



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

(11) PI 1011905-1 B1

(22) Data do Depósito: 30/04/2010

(45) Data de Concessão: 06/02/2018



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

(54) Título: MÉTODO DE OPERAÇÃO DE ALTO-FORNO, USINA DE ALTO-FORNO E MÉTODO DE COMBUSTÃO DE GÁS DE VALOR CALORÍFICO BAIXO COM USO DE UM QUEIMADOR DE COMBUSTÃO

(51) Int.Cl.: C21B 5/06; C21B 5/00; F23C 3/00

(30) Prioridade Unionista: 22/10/2009 JP 2009-243132, 22/10/2009 JP 2009-243150, 27/04/2010 JP 2010-102720, 29/12/2009 JP 2009-299103, 29/12/2009 JP 2009-299101, 29/12/2009 JP 2009-299098, 30/04/2009 JP 2009-110433

(73) Titular(es): JFE STEEL CORPORATION

(72) Inventor(es): MINORU ASANUMA; TAIHEI NOUCHI; AKIO FUJIBAYASHI; AKINORI MURAO

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO DE OPERAÇÃO DE ALTO-FORNO, USINA DE ALTO-FORNO E MÉTODO DE COMBUSTÃO DE GÁS DE VALOR CALORÍFICO BAIXO COM USO DE UM QUEIMADOR DE COMBUSTÃO**".

5 CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a um método de operação de um alto-forno e de uma instalação de alto-forno, para desempenhar uma operação de razão de agente de redução com baixa estabilidade e a um método de combustão de gás de baixo valor calorífico.

10 DESCRIÇÃO DAS TÉCNICAS RELACIONADAS

Nos últimos anos, o aquecimento global tornou-se um problema devido a um aumento na produção de dióxido de carbono. Na indústria siderúrgica, a supressão das emissões de dióxido de carbono é uma questão importante. Nestas circunstâncias, levando-se em consideração uma operação de um alto-forno recente, uma operação de razão de agente de redução baixa (RAR baixa) foi intensamente promovida. A RAR (razão de agente de redução) se refere à quantidade total de injeção de combustível e coque carregada a partir do topo de um alto-forno por tonelada de ferro-gusa.

Entretanto, se a RAR é reduzida, a quantidade de sopro é reduzida, em teoria. Como resultado, na parte superior do cubo, o aumento da temperatura de um material carregado é retardado e a redução não é alcançada favoravelmente. Além disso, a adesão de um composto de zinco e similares a uma parede é facilitada, de modo que causa más condições de forno, por exemplo, flutuações na pressão do vento e descida de carga irregular. Além disso, no caso em que a temperatura do gás recolhido no topo é diminuída para abaixo de 100°C, um problema ocorre, já que a umidade em um gás de escape é condensada em um tubo.

Em uma operação normal de alto-forno, a fim de evitar as más condições de forno descritas acima, em particular, um aumento baixo na temperatura do material carregado na parte superior do forno, as medidas a seguir são geralmente tomadas.

(a) O enriquecimento do oxigênio é reduzido e a quantidade de

gás é aumentada (a razão de fluxo de calor é reduzida e a temperatura do gás é elevada).

(b) A quantidade de injeção de combustível, por exemplo, carvão em pó, é aumentada (a razão de fluxo de calor é reduzida e a temperatura
5 do gás é elevada).

(c) A eficiência de redução (eficiência do cubo) é reduzida e a razão de agente de redução é aumentada.

Entretanto, a medida do item (a) descrito acima não é desejável porque leva a uma redução na quantidade de produção. O item (b) descrito
10 acima depende da tolerância da capacidade de injeção. Entretanto, levando-se em consideração uma usina siderúrgica que é operada na proximidade do limite da capacidade, um incremento da mesma é restrito. Além disso, no caso em que a quantidade de injeção de combustível é aumentada, a quantidade de gás da rampa é aumentada, de modo a reduzir a quantidade de
15 produção. Portanto, é necessário que se enriqueça o oxigênio ao mesmo tempo. Entretanto, a quantidade de oxigênio disponível é limitada pela capacidade de fornecimento. O item (c) descrito acima é direcionado a uma operação em que a eficiência é reduzida intencionalmente e, portanto, retrocede contra a proposta essencial de redução de dióxido de carbono.

20 Conforme descrito acima, no caso em que uma operação de RAR baixa é operada em um alto-forno normal, é difícil evitar várias más condições de forno, em particular, um aumento baixo de temperatura na parte superior do forno, pela mudança de condição de operação dentro de uma faixa de operação comum.

25 Nesse ínterim, na operação de um alto-forno, um gás redutor, por exemplo, CO, gerado através da combustão de coque em uma parte da ventaneira do alto-forno é usado para a redução de minérios de ferro e um aumento na eficiência de utilização dos mesmos e leva à redução da RAR.

Essencialmente, o gás de alto-forno é um gás de baixo valor calorífico. Se a RAR é reduzida conforme descrito acima, o valor calorífico do
30 gás de alto-forno gerado é ainda reduzido. Além disso, um processo de produção de ferro e aço, como parte da recuperação de calor de escape, o calor

sensível do coque incandescente descarregado de uma bateria de coque é recuperado com um extintor a seco de coque (CDQ) O CDQ resfria o coque com um gás inerte, e um gás gerado a partir do coque durante a recuperação é misturado, de modo que um gás que tem um baixo valor calorífico de
5 cerca de 300 kcal/Nm³ é recuperado.

Queimadores de gás usados industrialmente são divididos grosso modo em queimadores de sistema de combustão de difusão (mistura externa) e queimadores de sistema de combustão de pré-mistura (mistura interna) com base no sistema de mistura de um gás combustível e um gás de
10 suporte à combustão (gás que contém oxigênio). Entretanto, cada queimador tem uma estrutura na qual a chama é formada à frente de uma extremidade do queimador. O queimador de sistema de combustão de difusão (mistura externa) têm sido amplamente usado, sendo que a combustão é executada pela mistura do gás combustível e do gás de suporte à combustão na
15 extremidade do queimador e uma chama de alta temperatura pode ser obtida. Entretanto, os queimadores de sistema de combustão de pré-mistura têm vantagens, por exemplo, uma chama relativamente curta pode ser formada. Entretanto, levando-se em consideração estes queimadores na técnica relacionada, é necessário garantir espaço amplo para a combustão à
20 frente do queimador porque uma chama é formada à frente da extremidade do queimador, portanto, há um problema, já que uma usina de combustão torna-se inevitavelmente grande.

Exemplos de gases combustíveis usados por queimadores na técnica relacionada incluem um gás de bateria de coque, um gás de alto-
25 forno e um gás de mistura preparado pela mistura de um gás de alto-forno e um gás conversor, que são subprodutos do processo de produção de ferro e aço, além de GNL (gás natural liquefeito) e um gás propano. No caso em que o gás de baixo valor calorífico, por exemplo, o gás de alto-forno, entre eles é usado sozinho, uma chama pode sair porque a estabilidade da chama
30 não é suficiente, devido a mudanças na relação de ar e flutuação no valor calorífico do gás. Conseqüentemente, com a finalidade de manter uma chama e manter a combustão, queimadores piloto são dispostos separadamen-

te, ou um método em que o gás combustível e o gás de suporte à combustão são preaquecidos antecipadamente é adotado. Além disso, o uso do gás de baixo valor calorífico causa problemas facilmente, já que, por exemplo, a quantidade de geração de substâncias tóxicas, por exemplo, NO_x, aumenta, hidrocarbonetos não queimados e similares são descarregados, e gera-se fumaça dependendo da condição da combustão e, portanto, pode se tornar uma das fontes de poluição ambiental.

Levando-se em consideração o documento de patente 1, no caso em que uma operação de razão de agente de redução baixa é executada, com respeito a um alto-forno normal, em que um vento quente da ventaneira que tem um enriquecimento de oxigênio de 10 por cento em volume ou menos é injetado, a elevação de temperatura de um material carregado é retardada na parte superior do cubo. A fim de resolver esta questão, um gás em quantidade de 10 por cento em massa ou menos da quantidade do gás recolhido no topo do alto-forno é injetado como um gás de cubo a partir de uma parte superior do cubo para dentro do forno, quando a temperatura do gás recolhido no topo do alto-forno se torna 110°C ou menos. Além disso, o documento de patente 1 apresenta que uma porção de um gás de alto-forno, que foi descarregada da parte superior do forno e que, por conseguinte, passou através de um aparelho de limpeza de gás, é retirada e é aquecida em um forno de combustão, de forma a ser usada como o gás de cubo descrito acima.

O documento de patente 3 descreve um método no qual, com a finalidade de combustão de um gás de baixo valor calorífico, um queimador de chama tubular é usado e a combustão é executada pela introdução de um gás combustível e um gás que contém oxigênio (gás de suporte à combustão) de modo turbilhonado. Este método, de acordo com o documento de patente 3, é executado pelo uso de um gás que contém oxigênio que tem uma concentração de oxigênio de 60 por cento em volume ou mais como um gás de suporte à combustão, enquanto a razão da quantidade de oxigênio de fornecimento para a quantidade teórica de oxigênio é especificada para estar dentro da faixa de 1,0 a 1,4.

Documentos da Técnica AnteriorDocumentos de Patente

Documento de patente 1 - Publicação de pedido de patente não examinada Nº JP 2008-214735

5 Documento de patente 2 - Publicação de pedido de patente não examinada Nº JP 62-27509

Documento de patente 3 - Publicação de pedido de patente não examinada Nº JP 2007-271188

Documento não patente

10 Documento não patente 1 – Ohno et al. “Tetsu-to-Hagane”, Instituto Japonês de Ferro e Aço, 75 (1989), p. 1278

SUMÁRIO DA INVENÇÃOProblema Técnico

15 No método de acordo com o documento de patente 1, o gás de alto-forno é injetado em um forno após ser aquecido (preaquecido) no forno de combustão. É necessário que o gás de injeção seja suficientemente preaquecido e tenha uma pressão mais alta do que a pressão no forno na posição de injeção.

20 Entretanto, em contraste a um chamado processo de alto-forno de oxigênio, em que o oxigênio puro é soprado (em referência ao documento de patente 2 e ao documento de não patente 1, por exemplo), um gás de alto-forno gerado no processo de alto-forno normal tem um baixo valor calorífico. Portanto, pode ser difícil elevar a temperatura a uma temperatura desejada no forno de combustão. Por exemplo, uma medida, por exemplo, o

25 uso de um combustível auxiliar de alto valor calorífico, pode tornar-se necessário. Além disso, o gás de alto-forno tem um baixo valor calorífico, variações na temperatura de combustão ocorrem facilmente em um forno de combustão comum e, desse modo, há um problema, já que o oxigênio permanece no gás de combustão, de forma a reoxidar óxidos de ferro (Fe_3O_4 ,

30 FeO) passando por redução, quando o gás de combustão é injetado no forno. Além disso, também é difícil injetar o gás preaquecido de modo estável no alto-forno que tem uma pressão predeterminada no forno.

O método descrito acima, de acordo com o documento de patente 3, tem os problemas a seguir.

(1) Um gás que contém oxigênio que tem uma concentração de oxigênio de 60 por cento em volume ou mais é necessário como o gás de
5 suporte à combustão. Entretanto, um processo de separação de oxigênio, por exemplo, separação de baixa temperatura ou separação de membrana, é necessário separadamente para obter este oxigênio de alta concentração.

(2) No caso em que a combustão do gás de baixo valor calorífico é executada com oxigênio de alta concentração, a temperatura é elevada
10 localmente, e o NO_x , que causa um problema ambiental, pode ser gerado. Entretanto, no caso em que o S está contido no gás combustível, a geração de SO_x é facilitada.

(3) No caso em que o oxigênio de alta concentração é introduzido por um tubo ou similar, é necessário executar um tratamento de desliga-
15 mento ou similar e construir tubos e válvulas com tubos de aço inoxidável e similares. Consequentemente, materiais caros são necessários e o custo de equipamento aumenta.

Um primeiro objetivo da presente invenção é fornecer um método de operação de um alto-forno e uma instalação de alto-forno, sendo que
20 as más condições de forno, em particular, um aumento baixo na temperatura de um material carregado na parte superior do forno podem ser evitadas durante uma operação de RAR baixa e, além disso, mesmo no caso em que um gás de baixo valor calorífico, por exemplo, um gás de alto-forno, é usado como um gás de injeção, este pode ser convertido em um gás preaquecido
25 por meio de combustão estável e o gás preaquecido pode ser injetado de modo estável em um alto-forno, que tem uma pressão predeterminada no forno.

Um segundo objetivo da presente invenção é fornecer um método de combustão que resolva os problemas na tecnologia da técnica relacionada, no caso em que a combustão de um gás de baixo valor calorífico seja
30 executada com um queimador de combustão e no qual a combustão estável do gás de baixo valor calorífico possa ser executada com um queimador de

combustão, sem usar um gás de suporte à combustão que tenha uma alta concentração de oxigênio.

Solução do Problema

A fim de resolver as questões descritas acima na técnica relacionada, foram executados estudos com ênfase particular em dispositivos de 5 geração e injeção de um gás preaquecido. Como resultado, descobriu-se que mesmo no caso em que um gás de baixo valor calorífico, por exemplo, um gás de alto-forno, foi usado, este foi capaz de ser convertido em um gás preaquecido por meio de combustão estável e o gás preaquecido foi capaz 10 de ser injetado de modo estável em um alto-forno, que tem uma pressão predeterminada no forno pela disposição de um dispositivo de combustão e injeção de gás, aproveitando um sistema de queimador de chama tubular, que foi usado por aparelhos de combustão e fornos anteriormente, em uma parte do cubo e injetando-se um gás de combustão do dispositivo de com- 15 bustão e injeção de gás como um gás preaquecido no forno.

A presente invenção foi feita com base nas conclusões descritas acima e a essência da mesma é descrita abaixo.

(1) O método de operação de um alto-forno, que compreende soprar ar ou ar enriquecido com oxigênio em um alto-forno a partir de uma 20 ventaneira, caracterizado por compreender:

formar uma parte de injeção de gás (A) que tem um dispositivo de combustão e injeção de gás (a), o dispositivo de combustão e injeção de gás (a) tem uma câmara de combustão, uma extremidade fronteira aberta da câmara de combustão se comunica com um interior do alto-forno;

25 formar uma abertura em uma superfície interna da parede de uma câmara de combustão tubular para injetar um gás combustível e um gás de suporte à combustão ou para injetar um gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à combustão, de modo que um fluxo de gás de turbilhonamento seja gerado na câmara de combustão; e

30 injetar um gás combustível, que sirva como um gás preaquecido do dispositivo de combustão e injetar gás (a) no alto-forno, de modo a injetar o gás preaquecido no alto-forno a partir da parte de injeção de gás (A) dis-

posta em uma parte do cubo.

(2) O método de operação de um alto-forno, de acordo com (1), caracterizado por compreender:

5 formar uma parte de injeção de gás (A) que compreende um dispositivo de combustão e injeção de gás (a), o dispositivo de combustão e injeção de gás (a) tem uma câmara de combustão, uma extremidade fronteira aberta da câmara de combustão se comunica com um interior do alto-forno; e

10 formar uma abertura em uma superfície interna da parede de uma câmara de combustão tubular para injetar um gás combustível e um gás de suporte à combustão ou para injetar um gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à combustão aproximadamente na direção tangencial da superfície interna da parede de um modo que um fluxo de gás de turbilhonamento seja gerado na câmara de combustão.

15 (3) O método de operação de um alto-forno, de acordo com (1), caracterizado pelo fato de que o gás combustível fornecido ao dispositivo de combustão e injeção de gás (a) é um gás de alto-forno.

(4) O método de operação de um alto-forno, de acordo com (1), caracterizado pelo fato de que um bocal de gás para fornecer cada gás combustível e um gás de suporte à combustão ou um bocal de gás para fornecer um gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à combustão para a câmara de combustão através da abertura disposta na superfície interna da parede da câmara de combustão, compreende uma pluralidade de tubos de bocal dispostos em paralelo na direção axial do dispositivo
20 de combustão e injeção de gás (a).
25

(5) O método de operação de um alto-forno, de acordo com (1), caracterizado pelo fato de que um fluxo de gás na câmara de combustão do dispositivo de combustão e injeção de gás (a) tem um número de turbilhonamento Sw de 3 a 10.

30 (6) O método de operação de um alto-forno, de acordo com (1), caracterizado pelo fato de que um gás diluente para diluir o gás de combustão e ajustar a temperatura do gás e/ou a composição do gás é fornecido na

câmara de combustão do dispositivo de combustão e injeção de gás (a).

(7) O método de operação de um alto-forno, de acordo com (1), caracterizado pelo fato de que a extremidade fronteira da câmara de combustão do dispositivo de combustão e injeção de gás (a) se comunica com o interior do alto-forno através de um conduto de gás.

(8) O método de operação de um alto-forno, de acordo com (7), caracterizado pelo fato de que o conduto de gás é um tubo de subida, o tubo de subida é conectado a uma pluralidade de portas de injeção de gás dispostas no corpo do forno através de tubos de conexão, e o tubo de subida é conectado à extremidade fronteira da câmara de combustão do dispositivo de combustão e injeção de gás (a).

(9) O método de operação de um alto-forno, de acordo com (1) ou (2), caracterizado pelo fato de que a injeção do gás de combustão no alto-forno compreende:

usar um gás que tem um valor calorífico de 1.000 kcal/Nm^3 ou menos como o gás combustível;

adicionar hidrogênio ao gás combustível antes da injeção na câmara de combustão e/ou o gás combustível após a injeção na câmara de combustão e executar a combustão do gás combustível com adição de hidrogênio; e

injetar o gás de combustão como um gás preaquecido no alto-forno.

(10) O método de operação de um alto-forno, de acordo com (9), caracterizado pelo fato de que o gás combustível é um gás combustível que contém CO, e o hidrogênio é adicionado para que a temperatura da chama adiabática se torne 750°C ou mais.

(11) O método de operação de um alto-forno, de acordo com (9), caracterizado pelo fato de que o gás combustível e o gás de suporte à combustão ou o gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à combustão é injetado a partir de uma pluralidade de tubos de bocal dispostos em paralelo na direção axial do dispositivo de combustão e injeção de

gás (a).

(12) O método de operação de um alto-forno, de acordo com (9), caracterizado pelo fato de que o gás combustível é um gás de alto-forno.

(13) O método de operação de um alto-forno, de acordo com (9),
5 caracterizado pelo fato de que compreende:

usar o dispositivo de combustão e injeção de gás (a) dotado de outra abertura na superfície interna da parede da câmara de combustão, a outra abertura é usada para injetar um gás de um modo a gerar um fluxo de gás de turbilhonamento na câmara de combustão;

10 injetar hidrogênio na câmara de combustão a partir da outra abertura.

(14) O método de operação de um alto-forno, de acordo com (9), caracterizado pelo fato de que compreende:

15 usar o dispositivo de combustão e injeção de gás (a) dotado ainda de outra abertura na superfície interna da parede da câmara de combustão, a outra abertura é usada para injetar um gás aproximadamente na direção tangencial da superfície interna da parede para gerar um fluxo de gás de turbilhonamento na câmara de combustão; e

injetar hidrogênio na câmara de combustão a partir da abertura.

20 (15) O método de operação de um alto-forno, de acordo com (13) ou (14), caracterizado pelo fato de que um bocal de gás para fornecer hidrogênio para a câmara de combustão através da outra abertura disposta na superfície interna da parede da câmara de combustão compreende uma pluralidade de tubos de bocal dispostos em paralelo na direção axial do aparelho.
25

(16) O método de operação de um alto-forno, de acordo com (9), caracterizado pelo fato de que o número de turbilhonamento Sw de um fluxo de gás na câmara de combustão do dispositivo de combustão e injeção de gás (a) é especificado para ser de 3 a 10.

30 (17) O método de operação de um alto-forno, de acordo com (9), caracterizado pelo fato de que compreende:

fornecer um gás diluente para diluir o gás de combustão e ajus-

tar a temperatura do gás e/ou a composição do gás na câmara de combustão do dispositivo de combustão e injeção de gás (a).

(18) O método de operação de alto-forno, de acordo com o item (1) ou (2), em que a injeção do gás de combustão no alto-forno compreende:

- 5 utilizar um gás de alto-forno como gás combustível;
 adicionar hidrogênio ao gás combustível antes da injeção na câmara de combustão ou/e o gás combustível depois da injeção na câmara de combustão e queimar o hidrogênio adicionado ao gás combustível; e
 injetar o gás combustível como um gás de preaquecimento no
10 alto-forno.

(19) O método de operação de alto-forno, de acordo com (18), em que o gás de combustível é um gás de alto-forno, e o hidrogênio é adicionado de forma que a temperatura da chama adiabática do gás combustível se torne de 750°C ou mais.

- 15 (20) O método de operação de alto-forno, de acordo com o item (18), em que o bocal de gás fornece um gás combustível e um gás de suporte a combustão ou o bocal de gás fornece um gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte a combustão na câmara de combustão através da abertura disposta na superfície da parede interna da câmara de combustão que compreende uma pluralidade de tubos de bocal dispostos em
20 paralelo à direção axial do aparelho.

(21) O método de operação de alto-forno, de acordo com o item (18), que compreende:

- utilizar a combustão de gás e dispositivo de injeção (a), sendo
25 que é adicionalmente proporcionado com outra abertura na superfície de parede interna da câmara de combustão, sendo que outra abertura é utilizada para injetar um gás aproximadamente na direção tangencial da superfície de parede interna de uma forma que gere um fluxo de gás de turbilhonamento na câmara de combustão; e

- 30 injetar hidrogênio na câmara de combustão a partir da abertura.

(22) O método de operação de alto-forno, de acordo com o item (18), que compreende:

utilizar a combustão de gás e dispositivo de injeção (a), que é adicionalmente proporcionado com outra abertura na superfície de parede interna da câmara de combustão, sendo que outra abertura é utilizada para injetar um gás na direção aproximadamente tangencial da superfície de parede interna de forma que gere um fluxo de gás de turbilhonamento na câmara de combustão; e

injetar hidrogênio na câmara de combustão a partir da abertura.

(23) O método de operação de alto-forno, de acordo com o item (18), em que um bocal de gás fornece hidrogênio na câmara de combustão através de outra abertura disposta na superfície de parede interna da câmara de combustão que compreende uma pluralidade de tubos de bocal dispostos em paralelo à direção axial do aparelho.

(24) O método de operação de alto-forno, de acordo com o item (18), em que o número de turbilhonamento Sw de um fluxo de gás na câmara de combustão da combustão de gás e no dispositivo de injeção (a) é especificado para ser de 3 a 10.

(25) O método de operação de alto-forno, de acordo com o item (18), que compreende:

fornecer um gás diluente para diluir o gás combustível e ajustar a temperatura de gás ou/e a composição de gás na câmara de combustão da combustão de gás e no dispositivo de injeção (a).

(26) A instalação de alto-forno, em que ar ou ar enriquecido de oxigênio é expelido por uma ventaneira, em que:

uma parte de injeção de gás (A) é disposta em uma parte de cubo;

a parte de injeção de gás (A) compreende uma combustão de gás e dispositivo de injeção (a) que tem uma câmara de combustão, sendo que uma extremidade frontal aberta da câmara de combustão é comunicada com uma parte interna do alto-forno;

uma abertura é formada em uma superfície de parede interna de uma câmara de combustão tubular para injetar um gás combustível e um gás de suporte a combustão ou injetar um gás pré-misturado do gás com-

bustível e o gás de suporte a combustão de forma que um fluxo de gás de turbilhonamento seja gerado na câmara de combustão;

um gás de combustão da combustão de gás e dispositivo de injeção (a) é injetado no alto-forno.

5 (27) A instalação de alto-forno, de acordo com o item (26), em que:

a parte de injeção de gás (A) é formada da combustão de gás e dispositivo de injeção (a) no qual há uma abertura para injetar cada gás combustível e gás de suporte a combustão ou injetar um gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte a combustão, aproximadamente, na direção tangencial da superfície de parede interna de forma que um fluxo de gás de turbilhonamento que passa na câmara de combustão seja formado na superfície de parede interna da câmara de combustão tubular, que tem uma extremidade aberta e uma extremidade da câmara de combustão, seja comunicada com o interior do alto-forno.

15 (28) A instalação de alto-forno, de acordo com o item (26), que compreende uma trajetória de fluxo que toma uma parte de um gás de alto-forno de uma trajetória de fluxo do gás de alto-forno liberada da parte superior do forno do alto-forno e fornece à combustão de gás e ao dispositivo de injeção (a).

20 (29) A instalação de alto-forno, de acordo com o item (26), que compreende um reforçador para pressurizar cada gás combustível e gás de suporte a combustão fornecido à combustão de gás e dispositivo de injeção (a) ou pressurizar o gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte a combustão.

25 (30) A instalação de alto-forno, de acordo com o item (26), que em relação à combustão de gás e ao dispositivo de injeção (a), há um bocal de gás para fornecer cada gás combustível e gás de suporte a combustão ou um bocal de gás para fornecer um gás pré-misturado do gás combustível, e o gás de suporte a combustão na câmara de combustão através da abertura disposta na superfície de parede interna da câmara de combustão que compreende uma pluralidade de tubos de bocal dispostos em paralelo à di-

reção axial do aparelho.

(31) A instalação de alto-forno, de acordo com o item (26), em que a combustão de gás e o dispositivo de injeção (a) compreendem um dispositivo para fornecer um gás diluente para diluir o gás de combustão e
5 ajustar a temperatura de gás ou/e a composição de gás na câmara de combustão.

(32) A instalação de alto-forno, de acordo com o item (26), em que a extremidade da câmara de combustão da combustão de gás e dispositivo de injeção (a) é comunicada com o interior do alto-forno através de uma
10 tubulação de gás.

(33) A instalação de alto-forno, de acordo com o item (32), em que o tubo coletor é conectado a uma pluralidade de portas de injeção de gás disposto no corpo de forno através da conexão de tubos e, adicionalmente, é conectada à extremidade da câmara de combustão da combustão
15 de gás e dispositivo de injeção (a).

Depois, os inventores atuais executaram estudos para resolver o segundo problema supracitado. Como um resultado, foi descoberto que era útil para combustão estável de um gás com um baixo valor calorífico de
20 1.000 kcal/Nm³ ou menos (em particular, 800 kcal/Nm³ ou menos), utilizar um bico de gás de chama tubular e, adicionalmente, adicionar hidrogênio a um gás combustível.

Além disso, com o propósito de resolver o segundo problema supracitado, estudos foram executados com uma ênfase particular em dispositivos de geração e injeção de um gás de preaquecimento. Como um resultado, foi descoberto que um gás de valor calorífico baixo, por exemplo,
25 um gás de alto-forno, foi capaz de ser convertido a um gás de preaquecimento através de combustão estável, sendo que o gás de preaquecimento foi capaz de ser injetado com estabilidade em um alto-forno que tem uma pressão predeterminada no forno através de disposição de uma combustão
30 de gás e dispositivo de injeção que tira vantagem de um sistema de queimador de chama tubular, que foi anteriormente utilizado para fornos e aparelhos de combustão, em uma parte de cubo, para adicionar hidrogênio a um gás

de baixo valor calorífico utilizado como um gás combustível da combustão de gás e dispositivo de injeção, e injetar um gás de combustão do mesmo como um gás de preaquecimento no forno.

(34) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, que compreende:

adicionar hidrogênio a um gás combustível antes da injeção na câmara de combustão ou/e um gás combustível depois da injeção na câmara de combustão,

utilizar um gás que tem um valor calorífico de 1.000 kcal/Nm³ ou menos, como o gás combustível em relação a um queimador de combustão, sendo que há uma abertura para injetar cada gás combustível e um gás de suporte a combustão ou injetar um gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte de combustível de forma que um fluxo de gás de turbilhamento passe na câmara de combustão e seja formado na superfície de parede interna da câmara de combustão tubular que tem uma extremidade de abertura.

(35) O método para combustão de gás de valor calorífico baixo, de acordo com o item (34), em que:

a parte de injeção de gás (A) é formada a partir da combustão de gás e dispositivo de injeção (a) na qual há uma abertura para injetar cada gás combustível e um gás de suporte a combustão ou para injetar um gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte a combustão, aproximadamente na direção tangencial da superfície de parede interna de forma que um fluxo de gás de turbilhamento passe na câmara de gás e seja formado na superfície de parede interna da câmara de combustão tubular que tem uma extremidade aberta e uma extremidade da câmara de combustão é comunicada com o interior do alto-forno.

(36) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, de acordo com o item (34), em que hidrogênio é adicionado a um gás combustível que contém CO, de forma que a temperatura de chama adiabática do gás de combustível seja de 750°C ou maior.

(37) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, de acordo com o item (34), em que um bocal de gás fornece cada gás combustível e gás de suporte a combustão ou um bocal de gás que fornece um gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte a combustão na câmara de combustão através da abertura disposta na superfície de parede interna da câmara de combustão que compreende uma pluralidade de tubos de bocal dispostos em paralelo na direção de eixo geométrico do queimador.

(38) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, de acordo com o item (34), em que o gás combustível é um gás de alto-forno.

(39) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, de acordo com o item (34), em que o queimador de combustão proporcionado com outra abertura na superfície de parede interna da câmara de combustão é utilizado, sendo que outra abertura é utilizada para injetar um gás para gerar um fluxo de gás de turbilhonamento na câmara de combustão, sendo que hidrogênio é injetado na câmara de combustão a partir da abertura.

(40) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, de acordo com o item (34), em que o queimador de combustão proporcionado com outra abertura na superfície de parede interna da câmara de combustão é utilizado, sendo que outra abertura é utilizada para injetar um gás, aproximadamente, na direção tangencial da superfície de parede interna para gerar um fluxo de gás de turbilhonamento na câmara de combustão, sendo que o hidrogênio é injetado na câmara de combustão a partir da abertura.

(41) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, de acordo com o item (34), em que um bocal de gás se conecta a câmara através de outra abertura disposta na superfície de parede interna da câmara de combustão que compreende uma pluralidade de tubos de bocal disposto em paralelo na direção axial do queimador.

(42) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, de acordo com o item (34), em que o número de turbilhonamento Sw de um fluxo de gás na câmara de combustão é especificado para ser de 3 a 10.

5 (43) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, de acordo com o item (34), em que um gás diluente dilui o gás de combustão e ajusta a temperatura de gás ou/e a composição de gás que é fornecida na câmara de combustão.

10 (44) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, que compreende:

utilizar um queimador de combustível que tem uma abertura para injetar cada gás combustível e gás de suporte a combustão ou para injetar um gás pré-misturado de forma que um fluxo de gás de turbilhonamento passe na câmara de combustão e seja formado na superfície de parede interna da câmara de combustão tubular que tem uma extremidade aberta,

15 utilizar um gás de alto-forno como o gás combustível,
adicionar hidrogênio ao gás de alto-forno antes da injeção na câmara de combustão e/ou um gás de alto-forno depois da injeção na câmara de combustão.

20 (45) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, de acordo com o item (44), em que:

a parte de injeção de gás (A) é formada a partir da combustão de gás e dispositivo de injeção (a), no qual existe uma abertura para injetar cada gás combustível e gás de suporte a combustão ou para injetar um gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte a combustão aproximadamente, na direção tangencial da superfície de parede interna de forma que um fluxo de gás de turbilhonamento passe na câmara de combustão e seja formado na superfície de parede interna da câmara de combustão tubular que tem uma extremidade aberta, sendo que uma extremidade da câmara de combustão é comunicada com o interior do alto-forno.

(46) Método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, de acordo com o item (44), em que o hidrogênio é adicionado a um gás de alto-forno de forma que a temperatura de chama adiabática do gás de alto-forno seja de 750°C ou maior.

(47) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, de acordo com o item (44), em que um bocal de gás para fornecer cada gás combustível e gás de suporte a combustão ou um bocal de gás para fornecer um gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte a combustão na câmara de combustão através da abertura disposta na superfície de parede interna da câmara de combustão que compreende uma pluralidade de tubos de bocal dispostos em paralelo na direção axial do queimador.

(48) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, de acordo com o item (44), em que o queimador de combustão proporcionado com outra abertura na superfície de parede interna da câmara de combustão é utilizado, sendo que outra abertura é utilizada para injetar um gás, de forma que gere um fluxo de gás de turbilhonamento na câmara de combustão, e hidrogênio é injetado na câmara de combustão a partir da abertura.

(49) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, de acordo com o item (44), em que o queimador de combustão proporcionado com outra abertura na superfície de parede interna da câmara de combustão é utilizado, sendo que outra abertura é utilizada para injetar um gás, aproximadamente, na direção tangencial da superfície de parede interna de forma que gere um fluxo de gás de turbilhonamento na câmara de combustão, e o hidrogênio é injetado na câmara de combustão a partir da abertura.

(50) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, de acordo com o item (44), em que um bocal de gás fornece hidrogênio na câmara de combustão através de outra abertura disposta na superfície de parede interna da câmara

ra de combustão que compreende uma pluralidade de tubos de bocal dispostos em paralelo à direção de eixo geométrico do queimador.

(51) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, de acordo com o item 5 (44), em que o número de turbilhonamento Sw de um fluxo de gás na câmara de combustão é especificado para ser de 3 a 10.

(52) O método de combustão de gás de baixo valor calorífico através da utilização de um queimador de combustão, de acordo com o item (44), em que um gás diluente para diluir o gás de combustão e ajustar a 10 temperatura ou/e a composição de gás fornecida na câmara de combustão.

Efeitos vantajosos da invenção

De acordo com a presente invenção, em relação à operação de um alto-forno normal, um aumento insatisfatório na temperatura de um material carregado na parte superior do forno pode ser evitado durante uma baixa 15 operação de RAR e, adicionalmente, a baixa operação de RAR pode ser executada de forma estável por causa da condensação de água, adesão de compostos de zinco a uma parede, e similares, devido a uma redução na temperatura de gás do topo que pode ser suprimida efetivamente. Além disso, uma parte de injeção de gás é formada a partir de uma combustão de 20 gás de tipo de queimador de chama tubular e um dispositivo de injeção e, com isso, mesmo no caso em que um gás de baixo valor calorífico é utilizado como um gás de injeção, como por exemplo, um gás de alto-forno, ele pode ser convertido em um gás de preaquecimento através de combustão estável, sendo que o gás de preaquecimento pode ser injetado de forma es- 25 tável em um alto-forno que tem uma pressão predeterminada no forno.

Além disso, combustão de gases de valor calorífico baixo, por exemplo, um gás de alto-forno e um gás curado a partir de CDQ, pode ser executada de forma estável na base do método de combustão de gás de baixo valor calorífico, através do uso de um queimador de combustão, de 30 acordo com a presente invenção. Consequentemente, um gás de baixo valor calorífico pode ser utilizado como um combustível útil.

Breve descrição dos desenhos

A figura 1 é um diagrama explicativo que mostra esquematicamente uma modalidade da presente invenção.

A figura 2 é uma vista em planta de recorte parcial que mostra uma modalidade de uma combustão de gás de dispositivo de injeção a que constitui uma parte de injeção de gás A na modalidade mostrada na figura 1.

A figura 3 é uma vista seccional da seção capturada ao longo de uma linha III-III mostrada na figura 2.

A figura 4 é uma vista em planta de recorte parcial que mostra outra modalidade da combustão de gás e dispositivo de injeção a, que constitui a parte de injeção de gás A na modalidade mostrada na figura 1.

A figura 5 é uma vista inferior parcial, que mostra a combustão de gás e dispositivo de injeção a mostrado na figura 4.

A figura 6 é uma vista seccional da seção capturada ao longo de uma linha VI-VI mostrada na figura 4.

A figura 7 é uma vista seccional da seção capturada ao longo de uma linha VIII-VIII mostrada na figura 4.

A figura 8 é um diagrama explicativo que mostra um aparelho de teste utilizado em um teste de combustão em um exemplo.

A figura 9 é um gráfico que mostra a relação entre a pressão em uma câmara de combustão e o fator de utilização de calor efetivo em um teste de combustão executado em um exemplo.

A figura 10 é um diagrama explicativo que mostra esquematicamente uma seção em uma direção de diâmetro do interior de uma câmara de combustão em uma combustão de gás e dispositivo de injeção a utilizado na presente invenção.

A figura 11 é um diagrama explicativo que mostra esquematicamente uma seção em uma direção de diâmetro do interior de uma câmara de combustão em uma combustão de gás e dispositivo de injeção a utilizado na presente invenção.

A figura 12a é um diagrama explicativo que mostra esquematicamente um exemplo de forma de instalação de uma parte de injeção e gás A de acordo com a presente invenção, em que o corpo de forno está no es-

tado de ser cortado horizontalmente. A figura 12b é um diagrama explicativo que mostra esquematicamente outro exemplo de forma de instalação da parte de injeção de gás A de acordo com a presente invenção, em que o corpo de forno está no estado de ser cortado horizontalmente. A figura 12c é um
5 diagrama explicativo que mostra esquematicamente outro exemplo de forma de instalação da parte de injeção de gás A, de acordo com a invenção em que o corpo de forno está no estado de ser cortado horizontalmente.

A figura 13 é uma vista em planta de recorte parcial que mostra uma modalidade de um queimador de combustão utilizado na presente invenção.
10

A figura 14 é uma vista seccional da seção capturada ao longo de uma linha II-II mostrada na figura 13.

A figura 15 é um diagrama que mostra outra modalidade do queimador de combustão utilizado na presente invenção e uma vista seccional da seção capturada ao longo da mesma linha como a da figura 13.
15

A figura 16 é uma vista em planta de recorte parcial que mostra outra modalidade do queimador de combustão utilizado na presente invenção.

A figura 17 é uma vista inferior que mostra parcialmente o queimador de combustão mostrado na figura 16.
20

A figura 18 é uma vista seccional da seção capturada ao longo de uma linha VI-VI mostrada na figura 16.

A figura 19 é uma vista seccional da seção capturada ao longo da linha VII-VII mostrada na figura 16.

A figura 20 é um diagrama explicativo que mostra esquematicamente uma modalidade de um alto-forno que opera método de acordo com a presente invenção.
25

A figura 21 é um diagrama explicativo que mostra esquematicamente uma seção em uma direção de diâmetro do interior de uma câmara e combustão utilizada na presente invenção.
30

A figura 22 é um diagrama explicativo que mostra esquematicamente uma seção em uma direção de diâmetro do interior de uma câmara e

combustão utilizada na presente invenção.

A figura 23 é uma vista em planta de recorte parcial que mostra uma modalidade de um queimado de combustão utilizado na presente invenção.

5 A figura 24 é uma vista seccional da seção capturada ao longo de uma linha II-II na figura 23.

A figura 25 é um diagrama que mostra outra modalidade do queimador de combustão utilizado na presente invenção e é uma vista seccional da seção capturada ao longo da mesma linha como na figura 24.

10 A figura 26 é uma vista em planta de recorte parcial que mostra outra modalidade do queimador de combustão utilizado na presente invenção.

A figura 27 é uma vista inferior que mostra parcialmente o queimador de combustão mostrado na figura 26.

15 A figura 28 é uma vista seccional da seção capturada ao longo de uma linha VI-VI mostrada na figura 26.

A figura 29 é uma vista seccional da seção capturada ao longo de uma linha VII-VII mostrada na figura 26.

20 A figura 30 é um diagrama explicativo que mostra esquematicamente uma modalidade de um alto-forno que opera método de acordo com a presente invenção.

25 A figura 31 é um diagrama explicativo que mostra esquematicamente uma seção em uma direção de diâmetro do interior de uma câmara de combustão em um queimador de combustão utilizado na presente invenção.

A figura 32 é um diagrama explicativo que mostra esquematicamente uma seção em uma direção de diâmetro do interior de uma câmara de combustão em um queimador de combustão utilizado na presente invenção.

30 Modalidade para executar a invenção

Primeira modalidade

A presente invenção relata uma operação de alto-forno na qual

ar ou ar enriquecido de oxigênio é expelido a partir de uma ventaneira, isto é, uma operação de alto-forno normal. No caso em que um ar enriquecido de oxigênio é expelido de uma ventaneira, uma operação é executada geralmente em um enriquecimento de oxigênio de 20 por cento em volume ou menos, ou de preferência, de 10 por cento em volume ou menos. Neste aspecto, conforme o enriquecimento de oxigênio aumenta, a quantidade de gás que passa através do forno diminui, sendo que a quantidade de gás de injeção exigida para aumento da temperatura da parte superior do cubo, aumenta significativamente. A partir deste ponto de vista, é preferível que a operação seja executada no enriquecimento de oxigênio descrito acima.

A figura 1 é um diagrama explicativo que mostra esquematicamente uma modalidade de acordo com a presente invenção. No desenho, o número de referência 20 denota um alto-forno, e o número de referência 21 denota uma ventaneira do mesmo. Um gás quente e um agente de redução auxiliar (por exemplo, carvão pulverizado ou GNL) são injetados no forno a partir desta ventaneira 21.

Um gás de alto-forno descarregado a partir da parte superior do forno do alto-forno 20 (gás recolhido no topo do forno) é conduzido a um aparelho de geração de energia de gás recolhido no topo do forno 24 depois que a poeira é removida com um coletor de poeira 22 que serve como um aparelho de limpar gás, sendo que a mistura é removida com um separador de névoa 23 que serve como um aparelho de limpeza de gás. A pressão do gás recolhido no topo do forno é recuperada como eletricidade e, subsequentemente, o gás recolhido no topo do forno é conduzido para o lado de fora do sistema.

Na presente invenção, um gás é injetado no alto-forno a partir de uma parte de injeção de gás A, disposta em uma parte de cubo (de preferência, uma parte média de cubo à parte superior). O objetivo principal de injeção do gás no forno é complementar uma redução na quantidade de sopro, devido a uma operação de RAR baixa e, assim, garantir a taxa de fluxo na parte superior de forno. Porém, injeção de um gás em uma temperatura que desnecessariamente diminui a temperatura de gás recolhido no topo do

forno, vai contra os objetivos da invenção. Assim, um gás de preaquecimento é utilizado como o gás de injeção.

