



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

(21) PI 0809152-8 A2



* B R P I 0 8 0 9 1 5 2 8 A 2 *

(22) Data de Depósito: 12/03/2008
(43) Data da Publicação: 16/09/2014
(RPI 2280)

(51) Int.Cl.:
C25C 3/22
F27D 17/00
F28F 1/02
F28F 9/02

(54) Título: SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO E LIMPEZA DE GÁS DE COMBUSTÃO (57) Resumo:

(30) Prioridade Unionista: 22/03/2007 GB 0705439.8

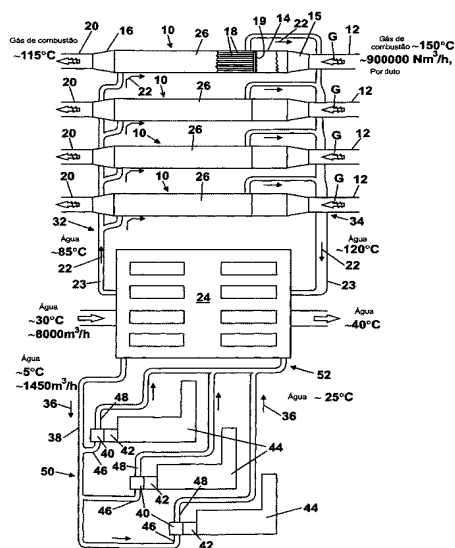
(73) Titular(es): Alstom Technology LTD.

(72) Inventor(es): Geir Wedde, Ole Kristian Bockmann

(74) Procurador(es): Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT EP2008001953 de
12/03/2008

(87) Publicação Internacional: WO 2008/113496 de
25/09/2008



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO E LIMPEZA DE GÁS DE COMBUSTÃO".

Campo da Invenção

5 A presente invenção refere-se a um refrigerador de gás aprimorado para refrigerar gás de combustão a partir de fundidores de alumínio. A mesma refere-se adicionalmente a um sistema aprimorado de refrigeração e limpeza de gás de combustão para uma instalação de fundidor de alumínio, e um sistema para extrair energia de calor a partir do gás de combustão.

Antecedentes da Invenção

10 Fundidores de alumínio, compreendendo muitas células de redução de alumínio (comumente chamadas de "potes"), produzem grandes quantidades de gás de combustão quente contendo fluoreto de hidrogênio, outros gases, particulados, e sublimados. Por exemplo, um fundidor de alumínio produzindo 300.000 toneladas/ano de metal alumínio compreenderá
15 cerca de 400 células de redução, dispostas em quatro fileiras. Uma referida linha de pots produzirá cerca de 3.600.000 metros cúbicos normais por hora (Nm^3/h) de gás de combustão. O gás de combustão bruto deve ser limpo, e um tipo bem conhecido de processo de limpeza de gás usado em relação a isto é o assim chamado processo "lavagem a seco". Instalação de limpeza
20 de gás usando o referido processo é disponível, por exemplo, a partir de ALSTOM Power Environment Control Systems em Drammensveien 165, 0277 Oslo, Norway (Tel. + 47 22 12 70 00).

A tendência do desenvolvimento técnico na indústria de produção de alumínio caminha em direção do tipo de pré-cocção coberta de células de redução. As referidas estão aumentando de tamanho e entrada de
25 energia, resultando em temperaturas mais altas de gás de combustão. A partir de um nível anterior de 70 - 90°C, a temperatura do gás de combustão a partir da linha de pots mais moderna está agora na faixa de 120 - 180°C, ou mesmo mais. Infelizmente, as referidas temperaturas do gás de combustão excedem os níveis aceitáveis de temperatura para a instalação de limpeza
30 de gás usando o processo de lavagem a seco, não só com relação ao processo mas também ao equipamento. Consequentemente, o gás de

combustão bruto contendo poeira e impurezas tem que ser resfriado antes de entrar na instalação de limpeza.

É conhecido se resfriar o gás de combustão bruto quente produzido pelas células de redução de alumínio ao misturar ar ambiente frio dentro dos dutos de gás de combustão a montante da instalação de limpeza de gás. A mistura de gás/ar é fácil e econômica, mas quando temperaturas de gás são iguais ou maiores que 150°C, o volume de ar ambiente necessário para proporcionar refrigeração adequada se torna substancial, e também aumenta o volume de gás resfriado. Portanto, há um aumento correspondente do tamanho da instalação de limpeza de gás, dos ventiladores a jusante que puxam o gás através da instalação de limpeza, e o consumo de energia da instalação. Isto afeta adversamente a economia da instalação, não só durante a sua construção mas também durante a sua operação.

É também conhecido se resfriar o gás de combustão a partir de células de redução de alumínio por evaporação usando injeção direta de água atomizada. Embora o referido sistema reduza o volume geral do gás de combustão, o volume de vapor produzido deste modo deve também ser levado em consideração. O custo direto para o referido sistema de resfriamento é moderado, mas requer grandes quantidades de ar comprimido para atomização da água injetada, de modo que o consumo de energia para a compressão do ar seja alto. Adicionalmente, o sistema requer quantidades relativamente grandes de água de resfriamento fresca e purificada, o que é uma desvantagem econômica e ambiental em áreas onde água limpa e fresca é um recurso valioso. Adicionalmente, assumindo que sacos de filtro são usados na subsequente instalação de limpeza de gás, alta umidade no gás de combustão resfriado pode hidrolisar o tipo de poliéster padrão de saco de filtro, necessitando de uso de um material mais quimicamente inerte e muito consideravelmente mais caro para os sacos de filtro.

Em algumas instalações de fundição de alumínio existentes, é conhecido se recuperar calor a partir do gás de combustão após o mesmo ter sido limpo ao passar o mesmo através de trocadores de calor para produzir água morna com objetivo de aquecimento. Até o presente, a referida

recuperação de calor tem sido apenas possível após o gás ter sido limpo, pelo fato de que poeira, sublimados e outras impurezas no gás de combustão bruto tenderiam, de outro modo, a se depositar como incrustação dura sobre as superfícies do trocador de calor, resultando em entupimento e reduzida transmissão de calor no trocador de calor. Adicionalmente, atualmente a construção de uma capacidade de fundição de alumínio nova ou maior é principalmente limitada aos países tropicais ou subtropicais, nos quais a necessidade de energia para objetivo de aquecimento é limitada ou não existente, a maior necessidade em geral sendo energia para fins de refrigeração.

É conhecido o uso do tipo do tubo de gás do refrigerador de gás para refrigerar gases de combustão quentes a partir de fornos de aço, ferro-silício e metal silício. Nos referidos refrigeradores, o gás de combustão - que vem a partir do forno para o refrigerador por meio de dutos de combustão - flui através de um feixe de tubos paralelos, com o refrigerante fluindo sobre o lado de fora dos tubos. Os vapores e particulados nos referidos gases tendem a formar camadas isolantes de poeira nas paredes do tubo refrigerador, o que reduz a transmissão de calor nos refrigeradores. Este tipo de camada de poeira pode ser derrubado a uma espessura aceitável e pode ser quase completamente removido ao se manter uma alta velocidade de gás ao longo dos tubos, assim mantendo uma aceitável transmissão de calor nos refrigeradores.

