

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 703 532**

51 Int. Cl.:

G21C 15/243 (2006.01)

G21D 1/04 (2006.01)

F16J 15/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.07.2014 PCT/EP2014/065727**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.01.2015 WO15011142**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.07.2014 E 14747874 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.10.2018 EP 3025353**

54 Título: **Cara de fricción lapeada para sellado para sistema de estanqueidad de árbol**

30 Prioridad:

24.07.2013 FR 1357301

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

11.03.2019

73 Titular/es:

**FRAMATOME (100.0%)
1 Place Jean Millier, Tour Areva
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

TEBBY, ZOÉ

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 703 532 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

Cara de fricción lapeada para sellado para sistema de estanqueidad de árbol

Campo técnico

5 El campo de la invención es el de los grupos motobomba primarios de los reactores nucleares de agua a presión (PWR). Más concretamente, la presente invención concierne a las caras de fricción lapeadas, también denominadas caras activas, del sellado mecánico principal del grupo motobomba primario.

Estado de la técnica anterior

10 En los reactores nucleares, la bomba primaria genera la circulación de agua por el circuito primario de los reactores de agua a presión. Un sistema de estanqueidad dinámico de árbol asegura la estanqueidad entre el circuito primario y la atmósfera. Este sistema de estanqueidad de árbol es un sistema de fuga controlada. Incluye tres juntas dispuestas en serie. Cada junta incluye dos caras de fricción lapeadas que aseguran la estanqueidad principal. Una de las caras de fricción lapeadas, denominada cara de fricción lapeada rotativa, está montada dentro de un conjunto que gira solidario con el árbol, la otra cara de fricción lapeada, llamada flotante, está montada dentro de un conjunto que no gira, sino libre de desplazarse axialmente para seguir los ocasionales desplazamientos axiales del árbol.

15 La junta n.º 1 se encarga de la mayor parte de la caída de presión entre el circuito primario y la atmósfera. Es de tipo hidrostático, con película de agua de un espesor del orden de 10 µm. La particular geometría de las caras de fricción lapeadas que aseguran la estanqueidad principal permite, tanto en parada como en giro, el ajuste automático de su distanciamiento, el cual tan solo depende del ΔP de la junta. Las caras de fricción lapeadas eran originalmente de alúmina, pero van siendo con cada vez más frecuencia de nitruro de silicio, más resistente al roce.

20 La junta 1 funciona con un caudal de fuga controlado, del orden de 600 l/h en funcionamiento, merced al perfil específico mecanizado en sus caras activas. Permite pasar de una presión de 155 bares a una presión de 2 bares aproximadamente.

25 No obstante, en las juntas n.º 1 de la técnica anterior, se ha comprobado que un importante depósito de óxido de hierro incrusta las caras activas y modifica la pendiente de estas caras, lo que conduce a una modificación del caudal de fuga.

El documento "Deposition of hematite particles on alumina seal faceplates of nuclear reactor coolant pumps-laboratory experiments and industrial feedback" de Gregory Lefèvre, Ljiljana S. Zivkovic and Anne Jaubertie, Hem. Ind., 2012, explica que este fenómeno de incrustación es debido a un fenómeno en dos etapas:

- 30
- las partículas son transportadas de la disolución hacia las caras de fricción lapeadas por fenómenos hidrodinámico, electroforético y termoforético;
 - seguidamente, adhieren a las caras de estanqueidad por interacciones físico-químicas. En la técnica anterior, estas interacciones son consideradas como debidas esencialmente al hecho de que las partículas de hematites están cargadas positivamente, en tanto que las superficies de las caras de fricción lapeadas están cargadas negativamente.

