

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 477**

51 Int. Cl.:

E21B 43/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.07.2014** E 14179128 (5)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.07.2017** EP 2980348

54 Título: **SEPARADOR PARA SEPARAR PARTÍCULAS SÓLIDAS DE FLUJOS DE LÍQUIDOS Y GASES PARA ALTAS PRESIONES DIFERENCIALES**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.11.2017

73 Titular/es:

**3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY
(100.0%)
3M Center, P.O. Box 33427
St. Paul, MN 55133-3427, US**

72 Inventor/es:

**LANGE, DIETRICH;
KRECKER, ALEXANDER y
LESNIAK, CHRISTOPH**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 640 477 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

Separador para separar partículas sólidas de flujos de líquidos y gases para altas presiones diferenciales

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un novedoso dispositivo separador para altas presiones diferenciales con el que se pueden separar partículas sólidas no deseadas de un flujo volumétrico de petróleo, gas y agua, o mezclas de los mismos.

10

Antecedentes

Este tipo de dispositivos separadores son necesarios en muchos pozos de producción de gas y petróleo. El petróleo crudo y el gas natural se encuentran en depósitos subterráneos en los que el petróleo o el gas se distribuyen en capas minerales más o menos permeables y porosas. El objetivo de cualquier perforación de petróleo o gas es alcanzar el depósito y explotarlo de tal manera que solo se extraigan los productos comercializables, como el petróleo y el gas, en la medida de lo posible, mientras que los subproductos no deseados se minimizan o incluso se evitan por completo. Además de los subproductos no deseados, la extracción de petróleo y gas también incluye partículas sólidas como arenas y otras partículas minerales que también son arrastradas del orificio de perforación por el flujo de líquido o gas desde el depósito. En función de la permeabilidad de la capa geológica y de la presión del depósito, los caudales de líquido y gas cargados con sólidos pueden ser muy altos, hasta 15 m/s e incluso mayores en casos particulares.

Debido a que las arenas minerales suelen ser abrasivas, los flujos de entrada de estos sólidos en la línea de transporte y en la bomba causan un significativo desgaste abrasivo y erosivo no deseado en todos los dispositivos técnicos de perforación de orificios. Por tanto, el objetivo es liberar el flujo transportado de arenas no deseadas justo después de salir del depósito, es decir, mientras sigue en el orificio de perforación, utilizando sistemas de filtrado.

Los problemas de abrasión y erosión cuando se separan las partículas sólidas de los flujos de líquido y gas no se limitan solo a la industria del petróleo y el gas, sino que también tienen lugar cuando se transporta agua. El agua puede transportarse con el objetivo de obtener agua potable o también para obtener energía geotérmica. Los depósitos de agua estratificados porosos y, a menudo sueltos, tienden a introducir una cantidad significativa de partículas abrasivas en el material transportado. La necesidad de filtros resistentes a la abrasión y la erosión también está presente en estas aplicaciones.

Actualmente, en la extracción de petróleo y gas, se usan principalmente unos filtros que se producen envolviendo en espiral y soldando unos alambres conformados de acero a un tubo base perforado para separar partículas no deseadas. Este tipo de filtros se conocen como "filtros con envoltura de alambre". Otro diseño habitual de filtros en la extracción de petróleo y gas es la envoltura de un tubo base perforado con una red de malla de acero. Estos filtros se conocen como "tamices de malla de metal". Ambos métodos dan lugar a filtros con una abertura de malla efectiva de 75 μm a 350 μm . En función del diseño y la aplicación prevista de los dos tipos de filtro, los elementos del filtro están protegidos además contra daños mecánicos durante el transporte y la introducción dentro del orificio de perforación por una jaula de malla gruesa unida externamente. La desventaja de este tipo de filtros es que las estructuras de acero están sometidas a un rápido desgaste por abrasión por el efecto de las partículas abrasivas que fluyen rápidamente, lo cual conduce rápidamente a la destrucción de las delicadas estructuras de la malla. Este tipo de flujos rápidos abrasivos suelen ocurrir en los pozos de producción de petróleo y/o gas, lo cual conlleva altos costes de mantenimiento financiero y técnico a la hora de sustituir el filtro. Existen incluso pozos de producción que no pueden controlarse con la tecnología de filtros convencionales debido a estos flujos y, por tanto, no pueden explotarse económicamente por completo. Los filtros metálicos convencionales están sometidos a desgaste por abrasión y erosión porque los aceros, incluso si están endurecidos, son más blandos que las partículas parciales que contienen cuarzo en los pozos de producción.

Por tanto, existe una gran necesidad de contrarrestar los flujos abrasivos de arena con diseños de malla resistentes a la abrasión.

DE-10 2008 057 894 A1, WO 2011 / 009 469 A1 y WO 2011 / 120 539 A1 proponen diseños de filtro en los que los espacios del filtro, es decir, las aberturas funcionales del filtro, se crean a través de pilas de discos anulares densamente sinterizados y especialmente conformados hechos de un material quebradizo, preferiblemente de un material cerámico. Al hacerlos, se disponen al menos tres espaciadores uniformemente distribuidos en la parte superior de los discos anulares sobre la circunferencia de los discos, y los discos se apilan uno encima de otro de tal manera que los espaciadores se sitúan uno encima del otro.

Estos espaciadores tienen forma de secciones esféricas. Sin embargo, el diseño de los espaciadores con forma de secciones esféricas es desventajoso en cuanto a que los materiales cerámicos que son muy resistentes a la abrasión y a la erosión, como por ejemplo el carburo de silicio sinterizado densamente, son sensibles a la carga de presión en forma de punta y se fracturan cuando se sobrecargan como resultado de la carga de presión en forma de

punta. Las cargas de contacto elevadas con forma de punta se describen como esfuerzo hertziano de contacto. Los volúmenes de material por debajo del punto bajo esfuerzo de contacto dan lugar a la aparición de tensiones de tracción elevadas que pueden conducir a la fractura del anillo cerámico como resultado de la carga de presión en forma de punta.

5 En el estado de funcionamiento normal, el dispositivo separador solo experimenta diferencias de presión insignificantes entre el lado de entrada y de salida del filtro. Esto se aplica mientras un dispositivo separador no esté obstruido, es decir, atascado, y las sustancias puedan fluir más o menos libremente a través de él. Las diferencias de presión y/o las pérdidas de presión en el dispositivo separador son bajas en condiciones de funcionamiento normales. Sin embargo, si los espacios del filtro se obstruyen, las diferencias de presión pueden aumentar significativamente.

15 La obstrucción o atascamiento del dispositivo separador puede estar causada, por un lado, por la acumulación no deseada de partículas minerales en la abertura de entrada del filtro, es decir, en los espacios anulares en la superficie circunferencial externa de la pila de anillos. El riesgo de obstrucción depende, entre otras cosas, de la distribución del tamaño de partícula de la mezcla de partículas minerales/líquido y del caudal en la ubicación del filtro.

20 La obstrucción o atascamiento del dispositivo separador puede estar causado, por otro lado, por el llenado intencionado de líquidos altamente viscosos cargados con sólidos en el orificio de perforación. Este tipo de líquido se conoce como “píldora de control de pérdida de fluido”.

25 Un filtro obstruido o atascado puede estar sometido a diferencias de presión muy altas, que ascienden a una presión externa de 17,2 MPa (correspondiente a 172 bar o 2500 psi), es decir, con aplicación de presión desde el exterior, y una presión interna de 6,9 MPa (correspondiente a 69 bar o 1000 psi), es decir, con aplicación de presión desde el interior.

30 La obstrucción del filtro causada por una acumulación no deseada de partículas minerales en la abertura de entrada del filtro puede dar lugar, por ejemplo, a una carga de presión externa; enjuagar el filtro obstruido durante la limpieza puede dar lugar, por ejemplo, a una carga de presión interna.

Por tanto, los usuarios de filtros tienen un interés especial en considerar la resistencia a la presión de los filtros en el diseño y en la medición según un método uniforme.

35 A raíz de estas circunstancias se ha desarrollado la regulación de medición ISO 17824, primera edición, 15-08-2009, para determinar la resistencia a la presión de estos tipos de filtros. El filtro es impactado con presión interna (prueba de presión de rotura) o presión externa (prueba de presión de colapso) en dos configuraciones de prueba usando un líquido viscoso cargado con sólidos. En este caso, la presión se aumenta hasta que el filtro permita el paso de partículas más gruesas que las que corresponden a la anchura del filtro debido a los efectos de la presión, lo cual puede notarse a través de una caída de presión en el filtro o en la línea de suministro para el fluido de medición. En términos técnicos, este acontecimiento se conoce como una “pérdida del control de arena” o PCA.

45 El diseño del filtro según DE-10 2008 057 894 A1, WO 2011/009 469 A1 y WO 2011/120 539 A1 significa que, durante las pruebas según la ISO 17824, se producen brechas de presión locales en secciones de aberturas de separación del filtro individuales durante la acumulación de presión. Estas brechas de presión se deben a que las partículas sólidas del líquido de medición que forman un puente se presionan a través del espacio del filtro como resultado de una presión excesivamente elevada, lo que a su vez provoca un aumento de la presión en el espacio del filtro. Los puentes formados por las partículas sólidas colapsan con la carga de presión. La presión del líquido que entonces predomina provisionalmente en el espacio del filtro produce fuerzas axiales elevadas, que cargan axialmente los segmentos del disco anular situados a ambos lados del espacio del filtro fracturado y los someten a esfuerzos de flexión, de tal modo que el riesgo de fractura del anillo está presente.

55 Con la prueba de los filtros propuestos en DE-10 2008 057 894 A1, WO 2011 / 009 469 A1 y WO 2011 / 120 539 A1 de resistencia a la presión interna y externa (prueba de presión de rotura, prueba de presión de colapso), según la ISO 17824 y también en el uso durante la producción, las relaciones de presión pueden producir fuerzas axiales elevadas en las pilas de anillos cerámicos. Incluso con presiones isostáticas comparativamente bajas, las fuerzas axiales pueden aumentar de tal manera que la fractura del anillo pueda ocurrir a partir del esfuerzo hertziano de contacto debido al contacto en forma de punta sobre las secciones esféricas.

60 El diseño de los espaciadores en forma de secciones esféricas da lugar a otras desventajas económicas y técnicas. Debido a que los anillos con este tipo de espaciadores conformados no pueden mecanizarse posteriormente de manera económica después de la sinterización, la planitud de los discos anulares y la altura de las secciones esféricas deben corresponder de forma precisa a la especificación prevista, porque de lo contrario los anillos no serán utilizables y deberán rechazarse. Incluso cuando se mantienen las tolerancias técnicamente posibles, los también llamados “sinterizados”, es decir, componentes hechos de cerámicas que no pueden mecanizarse después,

5 tienen tolerancias mayores que aquellos que posteriormente no se han mecanizado a través de un mecanizado duro. De esta forma, la ajustada tolerancia de la anchura del filtro no puede conseguirse de forma económica con anillos que tengan espaciadores con la forma de secciones esféricas. Las desventajas también incluyen el hecho de que se debe disponer de una herramienta de presión adaptada especialmente para cada anchura de filtro que se va a producir. Al menos el punzón superior de la herramienta de presión debe adaptarse a la altura de la sección esférica y, por tanto, a la anchura de filtro prevista, lo cual se asocia con significativas desventajas económicas.

10 Otra desventaja de los diseños propuestos en DE-10 2008 057 894 A1, WO 2011 / 009 469 A1 y WO 2011 / 120 539 A1 se refiere a los muelles de compresión. Estos muelles de compresión diseñados como muelles en espiral deben utilizarse para mantener la tensión previa de los discos anulares cerámicos constante con condiciones ambientales cambiantes, especialmente con un cambio en la temperatura. El efecto deseado de los muelles distribuidos sobre la circunferencia de los discos anulares es mantener los discos unidos con una fuerza independiente de las influencias ambientales y, de esta forma, mantener constante la anchura del espacio del filtro. Sin embargo, en ciertas condiciones de funcionamiento que pueden tener lugar en el uso real del transporte del filtro, los muelles pueden comportarse de forma diferente a la deseada. Debido a la diferencia de presión entre el lado de entrada del filtro, que está normalmente sobre la superficie circunferencial exterior de los discos anulares, y el lado de salida, sobre la superficie circunferencial interior de los discos anulares, se producen fuerzas de presión axiales en el espacio del filtro, en el que las fuerzas axiales pueden ser significativas, incluso con una diferencia pequeña de presión, debido a la anchura de los discos anulares. Estas fuerzas axiales pueden ser superiores a las fuerzas de los muelles de compresión, lo cual significa que, partiendo de una cierta diferencia de presión, los muelles ceden y uno o más espacios del filtro cambian de una manera no deseada, lo que da lugar a la pérdida del deseado y buscado efecto filtro. No es posible aumentar la tensión previa de los muelles según se desee con los diseños propuestos, ya que de lo contrario, el esfuerzo hertziano de contacto conduciría a la fractura de los anillos del filtro cerámico incluso con un filtro no cargado.

25 Con los muelles de compresión se ejerce una fuerza de muelle uniforme sobre los discos anulares en la circunferencia de los discos anulares, que contrarrestan una fuerza de equilibrio [de] un campo de presión isostática homogénea dentro o fuera del filtro. Las pruebas con este tipo de filtros muestran que los campos de fuerza de presión no son homogéneos en condiciones técnicamente realistas y los muelles no pueden evitar una inclinación no deseada de los discos anulares. Los muelles de compresión pueden perder su efecto deseado hasta el punto de conducir a la pérdida de funcionalidad o al menos al fallo del efecto del filtro deseado.

30 Los discos anulares en DE-10 2008 057 894 A1, WO 2011 / 009 469 A1 y WO 2011 / 120 539 A1 están apilados de forma que los espaciadores conformados como secciones esféricas deben situarse unos encima de otros respectivamente. Esta solución técnica presenta desventajas en la medida en que, por una parte, el montaje es complejo ya que debe prestarse atención a la orientación precisa de los anillos; además, existe el riesgo de que el filtro se vuelva disfuncional cuando los anillos roten debido a las influencias causadas por el transporte o el funcionamiento.

40 En WO 2011 / 009 469 A1 los discos anulares quebradizos tienen ranuras en la superficie circunferencial interior para montar barras directrices que se utilizan durante el montaje para alinear y guiar los elementos del anillo. En WO 2011 / 120 539 A1, los discos quebradizos de la pila de anillos se mantienen unidos mediante barras de tensión situadas paralelas al eje longitudinal dentro de la pila de anillos o un tubo de sujeción situado dentro de la pila de anillos. Los discos quebradizos tienen cavidades o ranuras para recibir las barras de tensión en la superficie circunferencial interior. Las ranuras en los discos quebradizos necesarias para guiar a los elementos de sujeción paralelos al eje representan, al igual que las ranuras en WO 2011 / 009 469 A1, un significativo debilitamiento mecánico de los discos quebradizos, ya que tiene lugar una sobretensión en las ranuras cuando los discos frágiles se cargan con presiones externas o internas de las pruebas o el funcionamiento. Esto conduce a menos resistencia de presión exterior o interior del sistema de filtro.

50 Se sabe que las temperaturas alrededor de 5000 °C predominan en el centro de la tierra. Se forma un gradiente de temperatura en la dirección de la superficie de la tierra, lo cual significa que a medida que aumenta la profundidad en los orificios de perforación esta se vuelve generalmente más caliente. Se sabe que los orificios de perforación profundos de 8000 m de profundidad pueden alcanzar temperaturas de aproximadamente 250 °C. Por tanto, se prevén temperaturas altas en los pozos de producción para petróleo y gas o incluso agua. La principal necesidad de dispositivos separadores utilizados en los pozos de producción de petróleo y gas o incluso agua se encuentra en un intervalo de temperatura de hasta 200 °C. Por tanto, los dispositivos separadores utilizados en los pozos de producción de petróleo y gas o agua deben ser funcionales en un intervalo de temperatura de 10 a 200 °C. Durante el transporte y almacenaje, los dispositivos separadores también pueden someterse a temperaturas más bajas de hasta -30 °C, que deben poder aguantar los dispositivos separadores sin que se produzca ningún daño considerable.

60 Por tanto, es deseable proporcionar un dispositivo separador resistente al desgaste para separar partículas sólidas de líquidos, especialmente de petróleo, gas y agua, de pozos de producción, que tenga una resistencia alta a las diferencias de presión entre el lado de entrada y de salida del dispositivo separador. También, es deseable que el dispositivo separador sea capaz de soportar diferencias de temperatura de al menos 190 °C, es decir, en un intervalo de +10 °C hasta +200 °C, sin que se produzca un daño considerable en el funcionamiento y sin limitar su

funcionalidad. Además, el dispositivo separador debe ser capaz de soportar las bajas temperaturas de hasta -30 °C que se producen durante el transporte y almacenamiento, sin que se produzcan daños significativos. Asimismo, es deseable que el dispositivo separador pueda utilizarse en pozos de producción curvos, que sea mecánicamente robusto y que satisfaga los numerosos requisitos relacionados con la seguridad y confiabilidad en la industria del petróleo y el gas.

Resumen

La presente invención proporciona un dispositivo separador según la reivindicación 1 y 2 así como el uso del mismo según la reivindicación 23. Las realizaciones preferidas o especialmente convenientes del dispositivo separador se especifican en las reivindicaciones dependientes 3 a 22.

Por tanto, el objeto de la invención es un dispositivo separador para separar partículas sólidas de líquidos y/o gases, que comprende

a) una pila de anillos hecha de, al menos, tres discos anulares quebradizos, en donde la parte superior de los discos anulares comprende al menos tres espaciadores, que están distribuidos de manera uniforme en la circunferencia de los discos y cuya área de contacto es plana para que los espaciadores tengan un contacto plano con la parte inferior de un disco anular adyacente, y en donde los discos anulares están apilados y fijados de manera que existe un espacio separador para separar las partículas sólidas entre cada uno de los discos individuales, y en donde la proyección axial de los discos anulares en la circunferencia exterior o interior es circular, y en donde el material quebradizo de los discos anulares se selecciona de materiales cerámicos oxídicos y no oxídicos, cerámicas mezcladas hechas de estos materiales, materiales cerámicos con la adición de fases secundarias, materiales mezclados con partes de materiales duros metálicos o cerámicos y con una fase de aglomerante metálico, materiales metalúrgicos en polvo con fases de materiales duros formados in situ y materiales cerámicos reforzados con fibras largas y/o cortas,

b) un tubo perforado situado dentro de la pila de anillos, sobre cuyo tubo perforado se apilan los discos anulares quebradizos,

c) al menos tres flejes montados paralelos al eje en intervalos regulares en la superficie de la carcasa del tubo perforado situado dentro de la pila de anillos, sobre cuyos flejes se presionan los discos anulares, mediante lo cual los discos anulares se centran en el tubo perforado, y

d) un tapón final en el extremo superior y un tapón final en el extremo inferior de la pila de anillos, en donde los tapones finales están firmemente conectados al tubo perforado.

El objeto de la invención es también un dispositivo separador para separar partículas sólidas de líquidos y/o gases, que comprende

a) una pila de anillos hecha de al menos tres discos anulares quebradizos, en donde la parte superior y la parte inferior de cada segundo disco anular en la pila de anillos comprende, al menos, tres espaciadores distribuidos uniformemente en la circunferencia de los discos, y en donde los discos anulares adyacentes respectivos no tienen ningún espaciador y en donde la superficie de contacto de los espaciadores es plana para que los espaciadores tengan un contacto plano con los discos anulares adyacentes, y en donde los discos anulares están apilados y fijados de manera que existe un espacio separador para separar las partículas sólidas entre cada uno de los discos individuales, y en donde la proyección axial de los discos anulares en la circunferencia exterior o interior es circular, y en donde el material quebradizo de los discos anulares se selecciona de materiales cerámicos oxídicos y no oxídicos, cerámicas mezcladas hechas de estos materiales, materiales cerámicos con adición de fases secundarias, materiales mezclados con partes de materiales duros metálicos o cerámicos y con una fase de aglomerante metálico, materiales metalúrgicos en polvo con fases de materiales duros formados in situ, y materiales cerámicos reforzados con fibras largas y/o cortas,

b) un tubo perforado situado dentro de la pila de anillos, sobre cuyo tubo perforado se apilan los discos anulares quebradizos,

c) al menos tres flejes montados paralelos al eje en intervalos regulares en la superficie de la carcasa del tubo perforado situado dentro de la pila de anillos, sobre cuyos flejes se presionan los discos anulares, mediante lo cual los discos anulares se centran en el tubo perforado, y

d) un tapón final en el extremo superior y un tapón final en el extremo inferior de la pila de anillos, en donde los tapones finales están firmemente conectados al tubo perforado.

El objeto de la invención es también el uso de un dispositivo separador según la invención para separar partículas sólidas de líquidos y/o gases con un método para transportar líquidos y/o gases desde los pozos de producción.

El objeto de la invención es también el uso del dispositivo separador según la invención para separar partículas sólidas de líquidos y/o gases en cuerpos naturales del agua o en instalaciones de almacenamiento para líquidos y/o gases.

5 El dispositivo separador según la invención tiene una buena resistencia a las diferencias de presión. Puede soportar presiones externas de hasta 50 MPa (o 500 bar o 7250 psi) y más cuando se prueba su resistencia a la presión exterior (prueba de presión de colapso) según la ISO 17824, y presiones internas de hasta 12 MPa (o 120 bar o 1740 psi) y más cuando se prueba su resistencia a la presión interna (prueba de presión de rotura) según la ISO 17824 sin limitar su funcionalidad. Estas pruebas de resistencia a la presión interna y externa no dan lugar a la fractura de ninguno de los discos anulares quebradizos. La resistencia a la presión interna y externa del dispositivo separador según la invención es, por tanto, significativamente mayor que con los dispositivos separadores según DE-10 2008 057 894 A1, WO 2011 / 009 469 A1 y WO 2011 /120 539 A1.

15 Debido a las superficies de contacto planas de los espaciadores, los discos anulares tienen un contacto plano con los discos anulares adyacentes respectivamente. De este modo, se evitan las cargas de presión en forma de punta de manera que el riesgo de sobrecarga debido al esfuerzo hertziano de contacto y la fractura de los discos anulares quebradizos se reduce significativamente en comparación con los dispositivos separadores de DE-10 2008 057 894 A1, WO 2011/009 469 A1 y WO 2011 /120 539 A1 con los espaciadores en forma de secciones esféricas.

20 El dispositivo separador según la invención no tiene elementos estructurales elásticos y flexibles como muelles, discos de goma u otros elementos elásticos que provoquen el pretensado. La pila de anillos del dispositivo de separación no está sometida a tensión por medio de muelles de compresión, sino que se fija al tubo perforado situado dentro de la pila de anillos sin que la pila de anillos esté sometida a un pretensado significativo. Al omitir los muelles de compresión, no se produce una inclinación en los discos anulares.

25 Cuando el dispositivo separador es impactado con presión del interior o el exterior, se producen fuerzas axiales en los discos anulares debido a la presión del líquido, lo cual puede tener un efecto en el espacio del filtro en todos los lados y provocar que los discos anulares se separen unos de otros. En función del tipo de campo de presión, que puede distribuirse uniforme o no uniformemente alrededor de la circunferencia y la altura de la columna del filtro, las fuerzas axiales pueden tener lugar con un número mayor o menor de discos anulares. Con el dispositivo separador según la invención, el apoyo de los discos anulares unos contra otros y el apoyo de la pila de anillos contra los tapones finales evitan que las fuerzas axiales que se producen bajo el efecto de la presión provoquen un cambio medible en los discos anulares en la dirección axial. Incluso con diferencias de presión elevadas debido a la carga de presión interna o externa, los espacios de los filtros no cambian de una manera no deseada, por lo que el efecto del filtro se mantiene incluso con diferencias de presión elevadas.

30 Con el dispositivo separador según la invención, la proyección axial de los discos anulares es circular en la circunferencia interior y exterior. Por tanto, los discos anulares no tienen ranuras o cavidades que reduzcan la fuerza en su superficie circunferencial interna o externa, a diferencia de los dispositivos separadores propuestos en DE-10 2008 057 894 A1, WO 2011 / 009 469 A1 y WO 2011 / 120 539 A1. Debido a la forma circular ideal desde la perspectiva del diseño, se evitan esencialmente las concentraciones de tensión debidas a la carga de presión. Por tanto, la resistencia a la presión interna y externa del dispositivo separador es mayor.

35 La producción de los discos anulares utilizados para el dispositivo separador según la invención puede implementarse económicamente para varias anchuras de filtro con una única herramienta de prensado, y el ajuste exacto de la anchura del filtro puede tener lugar mediante el mecanizado duro de los discos anulares sinterizados. Por ejemplo, se pueden producir anchuras de filtro de 10 a 500 µm con una única herramienta de prensado, lo cual conlleva un significativo ahorro en los costes de herramientas y almacenamiento.

40 En la dirección radial y tangencial, los discos anulares pueden moverse opuestos entre sí hasta cierto grado, por lo que el dispositivo separador también puede introducirse en pozos de producción curvados.

45 El dispositivo separador según la invención construido a partir de elementos de anillos quebradizos es más resistente a la abrasión y a la corrosión que los filtros metálicos convencionales. Por tanto, tiene una mayor vida útil en condiciones de uso corrosivas y abrasivas en comparación con los filtros convencionales.

Breve descripción de los dibujos

50 La invención se explica con más detalle mediante los dibujos. Se muestra lo siguiente:

la Figura 1 muestra la vista general de un dispositivo separador según la invención;

55 las Figuras 2 a - 2 b muestran esquemáticamente la vista general de un dispositivo separador según la invención con uno o dos elementos intermedios;

las Figuras 3 a - 3 b muestran una vista en sección transversal de un dispositivo separador según la invención según una primera realización preferida;

5 las Figuras 4 a - 4 b muestran una vista en sección transversal de un dispositivo separador según la invención según una segunda realización preferida;

las Figuras 5 a - 5 b muestran una vista en sección transversal de un dispositivo separador según la invención según una tercera y cuarta realización preferida;

10 las Figuras 6 a - 6 g muestran varias vistas de un disco anular según la invención con 15 espaciadores en la parte superior del disco anular;

15 las Figuras 7 a - 7 b muestran esquemáticamente varias vistas de una pila de anillos con discos anulares según las Figuras 6 a - 6 g;

las Figuras 8 a - 8 g muestran varias vistas de un disco anular según la invención con 24 espaciadores en la parte superior del disco anular;

20 las Figuras 9 a - 9 e muestran, cada una, una sección de la parte superior de un disco anular según la invención con espaciadores diseñados de forma diferente;

la Figura 10 muestra una vista en sección transversal de un dispositivo separador según la invención con una primera realización de los flejes de centrado;

25 la Figura 11 muestra una vista en sección transversal de un dispositivo separador según la invención con una segunda realización de los flejes de centrado;

las Figuras 12 a - 12 c muestran varias vistas de un elemento de compensación (casquillo de compensación) para el dispositivo separador según la invención de la primera realización preferida según las Figuras 3 a - 3 b;

30 las Figuras 13 a - 13 b muestran varias vistas de un elemento de compensación (elemento de compensación de doble pared) para el dispositivo separador según la invención de la segunda realización preferida según las Figuras 4 a - 4 b;

35 las Figuras 14 a - 14 b muestran varias vistas de un casquillo de compensación con muelles en espiral para el dispositivo separador según la invención de la primera realización preferida según las Figuras 3 a - 3 b;

las Figuras 15 a - 15 b muestran varias vistas de un casquillo de compensación con muelles en espiral para el dispositivo separador según la invención de la primera realización preferida según las Figuras 3 a - 3 b;

40 las Figuras 16 a - 16 b muestran varias vistas de un disco anular según la invención con 15 espaciadores tanto en la parte superior como en la parte inferior del disco anular; y

las Figuras 17 a - 17 f muestran esquemáticamente varias vistas de una pila de anillos con discos anulares según las Figuras 16 a - 16 b.

45 **Descripción detallada**

Las realizaciones preferidas y los detalles del dispositivo separador según la invención se explican con más detalles a continuación con referencia a los dibujos.

50 La Figura 1 muestra la vista general de un dispositivo separador según la invención. Ambos extremos del tubo perforado 1 tienen de forma típica unas roscas 2 unidas, mediante las cuales el dispositivo separador puede conectarse a más componentes, ya sea con dispositivos separadores adicionales o con componentes adicionales del equipo de producción y perforación.

