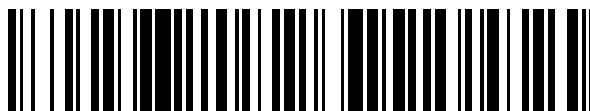


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 544 760**

51 Int. Cl.:

F23L 7/00 (2006.01)

F23L 15/02 (2006.01)

C03B 5/235 (2006.01)

C03B 5/237 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2009 E 09740328 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2015 EP 2391587**

54 Título: **Procedimiento de funcionamiento de un horno regenerativo alternante**

30 Prioridad:

23.01.2009 EP 09151288

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

03.09.2015

73 Titular/es:

**L'AIR LIQUIDE SOCIÉTÉ ANONYME POUR
L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS
GEORGES CLAUDE (100.0%)
75, Quai d'Orsay
75007 Paris, FR**

72 Inventor/es:

ZUCHELLI, PIETRO

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 544 760 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

Procedimiento de funcionamiento de un horno regenerativo alternante

La presente invención se refiere a un método mejorado de operación de un horno regenerativo.

5 En la operación de un horno el balance térmico es altamente importante. Se han desarrollado muchos procesos, instalaciones y dispositivos para mejorar el balance térmico de los hornos, en particular por medio de la recuperación de calor del gas de combustión que abandona la cámara de combustión del horno.

Un ejemplo de tal instalación para mejorar el balance térmico del horno es el horno regenerativo, el cual es ampliamente usado en la industria, en particular en el caso de hornos que trabajan de una forma continua.

10 Los hornos regenerativos están equipados con varios regeneradores, cada regenerador está conectado a la cámara de combustión del horno a través de su puerto del regenerador. Dichos regeneradores operan de forma alternante como (1) un dispositivo de recuperación de calor para la recuperación de calor del gas de combustión que abandona la cámara de combustión del horno, y como (2) un precalentador para precalentar el oxidante de combustión, típicamente aire de combustión, alimentado a la cámara de combustión. Esto se consigue por medio del material refractario presente en cada uno de los regeneradores.

15 Cuando un regenerador opera como un dispositivo de recuperación de calor, es decir cuando el regenerador está en un modo de recuperación de calor, el gas de combustión caliente procedente de la zona de combustión entra en el regenerador a través de su puerto del regenerador.

El gas de combustión caliente fluye a través del regenerador, por lo que calienta el material refractario presente en el regenerador y abandona el regenerador como un gas de combustión frío a través de la salida del regenerador.

20 Cuando un regenerador opera como precalentador, es decir cuando el regenerador está en un modo de precalentamiento, el oxidante de combustión frío entra en el regenerador por la entrada del regenerador. El oxidante de combustión frío fluye a través del regenerador y es calentado por un intercambio de calor con el material refractario presente en el regenerador, dicho material refractario ha sido calentado en un modo de recuperación de calor anterior del regenerador. El oxidante de combustión precalentado o "caliente" es suministrado a continuación por el regenerador o regeneradores que operan en modo de precalentamiento, y entra en combustión, o en otras palabras arde, con el combustible inyectado en la cámara de combustión por uno o más quemadores o inyectores de combustible.

Dichos quemadores o inyectores de combustible están generalmente situados en la proximidad de los puertos del regenerador, típicamente debajo de cada uno de los puertos del regenerador.

30 (a) Cuando la temperatura del gas de combustión frío que abandona el regenerador o regeneradores que operan en modo de recuperación de calor alcanza un límite superior predeterminado;

(b) cuando la temperatura del oxidante de combustión caliente que abandona el regenerador o regeneradores que operan en modo de precalentamiento alcanza un límite inferior predeterminado; o

35 (c) cuando la duración del modo de recuperación de calor o del modo de precalentamiento de un regenerador o conjunto de regeneradores dados alcanza una longitud de tiempo predeterminada,

se invierte la operación de los regeneradores:

- el regenerador o regeneradores que han estado operando en modo de recuperación de calor se cambian a operación en modo de precalentamiento como se ha descrito antes, y
- el regenerador o regeneradores que han estado operando en modo de precalentamiento se cambian a operación en modo de recuperación de calor como se ha descrito antes.

40

De esta manera se mantiene un balance energético mejorado a lo largo de la operación de los hornos.

Tal proceso también es conocido como un proceso u operación de encendido inversa.

45 Hay un problema con los hornos con regenerador conocidos que, inmediatamente después de la inversión de la operación de los regeneradores, de hecho los regeneradores no suministran el oxidante de combustión a la cámara de combustión. Ciertamente, por una parte, (1) el regenerador o conjunto de regeneradores que antes de la inversión estaban en el modo de precalentamiento, ya no suministran más oxidante de combustión a la cámara de combustión y en lugar de ello reciben gas de combustión procedente de la cámara de combustión, en tanto que, por otra parte, (2) antes de suministrar oxidante de combustión caliente a la cámara de combustión, el regenerador o conjunto de regeneradores, que antes de la inversión de la operación estaban en el modo de recuperación de calor,

50 suministran, durante un período de transición limitado, a la zona de combustión el gas de combustión que llenaba o

estaba presente dentro de este regenerador o conjunto de regeneradores antes de la operación de inversión. Esta etapa particular en la operación de un horno con regenerador a partir de aquí se denomina "fase de transición".

5 Cuando el gas de combustión inyectado en la cámara de combustión durante la fase de transición no puede adecuadamente mantener la combustión en la cámara de combustión, normalmente no se inyecta combustible en la cámara de combustión durante esta fase. La generación de calor en la cámara de combustión es de este modo reducida o incluso interrumpida durante dicha fase de transición cada vez que se invierte la operación de los regeneradores, con una correspondiente reducción en la productividad del horno.

El documento EP 1 634 856 A1 muestra un horno que describe tal fase de transición.

10 Por ejemplo, en un horno de fundición de vidrio con regenerador con una tasa de rendimiento de 50.000 kg de vidrio por día, en el que la inversión de la operación de los regeneradores se produce cada 17 a 22 minutos con una fase de transición de 40 a 60 segundos por inversión de la operación, la generación de calor en la cámara de combustión se reduce o se interrumpe durante el 3 al 5% del tiempo de operación total con un correspondiente efecto negativo sobre la tasa de rendimiento del horno.

15 Es un objeto de la presente invención superar dicha desventaja de los hornos regenerativos de la técnica anterior y reducir o incluso eliminar el efecto negativo de las fases de transición sobre la generación de calor en la cámara de combustión del horno.

Para esto, la presente invención propone un proceso de operación de un horno regenerativo alternante, dicho horno regenerativo comprende:

- una cámara de combustión,
- 20 un primer conjunto de uno o más regeneradores,
- un segundo conjunto de uno o más regeneradores, y
- uno o más inyectores de combustible para inyectar combustible en la cámara de combustión.

El proceso de la invención comprende una primera fase de operación, una segunda fase de operación y una fase de transición.