Os vapores e particulados no gás de combustão a partir das células de redução de alumínio são dotados, diferente dos vapores e particulados dos gases de forno acima mencionados, de uma forte tendência para formar incrustações duras como rocha quando impactam as superfícies nas zonas de fluxo de gás turbulento, e superfícies que se encontram através do fluxo de gás. As referidas incrustações são muito rígidas e compactas para serem retiradas via sopro e removidas por qualquer velocidade prática de gás nos tubos ou outras partes de um sistema de transporte de gás. Além de ter um efeito isolante no refrigerador de gás, as referidas incrustações tendem a continuar a crescer nas superfícies de impacto e nas zonas de turbulência até que o refrigerador esteja completamente entupido.

Será, portanto, entendido que o tipo do tubo de gás acima mencionado de refrigerador de gás, na forma usada para refrigerar gases de combustão quentes a partir de fornos de metal, é inadequado para uso em limpeza de gás de combustão a partir de células de redução de alumínio.

5 Sumário da Invenção

De acordo com um aspecto da presente invenção, um refrigerador de gás capaz de lidar com gás de combustão bruto quente a partir de células de redução de alumínio em uma instalação de fundidor de alumínio compreende:

- 10 (a) uma câmara de entrada de gás;
- (b) uma câmara de saída de gás; e
- (c) uma pluralidade de tubos de refrigeração de gás, cada tubo de refrigeração dotado de uma extremidade de entrada na câmara de entrada e uma extremidade de saída na câmara de saída, as extremidades de
- 15 entrada sendo no formato de sino e compreendendo um perfil de aceleração de gás aerodinamicamente curvo, eficaz para facilitar fluxo aerodinâmico de gás de combustão bruto quente dentro dos tubos.

Por gás de combustão bruto se quer dizer um gás de combustão que circula não tratado a partir da linha de pote do fundidor de alumínio, con-

20 tendo fluoreto de hidrogênio, poeira, sublimados e outras impurezas.

As entradas em forma de sino dos tubos de refrigeração são projetadas para suavemente acelerar o fluxo de gás de combustão dentro dos tubos, deste modo substancialmente evitando formação de incrustação dentro dos tubos. Quer dizer, a zona de aceleração aerodinamicamente cur-

25 va no formato de sino acima mencionada na entrada de cada tubo de refrigeração encoraja a aceleração de fluxo dinâmico e evita a contração do fluxo (o efeito de *vena contracta*). Na ausência das referidas medidas preventivas, o fluxo turbulento ocasionaria impacto do gás de combustão com as superfícies internas dos tubos de refrigeração, conduzindo a incrustações. Nossa

30 melhor estimativa é que a velocidade de gás acelerada nos tubos de refrigeração de uma modalidade preferida deve estar na faixa de aproximadamente 20 - 30 m/s, dependendo da temperatura do gás.

Preferivelmente, os tubos de refrigeração formam uma matriz de tubos espaçados e mutuamente paralelos entre si. Os tubos de refrigeração devem ser uniformemente espaçados entre si sobre as extensões de seção transversal das câmaras plenum de entrada e de saída e suas extremidades de entrada e saída devem se projetar para dentro das câmaras plenum de entrada e saída, respectivamente.

O refrigerador de gás deve incluir um envoltório refrigerante ou jaqueta em torno dos tubos de refrigeração, o envoltório sendo proporcionado com dutos de entrada e saída de refrigerante. De modo conveniente, o envoltório de refrigerante forma parte de um invólucro externo do refrigerador de gás. Preferivelmente, o refrigerante é água ou outro líquido apropriado. Para maximizar a eficiência de troca de calor, a direção de fluxo de refrigerante através do envoltório de refrigerante sobre as superfícies externas dos tubos deve ser contrária à direção de fluxo de gás através dos tubos.

Em operação, a câmara de entrada é conectada aos dutos de entrada de combustão que transportam o gás de combustão quente a partir das células de redução de alumínio ao refrigerador de gás, enquanto que a câmara de saída é conectada aos dutos de saída de combustão que transportam o gás de combustão resfriado em afastamento a partir do refrigerador de gás para a instalação de limpeza de gás.

A câmara de entrada recebe o gás de combustão bruto quente por meio de uma porção de entrada de difusão divergente, a qual torna mais lento o gás de combustão que entra a partir do duto de entrada para uma velocidade relativamente baixa, de modo que o mesmo seja estabilizado e flua uniformemente para dentro da estrutura de entrada em formato de sino dos tubos de refrigeração. As áreas de fluxo de seção transversal relativas da câmara plenum de entrada e a estrutura de tubos de refrigeração são criteriosamente escolhidas de modo que a porção de difusão da câmara plenum de entrada torne mais lento o gás de combustão quente a uma velocidade relativamente baixa, sem que crie zonas de turbulência que ocasionariam incrustações inaceitáveis no plenum de entrada. Nossa melhor estimativa é que a velocidade do gás na câmara do plenum de entrada deve ser na

faixa de aproximadamente 8 - 12 m/s, dependendo da temperatura do gás. A câmara do plenum de saída recebe o gás de combustão resfriado a partir das extremidades de saída dos tubos de refrigeração, gradualmente acelera o mesmo através de uma porção de saída convergente, e descarrega o mesmo nos dutos de combustão.

Preferivelmente, as câmaras plenum de entrada e saída são desmontáveis a partir da porção de jaqueta refrigerante do refrigerador de gás. Isto apresenta a vantagem de permitir a fácil desmontagem e limpeza das câmaras plenum, e as porções de entrada e saída dos tubos de refrigeração devem então se tornar necessárias. Entretanto, a necessidade para a referida limpeza é minimizada em virtude das medidas acima mencionadas adotadas para evitar turbulência.

Em um outro aspecto da presente invenção, um sistema de refrigeração e limpeza de gás de combustão para uma instalação de fundidor de alumínio inclui em sequência de fluxo:

uma pluralidade de células de redução de alumínio a qual em operação descarrega gás de combustão bruto quente;

pelo menos um refrigerador de gás de combustão na forma de um tubo trocador de calor de gás compreendendo uma pluralidade de tubos de refrigeração, cada tubo de refrigeração dotado de um eixo maior que se estende longitudinalmente e sendo configurado para receber e passar gás de combustão através do mesmo em um fluxo aerodinâmico cujos vetores de velocidade são substancialmente paralelos ao eixo maior do tubo; e

instalação de limpeza de gás de combustão do tipo de lavagem a seco;

o pelo menos um refrigerador de gás de combustão sendo conectado para receber gás de combustão bruto quente a partir das células de redução e para passar gás de combustão resfriado bruto à instalação de limpeza de gás de combustão.

