

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 699 441**

51 Int. Cl.:

B01J 8/06 (2006.01)

B01J 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.01.2003 PCT/EP2003/000977**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.08.2004 WO04067164**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.01.2003 E 03702582 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.08.2018 EP 1587612**

54 Título: **Reactor tubular con revestimiento para la realización de reacciones catalíticas en fase gaseosa y proceso para el funcionamiento de uno de este tipo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.02.2019

73 Titular/es:

**MAN ENERGY SOLUTIONS SE (100.0%)
Stadtbachstrasse 1
86153 Augsburg, DE**

72 Inventor/es:

**GÜTLHUBER, FRIEDRICH y
LEHR, MANFRED**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 699 441 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 tubular con revestimiento para la realización de reacciones catalíticas en fase gaseosa y proceso para el funcionamiento de uno de este tipo

5 La invención se refiere a un reactor tubular con revestimiento de acuerdo con el término genérico de la reivindicación 1 así como a usos y a un proceso para el funcionamiento de un reactor de este tipo.

10 Un reactor tubular con revestimiento de este tipo se conoce por ejemplo por el documento WO 01/85332 A. Sin embargo, en este caso especial, en el empeño de reducir un riesgo de explosión se añade un componente crítico de explosión del gas de proceso que se lleva a reacción en el reactor en parte sólo directamente antes o en los tubos de reacción. Además se mantiene bajo el volumen que se encuentra disponible hasta entonces de este componente, por ejemplo mediante una pieza incorporada en una cubierta de entrada de gas por lo demás habitual, más o menos en forma de calota. Estas medidas se basan en los siguientes conocimientos:

15 1) Para conseguir, en relación con el tamaño de la instalación del reactor, un rendimiento de producción a ser posible grande es deseable poder hacer lo más grande posible la carga del gas de proceso con los componentes críticos de explosión, tal como por ejemplo oxígeno e hidrocarburo.

20 2) Aparte de con la carga, el riesgo de explosión aumenta con el tiempo durante el cual están los dos componentes juntos.

25 Anteriormente se ha buscado proteger frente a daños más extensos en el caso de la posible aparición de explosiones mediante la incorporación de discos de ruptura en instalaciones de reactor. Sin embargo si se quiere aumentar adicionalmente la carga y con ello el rendimiento, entonces debido al elevado riesgo de explosión es suficiente el uso de discos de ruptura. La sustitución de los discos de ruptura – en sí ya caros – en el caso de explosión requiere trabajos de reparación proporcionalmente de larga duración y correspondientes períodos de inactividad. El estallido de los discos de ruptura va unido con una onda expansiva que llega hacia fuera, que puede oírse como estruendo a varios kilómetros y por tanto es inaceptable ya en muchos casos. Además aún pueden escaparse gases nocivos al medioambiente. Además, el nuevo arranque del reactor en cada caso necesario tras una explosión y la necesaria sustitución debido a ello de discos de ruptura es difícil y largo, sobre todo para la obtención de una alta carga en el estado de funcionamiento durante el arranque ha de prestarse atención con frecuencia a que se reduzca el paso de una zona de explosión de la mezcla de gas alimentada momentáneamente en el reactor.

35 Una zona de explosión de este tipo puede representarse en un diagrama de dos o tres componentes, tal como se indica por ejemplo en "Handbuch des Explosionsschutzes" de Henrikus Steen, Verlag WILEY-VCH, 1ª edición (2000), página 332, siendo el tercer componente un gas inerte añadido para la dilución, tal como por ejemplo nitrógeno. Se muestra que existe riesgo de explosión sólo dentro de una zona de un diagrama de este tipo a modo de ventana dependiente además de la presión, temperatura y geometría.

40 Según el documento DE 198 06 810 A1 puede reducirse la temperatura de la base de tubos en el lado de entrada de gas mediante una capa de aislamiento térmico aplicada sobre esto, para impedir reacciones secundarias nocivas incluyendo igniciones y deflagraciones.

45 El documento EP 1 180 508 A1 enseña evitar, durante el arranque de un reactor, la zona de explosión mediante medición continua y modificación de la composición del gas de proceso, añadiéndose en primer lugar un gas inerte, que tras el inicio de la reacción se sustituye cada vez más por gas de proceso que ya ha reaccionado.

50 Basándose en esto, la presente invención se basa en primer lugar en el objetivo de poder aumentar adicionalmente la carga del gas de proceso que llega al procesamiento de manera libre de riesgo y además aún de manera económica.

55 Este objetivo se consigue de acuerdo con la invención con las características de la reivindicación 1, a lo que contribuye aquéllas de las reivindicaciones dependientes.

60 En segundo lugar, la invención se basa en el objetivo de hacer funcionar de manera económica un reactor tubular con revestimiento de acuerdo con la invención usando sus propiedades especiales. Este objetivo se consigue mediante una cualquiera de las reivindicaciones de uso o bien de proceso 32 a 35.

65 El reactor de acuerdo con la invención puede hacerse funcionar de manera segura por un lado incluso con carga crítica de explosión del gas de proceso que llega al procesamiento, por otro lado durante el arranque puede pasar una zona inflamable, lo que facilita y acelera considerablemente el proceso de arranque.

Para las siguientes consideraciones ha de diferenciarse entre una explosión (en inglés: *deflagration*) y una detonación (en inglés: *explosion* o también *detonation*) (a lo que no se ha prestado atención sin embargo en la cita

bibliográfica EP 1 180 508 A1 mencionada anteriormente, que se basa en una traducción del japonés). A diferencia de una explosión que se inicia en un sitio y produce una onda de expansión que se propaga con la velocidad subsónica, una detonación es un proceso considerablemente más repentino y correspondientemente más intenso, que además una mezcla de gases en la mayoría de los casos aún más especial requiere una explosión previa que puede desarrollarse a través de un determinado recorrido inicial, dependiente de la construcción.

A continuación se describen de manera más exacta ahora algunos ejemplos de realización de la invención por medio de las dibujos adjuntos. De estos últimos muestra:

la figura 1 una base de tubos en el lado de entrada de gas junto con cubierta de entrada de gas de un reactor tubular con revestimiento de acuerdo con la invención en la mitad de una sección longitudinal,

la figura 2 una sección transversal por la zona de borde de la base de tubos mostrada en la figura 1 a la altura de la línea II-II de la figura 1,

la figura 3 y la figura 4 detalles similares a aquéllos según la figura 1 y 2, sin embargo en una forma de realización con una pieza incorporada en una cubierta de entrada de gas convencional para la alimentación del gas de proceso,

la figura 5 la mitad de una sección longitudinal similar a aquélla de la figura 1 por la base de tubos en el lado de entrada de gas, una cubierta de entrada de gas convencional, en forma de copa y una pieza incorporada prevista en ésta similar a aquélla de la figura 3,

la figura 6a) a la figura 6f) en cada caso una forma de realización de una obturación parcialmente permeable, tal como puede distinguirse ésta en la figura 5, a escala más grande,

la figura 7 una representación similar a la figura 5, sin embargo en otra forma de realización,

la figura 8 un esquema de un soporte dispuesto dentro de un reactor tubular con revestimiento de acuerdo con la invención para sobre todo la base de tubos en el lado de entrada de gas,

la figura 9 un esquema de una cubierta de entrada de gas similar a aquélla de la figura 5 con medios de refrigeración y/o calentamiento previstos en la misma.

La figura 10 una representación similar a la figura 7 con dispositivos de acuerdo con la invención anteriores con respecto al flujo de gas de proceso alimentado al reactor, y

la figura 11 un esquema de una alimentación de gas de proceso de acuerdo con la invención alternativa en unión con una cubierta de entrada de gas de acuerdo con la figura 1.

La figura 1 muestra aproximadamente de manera esquemática el extremo de entrada de gas de un reactor tubular con revestimiento de acuerdo con la invención para la realización de reacciones catalíticas en fase gaseosa en la zona crítica de explosión o incluso de detonación. Dicho de manera más exacta pueden distinguirse en la figura 1 una cubierta de entrada de gas 2 configurada de manera especial, la base de tubos 4 que se encuentra por debajo de esto, el revestimiento del reactor 6 que sigue a esto, un haz de tubos de contacto en forma de anillo 8 indicado en este caso sólo de manera rayada y una tubuladura de entrada de gas 10 que desemboca en la cubierta de entrada de gas 2. De manera habitual, el haz de tubos 8 que contiene un relleno de catalizador adecuado está bañado dentro del revestimiento del reactor 6 por un portador de calor líquido – en el funcionamiento en cualquier caso –, por medio del cual a lo largo de los tubos de contacto se mantiene un perfil de temperatura adecuado y se descarga el calor de reacción en exceso.

