



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 289 583**

51 Int. Cl.:  
**G21C 3/33** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04805654 .3**

86 Fecha de presentación : **07.12.2004**

87 Número de publicación de la solicitud: **1697947**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **06.09.2006**

54 Título: **Procedimiento de limitación de los esfuerzos de fijación ejercidos sobre un conjunto de combustible de un reactor nuclear y conjunto de combustible.**

30 Prioridad: **22.12.2003 FR 03 15187**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**01.02.2008**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**01.02.2008**

73 Titular/es: **Areva NP**  
**Tour Areva 1 place de la Coupole**  
**92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es: **Chambrin, Jean-Luc;**  
**Beati, Angelo y**  
**Gentet, Guy**

74 Agente: **Durán Moya, Luis Alfonso**

ES 2 289 583 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).

# ES 2 289 583 T3

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento de limitación de los esfuerzos de fijación ejercidos sobre un conjunto de combustible de un reactor nuclear y conjunto de combustible.

5

La presente invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo de limitación de los esfuerzos de fijación ejercidos sobre un conjunto de combustible de un reactor nuclear para compensar el empuje hidráulico del agua de refrigeración que circula por el conjunto combustible en servicio en el reactor nuclear.

10

Se conocen conjuntos de combustible para reactores nucleares refrigerados por agua y, en particular, para reactores nucleares refrigerados por agua a presión, que comprenden un haz de varillas de combustible paralelas entre ellas, fijadas en un armazón cerrado en sus extremos por cabezales de dirección transversal respecto a la dirección longitudinal axial del conjunto de combustible.

15

En el caso de los reactores nucleares de agua a presión, los conjuntos de combustible presentan generalmente la forma de un paralelepípedo de base cuadrada de gran longitud, en la dirección axial, por ejemplo, cuatro o más metros, que tiene una sección cuyo lado tiene una longitud cercana a 0,20 m. Los cabezales del conjunto de combustible tienen forma cuadrada, uno de los cabezales situado en un primer extremo del conjunto de combustible que está en la parte baja del conjunto de combustible en el reactor en operación constituye el cabezal inferior y comprende, en cada una de las esquinas, una pata destinada a apoyarse en una placa de soporte del núcleo o placa inferior del núcleo. Dos de las patas situadas según una diagonal del cabezal inferior están atravesadas por aberturas destinadas, cada una de ellas, a recibir un tetón de centrado del conjunto combustible que sobresale en la dirección vertical y hacia arriba de la placa inferior del núcleo. Cuando se deposita el conjunto de combustible en la placa inferior del núcleo, se introducen las dos aberturas del cabezal inferior en dos tetones de la placa inferior del núcleo destinados a asegurar la posición vertical del conjunto de combustible sobre los agujeros de paso del agua que atraviesa la placa inferior del núcleo. El cabezal fijado en el segundo extremo del conjunto de combustible, destinado a formar la parte alta cuando el conjunto de combustible se coloca en el núcleo del reactor nuclear, denominado cabezal superior, comprende en particular unos resortes de apoyo de láminas en su superficie superior y dos aberturas de centrado en dos esquinas de la sección cuadrada del cabezal superior. Las aberturas de centrado del cabezal superior del conjunto de combustible están previstas para recibir los tetones de centrado que sobresalen de una placa superior del núcleo, destinada a reposar en la parte superior de los conjuntos de combustible del núcleo que contienen los resortes de apoyo de láminas. La placa superior del reactor nuclear constituye la parte inferior de los componentes internos superiores del reactor nuclear que se montan por encima del núcleo, después de la carga de los conjuntos de combustible en la vasija del reactor nuclear, de forma a asegurar la fijación de los conjuntos de combustible del núcleo. Durante el montaje de la placa superior del núcleo por encima de los conjuntos de combustible situados en el núcleo del reactor, los tetones de centrado de la placa superior del núcleo, dispuestos a la altura de cada uno de los conjuntos de combustibles se introducen en las aberturas de centrado del cabezal superior del conjunto de combustible.

40

Los tetones de centrado de la placa inferior del núcleo y de la placa superior del núcleo tienen una parte de acoplamiento de forma troncocónica y un cuerpo cilíndrico cuyo diámetro es ligeramente inferior al diámetro de la abertura de centrado. Los tetones de centrado aseguran entonces la fijación de los conjuntos de combustible en las direcciones transversales perpendiculares a la dirección longitudinal axial y en la dirección longitudinal, permitiendo, no obstante, los desplazamientos longitudinales para absorber las dilataciones diferenciales en el reactor en operación, estando fijados los conjuntos combustibles en la dirección axial por los resortes de láminas susceptibles de deformarse por flexión. En el reactor en operación, el agua de refrigeración a presión del reactor nuclear atraviesa los conjuntos de combustible en la dirección longitudinal axial y los somete, por este hecho, a un empuje hidráulico en la dirección vertical de abajo a arriba, que se traduce en esfuerzos ejercidos en la estructura del conjunto de combustible y en un ligero desplazamiento de los conjuntos de combustible en la dirección axial y en vibraciones laterales. Para compensar el empuje hidráulico y para evitar un desplazamiento importante del conjunto de combustible bajo el efecto del empuje hidráulico, es necesario prever resortes de láminas que tengan características muy resistentes. Estos resortes de láminas ejercen esfuerzos de compresión importantes en la estructura del conjunto de combustible, de tal modo que es necesario prever armazones de los conjuntos extremadamente resistentes, experimentado estos armazones grandes esfuerzos en el reactor en operación.

