

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 429 872**

51 Int. Cl.:

F22B 31/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.11.2003 E 03767428 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.07.2013 EP 1563224**

54 Título: **Generador de vapor continuo con combustión atmosférica en lecho fluidizado circulante**

30 Prioridad:

22.11.2002 DE 10254780

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

18.11.2013

73 Titular/es:

**ALSTOM TECHNOLOGY LTD (100.0%)
Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**WEISSINGER, GERHARD;
STAMATELOPOULOS, GEORG-NIKOLAUS y
TRAUTMANN, GÜNTER**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 429 872 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

Generador de vapor continuo con combustión atmosférica en lecho fluidizado circulante.

La invención se refiere a un generador de vapor continuo con combustión atmosférica en lecho fluidizado circulante.

Además de los generadores de vapor de circulación natural y circulación forzada son conocidos generadores de vapor continuo o de circulación continua forzada para la generación de energía eléctrica por quema de por ejemplo combustibles fósiles. Estos últimos son empleados en particular en instalaciones de centrales eléctricas modernas o grandes. En ellas el calor liberado en la quema del combustible en la cámara de combustión del generador de vapor continuo es cedido a las superficies de calentamiento atravesadas por el medio de trabajo, que están constituidas, por ejemplo, por las paredes perimetrales de la cámara de combustión, superficies de calentamiento por radiación o convección del generador de vapor continuo. El medio de trabajo es así incorporado a un circuito agua/vapor de una turbina de vapor, al que transfiere la energía térmica recibida.

Los generadores de vapor continuo de este tipo, en los que el medio de trabajo precalentado esencialmente en un circuito del generador de vapor, es evaporado, sobrecalentado y eventualmente sobrecalentado entremedias, son conocidos desde hace tiempo y habitualmente están equipados con quemadores para la quema de combustibles fósiles. En el documento "Zwangdurchlaufkessel für Gleitdruckbetrieb mit vertikaler Brennkammerberührung", VGB Kraftwerkstechnik 64, fascículo 4, abril 1984, de H. Juzi, A. Salem y W. Stocker se ha dado a conocer un generador de vapor continuo convencional operado con polvo de carbón. Por regla general, las paredes perimetrales de la cámara de combustión del generador de vapor continuo están formadas por superficies de calentamiento de evaporador tubo-nervio-tubo soldados. Para asegurar un enfriamiento suficiente de las paredes de tubo perimetrales se emplean o bien tubos lisos inclinados (es decir, tubos con paredes interiores lisas que discurren inclinadas dentro de las paredes perimetrales de tubos), tubos verticales con aletas interiores o sistemas de tubos de caída/ascenso (es decir, las paredes perimetrales de tubos están divididas en varias secciones de pared que son atravesadas una tras otra, véase también la figura 2c del documento mencionado antes).

En los últimos años también se han llegado a realizar generadores de vapor continuo con combustión en lecho fluido circulante (CLFC). En ellos, como en todas las instalaciones de centrales eléctricas que operan con combustibles fósiles, se intenta minimizar las emisiones que se producen por la combustión para la protección del medioambiente. Esto puede ser conseguido por la elevación del grado de eficacia del proceso de la central eléctrica y la reducción del combustible que ello conlleva. Una parte de la elevación del grado de eficacia se produce así por la generación de vapor con parámetros de vapor altos (presiones y temperaturas del vapor altas). Para que los bloques de central eléctrica funcionen de forma económica dentro de un rango de carga amplio, los generadores de vapor son operados a presión variable. Para satisfacer simultáneamente los diversos requisitos (temperatura del vapor alta constante, presión de vapor variable, alta velocidad de variación de la carga), pueden emplearse solo los sistemas de generador de vapor continuo de circulación forzada mencionados antes.

Por motivos de erosión las paredes perimetrales de la cámara de combustión de los generadores de vapor continuo con combustiones en lecho fluidizado circulante no están dispuestos inclinados u oblicuos como en el caso de los generadores de vapor continuo convencionales operados con polvo de carbón, sino que deben ser dotados de tubos verticales. Las combustiones en lecho fluidizado circulante fueron por tanto combinadas principalmente con sistemas de evaporador que trabajan con funcionamiento de circulación natural o circulación forzada y por tanto están dotados de paredes perimetrales provistas de tubos verticales. Algunas combustiones en lecho fluidizado circulante generan el vapor también con un sistema continuo forzado, pero como sistema de tubos de caída/descenso y con presiones de vapor bajas (por ejemplo, la central eléctrica de Moabit). También ya se ha considerado emplear el generador de vapor continuo forzado con CLFC también en el rango de presión de 100 a 300 bar y por tanto de forma más económica, es decir con menos combustible. Debido a la necesidad de formar las paredes perimetrales de la cámara de combustión con tubos de evaporador verticales se propusieron para el enfriado de las paredes de evaporador tubos con aletas interiores (véase el documento mencionado antes).

En la transición de los generadores de vapor continuo de circulación natural a circulación forzada (supercrítico) con parámetros de vapor altos (típicamente de 250 a 300 bar, 560 a 620° C) en el rango de potencia de 300 a 600 MWeI resultan los siguientes problemas o inconvenientes en el estado de la técnica:

- los generadores de vapor continuo con CLFC que son operados con presiones de vapor subcríticas necesitan un mayor uso de combustible en comparación con presiones de vapor supercríticas con la misma potencia de generador de vapor y producen por ello más emisiones nocivas
- los generadores de vapor continuo con circulación forzada dotados de tubos verticales a diferencia de los tubos inclinados poseen el inconveniente de que para una geometría de cámara de combustión dada el número de tubos es mayor y con ello se reduce por tubo la densidad de caudal másico (medida de la corriente de flujo de medio de trabajo en kg por m² de sección transversal de flujo y por segundo). Para a pesar de ello asegurar un enfriamiento suficiente de los tubos se emplean tubos con aletas interiores o las paredes individuales de las paredes perimetrales de la cámara de combustión son atravesadas una tras otra.

- la división de la corriente de evaporador total en varias paredes conectadas en serie posee varios inconvenientes :

1) las paredes individuales deben ser unidas mediante tubos de caída

2) en cuanto a la nueva distribución de la corriente de evaporador se producen procesos de separación (contenidos de vapor diferentes) que pueden verse a la salida del evaporador como estados erróneos de temperatura y debido a la imposibilidad de dilatación térmica pueden conducir a fisuras en las paredes,

3) mayor pérdida de presión debido a la mayor densidad de caudal másico. Los tubos dotados de aletas interiores poseen pérdidas de presión por rozamiento mayores y tienen el inconveniente de una fabricación especial y un gasto de fabricación elevado en el montaje de superficies parciales.

Por el documento EP 1 030 150 A1 se ha dado a conocer una cámara de combustión operada en lecho fluidizado para la gasificación y quemado de combustibles. El calor liberado en la cámara de combustión es cedido a las superficies de calentamiento del intercambiador de calor sometido por todos lados al calor, que o bien penetran en el lecho fluidizado de una cámara de recuperación de calor o entran en contacto con la corriente de gas por encima de la cámara de combustión. Las paredes de la cámara de combustión están realizadas formando una carcasa de chapa de acero o similar en lugar de formadas por tubos de superficie de calentamiento que rodean perimétricamente a la cámara de combustión y están sometidas al calor por un lado. En las superficies de calentamiento empleadas y conectadas en serie circula un medio portador de calor de un generador de vapor con circulación forzada accionado con una bomba de circulación, en el que a diferencia de un generador de vapor continuo forzado el medio portador de calor fluye varias veces en el circuito a través del generador de calor.

