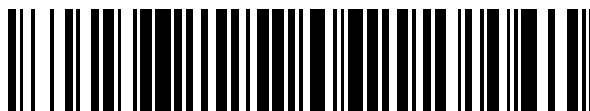


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 748 856**

51 Int. Cl.:

**F28D 7/06** (2006.01)

**F28F 19/00** (2006.01)

**F28D 21/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.11.2011 E 11009291 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2019 EP 2482020**

54 Título: **Intercambiador de calor**

30 Prioridad:

**31.01.2011 DK 201100061**

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

**18.03.2020**

73 Titular/es:

**HALDOR TOPSØE A/S (100.0%)**

**Haldor Topsøes Allé 1**

**2800 Kgs. Lyngby, DK**

72 Inventor/es:

**HØST-MADSEN, SVEND**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 748 856 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

Intercambiador de calor

5 La presente invención se refiere al intercambio de calor en un intercambiador de calor de tubo en U diseñado para operar en condiciones críticas del proceso tales como altas temperaturas, grandes diferencias de temperatura, altas diferencias de presión y medios agresivos. Más particularmente, la invención se refiere a una caldera de calor residual de tubo en U y más particularmente a una caldera de calor residual de gas de síntesis con agua o vapor como medio de refrigeración.

10 A continuación, la presente invención será explicada en relación con una caldera de calor residual con gas de síntesis como medio de calentamiento y agua o vapor como el medio de refrigeración. Ha de entenderse que el intercambiador de calor de acuerdo con la presente invención también se aplica a las calderas de calor residual para otros medios de calentamiento y refrigeración o incluso a otras áreas de intercambio de calor con condiciones de funcionamiento desafiantes donde se ha tener el debido cuidado contra daños materiales sin pérdidas de alta presión inaceptables en el intercambiador de calor.

15 La producción industrial de amoníaco está basada en el proceso de síntesis de amoníaco por el cual el hidrógeno y el nitrógeno reaccionan al amoníaco en un proceso exotérmico. La síntesis de amoníaco es realizada en un reactor a alta presión y temperatura elevada, cuando el nitrógeno y el hidrógeno fluyen a través de un lecho con un catalizador apropiado. Tal reactor se llama convertidor de amoníaco. El calor producido por el proceso exotérmico en el convertidor es recuperado a menudo mediante la producción de vapor en una caldera de calor residual de gas de síntesis. La caldera de calor residual de gas de síntesis es un intercambiador de calor en el que el gas caliente del convertidor de amoníaco es enfriado por transferencia indirecta de calor al agua hirviendo.

20 La caldera de calor residual de gas de síntesis está funcionando en condiciones desafiantes que de muchas maneras requieren un diseño especial de la caldera. Las condiciones más severas están relacionadas con uniones de tubo de gas de entrada a lámina de tubo.

25 En el intercambiador de calor de acuerdo con la invención, no hay uniones de tubo de gas de entrada a lámina de tubo. Además, la lámina del tubo, así como las juntas de la lámina del tubo solo están expuestas al medio de calentamiento después de que haya sido enfriado. Por lo tanto, la mayoría de las causas de fallo de la caldera son evitadas por el diseño de acuerdo con la presente invención.

## ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Un intercambiador de calor tal como una caldera de calor residual de gas de síntesis está sujeto a una serie de condiciones especiales, que son difíciles de explicar por combinación en un diseño.

30 Estas condiciones están relacionadas con la presión, temperatura, nitruración, ataque de hidrógeno y corrosión bajo tensión.

35 El gas de síntesis de amoníaco estará típicamente a una presión de 120 - 220 bar. El agua hirviendo típicamente estará a baja presión (5 - 15 bar), media presión (30 - 50 bar) o alta presión (90 - 130 bar). Las paredes de separación entre el gas de síntesis y el agua hirviendo deben estar diseñadas para la mayor diferencia de presión de los dos fluidos. En los intercambiadores de calor de carcasa y tubo, esto normalmente dará como resultado láminas de tubo muy gruesas habitualmente con un grosor de 300-450 mm.

