e o ar de combustão da turbina, incluindo um compressor, uma câmara de combustão e uma turbina posicionada no diâmetro interno do recuperador.

[012] Uma desvantagem do estado da técnica é que com frequência há baixa eficiência, em função das perdas de energia no sistema de turbina a gás, durante o caminho seguido pelo fluido de trabalho e/ou pelo gás de combustão do compressor, via câmara de combustão, e do trocador de calor até a turbina, o que contribui para a baixa eficiência.

[013] O documento GB 2 420 382 e o WO 02/055855 descrevem sistemas de turbina a gás aquecida indiretamente, que têm um trocador de calor situado dentro de uma câmara de combustão. Ao colocar o trocador de calor dentro da câmara de combustão, os gases de

combustão, gerados durante a combustão, podem passar ao redor da parte externa do conduto do trocador de calor e aquecer o fluido que passa através do conduto, enquanto o gás de combustão e o fluido são mantidos separados. O trocador de calor é projetado para ser prontamente desmontado e retirado da câmara de combustão para limpeza.

[014] Uma desvantagem deste tipo de configuração é que requer um espaço relativamente grande, algo que previna integração interior, por exemplo, veículos do tipo carro privado ou outros sistemas que requeiram compactação. Outra desvantagem é que o trocador de calor precisa ser higienizado em intervalos regulares para remover subprodutos da combustão, tais como fuligem ou depósitos carbonáceos.

[015] Portanto, há necessidade do desenvolvimento de turbinas compactas a gás aquecidas indiretamente, apresentando alta eficiência.

Sumário da Invenção

[016] O objeto da presente invenção é prover um sistema compacto de turbina a gás aquecida indiretamente, de alta eficiência e que possa ser utilizado para o funcionamento, por exemplo, de veículos de combustível de biomassa, na forma sólida.

[017] Isto é alcançado por um sistema de turbina a gás indiretamente aquecido, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo uma câmara de combustão de extensão longitudinal posicionada ao longo de um eixo central do sistema de turbina a gás, para a combustão do ar e do combustível provido, onde o gás de combustão é formado, uma turbina impulsionada por um fluido de trabalho, um compressor rotativamente conectado à turbina para comprimir o fluido de trabalho da turbina e/ou ar dentro da câmara de combustão e um primeiro dispositivo trocador de calor para transferir calor entre o gás de combustão e o fluido de trabalho, estando o primeiro dispositivo trocador de calor e a câmara de combustão formados integralmente como uma unidade monolítica e estando o primeiro dispositivo trocador de calor substancialmente posicionado na extensão longitudinal da câmara de combustão ao longo do eixo central.

[018] Pela integração do trocador de calor e da câmara de combustão em uma unidade

monolítica, as perdas de calor na passagem do gás de combustão, da câmara de combustão para o trocador de calor, podem ser eficientemente reduzidas. O sistema utiliza tanto o calor irradiado da câmara de combustão como o calor propagado no primeiro dispositivo trocador de calor para o aquecimento do fluido de trabalho. Desta forma, pode ser alcançado um aumento de temperatura do fluido de trabalho para a turbina.

[019] Igualmente, pode ser proporcionado uma considerável redução do volume do sistema de turbina a gás, o que permite a incorporação, por exemplo, em um veículo tipo carro privado ou semelhante.

[020] Em uma configuração preferida, a câmara de combustão é substancialmente cilíndrica e o primeiro dispositivo trocador de calor está posicionado coaxialmente com a câmara de combustão, ao redor do diâmetro externo da câmara de combustão. O calor irradiado da câmara de combustão é, portanto, transferido radialmente para o exterior do primeiro dispositivo trocador de calor.

[021] Em uma configuração adicional e vantajosa, o primeiro dispositivo trocador de calor compreende um trocador de calor por convecção, através o qual o fluido de trabalho e o gás de combustão têm direções de fluxo inversas.

[022] Em outra configuração preferida, o primeiro dispositivo trocador de calor contém canais de transferência de calor para o gás de combustão, na forma de uma pluralidade de tubos paralelos, posicionados longitudinalmente à câmara de combustão, os quais estão simetricamente posicionados e distribuídos de forma eqüidistante ao redor da circunferência da câmara de combustão. Os canais de transferência de calor podem ser projetados para ser substancialmente simétricos, em termos de fluxo do gás de combustão na saída da câmara de combustão, o que significa que o fluxo do gás de combustão é uniformemente distribuído entre os canais de transferência de calor. Isto pode ser conseguido pela área transversal de, pelo menos, dois canais de transferência de calor adjacentes, vistos no mesmo plano perpendicular para o eixo central, tendo substancialmente a mesma área de superfície.

[023] Em uma adicional configuração vantajosa, o primeiro dispositivo trocador de calor inclui uma passagem de transferência de calor para o fluido de trabalho da turbina, na forma de um canal helicoidal, que abrange tangencialmente o redor da circunferência da câmara de combustão. O formato helicoidal facilita a transferência do calor para o fluido de trabalho, tanto advindo da câmara de combustão como do gás de combustão.