Por el documento EP 0 882 872 A2 se ha dado a conocer una caldera de lecho fluidizado a presión que opera con una presión mucho más alta que la atmosférica y con lecho fluidizado circulante interno, es decir estacionario, para la quema del combustible, en el que el gas de escape producido en la combustión es alimentado a una turbina de gas. Para poder regular la carga de funcionamiento de una caldera de este tipo sin tener que variar la altura del lecho fluidizado dentro de la cámara de combustión cilíndrica, la cámara de combustión que se encuentra en un recipiente a presión es realizada con una cámara de combustión principal y con una cámara de recuperación de energía térmica. Para la separación de estas dos cámaras en cuanto a la técnica de combustión y al procedimiento, la cámara de combustión principal está situada centrada en el medio y la cámara de recuperación de energía térmica rodea a la cámara de combustión principal por fuera, y está dispuesta una pared de separación dotada de un muro exterior que es fijada en su posición por tubos de agua individuales no unidos entre sí por nervios. Por la realización cónica en la parte superior de la pared de separación amurallada las partículas sólidas dentro del lecho fluidizado estacionario en la cámara de combustión principal son dirigidas de tal modo a la cámara de recuperación de energía que la altura del lecho fluidizado estacionario permanece igual. El calor producido en la cámara de combustión en la zona del lecho fluidizado estacionario es cedido así dentro de la cámara de recuperación de energía térmica a los tubos de superficie de calentamiento sumergidos en el lecho fluidizado y que conducen un medio de trabajo, por ejemplo agua o vapor, así como a los tubos de agua de la pared perimetral situada por fuera y que delimita la cámara de combustión. Los tubos de agua que forman la pared de separación y están sumergidos en el lecho fluidizado estacionario debido al muro exterior que los rodea no reciben ninguna cantidad de calor o solo una cantidad de calor no esencial y no participan por tanto en esta zona en la obtención de energía. Los tubos de agua, así como los tubos de las superficies de calentamiento son parte de un tipo de generador de vapor o caldera no denominado en detalle.

Por "The utility CFB Boiler- Present status short and long term feature with super critical and ultra-super critical steam parameters" (Goidich, Lundqvist) Power-Gen Conference Europe, Mailand, del 11 a 13 de junio de 2002 es conocido un generador de vapor de lecho fluidizado que está realizado como generador de vapor continuo. Los tubos de las paredes perimetrales discurren verticales. Adicionalmente puede existir en la cámara de combustión una superficie de calentamiento de evaporador para reducir la altura de la cámara de combustión.

Por "Integration of the BENSON vertical OTU technology and the compact CFB Boiler" (Goidich), Power-Gen International, Orlando Florida, noviembre de 2000, es conocido un generador de vapor continuo con paredes perimetrales cuyos tubos discurren verticales y son atravesados en paralelo. No se mencionan superficies de calentamiento de evaporador adicionales dentro de la cámara de combustión.

Por el documento EP 0 025 975 A2 es conocido un generador de vapor continuo con paredes perimetrales que presentan tubos que discurren verticales. Dentro de la cámara de combustión están dispuestas paredes intermedias que están unidas a las paredes perimetrales. Los tubos de las paredes intermedias son calentados por ambos lados. Al menos por sectores los tubos están dotados de aletas u otros elementos en sus superficies interiores para la turbulencia de la corriente, a fin de asegurar un enfriamiento suficiente.

Un reactor de lecho fluidizado circulante con prolongaciones de superficie de intercambio de calor está descrito en el documento DE 694 04 423 T2. En el interior de la cámara de combustión las paredes diametrales están dotadas de prolongaciones que discurren perpendiculares a ellas que son calentadas por los dos lados. Las cámaras entre las

prolongaciones deben formar canales o pozos a través de los cuales caen los materiales sólidos a los lechos fluidizados para elevar el caudal de materiales sólidos que descienden hacia los lechos fluidizados.

5 El documento US 6 470 833 B1 describe un generador de vapor en lecho fluidizado con paredes perimetrales dotadas de tubos verticales. En la cámara de combustión están dispuestas cámaras que presentan tubos que discurren verticales. A estas cámaras es alimentado aire complementario y combustible. Las cámaras están dispuestas a distancia de las paredes perimetrales.

El objeto de la invención es conseguir ahora un generador de vapor continuo con combustión atmosférica en lecho fluidizado circulante en el que se eviten los inconvenientes mencionados antes o se cumplan o respeten los criterios mencionados a continuación:

- 10 - empleo de generadores de vapor continuo más económicos y más ecológicos con CLFC en el rango de potencia desde aproximadamente 300 a 600 MWel y en un rango de presión desde aproximadamente 100 a 300 bar,
- 15 - obtención de un diseño de cámara de combustión eficiente para un generador de vapor continuo de este tipo teniendo en cuenta las superficies de calentamiento instaladas adicionalmente por dentro o eventualmente por fuera de la cámara de combustión.

El objeto mencionado anteriormente se lleva a cabo por los rasgos característicos de la reivindicación 1.

Realizaciones ventajosas de la invención se pueden deducir de las reivindicaciones subordinadas.

Por la solución según la invención se consigue un generador de vapor continuo con combustión atmosférica en lecho fluidizado circulante que presenta las siguientes ventajas:

- 20 - por la combinación de las paredes diametrales de cámara de combustión y superficies de calentamiento adicionales dispuestas en la cámara de combustión como superficies de calentamiento de evaporador y flujo de medio de trabajo en paralelo de estas superficies de calentamiento de evaporador, la cámara de combustión de lecho fluidizado, y por tanto también el generador de vapor continuo, pueden ser realizados con dimensiones de construcción esencialmente menores y, por tanto, más baratos.
- 25 - por el uso de tubos lisos, es decir tubos con superficies lisas por el lado interior en las paredes perimetrales del generador de vapor continuo resultan ventajas económicas ya que son más baratos que los tubos con aletas interiores y tampoco son necesarias fabricaciones especiales. Los tubos lisos, a diferencia de los tubos con aletas interiores, son producidos en una amplia variedad por muchos fabricantes.
- 30 - por el uso de tubos lisos en las paredes diametrales del generador de vapor continuo resulta una pérdida de presión menor en la superficie de calentamiento de evaporador en comparación con una superficie de calentamiento de evaporador realizada con tubos con aletas interiores.
- 35 - por el flujo paralelo de las paredes perimetrales y de las superficies de calentamiento dispuestas adicionalmente en la cámara de combustión de lecho fluidizado resultan ventajas económicas, ya que ya no es necesario el montaje de colectores intermedios (colectores de mezcla o compensación de la presión).
- 40 - el montaje de las superficies de calentamiento que son producidas a partir de tubos lisos es más económico (no es necesaria una adaptación del aleteado interior, con lo que hay menos desperdicios de tubo en el montaje)
- 45 - la longitud o altura de las superficies de calentamiento verticales dispuestas adicionalmente en la cámara de combustión de lecho fluidizado está adaptada a la altura y forma de construcción de la cámara de combustión (diferentes embudos en la zona inferior de la cámara de combustión). De ello resultan ventajas en el montaje de las superficies de calentamiento, ya que pueden ser incorporadas de forma eficaz en la base de la cámara de combustión o en el canto superior del embudo, así como en la cubierta de la cámara de combustión.
- 50 - las superficies de calentamiento dispuestas adicionalmente en la cámara de combustión de lecho fluidizado son realizadas como superficies de calentamiento soldadas para formar cajas calentadas por un lado.
- 55 - por la integración de superficies de calentamiento adicionales calentadas se ajusta la densidad de caudal másico deseada que es necesaria para compensar las diferencias de caudal másico y calentamiento y conseguir aproximadamente las mismas temperaturas de salida.
- las dimensiones de la cámara de combustión (sección transversal, altura) y las superficies de calentamiento integradas tienen dimensiones tales que las densidades de corriente de calor efectiva permiten el empleo de tubos lisos verticales en las paredes perimetrales con densidades de caudal másico pequeñas

La invención prevé calentar por un lado la superficie de calentamiento según la invención y realizar la superficie de calentamiento calentada por un lado con tubos lisos. De esta forma se consigue una ventaja esencial desde el punto de vista económico como ya se indicó para los tubos lisos de la pared perimetral, ya que los tubos lisos son esencialmente más baratos, más fáciles de montar y provocan una pérdida de presión por rozamiento menor.

