



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 300 253**

⑤1 Int. Cl.:
F22B 21/34 (2006.01)

①2

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑧6 Número de solicitud europea: **00902546 .1**

⑧6 Fecha de presentación : **10.01.2000**

⑧7 Número de publicación de la solicitud: **1144911**

⑧7 Fecha de publicación de la solicitud: **17.10.2001**

⑤4 Título: **Generador de vapor calentado con combustible fósil.**

③0 Prioridad: **18.01.1999 DE 199 01 430**

④5 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.06.2008

④5 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.06.2008

⑦3 Titular/es: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE

⑦2 Inventor/es: **Franke, Joachim y**
Kral, Rudolf

⑦4 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 300 253 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 calentado con combustible fósil.

5 La invención se refiere a un generador de vapor con una cámara de combustible para combustible fósil según la parte introductoria de la reivindicación 1. Tal generador de vapor es ya conocido por el documento US-A-3 527 261.

10 En una central eléctrica con un generador de vapor, el contenido energético de un combustible se aprovecha para la evaporación de un medio de circulación en el generador de vapor. Para la evaporación del medio de circulación, el generador de vapor presenta tubos evaporadores, cuyo calentamiento conduce a una evaporación del medio de circulación conducido a los mismos. El vapor puesto a disposición a través del generador de vapor a su vez puede estar previsto, a modo de ejemplo, para un proceso externo conectado, o bien para la puesta en funcionamiento de una turbina de vapor. Si el vapor pone en funcionamiento una turbina de vapor, a través del eje de la turbina de la turbina de vapor se acciona habitualmente un generador o una máquina de trabajo. En el caso de un generador, la corriente para alimentación generada a través del generador puede estar prevista en una red compuesta y/o red de islas.

15 En este caso, el generador de vapor puede estar configurado como generador de vapor de paso. Un generador de vapor de paso es conocido por el artículo "Verdampferkonzepte für Benson-Dampferzeuger" de J. Franke, W. Köhler y E. Wittchow, publicado en VGB Kraftwerkstechnik 73 (1993), número 4, páginas 352-360. En un generador de vapor de paso, el calentamiento de tubitos generadores de vapor previstos como tubitos evaporadores conduce a una evaporación del medio de circulación en los tubos generadores de vapor en un paso único.

20 Los generadores de vapor se realizan habitualmente con una cámara de combustión en construcción vertical. Esto significa que la cámara de combustión está diseñada en sentido aproximadamente vertical para una circulación del medio calentador o gas de calefacción.

25 En este caso, del lado del gas de calefacción puede estar post-conectada a la cámara de combustión un tiro de gas horizontal, efectuándose en la transición de la cámara de combustión el tiro de gas horizontal un desvío de la corriente de gas de calefacción en un sentido de circulación aproximadamente horizontal. No obstante, tales cámaras de combustión, debido a las modificaciones de longitud de la cámara de combustión ocasionadas por la temperatura, requieren una estructura en la que se suspende la cámara de combustión. Esto ocasiona un gasto técnico considerable en la obtención y montaje del generador de vapor, que es tanto mayor cuanto más elevada es la altura de construcción del generador de vapor.

30 Un problema especial constituye el diseño de la pared exterior del tiro de gas o cámara de combustión del generador de vapor respecto a las temperaturas de pared tubular o material que se presentan en la misma. En el intervalo de presión subcrítico hasta aproximadamente 200 bar, la temperatura de la pared exterior de la cámara de combustión se determina esencialmente por la altura de la temperatura de saturación de agua, si se puede asegurar una humectación de la superficie interna de los tubitos evaporadores. A modo ejemplo, esto se consigue mediante el empleo de tubitos evaporadores, que presentan una estructura superficial en su lado interior. A tal efecto entran en consideración especialmente tubitos de calefacción nervados interiormente, cuyo empleo en un generador de vapor de paso es conocido, a modo de ejemplo, por el artículo citado anteriormente. Estos denominados tubos nervados, es decir, tubos con una superficie interna nervada, tienen una transferencia de calor especialmente buena de la pared interna del tubo al medio de circulación.

35 Un problema especial constituye el diseño de la pared exterior del tiro de gas o cámara de combustión del generador de vapor respecto a las temperaturas de pared tubular o material que se presentan en la misma. En el intervalo de presión subcrítico hasta aproximadamente 200 bar, la temperatura de la pared exterior de la cámara de combustión se determina esencialmente por la altura de la temperatura de saturación de agua, si se puede asegurar una humectación de la superficie interna de los tubitos evaporadores. A modo ejemplo, esto se consigue mediante el empleo de tubitos evaporadores, que presentan una estructura superficial en su lado interior. A tal efecto entran en consideración especialmente tubitos de calefacción nervados interiormente, cuyo empleo en un generador de vapor de paso es conocido, a modo de ejemplo, por el artículo citado anteriormente. Estos denominados tubos nervados, es decir, tubos con una superficie interna nervada, tienen una transferencia de calor especialmente buena de la pared interna del tubo al medio de circulación.

40 Según la experiencia no se puede evitar que las paredes exteriores de la cámara de combustión se calienten en diferente grado. Por lo tanto, debido a la diferente calefacción de los tubos evaporadores, las temperaturas de salida del medio de circulación de tubos evaporadores calentados en mayor medida son más elevadas que en el caso de tubos evaporadores calentados normalmente, o menos calentados. De este modo se pueden producir diferencias de temperatura entre tubos evaporadores adyacentes, que conducen a tensiones térmicas que pueden reducir el tiempo de vida del generador de vapor, o incluso pueden ocasionar roturas de tubos.

45 Por lo tanto, la invención tomaba como base la tarea de indicar un generador de vapor calentado con combustible fósil del tipo citado anteriormente, que requiera un gasto de obtención y montaje especialmente reducido, y en el que, al mismo tiempo, las diferencias de temperatura entre tubos evaporadores adyacentes se mantengan especialmente reducidas en el funcionamiento del generador de vapor.

Según la invención, este problema se soluciona mediante las características de la reivindicación 1.

50 La invención parte de la consideración de que un generador de vapor montable con gasto de obtención y montaje especialmente reducido debería presentar una construcción de suspensión realizable con medios sencillos. Una estructura para la suspensión de la cámara de combustión, a construir con gasto técnico relativamente reducido, puede ir acompañada en este caso de una altura de construcción del generador de vapor especialmente reducida. Una altura de construcción del generador de vapor especialmente reducida se puede conseguir realizándose la cámara de combustión en construcción horizontal. A tal efecto, los quemadores están dispuestos a la altura del tiro de gas horizontal en la pared de la cámara de combustión. Por consiguiente, en el funcionamiento del generador de vapor la cámara de combustión es atravesada por el gas de calefacción en sentido aproximadamente horizontal.