55

Por otra parte, durante los regímenes transitorios del núcleo, en los que el caudal de agua de refrigeración es susceptible de variar de manera rápida en el curso del tiempo, el conjunto de combustible puede efectuar oscilaciones y su cabezal inferior, en el momento que el conjunto de combustible retrocede por efecto del empuje de los resortes de láminas, puede llegar a golpear a la placa inferior del núcleo, lo que puede ocasionar un desgaste y un deterioro de los conjuntos de combustible en el reactor nuclear durante períodos de operación prolongados.

60

Por consiguiente, es necesario limitar al máximo los esfuerzos de fijación ejercidos en los conjuntos de combustible para compensar el empuje hidráulico del agua de refrigeración que atraviesa el conjunto de combustible.

65

Se ha propuesto, en la patente FR-A-2.479.535, un dispositivo de limitación de los efectos del empuje hidráulico axial en conjuntos de combustible de reactor nuclear, de manera de poder suprimir los resortes metálicos de apoyo en la parte superior de los conjuntos combustibles y de limitar los desplazamientos rápidos y los choques mecánicos consecutivos de los conjuntos combustibles durante regímenes transitorios. Para eso, se fijan, en los cabezales de los conjuntos de combustible, unos alojamientos tubulares salientes con respecto al cabezal en dirección axial, cerrados

## ES 2 289 583 T3

en un extremo axial fijado en el cabezal y abierto en su otro extremo para recibir un tetón de centrado que se acopla de manera estanca o prácticamente estanca en el interior del alojamiento. El alojamiento comprende, además, una abertura calibrada al lado del cabezal, de tal forma que, durante los desplazamientos axiales de un conjunto de combustible en el reactor nuclear en operación, estos desplazamientos sean frenados y amortiguados por el paso de agua en la  
5 abertura calibrada. Se puede disponer además, en el interior del alojamiento, un casquillo rasgado comprendiendo brazos flexibles cuyo diámetro interior es ligeramente inferior al diámetro del dedo de centrado.

Tal dispositivo es complejo y necesita una modificación sustancial de los cabezales del conjunto de combustible. Especialmente, es muy difícil modificar los conjuntos combustibles existentes para limitar los efectos de compresión  
10 ejercidos en la estructura del conjunto combustible para compensar el empuje hidráulico en el conjunto de combustible en operación.

El objetivo de la invención es dar a conocer de esta manera un procedimiento de limitación de los esfuerzos de fijación ejercidos en un conjunto de combustible de un reactor nuclear para compensar el empuje hidráulico del  
15 agua de refrigeración que atraviesa el conjunto de combustible en servicio en el reactor nuclear, comprendiendo el conjunto de combustible un armazón que contiene un haz de varillas de combustible paralelas entre ellas; cerrada en sus extremos por unos cabezales transversales perpendiculares a la dirección longitudinal del conjunto de combustible, según la cual circula el agua de refrigeración, comprendiendo cada uno de los cabezales por lo menos dos aberturas que atraviesan axialmente destinadas a recibir cada una un tetón de centrado de una placa inferior de soporte del núcleo  
20 o de una placa superior del núcleo, pudiendo aplicarse este procedimiento en los conjuntos de combustibles nuevos o en los conjuntos de combustible habituales, de forma que se puedan utilizar resortes de láminas de características mas débiles ejerciendo una compresión reducida en el conjunto de combustible y que se limiten los desplazamientos o choques del conjunto de combustible en el reactor en operación.

Con este objeto, se realiza la fabricación y el aprovisionamiento de un casquillo elástico de acoplamiento frotante de un tetón de centrado, para al menos una abertura de centrado, de por lo menos un cabezal del conjunto de combustible, comprendiendo el casquillo elástico un cuerpo anular que tiene una parte de fijación cuyo diámetro exterior es máximo y por lo menos igual al diámetro de la abertura de centrado del cabezal, siguiendo una parte de su longitud axial, por lo menos dos ramas flexibles separadas una de la otra por lo menos dos ranuras de dirección axial en toda  
30 la longitud del casquillo entre la parte de fijación y un extremo axial libre del casquillo, según la cual el casquillo presenta un diámetro exterior inferior al diámetro de la abertura de centrado y una superficie anular de apoyo en voladizo radial en el interior del casquillo en la parte del extremo libre de las ramas flexibles, cuyo diámetro interior es inferior al diámetro de los tetones de centrado,

35 - se hacen las aberturas de por lo menos un cabezal del conjunto combustible de un diámetro sensiblemente igual al diámetro exterior de la parte de fijación del casquillo elástico, y

- se fija un casquillo elástico en la abertura de los cabezales del conjunto de combustible.