Na injeção do gás de preaquecimento a partir da parte de injeção de gás A, no alto-forno como descrito acima, de acordo com a presente invenção, a parte de injeção de gás A é formada a partir de uma combustão 5 de gás e de um dispositivo de injeção a, na qual está uma abertura para injetar cada gás combustível e gás de suporte a combustão ou injetar um gás pré-misturado do gás combustível e gás de suporte a combustão de tal forma que, um fluxo de gás de turbilhamento passe na câmara de combustão 10 e seja formado na superfície de parede interna de uma câmara de combustão tubular que tem uma extremidade aberta, sendo que uma extremidade da câmara de combustão acima descrita é comunicada com o interior do alto-forno, e um gás de combustão da combustão de gás e do dispositivo de injeção a, é injetado como o gás de preaquecimento no alto-forno.

15 A estrutura básica de tal combustão de gás e dispositivo de injeção a era conhecida como um queimador de chama tubular, como descrito, por exemplo, na Publicação de Pedido de Patente Japonesa não examinada Nº 11-281015. Contudo, este queimador de chama tubular foi desenvolvido e utilizado para fornos e aparelhos de combustão e, conseqüentemente, um 20 pedido para um dispositivo de injeção de gás do alto-forno não foi estudado totalmente. Além do mais, em anos recentes, a operação de alto-forno foi executada sob uma condição de pressão elevada, sendo assim, necessário que o gás de preaquecimento seja injetado depois da pressão ser elevada a uma pressão maior que a pressão no forno na posição da injeção. Assim, o 25 queimador de chama tubular é baseado na utilização no estado de pressão normal, sendo que, a utilização sob a condição de pressão descrita acima, não foi estudada totalmente. Por outro lado, de acordo com a presente invenção, foi descoberto que uma combustão de gás de tipo de queimador de chama tubular e um dispositivo de injeção a, teve uma função excelente como um dispositivo para pré-aquecer um gás de baixo valor calorífico, como 30 por exemplo, um gás de alto-forno, através de combustão e injeção deste, a partir de uma parte de cubo de um alto-forno no forno.

Em relação à modalidade mostrada na figura 1, uma parte de um gás de alto-forno, que é descarregada a partir da parte superior de forno e, depois, é passada através do aparelho de limpeza de gás (o coletor de poeira 22 e o separador de névoa 12) e do aparelho de geração de energia de gás recolhido no topo do forno 24, é empregada e introduzida como um gás combustível na combustão de gás e dispositivo de injeção a, que constitui a parte de injeção de gás A, que depois é pressurizada com um reforçador 25a. Em relação a um trajeto de fluxo 27 do gás de alto-forno descarregado a partir da parte superior de forno do alto-forno 20, um trajeto de fluxo 28 fornece uma parte de gás de alto-forno à combustão de gás e dispositivo de injeção a, sendo que é ramificado a partir de uma parte de trajeto de fluxo no lado de baixo do aparelho de geração de energia de gás recolhido no topo do forno 24.

Nesse ínterim, um gás de suporte a combustão, que é oxigênio ou um gás contendo oxigênio (ar, ar enriquecido de oxigênio, ou similar), é fornecido à combustão de gás em dispositivo de injeção a. Este gás de suporte a combustão é também pressurizado com reforçador 25b e, depois, é introduzido na combustão de gás e dispositivo de injeção a. Neste aspecto, no caso em que o gás pré-misturado de um gás combustível e um gás de suporte a combustão é utilizado na combustão de gás e dispositivo de injeção a, o gás combustível e gás de suporte a combustão pode ser pressurizado previamente com os reforçadores 25a e 25b separadamente, ou o gás pré-misturado pode ser pressurizado com um único reforçador 25.

A figura 2 e a figura 3 mostram uma modalidade da combustão de gás e dispositivo de injeção a que constitui a aperte de injeção de gás A. A figura 2 é uma vista em planta de recorte parcial e a figura 3 é uma vista seccional da seção capturada ao longo de uma linha III-III mostrada na figura 2.

Nos desenhos, o número de referência 1 denota uma câmara de combustão tubular (cilíndrica) que tem uma extremidade aberta, o número de referência 3a denota um bocal de gás para o gás combustível e o número de referência 3b denota um bocal de gás para gás de suporte a combustão.

A câmara de combustão 1 descrita acima é comunicada com o interior do alto-forno porque a extremidade da mesma é conectada a uma porta de injeção de gás 16 disposta no corpo do forno. As aberturas 2a e 2b (postas de bocal) para injetar o gás combustível e o gás de suporte a combustão, respectivamente, são dispostas em uma superfície de parede interna 100 na parte interna (lado de extremidade traseira) desta câmara de combustão 1 de forma que um fluxo de gás de turbilhamento (fluxo de gás de turbilhamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) passe na câmara de combustão. Os bocais de gás 3a e 3b descritos acima são conectados a estas aberturas 2a e 2b, respectivamente. As aberturas 2a e 2b descritas acima (portas de bocal) são dispostas de forma que gases sejam injetados em direções que desviam do centro do cubo da câmara de combustão 1 (direção excêntrica) sendo que os gases injetados na câmara de combustão 1 formam assim, um fluxo de turbilhamento. As aberturas 2a e 2b, de acordo com a presente modalidade, são dispostas de forma que injete o gás combustível e o gás de suporte a combustão, respectivamente, próximo à direção tangencial da superfície de parede interna 100.

As aberturas 2a e 2b descritas acima são formadas tendo o formato de uma fenda ao longo da direção axial do tubo e são dispostas em 180° em direções opostas na superfície de parede interna 100 (superfície de circunferência interna). Uma pluralidade de aberturas 2a e uma pluralidade de aberturas 2b podem ser dispostas. Neste caso, as aberturas individuais 2a e 2b são conectadas a seus respectivos bocais de gás 3a e 3b.

Neste aspecto, na presente modalidade, a extremidade da câmara de combustão 1 é diretamente conectada à porta de injeção de gás 16 de forma que seja conectada com o interior do alto-forno. Porém, a extremidade da câmara de combustão 10 pode ser comunicada com o interior do alto-forno através de duto de gás apropriado (por exemplo, um conduto de subida mostrado na figura 12b e figura 12c). Neste caso, o gás de combustão descarregado da extremidade da câmara de combustão 1 é injetado no alto-forno através do duto de gás.

Aqui, o gás combustível e o gás de suporte a combustão podem

ser injetados a partir das aberturas 2a e 2b (portas de bocal), respectivamente, de forma que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) passe na câmara de combustão 1. Em particular, de preferência,

5 as direções da injeção de gás a partir das aberturas 2a e 2b são ajustadas de forma que o número de turbilhonamento Sw (um número adimensional que representa a intensidade de turbilhonamento em relação a um fluxo de um fluido associado com turbilhonamento) do fluxo de gás de turbilhonamento esteja em um intervalo preferível descrito posteriormente. A figura 10 mostra

10 tra esquematicamente uma seção em uma direção de diâmetro do interior da câmara de combustão em uma posição na qual a abertura 2a e 2b é disposta. Em relação a uma seção em uma direção de diâmetro da câmara de combustão 1, é preferível que um ângulo de injeção de gás θ seja ajustado de forma que o número de turbilhonamento Sw esteja no intervalo preferível

15 (SW : de 3 a 10), em que, entre partes de extremidade da abertura 2a e 2b na direção circunferencial da superfície de parede interna 100, a parte de extremidade no lado de extremidade da direção de turbilhonamento (rotação) do fluxo de gás seja descarregado a partir da abertura 2a e 2b de forma a turbilhonar, sendo que é especificado para ser o ponto p , sendo que uma

20 linha tangencial da superfície de parede interna 100 neste ponto p é especificada para ser x , sendo que a linha central do fluxo de gás descarregado a partir da abertura 2a e 2b (= centro de cubo do bocal de gás 3a e 3b) é especificada para ser y , e o ângulo entre a linha tangencial x e a linha de fluxo de gás y é especificada para ser o ângulo de injeção de gás θ . Isto é, o

25 componente de velocidade de gás combustível V_{f1} e componente de velocidade de gás de suporte a combustão V_{a1} na direção da linha tangencial x satisfaz o seguinte, onde a velocidade de gás combustível na abertura 2a, é calculada a partir do diâmetro interno do bocal de gás 3a, é especificada para ser V_f , sendo que a velocidade de gás de suporte a combustão na abertura

30 ra 2b é calculada a partir do diâmetro interno do bocal de gás 3b, e é especificada para ser V_a .

$$V_{f1} = V_f \times \cos\theta$$

$$V_{al} = V_a \times \cos\theta$$

Assim, de preferência, o ângulo de injeção de gás θ , é determinado de forma que número de turbilhonamento Sw calculado na base do V_{f1} e V_{a1} , que são assumidos para ser as velocidades de gás nas aberturas 2a e 2b, está no intervalo preferível predeterminado. O método para determinar o número de turbilhonamento Sw é como descrito posteriormente.

Nesse ínterim, a partir do ponto de vista da estrutura da combustão de gás e dispositivo de injeção a, é preferível que a combustão de gás e o dispositivo de injeção a, tenham uma estrutura em que as aberturas 2a e 2b injetem o gás combustível e o gás de suporte a combustão, respectivamente, próximo à direção tangencial da superfície de parede interna 100 que estão dispostos no interior da superfície de parede interna da câmara de combustão. Isto acontece porque uma estrutura pode realizar o número de turbilhonamento Sw preferível, apesar de modificações e alterações da quantidade de gás e da velocidade de gás. Especificamente, é desejável que o ângulo de injeção de gás θ , mostrado na figura 10, seja especificado para ser de 30° ou menos, e mais preferivelmente, de 10° ou menos. Se este ângulo de injeção de gás θ aumentar, existe uma possibilidade de que um fluxo de gás de turbilhonamento apropriado ao longo da superfície de parede interna 100 não seja formado, dependendo da quantidade do gás e da velocidade de gás. Em relação a cada modalidade presente e a modalidade mostrada da figura 4 à figura 1 descrita posteriormente, o ângulo de injeção de gás θ é de cerca de 0° a 5° .

Na combustão de gás e no dispositivo de injeção a, descritos acima, o gás de alto-forno serve como um gás de combustão que é fornecido ao bocal de gás 3a, e o gás de suporte a combustão é fornecido ao bocal de gás 3b. O gás combustível e o gás de suporte a combustão são injetados a partir das aberturas 2a e 2b (portas de bocal) na câmara de combustão 1. A combustão do gás combustível e do gás de suporte a combustão era executada, enquanto um fluxo de turbilhonamento é formado ao longo da superfície de parede interna 100 da câmara de combustão 1, e uma chama é formada.

Alternativamente, um gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte a combustão podem ser utilizados para a combustão de gás e dispositivo de injeção a. Neste caso, pelo menos uma abertura 2 (porta de bocal), para injetar o gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte a combustão de forma que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) passe na câmara de combustão 1, está disposta na superfície de parede interna 100 da câmara de combustão 1, e um bocal de gás 3, para fornecer o gás pré-misturado, é conectado a esta abertura 2. Na mesma maneira como as aberturas 2a e 2b são mostradas na figura 2 e figura 3, a abertura 2 descrita acima é disposta de forma que o gás seja injetado em uma direção desviada do centro do cubo da câmara de combustão 1 (direção excêntrica) e que o gás injetado na câmara de combustão 1 forma assim, um fluxo de turbilhonamento. Em particular, é preferível que a abertura 2 seja disposta de forma a injetar o gás (gás pré-misturado) próximo à direção tangencial da superfície de parede interna 100. Neste aspecto, o gás é injetado a partir da abertura 2 de forma que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) passe na câmara de combustão 1. O método preferível para ajustar a direção de injeção de gás e o ângulo de injeção de gás θ a partir do ponto de vista da estrutura de queimador são os mesmos descritos acima em relação à abertura 2a e 2b na base da figura 10.

Assim como o gás de suporte a combustão, gases contendo oxigênio, por exemplo, ar, e um gás de oxigênio podem ser utilizados. A presente invenção é particularmente útil no case em que o ar é utilizado como gás de suporte à combustão. A quantidade de fornecimento do gás de suporte a combustão é a quantidade exigida para manter um estado de combustão estável. No caso onde o ar é utilizado como gás de suporte a combustão, geralmente, o ar é fornecido de forma que a relação de ar se torne 1 ou mais. A relação de ar refere-se a uma relação entre a quantidade de ar fornecida de fato e a quantidade de ar teoricamente exigida para combustão

do combustível (quantidade real de ar/quantidade teórica de ar). A combustão completa do gás combustível acontece na relação de ar de 1, e CO_2 e H_2O são gerados. A combustão incompleta acontece sob a condição da relação de ar ser menor que 1, e a combustão estável não poder continuar.

- 5 Além do mais, no caso em que a relação de ar é excessiva, a queima pobre acontece e neste caso, também, um estado de combustão estável não pode ser mantido. Então, geralmente, é preferível que o gás de suporte a combustão seja fornecido na relação de ar no intervalo de 1,0 a 1,5.

As velocidades de ejeção do gás combustível e do gás de suporte a combustão a partir de bocais (aberturas) não são especificamente limitadas, embora seja preferível que os dois sejam do mesmo nível de velocidades.

Na combustão de gás e no dispositivo de injeção a, descritos acima, o gás combustível e o gás de suporte a combustão (ou o gás pré-misturado dos dois), que são injetados na câmara de combustão 1 a partir dos bocais de gás 3a e 3b e as aberturas 2a e 2b e que formam um fluxo de turbilhonamento, são estratificados na base da diferença em densidade do gás, sendo que camadas de gás que tem diferentes densidades são geradas nos dois lados de uma chama. Isto é, um gás de escape de combustão de temperatura elevada está presente no lado central do cubo onde a velocidade de turbilhonamento é pequena, sendo que um gás não queimado está presente no lado da superfície de parede interna 100, em que a velocidade de turbilhonamento é ampla. Além do mais, na proximidade da superfície de parede interna 100, uma chama não pode permanecer na proximidade da superfície de parede interna porque a velocidade de turbilhonamento é maior que a velocidade de propagação da chama. Consequentemente, uma chama tubular é formada na câmara de combustão 1 de forma estável. Além disso, um gás não queimado está presente na proximidade da superfície de parede interna da câmara de combustão 1, de forma que a superfície de parede interna da câmara de combustão 1 não esteja aquecida a uma temperatura elevada devido à transferência de calor direto. Então, gases na câmara de combustão 1 fluem em direção ao lado de extremidade enquanto turbilhona.

Entretanto, gases no lado da superfície de parede interna 100 são queimados sequencialmente e são movidos para o lado do centro do cubo. O gás de combustão é descarregado a partir da extremidade de abertura e é injetado no alto-forno através da porta de injeção de gás 16.

5 Da figura 4 à figura 7 mostra outra modalidade da combustão de gás e dispositivo de injeção a utilizados na presente invenção. A figura 4 é uma vista em planta de recorte parcial da combustão de gás e dispositivo de injeção a. A figura 5 é uma vista inferior que mostra parcialmente a combustão de gás e dispositivo de injeção a. A figura 6 é uma vista seccional da seção capturada ao longo de uma linha VI-VI mostrada na figura 4. A figura 7 é
10 uma vista seccional da seção capturada ao longo de uma linha VII-VII mostrada na figura 4.

Na modalidade mostrada na figura 4 à figura 7, um bocal de gás 3a para gás combustível e um bocal de gás 3b para o gás de suporte a
15 combustão são formados a partir de uma pluralidade de tubos de bocal 300a e 300b, respectivamente, dispostos em paralelo na direção axial de queimador. Os tubos de bocal 3a e 3b são formados a partir de uma pluralidade de tubos de bocal 300a e 300b, como descrito acima, com o objetivo de um fluxo de turbilhonamento apropriado ser formado na câmara de combustão 1
20 pelos bocais de gás 3a e 3b enquanto o número de turbilhonamento Sw é especificado para estar em um intervalo preferível predeterminado, como descrito posteriormente.

Assim como na modalidade mostrada na figura 2 e figura 3, aberturas 2a e 2b (portas de bocal) para injetar o gás combustível e o gás de
25 suporte a combustão, respectivamente, estão de forma que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) passe na câmara de combustão 1, sendo que estão dispostos na superfície de parede interna 100 na parte interna (lado de extremidade traseira) da câmara de combustão 1
30 descrita acima. A abertura 2a e a abertura 2b são formadas a partir de uma pluralidade de aberturas 200a e uma pluralidade de aberturas 200b, respectivamente. Neste aspecto, as aberturas individuais 200a são conectadas a

seus respectivos bocais de gás 300a descritos acima, e as aberturas individuais 200b são conectadas a seus respectivos bocais de gás 300b descritos acima. As aberturas 200a e 200b descritas acima são dispostas de forma que gases sejam injetados em direções desviadas do centro do cubo da câmara de combustão 10 (direção excêntrica), sendo que os gases injetados na câmara de combustão 1 formam assim, um fluxo de turbilhonamento. As aberturas 200a e 200b, de acordo com a modalidade presente, são dispostas de forma que injete o gás combustível e o gás de suporte a combustão, respectivamente, próximo às direções tangenciais da superfície de parede interna 100.

Além disso, um bocal de gás 14 para fornecer um gás diluente que dilui o gás de combustão e que ajusta a temperatura e/ou a composição dos mesmos na câmara de combustão 1, está disposto na posição mais próxima à extremidade da câmara de combustão do que os bocais de gás 3a e 3b descritos acima (aberturas 2a e 2b). Este bocal de gás 14 fornece o gás para diluir o gás de combustão, e assim, a posição de instalação (conexão) na direção longitudinal da câmara de combustão não está especificadamente limitada, enquanto a posição de instalação não impede a combustão de gás na câmara de combustão 1. Na presente modalidade, o bocal de gás está disposto na posição mais próximo da extremidade da câmara de combustão do que está a posição central na direção longitudinal da câmara de combustão.

O bocal de gás 14 pode ser formado de um único tubo de bocal. Porém, na presente modalidade, o bocal de gás 14 é formado a partir de uma pluralidade de tubos de bocal 140 disposto em paralelo à direção de eixo geométrico do queimador. Uma abertura 15 (porta de bocal) para injetar o gás diluente próximo à direção tangencial da superfície de parede interna 100 de forma que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) passe na câmara de combustível 1 está disposta na superfície de parede interna na câmara de combustão 1 em uma posição em que o bocal de gás 14 está disposto. Os bocais de gás 14 acima descritos são conecta-

dos à abertura 15. Porém, na presente modalidade, a abertura 15 é formada a partir de uma pluralidade de aberturas 150, cada uma das aberturas 150 é conectada ao tubo de bocal 140 descrito acima. A abertura 15 pode ser uma única abertura no formato de uma fenda ao longo da direção do eixo geométrico do tubo e pode ser conectada a um único bocal de gás 14. Neste aspecto, a abertura 15 para o gás diluente não tem necessariamente uma estrutura para injetar o gás de forma que um fluxo de gás de turbilhamento passe na câmara de combustão 10.

As outras estruturas e funções da combustão de gás e do dispositivo de injeção a, na modalidade mostrada da figura 4 à figura 7, são as mesmas da combustão de gás e do dispositivo de injeção a, na modalidade mostrada na figura 2 e figura 3 e, assim, explicações detalhadas são omitidas.

Com isso, os gases são injetados a partir das aberturas 200a e 200b descritas acima de forma que um fluxo de gás de turbilhamento (fluxo de gás de turbilhamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) passe na câmara de combustão 1. O método preferível para ajustar a direção de injeção de gás e o ângulo de injeção de gás θ preferível, a partir do ponto de vista da estrutura de queimador, são os mesmos descritos acima, em relação à abertura 2a e 2b com base na figura 10.

Nesse ínterim, também na presente modalidade, a extremidade da câmara de combustão 1 é diretamente conectada à porta de injeção de gás 16 se forma que esteja conectada com o interior do alto-forno. Porém, a extremidade da câmara de combustão 1 pode ser comunicada com o interior do alto-forno através de um duto de gás apropriado (por exemplo, o conduto de subida mostrado na figura 12b e figura 12c). Neste caso, o gás de combustão descarregado da extremidade da câmara de combustão 1 é injetado no alto-forno através do duto de gás.

Em relação à combustão de gás e ao dispositivo de injeção a, utilizados na presente invenção, um gás de combustão de temperatura elevada é gerado na câmara de combustão 1. Por exemplo, a temperatura de

combustão teórica do gás de alto-forno é de cerca de 1.300°C em uma relação e ar de 1,0. No caso em que um gás de combustão é injetado como um gás de preaquecimento no alto-forno, é preferível que o gás de combustão seja diluído e a temperatura e a composição do mesmo sejam controladas de forma que o coque no alto-forno não seja consumido pelo CO₂ no gás de combustão injetado, e que nem seja minério de ferro (magnetita), que foi reduzido no forno, reoxidado. No presente modalidade, com tal objetivo, o gás diluente que ajusta a temperatura e/ou a composição do gás de combustão é fornecido a partir do bocal de gás 14 na câmara de combustão 1.

O tipo do gás diluente utilizado pode ser selecionado apropriadamente em acordo com o propósito de adição ao gás de combustão (controle de temperatura de gás e/ou controle de composição de gás). Do ponto de vista de ajuste da composição do gás de combustão, aqueles que contêm gases redutores, por exemplo, CO e H₂, são preferíveis. Por exemplo, pelo menos um tipo de um gás de alto-forno, um gás conversor, um gás de bateria de coque, e similar, pode ser utilizado. Em particular, é preferível que uma parte do gás de alto-forno seja capturada e utilizada como o gás diluente.

Além disso, é desejável que a temperatura do gás de preaquecimento injetado no alto-forno seja de 500°C ou maior, preferencialmente, de 800°C ou maior e de 1.000°C ou menor. Assim, de preferência, a temperatura e a quantidade de fornecimento do gás diluente são selecionadas de forma que a temperatura de gás de preaquecimento descrita acima, seja obtida.

Com isso, em relação à combustão de gás e dispositivo de injeção a, que tem o bocal de gás para injetar o gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte a combustão, o bocal de gás pode ser formado a partir de uma pluralidade de tubos de bocal dispostos em paralelo à direção axial do queimador. Além disso, em relação a esta combustão de gás e ao dispositivo de injeção a, o bocal de gás 14, para um gás diluente e para a abertura 15, pode ser dispostas.

Em um método de acordo com a presente invenção, é preferível

que um número de turbilhonamento Sw do fluxo de gás na câmara de combustão 1 seja especificado para estar no intervalo de 3 a 10. O número de turbilhonamento é um número adimensional que representa a intensidade de turbilhonamento em relação a um fluxo de fluido associado com turbilhona-

5 mento, e como o número de turbilhonamento Sw se torna amplo, o fluxo é associado com turbilhonamento intenso. Se o número de turbilhonamento for muito pequeno, a mistura do gás de combustível e do gás de suporte a combustão torna-se insuficiente e a inflamação do gás de combustão torna-se instável. Por outro lado, se o número de turbilhonamento for muito grande,

10 uma chama de combustão pode ser expelida. A partir do ponto de vista descrito acima, o número de turbilhonamento Sw está, de preferência, no intervalo de 3 a 10.

O número de turbilhonamento Sw pode ser calculado com base na fórmula básica conhecida para calcular o número de turbilhonamento Sw ,

15 e por uma fórmula de acordo com o tipo e forma de uso da combustão de gás e do dispositivo de injeção a empregados. Por exemplo, no caso em que a combustão de gás e o dispositivo de injeção a têm uma abertura 2^a para injetar o gás combustível, e a abertura 2_b para injetar o gás de suporte a combustão é utilizado, como na modalidade mostrada na figura 2 e figura 3,

20 o número de turbilhonamento Sw pode ser determinado pela seguinte fórmula:

Expressão matemática 1

$$Sw = \frac{(\rho_a \cdot Q_a \cdot V_a + \rho_f \cdot Q_f \cdot V_f) \cdot R_b}{[(\rho_a \cdot Q_a + \rho_f \cdot Q_f) \cdot (Q_a + Q_f) \cdot R_b] / Ab}$$

em que R_b : raio de câmara de combustão (m)

Ab : área seccional transversal de câmara de combustão (m²)

25 ρ_a : densidade de gás de suporte a combustão (kg/m³)

ρ_f : densidade de gás combustível (kg/m³)

V_a : velocidade de gás de suporte a combustão em abertura (porta de bocal) (m/s)

30 V_f : velocidade de gás combustível em abertura (porta de bocal) (m/s)

Q_a : taxa de fluxo real de gás de suporte a combustão (m³/s)

Qf: taxa de fluxo real de gás combustível (m^3/s)

Entretanto, no caso em que a combustão de gás e o dispositivo de injeção a, tem a abertura para injetar o gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte a combustão é utilizado, o número de turbilhonamento Sw pode ser determinado pela seguinte fórmula.

Expressão matemática 2

$$S_w = \frac{(\rho_m \cdot Q_m \cdot V_m) \cdot R_b}{[(\rho_m \cdot Q_m) \cdot Q_m \cdot R_b] / A_b}$$

Em que Rb: raio de câmara de combustão (m)

Ab: área seccional transversal de câmara de combustão (m^2)

pm: densidade de gás pré-misturado (kg/m^3)

10 Vm: velocidade de gás pré-misturado (porta de bocal) (m/s)

Qm: taxa de fluxo real de gás pré-misturado (m^3/s)

No caso em que o número de turbilhonamento Sw é especificado para estar no intervalo preferível descrito acima, é preferível que, como na modalidade mostrada da figura 4 à figura 7, o bocal de gás 3a para o gás combustível e o bocal de gás 3b para o gás de suporte a combustão, sejam formados por uma pluralidade de tubos de bocal 300a e uma pluralidade de tubos de bocal 300b, respectivamente, dispostos em paralelo à direção axial do queimador. Isto acontece pelas seguintes razões. Por exemplo, no caso de condições do diâmetro interno de câmara de combustão: 50 mm, a quantidade do gás de alto-forno: 30 Nm^3/h (densidade de gás: 1,34 kg/Nm^3), a quantidade de ar: 21,4 Nm^3/h (densidade de gás: 1,29 kg/Nm^3), a relação de ar: 1,1, e a pressão no alto-forno: 245 kPa, se cada um dos bocais de gás 12a e 12b são assumidos para serem formados a partir de um único (um) tubo de bocal, sendo que quando o número de turbilhonamento Sw é 3, o diâmetro interno do tubo de bocal (diâmetro interno circular equivalente, isto é, o diâmetro de um círculo que tem a área seccional transversal igual à área seccional transversal no interior do tubo de bocal, e no futuro, um termo “diâmetro interno de tubo de bocal”, irá se referir ao mesmo) é de 21 mm como para o bocal de gás 3a (a velocidade de gás combustível na abertura 11a: 7 m/s) e é de 21 mm como para o bocal de gás 3b (a velocidade de gás de suporte a combustão na abertura 2b: 5 m/s). Porém, no caso em que cada

um dos bocais de gás 3a e 3b é formado de um único tubo de bocal, como descrito acima, na vista seccional da seção capturada ao longo da linha II-II mostrada na figura 2, o diâmetro interno do tubo de bocal é cerca de quatro décimos do diâmetro interno da câmara de combustão, sendo que os fluxos para o centro (centro do cubo) da câmara de combustão aumentam tanto em relação ao gás combustível quanto em relação ao gás de suporte a combustão, e um bom fluxo de turbilhonamento não é formado facilmente. Consequentemente, o gás de escape de combustão de temperatura elevada presente no lado central do cubo pode ser resfriado, de forma que os efeitos da presente invenção possam ser reduzidos. A figura 11 mostra esquematicamente uma seção em uma direção de diâmetro do interior da câmara de combustão na posição onde a abertura 2a e 2b está disposta. A posição central do fluxo de gás injetado da abertura 2a e 2b (=centro do cubo do bocal de gás 3a e 3b) é a posição em uma distância de $(R - t/2)$ a partir do centro da câmara de combustão 1, em que o raio da câmara de combustão 1 é representado por R e a largura interna ou o diâmetro interno real do bocal de gás 3a e 3b na direção de diâmetro da câmara de combustão é representada por t. Aqui, se t aumenta em relação a R, um fluxo para o centro da câmara de combustão (centro do cubo) aumenta. Consequentemente, um bom fluxo de turbilhonamento não é formado facilmente e uma chama tubular é formada em uma posição separada de uma parede de tubo, de forma que a combustão tenda a se tornar estável. A partir deste ponto de vista, é preferível que $(R - t/2)/R \geq 0,8$ seja satisfeito, embora o exemplo descrito acima esteja fora da condição preferível.

Por outro lado, no caso onde o bocal de gás 3a, 3b é formado a partir de uma pluralidade de tubos de bocal 300a, 300b arranjados em paralelo na direção do eixo geométrico do queimador, o diâmetro interno por tubo de bocal torna-se pequeno, de modo que os problemas descritos acima não ocorram facilmente e é possível gerar um bom fluxo de turbilhonamento enquanto que o número de turbilhonamento Sw é especificado para ser dentro da faixa preferencial. Consequentemente, é preferencial que o bocal de gás 3a para o gás combustível e o bocal de gás 3b para o gás que suporta com-

bustão sejam formados a partir de uma pluralidade de tubos de bocal 300a e uma pluralidade de tubos de bocal 300b, respectivamente, arranjados em paralelo na direção do eixo geométrico do queimador. Pela mesma razão, relativo ao dispositivo de injeção e combustão de gás a que tem o bocal de gás para injetar o gás previamente misturado do gás combustível e o gás que suporta combustão, é preferencial que o bocal de gás seja formado a partir de uma pluralidade de tubos de bocal arranjado em paralelo na direção do eixo geométrico do queimador.

Ademais, com relação ao dispositivo de injeção e combustão de gás a mostrado na figura 4 a figura 7, um gás diluente é fornecido a partir do bocal de gás 14 na câmara de combustão 1 para o propósito de diluir o gás de combustão e controlar a temperatura e a composição deste de tal modo que o coque não seja consumido pelo CO_2 no gás de combustão injetado, e nem o minério de ferro (magnetita), que foi reduzido no forno, reoxidado. Conforme descrito acima, quanto ao gás diluente, aqueles que contêm gás de redução, por exemplo, CO e H_2 , são preferenciais. Por exemplo, pelo menos um tipo de gás de alto-forno, um gás conversor, gás de bateria de coque e similares podem ser usados. Acima de tudo, é preferencial que uma parte do gás de alto-forno seja tomada e usada com o gás diluente. Além disso, conforme descrito depois, é desejável que a temperatura do gás de preaquecimento injetado no alto-forno seja 500°C ou mais alto, desejavelmente 800°C ou mais alto e 1.000°C ou mais baixo. Então, preferencialmente a temperatura e a quantidade de fornecimento do gás diluente são selecionadas de tal modo que a temperatura do gás de preaquecimento descrito acima é obtida.

Os efeitos obtidos usando-se o dispositivo de injeção e combustão de gás do tipo queimador de chama tubular descritos acima na presente invenção serão descritos em comparação com o caso onde outros queimadores de gás do tipo na técnica relacionada são usados.

Os queimadores de gás previamente industrializados usados são divididos aproximadamente nos queimadores de sistema de combustão por difusão (mistura externa) e os queimadores de sistema de combustão

misturada antecipadamente (mistura interna) com base no sistema de mistura de um gás combustível e um gás que suporta combustão. Entretanto, cada queimador tem uma estrutura em que uma chama é formada à frente de uma extremidade do queimador. Então, no caso onde o queimador de gás descrito acima é usado como o dispositivo de injeção e combustão de gás a, 5 materiais carregados (minério de ferro, coque) descendo da parte superior do alto-forno são diretamente expostos a uma chama, uma reação de perda de solução do coque é efetuada e os problemas ocorrem em que, por exemplo, o coque é consumido inutilmente.

10 Nesse ínterim, o gás do topo do forno do processo de alto-forno de oxigênio, em que o oxigênio puro é expelido, é um gás em que o teor de nitrogênio é pequeno e CO é contido primeiramente e o valor calorífico é alto (por exemplo, cerca de 1.200 kcal/Nm³). Consequentemente, o gás do topo do forno pode ser usado com um gás combustível para o queimador de gás 15 comum descrito acima na técnica relacionada sem nenhum problema. Por outro lado, relativo ao gás de alto-forno gerado em um processo de alto-forno normal relacionado a presente invenção, o valor calorífico é baixo (por exemplo, cerca de 800 kcal/Nm³), e se o gás de alto-forno for aplicado ao queimador de gás comum descrito acima na técnica relacionada, a combustão estável não é realizada facilmente. Além disso, no caso onde uma operação de RAR baixa é conduzida, o valor calorífico do gás de alto-forno é 20 ainda mais reduzido. Por exemplo, de acordo com o cálculo com base no modelo de equilíbrio térmico e de massa no alto-forno, o valor calorífico do gás de alto-forno torna-se (1) 889 kcal/Nm³ quanto a uma operação que corresponde à RAR 494 kg/t, (2) 812 kcal/Nm³ quanto a uma operação que corresponde à RAR 460 kg/t, (3) 758 kcal/Nm³ quanto a uma operação que corresponde à RAR 437 kg/t, w (4) 724 kcal/Nm³ quanto a uma operação que 25 corresponde à RAR 426 kg/t. De acordo com o cálculo descrito acima, a temperatura do gás do topo do alto-forno trona-se 110°C ou mais baixo. Então, por exemplo, no caso onde uma parte do gás de alto-forno descarregado da porção de topo do forno é tomada, um gás de preaquecimento preparado por combustão com oxigênio é injetado no forno a partir da porção de 30

cubo, e a temperatura do gás do topo do alto-forno é mantida a 110°C ou mais alto, o gás de alto-forno valor calorífico é ainda mais reduzido. Por exemplo, no caso onde 100 Nm³/t do gás de preaquecimento a 800°C é injetado na operação do item descrito acima (2), o valor calorífico do gás de alto-forno torna-se 786 kcal/Nm³, e no caso onde 150 Nm³/t do gás de preaquecimento a 800°C é injetado na operação do item descrito acima (3), o valor calorífico do gás de alto-forno torna-se 715 kcal/Nm³. Tal redução no valor calorífico do gás de alto-forno devido à operação de RAR baixa faz com que a combustão estável pelo queimador de gás comum descrito acima na técnica relacionada ainda mais difícil.

Ademais, o alto-forno comum é operado sob uma pressão de 4 a 5 kg/cm² e, em adição, os materiais carregados descem da porção superior do alto-forno, de modo que a pressão sempre oscila. Além disso, o espaçamento de gás resultante da adesão de materiais à parede do forno do alto-forno e similares ocorre. Relativo ao queimador de gás comum descrito acima na técnica relacionada, a estabilidade da chama é impedida por causa desses fatores e a extração e similares podem ocorrer.

Com relação aos problemas descritos acima com respeito ao queimador de gás comum na técnica relacionada, os efeitos obtidos usando-se o dispositivo de injeção e combustão de gás do tipo queimador de chama tubular a de acordo com a presente invenção são conforme descritos abaixo.

(a) A combustão do gás é realizada na câmara de combustão 1 e nenhuma chama é presente no lado de fora da câmara de combustão 1. Então, os materiais carregados (minério de ferro, coque) descendo da porção superior do alto-forno não são diretamente expostos a uma chama, de modo que uma influencia exercida nos materiais carregados está em um nível pequeno. Ademais, conforme descrito acima, nenhuma chama é presente do lado de fora da câmara de combustão 1, de modo que uma chama estável é formada sem ser afetada pela pressão no alto-forno e oscilações desta, escapamento de gás e similares e um gás de combustão a uma temperatura desejada pode ser injetado no forno de maneira estável.

(b) É necessário que o gás de preaquecimento injetado no forno

tenha uma pressão maior que a pressão no forno na posição da injeção. Então, é necessário que a combustão do gás seja realizada realmente sob pressão na câmara de combustão 1 do dispositivo de injeção e combustão de gás a. No caso onde a câmara de combustão 1 entra em um estado

5 pressurizado, conforme descrito acima, a combustão negra de mesmo um gás de valor calorífico baixo, por exemplo, especialmente um gás de alto-forno, torna-se possível. Relativo ao dispositivo de injeção e combustão de gás a, uma chama estável é formada na câmara de combustão 1, a propriedade de mistura do gás combustível e do gás que suporta combustão (oxi-

10 gênio) é boa e, então, a combustão uniforme eficaz do gás pode ser realizada. Em particular, conforme descrito acima, a câmara de combustão 1 entra no estado pressurizado, de modo que a densidade do gás aumenta e, com isso, um valor calorífico aparente aumenta comparado com o valor calorífico no estado padrão. Consequentemente, mesmo no caso onde o gás combustí-

15 tível é um gás de valor calorífico baixo, por exemplo, um gás de alto-forno, ou no caso onde a concentração do componente de gás combustível é muito pequena, a combustão estável pode ser realizada.

(c) A câmara de combustão 1 comes entra em um estado pressurizado, conforme descrito acima, de modo que a densidade do gás aumenta e, com isso, a quantidade de calor mantido pelo gás combustível pode ser transferida para o gás de combustão eficazmente. Em particular, um

20 gás não queimado w um gás que suporta combustão estão presente nas proximidades da superfície de parede interna 100 da câmara de combustão 1, de modo que a superfície de parede interna 100 da câmara de combustão

25 1 não seja aquecida a uma alta temperatura devido à transferência direta de calor. Consequentemente, uma perda de calor da parede do tubo é pequena e, com isso, o efeito desta é ainda mais aprimorado.

(d) É preferencial que o gás de preaquecimento injetado a partir da porção de injeção de gás A não contenha oxigênio (gás oxigênio como

30 O₂, o mesmo permanece verdadeiro daqui em diante) ou tenha uma concentração baixa de oxigênio. Isto porque se o gás de preaquecimento contiver oxigênio, o óxido de ferro (Fe₃O₄, FeO), que é reduzido no forno, é reoxida-

do. A este respeito, o dispositivo de injeção e combustão de gás a exibe alta eficácia da utilização de oxigênio, pois uma chama estável é formada na câmara de combustão 1. Em particular, a câmara de combustão 1 entra em um estado pressurizado e, com isso, a eficácia da utilização de oxigênio pode ser aumentada adicionalmente, de modo que a combustão estável pode ser realizada com uma quantidade de oxigênio menor que a quantidade teórica de oxigênio. Conseqüentemente, um gás de preaquecimento que não contém oxigênio ou que tem uma concentração de oxigênio muito baixa pode ser injetado no forno.

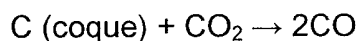
5
10 (e) Uma chama estável é formada na câmara de combustão 1, de modo que as variações na temperatura do gás de preaquecimento (gás de combustão) injetado no forno são reduzidas, e as temperaturas do gás de alto-forno da porção inferior do forno e os materiais carregados que descem da porção superior do forno podem ser elevadas sem variações.

15 Usualmente, um sensor 26a para medir a composição, a temperatura, a pressão e similares do gás de alto-forno é disposto na passagem de fluxo 9 para levar o gás de alto-forno para o elevador 6, e um sensor 26b para medir a pressão e a temperatura no forno é disposto nas proximidades da porção de injeção de gás A. Com base nos valores de medição por estes
20 sensores 26a e 26b, a pressão do gás que é aumentada pelos elevadores 25a e 25b, a quantidade de gás que suporta combustão injetado no dispositivo de injeção e combustão de gás a, e similares são controlados.

 A injeção do gás de preaquecimento a partir da porção de injeção de gás A pode ser realizada constantemente ou ser realizada somente
25 no caso onde a temperatura do gás do topo do forno é diminuída. No último caso, por exemplo, a temperatura do gás do topo do forno é medida com o sensor e no caso onde a temperatura do gás do topo do forno torna-se mais baixa que ou igual a uma temperatura predeterminada (por exemplo, 110°C ou mais baixa), o gás de preaquecimento é injetado a partir da porção de
30 injeção de gás A.

 A temperatura do gás de preaquecimento injetado a partir da porção de injeção de gás A não é especificamente limitada. Entretanto, se a

temperatura do gás de preaquecimento for mais baixa que a temperatura do gás no forno na posição de injeção, o interior no forno é, ao contrário, resfriado. Então, é preferencial que a temperatura do gás de preaquecimento é mais alta que a temperatura e do gás no forno na posição de injeção, e em geral, 500°C ou mais alta, preferencialmente 800°C ou mais alta é desejável. Enquanto que do ponto de vista da supressão da reação de perda de solução no alto-forno ou a redução no custo de equipamento (material) para melhorar a resistência ao calor do aparelho, é preferencial que a temperatura do gás de preaquecimento seja 1.000°C ou mais baixa. No caso onde CO₂ e H₂O estão contidos no gás de preaquecimento, se a temperatura do gás de preaquecimento exceder 1.000°C, as seguintes reações (reação de perda de solução) entre CO₂ ou H₂O e coque no forno ocorrem facilmente, de modo que o coque seja consumado.



A este respeito, no caso onde um gás oxidante, por exemplo, CO₂ ou H₂O, não está contido no gás de preaquecimento, o consumo do coque devido às reações descritas acima não ocorrem, mas é necessário que o aparelho (membros constituintes) seja formado a partir de materiais resistentes ao calor caros e, então, o custo de equipamento aumenta.

Quanto ao ajuste da temperatura do gás de preaquecimento, por exemplo, a quantidade de calor do gás pode ser ajustada mudando-se a composição do gás combustível usado, a razão de ar pode ser ajustada dentro de uma faixa predeterminada e, em adição, no caso onde o gás diluente é adicionado ao gás de combustão, conforme mostrado na figura 4 a figura 7, a temperatura e a quantidade de fornecimento do gás diluente podem ser ajustadas.

A quantidade da injeção do gás de preaquecimento não é especificamente limitada na medida em que a quantidade da injeção do gás possa manter a temperatura do gás do topo do forno a 100°C ou mais alta em geral. Por exemplo, quanto a uma operação que corresponde à RAR 470 kg/t, a temperatura do gás do topo do forno pode ser mantida a 100°C ou

mais alta injetando-se $100 \text{ Nm}^3/\text{t}$ do gás de preaquecimento a 800°C .

