

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 420 108**

51 Int. Cl.:

**F28D 11/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.07.2006 E 06788160 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2013 EP 1910765**

54 Título: **Reactor que tiene transmisión de calor mejorada**

30 Prioridad:

**28.07.2005 US 191683**

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

**22.08.2013**

73 Titular/es:

**CATACEL CORP. (100.0%)  
7998 GOTHAM ROAD  
GARRETTSVILLE, OH 44231, US**

72 Inventor/es:

**WHITTENBERGER, WILLIAM, A.;  
BECKER, DAVID, A.;  
CHATTOPADHYAY, SUDIPTA y  
SUFFECOOL, AMANDA, L.**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 420 108 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**

Reactor que tiene transmisión de calor mejorada

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

5 Esta invención se refiere al campo técnico de las reacciones catalíticas superficiales y/o del intercambio de calor. La presente invención proporciona un reactor, como se define en el preámbulo de la reivindicación 1, que ajusta dentro de un tubo exterior cilíndrico y que transfiere eficazmente calor desde el exterior del tubo exterior hasta el reactor, o desde el reactor hasta el tubo exterior. Un reactor de este tipo se conoce, por ejemplo, a partir del documento US 2003/044331.

10 Uno de los objetivos de los reactores descritos en la técnica anterior es evitar los problemas asociados con la utilización de materiales cerámicos en la fabricación y el funcionamiento de reactores catalíticos. Los catalizadores cerámicos de lecho compacto tienen la desventaja de que poseen una conductividad térmica baja, haciendo difícil transferir calor desde la periferia del reactor hacia dentro, o viceversa. Además, el desajuste térmico entre las partes metálicas y cerámicas de los reactores de la técnica anterior conduce finalmente a la pulverización del material cerámico, limitando así la vida útil del reactor. Como los dispositivos descritos en las solicitudes anteriormente citadas, la presente invención comprende asimismo una estructura, toda de metal, que evita intrínsecamente estos problemas.

15 Un reactor que tiene hojas radiales, como se describe en la solicitud con número de serie 11/132.691, ha demostrado buena transmisión de calor y, por lo tanto, buen comportamiento global, no solamente cuando se simula mediante un modelo informático, sino también cuando se evalúa como un prototipo en una instalación de pruebas de transmisión de calor. No obstante, el prototipo ha resultado ser muy difícil de construir, y no se considera que sea una solución óptima, desde el punto de vista de la facilidad de fabricación.

20 Los reactores mostrados en las solicitudes anteriormente citadas, y otros reactores de la técnica anterior, ocupan sustancialmente todo el espacio dentro de un tubo exterior cilíndrico. Un problema intrínseco con reactores de esta clase es que no funcionan particularmente bien cerca del centro del reactor. Se ha encontrado que la mayoría de las reacciones catalíticas ocurren cerca de las partes exteriores del reactor, es decir, cerca del tubo exterior. Este problema reduce el rendimiento del reactor y hace muy difícil, o imposible, conseguir el nivel deseado de conversión.

25 La presente invención proporciona una estructura de reactor que resuelve el problema anterior. El reactor de la presente invención es sustancialmente más eficiente que los reactores de la técnica anterior, y es asimismo relativamente fácil de fabricar.

30 Otro problema con el que se tropieza en los reactores instalados en tubos cilíndricos es el de la fluencia metálica. Los reactores descritos en las solicitudes anteriormente citadas, así como el reactor de la presente invención, están destinados a estar metidos en un gran tubo exterior metálico y a que funcionen a altas temperaturas (en el intervalo de 850 a 900°C) y a altas presiones (en el intervalo de 20 a 30 bares). La presión crea un gran esfuerzo tangencial, que el material del tubo tiene dificultad para resistir a una temperatura elevada. Durante un período de años, la fluencia en el tubo exterior metálico hace que el diámetro del tubo crezca. Incluso unos pocos milímetros de crecimiento en el diámetro del tubo crean un espacio no deseable entre el reactor y el tubo circundante. Un reactor típico que ha sido metido en un tubo nuevo, de manera que el reactor está inicialmente en contacto satisfactorio con el tubo, perderá el contacto con dicho tubo cuando éste presente fluencia a lo largo de los años. Tal fluencia causará una reducción significativa del comportamiento.

