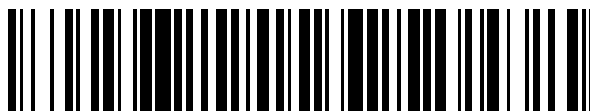


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 728 574**

51 Int. Cl.:

C03B 5/235 (2006.01)

F27D 17/00 (2006.01)

C03B 5/237 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.05.2016** **PCT/FR2016/051289**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.12.2016** **WO16193608**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.05.2016** **E 16733156 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2019** **EP 3303232**

54 Título: **Horno de inyección sónica**

30 Prioridad:

02.06.2015 FR 1555009

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

25.10.2019

73 Titular/es:

VERALLIA FRANCE (50.0%)
Tour Carpe Diem, Place des Corolles-Esplanade
Nord
92400 Courbevoie, FR y
SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE (50.0%)

72 Inventor/es:

HAYAU, FRÉDÉRIC y
GARNIER, LAURENT

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 728 574 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

Horno de inyección sónica

La invención concierne al ámbito de los hornos caldeados por un extremo de bajo NOx para fundir vidrio.

- 5 La persona con experiencia en la técnica generalmente designa por « NOx » las emisiones de óxido de nitrógeno de tipo NO y/o NO₂ que se originan de la oxidación no deseada de nitrógeno. Una fuente significativa de nitrógeno es aquél contenido en el oxidante tal como el aire o el aire enriquecido en oxígeno.

- 10 La mayoría de los procesos de combustión, en particular aquéllos utilizados en los hornos de fabricación de vidrio, se enfrentan con problemas de emisión no deseada de NOx en los humos de combustión. Los NOx tienen un efecto dañino tanto en el ser humano como en el medio ambiente. En efecto, por una parte, el NO₂ es un gas irritante que provoca enfermedades respiratorias. Por otra parte, en contacto con la atmósfera, pueden formar gradualmente lluvia ácida. Finalmente, originan una contaminación fotoquímica dado que, en combinación con compuestos orgánicos volátiles y la radiación solar, los NOx son el origen de la formación del ozono denominado troposférico, cuyo incremento de concentración a baja altitud se vuelve dañino para el ser humano, especialmente en periodos de intenso calor. Esta es la razón por la que las normas sobre la emisión de NOx se vuelven cada vez más estrictas. Debido al hecho mismo de la existencia de estas normas, los fabricantes y operadores de hornos tales como los de los hornos de fabricación de vidrio se preocupan constantemente en limitar al máximo las emisiones de NOx, de preferencia a un contenido por debajo de los 800 mg/Nm³, en condiciones normales con 8% de oxígeno en humo seco. Dentro del contexto de la presente solicitud, los contenidos de NOx siempre se expresan en mg/Nm³, en condiciones normales con 8% de oxígeno en humo seco, unidad que se utiliza habitualmente por una persona con experiencia en la técnica. La persona con experiencia en la técnica generalmente considera que un contenido de NOx por debajo de 700 mg/Nm³ es ya un buen contenido y que un contenido de NOx por debajo de 600 mg/Nm³ es muy bueno. Es útil saber cómo obtener contenidos de NOx incluso más bajos.

- 25 Los hornos de fundición de vidrio se diseñan para funcionar durante varias decenas de años y su construcción es costosa. Esta es la razón por la que sus diseños cambian lentamente. En efecto, la realización de ensayos en hornos industriales es casi imposible porque el riesgo es muy alto si se modifican parámetros de funcionamiento como las dimensiones de dispositivo. En particular, las aberturas de entrada de aire en las paredes del horno son conductos fabricados de cerámica refractaria, cuyas dimensiones no pueden modificarse fácilmente sin tener que apagar el horno para reconstruir una buena porción del mismo. Esta es la razón por la que no es posible modificar fácilmente el diseño del horno para modificar los flujos dentro de la cámara de combustión y en particular el impulso del aire sin cambiar su caudal.

- 30 El impulso I de un chorro de gas facilitado por un inyector se da por la fórmula:

$$I = Q_m \cdot V + S \cdot \Delta P$$

En la cual:

- Q_m representa caudal de masa del chorro de gas;
- V representa la velocidad del gas a la salida del inyector;
- 35 - S representa la sección del inyector en su salida;
- ΔP representa la diferencia de presión entre la salida del inyector y la presión en la cámara.

El término "sónico" que califica un chorro de gas especifica que dicho chorro tiene la velocidad del sonido a la temperatura del gas inyectado (temperatura a la salida del inyector).

- 40 El documento EP 2508827A1 enseña la inyección de un gas oxidante en una pared lateral de un horno caldeado por un extremo para terminar la combustión del combustible, de acuerdo con el principio de la combustión escalonada. Esta inyección se lleva a cabo diagonalmente tanto en la dirección de la pared aguas arriba como en la dirección de la pared opuesta y por lo tanto más bien en el mismo sentido del flujo de los humos de combustión. La recirculación de los gases se intensifica aquí enormemente, lo cual supondría reducir la concentración de NOx, sin que, no obstante, se den ejemplos precisos de realización. Este documento enseña que es difícil descender por debajo de 1100 mg/Nm³ de NOx y propone una solución para descender el contenido de NOx por debajo de este valor. Los inventores de la presente invención han podido determinar que la recirculación horizontal del horno en el laboratorio efectivamente aumenta. Sin embargo, la recirculación vertical también disminuye. La llama vista desde arriba no se propaga con fuerza paralelamente a la superficie del vidrio. El desarrollo de la llama queda entonces confinado y restringido en una zona próxima a la pared lateral opuesta a la que contiene el inyector de gas. Este movimiento de la llama hacia el estado concentrado cerca de la pared provoca un incremento de la temperatura de la pared lateral, lo cual es muy desfavorable para su resistencia a través del tiempo.