25 En la primera fase de operación: (a) el regenerador o regeneradores del primer conjunto están en modo de precalentamiento y precalientan el oxidante de combustión frío e inyectan el oxidante de combustión caliente en la cámara de combustión, (b) el combustible es inyectado en la cámara de combustión por al menos uno o más inyectores de combustible y entra en combustión con dicho oxidante de combustión caliente para producir calor y gas de combustión caliente, y (c) el gas de combustión caliente fluye desde la cámara de combustión al regenerador o regeneradores del segundo conjunto que están en modo de recuperación de calor, y dicho gas de combustión abandona dicho regenerador o regeneradores del segundo conjunto como gas de combustión frío.

30 En la segunda fase de operación (a) el regenerador o regeneradores del segundo conjunto están en modo de precalentamiento y precalientan el oxidante de combustión frío e inyectan el oxidante de combustión caliente en la cámara de combustión, (b) el combustible inyectado en la cámara de combustión por al menos uno de los uno o más inyectores de combustible entra en combustión con dicho oxidante de combustión caliente para producir calor y gas de combustión caliente, y (c) el gas de combustión caliente fluye desde la cámara de combustión al regenerador o regeneradores del primer conjunto que están en modo de recuperación de calor, y dicho gas de combustión abandona dicho regenerador o regeneradores del primer conjunto como gas de combustión frío.

35 En la fase de transición que ocurre entre las sucesivas fases primera y segunda de operación y entre las sucesivas segunda y primera fases de operación, (a) el regenerador o regeneradores, que antes de la fase de transición estaban en modo de recuperación de calor, inyectan gas de combustión en la cámara de combustión, y (b) el gas de combustión fluye desde la cámara de combustión al regenerador o regeneradores que, en la fase de operación antes de la fase de transición estaban en modo de precalentamiento.

40 Es una característica particular del proceso de la presente invención que, durante la fase de transición (es decir, el tiempo necesario para evacuar el gas de combustión del o de los regeneradores y comenzar a precalentar el oxidante de combustión):

- (a) se inyecta combustible en la cámara de combustión por al menos un inyector de combustible del uno o más inyectores, al contrario que en el proceso convencional en el que no se inyecta combustible en el horno durante esta fase, y
- 50 (b) el regenerador o regeneradores que, en la fase de operación directamente antes de la fase de transición estaban en modo de recuperación de calor inyectan una mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno en la cámara de combustión,

la mezcla que tiene un contenido de oxígeno capaz de mantener la combustión del combustible de modo que durante la fase de transición el combustible inyectado por el al menos un inyector de combustible entra en combustión con la mezcla para producir calor y gas de combustión en la cámara de combustión.

- 5 La mezcla que es inyectada durante la fase de transición actúa de este modo como un oxidante o como "aire sintético" para la combustión del combustible durante la fase de transición para que se mantenga la generación de calor en la cámara de combustión durante dicha fase.

10 Es conocido en la técnica el uso de hornos regenerativos que tienen varios puertos de encendido que están colocados en los lados o extremos opuestos de la cámara de combustión del horno, por lo que cada uno de los puertos de encendido contiene uno o más quemadores para la entrega de combustible a la cámara de combustión. Los puertos de encendido también proporcionan un suministro de aire de combustión alrededor de los quemadores. Durante la operación del horno los quemadores en un lado (lado de encendido) de la cámara de combustión están encendidos, en tanto que se entrega aire de enfriamiento a los quemadores en el lado opuesto (lado exterior) de la cámara de combustión para impedir daños a los quemadores. Este aire de enfriamiento es entregado a través de unas lanzas centrales colocadas en cada uno de los quemadores.

- 15 Este aire de enfriamiento es arrastrado con el gas de combustión que entra en los regeneradores del lado exterior por dicho puerto. No obstante, la cantidad de aire de enfriamiento que es así mezclado con el gas de combustión es insuficiente para que la mezcla sea capaz de mantener la combustión del combustible tras la inversión de fase.

Los regeneradores de los conjuntos primero y segundo comprenden típicamente:

- 20
- un primer extremo que tiene un puerto del regenerador que conecta el regenerador a la cámara de combustión,
 - un segundo extremo que tiene una entrada de oxidante frío y una salida de gas de combustión frío, y
 - un lecho de material refractario permeable al gas colocado entre el primer y el segundo extremo.

25 La mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno es a continuación preferiblemente producida en el final de la fase de operación que inmediatamente precede a la fase de transición inyectando gas que contiene oxígeno en el primer extremo del regenerador o regeneradores que están en modo de recuperación de calor. Este gas que contiene oxígeno se mezcla a continuación con el gas de combustión caliente que fluye desde la cámara de combustión a dicho regenerador o regeneradores y llena el lecho de material refractario de dicho regenerador o regeneradores. En la fase de transición que sigue dicho regenerador o regeneradores inyectan la mezcla de gas de combustión caliente y de gas que contiene oxígeno en la cámara de combustión, y después de dicha fase de transición dicho regenerador o regeneradores entran en el modo de precalentamiento e inyectan oxidante de combustión caliente en la cámara de combustión.

30 En principio también es posible, al final de la fase de operación que inmediatamente precede a la fase de transición, llenar el regenerador o conjunto de regeneradores que están en modo de recuperación de calor con gas de combustión que contiene oxígeno operando la cámara de combustión, al menos en dicho final de la fase de operación, con un exceso de oxígeno, para que el gas de combustión que abandona la cámara de combustión y fluye a dicho regenerador o conjunto de regeneradores todavía contenga suficiente oxígeno para mantener la combustión y por lo tanto la generación de calor en la cámara de combustión durante la fase de transición (cuando dicho gas de combustión que contiene oxígeno abandona dicho regenerador o conjunto de regeneradores y fluye de vuelta a la cámara de combustión). Tal exceso de oxígeno en la cámara de combustión puede ser conseguido de unas formas diferentes, que incluyen la adición de un gas que contiene oxígeno al oxidante de combustión en el regenerador o conjunto de regeneradores que están en modo de precalentamiento o en sus puertos del regenerador para enriquecer el oxidante de combustión con oxígeno, o la adición de gas que contiene oxígeno directamente a la atmósfera del horno.

35 Cuando el primer extremo de los regeneradores del primer y del segundo conjunto contiene una zona de mezclado entre el lecho de material refractario y el puerto del regenerador, la mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno puede también ser producida durante la fase de transición inyectando gas que contiene oxígeno en dicha zona de mezclado del primer extremo del regenerador o regeneradores que en la fase de operación inmediatamente antes de la fase de transición estaban en modo de recuperación de calor. Dicho gas que contiene oxígeno se mezcla con el gas de combustión inyectado por dicho regenerador o regeneradores en la cámara de combustión durante la fase de transición.

40 La zona de mezclado es típicamente un espacio libre en el primer extremo de los regeneradores en el que se mezclan el gas de combustión y el gas que contiene oxígeno. Dicha zona de mezclado puede también estar equipada con unos difusores o mezcladores estáticos o dinámicos para incrementar la homogeneidad de la mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno.

Es una ventaja de la presente invención que los diseños del regenerador existentes ya incluyen tal espacio libre en el primer extremo, de modo que no son necesarios unos cambios caros en la estructura de tales regeneradores para aplicación del presente proceso.