35 La presente invención proporciona una estructura que evita el problema anterior. La invención incluye un dispositivo que compensa continuamente la fluencia, asegurando el contacto apropiado entre el reactor y el tubo exterior circundante.

40 El reactor de la presente invención puede utilizarse, por ejemplo, en el campo del reformado catalítico de combustible, para obtener hidrógeno, que se utiliza a continuación para generar electricidad a través de una pila de combustible, o en otros procesos industriales tales como el refinado de aceite y gas, la producción de amoníaco y fertilizante, la hidrogenación de aceites y productos químicos, y la extracción de mineral de hierro. El reactor podría utilizarse como un combustor catalítico o no catalítico, o como un sencillo intercambiador de calor.

**SUMARIO DE LA INVENCION**

45 El reactor de la presente invención está definido en la reivindicación 1. El reactor está contenido entre un tubo generalmente cilíndrico, en el exterior, y un tubo ondulado expandible en el interior. La sección transversal anular asegura intrínsecamente que las reacciones o el intercambio de calor ocurren solamente en una zona cerca de la superficie interior del tubo exterior, y no cerca de su eje central. Se ha descubierto que efectuar las reacciones o el intercambio de calor en la zona anular es más eficiente que intentar efectuar las reacciones por todo el volumen de un reactor cilíndrico.

Las hojas están formadas preferentemente por una lámina metálica, estando plegada la lámina hacia delante y hacia atrás sobre sí misma para definir las hojas que proporcionan superficies sobre las que pueden ocurrir las reacciones catalíticas o el intercambio de calor.

5 Según la invención, el reactor incluye medios para empujar radialmente hacia fuera el monolito, de manera que al menos algunas de las hojas de dicho monolito, y preferentemente la mayoría de ellas, se mantienen en contacto con el tubo exterior. Dicha estructura compensa la fluencia metálica que hace que el tubo exterior se expanda con el paso del tiempo y cree un espacio no deseable entre el monolito y el tubo.

10 Una estructura preferente para los medios de empuje es una pluralidad de arandelas cónicas, conectadas al tubo ondulado interior, cerca de las partes superior e inferior de cada monolito, y que se aplican a una acanaladura, o estructura equivalente, en una columna vertical central del reactor. Cuando el tubo exterior está orientado verticalmente, el peso de los monolitos, y la caída de presión causada por el flujo descendente a través del reactor, hacen que las arandelas lleguen a estar ligeramente distorsionadas, de manera que dichas arandelas ejercen más fuerza radial hacia fuera. Así, en la medida que podría formarse un espacio entre el tubo exterior y el monolito, las arandelas empujan de modo automático radialmente hacia fuera las hojas del monolito, de manera que no se forma realmente ningún espacio. En otras palabras, la estructura de la presente invención se autocorrigue eficazmente. La estructura ondulada del tubo interior asegura que dicho tubo interior puede expandirse cuando las arandelas lo empujan.

20 La función de las arandelas cónicas podría ser realizada, en cambio, por una aleta metálica ondulada. Dicha aleta es integral con el tubo ondulado interior y está plegada hacia dentro con relación al cuerpo principal de dicho tubo. La aleta ondulada se presenta por sí misma como una forma cónica ondulada que se expande radialmente bajo fuerzas gravitatorias a temperatura y presión elevadas.

La presente invención tiene, por lo tanto, el objeto principal de proporcionar un reactor catalítico o intercambiador de calor metálicos.

25 La invención tiene el objeto adicional de mejorar el rendimiento de un reactor catalítico o intercambiador de calor, proporcionando un monolito de reactor que tiene una sección transversal anular.

La invención tiene el objeto adicional de proporcionar un reactor catalítico o intercambiador de calor que es relativamente fácil de fabricar.

La invención tiene el objeto adicional de impedir la formación de un espacio entre un reactor o intercambiador de calor y el tubo exterior que lo encierra.

