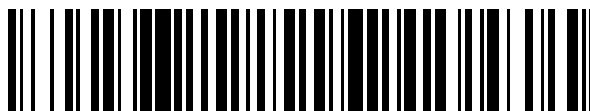


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 720 223**

51 Int. Cl.:

C03B 5/235 (2006.01)
F27B 3/20 (2006.01)
F23C 3/00 (2006.01)
F23D 14/00 (2006.01)
C03B 5/12 (2006.01)
C03B 5/44 (2006.01)
C03B 5/183 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.07.2014 PCT/EP2014/066444**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **05.02.2015 WO15014921**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.07.2014 E 14744606 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2019 EP 3027563**

54 Título: **Método y aparato para fundir material en lotes en bruto sólido utilizando quemadores de combustión sumergidos**

30 Prioridad:

31.07.2013 GB 201313651

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.07.2019

73 Titular/es:

**KNAUF INSULATION (100.0%)
Rue de Maestricht 95
4600 Visé, BE**

72 Inventor/es:

**DEMOTT, JERRY;
MAROLT, BOSTJAN;
ETZKORN, RANDY y
DUCARME, DAVID**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 720 223 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para fundir material en lotes en bruto sólido utilizando quemadores de combustión sumergidos

5 La presente invención se refiere a hornos de fusión de combustión sumergida, en particular para la fusión de material de vítreo o vitrificable, y a los procesos utilizando un horno de fusión de combustión sumergida.

10 Los materiales vítreos se fabrican generalmente a partir de una mezcla de materias primas, por ejemplo, los silicatos, basalto, piedra caliza, ceniza de sosa y otros constituyentes menores que se introducen en un horno de fusión y se fundieron en un estado líquido viscoso a temperaturas del orden de 1250 a 1500 °C; el material fundido se suministra a un proceso de formación. Dependiendo del uso previsto del material fundido, por ejemplo, para la fabricación de vidrio plano, vidrio hueco, fibras continuas con fines de refuerzo o fibras con fines de aislamiento, puede requerirse una etapa de refinación por fusión aguas arriba del proceso de formación. La composición química del material fundido y sus propiedades físicas se seleccionan en función del uso previsto y del proceso de formación.

15 Los hornos de fusión de vidrio convencionales comprenden un suministro de energía desde arriba una superficie del material fundido de vidrio, por ejemplo, de quemadores que generan una llama en un espacio entre la superficie de vidrio y una corona de la caldera de fusión, lo que el calor se transfiere al material fundido de vidrio fundido por la llama en sí y por radiación del material de la corona. El material en lotes en bruto que se va a fundir se carga en la parte superior del material fundido de vidrio en el horno de fusión y el calor se transfiere del material fundido al material en lotes que se incorpora al material fundido.

20 En algunos hornos de fusión de vidrio, la energía se suministra por los electrodos calentados eléctricamente dispuestos debajo de la superficie del material fundido; dichos electrodos pueden proporcionar la única fuente de calor o usarse en combinación con quemadores.

25 Otro tipo de horno de fusión de vidrio tiene una o más boquillas de los quemadores dispuestas debajo de la superficie del material fundido de tal manera que las llamas de los quemadores y/o productos de combustión y pasan a través del material fundido. Esta disposición se conoce como combustión sumergida.

30 Los documentos WO2009/091558 y EP-2397446 describen hornos de fusión de combustión sumergidos; el documento US3260587 describe un método para fundir vidrio con calentadores de combustión sumergidos y aparatos para ello. El documento US3592151 describe un método y un aparato para la incineración de desperdicios. El documento US2008/0256981 describe un método y un dispositivo para el tratamiento de desechos fibrosos para su reciclaje.

35 Los hornos de fusión de vidrio utilizados para la fabricación de aislamiento de lana de roca han sido tradicionalmente los hornos de cubilote.

40 La presente invención pretende ahora proporcionar un proceso mejorado altamente eficiente para la sinterización y/o materiales de la carga de fusión. Dicho proceso muestra un consumo de energía reducido junto con características de fusión mejoradas, incluida la homogeneidad en términos de distribución y composición de la temperatura, lo que lleva a una mejor calidad del producto final. Permite la fusión de una gran variedad de materiales, especialmente material vitrificable y muestra una gran flexibilidad para controlar los parámetros del proceso.

45 Según otro aspecto, la presente invención también busca proporcionar un horno de fusión de combustión sumergida mejorado para materiales de fusión, materiales vítreos o vitrificables en particular, que muestre, además, una mayor eficiencia en la transmisión de calor y la fusión del material en bruto.

50 Más específicamente, la presente invención busca mejorar la absorción del material en bruto fresco dentro del material fundido y la eficiencia de la transmisión de calor al material en bruto fresco, en particular cuando se añade en la parte superior del material fundido, mejorando así la homogeneidad global en términos del perfil de temperatura y composición del material fundido. Al mismo tiempo, cualquier desviación del material en bruto a través del horno de fusión se evita en gran medida o, al menos, se reduce, lo que conduce a una fusión eficiente del material en lotes y, por lo tanto, a fundidores más pequeños para un flujo de salida dado.

55 Según uno de sus aspectos, la presente invención proporciona un horno de fusión de combustión sumergida tal como se define en la reivindicación 1. Otras reivindicaciones independientes definen otros aspectos de la invención. Las reivindicaciones dependientes definen realizaciones preferidas y/o alternativas.

60 Según un aspecto particular, la presente invención proporciona un procedimiento para el material, el material en particular vitrificable de fusión, que comprende las etapas de introducir el material en lotes sólido en un horno de fusión, la fusión del material en lotes sólido en el horno de fusión por combustión sumergida y someter el material fundido a un patrón de flujo que cuando se simula mediante análisis de dinámica de fluidos computacional muestra un patrón de flujo de fusión sustancialmente toroidal en el material fundido, el patrón de flujo que comprende los principales vectores de flujo de convergencia central hacia el interior en la superficie del material fundido, con el eje

central de revolución del toroide sustancialmente vertical. Preferentemente, el material fundido en el horno de fusión comprende un solo patrón de flujo toroidal de este tipo.

5 Cerca del eje vertical de revolución de dicho patrón de flujo toroidal, los vectores de flujo cambian la orientación que muestra un componente descendente, por lo tanto, que refleja el movimiento descendente significativa del material fundido en la proximidad de dicho eje. En la parte inferior del horno de fusión, los vectores de flujo cambian de orientación mostrando componentes orientados hacia afuera y luego hacia arriba.

