



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

(11) BR 112014015336-1 B1



(22) Data do Depósito: 01/03/2012

(45) Data de Concessão: 14/05/2019

(54) Título: MÉTODO DE OPERAÇÃO DE ALTO-FORNO

(51) Int.Cl.: C21B 5/00; C21B 7/00.

(30) Prioridade Unionista: 21/12/2011 JP 2011-279954.

(73) Titular(es): JFE STEEL CORPORATION.

(72) Inventor(es): DAIKI FUJIWARA; AKINORI MURAO; SHIRO WATAKABE.

(86) Pedido PCT: PCT JP2012055893 de 01/03/2012

(87) Publicação PCT: WO 2013/094230 de 27/06/2013

(85) Data do Início da Fase Nacional: 20/06/2014

(57) Resumo: RESUMO Patente de Invenção: "MÉTODO DE OPERAÇÃO DE ALTO-FORNO". Lança (4) para injeção de um combustível através de uma ventaneira (3) que é um cano duplo. É injetada hulha pulverizada através de um cano interno (21) da lança de parede dupla (4). É injetado oxigênio através de um cano externo (22) da lança de parede dupla (4). São formados entalhes (23) em uma extremidade frontal de injeção do cano interno (21) da lança de parede dupla (4). A concentração de oxigênio em um gás composto de um gás portador para a hulha pulverizada e um gás injetado através do cano externo é de 35% em volume ou mais. Mesmo em uma operação com o uso de hulha pulverizada que tem um teor de matéria volátil de 25% em massa a uma razão alta de hulha pulverizada de 150 kg/t ou mais, a temperatura de combustão pode ser aumentada. Consequentemente, as emissões de CO<sub>2</sub> podem ser reduzidas. O consumo de oxigênio específico pode ser suprimido diminuindo-se a concentração de oxigênio para menos do que 70% em volume. Os entalhes (23) podem ser uniformemente espaçados circumferencialmente no cano interno (21) da lança de parede dupla 4 e otimizar a eficiência de combustão.

**Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "MÉTODO DE OPERAÇÃO DE ALTO-FORNO".**

**CAMPO DA TÉCNICA**

[001] A presente invenção refere-se a um método para operação de um alto-forno que inclui injetar hulha pulverizada através de uma ventaneira de alto-forno para aumentar a temperatura de combustão, de modo que otimize assim a produtividade e reduza emissões de CO<sub>2</sub>.

**ANTECEDENTES DA INVENÇÃO**

[002] Considerando-se o recente aquecimento global devido ao aumento de emissões de dióxido de carbono, também é importante que a indústria de ferro reduza as emissões de CO<sub>2</sub>. Em altos-fornos, o coque e a hulha pulverizada injetados através de uma ventaneira são usados conforme materiais de redução principais. Devido à diferença de emissões de dióxido de carbono em pré-tratamento, o uso de hulha pulverizada ao invés de coque pode reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. Por exemplo, a Literatura de Patente 1 revela que a eficiência de combustão pode ser otimizada por meio do uso de hulha pulverizada que tem um teor de matéria volátil de 25% em massa ou menos a uma razão de hulha pulverizada de 150 kg/t de ferro-gusa ou mais, de modo que abasteça hulha pulverizada e oxigênio para uma lança para a injecção de um combustível através de uma ventaneira e aumente a concentração de oxigênio na lança para 70% em volume ou mais. Propõe-se também, na Literatura de Patente 1 que no caso de uma lança de tubo único, uma mistura de oxigênio e hulha pulverizada é injetada através da lança de tubo único e no caso de uma lança de parede dupla, hulha pulverizada é injetada através de um tubo interno da lança de parede dupla e oxigênio é injetado através de um tubo externo da lança de parede dupla. A razão de hulha pulverizada é a massa de hulha pulverizada usada por tonelada de ferro-gusa.

[003] A Literatura de Patente 2 revela que uma reação entre hu-

lha pulverizada e oxigênio é provocada dispersando-se a hulha pulverizada utilizando-se as asperezas formadas em um tubo externo de uma lança de parede dupla.

[004] A Literatura de Patente 3 revela que em uma lança de parede dupla para a injeção de hulha pulverizada através de um tubo interno da mesma e oxigênio através de um tubo externo da mesma, o contato entre a hulha pulverizada e o oxigênio é otimizado encurtando-se o tubo interno em relação ao tubo externo, isto é, colocando-se uma extremidade frontal de injeção de hulha pulverizada do tubo interno a montante de uma extremidade frontal de injeção de oxigênio do tubo externo na direção de injeção.

## **LISTA DE CITAÇÃO**

### **Literatura de Patente**

[005] [LPT 1] Patente Nº. JP 4074467

[006] [LPT 2] Publicação De Patente Aberta A Inspeção Pública Nº. KR 2002-00047359

[007] [LPT 3] Publicação de Pedido de Patente Não Examinado Nº. JP 6-100912

## **SUMÁRIO DA INVENÇÃO**

### **Problema Técnico**

[008] Embora se sobre muito ar através de uma ventaneira, uma lança pode estar exposta a uma alta temperatura. Dessa forma, o abastecimento de uma mistura de uma alta concentração de oxigênio e hulha pulverizada para uma lança de tubo único conforme descrito na Literatura de Patente 1 é irrealista de um ponto de vista de segurança. Com uma demanda para uma redução adicional de emissões de CO<sub>2</sub>, é desejável aumentar a razão de hulha pulverizada para 170 kg/t de ferro-gusa ou mais, por exemplo. Em uma razão alta de hulha pulverizada de 170 kg/t ou mais, entretanto, mesmo quando a hulha pulverizada é injetada através de um tubo interno de uma lança de pa-

rede dupla e o oxigênio é injetado através de um tubo externo da mesma conforme descrito na Literatura de Patente 1, a temperatura de combustão se nivela e a eficiência de combustão não pode ser aumentada.

[009] Um gás que flui através de um tubo externo de uma lança de parede dupla também funciona para resfriar o tubo externo. Na presença de um obstáculo que interfere com o fluxo de gás, tal como as asperezas formadas no tubo externo na Literatura de Patente 2, uma carga de calor é aplicada à região de fluxo lento, de modo que, possivelmente, cause danos por desgaste, tal como trincamento ou uma perda de carga de fusão. Tal dano por desgaste pode induzir explosão prematura ou obstrução de uma lança. Um aumento na quantidade de hulha pulverizada inevitavelmente causa um problema de abrasão de uma porção elevada devido à hulha pulverizada injetada através de um tubo interno.

[0010] Embora o encurtamento da extremidade frontal do tubo interno da lança de parede dupla em relação ao tubo externo da lança de parede dupla conforme descrito na Literatura de Patente 3 possa otimizar o contato entre a hulha pulverizada e o oxigênio, um fluxo de oxigênio suprime a dispersão de hulha pulverizada e a combustibilidade de hulha pulverizada não é otimizada suficientemente.

[0011] A presente invenção atentou a esses problemas e visa fornecer um método de operação de alto-forno para aumentar a temperatura de combustão e, assim, reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>.

### Solução do Problema

[0012] Para se obter esse objetivo, a presente invenção fornece um método de operação de alto-forno descrito a seguir.

[0013] Um método de operação de alto-forno, que inclui

[0014] preparar a hulha pulverizada que tem um teor de matéria volátil de 25% em massa ou menos;

- [0015] preparar uma lança de parede dupla para injetar a hulha pulverizada e um gás que suporta combustão através de uma ventaneira, a lança de parede dupla que tem um tubo interno e um tubo externo;
- [0016] soprar ar quente através da ventaneira;
- [0017] formar, circunferencialmente, uma pluralidade de entalhes em uma extremidade frontal de injeção do tubo interno da lança de parede dupla, em que os entalhes são cortados na direção axial;
- [0018] injetar a hulha pulverizada junto com um gás portador através do tubo interno a uma razão de hulha pulverizada de 150 kg/t de ferro-gusa ou mais; e
- [0019] injetar o gás que suporta combustão através do tubo externo da lança de parede dupla,
- [0020] em que a concentração de oxigênio em um gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão é 35% em volume ou mais.
- [0021] (2) O método de operação de alto-forno, de acordo com (1), em que os entalhes são uniformemente espaçados circunferencialmente na extremidade frontal do tubo interno da lança de parede dupla.
- [0022] O método de operação de alto-forno, de acordo com (2), em que a razão da largura total dos entalhes para a circunferência interna do tubo interno da lança de parede dupla é mais do que 0 e 0,5 ou menos.
- [0023] O método de operação de alto-forno, de acordo com (3), em que a razão da largura total dos entalhes para a circunferência interna do tubo interno da lança de parede dupla é de 0,05 ou mais e 0,3 ou menos.
- [0024] O método de operação de alto-forno, de acordo com (4), em que a razão da largura total dos entalhes para a circunferência interna do tubo interno da lança de parede dupla é de 0,1 ou mais e 0,2

ou menos.

[0025] O método de operação de alto-forno, de acordo com (2), em que cada um dos entalhes tem uma profundidade de mais do que 0 mm e 12 mm ou menos.

[0026] O método de operação de alto-forno, de acordo com (6), em que cada um dos entalhes tem uma profundidade de 2 mm ou mais e 10 mm ou menos.

[0027] O método de operação de alto-forno, de acordo com (7), em que cada um dos entalhes tem uma profundidade de 3 mm ou mais e 7 mm ou menos.

[0028] O método de operação de alto-forno, de acordo com (2), em que a razão da quantidade dos entalhes para a quantidade máxima de entalhes é mais do que 0 e 0,8 ou menos, em que a quantidade máxima de entalhes é uma parte inteira de um quociente obtido dividindo-se a circunferência interna do tubo interno da lança de parede dupla pela largura de um dos entalhes.

[0029] O método de operação de alto-forno, de acordo com (9), em que a razão da quantidade dos entalhes para a quantidade máxima de entalhes é 0,1 ou mais e 0,6 ou menos.

[0030] O método de operação de alto-forno, de acordo com (10), em que a razão da quantidade dos entalhes para a quantidade máxima de entalhes é de 0,2 ou mais e 0,5 ou menos.

[0031] O método de operação de alto-forno, de acordo com (1), em que o gás que suporta combustão é oxigênio e uma parte de oxigênio para enriquecimento é injetada em um jato através do tubo externo da lança de parede dupla.

[0032] O método de operação de alto-forno, de acordo com (1), em que a hulha pulverizada tem um teor de matéria volátil de 3% em massa ou mais e 25% em massa ou menos.

[0033] O método de operação de alto-forno, de acordo com (1),

em que o gás que suporta combustão injetado através do tubo externo da lança de parede dupla tem uma velocidade de fluxo de saída na faixa de 20 a 120 m/s.

[0034] O método de operação de alto-forno, de acordo com (1), em que a razão de hulha pulverizada é 170 kg/t de ferro-gusa ou mais.

[0035] O método de operação de alto-forno, de acordo com (1), em que a razão de hulha pulverizada é 170 kg/t de ferro-gusa ou mais e a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão é 35% em volume ou mais e menos do que 70% em volume.