El gas de síntesis de amoníaco puede estar entre 380 °C y 500 °C en la entrada a la caldera y entre 200 °C y 380 °C en la salida. El agua hirviendo puede estar entre 150 °C y 330 °C, dependiendo de la presión del vapor.

40 Las calderas de calor residual de gas de síntesis están diseñadas a menudo como intercambiadores de tubos en U con una lámina de tubo muy gruesa. La lámina de tubo gruesa obtendrá una temperatura del metal que está cerca de la temperatura del gas de los tubos penetrantes de la lámina. En el caso de los tubos en U, esto en la técnica conocida implicará que el área del tubo de entrada estará caliente mientras que el área del tubo de salida estará fría. Las altas tensiones inducidas térmicamente son por lo tanto un riesgo, si la diferencia de temperatura entre el gas de entrada y el de salida es demasiado alta. En caso de producción de vapor a baja y media presión, es deseable si una diferencia de temperatura de 200 °C a 300 °C pudiera ser aceptable. Sin embargo, en la técnica conocida se ha mostrado que es difícil o imposible diseñar una caldera de calor residual de tubo en U para una diferencia de temperatura tan grande.

45 La nitruración es un ataque de materiales causado por el contenido de amoníaco del gas de síntesis. La gravedad de la nitruración depende de la aleación metálica y la temperatura del metal. Los aceros de baja aleación son atacados de manera inaceptable a 380 °C. El acero inoxidable puede ser utilizado a 450 °C o más y el Iconell no será atacado severamente incluso a 500 °C. El área del tubo de entrada de la lámina del tubo en una caldera de tubo en U estará a menudo más caliente que 420 °C. Los materiales, en contacto con el gas de síntesis deben ser por lo tanto de alta aleación. Se requerirá una protección de la superficie mediante revestimiento metálico o recubrimiento en el lado del gas de la lámina del tubo y a través de la superficie del orificio de entrada.

El ataque de hidrógeno causará fragilidad en los materiales cuando son expuestos a gases que contengan hidrógeno. Los parámetros importantes son la presión parcial de hidrógeno, la temperatura y los elementos de aleación del acero. Se requerirá típicamente una aleación de acero de 2% de Cr y 1% de Mo por la composición, presión y temperatura del gas de síntesis industrial.

- 5 La corrosión bajo tensión es un riesgo para los materiales en relación con el agua. Sin embargo, este tipo de corrosión no es crítica para los materiales ferríticos, mientras que los materiales austeníticos son sensibles a este tipo de ataque.

10 La caldera de calor residual de gas de síntesis típica es un intercambiador de calor de tubo en U con gas de síntesis en el lado del tubo y agua/vapor en el lado de la carcasa. La lámina del tubo es muy gruesa. El lado de entrada de la lámina del tubo está protegido por revestimiento metálico Inconell. Si los tubos están soldados al lado del gas de la lámina de tubo, los tubos deben estar revestidos en la superficie interior con Inconell a través de toda la lámina de tubo. Si los tubos están soldados al lado del agua de la lámina de tubo, los orificios de entrada de la lámina de tubo deben estar protegidos por un revestimiento Inconell.

15 Las calderas de calor residual de gas de síntesis fallan a menudo debido a grietas causadas por uno o una combinación de los fenómenos mecánicos y/o de corrosión descritos. Las condiciones más severas entre estas están concentradas alrededor de los orificios del tubo de entrada. Esto es debido a la alta temperatura, la diferencia de temperatura entre los tubos de entrada y salida, la corrosión bajo tensión, la acumulación de hidrógeno entre materiales de diferente composición, nitruración y ataque de hidrógeno. Otro aspecto de la caldera de gas de síntesis es la caída de presión del gas de síntesis a través del intercambiador, que tiene que ser mantenida baja debido a consideraciones de consumo de potencia/energía del compresor de gas de síntesis.