En una realización conveniente de la superficie de calentamiento calentada por un lado, esta está realizada como superficie de calentamiento con forma de caja con sección transversal con forma de caja. Por la realización con forma de caja de la superficie de calentamiento se consigue una gran estabilidad, lo que hace posible realizar

cámaras de combustión de generadores de vapor continuo grandes con superficies de calentamiento. En otra realización conveniente la sección transversal de la superficie de calentamiento con forma de caja está realizada rectangular.

- 5 Para conseguir un calentamiento uniforme del medio de trabajo dentro de los tubos de las paredes perimetrales es ventajoso que estos tubos posean esencialmente la misma longitud calentada. Para transmitir el mismo efecto también a los tubos de las superficies de calentamiento es ventajoso además que los tubos de las superficies de calentamiento posean la misma longitud calentada que los tubos de las paredes perimetrales.

A continuación se explican en detalle ejemplos de realización de la invención en virtud del dibujo y de la descripción.

Muestran:

- 10 Fig. 1, un generador de vapor continuo con combustión atmosférica en lecho fluidizado circulante representado esquemáticamente en un corte longitudinal;
- Fig. 2, una cámara de combustión de lecho fluidizado de un generador de vapor continuo en lecho fluidizado con un embudo de cámara de combustión representado esquemáticamente en un corte longitudinal;
- 15 Fig. 3, como la Fig. 2, pero la cámara de combustión de lecho fluidizado con dos embudos de cámara de combustión ("pantalón") en un corte longitudinal;
- Fig. 4, esquemáticamente una cámara de combustión de un generador de vapor continuo en lecho fluidizado (con un embudo de cámara de combustión) en sección transversal a lo largo de la línea A-A de la Fig. 2, el corte girado 90°;
- 20 Fig. 5, representada esquemáticamente una cámara de combustión de un generador de vapor continuo en lecho fluidizado (con dos embudos de cámara de combustión) en sección transversal a lo largo de la línea B-B de la Fig. 3, el corte girado 90°;
- Fig. 6, una sección transversal esquemática de una superficie de calentamiento (mampara de caja) con forma de caja alternativa según el detalle C de las figuras 4 y 5;
- 25 Fig. 7, una superficie de calentamiento con forma de caja representada esquemáticamente con transición alineada verticalmente desde el revestimiento refractario a la pared de tubo de membrana en un corte longitudinal, que corresponde al corte A-A de la Fig. 8,
- Fig. 8, una sección transversal esquemática de una superficie de calentamiento con forma de caja a lo largo de la línea C-C de la Fig. 9, y
- 30 Fig. 9, un corte longitudinal esquemático de una superficie de calentamiento con forma de caja a lo largo de la línea B-B de la figura 8.

En cuanto a los generadores de vapor continuo abastecidos con combustible fósil de las centrales eléctricas convencionales se sabe que el medio de trabajo, habitualmente agua/vapor precalentado esencialmente en un pasaje de un circuito de turbinas de vapor, es evaporado, sobrecalentado y eventualmente sobrecalentado entremedias. El generador de vapor continuo incluyendo la combustión correspondiente está descrito a continuación.

La Fig. 1 muestra un generador de vapor continuo 1 con combustión en lecho fluidizado circulante 2 (CLFC) representado esquemáticamente para la quema de carbón u otros materiales combustibles. El material que va a ser quemado es incorporado en el lecho fluidizado o la cámara de combustión de lecho fluidizado 3 del generador de vapor continuo 1 con CLFC, bien junto con un material inerte o por separado a través de la conducción de alimentación 10. Para la formación del lecho fluidizado y para la quema del material incorporado dentro de la cámara de combustión 3 es introducido un gas de fluidización a través de la conducción de alimentación 11 habitualmente a la cámara de combustión 3 de lecho fluidizado por debajo. El gas de fluidización es por regla general aire y por tanto es utilizado para la quema como medio de oxidación. El gas de escape o gas de humo que se produce en la quema y las sustancias sólidas (material inerte, partículas de ceniza y material sin quemar) que lleva el gas de escape son evacuados de la cámara de combustión 3 por la zona superior a través del orificio 12 y conducidos a través de una conducción 13 de gas de escape a un separador, por regla general un separador de fuerza centrífuga o separador de ciclón 14. En el separador 14 son separadas en la mayor medida posible las sustancias sólidas del gas de escape y conducidas a través de la conducción de retorno 15 de nuevo a la cámara de combustión 3. El gas de escape limpiado considerablemente es conducido a través de la conducción de gas de escape 16 a una segunda sección de gas de humo 17 en la que está dispuesta al menos una superficie de calentamiento 18 de un economizador, al menos una superficie de calentamiento 19 de sobrecalentador y eventualmente al menos una superficie de calentamiento 20 de sobrecalentador intermedio para otro uso o extracción del calor del gas de escape. Por regla general la sección transversal de la cámara de combustión 3 está realizada rectangular. No obstante, puede también ser redonda o presentar otra forma.

Las figuras 2 a 5 muestran, en sección longitudinal y en sección transversal, la cámara de combustión 3 de lecho fluidizado de un generador de vapor continuo 1 realizada rectangular y dispuesta esencialmente vertical. La cámara de combustión 3 está rodeada esencialmente por todos lados por paredes perimetrales 4, de modo que la pared perimetral 4 vista de abajo arriba abarca la base 4.1 de la cámara de combustión, las paredes laterales 4.2 de la cámara de combustión y la cubierta 4.3 de la cámara de combustión. La base 4.1 de la cámara de combustión está realizada por regla general como base de toberas a través de las cuales es introducido el gas de fluidización. La Fig. 2 muestra una cámara de combustión 3 con un embudo sencillo 6 en la zona inferior de la cámara de combustión 3, mientras que la Fig. 3 muestra una cámara de combustión 3 con un embudo doble 7, una realización llamada de "pantalón". Las paredes perimetrales 4 de cámara de combustión están realizadas como superficies de calentamiento atravesadas por medio de trabajo, estando formadas estas superficies de calentamiento por paredes de membrana estancas al gas. Las paredes de membrana de este tipo pueden ser montadas por soldadura estanca al gas de una combinación tubo-nervio-tubo. Por regla general la combinación tubo-nervio-tubo comprende tubos 5 que son lisos por el contorno exterior y están unidos entre sí con nervios 21 separados. También son posibles tubos con aletas cuyo contorno exterior está ya realizado con nervios y que están unidos entre sí.