10 Preferentemente, el código de la dinámica de fluidos modelo es ANSYS R14.5, tomando en consideración el campo de flujo de múltiples fases con las fases que van desde material en lotes sólido al material fundido líquido, a varias especies de gas asociadas tanto con la combustión de combustible y oxidante por los quemadores, así como los generados en el curso del proceso de conversión de lote al fundir.

15 El material fundido puede ser retirado para su posterior procesamiento aguas abajo, incluyendo vidrio plano o la formación de envases de vidrio, la formación de fibras continuas o la producción de fibras de lana mineral. En el caso de la producción de fibra de lana mineral, la producción se lleva directamente a la fibrización, sin una etapa de refinación.

20 De acuerdo con una realización preferida, el patrón de flujo de fusión toroidal se obtiene por medio de quemadores de combustión sumergida funcionales dispuestas en la parte inferior del horno de fusión, en una zona de quemador sustancialmente anular, impartir una componente de velocidad sustancialmente vertical dirigida hacia arriba a los gases de combustión. Ventajosamente, los quemadores están dispuestos a una distancia entre quemadores adyacentes de aproximadamente 250 - 1250 mm, ventajosamente de 500 - 900 mm, preferentemente de aproximadamente 600 - 800, incluso más preferentemente de aproximadamente 650 - 750 mm.

25 El vector de velocidad del material fundido se mueve hacia arriba sobre o adyacente a los quemadores sumergidos puede estar inclinada ligeramente de la vertical, por ejemplo, mediante un ángulo que es $\geq 1^\circ$, $\geq 2^\circ$, $\geq 3^\circ$ o $\geq 5^\circ$ y/o que es $\leq 30^\circ$, preferentemente $\leq 15^\circ$, más preferentemente $\leq 10^\circ$, notablemente hacia el centro del horno de fusión. Una disposición de este tipo puede mejorar el flujo y dirige el flujo de material fundido lejos de la abertura de salida y hacia el centro del horno de fusión, favoreciendo así el flujo toroidal como se definió anteriormente. Es preferible que las llamas no golpeen las paredes del horno de fusión.

35 De acuerdo con una realización preferida, los quemadores están dispuestos en una línea de quemador sustancialmente circular. Alternativamente, se pueden usar otras disposiciones de quemador para lograr el patrón de flujo toroidal deseado. El horno de fusión puede comprender muchos quemadores y el término "quemadores", como se usa en este documento, se entiende que significa los quemadores funcionales u operacionales, es decir, los quemadores que funcionan de acuerdo con la invención.

40 El patrón de flujo simulado refleja un flujo central hacia el interior convergente en la superficie de fusión, seguido de un flujo orientado hacia abajo en la proximidad del eje central de revolución del toroide. Dicho eje central de revolución corresponde ventajosamente al eje vertical de simetría del horno de fusión. Por eje de simetría se entiende el eje central de simetría y, si el horno de fusión muestra una sección transversal que no tiene un solo eje de simetría definido, entonces el eje de simetría del círculo en el que está inscrita la sección del horno de fusión. El flujo orientado hacia abajo es seguido por un flujo orientado hacia afuera en la parte inferior del horno de fusión y un flujo ascendente sustancialmente anular en la proximidad de los quemadores, lo que refleja la recirculación del material fundido hacia la zona del quemador y en un movimiento ascendente hacia la superficie del material fundido, definiendo así un patrón de flujo sustancialmente toroidal.

50 Los vectores de flujo hacia el interior convergentes en la superficie del material fundido muestran ventajosamente una velocidad de hasta aproximadamente 2 m/s. Los vectores de velocidad orientados hacia abajo en la proximidad del eje vertical central de revolución son de una longitud o intensidad significativas que reflejan la velocidad relativamente alta del material que fluye hacia abajo. Los vectores de velocidad descendente reflejan una velocidad del material de hasta aproximadamente 2 m/s. La material fundido y/o las materias primas dentro del horno de fusión, al menos en una porción del horno de fusión y notablemente en la superficie del material fundido (particularmente vectores de flujo convergentes hacia el interior en la superficie del material fundido) y/o en o cerca del eje central vertical de revolución, puede alcanzar una velocidad que es $\geq 0,1$ m/s, $\geq 0,2$ m/s, $\geq 0,3$ m/s o $\geq 0,5$ m/s y/o que es $\leq 2,5$ m/s, ≤ 2 m/s, $\leq 1,8$ m/s o $\leq 1,5$ m/s.

60 La generación de dicho patrón de flujo toroidal asegura una mezcla altamente eficiente y homogeneiza el material fundido en términos de perfil de temperatura y composición. Además, el patrón de flujo de la invención favorece la absorción del material en bruto en el material fundido, mejorando así la transferencia de calor al material en bruto fresco y reduciendo el tiempo de residencia requerido en el horno de fusión antes de retirarla para formar más, evitando o al menos reduciendo el riesgo de escasez de material en bruto que corte la circulación del material fundido.

65 La presente invención proporciona un conjunto de horno de fusión para el material de fusión, el material en lotes en

bruto en particular vitrificable, que comprende una cámara de fusión equipada con al menos cinco quemadores de combustión sumergidos, cada uno con un eje central del quemador que se proyecta desde su salida, un alimentador de material en bruto y una salida de material fundido cerca de la parte inferior de la cámara de fusión, los quemadores de combustión sumergidos están dispuestos en una zona de quemador sustancialmente anular, en la parte inferior de dicha cámara de fusión, a una distancia entre los quemadores adyacentes y controlados de tal manera que la simulación mediante el análisis computacional de la dinámica de fluidos muestra un patrón de flujo de fusión sustancialmente toroidal generado en el material fundido, con el eje central de revolución del toroide siendo sustancialmente vertical, que comprende principales vectores de flujo convergentes centralmente hacia el interior en la superficie del material fundido y el eje central del quemador de los quemadores relevantes estando dispuestos en un ángulo inferior a 30° respecto a la vertical.

De acuerdo con una realización, cada eje quemador central está inclinado en un ángulo de remolino con respecto a un plano vertical que pasa a través de un eje vertical central del horno de fusión y el centro del quemador. El ángulo del remolino puede ser $\geq 1^\circ$, $\geq 2^\circ$, $\geq 3^\circ$, $\geq 5^\circ$ y/o $\leq 30^\circ$, $\leq 20^\circ$, $\leq 15^\circ$ o $\leq 10^\circ$. Preferentemente, el ángulo de giro de cada quemador es aproximadamente el mismo. La disposición de cada eje del quemador en un ángulo de remolino imparte un componente de velocidad ligeramente tangencial a las llamas ascendentes, lo que imparte un movimiento de remolino al material fundido, además del patrón de flujo toroidal. El patrón de flujo de fusión obtenido mejora aún más la mezcla del material en bruto en el material fundido y la homogeneidad del material fundido. Preferentemente, el eje central del quemador de los quemadores relevantes está dispuesto en un ángulo de giro de menos de 15°, más preferentemente de menos de 10°.