Más aún, el debilitamiento de la llama es parcial y de hecho poco eficaz. En efecto, estas recirculaciones importantes interactúan poco con la llama, lo cual es de poca eficacia en términos de reducción de NOx. Los inventores de la presente invención han podido determinar que esta solución era poco efectiva para disminuir el contenido de NOx de un horno que está ya a menos de 700 mg/Nm³ sin ninguna inyección de gas adicional.

- 5 De acuerdo con la invención, se ha encontrado ahora un simple medio para influir en la combustión de la llama actuando en los flujos de gas dentro de la cámara de combustión y sin tener que realizar desmontajes importantes de refractario que forma las paredes de un horno y en particular las entradas de aire. Se ha dispuesto simplemente al menos un inyector de gas comprimido en régimen sónico o supersónico o cuasi-sónico (cuasi-sónico significa al menos el 80% de la velocidad del sonido), denominado « inyector sónico », en la proximidad del conducto de recepción de los humos o en el conducto de recepción de los humos y en contracorriente del flujo de los humos. Se ha percibido entonces la gran ventaja proporcionada por este inyector sónico para reducir el contenido de NOx. Dentro del contexto de la presente solicitud, un inyector sónico facilita su gas a una velocidad de al menos el 80% y de preferencia de al menos el 95% de la velocidad del sonido. Generalmente, esta velocidad no excede del 300% de la velocidad del sonido. La forma del extremo del inyector sónico hace posible superar o no la velocidad del sonido. Para superarla, se recomienda utilizar un inyector con forma convergente y luego divergente. Los inyectores utilizados habitualmente en el ámbito del vidrio presentan un extremo convergente. Esta configuración hace posible lograr la velocidad del sonido sin poder superarla.

- La invención concierne a un horno caldeado por un extremo para fundir vidrio equipado con un quemador aéreo que comprende un conducto de entrada de oxidante que comprende del 15% al 30% de oxígeno, en su pared aguas arriba, un conducto de recepción de los humos de combustión en su pared aguas arriba, y un sistema de inyección sónica que comprende al menos un inyector de un chorro de un gas a una velocidad al menos igual al 80% de la velocidad del sonido, denominado inyector sónico, que desemboca en la pared aguas arriba o que desemboca en el conducto de recepción de los humos de combustión, inyectando dicho inyector sónico su gas a contracorriente de la corriente del flujo de los humos de combustión que se dirigen hacia el conducto de recepción de los humos de combustión.

- La invención hace posible obtener excelentes contenidos de NOx en los humos dado que pueden ser inferiores a 600 mg/Nm³ o incluso inferiores a 570 mg/Nm³ o incluso inferiores a 500 mg/Nm³, o incluso inferiores a 450 mg/Nm³. La inyección del gas sónico a contracorriente de los humos de combustión favorece la recirculación vertical de los gases de combustión por encima de la llama. En efecto, la simulación numérica de los flujos de gas en el volumen de laboratorio mostró que la inyección de gas sónico de acuerdo con la invención inhibía la recirculación horizontal para favorecer la recirculación vertical por encima de la llama. Esto es favorable para la propagación de la llama sobre la superficie del vidrio y por lo tanto para la transferencia de calor al vidrio y también para el incremento de la superficie de intercambio entre la llama y los gases de combustión. Por consiguiente, se incrementa el debilitamiento de la llama en los gases de combustión y se disminuye la concentración de NOx.

- El sistema de inyección sónica puede comprender un sólo inyector sónico (inyector de un chorro de un gas a una velocidad al menos igual al 80% de la velocidad del sonido) o una pluralidad de inyectores sónicos, es decir 2 o 3 o 4 o 5 o 6 o incluso más inyectores sónicos.

- El oxidante es generalmente aire. El conducto de entrada de oxidante aporta la mayoría del oxidante, es decir al menos el 95% del caudal de oxidante total que entra en la cámara de combustión, siendo el resto aire inducido. Este conducto de entrada de oxidante está formado por una abertura en una pared de material refractario.

- Parece que el chorro de gas comprimido enviado por el inyector sónico hacia el humo de combustión ayuda a modificar sustancialmente la trayectoria y la recirculación de los flujos de gas en el horno. De este modo la llama producida en el horno es más tenue, el calor que la misma proporciona de este modo se distribuye sobre una longitud mayor y los tiempos de estancia de los humos en la cámara de combustión se incrementan en general. Esto es favorable en dos aspectos:

- a) se forma menos NOx debido a la menor temperatura de llama,
- b) los refractarios del horno son menos estresados en temperatura y por lo tanto se incrementa la duración de su vida útil.