[024] Em outra configuração favorável, o sistema de turbina a gás compreende um segundo dispositivo trocador de calor, posicionado em frente à saída da câmara de combustão. De preferência, o segundo dispositivo trocador de calor deve ser projetado e posicionado, de tal forma que o fluido de trabalho passe pelo segundo dispositivo trocador de calor imediatamente antes de ser enviado para o interior da turbina, via entrada da turbina. Através do segundo dispositivo trocador de calor, um adicional aumento de temperatura do fluido de trabalho é atingido imediatamente antes da entrada para a turbina.

[025] Ainda, em outra configuração vantajosa, o segundo dispositivo trocador de calor contém uma câmara de turbilhonamento, tendo uma superfície de transferência de calor posicionada distante da câmara de combustão, projetada de tal forma que o fluido de trabalho roça a superfície de transferência de calor várias vezes antes de o fluido de trabalho entrar na turbina. Com a maior exposição à superfície de transferência de calor, maior temperatura e mesmo melhor distribuição de temperatura no fluido de trabalho são atingidas.

[026] De acordo com outra configuração da presente invenção, o sistema de turbina a gás adicionalmente compreende um gerador integrado na entrada do compressor, pelo qual um fluxo de ar no compressor resfria as bobinas do estator do gerador.

[027] Em outra adicional vantajosa configuração, o primeiro dispositivo trocador de calor e a câmara de combustão, em conjunto, formam uma seção de baixa temperatura feita de aço soldado. De preferência, a parede externa da câmara de combustão e/ou a cobertura exterior do sistema de turbina a gás são/é corrugado, formando uma função de respiração, onde o material se expande na direção axial.

[028] Em outra configuração vantajosa, o segundo dispositivo trocador de calor forma uma seção de alta temperatura feita de cerâmicas sinterizadas e/ou fundidas.

[029] Ainda em outra configuração favorável, o sistema de turbina a gás, adicionalmente, contém meios para regulagem do fluxo do fluido de trabalho do gás de combustão que passa parcialmente pelo primeiro e/ou segundo dispositivo trocador de calor. Então, a temperatura do fluido de trabalho e/ou do gás de combustão pode ser controlado para otimizar a operação do sistema de turbina a gás.

[030] De acordo com outra configuração vantajosa da presente invenção, o combustível consiste de biomassa na forma sólida. De preferência, o combustível de biomassa são pellets de madeira.

[031] A presente invenção também se refere a um veículo compreendendo um sistema de turbina a gás, de acordo com quaisquer das configurações.

[032] Descrição resumida dos desenhos

- A Fig. 1 mostra um esboço explicativo de um sistema de turbina a gás, de acordo com a técnica conhecida;
- A Fig. 2 mostra um esboço do ciclo de Brayton de aquecimento indireto;
- A Fig. 3 mostra um sistema de turbina a gás, de acordo com a presente invenção em um desenho em perspectiva;
- A Fig. 4 mostra um corte transversal na direção longitudinal do sistema de turbina a gás, em vista lateral, de acordo com a presente invenção; e
- A Fig. 5 mostra um corte transversal na direção longitudinal do sistema de turbina a gás, em perspectiva, de acordo com a presente invenção.

Descrição Detalhada da Invenção

[033] O sistema de turbina a gás será detalhadamente descrito abaixo, fazendo referência aos desenhos. Contudo, a invenção não deverá limitar-se às configurações mostradas nos desenhos abaixo descritos, podendo variar dentro do escopo das reivindicações.

[034] Na presente exposição, o termo "unidade monolítica" deve ser interpretado como

uma unidade, formada para constituir uma peça, a qual não pode ser separada ou, de outras maneiras, desmontada, a não ser que seja apresentada explicitamente de outra forma.

[035] Geralmente, para todos os tipos de mecanismos de aquecimento, que convertem energia térmica (calor) em energia mecânica (trabalho), a eficiência η é definida como a relação entre trabalho extraído, *W*, e a quantidade de calor fornecida, *Q:*

$$\eta = \frac{W}{Q}$$

[036] Considerando que o mecanismo de aquecimento real é limitado em função das perdas de energia, a total quantidade de calor fornecido não pode ser convertida em trabalho, porém determinada quantidade é dissipada para o ambiente como perda de calor:

$$Q_{in} = W + Q_{out}$$

A eficiência então será:

$$\eta = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

[037] Quando se trata de mecanismo de aquecimento que trabalha entre duas temperaturas fixas, neste caso uma turbina a gás que funciona de acordo com o ciclo de Brayton, é possível deduzir que a quantidade de calor provido e a perda de calor dissipada correspondem à temperatura do fluido de trabalho na entrada e na saída, respectivamente, da turbina, a qual rende a eficiência:

$$\eta = 1 - \frac{T_{out}}{T_{in}}$$

[038] Consequentemente, percebe-se que o aumento de temperatura do fluido de trabalho na entrada da turbina pode contribuir para incrementar a eficiência da turbina a gás.

[039] A Fig. 1 mostra um esboço explicativo de um sistema de turbina a gás, de acordo com a técnica conhecida, tendo um compressor 1 rotativamente conectado à turbina 2. O compressor 1 é usualmente um compressor axial, consistindo em um número de propulsores multi-palhetas que rotacionam sobre um eixo comum dentro de um tubo. Entre os propulsores, há anéis fixos, tendo palhetas que direcionam a corrente de ar axialmente para trás em direção ao próximo propulsor. O ar ambiente é aspirado para o compressor 1, onde

é comprimido e levado para a câmara de combustão 3. A câmara de combustão 3 é também suprida com combustível de um provedor de combustível 6, que é queimado juntamente com o ar ambiente comprimido. O resultante gás de combustão é então levado para a turbina 2, onde se expande para impulsionar o rotor da turbina. Em função da conexão da turbina 2 com o compressor 1, uma parte do trabalho extraído é usado para impulsionar o compressor 1.