En una realización preferida, los quemadores funcionales están dispuestos sobre una línea de quemador sustancialmente circular.

Como se ha mencionado anteriormente, los vectores de flujo cambian preferentemente orientación que muestra la dirección hacia abajo en la proximidad del eje vertical central de revolución que pasa por el centro de la zona de quemador sustancialmente circular, por lo tanto, que refleja el movimiento descendente significativa del material fundido en la proximidad de dicho eje. En la parte inferior de la cámara de fusión, los vectores de flujo preferentemente cambian de orientación mostrando una dirección exterior a la zona del quemador y luego hacia arriba en la proximidad de dichos quemadores, lo que refleja la recirculación del material fundido hacia la zona del quemador y en un movimiento ascendente hacia la superficie del material fundido, definiendo así un patrón de flujo sustancialmente toroidal.

La generación de un patrón de flujo de fusión toroidal en el que la fusión asciende sustancialmente sobre o adyacente a los quemadores relevantes y converge hacia adentro hacia el centro de dicha zona del quemador circular en la superficie de fusión y hacia abajo en el centro favorece la homogeneidad de la fusión en términos de perfil de temperatura y composición. La distancia entre los quemadores puede variar en función del diseño del quemador, la presión de funcionamiento, la viscosidad del material fundido y otros parámetros. Sin embargo, se debe tener en cuenta que una pequeña distancia entre los quemadores puede conducir a la fusión de las llamas, un fenómeno que debe evitarse preferentemente.

Cualquiera de los dos, cualquier preferentemente todos, los quemadores adyacentes pueden estar dispuestos a una distancia de aproximadamente 250 a 1250 mm, de manera ventajosa alrededor de 500 - 900 mm, preferentemente alrededor de 600 - 800, incluso más preferentemente alrededor de 650 - 750 mm.

De acuerdo con una realización preferida, los quemadores están dispuestos a una distancia adecuada de alrededor de 250 - 750 mm de la pared lateral de dicha cámara de fusión; esto favorece el flujo descrito anteriormente y evita la atracción de la llama a las paredes laterales de la cámara de fusión. Una distancia demasiado pequeña entre los quemadores y la pared lateral puede dañar o forzar innecesariamente la pared lateral. Si bien un cierto flujo de material fundido entre el quemador y la pared puede no dañar o incluso ser deseable, para evitar la acumulación de una capa demasiado grande de material solidificado en las paredes, una distancia demasiado grande generará flujos de material fundido indeseables y puede ser la causa de zonas muertas que se mezclan menos con el material fundido en el centro del horno de fusión y, por lo tanto, reducen la homogeneidad del material fundido.

La distancia entre quemadores sumergidos se elige ventajosamente de tal manera que se garantice el patrón de flujo toroidal deseado dentro del material fundido sino también para evitar que las llamas adyacentes se fusionen y que las llamas opuestas diverjan. Si bien este fenómeno depende de muchos parámetros, como la temperatura y la viscosidad del material fundido, la presión y otras características de los quemadores, se ha encontrado ventajoso seleccionar un diámetro de círculo de quemador comprendido entre aproximadamente 1200 y 2000 mm. Según el tipo de quemador, la presión de funcionamiento y otros parámetros, un diámetro demasiado grande puede provocar llamas divergentes; un diámetro demasiado estrecho puede conducir a la fusión de las llamas.

Según una realización preferida, al menos 6 quemadores están dispuestos en la línea circular de quemadores, preferentemente de 6 a 10 quemadores, más preferentemente de 6 a 8 quemadores, dependiendo de las dimensiones del horno de fusión, dimensiones del quemador, presión de funcionamiento y otros parámetros de diseño.

5 En particular, en el caso de un horno de fusión de vidrio, cada quemador se suministra preferentemente con un gas combustible, que comprende en particular de hidrocarburo(s), por ejemplo, gas natural, y un gas que contiene oxígeno, en particular oxígeno, oxígeno de calidad técnica (por ejemplo, gas con un contenido de oxígeno de al menos el 95 % en peso) o aire enriquecido con oxígeno. Preferentemente, el gas combustible y el gas que contiene oxígeno se suministran por separado al quemador y se combinan en el quemador y/o en la(s) boquilla(s) del quemador. Alternativamente, se pueden usar otros tipos de combustible, por ejemplo, combustible líquido o combustibles pulverizados sólidos, en particular para la vitrificación de residuos.

10 En aras de la claridad, por patrón de flujo toroidal se entiende que los vectores de velocidad del material fluido en movimiento, generado por simulación por medio de análisis computacional de dinámica de fluidos forman un patrón de circulación en el que se llenan las secciones transversales de un toroide que tiene como eje central de revolución el eje vertical que pasa a través del centro de la zona del quemador sustancialmente circular y como diámetro exterior aproximadamente el diámetro exterior de dicha zona del quemador circular, con material que fluye desde el exterior hacia el centro en la superficie de fusión.

15 El flujo toroidal de este tipo arrastra el material en bruto fresco de manera central y profunda dentro de la fusión de vidrio y mejora la eficiencia en la transmisión de calor al material en bruto fresco para fundirlo rápida y fácilmente y mejorar aún más la homogeneidad del material fundido.

20 El material en bruto sólido puede ser ventajosamente alimentado por encima de la superficie del material fundido. Preferentemente, el material en bruto se carga de forma continua o sustancialmente continua en la carga del lote de pensamiento del horno de fusión también es posible.

25 El conjunto de caldera de fusión puede permitir el control individual de cada quemador o el control individual de cada uno de una pluralidad de grupos de quemadores, tales como quemadores opuestos. El (los) quemador(es) cercanos a una descarga de material en bruto pueden controlarse a velocidades y/o presiones de gas diferentes, preferentemente más altas que los quemadores adyacentes, lo que permite una mejor transferencia de calor al material en bruto fresco que se está cargando en el horno de fusión. Es posible que se requieran velocidades de gas más altas solo temporalmente, es decir, en el caso de la carga por lotes de material en lotes en bruto fresco, solo durante el período de tiempo requerido para la absorción de la carga relevante en el material fundido contenida en el horno de fusión de la invención.

35 También puede ser deseable controlar los quemadores que se encuentran cerca de una toma de material fundido a una velocidad/presión de gas adaptada, ventajosamente menor con el fin de no perturbar la salida del material fundido.