- El inyector sónico desemboca en la pared que comprende el conducto de recepción de los humos de combustión o desemboca en el conducto de recepción de los humos de combustión e inyecta el gas sónico a contracorriente del flujo de los humos de combustión que se dirigen (en la cámara de combustión) hacia la pared aguas arriba. Los términos “aguas arriba” y “aguas abajo” se refieren al sentido de flujo del vidrio que corre de aguas arriba a aguas abajo. En un horno caldeado por un extremo, la llama comienza desde un quemador (es decir el conjunto formado por el conducto de entrada de oxidante y el o los inyectores de combustible) desde la pared aguas arriba para ir hacia aguas abajo, luego gira para regresar hacia el conducto de recepción de los humos de combustión localizado también en la pared aguas arriba y junto al conducto de entrada de oxidante. De acuerdo con la invención, el inyector sónico inyecta su gas en la dirección de aguas arriba hacia aguas abajo, pero a contracorriente de los humos de combustión, es decir encontrando el flujo de humos cuando éste se dirige hacia el conducto de recepción de los humos en la pared aguas arriba, y en sentido inverso

al del flujo de humos. Para hacer esto, de preferencia, cada inyector sónico del sistema de inyección sónica desemboca en el conducto de recepción de los humos o en la pared aguas arriba en un punto más próximo al conducto de recepción de los humos que al conducto de entrada de oxidante. De preferencia, cada inyector sónico del sistema de inyección sónica desemboca a menos de 1 m o incluso a menos de 0,5 m del borde del conducto de recepción de los humos. Esto es válido para el caso en que el inyector sónico desemboca en el conducto de recepción de los humos o en la pared aguas arriba. El borde del conducto de recepción de los humos es el contorno formado por el conducto de recepción de los humos en la pared que comprende dicho conducto, es decir la pared aguas arriba, en el lado de la cámara de combustión. Incluso si, cuando sea apropiado, el inyector sónico desemboca en el interior del conducto de recepción de los humos, el mismo es lo suficientemente potente para perturbar la corriente del flujo de humos que aún se encuentran en el horno y que se dirigen hacia el conducto de recepción de los humos. Esta es la razón por la que, cuando se dice que el gas sónico inyecta su gas a contracorriente del flujo de los humos de combustión que se dirigen hacia la pared aguas arriba, se trata del flujo de los humos que aún se encuentran en el horno y que van a entrar en el conducto de recepción de los humos.

El vector que representa la velocidad del gas a la salida de un inyector sónico tiene un componente no nulo paralelo al flujo de los humos que entran en el conducto de recepción de los humos y en sentido inverso a la dirección de este flujo. Se puede considerar que el flujo de los humos que entran en el conducto de recepción de los humos tiene una dirección sustancialmente perpendicular a la pared aguas arriba del horno que comprende el conducto de recepción de los humos. De preferencia, el componente de impulso del sistema de inyección sónica perpendicular a la pared que comprende el conducto de recepción de los humos de combustión es mayor que 5 Newtons y de preferencia mayor que 10 Newtons. De acuerdo con la última característica, se tienen en cuenta todos los inyectores sónicos del sistema de inyección sónica y se determina el componente global del sistema perpendicularmente a la pared aguas arriba. Este componente es la resultante de todos los componentes de los impulsos eyectados por todos los inyectores sónicos perpendicularmente a la pared que comprende el conducto de recepción de los humos de combustión. Este componente es mayor que 5 Newtons y de preferencia mayor que 10 Newtons.

El gas comprimido inyectado por el inyector sónico puede ser de cualquier naturaleza y en particular puede ser gas natural u oxígeno pero de preferencia es aire.

Los hornos caldeados por un extremo (end-fired furnace en inglés) son bien conocidos por aquellos con experiencia en la técnica de la fusión del vidrio. La pared aguas arriba de un horno caldeado por un extremo comprende dos aberturas que funcionan alternativamente como conducto de entrada de oxidante y como conducto de recepción de los humos. Para el funcionamiento de un horno caldeado por un extremo, puede hacerse referencia en particular al documento WO 2008/078049 y en particular a sus figuras 1 y 2. De este modo, para hacer funcionar la presente invención, se provee a cada una de estas dos aberturas con un sistema de inyección sónica pero sólo se hace funcionar el asociado con la abertura que funciona como conducto de recepción de los humos. Cuando se invierte el funcionamiento del horno, también se invierte el funcionamiento de estos dos sistemas de inyección sónica. Por lo tanto, se apaga el que está asociado con la abertura que pasa a ser conducto de entrada de oxidante y se enciende el que está asociado con la abertura que pasa a ser el conducto de recepción de los humos.

