

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 567 784**

51 Int. Cl.:

C21B 9/00 (2006.01)

C21B 9/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.11.2010 E 10833669 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.01.2016 EP 2513345**

54 Título: **Método para calentar una estufa de alto horno**

30 Prioridad:

26.11.2009 SE 0950900

26.11.2009 SE 0950901

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

26.04.2016

73 Titular/es:

**LINDE AG (100.0%)
Klosterhofstrasse 1
80331 München, DE**

72 Inventor/es:

**CAMERON, ANDY;
EKMAN, TOMAS y
GARTZ, MATS**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 567 784 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para calentar una estufa de alto horno

La presente invención se refiere a un método para calentar una estufa de alto horno para su uso con un alto horno.

5 El aire de combustión alimentado a un alto horno normalmente se precalienta usando una estufa que comprende material refractario que se calienta usando un quemador. Cuando el material está lo suficientemente caliente, pasa aire de combustión a través de las estufas para precalentarlo antes de su inyección en el alto horno. Por lo general, varias estufas funcionan en paralelo y cíclicamente de manera que funciona al menos una estufa para calentar aire de combustión, mientras se calienta el material refractario de al menos una estufa.

10 De manera convencional, el gas de tragante que sale del alto horno tiene una temperatura de alrededor de entre 110 °C y 120 °C y contiene alrededor de entre 20 % y 25 % de CO y CO₂. Típicamente, también estará presente entre 3 % y 5 % de H₂ y algo de H₂O, aunque el otro componente principal del gas de tragante es N₂ (típicamente entre 45 % y 57 %). El gas constituye un combustible de bajo poder calorífico, que tiene un poder calorífico relativamente bajo, y se utiliza comúnmente para alimentar las estufas.

15 El gas de tragante normalmente se quema utilizando quemadores de aire - combustible en las estufas. A fin de asegurar las altas temperaturas de chorro de aire necesarias para el alto horno, se conoce enriquecer el gas de tragante con un gas de alto poder calorífico, tal como gas de horno de coque o gas natural. La combustión de tal combustible adicional deriva en mayores emisiones globales de dióxido de carbono procedentes de la planta, y por tanto no es deseable.

20 También se conoce enriquecer con oxígeno el aire de combustión utilizado en quemadores de dos llamas. Por lo general, los niveles de enriquecimiento necesarios para reducir o eliminar la necesidad de combustibles adicionales de alto poder calorífico son tales que dan como resultado un contenido final de oxígeno en el oxidante que hay en el aire de combustión de alrededor de entre 28 % y 30%.

25 El documento FR 2847659 describe un proceso de combustión para usar en un emplazamiento industrial, por ejemplo una fábrica de productos químicos, una fábrica de acero integrada, etc., e implica añadir oxígeno al aire con el fin de aprovechar la fuente de combustible con un volumen de oxígeno de treinta por ciento, y hacer que el oxidante reaccione con dicho combustible que tiene una potencia calorífica baja.

Tales métodos pueden hacer en algunos casos que los picos de temperatura de llama sean suficientemente altos como para dañar el material refractario del horno, y pueda ser necesario, por ejemplo, proporcionar un caudal de aire extra para bajar la temperatura de llama.

30 Se conoce además precalentar, utilizando unidades de recuperación de calor, el combustible y el aire alimentados a los quemadores de estufa.

Todos los métodos anteriormente descritos añaden complejidad al proceso y requieren un equipo costoso.

35 El propio alto horno es un reactor de contracorriente altamente eficiente que ha evolucionado a lo largo de muchos años. Se acerca a los límites de la eficiencia termodinámica, por lo que es difícil reducir el consumo de energía relativo a las mejores prácticas de funcionamiento actuales. Por otra parte, el alto horno y su equipo auxiliar, tal como estufas, son los mayores consumidores de energía en una fábrica de hierro y acero integradas. Por otra parte, la energía consumida en la fabricación de hierro es el factor dominante para determinar el consumo de carbono del proceso de fabricación de acero integrado, y por tanto las emisiones de dióxido de carbono. Por tanto, sería deseable aumentar la eficiencia térmica de estufas de altos hornos.

40 Si se usan las denominadas técnicas de "captura de carbono", es posible separar dióxido de carbono de gas combustible de estufa, con el fin de disminuir las emisiones. Sin embargo, tal separación resulta relativamente cara. Por tanto, sería deseable diseñar una estufa de alto horno que permita una captura de carbono más barata.

45 Además del anteriormente mencionado problema de altos picos de temperatura, las temperaturas de llama o tasas de entrada de calor demasiado bajas darán lugar a largos ciclos de calentamiento, lo cual no es deseable. Es decir, la temperatura de la llama debe ser moderada.

La presente invención resuelve los problemas descritos anteriormente.

50 De este modo, la presente invención se refiere a un método para calentar una estufa de alto horno mediante la combustión de un combustible con un poder calorífico inferior (PCI) de 9 MJ / Nm³ o menor en una zona de combustión, dispuesto en una cámara de combustión en la estufa, y hacer que los gases de combustión circulen a su través y calienten así material refractario en la estufa, y está caracterizado por que el combustible combustiona con un oxidante que comprende al menos 85% de oxígeno, y por que se hace que los gases de combustión

recirculen en la zona de combustión y diluyan así la mezcla de combustible y oxidante de manera suficiente para que la combustión sea sin llama.

En lo que sigue, la invención se describirá en detalle con referencia a realizaciones ejemplares de la invención y a los dibujos que se acompañan, en los que:

5 La figura 1 es una ilustración simplificada de un alto horno y de tres estufas en una fábrica de hierro convencional;

La figura 2 es una vista en sección que ilustra una estufa convencional de un tipo moderno con cámara de combustión externa;

La figura 3 es una vista en sección de una estufa con lanzas adicionales de acuerdo con la presente invención;

10 La figura 4 es una vista en sección detallada de una estufa con un quemador de combustible oxigenado de acuerdo con la presente invención;

La figura 5 es una vista en sección de una estufa con reciclado de gas de combustión de acuerdo con la presente invención; y

La figura 6 es una vista en sección detallada de una estufa con una lanza eyectora de acuerdo con la presente invención.