55 A continuación se describen varias realizaciones del dispositivo separador según la invención, en las que los dispositivos separadores comprenden los siguientes elementos básicos diseñados adecuadamente para el material y coordinados unos con respecto a otros:

60 - Una pila 7 de anillos (véanse las Figuras 3 a - 3 b, 4 a - 4 b, 5 a - 5 b y 7 a - 7 f) hecha de al menos tres discos 8 anulares quebradizos (véanse las Figuras 6 a - 6 g, y 8 a - 8 g), cuya parte superior 9 tiene al menos tres espaciadores 10 distribuidos uniformemente sobre la circunferencia de los discos; La superficie 11 de contacto de los espaciadores 10 es plana, de manera que los espaciadores 10 tienen un contacto plano en relación con el disco anular adyacente. Los discos anulares se apilan y fijan de manera que se forma un espacio separador 14 entre los discos individuales para separar las partículas sólidas. La proyección axial de los discos anulares es circular en la circunferencia interior y exterior. Por tanto, los discos anulares no tienen ranuras ni cavidades que

reduzcan la fuerza en su superficie circunferencial interna o externa. Debido a la forma circular ideal desde la perspectiva del diseño, se evitan esencialmente las concentraciones de tensión debidas a la carga de presión;

- Un tubo perforado 1 situado en el interior de la pila 7 de anillos (véanse las Figuras 1, 3 a - 3 b, 4 a - 4 b, y 5 a - 5 b), sobre el que se apilan los discos 8 anulares quebradizos. El tubo perforado situado en el interior de la pila de anillos también se describe como el tubo base en adelante;

- Al menos tres flejes 15 montados paralelos al eje en intervalos regulares en la superficie de la carcasa del tubo base 1 (véanse las Figuras 10 y 11), sobre cuyos flejes se presionan los discos anulares 8, mediante lo cual los discos anulares 8 se centran en el tubo base 1; y

- Dos tapones finales 5, 6 (véanse las Figuras 1, 3 a - 3 b, 4 a-4 b y 5 a - 5 b) sobre el extremo superior e inferior de la pila 7 de anillos en la que los tapones finales 5, 6 se conectan firmemente al tubo base 1.

Para una mayor comprensión y debido a que el dispositivo separador según la invención normalmente se introduce en un orificio de perforación de pozo en dirección vertical, en la presente memoria se utilizan los términos "superior" e "inferior"; sin embargo, el dispositivo separador también puede colocarse en el orificio de perforación de pozo en una orientación horizontal.

Pila de anillos

Las Figuras 6 a -6 g y 8 a -8 g muestran dos realizaciones preferidas de los discos anulares 8 utilizados para el dispositivo separador según la invención. El bloque de las Figuras 6 muestra el diseño de los discos anulares para una realización con 15 espaciadores sobre la parte superior del disco anular, mientras que el bloque de las Figuras 8 muestra el diseño de los discos anulares para una realización con 24 espaciadores sobre la parte superior del disco anular. Las Figuras 6 a y 8 a muestran una vista superior del disco anular 8; las figuras 6 b y 8 b muestran una vista en sección transversal a lo largo de la línea de intersección indicada como "6 b" u "8 b" en la Figura 6 a u 8 a, respectivamente. Las Figuras 6 c - 6 e y 8 c - 8 e muestran secciones ampliadas de las vistas en sección transversal de las Figuras 6 b y 8 b; las Figuras 6 f y 8 f muestran una representación tridimensional a lo largo de la línea de intersección indicada como "6 f" u "8 f" en la Figura 6 a u 8 a, respectivamente, y las Figuras 6 g y 8 g muestran una vista tridimensional del disco anular. El diseño de los espaciadores mostrado en las Figuras 6 a - 6 g y 8 a - 8 g es una forma preferida de los espaciadores.

Los discos anulares se producen a partir de un material quebradizo, preferiblemente de un material cerámico, que es resistente a la abrasión y la erosión de partículas sólidas como arenas y otras partículas minerales así como resistente a la corrosión de los medios de bombeo y de los medios utilizados para el mantenimiento como, p. ej., ácidos.

Las Figuras 7 a - 7 f muestran esquemáticamente una pila 7 de anillos construidos a partir de los discos anulares 8 en las Figuras 6 a - 6 g. La Figura 7 a muestra una vista superior de la pila de anillos; la Figura 7 muestra una vista en sección transversal a lo largo de la línea de intersección indicada como "7 b" en la Figura 7 a. Las Figuras 7 c y 7 d muestran secciones ampliadas de la vista en sección transversal de la Figura 7 b. La Figura 7 e muestra una vista tridimensional de la pila de anillos; la Figura 7 f muestra una representación tridimensional a lo largo de la línea de intersección indicada como "7 f" en la Figura 7 a.

La separación de las partículas tiene lugar en la abertura de entrada de un espacio anular 14 preferiblemente divergente en la dirección de flujo, es decir, ensanchándose, (véanse las Figuras 7 b y 7 d), que se forma entre dos elementos anulares situados uno encima del otro. Los elementos anulares son materiales diseñados apropiadamente para cerámicas o materiales quebradizos, es decir, las transiciones en sección transversal están diseñadas sin muescas y la aparición de tensiones de flexión se evita en gran medida en el diseño.

Los discos anulares 8 (véanse los bloques de Figuras 6 y 8) tienen en su parte superior 9 al menos tres espaciadores 10 con una altura definida distribuidos uniformemente en la circunferencia de los discos, mediante los cuales se ajusta la altura del espacio separador 14 (anchura del espacio del espacio del filtro, anchura del filtro). Los espaciadores no se unen por separado ni se sueldan posteriormente. Se forman directamente durante la producción, durante el moldeado de los discos anulares. Por tanto, los discos anulares son cuerpos monolíticos y los espaciadores tienen el mismo nivel elevado de resistencia a la abrasión, erosión y corrosión que los discos anulares.

La superficie 11 de contacto de los espaciadores 10 es plana (véanse las Figuras 6 c, 6 f, 8 c, y 8 f), de manera que los espaciadores 10 tienen un contacto plano en relación con el disco anular adyacente. Los discos anulares 8 son planos y paralelos en la zona de la superficie 11 de contacto de los espaciadores 10, es decir, en el área de contacto del disco 8 anular adyacente en relación con la parte inferior 12 de los discos anulares 8. La parte inferior 12 de los discos anulares es lisa y plana y está conformada en un ángulo recto en relación con el eje del disco.

La parte superior 9 de los discos anulares se inclina preferiblemente hacia dentro o hacia fuera, de manera especialmente preferible hacia dentro, en las regiones entre los espaciadores. Si la parte superior de los discos anulares se inclina hacia

dentro o hacia fuera en las regiones entre los espaciadores, la línea de intersección en la parte superior en la sección transversal del anillo de los discos anulares es recta en el caso más simple y la sección transversal del anillo de los discos anulares es trapezoidal en las secciones entre los espaciadores (véanse las Figuras 6 d y 8 d), en donde la parte más gruesa de la sección transversal del anillo debe situarse en la parte de entrada correspondiente del flujo que deba filtrarse.

5 Si el flujo que deba filtrarse procede de la dirección de la superficie circunferencial exterior de la pila de anillos, el punto más grueso de la sección transversal trapezoidal debe estar en el exterior y la parte superior de los discos anulares se inclina hacia dentro. Si el flujo que deba filtrarse procede de la dirección de la superficie circunferencial interior de la pila de anillos, el punto más grueso de la sección transversal trapezoidal debe estar en el interior y la parte superior de los discos anulares se inclina hacia fuera. El diseño de la sección transversal del anillo en forma de trapecio y, por lo tanto, un espacio de filtro divergente en la dirección del flujo tiene la ventaja de que las partículas de forma irregular, es decir, no esféricas, tienen una tendencia significativamente menor a quedar atrapadas en el espacio del filtro después de pasar por el punto más estrecho del espacio del filtro, por ejemplo debido a la rotación de las partículas como resultado del flujo por el espacio. Por tanto, un dispositivo separador con un espacio de filtro divergente formado de esta manera tiene una menor tendencia a detenerse u obstruirse que un dispositivo separador en el que los espacios del filtro tienen una abertura de filtro que es constante sobre la sección transversal del anillo, es decir, en la que los lados superior e inferior del anillo son paralelos.

20 Los contornos exteriores de los discos anulares están preferiblemente diseñados con un bisel 13, como se indica en las Figuras 6 c - 6 e y 8 c - 8 e. También es posible diseñar los discos anulares con bordes redondeados. Esto representa una protección incluso mejor de los bordes frente a la carga crítica en los bordes para los materiales quebradizos.

25 Estas superficies circunferenciales (superficies de carcasa) de los discos anulares son preferiblemente cilíndricas. Sin embargo, también es posible diseñar las superficies circunferenciales de manera que sean convexas, por ejemplo, hacia el exterior para conseguir un flujo mejorado.

30 Los discos anulares se producen con un diámetro exterior que se adapta al orificio de perforación del pozo de producción previsto para usar, de manera que el dispositivo separador según la invención puede introducirse con poco esfuerzo en el orificio de perforación para la mejor utilización de la sección transversal del pozo de producción con el fin de alcanzar un alto nivel de capacidad de transporte. El diámetro exterior de los discos anulares puede ser de 20 - 250 mm, aunque también son posibles diámetros exteriores superiores a 250 mm.

35 La anchura del anillo radial de los discos anulares se encuentra, preferiblemente, en un intervalo de 8 - 20 mm. Estas anchuras de anillo son adecuadas para dispositivos separadores con diámetros de tubo de base en un intervalo de 2¾ a 5½ pulg.

40 El espesor axial de los discos anulares es preferiblemente de 3 - 12 mm, o más preferiblemente de 4 - 7 mm. El espesor axial o espesor básico de los discos anulares se mide en una zona entre los espaciadores, y para una sección transversal trapezoidal, se mide en el lado más grueso en la zona entre los espaciadores.

45 El espesor axial de los discos anulares en la zona de los espaciadores se corresponde con el total del espesor básico, es decir, el espesor axial de los discos anulares en la zona entre los espaciadores y la anchura del filtro.

50 La altura de los espaciadores determina la anchura del filtro del dispositivo separador, es decir, el espacio de separación entre los discos anulares individuales. Además, la anchura del filtro determina qué tamaños de partículas de las partículas sólidas que se van a separar, como por ejemplo partículas de arena y roca, podrán pasar a través del dispositivo separador y qué tamaños de partículas no podrán pasar. La altura de los espaciadores se ajusta específicamente durante la producción de los discos anulares.

55 La anchura de filtro de la pila de anillos puede ajustarse a valores entre 10 µm y 5000 µm, preferiblemente a valores entre 20 µm y 1000 µm, y particularmente preferible a valores entre 50 µm y 500 µm.

60 La desviación de los discos anulares de la forma circular ideal en la circunferencia interna y externa es preferiblemente < 0,5 %, en relación con el diámetro exterior del anillo. Por ejemplo, con discos anulares que tengan un diámetro exterior de 170 mm y utilizados en un tubo base que tenga un diámetro exterior de 139,7 mm, correspondiente a 5½ pulg., la circularidad de los anillos debe ser inferior al 0,5 % de 170 mm, es decir, inferior a 0,85 mm.

65 Los espaciadores situados en la parte superior de los discos anulares tienen, como se ha mencionado anteriormente, un contacto plano en relación con el disco anular adyacente. Los espaciadores permiten un flujo radial y, por tanto, se alinean preferiblemente de forma radial en la parte superior de los discos anulares. Sin embargo, los espaciadores pueden alinearse también en un ángulo con respecto a la dirección radial.

Los espaciadores colocados en la parte superior de los discos anulares pueden extenderse sobre toda la anchura radial de los discos anulares. Sin embargo, también es posible que los espaciadores se diseñen de manera que no se extiendan sobre toda la anchura radial de la superficie de los discos anulares, sino que solo ocupen una parte de dicha anchura. De este modo, los espaciadores ocupan preferiblemente la parte de la anchura de los

discos anulares que está en el lado de salida del filtro de los discos anulares, que está normalmente situado en la circunferencia interior de los discos anulares. Si los espaciadores ocupan solo una parte de la anchura de los discos anulares, un aumento en el número de espaciadores no está necesariamente asociado con una disminución no deseada en el área de superficie de entrada del filtro. Estos espaciadores a menudo son ventajosos porque, con prácticamente el mismo efecto de apoyo de los espaciadores, el espacio de entrada anular del filtro no se ha reducido o solo se ha reducido ligeramente debido a los espaciadores, lo que conduce a la sección transversal de entrada del filtro grande deseada. Cuanto mayor sea la sección transversal de entrada de filtro mayor puede ser el flujo volumétrico que se va a filtrar. Por el contrario, con un flujo de volumen más bajo, el dispositivo separador puede hacerse más pequeño, lo que hace ventajosos su atractivo económico y su instalación en espacios reducidos.

Preferiblemente, los espaciadores que solo ocupan una parte de la anchura radial de la superficie de los discos anulares están situados de una manera alternante en los discos anulares con aquellos espaciadores que se extienden sobre toda la anchura radial. Esto se muestra en las Figuras 9 a y 9 c - 9 e. Una sección de la parte superior de un disco anular se muestra en la presente memoria.

Las transiciones entre la parte superior de los discos anulares y los espaciadores preferiblemente no se forman de manera escalonada o con bordes afilados. En cambio, las transiciones entre la parte superior de los discos anulares y los espaciadores están diseñadas para ser adecuadas para cerámicas, es decir, las transiciones están diseñadas con radios, que están ligeramente redondeados. Esto se muestra en las Figuras 6 f y 8 f.

La superficie 11 de contacto de los espaciadores 10, es decir, la superficie plana, con la que los espaciadores están en contacto con el disco anular adyacente, puede ser rectangular, redonda, en forma de diamante, elíptica, trapezoidal o incluso triangular, en la que la forma de las esquinas y bordes siempre debe ser adecuada para cerámicas, es decir, redondeada. En las Figuras 9 a - 9 e se muestran varias realizaciones de los espaciadores con varias superficies 11 de contacto.

Una posible realización de espaciadores, que solo ocupa una parte de la anchura radial de la superficie de los discos anulares, se muestra en la Figura 9 a. La forma de los espaciadores mostrada en la Figura 9 a es aproximadamente triangular, es decir, esquinas triangulares redondeadas para ser adecuadas para cerámicas. Esta forma se diseña, de forma ventajosa, para que la sección transversal del flujo en el espacio del filtro no decrezca en la dirección de flujo. La anchura de la superficie de contacto de los espaciadores aumenta hacia el interior mientras que la parte superior del disco anular se inclina hacia dentro. Dependiendo de la dirección del flujo que está limitada por la operación, el lado estrecho de espaciador aproximadamente triangular puede estar orientado hacia o lejos del centro del anillo.

La anchura de la superficie 11 de contacto de los espaciadores se mide en la dirección radial como la expansión máxima en la dirección radial. La anchura de la superficie de contacto de los espaciadores es más pequeña o igual a la anchura radial de los discos anulares y preferiblemente es al menos el 60 % de la anchura de anillo radial. La anchura de los espaciadores puede estar algo acortada, por ejemplo aproximadamente 0,3 mm, en la circunferencia exterior de los discos anulares para proporcionar superficies 33 de referencia de medición (véanse las Figuras 6 e y 8 e). Las superficies de referencia de medición se utilizan para la medición simplificada de la anchura del filtro, particularmente para la medición automatizada.

La longitud de la superficie 11 de contacto de los espaciadores se mide en la dirección circunferencial como la expansión más grande en la dirección circunferencial. La longitud de la superficie de contacto de los espaciadores es preferiblemente entre 1 mm y 12 mm y particularmente preferible entre 2 mm y 5 mm. Estas longitudes se han probado especialmente en pruebas de compresión y en la producción de los discos anulares.

La superficie 11 de contacto de los espaciadores individuales es preferiblemente entre 4 y 60 mm², o más preferiblemente entre 10 y 35 mm², dependiendo del tamaño de los discos anulares.

Al menos tres espaciadores 10 (véanse los bloques de Figuras 6 y 8) están distribuidos uniformemente sobre la circunferencia de los discos anulares. El número de espaciadores puede ser un número par o impar. La presión del líquido en efecto con el flujo en el espacio del filtro hace que los discos anulares sobresalgan, incluso cuando están sometidos a esfuerzos de flexión. La anchura o amplitud del campo que determina la resistencia a la presión es la distancia entre los espaciadores adyacentes. Cuantos menos espaciadores estén situados en los discos anulares, menor será la resistencia a la presión del dispositivo separador. Aunque la superficie libre del filtro disminuye de forma no deseada a medida que aumenta el número de espaciadores, la resistencia a la presión del sistema de filtro aumenta debido a que la anchura o amplitud del campo disminuye. Preferiblemente, se proporcionan más de tres espaciadores, o más preferiblemente al menos 6, o incluso de manera especialmente preferible al menos 10, y de manera particularmente preferible al menos 15. El número de espaciadores puede seleccionarse dependiendo de la aplicación o de las relaciones de presión que cabe esperar y dependiendo también de las propiedades mecánicas del material utilizado para los discos anulares. Cuanto mayor sea la presión que se espera en el funcionamiento, más espaciadores se proporcionarán en el diseño. Cuanto más grandes sean los discos anulares, más espaciadores se proporcionarán generalmente en el diseño. Por tanto, para los discos anulares que tengan un diámetro exterior de 100 mm (para un

diámetro exterior de tubo base de 27/8 pulg.), se proporcionan, por ejemplo, 16 espaciadores; con un diámetro exterior de 115 mm (para un diámetro exterior de tubo base de 3 1/2 pulg.), se pueden proporcionar, por ejemplo, 18 espaciadores; y con un diámetro exterior de 168 mm (para un diámetro exterior de tubo base de 5 1/2 pulg.), se pueden proporcionar, por ejemplo, 24 espaciadores.

La distancia entre los espaciadores se mide en la dirección circunferencial como una distancia entre los centros de las superficies de contacto de los espaciadores a lo largo del diámetro interior. La distancia entre los espaciadores está preferiblemente en un intervalo de 8 a 50 mm, o más preferiblemente entre 10 y 30, y de manera especialmente preferible entre 15 y 25 mm. La distancia entre los espaciadores influye en la resistencia a las cargas de presión internas y externas, como puede ocurrir en la prueba de resistencia a la presión interna y externa según la norma ISO 17824 así como en condiciones de funcionamiento. Cuanto menor sea la distancia entre los espaciadores, mayor serán las presiones internas y externas que el dispositivo separador debe soportar antes de que se produzcan pérdidas en el efecto de filtro.

El número de espaciadores de los discos anulares de diferentes tamaños puede derivarse de la distancia entre los espaciadores. Para los discos anulares que tengan un diámetro exterior en el intervalo de 80 a 110 mm, se proporcionan preferiblemente de 6 a 35 espaciadores, o más preferiblemente de 9 a 28, o de manera especialmente preferible de 11 a 19. Para los discos anulares que tengan un diámetro exterior en el intervalo de > 110 a 140 mm, se proporcionan preferiblemente de 7 a 42 espaciadores, o más preferiblemente de 11 a 33, o de manera especialmente preferible de 13 a 22. Para los discos anulares que tengan un diámetro exterior en el intervalo de > 140 a 200 mm, se proporcionan preferiblemente de 10 a 62 espaciadores, o más preferiblemente de 16 a 49, o de manera especialmente preferible de 20 a 33.

Los discos anulares pueden apilarse unos sobre otros en una orientación arbitraria y aleatoria sin que se deteriore la función del dispositivo separador. Por tanto, no es necesario que los espaciadores de los discos anulares estén alineados de manera precisa unos sobre otros. Esta posibilidad de una orientación arbitraria y aleatoria dentro de la pila facilita el montaje del dispositivo separador de forma significativa y también conduce al hecho de que los costes de producción sean menores que con una pila que tenga espaciadores orientados de forma precisa unos encima de otros. Sin embargo, también es posible posicionar los espaciadores de forma alienada unos sobre otros en la pila de anillos, como se muestra en la Figura 7 f.

El material quebradizo de los discos anulares se selecciona de materiales cerámicos oxídicos y no oxídicos, cerámicas mezcladas de estos materiales, materiales cerámicos con adición de fases secundarias, materiales mezclados con partes de sustancias duras cerámicas o metálicas y con una fase de aglomerante metálico, materiales metalúrgicos en polvo con fases de materiales duros conformados in situ, y materiales cerámicos reforzados con fibras largas y/o cortas.

Ejemplos de materiales cerámicos oxídicos son materiales a base de Al₂O₃, ZrO₂, mullita, espinela y óxidos mixtos. Ejemplos de materiales cerámicos no oxídicos son SiC, B₄C, TiB₂ y Si₃N₄. Materiales duros cerámicos son, por ejemplo, carburos y boruros. Ejemplos de materiales mixtos con una fase de aglomerante metálico son WC-Co, TiC-Fe y TiB₂-FeNiCr. Ejemplos de fases de materiales duros formados in situ son carburos de cromo. Un ejemplo de materiales cerámicos reforzados con fibras es C/SiC. El grupo de materiales de materiales cerámicos reforzados con fibras tiene la ventaja de que influye en una mayor resistencia a la presión interna y externa en los dispositivos separadores debido a su mayor resistencia comparada con la cerámica monolítica.

Los materiales antes mencionados se caracterizan por ser más duros que las partículas sólidas típicamente presentes como, por ejemplo, partículas de arena y roca, es decir, los valores de dureza HV (Vickers) o HRC (dureza Rockwell escala C) de estos materiales son superiores a los de valores correspondientes de la roca circundante. Los materiales adecuados para el dispositivo separador según la invención para los discos anulares tienen valores de dureza HV superiores a 15 GPa, preferiblemente superiores a 23 GPa.

Todos estos materiales se caracterizan simultáneamente en que tienen una mayor fragilidad que las típicas aleaciones de acero no endurecidas. En este sentido, estos materiales se describen como “quebradizos” en la presente memoria.

Los materiales adecuados para los discos anulares del dispositivo separador según la invención tienen módulos de elasticidad superiores a 200 GPa, preferiblemente superiores a 350 GPa.

Preferiblemente, se utilizan materiales que tienen una densidad de al menos un 90 %, o más preferiblemente al menos un 95 %, de la densidad teórica para alcanzar los valores máximos de dureza y altas resistencias a la abrasión y a la erosión. Preferiblemente, se utiliza carburo de silicio sinterizado (SSiC) o carburo de boro como material quebradizo. Estos materiales no solo son resistentes a la abrasión, sino que también son resistentes a la corrosión en comparación con los fluidos de tratamiento como ácidos, por ejemplo HCl, soluciones alcalinas, por ejemplo NaOH, o incluso vapor de agua, típicamente utilizados para purgar el dispositivo separador y estimular el orificio.

Especialmente adecuados son, por ejemplo, los materiales de SSiC con una estructura de grano fino (tamaño medio de grano $<5 \mu\text{m}$), comercializados, por ejemplo, por ESK Ceramics GmbH & Co. KG con los nombres de carburo de silicio tipo F, 3M™, y carburo de silicio tipo F plus, 3M™. Además, se pueden usar también materiales de SSiC de grano grueso, por ejemplo con una estructura bimodal, en los que preferiblemente del 50 al 90 % en volumen de la distribución del tamaño de grano consiste en cristalitas de SiC prismáticos en forma de placa con una longitud de 100 a 1500 μm y 10 a 50 % en volumen de cristalitas de SiC prismáticos en forma de placa de una longitud de 5 a menos de 100 μm (carburo de silicio tipo C, 3M™, de ESK Ceramics GmbH & Co. KG).

Además de estos materiales de SSiC sinterizados monofásicos, también se puede utilizar carburo de silicio sinterizado en fase líquida como material para los discos anulares (LPS-SiC). Un ejemplo de este material es el carburo de silicio de tipo T, 3M™, comercializado por ESK Ceramics GmbH & Co. KG. Con el LPS-SiC se utiliza una mezcla de carburo de silicio y óxidos metálicos como polvo de partida. El LPS-SiC tiene una mayor resistencia a la flexión y mayor resiliencia, medida como el valor de K_{Ic} , que el carburo de silicio sinterizado monofásico (SSiC).

Los discos anulares del dispositivo separador según la invención se producen según el método típico en las cerámicas técnicas y/o metalurgia de polvos, es decir, preferiblemente por prensado de los polvos de partida que pueden ser prensados y posterior sinterizado. Los discos anulares se someten preferiblemente a los procesos de moldeo, eliminación del ligante y posterior sinterización a densidades $> 90 \%$ de la densidad teórica en prensas mecánicas o hidráulicas según los principios de "moldeo casi igual a la forma final". Cuando hay altas demandas en la distribución del tamaño del ancho del filtro, es decir, cuando se requieren una media precisa y bajas tolerancias de la anchura del filtro, los discos anulares deben someterse a una operación de enfrentamiento a dos caras en sus partes superior e inferior. Los métodos preferidos para el enfrentamiento de dos caras son el lapeado, rectificado y esmerilado. El mecanizado duro asegura que los discos anulares tengan un contacto plano suficientemente grande unos con respecto a otros y que se evite cualquier carga puntual, lo que es de gran importancia para una resistencia a alta presión del dispositivo separador montado.

El enfrentamiento de los discos anulares implica que las alturas de los espaciadores planos puedan ajustarse a una precisión dentro del intervalo de los micrómetros.

El mecanizado duro también permite que las aberturas del filtro se ajusten a los deseos específicos del consumidor de piezas sinterizadas con una única altura de los espaciadores.

La planitud de los anillos a ambos lados debe ser mejor que 30 μm , o preferiblemente mejor que 15 μm , y de manera especialmente preferible mejor que 5 μm .

Tubo perforado (tubo base)

Como se ha mencionado anteriormente, el tubo perforado 1 (véanse las Figuras 1, 3 a - 3 b, 4 a - 4 b, y 5 a - 5 b), situado dentro de la pila de anillos y sobre el que se apilan los discos anulares, también se denomina tubo base. El tubo base está perforado en el área de la pila de anillos, es decir, dotado de orificios; no está perforado fuera del área de la pila de anillos. La perforación 18 se utiliza para dirigir el medio de filtrado, es decir, el flujo de medios liberado de las partículas sólidas como, por ejemplo, gas, petróleo, o mezclas de los mismos, en el interior del tubo base, desde donde puede transportarse y/o bombearse hacia fuera. El tubo base asegura la estabilidad mecánica y la cohesión del diseño total.

Los tubos como se utilizan en la industria del petróleo y el gas para filtros metálicos (filtro envuelto en alambre, tamices de malla de metal) pueden utilizarse como el tubo base. La perforación se aplica según los diagramas habituales en la industria; por ejemplo, 30 orificios con un diámetro de 9,52 mm se aplican a una longitud de tubo base de 0,3048 m (correspondiente a 1 pie).

Las roscas 2 se cortan normalmente a ambos extremos del tubo base 1, lo cual puede utilizarse para atornillar los tubos base a ramales largos.

El tubo base consiste en un material metálico, de forma típica de acero, por ejemplo acero L80. Un acero que tenga un módulo de elasticidad de 550 MPa (correspondiente a aproximadamente 80.000 psi) se describe como un acero L80. Como alternativa al acero L80, los aceros descritos como J55, N80, C90, T95, P110, y L80Cr13 en la industria del gas y el petróleo (consúltese el manual Drilling Data Handbook, 8ª Edición, IFP Publications, Editions Technip, París, Francia) también pueden utilizarse. Otros aceros, especialmente los aceros resistentes a la corrosión, aleados y de alta aleación también pueden utilizarse como material para el tubo base. Para aplicaciones especiales en entornos corrosivos, también pueden utilizarse los tubos base hechos de aleaciones a base de níquel. También es posible utilizar materiales de aluminio como material para el tubo base con el objetivo de ahorrar peso. Además, también pueden utilizarse tubos base hechos de titanio o aleaciones de titanio.

El diámetro interior de los discos anulares debe ser superior al diámetro exterior del tubo base. Esto es necesario debido a las diferencias con respecto a la dilatación térmica entre el tubo base metálico y los discos anulares hechos

del material quebradizo así como por razones técnicas relacionadas con el flujo. Se ha demostrado que es ventajoso que el diámetro interior de los discos anulares sea de al menos 0,5 mm y no sea más de 10 mm superior al diámetro exterior del tubo base. Preferiblemente, el diámetro interior de los discos anulares es de al menos 1,5 mm y no más de 5 mm superior al diámetro exterior del tubo base.

5

Flejes de centrado

Se montan al menos tres flejes 15 paralelos al eje en intervalos regulares en la superficie 21 de la carcasa del tubo base 1 (véanse las Figuras 10 y 11). Los discos anulares 8 son empujados hacia los flejes durante el montaje, con lo que se logra el centrado de los discos anulares en el tubo base. Basándose en su función, los flejes también pueden describirse como flejes de centrado. Los flejes de centrado son elásticamente deformables, principalmente en la dirección radial. Gracias a los flejes de centrado, las diferencias de dilatación térmica entre el tubo base 1 y la pila 7 de anillos también pueden compensarse en la dirección radial. Además, las tolerancias de diámetro causadas por la producción del tubo base y los discos anulares pueden ser compensadas por los flejes de centrado. El centrado de la pila de anillos en el tubo base también sirve para ajustar un espacio de anillo uniformemente ancho entre el tubo base y la pila de anillos. Esto asegura que el filtrado pueda fluir uniformemente a través de múltiples orificios de perforación en el tubo base.