40 Según los modos particulares de aplicación:

- el casquillo elástico se fija en la abertura del cabezal del conjunto de combustible mediante uno de los siguientes procedimientos: embutido, expansionado, soldadura, atornillado;

45 - se fijan los casquillos elásticos en las aberturas transversales de únicamente uno de los cabezales del conjunto de combustible y preferentemente en las aberturas transversales del cabezal inferior;

- se fijan los casquillos elásticos en las aberturas transversales de cada uno de los cabezales superior e inferior del conjunto de combustible;

50 - se fabrican casquillos elásticos cuyo diámetro interior sea superior al diámetro de la parte cilíndrica de acoplamiento de los tetones de centrado, para tener en cuenta las tolerancias en el diámetro de la parte cilíndrica de acoplamiento del tetón de centrado y en la separación entre los tetones de centrado destinados a ser acoplados en el cabezal de un conjunto de combustible;

55 - se prevén arcos de forma elíptica y arcos de forma circular de contacto con el tetón de centrado en la superficie anular de apoyo en el interior del casquillo, para optimizar el contacto y el rozamiento de un tetón de centrado con la parte de apoyo del casquillo elástico, durante los desplazamientos del conjunto de combustible en la dirección vertical bajo el efecto del empuje hidráulico.

60 La invención se refiere igualmente a un conjunto de combustible de un reactor nuclear, que comprende un armazón que contiene un haz de varillas de combustible paralelas entre sí, cerrado en sus extremos por cabezales transversales perpendiculares a la dirección longitudinal del conjunto de combustible, según la cual circula el agua de refrigeración, comprendiendo cada uno de los cabezales por lo menos dos aberturas que los atraviesan axialmente destinadas a recibir  
65 cada una un tetón de centrado de la placa inferior del núcleo o de la placa superior del núcleo, caracterizado porque en el interior de por lo menos una abertura transversal de al menos uno de los cabezales del conjunto de combustible, está fijado un casquillo elástico que comprende un cuerpo anular que tiene una parte de fijación, cuyo diámetro exterior es máximo y por lo menos igual al diámetro de la abertura transversal según una parte de su longitud axial, por lo

## ES 2 289 583 T3

5 menos dos ramas flexibles separadas una de la otra por al menos dos ranuras de dirección axial en toda la longitud del casquillo entre la parte de fijación y el extremo libre del casquillo, teniendo un diámetro exterior inferior al diámetro de la parte de fijación y una superficie anular de apoyo en voladizo radial en el interior del casquillo en una parte del extremo libre de las ramas flexibles, cuyo diámetro interior es inferior al diámetro de los tetones de centrado destinados a ser introducidos en las aberturas del cabezal.

Preferentemente:

10 - las aberturas transversales del cabezal del conjunto de combustible, en las cuales se fija el casquillo elástico tienen un diámetro sensiblemente superior al diámetro de los tetones de centrado, estando determinado el diámetro de las aberturas transversales por la siguiente ecuación:  $DD = DB + DI - DC$ , en la cual DD es el diámetro del escariado de la abertura transversal del cabezal, DI es el diámetro interior de la parte corriente del casquillo elástico, DB es el diámetro exterior de los brazos flexibles del casquillo y DC es el diámetro de la parte de apoyo interior de las ramas elásticas del casquillo.

15 - el diámetro interior de la parte corriente del casquillo elástico es superior al diámetro del tetón de centrado, para tener en cuenta las tolerancias en el diámetro de los tetones de centrado y en la separación de los tetones de centrado destinados a ser introducidos en el cabezal del conjunto de combustible.

20 Con el fin de comprender mejor la invención, se describe a continuación, a título de ejemplo, un modo de realización del procedimiento según la invención y del casquillo elástico utilizado en la ejecución del procedimiento.

25 La figura 1 es una vista, en perspectiva, de un conjunto de combustible de un reactor nuclear de agua a presión en posición de operación en el núcleo del reactor nuclear entre la placa inferior y la placa superior del núcleo.

La figura 2 es una vista, en sección axial, de un casquillo elástico montado en el cabezal del conjunto combustible, después de la aplicación del procedimiento según la invención.

30 La figura 3 es una vista, en sección transversal, según (3-3) de la figura 2.

Las figuras 4A y 4B son vistas de la parte superior de los tetones de centrado de la placa inferior del núcleo del reactor, introducidos en dos casquillos elásticos de un cabezal inferior de un conjunto de combustible.

35 La figura 4A se refiere a una primera variante de realización y la figura 4B a una segunda variante de realización.

La figura 5 es una vista, en alzado y en sección parcial, de un tetón de centrado de la placa inferior de soporte del núcleo de un reactor nuclear.

40 En la figura 1, se ha representado un conjunto de combustible de un reactor nuclear refrigerado por agua a presión, designado de forma general por la marca (1), en la posición de operación en el núcleo del reactor nuclear, entre la placa inferior del núcleo (2) y la placa superior del núcleo (3).

45 El conjunto de combustible (1) comprende un armazón constituido principalmente por rejillas-separadoras tales como las (4a) y (4b) que aseguran la conservación de las varillas de combustible (5) del conjunto de combustible en forma de haz, en el que todas las varillas están paralelas entre sí y se mantienen en las direcciones transversales en el interior de celdas de las rejillas-separadoras dispuestas según una red regular de malla cuadrada. El armazón del conjunto de combustible comprende igualmente los tubos-guía (6) de una longitud superior a la longitud de las varillas (5), un cabezal inferior (7) y un cabezal superior (8) fijados en los extremos de los tubos-guía (6) en voladizo axial con respecto a los extremos del haz de varilla (5).

