

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 612 866**

51 Int. Cl.:

G21C 3/07 (2006.01)

B32B 15/01 (2006.01)

C22C 16/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.08.2007 PCT/SE2007/050544**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.02.2008 WO08024059**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.08.2007 E 07794154 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.11.2016 EP 2054892**

54 Título: **Tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua**

30 Prioridad:

24.08.2006 SE 0601733
06.09.2006 US 824664 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.05.2017

73 Titular/es:

WESTINGHOUSE ELECTRIC SWEDEN AB
(100.0%)
721 63 Västerås, SE

72 Inventor/es:

HALLSTADIUS, LARS y
DAHLBÄCK, MATS

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 612 866 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

Tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua que comprende una capa interior y una capa exterior de una primera aleación de circonio y una segunda aleación de circonio, respectivamente. La presente invención se refiere también a una barra de combustible y un conjunto de combustible que comprende un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua de este tipo y un método de fabricación de un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua de este tipo.

Descripción de la técnica anterior

- 10 Habitualmente los tubos de revestimiento de combustible para reactores de agua se han fabricado de una aleación de circonio. Los ejemplos de aleaciones que se han usado son Zircaloy-2 y Zircaloy-4. Las barras de combustible se forman insertando pastillas de combustible en tubos de revestimiento. Los conjuntos de combustible comprenden varias barras de combustible.

- 15 Un problema que se ha observado cuando se usan tubos de revestimiento de aleación de circonio en un reactor es que pueden formarse grietas que provienen de la superficie interior del tubo de revestimiento tal como se describe en el documento EP 0194797. Se cree que las grietas se crean por el contacto entre el tubo de revestimiento y las pastillas de combustible durante aumentos rápidos de la potencia de salida del reactor, la denominada interacción vaina-pastilla (PCI). El documento EP 0194797 presenta una solución a este problema proporcionando una capa interior protectora de una aleación de circonio.

- 20 En los reactores de agua presurizada (PWR) la potencia de salida del reactor no aumenta tan rápido como en los reactores de agua en ebullición (BWR) y por tanto la formación de grietas no es tan común en PWR como en BWR. Por tanto, no se ha considerado que una capa interior protectora sea tan importante en PWR como en BWR.

Sin embargo, se ha encontrado que todavía existe un problema con las grietas en los tubos de revestimiento de reactores de agua presurizada debido a la interacción vaina-pastilla (PCI).

- 25 El documento EP 380381 A1 describe un tubo de revestimiento para combustible nuclear. El tubo de revestimiento tiene una capa interior hecha de Zircaloy 4 o de una aleación de Zr que incluye Nb. El tubo de revestimiento tiene un recubrimiento superficial exterior más delgado.

- 30 El documento EP 552098 A1 da a conocer un tubo de revestimiento para combustible nuclear. El tubo de revestimiento tiene una parte interior hecha de Zircaloy 4 y un recubrimiento exterior más delgado hecho de otra aleación.

Sumario de la invención

- 35 Un objeto de la presente invención es proporcionar un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua que tiene propiedades favorables con respecto a la resistencia a la corrosión. En particular, se dirige a un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua resistente a la corrosión de este tipo para un reactor de agua presurizada.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un método de fabricación de un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua, teniendo dicho tubo de revestimiento propiedades favorables con respecto a la resistencia a la corrosión. En particular, se dirige a un método de fabricación de un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua resistente a la corrosión de este tipo para un reactor de agua presurizada.

- 40 Estos objetos se logran con un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua y un método según las reivindicaciones independientes.

Las ventajas adicionales con la presente invención se logran con las características definidas en las reivindicaciones dependientes.

- 45 Según un primer aspecto de la presente invención se proporciona un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua. El tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua comprende una capa exterior de una primera aleación de circonio y tiene unido metalúrgicamente al mismo una capa interior de una segunda aleación de circonio, adaptándose dicha capa interior para proteger al tubo de revestimiento frente al agrietamiento por corrosión bajo tensión. La segunda aleación de circonio comprende estaño como material de aleación y cada una de las aleaciones de circonio comprende al menos el 96 por ciento en peso de circonio. La primera aleación de circonio
50 comprende al menos el 0,1 por ciento en peso de niobio.