10

15

20

Los flejes de centrado se colocan preferiblemente equidistantes, es decir, en un ángulo de 120° unos con respecto a otros, en la superficie exterior de la carcasa del tubo base. Si se espera que el impacto de la presión del dispositivo separador no sea muy homogéneo, también se pueden aplicar más de tres flejes de centrado.

25

La longitud de los flejes de centrado se corresponde con al menos la longitud de la pila de anillos, porque todos los discos anulares de la pila de anillos, incluidos el primer y el último disco anular, serán así centrados.

30

Los flejes de centrado pueden diseñarse planos o perfilados. El perfilado puede ser, por ejemplo, una deformación arqueada hacia el interior o el exterior. La Figura 10 muestra una vista en sección transversal de un dispositivo separador según la invención con un diseño plano de los flejes 15 de centrado; la Figura 11 muestra una vista en sección transversal de un dispositivo separador según la invención con flejes 15 de centrado que están diseñados con un arco, en los que el lado convexo del fleje arqueado está orientado hacia el interior.

30

35

El material para los flejes de centrado debe seleccionarse, preferiblemente, de modo que no se corra en condiciones de funcionamiento y debe ser resistente al petróleo, al agua y a la temperatura. El metal o el plástico son adecuados como materiales para los flejes de centrado, preferiblemente aleaciones metálicas a base de hierro, níquel, cobalto o más preferiblemente acero, o incluso más preferiblemente una tira de acero para muelles. Por ejemplo, puede utilizarse una tira de acero para muelles con el número de material 1,4310, diseño de muelle duro, como material para los flejes de centrado; esto puede obtenerse, por ejemplo, en COBRA Bandstahl GmbH, D-63607 Wächtersbach, Alemania. La anchura de las cintas puede ser, por ejemplo, de 16 mm y el espesor, 0,18 mm.

40

Si se utiliza el acero como material para los flejes de centrado, debe tenerse cuidado al seleccionar el material para que el dispositivo separador no facilite reacciones electroquímicas no deseadas al entrar en contacto con otros elementos estructurales metálicos.

45

Los flejes de centrado pueden fijarse al tubo base a través de pernos, remaches, pasadores acanalados, o adhesivo, o con cualquier otro método de fijación habitual. Si se utiliza acero como material para los flejes de centrado, los flejes también pueden unirse al tubo base mediante soldadura o soldadura por puntos.

50

Los flejes de centrado pueden construirse como una capa única o como múltiples capas para compensar las tolerancias de diámetro en el tubo base y/o los discos anulares. El espesor y la anchura de los flejes de centrado debe seleccionarse para que los discos anulares puedan ser empujados axialmente hacia el tubo base con un "ajuste de empuje". Esto significa que los discos anulares son empujados axialmente en la posición vertical, no bajo su propio peso. Normalmente este es el caso cuando la fuerza para empujar los discos anulares sobre el tubo base en la dirección horizontal, es decir, sin la influencia de la fuerza de gravedad, está entre 0,1 N y 10 N, o preferiblemente entre 0,5 N y 5 N.

55

Tapones finales

60

Hay un tapón final 5, 6 tanto en el extremo superior como inferior de la pila 7 de anillos (véanse las Figuras 1, 3 a - 3 b, 4 a - 4 b, y 5 a - 5 b). Los tapones finales se conectan firmemente al tubo base. Los tapones finales se hacen de metal, de forma típica de acero y preferiblemente del mismo material que el tubo base. Los tapones finales pueden unirse al tubo base mediante soldadura, sujeción, remachado o empernado. Durante el montaje, los tapones finales son empujados hacia el tubo base después de la pila de anillos y posteriormente unidos al tubo base. En las realizaciones del dispositivo separador según la invención mostradas en las Figuras 3 a - 3 b, 4 a - 4 b, y 5 a - 5 b, los tapones finales están unidos mediante soldadura (véase el cordón 20 de soldadura). Si los tapones finales se unen mediante conexiones apretadas, preferentemente se toman medidas en el diseño para aumentar la fricción. Por ejemplo, pueden utilizarse recubrimientos o

65

estructuras de superficie que aumenten la fricción como medidas de aumento de fricción. El recubrimiento que aumenta la fricción puede diseñarse, por ejemplo, como una capa de níquel químico con partículas de material duro incrustadas, preferiblemente partículas de diamante. El espesor de capa de la capa de níquel, por ejemplo, es de 10-25 μm , mientras que el tamaño medio de las partículas de material duro es de 20-50 μm , por ejemplo. Las estructuras de superficie que aumentan la fricción pueden aplicarse, por ejemplo, como estructuración láser.

Como se ha mencionado anteriormente, el dispositivo separador según la invención no tiene elementos estructurales elásticos y flexibles como muelles, discos de goma u otros elementos elásticos que provoquen el pretensado. La pila de anillos del dispositivo de separación no está sometida a tensión por medio de muelles de compresión, sino que se fija al tubo base mediante tapones finales sin que la pila de anillos esté sometida a un pretensado significativo. Al omitir los muelles de compresión, no se produce una inclinación en los discos anulares. El pretensado en la pila de anillos en la dirección axial debe ser lo suficientemente grande para que los discos anulares en la pila de anillos, que no sean completamente planos por motivos de fabricación, se carguen de manera que todos los espaciadores tengan contacto con la superficie plana del disco anular adyacente. El pretensado en la pila de anillos en la dirección axial en el intervalo de temperatura de 10 °C a 200 °C es preferiblemente, como máximo, 10 MPa, o más preferiblemente, como máximo, 5 MPa, o particularmente preferible, como máximo, 2 MPa, con relación a la superficie de proyección axial de los discos anulares. El desplazamiento de los discos anulares en la pila de anillos producido por las diferencias de presión del fluido durante el funcionamiento del dispositivo separador en el intervalo de temperatura de 10 °C a 200 °C es preferiblemente no superior a 0,5 por mil en la dirección axial con respecto a la longitud de la pila de anillos.

Jaula protectora

Para proteger los discos anulares quebradizos de daños mecánicos durante la manipulación e instalación en el orificio de perforación, el dispositivo separador está rodeado preferiblemente por una jaula 4 protectora tubular por la que las sustancias pueden fluir libremente (véase la Figura 1). Dicha jaula protectora puede estar diseñada, por ejemplo, como un tamiz con malla gruesa y preferiblemente hecha de un metal de lámina perforada. La jaula protectora está hecha, preferiblemente, de un material metálico, más preferiblemente de acero, de manera especialmente preferible de acero resistente a la corrosión. La jaula protectora puede hacerse del mismo material que el tubo base.

La jaula protectora se sujeta en ambos lados por los tapones finales; también puede conectarse firmemente a los tapones finales. Dicha unión es posible, por ejemplo, mediante adhesivo, empernado o pasadores; la jaula protectora se suelda a los tapones finales, preferiblemente, después del montaje.

El centrado de los discos anulares en el tubo base mediante los flejes de centrado también asegura que el espacio de anillo entre la superficie circunferencial interna de la jaula protectora y la superficie circunferencial externa de los discos quebradizos sea uniforme, de manera que la jaula protectora pueda cumplir mejor su función protectora.

El diámetro interior de la jaula protectora debe ser superior al diámetro exterior de los discos anulares. Esto también es necesario por razones técnicas relacionadas con el flujo. Se ha demostrado que es ventajoso que el diámetro interior de la jaula protectora sea de al menos 0,5 mm y no sea más de 15 mm superior al diámetro exterior de los discos anulares. El diámetro interior de la jaula protectora es de al menos 1,5 mm y no más de 5 mm superior al diámetro exterior de los discos anulares.

Elementos intermedios

La longitud de la pila de anillos del dispositivo separador según la invención es de entre 300 y 2000 mm, o preferiblemente entre 1300 y 1700 mm. Los dispositivos separadores que tienen longitudes de más de 2000 mm también se requieren en el uso. Las longitudes mayores del dispositivo separador pueden implementarse montando múltiples pilas de anillos, que se sellan en la parte superior e inferior con un casquillo de sellado y un tapón final sobre un tubo base continuo normal. Como alternativa a esto, también se pueden empernar entre sí múltiples tubos base, cada uno con una pila de anillos, que se sella en la parte superior e inferior con un tapón final.

Si se montan múltiples pilas de anillos sobre un tubo base continuo normal, no es necesario fijar cada pila de anillos con tapones a ambos lados del tubo base. Para ahorrar materiales y costes, se sitúa un elemento intermedio 3 entre cada dos pilas de anillos adyacentes (véanse la Figura 2 a y 2 b) y solo se fija la primera y la última pila de anillos con un tapón final en cada lado. Con un elemento intermedio, se diseñan dos tapones finales conectados unos a otros como imágenes especulares. La Figura 2 a muestra una vista de un dispositivo separador según la invención con un elemento intermedio; la Figura 2 b muestra una vista de un dispositivo separador según la invención con dos elementos intermedios.

El diseño con el elemento intermedio también tiene la ventaja de que ahorra espacio, por lo que se puede colocar más superficie de filtro sobre una longitud dada del tubo base.

Se fija un elemento intermedio al tubo base en la dirección radial y axial, por ejemplo mediante soldadura, sujeción, remachado o empernado.

5 Si los elementos intermedios se unen a través de conexiones apretadas, las medidas para aumentar la fricción se llevan a cabo preferiblemente en el diseño. Por ejemplo, pueden utilizarse recubrimientos o estructuras de superficie que aumenten la fricción como medidas de aumento de fricción. El recubrimiento que aumenta la fricción puede diseñarse, por ejemplo, como una capa de níquel químico con partículas de material duro incrustadas, preferiblemente partículas de diamante. El espesor de capa de la capa de níquel, por ejemplo, es de 10-25 μm , mientras que el tamaño medio de las partículas de material duro es de 20-50 μm , por ejemplo. Las estructuras de superficie que aumentan la fricción pueden aplicarse, por ejemplo, como estructuración láser.

Los elementos intermedios se hacen preferiblemente de metal, o más preferiblemente de acero, o de manera especialmente preferible del mismo material que el tubo base.

15 Casquillos de sellado

Preferiblemente hay un casquillo 16, 17 de sellado tanto en el extremo superior como en el inferior de la pila 7 de anillos (véanse las Figuras 3 a - 3 b, 4 a - 4 b, y 5 a - 5 b). El casquillo de sellado tiene la función de evitar la penetración de líquidos y/o gases bajo presión, por ejemplo, de líquido de prueba durante la prueba de resistencia a la presión externa (prueba de presión de colapso), en cavidades huecas debido al diseño, como por ejemplo, biseles y espacios entre el tapón final de extremo y el tubo base u otros elementos de diseño tales como los casquillos 22, 23 de compensación (véanse las Figuras 3 a - 3 b) o el elemento 24, 25 de compensación de pared doble (véanse las Figuras 4 a - 4 b). De lo contrario, el líquido bajo presión y/o el gas bajo presión podrían ejercer una fuerte fuerza axial sobre la pila de anillos mediante la superficie de anillo hidráulicamente efectiva del disco anular superior y/o mediante la superficie axial del casquillo 22, 23 de compensación o del elemento 24, 25 de compensación de doble pared, que podría conducir a la fractura de los discos anulares. Se aplica una junta tórica 19 al casquillo de sellado en su superficie circunferencial externa. También puede aplicarse una junta tórica en la superficie circunferencial interna del casquillo de sellado. El casquillo de sellado con los sellos de junta tórica evitan que el líquido y/o gas bajo presión penetren en áreas del dispositivo separador que no estén relacionadas con la función del filtro.

30 Los casquillos 16, 17 de sellado son empujados hacia el tubo base 1 y posteriormente hacia el anillo para la pila 7 durante el montaje. Por último, el tapón final es empujado sobre la junta tórica 19 del casquillo de sellado de manera que se evite la penetración de líquido y/o gas en las zonas del lado opuesto a la presión.

35 El espesor de la pared de los casquillos 16, 17 de sellado es preferiblemente igual al espesor de la pared axial, es decir, la anchura de anillo radial de los discos quebradizos en la parte con la que están en contacto con la pila de anillos.

40 Como material para los casquillos de sellado se utiliza un material resistente al desgaste y a la corrosión, por ejemplo un material metálico o cerámico o incluso un metal duro. El material preferido para el casquillo de sellado es el acero. En especial se prefiere la utilización del mismo material para el casquillo de sellado que el material utilizado para el tubo base.

Casquillo de compensación

45 Los materiales metálicos utilizados para producir el tubo base perforado, como por ejemplo, acero L80, tienen una dilatación térmica más alta que el material quebradizo de los discos anulares, como por ejemplo, la cerámica de carburo de silicio usada preferiblemente. Para el acero L80, el coeficiente de dilatación es aproximadamente $10,5 \cdot 10^{-6} / \text{K}$ en el intervalo de temperatura de 10 °C a 200 °C; el coeficiente de dilatación del carburo de silicio monofásico sinterizado (SSiC) es $2,8 \cdot 10^{-6} / \text{K}$ en el intervalo de temperatura de 10 °C a 200 °C. Si una pluralidad de anillos cerámicos a una temperatura ambiente de aproximadamente 20 °C, que corresponde a la temperatura de montaje usual, se apilaran sin juego sobre un tubo de base de acero y si los dos tapones finales se soldaran al tubo base, el dispositivo separador solo se podría utilizar a temperaturas que se desvíen ligeramente de los mencionados 20 °C. Si el dispositivo separador se utilizara a temperaturas superiores a los 100 °C, por ejemplo, el tubo base se dilataría axialmente más que la pila de anillos. Por tanto, el contacto entre los anillos ya no sería sin juego; en cambio, la distancia entre los anillos podría aumentar, con lo que el ancho del filtro cambiaría de una manera no deseada. Cuando el sistema se enfría, por ejemplo durante el transporte o el almacenamiento en un entorno frío, el tubo base se contrae mucho más que la pila de anillos, lo que podría conducir a tensiones de compresión elevadas en los discos anulares y posiblemente a la fractura de los mismos.

60 A continuación se describen con mayor detalle varias realizaciones preferidas en las que se compensan las diferentes variaciones térmicas de la longitud entre el tubo base y la pila de anillos.

65 En una primera realización preferida del dispositivo separador según la invención (véanse las Figuras 3 a - 3 b), hay un elemento 22, 23 de compensación en el extremo superior de la pila 7 de anillos y/o en el extremo inferior de la pila 7 de anillos, o preferiblemente en el extremo superior e inferior de la pila 7 de anillos para compensar la diferente variación térmica de la longitud entre el tubo base 1 y la pila 7 de anillos. Este elemento de compensación es preferiblemente un casquillo anular hecho de un material con un coeficiente de dilatación

térmica alto, cuya cantidad está diseñada de tal manera que compense las diferencias en la dilatación térmica entre el tubo base perforado y la pila de anillos en un intervalo de temperatura de 10 a 200 °C. La Figura 12 muestra varias vistas del casquillo de compensación (Figura 12 en una vista tridimensional, Figura 12 b en vista superior, Figura 12 c en vista en sección transversal a lo largo de la línea de intersección indicada como "12 c" en la Figura 12 b).

Para la fabricación del casquillo de compensación, son adecuados materiales resistentes a la presión que sean resistentes al petróleo, agua y vapor y que no se hinchen o se hinchen solo ligeramente. Además, debe ser posible utilizar los materiales a altas temperaturas (hasta aproximadamente 200 °C) y deben tener una resistencia a la presión >1 MPa. El coeficiente de dilatación térmica (CDT) del material utilizado para el casquillo de compensación debe ser significativamente superior al coeficiente de dilatación térmica del material de los discos anulares quebradizos, por ejemplo el preferiblemente utilizado carburo de silicio (CDT del SiC de aproximadamente $2,8 \cdot 10^{-6} / K$), y los coeficientes de dilatación térmica del tubo base metálico (CDT de los metales de aproximadamente $23 \cdot 10^{-6} / K$), de manera que los casquillos de compensación pueden ser construidos para ser cortos. El coeficiente de dilatación térmica del material del casquillo de compensación es preferiblemente al menos $25 \cdot 10^{-6} / K$, más preferiblemente al menos $80 \cdot 10^{-6} / K$, de manera especialmente preferible al menos $100 \cdot 10^{-6} / K$, en el intervalo de temperatura de 10 - 200 °C.

Las pruebas han demostrado que los materiales principalmente a base de PTFE (politetrafluoroetileno) son especialmente adecuados como materiales para el casquillo de compensación para uso en la industria del petróleo y el gas. El PTFE supera significativamente a todos los otros plásticos previamente conocidos con respecto al coeficiente de dilatación térmica y la resistencia a la temperatura. El PTFE se caracteriza por la combinación de un alto CDT (CDT del PTFE 120 - $190 \cdot 10^{-6} / K$), resistencia a altas temperaturas (puede utilizarse hasta a 250 °C) y resistencia química. Además del PTFE puro, también se pueden usar tipos de PTFE modificados o con cargas. La modificación con cargas significa que la resistencia aumenta y el alargamiento plástico, es decir la deformación causada por el alargamiento plástico, es significativamente menor. También pueden utilizarse como materiales para el casquillo de compensación otros plásticos, como por ejemplo PEEK (poli(éter-cetona)). Si se prevé el uso del dispositivo separador a bajas temperaturas y hay requisitos más bajos de resistencia química, también se pueden usar plásticos más económicos para producir el casquillo de compensación.

La altura del casquillo es lo primero que se tiene en cuenta cuando se diseña el casquillo de compensación. El diámetro interior del casquillo de compensación se corresponde preferiblemente con el diámetro exterior del tubo base; el diámetro exterior del casquillo de compensación se corresponde preferiblemente con el diámetro exterior de los discos anulares.

La altura del casquillo de compensación H_k se determina según la siguiente ecuación:

$$H_k = \Delta L / (\alpha \cdot \Delta T)$$

Donde

ΔL es la diferencia en la variación de longitud entre el tubo base y la pila de anillos en el intervalo de temperatura de uso (por ejemplo 10 - 200 °C)

α es el coeficiente de dilatación térmica (CDT) del material del casquillo de compensación en el intervalo de temperatura de uso (por ejemplo 10 - 200 °C)

ΔT es la diferencia de temperatura de uso (por ejemplo 190 K con el intervalo de aplicación de 10 - 200 °C)

Cuando los casquillos de compensación se disponen a ambos lados de la pila de anillos, la altura de los casquillos individuales se reduce a la mitad ($H_k/2$).

Como los coeficientes de dilatación térmica mostrados en las tablas de los materiales utilizados en el tubo base, la pila de anillos y el casquillo de compensación normalmente solo representan valores medios y el coeficiente de dilatación térmica puede depender de los lotes, porque depende, por ejemplo, del tamaño del grano, la textura, el tratamiento térmico y las fluctuaciones en la composición de la aleación, puede ser necesario determinar el coeficiente de dilatación térmica de los materiales realmente utilizados a través de mediciones con un dilatómetro antes de diseñar el casquillo de compensación.

El casquillo de compensación es suficientemente rígido para no deformarse plásticamente por las fuerzas axiales que son causadas por las diferencias de presión que se producen debido al funcionamiento del dispositivo separador. Por tanto, el dispositivo separador conserva el ancho de filtro previamente determinado y, por tanto, su efecto completo de filtro incluso con grandes diferencias de presión. Incluso con un impacto de presión no homogéneo, por ejemplo solo en un segmento de la circunferencia de la pila de anillos, esto no dará lugar a la inclinación de los anillos.

Por otro lado, el casquillo de compensación tiene una cierta flexibilidad para que el dispositivo separador pueda formar curvas cuando se introduzca en el orificio de perforación. Preferiblemente, el material del casquillo de compensación tiene un módulo de elasticidad no superior a los 15.000 MPa, o preferiblemente no superior a los 2000 MPa.

La realización con el casquillo 22, 23 de compensación tiene un casquillo 16, 17 de sellado en ambos extremos de la pila de anillos, ente el casquillo de compensación y la pila de anillos (véanse las Figuras 3 a - 3 b). Se aplica una junta tórica 19 al casquillo de sellado en su superficie circunferencial externa. Como se ha descrito anteriormente, el casquillo de sellado tiene la función de prevenir la penetración de líquidos y/o gases bajo presión en las cavidades huecas debido al diseño, como por ejemplo, biseles y espacios entre el tapón final y el tubo base y el casquillo 22, 23 de compensación (véanse las Figuras 3 a - 3 b). En la realización que incluye el casquillo de compensación, el casquillo 16, 17 de sellado asume la función adicional de compensar las flexibilidades muy diferentes del casquillo 22, 23 de compensación y los discos anulares 8 quebradizos, es decir, la función de la distribución de carga. El casquillo de sellado mitiga la variación de rigidez entre el casquillo de compensación de un material blando con un bajo módulo de elasticidad y el material quebradizo de los discos anulares con un módulo de elasticidad elevado. Por tanto, el módulo de elasticidad de PTFE es de aproximadamente 700 MPa, por ejemplo, y el de carburo de silicio sinterizado (SSiC) es de aproximadamente 440.000 MPa. La flexibilidad del casquillo de compensación es significativamente superior a la de la pila de anillos debido a la gran diferencia en el módulo de elasticidad. Se ha demostrado que es ventajoso en las pruebas montar los discos anulares directamente sobre el casquillo de compensación. Por lo tanto, el disco anular de la pila de anillos adyacente al casquillo de compensación no estaría suficientemente apoyado en el caso de una rotura de compresión local y podría fracturarse, y también podría haber fracturas de otros discos anulares en la pila de anillos. El casquillo de sellado introducido entre el casquillo de compensación y la pila de anillos también proporciona una mejor sujeción del disco anular que finaliza la pila de anillos, además de la función de sellado, de manera que la pila de anillos tiene una mayor resistencia a la presión interna y externa. En la realización que tiene el casquillo de compensación, el casquillo de sellado debe ser lo suficientemente alto como para soportar los discos anulares de la pila de anillos que finaliza la pila de anillos en las partes superior e inferior. Este es el caso cuando la deformación axial del casquillo de sellado permanece $\leq 0,2 \mu\text{m}$ bajo todas las presiones de prueba con líquidos que ocurren durante la prueba de resistencia a la presión interna y externa (prueba de presión de rotura y de colapso).

El casquillo 22, 23 de compensación es empujado sobre el tubo base después de la pila de anillos y el casquillo de sellado durante el montaje del dispositivo separador. Posteriormente, el tapón final es empujado sobre el casquillo de compensación y unido al tubo base.

En una segunda realización preferida del dispositivo separador según la invención (véanse las Figuras 4 a - 4 b), hay un elemento 24, 25 de compensación en el extremo superior de la pila 7 de anillos y/o en el extremo inferior de la pila 7 de anillos, preferiblemente en el extremo superior e inferior de la pila 7 de anillos, para compensar la diferente variación térmica de la longitud entre el tubo base 1 y la pila 7 de anillos. Sin embargo, en esta realización no se utiliza un casquillo de compensación hecho de un material con un alto coeficiente de dilatación térmica, como en la realización descrita anteriormente, sino un recipiente con doble pared cargado con un líquido. El recipiente del líquido es tubular. Las paredes exteriores del recipiente de líquido con paredes dobles están corrugadas en la dirección axial y diseñadas de tal manera que la alta dilatación térmica del volumen de un líquido sea desviada en una dilatación axial lineal del recipiente de líquido de tal manera que el recipiente de líquido tenga una dilatación térmica lineal alta. El diseño de un recipiente de líquido que cumple esta función se muestra en las Figuras 13 a - 13 c. El recipiente de líquido mostrado en las Figuras 13 a - 13 c tiene la forma de un manguito de tubo corrugado de doble pared (la Figura 13 a es una vista tridimensional, la Figura 13 b es una vista superior y la Figura 13 c es una vista en sección transversal a lo largo de la línea de intersección indicada como "13 c" en la Figura 13 b). Debido a su forma de doble pared, el recipiente del líquido se denomina elemento de compensación de doble pared (DWCE). Un líquido con una dilatación térmica alta se carga dentro del elemento 24, 25 de compensación de doble pared a través de la abertura 26 de llenado y ventilación y después es sellado. La altura H del elemento de compensación de doble pared está diseñada de manera que compense la diferencia de longitud debido a la dilatación térmica entre la pila de anillos y el tubo base con el objetivo de mantener constante la anchura del filtro, incluso cuando el dispositivo separador se calienta, es decir, manteniendo el contacto entre los discos anulares. Un líquido adecuado para llenar el elemento de compensación de doble pared es un aceite mineral con alta dilatación térmica como, por ejemplo, gasóleo, cuya presencia no representa ningún problema con la perforación de petróleo y gas.

El elemento de compensación de doble pared tiene la ventaja adicional, en comparación con el casquillo de compensación descrito en la realización anterior, de que tiene una buena movilidad angular y, por tanto, se mejora la capacidad de doblarse de todo el dispositivo separador. Un dispositivo separador con un elemento de compensación de doble pared puede moverse a través de un radio curvo en el orificio de perforación de aproximadamente 43,7 m, correspondiente a una curva de 40°/30,48 m o 40°/100 pies, sin dañar el dispositivo separador, lo cual es necesario en ocasiones en la perforación de una explotación de petróleo y gas. Con la realización que incluye el casquillo de compensación, son posibles curvas de 20°/30,48 m o 20°/100 pies, correspondiente a un radio de curva de 87,3 m.

El elemento de compensación de doble pared es suficientemente rígido para no deformarse plásticamente por las fuerzas axiales que son causadas por las diferencias de presión que se producen debido al funcionamiento del dispositivo separador. Por tanto, el dispositivo separador conserva el ancho de filtro previamente determinado y, por tanto, su efecto completo de filtro incluso con grandes diferencias de presión. Incluso con un impacto de presión no homogéneo, por ejemplo solo en un segmento de la circunferencia de la pila de anillos, esto no dará lugar a la inclinación de los anillos. Por otro lado, el elemento de compensación de doble pared tiene una cierta

flexibilidad para que el dispositivo separador pueda formar curvas cuando se introduzca en el orificio de perforación.

5 La realización con el elemento 24, 25 de compensación de doble pared preferiblemente tiene un casquillo 16, 17 de sellado en ambos extremos de la pila de anillos, ente el elemento de compensación de doble pared y la pila de anillos (véanse las Figuras 4 a - 4 b). Se aplica una junta tórica 19 al casquillo de sellado en su superficie circunferencial externa. Como se ha descrito anteriormente, el casquillo de sellado tiene la función de prevenir la penetración de líquidos y/o gases bajo presión en las cavidades huecas debido al diseño, como por ejemplo, biseles y espacios entre el tapón final y el tubo base y el elemento 24, 25 de compensación de doble pared. El elemento de compensación de
10 doble pared es empujado sobre el tubo base después de la pila de anillos y el casquillo de sellado durante el montaje del dispositivo separador. Posteriormente, el tapón final es empujado sobre el recipiente del líquido y es fijado al tubo base.

15 Las Figuras 5 a y 5 b muestran una vista en sección transversal de un dispositivo separador según la invención según una tercera y cuarta realización preferida.

En una tercera realización preferida del dispositivo separador según la invención (véanse las Figuras 5 a - 5 b), se utiliza como material para el tubo base 1 un material metálico, cuyo coeficiente de dilatación térmica se acerca al de los discos anulares. Esto significa que el tubo base se hace de un material cuyo coeficiente de dilatación térmica se desvía como
20 máximo en un 10 %, o preferiblemente como máximo en un 5 %, en un intervalo de temperatura de 10 °C a 200 °C del coeficiente de dilatación térmica del material de la pila de anillos en el intervalo de temperatura de 10 °C a 200 °C.