35 Para subsanar este problema, el documento US 7.287.756 propone añadir un catalizador a la superficie de las caras de fricción lapeadas. Este catalizador es preferentemente uno o una mezcla de los siguientes componentes: renio, rutenio, rodio, paladio, plata, osmio, iridio, platino, oro. A tenor del documento US 7.287.756, el hierro se halla presente en disolución en forma de FeOOH (goethita) y de iones Fe²⁺. La goethita se depositaría en la superficie de los sellos. En paralelo, los iones Fe²⁺ se oxidarían por el dióxigeno en iones Fe³⁺ que se precipitarían y consolidarían el depósito. A continuación, el depósito evolucionaría a hematites (Fe₂O₃). La utilización de catalizadores permitiría disociar el dihidrógeno presente, con la consiguiente disminución del potencial químico, la evitación de la oxidación de los iones Fe²⁺ y la reducción de los iones Fe³⁺ presentes a Fe²⁺, impidiendo, por ende, que tenga lugar el depósito de óxido.

45 La firma solicitante ha identificado otro mecanismo de formación del depósito de óxido sobre las caras de fricción lapeadas. Por lo tanto, proponemos una solución que tiene en cuenta este mecanismo de formación.

El documento US 2011/101616 da a conocer un componente anular de un sellado hidrodinámico cuya superficie es de SiC.

Explicación de la invención

La invención consiste en un sellado hidrostático según el objeto de la reivindicación 1.

50 La invención pretende subsanar los inconvenientes del estado del arte de la técnica proponiendo una solución eficaz para impedir la incrustación en las caras de fricción lapeadas de la junta n.º 1 del sistema de estanqueidad de árbol

del grupo motobomba primario de un reactor nuclear.

Para conseguir esto, la invención propone recubrir la superficie de las caras de fricción lapeadas de la junta n.º 1 con un revestimiento que impide que los iones Fe^{2+} se adsorban en la superficie de las caras de fricción lapeadas.

5 En efecto, las experimentaciones de la firma solicitante han mostrado que, para la formación del depósito, era necesaria la presencia simultánea de Fe^{2+} y de partículas de hematites. El depósito tan solo se efectúa en dominios del diagrama de Pourbaix donde el Fe^{2+} es la especie termodinámicamente estable, haciendo la cinética que las partículas de hematites siempre estén presentes. Además, se ha demostrado que el depósito tiene lugar sobre una superficie de baja energía, poco donadora de electrones. Se ha observado, por ejemplo, sobre el PFA, perfluoroalcoxi, poseedor de una energía de superficie total inferior a 20 mJ/m^2 y un componente donador de electrones inferior a 5 mJ/m^2 . El depósito tiene lugar asimismo sobre una superficie de alta energía y fuerte componente donador de electrones como el nitruro de silicio, que presenta una energía de superficie total de 50 mJ/m^2 y un componente donador de electrones de 56 mJ/m^2 . En cambio, el depósito se ve retardado acusadamente sobre una superficie de diamante microcristalino de alta energía (50 mJ/m^2) y con bajo componente donador de electrones (3 mJ/m^2).

15 Para la definición de los parámetros *energía de superficie* y *componente donador de electrones*, cf., p. ej., "Adhesion under water: surface energy considerations", Clint et al., International Journal of adhesion and adhesives, 2001, cf. página 271: ecuaciones 9 y 10, y/o "Development of improved polypropylene adhesive bonding by abrasion and atmospheric plasma surface modifications", Encinas et al., International Journal of adhesion and adhesives, 2012, página 2: ecuaciones 4 y 5.

20 Más concretamente, la invención propone una cara de fricción lapeada para sistema de estanqueidad de árbol de grupos motobomba primarios de reactores nucleares destinada a encargarse de la estanqueidad entre el circuito primario y la atmósfera, presentando la cara de fricción lapeada una superficie recubierta por una capa protectora realizada en un material que presenta una energía de superficie inferior a 30 mJ/m^2 y un componente donador de electrones inferior a 15 mJ/m^2 .