Al presentar una aleación que contiene niobio en la capa exterior el tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua llega a ser más resistente a la corrosión en un reactor de agua presurizada que si la capa exterior fuera de

una aleación de circonio sin niobio. Además, con la adición de una capa interior de una aleación de circonio que contiene estaño como material de aleación se mejora la resistencia del tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua frente a la formación de grietas en comparación con los tubos de revestimiento de combustible de reactor de agua sin ninguna capa de una aleación de circonio que comprende estaño.

- 5 Los principales materiales de aleación de la primera aleación de circonio son niobio, hierro y estaño, en la que el contenido de cualquier sustancia adicional está por debajo del 0,05 por ciento en peso. Una aleación de este tipo proporciona características favorables con respecto a la corrosión, particularmente en un reactor de agua presurizada.

La primera aleación de circonio comprende oxígeno. El contenido de oxígeno es de 500-2000 ppm en peso.

- 10 Según una realización de la presente invención la primera aleación de circonio puede comprender el 0,6-1,2 por ciento en peso de niobio y preferiblemente el 1,0-1,1 por ciento en peso de niobio y el más preferido el 1,02-1,04 por ciento en peso de niobio. Adicionalmente, la primera aleación de circonio puede comprender el 0,6-1,2 por ciento en peso de estaño y preferiblemente el 0,6-1,0 por ciento en peso de estaño y el más preferido el 0,6-0,8 por ciento en peso de estaño. Además, la primera aleación de circonio puede comprender el 0,1-0,3 por ciento en peso de hierro.
- 15 Esta aleación se denomina habitualmente Zirlo. Zirlo ha demostrado ser una aleación favorable en reactores de agua presurizada.

- Según una realización de la presente invención los principales materiales de aleación de la segunda aleación de circonio son estaño y hierro, en la que el contenido de cualquier sustancia adicional está por debajo del 0,05 por ciento en peso. La segunda aleación de circonio comprende favorablemente el 0,1-1 por ciento en peso de estaño.
- 20 Una aleación de este tipo es favorable ya que es suficientemente blanda como para dificultar la formación de grietas inducidas por contacto en el tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua.

Con el fin de proporcionar características óptimas, con respecto a las grietas inducidas por contacto, la segunda aleación de circonio puede comprender el 0,02-0,3 por ciento en peso de hierro.

- 25 Un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua según la invención puede tener una capa exterior que se recristaliza parcialmente.

Con el fin de proporcionar una resistencia óptima frente a las grietas en el tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua, la capa interior preferiblemente se recristaliza completamente.

Con el fin de proporcionar una resistencia a la corrosión óptima de la capa exterior, la capa exterior preferiblemente se recristaliza parcialmente.

- 30 En caso de que la capa exterior del tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua se recristaliza parcialmente el grado de recristalización en la capa exterior puede ser del 45 por ciento-90 por ciento y preferiblemente del 50 por ciento-70 por ciento.

- Un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua según la invención puede fabricarse de muchas maneras. Según una realización de la presente invención el tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua se ha fabricado mediante coextrusión de un primer tubo de la primera aleación de circonio y un segundo tubo de la segunda aleación de circonio. Este método proporciona la posibilidad de fabricar un tubo de alta calidad.
- 35

- El grosor de la capa interior en un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua según la invención es del 5-40% del grosor del tubo de revestimiento de combustible de reactor y preferiblemente del 5-15% del grosor del tubo de revestimiento de combustible de reactor. Esto proporciona una buena protección frente a la formación de grietas mientras que mantiene reducido el peso del tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua.
- 40

Según un segundo aspecto de la presente invención se proporciona una barra de combustible de reactor de agua que comprende un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua según la invención y pastillas de combustible encerradas en el tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua.

- 45 Según un tercer aspecto de la presente invención se proporciona un conjunto de combustible de reactor de agua que comprende al menos dos barras de combustible según la invención.