50 El cabezal inferior (7) del conjunto de combustible comprende una placa transversal de forma cuadrada y unas patas (9) solidarias a la placa (7) a la altura de cada una de sus esquinas. El conjunto de combustible (1), como se aprecia en la figura 1, se apoya en la placa inferior del núcleo (2) por medio de las patas (9). Dos de las patas (9), dispuestas según una diagonal del cabezal (7) de forma cuadrada, están atravesadas por aberturas (10), en cada una de las cuales se introduce un tetón de centrado (11) en voladizo sobre la superficie superior de la placa de soporte del núcleo (2), sobre la que se deposita el conjunto de combustible, permitiendo los tetones (11) introducidos en las aberturas (10) de las dos patas del conjunto de combustible asegurar el posicionamiento y el centrado del conjunto de combustible en la placa inferior del núcleo (2). La placa inferior del núcleo (2) es atravesada por aberturas de paso de agua. Normalmente se disponen de cuatro aberturas de paso de agua verticales a cada uno de los conjuntos de combustible (1) del núcleo del reactor nuclear y desembocan en la parte inferior de la placa transversal del cabezal inferior, que es atravesada por orificios de paso de agua calibrados asegurando el reparto del agua de refrigeración del reactor entre las varillas de combustible (5) del haz del conjunto de combustible.

65 Durante la carga del núcleo del reactor nuclear, las caras verticales planas que delimitan los conjuntos de combustible (1) de forma paralelepédica de base cuadrada se sitúan en posiciones adyacentes, estando sensiblemente en contacto las superficies periféricas externas de las rejillas-separadoras de los conjuntos de combustible.

## ES 2 289 583 T3

El armazón del conjunto de combustible (1) comprende también un cabezal superior (8) fijado en los extremos superiores de los tubos-guía (6). El cabezal superior (8) del conjunto de combustible que se representa en la figura 1 comprende un marco (8a) de sección cuadrada y una placa transversal solidaria del cuadro (8a) atravesada por

5

En dos ángulos del marco (8a) dispuestos según una diagonal del cabezal, están situadas dos aberturas (12) destinadas a recibir cada una un tetón de centrado (13) que sobresale por debajo de la placa superior del núcleo (3) del reactor nuclear, durante el montaje de la placa superior del núcleo (3) sobre los conjuntos de combustible cargados en el núcleo.

10

Siguiendo la dirección de cada lado del marco (8a), se sitúa un conjunto de resortes de láminas (14) destinados a asegurar la fijación del conjunto de combustible por debajo de la placa superior del núcleo (3). Cada uno de los conjuntos de resortes de láminas (14) se fija en el marco (8a) del cabezal a la altura de un ángulo del marco (8a), la fijación de los cuatro conjuntos de resortes de láminas se asegura a la altura de dos ángulos del cuadro dispuestos en la segunda diagonal del cuadro (8a) perpendicular a la diagonal en la que están situadas las aberturas (12) de introducción de los tetones (13) de la placa superior del núcleo.

15

Después de la carga del núcleo del reactor nuclear, en el interior de la vasija del reactor, cada uno de los conjuntos de combustible que viene a reposar en una posición determinada en la placa inferior del núcleo, se vuelven a colocar por encima del núcleo los componentes internos superiores del reactor nuclear que comprende, en su parte inferior, la placa superior del núcleo, cuyos tetones de guiado se introducen en las aberturas de los cabezales superiores de los conjuntos de combustible. Los resortes de láminas (14) son comprimidos por el peso de los componentes internos superiores y por la presión inducida por el cierre de la cabeza de la vasija, siendo transmitidas las fuerzas de compresión a la estructura del conjunto de combustible que comprende el armazón y el haz de varillas.

25

La utilización de los resortes de láminas para asegurar el apoyo de la placa superior del núcleo en los conjuntos de combustible se muestra necesario por el hecho que aparecen dilataciones diferenciales entre las estructuras del reactor nuclear y los conjuntos de combustible, durante la subida de temperatura en el reactor nuclear hasta la temperatura de funcionamiento. Las dilataciones diferenciales son absorbidas por los resortes de compresión (14) de los conjuntos de combustible.

30

Durante el funcionamiento del reactor nuclear, el agua de refrigeración circula entre los conjuntos de combustible a una gran velocidad, de manera que los conjuntos de combustible están sometidos a un empuje hidráulico en la dirección vertical y de abajo a arriba, es decir según el sentido de la circulación del agua de refrigeración. Para suprimir o limitar lo máximo posible los desplazamientos de los conjuntos de combustible bajo el efecto del empuje hidráulico, en especial durante las fases transitorias de funcionamiento del reactor, se utilizan resortes de láminas (14) que tengan características elevadas, es decir, resortes de láminas por medio de los cuales se transmiten las importantes fuerzas de compresión a las estructuras de los conjuntos de combustible. La utilización de resortes de características elevadas permite limitar o suprimir los desplazamientos verticales de los conjuntos combustible y las vibraciones laterales, lo que permite evitar en especial los choques violentos de los cabezales inferiores de los conjuntos de combustible en la placa inferior del núcleo, después de un levantamiento del conjunto de combustible bajo el efecto del empuje hidráulico.

