



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

(11) PI 0518041-4 B1

(22) Data do Depósito: 14/11/2005

(45) Data de Concessão: 09/10/2018



(54) Título: PROCESSO DE TROCA DE CALOR E FORNO À COMBUSTÃO

(51) Int.Cl.: F27D 17/00; C03B 5/235; F23D 14/66; F23L 15/04

(30) Prioridade Unionista: 22/11/2004 FR 0452714

(73) Titular(es): L'AIR LIQUIDE, SOCIÉTÉ ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES
PROCEDES GEORGES CLAUDE

(72) Inventor(es): GABRIEL CONSTANTIN; RÉMI PIERRE TSIAVA; BERTRAND LEROUX

(85) Data do Início da Fase Nacional: 22/05/2007

PROCESSO DE TROCA DE CALOR E FORNO À COMBUSTÃO

A invenção se refere a qualquer indústria na qual se utiliza um forno que gera fumaças quentes, forno no qual se deseja utilizar a energia térmica das fumaças quentes para
5 pré-aquecer reagentes que alimentam o forno, e assim melhorar o rendimento térmico do forno. Pode tratar-se em particular da indústria de vidro e notadamente da indústria do vidro achatado.

São conhecidos essencialmente dois modos de
10 aquecimento de gás, a partir das fumaças quentes.

São conhecidos inicialmente dispositivos que compreendem um trocador de calor que permite um aquecimento direto, eventualmente através de uma parede, do gás de combustão pelas fumaças quentes geradas pelo forno. Os
15 documentos EP 950 031 e US 5.807.418 descrevem esses dispositivos. Essa solução, embora de um custo razoável, já que ela comporta apenas um único trocador de calor, não parece, todavia, fornecer um nível de segurança confiável ou em qualquer caso suficiente. Com efeito, as fumaças
20 contêm freqüentemente não queimados, seja porque o processo necessita de uma atmosfera redutora, seja por causa de um mal funcionamento do queimador. No decorrer do tempo, o material do trocador de calor pode ser danificado, notadamente por corrosão, devido ao contato com as fumaças
25 quentes. Partes do trocador defeituosas podem então permitir o encontro do gás de combustão, que é por hipótese o oxigênio, quente com esses não queimados e assim gerar uma fonte de incêndio, cujas consequências seriam desastrosas.

30 Por outro lado, são conhecidos também dispositivos que

compreendem uma troca de calor em duas etapas, graças a dois trocadores de calor distintos. O primeiro trocador de calor serve para aquecer um fluido intermediário, notadamente o ar, a partir das fumaças quentes e o segundo trocador de calor serve para aquecer o gás de combustão, em particular o oxigênio, a partir do fluido intermediário anteriormente aquecido pelo primeiro trocador de calor. Os documentos US 6.071.116 e US 6.250.916, patentes do titular do presente pedido de patente, descrevem esses dispositivos. Essa solução é mais segura do que a primeira descrita acima, pois o teor em oxigênio do fluido intermediário não é suficiente para inflamar os não queimados de fumaças. Por outro lado, uma perfuração nas paredes do trocador gás de combustão / fluido intermediário não terá nenhum efeito, quando esse gás é o oxigênio e o fluido intermediário é o ar, pois se trata do encontro dos dois combustíveis. Ao contrário, essa solução não é adaptada para o aquecimento do gás natural como gás de combustão, pois uma falha do trocador de calor fluido intermediário / gás permitiria a mistura de gás natural com o ar quente (fluido intermediário) e geraria uma explosão. Uma outra desvantagem dessa solução é seu custo elevado, já que ela necessita de dois trocadores de calor distintos ligados por um circuito.

Subsiste portanto uma necessidade para um dispositivo de troca de calor melhorado, permitindo evitar os inconvenientes dos dispositivos conhecidos.