A posição de instalação da porção de injeção de gás A na direção de altura do forno (posição da injeção do gás de preaquecimento) é preferencialmente a porção média para a porção superior do cubo. Em particular, quando o raio do gargalo é representado por R_o , a posição em uma profundidade R_o da linha de estoque é representada por p_1 , e a posição a uma altura a partir da extremidade inferior da porção de cubo de um terço da altura total da porção de cubo é representada por p_2 , é preferencial que a porção de injeção de gás A seja instalada entre a posição p_1 e a posição p_2 na direção da altura do forno e o gás de preaquecimento é injetado a partir desta porção de injeção de gás A. Se a posição da injeção do gás de preaquecimento for muito superficial (a posição é muito alta), a carga de um leito de matéria-prima empacotada é pequena, de modo que a fluidização ou agitação da matéria-prima ocorra e a estabilidade decrescente da matéria-prima pode ser reduzida. Por outro lado, se a posição da injeção do gás de preaquecimento for muito profunda (a posição é muito baixa), uma zona de amolecimento e derretimento no forno pode ser alcançada de maneira desfavorável.

A quantidade de instalações e a forma da instalação das porções de injeção de gás A na direção circunferencial do forno não são especificamente limitadas, embora a instalação em uma pluralidade de locais em intervalos regulares na direção circunferencial do forno seja preferencial. Em particular, no caso onde cada porção de injeção de gás A é formada a partir de uma porta de injeção de gás 16 e um dispositivo de injeção e combustão de gás a conectado a esta, é preferencial que pelo menos as porções de injeção de gás A sejam instaladas em n locais (onde n é um número par de 4 ou mais) em intervalos regulares na direção circunferencial do forno e dentre as porções de injeção de gás A definidas acima em n locais, as porções de injeção de gás A usadas para injeção do gás de preaquecimento são selecionadas em intervalos regulares na direção circunferencial do forno em concordância com a quantidade total da injeção. Neste caso, a quantidade de instalações das porções de injeção de gás A em intervalos regulares é 4,

8, 16, 32, 64, e similares. A este respeito, no equipamento atual, pode ser difícil instalar as porções de injeção de gás A em intervalos acuradamente regulares na direção circunferencial do forno por causa da relação com a estrutura de resfriamento do corpo do forno e similares e, então, o desvio da
5 posição de instalação até certo ponto é aceitável.

Cada porção de injeção de gás A pode ser formada a partir de uma porta de injeção de gás 16 e um dispositivo de injeção e combustão de gás a conectado a esta (isto corresponde à modalidade mostrada na figura 2 a figura 7), conforme descrito acima. Entretanto, a porção de injeção de gás
10 A pode ser formada a partir de uma pluralidade de portas de injeção de gás 16 e um ou pelo menos dois dispositivos de injeção e combustão de gás conectados a estas através de um tubo de subida.

As Figuras 12(a) a 12(c) são diagramas esquemáticos que mostram várias formas de instalações da porção de injeção de gás A, onde os
15 corpos do forno estão no estado de serem cortados horizontalmente. Dentre eles, na modalidade mostrada na figura 12(a), a porção de injeção de gás A é formada a partir de uma porta de injeção de gás 16 e um dispositivo de injeção e combustão de gás a conectado a esta e uma pluralidade das porções de injeção de gás A é instalada em intervalos na direção circunferencial
20 do forno. Relativo a tal modalidade, a condição de injeção do gás de preaquecimento (a temperatura do gás de preaquecimento, a quantidade de injeção e similares) pode ser ajustada em uma base de porta de injeção de gás 16. A propósito, na figura 12(a), os dispositivos de injeção e combustão de gás a são mostrados no desenho com respeito a uma parte de (duas) porções de injeção de gás A.
25

Nesse ínterim, com relação às modalidades mostradas na figura 12(b) e figura 12(c), uma porção de injeção de gás A é formada a partir de uma pluralidade de portas de injeção de gás 16 e um dispositivo de injeção e combustão de gás a conectado a esta através de um tubo de subida. Em tais
30 modalidades, o gás de combustão descarregado a partir de uma câmara de combustão 1 do dispositivo de injeção e combustão de gás a é injetado no alto-forno a partir da pluralidade de portas de injeção de gás 16 através do

tubo de subida.

Na modalidade mostrada na figura 12(b), uma pluralidade de portas de injeção de gás 16 é disposta em intervalos na direção circunferencial do forno e, em adição, estas portas de injeção de gás 16 são divididas em uma pluralidade de grupos de portas de injeção de gás 17a a 17d e os grupos de portas de injeção de gás individuais 17a a 17d são fornecidos com seus respectivos tubos coletores 18. Então, estes tubos coletores são conectados a uma pluralidade de portas de injeção de gás 16 que constituem os grupos de portas de injeção de gás individuais 17a a 17d através de tubos de conexão 19 e, em adição, são conectados às extremidades das câmaras de combustão 1 dos dispositivos de injeção e combustão de gás a. Relativo a tal modalidade, a condição de injeção do gás de preaquecimento (a temperatura do gás de preaquecimento, a quantidade de injeção e similares) pode ser ajustada em cada uma das bases dos grupos de portas de injeção de gás 17a a 17d.

A este respeito, na presente modalidade, um dispositivo de injeção e combustão de gás a é conectado a um tubo de subida 18, embora pelo menos dois dispositivos de injeção e combustão de gás a podem ser conectados a este.

Nesse ínterim, na modalidade mostrada na figura 12(c), a pluralidade de portas de injeção de gás 16 é disposta em intervalos na direção circunferencial do forno e, em adição, um tubo de subida anular 18 é disposto todo em volta do forno. Este tubo de subida 18 é conectado a todas as portas de injeção de gás 16 através dos tubos de conexão 19 e, em adição, é conectado à extremidade da câmara de combustão 1 do dispositivo de injeção e combustão de gás a.

A este respeito, na presente modalidade, um dispositivo de injeção e combustão de gás a é conectado ao tubo de subida 18, embora pelo menos dois dispositivos de injeção e combustão de gás a podem ser conectados a este.

A presente invenção refere-se a modalidades em que é preferencial que um gás de alto-forno que tem um valor calorífico baixo e que é

capaz de introduzir a partir de um local em faixa próxima é usado como o gás combustível do dispositivo de injeção e combustão de gás a. Acima de tudo, em uma modalidade particularmente preferencial, uma parte de um gás de alto-forno descarregado de uma porção de topo de forno é tomada a uma
5 posição apropriada de uma passagem de fluxo e é usada com um gás combustível. Entretanto, quanto ao gás combustível, gases diferentes do gás de alto-forno podem ser usados e o gás de alto-forno e gases diferentes deste (por exemplo, gás gerado por bateria de coque) podem ser usados em combinação. Ademais, quanto ao gás de alto-forno, um gás de alto-forno tomado
10 do lado a jusante de um aparelho de limpeza de gás (o coletor de poeira 22, o separador de vapor 23), um gás de alto-forno tomado entre a porção de topo do forno e o aparelho de limpeza de gás, um gás de alto-forno armazenado em um recipiente de gás e similares podem ser usados.

EXEMPLOS

15 Com a finalidade de verificar o funcionamento do dispositivo de injeção e combustão de gás usado na presente invenção, um aparelho de teste (um aparelho correspondendo ao dispositivo de injeção e combustão de gás a) tendo uma estrutura mostrada na figura 8 que foi usada e um teste de combustão foi executado em que as pressões de fornecimento do gás
20 combustível (gás de baixo valor calorífico) e o gás de suporte á combustão (ar) foi aumentado. Relativo a câmara de combustão deste aparelho de teste, o diâmetro interno foi de 50 mm, o comprimento total foi de 300 mm, uma abertura para injeção de gás combustível (fenda de bocal) disposta na superfície de parede interna disto teve um comprimento de 48 mm e a largura
25 de 5 mm, e uma abertura similar para injeção de gás de suporte á combustão (fenda de bocal) teve um comprimento de 31 mm e uma largura de 5 mm.

O gás de baixo valor calorífico usado como o gás combustível teve uma composição de gás de CO: 22 por cento em volume, CO₂: 21 por cento em volume, H₂: 5 por cento em volume, e N₂: 52 por cento em volume e
30 um valor calorífico de 792 kcal/Nm³. Relativo a 30 Nm³/h deste gás combustível, 19,5 NM³/h de ar foi suprida de tal maneira que uma quantidade teórica de oxigênio se tornou 1.

A figura 9 é um gráfico mostrando a relação entre a pressão na câmara de combustão e o fator de utilização de calor efetivo calculado de um valor de medição da temperatura de combustão de gás (medida com um termopar disposto em uma posição próxima a extremidade da câmara de combustão). Neste respeito, o fator de utilização de calor efetivo é calculado pela fórmula a seguir.

$$\text{O fator de utilização de calor efetivo} = \{(E \times F)/(C \times G)\} \times 100$$

E: entalpia detida pelo gás de combustão (kcal/Nm³)

F: taxa de fluxo de gás de combustão (Nm³/h)

C: valor calorífico de gás combustível (kcal/Nm³)

G: taxa de fluxo de gás combustível (Nm³/h)

De acordo com a figura 9, conforme a pressão na câmara de combustão aumenta, o fator de utilização de calor efetivo é melhorado e, portanto, é indicado que o gás combustível foi convertido em calor eficientemente.

A seguir, os dispositivos de combustão de gás e de injeção a (aparelhos de teste) incluindo uma quantidade diferente de tubos de bocal constituindo o bocal de gás para o gás combustível e o gás de suporte uma combustão foi usada, e um teste de combustão foi executado sob a condição mostrada na Tabela 1 pelo uso de um gás combustível (gás de alto-forno) e um gás de suporte á combustão (ar). Neste, o dispositivo de injeção e combustão de gás a em que cada bocal de gás é formado de um (único) cano de bocal é um aparelho (queimador) incluindo bocais de gás tendo uma estrutura como na modalidade mostrada na figura 2 e na figura 3, e o dispositivo de injeção e combustão de gás a em que cada bocal de gás é formado de uma pluralidade de tubos de bocal é um aparelho (queimador) incluindo bocais de gás tendo uma estrutura como na modalidade mostrada da figura 4 a figura 7.

Com relação à câmara de combustão de cada dispositivo de injeção e combustão de gás, o diâmetro interno foi de 50 mm, o comprimento total foi de 700 mm, o número de tubos de bocal constituindo cada um dos bocais de gás para o gás combustível e o bocal de gás para o gás de supor-

te á combustão foi 5 assim como o exemplo de Teste 1, 4 como para o exemplo de Teste 2, 2 como para o exemplo de Teste 3, 1 como para o exemplo de Teste 4, 4 como para o exemplo de Teste 5, e 2 como para o exemplo de Teste 6.

5 Com relação aos dispositivos de injeção e combustão de gás a como usado no exemplo de Testes de 1 a 4, o diâmetro interno do cano de bocal constituindo o bocal de gás para injeção do gás combustível foi de 10 mm e o diâmetro interno do tubo de bocal constituindo o bocal de gás similar para injeção da gás de suporte á combustão foi de 10 mm. Relativo ao dis-
10 positivo de injeção e combustão de gás conforme usado no exemplo de Teste 5, o diâmetro interno do cano de bocal constituindo o bocal de gás para injeção do gás combustível foi de 6 mm e o diâmetro interno do cano de bocal constituindo o bocal de gás similar para injeção de gás de suporte á combustão foi de 6 mm. Relativo a dispositivo de injeção e combustão de
15 gás conforme usado no exemplo de Teste 6, o diâmetro interno do cano de bocal constituindo o bocal de gás para injeção do gás combustível foi de 10 mm e o diâmetro interno do cano de bocal constituindo o bocal similar de gás para injeção do gás de suporte á combustão foi de 10 mm.

Um gás de alto-forno usado como o gás combustível teve uma
20 composição de gás de CO: 23,5 por cento em volume, CO₂: 23,0 por cento em volume, H₂: 1,5 por cento em volume, e N₂: 52 por cento em volume e um valor calorífico de 754 kcal/Nm³. Relativo a 30 Nm³/h desse gás combustível, 19,4 NM³/h de ar servindo como um gás de suporte á combustão que foi suprido de tal maneira que a quantidade teórica de oxigênio se torna 1. A pres-
25 são no forno do forno de teste aplicado foi de 245 kPa.

No exemplo de Teste 6, um dispositivo de injeção e combustão de gás a em que um bocal de gás (diâmetro interno 20 mm) para um gás diluente que foi disposto na posição 500 mm na direção de eixo geométrico do queimador do centro da posição de injeção do gás combustível. O gás de
30 suporte á combustão foi usado, e 24,5 Nm³/h de gás diluente (gás de alto-forno) foi suprido de tal maneira que a temperatura do gás de escape de combustão descarregado a partir da câmara de combustão se torne 800°C.

O conteúdo de CO (gás redutor) na composição de gás de combustão se torna 8,4 por cento em volume pela adição do gás diluente.

Nos exemplos de Teste de 1 a 6, a observação do interior da câmara de combustão (observação feita através de um vidro de nível mostrado na figura 8) e a análise de composição de gás do gás de escape de combustão foram executadas, e o estado de combustão foi avaliado com base do seguinte critério. Os resultados disto são mostrados na Tabela 1 junto com a configuração do bocal de gás, a taxa de fluxo de gás, o número de turbilhonamento Sw, a composição de gás de combustão (no exemplo de Teste 6, a composição de gás depois da adição do gás diluente), e similares.

x: A pulsação foi observada no estado de combustão e uma quantidade significativa de Co não queimado foi medida.

O: A combustão estável continuou e o CO não queimado foi dificilmente medida (em que a concentração de CO no exemplo de Teste 6 foi devido a mistura com o gás diluente)

Tabela 1

	Exemplo de teste 1	Exemplo de teste 2	Exemplo de teste 3	Exemplo de teste 4	Exemplo de teste 5	Exemplo de teste 6
Número de tubos de bocal de boca de gás	5	4	2	1	4	2
Taxa de fluxo de gás	5	4	2	1	4	2
	6,1	7,6	15,2	30,3	21,1	15,2
	3,6	4,5	9,1	18,2	12,6	9,1
	2,7	3,4	6,1	13,4	9,3	6,7
	67,4	68,1	68,1	67,4	67,4	61,9
	31,5	31,9	31,9	32	32	28,5
	2100	0	0	3400	30	8,4
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	1105	1163	1163	1095	1160	800
	x	0	0	x	0	0

*1 a concentração de CO no exemplo de Teste 6 é expressa em porcentagem.

EXEMPLO 1

Com relação a um alto-forno tendo um volume em um forno de 5,000 m³, a presente invenção foi executada de acordo com a modalidade mostrada na figura 1 pelo uso de um dispositivo de injeção e combustão de gás a como mostrado na figura 2 e na figura 3. Um gás de alto-forno retirado do lado à jusante do aparelho de geração de energia de gás de topo de um alto-forno 24 foi pressurizado com um elevador 25a para uma pressão 0,2 atm maior que a pressão no forno e foi introduzido como um gás combustível no dispositivo de injeção e combustão de gás a constituindo uma parte de injeção de gás A. Ademais, o oxigênio foi pressurizado com um elevador 25b da mesma forma e foi introduzido como um gás de suporte á combustão no dispositivo de injeção e combustão de gás a. A quantidade de suprimento de gás de alto-forno para o dispositivo de injeção e combustão de gás a foi especificado como sendo 100 Nm³/t, a combustão do gás de alto-forno foi executada com 5,6 Nm³/t de oxigênio de modo a gerar um gás de combustão a 800°C, e o gás de combustão foi injetado como um gás de preaquecimento no forno. A taxa de oxigênio no dispositivo de injeção e combustão de gás a foi de 0,335 (relativo a quantidade teórica de oxigênio). A composição do gás de preaquecimento foi CO: 17,6 por cento em volume, CO₂: 30,3 por cento em volume, H₂: 4,6 por cento em volume, H₂O: 2,7 por cento em volume, e N₂: 44,8 por cento em volume. A temperatura de gás recolhido no topo do alto-forno se torna 134°C pela injeção do gás de preaquecimento descrito acima, a condensação de umidade no tubo foi evitada completamente na operação de alto-forno, e uma operação estável foi capaz de ser executada.

EXEMPLO 2

Com relação a um alto-forno tendo um volume em um forno de 5,000 m³, a presente invenção foi executada de acordo com a modalidade mostrada na figura 1 pelo uso de um dispositivo de injeção e combustão de gás a como mostrado na figura 4 to figura 7. Um gás de alto-forno tomado do lado à jusante do aparelho de geração de energia de gás de topo de um alto-forno 5 que foi pressurizado com um elevador 25a para uma pressão 0,2 atm maior que a pressão no forno e foi introduzido como um gás combustível no

dispositivo de injeção e combustão de gás a constituindo uma parte de injeção de gás A. Ademais, o oxigênio foi pressurizado com um elevador 25b da mesma forma e foi introduzido como um gás de suporte á combustão no dispositivo de injeção e combustão de gás a. No dispositivo de injeção e combustão de gás a, a combustão de 30,3 Nm³/t de gás de alto-forno foi executada com 5,6 Nm³/t de oxigênio (taxa de oxigênio de 1,0) e, adicionalmente, 69,7 Nm³/t de gás diluente (BFG) foi suprido na câmara de combustão de modo a gerar um gás de combustão a 800°C. O gás de combustão foi injetado como um gás de preaquecimento no forno. A composição do gás de preaquecimento foi a mesma como a do Exemplo 1. A temperatura de gás recolhido no topo do alto-forno se torna 147°C pela injeção do gás de preaquecimento descrito acima, a condensação de umidade no tubo foi evitada completamente na operação de alto-forno, e uma operação estável foi capaz de ser executada.

15 **Segunda modalidade**

A figura 13 e a figura 14 mostram uma modalidade de um queimador de combustão (queimador de chama tubular) usado na presente invenção. A figura 13 é uma vista em planta de recorte parcial e a figura 14 é uma vista seccional da seção tomada ao longo de uma linha II-II mostrada na figura 13.

No desenho, o algarismos de referência 1 denota uma câmara de combustão tubular (cilíndrica) com uma extremidade aberta, o algarismos de referência 3a denota um bocal de gás para um gás combustível, e o algarismos de referência 3b denota um bocal de gás para um gás de suporte á combustão.

As aberturas 2a e 2b (portas de bocal) para injetar o gás combustível (e o hidrogênio) e o gás de suporte á combustão, respectivamente, de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento ocorra (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) são dispostas em uma superfície de parede interna 100 na parte interna (lado de extremidade posterior) da câmara de combustão 1 descrita acima. Os bocais de gás descritos acima 3a e 3b são conectadas a

essas aberturas 2a e 2b, respectivamente. As aberturas descritas acima 2a e 2b (portas de bocal) são dispostas de tal maneira que os gases são injetados em direções desviadas do eixo geométrico do centro da câmara de combustão 1 (direção excêntrica) e que os gases injetados na câmara de combustão 1 formam através disso, um fluxo de turbilhonamento. As aberturas 2a e 2b de acordo com a presente modalidade são dispostas de tal modo que injetem o gás combustível e o gás de suporte á combustão, respectivamente, próximo as direções tangenciais da superfície de parede interna 100.

As aberturas descritas acima 2a e 2b são formadas tendo o formato de uma fenda ao longo da direção de eixo geométrico do tubo e são dispostas em posições opostas a 180° na superfície de parede interna 100 (superfície de circunferência interior). Uma pluralidade de aberturas 2a e uma pluralidade de aberturas 2b pode ser disposta. Neste caso, as aberturas individuais 2a e 2b são conectadas ao seus respectivos bocais de gás 3a e 3b.

Uma câmara de misturação 4 para misturar o gás combustível e o hidrogênio é disposta em uma parte de introdução de gás do bocal de gás 3a. Um tubo de suprimento de gás combustível 5 e um tubo de suprimento de hidrogênio 6 são conectados a essa câmara de misturação 4. Entrementes, um tubo de suprimento de gás de suporte á combustão 7 é conectado a uma parte de introdução de gás do bocal de gás 3b.

Adicionalmente, no desenho, os algarismos de referências de 8 a 10 denotam válvulas de controle de taxa de fluxo dispostas no tubo de suprimento de gás combustível 5, o tubo de suprimento de hidrogênio 6, e o tubo de suprimento de gás de suporte á combustão 7, respectivamente, o algarismo de referência 11 denota um medidor de fluxo disposto no tubo de suprimento de hidrogênio 6, o algarismo de referência 12 denota um detector de estado de combustão para detectar o estado de combustão na câmara de combustão 1, e o algarismo de referência 13 denota detector de estado 12 que pode empregar, por exemplo, um sistema em que um termopar ou similares são inseridos em uma chama para medir uma temperatura ou um sistema ótico em que os raios ultravioletas em uma chama são detectados pelo

uso de ultravisão ou similares. Ademais, o algarismo de referência x denota um corpo de forno fornecido com o queimador de combustão.

Neste, o gás combustível e o gás de suporte á combustão pode ser injetado a partir das aberturas 2a e 2b (portas de bocal), respectivamente, de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) ocorre na câmara de combustão 1. Em particular, preferivelmente, as direções da injeção de gás a partir das aberturas 2a e 2b são ajustadas de tal maneira que o número de turbilhonamento Sw (um número adimensional representando a intensidade de turbilhonamento com respeito ao fluxo de um fluido associado com o turbilhonamento) do fluxo de gás de turbilhonamento que passa a estar dentro de uma faixa preferencial descrita posteriormente. A figura 21 mostra esquematicamente uma seção em uma direção de diâmetro do interior da câmara de combustão em uma posição na qual a abertura 2a, 2b é disposta. Relativo a tal seção em uma direção de diâmetro da câmara de combustão 1, é preferencial que um ângulo θ de injeção de gás seja ajustado de tal maneira que o número de turbilhonamento Sw passa a estar dentro da faixa preferencial (Sw: de 3 a 10), em que dentre as peças de extremidade da abertura 2a, 2b na direção circunferencial da superfície de parede interna 100, a peça de extremidade no lado de extremidade no direção de (rotação) turbilhonamento do fluxo de gás, que é descarregado a partir da abertura 2a, 2b de modo de modo a turbilhonar, é especificada como sendo o ponto p, uma linha tangencial da superfície de parede interna 100 nesse ponto p que é especificado como sendo x, a linha central do fluxo de gás descarregado a partir da abertura 2a, 2b (= eixo geométrico central do bocal de gás 3a, 3b) é especificado como sendo y, e o ângulo entre a linha tangencial x e o linha central de fluxo de gás y é especificado como sendo o ângulo de injeção de gás θ . Que é, o componente de velocidade de gás combustível V_{f1} e o componente de velocidade de gás de suporte á combustão V_{al} na direção x linha tangencial satisfazendo o seguinte, em que a velocidade de gás combustível na abertura 2a calculada a partir do diâmetro interno do bocal de gás 3a é especificado como sendo V_f e a velocidade

gás de suporte á combustão na abertura 2b calculado a partir do diâmetro interno do bocal de gás 3b é especificado como sendo V_a .

$$V_{f1} = V_f \times \cos\theta$$

$$V_{a1} = V_a \times \cos\theta$$

5 Portanto, preferivelmente, o ângulo de injeção de gás θ é is determinado de tal maneira que o número de turbilhonamento Sw calculado com base no V_{f1} e V_{a1} , os quais são assumidos como sendo as velocidades de gás nas aberturas 2a e 2b, passam a estar dentro da faixa preferencial predeterminada. O método para determinar o número de turbilhonamento
10 Sw é como será descrito posteriormente.

Nesse ínterim, do ponto de vista da estrutura do queimador de combustão, é preferencial que o queimador de combustão tenha uma estrutura em que as aberturas 2a e 2b para injetar o gás combustível e o gás de suporte á combustão, respectivamente, próximo na direção tangencial da
15 superfície de parede interna 100 são dispostos na superfície de parede interna da câmara de combustão 1. Isso é dessa maneira porque tal estrutura pode realizar o número de turbilhonamento preferencial Sw sem levar em consideração as modificações e mudanças da quantidade da gás e da velocidade de gás. Especificamente, é desejável que o ângulo de injeção de gás
20 θ mostrado na figura 21 seja especificado como sendo de 30° ou menos, e mais preferivelmente 10° ou menos. Se esse ângulo de injeção de gás θ aumenta, há uma possibilidade de que um fluxo de gás de turbilhonamento apropriado ao longo da superfície de parede interna 100 não seja formado dependendo da quantidade de gás e da velocidade de gás. Relativo a cada
25 uma das presentes modalidades, uma modalidade mostrada na figura 15 descrita posteriormente, e modalidades mostradas da figura 16 a figura 19, o ângulo de injeção de gás θ é de cerca de 0° a 5° .

De acordo com a presente invenção, relativo ao queimador de chama tubular descrito acima, no caso em que permite gás calorífico, por
30 exemplo, a gás de alto-forno, a CDQ gás, e um gás de saída que contém uma pequena quantidade de componente combustível, tendo a valor calorífico de $1,000 \text{ kcal/Nm}^3$ ou menos (Em particular 800 kcal/Nm^3 ou menos) é

usado como um gás combustível, hidrogênio é adicionado ao gás combustível para facilitar a combustão estável disto. Esse hidrogênio pode ser adicionado como um gás de hidrogênio puro, ou ser adicionado como um gás que contém hidrogênio (doravante no presente pedido de patente, o termo "hidrogênio (adicionado a um gás combustível)" inclui "um gás que contém hidrogênio"). No caso em que um gás combustível contém hidrogênio originalmente, é necessário que a concentração de hidrogênio desse gás que contém hidrogênio seja maior que a concentração de hidrogênio do gás combustível, como um assunto óbvio. Portanto, no caso em que um gás de alto-forno (geralmente, concentração de H_2 : de 2 a 3 por cento em volume) é usado como o gás combustível, é necessário que um gás que contém hidrogênio tendo uma concentração de hidrogênio maior que aquela do gás de alto-forno é usado. A concentração de hidrogênio do gás que contém hidrogênio não é especificamente limitada exceto nesse ponto. No entanto, no general, é preferencial que um gás que contém hidrogênio tendo uma concentração de hidrogênio de 20 por cento em volume ou mais é usado. Dentre os gases gerados em processos de ferro e aço, por exemplo, uma gás de bateria de coque obtido na produção de coque tem uma concentração de hidrogênio particularmente alta (geralmente cerca de 55 por cento em volume) e é adequada para o gás que contém hidrogênio.

A fim de adicionar hidrogênio ao gás combustível, relativo ao queimador de combustão mostrado na figura 13 e na figura 14, o gás combustível e o hidrogênio são fornecidos para a câmara de mistura 4 do bocal de gás 3a através do tubo de suprimento de gás combustível 5 e do tubo de suprimento de hidrogênio 6, e o hidrogênio é misturado no gás combustível neste. O gás combustível resultante misturado com oxigênio (gás combustível misturado com hidrogênio, o mesmo será constatado) entra no corpo principal do bocal. Entrementes, o gás de suporte á combustão é suprido para o bocal de gás 3b através do tubo de suprimento de gás de suporte á combustão 7. O gás combustível misturado com oxigênio e o gás de suporte á combustão suprido aos bocais de gás 3a e 3b, como descrito acima, são injetados na câmara de combustão 1 a partir das aberturas 2a e 2b

(portas de bocal). A combustão é executada enquanto esse gás combustível misturado com oxigênio e o gás de suporte á combustão forma um fluxo de turbilhonamento ao longo da superfície de parede interna 100 da câmara de combustão 1 e, desse modo, uma chama é formada. Neste respeito, a combustão descrito acima é iniciada pela ignição com o vela de ignição 13, e no caso em que a combustão continua, a ignição com a vela de ignição 13 é terminada neste momento.

No caso em que o valor calorífico do gás combustível flutue, por exemplo, o valor calorífico sendo adicionalmente reduzido, e desse modo, o estado de combustão detectado pelo detector de estado de combustão 12 não é estabilizado, a quantidade de suprimento de hidrogênio é aumentado pelo medidor de fluxo 11 e a válvula de controle de taxa de fluxo 9 disposta no tubo de suprimento de hidrogênio 6.

A esse respeito, como para esse queimador de combustão, um gás em que o gás combustível e o gás de suporte á combustão são misturados antecipadamente (gás pré-misturado) pode ser usado. Nesse caso, pelo menos uma abertura 2 (porta de bocal) para injetar o gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte á combustão de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) ocorre na câmara de combustão 1 é disposta na superfície de parede interna 100 da câmara de combustão 1, e um bocal de gás 3 para suprir o gás pré-misturado é conectado a essa abertura 2. Como descrito acima a abertura 2 é disposta de tal maneira que o gás seja injetado em direções desviadas do eixo geométrico central da câmara de combustão 1 (direção excêntrica) e que o gás injetado na câmara de combustão 1 forma desse modo um fluxo de turbilhonamento, da mesma maneira como a abertura 2a, 2b mostrada na figura 13 e figura 14. Em particular, é preferencial que a abertura 2 seja disposta de tal modo que injete o gás (gás pré-misturado) próximo na direção tangencial da superfície de parede interna 100. Então, o hidrogênio é adicionado ao gás combustível antes da pré mistura com o gás de suporte á combustão ou com o gás pré-misturado. O gás pré-misturado que contém hidrogênio adiciona-

do, como descrito acima, é injetado na câmara de combustão 1 a partir da abertura 2 através do bocal de gás 3. A propósito, o gás é injetado a partir dessa abertura 2 de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) ocorra na câmara de combustão 1. O método preferencial para definir a direção da injeção de gás e o ângulo preferencial de injeção de gás θ do ponto de vista da estrutura de queimador são aos mesmos como os que são os descritos acima com respeito a abertura 2a, 2b com base na figura 21.

10 No queimador de combustão descrito acima, o gás combustível misturado com oxigênio e o gás de suporte á combustão (ou o gás pré-misturado dos dois), que são injetados na câmara de combustão 1 a partir dos bocais de gás 3a e 3b e das aberturas 2a e 2b e que formam um fluxo de turbilhonamento, são estratificados com base de uma diferença na densidade do gás, e camadas de gás tendo densidades diferentes são geradas em ambos os lados de uma chama. Isto é, uma gás de escape de combustão de alta temperatura está presente no lado central do eixo geométrico em que a velocidade de turbilhonamento é pequena e um gás não queimado está presente no lado superfície de parede interna 100 em que a velocidade de turbilhonamento é grande. Ademais, na proximidade da superfície de parede interna 100, uma chama não pode permanecer na proximidade da superfície de parede interna porque a velocidade de turbilhonamento é maior que a velocidade de propagação de chama. Consequentemente, uma tubular chama é formada na câmara de combustão 1 de modo estável. Ademais, um gás não queimado está presente na proximidade da superfície de parede interna da câmara de combustão 1, de modo que a superfície de parede interna da câmara de combustão 1 não seja aquecida a uma temperatura elevada devido a transferência direta de calor. Então, gases na câmara de combustão 1 fluxo em direção ao lado de extremidade durante o turbilhona-
20
25
30 mento. Nesse meio tempo, os gases na superfície de parede interna lateral 100 são queimados sequencialmente e são movidos para o lado central do eixo geométrico. O gás de combustão é descarregado a partir da extremida-

de aberta.

A velocidade de combustão de hidrogênio é muito alta quando comparada com aquelas de outros gases combustíveis, por exemplo, CO. Conseqüentemente, a combustão estável de um gás de baixo valor calorífico pode ser executada adicionando-se hidrogênio. Neste, o potencial de combustão máxima (MCP) de um gás é determinado com base na composição disto e é calculado pela seguinte fórmula.

[Expressão matemática 3]

$$MCP = \frac{\sum (S_i f_i A_i)}{\sum (f_i A_i)} \times (1-K)$$

$$K = \frac{\sum \alpha_i A_i}{\sum (\alpha_i A_i)} \left\{ \frac{2.5 CO_2 + N_2 - 3.77 O_2}{100 - 4.77 O_2} + \left[\frac{N_2 - 3.77 O_2}{100 - 4.77 O_2} \right]^2 \right\}$$

Em que S_i : é a velocidade de combustão de cada um dos gases combustíveis no gás, e o valor é mostrado na Tabela descrita abaixo

f_i : é o coeficiente com respeito a cada um dos gases combustíveis no gás, e o valor é mostrado na Tabela descrita abaixo

A_i : é o conteúdo de cada um dos gases combustíveis no gás (porcento em volume)

K : é o coeficiente de atenuação

α_i : é o coeficiente de correção de cada um dos gases combustíveis no gás, e o valor é mostrado na Tabela descrita abaixo

CO_2 : é o conteúdo de dióxido de carbono no gás (porcento em volume)

N_2 : é o conteúdo de nitrogênio no gás (porcento em volume) O_2 : conteúdo de oxigênio no gás (porcento em volume)

Tabela 2

	S_i	f_i	α_i
H_2	282	1	1,33
CO	100	0,871	1,00
CH_4	36	8,72	2,00
C_2H_6	41	16,6	4,55
C_2H_4	66	11,0	4,00
C_3H_8	41	24,6	4,55
C_3H_6	47	21,8	4,55
C_4H_{10}	38	3,7	5,56
C_4H_8	47	28,5	4,55

Assim como para o MCP calculado pela fórmula descrita acima, hidrogênio é de 282 e o CO é de 100, de modo que a velocidade de combustão de hidrogênio é 2,8 vezes a do CO. Portanto, combustão estável de um gás de baixo valor calorífico pode ser executada pela adição de hidrogênio.

5 Teoricamente, a combustão do gás de baixo valor calorífico continua enquanto a temperatura de chama adiabática do gás de baixo valor calorífico é uma temperatura maior que ou igual ao ponto de queima de tipos de gás contidos no gás combustível (ponto de queima de CO: 609°C, ponto de queima de H₂: 500°C) ou a concentração do gás combustível contido no gás
10 combustível é maior que ou igual a concentração de limite inferior de explosão (concentração de limite inferior de explosão de CO: 12,5 por cento em volume, H₂: 4 por cento em volume). No entanto, de acordo com o estudo dos presentes inventores, foi constatado que relativo ao gás de baixo valor calorífico que contém CO, por exemplo, um gás de alto-forno, a combustão estável
15 foi capaz de ser executada quando a temperatura de chama adiabática depois da adição do hidrogênio se torna 750°C ou maior. Por exemplo, relativo a um gás que contém 10,1 por cento em volume de CO (o restante sendo gases inertes, por exemplo, N₂, e/ou CO₂), o valor calorífico é de 305 kcal/Nm³ e a temperatura de chama adiabática é de 645°C, de modo que a
20 combustão não continua de modo estável nesse estado e um queimador-piloto é requerido separadamente para dar suporte a combustão. A temperatura de chama adiabática se torna 750°C pela adição de 3,0 por cento em volume de hidrogênio para esse gás, de modo que a combustão estável pode continuar. A temperatura de chama adiabática é uma temperatura teoricamente calculada presumindo-se que o calor gerado pela combustão não é
25 perdido no exterior e é usado para aumentar a temperatura do gás combustível.

Portanto, relativo ao gás de baixo valor calorífico que contém CO, por exemplo, um gás de alto-forno, é preferencial em que o hidrogênio é
30 adicionado de tal maneira que a temperatura de chama adiabática se torna 750°C ou maior. Entrementes, conforme a quantidade de adição de hidrogênio aumenta, a estabilidade na combustão é melhorada de modo correspon-

dente, mas se uma quantidade de adição de hidrogênio for muito grande, a economia é prejudicada.

Como descrito acima, a presente invenção pode ser aplicada também no caso em que um gás de baixo valor calorífico que contém hidrogênio originalmente é usado como o gás combustível, e como obviamente, a
5 quantidade de adição de hidrogênio é ajustada de acordo com a concentração de hidrogênio contida originalmente.

Ademais, no método de combustão de acordo com a presente invenção, no caso em que a câmara de combustão 1 é trazida para o estado
10 pressurizado, a densidade de gás aumenta e, desse modo, um valor calorífico aparente aumenta. Consequentemente, relativo até mesmo a um gás combustível tendo um valor calorífico mais baixo, a combustão estável pode ser executada.

Na presente invenção, o oxigênio que contém gases, por exemplo, ar, e um gás de oxigênio pode ser usado como o gás de suporte á combustão. A presente invenção é particularmente útil no caso em que o ar é usado como o gás de suporte á combustão. A quantidade de suprimento de gás de suporte á combustão é a quantidade requerida para a manutenção de um estado de combustão estável. No caso em que o ar é usado como o
20 gás de suporte á combustão, geralmente, o ar é suprido de tal maneira que a taxa de ar se torna 1 ou mais. A taxa de ar se refere a uma taxa da quantidade de ar suprido efetivamente a uma quantidade de ar teoricamente requerida para a combustão do combustível (quantidade efetiva de ar/ quantidade teórica de ar). A combustão completa do gás combustível ocorre a uma
25 taxa de ar de 1, assim o CO₂ e o H₂O são gerados. A combustão incompleta ocorre sob a condição da taxa de ar de menos que 1, e a combustão estável não pode continuar. Ademais, no caso em que a taxa de ar é excessiva, a queima pobre ocorre e nesse caso também, um estado de combustão estável não pode ser mantido. Portanto, geralmente, é preferencial que o gás de
30 suporte á combustão seja suprido em uma taxa de ar dentro da faixa de 1,0 to 1,5.

As velocidades de ejeção do gás combustível e o gás de suporte

á combustão a partir de bocais (aberturas) não são especificamente limitadas, embora seja preferencial que as duas estejam no mesmo nível de velocidade.

Na modalidade mostrada na figura 13 e na figura 14, o hidrogênio é adicionado ao gás combustível antes da injeção na câmara de combustão 1. No entanto, o hidrogênio pode ser adicionado ao gás combustível injetado na câmara de combustão 1 (isto é, o hidrogênio é adicionado ao gás combustível na câmara de combustão 1). A figura 15 é uma vista seccional mostrando uma modalidade do queimador de combustão usado nesse caso (uma vista seccional da seção tomada ao longo da mesma linha de seção como da figura 14). Relativo a esse queimador de combustão, as mesmas aberturas 2a e 2b como aquelas mostradas na figura 14 são dispostas em uma superfície de parede interna 100 na parte interna (lado de extremidade posterior) da câmara de combustão 1 e, adicionalmente, as aberturas 2c₁ e 2c₂ (portas de bocal) para injetar hidrogênio (um gás de hidrogênio ou um gás que contenha hidrogênio, o mesmo será constatado) de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) ocorre na câmara de combustão 1 e são dispostas em posições centrais entre a abertura 2a e a abertura 2b na direção circunferencial da superfície de parede interna 100 (isto é, posições de 90° a partir das aberturas 2a e 2b na direção circunferencial). Os bocais de gás 3c₁ e 3c₂ para hidrogênio são conectados a essas aberturas 2c₁ e 2c₂, respectivamente. Da mesma maneira como as aberturas 2a e 2b, são descritas acima, as aberturas 2c₁ e 2c₂ (portas de bocal) são dispostas de tal maneira que o gás (hidrogênio) seja injetado em uma direção desviada do eixo geométrico central da câmara de combustão 1 (direção excêntrica) e que o gás injetado na câmara de combustão 1 forme desse modo um fluxo de turbilhonamento. As aberturas 2c₁ e 2c₂ de acordo com a presente modalidade são dispostas de um modo para injetar hidrogênio próximo das direções tangenciais da superfície de parede interna 100.

As aberturas descritas acima 2c₁ e 2c₂ são formadas tendo o

formato de uma fenda ao longo da direção de eixo geométrico do tubo da mesma maneira que as aberturas descritas acima 2a e 2b. Neste respeito, qualquer uma das aberturas $2c_1$ e $2c_2$ podem ser dispostas, ou pelo menos três aberturas podem ser dispostas. Neste caso, cada abertura 2c é conectado a um bocal de gás 3c.

A propósito, o gás (hidrogênio) é injetado a partir das aberturas $2c_1$ e $2c_2$ de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) ocorre na câmara de combustão 1. O método preferencial para definir a direção da injeção de gás e o ângulo preferencial de injeção de gás θ do ponto de vista da estrutura de queimador são aos mesmos como os que são descritos acima com respeito a abertura 2a, 2b com base na figura 21.

Com relação a tal queimador de combustão, hidrogênio é injetado na câmara de combustão 1 a partir das aberturas $2c_1$ e $2c_2$ através do bocal de gás 3c e, e desse modo, o hidrogênio é adicionado ao gás combustível na câmara de combustão 1.

As outras estruturas e funções do queimador de combustão na modalidade mostrada na figura 15 são as mesmas como aquelas do queimador de combustão na modalidade mostrada figura 13 e na figura 14 e, portanto, explicações detalhadas são omitidas. Neste respeito, da mesma maneira como o queimador de combustão na modalidade mostrada na figura 13 e na figura 14, um gás em que o gás combustível e o gás de suporte á combustão são misturados antecipadamente (gás pré-misturado) pode ser usado. Nesse caso, como descrito acima, pelo menos uma abertura 2 (porta de bocal) para injetar o gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte á combustão é disposta no local da aberturas descritas acima 2a e 2b, e um bocal de gás 3 para suprir o gás pré-misturado é conectado a essa abertura 2.

De acordo com a presente invenção, o gás combustível que contém hidrogênio adicionado e o gás de suporte á combustão forma um fluxo de turbilhonamento na câmara de combustão 1 no queimador de combustão

e, desse modo, a combustão estável de um gás combustível de baixo valor calorífico pode ser executada. No caso em que o gás combustível é um gás, por exemplo, um gás de alto-forno, antes de mais nada, que contenha CO, CO₂, e N₂, o hidrogênio tem uma densidade baixa de gás quando comparada com àquelas dos componentes de gás, e quando o hidrogênio é injetado de tal modo como para formar um fluxo de turbilhonamento, como na modalidade mostrada na figura 15, hidrogênio se move no lado central do eixo geométrico por causa da diferença na densidade, a combustão é executada preferencialmente, e a combustão de outros gases é facilitada. Consequentemente, a combustibilidade do gás combustível de baixo valor calorífico pode ser adicionalmente melhorada.

Da figura 16 à figura 19 é mostrada outra modalidade do queimador de combustão (queimador de chama tubular) usado na presente invenção. A figura 16 é uma vista em planta de recorte parcial do queimador de combustão. A figura 17 é uma vista de fundo mostrando parcialmente o queimador de combustão. A figura 18 é uma vista seccional da seção tomada ao longo de uma linha VI-VI mostrada na figura 16. A figura 19 é uma vista seccional da seção tomada ao longo de uma linha VII-VII mostrada na figura 16.