Este tipo de material puede ser, por ejemplo, la aleación de hierro y níquel Fe36Ni con el número de material 1,3912 conocido comercialmente con el nombre de Invar. Otros nombres comerciales son Nilo alloy 36, Nilvar, NS 36, Permalloy D, Radio metal 36, Vacodil 36 y Pernifer 36. El coeficiente de dilatación térmica de este material es $2,6 \cdot 10^{-6} / K$ y se ajusta bien con los coeficientes de dilatación del material de los discos anulares en el intervalo de temperatura de 10 a 200 °C, por ejemplo con el de la preferiblemente utilizada cerámica de carburo de silicio. El coeficiente de dilatación térmica de este material puede ajustarse mediante la composición de la aleación y puede adaptarse al material utilizado para la pila de anillos. En esta realización, en la que el coeficiente de dilatación
30 térmica del material del tubo base se adapta al del material de la pila de anillos, no son necesarias más medidas para la compensación de la longitud debido a diferentes coeficientes de dilatación térmica entre el tubo base y la pila de anillos. Por tanto, con esta realización, es posible prescindir de un elemento de compensación separado, como por ejemplo, el casquillo de compensación o el elemento de compensación de doble pared. Sin embargo, también es posible utilizar elementos de compensación adicionales. Con esta realización, preferiblemente hay casquillos 16, 17 de sellado en los extremos superior e inferior de la pila de anillos (véanse las Figuras 5 a - 5 b). Se aplica una junta tórica 19 al casquillo de sellado en su superficie circunferencial externa. Los casquillos 16, 17 de sellado son empujados hacia el tubo base 1 después de la pila 7 de anillos; después, los tapones finales 5, 6 son empujados hacia el tubo base 1 y fijados al tubo base.
35

40 Por ejemplo, el dispositivo separador según la invención de acuerdo con la tercera reivindicación (véanse las Figuras 5 a - 5 b) puede diseñarse con una pila 7 de anillos hecha de cerámica de carburo de silicio y un tubo base 1 hecho de Pernifer 36. Las pruebas con un dispositivo separador construido de esta manera en una cámara climática han demostrado que, en un intervalo de temperaturas de 10 °C a 200 °C, no se producen dilataciones no deseadas entre los anillos cerámicos ni la fractura de los anillos cerámicos debido a altas tensiones de compresión en los anillos.
45

En una cuarta realización preferida (véanse las Figuras 5 a - 5 b) del dispositivo separador según la invención, se utiliza un material cerámico a base de dióxido de circonio (ZrO_2) como material para los discos anulares. El coeficiente de dilatación térmica de las cerámicas de dióxido de circonio es similar al coeficiente de dilatación térmica de los tipos de acero utilizados habitualmente para el tubo base. El coeficiente de dilatación térmica de la cerámica de dióxido de circonio en un intervalo de temperatura de 10 °C a 200 °C se desvía, preferiblemente, no más del 10 %, más preferiblemente no más del 5 % de los coeficientes de dilatación térmica del material del tubo base en un intervalo de temperatura de 10 °C a 200 °C. En esta realización, en la que el coeficiente de dilatación
50 térmica del material de la pila 7 de anillos se adapta al del material del tubo base 1, no se requieren medidas adicionales para la compensación de la longitud debido a diferentes coeficientes de dilatación térmica entre el tubo base y la pila de anillos. Por tanto, en esta realización, es posible prescindir de un elemento de compensación separado, como por ejemplo, el casquillo de compensación o el elemento de compensación de doble pared. Sin embargo, también es posible utilizar elementos de compensación adicionales. En esta realización, preferiblemente hay casquillos 16, 17 de sellado en los extremos superior e inferior de la pila de anillos (véanse las Figuras 5 a - 5 b). Se aplica una junta tórica 19 al casquillo de sellado en su superficie circunferencial externa. Los casquillos 16, 17 de sellado son empujados hacia el tubo base 1 después de la pila 7 de anillos; después, los tapones finales 5, 6 son empujados hacia el tubo base 1 y fijados al tubo base.
60

En otra realización del dispositivo separador según la invención, la pila de anillos se construye a partir de discos anulares, que se producen a partir de varios materiales quebradizos. Por ejemplo, se pueden apilar discos anulares hechos de carburo de silicio y de cerámicas de dióxido de circonio unos encima de otros de manera alternante. El número de discos anulares de los diferentes materiales en este caso se selecciona de manera que la pila de anillos
65

como un todo tenga una dilatación térmica que se corresponda con la del tubo base. El material del tubo base es preferiblemente un material adaptado en relación al coeficiente de dilatación térmica, por ejemplo, una aleación de hierro y níquel.

5 En otra realización del dispositivo separador según la invención, como en la Figura 3, los orificios que están distribuidos uniformemente sobre la circunferencia se proporcionan en el casquillo 22, 23 de compensación superior y/o inferior, en el que se insertan los muelles 27 en espiral (véanse las Figuras 14 a - 14 c y 15 a - 15 c). Los muelles en espiral se presionan contra los casquillos 16, 17 de sellado. Se utilizan de 3 a 12, preferiblemente de 6 a 9, y de manera especialmente preferible 8 muelles en espiral. Los orificios de perforación pueden
10 diseñarse como orificios de perforación ciegos (véase el bloque de Figuras 14; la Figura 14 es una vista tridimensional, la Figura 14 b es una vista superior, la Figura 14 c es una vista en sección transversal a lo largo de la línea de intersección indicada como "14 c" en la Figura 14 b) o también como orificios de perforación continuos (véase el bloque de Figuras 15; la Figura 15 es una vista tridimensional, la Figura 15 b es una vista superior, la Figura 15 c es una vista en sección transversal a lo largo de la línea de intersección indicada como "15 c" en la
15 Figura 15 b).

La constante elástica de los muelles en espiral puede ser, por ejemplo, de 10 N/mm. Los muelles en espiral se pretensan porque se presionan juntos hacia la profundidad de los orificios de perforación de tal manera que los muelles en espiral terminan a ras con el lado plano del casquillo de compensación. La profundidad de los orificios de perforación se selecciona para que los muelles en espiral efectúen una fuerza total de al menos 500 N en el estado pretensado.
20

Por ejemplo, si se utilizan 8 muelles en espiral con una longitud de 25 mm y un diámetro de 7,5 mm, cada muelle debe ejercer una fuerza de 62,5 N (= 500 N/8). Con una constante elástica de 10 N/mm, el muelle debe pretensarse a 18,75 mm (= 25 - 6,25 mm). Por tanto, los orificios de perforación situados en los casquillos de compensación para los muelles en espiral deben tener una profundidad de 18,75 mm. En la presente memoria, se selecciona 8,0 mm como diámetro para los orificios de perforación.
25

Con el fin de evitar que se produzcan tensiones locales en la superficie de contacto del muelle, en el diseño que incluye orificios de perforación ciegos se introduce un disco metálico de ≥ 2 mm de espesor en el nivel inferior del orificio de perforación, cuyo espesor tiene que calcularse en la profundidad del orificio de perforación.
30

En comparación con los casquillos de compensación utilizados en la técnica anterior para tensar la pila de anillos, la incorporación de los muelles en espiral en el casquillo de compensación proporciona la ventaja de que los muelles solo pueden expandirse hasta cierto punto, pero el soporte y/o el tope del casquillo de compensación evita que los muelles se empujen entre sí. Por tanto, ni siquiera una presión de líquido que actúe desde el interior o el exterior puede presionar los anillos separándolos unos de otros, como sí es posible con los muelles de compresión para tensar en la pila de anillos.
35

Los muelles en espiral introducidos en el casquillo de compensación tienen un efecto adicional de compensación de las diferentes variaciones de longitud entre la pila 7 de anillos y el tubo base 1. En un intervalo de temperatura de +15 °C a -30 °C, los muelles en espiral introducidos en el casquillo de compensación aseguran que los discos anulares estén sin juego y por tanto no pueden "rebotar".
40

En una realización alternativa del dispositivo separador según la invención, la pila de anillos se construye a partir de dos discos anulares conformados de forma diferente que se apilan de una manera alternante. La primera forma de los discos anulares en este caso tiene espaciadores con una superficie de contacto plana en ambos lados, mientras que la segunda forma de los discos anulares incluye anillos planos simples con el mismo diámetro interior y exterior que la primera forma. La parte superior e inferior de la segunda forma de los discos anulares es lisa y plana y está conformada en un ángulo recto en relación con el eje del disco. Los espaciadores de la primera forma de los discos anulares están conformados de la misma manera en la parte superior e inferior. El número, tipo, disposición y dimensiones de los espaciadores en los discos anulares de la primera forma se seleccionan de manera que correspondan con el número, tipo, disposición y dimensiones de una de las realizaciones mencionadas. El diseño de la parte superior e inferior de los discos anulares de la primera forma corresponde, en las áreas entre los espaciadores, al diseño de la parte superior de los discos anulares en una de las realizaciones mencionadas, es decir, la parte superior e inferior de los discos anulares de la primera forma preferiblemente se inclina hacia dentro o hacia fuera en las áreas entre los espaciadores. De manera especialmente preferible, la parte superior e inferior de los discos anulares se inclina hacia dentro en las áreas entre los espaciadores. Los discos anulares más inferiores y superiores de la pila de anillos en este caso se mecanizan preferiblemente a partir de la segunda forma, es decir, hay anillos planos en ambos lados sin espaciadores.
45
50
55
60

Por tanto, la realización alternativa del dispositivo separador según la invención comprende los siguientes elementos básicos diseñados adecuadamente para el material y coordinados unos con respecto a otros:
- Una pila 32 de anillos (véanse las Figuras 17 a - 17 f) hecha de al menos tres discos anulares quebradizos, en donde la parte superior 29 y la parte inferior 30 de cada segundo disco anular 28 (véanse las Figuras 16 a - 16 g) en la pila de anillos comprende al menos tres espaciadores 10 distribuidos uniformemente en la circunferencia de los discos. Los discos anulares 31 adyacentes respectivos no tienen espaciadores pero en cambio son planos por ambas partes. La superficie 11
65

de contacto de los espaciadores es plana de manera que los espaciadores 10 tienen un contacto plano en relación con el disco anular adyacente 31. Los discos anulares se apilan y fijan de manera que se forma un espacio separador 14 (véanse las Figuras 17 b y 17 d) entre los discos individuales para separar las partículas sólidas. La proyección axial de los discos anulares es circular en la circunferencia interior y exterior. Por tanto, los discos anulares no tienen ranuras ni cavidades que reduzcan la fuerza en su superficie circunferencial interna o externa. Debido a la forma circular ideal desde la perspectiva del diseño, se evitan esencialmente las concentraciones de tensión debidas a la carga de presión. El material de los discos anulares, al igual que el de aquellos con espaciadores en ambos lados y aquellos sin espaciadores, corresponde con el material quebradizo utilizado para las realizaciones descritas anteriormente del dispositivo separador según la invención;

- Un tubo perforado 1 situado en el interior de la pila 32 de anillos (véanse las Figuras 1, 2 a - 2 b, 3 a - 3 b, 4 a - 4 b, y 5 a - 5 b), sobre el que se apilan los discos anulares quebradizos. El tubo perforado situado en el interior de la pila de anillos también se describe como el tubo base;

- Al menos tres flejes montados paralelos al eje en intervalos regulares en la superficie de la carcasa del tubo perforado 1 (tubo base) situado dentro de la pila 32 de anillos, sobre la que se presionan los flejes 15 (véanse las Figuras 10 y 11) a los discos anulares, mediante lo cual los discos anulares se centran en el tubo perforado; y

- Dos tapones finales 5, 6 en el extremo superior e inferior de la pila 32 de anillos (véanse las Figuras 1, 2 a - 2 b, 3 a - 3 b, 4 a - 4 b, y 5 a - 5 b) en los que los tapones finales 5, 6 se conectan firmemente al tubo perforado 1.

Las Figuras 3 a - 3 b, 4 a - 4 b, y 5 a - 5 b muestran el dispositivo separador según la invención con la pila 7 de anillos; en la realización alternativa del dispositivo separador, se sustituye la pila 7 de anillos por la pila 32 de anillos de las Figuras 3 a - 3 b, 4 a - 4 b, y 5 a - 5 b. El resto de los elementos estructurales permanece igual.

La Figura 16 a muestra una vista superior de un disco anular 28 con 15 espaciadores en la parte superior y en la parte inferior, que están apilados en la pila 32 de anillos, como cada segundo disco anular, alternándose con los discos anulares 31. La Figura 16 b muestra una vista en sección transversal a lo largo de la línea de intersección indicada como "16 b" en la Figura 16 a; las Figuras 16 c - 16 e muestran secciones ampliadas de las vistas en sección transversal de la Figura 16 b; la Figura 16 f muestra una representación tridimensional a lo largo de la línea de intersección indicada como "16 f" en la Figura 16 a; la Figura 16g muestra una vista tridimensional del disco anular. Las Figuras 17 a - 17 f muestran esquemáticamente una pila 32 de anillos construidos a partir de los discos anulares 28 de las Figuras 16 a - 16g, así como de los discos anulares 31. La Figura 7 muestra una vista superior de la pila de anillos; la Figura 7 muestra una vista en sección transversal a lo largo de la línea de intersección indicada como "7 b" en la Figura 7 a. Las Figuras 7 c y 7 d muestran secciones ampliadas de la vista en sección transversal de la Figura 7 b. La Figura 7 e muestra una vista tridimensional de la pila de anillos; la Figura 7 f muestra una representación tridimensional a lo largo de la línea de intersección indicada como "7 f" en la Figura 7 a.

Independientemente del hecho de que dos formas diferentes de los discos 28, 31 anulares quebradizos estén apiladas de una manera alternante en la realización alternativa, los otros detalles de esta realización corresponden a los de las realizaciones descritas anteriormente, es decir, por ejemplo, las dimensiones de los discos 28, 31 anulares quebradizos, el diseño del tubo base 1, los flejes 15 de centrado, los casquillos 16, 17 de sellado y los tapones finales 5, 6. Como se ha mencionado anteriormente, las dimensiones, diseño, número y disposición de los espaciadores 10 corresponde con las dimensiones, diseño, número y disposición de los espaciadores con una de las realizaciones mencionadas anteriormente. El diseño de la parte superior e inferior 29, 30 de la primera forma de los discos anulares 28 con los espaciadores en la parte superior e inferior (véase la Figura 16 a - 16 g) corresponde, en las áreas entre los espaciadores (véase la Figura 16 d), al diseño de la parte superior de los discos anulares en la realización con los espaciadores solo en la parte superior, es decir, la parte superior e inferior 29, 30 de la primera forma de los discos anulares 28 con los espaciadores en la parte superior e inferior se inclina hacia dentro o hacia fuera y, preferiblemente, se inclina hacia dentro.

En esta realización también, los discos anulares pueden apilarse unos encima de otros en una orientación arbitraria y aleatoria; sin embargo, en esta realización también es posible colocar los espaciadores en la pila de anillos alineados unos sobre otros como se muestra en la Figura 17 f. También pueden utilizarse elementos intermedios con esta realización como se ha descrito anteriormente. También es posible la combinación de esta realización alternativa con todas las realizaciones descritas anteriormente. Por tanto, como se ha descrito anteriormente, pueden utilizarse elementos de compensación, por ejemplo, para compensar la diferente variación térmica de la longitud entre el tubo base y la pila de anillos como, por ejemplo, casquillos de compensación o elementos de compensación de doble pared en el extremo superior y/o inferior de la pila de anillos. En esta realización alternativa de un dispositivo separador según la invención, también es posible utilizar un material metálico, cuyo coeficiente de dilatación térmica se acerque al de los discos anulares, como el material para el tubo base. También es posible utilizar un material cerámico a base de dióxido de circonio (ZrO_2) como el material de los discos anulares.

Esta realización alternativa es comparable en el efecto de filtro con las realizaciones descritas anteriormente, pero presenta ventajas con la producción de los discos anulares. Es ventajoso para el lapeado de doble cara de los discos anulares que las superficies que pulir en el lado superior e inferior sean del mismo tamaño, porque entonces la cantidad de lapeado que cortar es igual en ambas partes y la altura de los espaciadores planos es más fácil de controlar con precisión. Si las superficies en la parte superior e inferior que cortar son diferentes, esto

da lugar a un corte de material asimétrico que, por tanto, es más difícil de controlar. Lo mismo se aplica a los discos anulares que son planos en ambos lados. La forma anular es fácil de mecanizar y cualquier tolerancia de espesor de los discos anulares que se produzca no tiene ningún efecto sobre el tamaño absoluto de la anchura del filtro. Por tanto, incluso las tolerancias más estrechas pueden ajustarse a la anchura del filtro con esta realización del dispositivo separador.

El dispositivo separador según la invención se utiliza con depósitos de petróleo y/o gas para separar las partículas sólidas de los flujos volumétricos de petróleo crudo y/o gas natural. El dispositivo separador también puede utilizarse para otros procesos de filtración para separar las partículas sólidas de líquidos y/o gases fuera de los pozos de producción, en los que se necesite un alto nivel de resistencia a la abrasión y una larga vida útil del dispositivo separador, como por ejemplo para procesos de filtración en instalaciones de almacenamiento móvil y fijo para líquidos y/o gases o para procesos de filtración en cuerpos de agua naturales como, por ejemplo, cuando se filtra agua del mar. El dispositivo separador según la invención es especialmente adecuado para separar partículas sólidas de líquidos o gases, especialmente para petróleo crudo, gas natural y agua en pozos de producción en los que se producen caudales altos y máximos y volúmenes de transporte y, por tanto, diferencias de presión elevadas entre el lado de entrada y de salida del dispositivo separador.

Ejemplos

Ejemplo 1: Cálculo de la altura del casquillo de compensación

Un dispositivo separador según la invención como en las Figuras 3 a - 3 b se introduce en un orificio de perforación. Se mantiene una temperatura de 150 °C en la ubicación de uso del dispositivo separador. Se utiliza acero L80 como material para el tubo base. El carburo de silicio sinterizado (SSiC, carburo de silicio de tipo F, 3M™, de ESK Ceramics GmbH & Co. KG) se utiliza como material para la pila de anillos. Para compensar la diferente dilatación térmica entre el tubo base y la pila de anillos, se utiliza un casquillo de compensación hecho de PTFE (politetrafluoroetileno) en uno o ambos extremos de la pila de anillos. El casquillo de compensación de PTFE evita que se formen espacios que sean más grandes que la anchura de filtro deseada entre los discos anulares a las temperaturas más altas en la ubicación de uso.

La altura H_K del casquillo de compensación hecho de PTFE se calcula según la ecuación

$$H_K = \Delta L / (\alpha * \Delta T)$$

Donde

ΔL es la diferencia en la variación de longitud entre el tubo base y la pila de anillos en el intervalo de temperatura de uso (20 - 150 °C aquí)

α es el coeficiente de dilatación térmica (CDT) del material del casquillo de compensación en el intervalo de temperatura de uso (20 - 150 °C aquí)

ΔT es la diferencia de temperatura de uso (130 K, aquí con el intervalo de aplicación 20 - 150 °C)

La altura de la pila de anillos es de 1000 mm. El coeficiente de dilatación térmica α_{Acero} del acero L80 utilizado para el tubo base es $10,5 * 10^{-6} / \text{K}$; la dilatación de longitud del tubo base $\Delta L_{\text{Tubo base}}$ hecho de acero, en un intervalo de temperatura de 20 a 150 °C (según $\Delta L_{\text{Tubo base}} = L_{\text{Tubo base}} * \alpha_{\text{Acero}} * \Delta T$) es $1000 \text{ mm} * 10,5 * 10^{-6} / \text{K} * 130 \text{ K}$, por tanto 1,36 mm. El coeficiente de dilatación térmica α_{SSiC} del material SSiC utilizado para la pila de anillos es $2,8 * 10^{-6} / \text{K}$; La dilatación de longitud de la pila de anillos $\Delta L_{\text{Pila de anillos}}$ hecha de carburo de silicio, en un intervalo de temperatura de 20 a 150 °C (según $\Delta L_{\text{Pila de anillos}} = L_{\text{Pila de anillos}} * \alpha_{\text{SSiC}} * \Delta T$) es $1000 \text{ mm} * 2,8 * 10^{-6} / \text{K} * 130 \text{ K}$, por tanto 0,36 mm. Por tanto, la diferencia en la dilatación de longitud entre la pila de anillos y el tubo base es de $1,36 \text{ mm} - 0,36 \text{ mm} = 1,00 \text{ mm}$. Para guiar los discos anulares axialmente sin juego, el casquillo de compensación hecho de PTFE debe tener una dilatación de longitud de 1,00 mm.

El coeficiente de dilatación térmica α de PTFE es $125 * 10^{-6} / \text{K}$. Por tanto, la altura del casquillo de compensación de PTFE puede calcularse según la ecuación $H_K = \Delta L / (\alpha * \Delta T)$ como $1,00 \text{ mm} / (125 * 10^{-6} / \text{K} * 130 \text{ K})$, por tanto 61,54 mm. Un casquillo de compensación de PTFE que se dilate 1,00 mm a $\Delta T = 130 \text{ K}$ debe tener una longitud H_K de 61,54 mm. Cuando el casquillo de compensación de PTFE se dispone en ambos extremos de la pila de anillos, la longitud se reduce a la mitad 30,77 mm.

Ejemplo 2: Cálculo de la altura del casquillo de compensación

Un dispositivo separador según la invención como en las Figuras 3 a - 3 b se introduce a una temperatura de 200 °C. La altura de la pila de anillos es de 1500 mm. Se utiliza un acero 1,4563 (Incoloy® Alloy 028) como material para el tubo base. El carburo de silicio sinterizado (SSiC, carburo de silicio de tipo F, 3M™, de ESK Ceramics GmbH & Co. KG) se utiliza como material para la pila de anillos. El coeficiente de dilatación térmica α_{Acero} del material utilizado para el tubo base es $15,2 * 10^{-6} / \text{K}$; la dilatación de longitud del tubo base $\Delta L_{\text{Tubo base}}$, en un intervalo de temperatura de 20 a 200 °C (según $\Delta L_{\text{Tubo base}} = L_{\text{Tubo base}} * \alpha_{\text{Acero}} * \Delta T$) es $1500 \text{ mm} * 15,2 * 10^{-6} / \text{K} * 180 \text{ K}$, por tanto 4,1 mm. El coeficiente de dilatación térmica α_{SSiC} del material SSiC utilizado para la pila de anillos es $2,8 * 10^{-6} / \text{K}$;

La dilatación de longitud de la pila de anillos $\Delta L_{\text{Pila de anillos}}$ hecha de carburo de silicio, en un intervalo de temperatura de 20 a 200 °C (según $\Delta L_{\text{Pila de anillos}} = L_{\text{Pila de anillos}} \cdot \alpha_{\text{SSiC}} \cdot \Delta T$) es 1500 mm * 2,8 * 10⁻⁶ / K * 180K, por tanto 0,76 mm. Por tanto, la diferencia en la dilatación de longitud entre la pila de anillos y el tubo base es de 3,34 mm. Para guiar los discos anulares axialmente sin juego, el casquillo de compensación hecho de PTFE debe tener una dilatación de longitud de 3,34 mm.

El coeficiente de dilatación térmica α del PTFE es 125 * 10⁻⁶ / K. Por tanto, la longitud del casquillo de compensación de PTFE puede calcularse según la ecuación $H_K = \Delta L / (\alpha \cdot \Delta T)$ como 3,34 mm / (125 * 10⁻⁶ / K * 180 K), por tanto 148,44 mm. Un casquillo de compensación de PTFE que se dilate 3,34 mm a $\Delta T = 180$ K debe tener una longitud H_K de 148,44 mm. Cuando el casquillo de compensación de PTFE se dispone en ambos extremos de la pila de anillos, la longitud se reduce a la mitad 74,22 mm.

Ejemplos 3 a 8

Para verificar la mayor resistencia a la presión axial de la pila de anillos del dispositivo separador según la invención, se apilan 10 discos anulares de carburo de silicio sinterizado (SSiC, carburo de silicio tipo F, 3M™, ESK Ceramics GmbH & Co. KG) unos encima de otros y se someten a una rampa de fuerza de compresión en una máquina de prueba universal ZWICK 1474 TestXpert II hasta que se produce la fractura de uno o más anillos o se alcanza la fuerza máxima, es decir, el límite de rendimiento de la máquina de ensayo de 100 kN.

Para los Ejemplos núm. 3 a 6, se utilizan discos anulares con espaciadores con una superficie de contacto plana, como se muestra en las Figuras 8 a - 8 g; con los Ejemplos núm. 3, 4 y 6, en lugar de los 24 espaciadores, se fijan 16 o 3 espaciadores distribuidos uniformemente a los discos anulares (véase la Tabla 1), en el diseño mostrado en las Figuras 8 a - 8 g. Para los Ejemplos núm. 7 y 8, se utilizan 10 discos anulares con espaciadores con forma de segmentos esféricos. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1:

Ejemplo núm.	Diámetro exterior de los discos anulares [mm]	Número de espaciadores	Tipo de espaciadores	Fuerza de prueba [kN]	Resultado
3	103	16	con superficie de contacto plana	80	fractura
4	103	3	con superficie de contacto plana	73	fractura
5	170	24	con superficie de contacto plana	> 100	Sin fractura*
6	170	3	con superficie de contacto plana	96	fractura
7	103	3	Forma de segmento esférico	6,5	fractura
8	170	3	forma de segmento esférico	3,3	fractura

*La fuerza máxima de la máquina de prueba no es suficiente para romper los anillos.

Los resultados de la prueba muestran que los discos anulares hechos de carburo de silicio con espaciadores que tienen una superficie de contacto plana, cuando se utilizan en el dispositivo separador según la invención, pueden soportar al menos una fuerza axial 10 veces mayor que la de los espaciadores con forma de segmento esférico.

Ejemplos 9 a 14: Prueba de resistencia a la presión interna y externa

En una cámara de alta presión, las pruebas de resistencia a la presión interna (prueba de presión de rotura), es decir, el impacto del dispositivo separador con la presión interna, y las pruebas para la resistencia a la presión externa (prueba de presión de colapso), es decir, el impacto del dispositivo separador con presión exterior, se llevan a cabo con dispositivos separadores según la invención y con dispositivos separadores de referencia. La configuración de la prueba y el procedimiento corresponden a la configuración y el procedimiento mostrados en la norma ISO 17824, Primera Edición 2009-08-15, en el Apéndice A (Prueba de presión de colapso) y B (Prueba de presión de rotura).

La cámara de alta presión tiene un diámetro interior de 80 mm y una longitud útil de 500 mm. La presión del líquido se establece con una bomba de pistón accionada por aire comprimido (tipo: GRACO X-treme 70, fabricada por Graco Inc., Russell J. Gray Technical Center, 88 - 11th Avenue Northeast, Minneapolis, Minesota 55413, EE. UU.), que alcanza 50 MPa (correspondiente a 500 bar o 7250 psi).

Como medio de transferencia de presión (píldora de control de pérdida de fluido) se utiliza una mezcla viscosa de metilcelulosa, agua y polvo de caliza de diferentes granos según la norma ISO 17824, Apéndice A.4. La función del medio de transferencia de presión es taponar el espacio separador (espacio del filtro) y, así, sellarlo de manera que pueda establecerse la diferencia de presión.

En los Ejemplos núm. 9 a 14, el diámetro exterior de los discos anulares para los dispositivos separadores utilizado es de 58 mm, el diámetro interior es de 42 mm, y la longitud útil es de 350 mm. La longitud útil corresponde a la altura de la pila de anillos. La anchura de filtro es de 250 µm. El material de los discos anulares es un carburo de silicio sinterizado monofásico con una densidad > 3,10 g/cm³ (SSiC, carburo de silicio de tipo F, 3M™, fabricante: ESK Ceramics GmbH & Co. KG). El tubo base del dispositivo separador se produce de acero 1,4571. El diámetro exterior del tubo base es de 38 mm.

Los Ejemplos núm. 9 y 12 son según la invención; los Ejemplos núm. 10 y 11 así como 13 y 14 son Ejemplos de referencia.

Para los Ejemplos núm. 9 y 12 según la invención, se utiliza un dispositivo separador según las Figuras 5 a - 5 b. El diseño de los discos anulares corresponde con las Figuras 8 a - 8 g; sin embargo, el disco anular solo tiene 8 espaciadores distribuidos uniformemente en lugar de los 24 espaciadores mostrados. Los discos anulares no tienen ranuras ni cavidades en su superficie circunferencial interna o externa. La pila de anillos no está pretensada axialmente en ambos lados con muelles de compresión, sino que tiene un tapón final fijado al tubo base en ambos lados. El pretensado en la pila de anillos en la dirección axial es ≤ 2 MPa, en relación a la superficie proyectada axialmente de los discos anulares. Se fijan tres flejes de muelle de acero para centrar la pila de anillos en el tubo base paralelas al eje a una distancia de 120° unas con respecto a otras en la superficie de la carcasa del tubo base (véase la Figura 11). Se sitúa un casquillo de sellado en ambas partes de la pila de anillos entre el tapón final y la pila de anillos según las Figuras 5 a - 5 b. Los casquillos de sellado están hechos de acero.

Para los Ejemplos de referencia núm. 10 y 13, se utiliza un dispositivo separador en el que los discos anulares están equipados con 3 espaciadores con forma de segmento esférico según la Figura 2 en WO 2011/120539 A1. Se distribuyen uniformemente tres ranuras sobre la circunferencia en la superficie circunferencial interna de los discos anulares. La pila de anillos se tensa axialmente en ambos lados con muelles de compresión con un tapón final fijado al tubo base en ambos lados.

Para los Ejemplos de referencia núm. 11 y 14, se utiliza un dispositivo separador en el que los discos anulares están equipados con 3 espaciadores con forma de segmento esférico según la Figura 2 en WO 2011/120539 A1. Se distribuyen uniformemente tres ranuras sobre la circunferencia en la superficie circunferencial interna de los discos anulares. La pila de anillos no está pretensada en ambos lados con muelles de compresión, sino que tiene un tapón final fijado a ambos lados. Se sitúa un casquillo de sellado hecho de acero, como se muestra en la Figura 5, ente la pila de anillos y los tapones finales a ambos lados de la pila de anillos.

Los resultados de las pruebas de resistencia a la presión interna se muestran en la Tabla 2, mientras que los resultados de las pruebas de resistencia a la presión externa se muestran en la Tabla 3.