30 La invención tiene el objeto adicional de prolongar la vida útil de un reactor catalítico o intercambiador de calor.

La invención tiene el objeto adicional de proporcionar un reactor eficiente, todo de metal, que es fácil de fabricar.

El lector experto en la técnica reconocerá otros objetos y ventajas de la invención, a partir de una lectura de la breve descripción siguiente de los dibujos, la descripción detallada de la invención y las reivindicaciones adjuntas.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

35 La figura 1 proporciona una vista, desde un extremo, del monolito anular y de su tubo ondulado interior asociado, que forma un elemento esencial de un reactor fabricado según la presente invención.

La figura 2 proporciona una vista similar a la de la figura 1, en la que la tira utilizada para formar el reactor está ondulada y sin ondular en posiciones seleccionadas.

40 La figura 3 proporciona una vista, en sección transversal, según la línea 3-3 de la figura 4, que muestra un reactor de la presente invención tal como está instalado dentro de un tubo exterior.

La figura 4 proporciona una vista parcial, en sección transversal, del reactor de la presente invención, que muestra las arandelas cónicas que impiden la formación de un espacio entre las hojas del reactor y el tubo exterior.

45 Las figuras 5 y 6 proporcionan vistas, en perspectiva, de una realización alternativa, en la que el tubo ondulado interior de la presente invención está formado integralmente con aletas que realizan la misma función que las arandelas cónicas.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

50 El reactor de la presente invención comprende un soporte de catalizador, fabricado preferentemente de lámina metálica, comprendiendo la lámina metálica una pluralidad de hojas o aletas que definen un área superficial relativamente grande para la combustión catalítica o el intercambio de calor. En una realización preferente, las hojas se forman plegando la lámina metálica hacia delante y hacia atrás sobre sí misma para definir un monolito. Los

términos “hojas” y “aletas” se utilizan de modo intercambiable en esta memoria descriptiva. Si se utiliza el monolito para reacciones catalíticas, sus superficies están revestidas con un catalizador adecuado.

5 En un aspecto de la invención, el reactor tiene la forma de un anillo. Es decir, el reactor comprende una tira de lámina metálica que ha sido plegada hacia delante y hacia atrás sobre sí misma muchas veces, pero en el que la tira plegada define una sección transversal generalmente anular, como se ve en la dirección del flujo de gas a través del reactor. El reactor está insertado en un tubo exterior cilíndrico, estando limitado el otro lado de dicho reactor por un tubo interior ondulado expandible. Así, el reactor ocupa el espacio que es generalmente adyacente a la superficie interior del tubo exterior, sin ocupar el espacio cerca del eje central de dicho tubo. La ventaja de esta estructura anular es que todas las hojas del reactor están situadas en una zona que es la más próxima al tubo exterior. Así, el calor desde el exterior del tubo exterior se transfiere con facilidad sustancialmente a todo el reactor. A diferencia del caso de la técnica anterior, ya no es necesario asegurar que el calor desde el exterior penetre en todo el volumen limitado por el tubo exterior. El tubo interior impide que el gas que entra en el reactor circule hacia el interior de la zona central de la estructura.

15 El concepto anterior se ensayó primero mediante un modelo informático, en el que las hojas del reactor estaban situadas solamente en un anillo definido por un diámetro interior de tres pulgadas y un diámetro exterior de cuatro pulgadas. Estas últimas cantidades se proporcionan a modo de ejemplo y no se debe considerar que limitan el alcance de la invención. En el ejemplo anterior, las hojas ocupaban un área en sección transversal que era aproximadamente el 43,75% de la sección transversal total del tubo exterior. Se esperaba una pequeña mejora del comportamiento, pero la mejora que se obtuvo en realidad fue inesperadamente grande. En particular, con un reactor convencional, era difícil o imposible conseguir una conversión del 98% utilizando condiciones de alimentación representativas en un tubo de 40 pies de longitud. Pero con la estructura anular anteriormente descrita, fue fácil conseguir conversiones del 99% o más, para un intervalo de parámetros geométricos.