Una posibilidad ventajosa adicional es producir la mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno durante la fase de transición inyectando gas que contiene oxígeno en el puerto del regenerador o regeneradores que en la fase de operación inmediatamente antes de la fase de transición estaban en modo de recuperación de calor, por lo que dicho gas que contiene oxígeno se mezcla con el gas de combustión inyectado por dicho regenerador o regeneradores en la cámara de combustión durante la fase de transición.

Lo que sigue puede ser tenido en cuenta con respecto a aquellas realizaciones de la presente invención en las que el gas que contiene oxígeno es inyectado en una zona de mezclado o en el puerto del regenerador de un regenerador o conjunto de regeneradores durante la fase de transición:

(a) Si el flujo del oxidante de combustión frío en el regenerador o conjunto de regeneradores a través de sus entradas de oxidante de combustión frío se mantiene sustancialmente igual durante la fase de transición y durante la subsiguiente fase en la que dicho regenerador o conjunto de regeneradores están en el modo de precalentamiento, la inyección de dicho gas que contiene oxígeno en la zona de mezclado o el puerto del regenerador de dicho regenerador o conjunto de regeneradores durante la fase de transición llevará a un flujo de gas más alto (es decir, una tasa de flujo volumétrico más alta) a la cámara de combustión durante la fase de transición (inyección de la mezcla de oxígeno que contiene gas y de gas de combustión desplazado por el oxidante de combustión que entra en el regenerador o conjunto de regeneradores por sus entradas de oxidante de combustión frío) en comparación con el flujo de gas (es decir, la tasa de flujo volumétrico) durante la fase que sigue inmediatamente a dicha fase de transición y durante la cual dicho regenerador o conjunto de regeneradores inyectan el oxidante de combustión caliente desplazado por el oxidante de combustión frío que entra en el regenerador o conjunto de regeneradores a través de su entrada de oxidante de combustión frío. Esto también lleva a un flujo de gas de combustión más alto desde la cámara de combustión al regenerador o conjunto de regeneradores que están en modo de recuperación de calor durante la fase de transición en comparación con durante la fase subsiguiente. Tal cambio en las tasas de flujo de gas hacia dentro y hacia fuera de la cámara de combustión puede producir unos efectos temporales no deseados y unos efectos generalmente limitados sobre la generación de calor y la transferencia en la cámara de combustión o en el equipo aguas abajo de los regeneradores.

(b) De acuerdo con una realización ventajosa de la presente invención el flujo (tasa de flujo volumétrico) de la mezcla del gas de combustión y del gas que contiene oxígeno desde un regenerador o conjunto de regeneradores a la cámara de combustión durante la fase de transición es sustancialmente igual al flujo (es decir, la tasa de flujo volumétrico) de oxidante de combustión caliente en la cámara de combustión desde dicho regenerador o conjunto de regeneradores durante la subsiguiente fase en la que dicho regenerador o conjunto de regeneradores están en el modo de precalentamiento (las dos tasas de flujo de gas volumétrico están expresadas como tasas de flujo de gas a una temperatura y presión de gas idénticas). Esto reduce o elimina los efectos sobre la generación y transferencia de calor en la cámara de combustión que pueden resultar de variaciones en las tasas de flujo de gas hacia dentro y hacia fuera de la cámara de combustión entre la fase de transición y la subsiguiente fase antes descrita y mantiene un flujo de gas uniforme en el equipo de aguas abajo de los regeneradores. En particular, es posible, de acuerdo con la presente invención, conseguir un flujo (tasa de flujo volumétrico) de la mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno desde un regenerador o conjunto de regeneradores a la cámara de combustión durante la fase de transición que es sustancialmente igual al flujo (es decir, la tasa de flujo volumétrico) de oxidante de combustión caliente a la cámara de combustión desde dicho regenerador o conjunto de regeneradores durante la subsiguiente fase en la que dicho regenerador o conjunto de regeneradores están en modo de precalentamiento, ajustando el flujo de entrada de oxidante de combustión frío en dicho regenerador o conjunto de regeneradores durante la fase de transición en comparación con el flujo de entrada de oxidante de combustión frío en dicho regenerador o conjunto de regeneradores durante la fase que sigue inmediatamente a dicha fase de transición.

Por supuesto, la cantidad y naturaleza del gas que contiene oxígeno puede ser decidida y optimizada para cada horno.

La mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno preferiblemente tiene un contenido de oxígeno sustancialmente igual al contenido de oxígeno del oxidante de combustión. Esto facilita una combustión y una producción de calor más uniformes en la cámara de combustión a lo largo de la operación del horno.

No obstante, puede ser oportuno, de acuerdo con la invención, que la mezcla tenga un contenido de oxígeno que no sea idéntico al contenido de oxígeno del oxidante de combustión.

Por ejemplo, cuando el oxidante de combustión es aire o aire enriquecido con oxígeno que esencialmente consta de nitrógeno y oxígeno, el gas de combustión contendrá nitrógeno y productos de combustión tales como vapor de agua y CO₂. La presencia de estos productos de combustión en la mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno puede afectar a las propiedades de la combustión (tales como la temperatura, la radiación, etc) durante la fase de transición en comparación con las propiedades de la combustión obtenidas con el oxidante de

combustión (como ocurre durante la primera y la segunda fase), y el contenido de oxígeno de la mezcla puede ser ajustado para obtener unas propiedades de combustión muy similares durante la fase de transición y la subsiguiente fase.

- 5 La diferencia entre el contenido de oxígeno de la mezcla y el contenido de oxígeno del oxidante de combustión ventajosamente no es más del 7% en volumen de O₂, preferiblemente no más del 5% en volumen de O₂, y más preferiblemente no más del 3% en volumen de O₂.

El oxidante de combustión puede ser aire. El oxidante de combustión puede ser aire enriquecido con oxígeno.

El horno puede ser un horno con puertos extremos, por lo que los regeneradores están colocados en un extremo del horno.

- 10 El horno puede también ser un horno con puertos laterales, que tienen uno o más regeneradores en cada lado lateral del horno.

- 15 El proceso de la invención es particularmente útil para uso en un horno de fundición de vidrio en el que la materia prima para hacer el vidrio se mezcla en la cámara de combustión para formar vidrio fundido, y para uso en un horno de fundición de metal, por ejemplo un horno de fundición de aluminio, en el que el material sólido que contiene metal se funde para formar metal fundido.

Un horno con regenerador alternante específicamente adaptado para uso en el proceso anterior de acuerdo con la invención comprende una cámara de combustión, un primer conjunto de uno o más regeneradores, un segundo conjunto de uno o más regeneradores, y uno o más inyectores de combustible para inyectar combustible en la cámara de combustión.

- 20 Los regeneradores del primer y del segundo conjunto comprenden:

- un primer extremo que tiene un puerto del regenerador que conecta el regenerador a la cámara de combustión,
- un segundo extremo que tiene una entrada de oxidante de combustión frío y una salida de gas de combustión frío,

- 25 - un lecho de material refractario permeable al gas colocado entre el primer extremo y el segundo extremo,

y además unos inyectores para inyectar gas que contiene oxígeno en el primer extremo de dichos regeneradores.