Tabla 2: Resultados de las pruebas de resistencia a la presión interna

Ejemplo núm.	Breve descripción del dispositivo separador probado	Presión máxima [MPa (bar)]
9	8 espaciadores con una superficie de contacto plana en los discos anulares, sin ranuras en la superficie circunferencial exterior e interior de los discos anulares, no hay muelles de compresión para tensar la pila de anillos, unión de la pila de anillos con tapones finales en el tubo base, casquillos de sellado hechos de acero en ambos lados de la pila de anillos, centrado con flejes de muelle de acero, tubo base hecho de acero 1,4571, Jaula protectora	14,3 (143) (fractura)
10 (Ejemplo de referencia)	3 espaciadores con forma de segmento esférico en los discos anulares, muelles de compresión para tensar la pila de anillos en ambos extremos de la pila de anillos, tubo base hecho de acero 1,4571; Jaula protectora	1,9 (19) (fractura)
11	3 espaciadores con forma de segmento esférico en los discos anulares, 3 ranuras en la superficie circunferencial interna de los discos anulares, no hay muelles de compresión para tensar la pila de anillos, unión de la pila de anillos con tapones finales en el tubo base, casquillos de sellado hechos de acero en ambos lados de la pila de anillos, tubo base hecho de acero 1,4571,	2,2 (22) (fractura)

	Jaula protectora	
--	------------------	--

La presión a la que la presión comienza a descender repentinamente (presión máxima) se define como el criterio de fallo durante la prueba de resistencia a la presión interna. Dependiendo de la construcción del dispositivo separador, esto está causado por la fractura de un anillo cerámico o porque los muelles ceden, o ambos, abriendo de esta manera el espacio del filtro. Cuando la presión comienza a descender repentinamente, el dispositivo separador permite el paso de partículas más gruesas que las correspondientes a la anchura del filtro (pérdida del control de arena).

Tabla 3: Resultados de las pruebas de resistencia a la presión externa

Ejemplo núm.	Breve descripción del dispositivo separador probado	Presión máxima [MPa (bar)]
12	8 espaciadores con una superficie de contacto plana en los discos anulares, sin ranuras en la superficie circunferencial exterior e interior de los discos anulares, no hay muelles de compresión para tensar la pila de anillos, unión de la pila de anillos con tapones finales en el tubo base, casquillos de sellado hechos de acero en ambos lados de la pila de anillos, centrado con flejes de muelle de acero, tubo base hecho de acero 1,4571, Jaula protectora	> 50 (>500) (sin fractura)
13 (Ejemplo de referencia)	3 espaciadores con forma de segmento esférico en los discos anulares, 3 ranuras en la superficie circunferencial interna de los discos anulares, muelles de compresión para tensar la pila de anillos a ambos extremos de la pila de anillos, tubo base hecho de acero 1,4571, Jaula protectora	12,3 (123) (fractura)
14 (Ejemplo de referencia)	3 espaciadores con forma de segmento esférico en los discos anulares, 3 ranuras en la superficie circunferencial interna de los discos anulares, no hay muelles de compresión para tensar la pila de anillos, unión de la pila de anillos con tapones finales en el tubo base, casquillos de sellado hechos de acero en ambos lados de la pila de anillos, tubo base hecho de acero 1,4571, Jaula protectora	30,5 (305) (fractura)

La presión a la que la presión comienza a descender repentinamente (presión máxima) se define como el criterio de fallo durante la prueba de resistencia a la presión externa. Dependiendo de la construcción del dispositivo separador, esto está causado por la fractura de un anillo cerámico o porque los muelles ceden, o ambos, abriendo de esta manera el espacio del filtro. Cuando la presión comienza a descender repentinamente, el dispositivo separador permite el paso de partículas más gruesas que las correspondientes a la anchura del filtro (pérdida del control de arena).

Con el Ejemplo núm. 12 según la invención, la presión máxima del dispositivo de prueba se alcanzó sin que se produjera un fallo en el dispositivo separador.

Los resultados de la prueba muestran la resistencia a la presión significativamente más alta del dispositivo separador según la invención en comparación con el diseño con espaciadores en forma de segmentos esféricos en los discos anulares y comparados con el tensado de los anillos apilados con los muelles de compresión.

Ejemplos 15 a 19

Para las pruebas adicionales, se construye una cámara más grande de alta presión que es más grande que la utilizada para los Ejemplos núm. 9 a 14. La cámara de alta presión más grande tiene un diámetro interno de 203 mm (8 pulgadas), una longitud útil de 1200 mm (4 pies), y puede soportar una presión de hasta aproximadamente 55 MPa (550 bar, 7975 psi).

En esta cámara de alta presión, las pruebas de resistencia a la presión interna (prueba de presión de rotura), es decir, el impacto del dispositivo separador con la presión interna, y las pruebas de resistencia a la presión externa (prueba de presión de colapso), es decir, el impacto del dispositivo separador con presión exterior, se llevan a cabo con dispositivos separadores según la invención y con dispositivos separadores de referencia. La configuración de la prueba y el procedimiento corresponden a la configuración y el procedimiento mostrados en la norma ISO 17824, Primera Edición 2009-08-15, en el Apéndice A (Prueba de presión de colapso) y B (Prueba de presión de rotura). Las pruebas llevadas a cabo en esta cámara de alta presión se realizaron con dispositivos separadores cuyos diámetros se correspondían con los diámetros técnicamente relevantes.

Como medio de transferencia de presión (píldora de control de pérdida de fluido) se utiliza una mezcla viscosa de metilcelulosa, agua y polvo de caliza de diferentes granos según la norma ISO 17824, Apéndice A.4. La función del medio de transferencia de presión es taponar el espacio del filtro y, así, sellarlo de manera que pueda establecerse la diferencia de presión.

Se utilizaron varios dispositivos separadores para las pruebas en las que el diámetro exterior de los discos anulares y el tubo base era diferente (véase la Tabla 4). Los dispositivos separadores se construyen con un tubo base hecho de acero L80Cr13 y una pila de anillos hecha de 80 discos anulares, cada uno de ellos hecho de cerámica de carburo de silicio sinterizado (SSiC, carburo de silicio de tipo F, 3M™, fabricado por: ESK Ceramics GmbH & Co. KG).

La longitud útil de los dispositivos separadores, es decir, la altura de la pila de anillos, es de 500 mm. La anchura del filtro es de 250 µm. El diámetro de los tubos base es de 59,6 mm (2 7/8 pulg.) en los Ejemplos núm. 15 y 18, 88,9 mm (3 1/2 pulg) en el Ejemplo núm. 16, y 139,7 mm (5 1/2 pulg) en los Ejemplos núm. 17 y 19.

Los Ejemplos núm. 15 y 17 son según la invención; los Ejemplos núm. 18 y 19 son Ejemplos de referencia.

El diseño del dispositivo separador en los Ejemplos núm. 15 a 17 se realiza según las Figuras 3 a - 3 b. Los discos anulares en el Ejemplo núm. 17 tienen 24 espaciadores con una superficie de contacto plana según las Figuras 8 a - 8 g. El diseño de los discos anulares en los Ejemplos núm. 15 y 16 corresponde al diseño mostrado en las Figuras 8 a - 8 g; sin embargo, los discos anulares solo tienen 16 (Ejemplo núm. 15) y 18 (Ejemplo núm. 16) espaciadores distribuidos uniformemente en la parte superior de los discos anulares, en lugar de los 24 mostrados ahí. Los dispositivos separadores en los Ejemplos núm. 15 a 17 están contruidos con tres tiras de muelle de acero según las Figuras 3 a - 3 b para centrar la pila de anillos (según la Figura 11), con un casquillo de sellado a ambos extremos de la pila de anillos, y un tapón final a ambos extremos de la pila de anillos, así como dos casquillos de compensación hechos de PTFE situados entre los casquillos de sellado y los taponos finales (según las Figuras 12 a - 12 c). La longitud de los casquillos de compensación de PTFE es de 16 mm.

Para los Ejemplos núm. 18 y 19 (Ejemplos de referencia), se utilizan dispositivos separadores con discos anulares que tienen espaciadores con forma de segmento esférico según la Figura 2 en WO 2011/120539 A1. Con estos dos ejemplos, se utilizan muelles de compresión para tensar la pila de anillos a ambos extremos de la pila de anillos.

Los resultados de las pruebas de resistencia a la presión interna y externa se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Resultados de las pruebas de resistencia a la presión interna y externa

Ejemplo núm.	Diámetro [mm (pulgada)] del tubo base	Diámetro exterior de los discos anulares [mm]	Tipo de espaciadores/número de espaciadores	Presión máxima durante la prueba de resistencia de presión interna	Presión máxima durante la prueba de resistencia de presión externa
15	59,6 (2 7/8)	99	con superficie de contacto plana/ 16	12 MPa (120 bar, 1740 psi) fractura de un anillo	hasta 500 MPa (500 bar, 7250 psi) sin fractura
16	88,9 (3 1/2)	115	con superficie de contacto plana / 18	12,1 MPa (121 bar, 1755 psi), fractura de un anillo	hasta 50 MPa (500 bar, 7250 psi) sin fractura
17	139,7 (5 1/2)	170	con superficie de contacto plana / 24	13,6 MPa (136 bar, 1972 psi), fractura de un anillo	hasta 50 MPa (500 bar, 7250 psi) sin fractura
18 (Ejemplo de referencia)	59,6 (2 7/8)	99	forma de segmento esférico / 3	1,95 MPa (19,5 bar, 282 psi), fractura de múltiples anillos	5,3 MPa (53 bar, 782 psi), fractura de múltiples anillos
19 (Ejemplo de referencia)	139,7 (5 1/2)	170	forma de segmento esférico / 3	1,98 MPa (19,8 bar, 287 psi), fractura de múltiples anillos	3,2 MPa (32 bar, 456 psi), fractura de múltiples anillos

La presión a la que la presión comienza a descender repentinamente (presión máxima) se define como el criterio de fallo durante las pruebas de resistencia a la presión externa e interna. Dependiendo de la construcción del dispositivo separador, esto está causado por la fractura de un anillo cerámico o porque los muelles ceden, o ambos, abriendo de esta manera el espacio del filtro. Cuando la presión comienza a descender repentinamente, el dispositivo separador

permite el paso de partículas más gruesas que las correspondientes a la anchura del filtro (pérdida del control de arena).

5 Con los Ejemplos núm. 15 a 17 según la invención, la presión máxima del dispositivo de prueba se alcanzó durante la prueba de resistencia a la presión externa sin que se produjera un fallo en el dispositivo separador.

10 Los resultados de la prueba muestran la resistencia a la presión interna y externa significativamente más alta del dispositivo separador según la invención en comparación con el diseño con espaciadores en forma de segmentos esféricos en los discos anulares y comparados con el tensado de los anillos apilados con los muelles de compresión.

Lista de referencia

- 1 Tubo perforado / tubo base
- 2 Rosca
- 3 Elemento intermedio
- 4 Jaula protectora
- 5 Tapón final
- 6 Tapón final
- 7 Pila de anillos
- 8 Disco anular
- 9 Parte superior del disco 8
- 10 Espaciador
- 11 Superficie de contacto del espaciador 10
- 12 Parte inferior del disco 8
- 13 Cámara
- 14 Espacio separador
- 15 Flejes de centrado
- 16 Casquillo de sellado
- 17 Casquillo de sellado
- 18 Perforación del tubo base 1
- 19 Sello / junta tórica
- 20 Cordón de soldadura
- 21 Superficie exterior de carcasa del tubo base 1
- 22 Elemento de compensación / casquillo de compensación
- 23 Elemento de compensación / casquillo de compensación
- 24 Elemento de compensación / elemento de compensación de doble pared
- 25 Elemento de compensación / elemento de compensación de doble pared
- 26 Abertura de llenado y de ventilación
- 27 Muelles en espiral
- 28 Disco anular
- 29 Parte superior del disco 28
- 30 Parte inferior del disco 28
- 31 Disco anular sin espaciador
- 32 Pila de anillos
- 33 Superficie de referencia de medición

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo separador para separar partículas sólidas de líquidos y/o gases en los pozos de producción, que comprende
- 5
- a) una pila (7) de anillos hecha de al menos tres discos (8) anulares quebradizos, en donde la parte superior (9) de los discos anulares (8) comprende al menos tres espaciadores (10), que están distribuidos de manera uniforme en la circunferencia de los discos y cuya área (11) de contacto es plana para que los espaciadores (10) tengan un contacto laminar con la parte inferior (12) de un disco (8) anular adyacente, y en donde los discos anulares (8) están apilados y fijados de manera que existe un espacio separador entre los discos (8) individuales respectivos para separar partículas sólidas, y en donde la proyección axial de los discos anulares (8) en la circunferencia exterior o interior es circular, y en donde el material quebradizo de los discos anulares (8) se selecciona de materiales cerámicos oxidicos y no oxidicos, cerámicas mezcladas hechas de estos materiales, materiales cerámicos con la adición de fases secundarias, materiales mezclados con partes de materiales duros metálicos o cerámicos y con una fase de aglomerante metálico, materiales metalúrgicos en polvo con fases de materiales duros conformados in situ, y materiales cerámicos reforzados con fibras largas y/o cortas,
- 10
- b) un tubo perforado (1) situado dentro de la pila (7) de anillos, sobre cuyo tubo perforado se apilan los discos (8) anulares quebradizos,
- c) al menos tres flejes (15) montados paralelos al eje en intervalos regulares en la superficie (21) de la carcasa del tubo perforado (1) situado dentro de la pila (7) de anillos, sobre cuyos flejes se presionan los discos anulares (8), donde los discos anulares (8) se centran en el tubo perforado (1), y
- 15
- d) un tapón final (5) en el extremo superior y un tapón final (6) en el extremo inferior de la pila (7) de anillos, en donde los tapones finales (5, 6) se conectan firmemente al tubo perforado (1).
- 20
2. Dispositivo separador para separar partículas sólidas de líquidos y/o gases en los pozos de producción, que comprende
- 30
- a) una pila (32) de anillos hecha de al menos tres discos (28, 31) anulares quebradizos, en donde la parte superior (29) y la parte inferior (30) de cada segundo disco anular (28) en la pila (32) de anillos comprende al menos tres espaciadores (10) distribuidos uniformemente en la circunferencia de los discos (28), y en donde los discos (31) anulares adyacentes respectivos no comprenden ningún espaciador, y en donde el área (11) de contacto de los espaciadores (10) es plana para que los espaciadores (10) tengan un contacto laminar con los discos (31) anulares adyacentes, y en donde los discos anulares (28, 31) están apilados y fijados de manera que existe un espacio separador (14) entre los discos (28, 31) individuales respectivos para separar las partículas sólidas, y en donde la proyección axial de los discos anulares (28, 31) en la circunferencia exterior o interior es circular, y en donde el material quebradizo de los discos anulares (28, 31) se selecciona de materiales cerámicos oxidicos y no oxidicos, cerámicas mezcladas hechas de estos materiales, materiales cerámicos con la adición de fases secundarias, materiales mezclados con partes de materiales duros metálicos o cerámicos y con una fase de aglomerante metálico, materiales metalúrgicos en polvo con fases de materiales duros conformados in situ, y materiales cerámicos reforzados con fibras largas y/o cortas,
- 35
- b) un tubo perforado (1) situado dentro de la pila (32) de anillos, sobre cuyo tubo perforado se apilan los discos (28, 31) anulares quebradizos,
- c) al menos tres flejes (15) montados paralelos al eje en intervalos regulares en la superficie (21) de la carcasa del tubo perforado (1) situado dentro de la pila (32) de anillos, sobre cuyos flejes se presionan los discos anulares (28, 31), donde los discos anulares (28, 31) se centran en el tubo perforado (1), y
- 40
- d) un tapón final (5) en el extremo superior y un tapón final (6) en el extremo inferior de la pila (32) de anillos, en donde los tapones finales (5, 6) se conectan firmemente al tubo perforado (1).
- 45
3. El dispositivo separador según la reivindicación 1, en donde la parte superior (9) de los discos anulares (8) se inclina hacia dentro o hacia fuera, preferiblemente hacia dentro, en las regiones entre los espaciadores (10).
- 50
4. El dispositivo separador según la reivindicación 2, en donde la parte superior (29) y la parte inferior (30) de cada segundo disco anular (28) en la pila (32) de anillos se inclina hacia dentro o hacia fuera, preferiblemente hacia dentro, en las regiones entre los espaciadores (10).
- 55
5. El dispositivo separador según la reivindicación 1 o 3, en donde la parte inferior (12) de los discos anulares (8) está formada en un ángulo recto con el eje del disco.
- 60
6. El dispositivo separador según la reivindicación 2 o 4, en donde la parte superior y la parte inferior de los discos anulares (31) que no comprenden ningún espaciador están formadas en un ángulo recto con el eje del disco.
- 65

ES 2 640 477 T3

7. El dispositivo separador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde el dispositivo separador soporta presiones internas de hasta 12 MPa (120 bar) en la prueba de resistencia de presión interna según la norma ISO 17824 y presiones externas de hasta 50 MPa (500 bar) en la prueba de resistencia de presión externa según la norma ISO 17824.
8. El dispositivo separador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde el área (11) de contacto de los espaciadores individuales (10) es de 4 a 60 mm², preferiblemente de 10 a 35 mm².
9. El dispositivo separador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde el número de espaciadores (10) distribuidos uniformemente en los discos anulares (8, 28) es mayor que 3, preferiblemente al menos 6, más preferiblemente al menos 10, y particularmente preferible al menos 15.
10. El dispositivo separador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde la distancia entre los espaciadores (10) es de 8 a 50 mm, preferiblemente de 10 a 30 mm, y de particularmente preferible de 15 a 25 mm.
11. El dispositivo separador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en donde el material quebradizo es carburo de silicio (SiC) sinterizado o carburo de boro.
12. El dispositivo separador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en donde el diámetro interior de los discos anulares (8, 28, 31) es de al menos 0,5 mm y como máximo 10 mm, preferiblemente al menos 1,5 mm y como máximo 5 mm, más grande que el diámetro exterior del tubo perforado (1).
13. El dispositivo separador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en donde el dispositivo separador comprende una jaula protectora (4) para proteger contra daños mecánicos.
14. El dispositivo separador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en donde el dispositivo separador comprende un casquillo (16) de sellado en el extremo superior y un casquillo (17) de sellado en el extremo inferior de la pila (7, 32) de anillos.
15. El dispositivo separador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, en donde el dispositivo separador comprende un casquillo (22, 23) de compensación en el extremo superior de la pila (7) de anillos y/o en el extremo inferior de la pila (7, 32) de anillos para compensar los cambios térmicos diferentes en la longitud del tubo perforado (1) y la pila (7, 32) de anillos.
16. El dispositivo separador según la reivindicación 15, en donde el coeficiente de dilatación térmica del material del casquillo (22, 23) de compensación es al menos $25 \cdot 10^{-6} / \text{K}$, preferiblemente al menos $80 \cdot 10^{-6} / \text{K}$, y particularmente preferible al menos $100 \cdot 10^{-6} / \text{K}$, en el intervalo de temperatura de 10 – 200 °C.
17. El dispositivo separador según la reivindicación 15 o 16, en donde el casquillo (22, 23) de compensación consiste en un material a base de politetrafluoroetileno (PTFE).
18. El dispositivo separador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, en donde el dispositivo separador comprende en el extremo superior de la pila (7, 32) de anillos y/o en el extremo inferior de la pila (7, 32) de anillos, un recipiente (24, 25) tubular de doble pared, que se llena con un líquido y cuyas paredes externas son curvas en la dirección axial, para compensar los cambios térmicos diferentes en la longitud del tubo perforado (1) y de la pila (7, 32) de anillos.
19. El dispositivo separador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18, en donde el tubo perforado (1) está hecho de un material, cuyo coeficiente de dilatación térmica se desvía como máximo en un 10 %, preferiblemente como máximo en un 5 %, en el intervalo de temperatura de 10 °C a 200 °C del coeficiente de dilatación térmica del material de la pila (7, 32) de anillos en el intervalo de temperatura de 10 °C a 200 °C.
20. El dispositivo separador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 19, en donde los discos anulares (8, 28, 31) consisten en cerámica de circonio, y en donde el coeficiente de dilatación térmica de la cerámica de circonio en el intervalo de temperatura de 10 °C a 200 °C se desvía como máximo en un 10 %, preferiblemente como máximo en un 5 % del coeficiente de dilatación térmica del material del tubo perforado en el intervalo de temperatura de 10 °C a 200 °C.
21. El dispositivo separador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20, en donde la tensión inicial en la pila (7, 32) de anillos en la dirección axial en el intervalo de temperatura de 10 °C a 200 °C es como máximo de 10 MPa, preferiblemente como máximo de 5 MPa, particularmente preferible como máximo de 2 MPa en relación al área proyectada axial de los discos anulares.

- 5
22. El dispositivo separador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 21, en donde el desplazamiento, producido por las diferencias de presión de fluido durante el funcionamiento del dispositivo separador, de los discos anulares (8, 28, 31) en la pila (7, 32) de anillos en el intervalo de temperatura de 10 °C a 200 °C no es superior a 1,5 por mil en la dirección axial en relación con la longitud de la pila de anillos.
23. Uso de un dispositivo separador según al menos una de las reivindicaciones anteriores para separar partículas sólidas de líquidos y/o gases en un método para transportar líquidos y/o gases desde pozos de producción.