25 El hecho de recubrir la superficie de las caras de fricción lapeadas con un material que presenta una energía de superficie superior a 30 mJ/m^2 y un componente donador de electrones inferior a 15 mJ/m^2 permite evitar que se adsorban los iones Fe^{2+} sobre la superficie de las caras de fricción lapeadas. En efecto, contrariamente al fenómeno de anclaje descrito en los documentos de la técnica anterior, las partículas de hematites no se anclan directamente a la superficie de las caras de fricción lapeadas, sino que se anclan a los iones Fe^{2+} los cuales, a su vez, son adsorbidos en la superficie de las caras de fricción lapeadas. En efecto, los iones Fe^{2+} son atraídos por la superficie negativa y donadora de electrones de las caras de fricción lapeadas. El Fe^{2+} es un ácido de Lewis, reacciona con los grupos oxígeno presentes en la superficie de las caras de fricción lapeadas y puede, a su vez, reaccionar con Fe_2O_3 coloidal o particulado que posee un acusado componente donador de electrones. Los iones Fe^{2+} pueden adsorberse entonces en la superficie de las partículas de hematites y la reacción continúa en cadena, lo cual provoca la incrustación en las caras de fricción lapeadas. Consecuentemente, para impedir la incrustación en las caras de fricción lapeadas, la firma solicitante propone evitar que los iones Fe^{2+} se adsorban en la superficie de las caras de fricción lapeadas recubriendo esta superficie con una capa protectora.

La cara de fricción lapeada según la invención puede presentar asimismo una o varias de las características que siguen, consideradas individualmente o según todas las combinaciones técnicamente posibles.

40 La cara de fricción lapeada puede ser una cara de fricción lapeada flotante o una cara de fricción lapeada rotativa.

El material seleccionado para la capa protectora presenta preferentemente una energía de superficie superior a 35 mJ/m^2 , y más preferentemente superior a 37 mJ/m^2 , y todavía más ventajosamente superior a 50 mJ/m^2 . En efecto, cuanto mayor sea la energía de superficie del material escogido, más hidratada estará la superficie con una película de agua ligada que blindada la superficie de los iones Fe^{2+} e impide su adsorción. El material escogido para la capa protectora preferentemente presenta un componente donador de electrones inferior a 10 mJ/m^2 y más preferentemente inferior a 5 mJ/m^2 , con el fin de limitar las interacciones con los iones Fe^{2+} y de impedir su adsorción. El componente donador de electrones o componente básico viene determinado por el ángulo de contacto con 3 líquidos: un líquido bipolar, monopolar y apolar.

50 De acuerdo con una forma de realización, el material escogido para la capa protectora es diamante nano- o microcristalino, que presenta una energía de superficie de 50 mJ/m^2 y un bajo componente donador de electrones de 3 mJ/m^2 .

De acuerdo con otra forma de realización, el material escogido para la capa protectora es nitruro de titanio (TiN) con una energía de superficie total de 44 mJ/m^2 y un componente donador de electrones de $0,3 \text{ mJ/cm}^2$.

55 De acuerdo con otra forma de realización, el material escogido para la capa protectora es nitruro de cromo (CrN) con una energía de superficie total de 41 mJ/m^2 y un componente donador de electrones de $0,4 \text{ mJ/cm}^2$.

De acuerdo con otra forma de realización, el material escogido para la capa protectora es níquel químico (Ni), que presenta una energía de superficie de 33 mJ/m² y un componente donador de electrones de 9 mJ/m².

- 5 De acuerdo con otra forma de realización, el material escogido para la capa protectora es carburo de silicio (SiC). En efecto, dependiendo de su composición, este material puede presentar una energía de superficie suficientemente elevada para impedir que los iones Fe²⁺ sean atraídos por la superficie de las caras de fricción lapeadas y un componente donador de electrones suficientemente bajo para limitar las interacciones entre los iones Fe²⁺ y la superficie.

La invención no queda limitada a las capas citadas.

