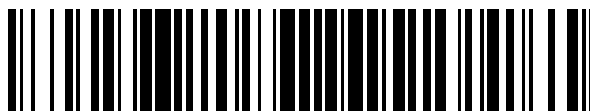


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 594 230**

51 Int. Cl.:

B21B 21/00 (2006.01)
B21H 8/00 (2006.01)
B29C 59/00 (2006.01)
G21C 3/08 (2006.01)
G21C 3/06 (2006.01)
B21B 15/00 (2006.01)
B21B 21/02 (2006.01)
B21B 25/00 (2006.01)
G21C 3/07 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.09.2009 PCT/EP2009/062634**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **08.04.2010 WO10037754**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.09.2009 E 09783561 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.07.2016 EP 2329499**

54 Título: **Tubo de revestimiento para varilla de combustible nuclear, procedimiento y aparato para la fabricación de un tubo de revestimiento**

30 Prioridad:

30.09.2008 EP 08305627

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.12.2016

73 Titular/es:

**AREVA NP (100.0%)
Tour AREVA, 1 Place Jean Millier
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**DOUDOUX, JEAN-LUC;
GALBAN, ERIC;
CHARBONNIER, YVES;
BOUSSIN, JÉRÔME;
PONCE, MATTHIEU;
SIMONEAU, JAN PATRICE;
PEUCKER, JÖRG;
SCHMIDT, HOLGER y
NISSEN, KLAUS L.**

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

Observaciones :

Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 594 230 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

5 Tubo de revestimiento para varilla de combustible nuclear, procedimiento y aparato para la fabricación de un tubo de revestimiento

10 La presente invención se refiere a un tubo de revestimiento para una varilla de combustible nuclear hecho de metal.

15 En ciertos tipos de reactores nucleares, tales como los reactores de agua ligera (LWR), incluidos los reactores de agua en ebullición (BWR) y los reactores de agua a presión (PWR) incluidos los de diseño ruso VVER (Vodaa Vodianne En ergititscherski Reactor, en inglés Water Water Energy Reactor), el combustible nuclear es empaquetado en elementos de combustible nuclear, cada elemento comprende un haz de varillas de combustible nuclear y tapones de protección soldados en los extremos del tubo de revestimiento.

20 En funcionamiento, un fluido de transferencia de calor (agua en ebullición en BWR o agua a presión en PWR) circula a lo largo de las varillas con el fin de extraer el calor producido por el combustible nuclear. El fluido caliente se utiliza con el fin de convertir este calor en energía eléctrica.

Los tubos de metal intercambiadores de calor con hoyos se conocen a partir del documento FR-A-1 252033.

25 Es deseable que los tubos de revestimiento de combustible nuclear presenten una resistencia mecánica suficiente para resistir a las tensiones internas ejercidas por el combustible nuclear recibido en los tubos y las tensiones externas encontradas en un reactor nuclear, al mismo tiempo que se favorecen los intercambios de calor entre el combustible nuclear y el fluido de transferencia de calor.

30 Es un objeto de la invención proponer un tubo de revestimiento para el combustible nuclear que favorezca los intercambios de calor entre el interior y el exterior del tubo al mismo tiempo que es fuerte.

35 Con este objetivo, la invención propone un tubo de revestimiento para varilla de combustible nuclear, hecho de metal, que comprende hoyos en la superficie externa del tubo de revestimiento y cada hoyo tiene una profundidad entre 10% y 60% del espesor de la pared.

De acuerdo con otras realizaciones, el tubo de revestimiento comprende una o varias de las siguientes características, consideradas solas o en cualquier combinación técnicamente posible:

- 40
- el tubo de revestimiento tiene una superficie interna lisa;
 - el tubo de revestimiento tiene un diámetro externo entre 6 y 20 mm;
 - el tubo de revestimiento tiene un espesor de la pared entre 0,4 y 1,5 mm;
 - cada hoyo tiene un contorno en forma de elipse o círculo;
 - el contorno de cada hoyo tiene una dimensión máxima superior a 0,8 mm;
 - el tubo de revestimiento está hecho de una aleación basada en circonio; y
 - 45 - los hoyos se obtienen mediante perforación.

50 La invención se refiere también a un elemento de combustible nuclear del tipo que comprende un haz de varillas de combustible nuclear, cada varilla de combustible comprende un tubo de revestimiento lleno de una pila de pastillas de combustible nuclear, en el que el tubo de revestimiento de al menos una varilla de combustible es un tubo de revestimiento tal como se define anteriormente.

55 La invención también se refiere a un procedimiento de fabricación por rodamiento en paso de peregrino de un tubo de revestimiento de metal a partir de una pieza en bruto tubular, del tipo en el que la pieza en bruto tubular se deforma progresivamente por rodamiento entre un mandril insertado dentro de la pieza en bruto y dos troqueles dispuestos alrededor del mandril y movidos recíprocamente a lo largo del mandril, y por el avance de la pieza en bruto a lo largo del mandril entre los movimientos oscilantes de los troqueles, en el que los hoyos se forman en la superficie externa de la pieza en bruto durante el rodamiento de la pieza en bruto.

60 De acuerdo con otras realizaciones, el procedimiento comprende una o varias de las siguientes características, consideradas solas o en cualquier combinación técnicamente posible:

- 65
- los hoyos se forman con la ayuda de al menos un punzón dispuesto en uno de los troqueles;
 - el diámetro de la pieza en bruto se reduce durante el rodamiento en paso de peregrino;
 - los hoyos se forman en una parte delantera del mandril con respecto a la dirección de avance de la pieza en bruto a lo largo del mandril durante el rodamiento en paso de peregrino;
 - la pieza en bruto gira alrededor de un eje del mandril entre los movimientos oscilantes de los troqueles; y

- el tubo de metal tiene una superficie interna lisa.

La invención también se refiere a un aparato con rodamiento en paso de peregrino para la fabricación de un tubo de metal a partir de una pieza en bruto tubular, del tipo que comprende al menos dos troqueles y un mandril recibido entre los troqueles montado para llevar a cabo los movimientos oscilantes a lo largo del mandril para enrollar una pieza en bruto encajada en el mandril entre el mandril y los troqueles, en el que al menos uno de los troqueles tiene al menos un punzón para formar hoyos en la superficie externa de una pieza en bruto encajada en el mandril durante los movimientos oscilantes de los troqueles.

De acuerdo con otras realizaciones, el aparato comprende una o varias de las siguientes características, consideradas solas o en cualquier combinación técnicamente posible:

- cada troquel comprende una ranura periférica, las ranuras de los troqueles forman un paso para el mandril entre los troqueles, cada punzón está dispuesto en la base de la ranura del troquel correspondiente;
- el mandril es de forma convergente a lo largo de su eje, el o cada punzón está dispuesto en una zona de calibración de la ranura del troquel correspondiente que define el paso para el mandril cuando los troqueles han avanzado y rodean el extremo del mandril con un diámetro más pequeño; y
- cada troquel comprende al menos un punzón.