ES 2 300 253 T3

Además, en el funcionamiento de la cámara de combustión horizontal, las diferencias de temperaturas entre tubos evaporadores adyacentes serán especialmente reducidas para evitar de manera segura fatigas de materiales prematuras. No obstante, en una cámara de combustión horizontal, en el funcionamiento del generador de vapor de paso, la zona de la cámara de combustión trasera, visto del lado del gas de calefacción, se calienta relativamente menos que la zona delantera de la cámara de combustión, visto desde el lado del gas de calefacción. Además, a modo de ejemplo, un tubo evaporador en la proximidad del quemador se calienta más que un tubo evaporador dispuesto en una esquina de la cámara de combustión. En el caso extremo, la densidad de corriente térmica en la zona delantera de la cámara de combustión puede ser aproximadamente tres veces mayor que en la zona trasera.

Con las densidades de corriente másica habituales hasta la fecha -indicadas en $\text{kg/m}^2\text{s}$, y referidas a un 100% de rendimiento de vapor (carga plena)- de $2000 \text{ kg/m}^2\text{s}$, el rendimiento másico desciende en un tubo más calentado, y aumenta en un tubo menos calentado, referido respectivamente al valor medio del rendimiento másico de todos los tubos. Este comportamiento se ocasiona mediante la fracción relativamente elevada de pérdida de presión de fricción en el descenso de presión total de los tubos evaporadores. Además, las diferencias de longitud relativas de los tubos evaporadores, debido a la altura especialmente reducida de la cámara de combustión horizontal, es sensiblemente mayor que en una cámara de combustión vertical. Esto intensifica adicionalmente las diferencias en la calefacción y en la pérdida de presión de fricción de los tubos evaporadores aislados. Sin embargo, para asegurar aproximadamente las mismas temperaturas entre tubos evaporadores adyacentes, un número de tubos evaporadores de la cámara de combustión está subdividido ventajosamente en un primer grupo y un segundo grupo. En este caso, el primer grupo de tubos evaporadores conectados en paralelo del lado de medio de circulación está conectado con el segundo grupo de tubos evaporadores conectados en paralelo del lado de medio de circulación, en series respecto al medio de circulación.

En una conexión en serie del primer grupo de tubos evaporadores con el segundo grupo de tubos evaporadores se muestra ventajoso que la cámara de combustión esté subdividida en una primera y en una segunda zona a lo largo del sentido de circulación principal del gas de calefacción, estando formada la primera zona por tubos evaporadores del primer grupo, y la segunda zona por tubos evaporadores del segundo grupo. En este caso, la segunda zona del lado de gas de calefacción está dispuesta entre la primera zona y el tiro de gas horizontal. Por lo tanto, la sección de entrada de tubos evaporadores de la primera zona, alimentada con medio de circulación, presenta una temperatura relativamente más reducida que la sección de entrada de tubos evaporadores de la segunda zona en el funcionamiento del generador de vapor. Por lo tanto, debido a la conexión en serie, los tubos evaporadores se alimentan con medio de circulación que ya ha pasado a través de la primera zona. Del mismo modo, la sección de entrada del tiro de gas horizontal presenta una temperatura relativamente más reducida que la sección de entrada de la segunda zona de la cámara de combustión. A través de la subdivisión de cámaras de combustión en zonas cuyos tubos evaporadores están conectados en paralelo a lo largo del sentido de circulación principal del gas de calefacción, en el funcionamiento del generador de vapor se producen diferencias de temperatura especialmente reducidas entre tubos evaporadores adyacentes.

Ventajosamente, al primer grupo y al segundo grupo de tubos evaporadores, en cada caso para el medio de circulación, está pre-conectado un sistema colector de entrada común, y un sistema colector de salida común. Un generador de vapor realizado en este acondicionamiento posibilita una compensación de presión segura entre los tubos evaporadores conectados en paralelo, y por consiguiente una distribución del medio de circulación especialmente conveniente en la puesta en práctica de tubos evaporadores.

Una pared exterior de la cámara de combustión es ventajosamente la pared frontal, cuyos tubos evaporadores en paralelo con medio de circulación.

Los tubos evaporadores de la pared frontal de la cámara de combustión están pre-conectados ventajosamente al primer grupo de tubos evaporadores de la cámara de combustión del lado del medio de circulación. De este modo se garantiza una refrigeración especialmente conveniente de la pared frontal.

En otro acondicionamiento ventajoso, el diámetro interior de tubo de un número de tubos evaporadores de la cámara de combustión es seleccionado dependiendo de la respectiva posición de tubos evaporadores en la cámara de combustión. De este modo, los tubos evaporadores en la cámara de combustión son adaptables a un perfil de calefacción predeterminable del lado del gas. Con la influencia ocasionada de este modo sobre la circulación de tubos evaporadores, a la salida de tubos evaporadores de la cámara de combustión se mantienen reducidas diferencias de temperatura de manera especialmente fiable.

Para una transferencia de calor especialmente buena del calor de la cámara de combustión al medio de circulación conducido a los tubos evaporadores, ventajosamente un número de tubos evaporadores presentan nervios que forman roscas de varios pasos respectivamente en su lado interior. En este caso, un ángulo de pendiente α entre un plano perpendicular al eje del tubo, y los flancos de los nervios dispuestos en el lado interior del tubo, es ventajosamente menor que 60°C , preferentemente menor que 55°C .

Por lo tanto, en un tubo evaporador calentado realizado como tubo evaporador sin nervadura interna, un denominado tubo liso, desde un determinado contenido en vapor ya no se puede mantener la humectación de la pared tubular necesaria para una transferencia de calor especialmente buena. En el caso de humectación deficiente se puede presentar una pared tubular seca en algunas partes. La transición a tal pared tubular seca conduce a un tipo de crisis de transferencia de calor con comportamiento de transferencia de calor empeorado, de modo que generalmente las temperaturas de pared tubular en este punto aumentan con especial intensidad. No obstante, en un tubo nervado in-

teriormente, en comparación con un tubo liso, esta crisis de transferencia de calor se produce sólo con un contenido másico en vapor $> 0,9$, es decir, poco antes del fin de la evaporación. Esto se puede atribuir a la rotación, ya que la circulación pasa a través de los nervios en forma de espiral. Debido a la diferente fuerza centrífuga, la fracción de agua se separa de la fracción de vapor, y se comprime en la pared tubular. De este modo se mantiene la humectación de la pared tubular hasta contenidos en vapor demasiado elevados, de modo que en el lugar de la crisis de transferencia de calor se presentan ya velocidades de circulación elevadas. A pesar de la crisis de transferencia de calor, esto ocasiona una buena transferencia de calor, y como consecuencia temperaturas de pared tubular reducidas.

Un número de tubos evaporadores de la cámara de combustión presenta ventajosamente agentes para la reducción de paso de medio de circulación. En este caso se muestra especialmente conveniente que los agentes estén configurados como instalaciones de estrangulamiento. Las instalaciones de estrangulamiento pueden ser, a modo de ejemplo, elementos de inserción en los tubos evaporadores, que reducen el diámetro interno de tubo en un lugar en el interior del respectivo tubo evaporador.