15 La figura 1 ilustra la disposición principal de un alto horno 120 y de tres estufas 100 en una fábrica de hierro. El funcionamiento del alto horno 120 produce gas de tragante del alto horno que es alimentado, mediante un dispositivo de control de alimentación de combustible 110, a cada estufa 100 para ser utilizado como combustible para calentar la estufa 100 en cuestión. El gas de tragante es quemado con un oxidante en forma de aire, que es alimentado por un dispositivo de control de alimentación de aire 130.

20 Cada estufa 100 comprende material refractario en forma de ladrillos cerámicos o similares, que primero es calentado y luego utilizado para calentar el chorro de aire que es alimentado al alto horno.

Cuando funciona en modo de calentamiento de material refractario (modo "en gas"), el gas de tragante se quema en la estufa 100 con el oxidante, y los gases de combustión son alimentados a un dispositivo de tratamiento de gas combustible 150, que posiblemente incluye una etapa de captura de carbono convencional.

25 Cuando funciona en modo de calentamiento de chorro de aire (modo "en chorro"), el aire es conducido a través del material refractario en la dirección opuesta y, a continuación, hacia el alto horno 120.

Las estufas 100 funcionan de forma cíclica, de modo que en cualquier punto en el tiempo, al menos una estufa funciona en chorro y el resto de las estufas funcionan en gas.

30 La figura 2 es una vista en sección a través de una estufa convencional 100 de un tipo moderno. La estufa 100 comprende una cámara de combustión externa 101, material refractario 102 y una caperuza 103. Cuando funciona en gas, es fundamental que la temperatura en la caperuza 103 no llegue a ser demasiado alta, puesto que hay entonces un riesgo de que se dañe la estufa 100. Ha de entenderse que también hay estufas con cámaras de combustión interna, y que la presente invención es igualmente aplicable al funcionamiento de tales estufas.

35 Cuando funciona en gas, gas de tragante y aire son alimentados a una zona de combustión de la cámara de combustión 101, en la que tiene lugar la combustión a través de un quemador de aire 108. El quemador 108 comprende una entrada de combustible 105 y una entrada de aire 104. Los gases de combustión calientes, a continuación, circulan hacia arriba a través de la cámara 101, pasan la caperuza 103 y hacia abajo a través del material refractario 102, calentando de ese modo este último. Al salir a través del puerto 106, la temperatura de los gases de combustión es normalmente de entre 200 °C y 350 °C.

40 Cuando el material refractario ha alcanzado una temperatura predeterminada, el funcionamiento se cambia a un funcionamiento en chorro. A continuación, se introduce aire a través del puerto 106, circula a través del material refractario caliente 102, vía la caperuza 103 y la cámara de combustión 101, y sale a través de un puerto de salida 107. En este punto, el chorro de aire tiene una temperatura típica de entre 1.100 °C y 1.200 °C.

45 En el contexto de la presente invención, es preferible calentar la estufa con gas de tragante de alto horno, como se describe anteriormente. Además, es preferible utilizar gas de tragante de un alto horno al que se proporciona chorro de aire procedente de la estufa. Esto permite la disposición de la estufa cerca del alto horno, es eficiente desde el punto de vista energético y hace que la planta produzca bajas emisiones totales.

Sin embargo, se debe entender que la presente invención puede ser igualmente aplicada de manera ventajosa a estufas calentadas con otros combustibles de bajo poder calorífico. A modo de ejemplo, en las tablas I y II,

respectivamente, se proporcionan composiciones químicas típicas (valores porcentuales) y poderes caloríficos inferiores (PCI), para gas de tragante de alto horno y efluente gaseoso de convertidor.

5

Tabla 1

	N ₂	O ₂	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C _m H _n	H ₂ O
Gas de tragante	52.5	0.55	2.3	23.5	20	-	-	1.15
Efluente gaseoso	17.2	0.1	2.5	64.5	15.6	-	-	0.1

0

Tabla 2

	PCI (MJ/Nm ³)	PCI (MJ/kg)
Gas de tragante	3.2	2.4
Efluente gaseoso	6.3	8.4

5 De acuerdo con la presente invención, la estufa se calienta con un combustible gaseoso cuyo poder calorífico PCI no es superior a 9 MJ / Nm³. El uso de tal combustible de bajo poder calorífico sacará el máximo beneficio de los posibles beneficios de coste de la presente invención. El combustible puede comprender una determinada adición de otro combustible con un poder calorífico más alto, siempre y cuando el poder calorífico PCI de la mezcla sea igual o inferior a 9 MJ / Nm³. Con el fin de minimizar el coste y las emisiones, se prefiere sin embargo no añadir combustibles de alto poder calorífico antes de la combustión.

10 De acuerdo con la presente invención, tal combustible de bajo poder calorífico se utiliza para calentar la estufa mediante combustión, no con aire ni con aire ligeramente enriquecido con oxígeno, sino con un oxidante que comprende al menos 85 % en peso, preferiblemente al menos 95 % en peso, de oxígeno, donde el oxidante más preferido es oxígeno industrialmente puro que tiene un contenido de oxígeno esencialmente de 100 %.

15 Esto aumentará la eficiencia del combustible, ya que el lastre de nitrógeno presente en el aire no necesita ser calentado. Por otra parte, al reducir el lastre de nitrógeno en los productos de combustión, pueden alcanzarse las temperaturas de llama necesarias sin la necesidad de complementar el gas combustible de bajo poder calorífico con combustibles de alto poder calorífico. La demanda de energía reducida facilitará el aumento de generación de energía y / o derivará en una menor necesidad de importación de gas, mejorando así la transferencia de combustible.