Según un cuarto aspecto de la presente invención se proporciona un método de fabricación de un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua tal como se define en la reivindicación 17.

En el tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua fabricado la capa exterior corresponde al primer tubo y la capa interior corresponde al segundo tubo.

- 50 Se conoce en la técnica la fabricación de tubos de revestimiento insertando un primer tubo en un segundo tubo antes de la coextrusión de los tubos. Habitualmente, antes de la inserción del primer tubo en el segundo tubo se somete el interior del segundo tubo a ataque químico con el fin de producir una superficie lisa en el interior del segundo tubo y hacer que el diámetro interior del segundo tubo sea esencialmente igual al diámetro exterior del

primer tubo. Cuando el tubo comprende una aleación de circonio que contiene niobio es desfavorable, sin embargo, someter la superficie del tubo a ataque químico ya que el proceso de ataque químico dejará productos residuales en forma de niobio puro en la superficie del tubo.

5 Según una realización de la presente invención la superficie interior del primer tubo se mecaniza mecánicamente de modo que el diámetro interior del primer tubo corresponde esencialmente al diámetro exterior del segundo tubo, antes de que se inserte el segundo tubo en el primer tubo.

El método también puede incluir la etapa de tratamiento térmico del tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua de modo que la capa interior se recristaliza completamente y de modo que la capa exterior se recristaliza parcialmente.

10 Según una realización de la presente invención se realiza el tratamiento térmico hasta que el grado de recristalización de la capa exterior es del 45 por ciento-90 por ciento y preferiblemente hasta que el grado de recristalización de la capa exterior es del 50 por ciento-70 por ciento. Esto ha demostrado ser un grado favorable de recristalización.

15 Según una realización de la presente invención se realiza el tratamiento térmico a una temperatura de 485-565°C durante 1-6 horas.

Esto proporciona los grados de recristalización deseados mencionados anteriormente. Un experto en la técnica encontrará fácilmente la temperatura y tiempo exacto para lograr un grado de recristalización deseado de la capa exterior, dentro del intervalo anteriormente mencionado para el grado de recristalización.

Las siguientes realizaciones preferidas de la invención se describirán con referencia a los dibujos adjuntos.

20 **Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 muestra de manera esquemática un conjunto de combustible, conocido por sí mismo, para un PWR.

La figura 2 muestra en sección transversal un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua según una realización de la presente invención.

25 La figura 3 muestra un primer tubo y un segundo tubo para ilustrar un método para fabricar el tubo de revestimiento de combustible mostrado en la figura 2.

Descripción de realizaciones preferidas

En la siguiente descripción de realizaciones preferidas de la invención se usará la misma referencia numérica para las características similares de los diferentes dibujos, los cuales no se han dibujado a escala.

30 La figura 1 muestra de manera esquemática un conjunto de combustible, conocido por sí mismo, para un PWR. El conjunto de combustible comprende una placa superior 4 y una placa inferior 5. Entre la placa superior 4 y la placa inferior 5 se extienden una pluralidad de tubos guía 3 para barras de control. Además, el conjunto de combustible comprende una pluralidad de tubos de revestimiento 1. Estos tubos de revestimiento 1 contienen por tanto un material de combustible nuclear y por ello se denominan barras de combustible. En este tipo de conjunto de combustible para PWR, las barras de combustible no alcanzan ni la placa superior 4 ni la placa inferior 5. Las barras de combustible conservan su posición en el conjunto de combustible con la ayuda de espaciadores 2.

35 La figura 2 muestra en sección transversal un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua 4 según una realización de la presente invención. El tubo de revestimiento de combustible comprende una capa exterior 6 y una capa interior 7. La capa exterior 6 es de una primera aleación de circonio mientras que la capa interior 7 es de una segunda aleación de circonio.

40 La primera aleación de circonio comprende niobio. Un ejemplo de la primera aleación de circonio comprende 0,6-1,2 por ciento en peso de niobio, un 0,6-1,2 por ciento en peso de estaño y 0,1-0,3 por ciento en peso de hierro, en la que el contenido de cualquier sustancia adicional está por debajo del 0,05 por ciento en peso. La primera aleación de circonio tiene un contenido de oxígeno de 500-2000 ppm. Una aleación que incluye las sustancias anteriores se denomina en ocasiones Zirlo.