35

40

Con el objetivo de limitar las fuerzas de compresión ejercidas en los conjuntos de combustible del núcleo de un reactor nuclear, se ha ideado producir fuerzas que se opongan al desplazamiento vertical de los conjuntos de combustible bajo el efecto del empuje hidráulico, además de los resortes de fijación.

45

Según la invención, la limitación de los esfuerzos de compresión que se oponen al empuje hidráulico se obtiene creando un rozamiento mecánico entre los tetones de centrado de al menos una de las placas inferior y superior del núcleo en el interior de las aberturas de paso de por lo menos uno de los cabezales del conjunto de combustible.

50

El procedimiento según la invención permite realizar o modificar los conjuntos nuevos así como los conjuntos habituales para obtener una reducción sustancial o una supresión de los desplazamientos verticales y las vibraciones laterales de los conjuntos de combustible en el núcleo del reactor nuclear bajo el efecto del empuje hidráulico, limitando de forma sustancial los esfuerzos de fijación ejercidos en el conjunto de combustible.

55

Las figuras 2 y 3 se refieren a la aplicación del procedimiento según la invención por frenado del conjunto de combustible a la altura de su cabezal inferior.

60

En la figura 2, se ha representado una parte de una pata (9) del cabezal inferior de un conjunto de combustible destinado a apoyarse en la placa inferior del núcleo del reactor nuclear.

El procedimiento de limitación según la invención consiste en introducir y fijar, en el interior de una abertura transversal de la pata (9) del cabezal inferior, un casquillo elástico (15) destinado a recibir, en su escariado interno, un tetón de centrado de la placa inferior del núcleo del reactor nuclear.

65

## ES 2 289 583 T3

El casquillo elástico (15) está realizado en forma de casquillo rasgado comprendiendo cuatro ramas flexibles (16) separadas una de otra por cuatro hendiduras (17) axiales que se extienden en una parte de la longitud del casquillo flexible (15).

5 El casquillo flexible (15) comprende una parte para fijación (15a) en el interior del orificio (18) que atraviesa la pata (9) del cabezal inferior del conjunto de combustible. La parte de fijación (15a) del casquillo elástico está situada en uno de los extremos axiales del casquillo (15) y se extiende en una longitud axial que puede ser, por ejemplo, del orden del 10% al 20% de la longitud axial total del casquillo elástico. Las ramas elásticas (16) y las hendiduras (17) del casquillo se extienden según la parte restante del casquillo, entre la parte de fijación (15a) y el extremo libre de las  
10 ramas flexibles (16).

El diámetro exterior del casquillo tubular, en la parte de fijación (15a), es apreciablemente igual al diámetro DA de la abertura (18) en la parte superior de la pata (9) del cabezal.

15 Tal como se ha representado en las figuras 2 y 3, el casquillo está fijado en el interior de la abertura (18) del cabezal. El casquillo (15) puede fijarse en la abertura (18) de la pata (9) del cabezal, ya sea introduciéndolo a la fuerza o embutido, o por soldadura, en el caso en que los materiales que constituyen la pata (9) del cabezal y el casquillo elástico (5) sean compatibles metalúrgicamente.

20 En el caso de la fabricación de conjuntos de combustible (9), el diámetro (DA) de la abertura (18) y por tanto el diámetro exterior de la parte de fijación (15a) del casquillo elástico (15) puede seleccionarse de forma que se pueda introducir un casquillo (15) que tenga un espesor de pared determinado, teniendo en cuenta el diámetro de los tetones de guiado de la placa inferior del núcleo. En todos los casos por supuesto, el diámetro de la abertura (18) es superior al diámetro de los tetones de guiado que deben ser introducidos en el interior del casquillo elástico (15) fijado en la  
25 abertura transversal (18) de la pata (9) del cabezal inferior.

En el caso de un conjunto de combustible existente, por ejemplo, un conjunto de combustible nuevo de tipo clásico o un conjunto de combustible habitual, las patas (9) del cabezal inferior del conjunto de combustible están atravesadas por aberturas que tienen un diámetro que solo es ligeramente superior al diámetro de los tetones de guiado de la  
30 placa inferior del núcleo. En este caso, se efectúa, para el montaje del casquillo (15) de dimensiones optimizadas, un rectificado de la abertura de la pata del cabezal para obtener una abertura (18) en la que se pueda fijar el casquillo (15) por su parte de fijación (15a).

35 El casquillo (15) comprende, en un extremo libre de cada una de sus ramas elásticas (16), en la parte opuesta de la unión de la rama elástica (16) a la parte de fijación (15a) del casquillo, una pestaña (19) en voladizo radial hacia el interior del casquillo, constituyendo las cuatro pestañas en voladizo de las cuatro ramas elásticas (16) una parte de apoyo (19) sensiblemente anular discontinua.