É contemplado que o refrigerador de gás de combustão receba gases de combustão brutos a uma temperatura na faixa de 120 - 250°C e envie os mesmos à instalação de limpeza de gás de combustão a uma tem-

peratura na faixa de 60 - 120°C. A última faixa de temperatura se adequa à instalação de limpeza de gás de combustão do tipo de lavagem a seco.

A refrigeração do gás de combustão antes do mesmo entrar na instalação de limpeza de gás de combustão é vantajosa pelo fato de que o gás de combustão que sai das células de redução está em temperaturas que excedem as capacidades de lavagem a seco da instalação. Para se alcançar a necessária refrigeração do gás de combustão, é utilizada uma jaqueta de refrigeração em torno dos tubos de refrigeração do refrigerador de gás de combustão como parte de um sistema de circulação de refrigerante em circuito fechado que acopla o refrigerador de gás de combustão à acomodação de troca de calor que extrai energia de calor a partir do refrigerante e rejeita a mesma ao ambiente e/ou passa a mesma a uma instalação adicional. Preferivelmente, o sistema de circulação de refrigerante em circuito fechado flui o refrigerante através da jaqueta refrigerante em uma direção contrária ao fluxo de gás de combustão através dos tubos de refrigeração. É conveniente se o refrigerante no sistema de circulação de refrigerante em circuito fechado for água.

Refrigeração dos gases de combustão brutos quentes antes dos mesmos serem passados para a instalação de lavagem a seco será ambientalmente vantajosa, pelo fato de que a referida refrigeração irá aprimorar a eficiência de adsorção do meio de lavagem, deste modo aprimorando a eficiência de recuperação de fluoreto de hidrogênio a partir dos gases de combustão e assim reduzindo emissões prejudiciais. Adicionalmente, a refrigeração do gás de combustão antes do processo de limpeza de gás irá estender a vida dos sacos de filtro usados no processo de lavagem a seco.

Uma vantagem de eficiência adicional pode surgir no sentido de que a refrigeração dos gases de combustão antes da entrada no processo de limpeza de gás pode permitir que os operadores da linha de potes aumentem a amperagem da linha de potes sem efeito prejudicial ao processo de limpeza de gás.

Um fundidor de alumínio pode ser dotado de um grande número de células de redução, e para manipular o grande coeficiente de fluxo volu-

métrico do gás de combustão resultante, é preferido que uma pluralidade de refrigeradores de gás de combustão seja conectada em paralelo uns com os outros para receber o gás de combustão a partir das células de redução. Por exemplo, cada referido refrigerador de gás de combustão pode receber gás de combustão entre cerca de 50 a cerca de 100 células de redução.

Em um aspecto adicional, a presente invenção proporciona um método de refrigeração e limpeza de gás de combustão bruto a partir de uma instalação de fundidor de alumínio proporcionado com instalação de limpeza de gás de combustão do tipo de lavagem a seco, compreendendo as etapas de:

(a) passar o gás de combustão bruto a uma temperatura inicial em excesso daquela compatível com a instalação de limpeza de gás de combustão através de uma pluralidade de refrigeradores de gás disposta para receber o gás de combustão bruto em paralelo uns com os outros, os refrigeradores de gás compreendendo uma estrutura de tubos de refrigeração configurada para receber e passar o gás de combustão bruto através dos mesmos em um fluxo aerodinâmico;

(b) refrigerante fluindo no lado de fora dos tubos de refrigeração para refrigerar o gás de combustão bruto por transferência do calor do gás de combustão ao refrigerante, deste modo refrigerando o gás de combustão a uma temperatura compatível com a instalação de limpeza de gás de combustão; e

(c) passar o gás de combustão resfriado bruto à instalação de limpeza de gás de combustão.

Energia de calor pode ser extraída a partir do refrigerante pela acomodação de troca de calor e usada para aumentar a eficiência da instalação adicional acoplada à acomodação de troca de calor.

Em ainda outro aspecto da presente invenção, uma instalação de fundidor de alumínio é proporcionada com um sistema de resfriamento de gás de combustão, o sistema compreendendo:

pelo menos um refrigerador de gás de combustão na forma de um tubo trocador de calor de gás compreendendo uma pluralidade de tubos

de refrigeração, cada tubo de refrigeração dotado de um eixo maior que se estende longitudinalmente e sendo configurado para receber e passar gás de combustão bruto através do mesmo em um fluxo aerodinâmico cujos vetores de velocidade são substancialmente paralelos ao eixo maior do tubo; e

5 um sistema de circulação de refrigerante que flui refrigerante sobre o lado de fora dos tubos de refrigeração.

É preferido que o sistema de circulação de refrigerante seja um sistema de circulação de refrigerante em circuito fechado e que a acomodação de troca de calor seja acoplada aos refrigeradores de gás de combustão através do sistema de circulação de refrigerante em circuito fechado para refrigerar o refrigerante. A acomodação de troca de calor pode refrigerar o refrigerante ao rejeitar calor ao ambiente e/ou trocar calor com a instalação adicional. Assim, a acomodação de troca de calor pode por sua vez ser acoplada à instalação adicional através de um sistema de circuito fechado adicional de circulação de refrigerante e energia de calor extraída a partir do refrigerante pela acomodação de troca de calor pode então ser usada para aumentar a eficiência da instalação adicional. A referida instalação adicional pode compreender pelo menos um dos a seguir:

20 uma instalação de energia de ciclo combinado (por exemplo, um preaquecedor para água fervente);

uma usina de dessalinização;

um esquema de aquecimento à distância.

Aspectos adicionais da presente invenção serão aparentes a partir de uma leitura cuidadosa da descrição e das reivindicações a seguir.

25 Breve Descrição dos Desenhos

Modalidades exemplificativas da presente invenção serão agora descritas, com referência aos desenhos anexos, nos quais:

a figura 1 é um diagrama de bloco de parte de uma instalação de fundidor de alumínio construída de acordo com a presente invenção;

30 a figura 2 é um diagrama esquemático do sistema de resfriamento de gás de combustão usado na figura 1; e

a figura 3 é uma seção longitudinal de parte do refrigerador de

gás de combustão da figura 2.

Descrição Detalhada das Modalidades Preferidas

Deve ser entendido que as figuras anexas ilustram puramente as modalidades exemplificativas da presente invenção. Cada característica ou parâmetro de sistema mostrado nas figuras ou descrita abaixo será submetida à variação durante a configuração detalhada de um sistema para se adaptar às necessidades de uma linha de potes de fundidor de alumínio particular.