25 En la figura 1 se muestra la estructura básica del reactor de la presente invención. Como se muestra en la figura, el monolito anular 1 está formado por una tira de lámina metálica que ha sido plegada hacia delante y hacia atrás sobre sí misma. Los pliegues de la lámina comprenden las hojas o aletas, y comprenden los medios para el intercambio de calor. La lámina plegada está disponible comercialmente de la firma Robinson Fin Machines, Inc. de Kenton, Ohio. Así, se puede obtener con sencillez una lámina previamente plegada, y dar a la lámina plegada la forma de un anillo, como se muestra. El monolito está limitado, en el interior, por un tubo interior ondulado 10 que se puede expandir. Todo el reactor está encerrado dentro de un tubo exterior (no mostrado en las figuras 1 ó 2).

30 El flujo de gas, en las figuras 1-3, es perpendicular al papel y, por lo tanto, generalmente paralelo a las superficies de las hojas o aletas. Las arandelas cónicas bloquean el flujo hacia la zona central y aseguran que el gas circula solamente a través de la zona anular. El tubo interior asegura que el gas que entra en la zona anular no circulará hacia el interior de la zona central sin ocupar.

35 La lámina de la figura 1 puede ser lisa o arrugada. Una pieza arrugada de lámina, disponible asimismo de la firma Robinson Fin Machines, Inc., tiene ondas formadas en cada capa. Es decir, cada capa de lámina define una hoja o aleta, y cada aleta tiene una altura que varía por la longitud de la aleta. La figura 1 está destinada a incluir los casos tanto de una aleta lisa como de una arrugada. La aleta arrugada es probable que ofrezca una ventaja adicional en el comportamiento con relación al de la aleta lisa.

40 La figura 2 muestra otra realización, similar a la figura 1, en la que la lámina incluye partes planas (sin ondular) alternando con partes onduladas. Cuando la lámina está plegada hacia delante y hacia atrás sobre sí misma, cada parte plana está intercalada entre partes onduladas adyacentes, de manera que las partes planas impiden que las partes onduladas se encajen unas con otras. El tubo ondulado interior 10 es el mismo que el de la figura 1. Se ensayó un reactor prototipo utilizando la disposición de la figura 2, y se descubrió que proporcionaba mejor transmisión de calor que la conseguida mediante los reactores de la técnica anterior, como están representados por las solicitudes anteriormente citadas.

La invención no se debe considerar que está limitada a las estructuras específicas de las hojas o aletas mostradas en las figuras 1 y 2. La invención está destinada a incluir otras estructuras de aleta, siempre que la sección transversal del reactor sea anular.

50 La figura 3 muestra un reactor, formado con un monolito 5, formado preferentemente por una lámina metálica, similar a la de la figura 1, insertado en un tubo exterior 7, y alrededor del tubo interior 10. Una pieza cilíndrica o columna vertical 9 está situada en el eje central de la estructura cilíndrica. El reactor define una sección transversal anular, y este anillo está situado adyacente a la superficie interior del tubo 7, como se muestra. El monolito podría tener alternativamente la estructura de la figura 2, o cualquier otra estructura que pueda estar dispuesta en una sección transversal anular.

55 Además de un aumento en el comportamiento conseguido debido a la estructura anular, el reactor de la presente invención tiene la ventaja adicional de que se expande o se contrae más fácilmente en la dirección radial. La zona no utilizada relativamente grande en el centro del reactor proporciona espacio en cuyo interior se alojan los componentes para ayudar a la expansión o contracción, como se explicará más adelante.

Como se ha señalado anteriormente, la fluencia en el metal que define el tubo exterior hace que el diámetro de dicho tubo crezca con el paso del tiempo. Tal fluencia hace que se forme un espacio entre la lámina del monolito y el tubo exterior, como se ilustra con el espacio 11 en la figura 3. El espacio se muestra en las figuras solamente por claridad de ilustración. En la práctica, no es deseable ningún espacio, ya que impide la transmisión de calor entre el tubo exterior y el reactor. Cuanto mayor es el espacio, menos deseable es la estructura. En el caso ideal, el monolito tocará siempre la superficie interior del tubo exterior.