El conducto de entrada de oxidante desemboca en la cámara de combustión del horno por una abertura en la pared aguas arriba del horno de material refractario. La bóveda de este conducto generalmente desciende en el sentido de circulación del oxidante para formar un ángulo con la horizontal comprendido entre 14° y 30°. De este modo, el oxidante se dirige hacia el flujo de combustible dado que este último es inyectado generalmente por inyectores localizados debajo del conducto de entrada de oxidante. Estos inyectores de combustible pueden orientarse de modo que sus chorros apunten ligeramente hacia arriba en dirección al flujo de oxidante. La dirección de emisión del combustible generalmente puede formar un ángulo con la horizontal comprendido entre 0° y 15°, en particular entre 3° y 15° hacia arriba. El conducto de entrada de oxidante y su o sus inyectores de combustible constituyen un quemador. Generalmente, se utilizan varios inyectores de combustible y se colocan debajo de la vena de aire. Estos inyectores de combustible se distribuyen debajo de la vena de aire, uno junto a otro cuando se ven desde arriba, para propagar la llama, vista desde arriba, paralelamente a la superficie del vidrio. Se coloca generalmente un regenerador detrás de cada una de las dos aberturas de la pared aguas arriba del horno. El oxidante pasa a través de un regenerador y se recalienta por este antes de llegar al conducto de entrada de oxidante. Cuando se lleva a cabo la « inversión » del horno, el conducto de entrada de oxidante pasa a ser conducto de recepción de los humos y el regenerador asociado con dicho conducto se recalienta luego por los humos. Los regeneradores se llenan con elementos refractarios (ladrillos, cruciformes, etc...) que forman una red recorrida por los humos o el oxidante dependiendo de la fase de funcionamiento. Cuando el humo pasa a través del regenerador, el calor del humo se transmite a los elementos refractarios del regenerador. Cuando el oxidante pasa a través del regenerador, el calor de los elementos refractarios del regenerador calienta el oxidante. El oxidante en el conducto de entrada de oxidante está sustancialmente a la presión atmosférica y generalmente a una presión ligeramente superior a la presión atmosférica, es decir a una presión entre la presión atmosférica y la presión atmosférica + 100 Pa, en presión absoluta.

De este modo, en el horno caldeado por un extremo de acuerdo con la invención, la sección del conducto de entrada de

oxidante en la pared aguas arriba está comprendida generalmente dentro del margen que se extiende de 0,5 m² a 3 m². El conducto de recepción de los humos es generalmente idéntico al conducto de entrada de oxidante dado que cada uno de estos conductos desempeña alternativamente la función de proporcionar oxidante y de recibir los humos. De este modo, la sección del conducto de recepción de los humos en la pared aguas arriba está comprendida generalmente dentro del

Uno o varios inyectores sónicos, en particular dos o tres o cuatro o cinco o seis inyectores sónicos o incluso más, pueden equipar un conducto de recepción de los humos formando un sistema de inyección sónica de acuerdo con la invención. Un inyector sónico puede estar constituido por un tubo de metal refractario, en particular de acero inoxidable, insertado en un orificio hecho en el material refractario del conducto de recepción de los humos o rodeando al conducto de recepción

los humos. Un inyector sónico puede desembocar en el horno por encima o por debajo o en los lados del conducto de recepción de humos o en el mismo conducto de recepción de los humos. De preferencia, el eje del inyector sónico apunta hacia el flujo de humos que se dirige hacia la pared aguas arriba y a contracorriente del mismo.

La sección de eyección del sistema de inyección sónica de preferencia tiene una sección comprendida dentro del margen que se extiende de 0,2 cm² a 4 cm². En el caso en que se utiliza un sólo inyector sónico, se trata de la sección en el extremo del inyector sónico. En el caso en que el sistema de inyección sónica comprende varios inyectores sónicos, se trata de la suma de las secciones de eyección del gas por todos los inyectores sónicos.

El sistema de inyección sónica facilita gas en una proporción del 0,2% al 5% y de preferencia del 0,2% al 2% del volumen Normal de oxidante introducido por el conducto de entrada de oxidante. Por lo tanto, se toma aquí la suma de los volúmenes de gas facilitados por todos los inyectores del sistema de inyección sónica.

La invención concierne también a un procedimiento de preparación de vidrio fundido que comprende la fusión de vidrio en el horno caldeado por un extremo de acuerdo con la invención. En particular, la cantidad de oxidante introducida en el horno se encuentra de preferencia en exceso en relación con la cantidad de combustible introducido en el horno. En particular, la cantidad de oxidante introducida en el horno sin incluir a través del sistema de inyección sónica se encuentra de preferencia en exceso en relación con la cantidad de combustible introducida en el horno sin incluir a través del sistema de inyección sónica.

Las figuras no están a escala.

La figura 1 representa un horno caldeado por un extremo de acuerdo con la invención en vista lateral en sección transversal.

La figura 2 muestra diferentes sistemas de inyección sónica que pueden asociarse a un conducto de recepción de los humos en un horno de acuerdo con la invención.

La figura 3 representa, en vista lateral y en corte, un conducto de recepción de los humos equipado con un inyector sónico que desemboca en la misma pared aguas arriba del horno de acuerdo con la invención.

La figura 4 es una representación de los flujos gaseosos en un horno caldeado por un extremo de acuerdo con diversas configuraciones. La figura 1 representa un horno 1 caldeado por un extremo en vista lateral en corte, el vidrio 2 fundido fluye de izquierda a derecha. El corte está realizado a través del conducto 3 de recepción de los humos, los cuales se envían al regenerador 4 que contiene elementos refractarios 5 que los humos recalentarán. Después de la inversión de fase, esta abertura servirá de conducto de entrada de oxidante de quemador para una llama, siendo recalentado entonces dicho oxidante por los elementos refractarios 5. Como se representa, el conducto se encuentra en la fase de recepción de los humos. Un inyector 6 de gas comprimido desemboca en la pared 7 aguas arriba la cual también es la pared en la cual desemboca el conducto de recepción los humos. El chorro 8 de gas comprimido se envía hacia la corriente de humos (representado por las líneas 9 punteadas), que se dirige hacia el conducto de recepción de los humos, mientras se encuentra en contra corriente de la misma.