El primer extremo de los regeneradores del primer y del segundo conjunto comprende ventajosamente una zona de mezclado entre el lecho de material refractario y el puerto del regenerador y los regeneradores comprenden un inyector para inyectar gas que contiene oxígeno en dicha zona de mezclado.

- 30 Los regeneradores del primer y del segundo conjunto pueden también comprender un inyector para inyectar gas que contiene oxígeno en los puertos del regenerador de dichos regeneradores.

- 35 De acuerdo con una realización de la invención los inyectores para inyectar gas que contiene oxígeno en el primer extremo de los regeneradores o en los puertos del regenerador para obtener la mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno solamente se usan para este fin. No obstante, para proporcionar el enfriamiento necesario un flujo limitado de gas puede ser hecho fluir a través de dichos inyectores cuando no están activos.

- 40 De acuerdo con una realización ventajosa del proceso de acuerdo con la invención, los inyectores para inyectar gas que contiene oxígeno en el primer extremo de los regeneradores o en los puertos del regenerador para obtener la mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno se usan, en la fase siguiente a la fase de transición, para el enriquecimiento de oxígeno del oxidante de combustión caliente en la fase siguiente a dicha fase de transición.

- 45 Los hornos regenerativos alternantes equipados con inyectores de gas que contienen oxígeno en el primer extremo de un regenerador o en los puertos del regenerador son conocidos a partir de, por ejemplo, el documento US 4.496.316 y US 4.496.315, en los que son usados en unos procesos que difieren de la presente invención y que no proporcionan una solución al problema de una generación de calor reducida en la cámara de combustión durante la fase de transición.

El horno de acuerdo con la invención puede en particular ser un horno regenerativo alternante con puertos extremos o unos hornos regenerativos alternantes con puertos laterales.

Las siguientes ventajas de la presente invención pueden ser tenidas en cuenta.

- 50 Manteniendo la combustión del combustible dentro de la cámara de combustión 10 a lo largo de la operación del horno, se aumenta el flujo de calor hacia la carga dentro del horno, por ejemplo un lote de vidrio o de aluminio. Esto

puede además conseguirse sin aumentar la temperatura en el horno y en particular sin aumentar la temperatura de los materiales refractarios de los hornos, por ejemplo el techo del horno. El aumento en el flujo de calor lleva a un aumento en la productividad o tasa de rendimiento de los hornos.

- 5 Generalmente hablando, los costes fijos del horno son el principal factor de los costes de operación del horno. Por ejemplo, en el caso de hornos de fundición de vidrio, los costes fijos suponen los 3/4 de los costes totales. En consecuencia, se consigue una eficiencia en cuanto al coste de la producción, incluso si se usa oxígeno o aire enriquecido con oxígeno como gas que contiene oxígeno.

La presente invención no lleva a cambio significativo alguno en la geometría de la llama en el horno. No hay cambio significativo alguno en la posición del punto caliente y en consecuencia se mantiene una operación fiable del horno.

- 10 Debido a la combustión continuada del combustible, el flujo de calor es más uniforme, lo que lleva a una reducción en la tensión térmica sobre las paredes y el techo refractarios del horno y una vida más larga del horno.

Los costes de la instalación adicional ligados a la invención son menores.

- 15 Además, los inyectores para inyectar gas que contiene oxígeno pueden también ser usados para la intensificación mediante oxígeno, por ejemplo para mantener una alta productividad cuando algunos de los regeneradores muestran una pérdida de rendimiento, por ejemplo debido al envejecimiento o las incrustaciones.

Las ventajas de la presente invención están ilustradas con más detalle en el ejemplo que viene a continuación en el campo de los hornos de fundición de vidrio, siendo hecha referencia a las figuras anejas 1 a 7.

La figura 1 es una vista esquemática desde arriba de un horno de fundición de vidrio con regeneradores operado de forma continua con unos regeneradores a ambos lados laterales del horno (horno con puertos laterales).

- 20 La figura 2 es una vista de la sección transversal a lo largo del plano vertical II-II del horno de la figura 1 durante una primera fase de operación del horno.

El horno de fundición de vidrio regenerativo mostrado en la figura 1 comprende una entrada 11 de la materia prima en el extremo de aguas arriba de la cámara de combustión 10 y una salida 12 del vidrio fundido en el extremo de aguas abajo de la cámara de combustión 10.

- 25 Un primer conjunto de regeneradores 20 está colocado en el lado izquierdo 13 de la cámara de combustión 10 (cuando es vista en la dirección A aguas arriba – aguas abajo del horno), y un segundo conjunto de regeneradores 30 está colocado en el lado derecho 14 de la cámara de combustión 10, de modo que el puerto 21 de los regeneradores 20 del primer conjunto está colocado opuesto a los puertos 31 del regenerador de los regeneradores 20 del segundo conjunto.

- 30 Un primer conjunto de inyectores de combustible 40 está montado en la pared lateral izquierda 13 de la cámara de combustión 10, cada inyector de combustible 40 del primer conjunto está colocado directamente debajo de un puerto 21 del regenerador de un regenerador 20 del primer conjunto de regeneradores. Igualmente, un segundo conjunto de inyectores de combustible 50 está montado en la pared derecha 14 de la cámara de combustión 10 de modo que cada uno de dichos inyectores de combustible 50 está colocado directamente debajo de un puerto 31 del regenerador de un regenerador 30 del segundo conjunto de regeneradores.

- 35 Cada regenerador 20, 30 contiene una entrada de aire frío y una salida de gas de combustión caliente en el extremo inferior 22, 32 del regenerador y un puerto 21, 31 del regenerador en el extremo superior 23, 33 del regenerador a través del cual el regenerador está en conexión de fluidos con la cámara de combustión 10 del horno. Cada regenerador 20, 30 comprende además un lecho 24, 34 de material refractario permeable al gas entre el extremo inferior 22, 32 y el extremo superior 23, 33 del regenerador.

- 40 El aire de combustión frío es típicamente aire a la temperatura ambiente. Se apreciará que en un regenerador dado 20, 30 la entrada de aire frío en el regenerador y la salida hacia fuera de gas de combustión frío de dicho regenerador puede ser separada o puede constar alternativamente de un único conducto de entrada/salida equipado con una válvula para cambiar de llevar el aire de combustión frío al regenerador a llevar gas de combustión caliente hacia fuera de dicho regenerador.

- 45 El vidrio fundido se produce en el horno alimentando la materia prima sólida a través de la entrada 11 en el extremo de aguas arriba de la cámara de combustión 10. El calor es generado en la cámara de combustión 10 al entrar en combustión el combustible inyectado en la cámara de combustión 10 por uno de los dos conjuntos de inyectores de combustible 40, 50 con el oxidante de combustión suministrado a la cámara de combustión 10 a través del puerto 21, 31 del regenerador situado directamente encima de dichos inyectores de combustible 40, 50. El calor así generado en la cámara de combustión 10 funde la materia prima sólida, lo que produce un vidrio fundido que es evacuado de la cámara de combustión 10 a través de la salida 12 del vidrio fundido en el extremo de aguas abajo de la cámara de combustión 10.