40 La cámara de fusión es preferentemente sustancialmente cilíndrica; otras formas posibles incluyen una sección transversal elíptica o sección transversal poligonal que muestra más de 4 lados, preferentemente más de 5 lados, siendo la esencia que la disposición permite la generación del flujo de material fundido toroidal como se simula en una computadora haciendo uso de ecuaciones de dinámica de fluidos común, como se describe anteriormente. También debe tenerse en cuenta que la distancia entre el quemador sumergido y la pared lateral como se mencionó anteriormente se respeta preferentemente al menos para la mayoría de los quemadores. Cuanto más uniformes sean las distancias entre los quemadores y la pared lateral, más uniforme será el flujo de fusión toroidal.

45 La altura de un baño de fusión dentro del horno de fusión, especialmente cuando la cámara de fusión es sustancialmente cilíndrica, preferentemente con un diámetro interno de la cámara de fusión de 1,5 m a 3 m, más preferentemente de 1,75 a 2,5 m, puede ser:

50 \geq aproximadamente 0,75 m, \geq aproximadamente 0,8 m, \geq aproximadamente 0,85 m o \geq aproximadamente 0,9 m; y/o \leq aproximadamente 2,2 m, \leq aproximadamente 2 m, \leq aproximadamente 1,8 m, o \leq aproximadamente 1,6 m.

55 El material en lotes en bruto se puede cargar en al horno de fusión a través de una abertura en la pared de caldera de fusión por encima de la superficie del material fundido. Dicha abertura se puede cerrar de manera ventajosa, por ejemplo, mediante un pistón, para reducir el escape de calor y humos. El material en bruto puede prepararse según corresponda para obtener el material fundido correspondiente y cargarla en un conducto intermedio. Cuando se abre la abertura en la pared del horno de fusión, el material cae en el horno, en dirección opuesta a los humos que se escapan, se precalienta y cae sobre la superficie del material fundido. Un lote de material en bruto puede ser de 20 a 50 kg, dependiendo del tamaño y la velocidad de producción del horno de fusión. La frecuencia de carga de los lotes también dependerá de estos parámetros, que son del orden de 20 a 50 kg/min para un horno de fusión que produce hasta unos 70000 kg/día. Por razones de control del proceso, incluido el control de la temperatura y la homogeneidad del material fundido, se prefiere alimentar lotes pequeños a una frecuencia más alta, por lo tanto, acercarse a una alimentación continua, en lugar de alimentar lotes grandes a una frecuencia reducida.

65 El material fundido puede retirarse de forma continua o discontinua, por ejemplo, lateralmente, en o hacia el fondo del horno de fusión. En el caso de que el material en lotes en bruto se cargue cerca de la pared del horno de fusión,

la salida del material fundido está dispuesta preferentemente opuesta a la entrada del material en bruto. En el caso de una descarga discontinua del material fundido, la apertura y el cierre del orificio de descarga pueden controlarse, por ejemplo, mediante un pistón de cerámica.

- 5 Los quemadores sumergidos inyectan preferentemente chorros de alta presión de los productos de combustión en el material fundido suficiente para superar la presión del líquido y para crear un recorrido forzado hacia arriba de la llama y de los productos de combustión. La velocidad de la combustión y/o los gases combustibles, especialmente a la salida de la(s) boquilla(s) del quemador, puede ser ≥ 60 m/s, ≥ 100 m/s o ≥ 120 m/s y/o ≤ 350 m/s, ≤ 330 m/s, ≤ 300 o ≤ 200 m/s. Preferentemente, la velocidad de los gases de combustión está en el intervalo de aproximadamente 60 a 300 m/s, preferentemente de 100 a 200, más preferentemente de 110 a 160 m/s.

15 La temperatura del material fundido puede estar entre 1100 °C y 1600 °C o 1650 °C; puede ser de al menos 1200 °C o 1250 °C y/o a lo sumo 1500 °C o 1450 °C, dependiendo de la composición del material en lotes y de la viscosidad deseada del material fundido. Según una realización preferida, las paredes de la cámara de fusión comprenden paredes de acero dobles separadas por líquido refrigerante en circulación. Particularmente en el caso de una cámara de fusión cilíndrica, dicho ensamblaje es relativamente fácil de construir y es capaz de resistir altas tensiones mecánicas. Una forma cilíndrica del horno de fusión facilita el equilibrio de la tensión en la pared exterior. A medida que las paredes se enfrían, preferentemente se enfrían con agua, el material fundido se solidifica y forma una capa protectora en el interior de la pared del horno de fusión. Preferentemente, el conjunto de horno de fusión no requiere ningún revestimiento refractario interno y, por lo tanto, necesita un mantenimiento menos costoso. Además, el material fundido no está contaminado con ningún componente indeseable del material refractario erosionado del revestimiento refractario interno. En el caso de una fusión de vidrio, por ejemplo, el vidrio se solidifica en la pared enfriada y forma una capa aislante o capa límite; el vidrio se funde así en vidrio y el material fundido no está contaminado con residuos de erosión de ningún material refractario. La cara interna de la pared del horno de fusión puede estar equipada ventajosamente con pestañas o pastillas u otros elementos pequeños que se proyectan hacia el interior del horno. Estos pueden ayudar a constituir y fijar una capa de material fundido solidificado en la pared interna del horno de fusión que genera una resistencia térmica y reduce la transferencia de calor al líquido refrigerante en las paredes dobles del horno de fusión.

30 El horno de fusión puede estar equipado con equipo de recuperación de calor; los vapores calientes del horno de fusión pueden usarse para precalentar el material en lotes en bruto o la energía térmica contenida en ellos puede extraerse y/o usarse para otros fines en equipos ascendentes o descendentes de una línea de producción, por ejemplo, una línea de producción para productos de fibra aislante. De manera similar, la energía térmica contenida en el líquido refrigerante que circula entre las dos paredes del horno de fusión puede recuperarse.