Tal como puede distinguirse además a partir de la figura 1, la cubierta de entrada de gas 2, a parte de un reborde 12 periférico macizo, que sirve para su colocación y obturación en la base de tubos 4, está configurada de manera proporcionalmente plana y aproximadamente a modo de cono acústico de trompeta, de modo que entre ésta y la base de tubos 4 resulta un espacio de distribución de gas 14 plano que sigue de manera continua, es decir sin resaltes, pliegues o similares, a las tubuladuras de entrada de gas 10. La colocación de la cubierta de entrada de gas 2 en la base de tubos 4 se realiza por medio de pernos roscados representados en este caso sólo de manera indirecta, dispuestos por todas partes.

El espacio de distribución de gas 14 se dimensiona de modo que el gas de proceso alimentado a través de éste a los tubos de contacto se alimente mediante flujo a ser posible de manera uniforme, es decir en particular sin turbulencias como sin embargo también sin espera a los tubos de contacto. A este respecto puede ser la dimensión del espacio de distribución de gas aproximadamente una tal que el componente de flujo radial o sin embargo la presión estática en el gas de proceso permanezca constante en dirección radial. También son concebibles formas mixtas tal como por otro lado puede ser aproximada la forma a modo de cono acústico de trompeta de la cubierta de entrada de gas 2 también mediante elementos anulares más o menos cónicos (no mostrado). Para el

establecimiento de la constancia del flujo de gas en la entrada en el espacio de distribución de gas 14 está dispuesto allí, colocado por debajo de la tubuladura de entrada de gas 10 y sobre la base de tubos 4, un cuerpo conducto de flujo en forma de mandril 16 que forma al mismo tiempo un cuerpo de desplazamiento para impedir que el gas impacte frontalmente en el centro de la base de tubos 4. La altura mínima del espacio de distribución de gases 14 se determina en el ejemplo mostrado por un anillo de obturación 18 de grosor definido, con el que está obturado el espacio de distribución de gas 14 hacia fuera. Éste se determina en el transcurso de la planificación del reactor y debe ser en cada caso tan grande que no pase a ser cero en ningún sitio del perímetro del reactor, por ejemplo debido a irregularidades en la cubierta 2 y/o base de tubos 4. En caso necesario deben revestirse la cubierta y/o base de tubos en el sitio concreto.

Dado que sin embargo apenas puede evitarse de manera constructiva radialmente fuera de los tubos de contacto más externos, tal como por ejemplo 20, un volumen muerto 22 dentro del espacio de distribución de gas 14, sin impedir la entrada de gas en los tubos de contacto más externos, y un volumen muerto de este tipo conduciría a una espera indeseada del gas de proceso, se han adoptado medidas en este punto para desplazar el gas de proceso fuera del volumen muerto 22 o "diluir" al menos hasta obtener una composición no crítica de explosión. Esto se realiza mediante introducción por soplado de un gas de inactivación en relación a la reacción de explosión que ha de temerse. Uno de este tipo puede ser un gas inerte, tal como por ejemplo N₂, un producto secundario que se produce en el desarrollo de la reacción realizada de acuerdo con la funcionamiento, tal como por ejemplo CO₂, de vez en cuando simplemente aire o también una mezcla de tales gases.

De acuerdo con la figura 1 se introduce por soplado el correspondiente gas – a continuación denominado gas de lavado – a través de una conducción anular 24 en la periferia de la base de tubos 4, desde ésta hacia el interior a canales de empalme 26 que bifurcan en distancias regulares a lo largo del perímetro de la base de tubos 4 y desde los canales de empalme 26 hacia arriba a orificios de boquilla 28 que bifurcan.

Tal como puede distinguirse en la figura 2, son adecuados los orificios de boquilla 28 en dirección perimetral de la base de tubos 4 para proporcionar al gas que sale de esto un componente de flujo radial y de esta manera purgar todo el volumen muerto 22.

Las figuras 3 y 4 muestran otra forma de realización del extremo de entrada de gas de un reactor tubular con revestimiento según la invención. En este caso ha de distinguirse dentro de una cubierta de entrada de gas en forma de copa en este sentido habitual, de la que está representado sólo el borde 40, una pieza incorporada 42 que limita el espacio de distribución de gas 14. En tanto que las partes representadas en este caso como a continuación sean idénticas a aquéllas según la figura 1 y 2, éstas llevan los mismos números de referencia.

En otra variación del ejemplo de realización descrito anteriormente, en este caso una conducción anular 44 para gas de lavado que va a introducirse en el volumen muerto 22 rodea el borde 40 de la cubierta de entrada de gas, y de manera correspondiente están atravesados los canales de empalme 46 comparables con los canales de empalme 26 radialmente por el borde 40. Los canales de empalme 46 desembocan en piezas adicionales de boquilla 48 colocadas en el lado interno en el borde 40 con boquillas 50 orientadas tangencialmente para la salida del gas, a su vez para lavar a ser posible completamente el volumen muerto 22.

La figura 5 muestra una disposición en este sentido similar a aquélla según la figura 3 como también en este caso está prevista una pieza incorporada 42 dentro de una cubierta de entrada de gas en forma de copa. Tal como es evidente, la pieza incorporada 42 está anclada de manera libremente colgada en la cubierta de entrada de gas 60, dicho de manera más exacta su copa 62, por medio de pernos de anclaje 64 tal como también de la tubuladura de entrada de gas 10 de manera que se introducen en la copa 62 fuerzas de explosión o incluso de detonación que se producen eventualmente en el espacio de distribución de gas 14. Para poder absorber de la mejor manera posible estas fuerzas, tiene la copa 62 forma de calota.

En este ejemplo de realización está compuesta la pieza incorporada 42 por un disco anular 66 débilmente cónico y un anillo de perfil 68 redondeado hacia dentro y hacia abajo y está apoyada en su borde 70 a través de una obturación 72 parcialmente permeable sobre la base de tubos 4, mientras que la cubierta de entrada de gas 60 fuera de la pieza incorporada 42 está cubierta por el gas de lavado para el volumen muerto 22. Desde allí entra el gas de lavado en una medida, tal como se alimenta éste a la cubierta de entrada de gas 60 de manera continua a través de una conducción 74, a través de la obturación 72 parcialmente permeable por todas partes de manera uniforme en el volumen muerto 22.

La cubierta de entrada de gas 60, dicho de manera más exacta su borde macizo 40, está obturada con respecto a la base de tubos 4 en este ejemplo a través de un tipo de obturación de borde de soldadura 76, de manera similar a como se describe en el documento DE 44 07 728 C1. Sin embargo podría usarse también en este caso de nuevo un anillo de obturación tal como el anillo de obturación 18 de los ejemplos de realización descritos anteriormente. De manera conveniente se encuentra el gas de lavado bajo sobrepresión en comparación con la atmósfera exterior, tal como naturalmente también en comparación con el espacio de distribución de gas 14, para actuar como medio de bloqueo.

Las figuras 6a) a 6f) muestran distintas formas de realización actualmente consideradas para la obturación 72 parcialmente permeable de la figura 5. Según la figura 6a), la obturación 72 parcialmente permeable está constituida por un anillo 80 de casa de sección transversal redonda o también ya elíptica de un material poroso, débilmente compresible, tal como por ejemplo tejido de grafito, que se presiona por una pieza adicional 82 en forma de anillo de la pieza incorporada 42 en una correspondiente ranura anular 84 de la base de tubos 4. Según la figura 6b), la obturación 72 está constituida por una rueda 86 perfilada en forma de C, preferentemente metálica, que en su lado externo, hacia la base de tubos 4, presenta una pluralidad de estrías 88 regularmente distribuidas radiales o también aproximadamente tangenciales, según la figura 6c) por un anillo de obturación 90 elástico macizo similar por ejemplo al anillo de obturación 18 en unión con orificios 92 radiales o también aproximadamente tangenciales 92 en una pieza adicional 94 similar a la pieza adicional 82 de la figura 6a). Según la figura 6d) se forma la obturación 72 por un anillo 98 dotado de estrías 96 radiales o aproximadamente tangenciales esencialmente de sección transversal circular de metal u otro material duroelástico, que se encuentra en una ranura anular 100 dentro de una pieza adicional 102 similar a la pieza adicional 82. Tras las figuras 6e) y 6f) se usan anillos de perfil de chapa 104 o bien 106 de sección transversal angulada como obturación 72, que a su vez pueden presentar, tal como es evidente a partir de la figura 6e), estrías 108 hacia la base de tubos 4 similares a las estrías 88. Tales anillos de perfil pueden ser flexibles con respecto a una sobre presión que actúa en un lado, para liberar así una sección transversal de paso más o menos grande para el gas de lavado.

La figura 7 muestra una disposición similar a aquella de la figura 5, en la que sin embargo el gas de lavado entra a través de la base de tubos 4 en un espacio 120 en forma de anillo entre una obturación de borde de soldadura 122 similar a la obturación de borde de soldadura 76 y dos anillos de chapa 124 y 126 unidos de manera obturada, radialmente fuera de la pieza incorporada 42. El anillo de chapa 126 esencialmente cilíndrico, que está colocado de manera obturada en el borde de la pieza incorporada 42, llega de manera suelta a una ranura anular 128 de la base de tubos 4 para formar así una obturación parcialmente permeable hacia el espacio de distribución de gas 14, de manera similar a la obturación 72 parcialmente permeable de la figura 5. Los pernos de anclaje 64 de la figura 5 se han sustituido en este ejemplo por chapas 130 cilíndricas interrumpidas.