40 Las características geométricas del casquillo que definen el acoplamiento y por tanto la fuerza de rozamiento en el dedo de acoplamiento introducido en el casquillo, comprenden, en especial, el diámetro exterior (DB) de las ramas elásticas del casquillo, el diámetro interior (DC) de las ramas elásticas del casquillo, a la altura de la superficie de apoyo (19) de forma anular en el tetón de centrado introducido en el casquillo elástico (15) y el diámetro (DD) de la parte del escariado (18) enfrente del extremo libre de las ramas elásticas (16) del casquillo (15).

45 Normalmente, el diámetro (DD) es igual al diámetro (DA), teniendo el orificio (18) que atraviesa la pata del cabezal un diámetro constante. No obstante, es posible prever un diámetro distinto del orificio (18) en la zona de fijación del casquillo y en la parte que reciban las ramas elásticas (16).

50 El diámetro interior de apoyo (DC) de las ramas elásticas debe ser igual al diámetro exterior de un tetón de centrado de la placa inferior del núcleo menos un cierto valor de ajuste que puede calcularse en función del esfuerzo de rozamiento alcanzado en la dirección vertical entre el tetón de centrado y el casquillo flexible. El cálculo del ajuste debe tener en cuenta la longitud y la rigidez de las ramas flexibles y las sollicitaciones vibratorias laterales a las que está sometido el conjunto de combustible.

55 El diámetro interior (DI) del casquillo elástico (15), fuera de la parte de apoyo (19), debe ser superior al diámetro de los tetones de centrado de la placa inferior del núcleo, para tener en cuenta las incertidumbres en la posición de los tetones de centrado de los conjuntos de combustible.

60 Con el fin de limitar el movimiento entre el casquillo y el tetón de centrado de la placa inferior del núcleo en situación accidental, se puede calcular el diámetro (DD) de la zona de escariado (18) situada frente a las ramas flexibles, en función de los diámetros externos e internos de las ramas flexibles, mediante la siguiente fórmula:

$$DD = DB + DI - DC.$$

65 De esta forma, el juego diametral alrededor de las ramas flexibles (16) del casquillo (15) es igual al desplazamiento máximo de las ramas (16) deformadas por flexión, durante la introducción de un tetón de centrado en el casquillo (15). Además, el apoyo entre el casquillo (15) y el tetón de centrado que se efectúa a la altura de la superficie de apoyo

## ES 2 289 583 T3

(19) al lado de los extremos libres de las ramas flexibles (16) y situado en la proximidad inmediata de la superficie de apoyo de la pata (9) en la placa inferior del núcleo, permite evitar las sollicitaciones de flexión en el tetón de centrado. En el caso de sollicitación transversal en condición accidental, debido al valor elegido del diámetro (DD) por el cálculo mencionado anteriormente, las ramas flexibles (16) están apoyadas en la superficie interior de la abertura (18) y el tetón de centrado no está sollicitado por flexión, por el hecho de que está sostenido en una parte de su superficie próxima de la placa inferior del núcleo.

El cálculo y la determinación del diámetro (DD) permiten realizar el escariado (18), por mecanizado o por remecanizado de las patas del cabezal inferior del conjunto de combustible.

Para obtener una limitación sustancial de las fuerzas de compresión ejercidas en el conjunto de combustible para asegurar su fijación, puede ser necesario colocar casquillos elásticos, tanto en las aberturas del cabezal inferior de los conjuntos de combustible como en las aberturas transversales del cabezal superior. En este caso, el frenado se realiza tanto en la superficie de los tetones de guiado de la placa inferior del núcleo como en la superficie de los tetones de la placa superior del núcleo.

No se describirá la realización y el montaje de los casquillos elásticos que pueden colocarse en las aberturas (12) del marco (8a) del cabezal superior de un conjunto de combustible, realizándose el montaje de los casquillos elásticos de frenado en las aberturas del cabezal superior de forma análoga al montaje de los casquillos elásticos en las aberturas transversales de las patas del cabezal inferior del conjunto de combustible.

Los casquillos elásticos (15) pueden fabricarse con un material de límite elástico elevado y que sea poco sensible a la deformación. Se pueden utilizar, en particular, aleaciones de níquel tales como la aleación 750 o la aleación 718, acero inoxidable martensítico tal como el acero Z12CN13 o también titanio o una de sus aleaciones. Siendo normalmente los cabezales de los conjuntos de combustible de acero inoxidable austenítico, la fijación de los casquillos elásticos por abrazaderas en las aberturas pasantes de los cabezales puede plantear ciertos problemas, por el hecho de que los materiales elásticos considerados para los casquillos presentan coeficientes de dilatación inferiores al de los aceros austeníticos. En ciertos casos, es posible y preferible realizar la unión entre el casquillo elástico y el cabezal por soldadura. En otros casos, puede ser necesario recurrir a un ensamblaje atornillado entre el casquillo elástico y el cabezal, proveyendo un bloqueo del ensamblaje atornillado para hacer que el casquillo elástico no se pueda aflojar.

La utilización de casquillos elásticos tales como los casquillos descritos permite obtener esfuerzos de rozamiento de algunas centenas de daN por cabezal y, por ejemplo, de 300 a 400 daN por conjunto.