20 Normalmente, el uso de un oxidante con contenidos tan grandes de oxígeno daría lugar a picos de temperatura suficientemente altos como para dañar la caperuzas y el material refractario de la estufa.

25 Sin embargo, los presentes inventores han descubierto que es posible utilizar este tipo de oxidante siempre y cuando los gases de combustión de estufa sean recirculados a la zona de combustión hasta tal punto que la mezcla de combustible y oxidante se diluya de manera suficiente para que la combustión en la zona de combustión sea del tipo normalmente denominado "sin llama". En este documento, una combustión "sin llama" indica un modo de oxidación sin llama, que se logra diluyendo completamente el oxidante y el gas combustible con gases de escape recirculados antes de que la parte principal del proceso de combustión tenga lugar en la zona de combustión. De esta manera, se logra una combustión sin llama visible, es decir, una llama que no es visible o que casi no es visible para el ojo humano. Otra forma de expresar esto es que los reactivos de combustión están tan diluidos que la
30 combustión es una combustión "de tipo volumétrica", sin una llama estable.

35 En este documento "gases de combustión recirculados a la zona de combustión" se refiere a que los gases de combustión ubicados fuera de la zona de combustión son recirculados de nuevo a la zona de combustión. Tales gases de combustión pueden estar situados originalmente dentro de la propia cámara de combustión, aunque fuera de la parte de la cámara de combustión ocupada por la zona en la que tiene lugar principalmente la combustión ("zona de combustión"). Por tanto, en este caso los gases de combustión son de hecho recirculados dentro de la cámara de combustión. Alternativamente, tales gases de combustión pueden ser recirculados desde fuera de la cámara de combustión de nuevo a la zona de combustión.

40 Como se describirá con más detalle a partir de ahora, la dilución de los reactivos puede lograrse mediante la creación de una fuerte turbulencia dentro de la cámara de combustión utilizando lanzamiento de oxidante a gran velocidad, posiblemente usando un esquema de combustión por etapas, y / o el reciclado de gases combustibles de la estufa de nuevo a la zona de combustión.

Se ha encontrado que, si se utiliza tal combustión sin llama con un oxidante que tiene un contenido muy grande de oxígeno, es posible lograr picos de temperatura de llama suficientemente bajos como para no dañar la estufa. Además, se pueden alcanzar temperaturas de llama suficientemente altas.

Además, cuando se utiliza un oxidante con alto contenido de oxígeno para quemar combustibles de bajo poder calorífico tal como un gas de tragante de alto horno, el contenido de CO₂ de los gases de combustión llega a ser considerablemente alto si se compara con la situación en la que se utiliza aire o aire ligeramente enriquecido con oxígeno como oxidante. Dado que las técnicas de captura de carbono convencionales tienden a ser considerablemente más baratas por unidad de CO₂ capturado cuando el gas tratado contiene una mayor proporción de dióxido de carbono, esto deriva en un ahorro de costes considerable cuando se utiliza tal etapa de captura de carbono para tratar los gases de combustión de estufa.

La figura 3 muestra una realización preferida de la invención. Una estufa 300, que es similar a una convencional 200 mostrada en la figura 2, comprende una cámara de combustión 301, material refractario 302, una caperuza 303, una entrada 304 utilizada para aire de combustión cuando la estufa funciona de una manera convencional con combustión de aire, otra entrada 305 utilizada para combustible de bajo poder calorífico, tal como gas de tragante, y puertos 306, 307 similares a los puertos 206, 207. En lugar de quemar el combustible de bajo poder calorífico con aire, se insertan una o varias lanzas 310, 311, 312 en la cámara de combustión, y se utilizan para alimentar el oxidante con alto contenido de oxígeno definido anteriormente a la zona de combustión. El oxidante se puede proporcionar mediante la producción local de oxígeno o usando un oxidante proporcionado desde el exterior.

En todas las realizaciones descritas en el presente documento, la cantidad total de oxidante por unidad de tiempo es equilibrada con respecto a cantidad de combustible de bajo poder calorífico alimentado, a fin de crear las condiciones de combustión deseadas desde el punto de vista de la estequiometría.

Se prefiere que cada lanza 310, 311, 312 alimente oxidante a la zona de combustión a gran velocidad, preferiblemente al menos a 200 m / s, más preferiblemente al menos a la velocidad del sonido. Tal lanzado a gran velocidad da como resultado una fuerte turbulencia en la cámara de combustión, arrastrando a su vez gases de combustión a la zona de combustión y diluyendo así la llama a fin de lograr una combustión sin llama.

De acuerdo con una realización preferida, una lanza 310 está dispuesta con su orificio muy cerca del orificio de la entrada de combustible 305. De acuerdo con otra realización preferida, una lanza 311 está dispuesta en una posición alejada del orificio de entrada de combustible 305. Dependiendo de la geometría de la cámara de combustión 301, una de estas disposiciones, o una combinación de ambas, puede proporcionar la mejor recirculación de gases de combustión en la zona de combustión. Una lanza complementaria 312, dispuesta aguas abajo con respecto a la otra lanza o a una lanza 310, 311, se puede utilizar para proporcionar un proceso de combustión por etapas, por lo que el volumen total de la llama se puede hacer aún más grande. Naturalmente, más de una lanza de uno de los tipos descritos 310, 311, 312 pueden estar dispuestas para complementarse entre sí. En caso de que el oxidante sea lanzado muy cerca de la entrada de combustible 305, es preferible lanzar también oxidante aguas abajo para crear un proceso de combustión por etapas.

La figura 4 ilustra una visión de conjunto de otra realización preferida, en la que una estufa de alto horno 400 comprende una cámara de combustión 401, material refractario 402 y un puerto 406.