La figura 8 muestra cómo la base de tubos en el lado de entrada de gas 4 puede apoyarse hacia el extremo de salida de gas del reactor para el caso de que en la zona de entrada de gas se produzca sin embargo una vez una explosión o incluso detonación. En el ejemplo mostrado, un correspondiente soporte 140 está constituido por una pieza de construcción de metal de múltiples alas, esencialmente formada por dos chapas 141 dispuestas verticalmente en cruz, que engranan – preferentemente de manera suelta – en correspondientes ranuras 142 en el lado inferior de la base de tubos 4 y encuentran sitio en correspondientes espacios radiales del haz de tubos 8. Adicionalmente puede estar apoyado el centro de la base de tubos 4, tal como se muestra, dentro de la zona central 144 libre de tubos próxima a la tubería mediante puntales inclinados o un cono de chapa 146 en las chapas 141. Esto permite probablemente pasar con sólo una chapa 141, con lo que pueden ahorrarse entonces otras cosas también dos espacios libres de tubos. En el sitio del cono de chapa 146 podría aparecer también una pieza de construcción metálica cilíndrica, prismática o en forma de pirámide.

El soporte 140 puede, sin embargo no tiene que, recorrer, tal como se muestra, hasta la base de tubos en el lado de salida de gas 148 - o un disco separador. Sin embargo en cualquier caso debe poder introducir las fuerzas de apoyo en el revestimiento del reactor 6. Para la compensación de distintas dilataciones térmicas pueden presentar las chapas tal como 141, sobre todo en la proximidad de la base de tubos en el lado de entrada de gas 4, ranuras de descarga de tensión 150 longitudinales así como correspondientes escotaduras 152 en su conexión al revestimiento del reactor 6. Por lo demás, donde pueda ser conveniente siempre esto desde puntos de vista técnicos de flujo o debido a ahorro de peso, éstas pueden estar interrumpidas o pueden estar sustituidas por una construcción de andamio. Un asentamiento del soporte 140 en la base de tubos en el lado de salida de gas 148 tiene no en último lugar la ventaja de que entonces también este último está apoyado frente a fuerzas de presión de explosión que pueden comunicarse a través de la tubería con el espacio de salida de gas o pueden producirse allí mediante ignición posterior.

De acuerdo con el documento DE 198 06 810 A1, la base de tubos en el lado de entrada de gas 4 puede estar térmicamente aislada (no mostrado), para mantener “frío” el espacio de distribución de gas 14 y también con ello reducir una tendencia a la explosión o incluso a la detonación.

La figura 9 prevé para el mismo fin – con una disposición similar a aquella de la figura 5 o 7 - en diversos sitios en y junto a la cubierta de entrada de gas 2 canales con medios de refrigeración 160, que sin embargo también sirven, en particular durante el arranque del reactor, como canales con medios de calentamiento y por lo demás pueden contribuir a disminuir tensiones térmicas.

La figura 10 muestra el extremo de entrada de gas 170 de un reactor tubular con revestimiento de acuerdo con la figura 7 con medios anteriores para el procesamiento del gas de proceso. En el ejemplo mostrado se alimenta en una entrada principal 172 para un componente base de gas de proceso calentado de manera adecuada y que se encuentra bajo presión adecuada tal como por ejemplo aire, el denominado flujo principal, en un sitio 174 discrecional un segundo componente de gas de proceso, tal como por ejemplo un gas de hidrocarburo, en una cantidad que no resulte aún ninguna mezcla que pueda explotar, mientras que otras cantidades parciales de los

segundos o también otros componentes de gas de proceso se añaden en 176 y 178 a continuación de una disposición de válvula de retención 180. A más tardar tras el sitio de alimentación 178 se encuentra el gas de proceso en la zona explosiva.

5 Todos los componentes de gas de proceso alimentados se mezclan a continuación por medio de varias mezcladoras 182, 184 y 186 consecutivas de manera cuidadosa, es decir por ejemplo evitando en gran medida las turbulencias, en varias coordenadas. A este respecto ha de prestarse atención además en la dirección de la conducción a la evitación de inestabilidades. También, la conducción 188 entre la disposición de válvula de retención 180 y la cubierta de entrada de gas 2 se mantiene tan corta como sea posible para prevenir la producción de altas presiones de explosión. Esto se aplica sobre todo cuando ha de temerse un comienzo de detonación. La disposición de válvula de retención 180 impide que una onda expansiva que se produce eventualmente en la conducción 188 o a continuación siga hacia la entrada 172 y pueda causar daños en estos elementos de alimentación. La disposición de válvula de retención 180 se encuentra en una cámara 190 que forma al mismo tiempo un volumen de despresurización deseado para una onda expansiva de este tipo. La cámara 190 puede tener una configuración en gran medida discrecional y un volumen hacia arriba en gran medida discrecional, así como también pueden incluirse otras cámaras en el sitio concreto. En el caso deseado, por lo demás también al primer sitio de alimentación, 174, convenientemente aún antes de la disposición de válvula de retención 180, puede seguir ya una mezcladora (no mostrada). Sin embargo puede encontrarse el sitio de alimentación 174 bastante antes de la disposición de válvula de retención 180 para conseguir ya de esta manera un buen mezclado. Por otro lado puede ser suficiente eventualmente a continuación de la disposición de válvula de retención 180 un único sitio de alimentación adicional, tal como por ejemplo 176, y una única mezcladora.

Se entiende que la disposición de válvula de retención 180, la cámara 190, la conducción 188 junto con las mezcladoras 182 – 186 y los elementos de alimentación contenidos en esto como también el propio reactor deben diseñarse de acuerdo con la resistencia para resistir la presión de explosión o bien de detonación que se produce en el peor de los casos en esto o bien junto a esto. Esto se aplica, tal como se ha dicho, a pesar de las medidas descritas anteriormente, para evitar en lo posible detonaciones tal como también ya explosiones.

La figura 11 muestra una disposición en principio similar a aquella según la figura 10, sin embargo en unión con una cubierta de entrada de gas 2 de acuerdo con la figura 1 y con omisión de mezcladoras así como una curvatura en la conducción 188, que en este caso resulta especialmente corta. Las mezcladoras conducen en cualquier caso a alteraciones del flujo de gas, con lo que el correspondiente gas de proceso se vuelve más propenso a la explosión. Para la preparación de mezclas de gas de proceso especialmente críticas de explosión se busca por tanto evitar en lo posible las mezcladoras. Además se busca acortar el recorrido inicial que se tienen en consideración para el desarrollo de una detonación.

Según la figura 11 ahora está dispuesta la disposición de válvula de retención 180 de manera central sobre la cubierta de entrada de gas 2 en el eje de la tubuladura de entrada de gas 10 y está previsto en lugar de los dos sitios de alimentación 176 y 178 de la figura 10 un único sitio o bien dispositivo de inyección fina 192, mientras que faltan las mezcladoras. El dispositivo de inyección fina 192 presenta una pluralidad, es decir al menos 5, preferentemente sin embargo 50 por m² o aún más, de elementos de inyección 194 distribuidos por la sección transversal de la conducción, que pueden estar dotados de boquillas y elementos de estrangulación individuales, pueden estar configurados de manera similar a los elementos de inyección en la entrada de tubos de contacto según el documento DE 100 21 986 A1 y/o pueden proporcionar al componente de gas de proceso inyectado una rotación. De esta manera puede realizarse la alimentación del segundo componente de gas de proceso, tal como por ejemplo de un hidrocarburo, de manera finamente dividida y regular de modo que sobran las mezcladoras para la preparación de un flujo homogéneo de gas de proceso.

En principio, el componente de gas de proceso inyectado puede encontrarse en forma líquida como en forma gaseosa, frío o calentado. En el caso de forma líquida es concebible introducir éste mediante soplado por medio de un gas inerte. Así se realiza o así puede realizarse la inyección con alta presión para ocasionar una evaporación parcial, unida con un ruptura por chorro, de manera similar a como se practica esto también en el caso de la alimentación de combustible al espacio cilíndrico de motores de combustión.

La zona de inyección puede estar equipada con una calefacción de revestimiento, y de manera correspondiente los tubos de alimentación para el segundo componente de proceso pueden estar calentados o aislados térmicamente.