[0036] O método de operação de alto-forno, de acordo com (16), em que a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão é de 40% em volume ou mais e 65% em volume ou menos.

[0037] O método de operação de alto-forno, de acordo com (17), em que a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão é de 45% em volume ou mais e 60% em volume ou menos.

[0038] O método de operação de alto-forno, de acordo com (15), em que a razão de hulha pulverizada é de 170 kg/t de ferro-gusa ou mais e 300 kg/t de ferro-gusa ou menos.

[0039] O método de operação de alto-forno, de acordo com (16), em que a razão de hulha pulverizada é de 170 kg/t de ferro-gusa ou mais e 300 kg/t de ferro-gusa ou menos.

[0040] O método de operação de alto-forno, de acordo com (1), em que a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão é de 35% em volume ou mais e menos do que 70% em volume.

[0041] O método de operação de alto-forno, de acordo com (21), em que a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás porta-

dor e o gás que suporta combustão é de 40% em volume ou mais e 65% em volume ou menos.

[0042] O método de operação de alto-forno, de acordo com (22), em que a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão é de 45% em volume ou mais e 60% em volume ou menos.

[0043] O método de operação de alto-forno, de acordo com (1), em que a razão de hulha pulverizada é de 150 kg/t de ferro-gusa ou mais e 300 kg/t de ferro-gusa ou menos.

[0044] O método de operação de alto-forno, de acordo com (1), em que a razão de hulha pulverizada é de 150 kg/t de ferro-gusa ou mais e menos do que 170 kg/t de ferro-gusa.

[0045] O método de operação de alto-forno, de acordo com (1), em que a razão de hulha pulverizada é de 150 kg/t de ferro-gusa ou mais e menos do que 170 kg/t de ferro-gusa e a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão é de 35% em volume ou mais e menos do que 70% em volume.

[0046] O método de operação de alto-forno, de acordo com qualquer um dentre (1) a (26), em que pelo menos um selecionado dentre o grupo que consiste em: plásticos residuais, combustíveis derivados de refugo, recursos orgânicos, sucata de madeira e pó de coque de CDQ é adicionado à hulha pulverizada.

[0047] O método de operação de alto-forno, de acordo com (27), em que a hulha pulverizada corresponde a 80% em massa ou mais e pelo menos um dentre os plásticos residuais, combustíveis derivados de refugo, recursos orgânicos, sucata de madeira e pó de coque de CDQ é usado.

## **Efeitos Vantajosos da Invenção**

[0048] Em um método de operação de alto-forno, de acordo com a presente invenção em que uma lança para a injeção de um combustível através de uma ventaneira é um tubo duplo, o método inclui injetar a hulha pulverizada junto com um gás portador através de um tubo interno da lança de parede dupla, injetar um gás que suporta combustão através de um tubo externo da lança de parede dupla e formar entalhes em uma extremidade frontal de injeção do tubo interno da lança de parede dupla, em que a concentração de oxigênio em um gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão na lança de parede dupla é de 35% em volume ou mais. Mesmo em uma operação que usa hulha pulverizada que tem um teor de matéria volátil de 25% em massa ou menos em uma razão alta de hulha pulverizada de 150 kg/t ou mais, a temperatura de combustão pode ser aumentada e, consequentemente, as emissões de CO<sub>2</sub> podem ser reduzidas. Quando a razão de hulha pulverizada for 170 kg/t ou mais, o consumo específico de um gás que suporta combustão, tal como o oxigênio, pode ser reduzido diminuindo-se a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão na lança de parede dupla para menos do que 70% em volume.

[0049] Os entalhes uniformemente espaçados circunferencialmente na extremidade frontal do tubo interno da lança de parede dupla otimiza a difusão de hulha pulverizada e o gás que suporta combustão e otimiza adicionalmente a eficiência de combustão.

[0050] Injetar parte de oxigênio para enriquecimento em um jato conforme um gás que suporta combustão através do tubo externo da lança de parede dupla pode impedir abastecimento de oxigênio excessivo sem perturbar o equilíbrio de gás no alto-forno.

## **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

[0051] [Figura 1] A Figura 1 é uma vista em seção longitudinal de

uma modalidade de um alto-forno à que um método de operação de alto-forno de acordo com a presente invenção é aplicado.

[0052] [Figura 2] A Figura 2 é uma vista explicativa do estado de combustão quando apenas a hulha pulverizada é injetada através da lança ilustrada na Figura 1.

[0053] [Figura 3] A Figura 3 é uma vista explicativa do mecanismo de combustão de hulha pulverizada na Figura 2.

[0054] [Figura 4] A Figura 4 é uma vista explicativa do mecanismo de combustão no caso de a hulha pulverizada e o oxigênio serem injetados.

[0055] [Figura 5] A Figura 5 é uma vista explicativa de um aparelho experimental de combustão.

[0056] [Figura 6] As Figuras 6(a) a 6(c) são vistas explicativas da concentração de um fluxo de hulha pulverizada.

[0057] [Figura 7] As Figuras 7(a) e 7(b) são vistas detalhadas de uma extremidade frontal de injeção da lança ilustrada na Figura 1.

[0058] [Figura 8] As Figuras 8(a) e 8(b) são vistas explicativas do fluxo de hulha pulverizada da lança ilustrada na Figura 7 e uma lança formada de um tubo reto.

[0059] [Figura 9] A Figura 9 é um gráfico da relação entre a concentração de oxigênio em um gás de lança e uma taxa de combustão a uma razão de hulha pulverizada de 150 kg/t de ferro-gusa ou mais e menos do que 170 kg/t de ferro-gusa.

[0060] [Figura 10] A Figura 10 é um gráfico da relação entre a concentração de oxigênio em um gás de lança e a taxa de combustão a uma razão de hulha pulverizada de 170 kg/t de ferro-gusa ou mais.

[0061] [Figura 11] As Figuras 11(a) a 11(c) são vistas explicativas do formato de um entalhe em um tubo interno visto na direção radial.

[0062] [Figura 12] As Figuras 12(a) e 12(b) são vistas explicativas do ângulo q formado por um centro de uma extremidade frontal e um

centro de uma extremidade inferior de um entalhe.

[0063] [Figura 13] A Figura 13 é uma vista explicativa de um experimento na área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada.

[0064] [Figura 14] A Figura 14 é uma vista explicativa da área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada conforme uma função da largura de entalhe.

[0065] [Figura 15] A Figura 15 é uma vista explicativa da área de contato entre oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada conforme uma função da profundidade de entalhe.

[0066] [Figura 16] A Figura 16 é uma vista explicativa da área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada conforme uma função da quantidade de entalhes.

[0067] [Figura 17] A Figura 17 é uma vista explicativa da área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada conforme uma função da largura de um entalhe tetagonal ou um entalhe triangular.

[0068] [Figura 18] A Figura 18 é uma vista explicativa da relação entre a velocidade de fluxo em uma saída de lança e a temperatura de superfície de lança.

## **DESCRIÇÃO DE MODALIDADES**

[0069] Um método de operação de alto-forno de acordo com uma modalidade da presente invenção será descrito a seguir com referência aos desenhos anexos.

[0070] A Figura 1 é uma vista geral de um alto-forno a que um método de operação de alto-forno de acordo com a presente modalidade é aplicado. Conforme ilustrado na Figura, uma ventaneira 3 de um alto-forno 1 é acoplada a um tubo de sopro 2 para soprar ar quente e uma lança 4 é inserida no tubo de sopro 2. Um espaço de combustão

chamado de um canal adutor 5 é disposto sobre uma camada de coque em frente à ventaneira 3 em uma direção de sopro de ar quente. A combustão e gaseificação de um material de redução ocorrem, principalmente, nesse espaço de combustão.

[0071] A Figura 2 ilustra o estado de combustão quando apenas a hulha pulverizada 6 é injetada conforme um material de redução sólido através da lança 4. A hulha pulverizada 6 é injetada a partir da lança 4 para dentro do canal adutor 5 através da ventaneira 3. A matéria volátil e carbono fixo da hulha pulverizada 6 queimam junto com o coque 7. Após a matéria volátil ser liberada, um agregado de carbono e cinzas, que é geralmente chamado de carvão, é descarregado do canal adutor conforme carvão incombusto 8. A velocidade de ar quente em frente à ventaneira 3 na direção de sopro de ar quente é aproximadamente 200 m/s. Uma zona de oxigênio se estende aproximadamente 0,3 a 0,5 m de uma extremidade frontal da lança 4 para dentro do canal adutor 5. Dessa forma, é necessário aumentar a temperatura de partículas de hulha pulverizada e otimizar a eficiência de contato com oxigênio (dispersibilidade) durante um período substancialmente na ordem de 1/1.000 de segundo.

[0072] A Figura 3 ilustra o mecanismo de combustão no caso de apenas a hulha pulverizada (PC na Figura) 6 ser injetada dentro do tubo de sopro 2 através da lança 4. As partículas da hulha pulverizada 6 injetada dentro do canal adutor 5 através da ventaneira 3 são aquecidas através de transferência de calor por radiação de chamas no canal adutor 5. A temperatura das partículas aumenta rapidamente através de transferência de calor por radiação e transferência de calor por condução. As partículas começam a se decompor a uma temperatura de 300°C ou mais. A matéria volátil das partículas acende e forma uma chama. A temperatura de combustão alcança uma temperatura na faixa de 1.400°C a 1.700°C. Após a matéria volátil ser completamente

liberada, o carvão 8 permanece. Devido ao fato de que o carvão 8 é, principalmente, composto de carbono fixo, uma reação de combustão é acompanhada por uma reação de dissolução de combustão, tal como uma reação de perda de solução ou uma reação de deslocamento de gás hidrogênio.

[0073] A Figura 4 ilustra o mecanismo de combustão no caso de a hulha pulverizada 6, junto com um gás oxigênio de suporte de combustão 9, ser injetada dentro do tubo de sopro 2 através da lança 4. A hulha pulverizada 6 e o oxigênio 9 são simplesmente injetados paralelos um ao outro. A título de referência, uma linha do tipo traço-ponto-ponto na Figura indica a temperatura de combustão no caso de apenas a hulha pulverizada ser injetada conforme ilustrado na Figura 3. A injeção simultânea da hulha pulverizada e oxigênio promove a mistura da hulha pulverizada e o oxigênio na adjacência da lança e acelera a combustão da hulha pulverizada, que aumenta, assim, a temperatura de combustão na adjacência próxima da lança.

[0074] Na base de tais constatações, um experimento de combustão foi desempenhado com um aparelho experimental de combustão ilustrado na Figura 5. De maneira que imite o interior de um alto-forno, um forno de experimento 11 é preenchido com coque e o interior de um canal adutor 15 pode ser observado através de uma janela de observação. Uma lança 14 é inserida em um tubo de sopro 12. Conforme um ar quente soprado a partir de um forno de aquecimento de ar para um alto-forno, um ar quente produzido por meio de um queimador de combustão 13 pode ser impulsionado por meio de jato para dentro do forno de experimento 11 a uma taxa de jato predeterminada. O nível de enriquecimento de oxigênio do ar de jateamento pode ser controlado com o tubo de sopro 12. Um ou ambos a hulha pulverizada e o oxigênio podem ser injetados dentro do tubo de sopro 12 através da lança 14. Um gás de exaustão do forno de experimento 11 é separado em

um gás de exaustão e pó em um separador 16 chamado de ciclone. O gás de exaustão é enviado para um sistema de tratamento de gás de exaustão, tal como um forno de combustão auxiliar. O pó é coletado em uma caixa de coleta 17.