Se alimenta combustible de bajo poder calorífico a través de un conducto de alimentación 411, un dispositivo de alimentación 412 y una entrada 413. Se alimenta oxidante a través de un conducto de alimentación 414, un dispositivo de alimentación 415 y una lanza que comprende un orificio 416. La lanza está dispuesta de manera que su orificio 416 está situado adyacente a la entrada de combustible 413. De manera preferible, la lanza se extiende coaxialmente a la entrada de combustible 413, como se representa en la figura 6. Mediante dicha disposición adyacente, especialmente cuando es coaxial, y cuando el oxidante es lanzado a las altas velocidades descritas anteriormente, el combustible es arrastrado de manera eficiente en la zona de combustión por acción eyectora en la parte del oxidante a gran velocidad. Como resultado de ello, se logra una recirculación densa de productos de combustión en la cámara de combustión 401, en particular gases de combustión de recirculación en la zona de combustión expandiendo el frente de la llama. Cuando tal lanza de gran velocidad está dispuesta adyacente a la entrada de combustible 413, se prefiere utilizar simultáneamente una lanza de oxidante secundaria 312, proporcionando parte del oxígeno total alimentado en otro lugar de la cámara de combustión 401 aguas abajo de la entrada de combustible 413, creando una combustión por etapas del combustible de bajo poder calorífico y facilitando así la realización de una combustión sin llama.

De acuerdo con una realización muy preferida, un quemador de aire convencional existente, que se utilizó para calentar la estufa ya existente 400, es reemplazado en una etapa inicial por un quemador de combustible oxigenado 410 que comprende la entrada de combustible anteriormente descrita 413 y una lanza de oxidante. Un quemador de "combustible oxigenado" aquí se refiere a un quemador accionado con un combustible y un oxidante, en el que el oxidante comprende una parte de oxígeno grande, preferiblemente al menos 85 % de oxígeno, más preferiblemente al menos 95 % de oxígeno.

De acuerdo con una realización alternativa muy preferida, el quemador de aire existente descrito anteriormente se complementa, en una etapa inicial, con una o varias lanzas de oxidante de gran velocidad como se describió anteriormente, y termina la alimentación de aire.

5 Como se ha descrito anteriormente, tal lanzado a gran velocidad produce una fuerte turbulencia dentro de la cámara de combustión 301, 401, dando como resultado una combustión sin llama y, por tanto, picos de llama suficientemente bajos.

10 Sin embargo, la tasa de flujo másico de los gases de combustión será menor cuando se utilice un oxidante con alto contenido de oxígeno si se compara con la situación en la que se utiliza aire como oxidante. Esto va a derivar en una menor transferencia de calor convectivo al material refractario y, por tanto, en tiempos de ciclo de calentamiento más largos. Por tanto, al convertir una estufa existente para que funcione con oxidante que tiene alto contenido de oxígeno, es preferible reciclar gases combustibles de la estufa de nuevo a la zona de combustión como se describe a continuación en relación a las figuras 5 y 6.

Así, la figura 5 ilustra una visión de conjunto de una estufa 500 de acuerdo con otra realización preferida, que comprende una cámara de combustión 501, material refractario 502 y una caperuza 503.

15 Durante el funcionamiento con gas, los gases de combustión salen de la estufa 500 un través de un puerto 506. Sin embargo, parte de los gases de combustión son reciclados de nuevo a la zona de combustión en la cámara de combustión 501 a través de un dispositivo de reciclado 511. El dispositivo de retroalimentación 511 puede incluir un dispositivo de propulsión, tal como un ventilador, para alimentar el gas de combustión reciclado a la cámara de combustión 501.

20 El dispositivo de reciclado 511 también está dispuesto para mezclar el gas de combustión reciclado con un oxidante con alto contenido de oxígeno de una composición como se ha descrito anteriormente, proporcionado a través de un conducto de alimentación 512. La mezcla puede realizarse utilizando difusores convencionales. La mezcla de gas de combustión reciclado y oxidante se alimenta después a la cámara de combustión 501 a través de una entrada 513. Un combustible de bajo poder calorífico, tal como gas de tragante, se proporciona, a través de un conducto de alimentación 514, a un dispositivo de alimentación 515 y a una entrada 516. En la zona de combustión, el combustible se quema, por tanto, con el oxidante en presencia de los gases de combustión que han sido reciclados en la zona de combustión después de que ya han pasado por la estufa 500. De este modo, se diluye la llama en la cámara de combustión 501.

30 Con el uso de tal reciclaje de gases combustibles, se ha encontrado que es posible alcanzar velocidades de transferencia de calor convectivo suficientemente altas como para poder mantener el tiempo de ciclo de calentamiento de una estufa existente en la que se aplica un método de acuerdo con la presente invención. Esto se logra reciclando una cantidad suficiente de gases de combustión para mantener la masa de gas o el flujo de energía térmica por unidad de tiempo a través de la estufa 500, en un nivel que sea al menos el mismo que el de la masa de gas o el del flujo de energía térmica por unidad de tiempo que era utilizado cuando la estufa existente funcionaba, antes de la conversión al funcionamiento de acuerdo con la presente invención, utilizando un oxidante con bajo contenido de oxígeno sin reciclaje.

40 Esto implica equilibrar la cantidad de gases de combustión reciclados con la cantidad prevista de combustible de bajo poder calorífico y oxidante por unidad de tiempo. La tabla 3 ilustra un ejemplo de tal equilibrio, en el que un primer modo de funcionamiento, en el que gas de tragante de alto horno enriquecido con gas de horno de coque se quema con el aire, sin reciclaje, se describe y se compara con un segundo modo de funcionamiento correspondiente, en el que se utiliza oxígeno industrialmente puro como oxidante y una cierta cantidad de reciclado se introduce de acuerdo con la presente invención. Como puede verse en la tabla 3, la temperatura de llama y el flujo másico de gas a través del material refractario 502 de la estufa 500 se mantienen esencialmente al mismo nivel cuando se aplica el método de la invención, al mismo tiempo que se reduce el calor de combustión.