En este caso, también se muestran ventajosos agentes para la reducción del paso en un sistema de conducción que comprende varios conductos paralelos, a través del cual es alimentable medio de circulación a los tubos evaporadores de la cámara de combustión. En este caso, el sistema de conducción puede estar preconectado también a un sistema colector de entrada de tubos evaporadores alimentables en paralelo con medio de circulación. En un conducto o en varios conductos del sistema de conducción, en este caso pueden estar previstas armaduras de estrangulamiento. Con tales agentes para la reducción del paso de medio de circulación a través de los tubos evaporadores se puede ocasionar una adaptación del rendimiento del medio de circulación a través de tubos evaporadores aislados en su respectiva calefacción en la cámara de combustión. Adicionalmente, de este modo se mantienen especialmente reducidas las diferencias de temperatura del medio de circulación a la salida de tubos evaporadores de modo especialmente seguro.

Las paredes laterales del tiro de gas horizontal y/o del tiro de gas vertical están formadas ventajosamente a partir de tubos generadores de vapor soldados entre sí de manera hermética a gases, dispuestos verticalmente, alimentables en paralelo con medio de circulación.

Los tubos evaporadores, o bien generadores de vapor adyacentes están soldados entre sí a prueba de gases ventajosamente a través de bandas metálicas, los denominados estabilizadores. La anchura de estabilizadores influye sobre la entrada de calor en los tubos generadores de vapor. Por lo tanto, la anchura de estabilizadores está adaptada a un perfil de calentamiento predeterminable del lado del gas, preferentemente dependiendo de la posición de los respectivos tubos evaporadores, o bien generadores de vapor en el generador de vapor. En este caso, como perfil de calentamiento puede estar predeterminado un perfil de calentamiento típico calculado a partir de valores experimentales, o también una estimación grosera, como por ejemplo un perfil de calentamiento gradual. A través de las anchuras de estabilizador seleccionadas de manera apropiada, también en el caso de calentamiento muy diferente de diversos tubos evaporadores, o bien generadores de vapor, se puede conseguir una introducción de calor en todos los tubos evaporadores, o bien generadores de vapor de tal manera que las diferencias de temperatura se mantengan especialmente reducidas a la salida de los tubos evaporadores, o bien generadores de vapor. De este modo se impiden de manera segura fatigas de material prematuras. De esta manera, el generador de vapor presenta un tiempo de vida especialmente largo.

En el tiro de gas horizontal están dispuestas ventajosamente un número de superficies de calefacción de recalentador, que están dispuestos aproximadamente en perpendicular al sentido de circulación principal de gas de calefacción, y cuyos tubos están conectados en paralelo para un paso del medio de circulación. Esta superficies de calefacción de recalentador dispuestas en construcción colgante, también denominadas superficies de calefacción estancas, se calientan predominantemente por convección, y están post-conectadas a los tubos evaporadores de la cámara de combustión del lado del medio de circulación. De este modo se garantiza un aprovechamiento especialmente conveniente del calor de gas de calefacción.

El tiro de gas vertical presenta ventajosamente un número de superficies de calefacción por convección, que están formadas por tubos dispuestos aproximadamente en perpendicular en sentido de circulación principal del gas de calefacción. Estos tubos de una superficie de calefacción por convección están conectados en paralelo para un paso del medio de circulación. También estas superficies de calefacción por convección se calientan predominantemente por convección.

Para garantizar además un aprovechamiento especialmente completo del calor del gas de calefacción, el tiro de gas vertical presenta ventajosamente un economizador.

Los quemadores están dispuestos ventajosamente en la pared frontal de la cámara de combustión, es decir, en aquella pared exterior de la cámara de combustión a la que se enfrenta el orificio de descarga al tiro de gas horizontal. Un generador de vapor configurado de tal manera es adaptable de manera sencilla a la longitud de combustión del combustible. En este caso se debe entender por longitud de combustión del combustible la velocidad de gas de calefacción en sentido horizontal a una determinada temperatura de gas de calefacción media multiplicado por el tiempo de combustión t_A de combustible. En este caso, la longitud de combustión máxima para el respectivo generador de vapor se produce en el rendimiento de vapor del generador de vapor con carga plena, el denominado funcionamiento a plena carga del generador de vapor. El tiempo de combustión t_A es a su vez el tiempo que requiere, a modo de ejemplo, un grano de polvo de carbón de tamaño medio para quemarse completamente a una determinada temperatura media del gas de calefacción.

ES 2 300 253 T3

Para mantener especialmente reducidos daños materiales y una contaminación indeseable del tiro de gas horizontal, debido al ejemplo debido a la introducción de cenizas fundidas de una temperatura elevada, la longitud L de la cámara de combustión, definida a través de la distancia de la pared frontal a la zona de entrada del tiro de gas horizontal, ventajosamente, es al menos igual a la longitud de combustión del combustible en el funcionamiento a carga plena del generador de vapor. Esta longitud L de la cámara de combustión será generalmente mayor que la altura de la cámara de combustión, medida del borde superior de embudo hasta la cubierta de la cámara de combustión.

La longitud L (indicada en m) de la cámara de combustión, para el aprovechamiento especialmente conveniente del calor de combustión del combustible fósil en un acondicionamiento ventajoso, se selecciona como función del valor W de BMCR (indicado en kg/s) del generador de vapor, el tiempo de combustión t_A (indicado en s) del combustible, y la temperatura de salida T_{BRK} (indicada en °C) del gas de calefacción de la cámara de combustión. BMCR representa Boiler maximum continuous rating, y es el concepto empleado internacionalmente de manera habitual para el máximo rendimiento continuo de un generador de vapor. Este corresponde también al rendimiento de diseño, es decir el rendimiento en funcionamiento a plena carga del generador de vapor. En este caso, en el caso de valor W de BMCR dado del generador de vapor, para la longitud L de la cámara de combustión vale aproximadamente el valor máximo de ambas funciones (1) y (2):

$$L(W, t_A) = (C_1 + C_2 \cdot W) \cdot t_A \quad (1)$$

y

$$L(W, T_{BRK}) = (C_3 \cdot T_{BRK} + C_4) W + C_5 (T_{BRK})^2 + C_6 \cdot T_{BRK} + C_7 \quad (2)$$

con

$$C_1 = 8 \text{ m/s}$$

$$C_2 = 0,0057 \text{ m/kg}$$

$$C_3 = -1,905 \cdot 10^{-4} \text{ (m·s)/kg °C}$$

$$C_4 = 0,286 \text{ (s · m)/kg}$$

$$C_5 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m/(°C)}^2$$

$$C_6 = -0,842 \text{ m/°C}$$

$$C_7 = 603,41 \text{ m.}$$

En este caso se debe entender por “aproximadamente” una desviación admisible del valor definido a través de la respectiva función en +20%/-10%.