La invención y las ventajas de la misma se comprenderán mejor con la lectura de la descripción siguiente, presentada únicamente a modo de ejemplo y en relación con los dibujos adjuntos, en los que:

- Las figuras 1 y 2 muestran las vistas laterales esquemáticas de un aparato con rodamiento en paso de peregrino de acuerdo con la invención;
- Las figuras 3 y 4 muestran vistas en sección de acuerdo con III-III y IV-IV de las figuras 1 y 2 respectivamente;
- Las figuras 5 y 6 muestran las vistas esquemáticas, respectivamente, desde el lateral y en sección transversal, de un tubo de revestimiento para combustible nuclear obtenido con el aparato de las figuras 1 a 4;
- Las figuras 7 y 8 muestran vistas esquemáticas, respectivamente desde el lateral y en sección transversal, de un elemento de combustible nuclear que comprende un haz de varillas de combustible formadas a partir de tubos de revestimiento de acuerdo con las figuras 5 y 6; y
- La figura 9 muestra un tubo de revestimiento de acuerdo con la invención y un tubo de revestimiento de diseño convencional después de una prueba que simula una pérdida accidental de refrigerante.

El aparato de rodamiento en paso de peregrino (2) que se muestra en las figuras 1 y 2 posibilita la fabricación de un tubo de revestimiento para una varilla de combustible nuclear sin soldadura, a partir de una pieza de metal bruto tubular (4) que es inicialmente cilíndrica y tiene un diámetro mayor y una longitud menor que el tubo que se desea obtener.

El aparato (2) comprende, de manera convencional, un mandril (6) y dos troqueles (10) dispuestos a cada lateral del mandril (6) y diseñado para llevar a cabo movimientos oscilantes a lo largo del mandril (6) con el fin de enrollar una pieza en bruto (4) encajada en el mandril (6).

El mandril (6) es alargado a lo largo de un eje longitudinal L. El mandril (6) presenta una simetría de rotación alrededor del eje L. Tiene una forma convergente desde una parte trasera del mandril (6) de mayor diámetro hacia una parte delantera del mandril (6) de diámetro más pequeño.

Más concretamente, el mandril (6) tiene una parte central (14) en forma de cono truncado que converge hacia la parte delantera, una parte de entrada (16) que extiende la parte central (14) hacia la parte trasera, y una parte de calibración (18) que extiende la parte central (14) hacia la parte delantera (figuras 1 y 2).

La parte de entrada (16) tiene un diámetro exterior sustancialmente igual al diámetro interior inicial de la pieza en bruto (4). La parte de entrada (16) es sustancialmente cilíndrica.

La parte de calibración (18) tiene una sección que se corresponde sustancialmente con la superficie interna del tubo que se desea fabricar. De una manera conocida, la parte de calibración (18) es muy ligeramente cónica y converge hacia la parte delantera con el fin de facilitar la salida de la pieza en bruto (4) en la parte delantera del mandril (6).

Cada troquel (10) tiene la forma de un cilindro de eje A que tiene una ranura circunferencial (20) que se extiende sobre la superficie periférica externa (22). La ranura (20) de cada troquel (10) tiene una sección transversal semicircular con un diámetro que disminuye continuamente desde una zona de entrada (24) de la ranura (20) a una zona de calibración (26) de la ranura (20).

Los troqueles (10) están dispuestos a cada lateral del mandril (6) de manera que las ranuras (20) están una frente a otra y definen un paso para el mandril (6) entre los troqueles (10). Los ejes A de los troqueles (10) son perpendiculares al eje L y paralelos entre sí.

5 De forma conocida, los troqueles (10) están montados de manera que giran en sentido contrario alrededor de sus ejes A y son movibles en traslación a lo largo del eje L, de manera que puedan moverse a lo largo del mandril (6) al mismo tiempo que giran alrededor de sus ejes A y llevan a cabo movimientos oscilantes.

10 En una posición retraída (figura 1), la parte de entrada (16) se recibe en las zonas de entrada (24). Los troqueles (10) definen con el mandril (6) un paso anular que tiene sustancialmente las dimensiones de la pieza en bruto (4) en la etapa inicial (figura 3).

15 En una posición avanzada (figura 2) la parte de calibración (18) se recibe en las zonas de calibración (26). Los troqueles (10) definen con el mandril (6) un paso anular que tiene sustancialmente las dimensiones del tubo que se desea obtener (figura 4).

Los troqueles (10) se mueven en un movimiento "hacia delante" desde la posición retraída a la posición avanzada girando en la dirección de la flecha R1 y avanzando de acuerdo con la flecha F1 (figura 1).

20 Por el contrario los troqueles (10) se mueven en un movimiento de "retorno" desde la posición avanzada a la posición retraída girando en la dirección de la flecha R2 y moviéndose hacia atrás de acuerdo con la flecha F2 (figura 2).

25 De forma conocida, el aparato 2 comprende unos medios (no se muestran) para mover la pieza en bruto (4) encajada en el mandril (6) a lo largo de este último y para hacer pivotar el mandril (6) alrededor del eje L con el fin de mover la pieza en bruto (4) en rotación alrededor del eje L.

30 Como se muestra en la figura 4, cada troquel (10) comprende un punzón (30) que se proyecta desde la base de su ranura (20) con el fin de marcar un hoyo (48) en la superficie externa (12) de la pieza en bruto (4) durante un movimiento oscilante del troquel (10).

En el contexto de la invención, un hoyo (48) designa en general una indentación hueca o una depresión dispuesta en una superficie.

35 El punzón (30) de cada troquel (10) está dispuesto en la zona de calibración (26) de la ranura (20) de este troquel (10), con el fin de hacer el hoyo (48) cuando el troquel (10) está en la posición avanzada en la parte delantera del mandril (6).

40 Para el montaje del punzón (30), el troquel (10) tiene un agujero (32) para recibir el punzón (30) que se extiende a través del troquel (10) radialmente con respecto al eje A del mismo y se abre en la base de la zona de calibración (26) de su ranura (20).

45 El agujero (32) está escalonada y comprende secciones longitudinales cilíndricas coaxiales con diámetros decrecientes desde el interior hacia el exterior del troquel (10), separadas por hombros que son radiales con respecto al eje del agujero (32).

50 El punzón (30) tiene un pie en forma de disco (34) recibido en el agujero del cojinete (32) contra un hombro (36) a través de un espaciador anular (38) y una varilla cilíndrica (40) que se extiende desde el pie (34) a través del agujero (32) hasta el final del agujero (32) que se abre en la ranura (20).

El extremo libre de la varilla (40) se proyecta en la ranura (20) y forma la punta (42) del punzón (30). En el ejemplo ilustrado la punta (42) tiene la forma de un segmento esférico.

55 Cada troquel (10) comprende un tornillo de presión (44) atornillado en una sección longitudinal roscada del agujero (32) y cojinete en el pie (34) del lado opuesto a la varilla (40). El tornillo de presión (44) se aprieta con el fin de mantener el cojinete del punzón (30) en el hombro (36) por medio del espaciador (38).