La obtención de tales esfuerzos de rozamiento axial entre el conjunto de combustible y los tetones de centrado del conjunto permite reducir considerablemente el esfuerzo de compresión ejercido en el conjunto de combustible. La reducción del esfuerzo de compresión obtenido puede ser así del 50% o superior, lo que permite conservar la estructura del conjunto de combustible.

En la figura 5, se ha representado un tetón (11) fijado en la placa inferior del núcleo (2), por medio de una tuerca (11') atornillada en una parte fileteada del tetón de centrado (11) introducido en una abertura transversal de la placa inferior del núcleo (2).

Tal como se aprecia en la figura 4A, dos tetones (11) están fijados en la placa inferior del núcleo (2) verticales con relación a cada uno de los conjuntos de combustible en las disposiciones que permiten su introducción en dos aberturas del cabezal inferior del conjunto de combustible.

Los tetones (11) están dispuestos en la placa inferior del núcleo, de una y otra parte de dos orificios de paso del agua (20) destinados a asegurar el paso del agua de alimentación hacia el conjunto de combustible.

Se han representado igualmente, en la figura 4A, dos casquillos elásticos (15) según la invención, que se han introducido previamente en el cabezal inferior del conjunto de combustible destinado a apoyarse en la placa inferior del núcleo en la posición representada en la figura 4A, los casquillos elásticos (15) se han fijado en el interior de las aberturas transversales del cabezal, tal como se ha descrito anteriormente, viniendo a acoplarse en los tetones (11). Para asegurar una introducción de los casquillos elásticos (15) en los tetones (11) en condiciones satisfactorias, es decir, sin ejercer esfuerzos de flexión excesivos en los tetones (11), es necesario tener en cuenta, en el momento de la realización y de la fijación de los casquillos elásticos en el cabezal del conjunto de combustible, las tolerancias admitidas en el diámetro (DS) (véase la figura 5) de la parte cilíndrica del tetón de centrado (11) y en las distancias (L1) y (L2) entre las generatrices más cercanas y las generatrices más alejadas de la superficie cilíndrica de los tetones de centrado.

Se ha efectuado una estadística del conjunto de tetones de la placa inferior del núcleo de un reactor nuclear y se han determinado las horquillas máximas de variación de los parámetros (DS), (L1) y (L2).

Se ha deducido a partir de ello el diámetro interior (DI) que es necesario prever para los casquillos elásticos.

Tal como se ha descrito anteriormente, se deduce el diámetro (DD) del escariado transversal del cabezal que se debe prever o mecanizar para el montaje del casquillo (15).

## ES 2 289 583 T3

Además, los casquillos elásticos (15) deben montarse, en cada uno de los conjuntos de combustible, en una orientación que permita a la vez asegurar el centrado fácil del casquillo en los tetones (11) de la placa inferior del núcleo (2) y un buen cierre de los casquillos que asegure una fuerza de rozamiento que permita reducir notablemente la fuerza de compresión a ejercer en el conjunto de combustible.

5

Estos dos objetivos contradictorios pueden ser conciliados, tal como se ha representado en la figura 4B, utilizando casquillos que tengan arcos de apoyo elípticos y orientando los casquillos para asegurar un cierre más fuerte en la dirección perpendicular a la diagonal, según la cual se disponen los casquillos elásticos (15).

10

La invención permite reducir de esta forma de manera simple y eficaz, la fuerza de fijación necesaria y la fuerza de compresión en la estructura de un conjunto de combustible, lo que permite utilizar estructuras ligeras para los conjuntos de combustible.

15

La invención no se limita a los modos de realización que se han descrito.

De esta manera, los casquillos elásticos pueden presentar una forma diferente de la que se ha descrito y los casquillos elásticos pueden asociarse con cualquier otro medio de frenado de los desplazamientos verticales del conjunto de combustible.

20

La invención se aplica a todo tipo de reactor nuclear refrigerado por agua.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de limitación de los esfuerzos de fijación ejercidos sobre un conjunto de combustible (1) de un reactor nuclear para compensar el empuje hidráulico del agua de refrigeración que atraviesa el conjunto de combustible (1) en funcionamiento en el reactor nuclear, comprendiendo el conjunto de combustible un armazón que contiene un haz de varillas combustibles (5) paralelas entre ellas, cerrado en sus extremos por dos cabezales transversales (7, 8) perpendiculares a la dirección longitudinal del conjunto de combustible (1), según la que circula el agua de refrigeración, comprendiendo cada uno de los cabezales (7, 8) por lo menos dos aberturas transversales de centrado (10, 12), cada una de ellas destinada a recibir un tetón de centrado (11, 13) de la placa inferior de soporte del núcleo (2) o de la placa superior del núcleo (3), **caracterizado** porque se realiza la fabricación de un casquillo elástico para introducirlo por rozamiento (15) en un tetón de centrado (11, 13), por al menos una abertura de centrado de uno al menos de los cabezales (7, 8) del conjunto de combustible (1), comprendiendo el casquillo elástico un cuerpo anular que tiene una parte de fijación (15a), cuyo diámetro exterior es máximo y como mínimo igual al diámetro de la abertura de centrado (10, 12, 18) del cabezal (7, 8), según una parte de su longitud axial, por lo menos dos ramas flexibles (16) separadas una de la otra por al menos dos hendiduras (17) de dirección axial en toda la longitud del casquillo elástico (15) entre la parte de fijación (15a) y el extremo libre del casquillo (15), comprendiendo esta parte del casquillo ramas flexibles (16) que tienen un diámetro exterior inferior al diámetro de la abertura de centrado y una superficie anular de apoyo (19) en voladizo radial en el interior del casquillo (15) en la parte del extremo libre de las ramas flexibles (16), cuyo diámetro interior es inferior al diámetro de los tetones de centrado (11, 13), que se realiza dicha abertura (10, 12, 18) como mínimo en uno de los cabezales (7, 8) del conjunto de combustible (1) de un diámetro sensiblemente igual al diámetro exterior de la parte de fijación (15a) del casquillo elástico y que se fija el casquillo elástico (15) en dicha abertura de, como mínimo, uno de dichos cabezales (7, 8).