Las ventajas conseguidas con la invención consisten especialmente en que, mediante la conexión en serie del primer grupo de tubos evaporadores con el segundo grupo de tubos evaporadores también en una cámara de combustión horizontal, se garantizan diferencias de temperatura especialmente reducidas en el funcionamiento del generador de vapor entre tubos evaporadores adyacentes. En este caso, la longitud de la cámara de combustión está diseñada de modo que se garantiza un aprovechamiento especialmente conveniente del calor de combustión del combustible fósil. Mediante el diseño de la cámara de combustión para una circulación del gas de calefacción en sentido aproximadamente horizontal, se da además una construcción especialmente compacta del generador de vapor. En el caso de integración del generador de vapor en una instalación de turbina de vapor, esto posibilita tubos de conexión especialmente cortos del generador de vapor a la turbina de vapor.

Un ejemplo de ejecución de la invención se explica más detalladamente por medio de un dibujo. En este muestran:

la figura 1 esquemáticamente un generador de vapor calentado con combustible fósil en tipo de construcción de dos tiros en vista lateral, y

la figura 2 esquemáticamente un corte longitudinal a través de un tubo evaporador aislado, y

la figura 3 un sistema de coordenadas con las curvas K_1 a K_6 .

En todas las figuras se dotan partes correspondientes entre sí de los mismos signos de referencia.

ES 2 300 253 T3

El generador de vapor 2 según la figura 1 está asignado a una central térmica no representada más detalladamente, que comprende también una instalación de turbina de vapor. En este caso, el vapor generado en el generador de vapor se utiliza para la puesta en marcha de la turbina de vapor, que acciona por su parte un generador para la generación de corriente. La corriente generada a través del generador está prevista en este caso para la alimentación en una red compuesta o de islas. Además, también puede estar prevista una ramificación de una cantidad parcial de vapor para la alimentación en un proceso externo conectado a una instalación de turbina de vapor, en cuyo caso se puede tratar también de un proceso de calefacción.

El generador de vapor 2 calentado con combustible fósil está realizado ventajosamente como generador de vapor de paso. Este comprende una cámara de combustión 4, a la que esta post-conectada del lado de gas de calefacción un tiro de gas vertical 8 a través de un tiro de gas horizontal 6.

Las paredes externas 9 de la cámara de combustión 4 están formadas por tubos evaporadores 10 soldados entre sí, a prueba de gases, dispuestos verticalmente. En este caso, una pared exterior 9 es la pared frontal 11 de la cámara de combustión 4 del generador de vapor 2. Adicionalmente, también las paredes laterales 12 del tiro de gas horizontal 6 y/o las paredes laterales 14 del tiro de gas vertical 8 están formadas por tubos generadores de vapor 16, o bien 17, soldados entre sí, a prueba de gases, dispuestos verticalmente. En este caso, los tubos generadores de vapor 16, 17 se pueden alimentar en cada caso en paralelo con medio de circulación S.

Un número de tubos evaporadores 10 de las paredes exteriores de la cámara de combustión 4 están subdivididos además en un primer grupo 18 y en un segundo grupo 20. En este caso, los tubos evaporadores 10 de un grupo 18, o bien 20, se pueden alimentar respectivamente en paralelo con medio de circulación S. En este caso, el primer grupo 18 de tubos evaporadores 10 está dispuesto en una primera zona 22 de la cámara de combustión 4, y el segundo grupo 20 de los tubos evaporadores 10 está dispuesto en una segunda zona 24 de la cámara de combustión 4. La segunda zona 24 de la cámara de combustión 4 está dispuesta en este caso entre la primera zona 22 de la cámara de combustión, y el tiro de gas horizontal 6, en relación al sentido de circulación principal 26 del gas de calefacción G, aproximadamente horizontal.

Al primer grupo 18 y al segundo grupo 20 de tubos evaporadores 10 de la cámara de combustión 4 está preconectado respectivamente un sistema colector de entrada 28, o bien 30, para medio de circulación S, del lado de medio de circulación, y post-conectado respectivamente un sistema colector de salida 32, o bien 34. En este caso, el sistema colector de salida 32 del primer grupo 18 de tubos evaporadores 10 está unido al sistema colector de entrada 30 del segundo grupo 20 de tubos evaporadores 10 a través de un sistema de conductos 36. A través de los sistemas colectores 28, 30, o bien 30, 34, es posible una compensación de presión entre los tubos evaporadores 10 conectados en paralelo, que ocasiona una distribución conveniente del medio de circulación S en la circulación de tubos evaporadores 10.

Para conseguir una característica de flujo de medio de circulación S a través de las paredes exteriores 9 de la cámara de combustión 9, y con ello un aprovechamiento especialmente bueno del calor de combustión del combustible fósil B, los tubos evaporadores 10 de la pared frontal 11 de la cámara de combustión 4, alimentables en paralelo con medio de circulación S, están preconectados al primer grupo 18 de tubos evaporadores 10 de la cámara de combustión 4 del lado del medio de circulación.

Los tubos evaporadores 10 -como se representa en la figura 2- presentan nervios 40 en su lado interno, que forman una rosca de varios pasos, y tienen una altura de nervio R. En este caso, el ángulo de pendiente α entre el plano 42, perpendicular al eje tubular, y los flancos 44 de los nervios 40 dispuestos en el lado interior del tubo, es menor que 55° . De este modo se consigue una transferencia de calor especialmente elevada de la pared interna de tubos evaporadores al medio de circulación S conducido a los tubos evaporadores 10, con temperaturas de la pared tubular especialmente reducidas al mismo tiempo.

El diámetro interno de tubo D de los tubos evaporadores 10 de la cámara de combustión 4 se selecciona dependiendo de la respectiva posición de tubos evaporadores 10 en la cámara de combustión 4. De este modo, el generador de vapor 2 está adaptado a la calefacción de tubos evaporadores 10, de diferente intensidad. Este diseño de tubos evaporadores 10 de la cámara de combustión 4 garantiza de manera especialmente segura que las diferencias de temperatura se mantengan especialmente reducidas en la salida de los tubos evaporadores 10.

Los tubos evaporadores, o bien generadores de vapor adyacentes 10, 16, 17, están soldados entre sí a prueba de gases a través de estabilizadores de modo no representado más detalladamente. Mediante una selección apropiada de anchura de estabilizadores se puede influir sobre la calefacción de los tubos evaporadores, o bien generadores de vapor 10, 16, 17. Por lo tanto, la respectiva anchura de estabilizadores está adaptada a un perfil de calefacción predeterminable del lado de gases, que depende de la posición de los respectivos tubos evaporadores, o bien generadores de vapor 10, 16, 17 en el generador de vapor. En este caso, el perfil de calefacción puede ser un perfil de calefacción típico determinado a partir de valores experimentales, o también una estimación grosera. De este modo, las diferencias de temperatura en la salida de los tubos evaporadores, o bien generadores de vapor 10, 16, 17, se pueden mantener especialmente reducidos también en el caso de calefacción fuertemente variable de tubos evaporadores, o bien generadores de vapor 10, 16, 17. De este modo se impiden de manera segura fatigas de materiales, lo que garantiza un tiempo de vida largo del generador de vapor 2.