45 Un primer ejemplo de la segunda aleación de circonio comprende el 0,1-1 por ciento en peso de estaño, en la que el contenido de cualquier sustancia adicional está por debajo del 0,05 por ciento en peso.

Un segundo ejemplo de la segunda aleación de circonio comprende el 0,1-1 por ciento en peso de estaño y el 0,02-0,3 por ciento en peso de hierro, en la que el contenido de cualquier sustancia adicional está por debajo del 0,05 por ciento en peso.

50 Se conocen bien en la técnica métodos para fabricar los tubos de la primera aleación de circonio así como de la segunda aleación de circonio y no se describirán en el presente documento.

La figura 3 muestra un primer tubo y un segundo tubo para ilustrar un método para fabricar el tubo de revestimiento de combustible mostrado en la figura 2. Se proporcionan un primer tubo 8 de la primera aleación de circonio y un segundo tubo 9 de la segunda aleación de circonio. El primer tubo 8 define un primer orificio 10 y el segundo tubo 9 define un segundo orificio 11. El primer tubo así como el segundo tubo tienen un diámetro interior y un diámetro exterior. El interior del primer tubo 8 y/o el exterior del segundo tubo 9 se mecanizan mecánicamente hasta que el diámetro interior del primer tubo 8 es esencialmente igual al diámetro exterior del segundo tubo 9. El segundo tubo 9 se inserta entonces en el primer tubo 8. El conjunto del primer tubo 8 y del segundo tubo 9 se coextrusiona entonces en tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua 4 mostrado en la figura 2, en el que la capa exterior 6 corresponde al primer tubo 8 y la capa interior 7 corresponde al segundo tubo 9. En la coextrusión la capa exterior 6 y la capa interior 7 se unen metalúrgicamente entre sí. Al conocer los expertos en la técnica la coextrusión, no se describirá en detalle en el presente documento.

Puede obtenerse una mejora adicional de la resistencia a la corrosión de la capa interior 7 introduciendo un tratamiento térmico adicional del segundo tubo 9 antes de que se una al primer tubo 8. Este tratamiento térmico adicional se lleva a cabo a 600°C-860°C cuando la segunda aleación de circonio comprende estaño. Preferiblemente, el tratamiento térmico se lleva a cabo a 650°C-750°C. Este tratamiento térmico adicional puede llevarse a cabo como una última etapa antes de que el segundo tubo 9 se una al primer tubo 8 o antes en la cadena de proceso, por ejemplo antes de que se extrusione el segundo tubo 9.

Después de la coextrusión, durante la cual se ha formado el tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua 4, se trata térmicamente el tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua a 485°C-565°C durante 1-6 horas hasta que la capa interior 7 se cristaliza completamente y el grado de recristalización de la capa exterior es del 40-50 por ciento.

Las realizaciones descritas pueden modificarse de muchas maneras sin salirse del espíritu y alcance de la presente invención que se limita sólo por las reivindicaciones.

Dentro del alcance de la invención es posible tener bajas concentraciones de sustancias distintas de las descritas anteriormente.

El tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua según la invención puede usarse en reactores de agua en ebullición así como en reactores de agua presurizada.