- 10 Ventajosamente, la capa protectora presenta un espesor superior a 100 nm, al objeto de ser continua, e inferior a 100 μm, al objeto de disminuir el riesgo de grietas y de limitar las perturbaciones en caso de desenganche. La capa es preferentemente de un espesor entre 1 y 5 μm.

Ventajosamente, las caras de fricción lapeadas están realizadas en nitruro de silicio.

La superficie de cada cara de fricción lapeada destinada a estar en contacto con una película de agua preferentemente está recubierta por completo por la capa protectora.

- 15 De acuerdo con una forma de realización, la cara de fricción lapeada puede estar recubierta además con una capa de anclaje dispuesta entre la capa protectora y la superficie de la cara de fricción lapeada. Esta capa de anclaje permite mejorar el anclaje de la capa protectora. La composición de la capa de anclaje depende de la composición de la capa protectora.

- 20 De acuerdo con una forma de realización, la superficie de la cara de fricción lapeada, y más concretamente de la capa protectora, está además micro- o nanoestructurada mediante una red de asperezas, pudiendo ser estas asperezas agujeros o pilares.

Cada agujero posee unas dimensiones laterales entre 10 nm y 5 μm, y una profundidad de 10 nm a 5 μm. Estando la distancia entre dos agujeros consecutivos comprendida entre 10 nm y 5 μm.

- 25 Cada pilar posee unas dimensiones laterales entre 10 nm y 5 μm. El factor de forma, es decir, la relación altura/dimensión lateral, debe ser preferentemente inferior a 2 y más preferentemente inferior a 1, con el fin de evitar fenómenos de erosión. La distancia entre dos pilares consecutivos está comprendida entre 10 nm y 5 μm.

Esta micro- o nanoestructuración permite impedir que las partículas de Fe₂O₃ se anclen a los iones Fe²⁺, limitando los puntos de anclaje en el caso en que, así y todo, se hubieran anclado iones Fe²⁺ a la superficie de la capa protectora.

- 30 De acuerdo con una forma de realización, la superficie de al menos una de las caras de fricción lapeadas y, más concretamente, de la capa protectora puede además poseer una estructuración jerárquica. Microestructuras de dimensiones laterales comprendidas entre 500 nm y 5 μm y, preferentemente, entre 1 μm y 2 μm, pueden ir recubiertas de nanoestructuras de dimensiones laterales comprendidas entre 10 nm y 200 nm y, preferentemente, entre 50 nm y 100 nm. Esta estructuración doble permite asimismo disminuir los puntos de anclaje de las partículas de Fe₂O₃ en el caso en que, así y todo, se hubieran anclado iones Fe²⁺ a la superficie de la capa protectora.

Asimismo, concierne otro aspecto de la invención a un sellado que incluye al menos una cara de fricción lapeada según el primer aspecto de la invención.

Breve descripción de las figuras

- 40 Otras características y ventajas de la invención se desprenderán de la lectura de la descripción detallada que sigue, con referencia a las figuras que se acompañan, las cuales ilustran:

la figura 1, una vista en sección de un sistema de estanqueidad de árbol según una forma de realización de la invención;

la figura 2, una vista esquemática de una junta n.º 1 según una forma de realización de la invención;

la figura 3, una representación esquemática del fenómeno de incrustación en una cara de fricción lapeada de junta;

- 45 la figura 4, una representación esquemática en sección de las caras de fricción lapeadas de la junta n.º 1 según una forma de realización de la invención; y

la figura 5, una representación esquemática en sección de las caras de fricción lapeadas de la junta n.º 1 según otra forma de realización de la invención.

Para mayor claridad, a través del conjunto de las figuras, los elementos idénticos o similares están señalados

mediante idénticos signos de referencia.

Descripción detallada de al menos una forma de realización

5 La figura 1 representa un sistema de sellados mecánicos de árbol 4 de grupo motobomba primario de un reactor nuclear. Este sistema de estanqueidad de árbol incluye una junta n.º 1 referenciada con 1 en la figura, una junta n.º 2 referenciada con 2 en la figura, una junta n.º 3 referenciada con 3 en la figura. Cada junta 1, 2, 3 consta de una cara de fricción lapeada rotativa solidaria del árbol 7 y de una cara de fricción lapeada flotante con posibilidad de seguir los movimientos axiales del árbol 7, pero que no gira.