ES 2 300 253 T3

Como agentes para la reducción del flujo del medio de circulación S, una parte de tubos evaporadores 10 están equipados con dispositivos de estrangulamiento, que no están representados más detalladamente en el dibujo. Los dispositivos de estrangulamiento están realizados como filtros perforados que reducen el diámetro interno de tubo D, y ocasionan una reducción del paso de medio de circulación S en tubos evaporadores menos calentados 10 en el funcionamiento del generador de vapor 2, mediante lo cual el paso del medio de circulación S se adapta a la calefacción. Además, como agentes para la reducción del paso del medio de circulación S en el segundo grupo 20 de tubos evaporadores 10 de la cámara de combustión 4, uno o varios conductos del sistema de conducción 36, no representado más detalladamente en el dibujo, están equipados con dispositivos de estrangulamiento, en especial accesorios de estrangulamiento.

En la dotación de tubos de la cámara de combustión 4 se debe considerar que la calefacción de los tubos evaporadores aislados, soldados entre sí a pruebas de gases 10 es muy diferente en el funcionamiento del generador de vapor 2. Por lo tanto, el diseño de un grupo 18, o bien 20 de tubos evaporadores 10 respecto a su nervadura interna, unión por estabilizador con tubos evaporadores adyacentes 10 de un grupo 18, o bien 20, y su diámetro interno de tubo D, se seleccionan de modo que todos los tubos evaporadores 10 de un grupo 18, o bien 20, a pesar de la diferente calefacción, presentan aproximadamente la misma temperatura de salida, y se garantiza un enfriamiento suficiente de todos los tubos evaporadores 10 para todos los estados de operación del generador de vapor 2. Esto se garantiza en especial estando diseñado el generador de vapor 2 para una densidad de corriente másica relativamente reducida del medio de circulación S que a traviesa los tubos evaporadores 10. Mediante una selección apropiada de uniones estabilizadoras y diámetro interno de tubo D se consigue además que la fracción de pérdida de presión por fricción en la pérdida de presión total sea tan reducida que se ajuste un comportamiento de circulación natural: tubos evaporadores 10 más intensamente calentados de un grupo 18, o bien 20, son atravesados con más intensidad que tubos evaporadores 10, más débilmente calentados, de un grupo 18, o bien 20. De este modo se consigue también que los tubos evaporadores 10, fuertemente calentados en comparación, de uno de los grupos 18, o bien 20, absorban de manera específica -referido a la corriente másica- aproximadamente el mismo calor que los tubos evaporadores 10, débilmente calentados en comparación, del mismo grupo 18, o bien 20, que están dispuesto más cerca del extremo de la cámara de combustión en comparación. Otra medida para adaptar a la calefacción la circulación de tubos evaporadores 10 de la cámara de combustión 4 es la incorporación de estranguladores en una parte de tubos evaporadores 10, o de una parte de conductos del sistema de conducción 36. En este caso. La nervadura interna está diseñada de modo que se asegure un enfriamiento suficiente de las paredes de tubo evaporador en ambos grupos 18, o bien 20 de los tubos evaporadores 10. Por consiguiente, con las medidas citadas anteriormente, todos los tubos evaporadores 10 de un grupo 18, o bien 20, presentan aproximadamente las mismas temperaturas de salida.

El tiro de gas horizontal 6 presenta un número de superficies de calefacción de sobrecalentador 50 configuradas como superficies de calefacción estancas, que están dispuestas en modo de construcción colgante aproximadamente en perpendicular al sentido de circulación principal 26 del gas de calefacción G, y cuyos tubos están conectados respectivamente en paralelo para un paso del medio de circulación S. Las superficies de calefacción de sobrecalentador 50 se calienta predominantemente por convección, y están post-conectadas a los tubos evaporadores 10 de la cámara de combustión 4 del lado del medio de circulación.

El tiro de gas vertical 8 presenta un número de superficies de calefacción por convección 52, calentables predominantemente por convección, que están formadas por tubos dispuestos aproximadamente en perpendicular al sentido de circulación principal 26 del gas de calefacción G. Estos tubos están conectados respectivamente en paralelo para un paso del medio de circulación S, y están integrados en la vía del medio de circulación S de modo no representado más detalladamente. Además, en el tiro de gas vertical 8 está dispuesto un economizador 56. El economizador 56 está conectado a través de un sistema de conducción 54 al sistema colector de entrada 28 asignado al primer grupo 18 de tubos evaporadores 10. En este caso, uno o varios conductos del sistema de conducción 54, no representados más detalladamente en el dibujo, pueden presentar accesorios de estrangulamiento para la reducción del flujo del medio de circulación S. El tiro de gas vertical 8 desemboca del lado de salida en un calentador previo de aire, y desde este en una chimenea a través de un filtro de polvo. Las piezas de construcción post-conectadas al tiro de gas vertical 8 no están representadas más detalladamente en el dibujo.

El generador de vapor 2 está realizado con una cámara de combustión horizontal con altura de construcción especialmente reducida, y por lo tanto se pueden montar con gasto de obtención y montaje especialmente reducido. A tal efecto, la cámara de combustión 4 del generador de vapor 2 presenta un número de quemadores 58 para combustible fósil B, que están dispuestos en la pared frontal 11 de la cámara de combustión 4, a la altura del tiro de gas horizontal 6.

Para que el combustible fósil B se queme especialmente por completo para la consecución de un grado de acción especialmente elevado, y para impedir de manera especialmente segura daños materiales de la primera superficie de calefacción de sobrecalentador 50 del tiro de gas horizontal 6, visto del lado del gas de calefacción, y una contaminación de la primera, a modo de ejemplo mediante introducción de cenizas volátiles con temperatura elevada, la longitud L de la cámara de combustión 4 se selecciona de tal manera que sobrepasa la longitud de combustión de combustible B en el caso de funcionamiento a carga plena del generador de vapor 2. En este caso, la longitud L es la distancia de la pared frontal 11 de la cámara de combustión 4 a la zona de entrada 60 del tiro de gas horizontal 6. La longitud de combustión de combustible B está definida en este caso como la velocidad de gas de calefacción en sentido horizontal a una determinada temperatura media de gas de calefacción, multiplicada por el tiempo de combustión t_A del combustible B. La longitud de combustión máxima para el respectivo generador de vapor 2 se produce en el funcionamiento a

ES 2 300 253 T3

carga plena del generador de vapor 2. El tiempo de combustión t_A del combustible B es a su vez el tiempo que requiere, a modo de ejemplo, un grano de polvo de carbón de tamaño medio para la combustión completa a una determinada temperatura media de gas de calefacción.