Na modalidade mostrada da figura 16 a figura 19, um bocal de gás 3a para um gás combustível e um bocal de gás 3b para um gás de suporte á combustão são formados a partir de uma pluralidade de tubos de bocal 300a e uma pluralidade de tubos de bocal 300b, respectivamente, dispostos paralelamente na direção de eixo geométrico do queimador. Os bocais de gás 3a e 3b são formados a partir da pluralidade de tubos de bocal 300a e 300b, como descrito acima, a fim de que o número de turbilhonamento Sw seja especificado como estando dentro de uma faixa preferencial enquanto um fluxo apropriado de turbilhonamento é formado pelos bocais de gás 3a e 3b na câmara de combustão 1, como descrito posteriormente.

Da mesma maneira como a modalidade mostrada na figura 13 e na figura 14, as aberturas 2a e 2b (portas de bocal) para injetar o gás combustível e o gás de suporte á combustão, respectivamente, são dispostas em

uma superfície de parede interna 100 na parte interna (lado de extremidade posterior) da câmara de combustão 1 descrita acima de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) ocorra na

5 câmara de combustão 1. Essas aberturas 2a e 2b são formadas também a partir de uma pluralidade de aberturas 200a e uma pluralidade de aberturas 200b, respectivamente. Assim, os tubos de bocal individuais descritos acima 300a são conectados à suas respectivas aberturas 200a, e os tubos de bocal individuais descritos acima 300b são conectados à suas respectivas a-

10 berturas 200b. As aberturas descritas acima 200a e 200b são dispostas de tal maneira que os gases são injetados em direções desviadas do eixo geométrico central da câmara de combustão 1 (direção excêntrica) e que os gases injetados na câmara de combustão 1 formam desse modo um fluxo de turbilhonamento. As aberturas 200a e 200b de acordo com a presente moda-

15 lidade são dispostas de modo a injetar o gás combustível e o gás de suporte à combustão, respectivamente, próximo das direções tangenciais da superfície de parede interna 100.

Ademais, um bocal de gás 14 para suprir um gás diluente, que dilui o gás de combustão e que ajusta a temperatura e/ou a composição dis-

20 to, na câmara de combustão 1 é disposta em uma posição mais próxima a extremidade da câmara de combustão que são os bocais de gás descritos acima 3a e 3b (aberturas 2a e 2b). Esse bocal de gás 14 para suprir o gás para diluir o gás de combustão e, portanto, a posição de instalação (conexão) na direção longitudinal da câmara de combustão não é especificamente

25 limitada enquanto a posição de instalação não prejudicar combustão do gás na câmara de combustão 1. Na presente modalidade, o bocal de gás 14 é disposto em uma posição mais próxima a extremidade da câmara de combustão que é a posição central na direção longitudinal da câmara de combustão.

30 O bocal de gás 14 pode ser formado a partir de um tubo de bocal único. Entretanto, na presente modalidade, o bocal de gás 14 é formado a partir de uma pluralidade de tubos de bocal 140 dispostos paralela-

mente na direção do eixo geométrico de queimador. Uma abertura 15 (porta de bocal) para injetar o gás diluente quase na direção tangencial da superfície de parede interna 100, de modo que um fluxo de gás em turbilhonamento (fluxo de gás em turbilhonamento através da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) ocorra na câmara de combustão 1 e seja disposto na superfície de parede interna na câmara de combustão 1 em uma posição onde o bocal de gás 14 é disposto. O bocal de gás descrito acima 14 é conectado à abertura 15. Na presente modalidade, a abertura 15 é formada a partir de uma pluralidade de aberturas 150, cada uma das aberturas 150 é conectada ao tubo de bocal 140 descrito acima. A abertura 15 pode ser uma abertura única, no formato de uma abertura ao longo da direção do eixo geométrico do tubo e ser conectada a um bocal de gás 14 único. Neste aspecto, a abertura 15 para o gás diluente não necessariamente tem uma estrutura para injetar o gás de tal maneira que um fluxo de gás em turbilhonamento ocorra na câmara de combustão 1.

As outras estruturas e funções do queimador de combustão na modalidade mostrada da figura 16 até figura 19 são as mesmas daquelas do queimador de combustão na modalidade mostrada na figura 13 e figura 14 e, portanto, explicações detalhadas são omitidas.

A propósito, os gases são injetados a partir das aberturas descritas acima 200a e 200b, de modo que o fluxo de gás em turbilhonamento (fluxo de gás em turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) ocorra na câmara de combustão 1. O método preferencial para ajustar a direção de injeção de gás e o ângulo preferencial de injeção de gás θ do ponto de vista da estrutura de queimador é o mesmo descrito acima com relação à abertura 2a, 2b com base na figura 21.

Com relação ao queimador de combustão usado na presente invenção, um gás de combustão de alta temperatura é gerado na câmara de combustão 1. Por exemplo, a temperatura de combustão teórica do gás de alto-forno é cerca de 1.300°C em uma relação de ar de 1,0. No caso onde a presente invenção é aplicada a um método de operação de alto-forno, des-

crito mais tarde, e um gás de combustão de um queimador de combustão é injetado como um gás de pré-aquecimento gás no alto-forno, é preferencial que o gás de combustão seja diluído e a temperatura e a composição do mesmo sejam controladas, de modo que o coque no forno não seja consumido pelo CO_2 no gás de combustão injetado, e o mesmo aconteça com o minério de ferro (magnetita), que foi reduzido no forno, reoxidado. Na presente modalidade, para tal objetivo, o gás diluente para ajustar a temperatura e/ou a composição do gás de combustão é fornecido a partir do bocal de gás 14 para a câmara de combustão 1.

10 O tipo do gás diluente usado pode ser selecionado apropriadamente, de acordo com a finalidade da adição ao gás de combustão (controle de temperatura do gás e/ou controle de composição do gás). Do ponto de vista do ajuste a composição do gás de combustão, aqueles que contém gás redutor, por exemplo, CO e H_2 , são preferenciais. Por exemplo, pelo menos, um tipo de um gás de alto-forno, um gás conversor, um gás de bateria de coque, e similares podem ser usados. Em particular, é preferencial que uma parte do gás de alto-forno seja aceita e usada como o gás diluente.

20 Além disso, no caso onde um gás de combustão de um queimador de combustão é injetado como um gás de preaquecimento no alto-forno, é desejável que a temperatura do gás de preaquecimento seja 500°C ou maior, e preferencialmente 800°C ou maior, como descrito posteriormente. Portanto, preferencialmente a temperatura e a quantidade de fornecimento do gás diluente são selecionadas, de modo que a temperatura de gás de preaquecimento descrita acima é obtida.

25 A propósito, com relação ao queimador de combustão que tem um bocal de gás para injetar um gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à combustão e um queimador de combustão que tem um bocal de gás 3c para injetar hidrogênio como na modalidade mostrada na figura 15, estes bocais de gás podem ser formados a partir de uma pluralidade de tubos de bocal dispostos paralelamente a direção de eixo geométrico de queimador. Além disso, com relação a estes queimadores de combustão assim como, o bocal de gás 14 descrito acima e a abertura 15

para um gás diluente podem ser dispostos.

No método de combustão, de acordo com a presente invenção, é preferencial que um número de turbilhonamento S_w do fluxo de gás na câmara de combustão 1 é especificado como estando na faixa de 3 a 10. O número de turbilhonamento é um número sem dimensão que representa a intensidade do turbilhonamento com relação a um fluxo de um fluido associado com o turbilhonamento, e conforme o número de turbilhonamento S_w aumenta, o fluxo é associado com um turbilhonamento intenso. Se o número de turbilhonamento for muito pequeno, a mistura do gás combustível e do gás de suporte à combustão se torna insuficiente e a ignição do gás de combustão se torna instável. Por outro lado, se o número de turbilhonamento for muito grande, uma chama de combustão pode ser soprada. A partir do ponto de vista descrito acima, o número de turbilhonamento S_w fica preferencialmente na faixa entre 3 e 10.

O número de turbilhonamento S_w pode ser calculado com base na fórmula básica para calcular o número de turbilhonamento S_w e através de uma fórmula de acordo com o tipo e a forma do uso do queimador de combustão empregado. Por exemplo, no caso onde o queimador de combustão tem a abertura 2a para injetar o gás combustível e a abertura 2b para injetar o gás de suporte à combustão é usada, como na modalidade mostrada na figura 13 e figura 14, o número de turbilhonamento S_w pode ser determinado através da fórmula a seguir. Neste aspecto, o gás combustível na fórmula seguinte se refere a um gás combustível misturado com hidrogênio.

25 Expressão matemática 4

$$S_w = \frac{(\rho_a \cdot Q_a \cdot V_a + \rho_f \cdot Q_f \cdot V_f) \cdot R_b}{[(\rho_a \cdot Q_a + \rho_f \cdot Q_f) \cdot (Q_a + Q_f) \cdot R_b] / A_b}$$

onde R_b : raio de câmara de combustão (m)

A_b : área em seção transversal de câmara de combustão (m²)

ρ_a : densidade de gás de suporte à combustão (kg/m³)

ρ_f : densidade de gás combustível (kg/m³)

30 V_a : velocidade de gás de suporte à combustão na abertura (porta de bocal) (m/s)

Vf: velocidade de gás combustível na abertura (porta de bocal)
(m/s)

Qa: taxa de vazão real do gás de suporte à combustão (m³/s)

Qf: taxa de vazão real do gás combustível (m³/s)

5 Enquanto isso, no caso onde o queimador de combustão que tem a abertura para injetar o gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte à combustão é usada, o número de turbilhonamento Sw pode ser determinado pela fórmula seguinte. Neste aspecto, o gás pré-misturado na fórmula seguinte se refere ao "gás combustível + hidrogênio + gás de
10 suporte à combustão".

Expressão matemática 5

$$S_w = \frac{(\rho_m \cdot Q_m \cdot V_m) \cdot R_b}{[(\rho_m \cdot Q_m) \cdot Q_m \cdot R_b] / A_b}$$

onde Rb: raio de câmara de combustão (m)

Ab: área em seção transversal de câmara de combustão(m²)

pm: densidade de gás pré-misturado (kg/m³)

15 Vm: velocidade de gás pré-misturado na abertura (porta de bocal) (m/s)

Qm: taxa de vazão real do gás pré-misturado (m³/s)

Além disso, no caso onde o queimador de combustão que tem a abertura 2c para injetar hidrogênio em adição à abertura 2a para injetar o
20 gás combustível e a abertura 2b para injetar o gás de suporte à combustão é usado como na modalidade mostrada na figura 15, o número de turbilhonamento Sw pode ser determinado pela fórmula seguinte.

Expressão matemática 6

$$S_w = \frac{(\rho_a \cdot Q_a \cdot V_a + \rho_f \cdot Q_f \cdot V_f + \rho_h \cdot Q_h \cdot V_h) \cdot R_b}{[(\rho_a \cdot Q_a + \rho_f \cdot Q_f + \rho_h \cdot Q_h) \cdot (Q_a + Q_f + Q_h) \cdot R_b] / A_b}$$

onde Rb: raio de câmara de combustão (m)

25 Ab: área em seção transversal de câmara de combustão (m²)

pa: densidade de gás de suporte à combustão (kg/m³)

pf: densidade de gás combustível (kg/m³)

ph: densidade de hidrogênio (gás hidrogênio ou gás que contém hidrogênio) (kg/m³)

Va: velocidade de gás de suporte à combustão na abertura (porta de bocal) (m/s)

Vf: velocidade de gás combustível na abertura (porta de bocal) (m/s)

5 Vh: velocidade de hidrogênio na abertura (gás hidrogênio ou gás que contém hidrogênio) (porta de bocal) (m/s)

Qa: taxa de vazão real do gás de suporte à combustão (m³/s) Qf: taxa de vazão real do gás combustível (m³/s)

10 Qh: taxa de vazão real de hidrogênio (gás hidrogênio ou gás que contém hidrogênio) (m³/s)

No caso onde o número de turbilhonamento Sw é especificado como ficando entre a faixa preferencial descrita acima, é preferencial que, como na modalidade mostrada da figura 16 a figura 19, o bocal de gás 3a para o gás combustível e o bocal de gás 3b para o gás de suporte à combustão são formados a partir de uma pluralidade de tubos de bocal 300a e uma pluralidade de tubos de bocal 300b, respectivamente, dispostas paralelamente na direção de eixo geométrico de queimador. Isto ocorre pelas seguintes razões. Por exemplo, no caso em que as condições do diâmetro interno de câmara de combustão: 50 mm, a quantidade do gás de combustão (gás de alto-forno): 30 Nm³/h (densidade de gás: 1,34 kg/Nm³), a quantidade de ar: 21,4 Nm³/h (densidade de gás: 1,29 kg/Nm³), a relação de ar: 1,1, e a pressão no forno: 245 kPa (pressão no forno onde o queimador de combustão é disposto como o dispositivo de combustão e injeção de gás a em um alto-forno, como no método de operação de alto-forno descrito posteriormente), se cada um dos bocais de gás 3a e 3b são entendidos como sendo formados de um (1) único tubo de bocal, quando o número de turbilhonamento Sw é 3, o diâmetro interno do tubo de bocal (diâmetro interno de círculo equivalente, isto é, o diâmetro de um círculo que tem uma área em seção transversal é igual à área em seção transversal na parte interna do tubo de bocal, e depois, um termo "diâmetro interno do tubo de bocal" se refere ao mesmo) é 21 mm, já para o bocal de gás 3a (a velocidade de gás combustível na abertura 2a: 7 m/s) e é 21 mm, para o

bocal de gás 3b (a velocidade de gás de suporte à combustão na abertura 2b: 5 m/s). Entretanto, no caso onde cada um dos bocais de gás 3a e 3b é formado a partir de um tubo de bocal único, como descrito acima, na vista seccional da seção ao longo da linha II-II mostrada na figura 13, o diâmetro interno do tubo de bocal se torna cerca de quatro décimos do diâmetro interno da câmara de combustão, o fluxo em direção ao centro (centro do eixo geométrico) da câmara de combustão aumenta, com relação a ambos o gás combustível e o gás de suporte à combustão, e um bom fluxo de turbilhonamento não é formado facilmente. Consequentemente, o gás de saída de combustão de alta temperatura presente no centro do lado do eixo geométrico pode ser resfriado, de modo que os efeitos da presente invenção podem ser reduzidos. A figura 22 mostra esquematicamente uma seção em uma direção de diâmetro do lado interno da câmara de combustão na posição onde a abertura 2a, 2b é disposta. A posição central do fluxo de gás injetado a partir da abertura 2a, 2b (-centro do eixo geométrico do bocal de gás 3a, 3b) é a posição em uma distância de $(R - t/2)$ a partir do centro da câmara de combustão 1, onde o raio da câmara de combustão 1 é representado por R e a largura do lado interno ou o diâmetro interno real do bocal de gás 3a, 3b na direção de diâmetro da câmara de combustão é representado por t. Aqui, se t aumenta com relação a R, um fluxo em direção ao centro da câmara de combustão (centro do eixo geométrico) aumenta. Consequentemente, um bom fluxo de turbilhonamento não é formado facilmente e uma chama tubular é formada em uma posição longe de uma parede de tubo, de modo que a combustão tende a se tornar instável. A partir deste ponto de vista, é preferencial que $(R - t/2)/R \geq 0,8$ seja satisfeito, embora o exemplo descrito acima fique fora da condição preferencial.

Por outro lado, no caso onde o bocal de gás 3a, 3b é formado a partir de uma pluralidade de tubos de bocal 300a, 300b disposta paralelamente na direção de eixo geométrico de queimador, o diâmetro interno por tubo de bocal se torna pequeno, de modo que os problemas descritos acima não ocorram facilmente, e é possível gerar um bom fluxo de turbilhonamento enquanto o número de turbilhonamento Sw for especificado como ficando

dentro da faixa preferencial. Conseqüentemente, é preferencial que a bocal de gás 3a para o gás combustível e o bocal de gás 3b para o gás de suporte à combustão são formados a partir de uma pluralidade de tubos de bocal 300a e uma pluralidade de tubos de bocal 300b, respectivamente, disposta
5 paralelamente na direção de eixo geométrico de queimador. Pela mesma razão, com relação ao queimador de combustão que tem o bocal de gás para injetar o gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte à combustão e o queimador de combustão que tem o bocal de gás 3c para injetar um gás hidrogênio, como na modalidade mostrada na figura 15, é
10 preferencial que aqueles bocais de gás sejam formados a partir de uma pluralidade de tubos de bocal disposto paralelamente na direção de eixo geométrico de queimador.

Na presente invenção, o gás de baixo calor calorífico usado como o gás combustível tem um valor calorífico de 1.000 kcal/Nm^3 ou
15 menos. Em geral, a combustão de um gás que tem um valor calorífico que excede 1.000 kcal/Nm^3 pode ser executada através de um método na técnica relacionada sem especificamente aplicar a presente invenção. Portanto, com relação a presente invenção, é substancialmente uma necessidade que o valor calorífico do gás combustível contenha hidrogênio adicionado seja
20 1.000 kcal/Nm^3 ou menos. Além disso, com relação a um gás que tem um valor calorífico de menos que 800 kcal/Nm^3 ou menos, uma combustibilidade estável não é obtida facilmente. Portanto, no caso onde isto é usado como o gás combustível, a utilidade da presente invenção é particularmente grande. Enquanto isso, se o valor calorífico do gás combustível for menos que 300
25 kcal/Nm^3 , mesmo quando a presente invenção é aplicada, pode se tornar difícil executar uma combustão estável. Conseqüentemente, é preferencial que o gás combustível usado na presente invenção tenha um valor calorífico de 300 kcal/Nm^3 ou mais.

Depois, um método de operação de alto-forno, a qual um
30 método de combustão de gás de baixo valor calorífico é aplicado através do uso do queimador de combustão descrito acima, será descrito.

Um método de operação de alto-forno de acordo com a presente

invenção se refere a um método de operação de alto-forno, em que ar ou o ar enriquecido com oxigênio é soprado a partir de uma ventaneira, isto é, uma operação de um alto-forno normal. No caso onde o ar enriquecido com oxigênio é soprado a partir da ventaneira, geralmente, uma operação é executada em um enriquecimento de oxigênio de 20 por cento em volume ou menos, e preferencialmente 10 por cento em volume ou menos. Neste aspecto, conforme o enriquecimento de oxigênio aumenta, a quantidade de gás que passa através do forno é reduzida a quantidade de gás de injeção necessária para elevar a temperatura da parte superior do cubo aumenta significativamente. Também partir deste ponto de vista, uma operação no enriquecimento de oxigênio descrito acima é preferencial.

A figura 20 é um diagrama explicativo que mostra esquematicamente uma modalidade de um método de operação de alto-forno, de acordo com a presente invenção. No desenho, o número de referência 20 denota um alto-forno e o número de referência 21 denota uma ventaneira do mesmo. Um gás quente e um agente de redução auxiliar (por exemplo, hulha pulverizada ou LNG) são injetados no forno a partir desta ventaneira 21.

Um gás de alto-forno descarregado a partir de uma porção superior de forno do alto-forno 20 (gás superior de forno) é levado a um aparelho de geração de energia de gás superior de forno 24 após a poeira ser removida com um coletor de poeira 22 que serve como um aparelho de limpeza de gás e umidade é removido com um separador de névoa 23 que serve como o aparelho de limpeza de gás. A pressão do gás superior de forno é recuperada como eletricidade e, subsequentemente, o gás superior de forno é levado ao lado de fora do sistema.

Na presente invenção, um gás é injetado no alto-forno a partir de uma porção de injeção de gás A disposta em uma porção de cubo (preferencialmente, uma porção média de cubo até a parte superior). O objetivo principal da injeção do gás no forno de tal maneira é suplementar uma redução na quantidade de sopro devido a uma baixa operação RAR e, deste modo, garantindo a taxa de vazão na parte superior de forno. Entretanto, a

injeção de gás a uma temperatura que diminui, desnecessariamente a temperatura de gás superior de forno vai contra os objetivos da invenção. Portanto, um gás de preaquecimento é usado com o gás de injeção.

Na injeção do gás de preaquecimento a partir da porção de injeção de gás A no alto-forno, como descrito acima, de acordo com a presente invenção, a porção de injeção de gás A é formada a partir de um dispositivo de combustão e injeção de gás a, em que uma extremidade da câmara de combustão do queimador de combustão descrita acima (por exemplo, qualquer queimador de combustão mostrado na figura 13 e figura 14, o queimador de combustão mostrado na figura 15, e o queimador de combustão mostrado na figura 16 a figura 19) se comunica com a parte interior do alto-forno, e um gás de combustão do dispositivo de combustão e injeção de gás a é injetado como o gás de preaquecimento no alto-forno. Isto é, na figura 13 e na figura 16, o número de referência x denota um corpo de forno do alto-forno 20 e o dispositivo de combustão e injeção de gás a é formado pela montagem do queimador de combustão no corpo de forno x, de modo que a extremidade da câmara de combustão 1 se comunica com a parte interna do alto-forno.

A estrutura básica de tal dispositivo de combustão e injeção de gás a é conhecida como um queimador de chama tubular. Entretanto, este queimador de chama tubular foi empregado e usado em aparelhos de fornalhas e combustão e, portanto, a aplicação em um dispositivo de injeção de gás do alto-forno não foi estudada de nenhuma maneira. Além disso, em anos recentes, a operação de alto-forno tem sido executada sob uma condição de alta pressão e, portanto, é necessário que o gás de preaquecimento seja injetado após a pressão ser elevada a uma pressão mais alta do que a pressão no forno na posição da injeção. Entretanto, o queimador de chama tubular é baseado no uso no estado de pressão normal, e o uso sob a condição de pressão descrita acima não foi estudado de maneira nenhuma. Por outro lado, de acordo com a presente invenção, foi observado que um dispositivo de combustão e injeção de gás do tipo queimador de chama tubular a teve uma função excelente como um dispositivo para preaquecer

um gás de baixo calor calorífico, por exemplo, um gás de alto-forno, através da combustão e injeção deste a partir de uma porção de cubo de um alto-forno no forno. Além disso, foi observado que no caso onde um gás de baixo calor calorífico, por exemplo, um gás de alto-forno, foi usado como um gás combustível, a combustão estável foi capaz de ser executada através de
5 adicionar hidrogênio ao gás combustível, como descrito acima.

Com relação à modalidade mostrada na figura 20, uma parte de um gás de alto-forno, que é descarregado da porção superior de forno e, depois, que é passado através do aparelho de limpeza de gás (o coletor de
10 poeira 22 e o separador de névoa 23) e o aparelho de geração de energia de gás superior de forno 24, é tido e introduzido como um gás combustível no dispositivo de combustão e injeção de gás a, constituindo a porção de injeção de gás A após ser pressurizado com um reforçador 25a. No caso onde o hidrogênio é misturado no gás combustível, o hidrogênio é introduzido
15 em um tubo do gás combustível diretamente ou o hidrogênio é misturado no gás combustível através do uso de um misturador, embora não seja mostrado no desenho, de modo a produzir um gás combustível misturado com hidrogênio. Com relação a uma trajetória de fluxo 27 do gás de alto-forno descarregado a partir da porção superior de forno do alto-forno 20, uma
20 trajetória de fluxo 28 para fornecer uma parte do gás de alto-forno ao dispositivo de combustão e injeção de gás a é ramificada da porção de trajetória de fluxo do lado a jusante do aparelho de geração de energia de gás superior de forno 24.

Nesse ínterim, um gás de suporte à combustão, que é um gás
25 que contém oxigênio (ar, ar enriquecido com oxigênio, gás com alta concentração de oxigênio, ou similares), é fornecido ao dispositivo de combustão e injeção de gás a. Este gás de suporte à combustão também é pressurizado com um reforçador 25b e, portanto, é introduzido no dispositivo de combustão e injeção de gás a. Com relação a isto, no caso onde um gás pré-
30 misturado do gás combustível e o gás de suporte à combustão são usados no dispositivo de combustão e injeção de gás a, o gás combustível e o gás de suporte à combustão podem ser pressurizados antecipadamente com os

reforçadores 25a e 25b separadamente, ou o gás pré-misturado pode ser pressurizado com um reforçador 25 único. Neste caso, o hidrogênio é introduzido (ou hidrogênio é misturado por um misturador) no gás combustível antes de pré-misturar com o gás de suporte à combustão ou hidrogênio é
5 introduzido (ou hidrogênio é misturado por um misturador) no gás pré-misturado.

Nesse ínterim, no caso do queimador de combustão mostrado na figura 14, o hidrogênio é pressurizado com um reforçador. Portanto, o hidrogênio é introduzido no dispositivo de combustão e injeção de gás a
10 separadamente a partir do gás combustível e é injetado na câmara de combustão do mesmo.

Além disso, no caso do queimador de combustão mostrado na figura 16 até figura 19, o gás diluente é fornecido do bocal de gás 14 na câmara de combustão 1 de modo que t dilua o gás de combustão e controle
15 a temperatura e a composição do mesmo, de modo que o coque não seja consumido por CO_2 no gás de combustão injetado no alto-forno, e nem o minério de ferro (magnetita), que foi reduzido no forno, reoxidado. Como descrito acima, com relação ao gás diluente, aqueles que contém gases de redução, por exemplo, CO e H_2 , são preferenciais. Por exemplo, pelo
20 menos, um tipo de um gás de alto-forno, um gás conversor, um gás de bateria de coque, e similares podem ser usados. Principalmente, é preferencial que a parte do gás de alto-forno seja tida e usada como o gás diluente. Além disso, é desejável que a temperatura do gás de preaquecimento seja 500°C ou maior, e preferencialmente 800°C ou maior. Portanto,
25 a temperatura e a quantidade de fornecimento do gás diluente são selecionadas, de modo que a temperatura de gás de preaquecimento mencionada acima seja obtida.

Em seguida, os efeitos obtidos através do uso do dispositivo de combustão e injeção de gás do tipo queimador de chama tubular a e a
30 adição do hidrogênio ao gás de baixo calor calorífico (em particular, no caso onde um gás de alto-forno gerado em uma operação de razão de agente de baixa redução é usado) servindo como um gás combustível na presente

invenção, será descrito em comparação com o caso onde outros tipos de queimadores de gás na técnica relacionada são usados.

A maioria dos queimadores de gás previamente usados industrialmente têm uma estrutura, na qual uma chama é formada além de uma extremidade de queimador. Portanto, no caso onde o queimador de gás descrito acima é usado como o dispositivo de combustão e injeção de gás a, materiais carregados (minério de ferro, coque) que partem da parte superior do alto-forno são diretamente expostos à chama, uma reação de perda de solução do coque é afetada, e ocorrem problemas em que, por exemplo, o coque é consumido inutilmente.

Nesse ínterim, o gás superior de forno do processo de alto-forno de oxigênio, em que oxigênio puro é soprado, é um gás em que um teor de nitrogênio é pequeno e CO é contido primariamente, e o valor calorífico é alto (por exemplo, cerca de 1.200 kcal/Nm³). Consequentemente, o gás superior de forno pode ser usado como um gás combustível para o queimador de gás comum descrito acima na técnica relacionada sem problema. Por outro lado, com relação ao gás de alto-forno gerado em um processo de alto-forno normal relacionado à presente invenção, o valor calorífico é baixo (por exemplo, cerca de 800 kcal/Nm³), e se o gás de alto-forno for aplicado ao queimador de gás comum descrito acima na técnica relacionada, a combustão estável não é executada facilmente. Além disso, no caso onde uma baixa operação RAR é direcionada, o valor calorífico do gás de alto-forno é adicionalmente reduzido. Por exemplo, de acordo com o cálculo, com base no modelo de equilíbrio de calor e massa no alto-forno, o valor calorífico do gás de alto-forno se torna (1) 722 kcal/Nm³ já para uma operação que corresponde a RAR 494 kg/t (PCR: 130 kg/t, temperatura de sopro: 1.150°C), (2) 620 kcal/Nm³, já para uma operação correspondente a RAR 450 kg/t (PCR: 130 kg/t, temperatura de sopro: 1.200°C, o coque de alta reatividade é usado, a perda de calor é reduzida 43%, a eficiência do cubo é aumentada em 2%, com relação à operação do item descrito acima (1)), e (3) 517 kcal/Nm³, já para uma operação que correspondem a RAR 412 kg/t (PCR: 130 kg/t, a temperatura de sopro: 1.200°C, o coque de alta

reatividade é usado, a perda de calor é reduzida em 57%, a eficiência do cubo é aumentada em 4%, com relação à operação do item descrito acima (1)). De acordo com o cálculo descrito acima, a temperatura do gás superior de alto-forno se torna 110°C ou menor nas operações dos itens descritos acima (2) e (3). Depois, por exemplo, no caso onde uma parte do gás de alto-forno é descarregada da porção superior de forno é tomada, um gás de preaquecimento preparado por combustão com oxigênio é injetado no forno a partir da porção de cubo, e a temperatura de gás superior de alto-forno mantida a 110°C ou mais, o valor calorífico de gás de alto-forno é adicionalmente reduzido. Por exemplo, no caso onde 100 Nm³/t do gás de preaquecimento a 800°C é injetado na operação do item descrito acima (2), o valor calorífico de gás de alto-forno se torna 590 kcal/Nm³, e no caso onde 150 Nm³/t de gás de preaquecimento a 800°C é injetado na operação do item descrito acima (3), o valor calorífico de gás de alto-forno se torna 477 kcal/Nm³. Tal redução no valor calorífico de gás de alto-forno devido à baixa operação RAR faz a combustão estável pelo queimador de gás comum descrito acima na técnica relacionada adicionalmente difícil.

Além disso, o alto-forno comum é operado sob uma pressão de 4 a 5 kg/cm² e, adicionalmente, os materiais carregados descem da parte superior do alto-forno, de modo que a pressão sempre flutua. Além disso, o sopro resultante da adesão dos materiais a parede de forno do alto-forno e similares ocorre. Com relação ao queimador de gás comum descrito acima na técnica relacionada, a estabilidade da chama é impedida porque estes fatores e a expulsão por sopro e similares podem ocorrer.

Com relação aos problemas descritos acima com relação ao queimador de gás comum da técnica relacionada, de acordo com a presente invenção, os efeitos obtidos através do uso do dispositivo de combustão e injeção de gás do tipo queimador de chama tubular e a adição do hidrogênio a um gás de baixo calor calorífico, por exemplo, um gás de alto-forno, usado como o gás combustível, de modo a executar uma combustão estável são como descrito acima.

(a) A combustão do gás é executada na câmara de combustão 1

e nenhuma chama é presente for a da câmara de combustão 1. Portanto, os materiais carregados (minério de ferro, coque) que descem da parte superior do alto-forno não são expostos a uma chama diretamente, de modo que uma influência exercida nos materiais carregados fique em um nível baixo. Além disso, como descrito acima, nenhuma chama é presente na câmara de combustão 1, de modo que uma chama estável seja formada sem ser afetada pela pressão no alto-forno e flutuações dos mesmos, sopro, e similares e um gás de combustão em uma temperatura desejada podem ser injetados no forno de forma estável.

10 (b) É necessário que o gás de preaquecimento injetado no forno tenha uma pressão maior do que a pressão no forno na posição da injeção. Portanto, é necessário que a combustão de gás seja executada realmente sob pressão na câmara de combustão 1 do dispositivo de combustão e injeção de gás a. No caso onde a câmara de combustão 1 chega a um estado pressurizado, como descrito acima, a condição de uma condição vantajosa para combustão estável mesmo de um gás de baixo calor calorífico, por exemplo, especialmente um gás de alto-forno, é produzida. Com relação ao dispositivo de combustão e injeção de gás a, uma chama estável é formada na câmara de combustão 1, a propriedade de mistura do gás combustível e o gás de suporte à combustão é bom e, portanto, uma combustão uniforme eficiente do gás pode ser executada. Em particular, como descrito acima, a câmara de combustão 1 chega a um estado pressurizado, de modo que a densidade de gás aumente e, portanto, um valor calorífico evidente aumenta, quando comparado com o valor calorífico no estado padrão. Conseqüentemente, junto com a adição de hidrogênio ao gás combustível, mesmo no caso onde o gás combustível é um gás de baixo calor calorífico, por exemplo, um gás de alto-forno, ou no caso onde a concentração do componente de gás combustível é muito pequena, a combustão estável pode ser executada.

30 (c) A câmara de combustão 1 chega a um estado pressurizado, como descrito acima, de modo que a densidade de gás aumente e, deste modo, uma quantidade de calor mantido pelo gás combustível pode ser

transferido ao gás de combustão de forma eficiente. Em particular, um gás não queimado e o gás de suporte à combustão são presentes nos arredores da superfície de parede interna 100 da câmara de combustão 1, de modo que a superfície de parede interna 100 da câmara de combustão 1 não seja
5 aquecida a uma alta temperatura, de devido a transferência de calor direto. Consequentemente, uma perda de calor da parede de tubo é pequena e, deste modo, o efeito da mesma é adicionalmente acentuado.

(d) É preferencial que o gás de preaquecimento injetado a partir da porção de injeção de gás A não contenha oxigênio (gás oxigênio como
10 O₂, o mesmo vale para o que vem a seguir) ou tenha uma baixa concentração de oxigênio. Isto é porque se o gás de preaquecimento contém oxigênio, óxido de ferro (Fe₃O₄, FeO), que é reduzido no forno, é reoxidado. Neste aspecto, o dispositivo de combustão e injeção de gás a exibe uma alta eficiência de utilização de oxigênio porque a chama estável é formada na
15 câmara de combustão 1. Em particular, a câmara de combustão 1 chega a um estado pressurizado e, deste modo, eficiência de utilização de oxigênio pode ser adicionalmente aumentada, de modo que a combustão estável possa ser executada com uma quantidade de oxigênio menor do que a quantidade teórica de oxigênio. Consequentemente, um gás de preaque-
20 cimento que não contém oxigênio ou que tem uma concentração de oxigênio muito baixa, pode ser injetado no forno.

(e) A chama estável é formada na câmara de combustão 1, de modo que as variações na temperatura do gás de preaquecimento (gás de combustão) injetado no forno é reduzida, e as temperaturas do gás de alto-
25 forno da porção superior do forno e os materiais carregados que descem da parte superior do forno podem ser elevados sem variações.

Geralmente, um sensor 26A para medir a composição, a temperatura, a pressão, e similares do gás de alto-forno é disposto na trajetória de fluxo 28, para levar o gás de alto-forno ao reforçador 25, e um
30 sensor 26B para medir a pressão e a temperatura no forno é disposto nos arredores da porção de injeção de gás A. Com base nos valores de medidas com estes sensores 26A e 26B, a pressão de gás que é aumentada pelos

reforçadores 25a e 26b, uma quantidade de gás de suporte à combustão injetado no dispositivo de combustão e a injeção de gás a, uma quantidade de hidrogênio, e similares são controlados.

5 A injeção do gás de preaquecimento da porção de injeção de gás A pode ser executada constantemente, ou ser executada apenas no caso onde a temperatura de gás superior de forno é diminuída. No ultimo caso, por exemplo, a temperatura de gás superior de forno é medida com o sensor, e no caso onde a temperatura de gás superior de forno se torna menor do que ou igual a uma temperatura predeterminada (por exemplo,
10 110°C ou menos), o gás de preaquecimento é injetado a partir da porção de injeção de gás A.

A temperatura do gás de preaquecimento injetado da porção de injeção de gás A não é especificamente limitada. Entretanto, se a temperatura do gás de preaquecimento for menos do que a temperatura do
15 gás no forno na posição de injeção, a parte interna do forno é, por outro lado, resfriada. Portanto, é preferencial que a temperatura do gás de preaquecimento seja maior do que a temperatura do gás no forno na posição de injeção, e em geral, 500°C ou maior, preferencialmente 800°C ou maior é desejada.

20 A quantidade de injeção do gás de preaquecimento não é especificamente limitada enquanto a quantidade de injeção do gás possa manter a temperatura de gás superior de forno a 100°C ou maior em geral.

A posição de instalação da porção de injeção de gás A na direção de altura do forno (posição de injeção do gás de preaquecimento) é
25 preferencialmente a porção média da parte superior do cubo. Em particular, quando o raio de gargalo é representado por R_0 , a posição de uma profundidade de R_0 do nível superior da carga é representada por p_1 , e a posição a uma altura a partir da extremidade inferior da porção de cubo de um terço da altura total da porção de cubo é representada por p_2 , é
30 preferencial que a porção de injeção de gás A seja instalada entre a posição p_1 e a posição p_2 na direção de altura do forno e o gás de preaquecimento seja injetado a partir desta porção de injeção de gás A. Se a posição de

injeção do gás de preaquecimento for muito rasa (a posição é muito alta), a carga de um leito compactado de matéria prima é pequena, de modo que a fluidificação ou agitação da matéria prima ocorra e a estabilidade na descida da matéria prima possa ser reduzida. Por outro lado, se a posição de injeção do gás de preaquecimento for muito profunda (a posição é muito baixa), uma zona de suavização-fusão no forno pode ser alcançada de modo desfavorável.

O número de instalação e a forma de instalação da porção de injeção de gás A na direção circunferencial de forno não são especificamente limitadas, embora a instalação em uma pluralidade de locais em intervalos regulares na direção circunferencial de forno seja preferencial. Em particular, é preferencial que, pelo menos, a porção de injeção de gás A seja instalada em n locais (onde n é um número par de 4 ou mais) em intervalos regulares na direção circunferencial de forno e entre a porção de injeção de gás A descrita acima em locais n , a porção de injeção de gás A usada para injeção do gás de preaquecimento é selecionada em intervalos regulares na direção circunferencial de forno, de acordo com a quantidade total de injeção. Neste caso, os números de instalação da porção das injeções de gás A em intervalos regulares são 4, 8, 16, 32, 64, e similares. Neste aspecto, no equipamento real, pode ser difícil instalar as porções de injeções de gás A em intervalos regulares exatamente na direção circunferencial de forno por causa da relação com a estrutura de resfriamento de corpo de forno e similares e, portanto, o desvio da posição de instalação, de certa forma, é aceitável.

A presente invenção se refere a modalidades, nas quais é preferencial que um gás de alto-forno que tem um baixo valor calorífico e é capaz de introduzir a partir de um local de faixa próxima é usado como o gás combustível do dispositivo de combustão e injeção de gás a. Principalmente, pode se dizer que a modalidade particularmente preferencial é tomar uma parte de um gás de alto-forno descarregada a partir de uma porção superior de forno de uma posição apropriada de uma trajetória de fluxo, de modo a usar como um gás combustível do ponto de vista da utilização efetiva de

energia (calor sensível do gás pode ser usado) e, adicionalmente, do ponto de vista do equipamento. Entretanto, com relação ao gás combustível, os gases além do gás de alto-forno podem ser usados, e o gás de alto-forno e gases além deste podem ser usados em conjunto. Além disso, com relação

5 ao gás de alto-forno, um gás de alto-forno tomado do lado a jusante de um aparelho de limpeza de gás (o coletor de poeira 22, o separador de névoa 23), um gás de alto-forno tomado entre a porção superior de forno e o aparelho de limpeza de gás, um gás de alto-forno armazenado em um botijão de gás, similares podem ser usados.

10 EXEMPLOS

EXEMPLO 1

Um aparelho de teste de queimador de combustão que tem uma estrutura mostrada na figura 8 foi usado e um teste de combustão foi executado sob uma condição mostrada na tabela 3 através do uso de um

15 gás combustível (gás de baixo calor calorífico) que contém hidrogênio adicionado e um gás de suporte à combustão (ar). Com relação a câmara de combustão deste aparelho de teste, o diâmetro interno foi 50 mm, o comprimento total foi 300 mm, uma abertura para injetar o gás combustível (abertura de bocal) disposta na superfície de parede interna da mesma teve

20 um comprimento de 48 mm e uma largura de 5 mm, e uma abertura similar para injetar o gás de suporte à combustão (abertura de bocal) teve um comprimento de 31 mm e uma largura de 5 mm.

Nos exemplos de invenção de 1 a 4, os gases de baixo valor calorífico (CO: 10,1 por cento em volume, CO₂: 10,4 por cento em volume, e

25 N₂: 79,5 por cento em volume) que têm cerca de 300 kcal/Nm³ foram preparados como gases combustíveis, e o hidrogênio foi adicionado aos gases combustíveis resultantes, de modo que as concentrações nos gases combustíveis se tornaram 3,7 por cento em volume, 4,0 por cento em volume, 6,0 por cento em volume, e 2,0 por cento em volume, respectivamente.

30 Depois, um teste de combustão foi executado. Além disso, nos exemplos de invenção 5 e 6, um gás de alto-forno em uma operação que corresponde a RAR 412 kg/t foi usado como o gás combustível, o hidrogênio foi adicionado

a esta, e o teste de combustão foi executado. Além disso, nos exemplos de invenção 7 e 8, um gás de alto-forno em uma operação correspondente a RAR 450 kg/t foi usado como o gás combustível, hidrogênio foi adicionado ao mesmo, e o teste de combustão foi executado. Em cada caso, o ar
5 fornecido a 30 Nm³/h de gás combustível que contém hidrogênio, de modo que a quantidade teórica de oxigênio se tornou 1.1. Entretanto, um teste de combustão através do uso de um gás combustível não misturado com hidrogênio foi executado com o objetivo de comparação.

Com relação a este teste de combustão, a estabilidade de com-
10 bustão foi avaliada com base do seguinte critério.

O: Não houve pulsação de chama e a combustão foi estável enquanto seguia as flutuações de pressão (excelente)

Δ: Não houve pulsação da chama, mas uma falha de chama não foi observada (bom)

15 x: Não houve pulsação da chama e foi observado que uma falha na chama ocorreu devido a flutuações na pressão (inaceitável)

Os resultados dos mesmos são mostrados na tabela 2 junto com as condições de teste. De acordo com estes, com relação a cada exemplo de invenção, a combustão estável foi realizada. Em particular, no caso onde
20 o hidrogênio foi adicionado, de modo que a temperatura de chama adiabática se tornou 750°C ou maior, uma combustão muito estável foi realizada.