[0075] A hulha pulverizada é composta por 71,4% de carbono fixo (FC), 19,5% de matéria volátil (VM) e 9,1% de cinzas. As condições de jato incluem uma temperatura de jato de 1.200°C, uma taxa de fluxo de 300 Nm<sup>3</sup>/h, uma velocidade de jato de 130 m/s em uma extremidade frontal da ventaneira e um enriquecimento de oxigênio de 6% (uma concentração de oxigênio de 27,0%, um enriquecimento de 6,0% em relação a uma concentração de oxigênio de 21% em ar). Em relação às condições de injeção de hulha pulverizada, a lança 14 foi uma lança de parede dupla, a hulha pulverizada foi injetada através de um tubo interno da lança de parede dupla e o oxigênio foi injetado conforme um gás que suporta combustão através de um tubo externo da lança de parede dupla. A hulha pulverizada foi portada por meio de um gás portador. O gás portador para hulha pulverizada foi o nitrogênio. A razão de gás sólido de hulha pulverizada para um gás portador para portar a hulha pulverizada varia a partir de 10 a 25 kg/Nm<sup>3</sup> no caso de um pó, isto é, a hulha pulverizada ser portada por meio de uma pequena quantidade de gás (transporte de alta concentração) ou 5 a 10 kg/Nm<sup>3</sup> no caso de a hulha pulverizada ser portada por uma quantidade grande de gás (transporte de baixa concentração). Em adição ao nitrogênio, o gás portador pode também ser o ar. Um experimento foi conduzido com um foco em variações de fluxo de hulha pulverizada a uma razão de hulha pulverizada na faixa de 100 a 180 kg/t. Quando o oxigênio foi injetado conforme um gás que suporta combustão, uma parte de oxigênio para enriquecimento foi incluída no jato de tal modo que não altere a quantidade total de oxigênio soprado para dentro do forno. O gás que suporta combustão pode também ser um ar enriquecido de oxigênio.

[0076] Os presentes inventores constataram o seguinte nesse experimento. Quando a hulha pulverizada é injetada através do tubo interno da lança de parede dupla e um gás que suporta combustão, isto é, oxigênio é injetado através do tubo externo da lança de parede dupla, a temperatura de combustão é aumentada mediante o aumento de concentração de oxigênio em uma operação a uma razão baixa de hulha pulverizada de menos do que 150 kg/t mesmo se a hulha pulverizada tiver um teor de matéria volátil de 25% em massa ou menos. Em uma operação a uma razão alta de hulha pulverizada de 150 kg/t ou mais, entretanto, a temperatura de combustão não é aumentada mediante o aumento de concentração de oxigênio. Quando a razão de hulha pulverizada é 150 kg/t ou mais, a temperatura de combustão nivela a uma concentração de oxigênio de aproximadamente 35% em volume. Conforme descrito abaixo, isso se deve ao fato de que a hulha pulverizada injetada através do tubo interno da lança de parede dupla se localiza (ou é concentrada) no centro de um fluxo de jato e raramente entra em contato, ou não entra em contato com o oxigênio injetado através do tubo externo da lança de parede dupla. A presente invenção é igual à técnica relacionada em que a hulha pulverizada é injetada através de um tubo interno de uma lança de parede dupla e um gás que suporta combustão, por exemplo, oxigênio é injetado através de um tubo externo da lança de parede dupla. Entretanto, na presente invenção, os entalhes formados em uma extremidade frontal de injeção de um tubo interno de uma lança de parede dupla podem otimizar a difusão de hulha pulverizada e um gás que suporta combustão e, assim, promover o contato entre a hulha pulverizada e o gás que suporta combustão e aumentar a temperatura de combustão. Mesmo se os entalhes forem formados na extremidade frontal de injeção do tubo interno da lança de parede dupla, quando a razão de hulha pulverizada for 170 kg/t ou mais, a temperatura de combustão também se nive-

la a uma concentração de oxigênio de 70% em volume ou mais na lança. Dessa forma, uma concentração de oxigênio de mais do que 70% em volume não contribui para a eficiência alta de combustão e resulta em um consumo de oxigênio específico aumentado. Diferente de uma saliência, tal como um anteparo, que sofre dano por desgaste devido à colisão com a hulha pulverizada, os entalhes formados no tubo interno da lança de parede dupla não têm problemas de dano por desgaste.

[0077] A Figura 6(a) ilustra o fluxo de hulha pulverizada em uma operação a uma razão baixa de hulha pulverizada de menos do que 150 kg/t. Devido ao fato de que a lança é um tubo reto que tem um diâmetro constante no experimento, a largura de dispersão de hulha pulverizada é substancialmente constante. O fluxo de hulha pulverizada tem uma concentração substancialmente uniforme dentro da largura de dispersão a uma tal razão baixa de hulha pulverizada. Em uma operação a uma razão alta de hulha pulverizada de 150 kg/t ou mais, entretanto, conforme ilustrado na Figura 6(b), a hulha pulverizada é concentrada no centro da largura de dispersão. Em particular, em uma operação a uma razão alta de hulha pulverizada de 170 kg/t ou mais, a hulha pulverizada é altamente concentrada no centro do fluxo de hulha pulverizada. Devido ao fato de que o oxigênio é injetado através do tubo externo da lança de parede dupla, a hulha pulverizada concentrada no centro do fluxo de hulha pulverizada não entra em contato com o oxigênio e a tal hulha pulverizada incombustível injetada dentro do forno interfere com a aeração no alto-forno. Mesmo que a quantidade de oxigênio soprado seja aumentada para promover o contato com o oxigênio, quando a quantidade de oxigênio soprado excede um determinado limiar, conforme ilustrado na Figura 6(c), o fluxo de hulha pulverizada é concentrado adicionalmente no centro do fluxo de oxigênio circundante. Dessa forma, o contato com o oxigênio não é substancial-

mente provocado e a temperatura de combustão se nivela conforme descrito adiante.

[0078] A Figura 7 ilustra os detalhes de uma extremidade frontal de injeção da lança de parede dupla 4, de acordo com a presente modalidade. A Figura 7(a) é uma vista em seção longitudinal e Figura 7(b) uma vista em seção transversal tomada ao longo da linha A-A na Figura 7(a). Na presente modalidade, conforme ilustrado na Figura 7, os entalhes 23 são formados em uma extremidade frontal de injeção de um tubo interno 21 da lança de parede dupla 4. A hulha pulverizada 6 e um gás oxigênio de suporte de combustão 9 são difundidos através dos entalhes 23. Isso possibilita um contato eficiente entre a hulha pulverizada 6 e o oxigênio 9 e aumenta a temperatura de combustão. Quando o tubo interno 21 tem um diâmetro interno de aproximadamente 16 mm, quatro entalhes 23, em que cada um tem uma seção transversal quadrada de aproximadamente 5 mm x 5 mm, são uniformemente espaçados circunferencialmente no tubo interno 21 a intervalos de 90 graus. Um tubo externo 22 é um tubo reto. O formato dos entalhes 23 não se limita ao formato descrito acima e pode ser triangular ou em formato de U conforme descrito abaixo. A quantidade dos entalhes 23 também não é limitada a quatro.

[0079] Conforme ilustrado na Figura 8(a), a hulha pulverizada 6 e o gás oxigênio de suporte de combustão 9 podem ser difundidos através dos entalhes 23 formados na extremidade frontal de injeção do tubo interno 21 da lança de parede dupla 4 e entrar em contato um com o outro de modo que aumente, assim, a temperatura de combustão. Em uma lança de parede dupla 4 conhecida que não tem entalhe em uma extremidade frontal de injeção de um tubo interno 21, conforme ilustrado na Figura 8(b), a hulha pulverizada 6 é concentrada em uma porção central de um gás oxigênio de suporte de combustão 9. Isso resulta em um contato pobre entre a hulha pulverizada 6 e o oxi-

gênio 9 e a temperatura de combustão se nivela. Conforme descrito acima, diferente de uma saliência, tal como um anteparo, que sofre dano por desgaste devido a colisão com a hulha pulverizada, os entalhes 23 formados no tubo interno 21 da lança de parede dupla 4 não têm problemas de dano por desgaste.

[0080] A Figura 9 mostra a temperatura de combustão representada por meio da taxa de combustão sob as condições de que a razão de hulha pulverizada seja 150 kg/t, a matéria volátil da hulha pulverizada seja 25% em massa ou menos, as condições de jato sejam fixas, a razão de enriquecimento de oxigênio seja fixa e a extremidade frontal de injeção do tubo interno 21 da lança de parede dupla 4 tenha os entalhes 23 ou nenhum entalhe. Em ambos os casos, a hulha pulverizada é injetada através do tubo interno da lança de parede dupla 4 e um gás oxigênio de suporte de combustão é injetado através do tubo externo da lança de parede dupla 4. Conforme fica claro a partir da Figura, no caso de a lança de parede dupla 4 não ter entalhe no tubo interno 21, a temperatura de combustão se nivela quando a concentração de oxigênio em um gás composto pelo gás portador para portar a hulha pulverizada e o gás que suporta combustão na lança é de 35% em volume ou mais. Dessa forma, no caso de a lança de parede dupla 4 não ter entalhe no tubo interno 21, a temperatura de combustão não é aumentada a uma concentração de oxigênio de 35% em volume ou mais. Em contraste, no caso de a lança de parede dupla 4 ter os entalhes 23 no tubo interno 21, a temperatura de combustão aumenta mesmo quando a concentração de oxigênio em um gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão é 35% em volume ou mais. Isso significa que o fluxo de hulha pulverizada da lança de parede dupla 4 não é concentrado a uma razão de hulha pulverizada de 150 kg/t ou mais e menos do que 170 kg/t.

[0081] Mesmo no caso de a lança de parede dupla 4 ter os entalhes 23 no tubo interno 21, a temperatura de combustão aumenta mesmo quando a concentração de oxigênio em um gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão é 35% em volume ou mais. Isso significa que o fluxo de hulha pulverizada da lança de parede dupla 4 não é concentrado a uma razão de hulha pulverizada de 150 kg/t ou mais e menos do que 170 kg/t.

Ihes 23 no tubo interno 21, entretanto, quando a razão de hulha pulverizada é 170 kg/t ou mais, conforme ilustrado na Figura 10, a temperatura de combustão se nivela quando a concentração de oxigênio em um gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão na lança é 70% em volume ou mais e a temperatura de combustão não é aumentada a uma concentração de oxigênio de mais do que 70% em volume. Dessa forma, quando a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão na lança é de 70% em volume ou mais, a eficiência de combustão não é otimizada a uma razão de hulha pulverizada de 170 kg/t ou mais, embora o consumo de oxigênio específico aumente. Dessa forma, mesmo no caso de a lança de parede dupla 4 ter os entalhes 23 no tubo interno 21, a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão ser 35% em volume ou mais e menos do que 70% em volume, de preferência, 40% em volume ou mais e 65% em volume ou menos, com mais preferência, 45% em volume ou mais e 60% em volume ou menos, a uma razão de hulha pulverizada de 150 kg/t ou mais e menos do que 170 kg/t ou uma razão de hulha pulverizada de 170 kg/t. O limite superior da razão de hulha pulverizada é de 300 kg/t ou menos, de preferência, 250 kg/t ou menos.