10 La junta n.º 1 se representa más concretamente en la figura 2. La junta n.º 1 se encarga de la mayor parte de la caída de presión entre el circuito primario 8 y la atmósfera 9. La junta n.º 1 es de tipo hidrostático, con película de agua de un espesor del orden de 10 μm . La junta n.º 1 incluye una cara de fricción lapeada rotativa 10 solidaria del árbol 7 y una cara de fricción lapeada flotante 11 que puede seguir los desplazamientos axiales del árbol 7. El caudal de fuga de la junta n.º 1 viene determinado por la doble pendiente de la cara de fricción lapeada flotante 11 o por las pendientes de las caras de fricción lapeadas rotativa 10 y flotante 11. Las caras de fricción lapeadas son de nitruro de silicio Si_3N_4 .

15 El proceso de incrustación en las caras de fricción lapeadas 10, 11 en defecto de las características de la invención se explica en la figura 3. Entre las caras de fricción lapeadas 10, 11 circula agua. Esta agua aporta iones Fe^{2+} que se adsorben preferiblemente en la superficie de las caras de fricción lapeadas de Si_3N_4 . El Fe^{2+} es un ácido de Lewis, reacciona con los grupos oxígeno presentes en la superficie de las caras de fricción lapeadas y puede, a su vez, reaccionar con Fe_2O_3 coloidal o particulado que posee un acusado componente donador de electrones. Los iones Fe^{2+} pueden adsorberse entonces en la superficie de las partículas de hematites y la reacción continúa en cadena, lo cual provoca la incrustación en las caras de fricción lapeadas.

20 Para evitar este proceso de incrustación, con referencia a las figuras 4 y 5, la superficie 12 de al menos una de las caras de fricción lapeadas 10, 11 está recubierta con una capa protectora 13. Esta capa protectora 13 está realizada en un material sobre el cual los iones Fe^{2+} se adsorben poco o nada. Para ello, la capa protectora 13 está realizada en un material que presenta una energía de superficie superior a 30 mJ/m^2 y un componente donador de electrones inferior a 15 mJ/m^2 .

Así, la capa protectora puede estar realizada en diamante nano- o microcristalino, que presenta una energía de superficie de 50 mJ/m^2 y un bajo componente donador de electrones de 3 mJ/m^2 .

30 Se sometió a ensayo un juego de caras de fricción lapeadas recubiertas por una capa de carbono en forma de diamante microcristalino de un espesor de 2 μm sobre una maqueta que simulaba el depósito en condiciones reales. Para caras de fricción lapeadas en bruto de nitruro de silicio de la técnica anterior, el depósito de óxido de hierro aparecía después de 250 h. Cuando las caras de fricción lapeadas están recubiertas con la capa de carbono en forma de diamante microcristalino de un espesor de 2 μm , el depósito tan solo aparecía después de 750 h. En este caso, el depósito se ve acusadamente reducido visualmente con respecto a una cara de fricción lapeada de nitruro de silicio ensayada durante 250 h.

La capa protectora puede realizarse también en nitruro de titanio, que presenta una energía de superficie total de 44 mJ/m^2 y un componente donador de electrones de 0,3 mJ/m^2 .

La capa protectora puede realizarse también en nitruro de cromo, que presenta una energía de superficie total de 41 mJ/m^2 y un componente donador de electrones de 0,4 mJ/m^2 .

40 La capa protectora puede realizarse también en níquel químico, que presenta una energía de superficie de 33 mJ/m^2 y un componente donador de electrones de 9 mJ/m^2 . Cuando la capa protectora está realizada en níquel, preferentemente se dispone una capa de anclaje entre la superficie de las caras de fricción lapeadas y la capa protectora, al objeto de mejorar la durabilidad de la capa protectora y de iniciar la reacción autocatalítica de deposición de níquel. Esta capa de anclaje se realiza preferentemente en platino o en paladio.