La figura 2 muestra diferentes sistemas de inyección sónica que pueden asociarse a un conducto de recepción de los humos 20. Estas diferentes configuraciones se ilustran por los ejemplos. El sistema de inyección sónica puede comprender 3 inyectores 21 y encontrarse justo por encima del conducto de recepción los humos 20 (véase la Fig 2a) o a una cierta distancia por encima de los humos (véase la fig 2b). Los inyectores del sistema de inyección sónica pueden encontrarse debajo del conducto de recepción de los humos (véase la fig 2d). En la figura 2e, se utiliza un sólo inyector 26 y se encuentra debajo del conducto de recepción de los humos 20. Aquí el inyector se encuentra ligeramente hacia la izquierda, a un lado del eje longitudinal del horno. En la figura 2c, se han combinado en el sistema de inyección sónica inyectores sónicos por encima y por debajo del conducto de recepción de los humos. Se ha indicado por « d » lo que se entiende por la distancia entre el inyector y el borde del conducto. Considerando el pequeño diámetro del inyector sónico, la distancia

d se toma a partir de su eje.

La Figura 3 representa un conducto 30 de recepción de los humos, en vista lateral, equipado con un inyector sónico (31) que desemboca en la misma pared 33 aguas arriba del horno. El inyector sónico se encuentra a la distancia d del borde del conducto. El inyector sónico suministra su gas con un impulso representado por el vector 32, el cual puede ser descompuesto en un componente 34 perpendicular a la pared 33 aguas arriba y otro componente 35 paralelo a la pared.

La figura 4 es una representación de los flujos de gas en un horno caldeado por un extremo de referencia sin inyección adicional de gas a través de una pared (véase la configuración a), en un horno caldeado por un extremo con inyección sónica de acuerdo con la invención (véase la configuración b), en un horno caldeado por un extremo con inyección sónica en una pared lateral (véase la configuración c).

Ejemplos 1 a 10

Los ensayos han ido realizados con un horno caldeado por un extremo que comprende dos quemadores que funcionan en inversión, de potencia de 13,3 megavatios y en los cuales el oxidante era aire. Cada conducto de entrada de aire tenía un área de 1,55 m² (2200 mm de anchura y 800 mm de altura). Al horno se le suministró material vitrificable de tipo sodocálcico, con el 95% en peso de vidrio pulverizado. El mismo funcionaba con una producción de 330 toneladas por día. El horno tenía una superficie de 94 m². La temperatura del vidrio a la salida del horno era alrededor de 1300 °C. La bóveda se encontraba a una temperatura de alrededor de 1600 °C.

Uno o más inyectores de aire comprimido sónicos se colocaron en la proximidad del conducto de recepción de los humos de combustión para formar sistemas de inyección sónica. Estos inyectores tenían un extremo convergente. El gas inyectado se encontraba a 25 °C. La Tabla 1 da las diversas condiciones operatorias así como los resultados en términos de contenido de NOx en los humos. Se probaron cuatro posiciones posibles de inyector sónico:

- justo por encima de la recepción de humos: el inyector está exactamente en el borde del conducto de recepción de los humos con un ángulo de 20° hacia abajo con respecto a la horizontal;

- ligeramente por encima del conducto de recepción de los humos: el inyector está 400 mm por encima del borde superior del conducto de recepción de los humos con un ángulo de 20° hacia abajo con respecto a la horizontal;

- debajo del conducto de recepción de los humos: el inyector está 250 mm debajo del conducto de recepción de los humos con un ángulo de 5° hacia arriba con respecto a la horizontal.

Todos los inyectores sónicos de aire comprimido por encima del conducto de recepción de los humos tenían un diámetro interno de 5 mm. Los inyectores sónicos de aire comprimido por debajo del conducto de recepción de los humos tenían un diámetro interno de 6 mm.

Se indican en la tabla 1:

- la presión relativa: esta es la presión del depósito que alimenta al inyector sónico;

- el caudal: este es el caudal total de aire comprimido (suma de los caudales de todos los inyectores sónicos);

- la velocidad de inyección: esta es la velocidad del aire a la salida del inyector sónico de aire comprimido;

- impulso sónico: esta es la suma de los impulsos de los inyectores sónicos (en el caso del ejemplo 2, ninguna inyección es sónica pero con fines de simplificación se ha representado el impulso del gas al 50% de la velocidad sónica en la columna de "impulso sónico");

- NOx: esta es la concentración en mg/Nm³ en condiciones normales con 8% de oxígeno en humo seco;

- variación: esta es la variación en NOx con respecto a una referencia (sin inyección sónica de aire comprimido).

Los resultados de "variación" de los ejemplos 2 a 7 se dan con respecto al ejemplo 1. Los resultados de "variación" de los ejemplos 9 a 10 se dan con respecto al ejemplo 8.