35 El horno de fusión puede estar adaptado y/o configurado para sinterizar y/o fundir las materias primas. Puede ser un "horno de fusión de vidrio", es decir, un horno de fusión adaptado y/o configurado para fundir materiales similares al vidrio, incluidos materiales seleccionados de vidrio, materiales vítreos, piedra y roca. Se puede utilizar un horno de fusión de vidrio para fabricar vidrio plano, vidrio hueco, fibras de vidrio, fibras continuas con fines de refuerzo, fibras minerales con fines de aislamiento, lana mineral, lana de roca o lana de vidrio. El horno de fusión se puede utilizar para transformar materias primas para fabricar material sinterizado, escoria de cemento, en particular escoria de cemento de alúmina, o abrasivos, en particular abrasivos producidos por fusión. El horno de fusión puede utilizarse para transformar materias primas, en particular mediante vitrificación, por ejemplo: vitrificación de desechos médicos; vitrificación de cenizas, especialmente de incineradores; vitrificación de polvos, por ejemplo polvos de fundición u otras fundiciones metálicas; vitrificación de lodos galvánicos, lodos de curtiembre o residuos de la industria minera; eliminación de residuos, en particular por vitrificación, por ejemplo, de suelo contaminado, suelo contaminado por metales pesados o alquitrán, filtros de arcilla, lodo, carbón activado, residuos radiactivos, escorias que contienen plomo o zinc, refractarios, especialmente refractarios que contienen cromo. Particularmente en el caso de un horno de fusión de vidrio, las materias primas pueden comprender: silicatos, basalto, piedra caliza, carbonato de sodio, catalizador de zeolita, catalizador gastado, revestimiento de bote gastado, materiales refractarios, escoria de aluminio, escoria de fusión de aluminio, residuos de extintores de incendios a base de arena, lodos, lodos galvánicos, escoria, materiales de desecho, cenizas y combinaciones de los mismos.

55 El método y el horno de fusión descritos son particularmente adecuados para fundir todo tipo de material vitrificable en una forma eficiente, con un consumo de energía reducido y en costes de mantenimiento reducidos. Un horno de fusión según la invención es, por lo tanto, particularmente atractivo para uso en una línea de producción para productos de fibra mineral, por ejemplo, fibras de vidrio, lana de vidrio y fabricación de lana de roca. Particularmente en el caso de la producción de fibra de lana mineral, la salida se lleva a cabo directamente a la fibración sin una etapa de refinación.

60 En el caso de un material fundido de vidrio, la composición del material fundido producida puede comprender uno o más de:

	Posible composición en fusión (% peso)	Composición de fusión preferida (% en peso)
SiO ₂	35 - 70	40 - 65
Al ₂ O ₃	5 - 30	15 - 25
CaO	5 - 20	5 - 12
MgO	0 - 10	1 - 7
Na ₂ O	0 - 20	5 - 18
K ₂ O	0 - 15	0 - 10
Fe ₂ O ₃ (hierro total)	0 - 15	0,5 - 10
B ₂ O ₃	0 - 10	0 - 5
TiO ₂	0 - 5	0 - 2
P ₂ O ₅	0 - 3	0 - 2
MnO	0 - 3	0 - 2
Na ₂ O + K ₂ O (óxido de metal alcalino)	5 - 30	5 - 20
CaO + MgO (óxido de metal alcalinotérreo)	5 - 30	5 - 20
SiO ₂ + Al ₂ O ₃	50 - 85	60 - 80

El contenido de boro de vidrio producido, expresado como B₂O₃, puede ser $\geq 1w\%$, $\geq 2w\%$, $\geq 3w\%$, $\geq 5w\%$ y/o $\leq 20\%$, $\leq 18\%$, $\leq 15\%$ o $\leq 10w\%$.

5 A continuación, se describirá detalladamente una realización de la presente invención en el presente documento con referencia a los dibujos adjuntos, de los cuales:

- 10 – Las figuras 1a y 1b son representaciones de un patrón de flujo toroidal generado por simulación por computadora de acuerdo con la presente invención;
- La figura 2 es una sección vertical a través de un horno de fusión; y
- La figura 3 es una representación esquemática de una disposición de quemador;

15 Un patrón de flujo toroidal en un horno de fusión de vidrio se ilustra en las figuras 1a y 1b. La materia fundida sigue una dirección ascendente cerca de los quemadores sumergidos dispuestos en una línea de quemador sustancialmente circular, fluye hacia adentro hacia el centro de la línea del círculo relevante, en la superficie del material fundido, y luego hacia abajo nuevamente, en la proximidad de dicho centro. Dicho flujo toroidal garantiza una buena agitación del material fundido y la absorción de material en bruto fresca.

20 Como se verá más adelante abajo, pueden tener lugar circulaciones de flujo adicionales. La fusión puede fluir entre los quemadores y la pared lateral. Otros flujos pueden tener lugar entre los quemadores. Estos no son necesariamente desventajosos y, por el contrario, incluso pueden ser deseables.

25 El patrón de flujo toroidal ha sido generado por simulación por ordenador, teniendo en cuenta las técnicas de modelado de dinámica de fluidos polifásicos euleriana común familiares para los expertos en la técnica. El código de dinámica de fluidos computacional seleccionado para este ejercicio es ventajosamente ANSYS R14.5. El modelo toma en consideración, de manera ventajosa, el campo de flujo multifase que abarca el rango completo de fracciones de la mezcla desde burbujas de gas dispersadas en líquido hasta partículas sólidas distribuidas o gotitas de líquido en gas, con el lote de fase sólida sometido a una reacción de conversión termoquímica de múltiples fases para producir especies de materia fundida en fase líquida y en fase gaseosa. El sistema utiliza combustión sumergida de combustible y oxígeno en fase gaseosa para producir dióxido de carbono y vapor de agua. Además, la viscosidad del material fundido es altamente dependiente de la temperatura. El complejo proceso de conversión de lote a fusión se puede modelar con el paso de reacción siguiendo una ley de velocidad de Arrhenius

35
$$\text{Lote}_{\text{sólido}} + \Delta H_r > \text{Materia fundida}_{\text{líquida}} + 0,074 \text{ CO}_2 + 0,093 \text{ H}_2\text{O}$$

con la velocidad de reacción de Arrhenius $k = AT^2 e^{(-E/T)}$

40 las constantes de velocidad de Arrhenius se toman de la literatura (ver A. Ungan y R. Viskanta, "Comportamiento de fusión de mantas de lotes sueltos continuamente cargados en hornos de fusión de vidrio", *Glastech. Ber.* 59 (1986) n.º 10, p. 279 -291). Las relaciones molares de los gases de proceso por lotes en esta reacción son consistentes con la producción de 0,0503 kg CO₂ y 0,0258 kg H₂O de 1 kg por lotes. El calor de la reacción es la causa de toda la energía requerida para convertir los lotes en fundición en fase líquida y especies de gas, incluidos los requisitos de conversión química y de calor de cambio de fase. Las propiedades físicas para el lote y el material fundido pueden tomarse de la literatura en la medida en que esté disponible y/o pueden determinarse mediante métodos conocidos

45 per se. El intercambio de calor por radiación se simula utilizando el modelo de radiación de ordenadas discretas, con el coeficiente de absorción de la fase gaseosa estimado utilizando el modelo de la suma ponderada de los gases grises, el coeficiente de absorción del material fundido especificado (hasta un valor alto de 300 l/m) y el coeficiente

de absorción del lote ventajosamente especificado para que sea opaco en relación con los otros fluidos. Mientras que el material fundido se asigna como la fase fluida primaria y los gases se asignan como la fase fluida secundaria que tiene un diámetro burbujeado uniforme de 5 mm. El intercambio de impulso entre las fases líquida y gaseosa por encima de la altura prevista del baño se suprime artificialmente.