Na figura 1, uma linha de potes de fundidor de alumínio 2 produz gás de combustão carregado quente, particulado e sublimado G. O referido gás de combustão bruto quente é passado através de um refrigerador de gás 10, o qual refrigera o gás de combustão antes do mesmo ser passado através de uma instalação de limpeza de gás de combustão 4 do tipo de lavagem a seco. No refrigerador de gás 10, calor é guiado em afastamento a partir do gás de combustão bruto quente G pelo refrigerante 22. Poderia ser possível se usar água ambiente como o refrigerante 22 para diretamente refrigerar o gás de combustão G por meio de um sistema aberto de circulação de refrigerante. Entretanto, como mostrado, é preferível se refrigerar o refrigerante 22 ao extrair a energia de calor a partir do mesmo em uma acomodação de troca de calor 24 que é acoplada ao refrigerador de gás 10 através de um sistema de circuito fechado de circulação de refrigerante. A acomodação de troca de calor 24 pode então refrigerar o refrigerante ao rejeitar calor ao ambiente E, e/ou por troca de calor com instalação adicional 44 através de um sistema de circuito fechado adicional de circulação de refrigerante, como explicado abaixo. .

Voltando agora para a figura 2, gás de combustão bruto quente é coletado a partir da linha de potes do fundidor por dutos de combustão compreendendo, na referida modalidade, quatro dutos principais de gás de combustão 12. Assumindo um fundidor de capacidade de 300,000 toneladas de alumínio por ano, a linha de potes produzirá cerca de 3,600,000 Nm³/h de gás de combustão G. Cada duto 12 irá portanto lidar com cerca de 900,000 Nm³/h de gás de combustão G. Cada duto principal 12 é de cerca de 5 - 6 m

de diâmetro e neste caso é mostrado como dotado de seu próprio refrigerador de gás 10. Como explicado abaixo, cada refrigerador de gás compreende um tipo do tubo de gás de trocador de calor que é especialmente adaptado para lidar com o gás de combustão bruto quente.

5 Cada refrigerador de gás 10 é dotado de uma câmara plenum de entrada 14 para reduzir e estabilizar o gás de combustão quente recebido a partir do duto principal correspondente 12, e uma câmara plenum de saída 16 para descarregar o gás de combustão resfriado para continuações 20 dos dutos principais de gás de combustão. As câmaras plenum de entrada 14
10 são cerca de 6 - 7 m de diâmetro, e cada uma é dotada de uma porção de entrada de difusão divergente 15 que torna mais lento o gás de combustão G sem substancial turbulência a uma velocidade relativamente baixa de cerca de 8 - 12 m/s. As câmaras do plenum de saída 16 são dotadas de um perfil de contração convergente para aumentar a velocidade do gás de com-
15 bustão resfriado G dentro dos dutos de combustão 20.

A refrigeração do gás de combustão G é efetuada por transferência de calor a partir do gás de combustão para a água de refrigeração 22 (ou outro refrigerante) circulando em um sistema fechado que é pressurizado a cerca de 200 kPa (2 bar). Bombas (não-mostradas), circulam o refrigerante
20 através de dutos 23 que conectam uma acomodação de trocador de calor 24 (exemplos da qual são descritos abaixo) a um envoltório refrigerante ou jaqueta 26 que forma parte de um invólucro externo ou revestimento para cada refrigerador de gás 10. As jaquetas refrigerantes 26 são conectadas ao sistema de resfriamento em paralelo uma com a outra, suas entradas 28 e
25 saídas 30 sendo conectadas às pernas "refrigeradas" e "aquecidas" 32, 34, respectivamente, do sistema de resfriamento.

Na referida modalidade, os refrigeradores de gás 10 reduzem a temperatura do gás de combustão a partir de cerca de 150°C em suas entradas 14, a cerca de 115°C em suas saídas 16. Na última temperatura, o
30 gás de combustão foi refrigerado o suficiente para entrada na instalação de limpeza de gás do tipo de lavagem a seco anteriormente mencionada. Neste meio tempo, a temperatura da água de refrigeração 22 foi aumentada a par-

tir de cerca de 85°C em sua saída a partir da estação do refrigerador de absorção 24 a cerca de 120°C em sua saída a partir das jaquetas de refrigeração 26.

Normalmente, os refrigeradores de gás 10 serão cilíndricos, as jaquetas refrigerantes 26 sendo de mesmo diâmetro que as câmaras plenum de entrada e saída 14, 16. Parte da parede da jaqueta refrigerante 26 do refrigerador de gás mais superior 10 na figura 2 é mostrada separada para revelar um feixe de tubos de refrigeração de gás 18 ocupando o interior do refrigerador de gás e conectada entre as câmaras plenum de entrada e saída, 14, 16. Haverá muitos mais tubos de refrigeração 18 dentro de cada refrigerador de gás 10 do que pode ser ilustrado na figura 2; cerca de 500 - 900 tubos (dependendo do diâmetro do tubo), será igualmente espaçado aparte sobre as áreas de seção transversal da jaqueta refrigerante 26 e das câmaras plenum de entrada e saída 14, 16. Como também indicado na figura 2, para maximizar a eficiência de transferência de calor a partir do gás de combustão G ao refrigerante 22, é arranjado que a direção geral de fluxo de refrigerante através das jaquetas refrigerantes 26 seja contrária ao fluxo do gás de combustão G através dos tubos de troca de calor 18.

Por conveniência de ilustração na figura 2, os refrigeradores de gás 10 são mostrados com seus eixos principais que se estendem longitudinalmente horizontalmente alinhados. Entretanto, na figura 3, refrigerador de gás 10 é verticalmente alinhado, esta sendo a orientação preferida para o tipo do tubo de gás de trocador de calor. O gás de combustão G entra nos tubos de refrigeração 18 em suas extremidades de topo, enquanto água ou outro refrigerante entra na jaqueta refrigerante 26 na extremidade de fundo, flui para cima adiante dos tubos de refrigeração 18 para refrigerar os mesmos, e sai da jaqueta em sua extremidade de topo. Circulação da água refrigerante é auxiliada pelo fato de que na medida em que a mesma é aquecida por contato com os tubos, a mesma se torna menos densa e naturalmente enxágua a parte de cima do recipiente.

Pelo fato dos tubos de refrigeração 18 portarem gás de combustão bruto quente direto a partir da linha de potes, os mesmos são cuidado-

samente aerodinamicamente configurados para controlar a deposição de poeira e incrustações a partir do gás de combustão a uma quantidade mínima que mantém a transmissão eficaz de calor através das paredes dos tubos de refrigeração 18 para dentro do refrigerante 22 fluindo adiante dos
5 mesmos nas jaquetas refrigerantes 26. Neste contexto, a configuração aerodinâmica é tal de modo a manter as linhas de corrente de gás de combustão ou vetores de velocidade substancialmente paralelos às paredes dos tubos de refrigeração 18, isto é, substancialmente paralelos aos seus eixos longitudinais.

10 Como mostrado claramente na figura 3, cada tubo de refrigeração 18 é dotado de uma extremidade de entrada 19 que se projeta dentro da câmara plenum de entrada 14 e uma extremidade de saída 21 que se projeta dentro da câmara do plenum de saída 16. As paredes do tubo são retas, exceto por suas extremidades de entrada 19, cada uma das quais compre-
15 ende uma porção convergente de boca de sino aerodinamicamente formada, projetada para suavemente acelerar o gás de combustão G para dentro dos tubos de refrigeração 18 a partir da velocidade acima mencionada de cerca de 8 - 12 m/s na câmara plenum de entrada, a cerca de 20 - 30 m/s nos tubos de refrigeração. Mantendo o fluxo aerodinâmico dentro dos tubos de
20 refrigeração 18, enquanto se aumenta a velocidade do fluxo, se evita turbulência e se evita a formação de incrustação em suas paredes internas.