Modo de funcionamiento	Flujo de aire (Nm ³ /h)	Gas de tragante (Nm ³ /h)	Gas de horno de coque (Nm ³ /h)	O ₂ (Nm ³ /h)	Calor de combustión (G.J/h)	Temperatura de llama (°C)	Flujo másico de gas a través del horno (kg/min)	Reciclado de gas de combustión (Nm ³ /h)	Volumen de gas de combustión descargado	Contenido de CO ₂ en el gas de combustión (%)
Convencion al	4850	4040	4045	0	208	1448	1988	0	86567	23
Con reciclado	0	6022	0	8538	194	1372	1939	21345	60991	43

45

- 5 En el modo de funcionamiento "convencional" de la tabla 3, funcionan cuatro estufas con el fin de alimentar 195.000 Nm³ / h de chorro de aire a una temperatura de 1.125 °C. Calentar este volumen de aire desde la temperatura ambiente requiere 308 GJ de energía por hora, que se proporcionan teniendo dos estufas 'en chorro'. Por tanto, la eficacia total de la estufa, definida como (energía en chorro de aire) / (calor de combustión alimentado a estufas), es de 308 / (2 · 208) o de alrededor de 74 %. Parte de esta ineficiencia se asocia al calor sensible al gas combustible.
- El dispositivo de reciclado 511 está dispuesto para reciclar suficientes gases de combustión con el fin de hacer que la combustión en la zona de combustión sea sin llama mediante la reducción de la concentración de oxígeno en la cámara de combustión 501.
- 10 Con el fin de hacer que la combustión en la zona de combustión sea sin llama, se ha encontrado que un porcentaje total de oxígeno en volumen de no más de aproximadamente 12 %, preferiblemente de no más de 10 %, de la parte inerte de la atmósfera en la cámara de combustión 501, sin contar los gases de combustión de componentes combustibles, producirá de manera efectiva una combustión sin llama. Por tanto, se prefiere que una cantidad suficientemente grande de gases de combustión sea reciclada para producir una concentración continua de oxígeno en la cámara de combustión 501 que sea igual o inferior a este porcentaje.
- 15 Ya que todo el oxidante se alimenta a la cámara de combustión 501 a través del dispositivo de reciclado 511 y posiblemente a través de una o varias lanzas de oxidante 310, 311, 312, se conoce la cantidad de oxígeno alimentado por unidad de tiempo. Por tanto, se puede calcular la cantidad de gases de combustión para reciclar por unidad de tiempo con el fin de conseguir las concentraciones de oxígeno suficientemente bajas descritas anteriormente.
- 20 En el ejemplo de la tabla 3, se desea una concentración de O₂ del 11 %, mientras que por cada unidad de volumen de O₂, se necesitan entre 1 / 0,11 y 1 ≈ 8,1 unidades de gas inerte. Para cada unidad de volumen de gas de tragante alimentado, se alimentan alrededor de 0,14 unidades de volumen de O₂ en forma de un oxidante que comprende oxígeno industrialmente puro, con el fin de lograr el Lambda deseado de aproximadamente 1,125. Esto significa que se alimentan alrededor de 1 / 0,14 ≈ 7,1 unidades de combustible para cada unidad de oxígeno. Ya que
- 25 aproximadamente el 75 % en volumen de gas de tragante está constituido por gases inertes, si se mantiene la precisión decimal de fases de cálculo anteriores, cada unidad de volumen de O₂ en la cámara de combustión 501 se diluye para entonces con aproximadamente 7,1 * 0,75 ≈ 5,4 unidades de gas inerte únicamente proporcionando el combustible de gas de tragante. Es decir, se necesita un extra de 8,1 – 5,4 = 2,7 unidades de gas inerte en forma de reciclaje de gas de combustión por unidad lanzada de O₂ en la cámara de combustión 501. Esto significa que al
- 30 menos aproximadamente 38 % de los gases de combustión deben ser recirculados con el fin de alcanzar una concentración máxima de O₂ de 11 %.
- El ejemplo correspondiente que llega a la concentración de O₂ del 11% en la cámara de combustión utilizando efluente gaseoso de convertidor como combustible, requiriendo tal efluente gaseoso 0,33 unidades de volumen de O₂ por unidad de volumen de efluente gaseoso y conteniendo sólo aproximadamente 1/3 por volumen de gases inertes, produce una mezcla requerida de al menos 7,1 unidades de volumen de gases de combustión por unidad de
- 35 volumen lanzada de O₂, o una recirculación de gas combustible de al menos aproximadamente 234 %.
- De acuerdo con una realización preferida, todo el oxidante se mezcla previamente con los gases de combustión reciclados antes de entrar en la zona de combustión. Sin embargo, también se puede alimentar oxidante adicional a través de una o más lanzas a la cámara de combustión 501. En este caso, es la cantidad total de oxígeno
- 40 alimentado por unidad de tiempo la que se debe utilizar como base para el cálculo de la cantidad de gases de combustión reciclados.
- Además, como se puede deducir de las cifras dadas en la tabla 3, el calor suministrado por la combustión puede ser reducido en aproximadamente un 7 %, mientras que se mantiene sustancialmente el caudal másico de gas y la temperatura de la llama. Se ha encontrado que haciendo funcionar las estufas en una fábrica de hierro y acero
- 45 integradas de acuerdo con este ejemplo, con combustible oxigenado sin llama y con captura del CO₂ del gas combustible, es posible reducir las emisiones de la planta en aproximadamente un 20 %.
- De acuerdo con una realización preferida, se reciclan suficientes gases de combustión para mantener o aumentar sustancialmente el flujo másico de gas por unidad de tiempo a través del material refractario.
- De acuerdo con una realización preferida alternativa, se reciclan suficientes gases de combustión para mantener o
- 50 aumentar sustancialmente el caudal de energía térmica a través del material refractario. Esto tiene en cuenta las diferentes capacidades de calor para varios componentes inertes en los gases de combustión. En este caso, se prefiere también que sean reciclados suficientes gases de combustión para que la temperatura de la llama se mantenga o disminuya sustancialmente.
- 55 Como también se muestra en la tabla 3, el contenido de CO₂ de los gases combustibles descargados de la estufa 500 es mucho mayor, 43 % si se compara con el 23 % en el modo de funcionamiento convencional. Los costes por unidad de peso de CO₂ capturado para técnicas de captura de carbono convencionales se reducen