60 La elección del espesor del espaciador (38) hace posible ajustar la altura de la punta (42) que se proyecta en la ranura (20) y, por lo tanto, las dimensiones del hoyo (48) que realizará la punta (42).

65 La invención no se limita al aparato de rodamiento (2) del ejemplo ilustrado. Otras realizaciones del aparato de rodamiento (2) pueden variar según el número de troqueles (10) y el tipo de montaje, el número y/o la posición de los punzones (30). Por ejemplo, como una variante al menos uno de los troqueles (10) no tiene punzón (30). Como una variante o como una opción al menos un troquel (10) comprende una pluralidad de punzones (30).

Los punzones (30) no están necesariamente dispuestos en las zonas de calibración (26) de las ranuras (20). Como una variante o como una opción un troquel (10) comprende uno o una pluralidad de punzones (30) en una zona de la ranura (20) hacia arriba de la zona de calibración (26), con el fin de hacer un hoyo (48) en la pieza en bruto (4) con respecto a la parte central cónica (14) del mandril (6).

5 La punta (42) se elige en función de la forma que se desea dar a los hoyos (48) que quedarán en la pieza en bruto (4) mediante el punzón (30).

10 Es posible proporcionar medios para ajustar la posición de los punzones (30) que son diferentes de los del ejemplo ilustrado.

15 El aparato (2) de las figuras 1 a 4 hace posible aplicar un procedimiento de rodamiento en paso de peregrino con el fin de obtener, a partir de una pieza de metal bruto tubular (4), un tubo cilíndrico que tiene una superficie interna cilíndrica lisa (8) y una superficie externa cilíndrica (12) provista de hoyos cóncavos (48) sin deteriorar el diámetro interno d o la superficie interna (8).

20 En el procedimiento de rodamiento en paso de peregrino, la pieza en bruto (4) es deformada progresivamente por rodamiento de la pieza en bruto (4) en el mandril (6), con la ayuda de troqueles (10) que se desplazan conjuntamente con los movimientos oscilantes a lo largo del mandril (6) entre la posición retraída (figura 1) y la posición avanzada (figura 2), y moviendo la pieza en bruto (4) hacia delante a lo largo del eje L entre los movimientos oscilantes.

25 Desde este punto de vista, el mandril (6) se inserta en el interior de la pieza en bruto tubular (4) que inicialmente tiene una sección transversal constante en toda su longitud con una superficie interna lisa (8) y una superficie externa lisa (12).

30 A continuación, los troqueles (10) se mueven por movimientos oscilantes repetidos entre la posición retraída (figura 1) y la posición avanzada (figura 2), y la pieza en bruto (4) se mueve hacia delante a lo largo del mandril (6) entre los movimientos oscilantes.

35 Cuando la pieza en bruto (4) se ha avanzado con respecto al mandril (6) su forma ya no se corresponde con la del mandril (6). Durante el movimiento oscilante posterior de los troqueles (10), la pieza en bruto (4) se deforma al ser enrollada entre los troqueles (10) y el mandril (6).

40 Cuando la pieza en bruto (4) se hace avanzar suficientemente a lo largo del mandril (6), al final del desplazamiento hacia delante de los troqueles (10), cada punzón (30) hace un hoyo (48) en la sección (50) de la pieza en bruto (4) situada en la parte delantera del mandril (6).

45 La parte longitudinal (52) de la pieza en bruto (4) que se extiende más allá del mandril (6) tiene una forma tubular cilíndrica y tiene hoyos (48) en su superficie externa (12), la superficie interna (8) permanece lisa. La parte longitudinal (52) se corresponde con el tubo que se desea obtener para su uso como tubo de revestimiento (54) para una varilla de combustible nuclear.

Debido a la repetición de los movimientos oscilantes de los troqueles (10) y el desplazamiento de la pieza en bruto (4) a lo largo del mandril (6), la pieza en bruto (4) avanza en pasos sucesivos a lo largo del mandril (6) y progresivamente adopta la forma deseada. De este modo la pieza en bruto (4) es alargada y su diámetro se reduce.

50 Con el fin de formar los hoyos (48) distribuidos sobre la circunferencia de la superficie externa (12) de la pieza en bruto (4), los movimientos oscilantes de los troqueles (10) y los desplazamientos axiales de la pieza en bruto (4) a lo largo del mandril (6) se combinan con los desplazamientos de la pieza en bruto (4) en rotación alrededor del eje L. Así, entre dos movimientos oscilantes sucesivos de los troqueles (10) la pieza en bruto (4) se desplaza a lo largo del mandril (6) y/o la pieza en bruto (4) se desplaza en rotación alrededor del eje L.

55 Las figuras 5 y 6 muestran una parte de la longitud de un tubo de revestimiento (54) obtenido por el procedimiento de rodamiento en paso de peregrino de acuerdo con la invención implementada con la ayuda del aparato 2 de las figuras 1 a 4.

60 El tubo de revestimiento (54) es tubular y cilíndrico con un eje L. Tiene una superficie interna cilíndrica lisa (8) y una superficie externa cilíndrica (12) que tiene hoyos cóncavos (48) que se forman durante el rodamiento en paso de peregrino en la superficie externa (12) dentro del espesor de la pared del tubo de revestimiento (54).

65 Los hoyos (48) están distribuidos de acuerdo con un patrón que se repite a lo largo del tubo de revestimiento (54).

En el ejemplo de las figuras 5 y 6, los hoyos (48) comprenden una serie de hoyos (48) situados en el mismo plano radial y distribuidos en un ángulo α alrededor del eje L. Los hoyos (48) de dos series adyacentes están desplazados axialmente por un paso P y angularmente por un ángulo a con respecto al eje L.

5 Con el fin de obtener un patrón de este tipo, durante el rodamiento en paso de peregrino se llevan a cabo varios movimientos oscilantes girando la pieza en bruto (4) un ángulo \hat{a} alrededor del eje L entre cada movimiento oscilante sin avanzar la pieza en bruto (4). A continuación, la pieza en bruto (4) se gira un ángulo \acute{a} y se avanza un paso p . A continuación, estas operaciones se inician de nuevo.

10 La distribución de los hoyos (48) no se limita al ejemplo ilustrado en las figuras 5 y 6.

Se pueden obtener otros patrones modificando la amplitud de la rotación de la pieza en bruto (4), el paso por el cual la pieza en bruto (4) se hace avanzar entre los movimientos oscilantes de los troqueles (10), el número de troqueles (10), el número de punzones (30) soportado por cada troquel (10), y/o la posición de los punzones (30) en los troqueles (10).

15 Por ejemplo, es posible girar la pieza en bruto (4) y avanzar la pieza en bruto (4) entre cada movimiento oscilante de los troqueles (10). El resultado de esto es que cuando cada uno de los troqueles (10) incluye un punzón (30) los hoyos (48) se obtienen dispuestos en una doble hélice alrededor del tubo de revestimiento (54).

20 Favorablemente, los hoyos (48) están distribuidos regularmente en la superficie externa y/o de acuerdo con un patrón que se repite regularmente en la superficie externa.