A invenção tem, portanto, por objeto um trocador de calor para forno à combustão, esse trocador compreendendo uma zona de troca de calor provida de um meio de travessia

das fumaças quentes oriundas de um queimador de um forno, essa zona sendo atravessada por pelo menos um meio para transportar um gás de combustão a aquecer, depois uma fonte de gás de combustão, via a zona de troca de calor e até um
5 queimador do forno, esse meio sendo provido de uma parede concebida para permitir o aquecimento do gás de combustão por transferência de energia térmica, esse meio para transportar o gás de combustão sendo disposto na zona de troca de calor em um meio capaz de conter um gás inerte e
10 provido de parede concebida para permitir o aquecimento do gás inerte por transferência da energia térmica dessas fumaças quentes.

Assim, em um trocador de calor, de acordo com a invenção, a transferência térmica ou troca de calor entre
15 as fumaças quentes e o gás de combustão é feita de forma indireta através de uma parede (aquela do meio para transportar um gás de combustão) e através de uma atmosfera de gás inerte.

Por gás de combustão, entende-se qualquer gás
20 habitualmente usado em um trocador de calor, e em particular um combustível, tal como o oxigênio, o ar, o ar enriquecido em oxigênio ou um combustível, tal como o gás natural.

Por gás inerte, entende-se qualquer gás inerte face à
25 combustão, isto é, todos os gases não combustíveis, salvo o oxigênio. Citar-se-ão notadamente o argônio, o hélio, o néon, o cripton, o nitrogênio ou uma de suas misturas. Esse gás inerte é, de preferência, estático. Em um modo de realização, o gás inerte é não estático, isto é, há um
30 fluxo de gás inerte no meio que contém o gás inerte, mas

isto implica um circuito de alimentação separado e, portanto, um dispositivo mais complexo.

O meio de travessia de fumaças quentes oriundas de um queimador do forno pode ser qualquer meio habitualmente conhecido e utilizado por um técnico em um trocador de calor usual, em particular as fumaças podem ser canalizadas à contra-corrente do gás de combustão ou perpendicularmente à direção do gás de combustão.

O meio para transportar o gás de combustão pode ser qualquer meio apropriado conhecido do técnico e permitindo o transporte do gás de combustão, a partir de uma fonte de gás de combustão, via a zona de troca de calor de forma, e para um queimador do forno à combustão. Pode tratar-se, por exemplo, de pelo menos um tubo ou conduto, reto ou não. A seção reta desse meio pode ser qualquer uma, regular ou não, por exemplo perfeita ou sensivelmente circular, ou oval ou em elipse ou retangular ou retangular com ângulos arredondados ou qualquer forma intermediária e será, de preferência, perfeitamente ou sensivelmente circular. Qualquer meio para transportar um gás de combustão utilizado em um trocador de calor da técnica anterior pode ser utilizado.

A parede do meio para transportar o gás de combustão é principalmente em um material apropriado para resistir a uma atmosfera de gás de combustão quente, e apropriado para permitir uma troca de calor entre o gás de combustão e o gás inerte, que foi ele próprio aquecido pelas fumaças quentes que atravessam a zona de troca de calor. O material principalmente utilizado será, portanto, de preferência resistente à oxidação em uma atmosfera de oxigênio quente,

quando o gás de combustão é um combustível contendo o oxigênio. Os materiais capazes de serem utilizados se desenvolvem, de preferência, no oxigênio quente uma camada protetora de óxido metálico (fenômeno de passivação). Os

5 tipos de materiais que podem ser utilizados são notadamente as ligas ferro - níquel, e notadamente a liga Fe-20Cr-30Ni. Para certas aplicações, é desejável que o material utilizado não contenha níquel, caso no qual podem ser utilizados materiais, tais como a liga Fe-21Cr-5Al, menos

10 disponível e mais caro. De maneira geral, a parede não estando em contato direto com as fumaças quentes, as dificuldades em termos de escolha de material são menores do que nos trocadores de calor da técnica anterior, nos quais as dificuldades estão ligadas não somente ao contato

15 com o gás de combustão quente, mas também em contato com as fumaças quentes.