Para garantizar un aprovechamiento especialmente conveniente del calor de combustión del combustible fósil B, la longitud L (indicada en m) de la cámara de combustión 4 se selecciona de modo apropiado en dependencia de la temperatura de salida del gas de calefacción G de la cámara de combustión 4 T_{BRK} (indicado en °C), del tiempo de combustión t_A (indicado en s) del combustible B, y el valor W de BMCR (indicado en kg/s) del generador de vapor 2. En este caso, BMCR representa Boiler maximum continuous rating. El valor W de BMCR es un concepto empleado internacionalmente de modo habitual para el máximo rendimiento permanente de un generador de vapor. Esto corresponde también al rendimiento de diseño, es decir, al rendimiento en el caso de funcionamiento a carga plena del generador de vapor. Esta longitud horizontal L de la cámara de combustión 4 es, en este caso, mayor que la altura H de la cámara de combustión 4. La altura H se mide en este caso desde el borde superior de embudo de la cámara de combustión 4, marcado en la figura 1 a través de la línea con los puntos extremos (X e Y), hasta la tapa de la cámara de combustión. En este caso, la longitud L de la cámara de combustión 4 se determina aproximadamente a través de ambas funciones (1) y (2):

$$L(W, t_A) = (C_1 + C_2 \cdot W) \cdot t_A \quad (1)$$

y

$$L(W, T_{BRK}) = (C_3 \cdot T_{BRK} + C_4) W + C_5 (T_{BRK})^2 + C_6 \cdot T_{BRK} + C_7 \quad (2)$$

con

$$C_1 = 8 \text{ m/s} \quad y$$

$$C_2 = 0,0057 \text{ m/kg} \quad y$$

$$C_3 = -1,905 \cdot 10^{-4} \text{ (m} \cdot \text{s)/kg } ^\circ\text{C} \quad y$$

$$C_4 = 0,286 \text{ (s} \cdot \text{m)/kg} \quad y$$

$$C_5 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m/} (^\circ\text{C})^2 \quad y$$

$$C_6 = -0,842 \text{ m/} ^\circ\text{C} \quad y$$

$$C_7 = 603,41 \text{ m.}$$

En este caso se debe entender por desviación admisible aproximadamente un +20%/-10% del valor definido a través de la respectiva función. En este caso, en el caso de un valor W de BMCR arbitrario, pero fijo, del generador de vapor, siempre es válido el valor máximo de las funciones (1) y (2) para la longitud L de la cámara de combustión 4.

Como ejemplo de un cálculo de longitud L de la cámara de combustión 4 en dependencia del valor W de BMCR del generador de vapor 2, en el sistema de coordenadas según la figura 3 están representadas seis curvas K_1 a K_6 . En este caso se asignan a las curvas los siguientes parámetros en cada caso:

$$K_1: t_A = 3 \text{ s} \quad \text{según (1),}$$

$$K_2: t_A = 2,5 \text{ s} \quad \text{según (1),}$$

$$K_3: t_A = 2 \text{ s} \quad \text{según (1),}$$

$$K_4: T_{BRK} = 1200^\circ\text{C} \quad \text{según (2),}$$

$$K_5: T_{BRK} = 1300^\circ\text{C} \quad \text{según (2) y}$$

$$K_6: T_{BRK} = 1400^\circ\text{C} \quad \text{según (2).}$$

Por consiguiente, para la determinación de la longitud L de la cámara de combustión 4, a modo de ejemplo para un tiempo de combustión $t_A = 3 \text{ s}$ y una temperatura de salida $T_{BRK} = 1200^\circ\text{C}$ del gas de calefacción G de la cámara de combustión 4, se debe recurrir a las curvas K_1 y K_4 . De ello resulta, con un valor W de BMCR predeterminado del generador de vapor 2

ES 2 300 253 T3

de $W = 80$ kg/s una longitud de $L = 29$ m según K_4 ,

de $W = 160$ kg/s una longitud de $L = 34$ m según K_4 ,

5 de $W = 560$ kg/s una longitud de $L = 57$ m según K_4 .

Para el tiempo de combustión $t_A = 2,5$ s y la temperatura de salida del gas de calefacción G de la cámara de combustión $T_{BRK} = 1300^\circ\text{C}$, se debe recurrir, a modo de ejemplo, a las curvas K_2 y K_5 . De ello resulta, con un valor W de BMCR predeterminado del generador de vapor 2

10

de $W = 80$ kg/s una longitud de $L = 21$ m según K_2 ,

de $W = 180$ kg/s una longitud de $L = 23$ m según K_2 y K_5 ,

15

de $W = 560$ kg/s una longitud de $L = 37$ m según K_5 .

El tiempo de combustión $t_A = 2$ s y la temperatura de salida del gas de calefacción G de la cámara de combustión $T_{BRK} = 1400^\circ\text{C}$ se asignan, a modo de ejemplo a las curvas K_3 y K_6 . De ello resulta, con un valor W de BMCR predeterminado del generador de vapor 2

20

de $W = 80$ kg/s una longitud de $L = 18$ m según K_3 ,

de $W = 465$ kg/s una longitud de $L = 21$ m según K_3 y K_6 ,

25

de $W = 560$ kg/s una longitud de $L = 23$ m según K_6 .

En el funcionamiento del generador de vapor 2 se alimenta a los quemadores 58 combustible fósil B. Las llamas F de los quemadores 58 están orientadas horizontalmente en este caso. A través del modo de construcción de la cámara de combustión 4 se genera una corriente de gas de calefacción G producida en la combustión en sentido de circulación principal 26 aproximadamente horizontal. Este llega a través del tiro de gas horizontal 6 al tiro del gas vertical 8, aproximadamente orientado hacia el suelo, y abandona el mismo en el sentido de la chimenea no representada más detalladamente.

30

El medio de circulación S que entra en el economizador 56 llega a través del sistema de conducción 54 al sistema colector de entrada 28 del primer grupo 18 de tubos evaporadores 10 de la cámara de combustión 4 del generador de vapor 2. En el primer grupo 18 de tubos evaporadores 10 dispuestos verticalmente, soldados entre sí a prueba de gases, de la cámara de combustión 4 del generador de vapor 2, tiene lugar la evaporación, y en caso dado un sobrecalentamiento parcial del medio de circulación S . El vapor producido en este caso, o bien una mezcla de agua-vapor, se recoge en el sistema colector de salida 32 para medio de circulación S . Desde este, el vapor, o bien la mezcla de agua-vapor, llega a través del sistema de conducción 36 al sistema colector de entrada 30 asignado al segundo grupo 40 de tubos evaporadores 10. El vapor producido en el segundo grupo 20 de tubos evaporadores 10, o bien la mezcla de agua-vapor, llega a través del sistema colector de salida 34 a las paredes del tiro de gas horizontal 6 y del tiro de gas vertical 8, y desde aquí de nuevo a la superficies de calefacción de sobrecalentador 50 del tiro de gas horizontal 6. En las superficies de calefacción de sobrecalentador 50 se efectúa otro sobrecalentamiento de vapor, que se alimenta a 45 continuación a una utilización, a modo de ejemplo la puesta en funcionamiento de una turbina de vapor.