La presente invención tiene como objetivo un generador de vapor continuo 1 con combustión en lecho fluidizado circulante 2 de alta potencia (aproximadamente 300 a 600 Mwe) y altos parámetros de vapor (aproximadamente de 250 a 300 bar de presión y de 560 a 620 °C de temperatura). Así, para conseguir un diseño de cámara de combustión eficaz en este rango de potencia es necesario instalar superficies de calentamiento 8 adicionales que por motivos de la técnica del calor (absorción uniforme del calor) están dispuestas preferiblemente dentro de la cámara de combustión 3.

El generador de vapor continuo 1 según la invención con CLFC 2 prevé que todos los tubos 5, 9 de las paredes perimetrales 4 y de las superficies de calentamiento 8 situadas por dentro de la cámara de combustión 3 estén realizadas como superficie de calentamiento de evaporador y están conectadas en paralelo para el flujo de todo el medio de trabajo que se va a evaporar, de manera que todos los tubos 5 de las paredes perimetrales 4 están realizados con superficie interior de tubo lisa y las superficies de calentamiento 8 se extienden entre la base 4.1 de la cámara de combustión o el canto superior 24 del embudo y la cubierta 4.3 de la cámara de combustión. Por la conexión en paralelo de las superficies de calentamiento 8 y de la superficie de calentamiento de la pared perimetral 4 del generador de vapor continuo 1, así como el uso de las dos superficies de calentamiento como superficie de calentamiento de evaporador, se consigue de forma ventajosa por un lado que mediante una adaptación del número de las superficies de calentamiento 8 la cámara de combustión 3 pueda ser diseñada de forma eficiente. Es decir, que con esta medida las dimensiones de la cámara de combustión pueden ser optimizadas, sobre todo la altura de la cámara de combustión (distancia entre la base y la cubierta de la cámara de combustión) puede ser reducida esencialmente por la inclusión de las superficies de calentamiento 8. Por otra parte las densidades de corriente térmica efectiva dentro de la cámara de combustión 3 de lecho fluidizado en caso de la conexión del generador de vapor continuo 1 según la invención mencionada antes permiten, a pesar de las densidades de caudal másico de medio de trabajo reducidas de aproximadamente 400 a 1.200 kg/m², emplear para los tubos 5 de las paredes perimetrales 4 los que presentan una superficie lisa. Por las densidades de caudal másico de medio de trabajo reducidas se consigue también una característica de circulación natural mejorada dentro de las superficies de calentamiento de evaporador, lo que significa que en caso de un mayor calentamiento local se produce también aquí un ascenso del caudal de medio de trabajo y, por tanto, está garantizado un enfriamiento del tubo seguro.

El empleo de tubos 5 con superficie interior lisa, también denominados simplemente tubos lisos, tiene varias ventajas en comparación con los tubos con aletas interiores empleados en caso de densidades de caudal másico bajas. Por un lado, los tubos lisos son esencialmente más baratos que los tubos con aletas interiores, tienen plazos de suministro más breves, se suministran esencialmente en más tamaños y en general hay mayor disponibilidad, ya que los tubos con aletas interiores están disponibles la mayoría de las veces solo como fabricación especial, también en cuanto al montaje los tubos lisos son esencialmente más fáciles de manejar. Por otra parte, los tubos lisos poseen una pérdida de presión por rozamiento del medio de trabajo esencialmente menor que los tubos con aletas interiores, lo que también tiene un efecto positivo sobre la distribución uniforme del medio de trabajo por los tubos 5 individuales, así como sobre la reducción de la potencia de las bombas de alimentación del generador de vapor continuo 1.

Para elevar el grado de eficacia del proceso del generador de vapor continuo y con ello reducir las emisiones nocivas a la atmósfera causadas por la combustión del generador de vapor, los generadores de vapor continuo 1 son operados cada vez más frecuentemente en el rango supercrítico, es decir a una presión de vapor de por encima de 220 bar, así como a una presión variable entre la presión supercrítica y la subcrítica (la presión de funcionamiento del generador de vapor varía en la zona de carga del generador de vapor continuo, por ejemplo entre el 20 y el 100 % de carga). En caso de una presión de funcionamiento del generador de vapor continuo de por ejemplo 270 bar con carga completa, el generador de vapor con una carga parcial de aproximadamente el 70 % alcanza el rango de presión crítico y por debajo de esta carga parcial funciona en el rango subcrítico, es decir, en el rango de carga parcial de aproximadamente por debajo del 70 % se produce en el evaporador durante el proceso de evaporación una mezcla de dos fases. Por la solución según la invención mencionada al principio está garantizado que dentro de la superficie de calentamiento de evaporador (paredes perimetrales 4 y superficies de calentamiento 8) no se produce separación de vapor y agua. Esto se ve favorecido por la realización ventajosa del generador de vapor

continuo 1 según la invención, de manera que el flujo del medio de trabajo de los tubos 5, 9 de las paredes perimetrales 4 y de las superficies de calentamiento 8 se realiza sin ayuda de colectores intermedios.

En cuanto a las superficies de calentamiento 8 adicionales empleadas en la cámara de combustión 3 de lecho fluidizado se trata de las llamadas superficies de calentamiento de mampara. En cuanto a las superficies de calentamiento de mampara se trata de superficies de calentamiento cerradas y de tipo placa (es decir, los tubos 9 individuales dispuestos uno junto a otro están unidos entre sí con nervios 22 – combinación soldada tubo-nervio-tubo para formar una mampara) que se diferencian de las superficies de calentamiento de haz en que están realizadas abiertas (es decir, los tubos individuales dispuestos uno junto a otro no están unidos entre sí con nervios). Las superficies de calentamiento 8 están dispuestas esencialmente verticales dentro de la cámara de combustión 3 y los tubos 9 contenidos en ella discurren igualmente en esencial verticales.

Según la invención las superficies de calentamiento 8 se extienden según la realización de la cámara de combustión entre la base 4.1 de la cámara de combustión o el canto superior 24 del embudo y la cubierta 4.3 de la cámara de combustión. De esta forma pueden utilizarse completamente, junto con la pared perimetral 4, para el flujo paralelo de todo el medio de trabajo que se va a evaporar. Las superficies de calentamiento 8 resultan así en la zona inferior de la cámara de combustión 3 de lecho fluidizado, esencialmente en la base de la cámara de combustión o en el canto superior 4.1 del embudo, en el caso de una cámara de combustión 3 con un embudo 6 (Fig. 2) y disposición central de las superficies de calentamiento 8 dentro de la cámara de combustión 3, o en el canto superior 24 del embudo en caso de una cámara de combustión 3 con dos embudos 7 (Fig. 3), así como disposición central de las superficies de calentamiento 8 y termina en la zona superior de la cámara de combustión 3 de lecho fluidizado esencialmente en la cubierta 4.3 de la cámara de combustión. Para la fijación de las superficies de calentamiento 8 individuales estas pueden ser soldadas por ejemplo a la base 4.1 de la cámara de combustión o canto superior 24 del embudo y la cubierta 4.3 de cámara de combustión. Si se prevén más de dos embudos en la zona inferior de la cámara de combustión 3, entonces la incorporación de las superficies de calentamiento 8 puede realizarse de forma análoga.