La medición de la resistencia de los componentes del reactor depende del tipo y de la concentración de las sustancias que van a procesarse. Ésta se realiza habitualmente para el caso de funcionamiento estacionario. Durante el arranque de un reactor tubular con revestimiento del tipo descrito anteriormente se presta atención en consecuencia a que en ningún momento se supere la intensidad de explosión estimada para el funcionamiento. Se comienza por regla general con sólo uno, es decir el correspondiente componente base de gas de proceso (flujo principal). Si de esto se consigue un determinado flujo másico, entonces se añade el segundo componente de gas de proceso. Si en el funcionamiento de la propia instalación se genera un gas inerte, tal como por ejemplo CO₂, entonces puede realizarse el arranque con su recurso esencialmente según el documento EP 1 180 508 A1. Si durante el arranque puede alimentarse adicionalmente un gas inerte o si puede reducirse la intensidad de la

explosión o bien detonación por ejemplo únicamente mediante variación de presión y temperatura en el caso de funcionamiento, dependerá del diseño del proceso.

5 Tal como se ha mencionado ya anteriormente, puede y debe conducirse el arranque ya en la zona que puede inflamarse. Tal como en el funcionamiento, también en el arranque han de considerarse además de la composición del gas de proceso otros parámetros, así sobre todo la presión y la temperatura. Ambos influyen sobre el comportamiento de explosión como también el comportamiento de detonación. Es concebible durante el arranque variar la presión y la temperatura. Así, por ejemplo durante el arranque puede reducirse la presión, mientras que se eleva la temperatura en el espacio de distribución de gas 14. A más tardar al final de la fase de arranque se llevan
10 ambos entonces a los valores de funcionamiento previstos.

Si se hace funcionar un reactor tubular con revestimiento en la zona de explosión inferior, es decir con sólo bajo riesgo de explosión y baja presión de explosión tenida en cuenta y si se añade a este respecto al flujo principal un gas reciclado del reactor como gas inerte, entonces puede realizarse el arranque por ejemplo de la siguiente
15 manera: En primer lugar se alimenta a través de entrada principal 172 como flujo principal aire o bien oxígeno. Entonces se comienza, por ejemplo a través del dispositivo de inyección 194 (figura 11), a añadir un flujo de hidrocarburo. Mientras que la concentración de hidrocarburo sea baja, no se proporciona un riesgo de explosión. Igualmente está constituido el gas reciclado obtenido esencialmente sólo por la materia del flujo principal. Con el proceso de arranque avanzado añadiendo hidrocarburo se genera ya producto de reacción, de manera que el gas
20 reciclado contiene ya una proporción de gas inerte, tal como por ejemplo dióxido de carbono. En el desarrollo posterior del proceso de arranque se refuerza el flujo de hidrocarburo. Dado que, sin embargo, el flujo principal contiene entonces ya una proporción significativa del gas inerte, no se alcanza en ningún momento un estado crítico. Básicamente se intenta de tal manera evitar durante el arranque la zona explosiva para entrar en la zona de explosión sólo al conseguir una estabilidad del proceso suficiente.

25 En principio se aplica lo mismo también para un funcionamiento en la zona de explosión superior. En este caso sin embargo se alimenta por regla general a través de la entrada 172 el flujo de hidrocarburo como flujo principal, mientras que por ejemplo a través del dispositivo de inyección 194 se alimenta oxígeno.

30 Según el conocimiento actual puede usarse un reactor tubular con revestimiento de acuerdo con la invención ventajosamente para procesos de oxidación, de hidrogenación, de deshidrogenación, de nitración, de alquilación y similares y a este respecto sobre todo para la preparación de cetonas, metilisobutilcetona, mercaptano, isopreno, antraquinona, o-cresol, etilhexano, furfuro, acetileno, acetato de vinilo, cloruro de isopropilo, anhídrido naftálico, cloruro de vinilo, oxoalcohol, pirotol, estireno, nitrilo de ácido metanoico, poli(óxido de fenileno), dimetilfenol,
35 piridinaldehído, Therban, alfaolefinas, vitamina B6, ácido cianhídrico, anilina, nitrato de ácido metanoico, difluorometano, 4-metil-2-pentanona y tetrahydrofurano así como especialmente la oxidación de dimetilbencenos (m,o,p) para dar los correspondientes mono- y dialdehídos, oxidación de dimetilbencenos (m,o,p) para dar los correspondientes ácidos mono- y dicarboxílicos o bien sus anhídridos,
40 oxidación de trimetilbencenos para dar los correspondientes mono-, di- y trialdehídos, oxidación de trimetilbencenos para dar los correspondientes ácidos mono-, di- y tricarboxílicos o bien sus anhídridos, oxidación de durenol para dar anhídrido de ácido piromelítico, oxidación de gamma- o bien beta-picolina para dar gamma- o bien beta-picolincarbaldéhído, oxidación de gamma- o bien beta-picolina para dar ácido isonicotínico o bien ácido nicotínico,
45 oxidación de propeno para dar acroleína, oxidación de acroleína para dar ácido acrílico, oxidación de propano para dar acroleína, oxidación de propano para dar ácido acrílico, oxidación de butano para dar MSA,
50 oxidación de material refinado para dar MSA, oxidación de i-buteno para dar metacroleína, oxidación de metacroleína para dar ácido metacrílico, oxidación de metacroleína para dar metacrilato de metilo, oxidación de i-butano para dar metacroleína,
55 oxidación de i-butano para dar ácido metacrílico, amonoxidación de dimetilbencenos (m,o,p) para dar los correspondientes mono- y dinitrilos, amonoxidación de trimetilbencenos para dar los correspondientes mono- y di- o bien trinitrilos, amonoxidación de propano para dar acrilonitrilo, amonoxidación de propeno para dar acrilonitrilo,
60 amonoxidación de beta-picolina para dar 3-cianopiridina, amonoxidación de gamma-picolina para dar 4-cianopiridina, oxidación de metanol para dar formaldehído, oxidación de naftaleno y/o O-xileno, eventualmente en el funcionamiento de mezclado, para dar anhídrido ftálico, oxidación de etano para dar ácido acético,
65 oxidación de etanol para dar ácido acético, oxidación de geraniol para dar citral,

- oxidación de eteno para dar óxido de etileno,
 - oxidación de propeno para dar óxido de propileno,
 - oxidación de ácido clorhídrico para dar cloro,
 - oxidación de glicol para dar glioxal e
- 5 hidrogenación de MSA para dar butanodiol.

REIVINDICACIONES

1. Reactor tubular con revestimiento para la realización de reacciones catalíticas en fase gaseosa y con un haz de tubos de contacto (8) a través del cual fluye la correspondiente mezcla de gas de reacción, que presenta un relleno de catalizador, que se extiende entre una base de tubos en el lado de entrada de gas (4) y una base de tubos en el lado de salida de gas (148) y bañado por un portador de calor dentro de un revestimiento del reactor (6) circundante, así como las cubiertas de entrada de gas o bien de salida de gas (2; 60) que cubren las dos bases de tubos para la alimentación del correspondiente gas de proceso a los tubos de contacto o bien la descarga del gas de proceso que ha reaccionado de los tubos de contacto y con una entrada de gas de proceso (172) para la introducción del gas de proceso en la cubierta de entrada de gas (2), **caracterizado por que** la entrada de gas de proceso (172) presenta una primera sección para el alojamiento de un gas de proceso no explosivo y en dirección del flujo del gas de proceso detrás de esto una segunda sección con un sitio de alimentación (176, 178; 192) para el alojamiento de un gas de proceso explosivo; la entrada de gas de proceso (172) en la primera sección presenta una disposición de válvula de retención (180), un volumen de despresurización en la primera sección está dispuesto en dirección del flujo detrás de la disposición de válvula de retención, en donde el volumen de despresurización lo forma al menos parcialmente una cámara (190) que aloja la disposición de válvula de retención (180); y la disposición de válvula de retención (180) y la base de tubos en el lado de entrada de gas (4) así como todas las partes que se encuentran entre éstas, que portan la presión del gas de proceso están diseñadas de acuerdo con la resistencia para la máxima presión que se produce en el caso de la explosión o detonación del gas de proceso.
2. Reactor tubular con revestimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por** un dispositivo para la introducción por soplado de un gas de lavado inerte en relación a la correspondiente reacción en espacios muertos, en los que por el contrario se quedaría en reposo total o parcialmente el gas de proceso antes de la entrada en los tubos de contacto.
3. Reactor tubular con revestimiento según la reivindicación 2, **caracterizado por** un dispositivo para la introducción por soplado de gas de lavado en el borde de la base de tubos en el lado de entrada de gas (4) radialmente fuera del haz de tubos de contacto (8).
4. Reactor tubular con revestimiento según la reivindicación 3, **caracterizado por** un dispositivo para la introducción por soplado del correspondiente gas de lavado con una componente de flujo tangencial.
5. Reactor tubular con revestimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la cubierta de entrada de gas (2) está configurada de manera plana en forma de embudo con distancia que se vuelve más pequeña radialmente hacia fuera a la base de tubos en el lado de entrada de gas (4) y con entrada de gas central.
6. Reactor tubular con revestimiento según la reivindicación 5, **caracterizado por que** la cubierta de entrada de gas (2) está redondeada al menos aproximadamente a modo de cono acústico de trompeta y está configurada de manera que se aplanan hacia el borde.
7. Reactor tubular con revestimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** en una cubierta de entrada de gas (60) en forma de copa, y en este sentido convencional, está dispuesta coaxialmente una pieza incorporada en forma de embudo plano (42), de la que una abertura central se encuentra en contacto de manera obturada con la entrada de gas y cuyo borde está obturado hacia el borde de la base de tubos en el lado de entrada de gas (4).
8. Reactor tubular con revestimiento según la reivindicación 7, **caracterizado por que** la pieza incorporada (42) está redondeada al menos aproximadamente a modo de cono acústico de trompeta y está configurada de manera aplanada hacia el borde.
9. Reactor tubular con revestimiento según las reivindicaciones 7 u 8, **caracterizado por que** la pieza incorporada (42) está apoyada en varios sitios, preferentemente distribuidos de manera regular en la cubierta de entrada de gas (60).
10. Reactor tubular con revestimiento según una de las reivindicaciones 7 a 9 en relación con la reivindicación 4, **caracterizado por que** la obturación (72) en el borde de la pieza incorporada (42) es permeable a gases de manera limitada y a través suyo se introduce por soplado el correspondiente gas de lavado.
11. Reactor tubular con revestimiento según la reivindicación 10, **caracterizado por que** la correspondiente obturación (72) está constituida por un material parcialmente permeable, tal como por ejemplo tejido de grafito.
12. Reactor tubular con revestimiento según la reivindicación 10, **caracterizado por que** la correspondiente obturación (72) presenta canales de paso de gas discretos tal como por ejemplo orificios (92) o estrías (88; 96; 108).