Con la formación de grupos de tubos evaporadores 10 de la cámara de combustión 4 se garantizan de manera especialmente sencilla diferencias de temperatura especialmente reducidas entre tubos evaporadores adyacentes 10 en todos los estados de carga del generador de vapor 2. De este modo, las diferencias de temperatura en la zona de entrada 50 del medio de circulación S entre tubos evaporadores adyacentes 10 de la pared frontal 11 y de la primera zona 22, o bien de la primera zona 22 y de la segunda zona 24, son relativamente más reducidas si la pared frontal 11 limitara directamente con la segunda zona 24. Además, también la diferencia de temperaturas entre tubos evaporadores directa o indirectamente adyacentes 10 de la segunda zona 24 y los tubos generadores de vapor 16 del tiro de gas horizontal 6, sería relativamente más reducida que la que se daría sin una conexión en serie de grupos 18 y 20 de tubos evaporadores 55 10.

En este caso, mediante una selección de la longitud L de la cámara de combustión 4 en dependencia del valor W de BMCR del generador de vapor 2 se asegura que el calor de combustión del combustible fósil B se aprovecha de modo especialmente seguro. Además, el generador de vapor 2 se puede montar con gasto de obtención y montaje especialmente reducido a través de su altura de construcción especialmente reducida, y modo de construcción compacto. En este caso puede estar prevista una estructura elaborable con gasto técnico relativamente reducido. En una instalación de turbinas de vapor con el generador de vapor 2 que presenta altura de construcción tan reducida, se pueden diseñar además especialmente cortos los tubos de unión del generador de vapor 2 con la turbina de vapor.

65

REIVINDICACIONES

1. Generador de vapor (2) con una cámara de combustión (4) para combustible fósil (B), que está post-conectado del lado de gas de calefacción a un tiro de gas vertical (8) a través de un tiro de gas horizontal (6), comprendiendo la cámara de calefacción (4) una altura de quemadores (58) dispuestos a la altura del tiro de gas horizontal (6), **caracterizado** porque las paredes exteriores (9) de la cámara de combustión (4) están formadas por tubos evaporadores (10) soldados entre sí a prueba de gases, dispuestos verticalmente, estando subdividido un número de tubos evaporadores (10) en un primer grupo (18) y en un segundo grupo (20), pudiéndose cargar el primer grupo (18) y el segundo grupo (20) de tubos evaporadores (10) con medio de circulación (S) respectivamente en paralelo, y estando post-conectado el segundo grupo (18) al primer grupo (20) de tubos evaporadores (10) en sentido de circulación del medio de circulación en serie, y en el que las paredes exteriores (9) de la cámara de combustión (4) a lo largo del sentido de circulación principal (26) del gas de calefacción (G) están subdivididas en una primera zona (22) y en una segunda zona (24), estando formada la primera zona (22) por tubos evaporadores (10) del primer grupo (18), y la segunda zona (24) por tubos evaporadores (10) del segundo grupo (20), y estando dispuesta la segunda zona (24) entre la primera zona (22) y el tiro de gas horizontal (6) del lado de gas de calefacción.

2. Generador de vapor (2) según la reivindicación 1, en el que tanto al primer grupo, como también al segundo grupo de tubos evaporadores (10) está pre-conectado respectivamente un sistema colector de entrada común (28, 30) para medio de circulación (S) del lado del medio de circulación, y está post-conectado un sistema colector de salida común (32, 34).

3. Generador de vapor (2) según una de las reivindicaciones 1 o 2, en el que una pared exterior (9) de la cámara de combustión (4) es la pared frontal (11), pudiéndose cargar los tubos evaporadores (10) de la pared frontal (9) con medio de circulación (S) en paralelo.

4. Generador de vapor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que los tubos evaporadores (10) de la pared frontal (11) de la cámara de combustión (4) están preconectados del lado de medio de circulación al primer grupo (18) de tubos evaporadores (10) de la cámara de combustión (4).

5. Generador de vapor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el diámetro interno de tubo (D) de un número de tubos evaporadores (10) de la cámara de combustión (4) se selecciona en dependencia de la respectiva posición de tubos evaporadores (10) en la cámara de combustión (4).

6. Generador de vapor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que un número de tubos evaporadores (10) porta respectivamente nervios (40) que forman una rosca de varios pasos en su lado interno.

7. Generador de vapor (2) según la reivindicación 6, en el que un ángulo de pendiente (α) entre un plano perpendicular al eje tubular (42) y los flancos (44) de los nervios (40) dispuestos en el lado interior del tubo, es menor que 60°, preferentemente menor que 55°.

8. Generador de vapor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que un número de tubos evaporadores (10) presenta respectivamente una instalación de estrangulamiento.

9. Generador de vapor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que está previsto un sistema de conducción (19) para la alimentación de medio de circulación (S) en los tubos evaporadores (10) de la cámara de combustión (4), presentando un sistema de conducción (19) un número de instalaciones de estrangulamiento, en especial accesorios de estrangulamiento, para la reducción de flujo de medio de circulación (S).

10. Generador de vapor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que las paredes laterales (12) del tiro de gas horizontal (6) están formadas por tubos generadores de vapor (16) soldados entre sí a prueba de gases, dispuestos verticalmente, alimentables en paralelo con medio de circulación (S).

11. Generador de vapor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que las paredes laterales (14) del tiro de gas vertical (8) están formadas por tubos generadores de vapor (17) soldados entre sí a prueba de gases, dispuestos verticalmente, alimentables en paralelo con medio de circulación (S).

12. Generador de vapor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 11, en el que los tubos evaporadores, o bien generadores de vapor adyacentes (10, 16, 17) están soldados entre sí a prueba de gases a través de estabilizadores, seleccionándose la anchura de estabilizador dependiendo de la respectiva posición de tubos evaporadores, o bien generadores de vapor (10, 16, 17) en la cámara de combustión (4) del tiro de gas horizontal (6) y/o del tiro de gas vertical (8).

13. Generador de vapor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 12, en el que un número de superficies de calefacción de sobrecalentador (50) en el tiro de gas horizontal (6) está dispuesto en construcción colgante.

14. Generador de vapor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 13, en el que un número de superficies de calefacción por convección (52) está dispuesto en el tiro de gas vertical (8).

ES 2 300 253 T3

15. Generador de vapor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 14, en el que los quemadores (58) están dispuestos en la pared frontal (11) de la cámara de combustión (4).

5 16. Generador de vapor (2) según una de las reivindicaciones 1 a 15, en el que la longitud (L) de la cámara de combustión (4), definida a través de la distancia de la pared frontal (11) de la cámara de combustión (4) a la zona de entrada (60) del tiro de gas horizontal (6), es al menos igual que la longitud de combustión de combustible (B) en el caso de funcionamiento a carga plena del generador de vapor (2).