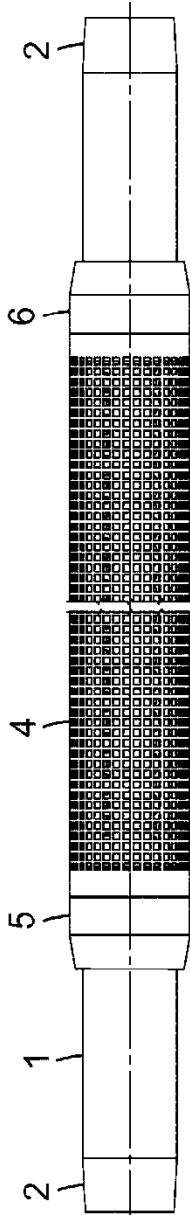


Fig. 1

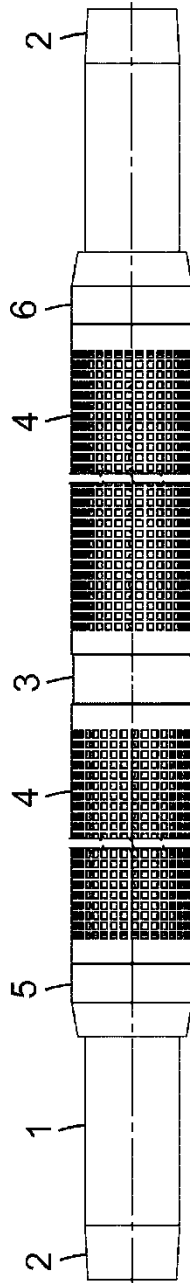


Fig. 2a

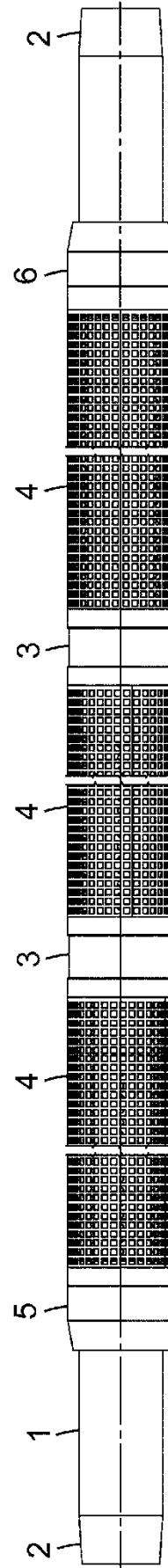


Fig. 2b

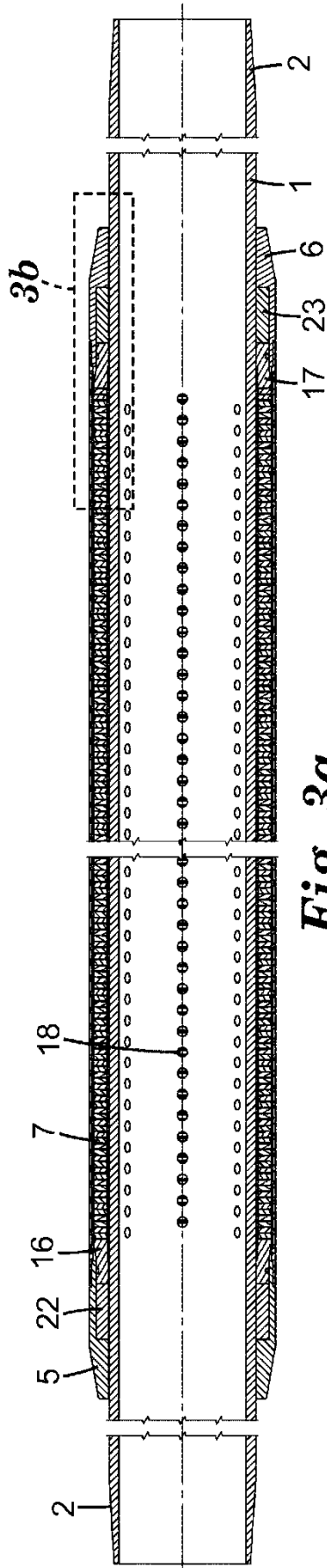


Fig. 3a

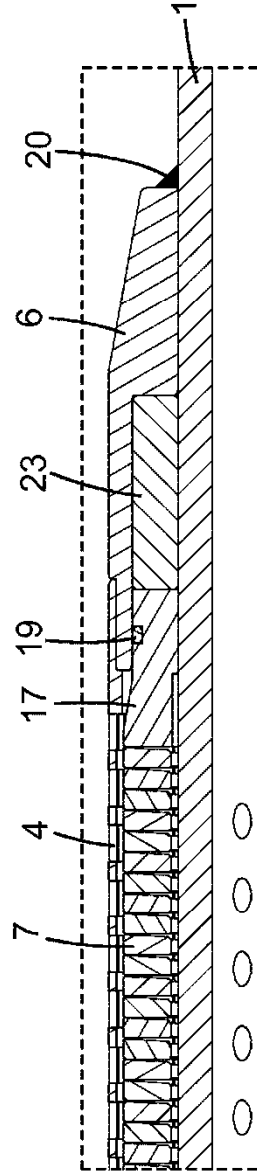


Fig. 3b

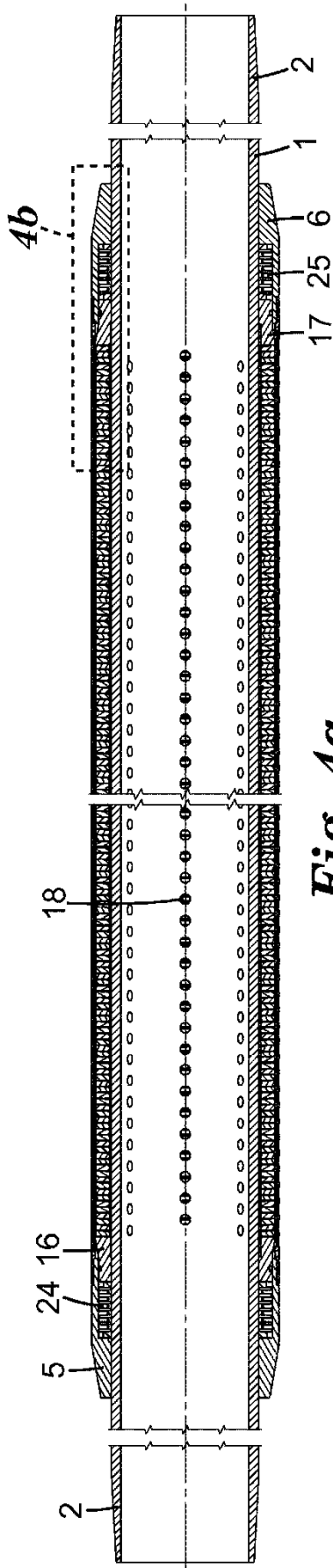


Fig. 4a

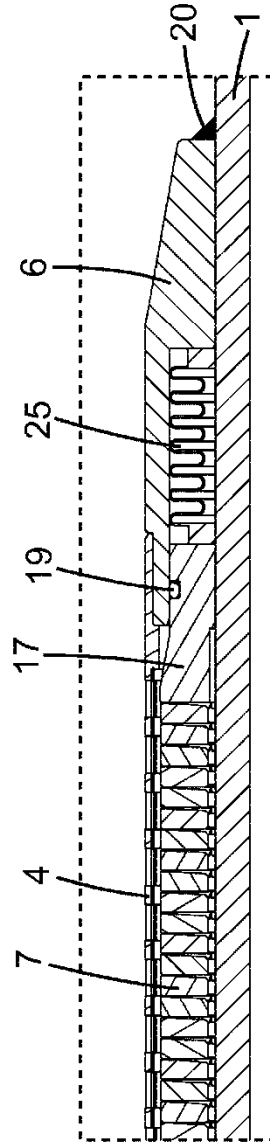


Fig. 4b

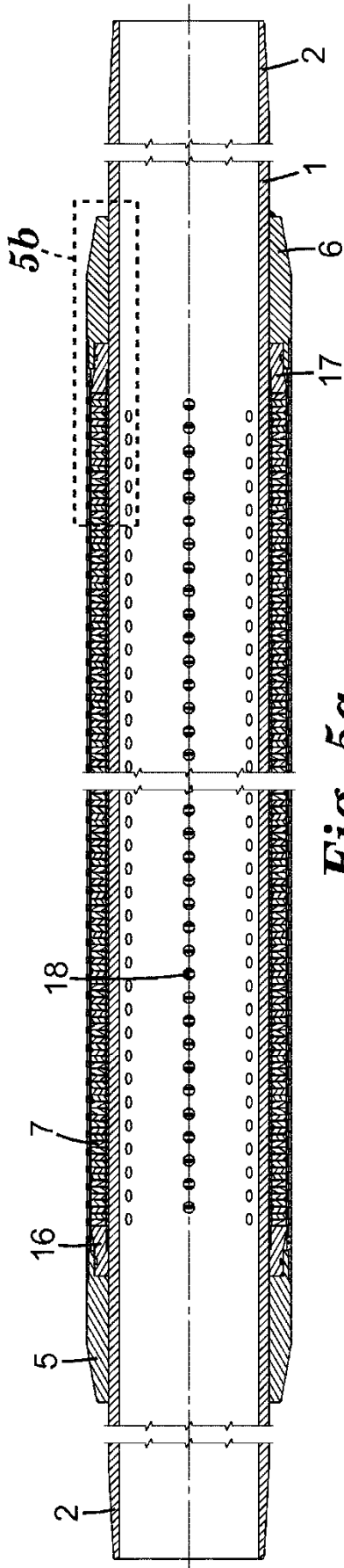


Fig. 5a

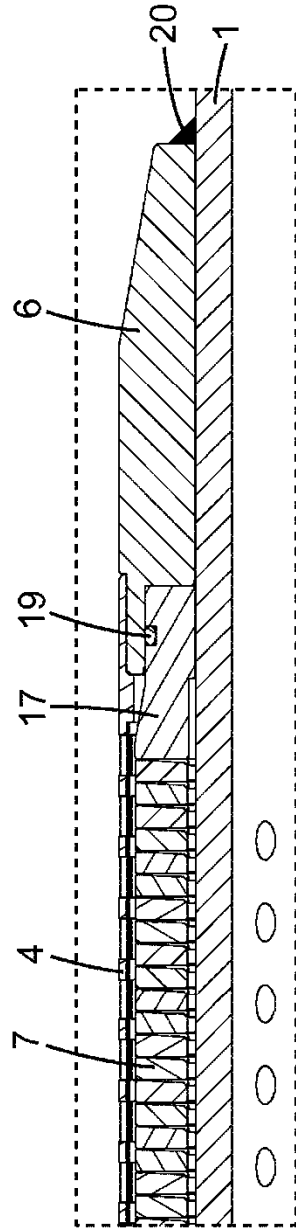


Fig. 5b

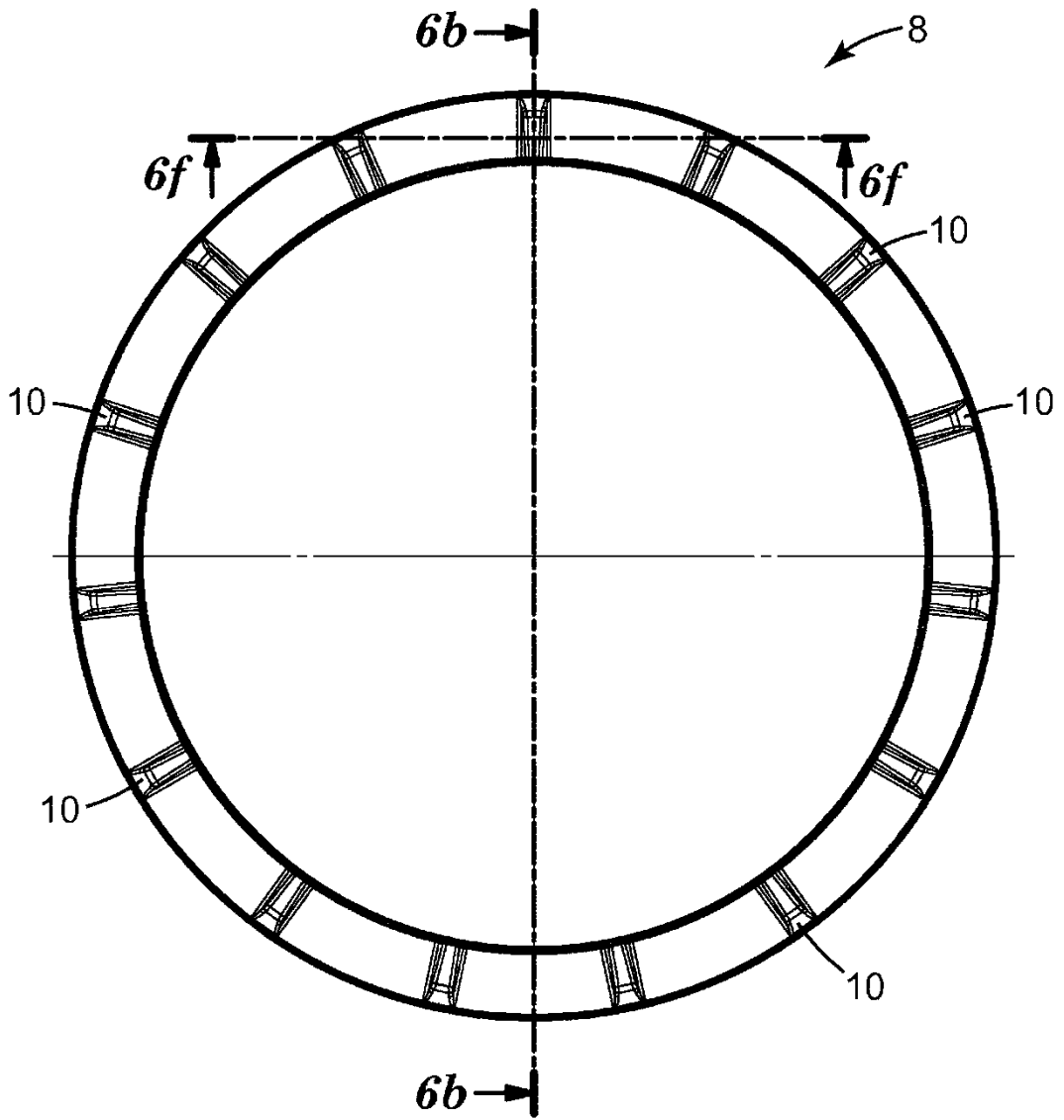
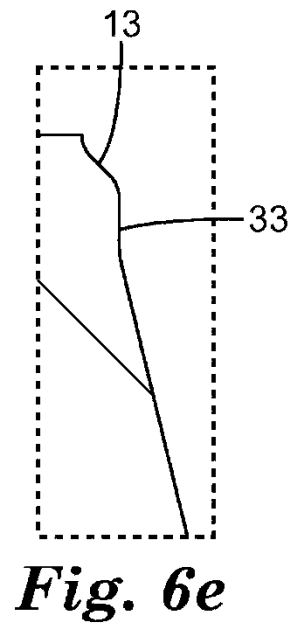
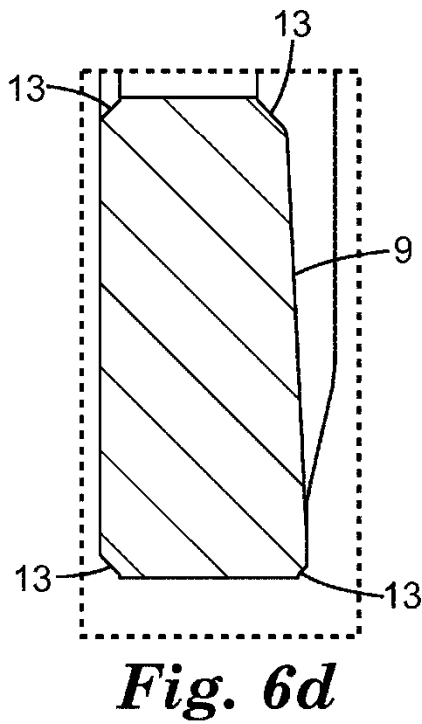
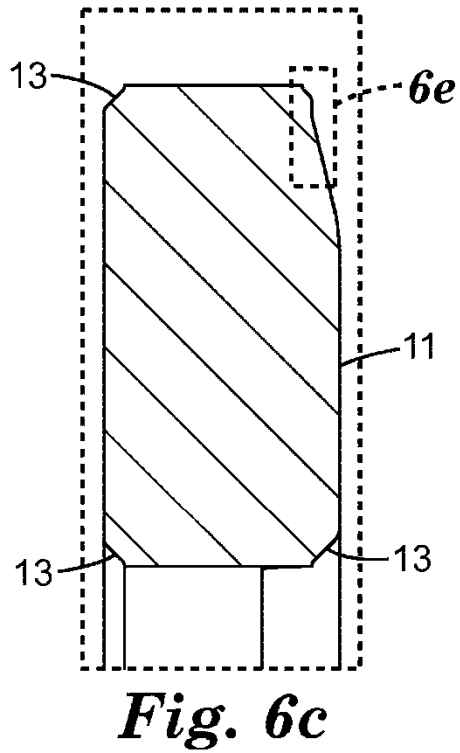
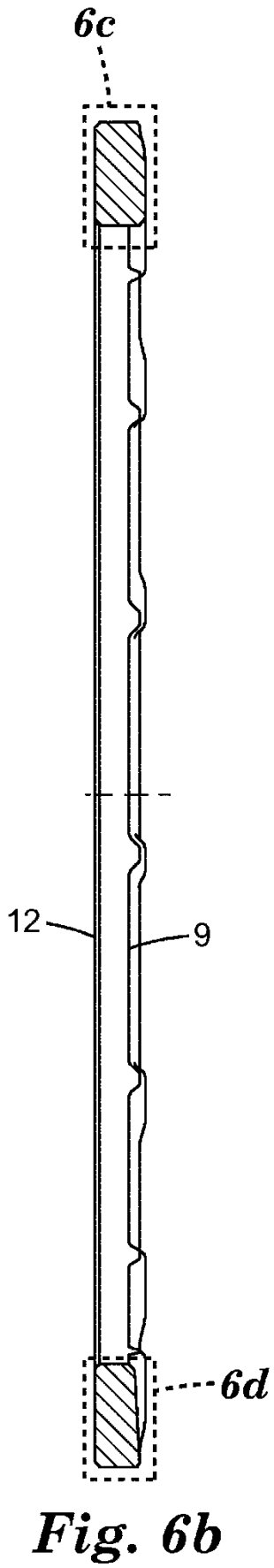


Fig. 6a



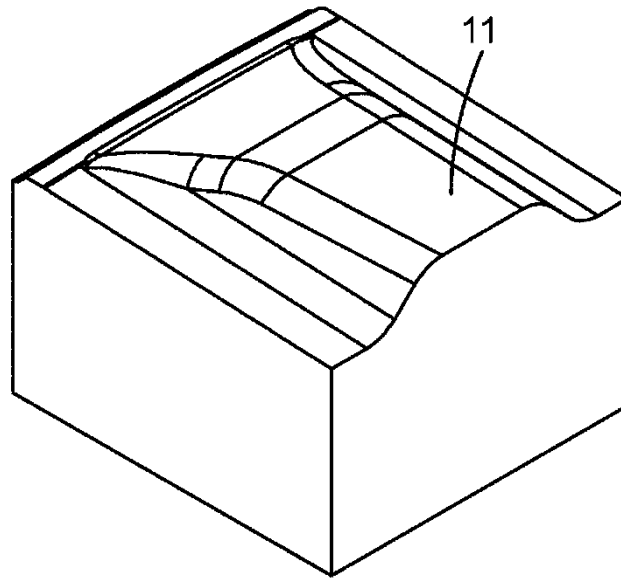


Fig. 6f

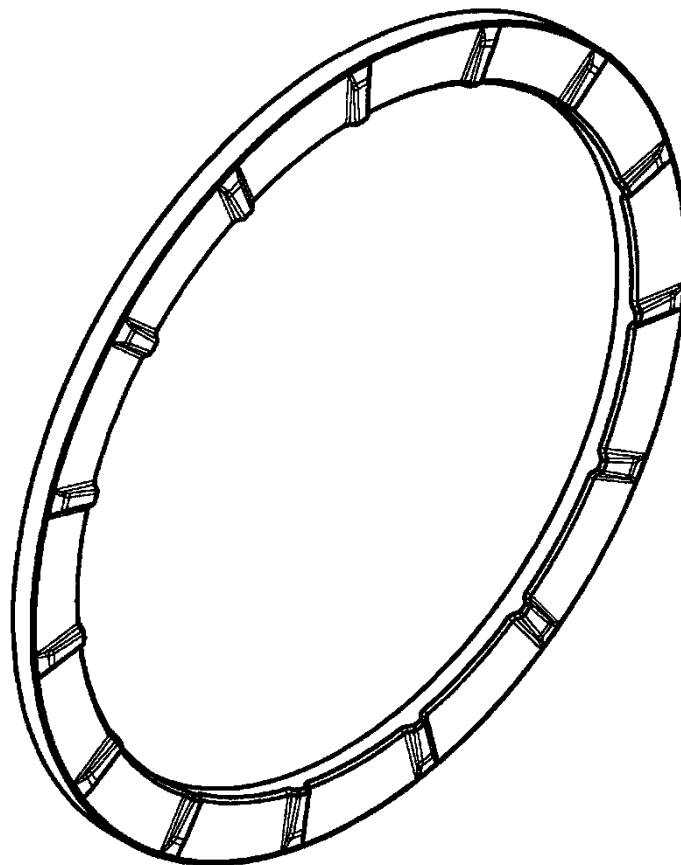


Fig. 6g

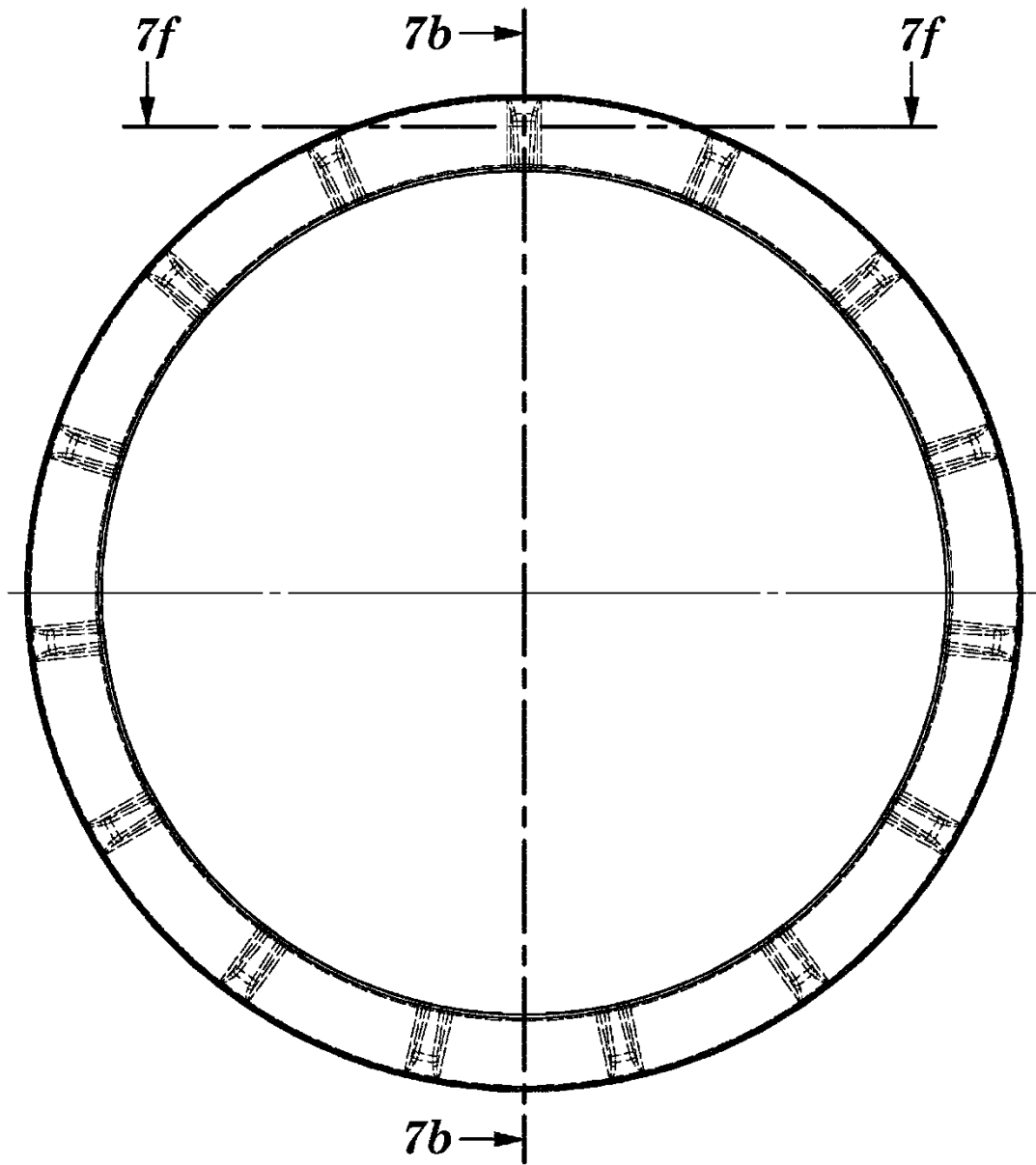


Fig. 7a

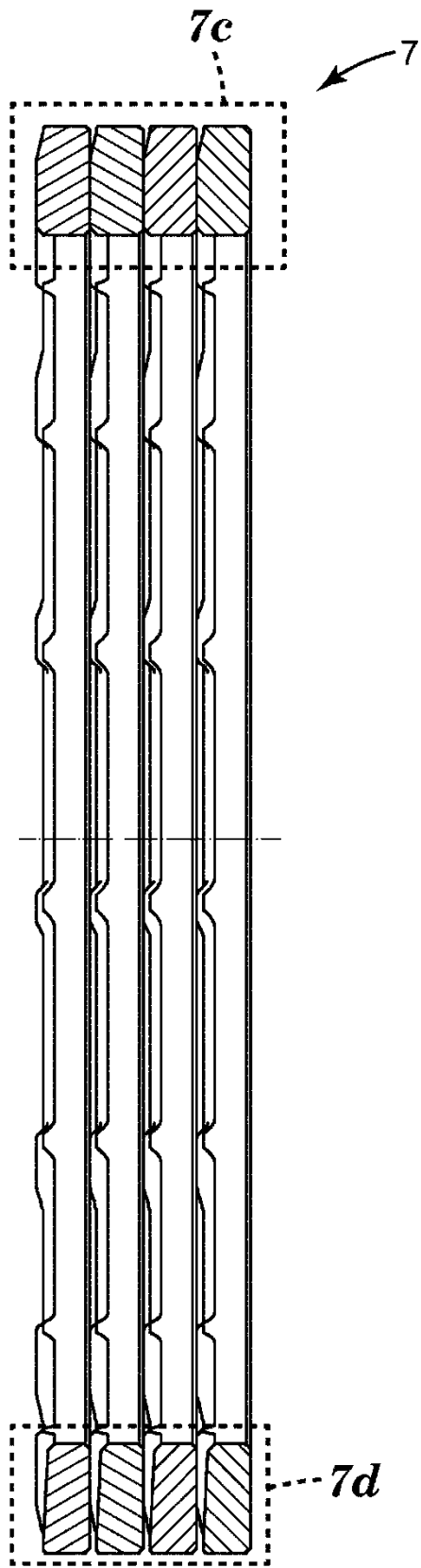


Fig. 7b

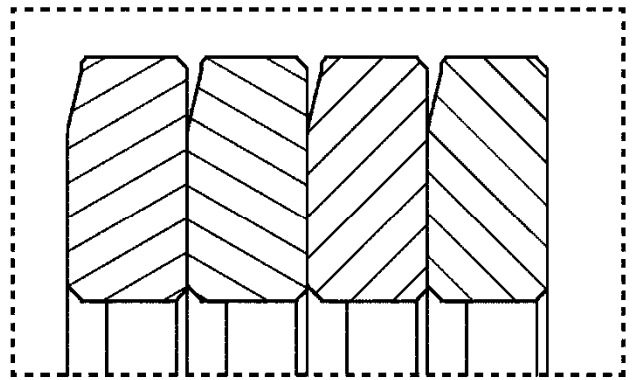


Fig. 7c

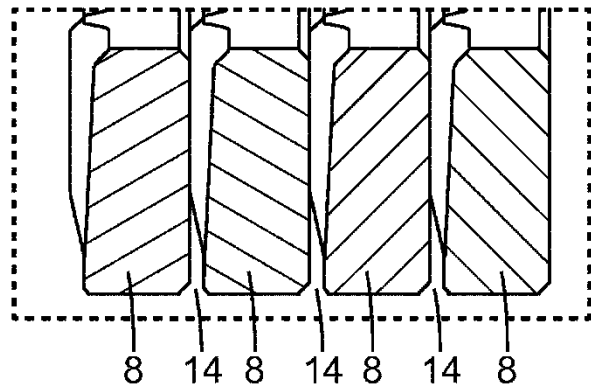


Fig. 7d

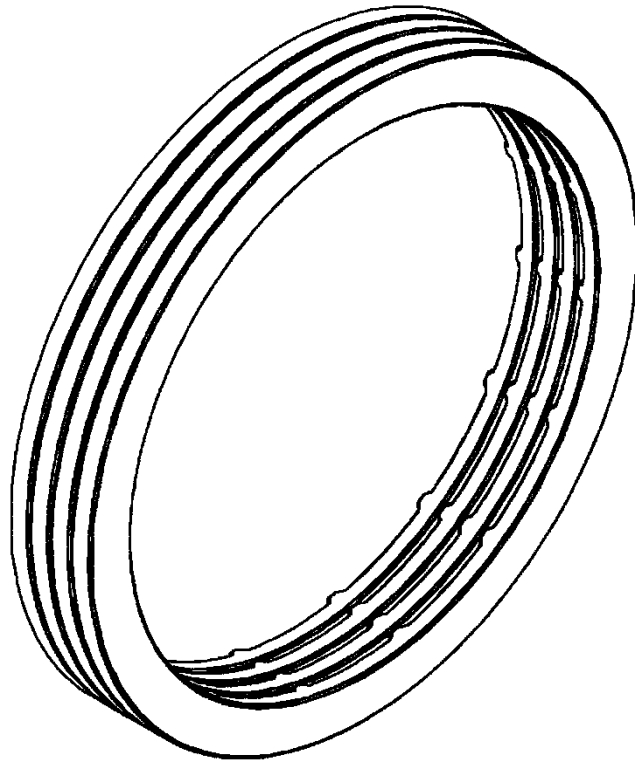


Fig. 7e

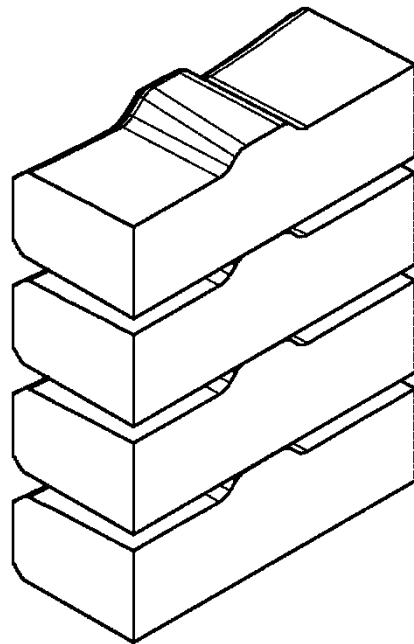


Fig. 7f

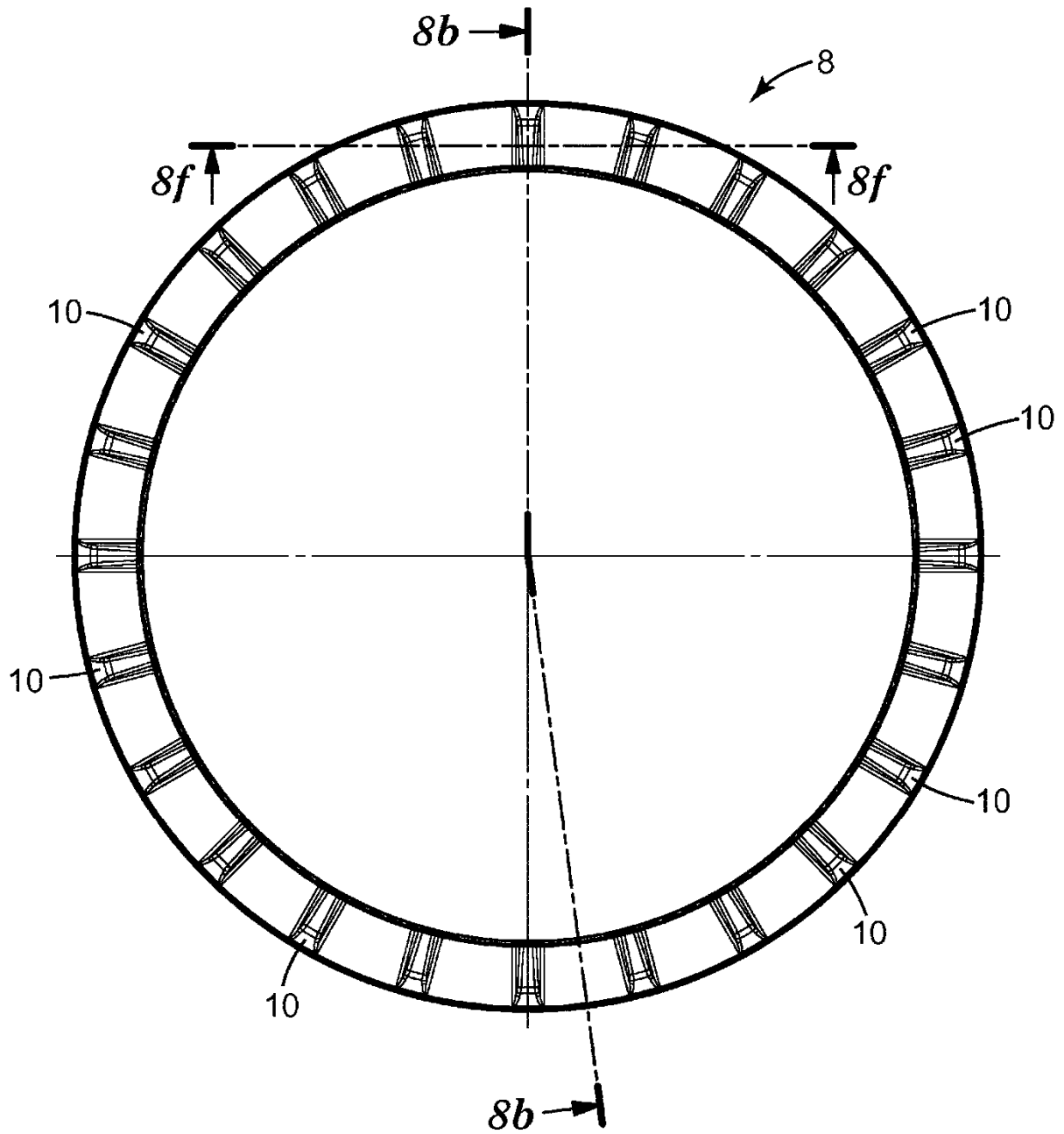
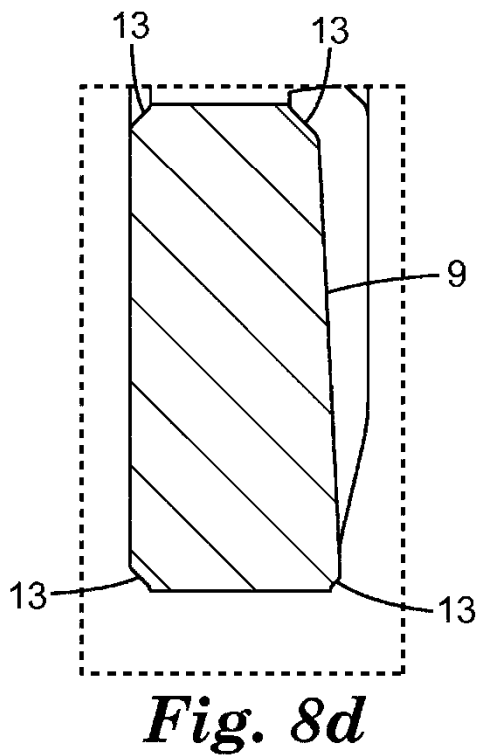
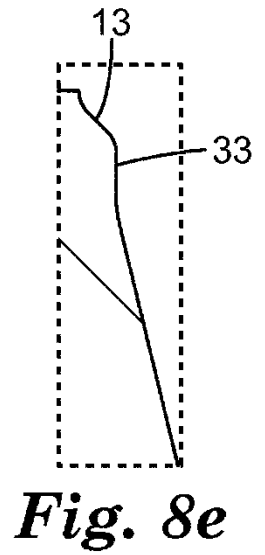
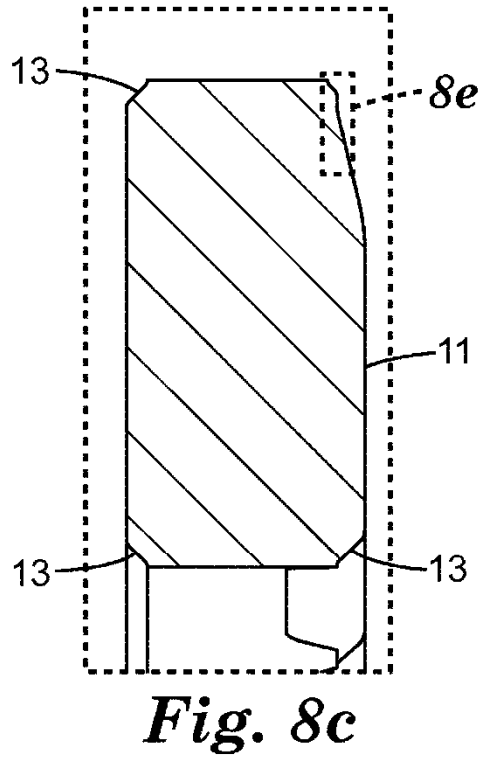
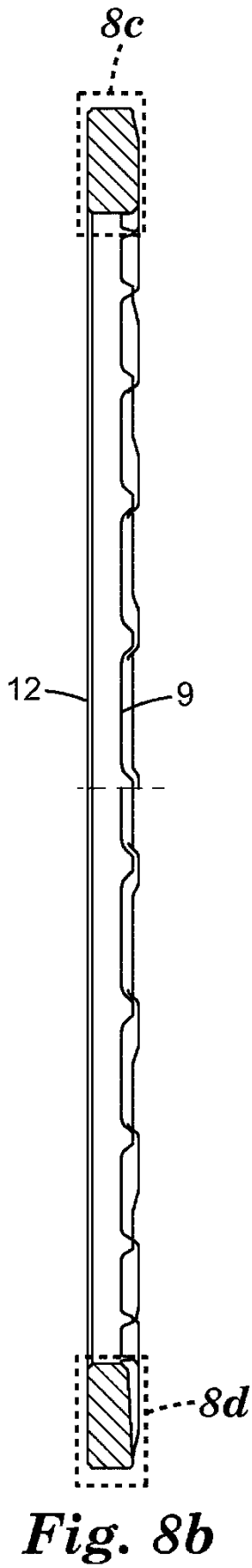