Durante la fase de operación del horno mostrado en la figura 2 los regeneradores 20 del primer conjunto (izquierdo) están en modo de precalentamiento y los regeneradores 30 del segundo conjunto (derecho) están en modo de recuperación de calor.

5 El lado del horno que comprende los regeneradores en modo de precalentamiento se conoce también como el "lado de encendido" del horno, en tanto que el lado que comprende los regeneradores en modo de recuperación de calor se conoce como el "lado exterior".

10 El aire de combustión frío 60 entra en los regeneradores 20 del primer conjunto a través de la entrada de aire frío. El aire de combustión fluye a continuación hacia arriba a través del lecho 24 de material refractario que ha sido calentado en un modo de recuperación de calor anterior del regenerador. El aire de combustión, que ha entrado en el regenerador 20 a temperatura ambiente, es así calentado por intercambio de calor con el lecho de material refractario y abandona el lecho a una temperatura entre 1.000°C y 1.300°C.

El aire de combustión caliente 61 se inyecta en la cámara de combustión 10 a través del puerto 21 del regenerador. El combustible es inyectado en la cámara de combustión 10 a través de los inyectores de combustible 40 colocados debajo de dichos puertos 21 del regenerador.

15 Dentro de la cámara de combustión 10 el combustible inyectado por los inyectores 40 entra en combustión con el aire de combustión caliente para producir una llama 62, que de este modo genera calor y gas de combustión caliente en la cámara de combustión 10. El gas de combustión caliente 63, que tiene una temperatura entre 1.450°C y 1.600°C, abandona la cámara de combustión 10 a través de los puertos 31 del regenerador de los regeneradores 30 del segundo conjunto. Dentro del generador 30 el gas de combustión fluye a través del lecho 34 de material refractario desde el extremo superior 33 al extremo inferior 32 del regenerador 30, y de este modo calienta el lecho 34 de material refractario.

Después de esto el gas de combustión abandona el regenerador 30 a través de la salida del gas de combustión como gas de combustión frío 64 a una temperatura de aproximadamente 550°C a 750°C.

25 A medida que avanza dicha fase en la operación del horno, desciende el contenido de calor del lecho 24 de material refractario en los regeneradores 20 del primer conjunto, lo cual a su vez lleva a un descenso de la temperatura del aire de combustión caliente 61 suministrado a la cámara de combustión 10 por dichos regeneradores 20.

Con el fin de mantener suficientemente alta la eficiencia del proceso de recuperación de calor, se invierte la operación del horno:

- 30 (1) cuando la temperatura del aire de combustión caliente 61 alimentado a la cámara de combustión 10 por los regeneradores 20 del primer conjunto cae por debajo de un primer nivel crítico (límite inferior predeterminado), que es indicativo de un nivel insuficiente de recuperación de calor;
- (2) cuando la temperatura del gas de combustión frío 64 que abandona los regeneradores 30 del segundo conjunto está por encima de un segundo nivel crítico (límite superior predeterminado), lo que indica que el lecho 34 de material refractario ha recuperado y acumulado una energía térmica suficiente para un precalentamiento efectivo del aire de combustión frío; o
- 35 (3) cuando la duración de la fase de operación actual del horno ha alcanzado un valor crítico que ha sido predeterminado (experimentalmente o mediante cálculos) y que es suficientemente larga de modo que los lechos de material refractario de los regeneradores 30 del segundo conjunto han acumulado una energía térmica suficiente para el precalentamiento efectivo del aire de combustión frío y que es suficientemente corta para que la temperatura del aire de combustión caliente 61 suministrado por los regeneradores 20 del primer conjunto no haya caído por debajo del primer nivel crítico.
- 40

En el presente ejemplo se encontró que cuando la inversión de una fase se programó para tener lugar cada 20 minutos, el aire de combustión caliente suministrado por el conjunto de regeneradores en fase de precalentamiento tiene continuamente una temperatura entre 1.000°C y 1.300°C a lo largo de la operación del horno.

45 Después de la inversión de la fase, los regeneradores 20 del primer conjunto (izquierdo) están en modo de recuperación de calor y los regeneradores 30 del segundo conjunto (derecho) están en modo de precalentamiento. Esto está ilustrado en la figura 3.

Ejemplo de acuerdo con la técnica anterior

50 En el proceso de acuerdo con la técnica anterior, en el final de la primera fase (ilustrada en la figura 2) los regeneradores 30 del conjunto de regeneradores que están en el modo de recuperación de calor están llenos con gas de combustión. Consecuentemente, durante el período de transición de aproximadamente 50 segundos que inmediatamente sigue a la inversión de fase, los regeneradores 30 del segundo conjunto (derecho), que ahora han cambiado a precalentamiento, suministran a la cámara de combustión 10 el gas de combustión 65 presente en

dichos regeneradores 30 hasta que dicho gas de combustión es sustituido por el aire de combustión que entra en dichos regeneradores 30 por su entrada de aire frío. Esto está ilustrado en la figura 4.

5 Durante el período de transición no se inyecta por lo tanto aire de combustión en la cámara de combustión 10 con el fin de mantener la combustión del combustible dentro de dicha cámara de combustión 10. Por lo tanto, es conocido interrumpir el suministro de combustible a la cámara de combustión 10 durante el período o fase de transición. Un período de transición similar ocurre tras la inversión de la operación del horno a partir de la segunda fase (ilustrada en la figura 3) de vuelta a la primera fase (ilustrada en la figura 2).

Primer ejemplo

10 En un primer proceso de acuerdo con la presente invención, en la etapa final de la primera fase (durante aproximadamente los 50 segundos finales de la primera fase), el gas 66 que contiene oxígeno es inyectado en el extremo superior 33 de los regeneradores 30 del segundo conjunto (derecho) para mezclarlo con el gas de combustión 63 que abandona la cámara de combustión 10 a través del puerto 31 del regenerador de dichos regeneradores 30 y para formar una mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno que tiene un contenido de oxígeno constante (típicamente aproximadamente un 21% en volumen (% en volumen) de oxígeno).
15 Por ejemplo, cuando el gas que contiene oxígeno inyectado en el extremo superior del regenerador tiene una concentración de oxígeno del 90% en volumen, el gas que contiene oxígeno es inyectado en el extremo superior de los regeneradores durante la etapa final de la primera fase a una relación de aproximadamente 0,2 a 0,3 V de gas que contiene oxígeno por 1 V de gas de combustión que entra en el regenerador (dichos volúmenes de gas que contiene oxígeno y de gas de combustión están expresados como el volumen del gas que contiene oxígeno, respectivamente del gas de combustión tomado a la misma temperatura y presión). Esto está ilustrado en la figura 5.