Tabela 3

	Exemplo comparativo	Exemplo 1 de invenção	Exemplo de invenção 2	Exemplo de invenção 3	Exemplo de invenção 4	Exemplo de invenção 5	Exemplo de invenção 6	Exemplo de invenção 7	Exemplo de invenção 8
Composição de gás combustível *1	79,5	76,6	76,3	74,7	77,9	54,0	52,8	54,4	53,8
Valor calorífico	305	406	414	469	359	564	616	668	692
Relação de ar	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Quantidade de gás combustível (Nm ³ /h) *2	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Quantidade de ar (Nm ³ /h)	8,0	10,6	10,8	12,3	9,4	14,8	16,1	17,5	18,1
Temperatura de chama adiabática (°C)	629	750	759	814	698	836	876	913	930
Estabilidade de combustão	x	0	0	0	A	0	0	0	0

*1 No caso do Exemplo de invenção, a composição de gás após a mistura com hidrogênio

*2 No caso do Exemplo de Invenção, a quantidade de gás após a mistura com hidrogênio

EXEMPLO 2

Os aparelhos de teste de queimadores de combustão incluindo o diferente número de tubos de bocal que constituem o bocal de gás para o gás combustível e o gás de suporte à combustão foram usados, e um teste
5 de combustão foi executado sob a condição mostrada na Tabela 4 através do uso de um gás combustível (gás combustível misturado com hidrogênio) e um gás de suporte à combustão (ar). Aqui, o queimador de combustão em que cada bocal de gás é formado a partir de um (único) tubo de bocal é um
10 queimador que inclui bocais de gás que têm uma estrutura como na modalidade mostrada na figura 13 e na figura 14, e o queimador de combustão, em que cada bocal de gás é formado a partir de uma pluralidade de tubos de bocal é um queimador que inclui bocais de gás que têm uma estrutura como na modalidade mostrada da figura 16 até a figura 19.

Com relação à câmara de combustão de cada queimador de
15 combustão, o diâmetro interno foi 50 mm, o comprimento total foi 700 mm, o número de tubos de bocal que constitui cada bocal de gás para o gás combustível e o bocal de gás para o gás de suporte à combustão foi 5, no exemplo de teste 1, 4 já no exemplo de teste 2, 2, no exemplo de teste 3, 1, no exemplo de teste 4, 4, no exemplo de teste 5, e 2 no exemplo de teste 6.

20 Com relação aos queimadores de combustão usados nos exemplos de teste de 1 a 4, o diâmetro interno do tubo de bocal que constitui o bocal de gás para injetar o gás combustível foi 10 mm e o diâmetro interno do tubo de bocal que constitui o bocal de gás similar para injetar o gás de suporte à combustão foi 10 mm. Com relação ao queimador de combustão
25 usado no exemplo de teste 5, o diâmetro interno do tubo de bocal que constitui o bocal de gás para injetar o gás combustível foi 6 mm e o diâmetro interno do tubo de bocal que constitui o bocal similar de gás para injetar o gás de suporte à combustão foi 6 mm. Com relação ao queimador de combustão usado no exemplo de teste 6, o diâmetro interno do tubo de bocal
30 que constitui o bocal de gás para injetar o gás combustível foi 10 mm e o diâmetro interno do tubo de bocal que constitui o bocal similar de gás para injetar o gás de suporte à combustão foi 10 mm.

Um gás de alto-forno (gás de alto-forno misturado com hidrogênio) usado como o gás combustível teve uma composição de gás de CO: 22 por cento em volume, CO₂: 21 por cento em volume, H₂: 5 por cento em volume, e N₂: 52 por cento em volume e um valor calorífico de 792 kcal/Nm³.

5 Com relação a 30 Nm³/h deste gás combustível, 19,5 Nm³/h de ar que serve como um gás de suporte à combustão foi fornecido, de modo que a quantidade teórica de oxigênio se tornou 1. A pressão no forno do forno de teste aplicado foi 245 kPa.

No Exemplo de teste 6, um queimador de combustão em que um
10 bocal de gás (diâmetro interno 20 mm) para um gás diluente foi disposto na posição 500 mm na direção de eixo geométrico de queimador, a partir de um centro da posição de injeção do gás combustível gás de suporte à combustão foi usado, e 33,8 Nm³/h de gás diluente (gás de alto-forno) foi aplicado, de modo que a temperatura da combustão gás de saída descarregado a
15 partir da câmara de combustão se tornou 800°C. O teor de CO (gás redutor) na composição de gás de combustão se tornou 10,3 por cento em volume através da adição do gás diluente.

Nos exemplo de testes de 1 a 6, a observação da parte de dentro da câmara de combustão (observação através de um visor mostrado
20 na figura 8) e a análise da composição de gás da combustão gás de saída foi executada, e o estado de combustão foi avaliado com base no critério seguinte. Os resultados dos mesmos são mostrados na Tabela 3 junto com a configuração do bocal de gás, a taxa de fluxo de gás, o número de turbilhonamento Sw, a composição de combustão de gás (no exemplo de teste 6,
25 a composição de gás após a adição do gás diluente), e similares.

x: Foi observada no estado de combustão e uma quantidade significativa de Co não queimado foi medida.

O: Combustão estável continuada e o CO não queimado pouco medido (onde a concentração de CO no exemplo de teste 6 foi devido a
30 mistura com o gás diluente)

Tabela 4

	Exemplo de teste 1	Exemplo de teste 2	Exemplo de teste 3	Exemplo de teste 4	Exemplo de teste 5	Exemplo de teste 6
O número de tubos de bocal de gás	5	4	2	1	4	2
Taxa de fluxo de gás	5	4	2	1	4	2
Gás combustível(-)	6,1	7,6	15,2	30,3	21,1	15,2
Gás de suporte à combustão (-)	3,9	4,9	9,8	19,6	13,6	9,8
Número de Turbilhonamento (-)	2,6	3,3	6,6	13,1	9,1	6,6
Composição de gás combustível (em base seca)	70,6	70,6	70,6	70,6	70,6	67,4
N ₂ (% em vol)	29,4	29,4	29,4	29,3	29,4	17,9
CO ₂ (% em vol)	1800	0	0	3100	30	10,3*1
CO (vol ppm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3
H ₂ (% em vol)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
O ₂ (% em vol)	1150	1198	1198	1120	1190	800
Temperatura de combustão de gás de escape (°C)	x	0	0	x	0	0
Avaliação do estado de combustão						

*1 concentração de CO no exemplo de teste 6 é expressa em %

EXEMPLO 3

Com relação ao alto-forno que tem um volume em um forno de 5.000 m³, a presente invenção foi executada de acordo com a modalidade mostrada na figura 20 através do uso do dispositivo de combustão e a injeção de gás a como mostrada na figura 13 e figura 14. A condição de operação foi especificada como sendo uma quantidade de injeção de hulha pulverizada: 130 kg/t, a razão de coque: 320 kg/t, e a temperatura de sopra: 1.150°C (umidade: 10 g/Nm³), e o coque de alta reatividade foi usado. Um gás de alto-forno (CO: 17,7 por cento em volume, CO₂: 23,1 por cento em volume H₂: 2,4 por cento em volume, H₂O: 3,6 por cento em volume, e N₂: 53,2 por cento em volume) tomado a partir do lado a jusante do aparelho de geração de energia de gás superior de forno 24 foi pressurizado com um reforçador 25a a uma pressão 0,2 atm maior do que a pressão no forno e foi introduzido como um gás combustível no dispositivo de combustão e injeção de gás a que constitui uma porção de injeção de gás A. Neste momento, o hidrogênio foi adicionado ao gás de alto-forno, de modo que a concentração de hidrogênio se tornou 4,0 por cento em volume, de modo a produzir um gás combustível misturado com hidrogênio. Além disso, o ar foi pressurizado com um reforçador 25b e foi introduzido como um gás de suporte à combustão no dispositivo de combustão e injeção de gás a.

No aparelho de injeção de combustão a, a combustão de 100 Nm³/t de gás combustível misturado com hidrogênio foi executada com 37,8 Nm³/t de ar, de modo a gerar um gás de combustão a 800°C, e o gás de combustão foi injetado como um gás de preaquecimento no forno. A razão de oxigênio no dispositivo de combustão e injeção de gás a foi 0,736 (com relação a quantidade teórica de oxigênio). A composição de gás de preaquecimento foi CO: 3,5 por cento em volume, CO₂: 27,3 por cento em volume, H₂: 0,8 por cento em volume, H₂O: 5,0 por cento em volume, e N₂: 63,3 por cento em volume. A temperatura de gás superior de forno se tornou 149°C através da injeção do gás de preaquecimento descrito acima, a condensação da umidade no tubo foi completamente evitada na operação de alto-forno, e uma operação estável pode ser executada. No caso onde o gás

de preaquecimento não é injetado, o resultado do cálculo com base no equilíbrio entre massa e calor é 97°C.

EXEMPLO 4

Em relação a um alto-forno que tem um volume em um forno de
5 5.000 m³, a presente invenção foi executada de acordo com a modalidade
mostrado na figura 20 ao utilizar o dispositivo de injeção e combustão de gás
a como mostrado na figura 16 a figura 19. A condição de operação de alto-
forno foi especificada por ser a mesma como no Exemplo 3. Um gás de alto-
forno (CO: 17,7 por cento por volume, CO₂: 23,1 por cento por volume, H₂: 2,4
10 por cento por volume, H₂O: 3,6 por cento por volume, e N₂: 53,2 por cento por
volume) tomado a partir do lado a jusante do aparelho de geração de ener-
gia de gás recolhido no topo do forno 24 foi pressurizado com um elevador
25a até uma pressão de 0,2 atm maior do que a pressão no forno e foi intro-
duzido como um gás combustível no dispositivo de injeção e combustão de
15 gás a constituindo uma parte de injeção de gás A. Em tal momento, hidrogê-
nio foi adicionado ao gás de alto-forno de tal maneira que a concentração de
hidrogênio se tornou 4,0 por cento por volume, para produzir um gás de alto-
forno misturado com hidrogênio. Além disso, o ar foi pressurizado com um
elevador 25b e foi introduzido as um gás de suporte à combustão ao disposi-
20 tivo de injeção e combustão de gás a.

No aparelho de injeção de combustão a, combustão de 73,6
Nm³/t de gás de alto-forno misturado com hidrogênio foi realizado com 37,8
Nm³/t de ar (razão de oxigênio 1,0) e, em adição, 26,4 Nm³/t de gás diluente
(BFG) foi fornecido à câmara de combustão, para gerar um gás de combus-
25 tão a 800°C. O gás de combustão foi injetado como um gás de preaqueci-
mento no forno. A composição do gás de preaquecimento foi a mesma que
no Exemplo 3. O gás recolhido no topo temperatura se tornou 147°C ao inje-
tar o gás de preaquecimento supracitado, a condensação de umidade no
tubo foi evitada completamente na operação de alto-forno, e uma operação
30 estável foi capaz de ser realizada. No caso em que o gás de preaquecimento
não é injetado, o resultado de cálculo com base na massa e balanço de calor
é 97°C.

Terceira modalidade

A figura 23 e a figura 24 mostram uma modalidade de um queimador de combustão (queimador de chama tubular) utilizado na presente invenção. A figura 23 é uma vista plana de recorte parcial e figura 24 é uma
5 vista em corte transversal da seção tomada ao longo de uma linha II-II mostrada na figura 1.

No desenho, o número de referência 1 denota uma câmara de combustão tubular (cilíndrica) com uma extremidade aberta, o número de referência 3a denota um bocal de gás para um gás combustível, e o número
10 de referência 3b denota um bocal de gás para um gás de suporte à combustão.

As aberturas 2a e 2b (portas de bocal) para injetar o gás combustível e o gás de suporte à combustão, respectivamente, são dispostos em uma superfície de parede interna 100 na porção interna (lado de extremida-
15 de traseira) da câmara de combustão 1 supracitada de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) ocorre na câmara de combustão. Os bocais de gás 3a e 3b supracitados são conectados a estas aberturas 2a e 2b, respectivamente. As aberturas 2a e 2b (por-
20 tas de bocal) supracitadas são dispostas de tal maneira que gases são injetados em direções desviada do centro do eixo geométrico da câmara de combustão 1 (direção excêntrica) e que os gases injetados na câmara de combustão 1 formam com isso um fluxo de turbilhonamento. As aberturas 2a e 2b de acordo com a presente modalidade são dispostas de tal maneira
25 para injetar o gás combustível e o gás de suporte à combustão, respectivamente, quase nas direções tangenciais da superfície de parede interna 100.

As aberturas 2a e 2b supracitadas são formadas no formato de uma fenda ao longo da direção axial do tubo e são dispostas em posições opostas a 180° na superfície de parede interna 100 (superfície circunferenci-
30 al interna). Uma pluralidade de aberturas 2a e uma pluralidade de aberturas 2b podem ser dispostas. Em tal caso, as aberturas individuais 2a e 2b são conectadas a seus respectivos bocais de gás 3a e 3b.

Uma câmara de misturação 4 para misturar um gás de alto-forno e hidrogênio é disposta em uma parte de introdução de gás do bocal de gás 3a. Um tubo de fornecimento de gás de alto-forno 5 e um tubo de fornecimento de hidrogênio 6 são conectados a esta câmara de misturação 4. Enquanto isso, um tubo de fornecimento de gás de suporte à combustão 7 é conectado a uma parte de introdução de gás do bocal de gás 3b.

Em adição, no desenho, o número de referências 8 a 10 denota válvulas de controle de taxa de fluxo dispostas no tubo de fornecimento de gás de alto-forno 5, o tubo de fornecimento de hidrogênio 6, e o tubo de fornecimento de gás de suporte à combustão 7, respectivamente, o número de referência 11 denota um medidor de fluxo disposto no tubo de fornecimento de hidrogênio 6, o número de referência 12 denota um detector de estado de combustão para detectar o estado de combustão na câmara de combustão 1, e o número de referência 13 denota uma vela de ignição. O detector de estado de combustão 12 supracitado pode empregar, por exemplo, um sistema no qual um termopar ou similar é inserido em uma chama para medir uma temperatura ou um sistema óptico no qual raios ultravioleta são detectados em uma chama ao utilizar ultravisão. Além disso, o número de referência x denota um corpo de forno fornecido com o queimador de combustão.

Aqui, o gás combustível e o gás de suporte à combustão pode ser injetado a partir das aberturas 2a e 2b (portas de bocal), respectivamente, de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) ocorre na câmara de combustão 1. Em particular, preferivelmente, as direções da injeção de gás a partir das aberturas 2a e 2b são definidas de tal maneira que o número de turbilhonamento Sw (um número adimensional que representa a intensidade de turbilhonamento com relação a um fluxo de um fluido associado com turbilhonamento) do fluxo de gás de turbilhonamento recai dentro de uma faixa preferível descrita posteriormente. A figura 31 mostra esquematicamente uma seção em uma direção de diâmetro do interior da câmara de combustão em uma posição na qual a abertura 2a, 2b

é disposta. Em relação a tal, uma seção em uma direção de diâmetro da câmara de combustão 1, é preferível que um ângulo de injeção de gás θ é definido de tal maneira que o número de turbilhonamento Sw recai dentro da faixa preferível (Sw : 3 a 10), em que dentre partes de extremidade da abertura 2a, 2b a direção circunferencial da superfície de parede interna 100, a parte de extremidade no lado de extremidade na direção de turbilhonamento (rotação) do fluxo de gás, que é descarregado a partir da abertura 2a, 2b para turbilhonar, é especificada por ser o ponto p, uma linha tangencial da superfície de parede interna 100 neste ponto p é especificada por ser x, a linha central do fluxo de gás descarregado a partir da abertura 2a, 2b (= centro do eixo geométrico do bocal de gás 3a, 3b) é especificada por ser y, e o ângulo entre a linha tangencial x e a linha central de fluxo de gás y é especificada por ser o ângulo de injeção de gás θ . Isto é, o componente de velocidade de gás combustível V_{f1} e o componente de velocidade de gás de suporte à combustão V_{a1} na direção de linha tangencial x satisfaz o seguinte, em que a velocidade de gás combustível na abertura 2a, calculada a partir do diâmetro interno do bocal de gás 3a, é especificado por ser V_f e o gás de suporte à velocidade de combustão n a abertura 2b, calculado a partir do diâmetro interno do bocal de gás 3b, é especificada por ser V_a .

$$V_{f1} = V_f \times \cos\theta$$

$$V_{a1} = V_a \times \cos\theta$$

Então, preferivelmente, o ângulo de injeção de gás θ é determinado de tal maneira que o número de turbilhonamento Sw calculado com base em V_{f1} e V_{a1} , que são assumidos por serem as velocidades de gás nas aberturas 2a e 2b, recai dentro da faixa preferível predeterminada. O método para determinar o número de turbilhonamento Sw é como descrito posteriormente.

Nesse ínterim, a partir do ponto-de-vista da estrutura do queimador de combustão, é preferível que o queimador de combustão tenha uma estrutura na qual as aberturas 2a e 2b para injetar o gás combustível e o gás de suporte à combustão, respectivamente, quase na direção tangencial da superfície de parede interna 100 são dispostas na superfície de parede

interna da câmara de combustão 1. Isto deve porque tal estrutura pode realizar o número de turbilhamento Sw preferível independente de mudanças e modificações da quantidade de gás e a velocidade de gás. De forma específica, é desejável que o ângulo de injeção de gás θ mostrado na
5 figura 32 seja especificado por ser 30° ou menos, e mais preferivelmente 10° ou menos. Se este ângulo de injeção de gás θ aumenta, há uma possibilidade de que um fluxo de gás de turbilhamento apropriado ao longo da superfície de parede interna 100 não seja formado dependendo da quantidade do gás e da velocidade de gás. Em relação a cada uma das presentes modalidades, uma modalidade mostrada na figura 25 descrita posteriormente, e
10 uma modalidade mostrada na figura 26 até figura 29, o ângulo de injeção de gás θ é de cerca de 0° a 5° .

De acordo com a presente invenção, com relação ao queimador de chama tubular supracitado, no caso em que um gás de alto-forno é utilizado como um gás combustível, hidrogênio é adicionado ao gás de alto-forno para facilitar combustão estável do mesmo. Este hidrogênio pode ser
15 adicionado como um gás hidrogênio puro, ou ser adicionado como um gás que contém hidrogênio (daqui em diante na presente especificação, um termo "hidrogênio (adicionado a um gás de alto-forno)" inclui "um gás que contém hidrogênio"). É necessário que a concentração de hidrogênio desta gás que contém hidrogênio seja maior do que a concentração de hidrogênio do gás de alto-forno (geralmente, concentração de H_2 : 2 a 3 por cento por volume), como de costume. A concentração de hidrogênio do gás que contém hidrogênio não é especificamente limitada exceto este ponto. Entretanto, em
25 geral, é preferível que um gás que contém hidrogênio que tem uma concentração de hidrogênio de 20 por cento por volume ou mais seja utilizado. Dentre gases gerados em processos de produção de ferro e aço, por exemplo, um gás de bateria de coque obtido em produção de coque tem particularmente alta concentração de hidrogênio (geralmente cerca de 55 por cento por volume) e é adequado para o gás que contém hidrogênio.
30

Para adicionar hidrogênio ao gás de alto-forno, com relação ao queimador de combustão mostrado na figura 23 e figura 24, o gás de alto-

forno e hidrogênio são fornecidos à câmara de misturação 4 do bocal de gás 3a através do tubo de fornecimento de gás de alto-forno 5 e o tubo de fornecimento de hidrogênio 6, e hidrogênio é misturado ao gás de alto-forno aqui. O gás resultante de alto-forno misturado com hidrogênio (gás de alto-forno misturado com hidrogênio, o mesmo será constatado daqui em diante) entra pelo corpo principal de bocal. Enquanto isso, o gás de suporte à combustão é fornecido ao bocal de gás 3b através do tubo de fornecimento de gás de suporte à combustão 7. O gás de alto-forno misturado com hidrogênio e o gás de suporte à combustão fornecido aos bocais de gás 3a e 3b, como descrito acima, são injetados à câmara de combustão 1 a partir das aberturas 2a e 2b (portas de bocal). A combustão é realizada enquanto este gás de alto-forno misturado com hidrogênio e o gás de suporte à combustão formam um fluxo de turbilhonamento ao longo da superfície de parede interna 100 da câmara de combustão 1 e, com isso, uma chama é formada. Assim, a combustão supracitada é iniciada pela ignição com a vela de ignição 13, e no caso em que a combustão continua, a ignição com a vela de ignição 13 é finalizada no momento.

No caso em que o valor calorífico do gás de alto-forno é oscilado, por exemplo, o valor calorífico é reduzido, e com isso, o estado de combustão detectado pelo detector de estado de combustão 12 não é estabilizado, a quantidade de fornecimento de hidrogênio é aumentado pelo medidor de fluxo 11 e a válvula de controle de taxa de fluxo 9 disposta no tubo de fornecimento de hidrogênio 6.

A esse respeito, para este queimador de combustão, um gás no qual o gás de alto-forno e o gás de suporte à combustão são misturados a priori (gás pré-misturado) pode ser utilizado. Neste caso, pelo menos uma abertura 2 (porta de bocal) para injetar o gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte à combustão de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) ocorre na câmara de combustão 1 é disposta na superfície de parede interna 100 da câmara de combustão 1, e um bocal de gás 3 para fornecer o gás pré-misturado é conecta-

do a esta abertura 2. A abertura supracitada 2 é disposta de tal maneira que o gás é injetado em uma direção desviada a partir do centro do eixo geométrico da câmara de combustão 1 (direção excêntrica) e que o gás injetado na câmara de combustão 1 forma com isso um fluxo de turbilhonamento, da
5 mesma maneira que a abertura 2a, 2b mostrado na figura 23 e figura 24. Em particular, é preferível que a abertura 2 seja disposta de tal maneira para injetar o gás (gás pré-misturado) quase na direção tangencial da superfície de parede interna 100. Então, hidrogênio é adicionado ao gás de alto-forno antes de pré-mistura com o gás de suporte à combustão ou com o gás pré-
10 misturado. O gás pré-misturado que contém hidrogênio adicionado, como descrito acima, é injetado na câmara de combustão 1 a partir da abertura 2 através do bocal de gás 3. A propósito, o gás é injetado a partir desta abertura 2 de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede
15 interna 100) ocorre na câmara de combustão 1. O método preferível para definir a direção de injeção de gás e o ângulo de injeção de gás θ preferível a partir do ponto-de-vista do queimador estrutura são os mesmos que os descritos acima com relação à abertura 2a, 2b com base na figura 31.

No queimador de combustão supracitado, o gás de alto-forno
20 misturado com hidrogênio e o gás de suporte à combustão (ou o gás pré-misturado dos dois), que são injetados na câmara de combustão 1 a partir dos bocais de gás 3a e 3b e das aberturas 2a e 2b e que formam um fluxo de turbilhonamento, são estratificados com base em uma diferença em densidade do gás, e camadas de gás que tem diferentes densidades são gera-
25 das em ambos os lados de uma chama. Isto é, um gás de escape de alta temperatura de combustão está presente no lado de centro do eixo geométrico em que a velocidade de turbilhonamento é pequena e um gás não queimado está presente no lado de superfície de parede interna 100 em que a velocidade de turbilhonamento é grande. Além disso, na proximidade
30 da superfície de parede interna 100, uma chama não pode permanecer na proximidade da superfície de parede interna porque a velocidade de turbilhonamento é maior do que a velocidade de propagação de chama. Em con-

sequência, uma chama tubular é formada na câmara de combustão 1 de forma estável. Além disso, um gás não queimado está presente na proximidade da superfície de parede interna da câmara de combustão 1, tal que a superfície de parede interna da câmara de combustão 1 não é aquecida até uma alta temperatura devido à transferência direta de calor. Então, gases na câmara de combustão 1 fluem em direção ao lado de extremidade no decorrer de turbilhonamento. Neste ínterim, gases na superfície de parede interna 100 lado são queimados sequencialmente e são movidos para o lado de centro do eixo geométrico. O gás de combustão é descarregado a partir da extremidade aberta.

A velocidade de combustão de hidrogênio é muito alta quando comparada com aquelas de outros gases inflamáveis, por exemplo, CO. Em consequência, combustão estável de um gás de alto-forno pode ser realizada ao adicionar hidrogênio. Aqui, o potencial máximo de combustão (MCP) de um gás é determinado com base na composição do mesmo e é calculado pelas seguintes fórmulas.

Expressão matemática 7

$$MCP = \frac{\sum (S_i f_i A_i)}{\sum (f_i A_i) \times (1-K)}$$

$$K = \frac{\sum A_i}{\sum (\alpha_i A_i)} \left\{ \frac{2.5 CO_2 + N_2 - 3.77 O_2}{100 - 4.77 O_2} + \left[\frac{N_2 - 3.77 O_2}{100 - 4.77 O_2} \right]^2 \right\}$$

em que S_i : velocidade de combustão de cada um dos gases inflamáveis no gás, e o valor é mostrado na Tabela descrita abaixo

f_i : coeficiente com relação a cada um dos gases inflamáveis no gás, e o valor é mostrado na Tabela descrita abaixo

A_i : teor de cada um dos gases inflamáveis no gás (porcento por volume)

K : coeficiente de atenuação

α_i : coeficiente de correção de cada um dos gases inflamáveis no gás, e o valor é mostrado na Tabela descrita abaixo

CO_2 : teor de dióxido de carbono no gás (porcento por volume)

N_2 : teor de nitrogênio no gás (porcento por volume)

O_2 : teor de oxigênio no gás (porcento por volume) [0177]

Tabela 5

	Si	fi	α_i
H ₂	282	1	1,33
CO	100	0,871	1,00
CH ₄	36	8,72	2,00
C ₂ H ₆	41	16,6	4,55
C ₂ H ₄	66	11,0	4,00
C ₃ H ₈	41	24,6	4,55
C ₃ H ₆	47	21,8	4,55
C ₄ H ₁₀	38	32,7	5,56
C ₄ H ₈	47	28,5	4,55

Para o MCP calculado pelas fórmulas supracitadas, hidrogênio é 282 e CO é 100, tal que a velocidade de combustão de hidrogênio é 2,8 vezes maior que a de CO. Portanto, combustão estável de um gás de alto-forno pode ser realizada ao adicionar hidrogênio. Em teoria, a combustão do gás de alto-forno continua enquanto a temperatura de chama adiabática do gás de alto-forno é uma temperatura maior do que ou igual ao ponto de queima de espécie de gás contida no gás de alto-forno (ponto de queima de CO: 609°C, ponto de queima de H₂: 500°C) ou a concentração do gás inflamável contido no gás de alto-forno é maior do que ou igual à concentração de limite mínimo de explosão (concentração de limite mínimo de explosão de CO: 12,5 por cento por volume, H₂: 4 por cento por volume). Entretanto, de acordo com o estudo dos presentes inventores, foi descoberto que com relação ao gás de baixo valor calorífico que contém CO, por exemplo, um gás de alto-forno, combustão estável foi capaz de ser realizada quando a temperatura de chama adiabática após adição de hidrogênio se tornou 750°C ou maior. Por exemplo, com relação a um gás de alto-forno que contém 18,2 por cento por volume de CO, 26,9 por cento por volume de CO_{2r} e 2,1 por cento por volume de H₂ (o remanescente é N₂), o valor calorífico é 612 kcal/Nm³ e a temperatura de chama adiabática é 746°C (razão de ar 0,7), tal que a combustão não continua estável neste estado e um queimador piloto é exigido separadamente par auxiliar a combustão. A temperatura de chama adiabática se torna 784°C ao adicionar hidrogênio a este gás de tal maneira que o teor de H₂ se torna 4,2 por cento por volume, tal que a combustão estável pode continuar. A temperatura de chama adiabática é uma temperatura teórica calculada pela suposição que o calor gerado por combustão não é per-

dido para o exterior e é utilizado para elevar a temperatura do gás inflamável.

Portanto, com relação ao gás de alto-forno, é preferível que hidrogênio seja adicionado de tal maneira que a temperatura de chama adiabática se torne 750°C ou maior. Enquanto isso, à medida que a quantidade de adição de hidrogênio aumenta, a estabilidade em combustão é intensificada correspondentemente, mas se a quantidade de adição de hidrogênio for muito grande, a economia é prejudicada.

Além disso, no método de combustão de acordo com a presente invenção, no caso em que a câmara de combustão 1 é trazida ao estado pressurizado, a densidade de gás aumenta e, com isso, um valor calorífico aparente aumenta. Em consequência, com relação a mesmo um gás de alto-forno, mais combustão estável pode ser realizada.

Na presente invenção, gases que contêm oxigênio, por exemplo, ar, e um gás oxigênio podem ser utilizados como o gás de suporte à combustão. A presente invenção é particularmente útil no caso em que o ar é utilizado como o gás de suporte à combustão. A quantidade de fornecimento do gás de suporte à combustão é a quantidade exigida para manter um estado de combustão estável. No caso em que o ar é utilizado como o gás de suporte à combustão, geralmente, o ar é fornecido de tal maneira que a razão de ar se torna 1 ou mais. A razão de ar se refere a uma razão real da quantidade de ar fornecido para a quantidade de ar exigida teoricamente para combustão do combustível (quantidade real de ar/quantidade de ar teórica). A combustão completa do gás combustível ocorre na razão de ar de 1, e CO₂ e H₂O são gerados. A combustão incompleta ocorre sob a condição da razão de ar de menos do que 1, e combustão estável não pode continuar. Além disso, no caso em que a razão de ar é excessiva, queima pobre ocorre e neste caso também, um estado de combustão estável não pode ser mantido. Portanto, geralmente, é preferível que o gás de suporte à combustão seja fornecido na razão de ar dentro da faixa de 1,0 a 1,5.

As velocidades de ejeção do gás combustível e o gás de suporte à combustão a partir de bocais (aberturas) não são especificamente limita-

das, embora seja preferível que as duas estejam no mesmo nível de velocidades.

Na modalidade mostrada na figura 23 e figura 24, hidrogênio é adicionado ao gás de alto-forno antes de injeção na câmara de combustão 1.

5 Entretanto, hidrogênio pode ser adicionado ao gás de alto-forno injetado na câmara de combustão 1 (isto é, hidrogênio é adicionado ao gás de alto-forno na câmara de combustão 1). A figura 25 é uma vista em corte transversal que mostra uma modalidade do queimador de combustão utilizado neste caso (a vista em corte transversal da seção tomada ao longo da mesma linha de seção que a da figura 24). Em relação a este queimador de combustão, as mesmas aberturas 2a e 2b como aquelas mostradas na figura 24 são dispostas em uma superfície de parede interna 100 na porção interna (lado de extremidade traseira) da câmara de combustão 1 e, em adição, aberturas 2c₁ e 2c₂ (portas de bocal) para injetar hidrogênio (um gás hidrogênio ou um gás que contém hidrogênio, o mesmo será constatado daqui em diante) de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) ocorre na câmara de combustão 1 são dispostas em posições centrais entre a abertura 2a e a abertura 2b na direção circunferencial da superfície de parede interna 100 (isto é, posições a 90° a partir da aberturas 2a e 2b na direção circunferencial). Os bocais de gás 3c₁ e 3c₂ para hidrogênio são conectados a estas aberturas 2c₁ e 2c₂, respectivamente. Da mesma maneira que as aberturas 2a e 2b, as aberturas 2c₁ e 2c₂ supracitadas (portas de bocal) são dispostas de tal maneira que o gás (hidrogênio) é injetado em uma direção desviada a partir do centro do eixo geométrico da câmara de combustão 1 (direção excêntrica) e que o gás injetado na câmara de combustão 1 forma com isso um fluxo de turbilhonamento. As aberturas 2c₁ e 2c₂ de acordo com a presente modalidade são dispostas de tal maneira como para injetar hidrogênio quase nas direções tangenciais da superfície de parede interna 100.

10
15
20
25
30

As aberturas 2c₁ e 2c₂ supracitadas são formadas com o formato de uma fenda ao longo da direção axial do tubo da mesma maneira que as

aberturas 2a e 2b. Com relação a isso, qualquer uma destas aberturas $2c_1$ e $2c_2$ pode ser disposta, ou pelo menos três aberturas podem ser dispostas. Em que caso, cada abertura 2c é conectado a um bocal de gás 3c.

A propósito, o gás (hidrogênio) é injetado a partir da aberturas
5 $2c_1$ e $2c_2$ de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) ocorre na câmara de combustão 1. O método preferível para definir a direção de injeção de gás e o ângulo de injeção de gás θ preferível a partir do ponto-de-vista da estrutura de queimador são os mesmos
10 que os descritos acima com relação à abertura 2a, 2b com base na figura 10.

Em relação a um queimador de combustão, hidrogênio é injetado na câmara de combustão 1 a partir da aberturas $2c_1$ e $2c_2$ através do bocal de gás 3c e, com isso, hidrogênio é adicionado ao gás de alto-forno na
15 câmara de combustão 1.

As outras estruturas e funções do queimador de combustão na modalidade mostrada na figura 25 são as mesmas que as do queimador de combustão na modalidade mostrada na figura 23 e figura 24 e, portanto, explicações detalhadas são omitidas. Com relação a isso, da mesma maneira
20 que o queimador de combustão na modalidade mostrado na figura 23 e figura 24, um gás no qual o gás de alto-forno e o gás de suporte à combustão são misturados anteriormente (gás pré-misturado) pode ser utilizado. Neste caso, como descrito acima, pelo menos uma abertura 2 (porta de bocal) para injetar o gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte à com-
25 bustão é disposto no lugar das aberturas 2a e 2b supracitadas, e um bocal de gás 3 para fornecer o gás pré-misturado é conectado a esta abertura 2.

De acordo com a presente invenção, o gás de alto-forno que contém hidrogênio adicionado e o gás de suporte à combustão formam um fluxo de turbilhonamento na câmara de combustão 1 no queimador de com-
30 bustão e, com isso, combustão estável do gás de alto-forno pode ser realizada. Em particular, o gás de alto-forno é um gás que contém primariamente CO , CO_2 , e N_2 , e hidrogênio tem uma baixa densidade de gás se comparado

com aqueles componentes. Portanto, quando hidrogênio é injetado de tal maneira para formar um fluxo de turbilhonamento, como na modalidade mostrado na figura 25, hidrogênio se move para o lado de centro do eixo geométrico devido à diferença em densidade, combustão é realizada preferencialmente, e combustão dos outros gases é facilitada. Em consequência, a combustibilidade do gás de alto-forno pode ser intensificada ainda mais.

A figura 26 até figura 29 mostra outra modalidade do queimador de combustão (queimador de chama tubular) utilizado na presente invenção. A figura 26 é uma vista em planta de recorte parcial do queimador de combustão. A figura 27 é uma vista de fundo que mostra parcialmente o queimador de combustão. A figura 28 é uma vista em corte transversal da seção tomada ao longo de uma linha VI-VI mostrada na figura 26. A figura 29 é uma vista em corte transversal da seção tomada ao longo de uma linha VII-VII mostrada na figura 26.

Na modalidade mostrada da figura 26 até figura 29, um bocal de gás 3a para um gás combustível e um bocal de gás 3b para um gás de suporte à combustão são formados a partir de uma pluralidade de tubos de bocal 300a e uma pluralidade de tubos de bocal 300b, respectivamente, posicionados em paralelo na direção axial de queimador. Os bocais de gás 3a e 3b são formados a partir da pluralidade de tubos de bocal 300a e 300b, como descrito acima, para que o número de turbilhonamento Sw seja especificado por estar dentro de uma faixa preferível enquanto um fluxo de turbilhonamento apropriado é formado pelos bocais de gás 3a e 3b na câmara de combustão 1, como descrito posteriormente.

Como na modalidade mostrada na figura 23 e figura 24, aberturas 2a e 2b (portas de bocal) para injetar o gás combustível e o gás de suporte à combustão, respectivamente, são dispostas em uma superfície de parede interna 100 na porção interna (lado de extremidade traseira) da câmara de combustão 1 supracitada de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) ocorre na câmara de combustão 1. Estas aberturas 2a e 2b também são formadas a partir de uma

pluralidade de aberturas 200a e uma pluralidade de aberturas 200b, respectivamente. Então, os tubos de bocal individuais 300a supracitados são conectados às suas respectivas aberturas 200a, e os tubos de bocal individuais 300b supracitados são conectados às suas respectivas aberturas 200b.

5 As aberturas 200a e 200b supracitadas são dispostas de tal maneira que gases são injetados em direções desviadas a partir do centro do eixo geométrico da câmara de combustão 1 (direção excêntrica) e que os gases injetados na câmara de combustão 1 formam com isso um fluxo de turbilhonamento. As aberturas 200a e 200b de acordo com a presente modalidade são
10 dispostas de tal maneira como para injetar o gás combustível e o gás de suporte à combustão, respectivamente, quase nas direções tangenciais da superfície de parede interna 100.

Além disso, um bocal de gás 14 para fornecer um gás diluente, que dilui o gás de combustão e que ajusta a temperatura e/ou a composição
15 do mesmo, na câmara de combustão 1 é disposto na posição mais próxima à extremidade da câmara de combustão do que estão os bocais de gás 3a e 3b supracitados (aberturas 2a e 2b). Este bocal de gás 14 é para fornecer o gás para diluir o gás de combustão e, portanto, a posição de instalação (conexão) na direção longitudinal da câmara de combustão não é especifica-
20 mente limitada enquanto a posição de instalação não impedir combustão de gás na câmara de combustão 1. Na presente modalidade, o bocal de gás 14 é disposto na posição mais próxima à extremidade da câmara de combustão do que está a posição central na direção longitudinal da câmara de combustão.

25 O bocal de gás 14 pode ser formado a partir de um único tubo de bocal. Entretanto, na presente modalidade, o bocal de gás 14 é formado a partir de uma pluralidade de tubos de bocal 140 posicionado em paralelo na direção axial de queimador. Uma abertura 15 (porta de bocal) para injetar o gás diluente quase na direção tangencial da superfície de parede interna
30 100 de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento (fluxo de gás de turbilhonamento ao longo da direção circunferencial da superfície de parede interna 100) ocorre na câmara de combustão 1 é disposta na superfície de

parede interna na câmara de combustão 1 em uma posição em que o bocal de gás 14 é disposto. Os bocais de gás 14 supracitados são conectados à abertura 15. Na presente modalidade, a abertura 15 é formada a partir de uma pluralidade de aberturas 150, cada uma das aberturas 150 é conectada
5 ao tubo de bocal 140 supracitado. A abertura 15 pode ser uma abertura única no formato de uma fenda ao longo da direção axial do tubo e ser conectado a um bocal de gás 14 único. Com relação a isso, a abertura 15 para o gás diluente não necessariamente tem uma estrutura para injetar o gás de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento ocorra na câmara de
10 combustão 1.

As outras estruturas e funções do queimador de combustão na modalidade mostrada na figura 26 à figura 29 são idênticas àquelas do queimador de combustão na modalidade mostrada na figura 23 e na figura 24 e, portanto, as explicações detalhadas são omitidas.

15 A propósito, os gases são injetados pelas aberturas 200a e 200b descritas acima de maneira que um fluxo de gás turbilhonado (fluxo de gás turbilhonado ao longo da direção circunferencial da superfície da parede interna 100) ocorra na câmara de combustão 1. O método preferencial para ajustar a direção de injeção de gás e o ângulo θ de injeção de gás preferencial a partir do ponto de vista da estrutura do queimador são idênticos aos
20 descritos acima em relação à abertura 2a, 2b com base na figura 32.

Em relação ao queimador de combustão usado na presente invenção, um gás de combustão de alta temperatura é gerado na câmara de combustão 1. Por exemplo, a temperatura de combustão teórica do gás de
25 alto-forno é de cerca de 1.300°C em uma relação de ar de 1,0. Na ocasião em que a presente invenção for aplicada a um método de operação de alto-forno, descrito a seguir, e um gás de combustão de um queimador de combustão for injetado como um gás de pré-aquecimento no alto-forno, é preferível que o gás de combustão seja diluído e sua temperatura e composição
30 sejam controladas de modo que o coque no forno não seja consumido pelo CO₂ no gás de combustão injetado, nem o minério de ferro (magnetita), que foi reduzido no forno, reoxidado. Na presente modalidade, para tal propósito,

o gás diluente para ajustar a temperatura e/ou a composição do gás de combustão é fornecido a partir do bocal de gás 14 para a câmara de combustão 1.

O tipo de gás diluente usado pode ser selecionado de maneira apropriada de acordo com o objetivo da adição ao gás de combustão (controle de temperatura do gás e/ou controle da composição do gás). A partir do ponto de vista do ajuste da composição do gás de combustão, aqueles que contêm gás redutor, por exemplo, CO e H₂, são preferenciais. Por exemplo, pelo menos um tipo de gás de alto-forno, um gás de conversor, um gás de bateria de coque, e similares, pode ser usado. Em particular, é preferível que uma porção do gás de alto-forno seja tomada e usada como gás diluente.

Ademais, no caso em que um gás de combustão de um queimador de combustão é injetado como um gás de preaquecimento no alto-forno, é desejável que a temperatura do gás de preaquecimento seja de 500°C ou maior, e preferencialmente de 800°C ou maior, conforme descrito posteriormente. Portanto, preferencialmente a temperatura e uma quantidade de suprimento de gás diluente são selecionadas de tal maneira que a temperatura de gás de preaquecimento descrita acima seja obtida.

A propósito, com respeito ao queimador de combustão tendo um bocal de gás para injetar um gás premisturado do gás combustível e o gás de suporte a combustão e um queimador de combustão tendo um bocal de gás 3c para injetar hidrogênio como na modalidade mostrada na figura 3, estes bocais de gás podem ser formados a partir de uma pluralidade de tubos de bocal dispostos paralelamente na direção do eixo geométrico do queimador. Além disso, com respeito também a esses queimadores de combustão, o bocal de gás 14 descrito acima para um gás diluente e a abertura 15 pode ser disposto.

No método de combustão de gás de alto-forno de acordo com a presente invenção, é preferencial que o número de turbilhonamento Sw do fluxo de gás na câmara de combustão 1 é especificada como estando dentro da faixa de 3 a 10. O número de turbilhonamento é um número adimensional representando a intensidade de turbilhonamento com respeito a um fluxo de

um fluido associado com o turbilhonamento, e conforme o número de turbilhonamento Sw se torna grande, o fluxo é associado com um turbilhonamento intenso. Se o número de turbilhonamento for muito pequeno, a mistura do gás combustível e do gás de suporte a combustão se torna insuficiente e a ignição do gás de combustão se torna instável. Por outro lado, se o número de turbilhonamento for muito grande, uma chama de combustão pode ser soprada. Do ponto de vista descrito acima, o número de turbilhonamento Sw está preferencialmente dentro da faixa de 3 a 10.