Fig. 8a



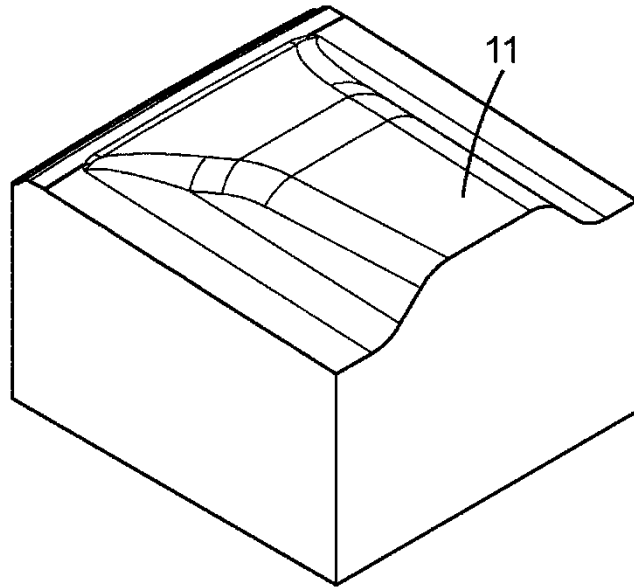


Fig. 8f

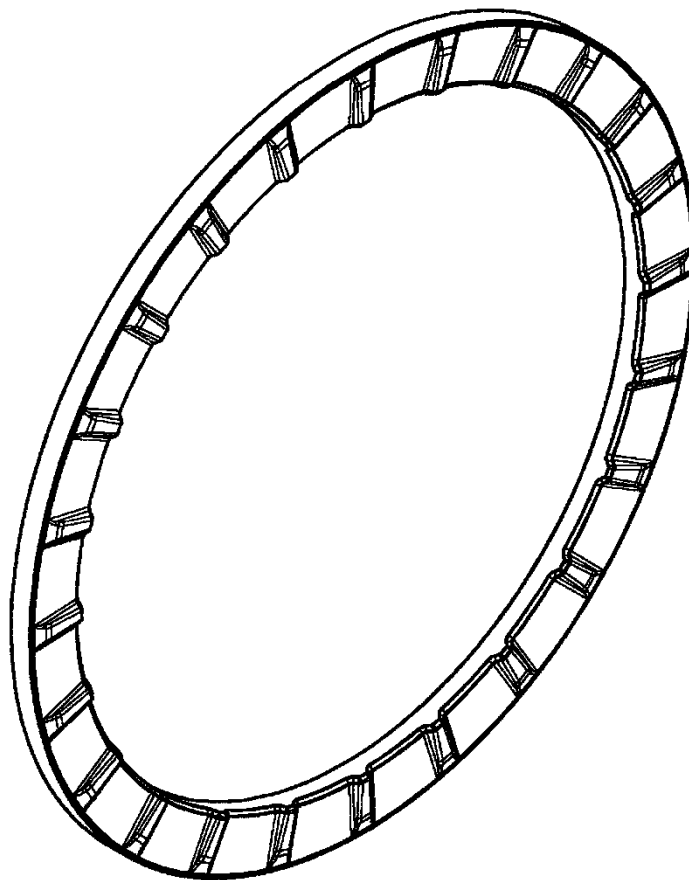
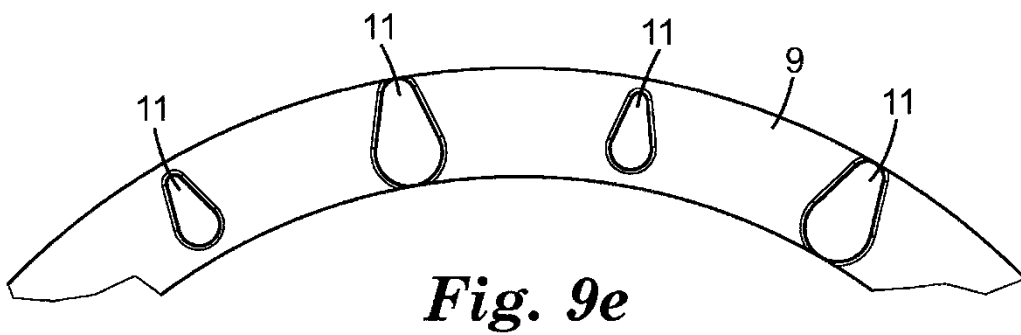
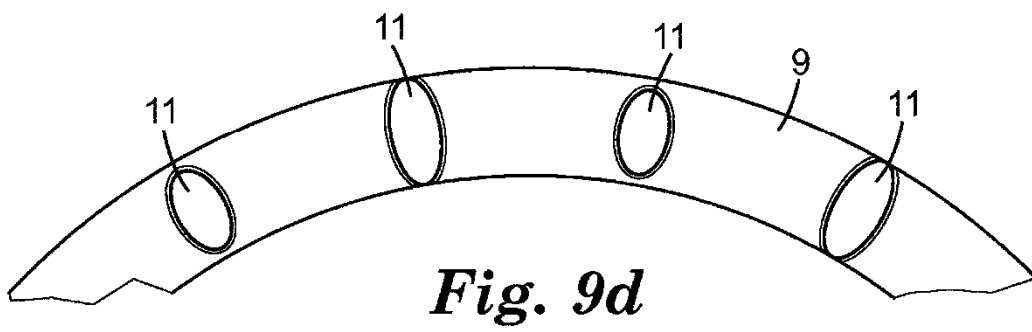
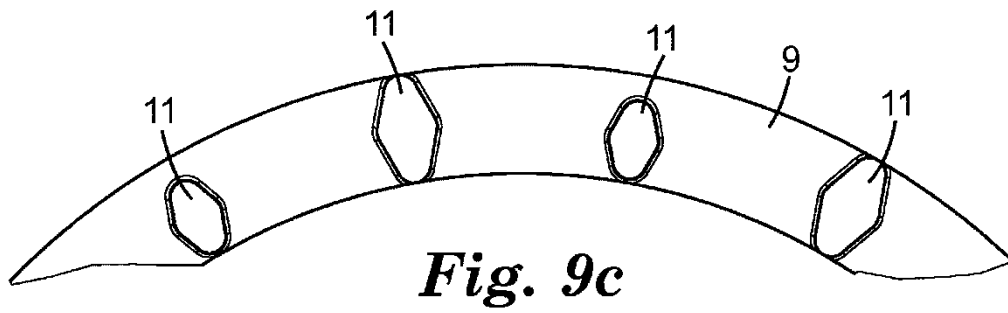
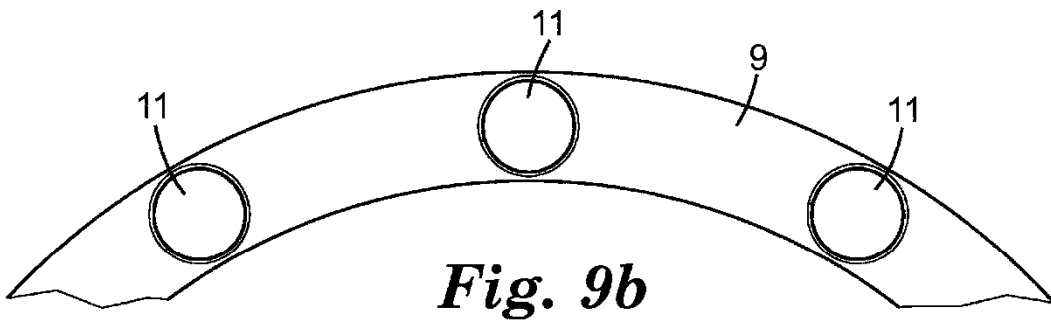
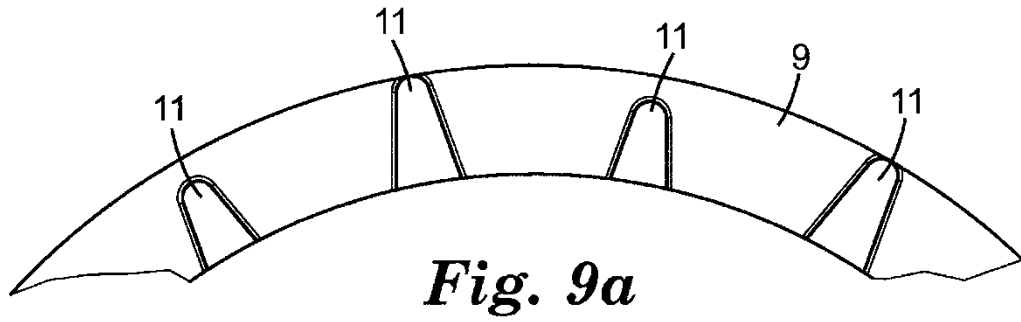