Ejemplos 11 y 12

Los ensayos han sido realizados con un horno caldeado por un extremo que comprende dos quemadores que funcionan en inversión, de potencia de 11 megavatios y en los cuales el oxidante era aire. Cada conducto de entrada de aire de quemador (o de recepción de los humos, dependiendo de la fase de inversión) tenía un área de 2 m² (2300 mm de anchura y 960 mm de altura). El horno era alimentado de material vitrificable de tipo sodocálcico, con un 60% en peso de vidrio pulverizado. El mismo funcionaba con una producción de 250 toneladas por día. El horno tenía una superficie de 85 m².

5 La temperatura del vidrio a la salida del horno era alrededor de 1300 °C. La bóveda estaba a una temperatura de alrededor de 1600 °C. El sistema de inyección sónica comprendía un sólo inyector sónico de aire comprimido con un extremo convergente. Este estaba colocado 300 mm debajo del conducto de recepción de los humos y a 650 mm de la esquina inferior del conducto de recepción de los humos más próximo al eje longitudinal del horno. El inyector sónico inyectaba su gas con un ángulo de 5° hacia arriba con respecto a la horizontal y tenía un diámetro interno de 8 mm de diámetro. El gas inyectado estaba a 25°C.

La Tabla 1 da las diferentes condiciones operatorias así como los resultados en términos de contenido de NOx en los humos.

Tabla 1

Ej N°	Número de inyectores justo por encima	Número de inyectores 400 mm por encima	Número de inyectores 250 mm por debajo	Presión relativa [bares]	Caudal [Nm³/h]	% de velocidad del sonido	Velocidad de eyección [m/s]	Impulso sónico [N]	NOx [mg/Nm³] @ 8% O₂]	Variación
1 (comp)									601	-
2 (comp)	3			0,2	35	50	174	2	607	1%
3	3			0,7	65	84	289	7	559	-7%
4	3			1,7	104	100	346	14	546	-9%
5	3			4,2	200	100	346	33	405	-33%
6	0	3		4,2	200	100	346	33	390	-35%
7			2	4,2	200	100	346	33	397	-34%
8(comp)				-	-	-		-	778	-
9	3			4,2	200	100	346	33	494	-37%
10		3	2	4,2	400	100	346	55	354	-54%
11			1	3	132	100	345	21	457	
12			1	3,5	148	100	346	24	381	

Ejemplos 13 a 15

Se han realizado simulaciones numéricas del flujo de los humos de combustión en un horno caldeado por un extremo en funcionamiento, en las siguientes configuraciones:

a) Referencia: ninguna inyección de gas adicional (véase la figura 4a);

5 b) Inyección adicional de 181 Nm³/h de gas sónico en la pared aguas arriba de acuerdo con la presente invención;

c) inyección adicional de 150 Nm³/h de gas sónico en la pared lateral (véase la figura 4b, estando simbolizada la inyección adicional por una flecha en negrita); el inyector formaba un ángulo de 60° con la pared lateral en el lado de la pared aguas arriba y estaba a una distancia de la pared aguas arriba igual al 23% de la longitud total de la pared lateral; este ejemplo se da a modo de comparación y no es de acuerdo con la presente invención;

10 d) inyección adicional de 150 Nm³/h de gas sónico en la pared aguas arriba (véase la figura 4c, estando simbolizada la inyección adicional por una flecha en negrita) de acuerdo con la presente invención.

El horno caldeado por un extremo comprende dos quemadores que funcionan en inversión, de potencia de 11 megavatios, y cuyo oxidante es el aire. Cada conducto de entrada de aire de quemador (o de recepción de los humos, dependiendo de la fase de inversión) tiene un área de 1,55 m² (2200 mm de anchura y 800 mm de altura). El horno tiene una superficie de 94 m². La temperatura del vidrio a la salida del horno era de alrededor de 1300 °C. El gas sónico inyectado estaba a 25°C.

La figura 4 muestra el efecto de estas inyecciones en los flujos de gas en el volumen de laboratorio del horno. Para visualizar estos flujos, se han proyectado los vectores de velocidad en un plano vertical que pasa a través de la mitad del conducto de entrada de aire. Esta representación hace posible visualizar la recirculación vertical de los gases. Se observan grandes diferencias dependiendo de las configuraciones. Se ve que la inyección sónica de acuerdo con la invención conduce a la recirculación más amplia en el volumen de laboratorio. Además, los resultados en los NOx expresados con relación a una referencia sin inyección sónica demuestran la superioridad de la inyección de acuerdo con la invención, como muestra la tabla 2. La columna de « variación » da la concentración de NOx con respecto a la configuración de referencia sin inyección de gas adicional (véase la figura 4a). La inyección de acuerdo con la invención conduce a una reducción, respectivamente, del 15% y del 20% en NOx. La inyección de gas sónico en la pared lateral no produce una reducción sustancial en NOx.