20 En el documento US 3568764 se ha descrito un intercambiador de calor de tubo en U donde hay previsto un deflector adyacente al lado de salida de la lámina de tubo del intercambiador de calor de paso de tubo múltiple. Una parte del fluido de entrada frío es hecha pasar entre el deflector y la lámina del tubo, en lugar de a través de los tubos, de modo que la lámina de tubo es mantenida a una temperatura sustancialmente uniforme y fría. Las virolas pasan las partes de gas de salida calentadas desde los tubos a la cámara de salida del canal. La eficiencia del intercambio de calor es sin embargo reducida debido a la parte de fluido de entrada que puentea los tubos de intercambio de calor. El fluido de calentamiento está en el lado de la carcasa del intercambiador, lo cual es contrario a la presente invención donde el fluido de refrigeración está en el lado de la carcasa.

25 En el documento EP 0860673 se ha descrito una solución a los problemas anteriores mediante un intercambiador de calor de tubo de fuego con una pluralidad de tubos de intercambio de calor, en el que los tubos de intercambio de calor tienen la forma de un tubo doble con un tubo exterior cerrado en un extremo y un tubo interior de extremo abierto separado del tubo exterior, adaptado para intercambiar calor entre un gas caliente en el lado del tubo del tubo exterior y un fluido en el lado de la carcasa del tubo. Aunque resuelve los problemas mencionados anteriormente, esta solución tiene sin embargo una caída de presión considerable en el lado del tubo en comparación con un intercambiador de tubo en U, lo que hace la solución más costosa debido a los gastos en relación con la superficie de intercambio de calor aumentada para una caída de presión dada.

35 En el documento US4287944A (DE2804187) se ha descrito un intercambiador de calor para enfriar gases de proceso que están bajo alta presión y temperatura. El calor extraído es utilizado para la generación de vapor a alta presión de acuerdo con el principio de circulación natural. El intercambiador de calor comprende tubos en U insertados en suspensión en una placa o lámina de tubo. Se han previsto dos cámaras encima de la placa, están separadas entre sí, y están destinadas a la circulación de refrigerante-vapor. Un alojamiento rodea el haz de tubos en U y está conectado a las cámaras y debajo de ellas. El alojamiento tiene al menos una entrada de gas de proceso y al menos una salida de gas de proceso. Un brazo de cada tubo en U está construido como un tubo doble. El tubo interior tiene la función de un tubo de gravedad, y el conducto anular restante, así como el resto de cada tubo en U, tiene la función de tubos ascendentes.

#### RESUMEN DE LA INVENCION

45 Un objeto de esta invención es evitar los inconvenientes de los intercambiadores de calor de la técnica conocida, en particular las calderas de calor residual conocidas, proporcionando un intercambiador de calor de tubo en U con una transferencia de calor justa, resistencia al deterioro del material y baja caída de presión.

50 Esto es conseguido mediante un intercambiador de calor de acuerdo con la reivindicación 1 independiente. La invención también proporciona un proceso para intercambiar calor del gas de síntesis de amoníaco como medio de calentamiento en el lado del tubo en un intercambiador de calor de acuerdo con la reivindicación independiente del dispositivo. Además, la invención comprende una reivindicación para la utilización del intercambiador de calor antes mencionado.

#### DESCRIPCION DE LA INVENCION

La presente invención será tratada con más detalle con referencia a las realizaciones específicas en los dibujos que se refieren a un intercambiador de calor de caldera de calor residual:

La fig. 1 es una vista en sección transversal de una realización de una caldera de calor residual de acuerdo con la invención, y

La fig. 2 es una vista en sección transversal de un detalle de tubo en U en una realización de una caldera de calor residual de acuerdo con la invención.