25 Los hoyos (48) tienen una forma definida por la punta (42) del punzón (30) que tiene una profundidad e (figura 6).

En el ejemplo ilustrado, los hoyos (48) tienen la forma de segmentos esféricos de radio W (figura 5). Por lo tanto la base de los hoyos (48) tiene un radio de curvatura W. El contorno de los hoyos (48) es sustancialmente circular.

30 La forma de los hoyos (48) no se limita a esta realización. La forma de los hoyos (48) depende de la de los punzones (30).

35 En una variante, el contorno de los hoyos (48) tiene por ejemplo la forma de una elipse. En este caso el eje principal de la elipse está orientado longitudinalmente. En una variante forma un ángulo con el eje L.

40 El punzón o punzones (30) de cada troquel (10) está o están dispuestos preferentemente en la zona de calibración (26) de la ranura 20 de tal manera como para hacer un hoyo (48) en una sección (50) de la pieza en bruto (4) durante el último paso de los troqueles (10) en esta sección (50). Esto hace que sea posible controlar la forma del hoyo (48), ya que está hecho en un paso final en el que la sección (50) está sustancialmente en su estado final de deformación.

45 La figura 7 muestra una ilustración esquemática de un elemento de combustible nuclear (56) para un reactor nuclear de agua ligera del tipo PWR. En este tipo de reactor, en funcionamiento, el agua ligera sirve como moderador para la reacción nuclear y como fluido de transferencia de calor para los intercambios de calor.

El elemento (56) se extiende en una dirección longitudinal B, diseñado para ser vertical cuando el elemento (56) está dispuesto en el núcleo de un reactor nuclear. Esta dirección es la dirección de flujo principal del agua.

50 De forma conocida el elemento (56) comprende un haz de varillas de combustible nuclear (58) que contienen el material fisible y una estructura (60) para soportar y retener las varillas de combustible (58).

55 La estructura (60) comprende convencionalmente una boquilla inferior (62), una boquilla superior (64), tubos de guía (66) y rejillas espaciadoras (68) para retener las varillas de combustible (58).

La boquilla inferior (62) y la boquilla superior (64) están dispuestos en los extremos longitudinales del elemento (56).

60 Los tubos de guía (66) se extienden longitudinalmente entre las boquillas (62, 64) y están fijos en los extremos longitudinales de las boquillas (62, 64). Así, los tubos de guía (66) conectan las boquillas (62) y (64) entre sí.

65 De manera convencional los tubos de guía (66) están diseñados para recibir a través de sus extremos superiores abiertos grupos de varillas que no contienen material fisible (no se muestra) y que, cuando está presente o cuando se inserta más o menos sustancialmente, permite controlar la reacción nuclear. En una

variante, al menos uno de los tubos de guía (66) se sustituye por un tubo de instrumentación diseñado para permitir la inserción a través de su extremo inferior abierto de un dispositivo de instrumentación del reactor.

5 Las rejillas (68) están fijadas en los tubos de guía (66) y se distribuyen a lo largo de los tubos de guía (66) entre las boquillas (62, 64).

10 Las varillas de combustible (58) están dispuestas longitudinalmente en un haz y se extienden a través de las rejillas (68). Las rejillas (68) garantizan que las varillas de combustible (58) se retienen en la estructura (60). Las varillas de combustible (58) terminan a cierta distancia del extremo de las boquillas (62, 64).

15 Cada varilla de combustible (58) está formada por un tubo de revestimiento (54) de acuerdo con las figuras 5 y 6, llena de pastillas de combustible nuclear (70) (figura 8) de forma cilíndrica apiladas en el interior del tubo de revestimiento (54) y cerrada con dos tapones (72) dispuestos en los extremos del tubo de revestimiento (54). La pila de pastillas 70 se designa generalmente como una "columna fisible".

20 Como se muestra en la figura 8, las varilla de combustible (58) y los tubos de guía (66) están dispuestos en un entramado con una base cuadrada. Las varillas de combustible (58) y los tubos de guía (66) se mantienen espaciadas por las rejillas espaciadoras (68) para que el agua pase entre ellos en la dirección B (perpendicular al plano de la figura 8).

25 Las figuras 7 y 8 muestran un elemento de combustible (56) típico con una matriz cuadrada de un PWR. Los elementos de combustible (56) de un VVER normalmente tienen una matriz hexagonal. La estructura utilizada para un elemento de combustible de un BWR también es diferente, pero las pastillas de combustible y las varillas de combustible son similares, las dimensiones se adaptan a cada diseño específico. En todos los casos, el tubo de revestimiento (54) es, por ejemplo, hecho de una aleación a base de circonio.

30 Una rejilla habitual para un elemento de combustible de un reactor de agua a presión (PWR) define un entramado con una base cuadrada que incluye, por ejemplo, entre 14 y 19 celdas en cada uno de sus lados, una pluralidad de celdas que reciben tubos de guía distribuidos en el entramado y, opcionalmente, una celda central para recibir un tubo de instrumentación.

35 Una rejilla habitual para un elemento de combustible de un reactor de agua en ebullición (BWR) define un entramado con una base cuadrada que incluye, por ejemplo, entre 6 y 13 celdas en cada uno de sus lados, y al menos una celda para recibir, por ejemplo, una varilla de agua o un canal de agua que sustituye 1 por 5x5 varillas de combustible y puede tener una forma y posición diferentes dentro de la estructura.

40 Durante el funcionamiento del reactor nuclear el agua circula a lo largo de los tubos de revestimiento (54) con el fin de intercambiar calor con el combustible nuclear contenido en el tubo de revestimiento (54).

Los hoyos (48) aumentan los intercambios de calor a través de la pared del tubo de revestimiento (54) y, por lo tanto, mejoran el funcionamiento y el rendimiento del elemento (56).

45 De hecho, cada hoyo (48) crea localmente en la superficie externa (12) del tubo de recubrimiento (54) turbulencias que favorecen los intercambios de calor entre el fluido y el tubo de revestimiento (54).

50 Las turbulencias se producen más específicamente en la forma de un vórtice que se forma en la base del hoyo (48). El vórtice provoca un flujo de agua hacia la base del hoyo (48) y un flujo de burbujas de vapor hacia el exterior del hoyo (48).

55 Este tipo de turbulencia puede tener un efecto positivo o negativo sobre el intercambio de calor a través de la pared del tubo de recubrimiento (54). Sin embargo, los experimentos llevados a cabo por los inventores han demostrado que este efecto es principalmente positivo en las condiciones de uso de los reactores nucleares de agua ligera (BWR o PWR).

60 Un fenómeno encontrado en los reactores nucleares es la deposición de una capa de partículas de óxido en la superficie externa (12) de los tubos de revestimiento (54), generalmente llamados "CRUD" (un acrónimo de Chalk River Unidentified Deposit). Esta capa limita los intercambios de calor a través de la pared del tubo. Esto da como resultado una pérdida de efectividad y un aumento de los riesgos de accidente.

Los experimentos llevados a cabo por los inventores han demostrado que los hoyos (48) hacen que sea posible limitar la formación de "CRUD". Esto es quizás debido al hecho de que las turbulencias de vórtice impiden la deposición de CRUD.