La alimentación paralela de las superficies de calentamiento 8, así como de la pared perimetral 4 se realiza por colectores no representados, mediante los cuales es conducido desde abajo el medio de trabajo a ser evaporado a las superficies de calentamiento mencionadas antes. Si en el caso de una cámara de combustión 3 con dos embudos 7 según la Fig. 3 las superficies de calentamiento 8 empiezan en primer lugar en el canto superior del embudo o en el caballete 24 del embudo, entonces estas superficies de calentamiento 8 son alimentadas con medio de trabajo a través de las paredes perimetrales 4 del embudo. También es posible una alimentación paralela separada de las superficies de calentamiento 8.

La solución según la invención prevé que las superficies de calentamiento 8 dispuestas dentro de la cámara de combustión 3 sean calentadas por un lado. La Fig. 6 muestra una superficie de calentamiento 8 calentada por un lado. Esta superficie de calentamiento 8 comprende periféricamente una cámara interior 23 y está realizada con forma de caja, por lo que la superficie de calentamiento 8 en la siguiente descripción es denominada también superficie de calentamiento con forma de caja o mampara(s) de caja. La Fig. 6 muestra así una realización ventajosa de la superficie de calentamiento 8 con forma de caja con sección transversal rectangular. La mampara 8 de caja según la Fig. 6 presenta cuatro paredes laterales formadas por paredes de tubo de membrana soldados que están soldadas entre sí en las esquinas, estando formadas las paredes de tubo de membrana por tubos 9 y nervios 22. Resulta, por tanto, una caja con una realización o combinación tubo-nervio-tubo soldada con estanqueidad al gas. En lugar de la realización rectangular de la superficie de calentamiento 8 con forma de caja mostrada en sección transversal en la Fig. 6, esta puede también estar realizada con otra sección transversal, por ejemplo poligonal de n lados (al menos 3 lados), redonda etc. Es decir, en este caso el espacio interior 23 encerrado por la superficie de calentamiento 8 con forma de caja tiene una sección transversal poligonal de n lados o redonda.

Por la disposición vertical de las superficies de calentamiento 8 y por tanto también de los tubos 9, así como de los tubos verticales 5 de las paredes perimetrales 4, los tubos 5, 9 proporcionan pocos puntos de ataque de la erosión a la corriente de gas y partículas que fluye desde abajo hacia arriba en la cámara de combustión 3. Para proteger los tubos 5, 9 en la zona inferior de la cámara de combustión 6, 7 o en la zona del embudo 6, 7 frente a los altos flujos perpendiculares o de turbulencia de la corriente de gas y partículas del lecho fluidizado, estas están dotadas de un revestimiento refractario 25.

Una realización ventajosa de la invención prevé según las figuras 7 a 9 curvar hacia dentro en la zona de la cámara interior 23 los tubos 9 de la zona del embudo 6, 7 de la cámara de combustión con una superficie de calentamiento 8 con forma de caja dotada de un revestimiento refractario 25 en la zona de transición 26 entre la zona de la superficie de calentamiento revestida y no revestida 27 y realizar los cantos superiores del revestimiento refractario 25 y de la zona no revestida 27 de la superficie de calentamiento 8 alineados en la dirección vertical. Por esta medida se evita que en la zona de transición 26 se tengan puntos de ataque de erosión sobre los tubos 9 para las corrientes de turbulencia del flujo de gas y partículas.

Por el revestimiento refractario 25 de los tubos 5, 9 en la zona del embudo 6, 7 resultan de forma ventajosa longitudes calentadas de los tubos 5, 9 dentro de la cámara de combustión 3 esencialmente iguales.

Las superficies de calentamiento 8 con forma de caja que se extienden a través de una longitud L y a través de su sección transversal un ancho B y una profundidad T, poseen en una realización conveniente dimensiones de aproximadamente 1,0 a 4,0 m para el ancho B, aproximadamente 0,1 a 1,0 m para la profundidad T y aproximadamente 20 m a 50 m para la longitud L. Con ello es posible dotar a la cámara de combustión 3 también de generadores de vapor continuo 1 mayores.

Los tubos 9 empleados para las superficies de calentamiento 8 con forma de caja poseen en una realización ventajosa diámetros exteriores entre 20 mm y 70 mm. La fabricación de las superficies superiores 8 con forma de caja es posible con materiales de construcción de generadores de vapor y procedimientos de fabricación habituales.

Lista de símbolos de referencia

- | | | |
|----|-----|---|
| 10 | 1 | Generador de vapor continuo |
| | 2 | Combustión en lecho fluidizado circulante |
| | 3 | Cámara de combustión de lecho fluidizado |
| | 4 | Paredes perimetrales |
| | 4.1 | Base de cámara de combustión o canto superior de embudo |
| 15 | 4.2 | Pared lateral de cámara de combustión |
| | 4.3 | Cubierta de cámara de combustión |
| | 5 | Tubo |
| | 6 | Embudo sencillo |
| | 7 | Embudo doble |
| 20 | 8 | Superficie de calentamiento |
| | 9 | Tubo |
| | 10 | Alimentación de combustible |
| | 11 | Alimentación de gas de fluidización |
| | 12 | Orificio o salida de gas de humo |
| 25 | 13 | Conducción de gas de escape |
| | 14 | Separador de fuerza centrífuga |
| | 15 | Conducción de retorno |
| | 16 | Conducción de gas de escape |
| | 17 | Segunda sección de humo |
| 30 | 18 | Superficie de calentamiento de economizador |
| | 19 | Superficie de calentamiento de sobrecalentador |
| | 20 | Superficie de calentamiento de sobrecalentador intermedio |
| | 21 | Nervio de pared diametral |
| | 22 | Nervio de superficie de calentamiento |
| 35 | 23 | Cámara interior |
| | 24 | Canto superior de embudo |
| | 25 | Revestimiento refractario |
| | 26 | Zona de transición |
| | 27 | Zona no revestida de la superficie de calentamiento |

