



# OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11) Número de publicación: 2 457 044

51 Int. Cl.:

**F23C 6/04** (2006.01) **C03B 5/235** (2006.01)

(12)

# TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

**T3** 

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: 07.04.2004 E 04742836 (2)
(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: 15.01.2014 EP 1618334

(54) Título: Procedimiento de combustión escalonada de un combustible líquido y de un oxidante en un horno

(30) Prioridad:

18.04.2003 FR 0304867

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente: **24.04.2014** 

(73) Titular/es:

L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE (100.0%) 75, QUAI D'ORSAY 75007 PARIS, FR

72) Inventor/es:

DUPERRAY, PASCAL; GRAND, BENOÎT; LEROUX, BERTRAND; RECOURT, PATRICK y TSIAVA, RÉMI

(74) Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

## **DESCRIPCION**

Procedimiento de combustión escalonada de un combustible líquido y de un oxidante en un horno

El presente invento se refiere a un procedimiento de combustión escalonada de un combustible líquido y de un oxidante en un horno.

- 5 Las características de un procedimiento de combustión en un horno industrial deben responder a dos criterios:
  - limitar la emisión de contaminantes atmosféricos (NOx, polvos,...) que deben ser en cantidad inferior al límite fijado por la legislación,
  - controlar la temperatura de las paredes del horno y de la carga a calentar de manera que responda, a la vez, a las obligaciones relativas a la calidad del producto sometido a la combustión y al consumo energético.
- La evolución de la legislación sobre las emisiones de contaminantes atmosféricos, sobre todo de los óxidos de nitrógeno, ha conducido a una evolución importante de las tecnologías de la combustión. Un primer procedimiento de combustión que limita la emisión de NOx es la combustión oscilante (EP-A1-0 524 880) que consiste en hacer oscilar el consumo de combustible y/o de carburante. Al apartarse la estequiometria de 1, la temperatura local disminuye, lo que conduce a una disminución de NOx. Otra solución es la combustión escalonada que prevé la dilución de los reactivos en las zonas principales de la reacción: esto permite alejarse de las proporciones estequiométricas y evitar los picos de temperatura propicios a la formación de NOx (WO02/081967).

20

25

30

35

40

45

50

Estos usos de la técnica anterior son soluciones esencialmente adaptadas a la combustión de un combustible gaseoso. Durante una combustión difásica con la ayuda de un combustible líquido y de un oxidante gaseoso, el procedimiento de combustión comprende las etapas suplementarias de atomización del líquido, y después de vaporización de las gotas de líquido para que el combustible convertido en gaseoso pueda reaccionar con el oxidante gaseoso. Diversos parámetros suplementarios van a influir así en la combustión: el tipo de atomizador utilizado, por ejemplo, pero igualmente para un inyector con atomización asistida, la velocidad de flujo del gas de atomización que va a jugar su papel sobre el tamaño de las gotas y la calidad de la atomización. Además de por los parámetros directamente relacionados con la etapa de atomización, el procedimiento de combustión va a verse influenciado por la mezcla de los reactivos pues ésta influye en el modo de combustión así como en la formación de las emisiones contaminantes. Así, la proporción entre la longitud de vaporización y la longitud de la mezcla es un parámetro importante. La longitud de vaporización es la distancia necesaria para la evaporación de las gotas de combustible líquido; está relacionada con el tamaño de las gotas, con su velocidad y con la naturaleza del líquido. La longitud de la mezcla es la distancia necesaria para que los reactivos, que són inyectados por separado, se encuentren mezclados en una proporción estequiométrica. Si la longitud de vaporización es demasiado grande con respecto a la longitud de la mezcla, la combustión es incompleta; se habla de régimen de combustión incompleta: "brush" en inglés. Por el contrario, si la longitud de vaporización es demasiado pequeña con respecto a la longitud de la mezcla, la mezcla demasiado rápida conduce a niveles elevados de óxido de nitrógeno; se habla de régimen de "vaporización". Es pues preferible situarse en la transición entre estos dos regímenes (proporción entre la longitud de vaporización y la longitud de la mezcla próxima a 1).