O número de turbilhonamento Sw pode ser calculado com base na fórmula básica conhecida para calcular o número de turbilhonamento Sw e através de uma fórmula de acordo com o tipo e a forma de uso do queimador de combustão empregado. Por exemplo, no caso em que o queimador de combustão tem a abertura $2a$ para injetar o gás combustível e a abertura $2b$ para injetar o gás de suporte à combustão é usado, como na modalidade mostrada na figura 23 e figura 24, o número de turbilhonamento Sw pode ser determinado pela seguinte fórmula. Em relação a isso, o gás combustível na fórmula a seguir se refere a um gás de alto-forno misturado com hidrogênio.

Expressão matemática 8

$$Sw = \frac{(\rho_a \cdot Q_a \cdot V_a + \rho_f \cdot Q_f \cdot V_f) \cdot R_b}{[(\rho_a \cdot Q_a + \rho_f \cdot Q_f) \cdot (Q_a + Q_f) \cdot R_b] / A_b}$$

em que R_b : raio de câmara de combustão (m)

A_b : área em seção transversal da câmara de combustão (m^2)

ρ_a : densidade do gás de suporte à combustão (kg/m^3)

ρ_f : densidade do gás combustível (kg/m^3)

V_a : velocidade do gás de suporte à combustão na abertura (porta do bocal) (m/s)

V_f : velocidade do gás combustível na abertura (porta do bocal) (m/s)

Q_a : taxa de fluxo real do gás de suporte à combustão (m^3/s)

Q_f : taxa de fluxo real do gás combustível (m^3/s)

Entretanto, no caso em que o queimador de combustão que tem a abertura para injetar o gás pré-misturado do gás combustível e o gás de

suporte à combustão é usado, o número de turbilhonamento Sw pode ser determinado através da seguinte fórmula. Nesse sentido, o gás pré-misturado na seguinte fórmula refere-se a "gás combustível (gás de alto-forno) + hidrogênio + gás de suporte à combustão".

5 Expressão matemática 9

$$Sw = \frac{(\rho_m \cdot Q_m \cdot V_m) \cdot R_b}{[(\rho_m \cdot Q_m) \cdot Q_m \cdot R_b] / Ab}$$

em que R_b : raio de câmara de combustão (m)

Ab : área em seção transversal da câmara de combustão (m²)

ρ_m : densidade do gás pré-misturado (kg/m³)

V_m : velocidade do gás pré-misturado na abertura (porta do bo-
10 cal) (m/s)

Q_m : taxa de fluxo real do gás pré-misturado (m³/s)

Ademais, no caso em que o queimador de combustão que tem a
abertura 2c para injetar hidrogênio, além da abertura 2a para injetar o gás
combustível e a abertura 2b para injetar o gás de suporte à combustão, é
15 usado como na modalidade mostrada na figura 25, o número de turbilhona-
mento Sw pode ser determinado através da seguinte fórmula.

Expressão matemática 10

$$Sw = \frac{(\rho_a \cdot Q_a \cdot V_a + \rho_f \cdot Q_f \cdot V_f + \rho_h \cdot Q_h \cdot V_h) \cdot R_b}{[(\rho_a \cdot Q_a + \rho_f \cdot Q_f + \rho_h \cdot Q_h) \cdot (Q_a + Q_f + Q_h) \cdot R_b] / Ab}$$

onde R_b : raio de câmara de combustão (m)

Ab : área em seção transversal da câmara de combustão (m²)

20 ρ_a : densidade de gás que suporta combustão (kg/m³)

ρ_f : densidade de gás combustível (kg/m³)

ρ_h : densidade de hidrogênio (gás hidrogênio ou gás que contém
hidrogênio) (kg/m³)

V_a : velocidade de gás que suporta combustão na abertura (porta
25 de bocal) (m/s)

V_f : velocidade de gás combustível na abertura (porta de bocal)
(m/s)

V_h : velocidade do hidrogênio (gás hidrogênio ou gás que contém
hidrogênio) na abertura (porta de bocal) (m/s)

Qa: taxa de fluxo real de gás que suporta combustão (m³/s)

Qf: taxa de fluxo real de gás combustível (m³/s)

Qh: taxa de fluxo real de hidrogênio (gás hidrogênio ou gás que contém hidrogênio) (m³/s)

5 No caso em que o número de turbilhonamento Sw é especificado para estar incluído na faixa preferencial descrita acima, é preferível que, como na modalidade mostrada na figura 26 a figura 29, o bocal de gás 3a para o gás combustível e o bocal de gás 3b para o gás que suporta combustão são formados a partir de uma pluralidade de tubos de bocal 300a e uma

10 pluralidade de tubos de bocal 300b, respectivamente, dispostas em paralelo na direção de eixo geométrico do queimador. Isto ocorre pelas seguintes razões. Por exemplo, no caso de condições do diâmetro interno da câmara combustão: 50 mm, a quantidade do gás de alto-forno: 30 Nm³/h (densidade de gás: 1.34 kg/Nm³), a quantidade de ar: 21,4 Nm³/h (densidade de gás:

15 1,29 kg/Nm³), a razão de ar: 1.1, e a pressão no forno: 245 kPa (pressão no forno onde o queimador de combustão é disposto como dispositivo de injeção e combustão de gás em um alto-forno, como no método de operação do alto-forno descrito posteriormente), se cada um dos bocais de gás 3a e 3b forem considerados como sendo formados a partir de um único (um) tubo de

20 bocal, quando o número de turbilhonamento Sw é 3, o diâmetro interno do tubo de bocal (diâmetro interno do círculo equivalente, ou seja, o diâmetro de um círculo que tem a área em seção transversal igual à área em seção transversal no interior do tubo de bocal, e, posteriormente no presente documento um termo "diâmetro interno do tubo de bocal" se refere ao mesmo)

25 é 21 mm como para o bocal de gás 3a (a velocidade de gás combustível na abertura 2a: 7 m/s) e é 21 mm como para o bocal de gás 3b (a velocidade de gás que suporta combustão na abertura 2b: 5 m/s). Entretanto, no caso em que cada um dos bocais de gás 3a e 3b é formado a partir de um único tubo de bocal, como descrito acima, na vista de corte seccional da seção tomada

30 ao longo da linha II-II mostrada na figura 23, o diâmetro interno do tubo de bocal se torna cerca de quatro décimos do diâmetro interno da câmara de combustão, os fluxos em direção ao centro (centro axial) da câmara de com-

bustão aumenta com relação a ambos o gás combustível e o gás de suporte à combustão, e um com fluxo de turbilhonamento não é formado facilmente. Em consequência, o gás de escape de combustão de cata temperatura presente no lado de centro axial pode ser resfriado, tal que os efeitos da presente invenção podem ser reduzidos. A figura 32 mostra esquematicamente uma seção em uma direção de diâmetro do interior da câmara de combustão na posição em que a abertura 2a, 2b é posicionada. A posição central do fluxo de gás injetado a partir da abertura 2a, 2b (= centro axial do bocal de gás 3a, 3b) é a posição na distância de $(R - t/2)$ a partir do centro da câmara de combustão 1, onde o raio da câmara de combustão 1 é representado por R e a largura interna ou o diâmetro interno real do bocal de gás 3a, 3b na direção de diâmetro da câmara de combustão é representada por t. Aqui, se t aumentar em relação à R, um fluxo em direção ao centro da câmara de combustão (centro axial) aumenta. Em consequência, um bom fluxo de turbilhonamento não é formado facilmente e uma chama tubular é formada na posição distante de uma parede de tubo, tal que combustão tende a se tornar instável. A partir deste ponto de vista, é preferível que $(R - t/2)/R > 0,8$ seja atendido, embora o exemplo supracitado esteja fora de sua condição preferida

Por outro lado, no caso em que o bocal de gás 3a, 3b é formado a partir de uma pluralidade de tubos de bocal 300a, 300b dispostos em paralelo na direção axial de queimador, o diâmetro interno por tubo de bocal se torna pequeno, tal que os problemas supracitados não ocorram facilmente, e que seja possível gerar um bom fluxo de turbilhonamento enquanto o número de turbilhonamento Sw é especificado por estar dentro da faixa preferível. Consequentemente, é preferível que o bocal de gás 3a para o gás combustível e o bocal de gás 3b para o gás de suporte à combustão sejam formados a partir de uma pluralidade de tubos de bocal 300a e uma pluralidade de tubos de bocal 300b, respectivamente, dispostas em paralelo na direção axial do queimador. Pelo mesmo motivo, em relação ao queimador de combustão que tem o bocal de gás para injetar o gás premisturado do gás combustível e o gás de suporte à combustão e o queimador de combus-

tão que tem o bocal de gás 3c para injetar um gás hidrogênio, conforme mostrado na modalidade mostrada na figura 3, é preferível que aqueles bocais de gás sejam formados a partir de uma pluralidade de tubos de bocal dispostos em paralelo na direção axial de queimador.

5 A seguir, um método de operação de alto-forno, ao qual um método de combustão de gás de alto-forno pelo uso do queimador de combustão descrito acima é aplicado, será descrito.

Um método de operação de alto-forno, de acordo com a presente invenção, refere-se a um método de operação de alto-forno, em que ar ou
10 ar enriquecido com oxigênio é marrom de uma ventaneira, ou seja, uma operação de um alto-forno normal. No caso em que o ar enriquecido com oxigênio é soprado a partir da ventaneira, normalmente, uma operação é realizada em um enriquecimento de oxigênio de 20 por cento em volume ou menos, e, de preferência, 10 por cento em volume ou menos. Nesse aspecto, con-
15 forme o enriquecimento de oxigênio aumenta, a quantidade de gás que passa pelo forno é reduzida e a quantidade de gás de injeção exigido para aumentar a temperatura da porção superior do cubo aumenta significativamente. A partir também desse ponto de vista, uma operação no enriquecimento de oxigênio descrito acima é preferível.

20 A figura 30 é um diagrama explanatório que mostra uma modalidade de um método de operação de um alto-forno, de acordo com a presente invenção. No desenho, o número de referência 20 denota um alto-forno e o número de referência 21 denota uma ventaneira do mesmo. Um gás quente e um agente de redução auxiliar (por exemplo, carvão pulverizado ou
25 LNG) são injetados no forno a partir dessa ventaneira 21.

Um gás de alto-forno descarregado a partir da parte de topo do forno do alto-forno 20 (gás de topo do forno) é levado a um aparelho de geração de energia de gás recolhido no topo do forno 24 após a poeira ser removida com um coletor de poeira 22 que serve como um aparelho de limpeza de gás e umidade é removida com um separador de neblina 23 que serve
30 como o aparelho de limpeza de gás. A pressão do gás de topo do forno é recuperada como eletricidade e, subsequentemente, o gás de topo do forno

é levado para o lado de fora do sistema.

Na presente invenção, um gás é injetado no alto-forno a partir de uma parte de injeção de gás A disposta em uma parte de cubo (preferivelmente, uma parte média de cubo para parte superior). O objetivo principal da injeção do gás no forno de tal maneira é para suplementar uma redução na quantidade de sopro devido a uma baixa operação de RAR e, desse modo, garantir que a taxa de fluxo na porção superior do forno. Entretanto, a injeção de um gás a uma temperatura a qual diminui desnecessariamente a temperatura do gás de topo do forno vai contra os objetivos da invenção. Portanto, um gás de preaquecimento é utilizado como o gás de injeção.

Na injeção do gás de preaquecimento a partir da parte de injeção de gás A no alto-forno como descrito acima, de acordo com a presente invenção, a parte de injeção de gás A é formada a partir da combustão de gás e dispositivo de injeção a em que uma extremidade da câmara de combustão acima descrita do queimador de combustão (por exemplo, qualquer um dentre o queimador de combustão mostrado na figura 23 e figura 24, o queimador de combustão mostrado na figura 25 e o queimador de combustão mostrado na figura 26 até a figura 29) é comunicada com o lado de dentro do alto-forno e um gás de combustão da combustão de gás e dispositivo de injeção a é injetado como o gás de preaquecimento no alto-forno. Isto é, na figura 23 e figura 26, número de referência x denota um corpo de forno do alto-forno 20 e um dispositivo de injeção e combustão de gás a é formado através da montagem do queimador de combustão no corpo do forno x de tal maneira que a extremidade da câmara de combustão 1 está em comunicação com o interior do alto-forno.

A estrutura básica de tal dispositivo de injeção e combustão de gás a tem sido conhecida como um queimador de chama tubular. Entretanto, este queimador de chama tubular tem sido desenvolvido e usado em fornos e aparelhos de combustão e, portanto, uma aplicação para um dispositivo de injeção de gás do alto-forno não tem sido estudada de forma alguma. Além disso, recentemente, a operação de alto-forno tem sido desempenhada sob uma condição de pressão alta e, portanto, faz-se necessário que o gás de

preaquecimento seja injetado após a pressão ser elevada a uma pressão acima da pressão no forno na posição da injeção. Entretanto, o queimador de chama tubular é baseado no uso do estado de pressão normal, e o uso sob a condição de pressão descrita acima não tem sido estudada de forma

5 alguma. Por outro lado, de acordo com a presente invenção, constatou-se que um dispositivo de injeção e combustão de gás do tipo queimador de chama tubular a teve uma função excelente como um dispositivo para pré-aquecer um gás de alto-forno através da combustão e injetando o mesmo a partir de uma parte do cubo de um alto-forno no forno. Além disso, consta-

10 tou-se que no caso onde um gás de alto-forno é usado como um gás combustível, uma combustão estável pode ser desempenhada ao adicionar hidrogênio no gás de alto-forno, conforme descrito acima.

Em relação à modalidade mostrada na figura 30, uma porção do gás de alto-forno, que é descarregada a partir da parte do topo do forno e,

15 posteriormente, que é passada através do aparelho de limpeza do gás (o coletor de poeira 22 e o separador de névoa 23) e o aparelho de geração de energia de gás de topo de forno 24, é tomado e introduzido como um gás combustível no dispositivo de injeção e combustão de gás a que constitui a parte de injeção de gás A após ser pressurizada com um elevador 25a. No

20 caso onde o hidrogênio é misturado no gás de alto-forno, o hidrogênio é introduzido em um tubo do gás de alto-forno diretamente ou o hidrogênio é misturado no gás de alto-forno através do uso de um misturador, embora não mostrado no desenho, de modo a produzir um gás de alto-forno misturado com hidrogênio. Com relação à trajetória de fluxo 27 do gás de alto-

25 forno descarregado da parte superior do forno do alto-forno 20, uma trajetória de fluxo 28 para fornecer uma parte do gás de alto-forno ao dispositivo de combustão e injeção de gás a é ramificado a partir de uma porção de trajetória de fluxo do lado a jusante do aparelho de geração de energia de gás de topo de forno 24.

30 Nesse ínterim, um gás de suporte à combustão, que é um gás que contém oxigênio (ar, ar enriquecido com oxigênio, gás de alta concentração de oxigênio, ou similares), é fornecido ao dispositivo de combus-

tão e injeção de gás a. Este gás de suporte à combustão também é pressurizado com um elevador 25b e, portanto, é introduzido no dispositivo de combustão e injeção de gás a. Com relação a isto, no caso onde um gás pré-misturado de um gás de alto-forno e um gás de suporte à combustão é usado no dispositivo de combustão e injeção de gás a, o gás de alto-forno e o gás de suporte à combustão pode ser pressurizado previamente com os elevadores 25a e 25b separadamente, ou o gás pré-misturado pode ser pressurizado com um elevador único 25. Neste caso, o hidrogênio é introduzido (ou hidrogênio é misturado por um misturador) no gás de alto-forno antes de pré-misturar o gás de suporte à combustão ou o hidrogênio é introduzido (ou hidrogênio é misturado por um misturador) no gás pré-misturado.

Nesse ínterim, no caso de um queimador de combustão mostrado na figura 25, O hidrogênio é pressurizado com um elevador. Portanto, o hidrogênio é introduzido no dispositivo de combustão e injeção de gás a separadamente do gás de alto-forno e é injetado na câmara de combustão do mesmo.

Além disso, no caso do queimador de combustão mostrado da figura 26 à figura 29, o gás diluente é fornecido a partir do bocal de gás 14 para a câmara de combustão 1, a fim de diluir o gás de combustão e controlar a temperatura e a composição do mesmo, de um modo que o coque não seja consumido pelo CO_2 no gás de combustão injetado no alto-forno, nem o minério de ferro (magnetita), que havia sido reduzido no forno, reoxidado. Como descrito acima, em relação ao gás diluente, os que contêm gases redutores, por exemplo, CO e H_2 , são preferíveis. Por exemplo, pelo menos um tipo de um gás de alto-forno, um gás de conversão, um gás de bateria de coque e similares podem ser usados. Acima de tudo, é preferível que uma porção do gás de alto-forno seja tomada e usada como o gás diluente. Além disso, é desejável que a temperatura do gás pré-aquecido seja de 500°C ou mais, e preferivelmente 800°C ou mais. Portanto, a temperatura e a quantidade de fornecimento do gás diluente são selecionadas de um modo que a temperatura do gás pré-aquecido mencionado acima seja obtida.

Em seguida, os efeitos obtidos usando-se o queimador de cha-

ma tubular tipo dispositivo de injeção e combustão de gás a e adicionando-se hidrogênio ao gás de alto-forno (em particular, no caso em que um gás de alto-forno é gerado em uma operação de razão de agente de redução baixa é usado) que serve como gás um combustível na presente invenção, será descrito em comparação com o caso em que outros tipos de queimadores de gás, na técnica relacionada, são usados.

A maioria dos queimadores de ar usados industrialmente antes têm uma estrutura em que uma chama é formada à frente da extremidade do queimador. Portanto, no caso em que o queimador de gás descrito acima é usado, como o dispositivo de injeção e combustão de gás a, os materiais descarregados (minério de ferro, coque) que descem da parte superior do alto-forno são expostos diretamente a uma chama, uma reação de perda de solução do coque é efetuada e problemas ocorrem, já que por exemplo, o coque é consumido inutilmente.

Enquanto isso o gás recolhido no topo do forno do processo de alto-forno de oxigênio, no qual oxigênio puro é soprado, é um gás em que o teor de nitrogênio é pequeno e CO é contido primeiramente, e o valor calorífico é alto (por exemplo, cerca de 1.200 kcal/Nm³). Por consequência, o gás recolhido do topo do forno pode ser usado como gás combustível para o queimador de gás comum descrito acima na técnica relacionada sem nenhum problema. Por outro lado, com relação ao gás do alto-forno gerado em um processo de alto-forno normal relacionado à presente invenção, o valor calorífico é baixo (por exemplo, cerca de 800 kcal/Nm³), e se o gás de alto-forno é aplicado ao queimador gás comum descrito acima na técnica relacionada, combustão estável não é realizada com facilidade. Além disso, no caso em que uma operação de baixa RAR é direcionada, o valor calorífico do gás de alto-forno é reduzido ainda mais. Por exemplo, de acordo com o cálculo com base na massa e equilíbrio de calor no alto-forno, o valor calorífico do gás de alto-forno se torna (1) 722 kcal/Nm³ para uma operação que corresponde a RAR 494 kg/t (PCR: 130 kg/t, temperatura de sopro: 1.150°C), (2) 620 kcal/Nm³ para uma operação que corresponde a RAR 450 kg/t (PCR: 130 kg/t, temperatura de sopro. 1.200°C, coque de alta reatividade-

de é usado, a perda de calor é reduzida em 43%, a eficiência do cubo é aumentada em 2% em relação à operação do item descrito acima (1)), e (3) 517 kcal/Nm³ para uma operação que corresponde a RAR 412 kg/t (PCR: 130 kg/t, temperatura de sopro: 1.200°C, coque de alta reatividade é usado, a perda de calor é reduzida em 57%, a eficiência do cubo é aumentada em 4% em relação à operação do item descrito acima (1))

De acordo com o cálculo acima descrito, a temperatura do gás recolhido no topo do alto-forno se torna 110 °C ou mais baixa nas operações dos itens acima descritos (2) e (3). Então, por exemplo, no caso onde uma parte do gás do alto-forno descarregado a partir da parte superior do forno é tomada, um gás de preaquecimento preparado pela combustão com oxigênio é injetado no forno a partir da parte de cubo, e a temperatura do gás recolhido no topo do alto-forno é mantida a 110 °C ou mais alta, o valor calorífico do gás do alto-forno é depois reduzido. Por exemplo, no caso onde 100 Nm³/t do gás de preaquecimento a 800 °C é injetado na operação do item acima descrito (2), o valor calorífico do gás do alto-forno se torna 590 kcal/Nm³, e no caso onde 150 Nm³/t do gás de preaquecimento a 800 °C é injetado na operação do item acima descrito (3), o valor calorífico do gás do alto-forno se torna 477 kcal/Nm³. Tal redução no valor calorífico do gás do alto-forno devido à baixa operação de RAR faz a combustão estável pelo queimador de gás comum acima descrito na técnica relacionada mais difícil.

Além disso, o alto-forno comum é operado sob uma pressão de 4 a 5 kg/cm² e, além disso, materiais carregados descem da parte superior do alto-forno, de forma que a pressão flutua sempre. Além disso, a recirculação resultante da adesão de materiais à parede do forno do alto-forno e similares ocorre. Com respeito ao queimador de gás comum acima descrito na técnica relacionada, a estabilidade da chama é atrapalhada por conta destes fatores e exposição de sopro e similares podem ocorrer.

Com respeito aos problemas acima descritos em relação ao queimador de gás comum na técnica relacionada, de acordo com a presente invenção, os efeitos obtidos mediante a utilização de combustão do gás tipo queimador de chama tubular e dispositivo de injeção a e adição de hidrogê-

nio a um gás de baixo valor calorífico, por exemplo, um gás de alto-forno, utilizado como o gás combustível para executar combustão estável como descrito abaixo.

(a) A combustão do gás é executada na câmara de combustão 1
5 e nenhuma chama está presente no lado de fora da câmara de combustão 1. Portanto, os materiais carregados (combinação de ferro, coque) que descem a partir da parte superior do alto-forno não são expostos a uma chama diretamente, de forma que uma influência exercida sobre os materiais carregados está a um pequeno nível. Além do mais, como descrito acima, nenhuma
10 chama está presente no lado de fora da câmara de combustão 1, de forma que uma chama estável é formada sem ser afetada pela pressão no alto-forno e flutuações disso, recirculação, e similares e um gás de combustão a uma temperatura desejada podem ser injetados no forno de modo estável.

(b) É necessário que o gás de preaquecimento injetado no forno
15 tenha uma pressão mais alta do que a pressão dentro do forno. na posição da injeção. Portanto, é necessário que a combustão do gás seja executada, na realidade, sob pressão na câmara de combustão 1 da combustão do gás e dispositivo de injeção a. No caso em que a câmara de combustão 1 chega a um estado pressurizado, como descrito acima, a vantajosa condição para
20 combustão estável especialmente de um gás de alto-forno é provocada. Com respeito à combustão do gás e ao dispositivo de injeção a, uma chama estável é formada na câmara de combustão 1, a propriedade de mistura do gás do alto-forno e do gás de suporte à combustão é boa e, portanto, a combustão uniforme eficiente do gás pode ser executada. Em particular,
25 como descrito acima, a câmara de combustão 1 chega a um estado pressurizado, de forma que a densidade do gás aumenta e, desse modo, um valor calorífico aparente aumenta em comparação com o valor calorífico no estado padrão. Consequentemente, combinada com a adição de hidrogênio ao gás combustível, a combustão estável pode ser executada mesmo no caso onde
30 o gás combustível é um gás de baixo valor calorífico, por exemplo, um gás de alto-forno.

(c) A câmara de combustão 1 chega a um estado pressurizado,

como descrito acima, de forma que a densidade do gás aumenta e, desse modo, a quantidade de calor possuída pelo gás de alto-forno pode ser transferida para o gás de combustão de modo eficiente. Em particular, um gás não queimado e o gás de suporte à combustão estão presentes nas proximidades da superfície de parede interna 100 da câmara de combustão 1, de forma que a superfície de parede interna 100 da câmara de combustão 1 não é aquecida a uma alta temperatura devido à transferência de calor direta. Consequentemente, uma perda de calor a partir da parede do tubo é pequena e, desse modo, o efeito disso é depois elevado.

10 (d) É preferível que o gás de preaquecimento injetado a partir da parte de injeção A do gás não contenha oxigênio (gás oxigênio como O₂, o mesmo será constatado doravante) ou tem uma baixa concentração de oxigênio. Isto é porque se o gás de preaquecimento contém oxigênio, óxido de ferro (Fe₃O₄, FeO), o qual é reduzido no forno, é reoxidado. Neste aspecto, 15 a combustão do gás e dispositivo de injeção a exhibe uma alta eficiência de utilização de oxigênio porque uma chama estável é formada na câmara de combustão 1. Em particular, a câmara de combustão 1 chega a um estado pressurizado e, desse modo, a eficiência de utilização do oxigênio pode ser depois aumentada, de forma que a combustão estável pode ser executada 20 com uma quantidade de oxigênio menor do que a quantidade de oxigênio teórica. Consequentemente, um gás de preaquecimento que não contém oxigênio ou que tem uma concentração de oxigênio muito baixa pode ser injetado no forno.

(e) Uma chama estável é formada na câmara de combustão 1, 25 de forma que as variações na temperatura do gás de preaquecimento (gás de combustão) injetado no forno são reduzidas e as temperaturas do gás do alto-forno a partir da parte inferior do forno e os materiais carregados que descem a partir da parte superior do forno podem ser elevados sem variações.

30 Geralmente, um sensor 26A para medir a composição, a temperatura, a pressão, e similares do gás do alto-forno é disposto na trajetória de fluxo 28 para levar o gás de alto-forno ao elevador 25, e um sensor 26B para

medir a pressão e a temperatura dentro do forno é disposto nas proximidades da parte de injeção A do gás. Em base dos valores de medida com estes sensores 26A e 26B, a pressão do gás a qual é aumentada pelos elevadores 25a e 26b, a quantidade de gás de suporte à combustão injetado na combustão do gás e dispositivo de injeção a, a quantidade de hidrogênio e similares são controladas.

A injeção do gás de preaquecimento a partir da parte de injeção A do gás pode ser executada constantemente, ou ser executada apenas no caso onde a temperatura do gás recolhido no topo do forno é diminuída. No último caso, por exemplo, a temperatura do gás recolhido no topo do forno é medida com o sensor, e no caso onde a temperatura do gás recolhido no topo do forno se torna mais baixa ou igual a uma temperatura predeterminada (por exemplo, 110 °C ou mais baixa), o gás de preaquecimento é injetado a partir da parte de injeção A do gás.

A temperatura do gás de preaquecimento injetado a partir da parte de injeção A do gás não fica especificamente limitada. Entretanto, se a temperatura do gás de preaquecimento é mais baixa do que a temperatura do gás no forno na posição de injeção, o lado de dentro do forno é, ao contrário, resfriada. Portanto, é preferível que a temperatura do gás de preaquecimento seja mais alta do que a temperatura do gás no forno na posição de injeção e, em geral, 500 °C ou mais alta, preferivelmente 800 °C ou mais alta é desejável.

A quantidade de injeção do gás de preaquecimento não fica especificamente limitada à extensão de a quantidade de injeção do gás poder manter a temperatura do gás recolhido no topo do forno a 100 °C ou mais alta em geral.

A posição de instalação da parte de injeção A do gás na direção de altura do forno (posição de injeção do gás de preaquecimento) é preferivelmente de parte média a parte superior do cubo. Em particular, quando o raio de garganta é representado por R0, a posição a uma profundidade de R0 a partir do nível superior da carga é representada por p1, e a posição a uma altura a partir da extremidade inferior da parte de cubo de um terço da

altura total da parte de cubo é representada por p2, é preferível que a parte de injeção A do gás seja instalada entre a posição p1 e a posição p2 na direção de altura do forno e o gás de preaquecimento é injetado a partir desta parte de injeção A do gás. Se a posição de injeção do gás de preaquecimento é rasa demais (a posição é alta demais), a carga de um leito empacotado com matéria-prima é pequena, de forma que a fluidização ou agitação da matéria-prima ocorre e a estabilidade na descida da matéria-prima pode ser reduzida. Por outro lado, se a posição de injeção do gás de preaquecimento é profunda demais (a posição é baixa demais), uma zona de suavização-fusão dentro do forno pode ser alcançada de modo desfavorável.

O número de instalação e a forma de instalação das partes de injeção A do gás dentro da direção circunferencial do forno não ficam especificamente limitados, embora a instalação em uma pluralidade de lugares em intervalos regulares dentro da direção circunferencial do forno é preferível. Em particular, é preferível que, pelos menos, as partes de injeção A do gás são instaladas em n lugares (onde n é um número par de 4 ou mais) em intervalos regulares dentro da direção circunferencial do forno e dentre as partes acima descritas de injeção A do gás em n lugares, as partes de injeção A do gás utilizadas para injeção do gás de preaquecimento são selecionadas em intervalos regulares dentro da direção circunferencial do forno de acordo com a quantidade de injeção total. Neste caso, o número de instalação das partes de injeção A do gás em intervalos regulares é 4, 8, 16, 32, 64 e similares. Nesse aspecto, em equipamento real, pode ser difícil instalar as partes de injeção A do gás em intervalos exatamente regulares dentro da direção circunferencial do forno por conta do relacionamento com a estrutura de resfriamento do corpo de forno e similares e, portanto, o desvio da posição de instalação de certa forma é aceitável.

De acordo com a presente invenção, um gás de alto-forno que tem um baixo valor calorífico e que é capaz de ser introduzido a partir de um lugar de alcance próximo é utilizado como o gás combustível da combustão do gás e dispositivo de injeção a. Mais que tudo, pode ser dito que particularmente a modalidade preferível é tomar uma parte de um gás de alto-forno

descarregado a partir da parte superior do forno a partir de uma posição apropriada de uma trajetória de fluxo a fim de utilizar como um gás combustível a partir do ponto de vista de utilização efetiva de energia (o calor sensível do gás pode ser utilizado como é) e, além disso, a partir do ponto de vista do equipamento. Além do mais, conforme o gás de alto-forno, um gás de alto-forno tomado a partir do lado a jusante de um gás que limpa o aparelho (o coletor de poeira 22, o separador de neblina 23), um gás de alto-forno tomado entre a parte superior do forno e o aparelho de limpeza de gás, um gás de alto-forno armazenado e um botijão de gás e similares podem ser utilizados.

EXEMPLOS

EXEMPLO 1

Um aparelho de teste de queimador de combustão que tem uma estrutura mostra na figura 8 foi utilizado e um teste de combustão foi executado sob a condição mostrada na Tabela 2 mediante a utilização de um gás de alto-forno que contém hidrogênio adicionado e um gás de suporte à combustão (ar). Com respeito à câmara de combustão deste aparelho de teste, o diâmetro interno era igual a 50 mm, o comprimento total era igual a 300 mm, uma abertura para injetar o gás combustível (fenda de bocal) disposta na superfície de parede interna disso tinha um comprimento de 48 mm e uma largura de 5 mm, e uma abertura similar para injetar o gás de suporte à combustão (fenda de bocal) tinha um comprimento de 31 mm e uma largura de 5 mm.

Os testes de combustão foram executados mediante a utilização de um gás de alto-forno em uma operação correspondente a RAR 443 kg/t como um gás combustível no exemplo comparativo 1 e mediante a utilização de um gás de alto-forno em uma operação correspondente a RAR 446 kg/t como um gás combustível no Exemplo comparativo 2. Enquanto isso, nos Exemplos de invenção 1, 3 e 4, um gás de alto-forno em uma operação que corresponde a RAR 443 kg/t foi utilizado como o gás combustível, o hidrogênio foi adicionado a isto, e o teste de combustão foi executado. Além do mais, no Exemplo de invenção 2, a gás de alto-forno em uma operação que

corresponde a RAR 446 kg/t foi utilizado como o gás combustível, o hidrogênio foi adicionado a isto, e o teste de combustão foi executado. Em cada caso, o ar foi abastecido a 30 Nm³/h de gás de alto-forno (nos Exemplos de invenção, um gás de alto-forno misturado com hidrogênio).

5 Com respeito a este teste de combustão, a estabilidade de combustão foi avaliada com base nos seguintes critérios.

O: Não houve pulsação de chama e a combustão foi estável enquanto seguia flutuações em pressão (excelente)

10 Δ: Houve pulsação de chama, mas a exposição de chama não foi observada (bom)

x: Houve pulsação de chama e a exposição de chama devido a flutuações em pressão foi observada (inaceitável)

Os resultados disso são mostrados na tabela 2 junto com as condições de teste. De acordo com as mesmas, com respeito a cada um dos Exemplos de invenção, a combustão estável foi realizada. Em particular, no caso onde o hidrogênio foi adicionado de tal forma que a temperatura da chama adiabática passou para 750 °C ou mais alta, combustão muito estável foi realizada.

[Tabela 6]

Tabela 6

	Exemplo de Invenção 1	Exemplo de Invenção 2	Exemplo de Invenção 3	Exemplo de Invenção 4	Exemplo Com-parativo 1	Exemplo Com-parativo 2
Composição de gás combustí-vel *1	N ₂ (vol%)	51,8	49,2	52,6	52,8	52,7
	CO ₂ (vol%)	26,3	26,0	25,1	26,8	26,5
	CO (vol%)	17,8	18,3	17,0	18,1	18,6
	H ₂ (vol%)	4,2	4,0	8,8	2,4	2,1
Valor calorífico (kcal/Nm ³)	664	671	779	621	612	628
Relação de ar (-)	0,7	0,65	0,7	0,7	0,7	0,65
Quantidade de gás combustível *2 (Nm ³ /h) *2	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Quantidade de ar (Nm ³ /h)	11,1	10,4	13,0	10,4	10,2	9,7
Temperatura da Chama adiabática (°C)	784	758	861	752	746	727
Estabilidade de combustão	O	O	O	Δ	x	x

*1 No caso do exemplo da invenção, a composição do gás após a mistura com o hidrogênio

*2 No caso do exemplo da invenção, a quantidade de gás após a mistura com o hidrogênio

EXEMPLO 2

Os aparelhos de teste de queimadores de combustão incluindo o diferente número de tubos de bocal que constituem o bocal de gás para o gás combustível e o gás de suporte à combustão foram utilizados, e um teste de combustão foi executado sob a condição mostrada na Tabela 3 mediante a utilização de um gás combustível (gás misturado com hidrogênio de alto-forno) e um gás de suporte à combustão (ar). Neste ponto, o queimador de combustão no qual cada bocal de gás é formado a partir de um (único) tubo de bocal é um queimador que inclui bocais de gás que têm uma estrutura como na modalidade mostrada na figura 23 e figura 24 e o queimador de combustão no qual cada bocal de gás é formado a partir de uma pluralidade de tubos de bocal é um queimador que inclui bocais de gás que têm uma estrutura como na modalidade mostrada na figura 26 até a figura 29.

Com respeito à câmara de combustão de cada queimador de combustão, o diâmetro interno era igual a 50 mm, o comprimento total era igual a 700 mm, o número de tubos de bocal que constituem cada bocal de gás para o gás combustível e o bocal de gás para o gás de suporte à combustão era 5 quanto ao Exemplo de teste 1, 4 quanto ao exemplo de teste 2, 2 quanto ao exemplo de teste 3, 1 quanto ao exemplo de teste 4, 4 quanto ao exemplo de teste 5, e 2 quanto ao exemplo de teste 6.

Com respeito aos queimadores de combustão utilizados nos Exemplos de teste de 1 a 4, o diâmetro interno do tubo de bocal que constituía o bocal de gás para injetar o gás combustível era de 10 mm e o diâmetro interno do tubo de bocal que constituía o bocal de gás para injetar o gás de suporte à combustão similar era de 10 mm. Com respeito ao queimador de combustão utilizado no Exemplo de teste 5, o diâmetro interno do tubo de bocal que constituía o bocal de gás para injetar o gás combustível era de 6 mm e o diâmetro interno do tubo de bocal que constituía o bocal de gás para injetar o gás combustível similar era de 6 mm. Com respeito ao queimador de combustão utilizado no Exemplo de teste 6, o diâmetro interno do tubo de bocal que constituía o bocal de gás para injetar o gás combustível era de 10 mm e o diâmetro interno do tubo de bocal que constituía o bocal de gás para

injetar o gás combustível similar era de 10 mm.

Um gás de alto-forno (gás misturado com hidrogênio de alto-forno) utilizado como o gás combustível tinha uma composição de gás CO: 22 por cento, em volume, CO₂: 21 por cento, em volume, H₂: 5 por cento, em volume, e N₂: 52 por cento, em volume e um valor calorífico de 792 kcal/Nm³. Relativo a 30 Nm³/h deste gás combustível, 19.5 Nm³/h de ar que serviu como um gás de suporte à combustão foi abastecido de tal forma que a quantidade de oxigênio teórica passou para 1. A pressão dentro do forno do forno de teste aplicado foi de 245 kPa.

No exemplo de Teste 6, um queimador de combustão em que um bocal de gás (diâmetro interno 20 mm) para um gás diluente foi disposto na posição 500 mm na direção do eixo geométrico do queimador a partir do centro da posição de injeção do gás de suporte a gás combustível foi usado, e 33,8 Nm³/h de gás diluente (gás de alto-forno) foi fornecido de forma que a temperatura do gás de escape de combustão liberado da câmara de combustão se torna 800°C. O teor de CO (gás de redução) na composição do gás de combustão se torna 10,3 por cento por volume por adição do gás diluente.

Nos exemplos de Teste 1 a 6, a observação do interior da câmara de combustão (observação através de um vidro de visualização mostrado na figura 31) e análise da composição de gás do gás de escape de combustão foram realizados, e o estado de combustão foi avaliado com base nos seguintes critérios. Os resultados então são mostrados na Tabela 3 juntamente com a configuração do bocal de gás, a taxa de fluxo de gás, o número de turbilhonamento Sw, a composição do gás de combustão (no exemplo de Teste 6, a composição do gás após a adição do gás diluente), e similares.

x: A pulsação foi observada no estado de combustão e uma quantidade significativa de CO não queimado foi medida.

O: A combustão estável continuou e o CO não queimado foi dificilmente medido (onde a concentração de CO no exemplo de Teste 6 foi devida a mistura com o gás diluente).

Tabela 7

	Exemplo de Teste1	Exemplo de Teste2	Exemplo de Teste3	Exemplo de Teste4	Exemplo de Teste5	Exemplo de Teste6
O número de tubos de bocal de bocal de gás	Gás combustível (-)	4	2	1	4	2
	Gás de suporte a gás (-)	4	2	1	4	2
Taxa de fluxo de gás	Gás combustível (m/s)	6,1	7,6	15,2	30,3	21,1
	Gás de suporte à gás (m/s)	3,9	4,9	9,8	19,6	13,6
Número de turbilhonamento (-)		2,6	3,3	6,6	13,1	9,1
	N ₂ (vol%)	70,6	70,6	70,6	70,6	70,6
	CO ₂ (vol%)	29,4	29,4	29,4	29,3	29,4
Composição do gás de combustão (em base seca)	CO (vol)	1.800	0	0	3.100	30
	H ₂ (vol%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	O ₂ (vol%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Temperatura do gás de escape de combustão (°C)	1.150	1.198	1.198	1.120	1.190	800
Avaliação de estado de combustão	x	0	0	x	0	0

*1 concentração de CO no exemplo de Teste 6 é expressa em %

EXEMPLO 3

Com relação ao alto-forno que tem um volume em um forno de 5.000 m³, a presente invenção foi executada de acordo com a modalidade mostrada na figura 30 com uso do dispositivo de injeção e combustão de gás a conforme mostrado na figura 23 e figura 24. A condição de operação foi especificada para ser a quantidade de injeção de carvão pulverizado: 130 kg/t, a razão de coque: 320 kg/t, e a temperatura de sopro: 1.150°C (umidade: 10 g/Nm), e coque de alta reatividade foi usado. Um gás de alto-forno (CO: 17,7 por cento por volume, CO₂: 23,1 por cento por volume, H₂: 2,4 por cento por volume, H₂O: 3,6 por cento por volume, e N₂: 53,2 por cento por volume) tomado do lado a jusante do aparelho de geração de força de gás da parte superior do forno 24 foi pressurizado com um elevador 25a a um pressão de 0,2 atm mais alta que a pressão no forno e foi introduzido como um gás combustível no dispositivo de injeção e combustão de gás a que constitui uma porção de injeção de gás A. Nesse momento, hidrogênio foi adicionado ao gás de alto-forno de tal forma que a concentração de hidrogênio se torna 4,0 por cento por volume, de forma a produzir um gás de alto-forno misturado com hidrogênio. Além disso, o ar foi pressurizado com um elevador 25b e foi introduzido como um gás de suporte à combustão no dispositivo de injeção e combustão de gás a.

No aparelho de injeção de combustão a, a combustão de 100 Nm³/t de gás de alto-forno misturado com hidrogênio foi realizada com 37,8 Nm³/t de ar, de forma a gerar um gás de combustão a 800°C, e o gás de combustão foi injetado como um gás de preaquecimento no forno. A razão de oxigênio no dispositivo de injeção e combustão de gás a foi de 0,736 (relativa à quantidade teórica de oxigênio). A composição do gás de preaquecimento foi CO: 3,5 por cento por volume, CO₂: 27,3 por cento por volume, H₂: 0,8 por cento por volume, H₂O: 5,0 por cento por volume, e N₂: 63,3 por cento por volume. A temperatura do gás na parte superior do forno se torna 149°C injetando-se o gás de preaquecimento acima descrito, a condensação de umidade no tubo foi evitada completamente na operação de alto-forno, e uma operação estável foi habilitada para ser realizada. No caso em que o

gás de preaquecimento não é injetado, o resultado do cálculo com base no balanço de massa e calor é 97°C.