A título de exemplo, a temperatura das fumaças útil pode variar de 500 a 1600 °C, enquanto que a temperatura das paredes em contato com as fumaças quentes pode variar

20 de 300 a 1300 °C, e aquela das paredes em contato com o gás de combustão a aquecer pode variar de 300 °C a 1000 °C; a temperatura do gás inerte pode variar de 300 a 1000 °C e aquela do gás de combustão de 300 a 1000 °C.

O meio capaz de conter um gás inerte pode ser qualquer

25 meio apropriado capaz de conter um gás inerte, estático ou não, e no qual pode ser disposto pelo menos um meio para transportar um gás de combustão. Pode tratar-se, por exemplo, de pelo menos um tubo ou conduto, reto ou não. A seção reta desse meio pode ser qualquer uma, regular ou

30 não, por exemplo perfeitamente ou sensivelmente circular,

ou oval ou em elipse, ou retangular ou retangular com ângulos arredondados ou qualquer forma intermediária. A seção reta desse meio capaz de conter um gás inerte será superior em dimensões, mas, de preferência, similar ou idêntica, em forma à seção reta do meio para transportar o gás de combustão, em particular quando um único meio para transportar um gás de combustão é disposto no meio capaz de conter um gás inerte.

O técnico compreenderá que a espessura, regular ou não, da atmosfera de gás inerte na qual é disposto o meio para transportar um gás de combustão, não deve ser muito considerável, de modo que a transferência de energia térmica possa ocorrer, a partir das fumaças quentes via o gás inerte e até o gás de combustão e saberá determinar a espessura máxima apropriada.

A transferência térmica entre as fumaças quentes e o gás de combustão via o gás inerte é também função da pressão do gás inerte, pois à alta pressão a massa volúmica do gás inerte aumenta e, portanto, a taxa de transferência térmica aumenta, o trocador de calor é, portanto, *a priori* mais eficaz.

Em um primeiro modo de realização particular, o meio para transportar o gás de combustão e o meio capaz de conter o gás inerte são tubos retos de seção reta perfeita ou sensivelmente circular. Não há normalmente contato direto entre o gás de combustão e a parede do meio capaz de conter o gás inerte. Essa parede não sofre, portanto, os mesmos esforços que aquela do meio para transportar o gás de combustão, a probabilidade de corrosão ou / e de oxidação é muito menor. A faixa dos materiais utilizáveis

é, portanto, mais larga do que aquela dos materiais utilizáveis para a parede do meio para transportar um gás de combustão.

Em um segundo modo de realização particular, o meio para transportar o gás de combustão e o meio capaz de conter o gás inerte são tubos retos de seção reta perfeitamente ou sensivelmente circular e, além disso, esses tubos são ligados entre si por pontes metálicas que se estendem da parede interna do tubo externo à parede externa do tubo interno. Esse segundo modo de realização apresenta a vantagem de permitir uma transferência térmica por radiação devido à condução através dessas pontes metálicas. Ele apresenta também a vantagem de reforçar as propriedades mecânicas do trocador.

Em um modo de realização, o meio para transportar um gás de combustão é disposto em um meio capaz de conter um gás inerte unicamente na zona de troca de calor. Em um outro modo de realização, é disposto em um meio capaz de conter um gás inerte na zona de troca de calor, assim como em uma ou várias ondas precedentes e / ou segundo essa zona de troca de calor, no sentido de transporte de gás de combustão no meio para transportar o gás de combustão, esse sentido de transporte sendo da entrada de gás de combustão nesse meio à saída do gás de combustão desse meio.

Um trocador, de acordo com a invenção, pode compreender um único meio para transportar um gás de combustão, disposto em um único meio capaz de conter um gás inerte. Nesse modo de realização, cada conjunto médio para transportar um gás de combustão / meio capaz de conter um gás inerte pode ser inserido e retirado individualmente, em

caso de deterioração.