65 Puesto que los hoyos (48) se forman como cavidades en la superficie externa (12), la diferencia con el flujo del agua a través del elemento (56) entre las varillas de combustible (58) no se ve afectada. Esto hace que sea

posible conservar el diámetro externo de los tubos de revestimiento (54) con respecto a los de diseño convencional, y para preservar la sección transversal libre en el elemento (56) para el paso del agua.

5 Se cree que obtener los hoyos (48) mediante deformación por compresión hace que sea posible conservar la homogeneidad del material y evitar el corte local de las estructuras de grano que se generarían mediante un procedimiento de eliminación de material (químico, mecánico, ...).

10 Las pruebas llevadas a cabo por los inventores han demostrado que los hoyos (48) tienen un efecto favorable adicional en el caso de LOCA (pérdida accidental de refrigerante) durante el cual un calentamiento local de un tubo provoca la formación de una protuberancia hasta que esta protuberancia estalla y el combustible contenido en el tubo se dispersa.

15 La figura 9 muestra un primer tubo convencional (73) (a la izquierda) de superficie externa lisa (12) y un segundo tubo de revestimiento (54) (a la derecha) de acuerdo con la invención después de una prueba de LOCA. En una supuesta pérdida accidental de refrigerante, la temperatura del combustible se incrementa durante varios minutos hasta que el sistema de emergencia para la refrigeración del núcleo (ECCS) recupera la refrigerabilidad del núcleo del reactor. Se han hecho varias pruebas convencionales para diversas condiciones de temperatura y tiempos de espera, que siempre han dado como resultado los mismos comportamientos.

20 Al final de la prueba, el primer tubo (73) tiene una protuberancia (74) con una abertura (76). El segundo tubo de revestimiento (54) tiene una protuberancia (78) de una magnitud menor, pero que se extiende sobre una longitud mayor.

25 Esto puede ser debido al hecho de que las protuberancias normalmente se inician cerca de las zonas de espesor reducido de la pared (por ejemplo, debido a un golpe o un rasguño) y en una zona caliente del tubo.

30 Los hoyos (48) mejoran la uniformidad de la temperatura por el incremento en los intercambios de calor y proporcionan una variación distribuida en espesor, a través de los cuales puede ser la causa de una deformación menos extensa que se extiende sobre una longitud mayor. Como resultado, el tubo de revestimiento (54) puede resistir por más tiempo en el caso de LOCA.

35 El procedimiento de fabricación por rodamiento en paso de peregrino hace posible la obtención de tubos de revestimiento (54) de pequeño diámetro y gran longitud sin soldadura. Los hoyos (48) se obtienen directamente durante este proceso sin una etapa de fabricación adicional.

Los hoyos (48) se obtienen en la superficie externa (12) del tubo de revestimiento (54) sin afectar a la superficie interna (8) que permanece lisa y cuyo diámetro depende únicamente del mandril (6).

40 El ajuste de la distribución de hoyos (48) en la superficie externa (12) del tubo de revestimiento (54) se consigue fácilmente mediante el control del avance y la rotación de la pieza en bruto (4) entre cada movimiento oscilante de los troqueles (10).

45 La forma de los hoyos (48) se elige fácilmente con la ayuda de punzones (30) y su profundidad e se ajusta fácilmente mediante el ajuste de los punzones (30). En cualquier caso, los hoyos (48) son cavidades no perforadas totalmente y la profundidad e de los hoyos (48) es menor que el espesor de la pared del tubo de recubrimiento (54).

50 Las ventajas anteriores no se obtendrían en un procedimiento de fabricación de las cavidades por mecanizado del tubo por medios mecánicos, electromecánicos, químicos o láser.

Los siguientes elementos se pueden elegir, en particular, para la producción del tubo de revestimiento (54):

- diámetro exterior D del tubo de revestimiento (54);
- diámetro interno d del tubo de revestimiento (54);
- 55 - espesor de la pared del tubo de revestimiento (54);
- forma de cada hoyo (48);
- radio de curvatura W de la base de cada hoyo (48);
- mayor dimensión del contorno del hoyo (48) (diámetro del contorno circular o longitud del eje mayor del contorno elíptico);
- 60 - profundidad e de cada hoyo (48);
- la densidad de los hoyos (48) en la superficie externa (12) del tubo de revestimiento (54); y
- patrón de distribución de los hoyos (48) en la superficie externa (12) del tubo de revestimiento (54).

65 De acuerdo con un aspecto de la invención, el tubo de revestimiento (54) tiene un diámetro exterior D entre 6 y 20 mm y un espesor de la pared entre 0,4 y 1,5 mm. La base de cada hoyo (48) tiene un radio de curvatura W entre 0,5 mm y 50 mm. Cada hoyo (48) tiene una profundidad e entre 10% y 60% del espesor de pared del tubo

de revestimiento (54). Los hoyos (48) cubren del 10% a 60% de la superficie externa (12) del tubo de revestimiento (54).

5 Estas dimensiones hacen posible la obtención de un tubo de revestimiento (54) que tiene una resistencia mecánica suficiente al mismo tiempo que permite unos intercambios de calor satisfactorios a través del tubo de revestimiento (54) para su uso como tubo de revestimiento para combustible nuclear.

El tubo de revestimiento (54) se produce por ejemplo de una aleación a base de circonio o de acero.