En la figura 4 se muestra una solución para el problema que supone el espacio. Dicha figura muestra, en forma parcial, una pluralidad de monolitos 5 apilados dentro del tubo 7. Los monolitos 5 están conectados a una pieza cilíndrica o columna vertical 9 mediante arandelas cónicas 13 (de tipo Belleville). Como se muestra en la figura, las arandelas cónicas se aplican al tubo ondulado interior 10, cerca de las partes superior e inferior de cada reactor, y descansan en acanaladuras 15 formadas en la pieza cilíndrica o columna vertical 9. La pieza cilíndrica soporta el peso del conjunto.

A medida que el tubo exterior 7 crece alejándose de las aletas, debido a la fluencia en el metal, se crea un espacio 11. El peso de los monolitos, el tubo exterior expandible y las arandelas cónicas, más la caída de presión procedente del flujo descendente de gas, actúan juntos para deformar las arandelas cónicas relativamente débiles hasta formar un ángulo más pequeño con relación a la horizontal. Cuando se fuerza a que las arandelas estén casi horizontales, las mismas expanden el tubo interior 10, empujando radialmente hacia fuera las hojas del monolito, de manera que se mantienen en contacto con el tubo exterior. Así, las arandelas comprenden medios para empujar radialmente hacia fuera las hojas, a efectos de mantener contacto entre dichas hojas y el tubo exterior.

De este modo, en la presente invención, no hay virtualmente ninguna posibilidad de que se forme en absoluto un espacio, tal como el espacio 11. En la medida que se forma momentáneamente un espacio, el peso de los monolitos ejerce una fuerza hacia abajo sobre las arandelas, forzándolas a una orientación más horizontal, y empujando radialmente hacia fuera los monolitos, para que contacten con el tubo exterior. La naturaleza ondulada del tubo interior 10 asegura que dicho tubo interior puede expandirse cuando es empujado de esta manera. La estructura, por lo tanto, se autocorrigie intrínsecamente, en tanto que las arandelas cónicas sean oblicuas con relación a la horizontal.

La pieza cilíndrica 9 funciona como una columna vertical central que actúa para soportar todo el sistema. En la parte inferior extrema del sistema, debe estar dispuesto un elemento de apoyo o estante (no mostrado) adecuado para soportar la columna vertical. Después de ello, cada columna vertical de una sección dada descansa sobre la columna vertical de la sección que está debajo. La figura 4 muestra solamente dos reactores completos que tienen una longitud de manera típica de aproximadamente seis pulgadas, pero en la práctica, puede haber muchos más, del orden de diez o más. Un asa o estructura similar (no mostrada) puede estar colocada en la parte superior de la columna vertical de cada sección para permitir agarrarla durante la instalación y la retirada.

La columna vertical en la figura 4 se muestra como una pieza mecanizada. Probablemente es menos caro fabricar la columna vertical a partir de una columna vertical central sin mecanizar, rodeada por cortas secciones de tubo que realizarían las funciones de las acanaladuras. En este caso, el diámetro interior de dicha sección de tubo (no mostrado) sería justo ligeramente mayor que el diámetro exterior de la columna vertical.

La arandela cónica 13 debe estar diseñada adecuadamente con un grosor, una forma geométrica y un material apropiados para dar la respuesta correcta al peso de las partes, al tiempo que se sigue manteniendo su integridad. La arandela puede ser una verdadera arandela cónica estampada (o recalcada) en el sentido convencional, o puede estar fabricada a partir de un material ondulado.

En las figuras 5 y 6 se muestra una disposición alternativa. En esta realización, el tubo ondulado interior 21 y las arandelas cónicas están fabricados a partir de una pieza de material ondulado. El metal ondulado se curva "a través del grano" para formar aletas de arandela designadas mediante los números de referencia 20 y 22. Los bordes extremos se pliegan y se juntan, tirando del metal hasta una forma cilíndrica. La pieza se acaba a continuación soldando por puntos los extremos que han sido reunidos. En esta realización, las aletas 20 y 22 funcionan sustancialmente del mismo modo que las arandelas mostradas en la figura 4. Por lo tanto, las aletas comprenden formas cónicas onduladas que se expanden radialmente bajo fuerzas gravitatorias a temperatura y presión elevadas.