EP-B1-0 687 853 propone un procedimiento de combustión escalonada de un combustible líquido. Este procedimiento consiste en inyectar el combustible líquido bajo la forma de una pulverización divergente que tenga un ángulo en la periferia exterior inferior a 15° e inyectar el oxidante bajo la forma de dos flujos: un flujo primario y un flujo secundario, debiendo presentar el flujo primario una velocidad baja, inferior a 61 m/s. Este procedimiento presenta varios inconvenientes. En primer lugar, la utilización de un ángulo tan pequeño impone la utilización de una velocidad del gas de atomización elevada, lo que crea importantes pérdidas de carga y puede afectar negativamente a la estabilidad de la llama. A continuación, como consecuencia del pequeño valor del ángulo de pulverización, el modo de combustión es del tipo "vaporización" y no permite optimizar la disminución de NOx. Finalmente, este pequeño valor del ángulo de pulverización no permite hacer variar de manera continua los parámetros geométricos de la llama. Ahora bien, puede ser útil según la carga modificar la geometría de la llama de manera que se evite sobre todo la formación local de un punto caliente.

El objetivo del presente invento es pues proponer un procedimiento de combustión escalonada que utilice un combustible líquido que permita limitar la formación de NOx conservando siempre una llama estable.

Otro objetivo es el de proponer un procedimiento de combustión escalonada que utilice un combustible líquido que permita limitar la formación de NOx y tener una gran flexibilidad del quemador.

Con este objetivo, el invento se refiere a un procedimiento de combustión de un combustible líquido y de un oxidante según el objeto de la reivindicación 1.

Otras características y ventajas del invento aparecerán con la lectura de la descripción que va a seguir a continuación. Formas y modos de realización del invento están dados a título de ejemplos no limitativos, ilustrados

## ES 2 457 044 T3

con las figuras 1 y 2, que son vistas esquemáticas de un dispositivo que permite la utilización del procedimiento según el invento.

Una de las características esenciales del procedimiento según el invento es el que se refiere a un procedimiento de combustión de un combustible líquido, que es eyectado desde la lanza del quemador en forma atomizada. Este chorro de combustible líquido en forma atomizada puede obtenerse por cualquier método de atomización tal como la eyección bajo presión del combustible líquido o la mezcla del combustible con un gas de atomización antes o durante su eyección. Así, según un modo preferido, el chorro de combustible líquido en forma atomizada puede obtenerse por inyección coaxial de un chorro de gas de atomización alrededor de un chorro del combustible líquido. El gas de atomización puede elegirse entre un gas oxidante tal como el aire o el oxígeno o un gas inerte tal como el nitrógeno o el vapor de agua. Según este modo preferido, el caudal másico del chorro de gas de atomización está ventajosamente comprendido entre el 5 y el 40% del valor del caudal másico del chorro de combustible líquido, e incluso más preferentemente entre el 15 y el 30%.

Según otra característica esencial del invento, el chorro del oxidante primario se divide en al menos dos chorros de los cuales uno al menos es un chorro de oxidante primario de envoltura. Este chorro de oxidante primario de envoltura se inyecta de manera coaxial alrededor del chorro de combustible líquido en forma atomizada. El segundo chorro de oxidante primario se inyecta a una distancia  $l_1$  del chorro de combustible líquido atomizado. Según el invento, esta distancia  $l_1$  entre el segundo chorro de oxidante primario y el chorro de combustible líquido está comprendida entre 1,5  $D_G$  y  $l_2/2$ , representando  $D_G$  el diámetro del círculo de la misma superficie que la superficie del inyector a través del cual se inyecta el primer chorro de oxidante primario de envoltura. A título de ejemplo, el valor de  $D_G$  puede estar comprendido entre 30 y 60 mm.

La distancia  $l_2$  entre el chorro de oxidante secundario y el chorro de combustible puede estar comprendido entre 8  $D_2$  y 40  $D_2$ , representando  $D_2$  el diámetro del círculo de la misma superficie que la superficie del inyector a través del cual se inyecta el oxidante secundario. Este diámetro  $D_2$  puede estar comprendido entre 10 y 60 mm.

El diámetro del círculo de la misma superficie que la superficie del inyector a través del cual se inyecta el segundo chorro del oxidante primario, D<sub>1</sub>, puede estar comprendido entre 15 y 70 mm. Preferentemente, el diámetro D<sub>1</sub> es superior al diámetro D<sub>2</sub>

Según una variante del invento, el chorro de oxidante secundario y el chorro de oxidante primario situado a una distancia I<sub>1</sub> del chorro de combustible líquido están constituidos por una pluralidad de chorros. Así, el chorro de oxidante primario situado a una distancia I<sub>1</sub> del chorro de combustible líquido puede estar constituido por dos chorros idénticos situados a la misma distancia I<sub>1</sub> del chorro de combustible líquido, estando los tres chorros sensiblemente situados en el mismo plano, y el chorro de oxidante secundario puede estar constituido por dos chorros idénticos situados a la misma distancia I<sub>2</sub> del chorro de combustible líquido, estando los tres chorros sensiblemente situados en el mismo plano; preferentemente, los cinco chorros están sensiblemente situados en el mismo plano.