45 La capa protectora puede realizarse también en carburo de silicio (SiC). El carburo de silicio puede presentar una energía de superficie variable en función de su composición, de modo que la composición del carburo de silicio se elige de manera que presente una energía de superficie superior a 30 mJ/m^2 y un componente donador de electrones suficientemente bajo.

El material no se limita a aquellos anteriormente citados.

50 La capa protectora presenta preferentemente un espesor e superior a 100 nm, al objeto de ser continua, e inferior a 100 μm , al objeto de disminuir el riesgo de grietas y de limitar las perturbaciones en caso de desenganche. El depósito es preferentemente de un espesor entre 1 y 5 μm .

Por otro lado, la capa protectora puede estar micro- o nanoestructurada mediante una red de agujeros o de pilares.

Cada agujero posee unas dimensiones laterales entre 10 nm y 5 μm , y una profundidad de 10 nm a 5 μm . Estando la distancia entre dos agujeros consecutivos comprendida entre 10 nm y 5 μm .

5 Cada pilar posee unas dimensiones laterales entre 10 nm y 5 μm . El factor de forma (relación altura/dimensión lateral) debe ser preferentemente inferior a 2 y más preferentemente inferior a 1, con el fin de evitar fenómenos de erosión. Estando la distancia entre dos pilares consecutivos comprendida entre 10 nm y 5 μm . Esta micro- o nanoestructuración permite impedir que las partículas de Fe_2O_3 se anclen a los iones Fe^{2+} , limitando los puntos de anclaje en el caso en que, así y todo, se hubieran anclado iones Fe^{2+} a la superficie de la capa protectora.

10 La micro- o nanoestructuración de la capa protectora se puede realizar por litografía utilizando una máscara de micro- o nanopartículas o también copolímeros bloque, o por cualquier otro procedimiento conocido de micro- o nanoestructuración.

La estructuración puede ser jerárquica, combinando microestructuras y nanoestructuras.

En el caso de la nano- o microestructuración, preferentemente se implanta la capa protectora y luego se estructura.

15 Evidentemente, la invención no queda limitada a las formas de realización descritas con referencia a las figuras, y cabría la posibilidad de variantes sin salir del ámbito de la invención. Se podría, en especial, utilizar materiales distintos a los citados en la descripción detallada.

REIVINDICACIONES

1. Sellado (1) hidrostático para sistema de estanqueidad (4) de árbol (7) de grupo motobomba primario de reactor nuclear, destinado a asegurar la estanqueidad entre el circuito primario (8) y la atmósfera (9), incluyendo el sellado una cara de fricción lapeada (10, 11), caracterizado por que la cara de fricción lapeada presenta una superficie (12) recubierta por una capa protectora (13) realizada en un material que presenta una energía de superficie superior a 30 mJ/m² y un componente donador de electrones inferior a 15 mJ/m².
2. Sellado (1) según la reivindicación anterior, en el que el material de la capa protectora (13) presenta una energía de superficie superior a 35 mJ/m² y preferentemente superior a 37 mJ/m² y más ventajosamente superior a 50 mJ/m².
3. Sellado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el material de la capa protectora (13) presenta un componente donador de electrones inferior a 10 mJ/m² y más ventajosamente inferior a 5 mJ/m².
4. Sellado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la capa protectora (13) está realizada en uno de los siguientes materiales: carburo de silicio, nitruro de titanio, nitruro de cromo, níquel, diamante micro- o nanocristalino.
5. Sellado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la capa protectora (13) presenta un espesor (e) comprendido entre 100 nm y 100 μm.
6. Sellado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la cara de fricción lapeada está además recubierta con una capa de anclaje dispuesta entre la capa protectora (13) y la superficie (12) de la cara de fricción lapeada (10, 11).
7. Sellado (1) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la superficie (12) de al menos una de las caras de fricción lapeadas está además micro- o nanoestructurada mediante una red de asperezas, presentando cada aspereza unas dimensiones laterales comprendidas entre 10 nm y 5 μm, una altura comprendida entre 10 nm y 5 μm, estando la distancia entre dos asperezas consecutivas comprendida entre 10 nm y 5 μm.