[0082] O formato dos entalhes 23 no tubo interno 21 visto na direção radial pode ser tetragonal conforme ilustrado na Figura 11(a), triangular conforme ilustrado na Figura 11(b), ou em formato de U conforme ilustrado na Figura 11(c). O tamanho dos entalhes 23 é representado pela largura de abertura dos entalhes 23 e a profundidade dos entalhes 23 a partir da abertura até o fundo dos mesmos. Conforme ilustrado na Figura 12, o ângulo  $\theta$  formado pelo centro da extremidade frontal e o centro da extremidade inferior de cada um dos entalhes 23, mais especificamente o ângulo  $\theta$  de um segmento de linha entre o centro da abertura e o centro do fundo de cada um dos entalhes 23 em

relação a uma corda da abertura, de preferência, varia de 30 a 90 graus. Um experimento foi desempenhado na área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada enquanto o formato de entalhe, particularmente o tamanho de entalhe, foi alterado. No experimento, conforme ilustrado na Figura 13, a fumaça foi emitida a partir de um tubo interno e um tubo externo de uma lança de parede dupla, isto é, uma trajetória de fluxo de hulha pulverizada e uma trajetória de fluxo de oxigênio. A área de uma sobreposição entre a fumaça emitida a partir da trajetória de fluxo de hulha pulverizada e a fumaça emitida a partir da trajetória de fluxo de oxigênio foi determinada conforme uma área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada em uma análise de imagem. A largura de dispersão da hulha pulverizada foi determinada a partir do ângulo de propagação da fumaça emitida a partir da trajetória de fluxo de hulha pulverizada. O experimento foi, principalmente, desempenhado em entalhes que têm um formato tetagonal quando vistos na direção radial do tubo interno.

[0083] Primeiro, a Figura 14 ilustra a área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada conforme uma função da largura de entalhe. A largura de entalhe foi representada pela razão da largura total dos entalhes para a circunferência interna do tubo interno. A área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada foram representadas por meio de razões com base no caso de o tubo interno não ter entalhe. Conforme fica claro a partir da Figura, a área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada aumentou com uma largura de entalhe aumentada. Entretanto, a largura de dispersão da hulha pulverizada começou a diminuir a uma determinada largura de entalhe. Isso se deve, provavelmente, pelo fato de que, embora o grau de mistura entre o oxigênio

e a hulha pulverizada aumente mediante o aumento de largura de entalhe, uma largura de entalhe excessivamente grande resulta em um fluxo de entrada de oxigênio para o lado de dentro da lança de parede dupla na direção radial de modo que suprima, assim, a dispersão de hulha pulverizada. Dessa forma, uma razão da largura total dos entalhes para a circunferência do tubo interno é, de preferência, mais do que 0 e 0,5 ou menos, com mais preferência 0,05 ou mais e 0,3 ou menos, ainda com mais preferência 0,1 ou mais e 0,2 ou menos.

[0084] A Figura 15 ilustra a área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada conforme uma função da profundidade de entalhe. A profundidade de entalhe foi representada pela própria profundidade. A área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada foi representada por meio de razões com base no caso de o tubo interno não ter entalhe. Conforme fica claro a partir da Figura, a área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada aumentou mediante o aumento de profundidade de entalhe. Entretanto, a largura de dispersão da hulha pulverizada começou a diminuir a uma determinada profundidade de entalhe. Isso se deve, provavelmente, pelo fato de que, embora o grau de mistura entre o oxigênio e a hulha pulverizada aumente mediante o aumento de profundidade de entalhe, uma profundidade de entalhe excessivamente grande resulta na estabilização de um fluxo em uma extremidade frontal da lança de modo que suprima, assim, a dispersão de hulha pulverizada. Dessa forma, a profundidade de entalhe é, de preferência, mais do que 0 e 12 mm ou menos, com mais preferência, 2 mm ou mais e 10 mm ou menos, ainda com mais preferência 3 mm ou mais e 7 mm ou menos.

[0085] A Figura 16 ilustra a área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada con-

forme uma função da quantidade de entalhes. A quantidade de entalhes foi representada por uma razão da quantidade dos entalhes para uma quantidade máxima de entalhes. A área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada foram representadas por meio de razões com base no caso de o tubo interno não ter entalhe. A quantidade máxima de entalhes é uma parte inteira de um quociente obtido dividindo-se a circunferência interna do tubo interno da lança de parede dupla pela largura de entalhe, mais especificamente, a quantidade máxima de entalhes que têm uma largura predeterminada no tubo interno. Conforme fica claro a partir da Figura, a área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada aumentou mediante o aumento da quantidade de entalhes. Entretanto, a largura de dispersão da hulha pulverizada começou a diminuir a uma determinada quantidade de entalhes. Isso se deve, provavelmente, pelo fato de que, embora o grau de mistura entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a dispersibilidade da hulha pulverizada aumentem mediante o aumento da quantidade de entalhes, uma quantidade excessivamente grande de entalhes resulta em uma razão aumentada de oxigênio que flui através do tubo interno de modo que suprime, assim, a dispersão de hulha pulverizada. Dessa forma, a razão de quantidade dos entalhes para uma quantidade máxima de entalhes é, de preferência, mais do que 0 e 0,8 ou menos, com mais preferência 0,1 ou mais e 0,6 ou menos, ainda com mais preferência, 0,2 ou mais e 0,5 ou menos.

[0086] A Figura 17 ilustra a área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada conforme uma função da largura de um entalhe tetagonal ou um entalhe triangular. Na Figura 17, os resultados experimentais para o entalhe triangular são sobrepostos na Figura 14. A largura de entalhe foi representada pela razão da largura total dos entalhes para a circunferência

interna do tubo interno. A área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada foram representadas por meio de razões com base no caso de o tubo interno não ter entalhe. Conforme fica claro a partir da Figura, tanto no caso do entalhe tetragonal quanto o entalhe triangular, a área de contato entre o oxigênio e a hulha pulverizada e a largura de dispersão da hulha pulverizada aumentou mediante o aumento da largura de entalhe. Entretanto, a largura de dispersão da hulha pulverizada começou a diminuir a uma determinada largura de entalhe. Isso se deve, provavelmente, devido ao fato de que, embora o grau de mistura entre o oxigênio e a hulha pulverizada aumente mediante o aumento da largura de entalhe conforme ilustrado na Figura 14, também no caso do entalhe triangular, uma largura de entalhe excessivamente grande resulta em um fluxo de entrada de oxigênio para o lado de dentro da lança de parede dupla na direção radial de modo que suprime, assim, a dispersão de hulha pulverizada. Dessa forma, uma razão da largura total dos entalhes de qualquer formato para a circunferência do tubo interno é, de preferência, mais do que 0 e 0,5 ou menos, com mais preferência, 0,05 ou mais e 0,3 ou menos, ainda com mais preferência, 0,1 ou mais e 0,2 ou menos.

[0087] Com um aumento de temperatura de combustão, o tubo externo da lança de parede dupla tende a ser exposto a uma alta temperatura. A lança é um tubo de aço inoxidável, por exemplo. Embora uma lança seja, algumas vezes, circundada por uma camisa de resfriamento e seja resfriada com água, uma extremidade frontal da lança não pode ser circundada pela camisa de resfriamento. Em particular, foi constatado que uma extremidade frontal de um tubo externo de uma lança de parede dupla que não pode ser resfriada com água provavelmente mudará de formato com calor. Quando uma lança é deformada ou dobrada, isso torna difícil soprar um gás ou hulha pulveri-

zada dentro de uma porção destinada ou recolocar a lança consumível. Um fluxo de hulha pulverizada pode ser alterado e atingir um ventaneira, assim, de modo que cause danos à ventaneira. Um tubo externo de uma lança de parede dupla dobrado pode bloquear um vão entre o tubo externo e um tubo interno da lança. Um bloqueio no tubo externo pode resultar em uma perda de carga de fusão do tubo externo da lança de parede dupla ou pode causar danos a um tubo de sopro. Uma deformação ou dano por desgaste de uma lança torna difícil alcançar a temperatura de combustão desejada e diminuir o consumo específico de um material de redução.

[0088] Para resfriar um tubo externo de uma lança de parede dupla, que não pode ser resfriada com água, o tubo externo deve ser resfriado com um gás que flui do lado de dentro do tubo externo. No caso de um tubo externo de uma lança de parede dupla ser resfriada por meio de dissipação de calor para o interior de um gás que flui dentro do tubo externo, a velocidade de fluxo do gás provavelmente afeta a temperatura de lança. Dessa forma, os presentes inventores mediram a temperatura de superfície de lança enquanto alteravam a velocidade de fluxo de um gás injetado através de um tubo externo de uma lança de parede dupla. No experimento, o oxigênio foi injetado através do tubo externo da lança de parede dupla e a hulha pulverizada foi injetada através de um tubo interno da lança de parede dupla. A velocidade de fluxo de um gás foi alterada com a quantidade de oxigênio injetada através do tubo externo. Um ar enriquecido de oxigênio pode ser usado no lugar de oxigênio. São usados 2% ou mais, de preferência, 10% ou mais de ar enriquecido de oxigênio. Um ar enriquecido de oxigênio é usado não apenas para resfriamento, mas também, para otimizar a combustibilidade de hulha pulverizada. A Figura 18 mostra os resultados de medição.

[0089] O tubo externo da lança de parede dupla foi um tubo de aço

chamado de 20A, Schedule 5S. O tubo interno da lança de parede dupla foi um tubo de aço chamado de 15A, Schedule 90. A temperatura de superfície de lança foi medida durante a alteração da velocidade total de fluxo de oxigênio e nitrogênio injetada através do tubo externo. Os termos "15A" e "20A" se referem ao diâmetro externo nominal de um tubo de aço de acordo com a JIS G 3459. O 15A denota um diâmetro externo de 21,7 mm e 20A denota um diâmetro externo de 27,2 mm. O termo "Schedule" é a espessura nominal de um tubo de aço de acordo com a JIS G 3459. O 20A, Schedule 5S denota uma espessura de 1,65 mm e 15A, Schedule 90 denota uma espessura de 3,70 mm. Em adição a um tubo de aço inoxidável, o aço comum também pode ser usado. Nesse caso, o diâmetro externo de um tubo de aço é especificado em JIS G 3452 e a espessura do tubo de aço é especificada em JIS G 3454.