REIVINDICACIONES

1. Tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) para un reactor de agua presurizada, comprendiendo dicho tubo de revestimiento una capa exterior (6) de una primera aleación de circonio y teniendo unido metalúrgicamente al mismo una capa interior (7) de una segunda aleación de circonio, adaptándose dicha capa interior para proteger (7) al tubo de revestimiento (4) frente al agrietamiento por corrosión bajo tensión, en el que el grosor de la capa interior (7) es del 5-40% del grosor del tubo de revestimiento de combustible de reactor (4), en el que la segunda aleación de circonio comprende estaño como material de aleación, y en el que cada una de las aleaciones de circonio comprende al menos el 96 por ciento en peso de circonio, caracterizado porque la primera aleación de circonio comprende 500-2000 ppm en peso de oxígeno, y porque los principales materiales de aleación de la primera aleación de circonio son niobio, hierro y estaño, en el que el contenido de cualquier sustancia adicional está por debajo del 0,05 por ciento en peso, y porque la primera aleación de circonio comprende al menos el 0,1 por ciento en peso de niobio.
2. Tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) según la reivindicación 1, en el que la primera aleación de circonio comprende el 0,6-1,2 por ciento en peso de niobio y preferiblemente el 1,0-1,1 por ciento en peso de niobio y el más preferido el 1,02-1,04 por ciento en peso de niobio.
3. Tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera aleación de circonio comprende el 0,6-1,2 por ciento en peso de estaño y preferiblemente el 0,6-1,0 por ciento en peso de estaño y el más preferido el 0,6-0,8 por ciento en peso de estaño.
4. Tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera aleación de circonio comprende el 0,1-0,3 por ciento en peso de hierro.
5. Tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los principales materiales de aleación de la segunda aleación de circonio son estaño y hierro y en el que el contenido de cualquier sustancia adicional está por debajo del 0,05 por ciento en peso.
6. Tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la segunda aleación de circonio comprende el 0,1-1 por ciento en peso de estaño.
7. Tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la segunda aleación de circonio comprende el 0,02-0,3 por ciento en peso de hierro.
8. Tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la capa interior (7) se recristaliza parcialmente.
9. Tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) según una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que la capa interior (7) se recristaliza completamente.
10. Tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la capa exterior (6) se recristaliza parcialmente.
11. Tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) según la reivindicación 10, en el que el grado de recristalización en la capa exterior (6) es del 45 por ciento-90 por ciento.
12. Tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) según la reivindicación 11, en el que el grado de recristalización en la capa exterior (6) es del 50 por ciento-70 por ciento.
13. Tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que se ha fabricado mediante coextrusión de un primer tubo (8) de la primera aleación de circonio y un segundo tubo (9) de la segunda aleación de circonio.
14. Tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el grosor de la capa interior (7) es del 5-15% del grosor del tubo de revestimiento de combustible de reactor (4).
15. Barra de combustible de reactor de agua (3) que comprende un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores y pastillas de combustible encerradas en el tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4).
16. Conjunto de combustible de reactor de agua (1) que comprende al menos dos barras de combustible (3) según la reivindicación 15.
17. Método para fabricar un tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) para un reactor de agua presurizada, comprendiendo dicho método las etapas de

proporcionar un primer tubo (8) de una primera aleación de circonio que tiene un diámetro interior y un diámetro exterior,

5 proporcionar un segundo tubo (9) de una segunda aleación de circonio que tiene un diámetro interior y un diámetro exterior, en el que el diámetro exterior del segundo tubo (9) es esencialmente igual al diámetro interior del primer tubo (8), en el que la segunda aleación de circonio comprende estaño como material de aleación,

insertar el segundo tubo (9) en el primer tubo (8), y

10 coextruir el primer tubo (8) y el segundo tubo (9) para formar el tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4), en el que cada una de las aleaciones de circonio comprende al menos el 96 por ciento en peso de circonio, en el que dicha primera aleación de circonio forma una capa exterior del tubo de revestimiento (4) y dicha segunda aleación de circonio forma una capa interior del tubo de revestimiento (4), y en el que el grosor de la capa interior (7) es del 5-40% del grosor del tubo de revestimiento de combustible de reactor (4), caracterizado porque la primera aleación de circonio comprende 500-2000 ppm en peso de oxígeno, y porque los principales materiales de aleación de la primera aleación de circonio son niobio, hierro y estaño, en el que el contenido de cualquier sustancia adicional está por debajo del 0,05 por ciento en peso, y porque la primera aleación de circonio comprende al menos el 0,1 por ciento en peso de niobio.

18. Método según la reivindicación 17, en el que la superficie interior del primer tubo (8) se mecaniza mecánicamente de modo que el diámetro interior del primer tubo (8) corresponde esencialmente al diámetro exterior del segundo tubo (9), antes de que se inserte el segundo tubo (9) en el primer tubo (8).