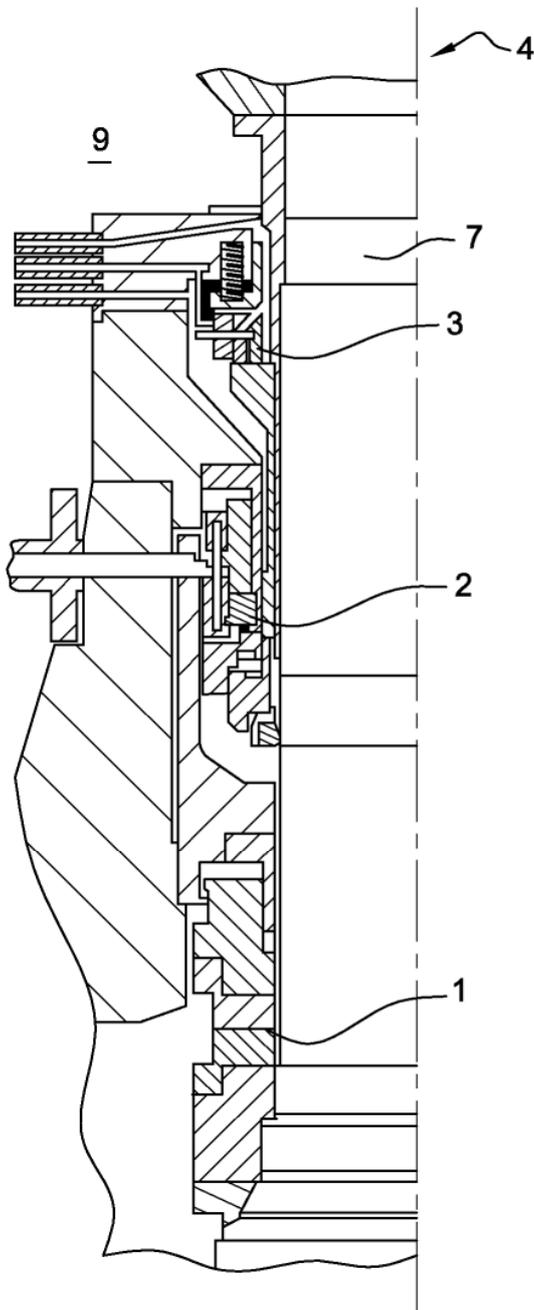


Fig. 1

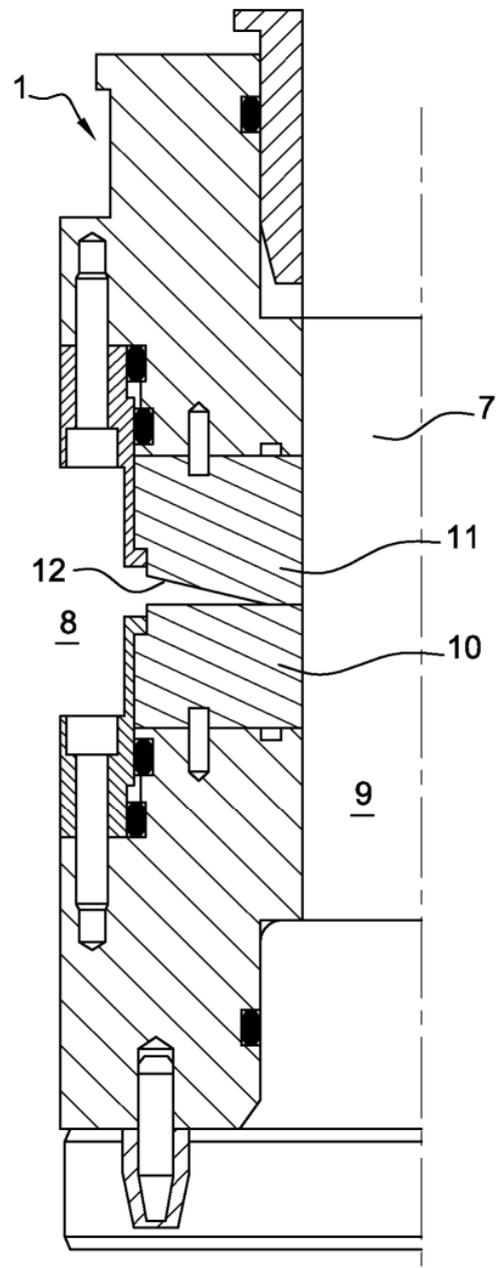


Fig. 2

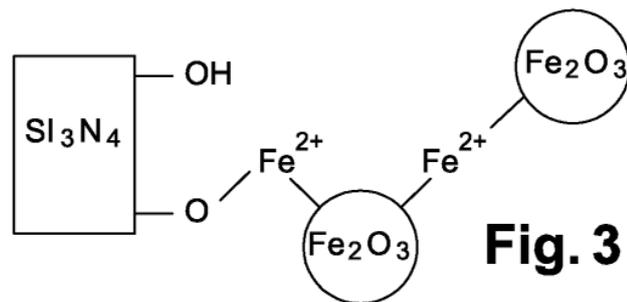