Um trocador de calor, de acordo com a invenção, pode também compreender vários meios para transportar um gás de combustão - por exemplo, uma dezena desses meios - cada um desses meios sendo disposto em um meio capaz de conter um gás inerte. Nesse modo de realização, cada conjunto meio para transportar um gás de combustão / meio capaz de conter um gás inerte pode também ser inserido e retirado individualmente em caso de deterioração. Nesse modo de realização, os meios capazes de conter um gás inerte podem, de maneira opcional, ser ligados entre si na zona de troca de calor por condutos apropriados, caso no qual será preciso, em caso de deterioração, substituir todos os conjuntos meio para transportar um gás de combustão / meio capaz de conter um gás inerte.

Um trocador de calor, de acordo com a invenção, pode ainda compreender vários meios para transportar um gás de combustão dispostos em um único meio capaz de conter um gás inerte. Nesse modo de realização, o conjunto meios para transportar um gás de combustão / meio capaz de conter um gás inerte deverá ser inserido e retirado em caso de deterioração.

De preferência, quando um trocador de calor, de acordo com a invenção, compreende vários meios para transportar um gás de combustão, evitar-se-á dispor no mesmo trocador de calor um meio para transportar um combustível e um meio para transportar um comburente e dispor-se-ão antes de tudo no mesmo trocador de calor meios para transportar um gás de combustão de mesmo tipo (comburente ou combustível).

A zona de troca de calor do trocador de calor, de

acordo com a invenção, está apta a ser atravessada por fumaças quentes oriundas de um queimador do forno. Na prática, as fumaças quentes saem do queimador e são recuperadas em uma tubulação que as leva até o trocador de calor, de forma que elas o atravessem da maneira desejada. O sentido de travessia das fumaças quentes pode ser qualquer um, por exemplo de baixo ou em cima, ou à contracorrente em relação ao sentido de transporte do gás de combustão, como é conhecido do técnico.

10 O trocador de calor indireto, de acordo com a invenção, apresenta muitas vantagens devido à presença de uma zona de gás inerte.

O trocador de calor indireto, de acordo com a invenção, permite alargar a faixa dos materiais utilizáveis. Com efeito, quando do acionamento do trocador de calor, um meio capaz de conter um gás inerte sofre uma variação brusca e importante de temperatura, por exemplo da ordem de 1300 °C (temperatura da parede que pode ser atingida após contato com as fumaças quentes), mas não há riscos de corrosão ou de oxidação de sua parede, pois não há contato direto entre o gás de combustão (que pode ser o oxigênio ou conter oxigênio) e a parede desse meio capaz de conter o gás inerte. Ao contrário, o meio para transportar o gás de combustão é mais sensível às variações bruscas de temperatura, pois elas aceleram a corrosão e a oxidação; ao contrário, ele sofre uma variação de temperatura menos rápida, pois a transferência térmica é feita através do gás inerte que funciona como um tampão.

25 Por outro lado, durante o funcionamento de um trocador de calor, a temperatura das fumaças quentes pode variar de

maneira pontual. Em um trocador de calor da técnica anterior, isto acarreta variações de temperatura do gás de combustão que é aquecido, variações que devem ser consideradas na regulação da combustão. No caso de um
5 trocador de calor, de acordo com a invenção, a inércia térmica do gás inerte diminui a amplitude dessas variações.

Além disso, a presença dessa zona de gás inerte tem consequências vantajosas em termo de segurança. Com efeito, em caso de perfuração de parede ou de inflamação do meio
10 para transportar o gás de combustão, a mistura do gás de combustão com as fumaças quentes é impedida devido ao gás inerte. Além disso, o gás inerte pode ser absorvido por efeito Venturi nesse meio para transportar o gás de combustão, e a diminuição da pureza do gás de combustão
15 freqüentemente oxidante permite reduzir a probabilidade de propagação da combustão.