EXEMPLO 4

Com relação a um alto-forno que tem um volume em um forno
5 de 5.000 m³, a presente invenção foi executada de acordo com a modalida-
de mostrada na figura 8 com uso do dispositivo de injeção e combustão de
gás a conforme mostrado na figura 26 a figura 29. A condição de operação
de alto-forno foi especificada para ser a mesma que no Exemplo 3. Um gás
de alto-forno (CO: 17,7 por cento por volume, CO₂: 23,1 por cento por volume,
10 H₂: 2,4 por cento por volume, H₂O: 3,6 por cento por volume, e N₂: 53,2 por-
cento por volume) tomado do lado a jusante do aparelho de geração de força
de gás da parte superior do forno 24 foi pressurizado com um elevador 25a a
uma pressão de 0,2 atm mais alta que a pressão no forno e foi introduzido
como um gás combustível no dispositivo de injeção e combustão de gás a
15 que constitui uma porção de injeção de gás A. Naquele momento, hidrogênio
foi adicionado ao gás de alto-forno de tal forma que a concentração de hi-
drogênio se torna 4,0 por cento por volume, de forma a produzir um gás de
alto-forno misturado com hidrogênio. Além disso, o ar foi pressurizado com
um elevador 25b e foi introduzido como gás de suporte à combustão no dis-
20 positivo de injeção e combustão de gás a.

No aparelho de injeção de combustão a, a combustão de 73,6
Nm³/t de gás de alto-forno misturado com hidrogênio foi realizada com 37,8
Nm³/t de ar (razão de oxigênio 1.0) e, em adição, 26,4 Nm³/t de gás diluente
(BFG) foi fornecido na câmara de combustão, de forma a gerar um gás de
25 combustão a 800°C. O gás de combustão foi injetado como um gás de prea-
quecimento no forno. A composição do gás de preaquecimento foi a mesma
que no Exemplo 3. A temperatura do gás na parte superior do forno se torna
147°C injetando-se o gás de preaquecimento acima descrito, a condensação
de umidade no tubo foi evitada completamente na operação de alto-forno, e
30 uma operação estável foi capaz de ser realizada. No caso em que o gás de
preaquecimento não é injetado, o resultado do cálculo com base no balanço
de massa e calor é 97°C.

Lista de Sinais de Referência

	1	câmara de combustão
	2a, 2b, 2c ₁ , 2c ₂	abertura
	3a, 3b, 3c ₁ , 3c ₂	bocal de gás
5	4	câmara de misturação
	5	tubo de fornecimento de gás combustível
	6	tubo de fornecimento de hidrogênio
	7	tubo de fornecimento de gás de suporte à combustão
	8, 9, 10	válvula de controle de taxa de fluxo,
10	11	medidor de fluxo
	12	detector de estado de combustão
	13	plugue de ignição
	14	bocal de gás
	15	abertura
15	16	porta de injeção de gás
	17a a 17d	grupo de portas de injeção de gás
	18	tubo de subida
	19	tubo de conexão
	20	alto-forno,
20	21	ventaneira
	22	coletor de poeira,
	23	separador de névoa
	24	aparelho de geração de força de gás do topo do forno
	25a, 25b	elevador (de pressão)
25	26 _A , 26 _B	sensor
	27, 28	trajetória de fluxo
	100	superfície de parede interna
	103	porta de injeção
	104	tubo de conexão
30	140	tubo de bocal
	150	abertura

REIVINDICAÇÕES

1. Método de operação de alto-forno, que compreende soprar ar ou ar enriquecido com oxigênio em um alto-forno a partir de uma ventaneira, caracterizado por compreender:

- 5 formar uma porção de injeção de gás (A) que tem um dispositivo de injeção e combustão de gás (a), o dispositivo de injeção e combustão de gás (a) tendo uma câmara de combustão, uma extremidade anterior aberta da câmara de combustão estando em comunicação com um interior do alto-forno;
- 10 formar uma abertura em uma superfície de parede lateral de uma câmara de combustão tubular para injetar um gás combustível e um gás de suporte à combustão ou para injetar um gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à combustão de forma que um fluxo de gás de turbilhonamento gera na câmara de combustão; e
- 15 injetar um gás de combustão, que serve como um gás de preaquecimento, do dispositivo de injeção e combustão de gás (a) no alto-forno, de forma a injetar o gás de preaquecimento no alto-forno a partir da porção de injeção de gás (A) disposta em uma porção de cubo; e
- fornecer um gás diluente para dentro da câmara de combustão
- 20 do dispositivo de injeção e combustão de gás (a), o gás diluente inclui pelo menos um tipo de CO e H₂, dilui o gás de combustão, e ajusta pelo menos um dentre a temperatura do gás e a composição do gás.

2. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender:

- 25 formar uma porção de injeção de gás (A) que compreende um dispositivo de injeção e combustão de gás (a), o dispositivo de combustão e injeção de gás (a) tendo uma câmara de combustão, uma extremidade posterior aberta da câmara de combustão estando em comunicação com um interior do alto-forno; e
- 30 formar uma abertura em uma superfície de parede lateral de uma câmara de combustão tubular para injetar um gás combustível e um gás de suporte à combustão ou para injetar um gás pré-misturado do gás

combustível e do gás de suporte à combustão aproximadamente na direção tangencial da superfície de parede lateral de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhonamento gera na câmara de combustão.

5 3. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o gás combustível fornecido ao dispositivo de injeção e combustão de gás (a) é um gás de alto-forno.

10 4. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que um bocal de gás para fornecer cada um dentre um gás combustível e um gás de suporte à combustão ou um bocal de gás para fornecer um gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à combustão na câmara de combustão através da abertura disposta na superfície de parede lateral da câmara de combustão compreende uma pluralidade de tubos de bocal disposto em paralelo na direção do eixo geométrico do dispositivo de injeção e combustão de gás (a).

15 5. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que um fluxo de gás na câmara de combustão do dispositivo de injeção e combustão de gás (a) tem um número de turbilhonamento Sw de 3 a 10.

20 6. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a extremidade anterior da câmara de combustão do dispositivo de injeção e combustão de gás (a) está em comunicação com o interior do alto-forno através de um conduto de gás.

25 7. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que
o conduto de gás é um tubo de subida,
o tubo de subida é conectado a uma pluralidade de portas de injeção de gás dispostas no corpo do forno através de tubos de conexão, e
o tubo de subida é conectado à extremidade anterior da câmara de combustão do dispositivo de injeção e combustão de gás (a).

30 8. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a injeção do gás de combustão no alto-forno compreende:

usar um gás que tem um valor calorífico de 1.000 kcal/Nm³, ou menos, como o gás combustível;

adicionar hidrogênio ao gás combustível antes da injeção na câmara de combustão ou/e o gás combustível após a injeção na câmara de combustão e queimar o gás combustível com hidrogênio adicionado; e

injetar o gás de combustão como um gás de preaquecimento no alto-forno.

9. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que o gás combustível é um gás combustível que contém CO, e o hidrogênio é adicionado de forma que a temperatura de chama adiabática do gás combustível se torne 750°C ou mais.

10. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que o gás combustível e o gás de suporte à combustão ou o gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte à combustão é injetado a partir de uma pluralidade de tubos de bocal dispostos na direção do eixo geométrico do dispositivo de injeção e combustão de gás (a)

11. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que o gás combustível é um gás de alto-forno.

12. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por compreender:

usar o dispositivo de injeção e combustão de gás (a) fornecido com outra abertura na superfície de parede lateral da câmara de combustão, a outra abertura sendo usada para injetar um gás de tal forma a gerar um fluxo de gás de turbilhonamento na câmara de combustão;

injetar hidrogênio na câmara de combustão a partir da outra abertura.

13. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por compreender:

usar o dispositivo de injeção e combustão de gás (a) ademais fornecido com outra abertura na superfície de parede lateral da câmara de

combustão, a outra abertura sendo usada para injetar um gás aproximadamente na direção tangencial da superfície de parede lateral para gerar um fluxo de gás de turbilhonamento na câmara de combustão; e

injetar hidrogênio na câmara de combustão a partir da abertura.

5 14. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 12 ou 13, caracterizado pelo fato de que um bocal de gás para fornecer hidrogênio na câmara de combustão através da outra abertura disposta na superfície de parede lateral da câmara de combustão compreende uma pluralidade de tubos de bocal dispostos em paralelo na direção do eixo geométrico do aparelho.

10 15. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que o número de turbilhonamento Sw de um fluxo de gás na câmara de combustão do dispositivo de injeção e combustão de gás (a) é especificado para ser 3 a 10.

15 16. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por compreender:

fornecer um gás diluente para diluir o gás de combustão e ajustar a temperatura do gás ou/e a composição do gás na câmara de combustão do dispositivo de injeção e combustão de gás (a).

20 17. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a injeção do gás de combustão no alto-forno compreende:

usar um gás de alto-forno como o gás combustível;

25 adicionar hidrogênio ao gás combustível antes da injeção na câmara de combustão ou/e ao gás combustível após a injeção na câmara de combustão e queimar o gás combustível com hidrogênio adicionado; e

injetar o gás de combustão e o gás de preaquecimento no alto-forno.

30 18. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que o gás combustível é um gás de alto-forno, e o hidrogênio é adicionado de tal forma que a temperatura da chama adiabática do gás combustível se torne 750°C ou mais.

19. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que o bocal de gás para fornecer um gás combustível e um gás de suporte à combustão ou o bocal de gás para fornecer um gás pré-misturado do gás combustível e o gás de suporte à combustão na câmara de combustão através da abertura disposta na superfície de parede lateral da câmara de combustão compreende uma pluralidade de tubos de bocal disposta em paralelo à direção do eixo geométrico do aparelho.

20. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado por compreender:

usar o dispositivo de injeção e combustão de gás (a) ainda fornecido com outra abertura na superfície de parede lateral da câmara de combustão é usado, a outra abertura sendo usada para injetar um gás aproximadamente na direção tangencial da superfície de parede lateral de tal forma que gere um fluxo de gás de turbilhonamento na câmara de combustão; e

injetar hidrogênio na câmara de combustão a partir da abertura.

21. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado por compreender:

usar o dispositivo de injeção e combustão de gás (a) ainda fornecido com outra abertura na superfície de parede lateral da câmara de combustão é usado, a outra abertura sendo usada para injetar um gás aproximadamente na direção tangencial da superfície de parede lateral de tal maneira que gere um fluxo de gás de turbilhonamento na câmara de combustão; e

injetar hidrogênio na câmara de combustão a partir da abertura.

22. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que um bocal de gás para fornecer hidrogênio na câmara de combustão através da outra abertura disposta na superfície de parede lateral da câmara de combustão compreende uma pluralidade de tubos de bocal disposta em paralelo no eixo geométrico do aparelho.

23. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que o número de turbilhonamento Sw de um fluxo de gás na câmara de combustão do dispositivo de injeção e combustão de gás (a) é especificado para ser 3 a 10.

5 24. Método de operação de alto-forno, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado por compreender:

fornecer um gás diluente para diluir o gás de combustão e ajustar a temperatura do gás ou/e a composição do gás na câmara de combustão do dispositivo de injeção e combustão de gás (a).

10 25. Usina de alto-forno, em que ar ou ar enriquecido com oxigênio é soprado a partir de uma ventaneira, caracterizada pelo fato de que uma porção de injeção de gás (A) é disposta em uma porção de cubo;

15 a porção de injeção de gás (A) compreende um dispositivo de injeção e combustão de gás (a) que tem uma câmara de combustão, uma extremidade anterior aberta da câmara de combustão está em comunicação com um interior do alto-forno;

20 o dispositivo de injeção e combustão de gás (a) compreende um dispositivo para fornecer um gás diluente que inclui pelo menos um tipo dentre CO e H₂ para diluir o gás de combustão e ajustar pelo menos um dentre a temperatura do gás e a composição do gás, na câmara de combustão;

25 uma abertura é formada em uma superfície de parede lateral de uma câmara de combustão tubular para injetar um gás combustível e um gás de suporte à combustão ou para injetar um gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à combustão de tal forma que um fluxo de gás de turbilhonamento gera na câmara de combustão;

um gás de combustão do dispositivo de injeção e combustão de gás (a) é injetado no alto-forno.

30 26. Usina de alto-forno, de acordo com a reivindicação 25, caracterizada pelo fato de que

a porção de injeção de gás (A) é formada a partir dispositivo de injeção e combustão de gás (a) em que uma abertura para injetar cada um

dentre um gás combustível e um gás de suporte à combustão ou para injetar um gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à combustão perto na direção tangencial da superfície de parede lateral de tal forma que um fluxo de gás de turbilhonamento ocorra na câmara de combustão é formado na superfície de parede lateral da câmara de combustão tubular que
5 tem uma extremidade aberta e uma extremidade da câmara de combustão está em comunicação com o interior do alto-forno.

27. Usina de alto-forno, de acordo com a reivindicação 25, caracterizada por compreender uma trajetória de fluxo para tomar uma porção de um gás de alto-forno de uma trajetória de fluxo do gás de alto-forno eliminado da porção superior do forno do alto-forno e fornecer para o dispositivo de injeção e combustão de gás (a).
10

28. Usina de alto-forno, de acordo com a reivindicação 25, caracterizada por compreender um elevador para pressurizar cada um dentre o gás combustível e o gás de suporte à combustão fornecidos ao dispositivo de injeção e combustão de gás (a) ou pressurizar o gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à combustão.
15

29. Usina de alto-forno, de acordo com a reivindicação 25, caracterizado pelo fato de que com relação ao dispositivo de injeção e combustão de gás (a), um bocal de gás para fornecer cada um dentre um gás combustível e um gás de suporte à combustão ou um bocal de gás para fornecer um gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à combustão na câmara de combustão através da abertura disposta na superfície de parede lateral da câmara de combustão compreende uma pluralidade de tubos de bocal dispostos em paralelo no eixo geométrico do aparelho.
20
30. Usina de alto-forno, de acordo com a reivindicação 25, caracterizada pelo fato de que a extremidade da câmara de combustão do dispositivo de injeção e combustão de gás (a) está em comunicação com o interior do alto-forno através do conduto de gás.
25

31. Usina de alto-forno, de acordo com a reivindicação 30, caracterizada pelo fato de que o conduto de gás é um tubo de subida e o tubo de subida é conectado a uma pluralidade de portas de injeção de gás dispostos no corpo do forno através dos tubos de conexão e, em adição, é co-
30

nectado à extremidade da câmara de combustão do dispositivo de injeção e combustão de gás (a).

32. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo com uso de um queimador de combustão, caracterizado por compreender:

5 adicionar hidrogênio a um gás combustível antes da injeção na câmara de combustão ou/e um gás combustível após a injeção na câmara de combustão,

 usar um gás que tem um valor calorífico de 1.000 kcal/Nm³ ou menos como o gás combustível com relação a um queimador de combustão
10 em que uma abertura para injetar cada um dentro o gás combustível e um gás de suporte à combustão ou para injetar um gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à combustão de forma que um fluxo de gás de turbilhonamento ocorra na câmara de combustão é formado na superfície de parede lateral da câmara de combustão tubular que tem uma extremida-
15 de aberta,

 fornecer um gás diluente para dentro da câmara de combustão, o gás diluente inclui pelo menos um tipo de CO e H₂, diluir o gás de combustão e ajustar pelo menos um dentre a temperatura do gás e a composição do gás.

20 33. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo, de acordo com a reivindicação 32, caracterizado pelo fato de que

 a porção de injeção de gás (A) é formada a partir do dispositivo de injeção e combustão de gás (a) em que uma abertura para injetar cada um dentre um gás combustível e um gás de suporte à combustão ou para
25 injetar um gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à combustão perto na direção tangencial da superfície de parede lateral de forma que um fluxo de gás de turbilhonamento ocorra na câmara de combustão é formado na superfície de parede lateral da câmara de combustão tubular que tem uma extremidade aberta e uma extremidade da câmara de
30 combustão está em comunicação com o interior do alto-forno.

34. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo com uso de um queimador de combustão, de acordo com a reivindicação 32, ca-

racterizado pelo fato de que hidrogênio é adicionado a um gás combustível que contém CO de forma que a temperatura da chama adiabática do gás combustível se torne 750°C ou mais alta.

5 35. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo com uso de um queimador de combustão, de acordo com a reivindicação 32, caracterizado pelo fato de que um bocal de gás para fornecer cada um dentre um gás combustível e um gás de suporte à combustão ou um bocal de gás para fornecer um gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à combustão na câmara de combustão através da abertura disposta na su-
10 perfície de parede lateral da câmara de combustão compreende uma pluralidade de tubos de bocal dispostos em paralelo na direção do eixo geométrico do queimador.

36. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo com uso de um queimador de combustão, de acordo com a reivindicação 32, ca-
15 racterizado pelo fato de que o gás combustível é um gás de alto-forno.

37. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo com uso de um queimador de combustão, de acordo com a reivindicação 32, ca-
racterizado pelo fato de que o queimador de combustão fornecido com outra
20 abertura na superfície de parede lateral da câmara de combustão é usado, a outra abertura sendo usada para injetar um gás para gerar um fluxo de gás de turbilhonamento na câmara de combustão, e hidrogênio é injetado na câmara de combustão a partir da abertura.

38. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo com uso de um queimador de combustão, de acordo com a reivindicação 32, ca-
25 racterizado pelo fato de que o queimador de combustão fornecido com outra abertura na superfície de parede lateral da câmara de combustão é usado, a outra abertura sendo usada para injetar um gás perto na direção tangencial da superfície de parede lateral para gerar um fluxo de gás de turbilhonamen-
to na câmara de combustão, e hidrogênio é injetado na câmara de combus-
30 tão a partir da abertura.

39. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo com uso de um queimador de combustão, de acordo com a reivindicação 32, ca-

racterizado pelo fato de que um bocal de gás para fornecer hidrogênio na câmara de combustão através da outra abertura disposta na superfície de parede lateral da câmara de combustão compreende uma pluralidade de tubos de bocal dispostos em paralelo na direção do eixo geométrico do
5 queimador.

40. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo com uso de um queimador de combustão, de acordo com a reivindicação 32, caracterizado pelo fato de que o número de turbilhonamento Sw de um fluxo de gás na câmara de combustão é especificado para ser 3 a 10.

10 41. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo com uso de um queimador de combustão, caracterizado por compreender

usar um queimador de combustão em que uma abertura para injetar cada um dentre um gás combustível e um gás de suporte à combustão ou injetar um gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à
15 combustão de forma que um fluxo de gás de turbilhonamento ocorra na câmara de combustão é formado na superfície de parede lateral da câmara de combustão tubular que tem uma extremidade aberta,

usar um gás de alto-forno como o gás combustível,
adicionar hidrogênio ao gás de alto-forno antes da injeção na
20 câmara de combustão ou/e um gás de alto-forno após a injeção na câmara de combustão,

fornecer um gás diluente para dentro da câmara de combustão, o gás diluente inclui pelo menos um tipo de CO e H_2 , dilui o gás de combustão e ajusta pelo menos um dentre a temperatura do gás e a composição do
25 gás.

42. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo com uso de um queimador de combustão, de acordo com a reivindicação 41, caracterizado pelo fato de que

a porção de injeção de gás (A) é formada a partir do dispositivo
30 de injeção e combustão de gás (a) em que a abertura para injetar cada um dentre um gás combustível e um gás de suporte à combustão ou para injetar um gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à combustão

perto na direção tangencial da superfície de parede lateral de tal maneira que um fluxo de gás de turbilhamento ocorra na câmara de combustão é formado na superfície de parede lateral da câmara de combustão tubular que tem uma extremidade aberta e uma extremidade da câmara de combustão está em comunicação com o interior do alto-forno.

5 43. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo com uso de um queimador de combustão, de acordo com a reivindicação 41, caracterizado pelo fato de que hidrogênio é adicionado a um gás de alto-forno de forma que a temperatura da chama adiabática do gás de alto-forno se torne 750°C ou mais alta.

10 44. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo com uso de um queimador de combustão, de acordo com a reivindicação 41, caracterizado pelo fato de que um bocal de gás para fornecer cada um dentre um gás combustível e um gás de suporte à combustão ou um bocal de gás para fornecer um gás pré-misturado do gás combustível e do gás de suporte à combustão na câmara de combustão através da abertura disposta na superfície de parede lateral da câmara de combustão compreende uma pluralidade de tubos de bocal disposta em paralelo na direção do eixo geométrico do queimador.

15 20 45. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo com uso de um queimador de combustão, de acordo com a reivindicação 41, caracterizado pelo fato de que o queimador de combustão fornecido com outra abertura na superfície de parede lateral da câmara de combustão é usado, a outra abertura sendo usada para injetar um gás de tal maneira que gere um fluxo de gás de turbilhamento na câmara de combustão, e hidrogênio é injetado na câmara de combustão a partir da abertura.

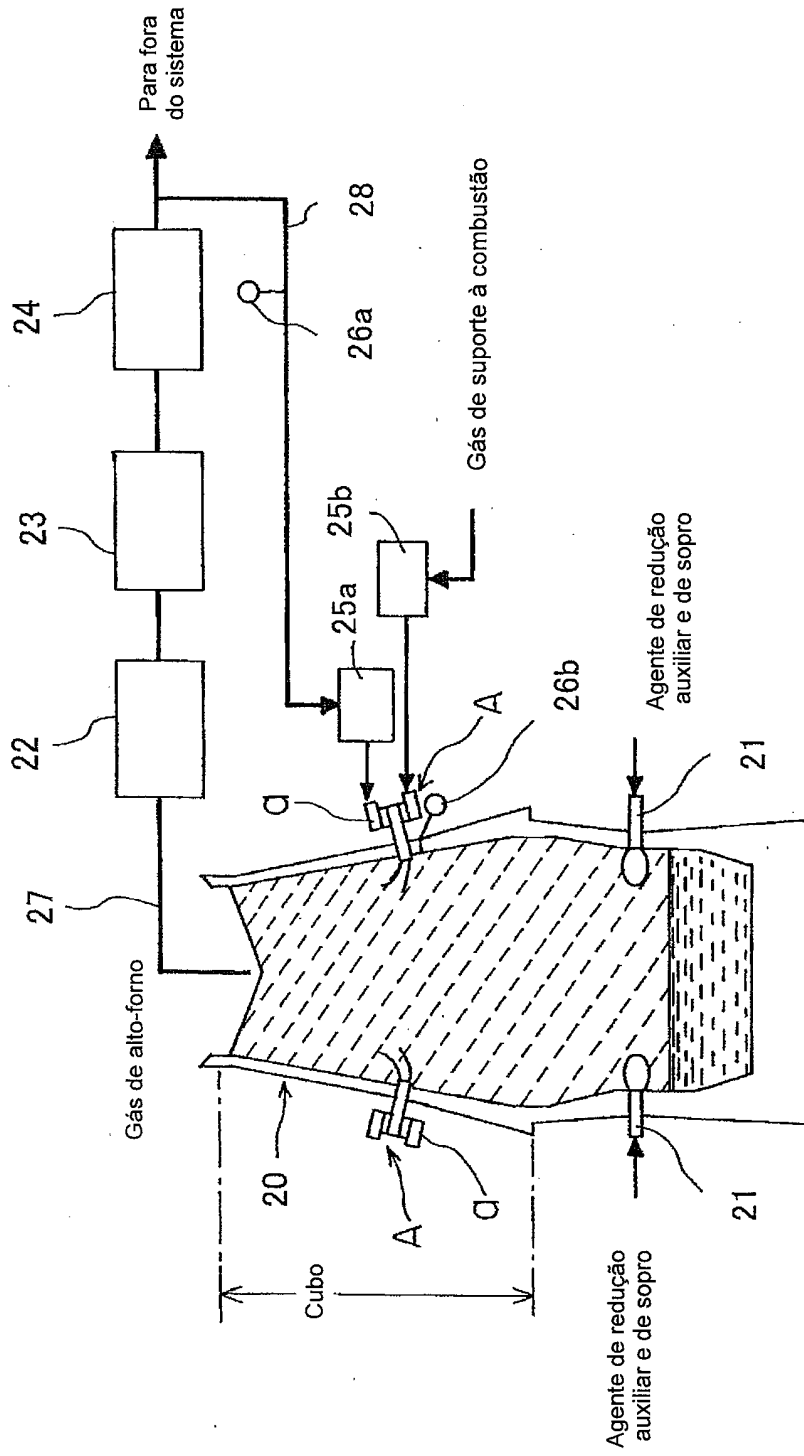
25 30 46. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo com uso de um queimador de combustão, de acordo com a reivindicação 41, caracterizado pelo fato de que o queimador de combustão fornecido com outra abertura na superfície de parede lateral da câmara de combustão é usado, a outra abertura sendo usada para injetar um gás perto na direção tangencial da superfície de parede lateral de tal maneira que gere um fluxo de gás de

turbilhonamento na câmara de combustão, e hidrogênio é injetado na câmara de combustão a partir da abertura.

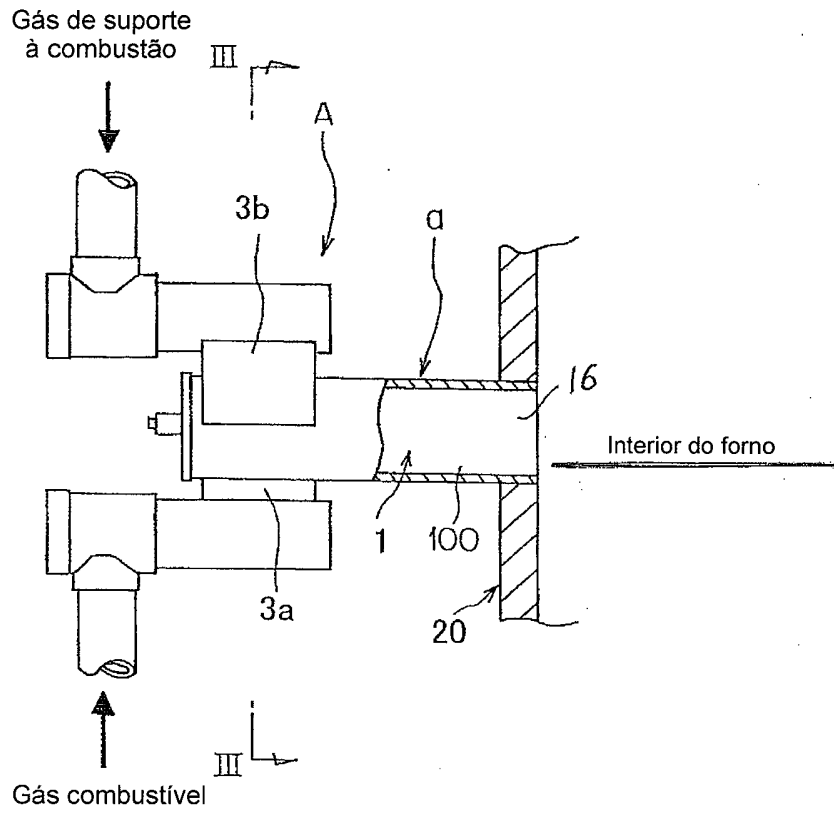
5 47. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo com uso de um queimador de combustão, de acordo com a reivindicação 41, caracterizado pelo fato de que um bocal de gás para fornecer hidrogênio na câmara de combustão através da outra abertura disposta na superfície de parede lateral da câmara de combustão compreende uma pluralidade de tubos de bocal disposta em paralelo na direção do eixo geométrico do queimador.

10 48. Método de combustão de gás de valor calorífico baixo com uso de um queimador de combustão, de acordo com a reivindicação 41, caracterizado pelo fato de que o número de turbilhonamento Sw de um fluxo de gás na câmara de combustão é especificado para ser 3 a 10.

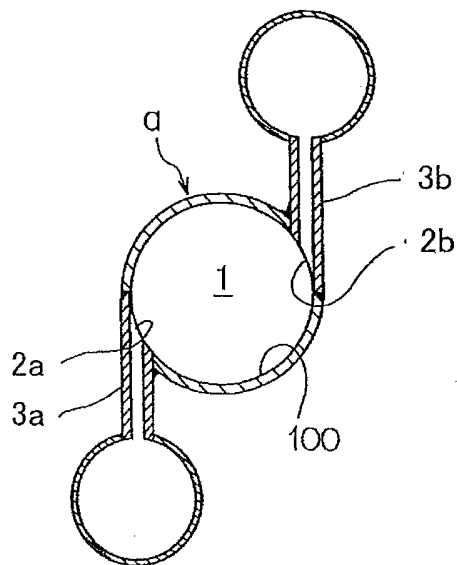
[FIG. 1]



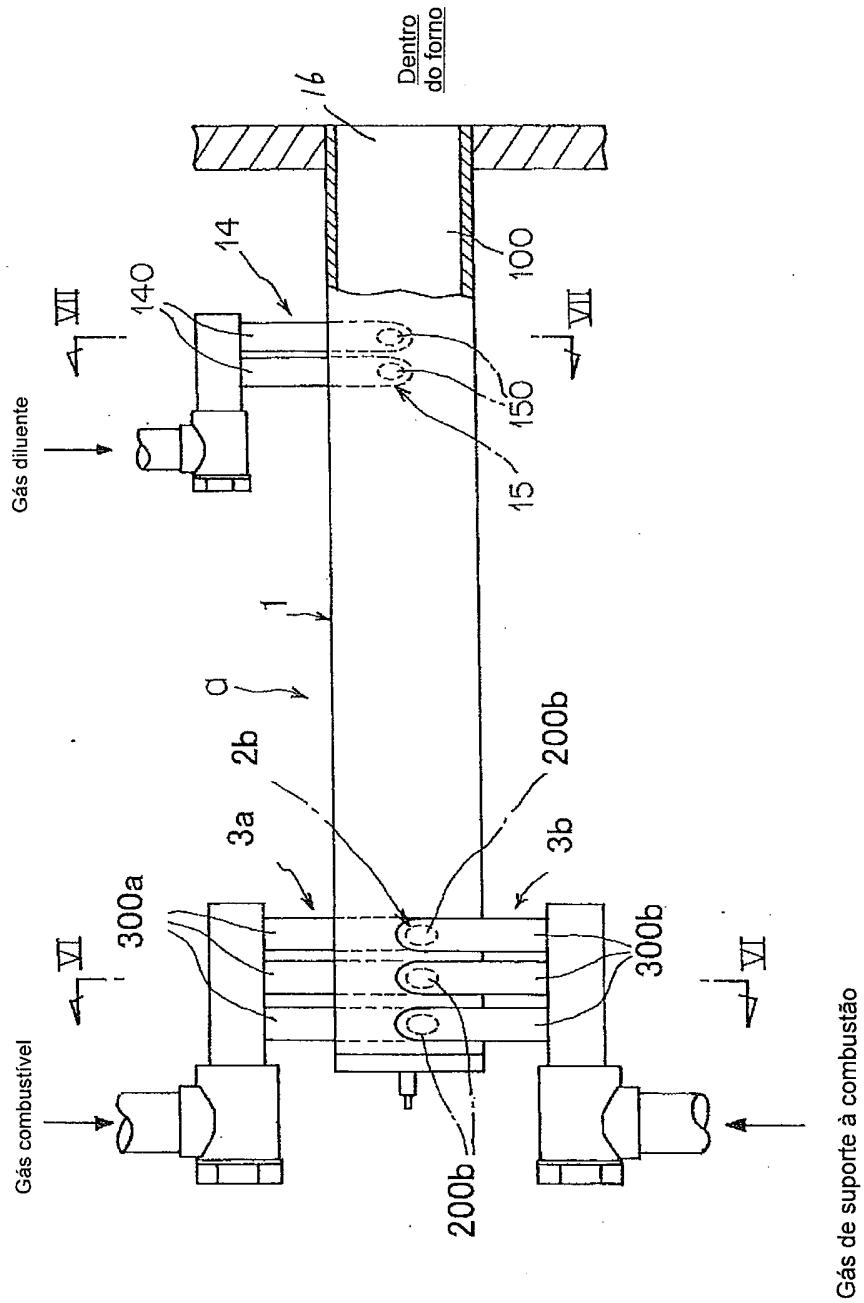
[FIG. 2]



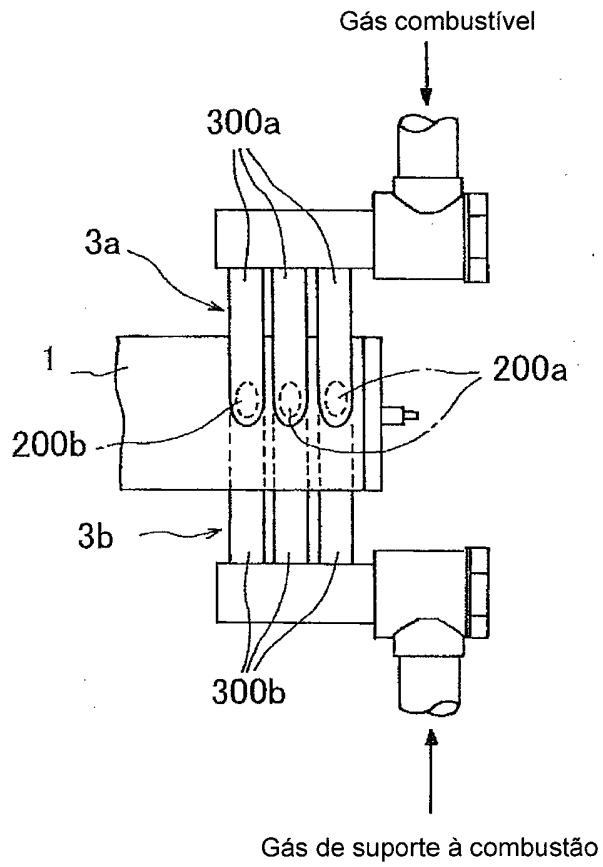
[FIG. 3]



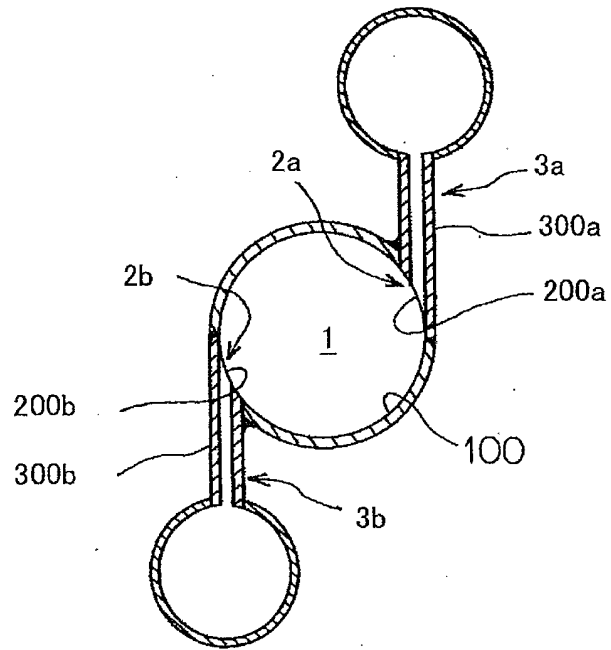
[FIG. 4]



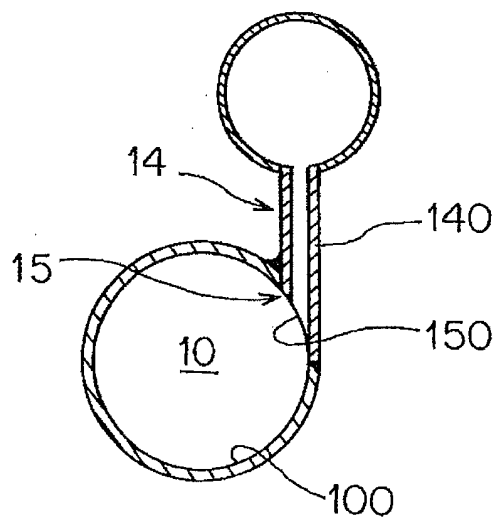
[FIG. 5]



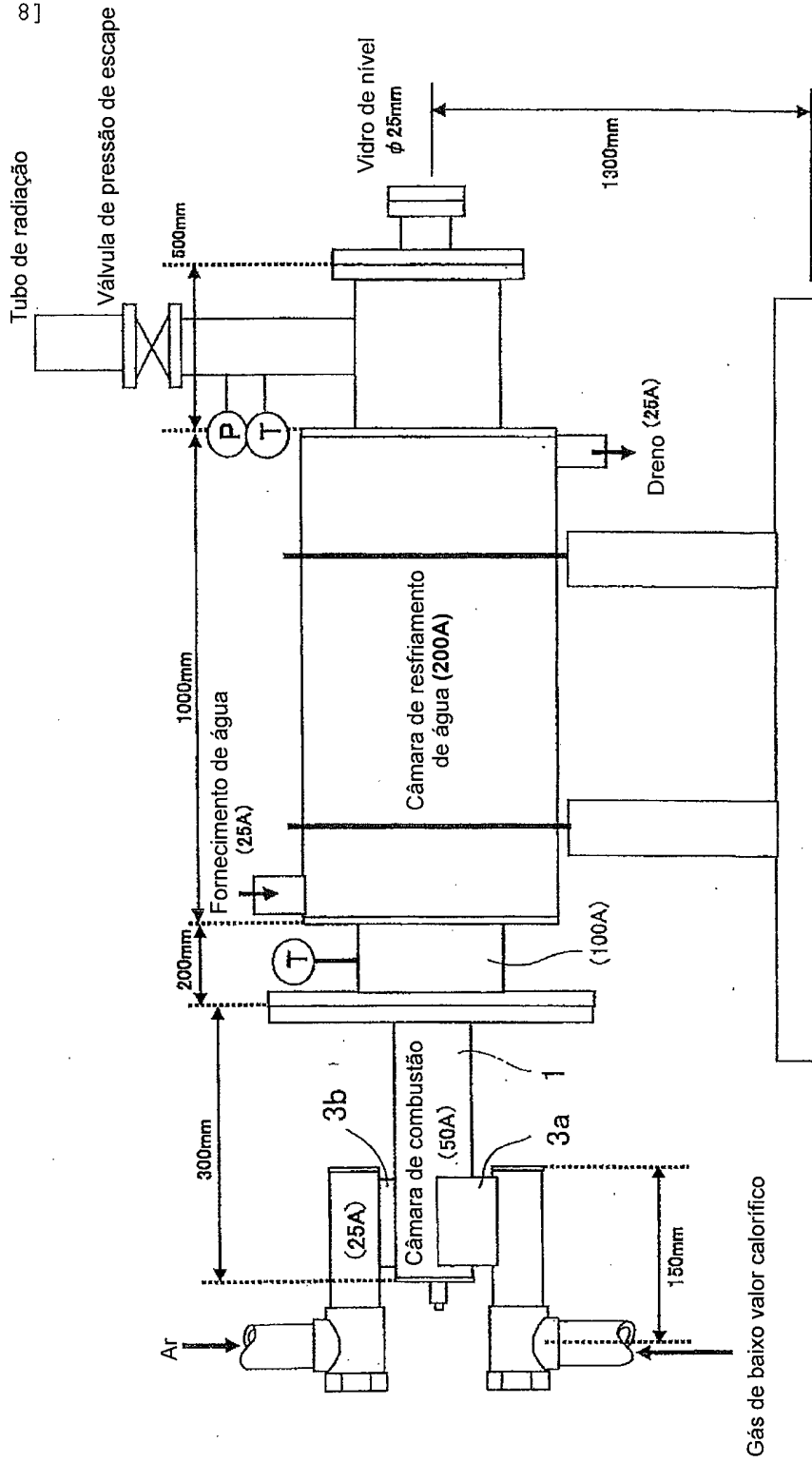
[FIG. 6]



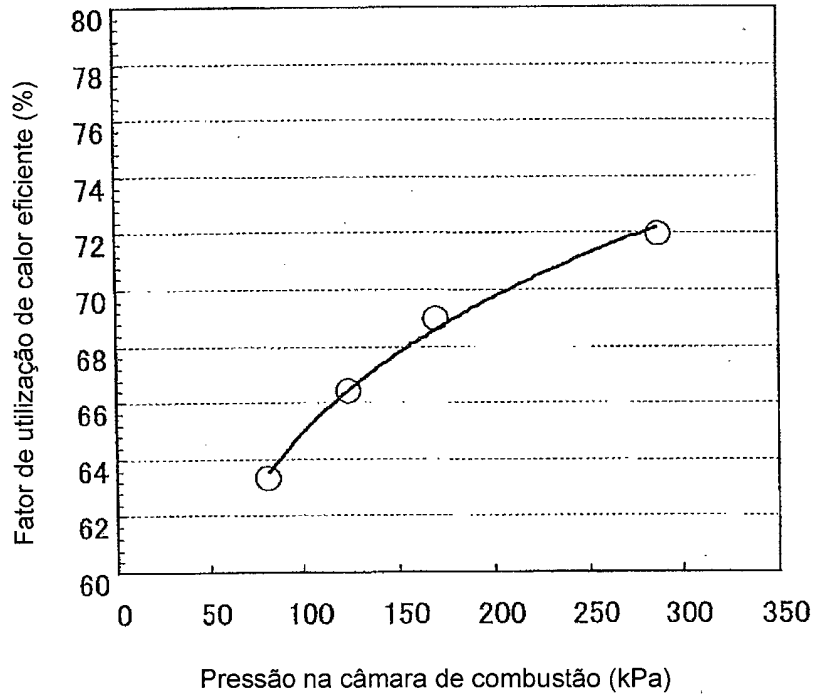
[FIG. 7]



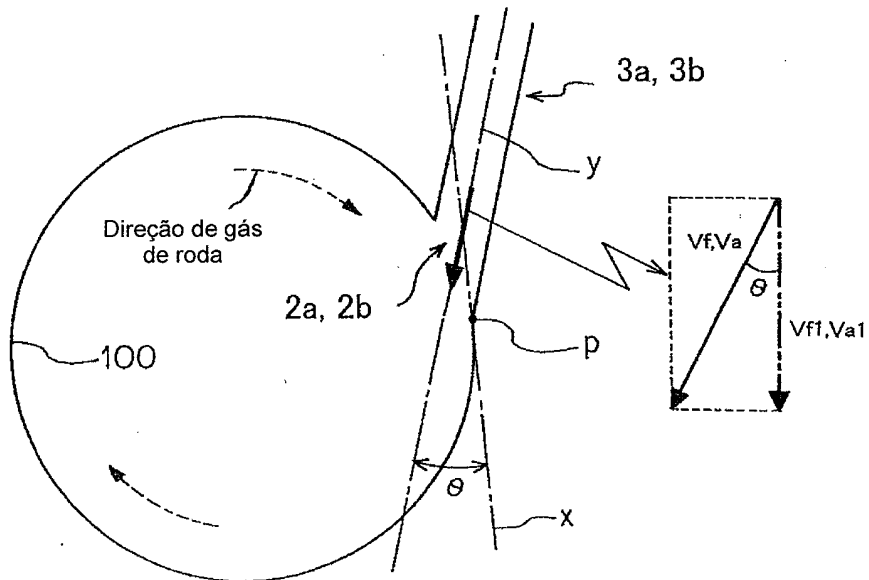
[FIG. 8]