[0090] Conforme indicado por meio de uma linha de traço-ponto-ponto na Figura, a temperatura de superfície de lança diminui em proporção inversa à velocidade de fluxo de um gás injetado através do tubo externo da lança de parede dupla. Em uma lança de parede dupla formada de um tubo de aço, uma temperatura de superfície de lança de parede dupla de mais do que 880 °C resulta em deformação de fluência e uma dobra da lança de parede dupla. Dessa forma, quando o tubo externo da lança de parede dupla em um tubo de aço 20A, Schedule 5S e a temperatura de superfície de lança de parede dupla é 880 °C ou menos, a velocidade de fluxo de saída no tubo externo da lança de parede dupla é de 20 m/s ou mais. Contanto que a velocidade de fluxo de saída no tubo externo da lança de parede dupla seja de 20 m/s ou mais, a lança de parede dupla não tem deformação ou dobra. Uma velocidade de fluxo de saída de mais do que 120 m/s no tubo externo da lança de parede dupla não é prática em termos do custo de operação do equipamento. Dessa forma, 120 m/s é o limite superior

da velocidade de fluxo de saída no tubo externo da lança de parede dupla. No caso de lanças de tubo único, que têm uma carga de calor menor do que lanças de parede dupla, a velocidade de fluxo de saída pode ser 20 m/s ou mais, se necessário.

[0091] Na modalidade descrita acima, a hulha pulverizada pode ter um tamanho médio de partícula na faixa de 10 a 100 mm. Considerando-se a combustibilidade assim como o abastecimento a partir da lança e abastecimento para a lança, a hulha pulverizada, de preferência, tem um tamanho médio de partícula na faixa de 20 a 50 mm. Embora a hulha pulverizada que tem um tamanho médio de partícula de menos do que 20 mm tenha uma combustibilidade alta, a lança é, freqüentemente, obstruída durante o transporte da hulha pulverizada (transporte pneumático). A hulha pulverizada que tem um tamanho médio de partícula de mais do que 50 mm pode ter uma combustibilidade baixa.

[0092] Uma hulha pulverizada injetada através do tubo interno da lança de parede dupla pode ser uma hulha que tem um teor de matéria volátil de 25% em massa ou menos ou hulha antracitosa, que pode ser usada conforme um material de redução sólido. A hulha antracitosa tem um teor de matéria volátil na faixa de 3 a 5% em massa. Dessa forma, a hulha pulverizada usada na presente invenção é referida conforme hulha pulverizada que tem um teor de matéria volátil de 3% em massa ou mais e de 25% em massa ou menos, que inclui hulha antracitosa.

[0093] Um material de redução sólido a ser injetado contém, principalmente, hulha pulverizada e podem conter, também, um plástico residual, combustível derivado de refugo (RDF), recurso orgânico (biomassa), sucata de madeira e/ou pó de coque de CDQ. O pó de coque de CDQ é moinha de coque coletada por meio de um aparelho de aferrecimento brusco a seco de coque (CDQ). Quando usada, uma razão de hulha pulverizada para todo o material de redução sólido é,

de preferência, 80% em massa ou mais. O calor de reação de hulha pulverizada é diferente do calor de reação de um plástico residual, combustível derivado de refugo (RDF), recurso orgânico (biomassa), sucata de madeira, ou pó de coque de CDQ. Dessa forma, quando a quantidade de hulha pulverizada chega à quantidade de material auxiliar, isso tende a resultar em combustão irregular e operação instável. Ademais, o valor calorífico de uma reação de combustão de um plástico residual, combustível derivado de refugo (RDF), recurso orgânico (biomassa), ou sucata de madeira é inferior ao valor calorífico de uma reação de combustão de hulha pulverizada. Dessa forma, injetar uma grande quantidade de um material auxiliar resulta em uma eficiência de substituição baixa para o material de redução sólido carregado através do topo do forno. Embora o pó de coque de CDQ tenha um valor calorífico alto, o pó de coque de CDQ não contém matéria volátil, é difícil de acender e tem uma eficiência de substituição baixa. Dessa forma, a hulha pulverizada corresponde, de preferência, a 80% em massa ou mais.

[0094] Um plástico residual, combustível derivado de refugo (RDF), recurso orgânico (biomassa), ou sucata de madeira pode ser usado na forma de grãos pequenos que têm um tamanho de 6 mm ou menos, de preferência, 3 mm ou menos, em combinação com a hulha pulverizada. O pó de coque de CDQ pode ser usado diretamente. O material auxiliar pode ser misturado com a hulha pulverizada portada por meio de um gás portador. O material auxiliar pode ser misturado com a hulha pulverizada com antecedência.

[0095] Em um método de operação de alto-forno de acordo com a presente modalidade em que uma lança 4 para injeção de um combustível através de uma ventaneira 3 é um tubo duplo, o método inclui injetar a hulha pulverizada através de um tubo interno 21 da lança de parede dupla 4, de modo que injete o oxigênio (um gás que suporta

combustão) através de um tubo externo 22 da lança de parede dupla 4 e forme entalhes 23 em uma extremidade frontal de injeção do tubo interno 21 da lança de parede dupla 4, em que a concentração de oxigênio em um gás composto por um gás portador para portar a hulha pulverizada e o gás que suporta combustão é 35% em volume ou mais. Mesmo em uma operação que usa hulha pulverizada que tem um teor de matéria volátil de 25% em massa ou menos em uma razão alta de hulha pulverizada de 150 kg/t ou mais, a temperatura de combustão pode ser aumentada e, consequentemente, as emissões de CO<sub>2</sub> podem ser reduzidas. A uma razão de hulha pulverizada de 170 kg/t ou mais, o consumo de oxigênio específico pode ser reduzido diminuindo-se a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador para portar a hulha pulverizada e o gás que suporta combustão para menos do que 70% em volume.

[0096] Os entalhes 23 uniformemente espaçados circunferencialmente na extremidade frontal do tubo interno 21 da lança de parede dupla 4 otimizam a difusão de hulha pulverizada e o gás que suporta combustão e otimizam adicionalmente a eficiência de combustão.

[0097] Injetar uma parte de oxigênio para enriquecimento dentro de um jato (conforme um gás que suporta combustão) através do tubo externo 22 da lança de parede dupla 4 pode evitar o abastecimento de oxigênio excessivo sem perturbar o equilíbrio de gás no alto-forno e reduzir o consumo de oxigênio específico.

## **LISTA DE SINAIS DE REFERÊNCIA**

- 1 alto-forno
- 2 tubo de sopro
- 3 ventaneira
- 4 lança
- 5 canal adutor
- 6 hulha pulverizada

7 coque

8 carvão

9 oxigênio

21 tubo interno

22 tubo externo

23 entalhe

## REIVINDICAÇÕES

1. Método de operação de alto-forno (1), caracterizado pelo fato de que compreende:

preparar a hulha pulverizada (6) que tem um teor de matéria volátil de 25% em massa ou menos;

preparar uma lança de parede dupla (4) para injetar a hulha pulverizada (6) e um gás que suporta combustão (9) através de uma ventaneira (3), sendo que a lança de parede dupla (4) tem um tubo interno (21) e um tubo externo (22);

soprar ar quente através da ventaneira (3);

formar, circunferencialmente, uma pluralidade de entalhes (23) em uma extremidade frontal de injeção do tubo interno (21) da lança de parede dupla (4), em que os entalhes (23) são cortados na direção axial;

injetar a hulha pulverizada (6) junto com um gás portador através do tubo interno (21) a uma razão de hulha pulverizada (6) de 150 kg/t de ferro-gusa ou mais; e

injetar o gás que suporta combustão (9) através do tubo externo (22) da lança de parede dupla (4),

em que a concentração de oxigênio em um gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão (9) é 35% em volume ou mais.

2. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os entalhes (23) são uniformemente espaçados circunferencialmente na extremidade frontal do tubo interno (21) da lança de parede dupla (4).

3. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a razão da largura total dos entalhes (23) para a circunferência interna do tubo interno (21) da lança de parede dupla (4) é mais do que 0 e 0,5 ou menos.

4. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que a razão da largura total dos entalhes (23) para a circunferência interna do tubo interno (21) da lança de parede dupla (4) é 0,05 ou mais e 0,3 ou menos.

5. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que a razão da largura total dos entalhes (23) para a circunferência interna do tubo interno (21) da lança de parede dupla (4) é 0,1 ou mais e 0,2 ou menos.

6. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que cada um dos entalhes (23) tem uma profundidade de mais do que 0 mm e 12 mm ou menos.

7. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que cada um dos entalhes (23) tem uma profundidade de 2 mm ou mais e 10 mm ou menos.

8. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que cada um dos entalhes (23) tem uma profundidade de 3 mm ou mais e 7 mm ou menos.

9. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a razão da quantidade dos entalhes (23) para a quantidade máxima de entalhes (23) é mais do que 0 e 0,8 ou menos, em que a quantidade máxima de entalhes (23) é uma parte integral de um quociente obtido dividindo-se a circunferência interna do tubo interno (21) da lança de parede dupla (4) pela largura de um dentre os entalhes (23).

10. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que a razão da quantidade dos entalhes (23) para a quantidade máxima de entalhes (23) é de 0,1 ou mais e de 0,6 ou menos.

11. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que a razão da quantidade

dos entalhes (23) para a quantidade máxima de entalhes (23) é de 0,2 ou mais e de 0,5 ou menos.

12. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o gás que suporta combustão (9) é o oxigênio e uma parte de oxigênio para enriquecimento é injetada dentro de um jato através do tubo externo (22) da lança de parede dupla (4).

13. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a hulha pulverizada (6) tem um teor de matéria volátil de 3% em massa ou mais e de 25% em massa ou menos.

14. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o gás que suporta combustão (9) injetado através do tubo externo (22) da lança de parede dupla (4) tem uma velocidade de fluxo de saída na faixa de 20 a 120 m/s.

15. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a razão de hulha pulverizada (6) é de 170 kg/t de ferro-gusa ou mais.

16. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que

a razão de hulha pulverizada (6) é de 170 kg/t de ferro-gusa ou mais, e

a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão (9) é de 35% em volume ou mais e menos do que 70% em volume.

17. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato de que a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão (9) é de 40% em volume ou mais e de 65% em volume ou me-

nos.

18. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão (9) é de 45% em volume ou mais e 60% em volume ou menos.

19. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que a razão de hulha pulverizada (6) é de 170 kg/t de ferro-gusa ou mais e 300 kg/t de ferro-gusa ou menos.

20. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato de que a razão de hulha pulverizada (6) é de 170 kg/t de ferro-gusa ou mais e 300 kg/t de ferro-gusa ou menos.

21. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão (9) é de 35% em volume ou mais e menos do que 70% em volume.

22. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato de que a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão (9) é de 40% em volume ou mais e 65% em volume ou menos.

23. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 22, caracterizado pelo fato de que a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão (9) é de 45% em volume ou mais e 60% em volume ou menos.

24. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a razão de hulha pulverizada (6) é de 150 kg/t de ferro-gusa ou mais e 300 kg/t de ferro-gusa ou menos.

25. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a razão de hulha pulverizada (6) é de 150 kg/t de ferro-gusa ou mais e menos do que 170 kg/t de ferro-gusa.

26. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que

a razão de hulha pulverizada (6) é de 150 kg/t de ferro-gusa ou mais e menos do que 170 kg/t de ferro-gusa, e

a concentração de oxigênio no gás composto pelo gás portador e o gás que suporta combustão (9) é de 35% em volume ou mais e menos do que 70% em volume.

27. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 26, caracterizado pelo fato de que pelo menos um selecionado dentre o grupo que consiste em: plásticos residuais, combustíveis derivados de refugo, recursos orgânicos, sucata de madeira e pó de coque de CDQ é adicionado à hulha pulverizada (6).

28. Método de operação de alto-forno (1), de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de que a hulha pulverizada (6) corresponde a 80% em massa ou mais e é usado pelo menos um dentre os plásticos residuais, combustíveis derivados de refugo, recursos orgânicos, sucata de madeira e pó de coque de CDQ.

FIG. 1

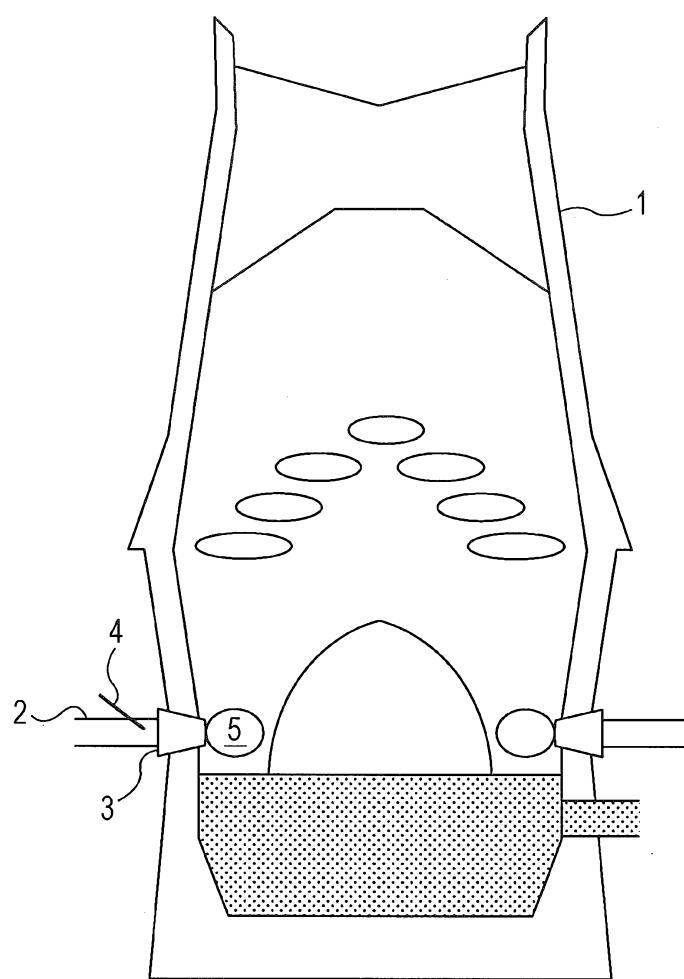


FIG. 2

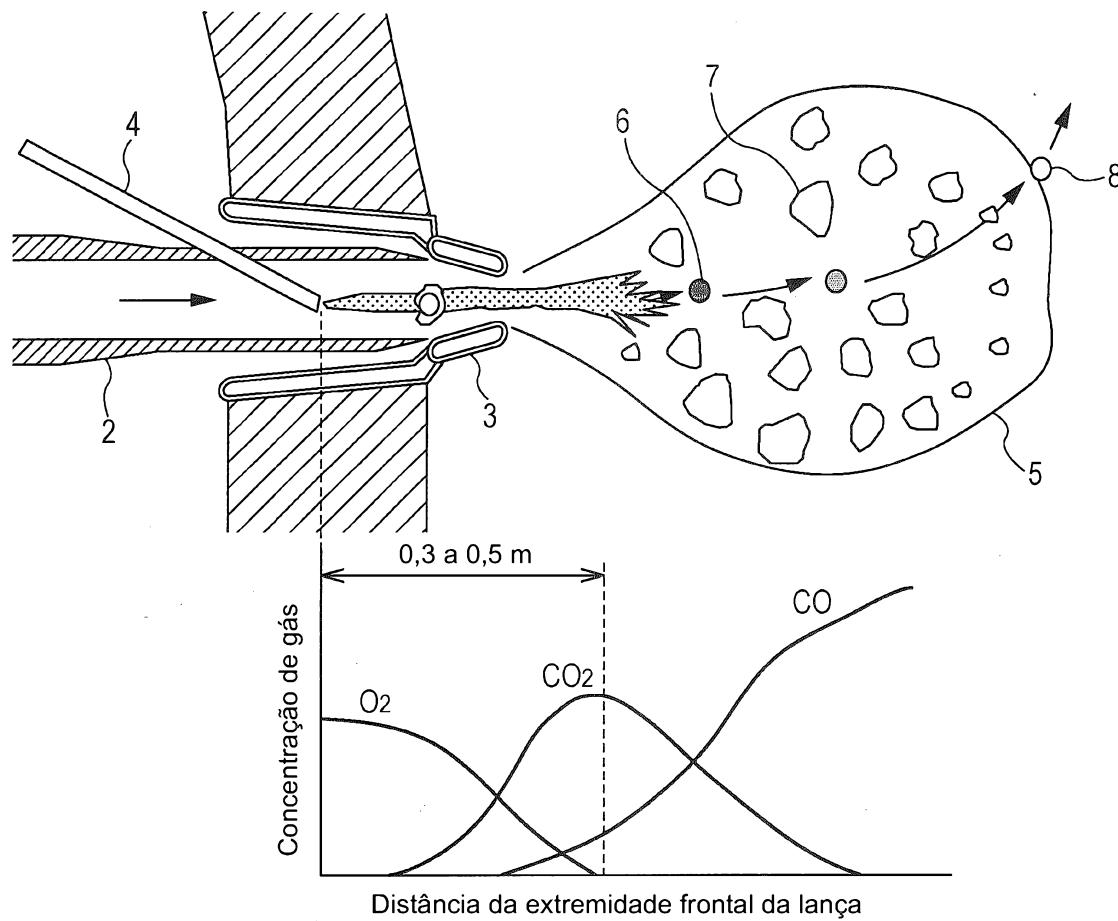


FIG. 3

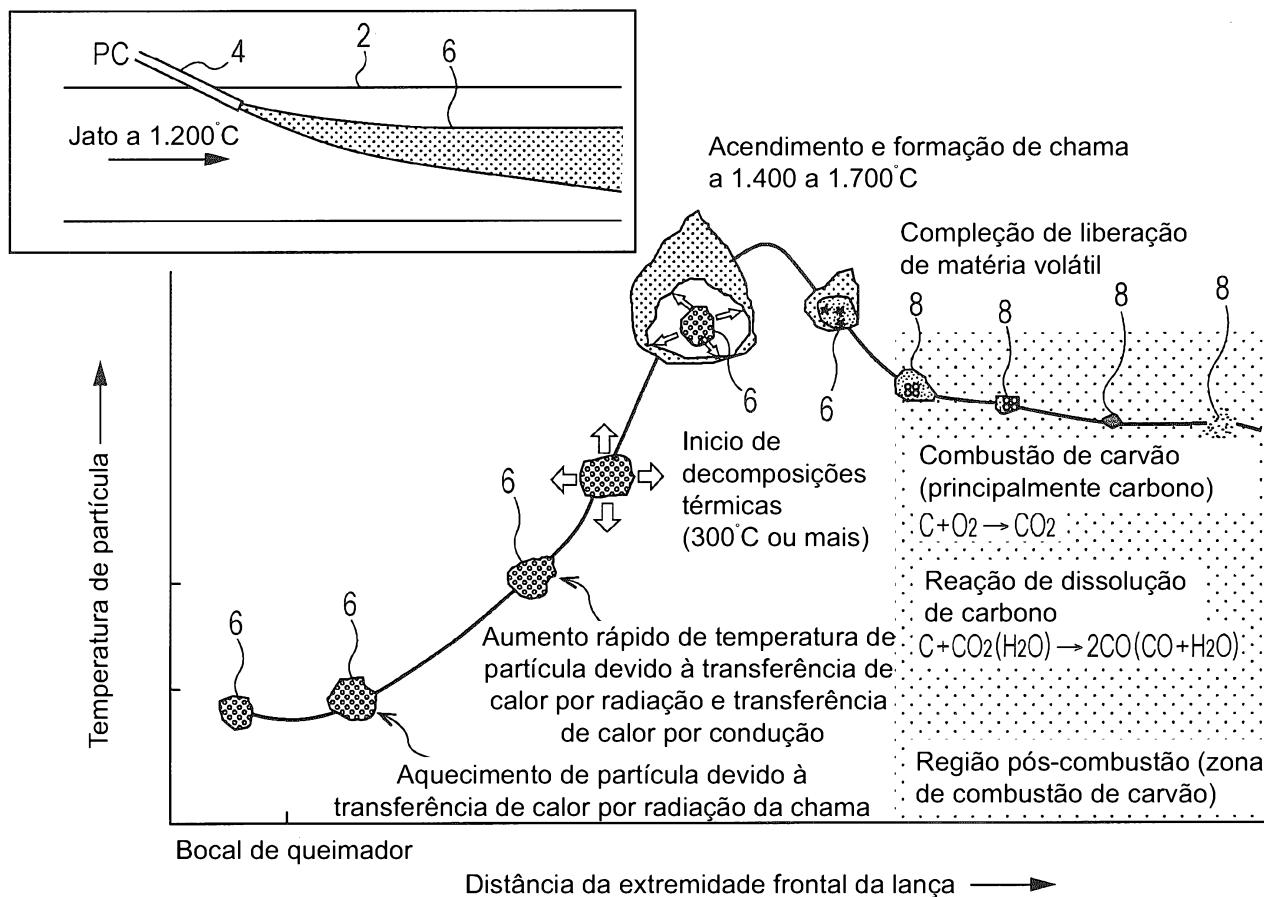


FIG. 4

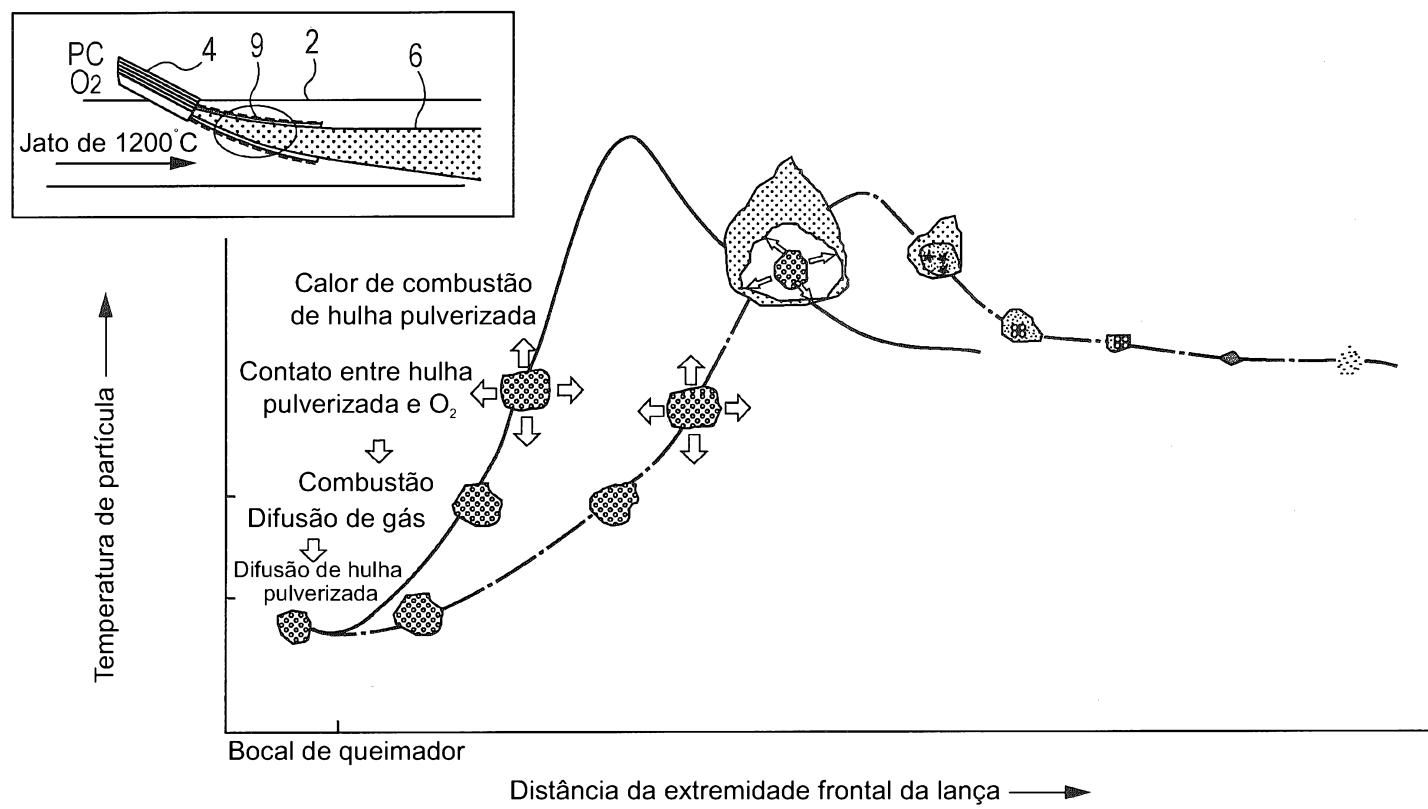


FIG. 5

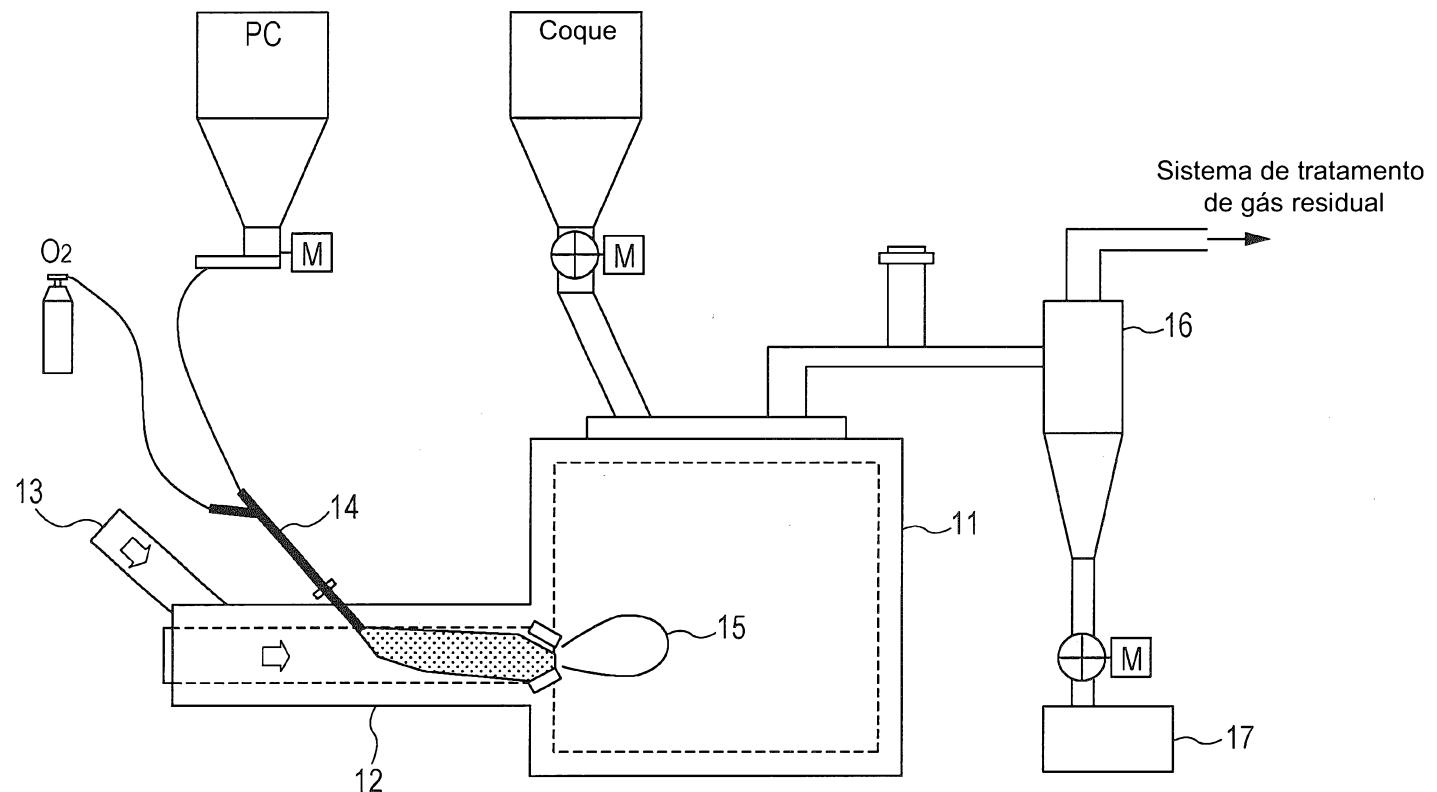


FIG. 6

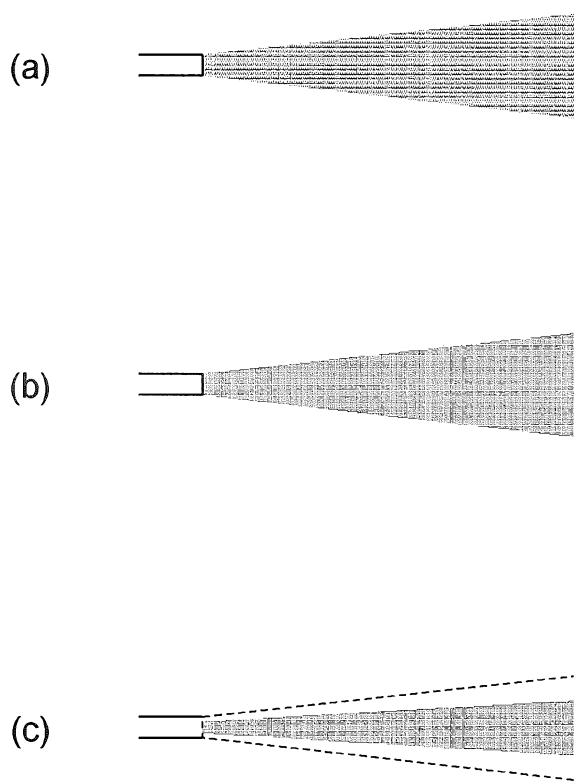