Em um modo de realização, o trocador de calor, de acordo com a invenção, é equipado com um meio de controle do funcionamento do trocador de calor, que permite detectar
20 falhas.

Em particular, o meio capaz de conter um gás inerte pode ser ligado a um detector de variação de pressão. Se o detector de variação de pressão detectar uma baixa de pressão, isto será identificado como um escape de gás
25 inerte, devido a uma perfuração de uma parede. Um alarme de prevenção pode, então, ser acionado e um sistema de desvio pode ser previsto para continuar a alimentação do queimador com gás de combustão, interrompendo a passagem das fumaças quentes no trocador de calor deteriorado que pode ser
30 reparado.

O meio capaz de conter um gás inerte pode também ser ligado a um meio de controle do funcionamento do trocador de calor que mede a qualquer momento a temperatura e a pressão do gás inerte. Essa dupla detecção permite afinar o controle. Com efeito, a temperatura do gás inerte varia enormemente, quando da colocação em serviço (por exemplo da ordem de 30 °C a aproximadamente 1000 °C), salvo se for previamente aquecido e essa variação de temperatura acarretar uma variação de pressão de volume constante. Em um sistema em que só a pressão é controlada, a variação de pressão, quando da colocação em serviço, vai gerar alarmes falsos - positivos. Ao contrário, em um sistema que controla a temperatura e a pressão, o controle pode ser mais preciso e pode ser previsto um alarme, isto é, o sinal de um escapamento de gás inerte, nos seguintes casos: (1) a pressão medida diminui e a temperatura medida permanece constante, ou (2) a pressão medida diminui e a temperatura medida aumenta. Um sistema de desvio pode ser previsto para continuar a alimentação do queimador com gás de combustão, interrompendo a passagem das fumaças quentes do trocador de calor deteriorado que pode ser reparado.

A baixa de pressão, detectada por um detector de pressão ou um detector de pressão e de temperatura, pode revelar um escapamento de gás inerte, devido a uma perfuração da parede do meio para transportar um gás de combustão e / ou da parede do meio capaz de conter um gás inerte, mesmo se as paredes não são submetidas aos mesmos esforços.

No caso de um trocador de calor que compreende um meio de controle do funcionamento do trocador de calor, é

preferível que exista uma diferença de pressão ΔP entre a pressão estática do gás de combustão P_{GC} estática e a pressão estática do gás inerte P_{GI} estática, esta diferença de pressão será positiva, isto é, a pressão estática do gás inerte
5 será superior à pressão estática do gás de combustão. Uma diferença de pressão superior ao ruído de fundo do aparelho, isto é, às variações normais, será preferida, de forma a limitar os alarmes falsos - positivos. O técnico poderá estabelecer caso por caso o ruído de um dispositivo,
10 após a medida da variação de pressão do dispositivo.

De maneira geral, e quer haja ou não uma diferença de pressão ΔP , a transferência térmica entre as fumaças quentes e o gás de combustão via o gás inerte é também função da pressão do gás inerte, pois à alta pressão a
15 massa volúmica do gás inerte aumenta e, portanto, a taxa de transferência térmica aumenta, o trocador de calor é, portanto, *a priori* mais eficaz.

Por outro lado, uma diferença de pressão positiva, isto é P_{GI} estática $>$ P_{GC} estática, favorece o escapamento de gás
20 inerte no meio para transportar um gás de combustão, e favorece, portanto, o efeito Venturi, em caso de perfuração de parede ou de inflamação do meio para transportar o gás de combustão, e favorece, em particular, a parada da inflamação devido ao fluxo de gás inerte. De maneira geral,
25 é fácil para o técnico determinar a pressão de gás inerte apropriada: conhecendo-se o débito de entrada e o diâmetro do meio para transportar o gás de combustão, pode-se deduzir daí a pressão estática e, por conseguinte, fixar a pressão de gás inerte desejada para se conseguir ou não uma
30 diferença de pressão, positiva ou negativa. A título