20 Esta mezcla de gas de combustión y de oxígeno llena progresivamente el lecho 34 de material refractario de los regeneradores 30 del segundo conjunto. En el momento de la inversión de la operación se interrumpe la inyección de gas 66 que contiene oxígeno en el extremo superior 33 del regenerador 30 del segundo conjunto. En esta etapa del proceso los regeneradores del segundo conjunto están totalmente llenos con dicha mezcla de modo que
25 inmediatamente después de la inversión de fase (véase la figura 6), los regeneradores 30 del segundo conjunto (que ahora están en fase de precalentamiento) inyectan la mezcla caliente 67 de gas de combustión y de oxígeno en la cámara de combustión 10 para mantener la combustión del combustible inyectado por los inyectores de combustible 50 situados debajo del puerto 31 del regenerador de los regeneradores 30 del segundo conjunto. Dentro de dichos regeneradores 30 la mezcla de gas de combustión y de oxígeno es progresivamente sustituida por el aire de
30 combustión que entra en los regeneradores a través de la entrada de aire de combustión de dichos regeneradores 30 de modo que, en aproximadamente 50 segundos después de la inversión de fase, los regeneradores 30 del segundo conjunto inyectan aire de combustión caliente 61 en la cámara de combustión 10 (como se muestra en la figura 3).

Un procedimiento similar es seguido por la inversión de la operación desde la segunda fase a la primera fase.

35 De este modo se consigue a lo largo de la operación del horno un suministro ininterrumpido de oxidante de combustión caliente que tiene un contenido de oxígeno constante (típicamente del 21% en volumen) y capaz de mantener la combustión del combustible en la cámara de combustión 10.

Por lo tanto, la tasa de rendimiento del horno se aumenta del 3 al 5%.

Segundo ejemplo

40 En un ejemplo alternativo del proceso de acuerdo con la presente invención, la etapa final de la primera fase es dirigida como está descrita en el ejemplo de acuerdo con la técnica anterior (véase la figura 2), de modo que, en el final de la primera fase los regeneradores del conjunto de regeneradores que están en el modo de precalentamiento están llenos con gas de combustión.

45 De acuerdo con el segundo ejemplo, durante el período de transición de aproximadamente 50 segundos que inmediatamente sigue a la inversión de fase, se inyecta gas 66 que contiene oxígeno en el extremo superior (o alternativamente en el puerto 31 del regenerador) del regenerador o regeneradores que, antes de la inversión de fase, estaban en el modo de recuperación de calor. En el caso ilustrado en las figuras 2 y 7, éstos son los regeneradores 30 del segundo conjunto.

50 El gas 66 que contiene oxígeno que, durante el período de transición es así inyectado en el extremo superior 33 (o alternativamente en el puerto 31 del regenerador) de dichos regeneradores 30, se mezcla con el gas de combustión que abandona dichos regeneradores 30 del segundo conjunto durante el período de transición, por lo que la cantidad de gas 66 que contiene oxígeno inyectado en el extremo superior 33 (o alternativamente en el puerto 31 del regenerador) es tal que la mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno inyectado en la cámara de combustión 10 a través de los puertos 31 del regenerador de los regeneradores 30 del segundo conjunto tiene un contenido de oxígeno constante (típicamente alrededor del 21% en volumen de oxígeno). Esto está ilustrado en la
55 figura 7.

5 En el final del período de transición, cuando el gas de combustión en el lecho 34 de material refractario de los regeneradores 30 del segundo conjunto ha sido sustituido por el aire de combustión que entra en dichos regeneradores 30 a través de la entrada del aire de combustión frío, y los puertos 31 del regenerador de los regeneradores 30 del segundo conjunto comienzan a inyectar aire de combustión caliente a través de sus puertos 31 del regenerador en la cámara de combustión 10, se detiene la inyección de gas 66 que contiene oxígeno en el extremo superior 33 (o puerto 31 del regenerador) de dichos regeneradores 30.

Un procedimiento similar se sigue para la inversión de la operación desde la segunda fase a la primera fase.

10 Como era el caso del primer ejemplo, el proceso de acuerdo con el segundo ejemplo permite un suministro ininterrumpido de oxidante de combustión caliente que tiene un contenido de oxígeno constante (típicamente del 21% en volumen) y capaz de mantener una combustión ininterrumpida de combustible en la cámara de combustión 10 del horno.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso de operación de un horno regenerativo alternante, dicho horno con regenerador comprende:

- una cámara de combustión (10);
- un primer conjunto de uno o más regeneradores (20);
- un segundo conjunto de uno o más regeneradores (30);
- uno o más inyectores de combustible (40, 50) para inyectar combustible en la cámara de combustión (10),

el proceso comprende:

- (i) una primera fase de operación en la que (a) el regenerador o regeneradores (20) del primer conjunto están en modo de precalentamiento y precalientan oxidante de combustión frío e inyectan oxidante de combustión caliente en la cámara de combustión (10), en la que (b) el combustible inyectado en la cámara de combustión (10) por al menos uno de los uno o más inyectores de combustible (40, 50) entra en combustión con dicho oxidante de combustión caliente para producir calor y gas de combustión caliente, y en la que (c) el gas de combustión caliente fluye desde la cámara de combustión (10) al regenerador o regeneradores (30) del segundo conjunto que están en modo de recuperación de calor, y abandona dicho regenerador o regeneradores como gas de combustión frío,
- (ii) una segunda fase de operación en la que (a) el regenerador o regeneradores (30) del segundo conjunto están en modo de precalentamiento y precalientan oxidante de combustión frío e inyectan oxidante de combustión caliente en la cámara de combustión (10), en la que (b) el combustible inyectado en la cámara de combustión (10) por al menos uno de los uno o más inyectores de combustible (40, 50) entra en combustión con dicho oxidante de combustión caliente para producir calor y gas de combustión caliente, y en la que (c) el gas de combustión caliente fluye desde la cámara de combustión (10) al regenerador o regeneradores (20) del primer conjunto que están en modo de recuperación de calor, y abandona dicho regenerador o regeneradores (20) como gas de combustión frío,
- (iii) una fase de transición entre las sucesivas primera y segunda fases de operación y entre las sucesivas segunda y primera fases de operación, en la que (a) el regenerador o regeneradores (20, 30) que, en la fase de operación antes de la fase de transición estaban en modo de recuperación de calor inyectan gas de combustión en la cámara de combustión (10), y en la que (b) el gas de combustión fluye desde la cámara de combustión (10) al regenerador o regeneradores (20, 30) que, en la fase de operación antes de la fase de transición estaban en modo de precalentamiento,

caracterizado por que:

durante la fase de transición (a) se inyecta combustible en la cámara de combustión (10) por al menos un inyector de combustible (40, 50) del uno o más inyectores de combustible, y (b) el regenerador o regeneradores (20, 30) que, en la fase de operación antes de la fase de transición estaban en modo de recuperación de calor, inyectan una mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno en la cámara de combustión (10),

la mezcla tiene un contenido de oxígeno capaz de mantener la combustión del combustible de modo que el combustible inyectado por el al menos uno de los inyectores de combustible (40, 50) durante la fase de transición entra en combustión con la mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno para producir calor y gas de combustión en la cámara de combustión (10).

2. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1 en el que los regeneradores (20, 30) del primer y segundo conjunto comprenden:

- un primer extremo (23, 33) que tiene un puerto (21, 31) del regenerador que conecta el regenerador a la cámara de combustión (10),
- un segundo extremo (22, 32) que tiene una entrada de oxidante de combustión frío (60) y una salida de gas de combustión frío (64), y
- un lecho (24, 34) de material refractario permeable al gas colocado entre el primer extremo (23, 33) y el segundo extremo (22, 32).

3. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 2 en el que la mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno es producida, en el extremo de la fase de operación que inmediatamente precede a la fase de transición, inyectando gas que contiene oxígeno en el primer extremo (23, 33) del regenerador o regeneradores (20, 30) que están en modo de recuperación de calor para mezclarse con el gas de combustión caliente que fluye desde la cámara de combustión (10) a dicho regenerador o regeneradores (20, 30), y en el que la mezcla de gas de

combustión y de gas que contiene oxígeno llena a continuación el lecho (24, 34) del material refractario de dicho regenerador o regeneradores (20, 30).

4. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el primer extremo (23, 33) de los regeneradores (20, 30) del primer y del segundo conjunto comprenden una zona de mezclado entre el lecho (24, 34) de material refractario y el puerto (21, 31) del regenerador, y en el que la mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno es producida durante la fase de transición inyectando gas que contiene oxígeno en dicha zona de mezclado del primer extremo (23, 33) del regenerador o regeneradores (20, 30) que en la fase de operación inmediatamente antes de la fase de transición estaban en modo de recuperación de calor, para mezclarse con el gas de combustión inyectado por dicho regenerador o regeneradores (20, 30) en la cámara de combustión (10) durante la fase de transición.
5. Un proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que dichos regeneradores (20, 30) del primer y segundo conjunto comprenden unos inyectores para inyectar gas que contiene oxígeno en el primer extremo (23, 33).
6. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno se produce inyectando, durante la fase de transición, gas que contiene oxígeno en el puerto (21, 31) del regenerador o regeneradores (20, 30), que en la fase de operación inmediatamente antes de la fase de transición estaban en modo de recuperación de calor, para mezclarse con el gas de combustión inyectado por dicho regenerador o regeneradores (20, 30) en la cámara de combustión (10) durante la fase de transición.
7. Un proceso de acuerdo con las reivindicaciones 2 o 6, por el que los regeneradores (20, 30) del primer y del segundo conjunto comprenden unos inyectores para inyectar gas que contiene oxígeno en los puertos (21, 31) del regenerador de dichos regeneradores (20, 30).
8. Un proceso de acuerdo con una de las anteriores reivindicaciones en el que la mezcla de gas de combustión y de gas que contiene oxígeno tiene un contenido de oxígeno dentro del 7% en volumen de O₂ del contenido de oxígeno del oxidante de combustión, preferiblemente dentro del 5% en volumen de O₂ del mismo.
9. Un proceso de acuerdo con cualquiera de las anteriores reivindicaciones en el que la mezcla de gas de combustión con gas que contiene oxígeno tiene un contenido de oxígeno sustancialmente igual al contenido de oxígeno del oxidante de combustión.
10. Un proceso de acuerdo con cualquiera de las anteriores reivindicaciones en el que el oxidante de combustión es aire.
11. Un proceso de acuerdo con cualquiera de las anteriores reivindicaciones en el que el gas que contiene oxígeno tiene un contenido de oxígeno de al menos el 90% en volumen, preferiblemente de al menos el 95% en volumen.
12. Un proceso de acuerdo con cualquiera de las anteriores reivindicaciones en el que el horno es un horno con puertos en los extremos.
13. Un proceso de acuerdo con cualquiera de las anteriores reivindicaciones en el que el horno es un horno con puertos en los lados.
14. Un proceso de acuerdo con cualquiera de las anteriores reivindicaciones en el que el horno es un horno de fundición de vidrio en el que la materia prima del vidrio se funde en la cámara de combustión (10) para formar vidrio fundido.
15. Un proceso de acuerdo con cualquiera de las anteriores reivindicaciones en el que el horno es un horno de fundición de metal, preferiblemente un horno de fundición de aluminio, en el que el material sólido que contiene el metal se funde para formar metal fundido.

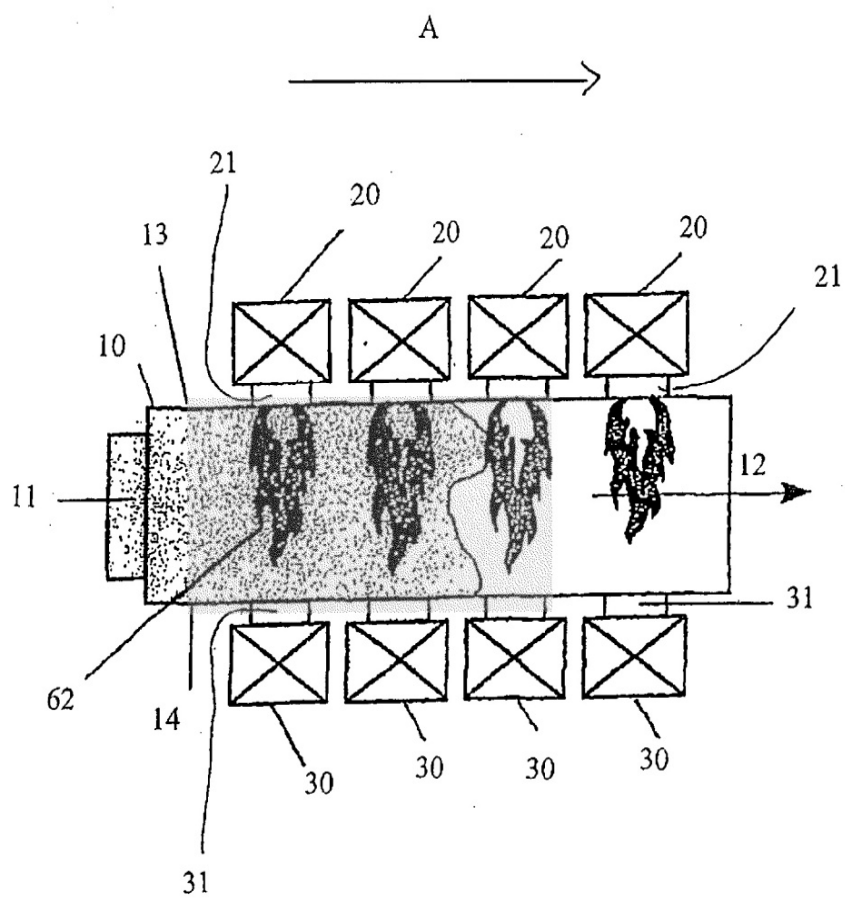
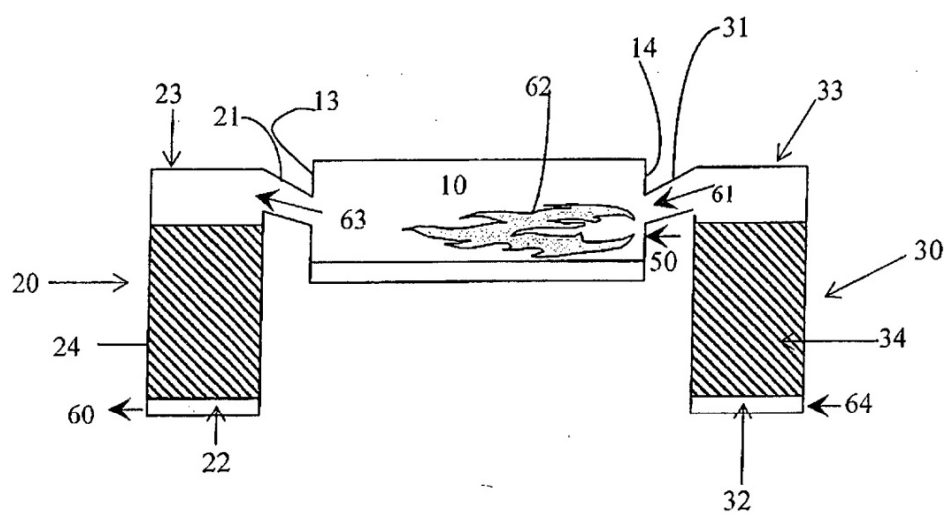
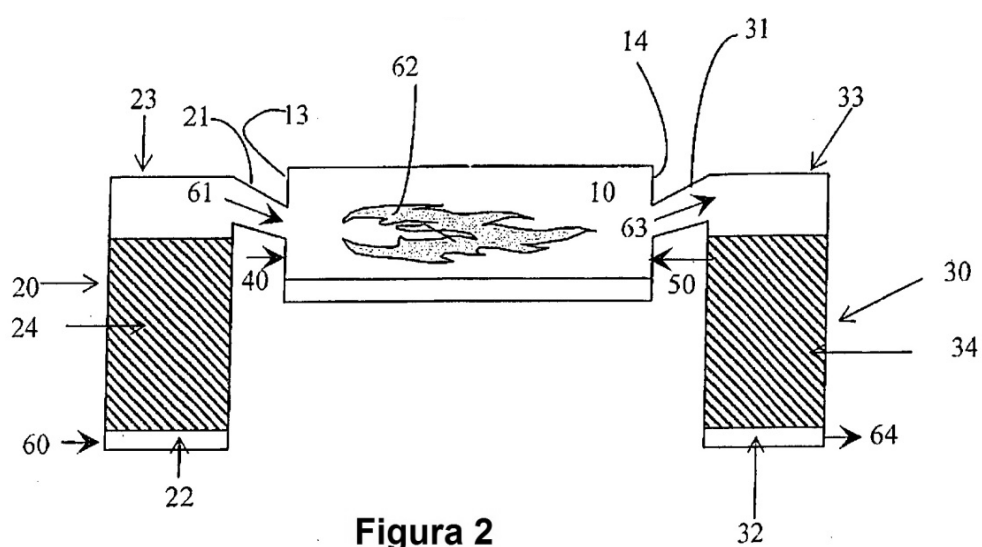