[040] A parte remanescente de quantidade de energia é extraída por meio de um gerador 7, o qual está também rotativamente conectado à turbina 2. Normalmente, o gerador 7 também atua como motor de partida do sistema de turbina a gás.

[041] O sistema de turbina a gás pode também conter outros componentes, tais como, por exemplo, filtros de ar para o ar que entra no compressor 1 ou absorvedor de energia para o gás de exaustão da câmara de combustão 3.

[042] Na Fig. 2, o ciclo de trabalho aquecido indiretamente (o ciclo de Brayton) é ilustrado em um diagrama principal. Adicionalmente aos componentes acima mencionados, também um trocador de calor 8 é aqui incluído para a transferência do calor do gás combustível da câmara de combustão 3 para o fluido de trabalho da turbina 2, também denominado gás de expansão ou ar de turbina. Desta forma, fuligem na turbina 2 é evitada. O calor do fluido de trabalho na saída da turbina pode ser recuperado, por meio de um recuperador, pelo qual o calor é transferido por meio de troca de calor para outro fluido, para aquecimento, por exemplo, água. Outra possibilidade é alimentar o gás de exaustão da saída da turbina para a chama na câmara de combustão 3 e aquecer o combustível antes da combustão. Isto reduz o consumo de combustível, uma vez que é necessário suprir menos calor para a câmara de combustão, para uma dada temperatura de operação ou potência de operação. Uma vez que o gás de combustão nunca passa na turbina 2, outras opções podem ser utilizadas, quais sejam: combustível na forma sólida, o qual, de outro modo, é associado com o aumento de resíduos de poluição no gás de exaustão.

[043] A Fig. 3 mostra um sistema de turbina a gás, de acordo com a presente invenção,

em um desenho em perspectiva. O sistema de turbina a gás compreende um compressor 1 e uma turbina 2, que estão conectadas por um eixo comum. Um gerador 7 pode ser integrado na entrada do compressor 1, a fim de que o fluxo de ar através do compressor 1 resfrie as bobinas do estator do gerador 7.

[044] A Fig. 4 mostra um corte transversal na direção longitudinal do sistema de turbina a gás, em vista lateral, de acordo com a presente invenção. Uma câmara de combustão 3 estende-se na direção longitudinal do eixo central C do sistema de turbina a gás. Preferivelmente, o eixo central C da câmara de combustão 3 e o sistema de turbina a gás devem coincidir. Uma extremidade da câmara de combustão 3 tem uma entrada de câmara de combustão 4 para o provimento de combustível do provedor de combustível (não mostrado), adjacente ao sistema de turbina a gás. Em uma configuração preferida, o sistema de turbina a gás pode ser aquecido com combustível de biomassa na forma sólida, tais como pellets de madeira, que são fornecidos para a câmara de combustão 3 por um armazenamento de pellets, por meio de um parafuso alimentador (não mostrado). Aqui, a câmara de combustão 3 tem forma cilíndrica, porém também outras formas são factíveis, tais como cúbicas, aneladas, cônicas ou formato irregular.

[045] Na outra extremidade da câmara de combustão 3, os gases de combustão são descarregados através de uma saída da câmara de combustão 5 de aberturas de saídas 10 direcionadas radialmente para fora, para o primeiro dispositivo trocador de calor 8. O primeiro dispositivo trocador de calor 8 está integralmente formado com a câmara de combustão 3, para obter uma unidade monoliticamente formada, uma seção de baixa temperatura. No contexto da presente invenção, deve ser entendido que o termo "unidade monolítica" é para ser interpretada como uma unidade formada de uma peça, que não pode ser retirada ou, de outras formas, desmontada. A construção monolítica pode, por exemplo, ser obtida soldando o primeiro dispositivo trocador de calor 8 e a câmara de combustão 3 ou juntando-as permanentemente por outros meios apropriados. Outra solução concebível, seria moldar o primeiro dispositivo trocador de calor 8 e a câmara de combustão 3 em uma

única peça.

[046] A seção de baixa temperatura é projetada para maximizar a utilização do calor irradiado pela câmara de combustão 3 na direção radial, para aquecer o fluido de trabalho pelo primeiro dispositivo trocador de calor 8, estando substancialmente posicionada na extensão longitudinal da câmara de combustão 3, ao longo do eixo central C. Um especialista no assunto comenta que também uma construção, onde uma parte do primeiro dispositivo trocador de calor 8 se estende externamente na extensão longitudinal da câmara de combustão 3, por exemplo, adjacente à saída da câmara de combustão 5, se enquadra dentro do escopo da invenção. Em uma configuração preferida, o primeiro dispositivo trocador de calor 8 está posicionado coaxialmente com a câmara de combustão 3, ao redor do diâmetro externo da câmara de combustão 3, para formar uma unidade compacta.