indicativo, pode-se dimensionar o trocador e mais especificamente a pressão de gás inerte, de forma que, em caso de começo de combustão (quando de um escapamento), a vazão de gás inerte aspirado por efeito Venturi no meio para transportar um gás de combustão seja superior, de preferência aproximadamente duas vezes superior, de preferência ainda aproximadamente quatro vezes superior, à vazão do gás de combustão. Quando o gás de combustão é o oxigênio, e a vazão do gás inerte é aproximadamente quatro vezes superior àquela do oxigênio, a percentagem de oxigênio na mistura formada em consequência da aspiração por efeito Venturi é então equivalente à percentagem de oxigênio no ar. Esse cálculo pode ser feito com base em uma estimativa do tamanho da perfuração no meio capaz de conter o gás de combustão. Além disso, considerando-se que a vazão de gás de combustão pode ser variável, o cálculo é preferencialmente feito com base no débito máximo (e, portanto, da pressão correspondente) de gás de combustão que pode ser aplicado no trocador. Se o tamanho da perfuração no meio capaz de conter o gás de combustão for inferior ao tamanho previsto para o cálculo do dimensionamento e, por conseguinte, a pressão de gás inerte aplicada não permite parar a combustão do material, a presença de um detector de variação de pressão do gás inerte permite parar a alimentação com gás de combustão e assegurar rapidamente a combustão do material.

A invenção tem também por objeto um forno à combustão que compreende pelo menos um trocador de calor, de acordo com a invenção. De preferência, ele compreenderá vários trocadores de calor, de acordo com a invenção, um ou vários

podendo alimentar o forno com combustível e / ou um ou vários podendo alimentar o forno com comburente.

A invenção tem também por objeto um processo de troca de calor para pré-aquecer um gás de combustão que alimenta
5 um forno à combustão que emite fumaças quentes, esse processo compreendendo uma etapa de pré-aquecimento do gás de combustão por troca térmica com as fumaças quentes, por intermédio de uma atmosfera de gás inerte. O processo, de acordo com a invenção, pode compreender a utilização de um
10 trocador de calor, de acordo com a invenção.

O trocador de calor indireto, de acordo com a invenção, será descrito mais detalhadamente em relação com as figuras, que são dadas a título ilustrativo unicamente e nas quais:

15 - a figura 1 representa um modo de realização de um trocador de calor indireto, de acordo com a invenção;

- a figura 2 ilustra as pressões de gás inerte e de gás de combustão em um trocador de calor, de acordo com a invenção;

20 - a figura 3 representa um trocador de calor indireto, de acordo com a invenção, no meio de um sistema de alimentação de um forno à combustão;

- a figura 4 ilustra um tipo particular de trocador de calor, de acordo com a invenção.

25 A figura 1 representa um trocador de calor indireto (4), de acordo com a invenção, compreendendo uma zona de troca de calor (2), atravessada por fumaças quentes, e compreendendo um meio (1a) para transportar um gás de combustão no sentido indicado pelas setas, esse meio sendo
30 munido de uma parede (1b), disposto em um meio (3a) capaz

de conter um gás inerte provido de uma parede (3b). Nesse modo de realização, o meio (1a) para transportar um gás de combustão é disposto no meio (3a) capaz de conter um gás inerte na zona de troca de calor (2) e nas zonas
5 precedentes e segundo essa zona de troca de calor no sentido de transporte do gás de combustão no meio para transportar o gás de combustão.

O meio de controle do funcionamento do trocador de calor (5) que é opcional, é, no caso, representado ligado
10 ao meio capaz de conter um gás inerte. As setas largas verticais indicam o sentido de travessia das fumaças quentes de ambos os lados dos meios (1a e 3a), que, nesse modo de realização, é perpendicular à direção do gás de combustão.