5 NÚMEROS DE POSICIÓN

- 101) Lámina de tubo
- 102) Orificios de lámina de tubo
- 103) Tubos en U de intercambio de calor
- 104) Tubos de entrada
- 10 105) Placa de tubo de entrada
- 106) carcasa de presión lateral del medio de refrigeración
- 107) cámara del medio de refrigeración
- 108) boquilla de entrada del medio de refrigeración
- 109) boquilla de salida del medio de refrigeración
- 15 110) Carcasa de presión lateral del medio de calentamiento
- 111) Cámara del medio de calentamiento
- 112) Cámara de entrada del medio de calentamiento
- 113) Cámara de salida del medio de calentamiento
- 114) Boquilla de entrada del medio de calentamiento
- 20 115) Boquilla de salida del medio de calentamiento
- 116) Aislamiento del tubo de entrada

La lámina (101) de tubo está conectada en un lado a la carcasa (106) de presión lateral del medio de refrigeración (por ejemplo, agua/vapor) y en el otro lado está conectada a la carcasa (110) de presión lateral del medio de calentamiento y forma la separación entre la cámara (107) del medio de refrigeración y la cámara (111) del medio de calentamiento (por ejemplo, gas de síntesis). La lámina de tubo está perforada con varios orificios (102) de lámina de tubo. Los tubos en U (103) de intercambio de calor están soldados a la lámina (101) de tubo en ambos extremos de los tubos en U en los orificios (102) de lámina de tubo. Los tubos en U (103) de intercambio de calor se extienden hacia la cámara (107) del medio de refrigeración. Una placa (105) de tubo de entrada es colocada dentro de la cámara (111) del medio de calentamiento. La placa (105) de tubo de entrada está perforada con orificios correspondientes a los orificios en la lámina (101) de tubo. Los tubos de entrada (104) con un diámetro exterior menor que el diámetro interior de los tubos en U (103) de intercambio de calor están fijados a los orificios de la placa (105) del tubo de entrada y se extienden hacia el interior de los tubos en U (103) de intercambio de calor. La placa (105) del tubo de entrada está conectada a la boquilla (114) del medio de calentamiento por medio de placas y carcasas que forman una cámara (112) de entrada del medio de calentamiento estanca a los gases. Los tubos de entrada (104) están cubiertos con una capa de aislamiento (116) del tubo de entrada.

Un medio de refrigeración como por ejemplo el agua de alimentación hirviendo de un tambor de vapor está fluyendo hacia la cámara (107) del medio de refrigeración a través de la boquilla (108) de entrada del medio de refrigeración. Los tubos en U (103) de intercambio de calor están suministrando calor para hervir en la cámara (107) del medio de refrigeración. Una mezcla de agua y vapor está dejando la cámara (107) del medio de refrigeración a través de las boquillas (109) de salida del medio de refrigeración. Un medio de calentamiento tal como por ejemplo el gas de síntesis caliente de un convertidor de amoníaco entra en la cámara (111) de entrada del medio de calentamiento a través de la boquilla (114) de entrada del medio de calentamiento. El gas de síntesis fluye luego a través de los orificios de la placa (105) del tubo de entrada, a través de los tubos de entrada (104) hacia los tubos en U (103) de intercambio de calor. En cada tubo en U de intercambio de calor, una primera parte del flujo de gas de síntesis está cambiando la dirección del flujo, volviendo a los tubos en U en el anillo, fuera de los tubos de entrada (104) y dentro de los tubos en U (103) de intercambio de calor, de vuelta a la cámara (113) de salida del medio de calentamiento. Una segunda parte del flujo de gas de síntesis en cada tubo en U de intercambio de calor fluye más hacia la curva en U del tubo en U y fluye hacia la cámara (113) de salida del medio de calentamiento. El gas de síntesis abandona entonces el intercambiador de calor a través de la boquilla (115) de salida del medio de calentamiento.

Cuando el gas de síntesis está fluyendo en el anillo entre el tubo de entrada (104) y el tubo en U (103) de intercambio de calor, es enfriado mientras está transfiriendo su calor mediante transferencia de calor indirecta al agua hirviendo. La transferencia de calor entre el gas de entrada, que fluye dentro de los tubos de entrada (104) y el gas que fluye en el anillo es evitado por medio de la capa (116) de aislamiento del tubo de entrada.