significativamente a medida que aumenta la concentración de CO₂ desde niveles bajos hasta un nivel de aproximadamente entre 50 % y 60 %. Concentraciones que aumenten sobrepasando este límite proporcionarán ganancias más pequeñas. Como resultado de ello, se pueden reducir de manera significativa los costes para una etapa de captura de carbono para el tratamiento de los gases combustibles de estufa por unidad de peso de CO₂ capturado cuando se utiliza un oxidante con alto contenido de oxígeno de acuerdo con la presente invención.

De acuerdo con una realización muy preferida, un quemador de aire convencional existente, que se utiliza para calentar previamente la estufa existente 500, es sustituido en una etapa inicial por una entrada de combustible 516 y una entrada para gases de combustión reciclados 513, y el combustible es quemado después con el oxidante que tiene alto contenido de oxígeno descrito anteriormente. Con este fin, se prefiere que el oxidante sea presentado premezclado con los gases de combustión reciclados. Alternativamente, se prefiere que tal premezcla sea combinada con una o varias lanzas como se ha descrito anteriormente.

La figura 6 ilustra una visión de conjunto de otra realización preferida de la presente invención, que muestra una estufa de alto horno 600 con una cámara de combustión 601, material refractario 602, un puerto 606, un conducto para gases de combustión reciclados 610, un dispositivo de reciclaje 611, un conducto de alimentación de combustible 616, un dispositivo de alimentación de combustible 617 y un entrada de combustible 618.

Se alimenta oxidante a través de un conducto de alimentación de oxidante 613 y de un dispositivo de alimentación de oxidante 614 a una lanza de oxidante dispuesta de modo que el orificio 615 de la lanza esté dispuesto adyacente a un orificio 612 para el suministro de gases de combustión reciclados, desde el dispositivo de reciclaje 611. Preferiblemente, la lanza de oxidante se extiende coaxialmente a la entrada de gas de combustión reciclado 612. En un modo que es similar a la función del orificio de lanza coaxial 416, como se describe en relación a la figura 4, tal disposición adyacente, especialmente cuando es coaxial, arrastrará de manera eficiente los gases de combustión reciclados en la zona de combustión por acción eyectora sobre la parte del oxidante a gran velocidad, creando más recirculación de gases de combustión en la cámara de combustión 601. Al mismo tiempo, no se necesita un dispositivo de propulsión individual en el dispositivo de reciclaje 611, ya que los gases de combustión reciclados serán propulsados por acción eyectora en el orificio 615.

La realización mostrada en la figura 6 se combina de manera ventajosa con otra lanza de oxidante, proporcionando oxidante adicional en un emplazamiento de la zona de combustión alejado del orificio 615, consiguiéndose así una combustión por etapas en la zona de combustión.

Como se ha indicado anteriormente, se prefiere además que la estufa 300, 400, 500, 600 esté conectada a una fase de captura de carbono correspondiente 350, 450, 550, 650, que puede ser convencional per se, separando el contenido de dióxido de carbono de los gases de combustión descargados de la estufa antes de que los gases de combustión sean liberados al medio ambiente.

Cuando una estufa de alto horno se acerca al final de su vida útil esperada, se prefiere aplicar una de las realizaciones aquí descritas, o una combinación de varias de ellas, a la estufa.

De ese modo, la vida útil de la estufa puede ser prolongada, haciendo que funcione con temperaturas de llama más bajas, con tasas de producción continuas en lo que se refiere a un chorro de aire, con mejor economía de combustible y menos emisiones.

Por tanto, un método de acuerdo con la presente invención permitirá a una estufa de alto horno funcionar solamente con un combustible de bajo poder calorífico tal como gas de tragante del alto horno, sin que se necesite un enriquecimiento con combustible de alto poder calorífico y sin riesgo de daños a la estufa inducidos por la temperatura, mientras se producen gases combustibles que son más adecuados para la captura de carbono. Además, permite que se prolongue la vida útil de una estufa.

Si se utiliza un reciclado suficiente de gases de combustión, también es posible lograr la misma cantidad y calidad de chorro de aire en una estufa existente que se convierte, de acuerdo con lo que se ha descrito anteriormente, para funcionar con un oxidante con alto contenido de oxígeno, y cuya estufa está provista de la disposición de reciclado de gases de combustión que describe en relación a la figura 5 o 6.

Anteriormente se han descrito realizaciones preferidas. Sin embargo, es evidente para el experto en la materia que se pueden hacer muchas modificaciones a las realizaciones descritas sin apartarse de la idea de la presente invención.

Por ejemplo, cualquiera de los métodos para crear recirculación de gases de combustión, como se describe en relación a las figuras 4 a 6, se puede complementar de manera ventajosa con una o varias de las distintas lanzas de oxidante, como se describe en relación a la figura 3.

Además, los gases de combustión recirculados con propulsión por eyector, como se describe en relación a la figura 6, pueden ser premezclados de manera ventajosa con una determinada cantidad de oxidante que tiene un alto contenido de oxígeno en un modo similar al descrito en relación a la figura 5.

5 Además, la propulsión por eyector de gases de combustión reciclados premezclados o no premezclados, como se describe en relación a la figura 6, puede combinarse de manera ventajosa con una propulsión por eyector de combustible de bajo poder calorífico, como se describe en relación a la figura 4.