15 A figura 2 ilustra as pressões de gás inerte P_{GI} e de gás de combustão P_{GC} estática $P_{GC\ s}$ ou dinâmica $P_{GC\ D}$, em um trocador de calor, de acordo com a invenção. É preferível que P_{GI} estática seja superior a P_{GC} estática, de forma a criar uma diferença de pressão $\Delta P = P_{GI\ estática} - P_{GC\ estática}$
20 positiva.

A figura 3 representa o esquema do conjunto de um dispositivo de alimentação de um forno à combustão e mais especificamente de um queimador (B) desse forno. O dispositivo compreende um trocador de calor, de acordo com
25 a invenção. O trocador de calor é ligado a uma fonte de gás de combustão (6), a uma fonte de gás inerte (7) e a uma fonte de fumaças quentes (8). O trocador de calor compreende uma zona de troca de calor (2), atravessada por fumaças quentes (sentido de travessia não representado).
30 Ele compreende também um meio (1a) de transporte de um gás

de combustão GC munido de uma parede (1b), alimentando um
queimador (B), esse meio (1a) sendo disposto em um meio
(3a) capaz de conter um gás inerte GI provido de uma parede
(3b). Nesse modo de realização, o meio (1a) para
5 transportar um gás de combustão GC é disposto no meio (3a)
capaz de conter um gás inerte GI na zona de troca de calor
(2) e nas zonas precedentes e que seguem essa zona de troca
de calor no sentido de transporte do gás de combustão no
meio para transportar o gás de combustão. Três válvulas V1,
10 V2 e V3 estão presentes para controlar as alimentações com
gás de combustão (válvula V1), gás inerte (válvula V2) e
fumaças quentes (válvula V3) respectivamente, o trocador de
calor representado compreende um meio de controle do
funcionamento do trocador de calor ligado ao meio capaz de
15 conter um gás inerte, assim como às válvulas. Esse meio de
controle do funcionamento do trocador de calor compreende
um detector de temperatura T_{GI} e um detector de pressão PSL
que permite a medida da temperatura e da pressão de gás
inerte.

20 Uma perfuração é detectada pelo meio de controle de
funcionamento do trocador de calor, caso o detector T_{GI} meça
uma baixa de pressão e uma temperatura constante, ou caso o
detector T_{GI} meça uma baixa de pressão e um aumento de
temperatura. A válvula V1 é modificada para que o gás de
25 combustão evite o trocador de calor danificado, graças a um
desvio, a válvula V3 é modificada para interromper a
passagem das fumaças no trocador danificado, um alarme de
prevenção é acionado e é possível substituir os componentes
danificados. As fontes de gás de combustão (6), gás inerte
30 (7) e fumaças quentes (8) podem então eventualmente

alimentar ou continuar a alimentar outros queimadores B', B'', etc.

A figura 4 representa o esquema de um trocador de calor, de acordo com a invenção, constituído de dois tubos retos de seção reta, cujas paredes (1b) e (3b) são ligadas entre si por pontos metálicos (9), estendendo-se da parede interna do tubo externo à parede externa do tubo interno.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de troca de calor para pré-aquecer um gás de combustão que alimenta um forno à combustão que emite fumaças quentes, compreendendo uma etapa de pré-aquecimento
5 do gás de combustão por troca térmica com as fumaças quentes, por intermédio de uma atmosfera de gás inerte, o referido processo caracterizado por compreender o uso de um trocador compreendendo uma zona de troca de calor (2) provida de um meio de travessia de fumaças quentes de um
10 queimador do forno, a referida zona sendo atravessada por pelo menos um meio (1a) para transportar um gás de combustão a ser aquecido, a partir da fonte de gás de combustão, via a zona de troca de calor e até um queimador do forno, o referido meio (1a) sendo provido de uma parede
15 (1b) concebida para permitir o aquecimento do gás de combustão por transferência de energia térmica, o referido meio (1a) para transportar o gás de combustão sendo disposto na zona de troca de calor em um meio (3a) contendo o gás inerte e provido de uma parede (3b) concebida para
20 permitir o aquecimento do gás inerte por transferência da energia térmica dessas fumaças quentes, de modo que dentro do trocador de calor (2), a troca térmica entre as fumaças quentes e o gás de combustão é feita de maneira indireta através da parede (1b) do meio (1a) para transportar o gás
25 de combustão e através de uma atmosfera de gás inerte.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato do gás inerte ser estático.