REIVINDICACIONES

1. Generador de vapor continuo con combustión atmosférica en lecho fluidizado circulante, con una cámara de combustión (3) de lecho fluidizado, en el que la cámara de combustión (3) de lecho fluidizado está limitada esencialmente por todos lados por paredes perimetrales (4) y formada por paredes de tubos estancas al gas y realizadas con tubos (5) esencialmente verticales y presenta al menos un embudo (6, 7) en la zona inferior, y en la cámara de combustión (3) de lecho fluidizado está prevista al menos una superficie de calentamiento (8) dispuesta esencialmente vertical y provista de tubos (9) verticales, estando formada la superficie de calentamiento (8) por una combinación de tubo-nervio-tubo soldada, y en la que los tubos (5, 9) de las paredes perimetrales (4) y de la superficie de calentamiento (8) son atravesados por un medio de trabajo agua/vapor que fluye a través de ellas, caracterizado por que todos los tubos (5, 9) de las paredes perimetrales (4) y de la superficie de calentamiento (8) están realizados como superficie de calentamiento de evaporador y están montadas en paralelo para el flujo de todo el medio de trabajo que se va a evaporar, por que todos los tubos (5) de las paredes perimetrales (4) y de la superficie de calentamiento (8) están realizados con superficie interior de tubo lisa, por que la superficie de calentamiento (8) se extiende entre la base (4.1) de la cámara de combustión o el canto superior (24) del embudo y la cubierta (4.3) de la cámara de combustión, por que la superficie de calentamiento (8) está realizada como caja que puede ser calentada por un lado y tiene una configuración tubo-nervio-tubo con soldadura estanca al gas, y por que el flujo de medio de trabajo de los tubos (5, 9) de las paredes perimetrales (4) y de la superficie de calentamiento (8) se realiza sin ayuda de colectores intermedios.
2. Generador de vapor continuo según la reivindicación 1, caracterizado por que la superficie de calentamiento (8) tiene una sección transversal con forma de caja con un ancho (B) y una profundidad (T) y encierra periféricamente un espacio interior (23) y está cerrada por su contorno.
3. Generador de vapor continuo según la reivindicación 2, caracterizado por que la sección transversal de la superficie de calentamiento (8) con forma de caja está realizada al menos triangular o redonda.
4. Generador de vapor continuo según la reivindicación 2, caracterizado por que la sección transversal de la superficie de calentamiento (8) con forma de caja está realizada rectangular.
5. Generador de vapor continuo según la reivindicación 2, caracterizado por que los tubos (9) de la superficie de calentamiento (8) con forma de caja y provista de un revestimiento refractario (25) en zona del embudo (6, 7) de la cámara de combustión están curvados en la zona de la cámara interior (23) en la zona de transición (26) entre la zona de la superficie de calentamiento revestida y no revestida (27) y los cantos delanteros del revestimiento refractario (25) y de la zona no revestida (27) de la superficie de calentamiento (8) están realizados alineados en dirección vertical.
6. Generador de vapor continuo según al menos una de las reivindicaciones mencionadas antes, caracterizado por que los tubos (5) de las paredes perimetrales (4) poseen esencialmente la misma longitud calentada.
7. Generador de vapor continuo según al menos una de las reivindicaciones mencionadas antes, caracterizado por que los tubos (9) de la superficie de calentamiento (8) poseen esencialmente la misma longitud calentada que los tubos (5) de las paredes perimetrales (4).