Tabla 2

Ej. n°	Número de inyectores en pared lateral	Número de inyectores 250 mm debajo del conducto de recepción de los humos	Caudal (Nm ³ /h)	% de velocidad del sonido	Velocidad de inyección [m/s]	Impulso sónico [N]	Variación (%)
13 (figura 4b)		2	181	100	346	27	-19%
14 (comp) (figura 4c)	1		150	94	326	17	-1%
15		1	150	94	326	17	-15%

REVINDICACIONES

1. Horno caldeado por un extremo (1) para la fusión de vidrio equipado con un quemador aéreo que comprende un conducto de entrada del oxidante que comprende del 15% al 30% de oxígeno, en su pared aguas arriba (33), un conducto (3, 20, 30) de recepción de los humos de combustión en su pared aguas arriba (33), y un sistema de inyección sónica que
5 comprende al menos un inyector (6, 31) de un chorro de un gas a una velocidad al menos igual al 80% de la velocidad sónica, denominado inyector sónico, que desemboca en la pared aguas arriba (33) o que desemboca en el conducto (3, 20, 30) de recepción de los humos de combustión, siendo la velocidad sónica la velocidad del sonido a la temperatura del gas inyectado a la salida del inyector, inyectando el citado inyector sónico su gas (8) a contracorriente del flujo (9) de los humos de combustión que se dirigen hacia el conducto (3, 20, 30) de recepción de los humos de combustión.
- 10 2. Horno de conformidad con la reivindicación precedente, caracterizado por que la sección del conducto de entrada de oxidante en la pared aguas arriba (33) está comprendida dentro del margen que va de 0,5 m² a 3 m² y por que la sección del conducto de recepción de los humos (3, 20, 30) en la pared aguas arriba (33) está comprendida dentro del margen que va de 0,5 m² a 3 m².
- 15 3. Horno de conformidad con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la sección de eyección del sistema de inyección sónica está comprendida dentro del margen que va de 0,2 cm² a 4 cm².
4. Horno de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que cada inyector sónico (21, 22, 23, 24, 25, 26) del sistema de inyección sónica desemboca en el conducto (3, 20, 30) de recepción de los humos o en la pared aguas arriba en un punto más próximo al conducto (3, 20, 30) de recepción de los humos que al conducto de entrada de oxidante.
- 20 5. Horno de conformidad con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que cada inyector sónico (21, 22, 23, 24, 25, 26) del sistema de inyección sónica desemboca a menos de 1 m del borde del conducto (20) de recepción de los humos.
6. Horno de conformidad con la reivindicación precedente, caracterizado por que cada inyector sónico (21, 22, 23, 24, 25, 26) desemboca a menos de 0,5 m del borde del conducto (3, 20, 30) de recepción de los humos.
- 25 7. Horno de conformidad con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el sistema de inyección sónica comprende varios inyectores sónicos (21, 22, 23, 24, 25).
8. Horno de conformidad con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el componente (34) de impulso del sistema de inyección sónica perpendicularmente a la pared (33) que comprende el conducto (3, 20, 30) de recepción de los humos de combustión es superior a 5 Newtons y de preferencia superior a 10 Newtons.
- 30 9. Horno de conformidad con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el gas es aire.
10. Horno de conformidad con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el inyector sónico (6, 31) inyecta su gas al menos al 95% de la velocidad sónica, siendo la velocidad sónica la velocidad del sonido a la temperatura del gas inyectado a la salida del inyector.
- 35 11. Procedimiento de preparación de vidrio fundido que comprende la fusión de vidrio en el horno de una de las reivindicaciones 1 a 7, inyectando el inyector sónico (6, 31) un chorro de gas a velocidad al menos igual al 80% de la velocidad sónica, siendo la velocidad sónica la velocidad del sonido a la temperatura del gas inyectado a la salida del inyector.
12. Procedimiento de conformidad con la reivindicación precedente, caracterizado por que el inyector sónico (6, 31) inyecta su gas al menos al 95% de la velocidad sónica.
- 40 13. Procedimiento de conformidad con una de las reivindicaciones del procedimiento precedente, caracterizado por que el componente (34) de impulso del sistema de inyección sónica perpendicular a la pared (33) que comprende el conducto (3, 20, 30) de recepción de los humos de combustión es superior a 5 Newtons y de preferencia superior a 10 Newtons.
14. Procedimiento de conformidad con una de las reivindicaciones del procedimiento precedentes, caracterizado por que el sistema de inyección sónica facilita gas a razón del 0,2% al 5% y de preferencia del 0,2% al 2% el volumen Normal de oxidante introducido por el conducto de entrada de oxidante.
- 45 15. Procedimiento de conformidad con una de las reivindicaciones del procedimiento precedentes, caracterizado por que la cantidad de oxidante introducida en el horno se encuentra en exceso con respecto a la cantidad de combustible introducida en el horno.

16. Procedimiento de conformidad con una de las reivindicaciones del procedimiento precedentes, caracterizado por que la cantidad de oxidante introducida en el horno fuera de a través del sistema de inyección sónica se encuentra en exceso con respecto a la cantidad de combustible introducida en el horno fuera de a través del sistema de inyección sónica.

5 17. Procedimiento de conformidad con una de las reivindicaciones del procedimiento precedentes, caracterizado por que el gas es aire.