[047] A figura 5 mostra um corte transversal, na direção longitudinal, do sistema de turbina a gás, em perspectiva, de acordo com a presente invenção. O primeiro dispositivo trocador de calor 8 pode vantajosamente ser construído como um trocador de calor de convecção, onde o fluido de trabalho e o gás de combustão têm direções de fluxo inversas. Dito trocador de calor pode consistir de canais de transferência de calor 11 para o gás de combustão, na forma de uma pluralidade de tubos paralelos posicionados longitudinalmente à câmara de combustão, os quais estão simetricamente posicionados e distribuídos de forma equidistante ao redor da circunferência da câmara de combustão. As áreas de corte transversal dos canais de transferência de calor 11 podem ter a mesma área, estando os canais de transferência de calor 11 substancialmente simétricos, em termos de fluxo dos gases de combustão na saída 5 da câmara de combustão 3. Isto significa que o gás de combustão é uniformemente distribuído entre os canais de transferência de calor 11, o que proporciona uma distribuição de temperatura homogênea e a mais alta transferência de calor possível, sem acréscimo de queda de pressão, que, de outro modo, aumenta quando o fluxo da massa é balanceado nos canais do trocador de calor em uma turbina aquecida indiretamente. O fluxo do gás de combustão nos canais de transferência de calor 11 ocorre

substancialmente na direção axial, paralelamente ao eixo central do sistema de turbina a gás.

[048] O primeiro dispositivo trocador de calor 8 pode também ter uma passagem de transferência de calor 12 para o fluido de trabalho. O fluido de trabalho consiste de ar comprimido do compressor 1, o qual é alimentado por uma tubulação 23 para a passagem de transferência de calor 12. Esta passagem de transferência de calor 12 pode ser um canal restrito pela parede externa 13, da câmara de combustão 3, e pela cobertura exterior 14 do sistema de turbina a gás, na direção radial, e pelas paredes intermediárias 15, que se estendem desde a parede externa 23 da câmara de combustão até a cobertura exterior 14, ao redor da circunferência da câmara de combustão 3, na direção axial. Dessa forma, a passagem de transferência de calor 12 pode formar uma passagem helicoidal que se estende, pelo menos uma volta ao redor da circunferência da câmara de combustão 3 na direção tangencial. As voltas adjacentes da passagem 12 são herméticas em relação a cada uma delas. O fluxo do fluido de trabalho, através da passagem de transferência de calor 12, segue na direção tangencial, ao redor do eixo central C, do sistema de turbina a gás, como ilustrado pelas flechas na figura 5.

[049] Os canais de transferência de calor 11 do gás de combustão cruzam as paredes divisórias 15 da passagem de transferência de calor 12. As superfícies de contato, onde os tubos dos canais de transferência de calor 12 encontram as paredes divisórias 15, são a prova de ar, de tal forma que o gás de combustão não tem contato com o fluido de trabalho. Por outro lado, o calor é transferido do gás de combustão para o fluido de trabalho por convecção. O gás de combustão é descarregado do primeiro dispositivo trocador de calor 8 através das saídas de gás de combustão 22. O fluido de trabalho aquecido é então alimentado para a turbina 2 através da tubulação 24.

[050] Em uma preferida configuração, a seção de baixa temperatura é feita de aço soldado 355 e adaptado para aumentar a temperatura do fluido de trabalho para 500-700º C.

[051] O sistema de turbina a gás pode, adicionalmente, estar provido de um segundo

dispositivo trocador de calor 9, também denominado seção de alta temperatura, adjacente à entrada 20 da turbina 2. Neste caso, as aberturas de saída 10 da câmara de combustão podem ser posicionadas na lateral primária 16 do segundo dispositivo trocador de calor 9, cuja superfície fica voltada para a câmara de combustão 3.

[052] No caminho do primeiro dispositivo trocador de calor 8 para a entrada da turbina 20, o fluido de trabalho passa pelo lado secundário 17 do segundo dispositivo trocador de calor 9, cuja superfície fica voltada para fora da câmara de combustão 3. O lado secundário 17 pode ter a configuração de uma câmara de turbilhonamento 19, colocada bem na frente da saída da câmara de combustão 5. Esta posição representa o centro de radiação de calor 18 da câmara de combustão 3, onde o calor irradiado da câmara de combustão atinge o seu mais alto nível. A câmara de turbilhonamento 19 tem formato circular, com uma entrada 28 da linha de tubulação 24, colocada na margem externa da câmara de turbilhonamento 19, que dá ao fluido de trabalho uma direção de fluxo tangencial primária com a entrada da câmara de turbilhonamento 19. O fluido de trabalho circula na câmara de turbilhonamento 19 em trajeto helicoidal. O calor irradiado da câmara de combustão 3 aquece a câmara de turbilhonamento 19, onde o fluido de trabalho roça a superfície de transferência de calor da câmara 19 várias vezes antes de passar para a turbina 2, pela saída 29 da câmara de turbilhonamento 19. É desejável que o fluido de trabalho tenha uma longa permanência na câmara de turbilhonamento 19, para atingir o aquecimento desejado. Para estender o tempo de permanência na câmara de turbilhonamento 19, o mesmo pode ser provido com uma elevação central 30, oposto à saída 29, o que facilita a circulação.