Fig. 1

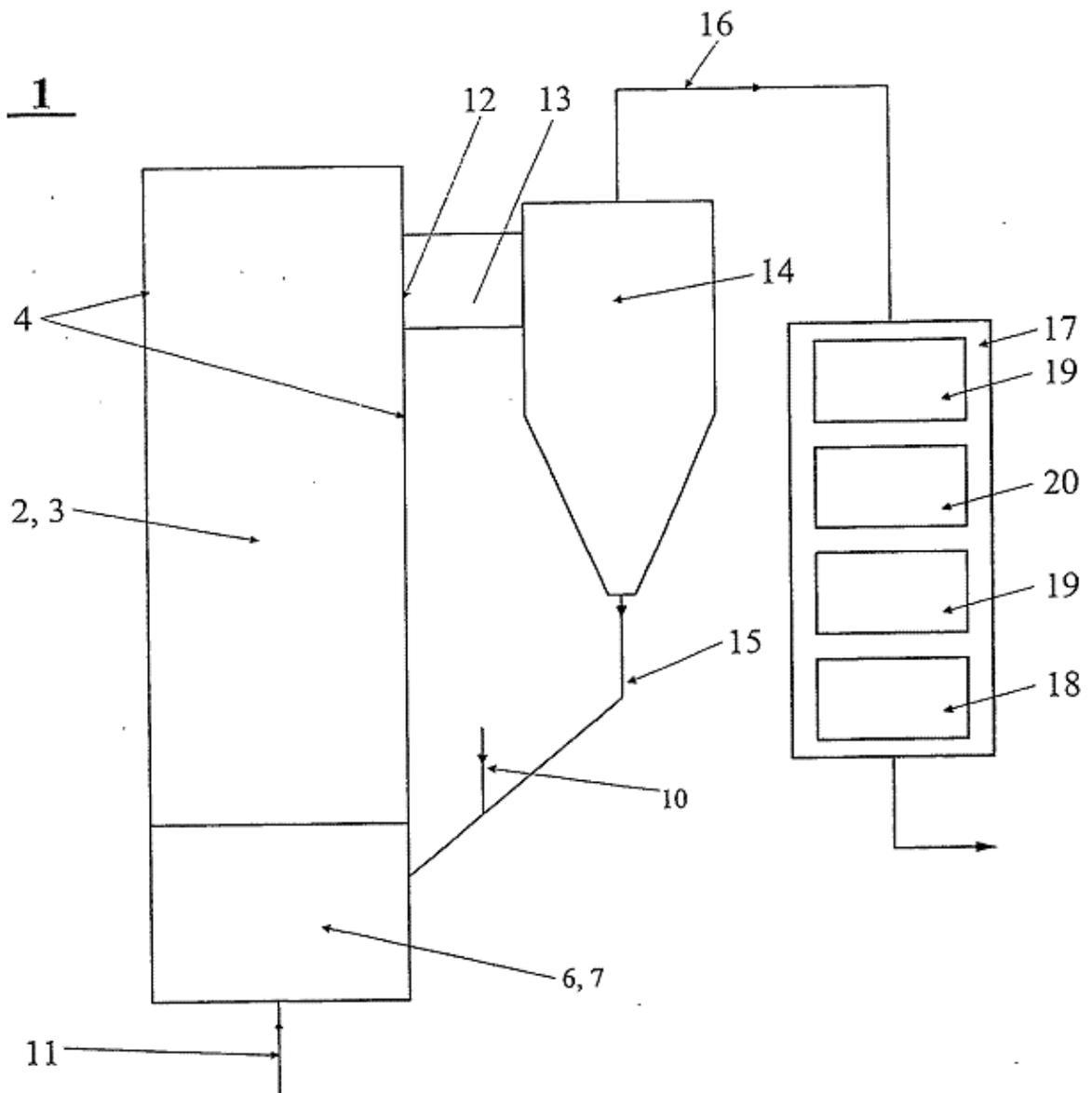


Fig. 2

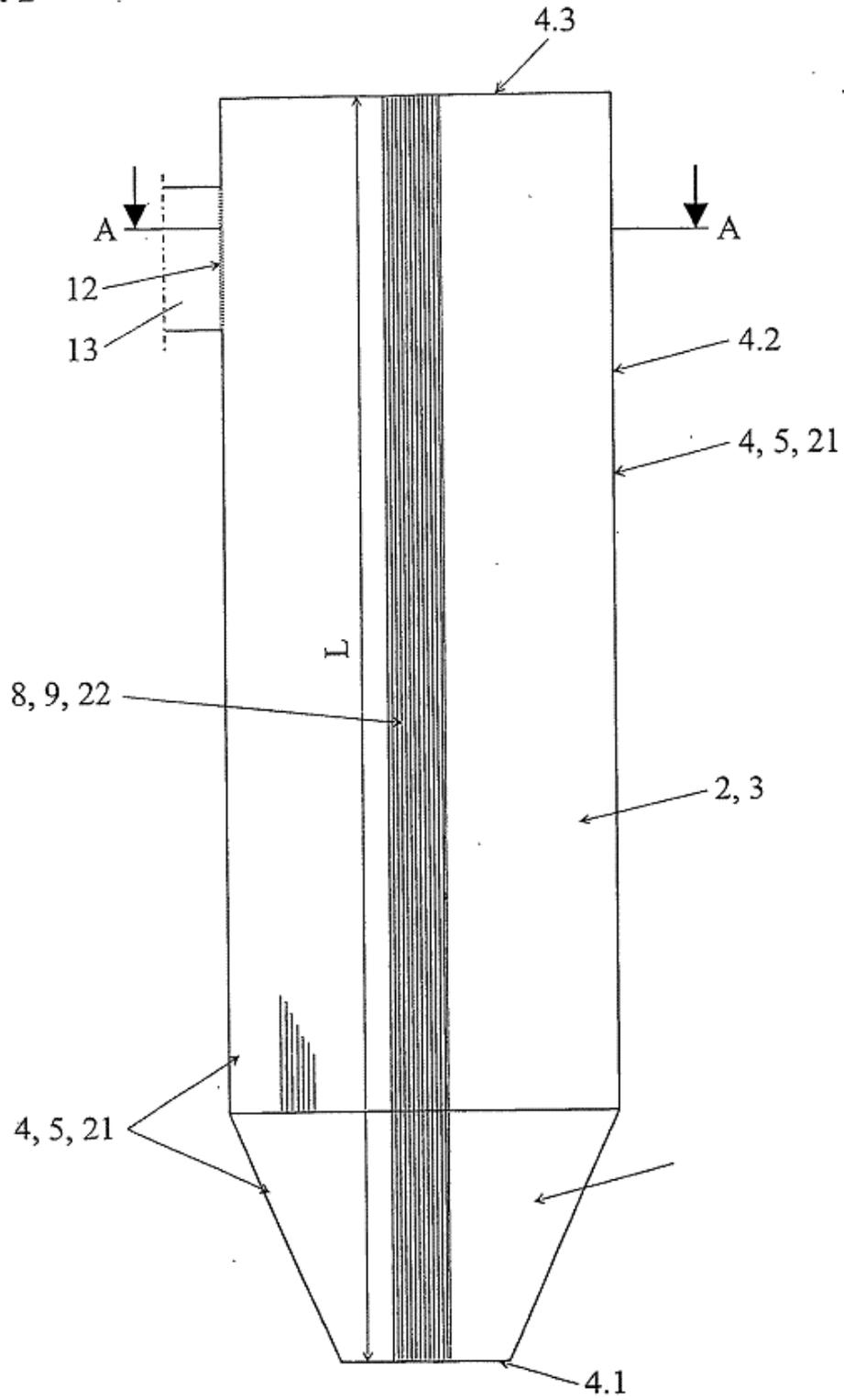


Fig. 3.