Por tanto, la invención no se limitará a las realizaciones descritas, sino que puede variarse dentro del ámbito de aplicación de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método para calentar una estufa de alto horno (300, 400, 500, 600) mediante la combustión de un combustible con un poder calorífico inferior (PCI) de 9 MJ / Nm^3 o menos en una zona de combustión, dispuesto en una cámara de combustión (301; 401; 501; 601) en la estufa, y hacer que los gases de combustión circulen a través de y calienten de ese modo material refractario (302; 402; 502; 602) en la estufa, caracterizado por que el combustible combustiona con un oxidante que comprende al menos 85 % de oxígeno, y por que se hace que los gases de combustión recirculen en la zona de combustión y diluyan así la mezcla de combustible y oxidante de manera suficiente para que la combustión sea sin llama.
- 10 2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que los gases de combustión son recirculados desde un emplazamiento que está en el interior de la misma cámara de combustión (301; 401) aunque en el exterior de la parte de la cámara de combustión ocupada por la zona de combustión, y por que el oxidante es suministrado a la zona de combustión a gran velocidad a través de una lanza (310; 311; 312), arrastrando así gases de combustión en la zona de combustión para realizar una dilución de la llama.
- 15 3. Método de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por que el oxidante es lanzado a una velocidad de al menos 200 m / s .
- 20 4. Método de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizado por que el oxidante es lanzado al menos a la velocidad del sonido.
- 20 5. Método de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado por que el orificio (416) de la lanza está dispuesto adyacente a una entrada de alimentación para combustible (413), arrastrando así tal combustible en la zona de combustión por acción eyectora.
- 25 6. Método de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado por que el oxidante está además previsto en un emplazamiento de la cámara de combustión (301) dispuesto aguas abajo de la entrada de combustible (413) para obtener así una combustión por etapas en la zona de combustión.
- 25 7. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que un quemador de aire existente en una etapa inicial es alimentado con una o varias lanzas de oxidante a gran velocidad inyectando dicho oxidante.
- 30 8. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los gases de combustión que han circulado a través del material refractario (502, 602) son reciclados en la zona de combustión.
- 30 9. Método de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado por que los gases de combustión reciclados son premezclados con dicho oxidante antes de entrar en la zona de combustión.
- 35 10. Método de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, caracterizado por que una cantidad suficiente de gases de combustión es reciclada por lo que el porcentaje total de oxígeno en volumen de la parte inerte de la atmósfera en la cámara de combustión (501, 601), sin contar los componentes de combustible no inertes, es igual o inferior a 12 %.
- 35 11. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, caracterizado por que un quemador de aire existente en una estufa (500) en una etapa inicial se sustituye por una entrada de combustible (516) y por una entrada para gases de combustión reciclados (513), y por que el combustible se quema después con dicho oxidante.
- 40 12. Método de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado por que una cantidad suficiente de gases de combustión es reciclada para mantener el flujo másico de gas por unidad de tiempo a través del material refractario (502, 602) a un nivel que es al menos el mismo que el del flujo másico de gas por unidad de tiempo que fue utilizado cuando el quemador de aire existente funcionaba sin reciclaje.
- 45 13. Método de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado por que una cantidad suficiente de gases de combustión es reciclada para mantener la temperatura de la llama a un nivel que es igual o inferior, y una transferencia de energía térmica al material refractario (502, 602) a un nivel que es igual o superior a la temperatura de la llama y al caudal de energía térmica por unidad de tiempo, respectivamente, que fueron utilizados cuando el quemador de aire existente funcionaba sin reciclaje.
- 50 14. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el combustible es gas de tragante de alto horno.
- 50 15. Método de acuerdo con la reivindicación 14, caracterizado por que el gas de tragante de alto horno es tomado de un alto horno que es alimentado con aire caliente por la estufa (300, 400, 500, 600).

Fig. 1 (técnica anterior)

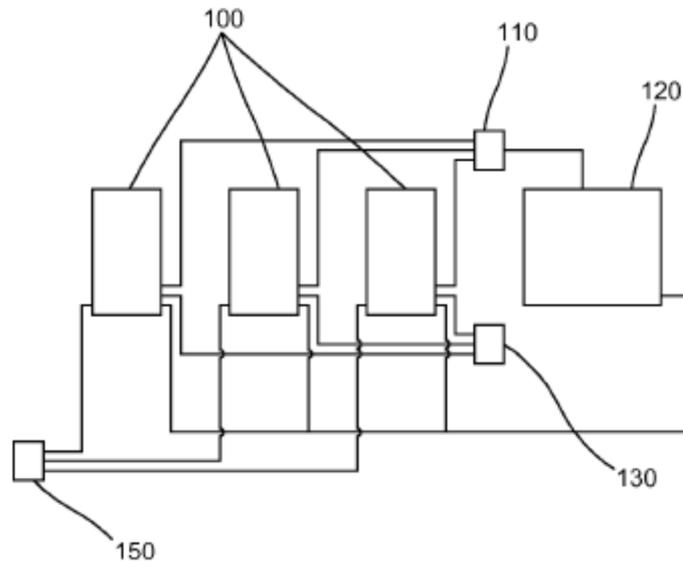


Fig. 2 (técnica anterior)