Fig. 8g



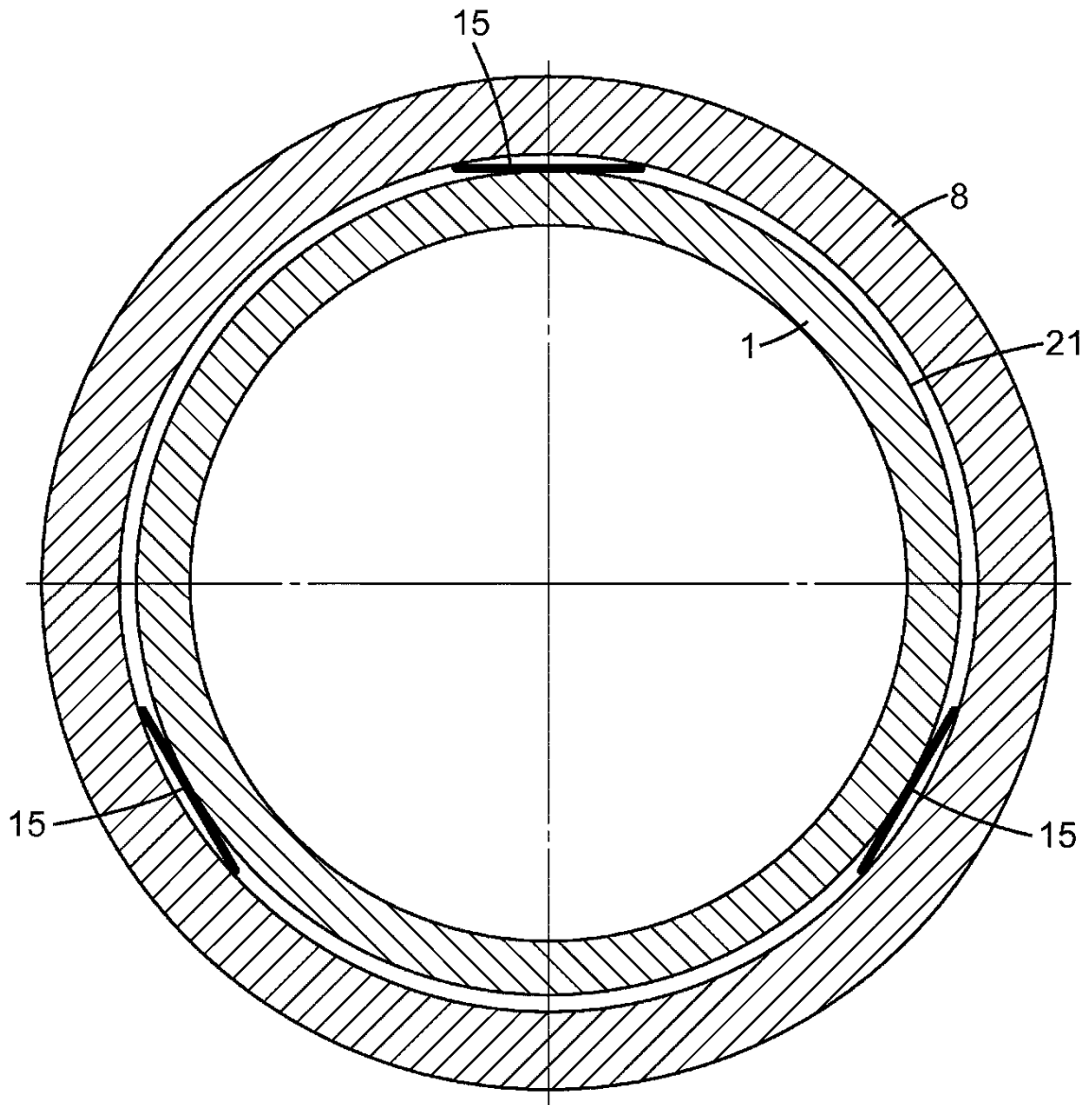


Fig. 10

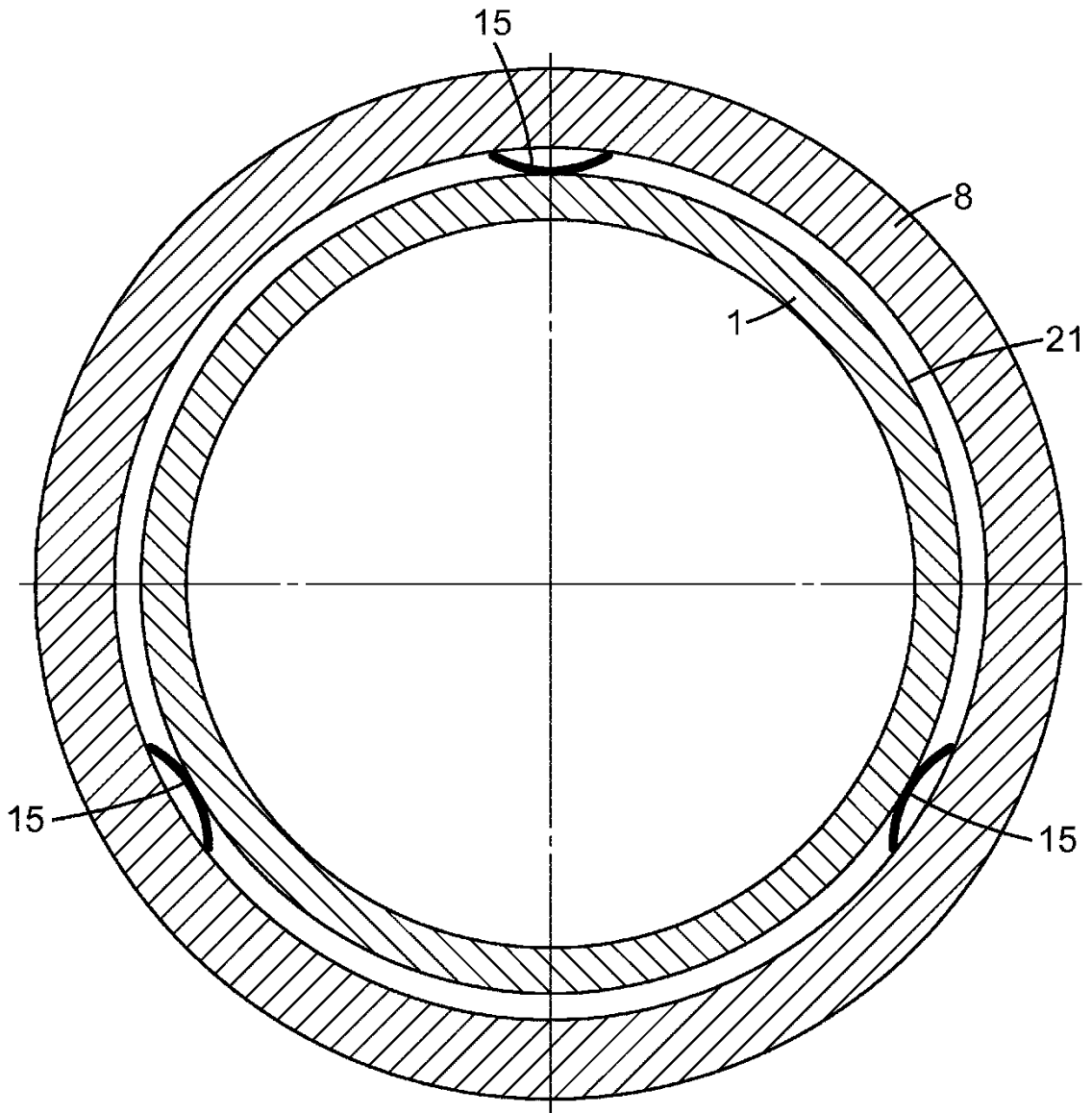


Fig. 11

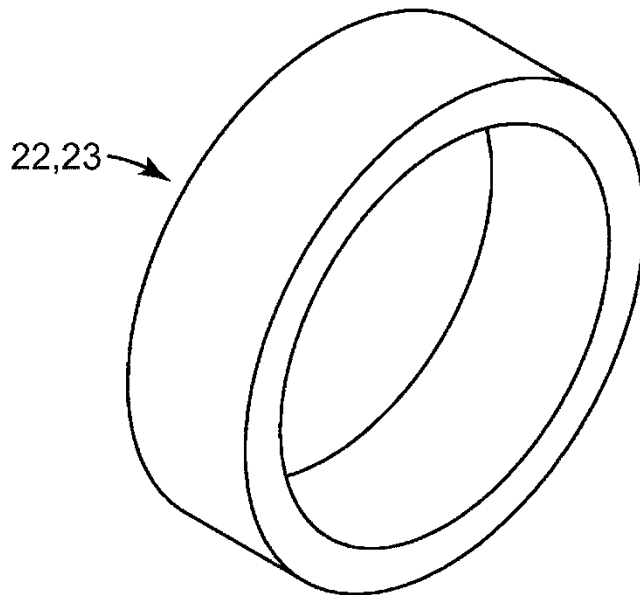


Fig. 12a

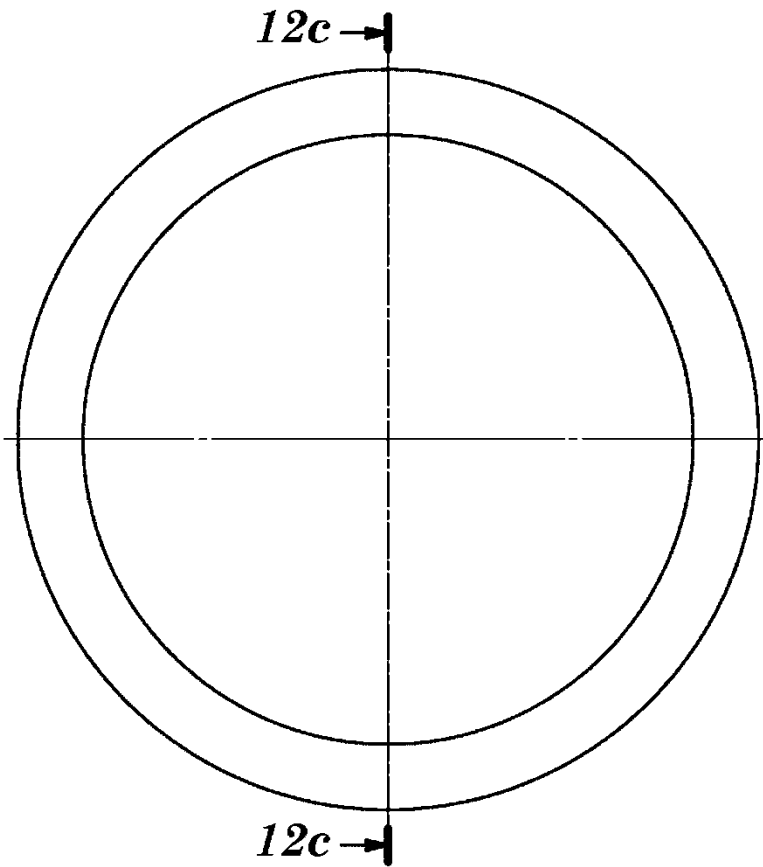


Fig. 12b

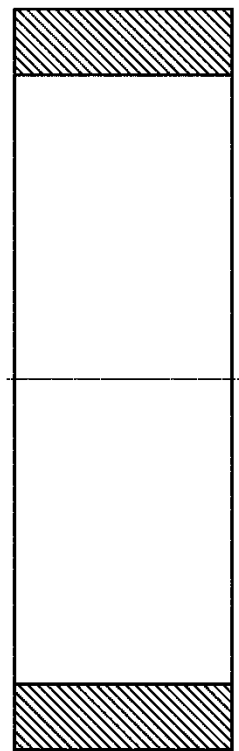


Fig. 12c

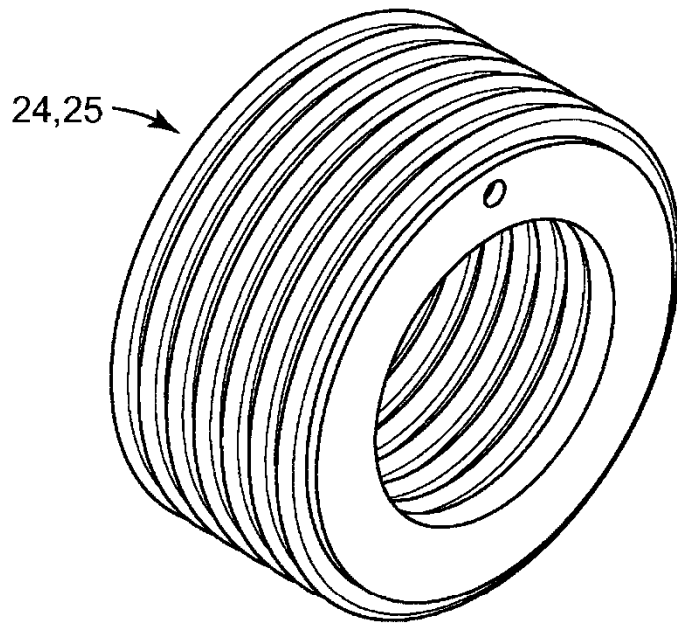


Fig. 13a

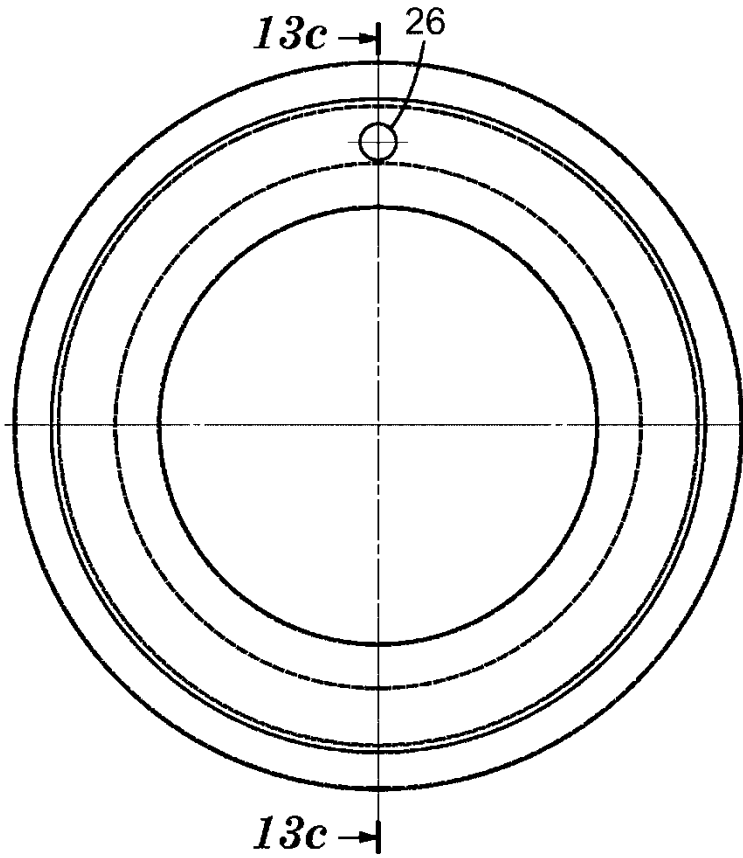


Fig. 13b

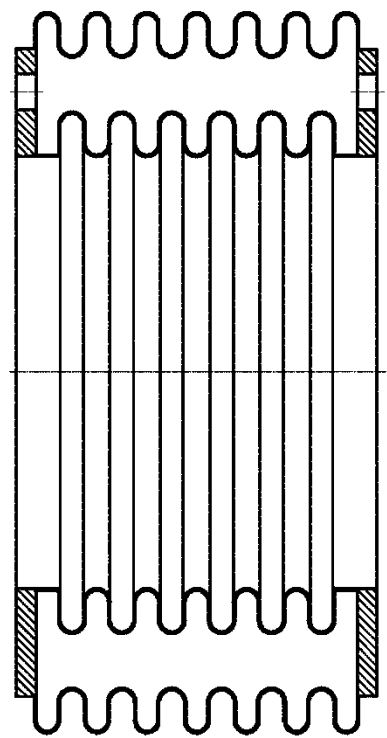


Fig. 13c

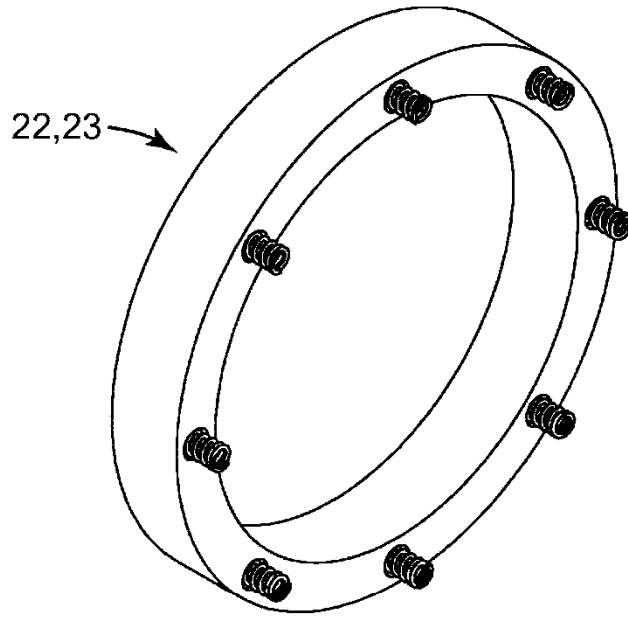


Fig. 14a

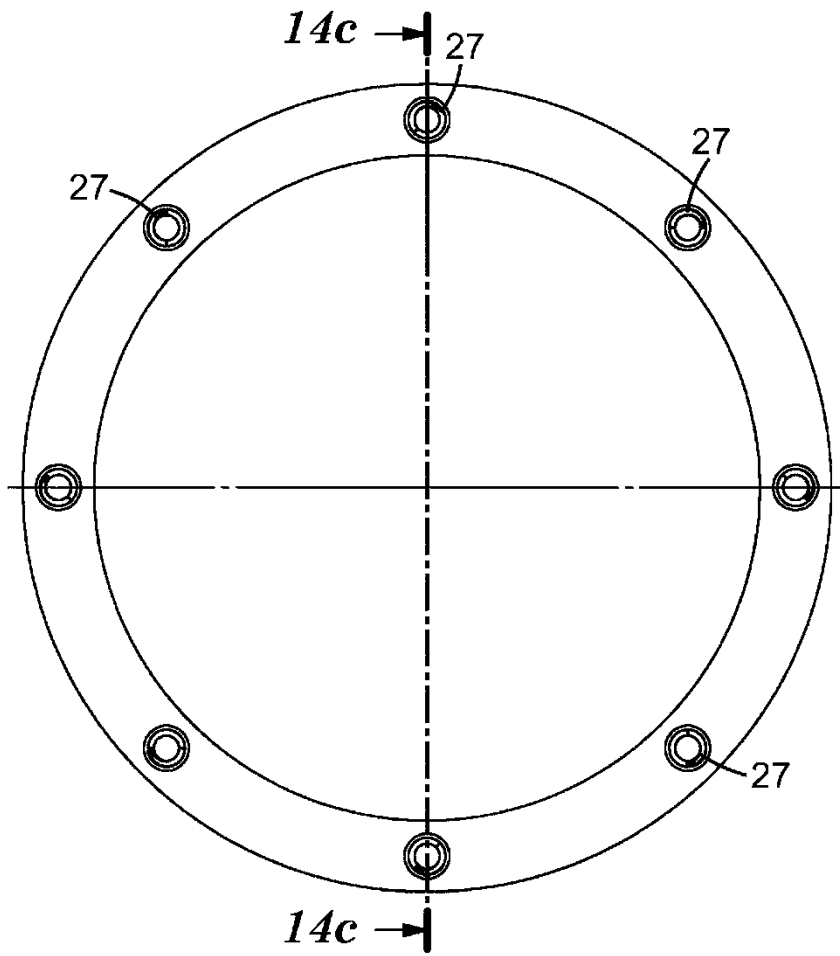


Fig. 14b

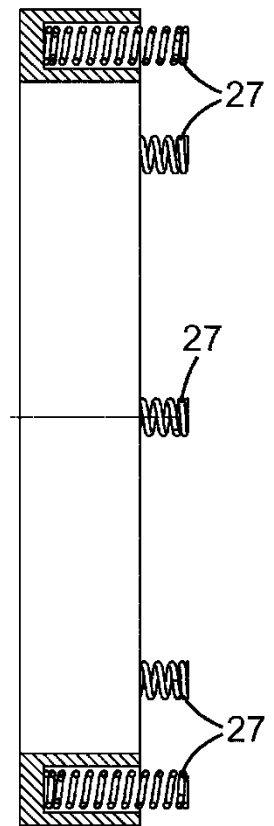


Fig. 14c

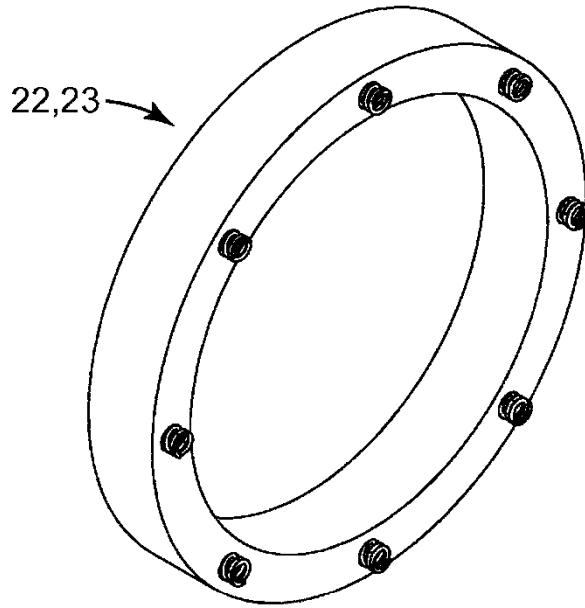


Fig. 15a

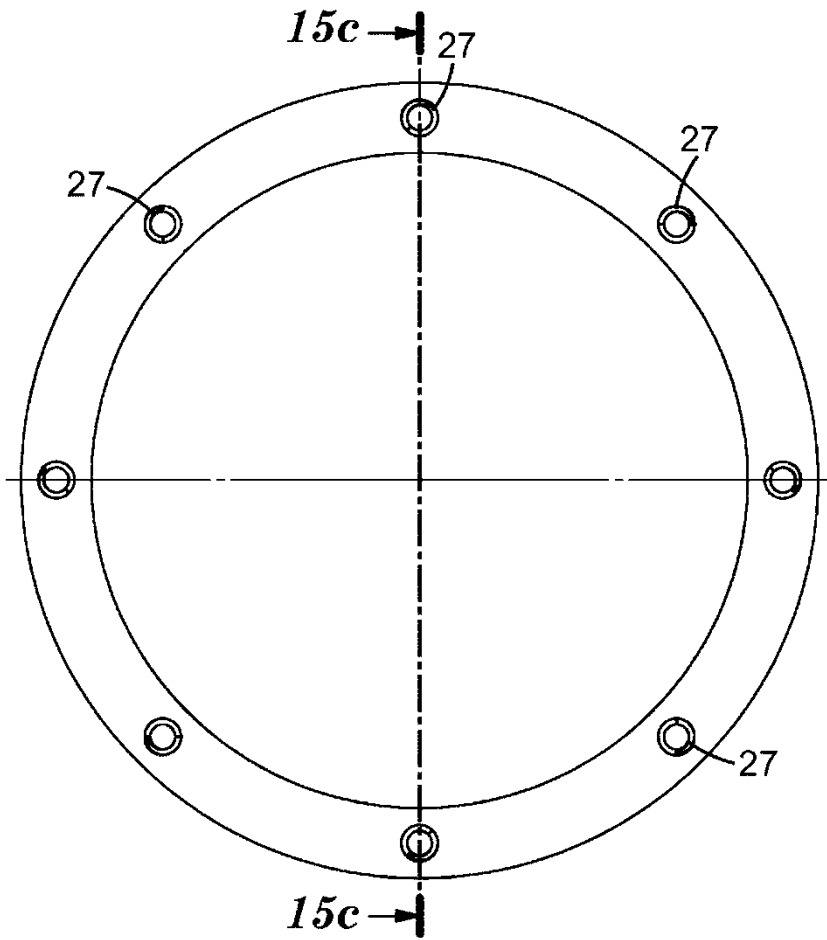


Fig. 15b

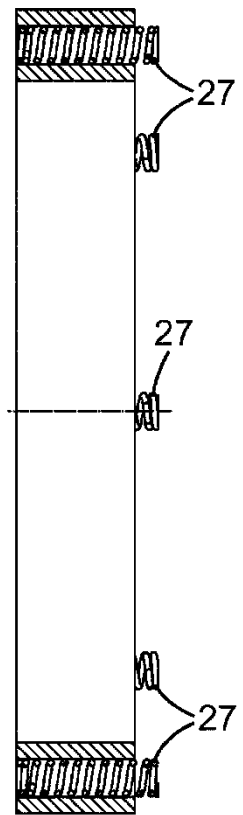


Fig. 15c

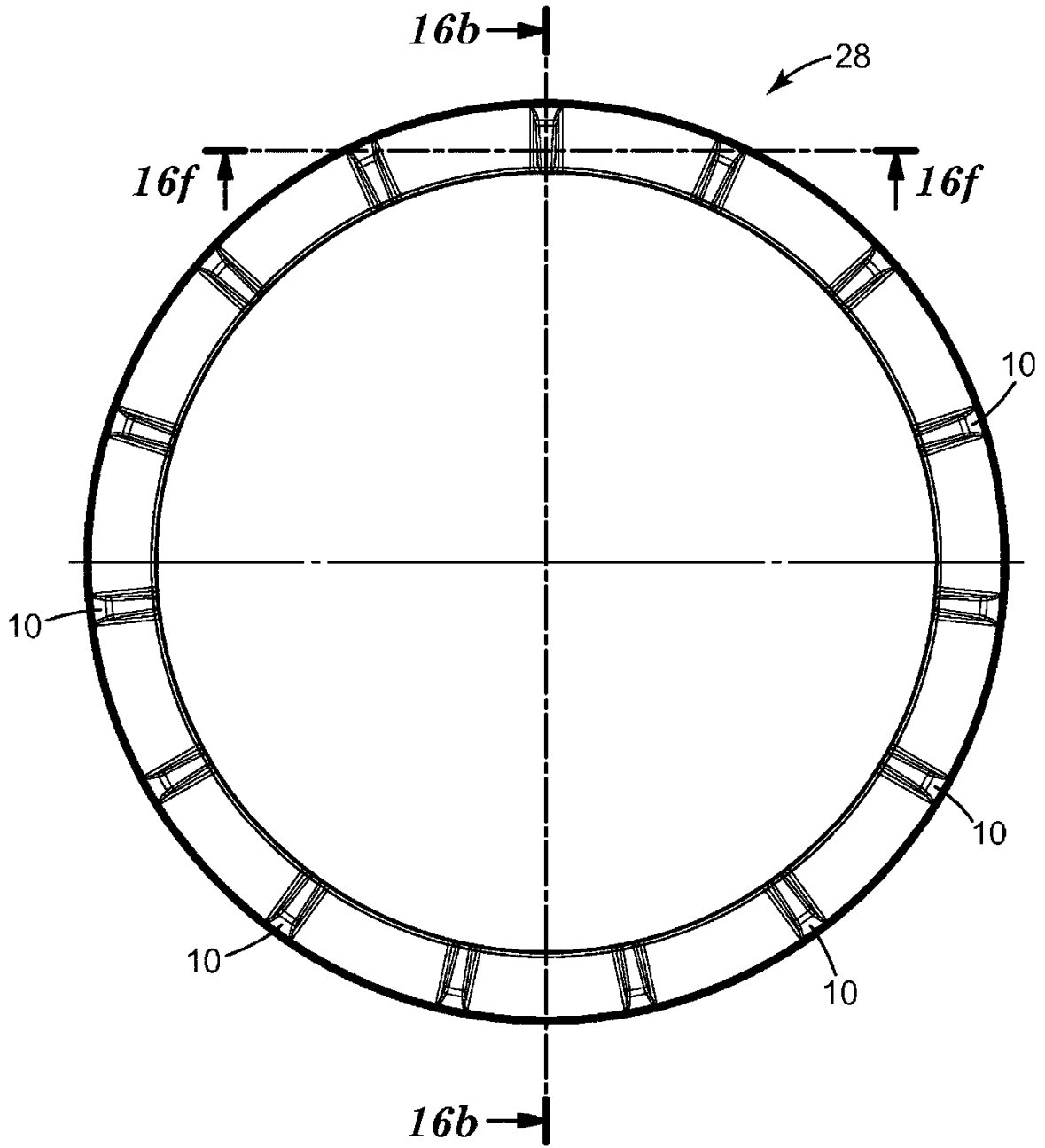
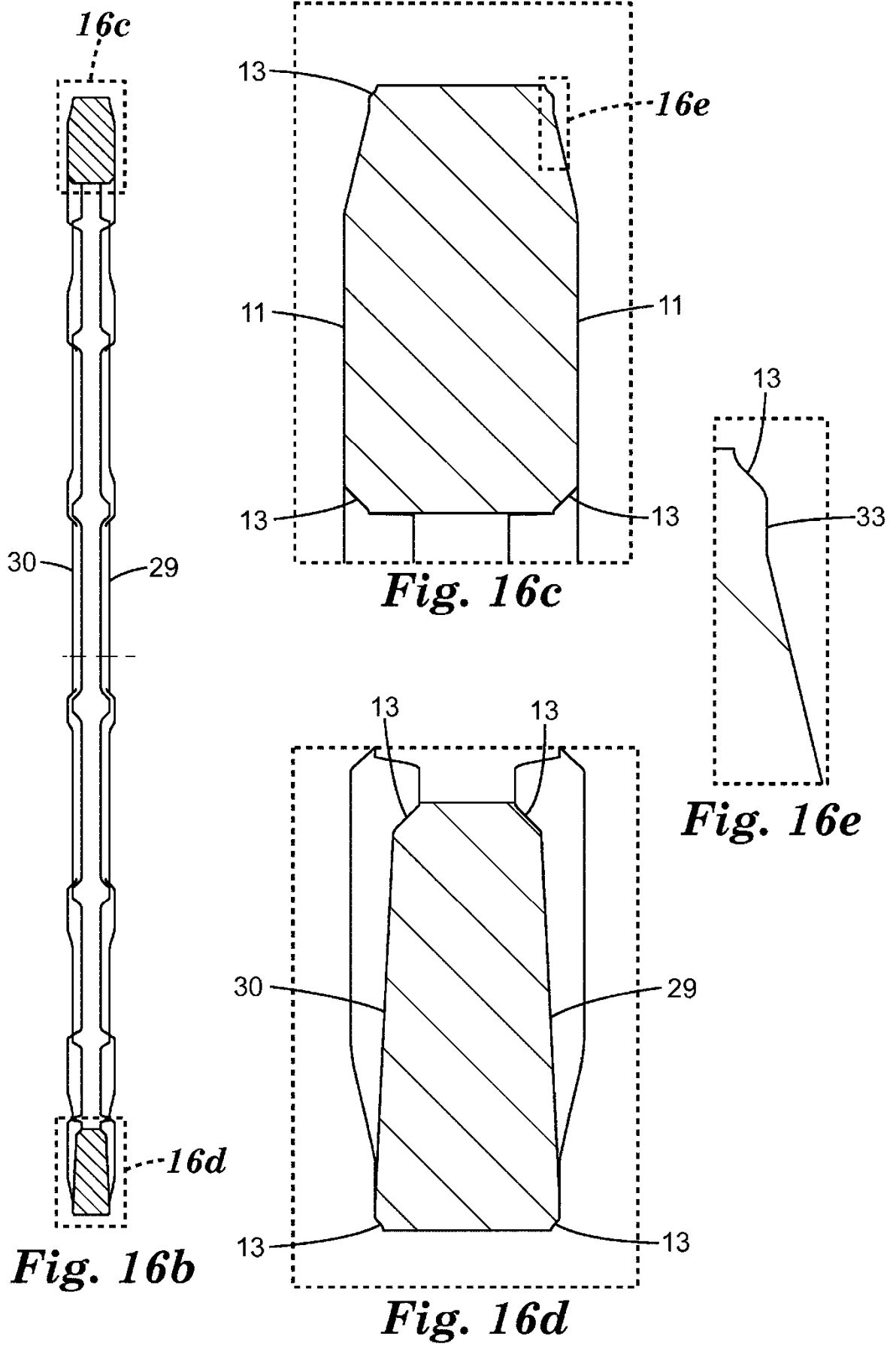


Fig. 16a



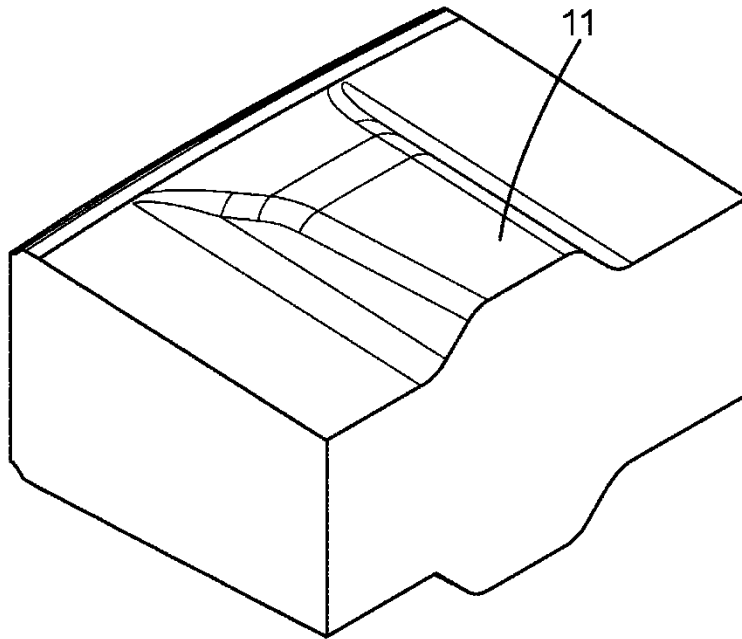


Fig. 16f

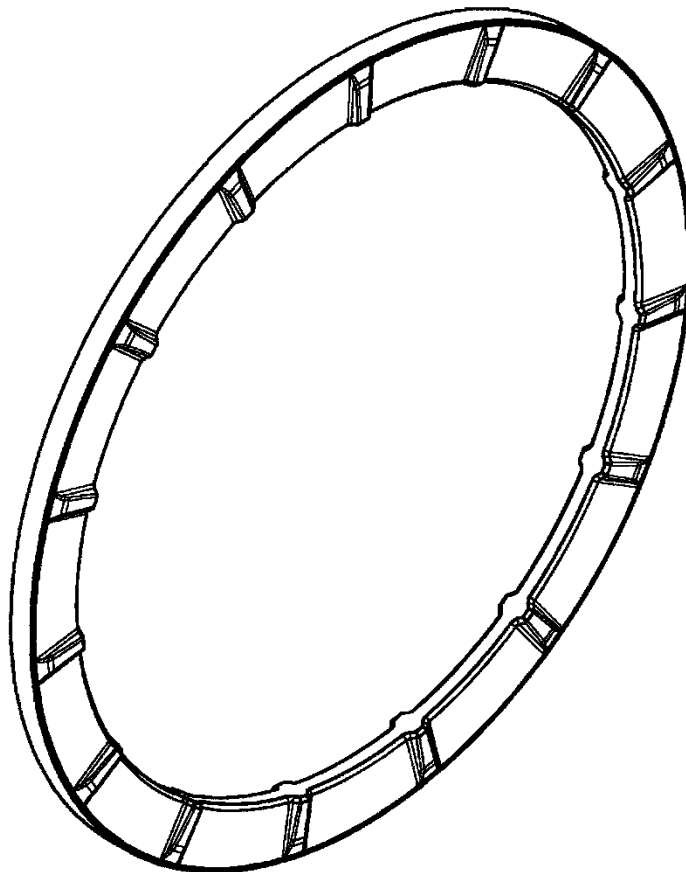


Fig. 16g

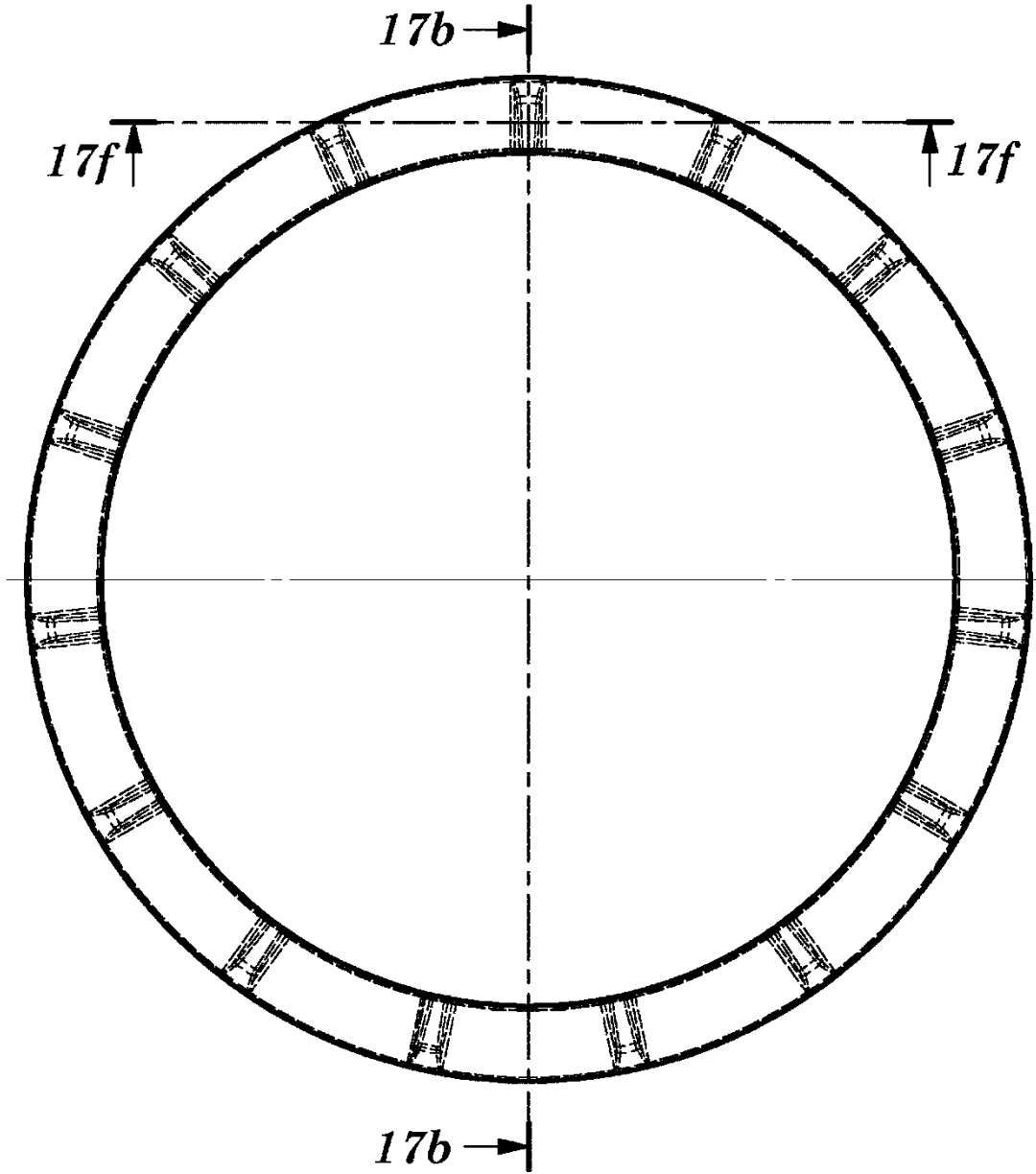


Fig. 17a

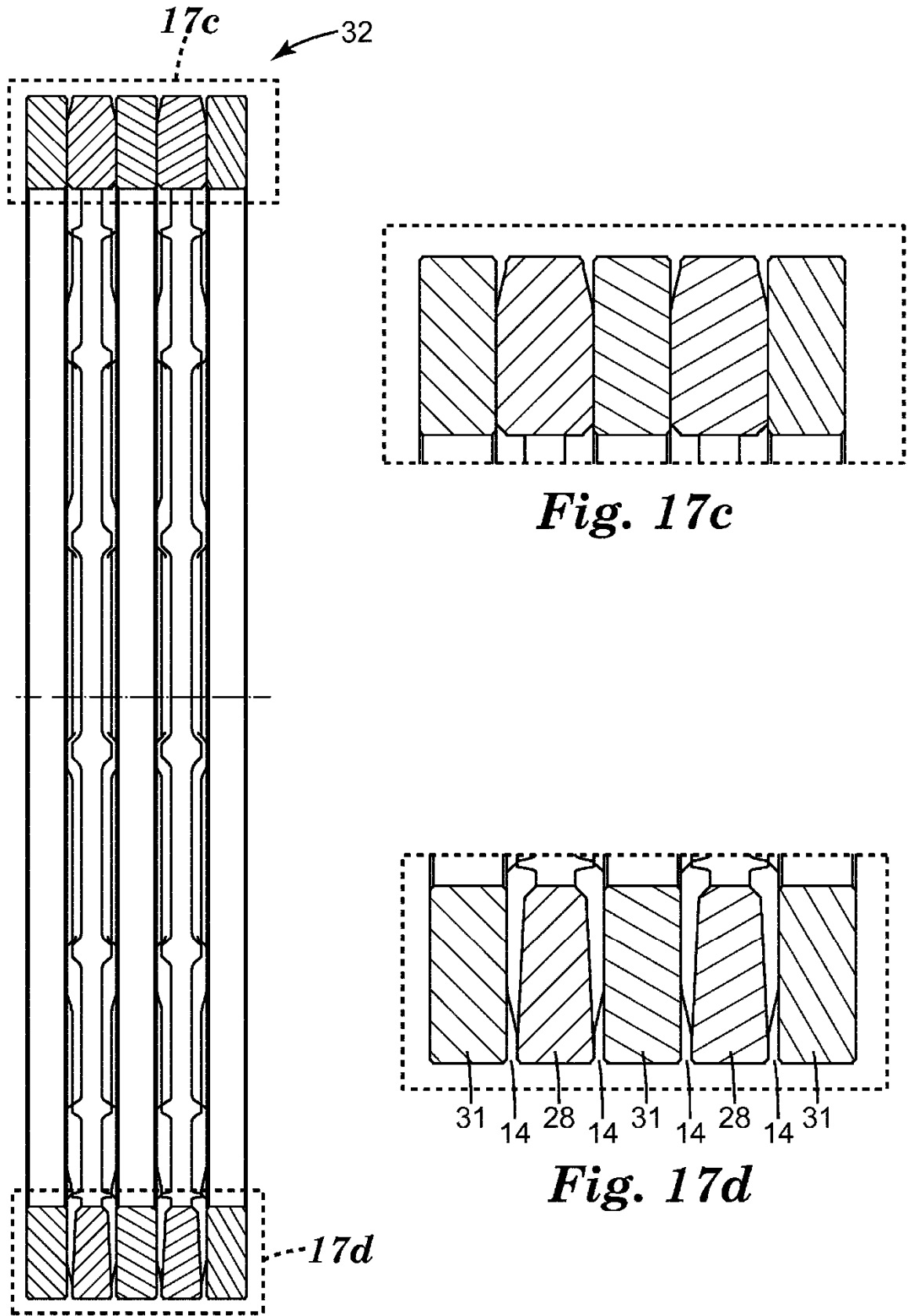


Fig. 17b

Fig. 17c

Fig. 17d

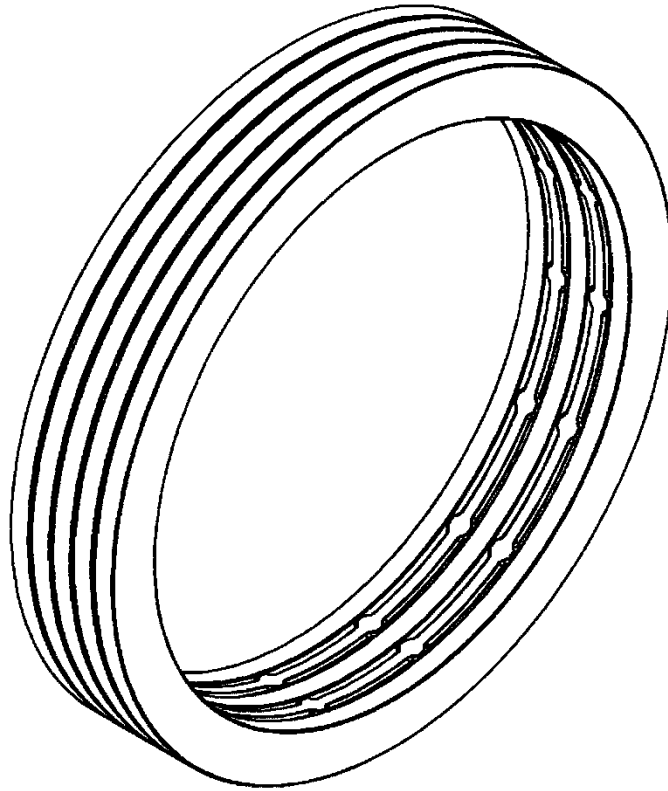


Fig. 17e

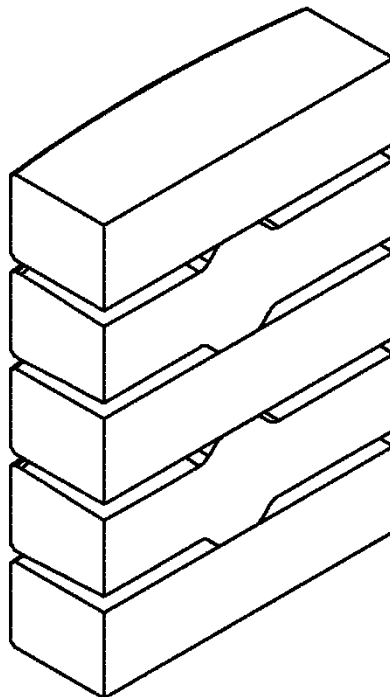


Fig. 17f