- 5 El beneficio característico del intercambiador de calor de acuerdo con la invención es que la lámina (101) de tubo gruesa solo entrará en contacto con el gas de síntesis de salida enfriado. Los problemas experimentados con las calderas de calor residual de gas de síntesis, como se describió anteriormente, relacionados con el gas de entrada caliente y la diferencia de temperatura entre los tubos en la lámina de tubo gruesa son minimizados de este modo. La placa (105) del tubo de entrada de la invención es delgada porque es una parte sin presión y puede estar hecha de acero austenítico de alta aleación porque no está en contacto con el agua. El intercambiador de calor de acuerdo con la invención tiene una caída de presión reducida en comparación con los intercambiadores de calor de tubo ciego ya que la corriente de gas es dividida en dos cuando abandona los tubos de entrada. Las caídas de presión y los coeficientes de transferencia de calor de la primera y segunda corrientes de gas que fluyen a través de una primera y una segunda partes y la salida de los tubos en U pueden ser equilibradas de tal manera que la temperatura del gas de síntesis sea similar en ambos extremos de salida de los tubos en U.
- 10
- 15

Esto puede hacerse en una realización reduciendo el diámetro del segundo extremo de los tubos en U como se ve en la Fig. 2.

## REIVINDICACIONES

1. Un intercambiador de calor de tubo en U para intercambiar calor de un gas de síntesis de amoníaco como el medio de calentamiento en el lado del tubo con un medio de refrigeración, comprendiendo el intercambiador de calor

- 5
- una cámara (107) de medio de refrigeración con una entrada (108) y una salida (109)
  - una cámara (112) de entrada de medio de calentamiento con una entrada (114)
  - una cámara (113) de salida de medio de calentamiento con una salida (115)
  - una lámina (101) de tubo con una pluralidad de orificios (102) de lámina de tubo, la lámina de tubo separa la cámara del medio de refrigeración en un primer lado de la cámara de salida del medio de calentamiento en el segundo lado
- 10
- una pluralidad de tubos en U (103) de intercambio de calor que tienen un primer y un segundo extremo
  - una pluralidad de tubos de entrada (104) que tienen un extremo de entrada y de salida, cada tubo de entrada corresponde a uno de los tubos en U
  - una placa (105) de tubo de entrada dispuesta de manera que separa la cámara de entrada del medio de calentamiento de la cámara de salida del medio de calentamiento, la placa de tubo de entrada tiene una pluralidad de orificios de placa de tubo de entrada,
- 15

dicha pluralidad de tubos en U de intercambio de calor están dispuestos en la lámina de tubo con dicho primer y segundo extremo conectados a la circunferencia de un orificio de lámina de tubo cada uno, los tubos en U se extienden dentro de la cámara del medio de refrigeración en contacto con el medio de refrigeración en el lado de la carcasa de los tubos en U, y dicha pluralidad de tubos de entrada están dispuestos en la placa del tubo de entrada con el extremo de entrada conectado a la circunferencia de un orificio de placa de tubo de entrada cada uno, en el que el extremo de salida de cada uno de los tubos de entrada está dispuesto dentro del primer extremo de un tubo en U de intercambio de calor correspondiente, el diámetro exterior de cada tubo de entrada es más pequeño que el diámetro interior del primer extremo de los tubos en U de intercambio de calor correspondientes en al menos la parte de cada tubo en U donde el tubo de entrada correspondiente está dispuesto dentro formando por ello un anillo entre ellos, de tal manera que una primera parte del medio de calentamiento está cambiando la dirección de flujo que regresa en los tubos en U en el anillo y una segunda parte del flujo del medio de calentamiento en cada tubo en U de intercambio de calor fluye adicionalmente en la curva en U del tubo en U, la única conexión de fluido entre la cámara de entrada del medio de calentamiento y la lámina de tubo y el interior de los tubos en U es a través del paso de fluido de la entrada tubos, por lo que tanto el primer y el segundo extremo de los tubos en U así como también la lámina de tubo están en contacto solo con el medio de calentamiento enfriado en el lado de tubo de los tubos en U y la lámina del tubo, y en el que al menos parte de la pluralidad de tubos de entrada dispuestos dentro de un tubo en U correspondiente está aislada térmicamente.