El metal utilizado para fabricar el tubo ondulado interior es preferentemente una lámina, similar a la utilizada para el monolito.

La invención puede modificarse de diversos modos, dentro del alcance de la descripción anterior. Por ejemplo, se puede cambiar la configuración de la lámina utilizada para fabricar el reactor. Se puede modificar la disposición de las arandelas cónicas. Se podrían utilizar otros medios para empujar las hojas del reactor contra el tubo, en vez de las arandelas cónicas. Se podrían modificar las dimensiones de los monolitos, así como el número de monolitos insertados en el tubo exterior. Estas y otras modificaciones, que serán evidentes para el lector experto en la técnica, se deberían considerar dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un reactor, que comprende:
- a) un tubo exterior (7) y un tubo interior (10),
  - b) un monolito (5) que incluye una pluralidad de hojas metálicas (1), teniendo el monolito (5) una sección transversal anular y estando situado entre el tubo interior (10) y el tubo exterior (7);
- 5 caracterizado por que el reactor comprende además medios para empujar radialmente hacia fuera las hojas (1) de manera que algunas de dichas hojas (1) estén en contacto con el tubo exterior (7).
2. El reactor según la reivindicación 1, en el que los medios de empuje comprenden arandelas cónicas (13) situadas para empujar radialmente hacia fuera el tubo interior (10).
- 10 3. El reactor según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, en el que el tubo interior (10) está formado con una aleta plegada (20, 22), y en el que los medios de empuje comprenden dicha aleta (20, 22).
4. El reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una columna vertical (9) dispuesta a lo largo de un eje longitudinal del tubo exterior (7), y en el que los medios de empuje (13, 20, 22) están en acoplamiento con dicha columna vertical (9).
- 15 5. El reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que existe un medio de empuje en contacto con el tubo interior (10), cerca de una parte superior del monolito (5) y en el que existe un medio de empuje en contacto con el tubo interior (10), cerca de una parte inferior del monolito (5).
6. El reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que existe una pluralidad de monolitos (5) dispuestos en el tubo exterior (7).
- 20 7. El reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tubo interior (10) es un tubo interior (10) ondulado expandible y en el que el tubo interior (10) impide que el gas que entra en el reactor circule hacia el interior de una zona central del monolito (5).
8. El reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tubo exterior (7) es generalmente cilíndrico.