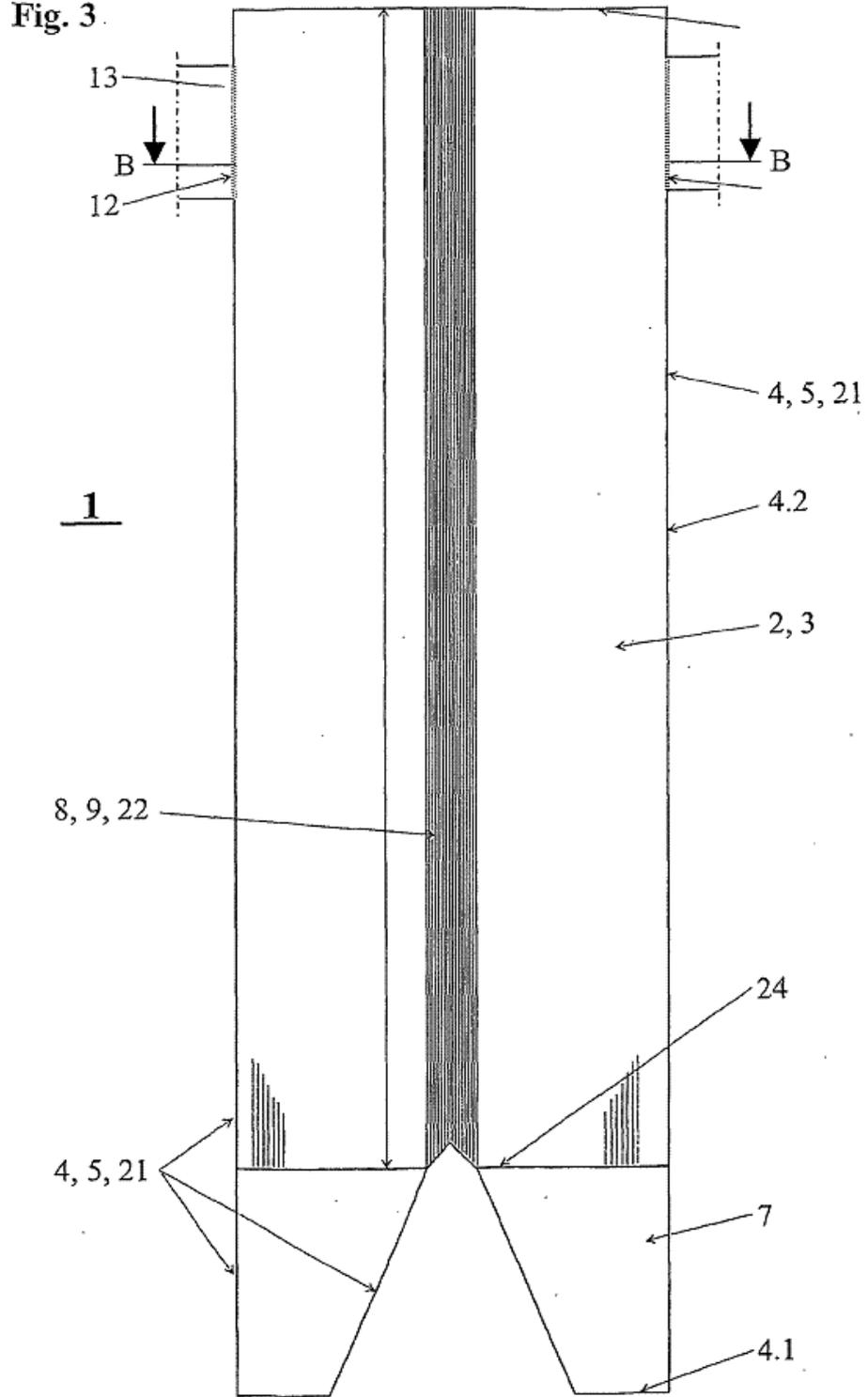


Fig. 4

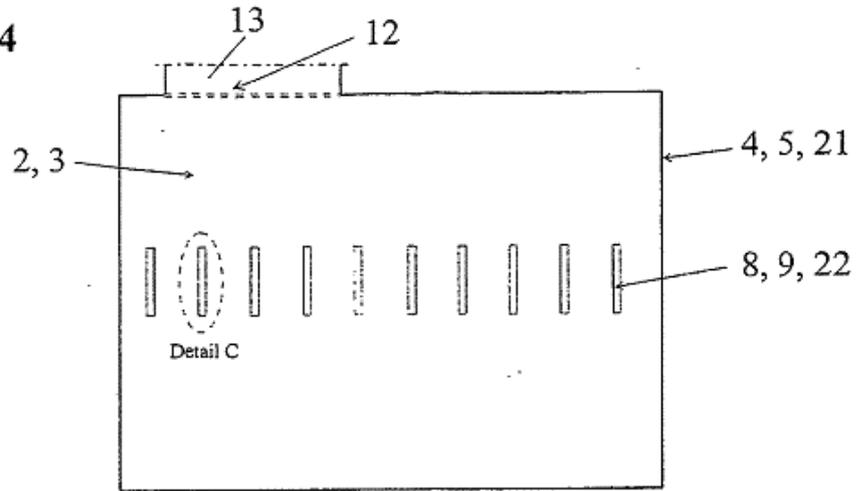


Fig. 5

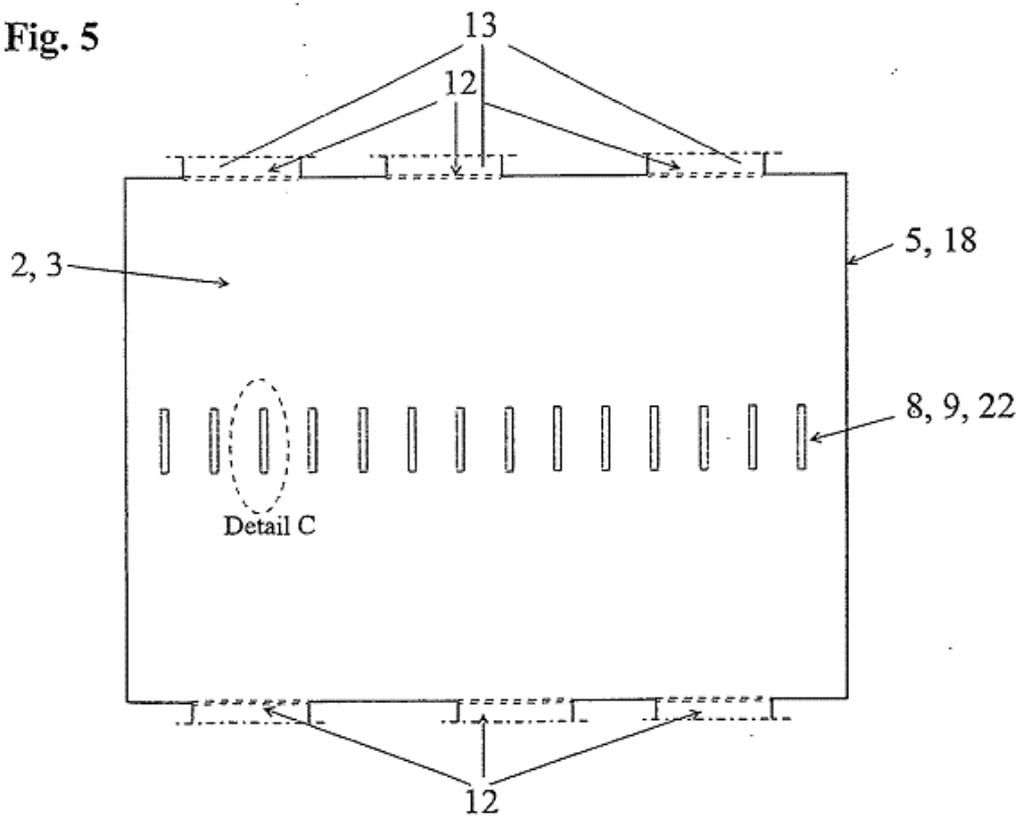


Fig. 6

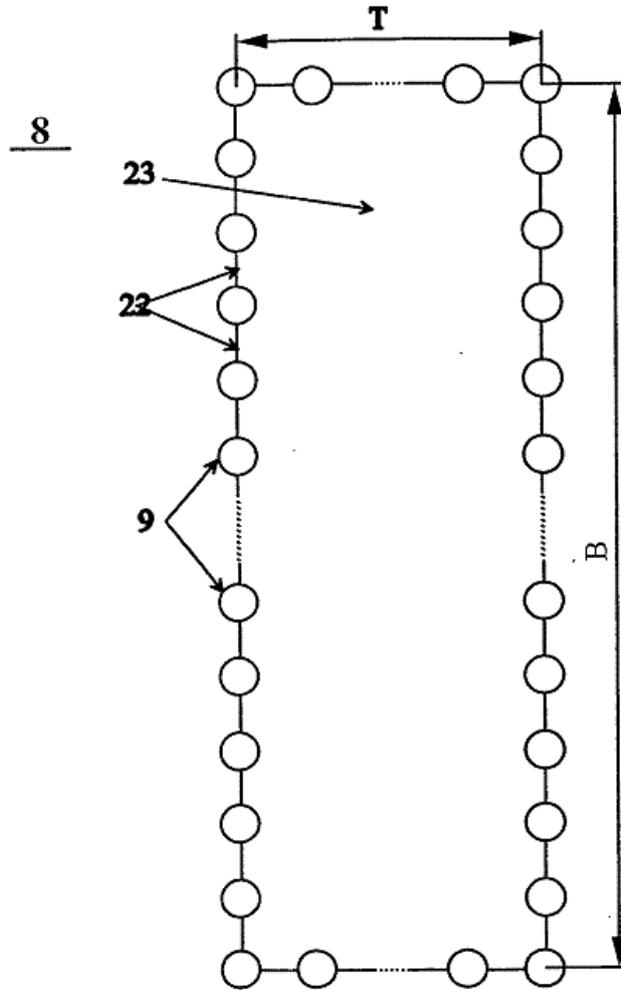


Fig. 7

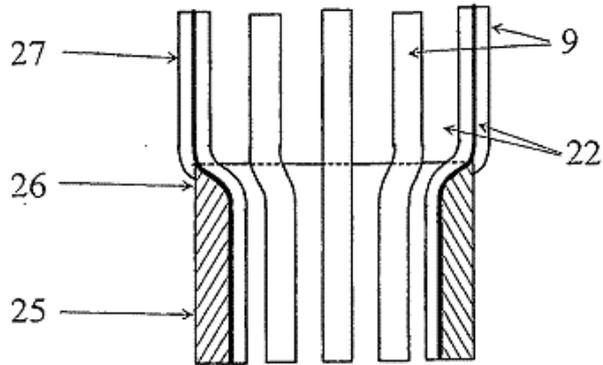


Fig. 8

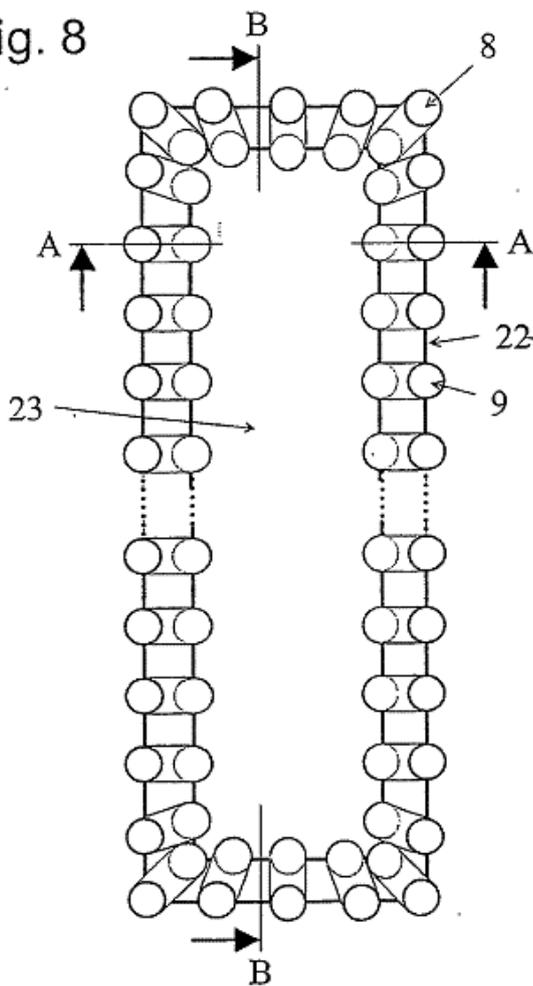


Fig. 9