2. Un intercambiador de calor de tubo en U según la reivindicación 1, en el que la pluralidad de tubos de entrada no está en contacto con la pluralidad de tubos en U.

3. Un intercambiador de calor de tubo en U según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el diámetro del segundo extremo de cada uno de los tubos en U es menor que el diámetro del primer extremo de dicho tubo en U.

4. Un proceso para intercambiar calor de gas de síntesis de amoníaco como medio de calentamiento en el lado de tubo con un medio de refrigeración en un intercambiador de calor de tubo en U de acuerdo con la reivindicación 1, el proceso comprende las operaciones de

a) proporcionar un flujo del medio de refrigeración a través de la entrada del medio de refrigeración a la cámara del medio de refrigeración, donde el medio de refrigeración contacta el lado de carcasa de los tubos en U, y sale de la cámara del medio de refrigeración a través de la salida del medio de refrigeración,

b) proporcionar un flujo de gas de síntesis de amoníaco como medio de calentamiento a la cámara del medio de calentamiento a través de la entrada del medio de calentamiento,

c) proporcionar el flujo del gas de síntesis de amoníaco adicionalmente a través de los orificios de la placa del tubo de entrada hacia los extremos de entrada de los tubos de entrada, más allá de los tubos de entrada y fuera de los extremos de salida de los tubos de entrada y a cada uno de los tubos en U correspondientes en una distancia desde dicho primer extremo de tubos en U,

d) dividir el flujo de gas de síntesis de amoníaco en cada uno de los tubos en U en un flujo de primera parte que fluye a través de una primera parte de cada tubo en U en el anillo entre el tubo de entrada y el tubo en U antes de que el flujo de la primera parte salga de cada tubo en U a través del primer extremo y un flujo de segunda parte que fluye a través de una segunda parte de cada tubo en U y sale de cada tubo en U a través del segundo

extremo, tanto el flujo de la primera como de la segunda parte están en intercambio de calor indirecto con el medio de refrigeración a través de las paredes de los tubos en U y es enfriado por el medio de refrigeración mientras fluye a través de los tubos en U

5 e) recoger todos los flujos de gas de síntesis de amoníaco enfriado en la cámara de salida del medio de calentamiento donde el gas de síntesis de amoníaco está en contacto con el segundo lado de las láminas de tubo y proporcionar además un flujo del gas de síntesis de amoníaco enfriado fuera de la cámara de salida del medio de calentamiento a través de la salida del medio de calentamiento.

5. Un proceso para intercambiar calor de gas de síntesis de amoníaco como medio de calentamiento con un medio de refrigeración según la reivindicación 4, en el que el medio de refrigeración es agua o vapor.

10 6. Un proceso para intercambiar calor de gas de síntesis de amoníaco como medio de calentamiento con un medio de refrigeración según la reivindicación 4 o 5, en el que la temperatura de entrada del medio de refrigeración está en el intervalo de 100 °C - 350 °C, preferiblemente en el intervalo de 250 °C - 325 °C, la temperatura de salida del medio de refrigeración en el intervalo de 100 °C - 350 °C, preferiblemente en el intervalo de 250 °C - 325 °C, la temperatura de entrada del medio de calentamiento está en el intervalo de 300 °C - 500 °C, preferiblemente en el intervalo de 390 °C - 450 °C, y la temperatura de salida del medio de calentamiento en el intervalo de 120 °C - 390 °C, preferiblemente en el intervalo de 300 °C - 370 °C.

20 7. Un proceso para intercambiar calor de gas de síntesis de amoníaco como medios de calentamiento con un medio de refrigeración según cualquiera de las reivindicaciones 4-6, en el que la diferencia de temperatura entre cada uno de los flujos de gas de síntesis de amoníaco de la primera parte y los flujos de gas de síntesis de amoníaco enfriado de la segunda parte está en el intervalo de 0 °C - 50 °C, preferiblemente en el intervalo de 0 °C - 20 °C al salir del primer y el segundo extremo de cada uno de los tubos en U hacia la cámara de salida del medio de calentamiento.