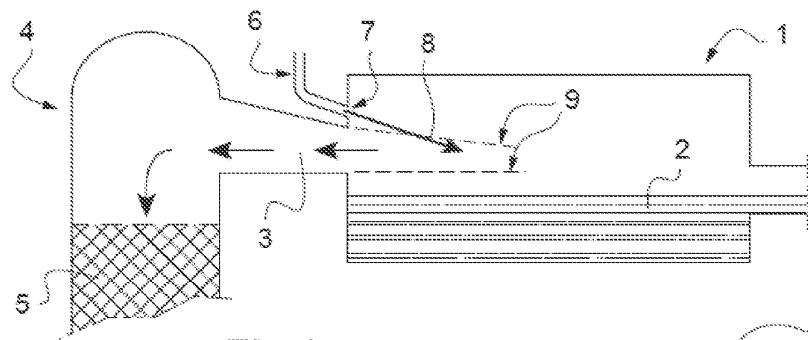


Fig.1

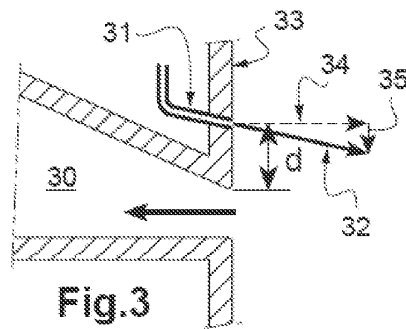
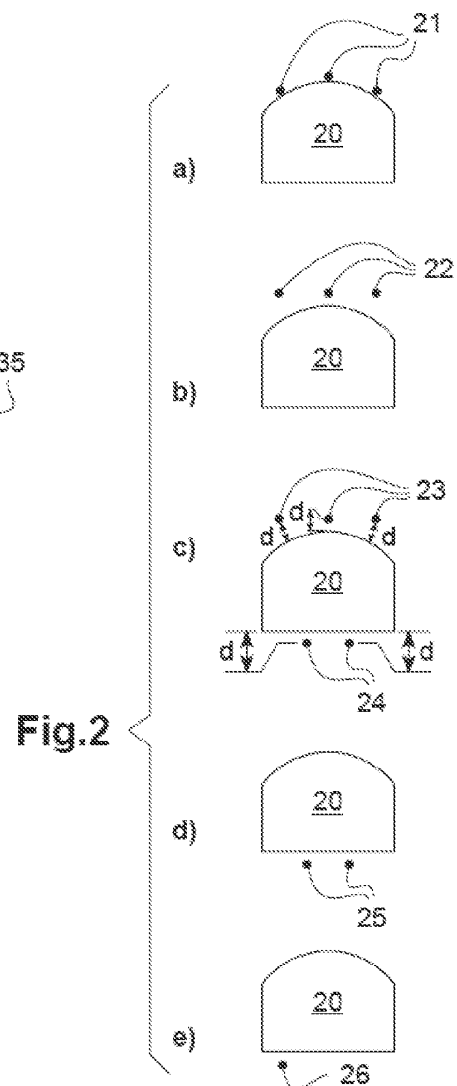


Fig.3



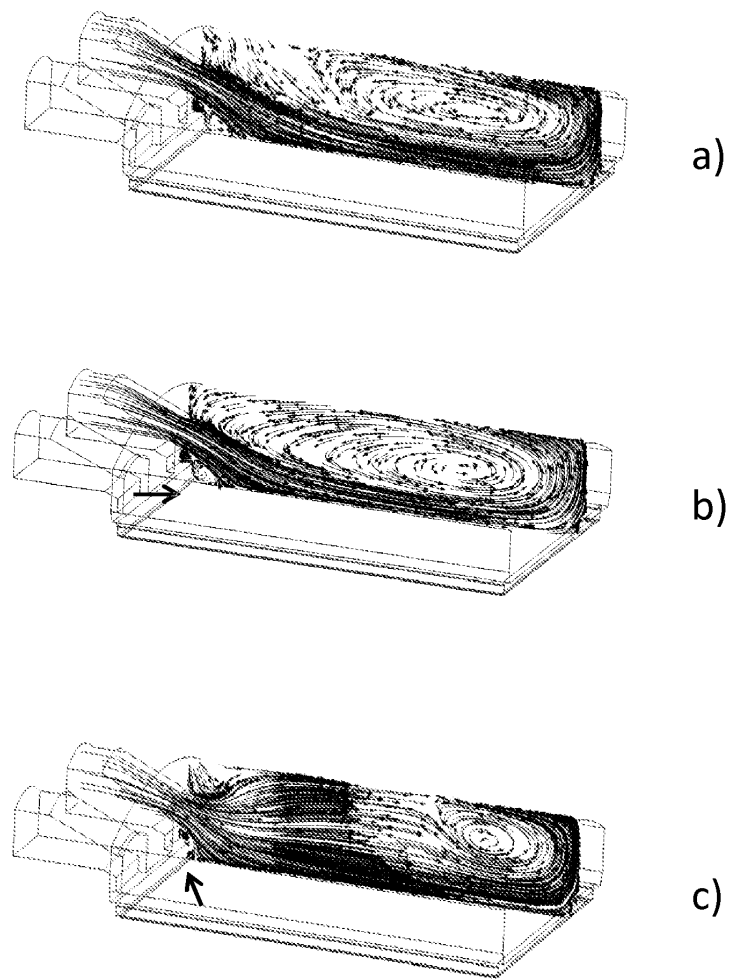


Fig. 4