19. Método según la reivindicación 17 ó 18, en el que el método incluye también la etapa de tratamiento térmico del tubo de revestimiento de combustible de reactor de agua (4) de modo que el segundo tubo (9) se recristaliza completamente y de modo que el primer tubo (8) se recristaliza parcialmente.

20. Método según la reivindicación 19, en el que el grado de recristalización del primer tubo (8) es del 45 por ciento-90 por ciento.

21. Método según la reivindicación 20, en el que el grado de recristalización del primer tubo (8) es del 50 por ciento-70 por ciento.

22. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 19-21, en el que se realiza el tratamiento térmico a una temperatura de 485-565°C.

23. Método según la reivindicación 22, en el que se realiza el tratamiento térmico durante 1-6 horas.

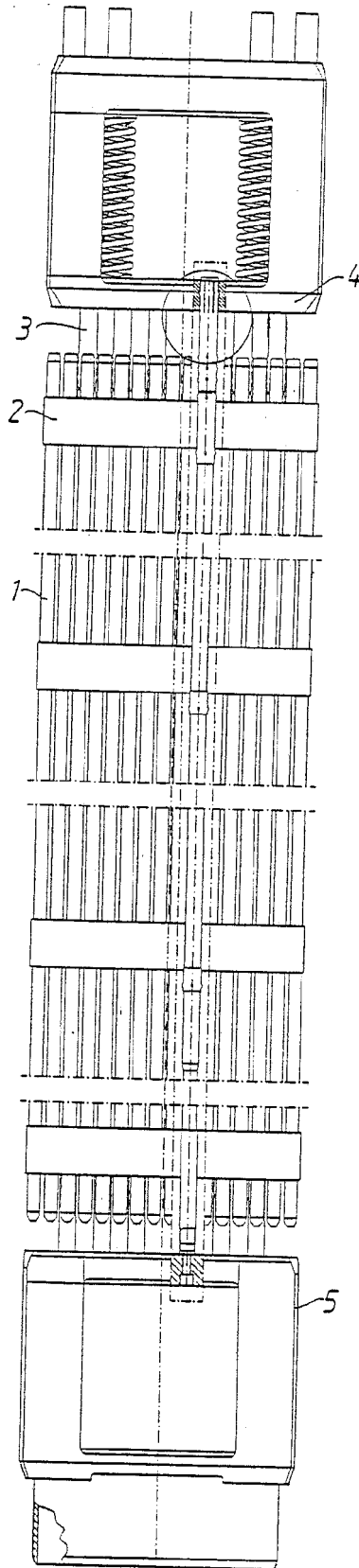


FIG. 1

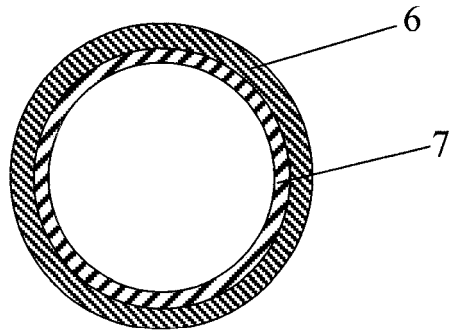


Fig 2

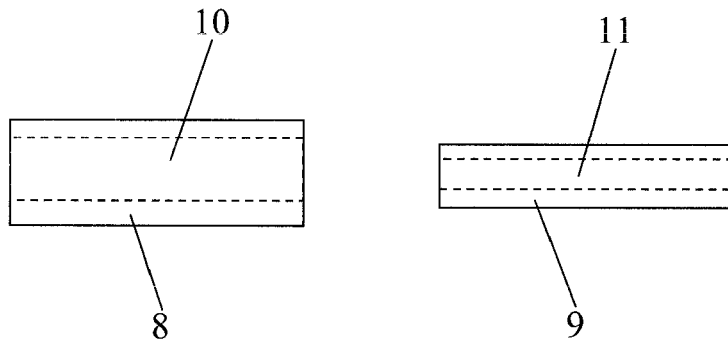


Fig 3