Dimensões dos tubos de refrigeração 18 para se obter uma velocidade ótima de gás de combustão será um compromisso entre diversas variáveis, tais como perda de pressão, eficiência de troca de calor, fatores
25 de sujeira e o tamanho geral do refrigerador de gás 10. A otimização ocorrerá durante os testes práticos. Como um exemplo das dimensões envolvidas, cada tubo de refrigeração 18 pode ser dotado de cerca de 6,4 metros de diâmetro e cerca de 20 - 30 metros de comprimento.

Será observado a partir da figura 3 que as câmaras plenum de entrada e saída 14, 16, são desmontáveis a partir da porção de jaqueta refrigerante 26 do refrigerador de gás 10. Isto é facilitado ao se proporcionar a
30 porção de jaqueta de refrigeração 26 com placas de extremidade 28, 30.

Placas de extremidade 28, 30 não só separam a porção de jaqueta de refrigeração pressurizada 26 a partir das câmaras plenum de entrada e saída 14, 16, respectivamente, mas também proporcionam flanges de aparafusamento 31, 32, para interfacear com flanges de aparafusamento similares 33, 34 nas câmaras plenum de entrada e saída 14, 16. A referida construção permite a fácil desmontagem, manutenção e desincrustações das câmaras plenum, e das porções de entrada e saída dos tubos de refrigeração, se isto eventualmente se tornar necessário.

Observa-se que não é necessário que haja uma relação de um a um entre dutos principais 12 e refrigeradores de gás 10, como mostrado na figura 2. Pode de fato ser preferível se dividir o fluxo de gás de combustão a partir de um duto principal 12 em dois ou mais refrigeradores de gás verticalmente dispostos 10. Isto torna mais fácil o controle do fluxo de água através de jaquetas de água 26 e tornaria o tamanho e a complexidade de cada refrigerador de gás 10 mais manejáveis.

Aqueles versados na técnica contemplarão a possível operação dos refrigeradores de gás sobre parâmetros de faixas de processo. Exemplos de possíveis faixas e um valor de referência preferido para a modalidade descrita acima são oferecidos na Tabela abaixo.

20

TABELA

Parâmetro	Unidade	Faixa	Valor de referência
Temperatura do gás de combustão na entrada do refrigerador de gás	°C	120 - 250	150
Temperatura do gás de combustão na saída do refrigerador de gás	°C	60 - 120	115
Pressão do gás de combustão na entrada do tubo de refrigeração	Pa	500 - 2000	1000
Queda de pressão permitida através do tubo de refrigeração	Pa	500 - 1500	1100
Velocidade do gás de combustão nos tubos de refrigeração	m/s	15 - 35	20 - 26
Carga de poeira no gás de combustão	mg/Nm ³	100 - 3000	500 - 1000

Parâmetro	Unidade	Faixa	Valor de referência
Temperatura da água na entrada da jaqueta de água	°C	60 - 120	85
Temperatura da água na saída da jaqueta de água	°C	90 - 150	120
Pressão interna da água	kPa (Bar)	0 - 4 (0 - 400)	2 (200)

Como ilustrado nas figuras 1 e 2, os refrigeradores de gás de combustão descritos acima são vantajosamente parte de um sistema para usar energia de calor a partir do gás de combustão, no qual um sistema de circulação de refrigerante em circuito fechado circula refrigerante através do refrigerador de gás de combustão e da acomodação de troca de calor 24. Energia de calor extraída a partir do refrigerante pela acomodação de troca de calor 24 pode ser usada para aumentar a eficiência de instalação adicional acoplada à acomodação de troca de calor. Exemplos do referido uso de energia de calor extraída serão agora determinados.

10 EXEMPLO 1

Como anteriormente mencionado, novos fundidores de alumínio tendem a ser construídos em áreas tropicais ou subtropicais do mundo. Nas referidas áreas, energia elétrica para as células de redução é produzida em estações de energia acionadas a gás por blocos de energia compreendendo geradores acionados por turbinas a gás. Uma turbina a gás típica usada na referida situação é a ALSTOM® GT 13 E2M, de 180 MW de potência bruta de saída, operando em um ciclo simples.

Um fator limitante para a eficiência e saída de potência de turbinas de gás de ciclo simples é a temperatura da entrada de ar para o compressor. Em áreas tropicais, elas são designadas para uma temperatura de entrada de ar no compressor de +35°C. A saída de energia de um típico bloco de energia de ciclo simples (apenas a turbina de gás) pode ser aumentada em mais do que 10% se a temperatura do ar de entrada no compressor for reduzida a partir de 35°C para 15°C. O refrigerador de gás acima descrito facilita a provisão da referida refrigeração do ar de entrada aos blocos de

energia, no sentido de que o calor recuperado a partir do gás de combustão pelo tubo trocador de calor de gás pode ser usado como a fonte de energia para uma estação de resfriador industrial do tipo de absorção compreendendo a acomodação de trocador de calor 24. A referida estação de resfriador industrial pode produzir água resfriada, a qual pode ser usada para reduzir as temperaturas do ar de entrada no compressor. Será lembrado que para os parâmetros de processo anteriormente cotados, cada refrigerador de gás 10 pode refrigerar 900,000 Nm³/h de gás de combustão a partir de uma temperatura de 150°C a uma temperatura de 115°C. Isto quer dizer que aproximadamente 45 MW de energia de calor é removida a partir do gás de combustão pela estação refrigeradora de absorção 24, e na modalidade ilustrada, a referida energia é usada pela estação de resfriador para produzir basicamente 1450 m³/h de água resfriada 36 a 5°C. A água resfriada 36 é circulada através de dutos isolados 38 para os trocadores de calor 40 (isto é, baterias de refrigeradores de ar, como bem conhecido por si na indústria de geração de energia) localizados nas entradas 42 de três blocos de energia de turbina de gás 44. Os trocadores de calor 40 são conectados ao sistema de resfriamento de água em paralelo uns com os outros, suas entradas 46 e saídas 48 sendo conectadas às pernas "refrigeradas" e "aquecidas" 50, 52, respectivamente, do sistema de resfriamento de água de circuito fechado. O acima mencionado bloco de energia de turbina de gás GT 13 E2M puxa 1.548×10^6 Nm³/h de ar através de seu sistema compressor de turbina quando opera em seu coeficiente contínuo normal. Cálculos termodinâmicos padrão mostram que o referido fluxo de ar pode ser resfriado a partir de 35°C a 15°C usando a quantidade de água resfriada acima mencionada, deste modo significativamente aumentando a turbina de gás, e portanto a eficiência do bloco de energia e da saída de energia.