[053] O segundo dispositivo trocador de calor 9 é adaptado para aumentar a temperatura do fluido de trabalho para 650-900^{o} C, o que poderá dar uma eficiência ao redor de 20-22% ao sistema de turbina a gás. Um material preferido para a seção de alta temperatura são as cerâmicas de fusão ou sinterizadas, que têm boas propriedades térmicas.

[054] O segundo dispositivo trocador de calor 9 pode ser vantajosamente formado como um componente modular, para um simples complemento da câmara de combustão 3, o que

facilita a reposição por desgaste. O diâmetro externo da lateral primária 16 do segundo dispositivo trocador de calor 9 é adaptado ao diâmetro interno da câmara de combustão 3, para formar uma conexão a prova de ar, pela junção dos dois componentes.

[055] Quando a temperatura na câmara de combustão 3 chega ao redor de 650-1200º C, o gradiente de temperatura pode elevar-se entre a parede externa 13 da câmara de combustão e a cobertura exterior 14 do sistema de turbina a gás, que está em contato com a temperatura ambiente. O gradiente de temperatura pode causar deformações no sistema de turbina a gás, em vista do diferente material de expansão da parede externa 13 da câmara de combustão e/ou da cobertura exterior 14, que é preferivelmente de aço fundido.

[056] Para neutralizar as deformações, a parede externa 13 da câmara de combustão e/ou a cobertura exterior 14 podem ser corrugadas, o que oferece uma função pulmonar, onde o material se expande na direção axial, sem causar a indesejável deformação.

[057] O sistema de turbina a gás pode, adicionalmente, ser equipado com uma tubulação 25 entre a saída 21 da turbina 2 e a entrada 4 da câmara de combustão 3. Por consequência, o fluido de trabalho volta para a câmara de combustão 3, onde aquece o combustível provido antes de iniciar a combustão. Assim, o consumo de combustível é reduzido, em virtude da menor necessidade de calor a ser fornecido para a câmara de combustão 3, comparado, por exemplo, com motores Stirling.

[058] Em uma configuração preferida, o sistema de turbina a gás pode, adicionalmente, compreender meios para regulagem do fluxo do gás do fluido de trabalho e/ou do gás de combustão, parcialmente passados para o primeiro 8 e/ou segundo dispositivo trocador de calor 9. Estes meios ou reguladores podem consistir de um ou mais válvulas com tubulações para alimentar, por exemplo, o fluido de trabalho do compressor 1 diretamente para o segundo dispositivo trocador de calor 9 ou, do primeiro dispositivo trocador de calor 8 diretamente para a turbina 2.

[059] Sendo que o sistema de turbina a gás deve ser adaptado, para ser integrado a um veículo, tal como um carro privado, é de grande importância que o sistema seja

suficientemente compacto e que o peso possa ser mantido ao mesmo nível que os motores tradicionais de combustão interna do tipo pistão.

[060] Em um exemplo de integração em um carro privado, a exigência de potência a ser gerada é da ordem de 10-100 KW, correspondendo à potência de uma micro turbina. A construção compacta da seção de baixa temperatura, formada como uma unidade monolítica, permite uma configuração, tendo uma turbina a gás na forma de micro turbina, com o tamanho de um sistema com um comprimento de 700-1000 mm e uma circunferência de 400-600 mm. Pela técnica até agora conhecida, esta redução de tamanho representa uma considerável redução da eficiência, o que é rebatido na presente invenção pela utilização do calor radiante da câmara de combustão 3 para aquecer o fluido de trabalho. Para o tamanho de um sistema de micro turbina, é estimado um espaço adicional para o isolamento em 30-50 mm. Neste particular, a área que rodeia o segundo dispositivo trocador de calor 9, de cerâmica, requer altas demandas com referência à possível temperatura da superfície. Nesta configuração, o conjunto do sistema de micro turbina é calculado em aproximadamente 34 kg.

[061] O sistema de turbina a gás, de acordo com a presente invenção, não se restringe a qualquer tamanho especifico, porém pode ser adaptado para sistema de turbina a gás de potência e tamanho desejados.

[062] Os materiais dos componentes incluídos podem, naturalmente, ser diferentes daqueles mencionados acima, que possam atender às necessidades de força e resistência de calor do sistema de turbina a gás, por exemplo, metais ou materiais compostos.

[063] Os canais/passagens de transferência de calor do primeiro dispositivo trocador de calor podem estar posicionados, de tal forma que o gás de combustão tenha uma direção de fluxo substancialmente tangencial ao redor da câmara de combustão e que o fluido de trabalho tenha uma direção de fluxo axial ao longo da câmara de combustão. Outras concepções são factíveis com ambas direções de fluxo inversas, nas direções tangencial, axial ou helicoidal em um ângulo para o eixo central do sistema de turbina a gás.