3. Processo, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato do meio (1a) para transportar um
30 gás de combustão ser um tubo ou um conduto, em particular

de seção reta perfeitamente ou sensivelmente circular.

4. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato do meio (3a) contendo o gás inerte ser um tubo ou um conduto, em particular de seção reta perfeitamente ou sensivelmente circular.

5. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato do meio (1a) para transportar um gás de combustão ser disposto no meio (3a) contendo o gás inerte na zona de troca de calor (2) e em uma ou várias zonas precedentes e/ou que seguem a referida zona de troca de calor no sentido de transporte do gás de combustão no meio para transportar o gás de combustão.

6. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado por compreender vários meios (1a) para transportar um gás de combustão.

7. Processo, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por compreender vários meios (3a) contendo o gás inerte e pelo fato de cada um dos meios (1a) para transportar um gás de combustão ser disposto em um dos meios (3a) contendo o gás inerte, os referidos meios contendo o gás inerte sendo opcionalmente ligados entre si por condutos na zona de troca de calor.

8. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato do funcionamento do trocador ser controlado por um meio de controle do funcionamento do trocador de calor, notadamente um meio de controle do funcionamento do trocador de calor ligado ao meio contendo o gás inerte.

9. Processo, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato do meio de controle do funcionamento do trocador de calor detectar as variações de pressão ou as variações de pressão e de temperatura.

5 10. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de apresentar uma diferença de pressão, em particular positiva, entre a pressão estática do gás de combustão e a pressão estática do gás inerte.

10 11. Forno à combustão caracterizado por compreender pelo menos um trocador de calor, e do pelo menos um trocador de calor compreender uma zona de troca de calor (2) provida de um meio de travessia de fumaças quentes de um queimador do forno, a referida zona sendo atravessada
15 por pelo menos um meio (1a) para transportar um gás de combustão a ser aquecido, a partir da fonte de gás de combustão, via a zona de troca de calor e até um queimador do forno, o referido meio (1a) sendo provido de uma parede (1b) concebida para permitir o aquecimento do gás de
20 combustão por transferência de energia térmica, o referido meio (1a) para transportar o gás de combustão sendo disposto na zona de troca de calor em um meio (3a) capaz de conter um gás inerte e provido de uma parede (3b) concebida para permitir o aquecimento do gás inerte por transferência
25 da energia térmica dessas fumaças quentes, de modo que dentro do trocador de calor (2), a troca térmica entre as fumaças quentes e o gás de combustão é feita de maneira indireta através da parede (1b) do meio (1a) para transportar o gás de combustão e através de uma atmosfera
30 de gás inerte.

12. Forno, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato do trocador de calor compreender vários meios (1a) para transportar um gás de combustão.

13. Forno, de acordo com a reivindicação 12,
5 caracterizado pelo fato do trocador de calor compreender vários meios (3a) capazes de conter um gás inerte e pelo fato de cada um dos meios (1a) para transportar um gás de combustão ser disposto em um dos meios (3a) capazes de conter um gás inerte, os referidos meios capazes de conter
10 um gás inerte sendo opcionalmente ligados entre si por condutos na zona de troca de calor.

14. Forno, de acordo com a reivindicação 12 ou 13, caracterizado pelo fato do trocador de calor compreender, um meio de controle do funcionamento do trocador de calor
15 (5), notadamente um meio de controle do funcionamento do trocador de calor ligado ao meio capaz de conter um gás inerte.