13. Reactor tubular con revestimiento según las reivindicaciones 10 u 11, **caracterizado por que** la correspondiente obturación (72) está constituida por un perfil (86; 104; 106) eventualmente flexible contra la sobrepresión.
- 5 14. Reactor tubular con revestimiento según una de las reivindicaciones 10 a 13, **caracterizado por que** la correspondiente obturación (72) se encuentra en contacto en el lado exterior con un espacio, a través del cual se alimenta el gas de lavado.
- 10 15. Reactor tubular con revestimiento según la reivindicación 14, **caracterizado por que** el correspondiente espacio está limitado por una obturación radialmente interna (72) y una obturación radialmente externa (76).
- 15 16. Reactor tubular con revestimiento según la reivindicación 15, **caracterizado por** un dispositivo, con el que puede ponerse el gas de lavado bajo sobrepresión con respecto a la atmósfera exterior.
17. Reactor tubular con revestimiento según una de las reivindicaciones 14 a 16, **caracterizado por que** el correspondiente espacio está constituido esencialmente por el volumen restante de la cubierta de entrada de gas (60).
- 20 18. Reactor tubular con revestimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la cubierta de entrada de gas (2; 60), la base de tubos en el lado de entrada de gas (4) y/o, en tanto que esté presente, la correspondiente pieza incorporada (42) se encuentran en contacto entre sí a través de una obturación de borde de soldadura (76; 122).
- 25 19. Reactor tubular con revestimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** en la base de tubos en el lado de entrada de gas (4), dirigido hacia la entrada de gas, está dispuesto un cuerpo conductor de flujo en forma de mandril (16), que se estrecha hacia allí.
- 30 20. Reactor tubular con revestimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** entre la base de tubos en el lado de entrada de gas (4) y la base de tubos en el lado de salida de gas (148) está fijado en el revestimiento del reactor (6) un soporte para la base de tubos en el lado de entrada de gas (4).
- 35 21. Reactor tubular con revestimiento según la reivindicación 20, **caracterizado por que** el soporte está constituido al menos parcialmente por una pieza de construcción metálica de múltiples alas en relación al eje central longitudinal del reactor.
- 40 22. Reactor tubular con revestimiento según la reivindicación 21 y con haz de tubos de contacto en forma de anillo (8), **caracterizado por que** el soporte está constituido parcialmente por una pieza de construcción metálica adicional esencialmente cilíndrica, prismática, cónica o en forma de pirámide en el espacio interno libre de tubos del haz de tubos de contacto, que se apoya por su parte en la pieza de construcción metálica de múltiples alas.
- 45 23. Reactor tubular con revestimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la base de tubos en el lado de entrada de gas (4) está térmicamente aislada.
- 50 24. Reactor tubular con revestimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** en la entrada de gas de proceso (172) fluye un primer componente de gas de proceso y la entrada de gas de proceso (172) en dirección del flujo del gas de proceso antes de la disposición de válvula de retención (180) presenta un primer sitio de alimentación (174) para un segundo componente de gas de proceso que se añade al primer componente de gas de proceso.
- 55 25. Reactor tubular con revestimiento según la reivindicación 24, **caracterizado por que** al al menos el último sitio de alimentación (178) le sigue al menos una mezcladora (182, 184, 186).
26. Reactor tubular con revestimiento según las reivindicaciones 24 o 25, **caracterizado por que** al menos un segundo sitio de alimentación está formado por un dispositivo de inyección fina (192) con una pluralidad de elementos de inyección (194) distribuidos por la sección transversal del canal.
- 60 27. Reactor tubular con revestimiento según la reivindicación 26, **caracterizado por que** los elementos de inyección (194) están dotados de elementos de estrangulación individuales y/o elementos que median una rotación.
- 65 28. Reactor tubular con revestimiento según una de las reivindicaciones 24 a 27, **caracterizado por que** al menos uno de los sitios de alimentación (174, 176, 178; 192) está diseñado para alojar o incluso para calentar el correspondiente componente de gas de proceso en forma líquida, eventualmente calentado.
29. Reactor tubular con revestimiento según la reivindicación 28, **caracterizado por que** el correspondiente sitio de alimentación (174, 176, 178; 192) presenta medios para la introducción por soplado del componente de gas de proceso líquido.

30. Reactor tubular con revestimiento según las reivindicaciones 28 o 29, **caracterizado por que** el correspondiente sitio de alimentación (174, 176, 178; 192) está en condiciones de pulverizar y/o evaporar el correspondiente componente de gas de proceso.
- 5 31. Reactor tubular con revestimiento según una de las reivindicaciones 24 a 30, **caracterizado por que** el sitio de alimentación (174, 176, 178; 192) y/o su alimentación presenta medios de calentamiento y/o está térmicamente aislado.
- 10 32. Uso de un reactor tubular con revestimiento según una de las reivindicaciones anteriores para procesos de oxidación, de hidrogenación, de deshidrogenación, de nitración, de alquilación y similares.
- 15 33. Uso según la reivindicación 32, **caracterizado por que** el reactor tubular con revestimiento se usa para la preparación de cetonas, metilisobutilcetona, mercaptano, isopreno, antraquinona, o-cresol, etilhexano, furfurool, acetileno, acetato de vinilo, cloruro de isopropilo, anhídrido naftálico, cloruro de vinilo, oxoalcohol, pirotol, estireno, nitrilo de ácido metanoico, poli(óxido de fenileno), dimetilfenol, piridinaldehído, Therban, alfaolefinas, vitamina B6, ácido cianhídrico, anilina, nitrato de ácido metanoico, difluorometano, 4-metil-2-pentanona y tetrahidrofurano así como especialmente la
- 20 oxidación de dimetilbencenos (m,o,p) para dar los correspondientes mono- y dialdehídos,
oxidación de dimetilbencenos (m,o,p) para dar los correspondientes ácidos mono- y dicarboxílicos o bien sus anhídridos, oxidación de trimetilbencenos para dar los correspondientes mono-, di- y trialdehídos,
oxidación de trimetilbencenos para dar los correspondientes ácidos mono-, di- y tricarboxílicos o bien sus anhídridos, oxidación de durenol para dar anhídrido de ácido piromelítico,
oxidación de gamma- o bien beta-picolina para dar gamma- o bien beta-picolincarbaldéhído,
oxidación de gamma- o bien beta-picolina para dar ácido isonicotínico o bien ácido nicotínico,
- 25 oxidación de propeno para dar acroleína,
oxidación de acroleína para dar ácido acrílico,
oxidación de propano para dar acroleína,
oxidación de propano para dar ácido acrílico,
oxidación de butano para dar MSA,
- 30 oxidación de material refinado para dar MSA,
oxidación de i-buteno para dar metacroleína,
oxidación de metacroleína para dar ácido metacrílico,
oxidación de metacroleína para dar metacrilato de metilo,
oxidación de i-butano para dar metacroleína,
- 35 oxidación de i-butano para dar ácido metacrílico,
amonoxidación de dimetilbencenos (m,o,p) para dar los correspondientes mono- y dinitrilos,
amonoxidación de trimetilbencenos para dar los correspondientes mono- y di- o bien trinitrilos,
amonoxidación de propano para dar acrilonitrilo,
amonoxidación de propeno para dar acrilonitrilo,
- 40 amonoxidación de beta-picolina para dar 3-cianopiridina,
amonoxidación de gamma-picolina para dar 4-cianopiridina,
oxidación de metanol para dar formaldehído,
oxidación de naftaleno y/o O-xileno, eventualmente en el funcionamiento de mezclado, para dar anhídrido ftálico,
oxidación de etano para dar ácido acético,
- 45 oxidación de etanol para dar ácido acético, oxidación de geraniol para dar citral,
oxidación de eteno para dar óxido de etileno,
oxidación de propeno para dar óxido de propileno,
oxidación de ácido clorhídrico para dar cloro,
oxidación de glicol para dar glioxal e
- 50 hidrogenación de MSA para dar butanodiol.
34. Procedimiento para el funcionamiento de un reactor tubular con revestimiento según una de las reivindicaciones 1 a 31, **caracterizado por que** el reactor tubular con revestimiento en el funcionamiento de producción se hace funcionar con una carga tal de un primer componente de gas de proceso con al menos otro componente de gas de proceso, en el que se aceptan explosiones o incluso detonaciones ocasionales.
- 55 35. Procedimiento para el funcionamiento de un reactor tubular con revestimiento según una de las reivindicaciones 1 a 31, **caracterizado por que** para el arranque del reactor se miden de manera continua las concentraciones de los componentes de gas de proceso y eventualmente otros parámetros, de modo que la intensidad de explosiones o incluso detonaciones que eventualmente aparecen no supera aquélla de explosiones o bien detonaciones que se aceptan para el estado de funcionamiento.
- 60