Como anteriormente mencionado, o calor recuperado a partir do gás de combustão pode ser usado para aumentar a capacidade de produção de energia de um bloco de energia de turbina a gás de ciclo simples em cerca de 10% ou mais. A referida energia extra pode ser usada, por exemplo, para aumentar a capacidade de produção do fundidor de alumínio sem a

necessidade de investir em energia adicional da instalação.

Deve ser observado que alternativamente, ou adicionalmente, a água resfriada produzida na forma acima pode ser usada para condicionamento de ar e refrigeração de edifícios ou distritos, objetivos que são altamente apreciados nas áreas tropicais e subtropicais.

Enquanto os blocos de energia 44 foram descritos acima como de ciclo simples por questões de ilustração, os mesmos podem alternativamente compreender instalações de energia de ciclo combinado, nas quais o calor emitido a partir saída da turbina de gás é usado para produzir vapor para acionar a turbina a vapor acoplada a um gerador elétrico. Em virtude da maior eficiência térmica dos ciclos combinados em relação ao ciclo simples, o calor do gás de combustão a partir dos fundidores de alumínio conectados irá - quando recuperado e utilizado em uma estação refrigeradora de absorção como acima - é dotado de uma capacidade de refrigeração que é 50% a mais do que a necessidade de refrigeração do ar do compressor dos blocos de energia de ciclo combinado conectados. Este excesso de capacidade de refrigeração pode mais uma vez ser usado em instalação adicional, tal como condicionamento de ar e refrigeração de edifícios ou distritos.

Independente de quais blocos de energia de ciclo simples ou de ciclo combinado são usados, é antecipado que a combinação do tubo trocador de calor de gás 10 com uma estação refrigeradora de absorção 24 e refrigeradores de entrada de ar de turbina a gás 40, será economicamente benéfica para a instalação de fundidor de alumínio em áreas tropicais e subtropicais.

Na figura 2, a estação de resfriador 24 usa um banco de oito resfriadores industriais do tipo de absorção, tais como os resfriadores de absorção de efeito simples York Millennium® YIA-14F3, ou equivalentes de outros fabricantes. Dependendo da necessária capacidade de refrigeração e das capacidades dos resfriadores de absorção, menos que oito, ou mais do que oito resfriadores, podem ser usados. Para remover calor de baixa temperatura a partir de água a 120°C retornando a partir dos refrigeradores de gás 10, e a partir de água a 25°C retornando a partir dos trocadores de calor

da entrada de ar 40, os resfriadores usam grandes volumes de água. Esta pode ser água do mar, uma vez que muitos fundidores são atualmente construídos próximos da costa para facilidade de transporte de volume e de minério bauxita e do alumínio refinado. 8000 m³/h de água do mar que entra

5 na estação de resfriador 24 a 30°C será retornada para o mar a 40°C, tendo realizado a necessária refrigeração de dois sistemas de resfriamento de água de circuito fechado. Como um modo alternativo de rejeitar calor ao ambiente, assumindo temperaturas de ar ambiente suficientemente baixas, uma ou mais torres de refrigeração podem ser usadas para refrigerar a água que

10 foi usada no resfriador de absorção como um refrigerante para condensar o fluido de trabalho. Para se evitar perda de água por evaporação, as referidas torres de refrigeração podem ser torres de refrigeração "secas", nas quais a água a ser resfriada não é diretamente exposta ao ar que passa sobre a torre.

15 Enquanto que o uso de resfriadores de absorção de efeito simples tenha sido mencionado acima, o possível uso de resfriadores de absorção de efeito duplo ou de múltiplos efeitos não é deste modo descartado. Entretanto, os dois últimos tipos, embora mais eficientes do que os resfriadores de absorção de efeito simples, necessitam de uma entrada de calor de

20 categoria mais elevada do que os refrigeradores de efeito simples. A entrada de categoria de calor disponível aos resfriadores de absorção depende principalmente da temperatura do gás de combustão, pelo fato de que controla a temperatura de entrada de água aos resfriadores de absorção.

Se, em vez de uma estação do resfriador de absorção, a acomodação de trocador de calor 24 simplesmente compreender um trocador de calor adequado ou um banco de trocadores de calor para aquecer a água de processamento, a energia de calor recuperado pelos refrigeradores de

25 gás 10 pode ser usada na instalação adicional necessitando de entrada de calor, como nos exemplos a seguir.

30 EXEMPLO 2

Calor extraído a partir do gás de combustão pelos refrigeradores de gás 10 é usado para reforçar a eficiência de uma instalação de energia

de ciclo combinado ao preaquecer água fervente para elevar por vapor parte do ciclo combinado.

EXEMPLO 3

5 Calor extraído a partir do gás de combustão pelos refrigeradores de gás 10 é usado para preaquecer a água a ser dessalinizada em uma usina de dessalinização.

EXEMPLO 4

10 Calor extraído a partir do gás de combustão pelos refrigeradores de gás 10 é usado para aquecer a água para circulação em torno de um esquema de aquecimento à distância.

15 A amplitude e o âmbito da presente invenção não devem ser limitados por qualquer uma das modalidades exemplificativas acima descritas, e modificações podem ser feitas dentro do âmbito da presente invenção como reivindicada. Cada característica descrita na especificação, incluindo as reivindicações e os desenhos, pode ser substituída por características alternativas que servem aos mesmos objetivos equivalentes ou similares, a não ser que expressamente determinado o contrário.

20 A não ser que o contexto indique claramente de outro modo, através da descrição e das reivindicações, as palavras "compreende", "compreendendo", e semelhante, devem ser construídas em um sentido inclusivo diferente de um sentido exclusivo ou exaustivo; quer dizer, no sentido de incluir, mas não limitar a".

REIVINDICAÇÕES

1. Refrigerador de gás construído para lidar com gás de combustão bruto quente a partir de células de redução de alumínio em uma instalação de fundidor de alumínio, compreendendo:

- 5 (a) uma câmara de entrada de gás;
 (b) uma câmara de saída de gás; e
 (c) uma matriz de tubos de refrigeração de gás mutuamente paralelos e espaçados entre si, cada tubo de refrigeração dotado de uma extremidade de entrada na câmara de entrada e uma extremidade de saída na
10 câmara de saída, as extremidades de entrada sendo no formato de sino e compreendendo um perfil de aceleração de gás aerodinamicamente curvo eficaz para facilitar o fluxo aerodinâmico de gás de combustão bruto quente dentro dos tubos.

2. Refrigerador de gás de acordo com a reivindicação 1, em que
15 a câmara de entrada recebe gás de combustão bruto quente por meio de uma entrada de difusão, com o que o fluxo de gás é reduzido e estabilizado antes da entrada nos tubos de refrigeração.

3. Refrigerador de gás de acordo com a reivindicação 2, em que
20 a entrada de difusão da câmara de entrada é configurada para reduzir a velocidade do gás de combustão quente na câmara de entrada a uma velocidade relativamente baixa na faixa de aproximadamente 8 - 12 m/s.