Figura 1



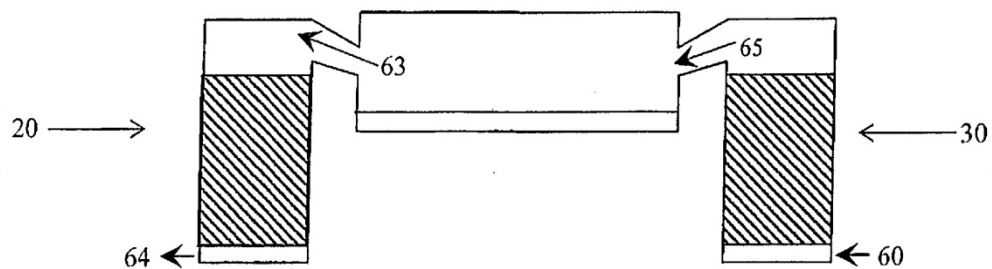


Figura 4

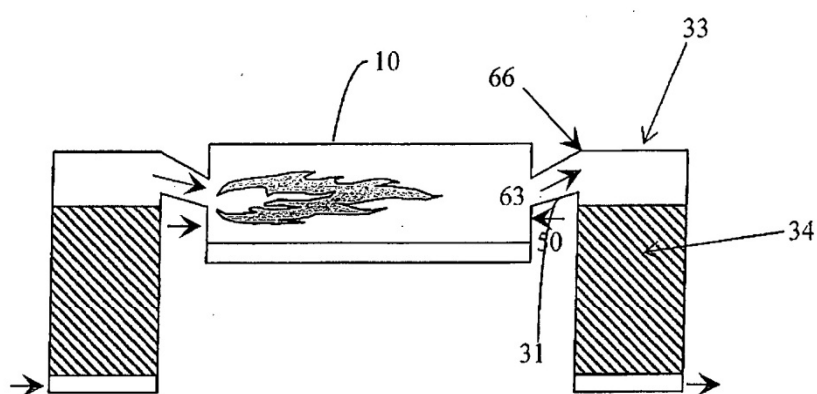


Figura 5

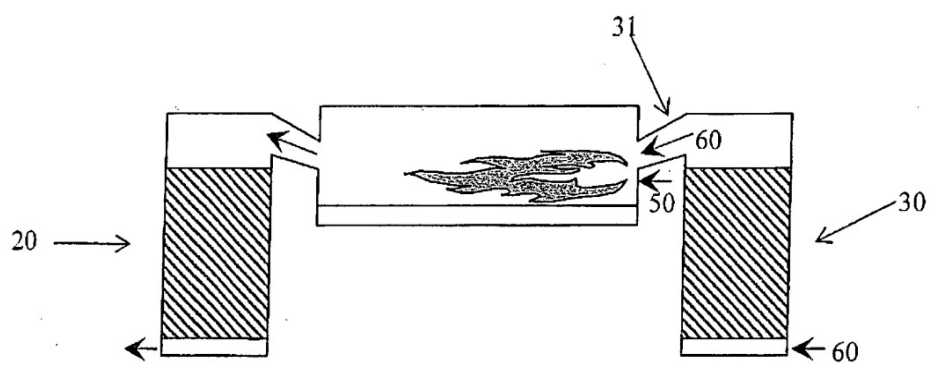


Figura 6

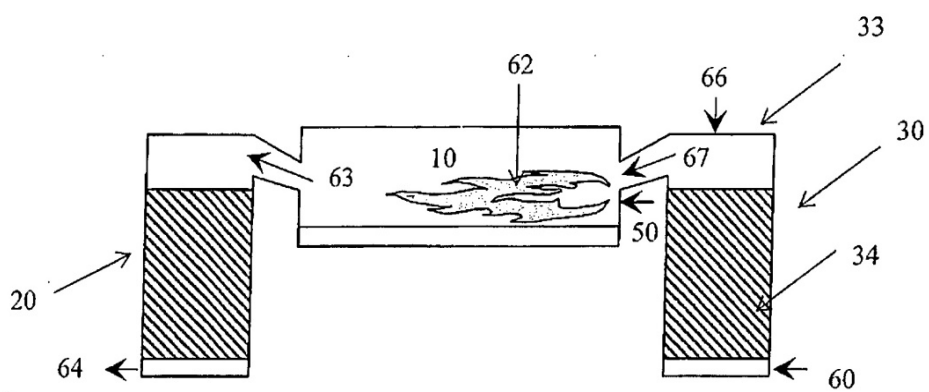


Figura 7