Fig. 1

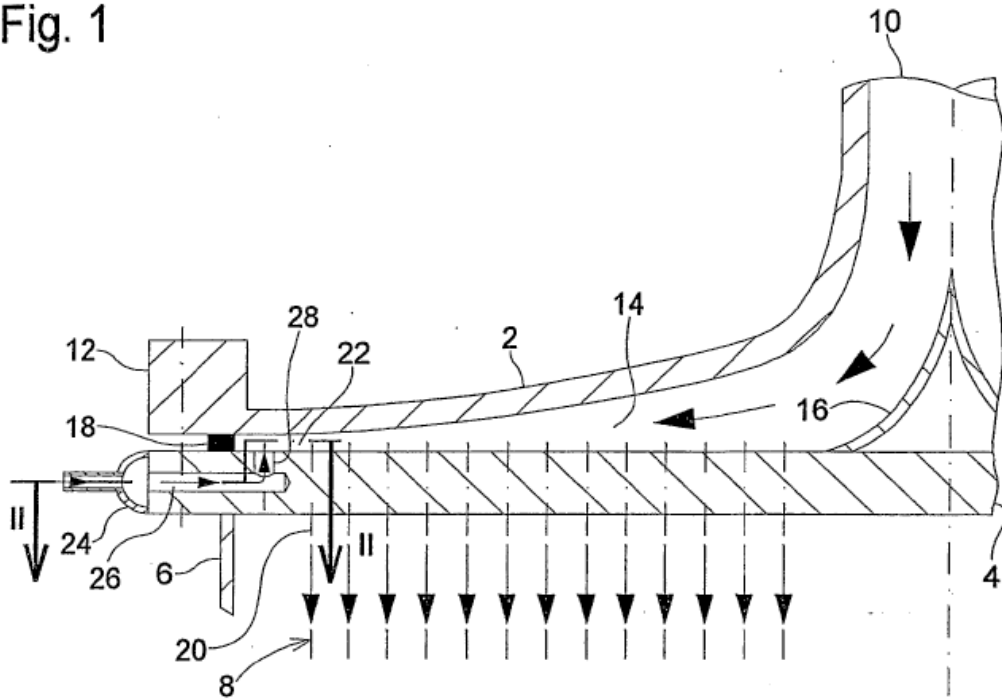


Fig. 2

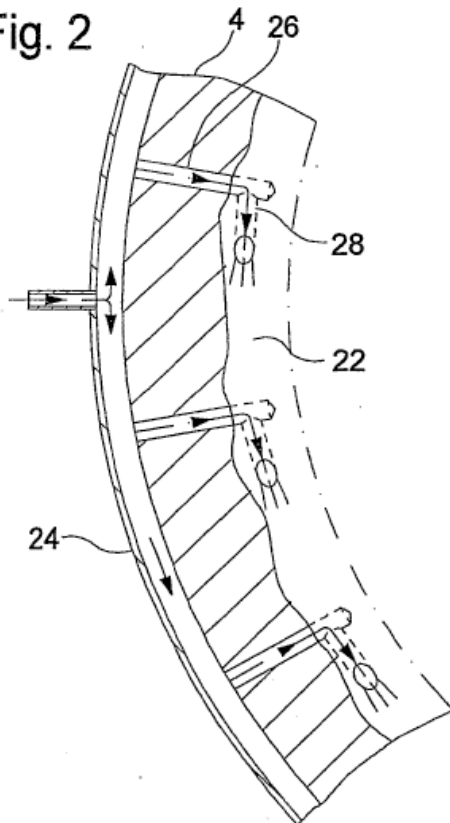


Fig. 3

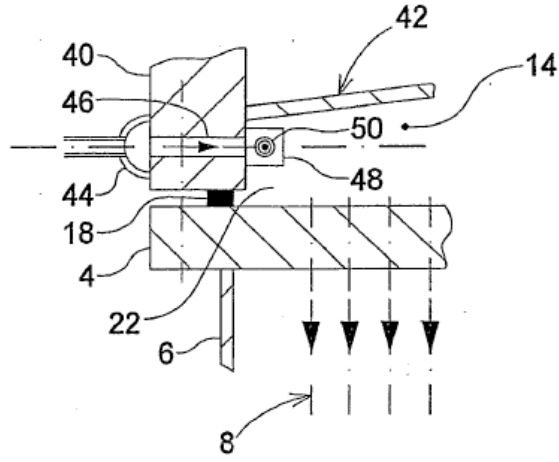


Fig. 4