4. Refrigerador de gás de acordo com a reivindicação 1, em que as entradas do tubo de refrigeração aceleram o gás de combustão a uma velocidade na faixa de aproximadamente 20 - 30 m/s.

25 5. Refrigerador de gás de acordo com a reivindicação 1, em que as extremidades de entrada e saída dos tubos de refrigeração se salientam para dentro das câmaras plenum de entrada e saída, respectivamente.

6. Refrigerador de gás de acordo com a reivindicação 1, incluindo um envoltório refrigerante em torno dos tubos de refrigeração, o envoltório
30 sendo proporcionado com dutos de entrada e saída de refrigerante.

7. Refrigerador de gás de acordo com a reivindicação 6, em que o envoltório de refrigerante forma parte de um invólucro externo do refrigera-

dor de gás.

8. Refrigerador de gás de acordo com a reivindicação 6, em que a direção de fluxo de refrigerante através do envoltório de refrigerante é contrária à direção de fluxo de gás através dos tubos.

5 9. Refrigerador de gás de acordo com a reivindicação 1, em que as câmaras de entrada e saída são desmontáveis a partir do envoltório de refrigerante.

10 10. Método de refrigeração e limpeza de gás de combustão bruto quente em uma instalação de fundidor de alumínio proporcionado com instalação de limpeza de gás de combustão do tipo de lavagem a seco, compreendendo as etapas de:

15 (a) passar o gás de combustão bruto quente a uma temperatura inicial em excesso daquela compatível com a instalação de limpeza de gás de combustão através de uma pluralidade de refrigeradores de gás disposta para receber o gás de combustão bruto em paralelo um com o outro, os refrigeradores de gás compreendendo uma estrutura de tubos de refrigeração configurada para receber e passar o gás de combustão bruto através do mesmo em um fluxo aerodinâmico;

20 (b) refrigerante fluindo no lado de fora dos tubos de refrigeração para refrigerar o gás de combustão bruto por transferência do calor do gás de combustão ao refrigerante, deste modo refrigerando o gás de combustão a uma temperatura compatível com a instalação de limpeza de gás de combustão; e

25 (c) passar o gás de combustão resfriado bruto à instalação de limpeza de gás de combustão.

11. Método de acordo com a reivindicação 10, em que os refrigeradores de gás de combustão recebem gases de combustão brutos a uma temperatura na faixa de 120 - 250°C e enviam os mesmos à instalação de limpeza de gás de combustão a uma temperatura na faixa de 60 - 120°C.

30 12. Método de acordo com a reivindicação 10, em que para facilitar o fluxo uniforme para dentro dos tubos de refrigeração de gás, o gás de combustão bruto é primeiro reduzido e estabilizado por um processo de difu-

são de fluxo.

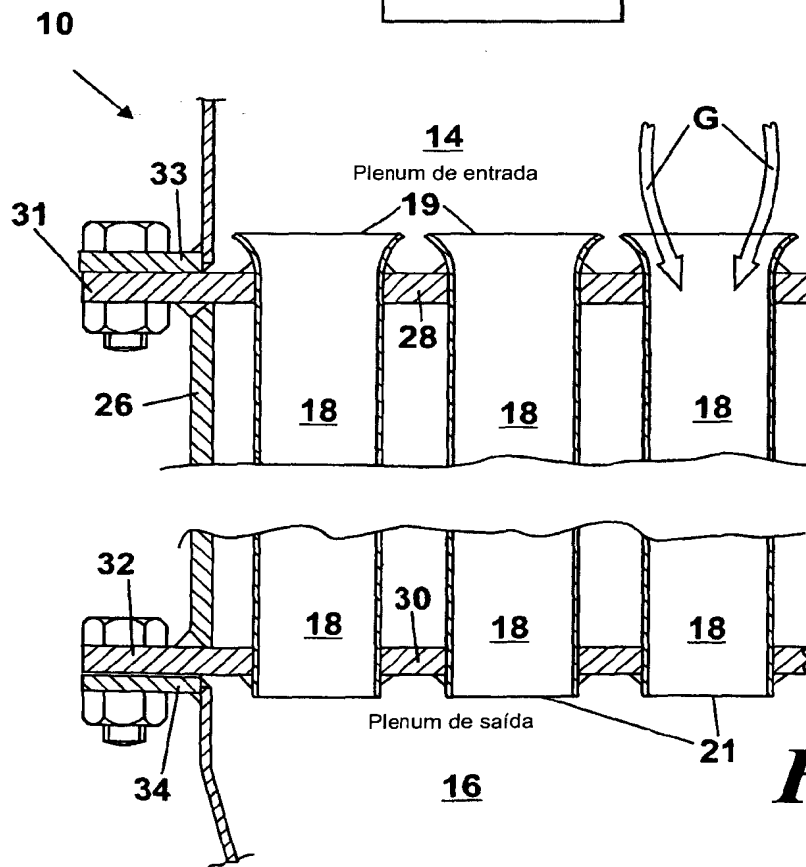
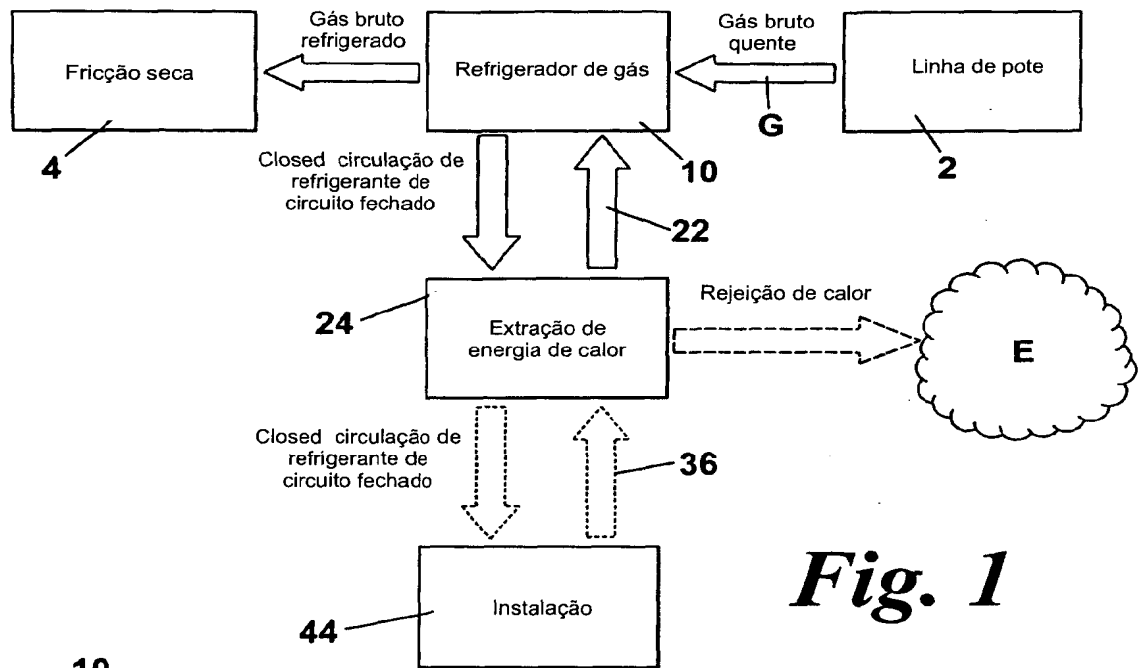
13. Método de acordo com a reivindicação 12, em que o processo de difusão de fluxo torna mais lento o fluxo de gás a uma velocidade relativamente baixa na faixa de cerca de 8 - 12 m/s.