25

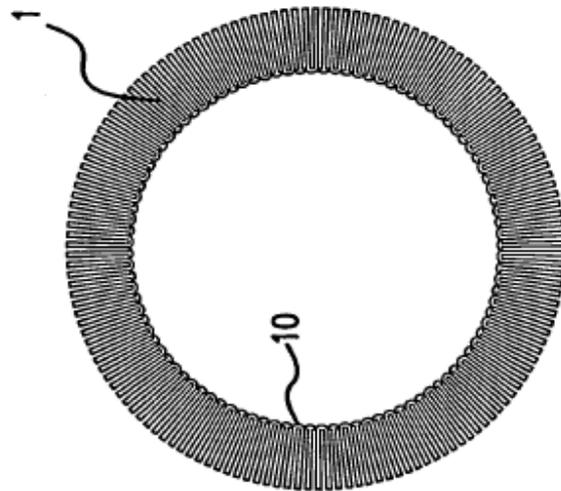


FIG. 1

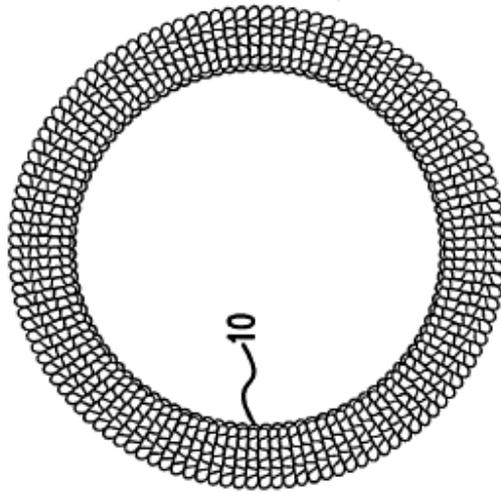


FIG. 2

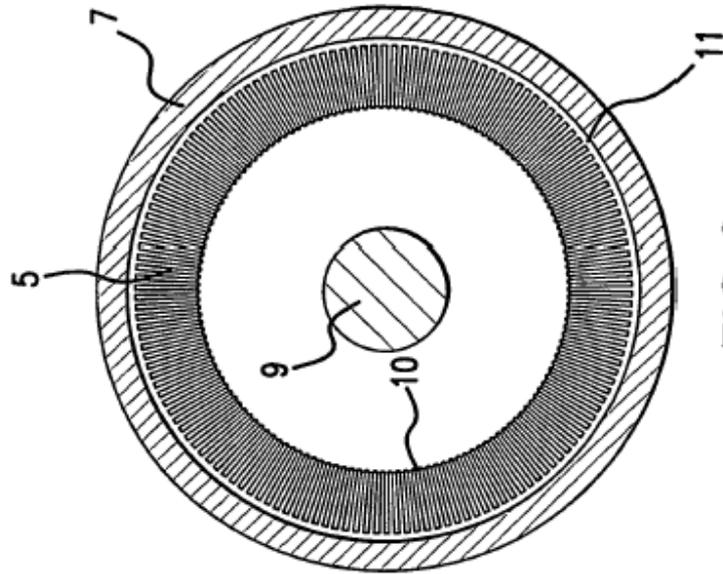


FIG. 3

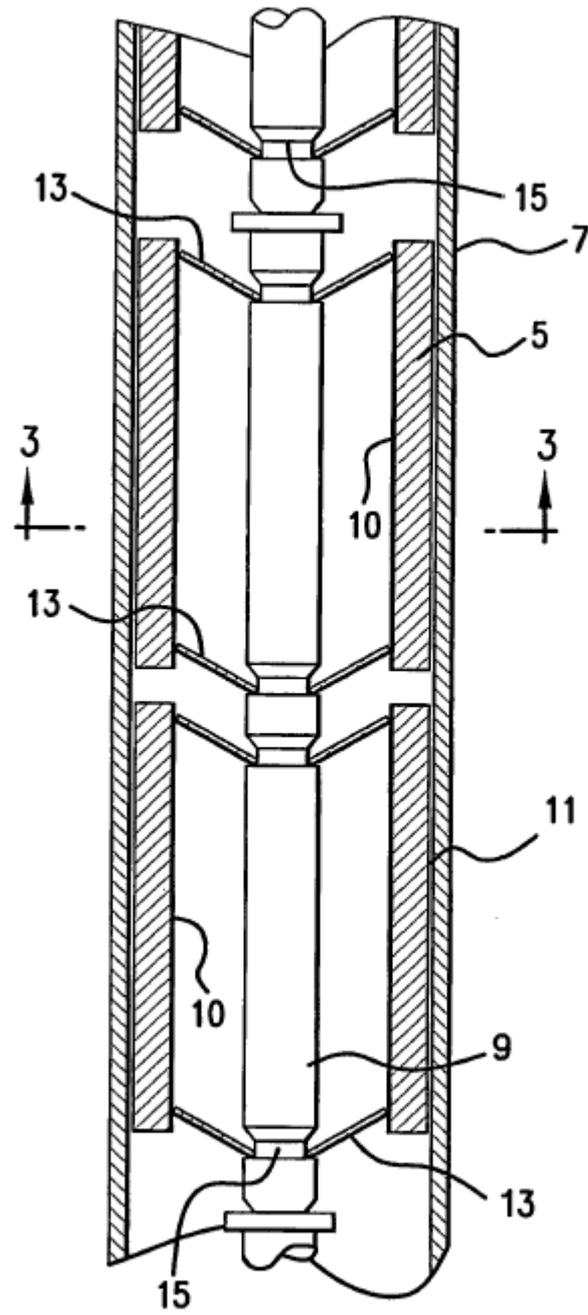


FIG. 4