La cantidad de oxidante secundario representa generalmente como mucho el 90% de la cantidad total de oxidante inyectado, preferentemente del 10 al 90%. Más preferentemente, la cantidad de oxidante secundario está comprendida entre el 50 y el 90%, incluso entre el 60 y el 80% de la cantidad total de oxidante inyectado, representando el oxidante primario (que corresponde a la vez al oxidante primario de envoltura y al segundo chorro de oxidante primario) una cantidad comprendida entre el 10 y el 50%, incluso entre el 20 y el 40%, de la cantidad total de oxidante.

Preferentemente, el caudal másico del primer chorro de oxidante primario de envoltura está comprendido entre el 10 y el 20% del valor del caudal másico del chorro de oxidante total (oxidante primario + oxidante secundario).

El oxidante primario y el oxidante secundario pueden presentar la misma composición; esto presenta sobre todo la ventaja de no tener nada más que una sola fuente de oxidante a dividir entre los diferentes puntos de inyección de oxidante primario o secundario. Pero, preferentemente, la concentración de oxígeno en el oxidante primario es más elevada que la concentración de oxígeno en el oxidante secundario.

La composición del oxidante puede ser variable y según las condiciones o los resultados deseados. De una manera general, el oxidante puede estar constituido por una mezcla de gas incluyendo:

- de 5 a 100% en volumen de oxígeno, preferentemente de 30 a 100%,
- de 0 a 95% en volumen de CO<sub>2</sub>, preferentemente de 0 a 90%,
- de 0 a 80% en volumen de N<sub>2</sub>, preferentemente de 0 a 70%,
  - de 0 a 90% en volumen de aire.

5

10

15

20

30

45

La mezcla podrá contener igualmente otros constituyentes y sobre todo vapor de agua y/o NOx y/o SOx. Generalmente, el aire aporta del 0 al 90% en volumen del caudal de oxígeno total del oxidante, siendo aportado el

complemento por aire enriquecido en oxígeno o por oxígeno sustancialmente puro. Preferentemente, el aire representa del 15 al 40% en volumen del caudal de  $O_2$  total en el oxidante.

Según una realización ventajosa, las velocidades de inyección del segundo chorro de oxidante primario y del chorro de oxidante secundario son inferiores o iguales a 200 m/s, y cuando el procedimiento según el invento se pone en práctica para la combustión de una carga de vidrio, las velocidades de inyección del segundo chorro de oxidante primario y del chorro de oxidante secundario son preferentemente inferiores o iguales a 100 m/s. Además, es preferible que la velocidad del chorro de oxidante secundario sea superior a la velocidad del segundo chorro de oxidante primario.

La figura 1 es una vista esquemática parcial desde arriba de un ejemplo de un conjunto de combustión para la puesta en práctica del procedimiento según el invento y la figura 2 es la vista esquemática en corte correspondiente. El conjunto de combustión está situado en un bloque refractario 1 que presenta tres ánimas cilíndricas 2, 3 y 4, en las cuales se han deslizado respectivamente tres bloques 21, 31 y 41.

#### El bloque 21 incluye:

5

20

- una canalización (o inyector) 211 que desemboca en 22. Esta canalización 211 recibe el combustible líquido 212.
- una canalización (o inyector) 221 que desemboca en 22 y dispuesta de manera concéntrica alrededor de la canalización 211 en la cual se inyecta el combustible líquido 212. Esta canalización 221 recibe el gas de atomización 222.
  - una canalización (o inyector) 231 que desemboca en 22 y dispuesta de manera concéntrica alrededor de la canalización 221 en la cual se inyecta el gas de atomización 222. Esta canalización tiene un diámetro  $D_{\rm G}$  en 22. Recibe el oxidante primario de envoltura 232.

El bloque 31, preferentemente cilíndrico, está perforado por una canalización (o inyector) 32 cuyo orificio desemboca en 33 del bloque. Esta canalización (o inyector) 32 tiene un diámetro en 33 igual a D<sub>1</sub> y el centro de esta canalización 32 está situado a una distancia I<sub>1</sub> del centro de la canalización 211. La canalización 32 recibe el oxidante primario (34) diferente del oxidante primario de envoltura.