8. La utilización de un intercambiador de calor según cualquiera de las reivindicaciones 1-3 para intercambiar calor de agua o vapor con gas de síntesis.

25

FIG. 1

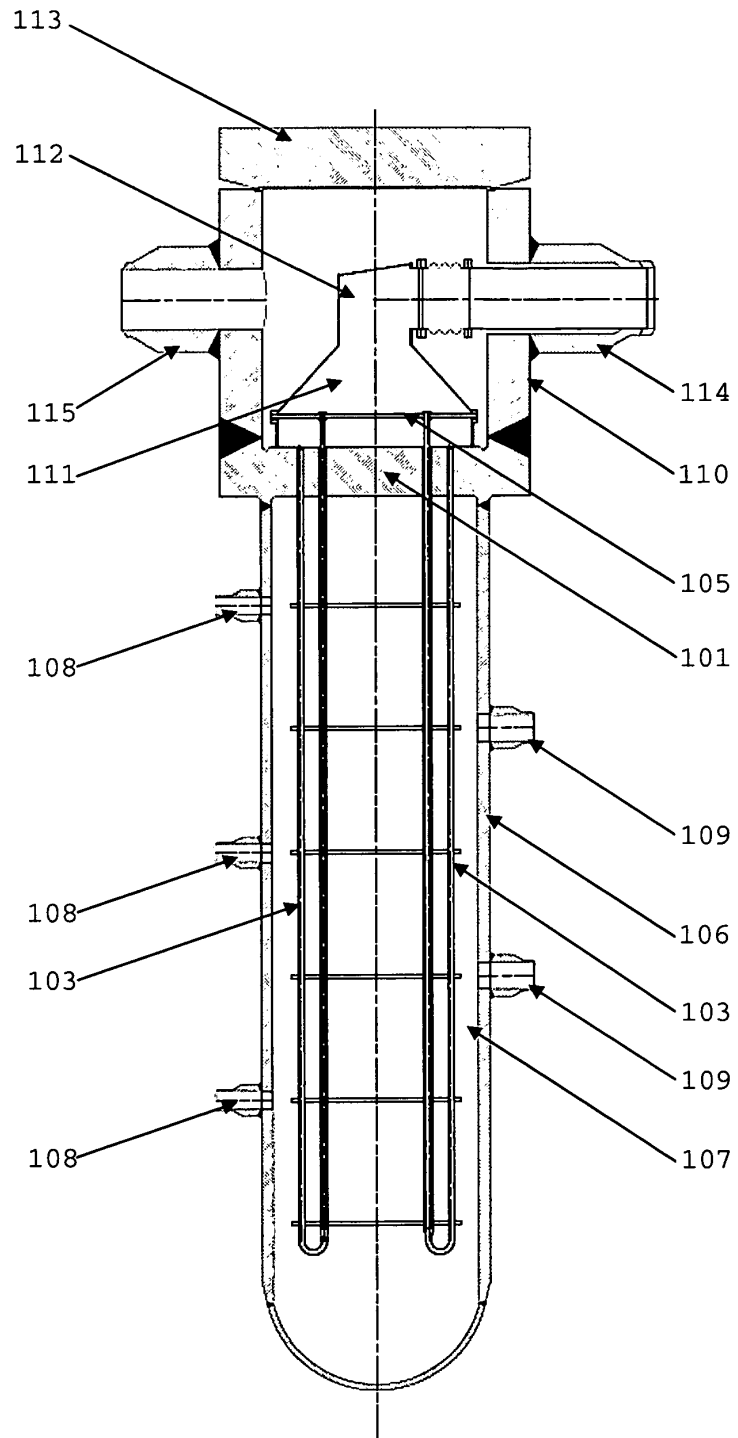




FIG. 2