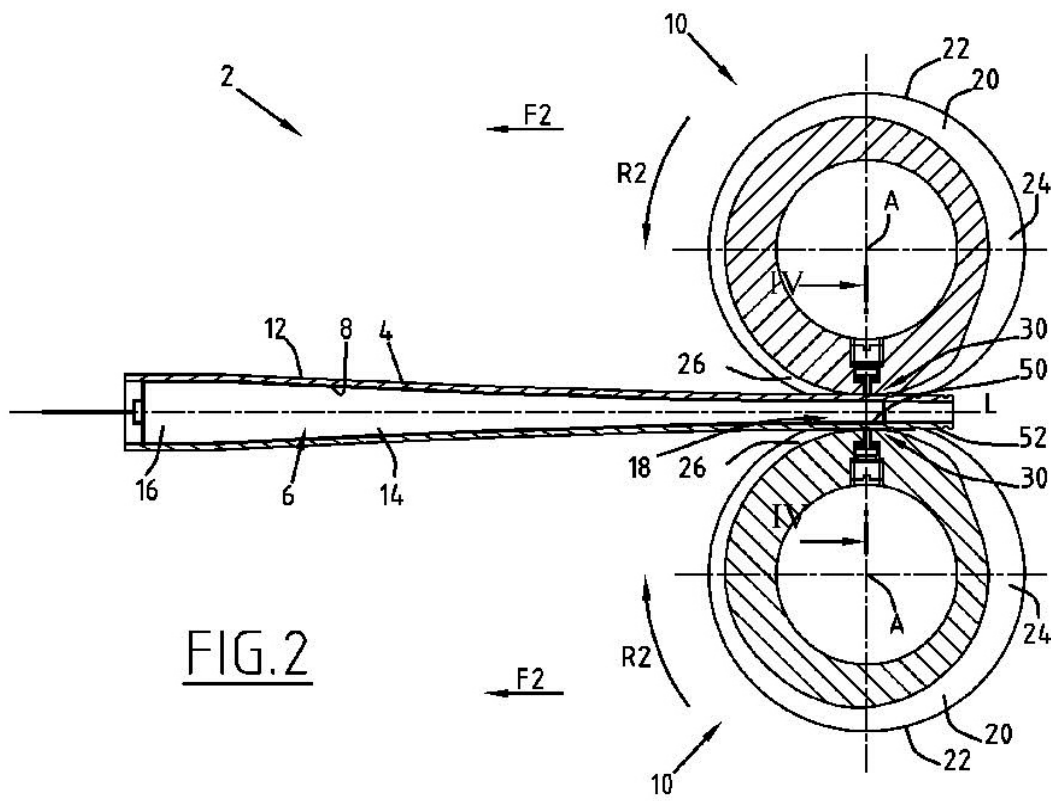
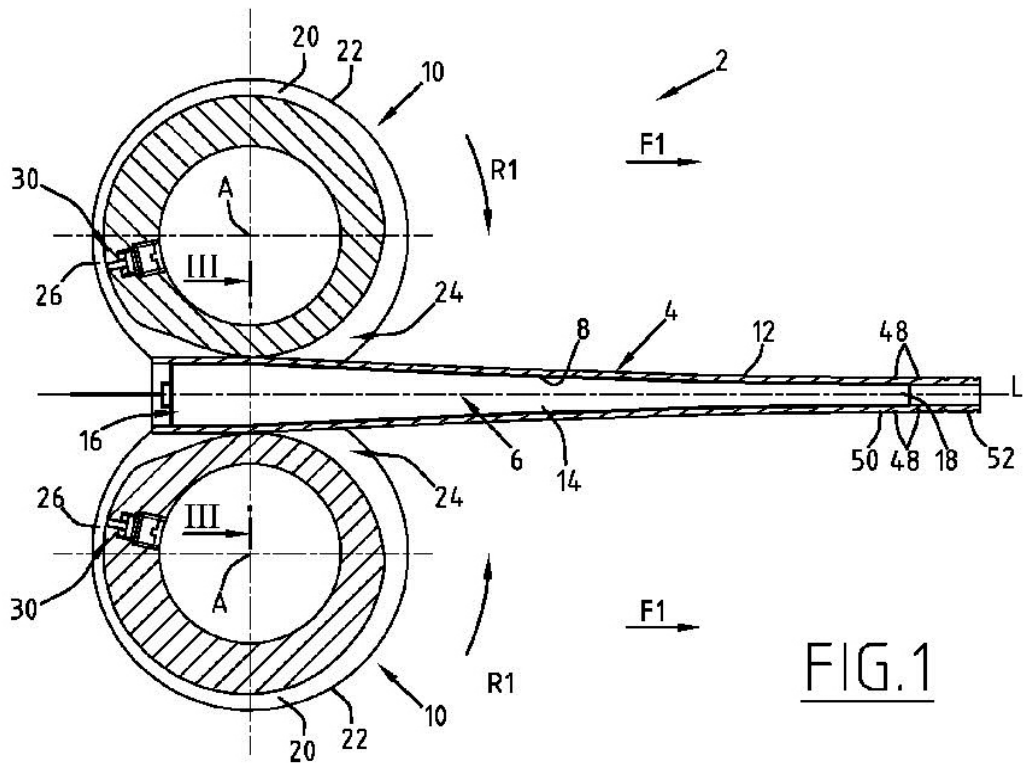
10 La invención es aplicable, en particular, a la fabricación de tubos de revestimiento (54) para combustible nuclear de reactor de agua ligera y, más generalmente, a la fabricación de tubos.

15 En diferentes aplicaciones de los tubos de revestimiento para combustible nuclear, es posible proporcionar un tubo con una superficie interna que no es lisa sino que está provista de relieves longitudinales. Para este propósito se adapta la sección transversal de la zona de calibración (26) del mandril (6).

Reivindicaciones

- 5 1. Tubo de revestimiento para varilla de combustible nuclear (54), hecho de metal, **caracterizado porque** comprende hoyos (48), los hoyos (48) están formados en un parte delantera de su superficie externa (12), cada hoyo (48) tiene una profundidad entre el 10% y 60% del espesor de la pared del tubo de revestimiento (54).
- 10 2. Tubo de revestimiento de acuerdo con la reivindicación 1 que tiene una superficie interna lisa (8).
- 15 3. Tubo de revestimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 que tiene un diámetro externo (D) entre 6 y 20 mm.
- 20 4. Tubo de revestimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores que tiene un espesor de la pared entre 0,4 y 1,5 mm.
- 25 5. Tubo de revestimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que cada hoyo (48) tiene un contorno en forma de elipse o círculo.
- 30 6. Tubo de revestimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el contorno de cada hoyo (48) tiene una dimensión máxima superior a 0,8 mm.
- 35 7. Tubo de revestimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores hecho de una aleación a base de circonio.
- 40 8. Tubo de revestimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que los hoyos (48) se obtienen mediante perforación.
- 45 9. Elemento de combustible nuclear (56) del tipo que comprende un haz de varillas de combustible nuclear (58), cada varilla de combustible (58) comprende un tubo de revestimiento (54) lleno de una pila de pastillas de combustible nuclear (70), caracterizado porque el tubo de revestimiento (54) de al menos una varilla de combustible (58) es un tubo de revestimiento (54) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 50 10. Procedimiento de fabricación por rodamiento en paso de peregrino de metal a partir de una pieza en bruto tubular (4), del tipo en el que la pieza en bruto (4) se deforma progresivamente por rodamiento entre un mandril (6) insertado dentro de la pieza en bruto (4) y dos troqueles (10) dispuestos alrededor del mandril (6) y movidos recíprocamente a lo largo del mandril (6), y por el avance de la pieza en bruto (4) a lo largo del mandril (6) entre los movimientos oscilantes de los troqueles (10), caracterizado porque los hoyos (48) se forman en la superficie externa (12) de la pieza en bruto (4) durante el rodamiento de la pieza en bruto (4).
- 55 11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, en el que los hoyos (48) se forman con la ayuda de al menos un punzón (30) dispuesto en los troqueles (10).
- 60 12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que el diámetro de la pieza en bruto (4) se reduce durante el rodamiento en paso de peregrino.
13. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que los hoyos (48) se forman en un extremo delantero del mandril (6) con respecto a la dirección de avance de la pieza en bruto (4) a lo largo del mandril (6) durante el rodamiento en paso de peregrino.
14. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en el que la pieza en bruto (4) gira alrededor de un eje (L) del mandril (6) entre los movimientos oscilantes de los troqueles (10).
15. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en el que el tubo de metal tiene una superficie interna lisa (8).
16. Aparato de rodamiento en paso de peregrino (2) para la fabricación de un tubo de metal a partir de una pieza en bruto tubular (4), del tipo que comprende al menos dos troqueles (10) y un mandril (6) recibido entre los troqueles (10) montado para llevar a cabo los movimientos oscilantes a lo largo del mandril (6) para enrollar una pieza en bruto (4) encajada en el mandril (6) entre el mandril (6) y los troqueles (10), caracterizado porque al menos uno de los troqueles (10) tiene una superficie externa (12) de una pieza en bruto (4) encajada en el mandril (6) durante los movimientos oscilantes de los troqueles (10).