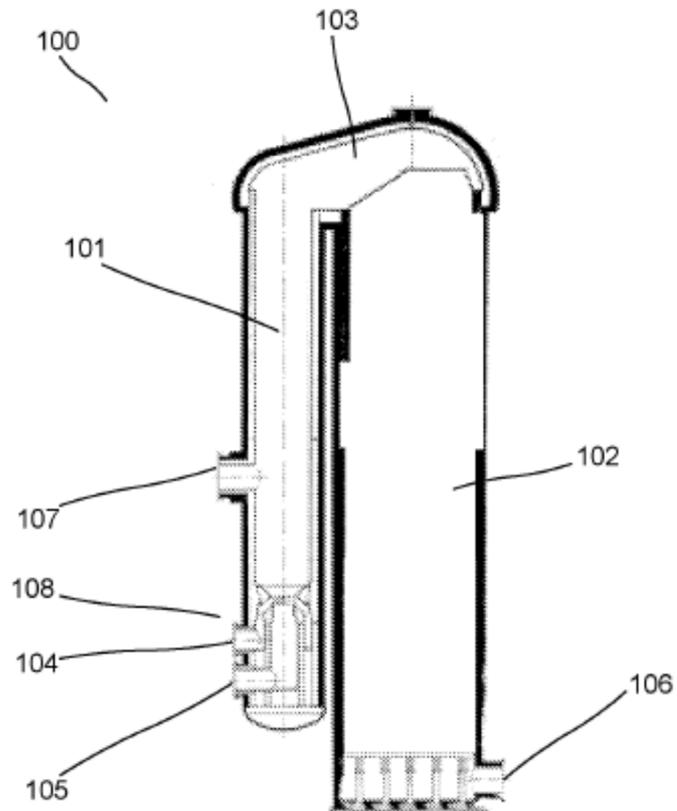


Fig. 3

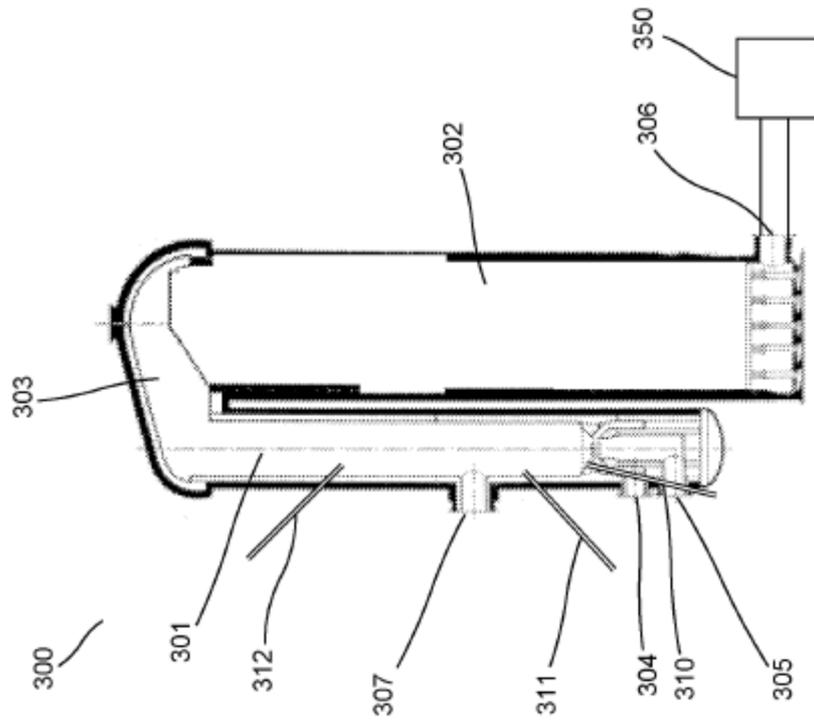


Fig. 4

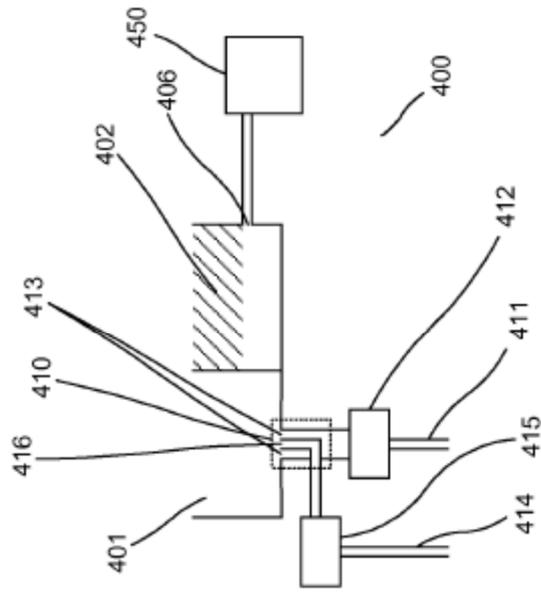


Fig. 5

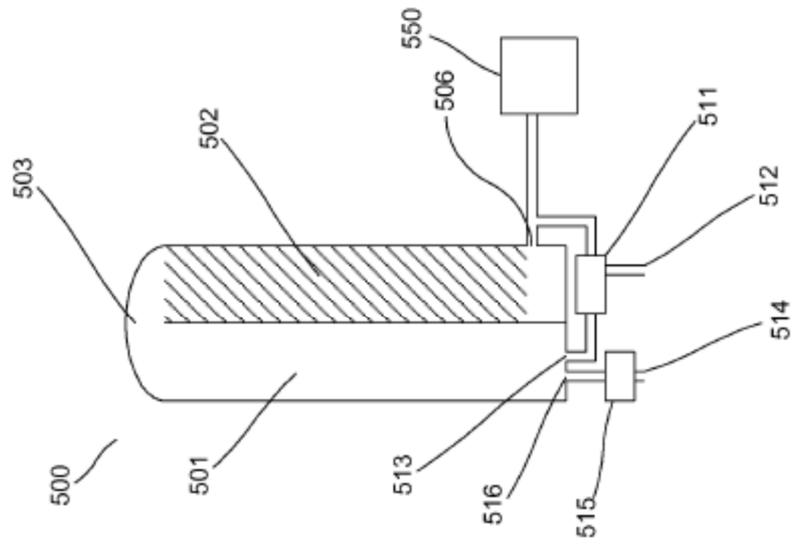


Fig. 6