5 El horno de fusión se ilustra 1 comprende una cámara de fusión cilíndrica 3 que tiene un diámetro de alrededor de 2,0 m que contiene el material fundido y se extiende en una cámara superior 5 y luego en la chimenea para la evacuación de los humos. La cámara superior 5 está equipada con deflectores 7 que evitan que se formen proyecciones de fusión en los humos. Un alimentador de material en bruto 10 está dispuesto al nivel de la cámara superior 5 y está diseñado para cargar material en bruto fresca en el horno de fusión 1 en un punto 11 ubicado sobre la superficie del material fundido y cerca de la pared lateral del horno de fusión. El alimentador 10 comprende un medio de alimentación horizontal, por ejemplo, un alimentador de tornillo, que transporta la mezcla de material en bruto a una tolva sujeta al horno, cuya parte inferior puede abrirse mediante un pistón vertical según lo requiera el control de la operación del horno de fusión. La parte inferior de la cámara de fusión comprende quemadores sumergidos dispuestos en una línea de quemador circular concéntrica con el eje del quemador y que tiene un diámetro de aproximadamente 1,4 m. La disposición del quemador se representa esquemáticamente en la figura 3. Para mayor claridad, el diseño representado en las figuras tiene un diseño preferido con seis quemadores sumergidos distribuidos alrededor de la línea del quemador. Son posibles diferentes diseños dependiendo de las dimensiones del horno de fusión, la viscosidad del material fundido y las características de los quemadores. Es esencial, sin embargo, que la disposición genere el flujo de fusión toroidal como se definió anteriormente. El material fundido puede retirarse de la cámara de fusión a través de una abertura de salida controlable 9 ubicada en la pared lateral de la cámara de fusión, cerca del fondo del horno de fusión, sustancialmente opuesta al dispositivo de alimentación 10.

25 La temperatura dentro del material fundido puede estar comprendida entre 1100 °C y 1600 °C o 1650 °C, o 1200 °C y 1500 °C, o 1200 °C y 1450 °C, preferentemente 1250 °C y 1400 °C, dependiendo de la composición del material fundido, la viscosidad deseada y otros parámetros. Según una realización preferida, la pared del horno de fusión es una pared de acero doble enfriada por un líquido refrigerante, preferentemente agua. Las conexiones de agua de refrigeración están previstas en la pared externa. Dichas conexiones se conocen per se y deben calcularse para permitir un flujo suficiente para extraer energía de la pared interior, de modo que el material fundido pueda solidificarse en la pared interna a aproximadamente 150 °C y el líquido refrigerante, aquí el agua, no hierva.

35 El horno de fusión representado en las figuras es ventajosamente sustancialmente cilíndrico. La combustión sumergida genera componentes de alta tensión que actúan sobre las paredes del horno de fusión y el horno de fusión está sometido a fuertes vibraciones. Estos pueden reducirse significativamente en el caso de una cámara de fusión cilíndrica. Si así se desea, el horno de fusión puede montarse en amortiguadores diseñados para absorber la mayoría de los movimientos de vibración.

40 Los quemadores sumergidos pueden comprender quemadores tubulares concéntricos (también conocido como tubo en quemadores de tubo) operado en flujo de gas o la velocidad en el material fundido de 100 a 200 m/s, preferentemente de 110 a 160 m/s. Los quemadores están diseñados preferentemente para generar la combustión de gas combustible y aire y/u oxígeno dentro del material fundido. La combustión y los gases de combustión generan una alta mezcla dentro del material fundido antes de escapar hacia la cámara superior y luego a través de la chimenea. Estos gases calientes pueden usarse para precalentar el material en bruto y/o el gas combustible y/o el oxidante (aire y/u oxígeno) utilizados en los quemadores. Los vapores generalmente se filtran antes de liberarlos al medio ambiente. Cuando sea necesario filtrar a temperaturas reducidas, se puede usar una dilución previa de los humos con aire ambiente más frío.

50 Los quemadores generan un movimiento ascendente de material fundido en su proximidad y una circulación dentro del material fundido. La disposición de los quemadores en una línea de quemador circular, en la parte inferior de la cámara de fusión, genera un movimiento toroidal como se explicó anteriormente y según se desee de acuerdo con la invención. El experto en la materia necesitará adaptar la distancia entre los quemadores y entre el quemador y la pared, para determinados diseños de quemadores, tales como evitar que las llamas del quemador se fundan o se atraigan a la pared o se desvíen del eje central del quemador.

55 El horno de fusión de la invención también puede estar equipado con un quemador auxiliar que puede ser explotado en el caso de precalentamiento de la caldera de fusión cuando se inicia o en caso de mal funcionamiento de al menos uno de los quemadores sumergidos o en otros casos se requiere temporalmente calor adicional. En una configuración, un quemador auxiliar está montado en un riel para que pueda guiarse a través de una abertura que se puede cerrar en la pared del horno de fusión.

65 Un horno de fusión de acuerdo con la invención es particularmente ventajoso en una línea de producción de fibra de vidrio, lana de vidrio o lana de roca debido a que es particularmente eficaz conduciendo a un menor consumo de energía y flexible que permite cambios fáciles de composición de materias primas. La facilidad de mantenimiento y los bajos costes de producción de dicho horno de fusión también son de gran interés en la construcción de una línea de producción de este tipo.

ES 2 720 223 T3

5 Para el modelado computacional de dinámica de fluidos del horno de fusión descrito anteriormente (véase el modelo de flujo mostrado en la figura 1), una entrada de lote de 0,833 kg/s a la temperatura de entrada de 27 °C se fijó en el modelo, consistente con una tasa de producción diaria de 72 T/día. La entrada del quemador se configuró de la siguiente manera: velocidad de quemado = 5.2 WM (basado en LHV); caudal másico de 0,109 kg/s por quemador; composición molar = 0,11 C₃ H₈, 0,89 O₂; temperatura de entrada de 15 °C. Las paredes se modelaron especificando una temperatura superficial uniforme de 152 °C detrás de un espesor de vidrio solidificado que sirve como aislante. La conductividad térmica especificada para el vidrio es 1W/mK. El espesor del vidrio, nominalmente 15 mm, se varía para lograr un flujo de calor promedio de 50 a 70 kW/m².