Fig. 3

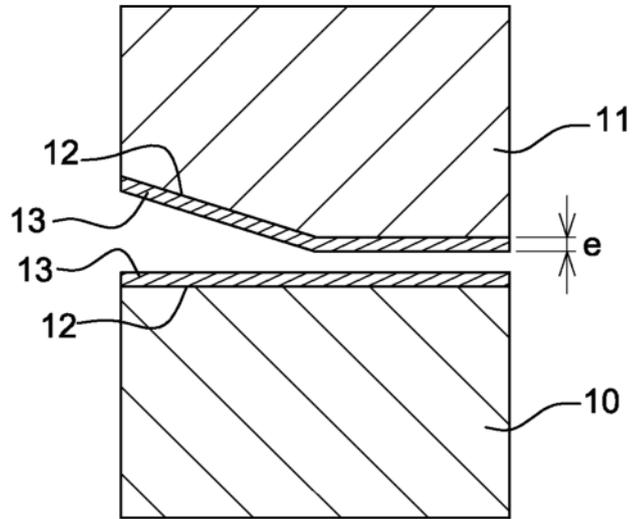


Fig. 4

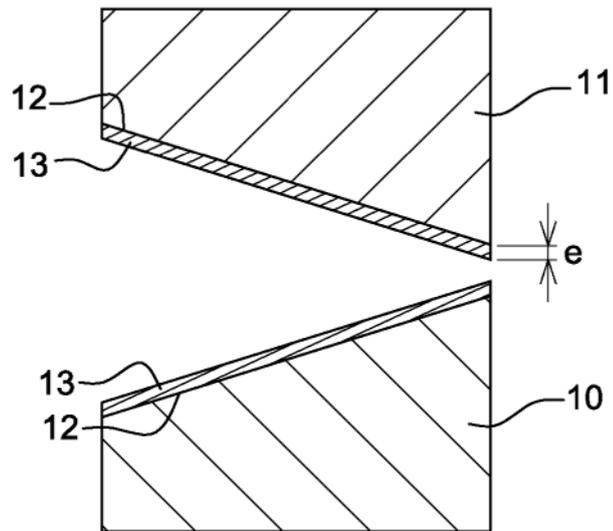


Fig. 5