10 17. Generador de vapor según una de las reivindicaciones 1 a 16, en el que la longitud (L) de la cámara de combustión (4) se selecciona como función del valor de BMCR (W), el tiempo de combustión (t_A) del quemador (58) y/o la temperatura de salida (T_{BRK}) del gas de calefacción (G) de la cámara de combustión (4) aproximadamente según ambas funciones (1) y (2)

$$15 \quad L(W, t_A) = (C_1 + C_2 \cdot W) \cdot t_A \quad (1)$$

y

$$20 \quad L(W, T_{BRK}) = (C_3 \cdot T_{BRK} + C_4) W + C_5 (T_{BRK})^2 + C_6 \cdot T_{BRK} + C_7 \quad (2)$$

con

$$25 \quad C_1 = 8 \text{ m/s} \quad y$$

$$C_2 = 0,0057 \text{ m/kg} \quad y$$

$$30 \quad C_3 = -1,905 \cdot 10^{-4} \text{ (m}\cdot\text{s)/kg }^\circ\text{C} \quad y$$

$$C_4 = 0,2857 \text{ (s} \cdot \text{m)/kg} \quad y$$

$$C_5 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m/}^\circ\text{C}^2 \quad y$$

$$35 \quad C_6 = -0,8421 \text{ m/}^\circ\text{C} \quad y$$

$$C_7 = 603,4125 \text{ m,}$$

siendo válido para un valor de BMCR (W) el valor máximo en cada caso de longitud (L) de cámara de combustión (4).

45

50

55

60

65

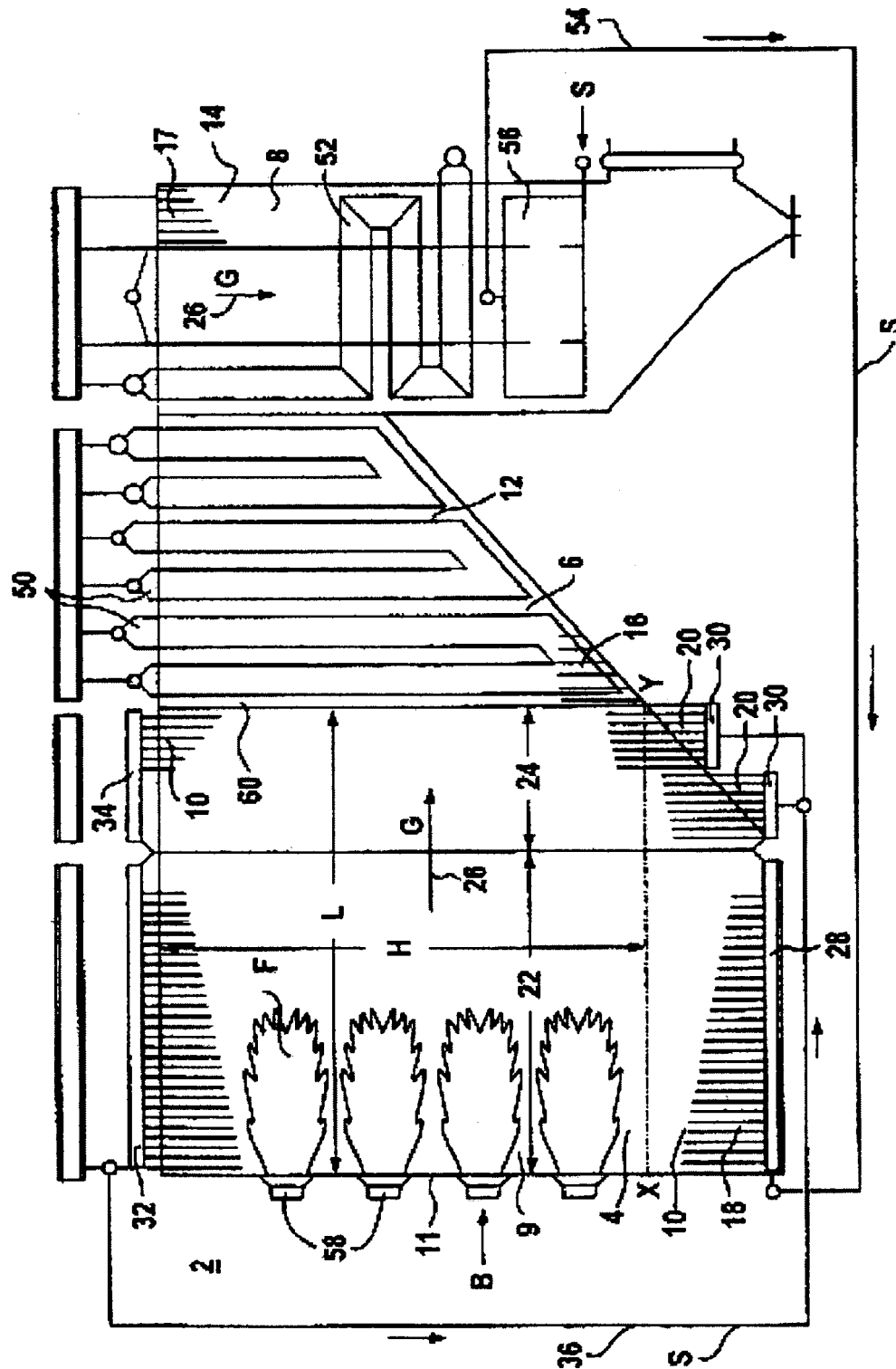


FIG 1

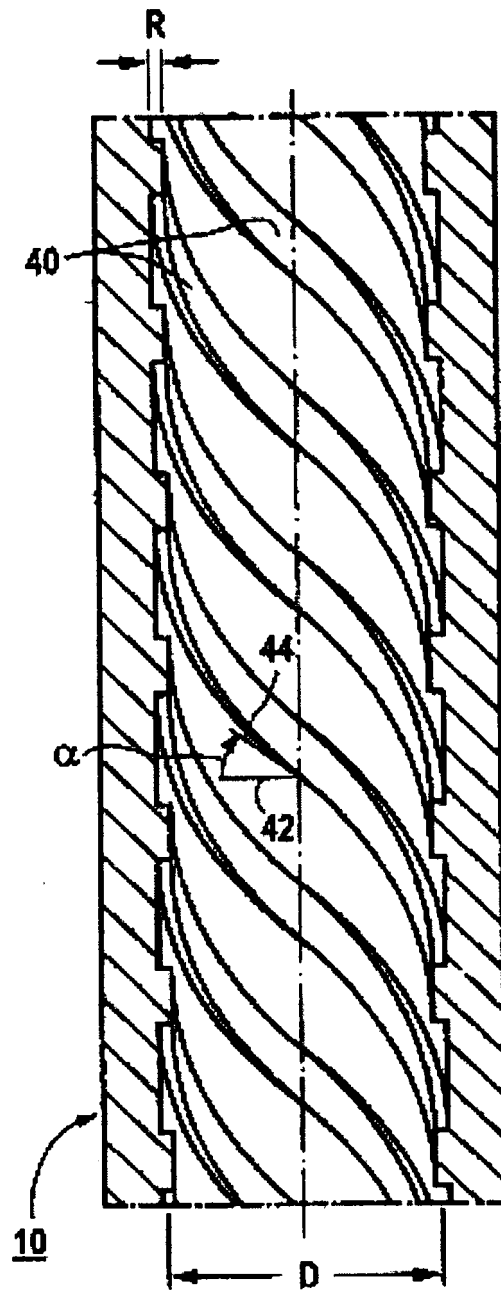


FIG 2