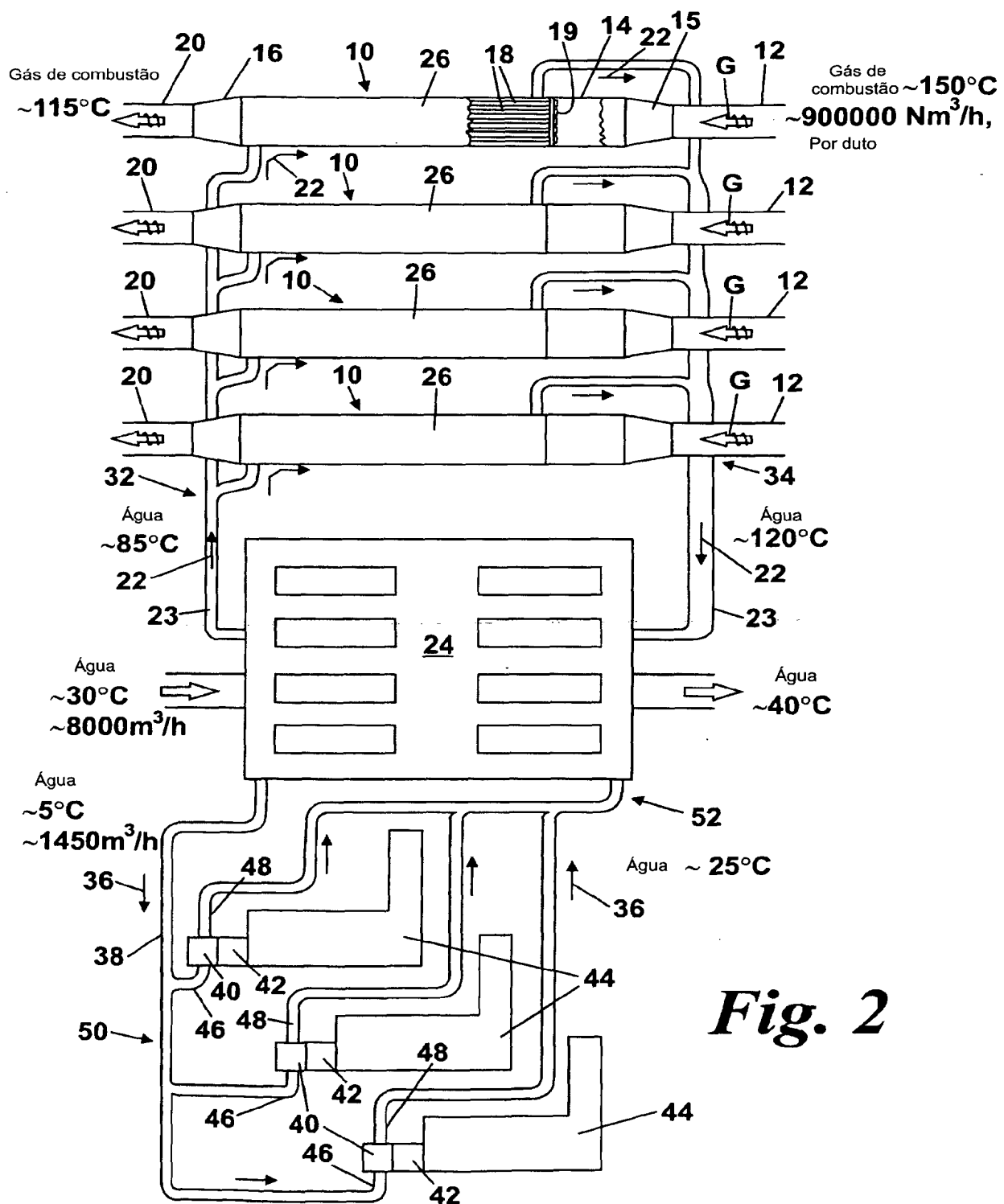
5 14. Método de acordo com a reivindicação 12, em que com a entrada nos tubos de refrigeração, o gás de combustão é submetido a um processo de aceleração de fluxo para estabelecer o fluxo aerodinâmico através do mesmo.

10 15. Método de acordo com a reivindicação 14, em que o processo de aceleração de fluxo acelera o fluxo de gás a uma velocidade na faixa de cerca de 20 - 30 m/s.

16. Método de acordo com a reivindicação 10, em que o refrigerante é fluído sobre os tubos de refrigeração em uma direção contrária ao fluxo de gás de combustão através dos tubos de refrigeração.

15 17. Método de acordo com a reivindicação 10, em que energia de calor é extraída a partir do refrigerante pela acomodação de troca de calor e usada para aumentar a eficiência de instalação adicional acoplada à acomodação de troca de calor.



**Fig. 2**

RESUMO

Patente de Invenção: **"SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO E LIMPEZA DE GÁS DE COMBUSTÃO"**.

A presente invenção refere-se a um refrigerador de gás de combustão aprimorado (10), ou banco de refrigeradores (10), que lida com gás de combustão G a partir de células de redução de alumínio em uma instalação de fundidor de alumínio. O ou cada refrigerador de gás de combustão (10) é dotado de uma câmara de entrada de gás (14), uma câmara de saída de gás (16), e uma matriz de tubos de refrigeração de gás (18) que se estende entre a câmara de entrada e a câmara de saída. Cada tubo de refrigeração (18) é dotado de uma extremidade de entrada no formato de sino (19) compreendendo um perfil de aceleração de gás aerodinamicamente curvo eficaz para facilitar o fluxo aerodinâmico de gás de combustão G dentro do tubo. O refrigerador de gás de combustão aprimorado torna possível conectar o refrigerador de gás de combustão para receber gás de combustão bruto quente G direto a partir das células de redução de alumínio sem se tornar entupido por poeira e sublimados presentes no gás de combustão. Uma vez resfriado, o gás de combustão pode ser passado com segurança para a instalação de limpeza de gás de combustão do tipo de lavagem a seco. Os refrigeradores de gás de combustão aprimorados são vantajosamente parte de um sistema para usar energia de calor a partir do gás de combustão, em que um sistema de circulação de refrigerante em circuito fechado circula refrigerante através do refrigerador de gás de combustão e da acomodação de troca de calor (24). Energia de calor extraída a partir do refrigerante pela acomodação de troca de calor (24) pode ser usada para aumentar a eficiência de instalação adicional acoplada à acomodação de troca de calor.