[064] Designações de referência

1 Compressor

2 Turbina

3 Câmara de combustão

4 Entrada de câmara de combustão

5 Saída de câmara de combustão

6 Provedor de combustível

7 Gerador

8 Primeiro dispositivo trocador de calor

9 Segundo dispositivo trocador de calor/Seção de alta temperatura

10 Aberturas de saída

11 Canal de transferência de calor para gás de combustão

12 Passagem de transferência de calor para fluido de trabalho

13 Parede externa

14 Cobertura exterior

15 Paredes divisórias

16 Lado primário

17 Lado secundário

18 Centro de radiação de calor

19 Câmara de turbilhonamento

20 Entrada de turbina

21 Saída de turbina

22 Saída de gás de combustão

23 Tubulação (compressor – passagem de transferência de calor)

24 Tubulação (passagem de transferência de calor – câmara de turbilhonamento)

25 Tubulação (compressor – passagem de transferência de calor)

26 Entrada de compressor

27 Saída de compressor

28 Entrada de câmara de turbilhonamento

29 Saída de câmara de turbilhonamento

30 Elevação

Reivindicações

1. Sistema de turbina a gás aquecida indiretamente compreendendo:

- uma câmara de combustão (3), com extensão longitudinal, posicionada ao longo de um eixo central do sistema de turbina a gás, para a combustão do ar e do combustível provido, na qual o gás de combustão é formado;

- uma turbina (2) impulsionada por um fluido de trabalho;

- um compressor (1), rotativamente conectado à turbina (2), para comprimir o fluido de trabalho da turbina (2) e/ou o ar para a câmara de combustão (3); e

- um primeiro dispositivo trocador de calor (8) para a transferência de calor entre o gás de combustão e o fluido de trabalho,

caracterizado por o primeiro dispositivo trocador de calor (8) e a câmara de combustão (3) serem integralmente formados como uma unidade monolítica, estando o primeiro dispositivo trocador de calor (8) substancialmente disposto na extensão longitudinal da câmara de combustão (3) ao longo do eixo central.

2. Sistema de turbina a gás, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** a câmara de combustão (3) ser substancialmente cilíndrica e o primeiro dispositivo trocador de calor (8) estar disposto coaxialmente com a câmara de combustão (3), em torno do diâmetro externo da câmara de combustão (3).

3. Sistema de turbina a gás, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado por** o primeiro dispositivo trocador de calor (8) compreender um trocador de calor por convecção, através do qual o fluido de trabalho e o gás de combustão têm direções inversas de fluxo.

4. Sistema de turbina a gás, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado por** o primeiro dispositivo trocador de calor (8) compreender canais de transferência de calor (11) para o gás de combustão, sob a forma de uma pluralidade de tubos paralelos, posicionados longitudinalmente à câmara de combustão (3), dispostos simetricamente e distribuídos de forma equidistante em torno da

circunferência da câmara de combustão (3).

5. Sistema de turbina a gás, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado por** os canais de transferência de calor (11) serem substancialmente simétricos em termos de fluxo de gás de combustão na saída (5) da câmara de combustão (3).

6. Sistema de turbina a gás, de acordo com a reivindicação 4 ou 5, **caracterizado por** as áreas de seção transversal de, pelo menos, dois canais adjacentes de transferência de calor (11), vistas no mesmo plano perpendicular a um eixo central (C), terem substancialmente a mesma área de superfície.

7. Sistema de turbina a gás, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado por** o primeiro dispositivo trocador de calor (8) compreender uma passagem de transferência de calor (12) para o fluido de trabalho da turbina (2), sob a forma de um canal helicoidal tangencialmente ao redor da circunferência da câmara de combustão (3).

8. Sistema de turbina a gás, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado por** adicionalmente compreender um segundo dispositivo trocador de calor (9), posicionado em frente à saída (5) da câmara de combustão (3).

9. Sistema de turbina a gás de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado por** o fluido de trabalho passar no segundo dispositivo trocador de calor (9), imediatamente antes de ser alimentado para a turbina (2), através da entrada (20) da turbina (2).

10. Sistema de turbina a gás, de acordo com a reivindicação 8 ou 9, **caracterizado por** o segundo dispositivo trocador de calor (9) compreender uma câmara de turbilhonamento (19), tendo uma superfície de transferência da calor voltada para fora da câmara de combustão (3), o fluido de trabalho roçando a superfície de transferência de calor por várias vezes antes que o fluido de trabalho saia para a turbina (2).

11. Sistema de turbina a gás, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado por** adicionalmente compreender um gerador (7) integrado na entrada (26) do compressor (1), com um fluxo de ar contido no compressor (1) resfriando as bobinas do estator do gerador (7).

12. Sistema de turbina a gás, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado por** o primeiro dispositivo trocador de calor (8) e a câmara de combustão (3), em conjunto, formarem uma seção de baixa temperatura feita em aço soldado.

13. Sistema de turbina a gás, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado por** a parede externa (13) da câmara de combustão (3) e/ou a cobertura exterior (14) do sistema de turbina a gás ser(em) corrugada(s), formando uma função de fole, onde o material se expande na direção axial.

14. Sistema de turbina a gás, de acordo com qualquer uma dentre as reivindicações 8 a 10, **caracterizado por** o segundo dispositivo trocador de calor (9) formar uma seção de alta temperatura, feita com cerâmicas sinterizadas e/ou fundidas.

15. Sistema de turbina a gás, de acordo com qualquer uma dentre as reivindicações 8 a 10 ou 14, **caracterizado por** compreender ainda meios para controlar o fluxo do fluido de trabalho e/ou o gás de combustão, que passa parcialmente pelo primeiro e/ou segundo dispositivo trocador de calor (8, 9).