- El bloque 41, preferentemente cilíndrico, está perforado por una canalización (o inyector) 42 cuyo orificio desemboca en 43 del bloque. Esta canalización (o inyector) 42 tiene un diámetro en 43 igual a D<sub>2</sub> y el centro de esta canalización 42 está situado a una distancia I<sub>2</sub> del centro de la canalización 211. La canalización 42 recibe el oxidante llamado secundario (44).
- Para el funcionamiento de este sistema, es posible utilizar la misma fuente de oxidante para el oxidante primario (34 y 232) y el oxidante secundario (44), siendo elegidos los diámetros de las canalizaciones correspondientes (32, 231 y 42) de manera tal que fijen velocidades de invección diferentes o idénticas según el tipo de combustión deseada.

Según un modo ventajoso, los extremos de las canalizaciones que permiten la inyección de los oxidantes están retranqueados en el campo refractario.

Para la utilización del procedimiento según el invento, es posible realizar la combustión de un combustible líquido limitando totalmente la formación de NOx. Además, el procedimiento según el invento presenta la ventaja de permite un control de la estabilidad de la llama y de la flexibilidad térmica del procedimiento. En efecto, según la naturaleza de la carga y la geometría del horno, puede ser preferible utilizar una llama de pequeño o de gran volumen, o controlar la transferencia térmica en ciertos puntos del horno u homogeneizar la temperatura de la bóveda. Según el invento, esta flexibilidad se obtiene mediante el control del reparto del caudal de oxidante total entre el chorro de oxígeno secundario y los chorros de oxídante primario, y preferentemente entre el chorro de oxígeno secundario y el segundo chorro de oxidante primario que es diferente del chorro de oxidante primario de envoltura. Este control del reparto del caudal de oxidante total se llama igualmente escalonamiento.

## **EJEMPLO**

Se ha utilizado un quemador que presenta la configuración de las figuras 1 y 2 y que incluye además:

- un segundo inyector de oxidante primario situado a una distancia l<sub>1</sub> del chorro de combustible líquido 211 y simétrico del primer inyector de oxidante primario 31 con respecto al inyector de combustible 211, y
  - un segundo inyector de oxidante secundario situado a una distancia l<sub>2</sub> del inyector de combustible líquido 211 y simétrico del primer inyector de oxidante secundario 42 con respecto al inyector de combustible 211.
- Los cinco chorros estaban todos en el mismo plano. La potencia del quemador era de 2 MW. El quemador ha sido instalado en un horno de 6 m de longitud y de sección transversal de 1,5 m por 2 m. La relación  $I_2/D_2$  era de 14,6, la relación  $I_1/D_G$  era de 2 y la relación  $I_1/I_2$  era de 0,26.

## ES 2 457 044 T3

El combustible inyectado era un fuel pesado que presentaba la siguiente composición:

- C 87,9% en masa
- H 10,02% en masa
- O 0.67% en masa
- 5 N 0,39% en masa
  - S 0,98% en masa

Su viscosidad dinámica era de 39 mm²/s a 100 °C, su masa en volumen era de 980 kg/m³ y su poder calorífico inferior a 9631 kcal/kg.

El gas de atomización era o bien oxígeno, o bien aire.

Para la utilización del procedimiento según el invento, ha sido posible modificar la geometría de la llama controlando el reparto del caudal de oxidante total entre los diferentes inyectores primarios y secundarios. Así, mediante la inyección del 75% del caudal de oxidante total en los inyectores de oxidante secundario, se obtiene una llama de gran volumen. Asimismo, mediante una inyección que modifica este porcentaje, es posible disminuir el volumen de la llama. Así, según la naturaleza de la carga y el lugar en el que el quemador está instalado en el horno, es posible con el procedimiento del invento ajustar el volumen de la llama.

La figura 3 representa la potencia transferida por la llama a la solera del horno en función de la distancia al quemador para diferentes proporciones del caudal de oxidante total inyectado en los inyectores secundarios (50, 65 y 75% del caudal de oxidante total inyectado en los inyectores secundarios). Se observa que un escalonamiento importante (inyección de una mayor cantidad de oxidante en los inyectores secundarios que en los inyectores primarios) permite reducir la potencia en la proximidad del quemador y aumentar la transferencia lejos de los inyectores. Mediante el procedimiento según el invento, es posible así modificar el perfil de transferencia térmica. Esto es una ventaja del procedimiento del invento: en efecto, este procedimiento es adaptable a diferentes tipos de geometría del horno. En el caso de los ejemplos de la figura 3, el gas de atomización es el oxígeno.