10

REIVINDICACIONES

1. Proceso de proporcionar un material fundido, que comprende introducir material en lotes sólido en un horno de fusión y fundir el material en lotes sólido en el horno de fusión mediante combustión sumergida **caracterizado por** someter el material fundido a un patrón de flujo que muestra el patrón de flujo toroidal de material fundido generado en el material fundido en el horno de fusión, que comprende los principales vectores de flujo de convergencia central hacia el interior en la superficie de fusión, siendo vertical el eje central de revolución del toroide, determinándose el patrón de flujo de fusión por simulación mediante análisis de dinámica de fluidos computacional.
2. Proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que, en la proximidad del eje central de revolución de dicho patrón de flujo toroidal, los vectores de flujo cambian de orientación mostrando orientación(es) hacia abajo, reflejando así un movimiento significativo hacia abajo del material fundido en la proximidad de dicho eje, notablemente en el cual, en el fondo del horno de fusión, los vectores de flujo cambian de orientación, mostrando las orientaciones que son hacia afuera y luego hacia arriba nuevamente.
3. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que el código del modelo de dinámica de fluidos computacional elegido para el análisis de dinámica de fluidos computacional es ANSYS R14.5, teniendo en cuenta el campo de flujo de múltiples fases con fases que van desde el material en lotes sólido hasta la fusión del líquido, hasta varias especies de gases asociadas tanto a la combustión de combustible y oxidante por parte de los quemadores como a las generadas en el curso del proceso de conversión de lote a material fundido.
4. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el material fundido se retira para su posterior procesamiento corriente abajo, incluida la formación de vidrio plano o vidrio de recipiente, formación continua de fibra o producción de fibra de lana mineral.
5. Proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el patrón de flujo de fusión toroidal relevante se obtiene mediante la disposición de los quemadores de combustión sumergidos en el fondo del horno de fusión, en una zona de quemador anular, impartiendo un componente de velocidad dirigida verticalmente hacia arriba a la llama y los gases de combustión, a una distancia entre quemadores adyacentes de 250 a 1250 mm, ventajosamente de 500 a 900 mm, preferentemente de 600 a 800, incluso más preferentemente de 650 a 750 mm.
6. Proceso de acuerdo con cualquier reivindicación anterior que tenga al menos una de las siguientes características:
- 6.7 en el que los vectores de flujo convergentes hacia el interior en la superficie de fusión muestran ventajosamente una velocidad de hasta 2 m/s.
- 6.8 en el que los vectores de velocidad orientados hacia abajo en la proximidad del eje central de revolución vertical muestran un componente de velocidad descendente de hasta 2 m/s.
- 6.9 en el que se imparte un componente de velocidad tangencial a los gases de combustión que soplan hacia arriba.
7. Proceso de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el material fundido en el horno de fusión comprende un único patrón de flujo toroidal que comprende los principales vectores de flujo convergentes centralmente hacia el interior en la superficie del material fundido, siendo vertical el eje central de revolución del toroide.
8. Conjunto de horno de fusión para fundir material en lotes en bruto sólido, que comprende una cámara de fusión (3) equipada con al menos cinco quemadores de combustión sumergidos (21), cada uno con un eje central del quemador que se proyecta desde su salida, un alimentador de material en bruto (10) y una salida de material fundido (9) cerca de la parte inferior de la cámara de fusión, **caracterizado por que** los quemadores de combustión sumergidos (21) están dispuestos en una zona anular del quemador, en la parte inferior de dicha cámara de fusión (3), a una distancia entre los quemadores adyacentes (21) y controlados de tal manera que la simulación por computadora que hace uso de ecuaciones de dinámica de fluidos comunes muestra un patrón de flujo de fusión toroidal generado en el material fundido, con el eje central de revolución del toroide vertical, que comprende componentes principales de vectores de flujo convergentes centralmente hacia el interior en la superficie del material fundido, y estando el eje central del quemador de los quemadores relevantes (21) dispuesto en un ángulo de menos de 30° con respecto a la vertical.
9. Conjunto de horno de fusión de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el horno de fusión tiene al menos una de las siguientes características:
- 8.11 en el que los quemadores de combustión sumergidos (21) están dispuestos en una línea de quemador anular, a través del fondo de dicha cámara de fusión (3);
- 8.12 en el que los quemadores de combustión sumergidos (21) están dispuestos a una distancia entre los quemadores adyacentes de 250 - 1250 mm, ventajosamente de 500 - 900 mm, preferentemente de 600 - 800, incluso más preferentemente de 650 - 750 mm.

10. Conjunto de horno de fusión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 9, en el que el horno de fusión tiene al menos una de las siguientes características:
- 5 9.13 en el que el eje del quemador está inclinado menos de 30° con respecto a la vertical para impartir un componente de velocidad tangencial a los gases de combustión.
9.14 en el que los quemadores (21) están dispuestos a una distancia de 250 - 750 mm de la pared lateral de dicha cámara de fusión (3).
- 10 11. Conjunto de horno de fusión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que el horno de fusión tiene al menos una de las siguientes características:
- 10.15 en el que los quemadores están dispuestos en un círculo de quemadores cuyo diámetro está comprendido entre 1200 y 2000 mm.
15 10.16 en el que al menos 6 quemadores (21) están dispuestos en la línea circular de quemadores, preferentemente de 6 a 10 quemadores, más preferentemente de 6 a 8 quemadores.
12. Conjunto de horno de fusión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en el que el horno de fusión tiene al menos una de las siguientes características:
- 20 11.17 en el que el material en bruto es alimentado por encima de la superficie de fusión.
11.18 en el que los quemadores (21) o un grupo de quemadores son controlados individualmente.
13. Conjunto de horno de fusión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, en el que el horno de fusión tiene al menos una de las siguientes características:
- 25 12.19 en el que la cámara de fusión (3) es cilíndrica, o muestra otras formas, tales como una sección transversal elíptica o una sección transversal poligonal que muestra más de 4 lados, preferentemente más de 5 lados.
12.23 en el que las paredes de la cámara de fusión comprenden paredes de acero dobles separadas por líquido refrigerante en circulación, preferentemente agua.
30 12.24 en el que el horno de fusión está equipado con un equipo de recuperación de calor.
14. Conjunto de horno de fusión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, en el que el horno de fusión tiene al menos una de las siguientes características:
- 35 13.20 en el que el horno de fusión comprende un orificio en la pared del horno de fusión, sobre la superficie del material fundido, que puede abrirse y cerrarse por medio de un pistón o un medio equivalente.
13.21, en el que un orificio de descarga de material fundido (9) está dispuesto enfrente de la entrada de material en bruto (10), en la pared del horno de fusión periférico, cerca del fondo de la cámara de fusión y porque el orificio de descarga está controlado por medios conocidos per se.
- 40 15. Conjunto de horno de fusión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 14, en el que los quemadores sumergidos (21) inyectan en el material fundido chorros a alta presión de los productos de combustión, a una velocidad de los gases de combustión en el intervalo de 60 a 300 m/s, preferentemente de 100 a 200, más preferentemente 110 a 160 m/s.
- 45 16. Línea de producción para fibras de vidrio, lana de vidrio o lana de roca, que comprende un conjunto de horno de fusión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 15.