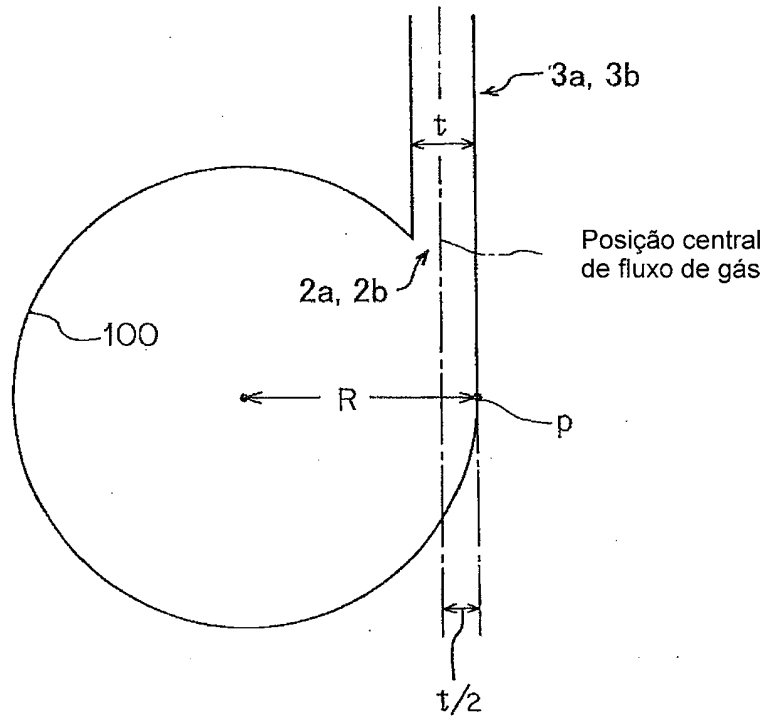
[FIG. 9]



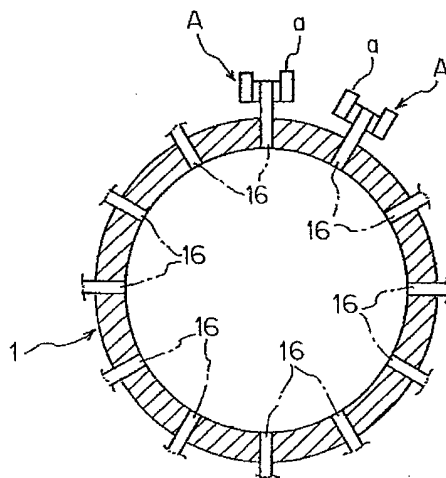
[FIG. 10]



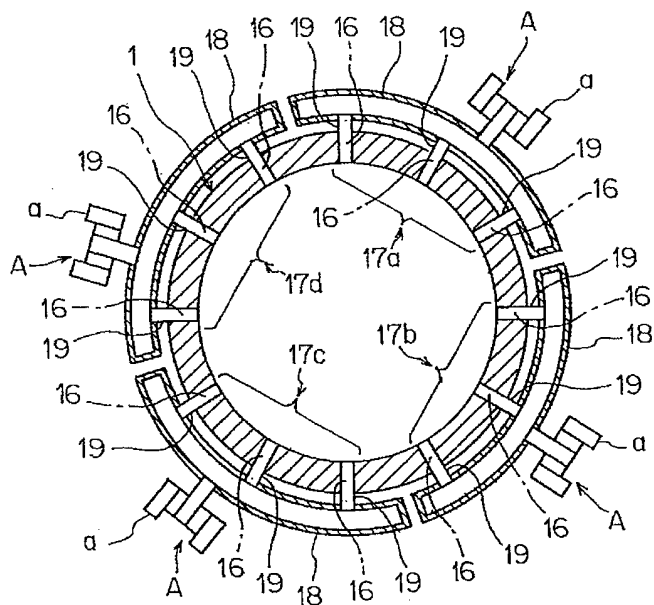
[FIG. 11]



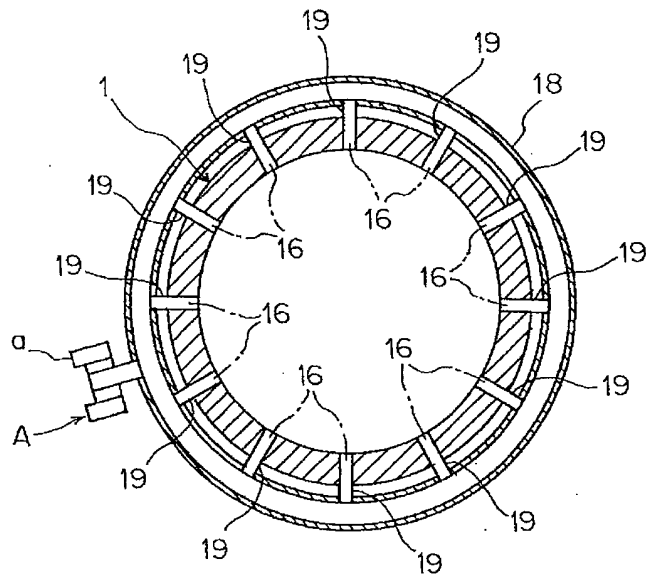
[FIG. 12a]



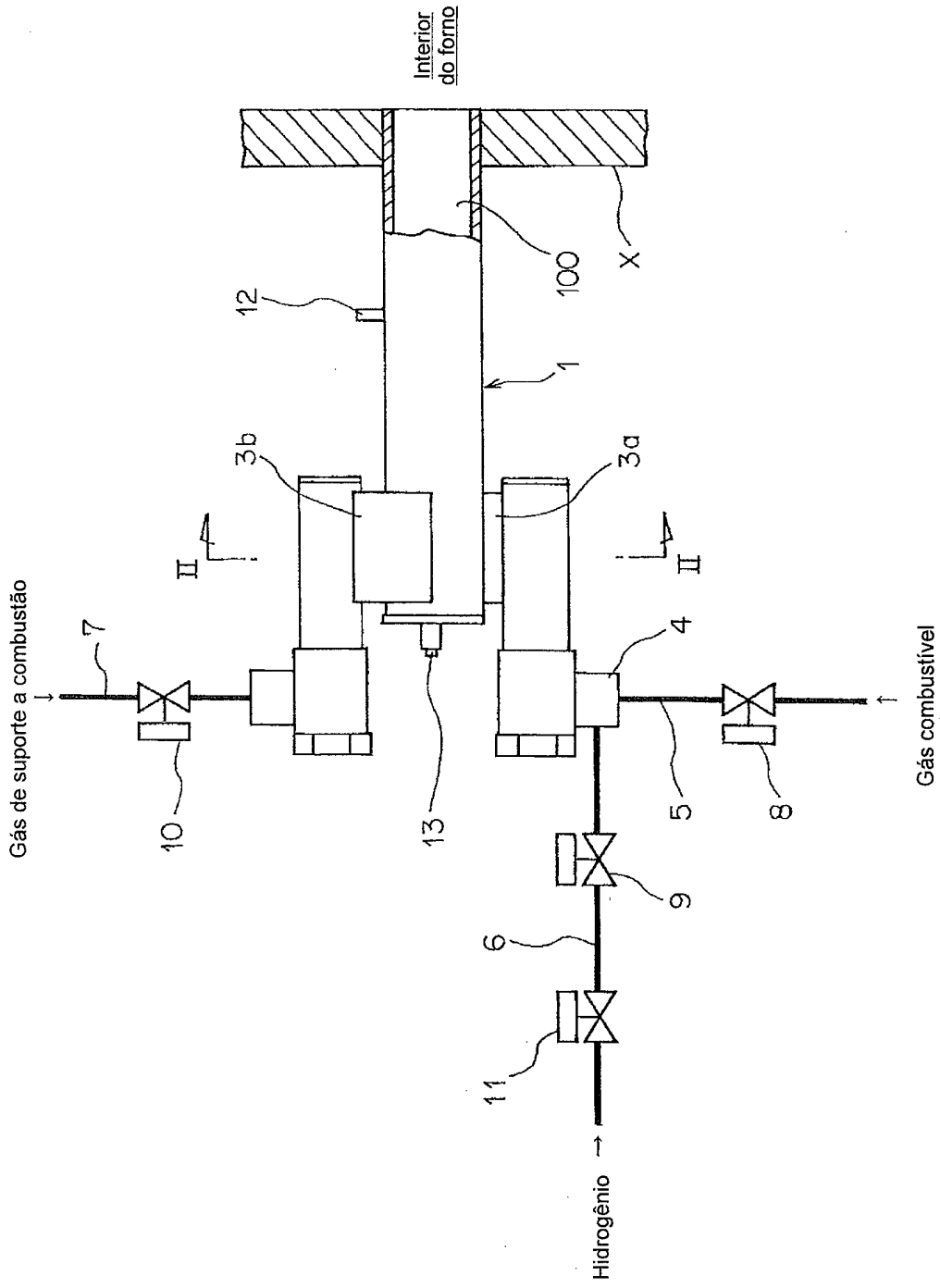
[FIG. 12b]



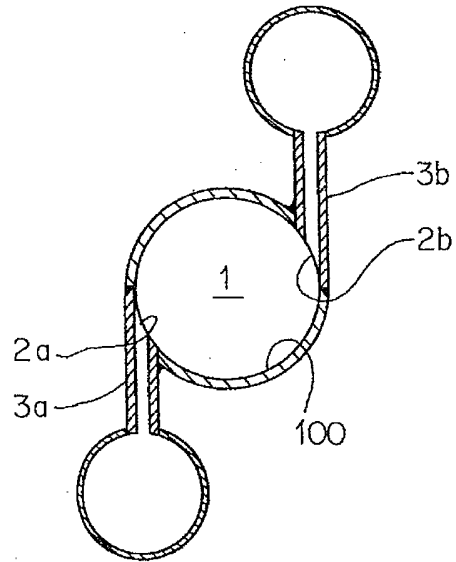
[FIG. 12c]



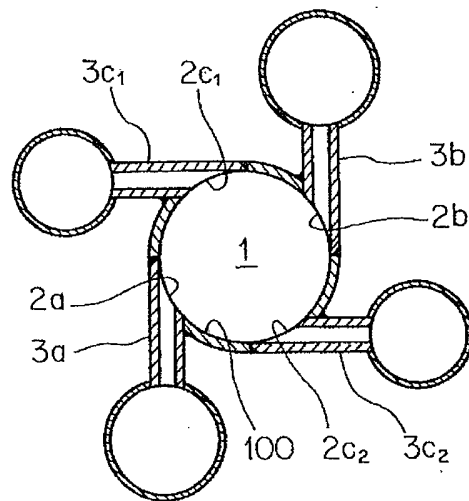
[FIG. 13]



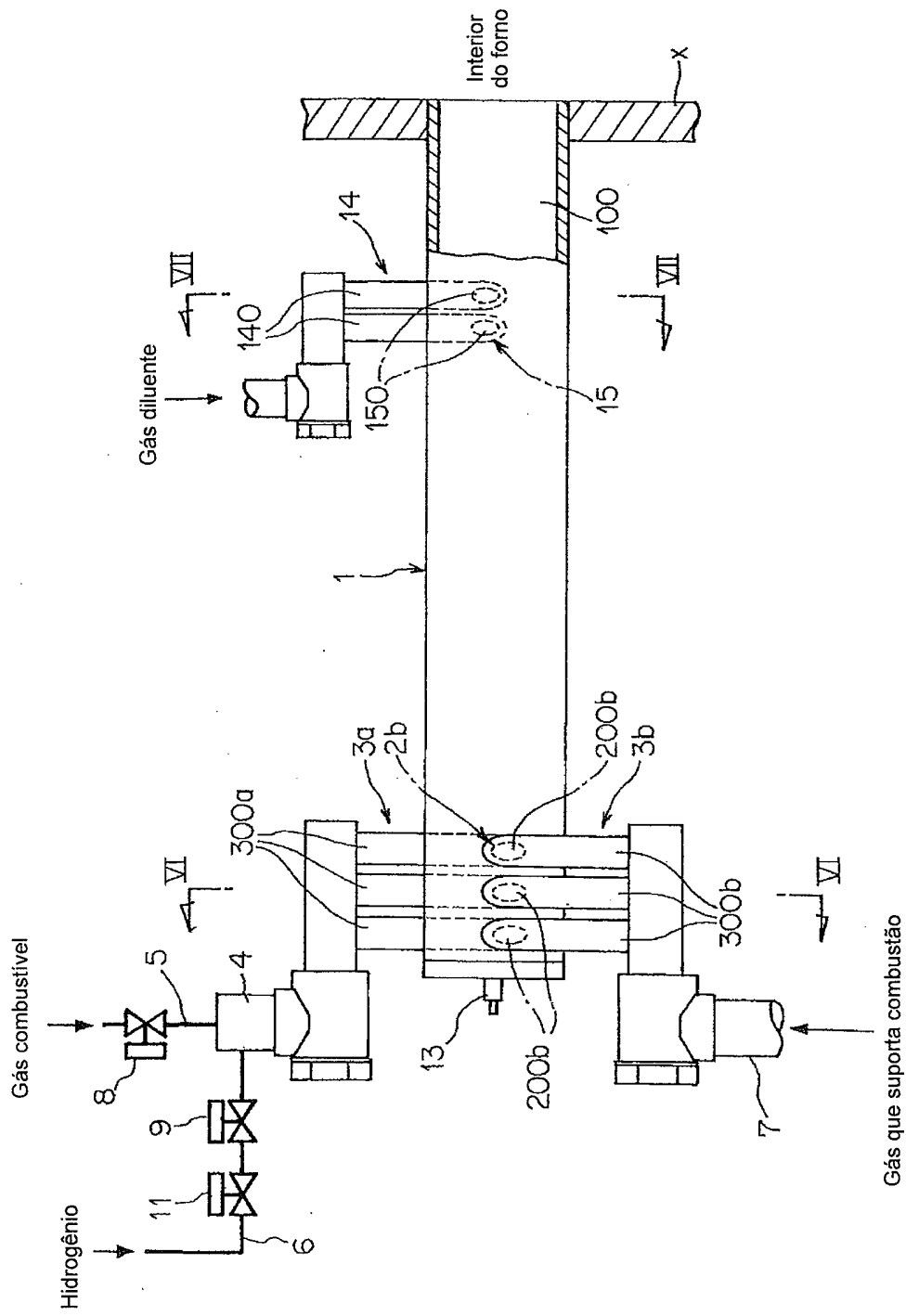
[FIG. 14]



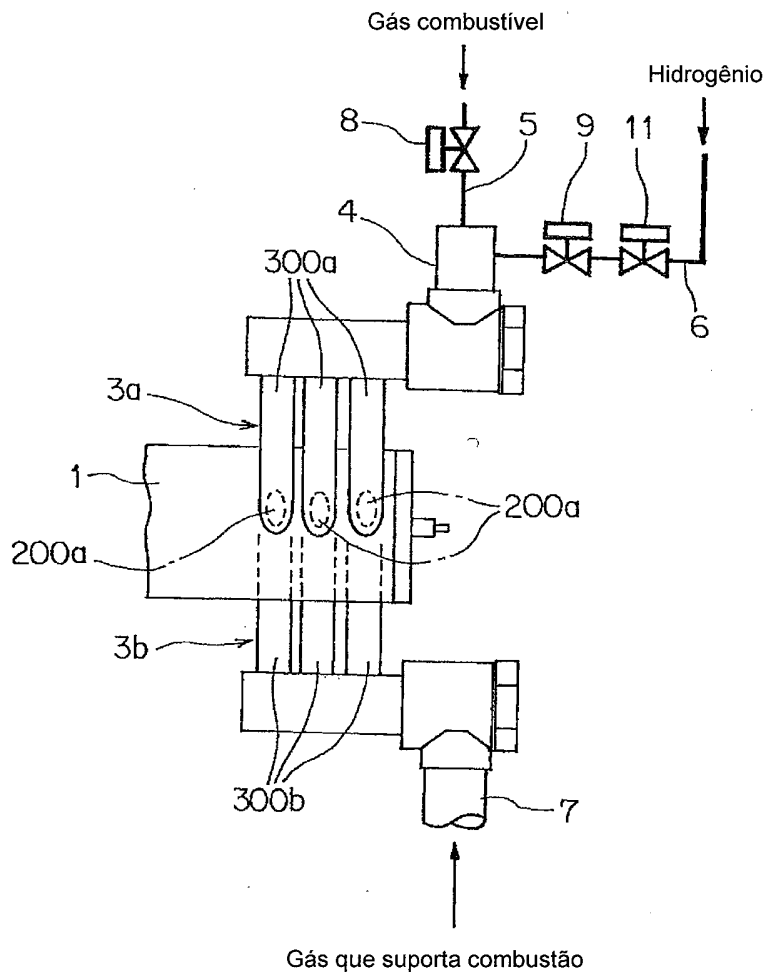
[FIG. 15]



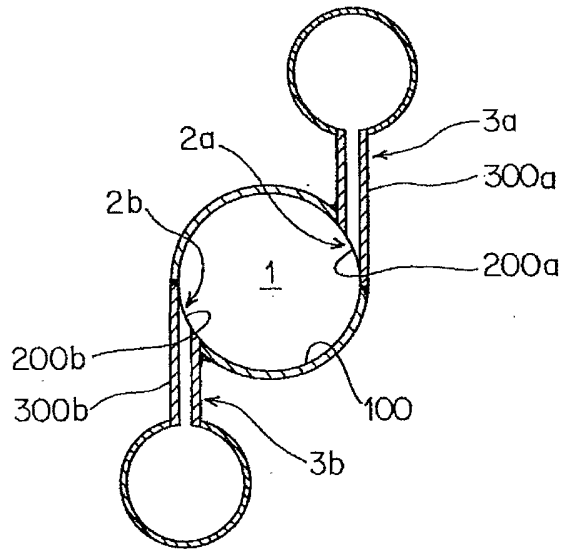
[FIG. 16]



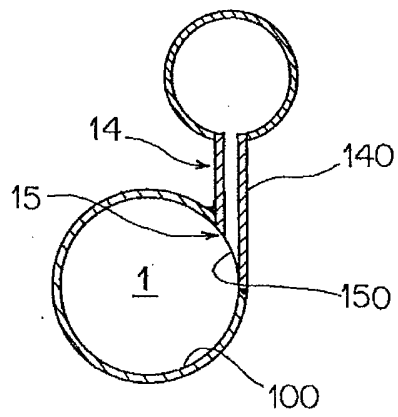
[FIG. 17]



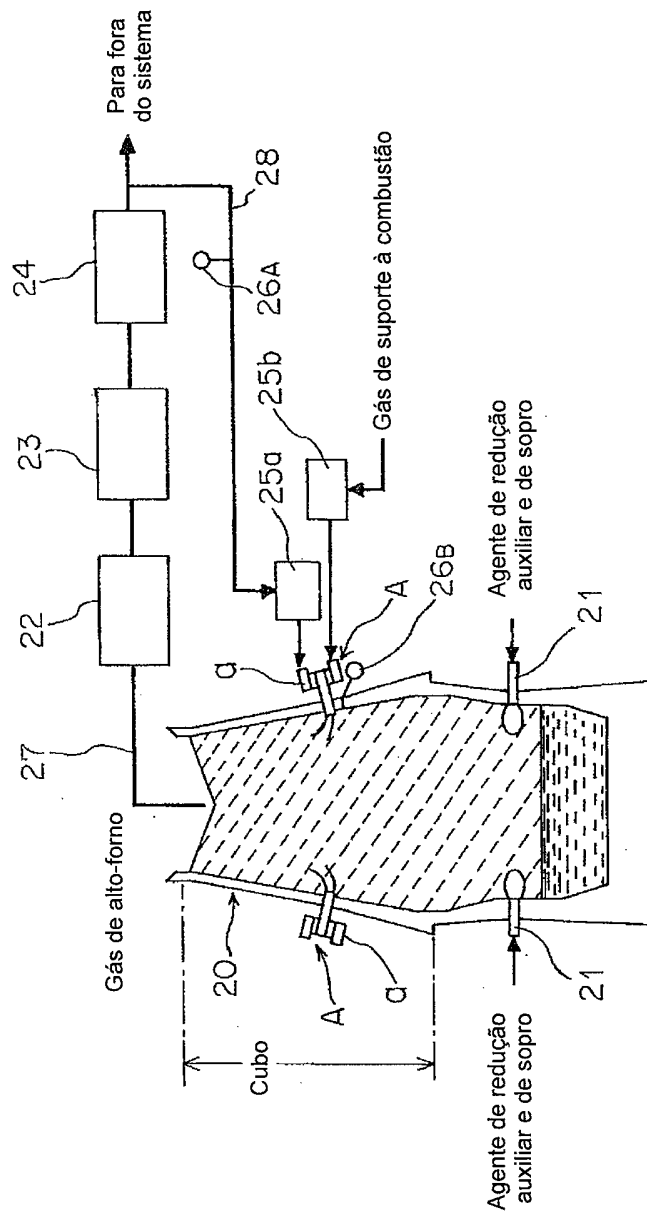
[FIG. 18]



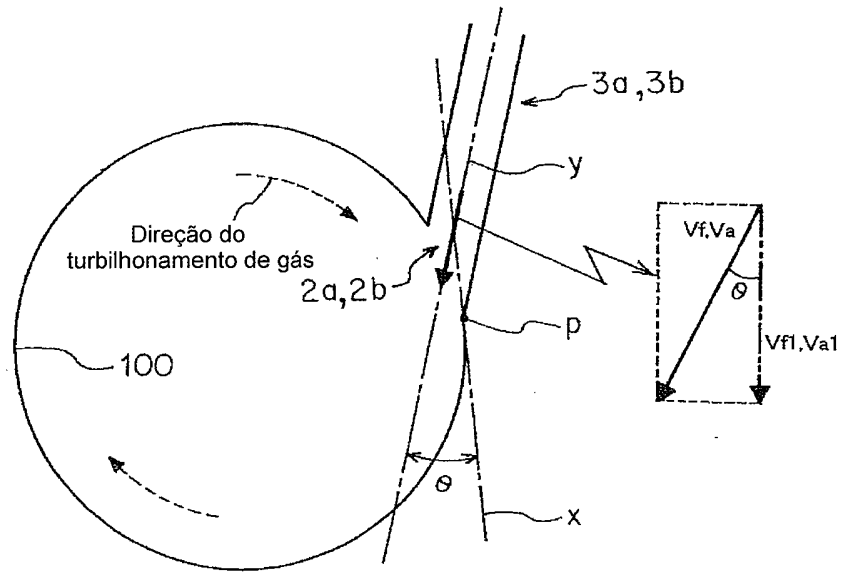
[FIG. 19]



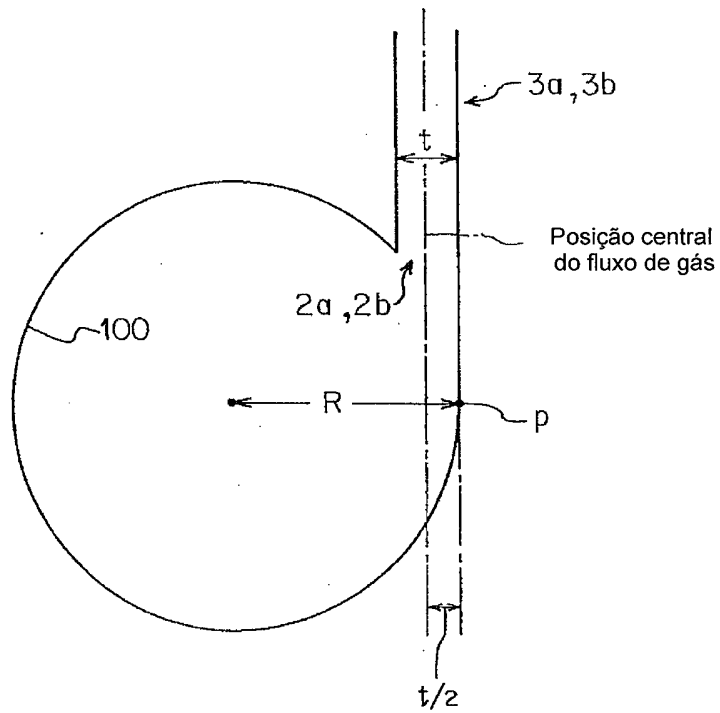
[FIG. 20]



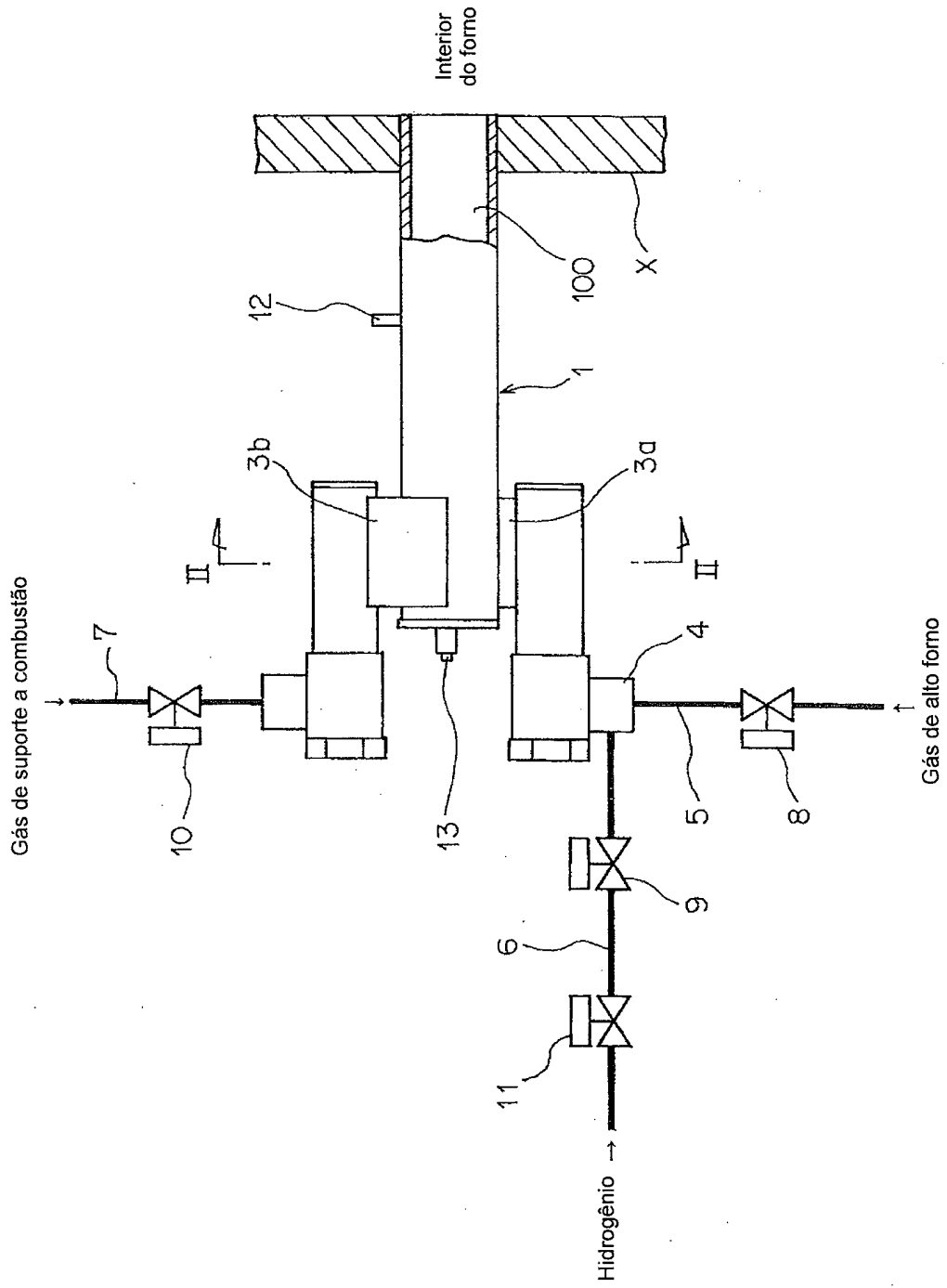
[FIG. 21]



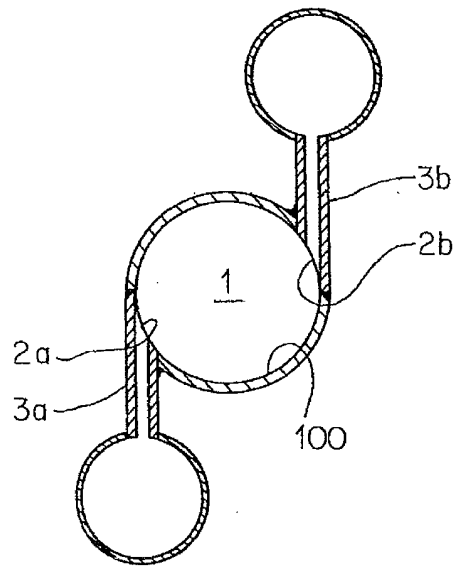
[FIG. 22]



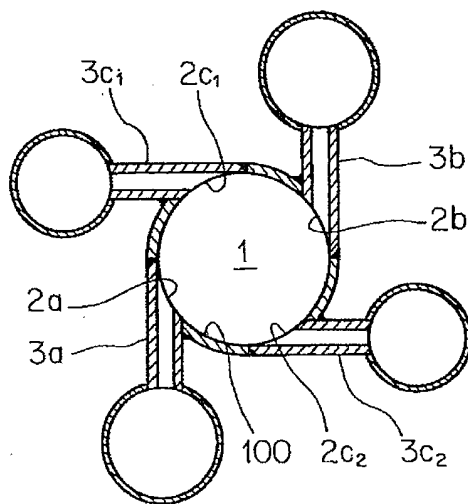
[FIG. 23]



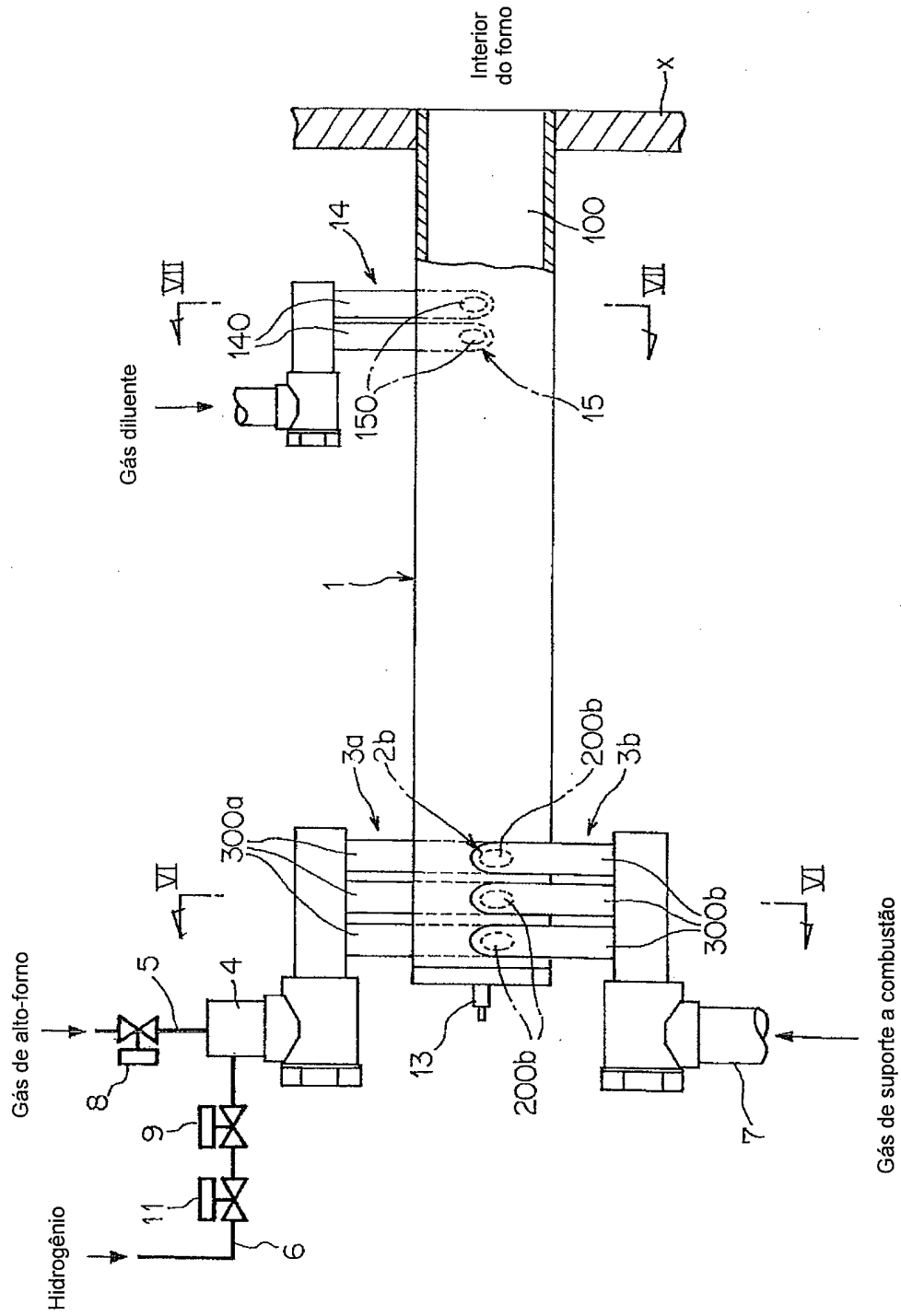
[FIG. 24]



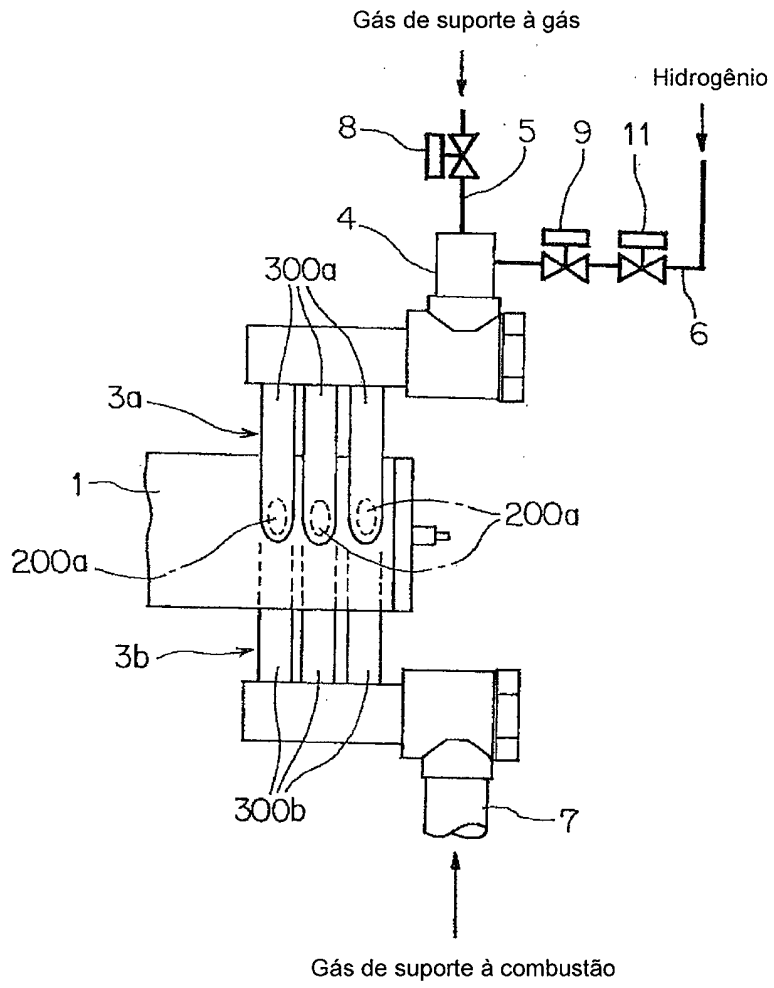
[FIG. 25]



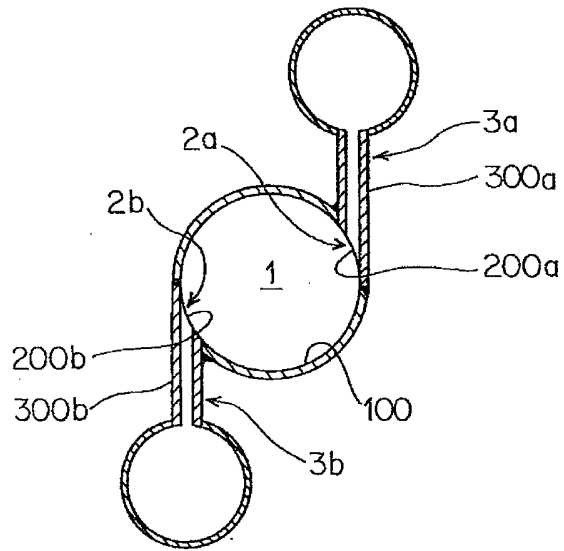
[FIG. 26]



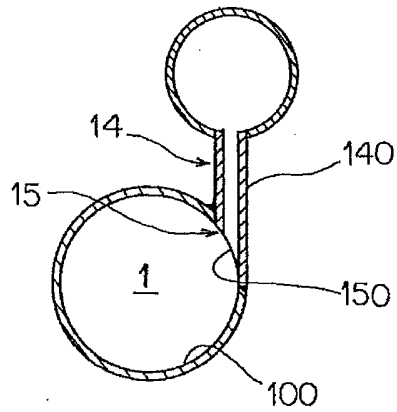
[FIG. 27]



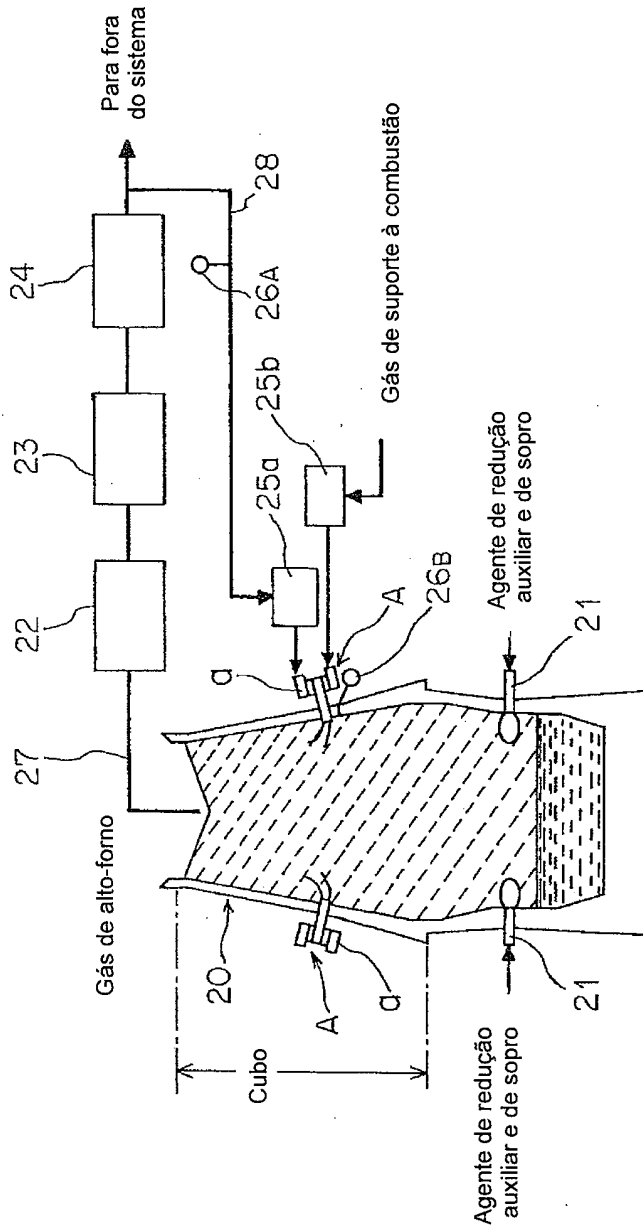
[FIG. 28]



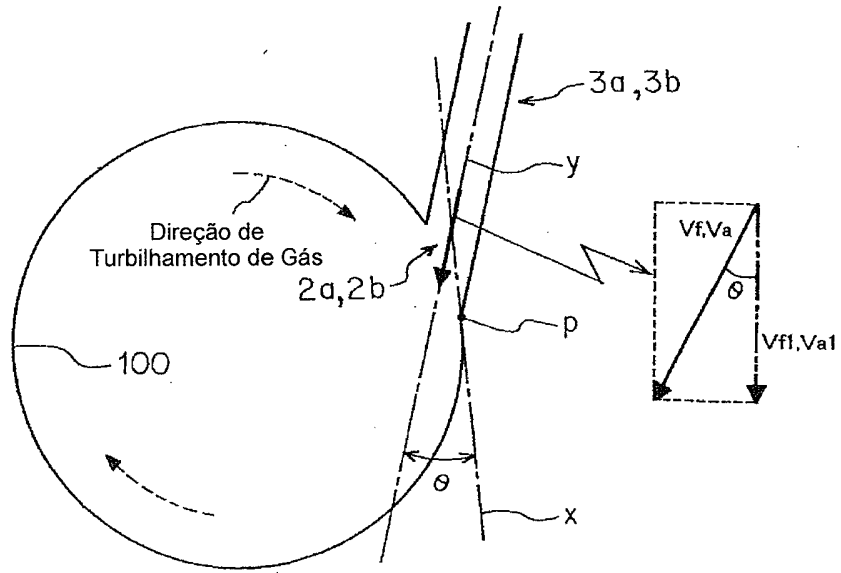
[FIG. 29]



[FIG. 30]



[FIG. 31]



[FIG. 32]