17. Aparato de acuerdo con la reivindicación 16, en el que cada troquel (10) comprende una ranura periférica (20), las ranuras (20) de los troqueles (10) forman un paso para el mandril (6) entre los troqueles (10), cada punzón (30) está dispuesto en la base de la ranura (20) del troquel (10) correspondiente.
- 5 18. Aparato de acuerdo con la reivindicación 17, en el que el mandril (6) es de forma convergente a lo largo de su eje (L), el o cada punzón (30) está dispuesto en una zona de calibración (26) de la ranura (20) del troquel correspondiente (10) que define el paso para el mandril (6) cuando los troqueles (10) han avanzado y rodean el extremo del mandril (6) con un diámetro más pequeño.
- 10 19. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 16 a 18, en el que cada troquel (10) comprende al menos un punzón (30).



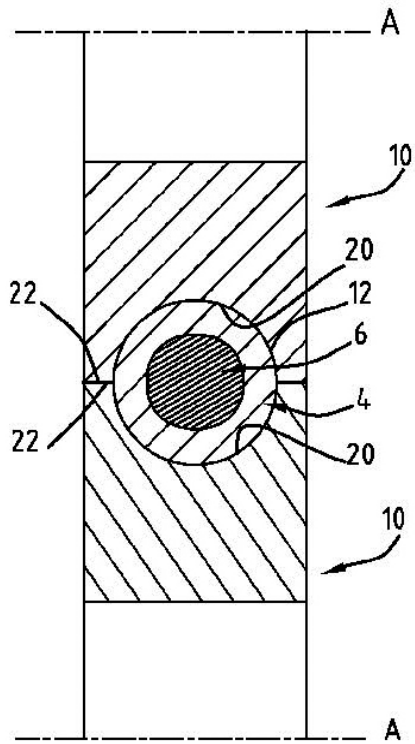


FIG. 3

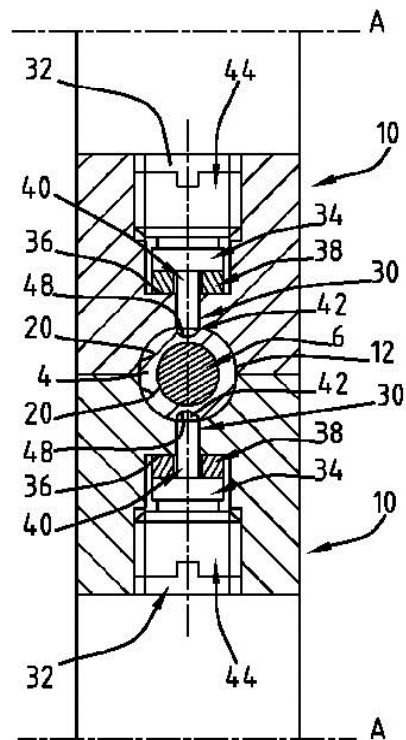


FIG. 4

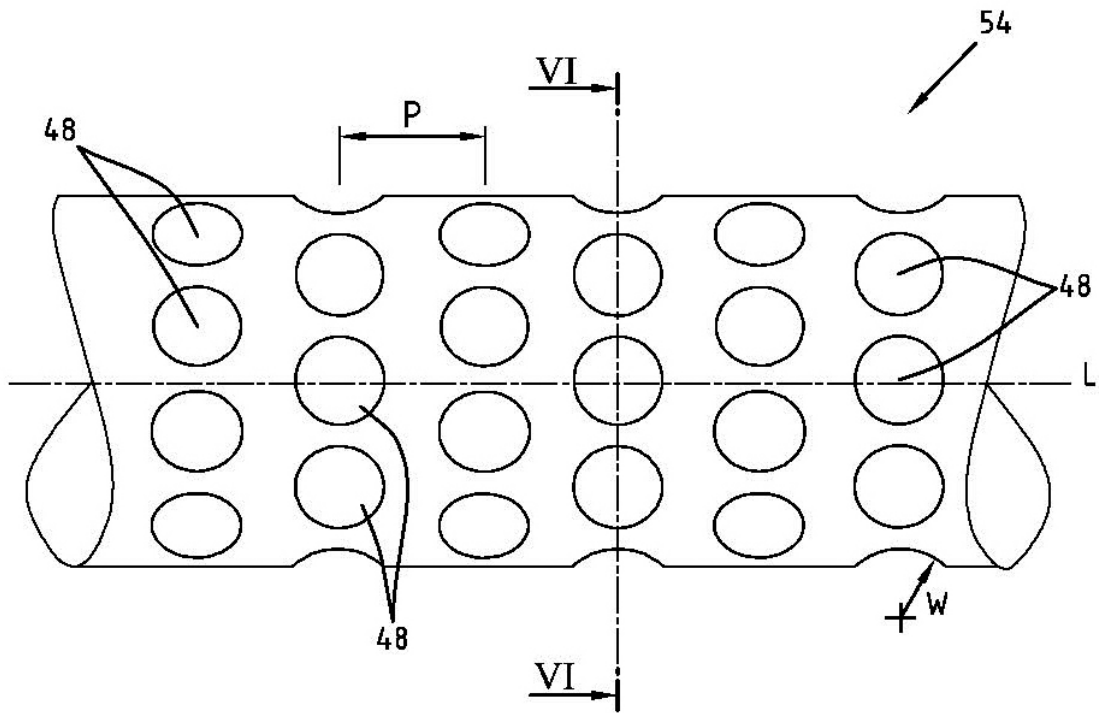


FIG. 5

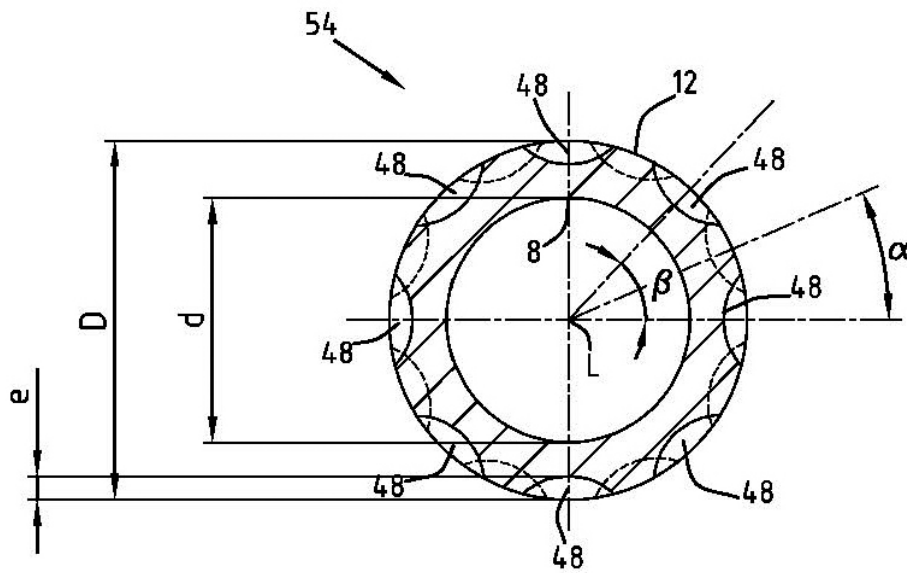


FIG. 6

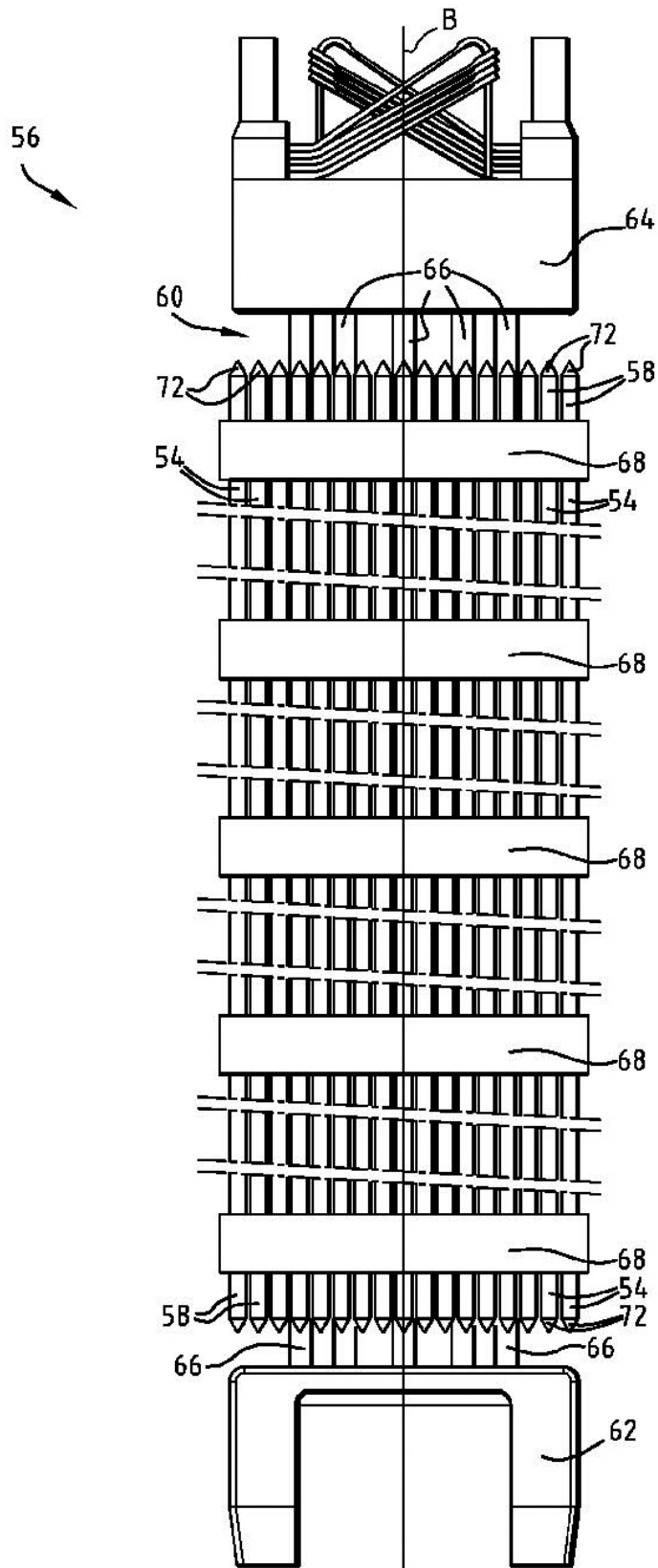


FIG.7

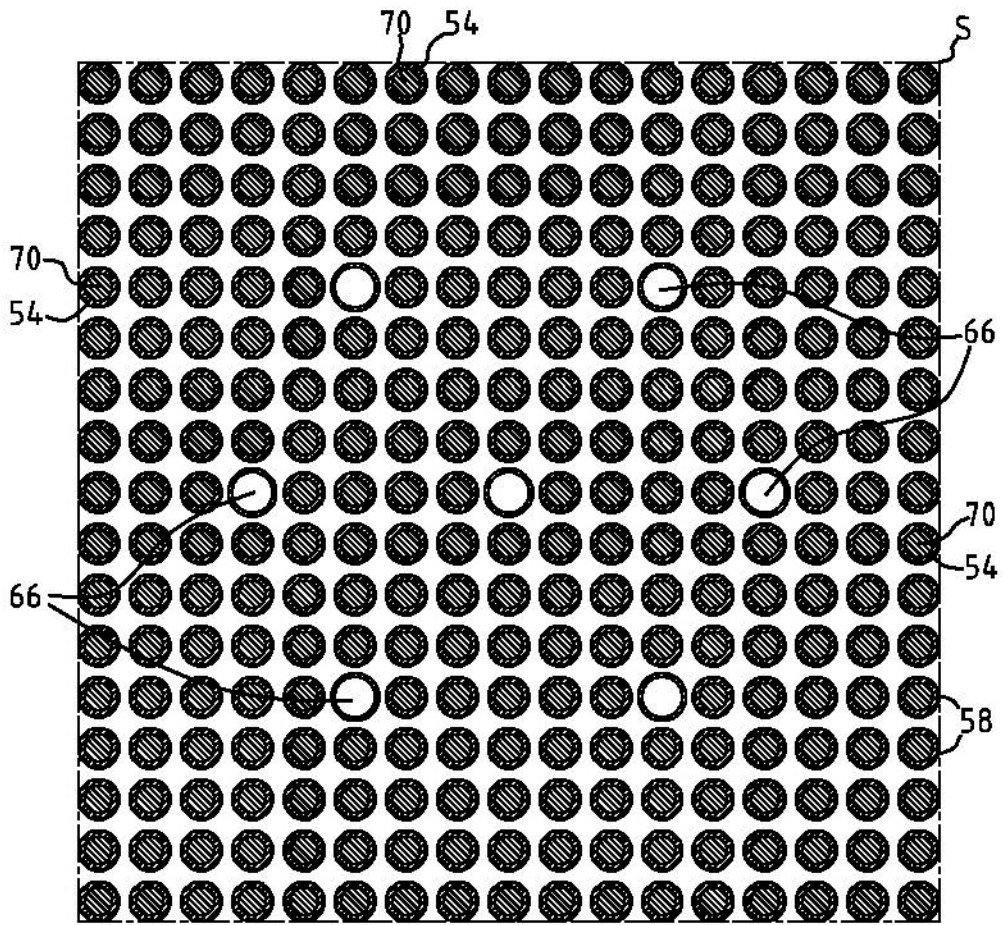


FIG. 8