La figura 4 representa la temperatura de la bóveda del horno a lo largo del eje longitudinal del horno en función de la distancia al quemador para diferentes proporciones del caudal de oxidante total inyectado en los inyectores secundarios (50, 65 y 75% del caudal de oxidante total inyectado en los inyectores secundarios). Se observa que un escalonamiento importante puede permitir asegurar la homogeneidad de la temperatura de la bóveda. En el caso de los ejemplos de la figura 4, el gas de atomización es el aire.

La figura 5 representa la cantidad de NOx emitida en función de la proporción de oxidante total inyectado en los inyectores secundarios (escalonamiento) y para dos tipos de gas de atomización: el oxígeno y el aire. La curva relativa a la utilización del oxígeno como gas de atomización está indicada por los rombos blancos y la curva relativa a la utilización del aire como gas de atomización está indicada por los cuadrados negros. Se observa que con un escalonamiento importante la emisión de NOx es de 200 ppm si el gas de atomización es el oxígeno y de 300 ppm si el gas de atomización es el aire.

35

20

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de combustión de un combustible líquido y de un oxidante, en el cual se inyecta al menos un chorro del combustible líquido en forma atomizada y al menos un chorro de oxidante, estando compuesto el chorro de oxidante de un chorro de oxidante primario y de un chorro de oxidante secundario, siendo inyectado el chorro de oxidante primario en la proximidad del chorro de combustible líquido de tal manera que se genere una primera combustión incompleta, estando compuestos también los gases resultantes de esta primera combustión de al menos una parte del combustible, mientras que el chorro de oxidante secundario se invecta a una distancia lo del chorro de combustible líquido que es superior a la distancia entre el chorro de combustible líquido y el chorro de oxidante primario más próximo al chorro de combustible líquido, de tal manera que entre en combustión con una parte del combustible presente en los gases resultantes de la primera combustión, estando compuesto el gas de oxidante primario de al menos un primer chorro de oxidante primario de envoltura que se invecta de manera coaxial alrededor del chorro de combustible líquido en forma atomizada, caracterizado por que el chorro de oxidante primario es dividido en al menos dos chorros primarios, siendo inyectado al menos un segundo chorro de oxidante primario a una distancia I1 del chorro del combustible líquido, estando comprendida la distancia I1 entre el segundo chorro de oxidante primario y el chorro de combustible líquido entre 1,5 D<sub>G</sub> y I<sub>2</sub>/2, representando D<sub>G</sub> el diámetro del círculo de la misma superficie que la superficie del inyector (221) a través del cual se inyecta el primer chorro de oxidante primario de envoltura.

5

10

15

45

- Procedimiento según la reivindicación precedente, caracterizado por que el chorro del combustible líquido en forma atomizada se obtiene por inyección coaxial de un chorro de gas de atomización alrededor de un chorro del combustible líquido.
  - 3. Procedimiento según la reivindicación precedente, caracterizado por que el gas de atomización se elige entre un gas oxidante tal como el aire o el oxígeno o un gas inerte tal como el nitrógeno o el vapor de agua.
  - 4. Procedimiento según la reivindicación 2 ó 3, caracterizado por que el caudal másico del chorro de gas de atomización está comprendido entre el 5 y el 40% del valor del caudal másico del chorro de combustible líquido.
- 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la distancia l<sub>2</sub> entre el chorro de oxidante secundario y el chorro de combustible está comprendida entre 8 D<sub>2</sub> y 40 D<sub>2</sub>, representando D<sub>2</sub> el diámetro del círculo de la misma superficie que la superficie del inyector (42) a través del cual se inyecta el oxidante secundario.
- 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el diámetro del círculo de la misma superficie que la superficie del inyector (42) a través del cual se inyecta el oxidante secundario, D<sub>2</sub>, está comprendido entre 10 y 60 mm.
  - 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el diámetro del círculo de la misma superficie que la superficie del inyector (32) a través del cual se inyecta el segundo chorro de oxidante primario, D<sub>1</sub>,está comprendido entre 15 y 70 mm.
- 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la cantidad total de oxidante secundario está comprendida entre el 50 y el 90% de la cantidad total de oxidante inyectado.
  - 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que las velocidades de inyección del segundo chorro de oxidante primario y del chorro de oxidante secundario son inferiores o iguales a 200 m/s.
- 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que se la utiliza para la combustión de una carga de vidrio y por que las velocidades de inyección del segundo chorro de oxidante primario y del chorro de oxidante secundario son inferiores o iguales a 100 m/s.
  - 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el caudal másico del primer chorro de oxidante primario de envoltura está comprendido entre el 10 y el 20% del valor del caudal másico del chorro de oxidante total, correspondiendo el chorro de oxidante total a la suma de los chorros de oxidante primarios y secundarios.