Fig 1a

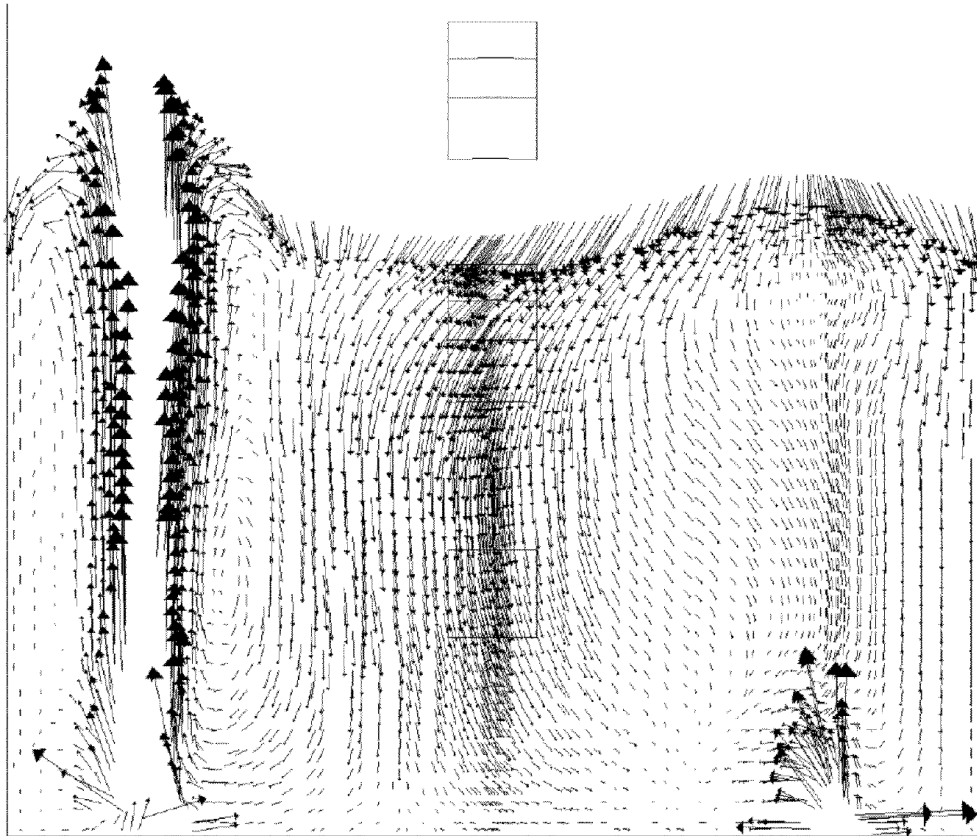


Fig 1b

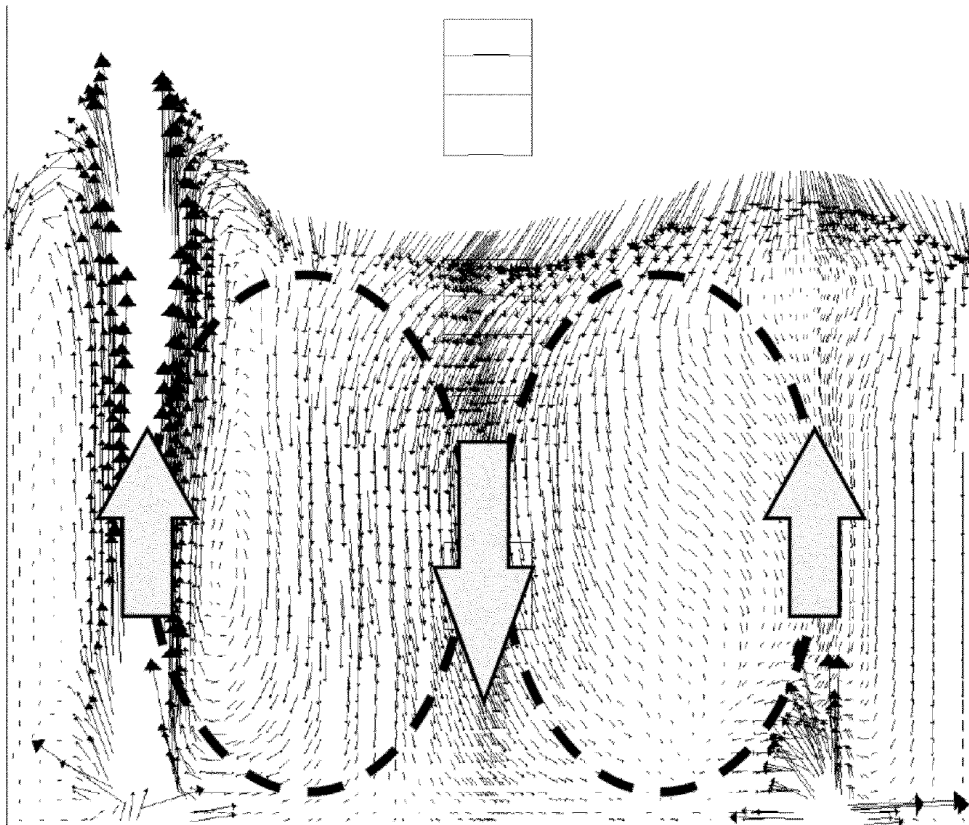


Fig 2

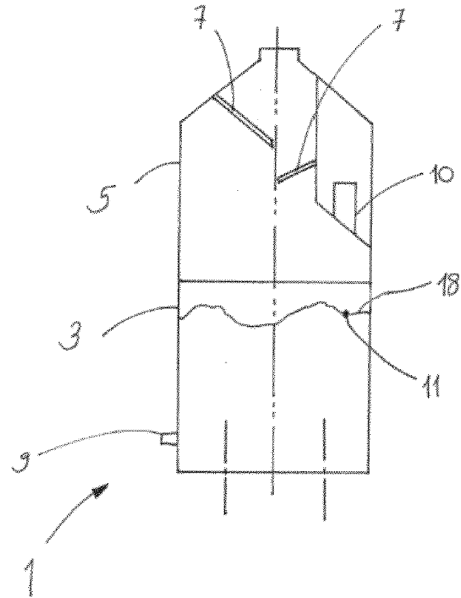


Fig 3