16. Sistema de turbina a gás, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, **caracterizado por** o combustível consistir em biomassa na forma sólida.

17. Sistema de turbina a gás, de acordo com a reivindicação 16, **caracterizado por** o combustível de biomassa consistir em pellets de madeira.

18. Veículo com sistema de turbina a gás **caracterizado por** o sistema de turbina a gás ser conforme descrito em qualquer uma dentre as reivindicações 1 a 17.

1/4

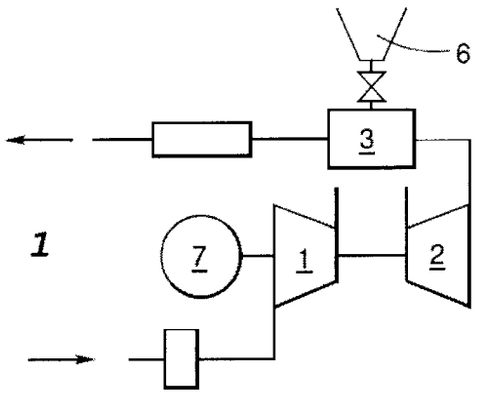


Fig. 1

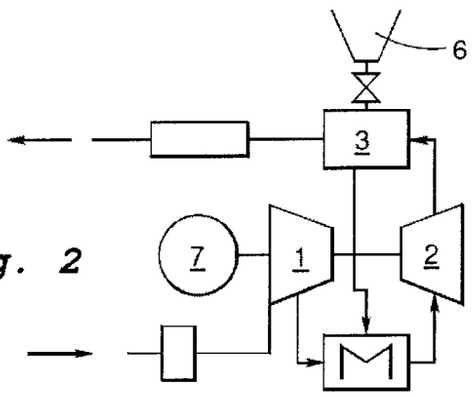


Fig. 2

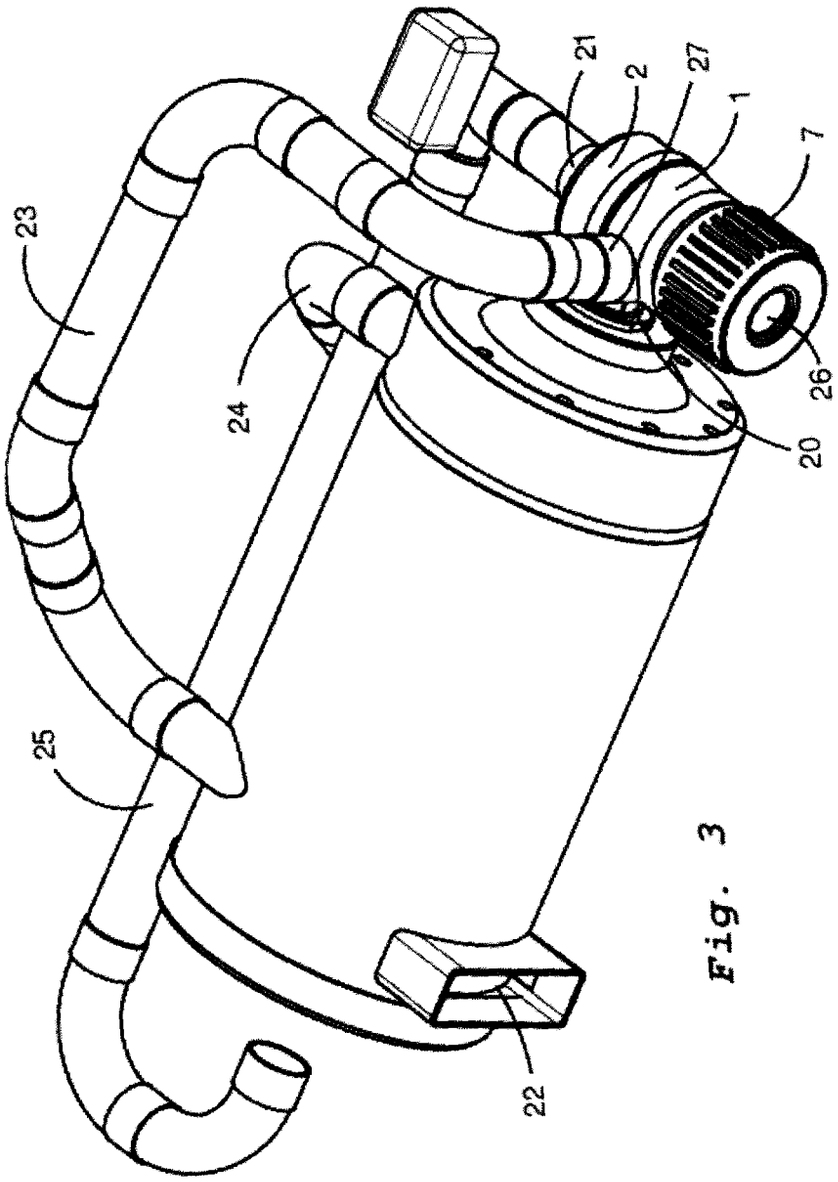


Fig. 3

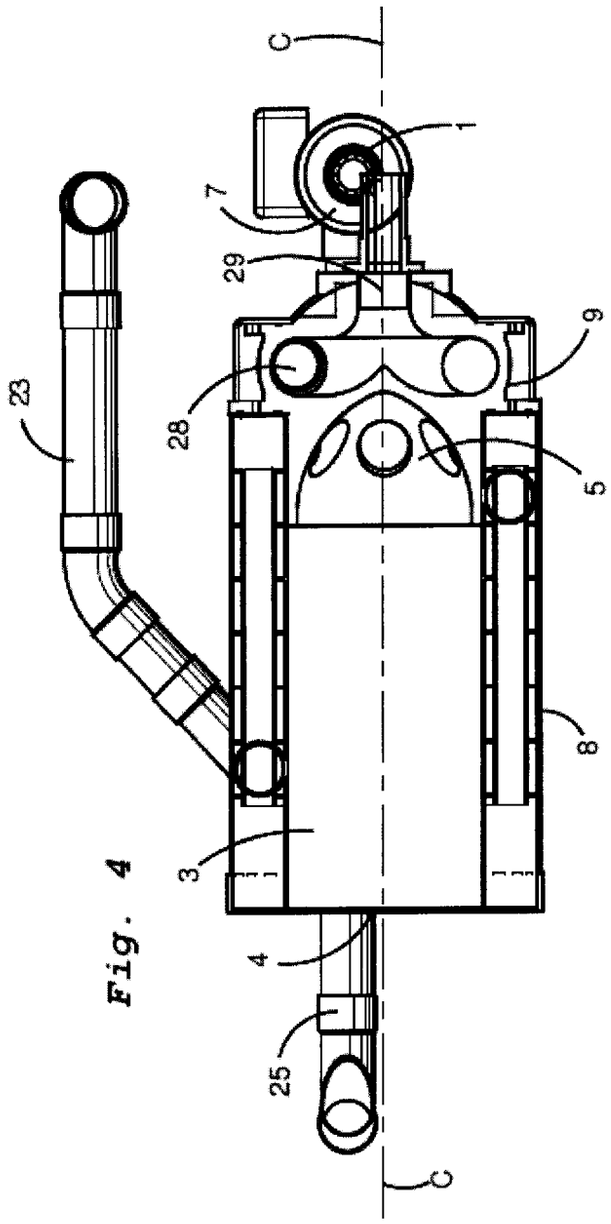


Fig. 4

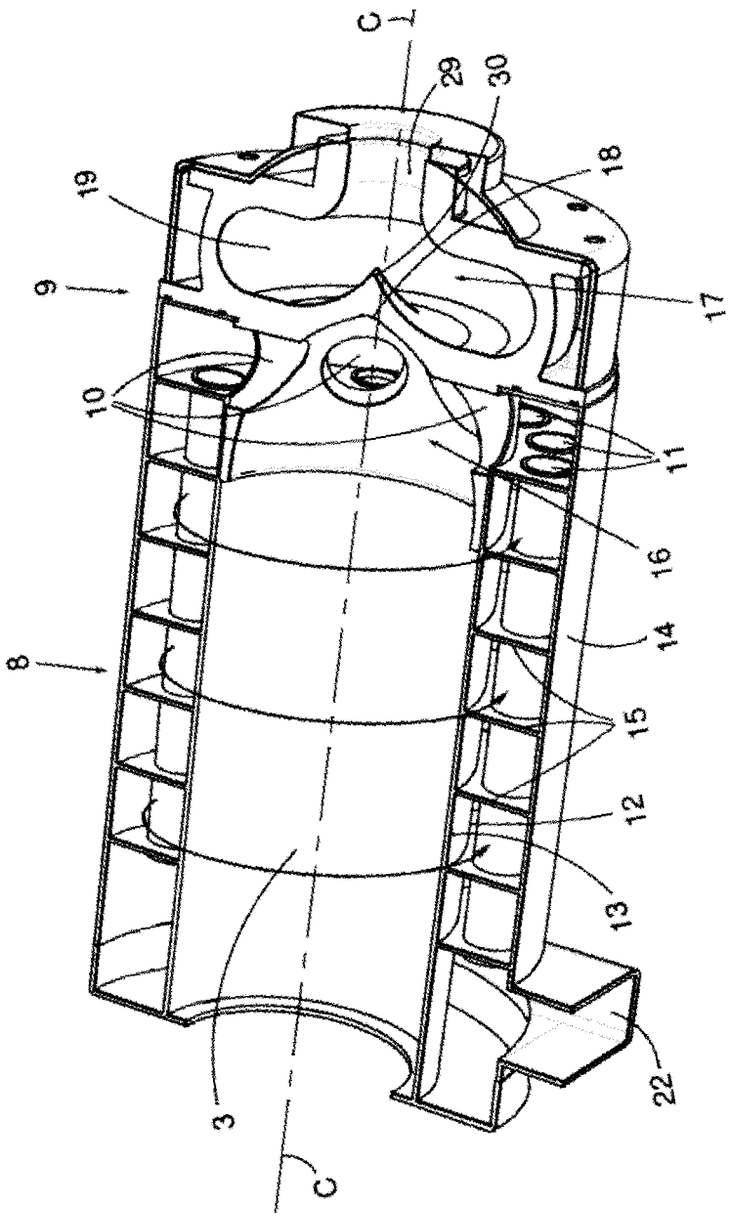


Fig. 5