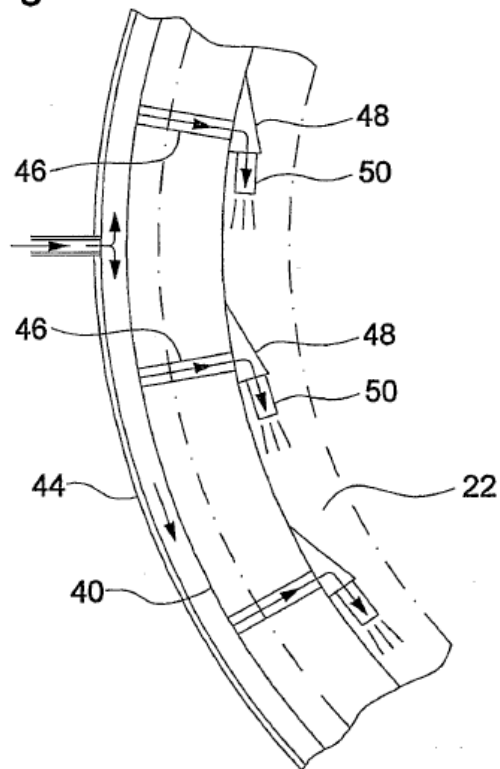


Fig. 5

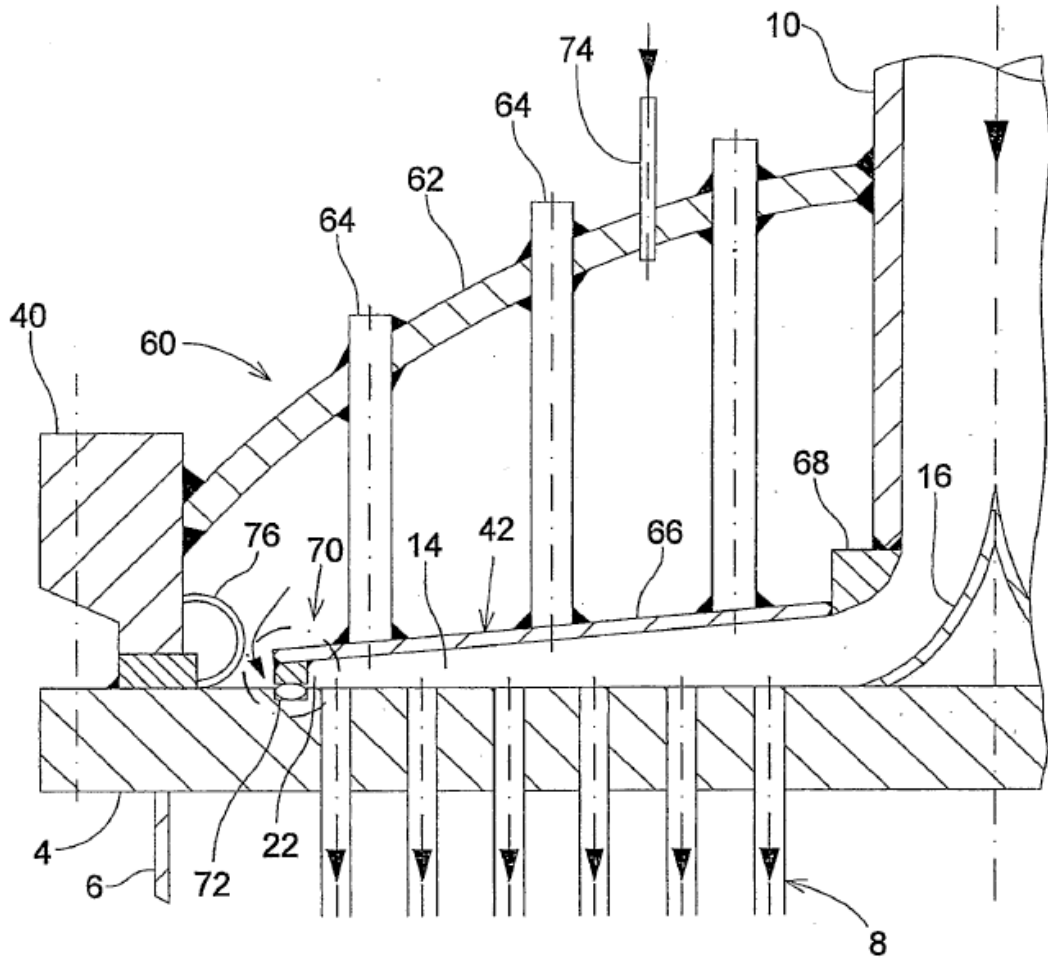


Fig. 6

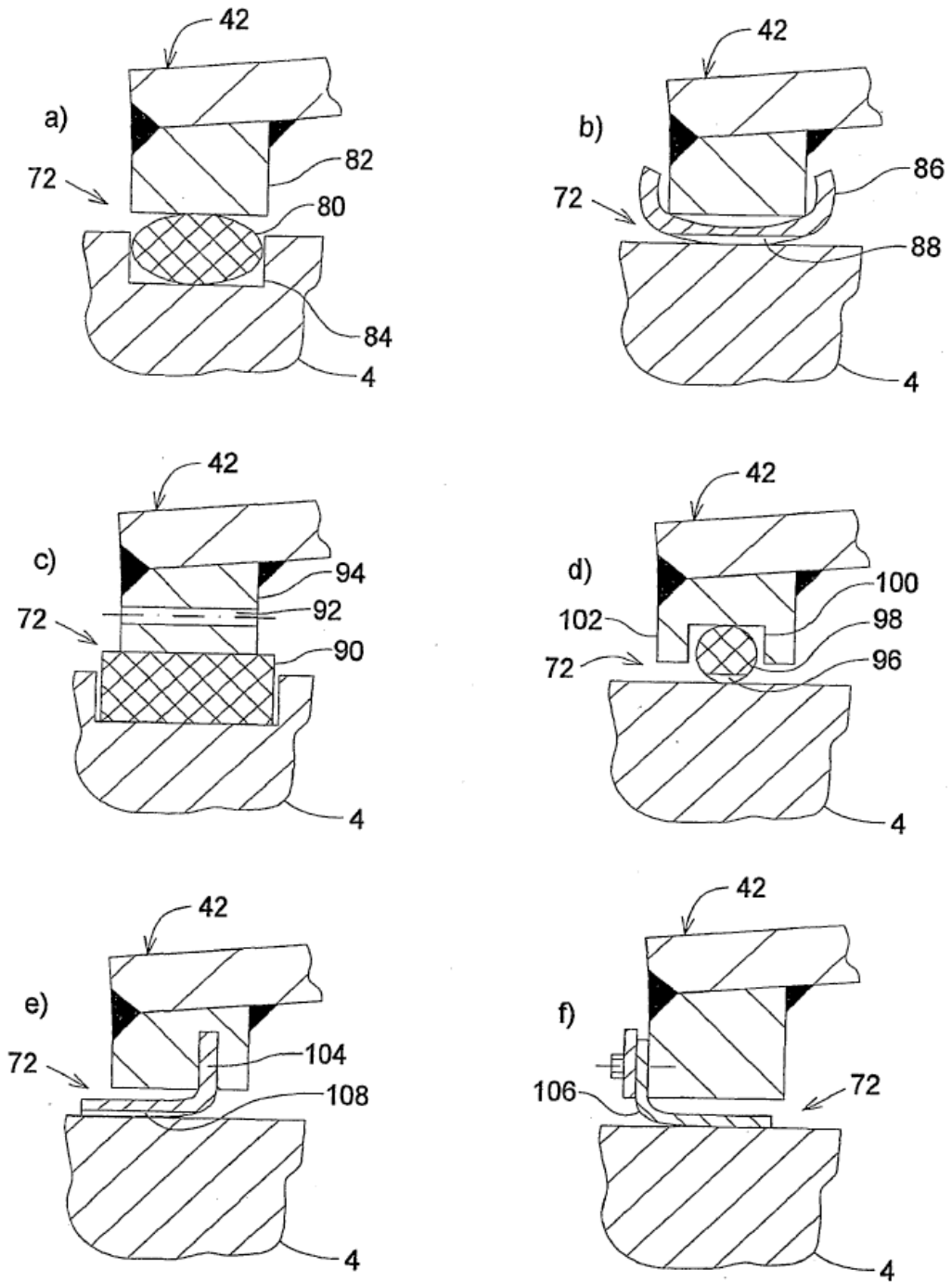


Fig. 7

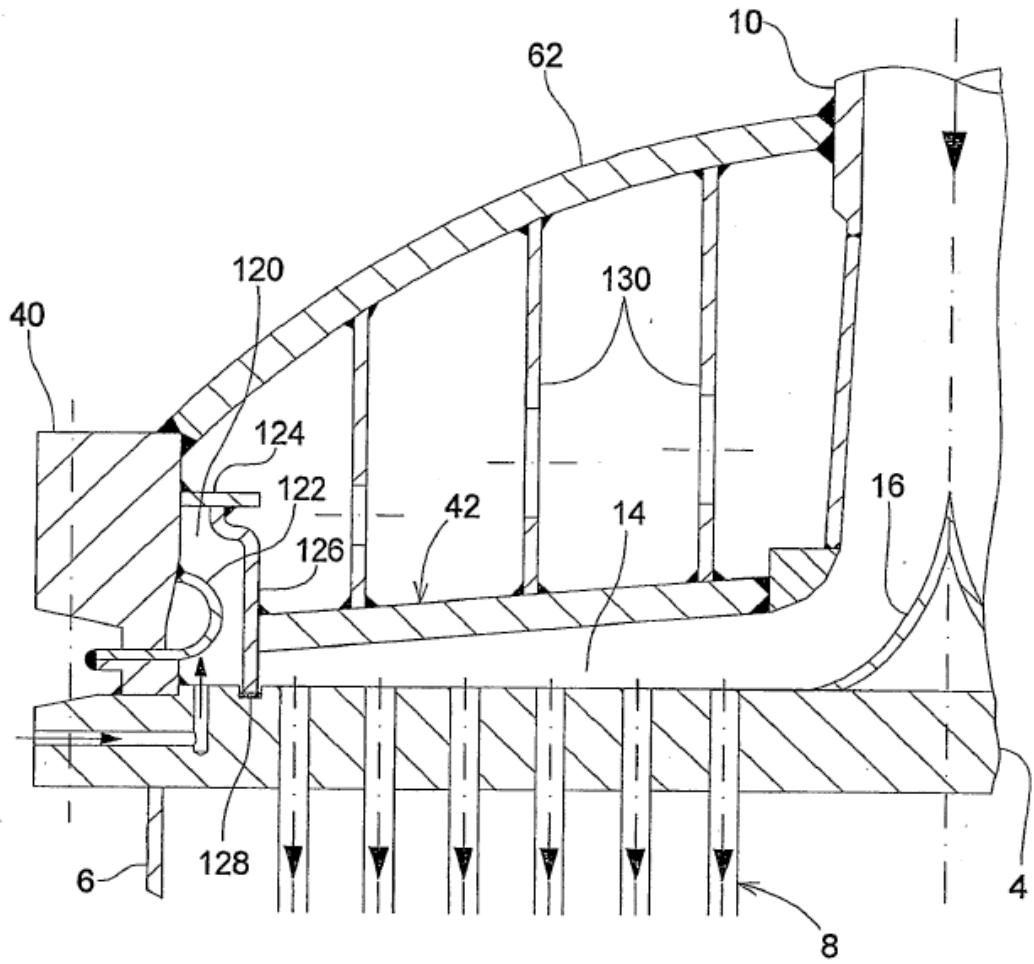