FIG. 7

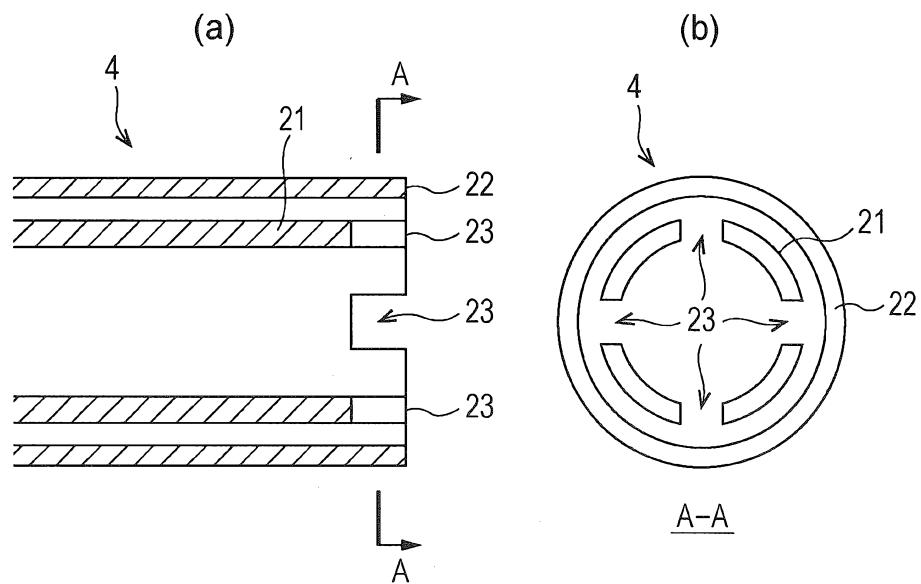


FIG. 8

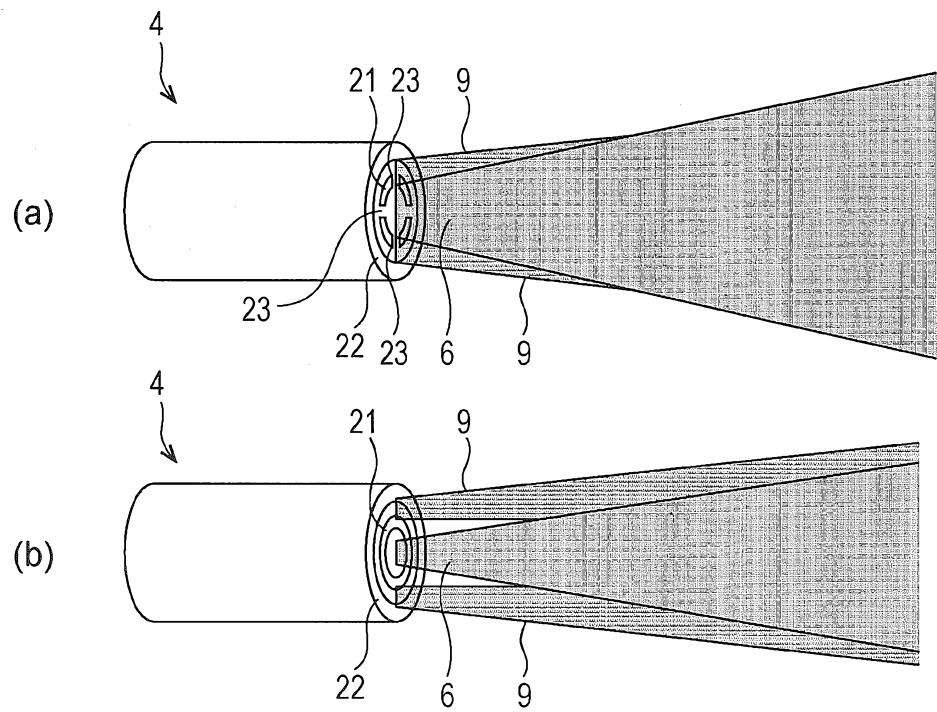


FIG. 9

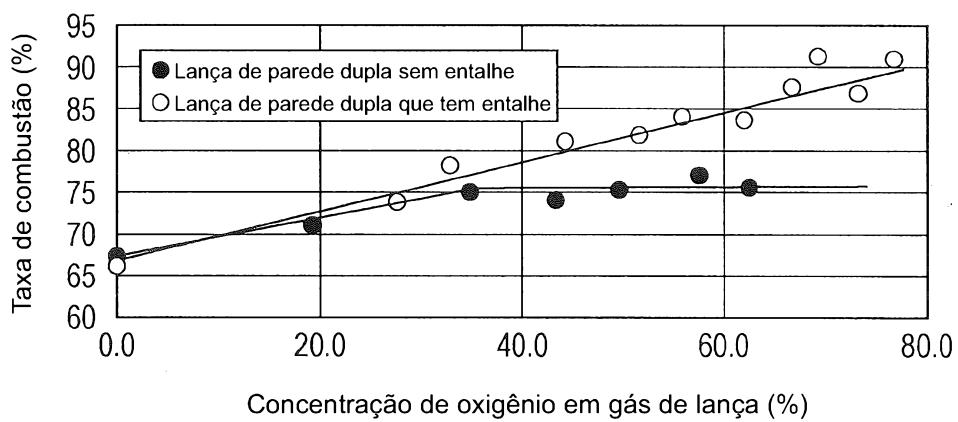


FIG. 10

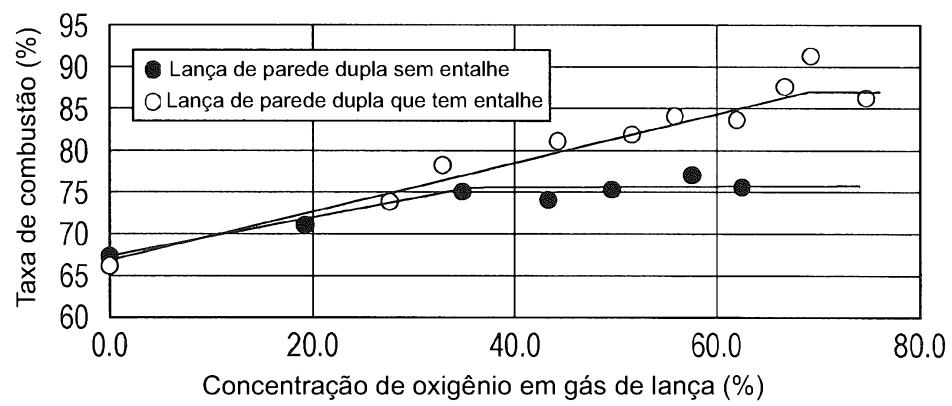


FIG. 11

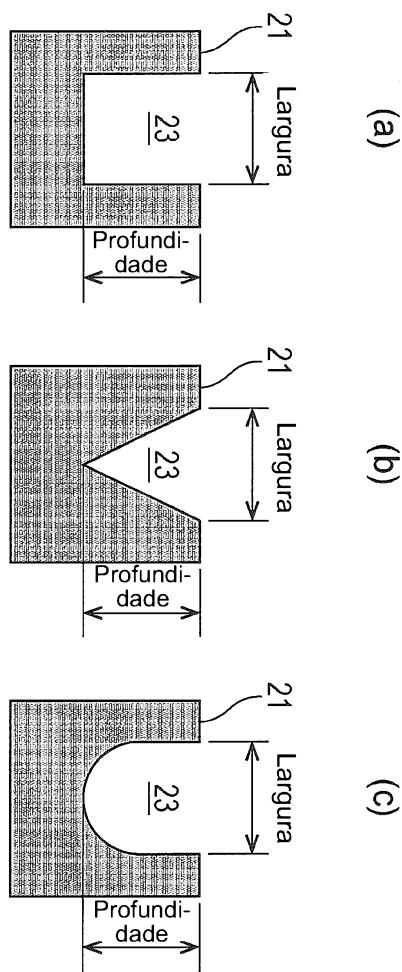
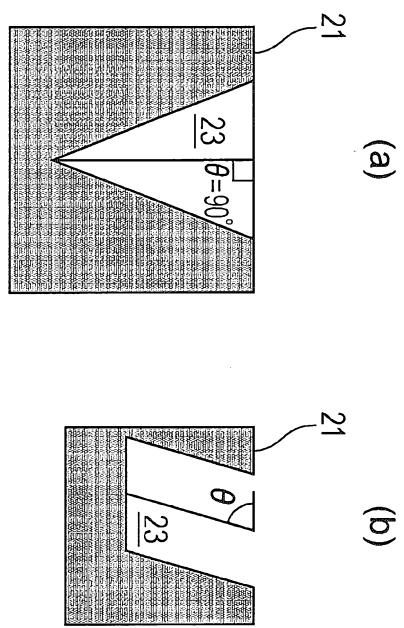


FIG. 12



10/13

**FIG. 13**

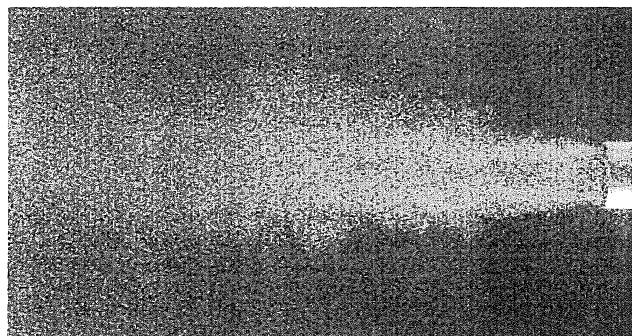


FIG. 14

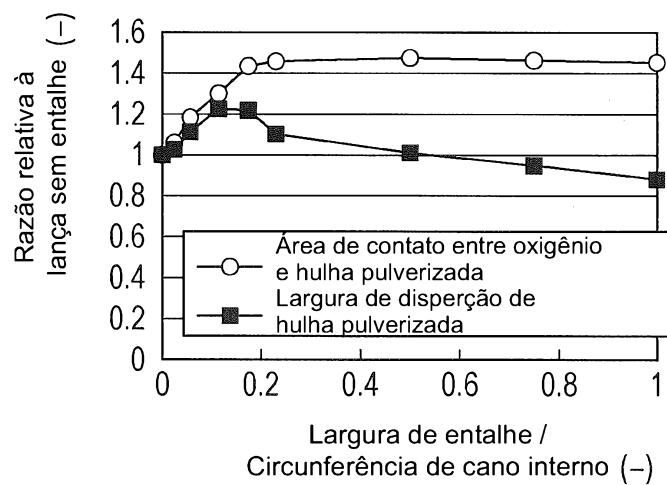


FIG. 15

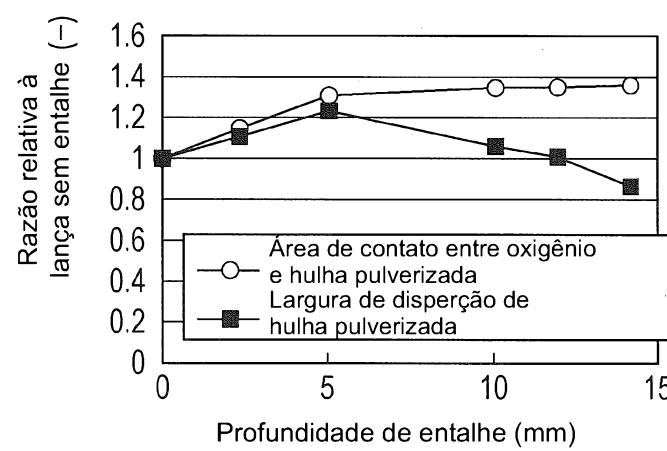


FIG. 16

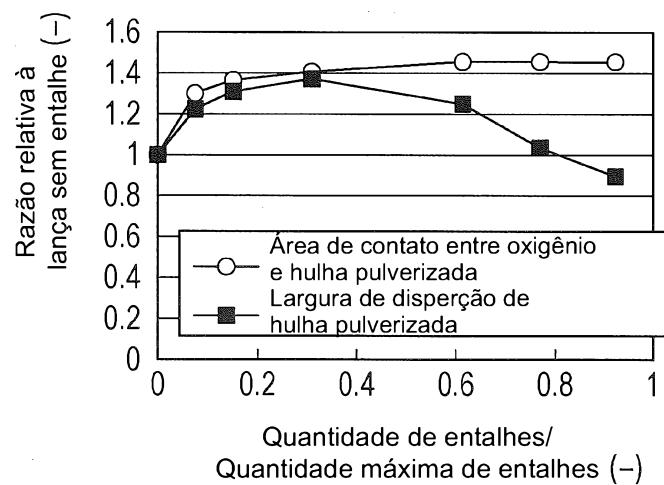
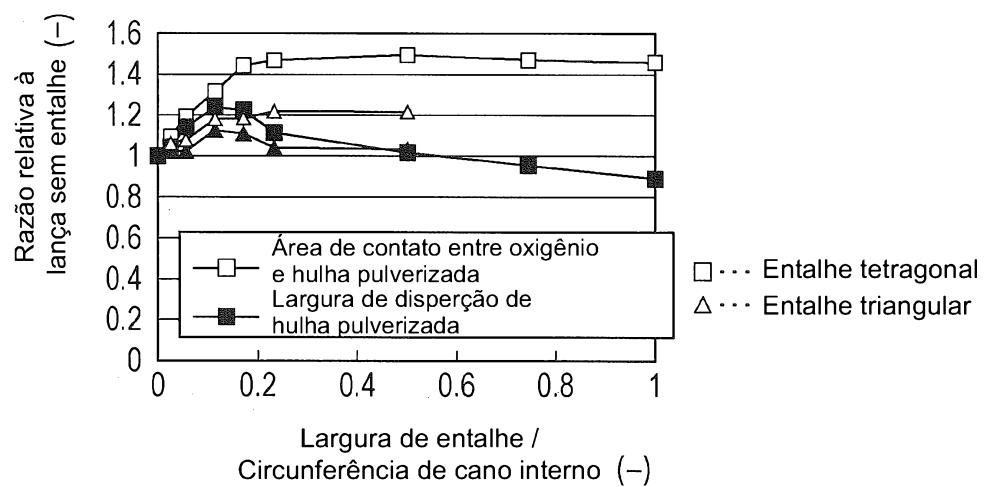


FIG. 17



13/13

FIG. 18