Fig. 8

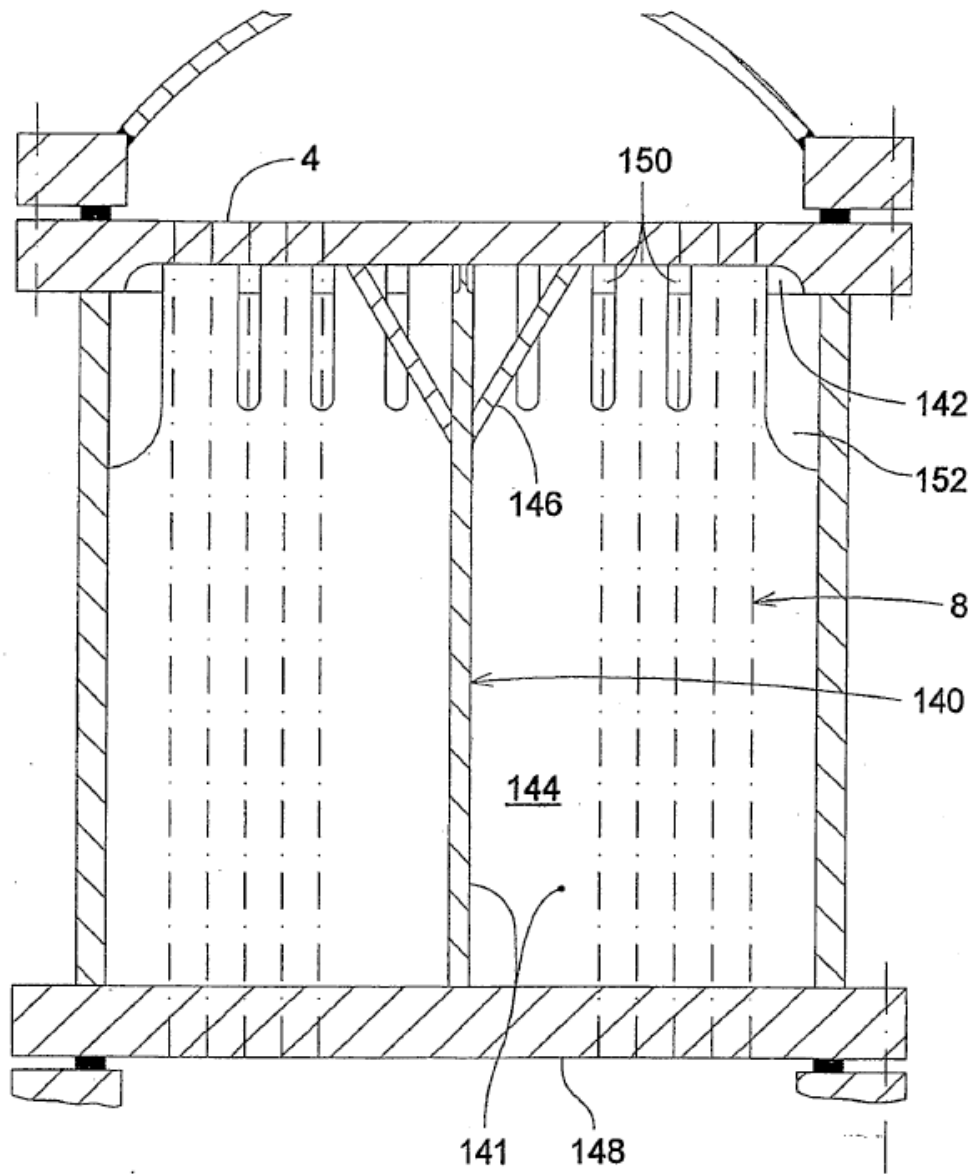


Fig. 9

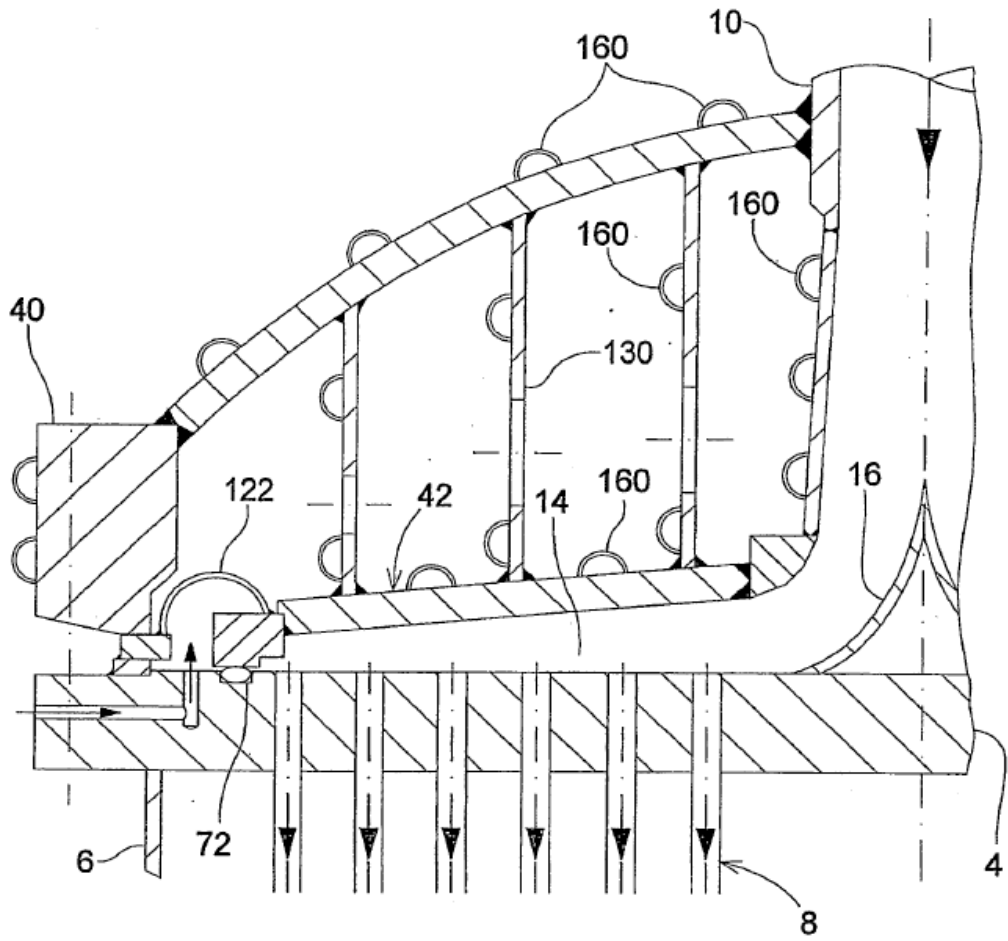


Fig. 10

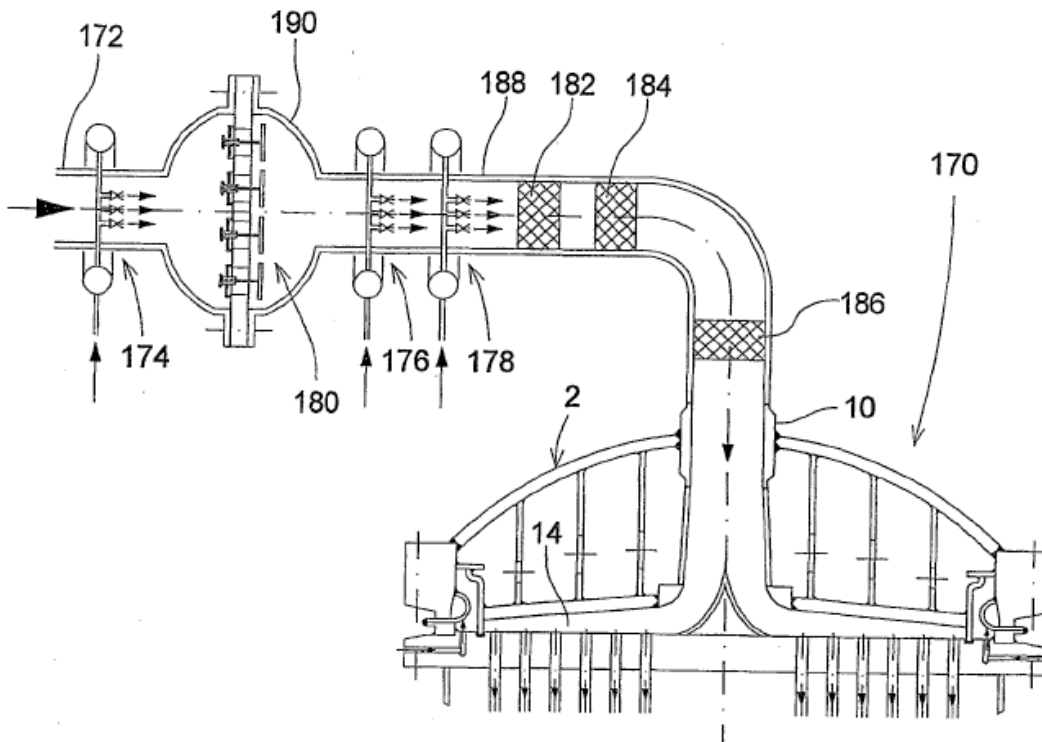


Fig. 11