2. Procedimiento, según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el casquillo elástico (15) está fijado en la abertura (10, 12) del cabezal (7, 8) del conjunto de combustible al menos por uno de los siguientes procedimientos: embutido, expansionado, soldadura, atornillado.

3. Procedimiento, según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se fijan los casquillos elásticos (15) en las aberturas transversales (10, 12, 18) únicamente en uno de los cabezales (7,8) del conjunto de combustible y preferentemente en las aberturas transversales (10, 18) del cabezal inferior (7).

4. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado** porque se fijan los casquillos elásticos (15) en las aberturas transversales de cada uno de los cabezales superior (8) e inferior (9) del conjunto de combustible.

5. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque se fabrican los casquillos elásticos cuyo diámetro interior (DI) es superior al diámetro de una parte cilíndrica de introducción de los tetones de centrado (11, 13), para tener en cuenta las tolerancias en el diámetro de la parte cilíndrica de introducción del tetón de centrado y en la separación entre los tetones de centrado destinados a ser acoplados en el cabezal del conjunto de combustible.

6. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque se prevén arcos de forma elíptica y arcos de forma circular de contacto con el tetón de centrado (11, 13) en la superficie anular de apoyo (19) en el interior del casquillo (15), para optimizar el contacto y el rozamiento del tetón de centrado (11, 13) con la parte de apoyo (19) del casquillo elástico (15), durante los desplazamientos del conjunto de combustible en la dirección vertical bajo el efecto del empuje hidráulico.

7. Conjunto de combustible de un reactor nuclear, constituido por un armazón que contiene un haz de varillas combustibles (5) paralelas entre ellas, cerrado en sus extremos por dos cabezales transversales (8, 9) perpendiculares a la dirección longitudinal del conjunto de combustible (1) en la que circula el agua de refrigeración, comprendiendo cada uno de los cabezales (7, 8) por lo menos dos aberturas transversales axiales (10, 12, 18) destinadas a recibir, cada una de ellas, un tetón de centrado (11, 13) de una placa inferior del núcleo (2) o de la placa superior del núcleo (3), **caracterizado** porque en el interior de por lo menos una abertura transversal (10, 12) de por lo menos uno de los cabezales (7, 8) del conjunto de combustible (1), está fijado un casquillo elástico (15) que comprende un cuerpo anular que tiene una parte de fijación (15a) cuyo diámetro exterior es máximo y por lo menos igual al diámetro de la abertura transversal (10, 12) en la parte de su longitud axial, por lo menos dos ramas flexibles (16) separadas una de la otra por al menos dos hendiduras (17) de dirección axial en toda la longitud del casquillo (15) entre la parte de fijación (15a) y el extremo libre del casquillo, y que tiene un diámetro exterior inferior al diámetro de la parte de fijación (15a) y una superficie anular de apoyo (19) en voladizo radial en el interior del casquillo (15) en el extremo libre de las ramas flexibles (16), cuyo diámetro interior es inferior al diámetro de los tetones de centrado (11, 13) destinados a ser introducidos en las aberturas del cabezal.

8. Conjunto de combustible, según la reivindicación 7, **caracterizado** porque las aberturas transversales (10, 12, 18) del cabezal del conjunto de combustible, en las que se fija un casquillo elástico (15), tienen un diámetro sensiblemente superior al diámetro de los tetones de centrado (11, 13), estando determinado el diámetro de las aberturas transversales por la siguiente ecuación:  $DD = DB + DI - DC$ , en la que DD es el diámetro del escariado de la abertura transversal (18) del cabezal (7), DI es un diámetro interior de la parte corriente del casquillo elástico (15), DB es

## ES 2 289 583 T3

el diámetro exterior de las ramas flexibles (16) del casquillo elástico (15) y DC es el diámetro de la parte de apoyo interior de las ramas elásticas (16) del casquillo (15).

5 9. Conjunto de combustible, según la reivindicación 7, **caracterizado** porque el diámetro interior (DI) de la parte corriente del casquillo elástico (15) es superior al diámetro de un tetón de centrado (11, 13) para tener en cuenta las tolerancias en el diámetro de los tetones de centrado y en la separación de los tetones de centrado (11, 13) destinados a ser introducidos en el cabezal (8, 9) del conjunto de combustible.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

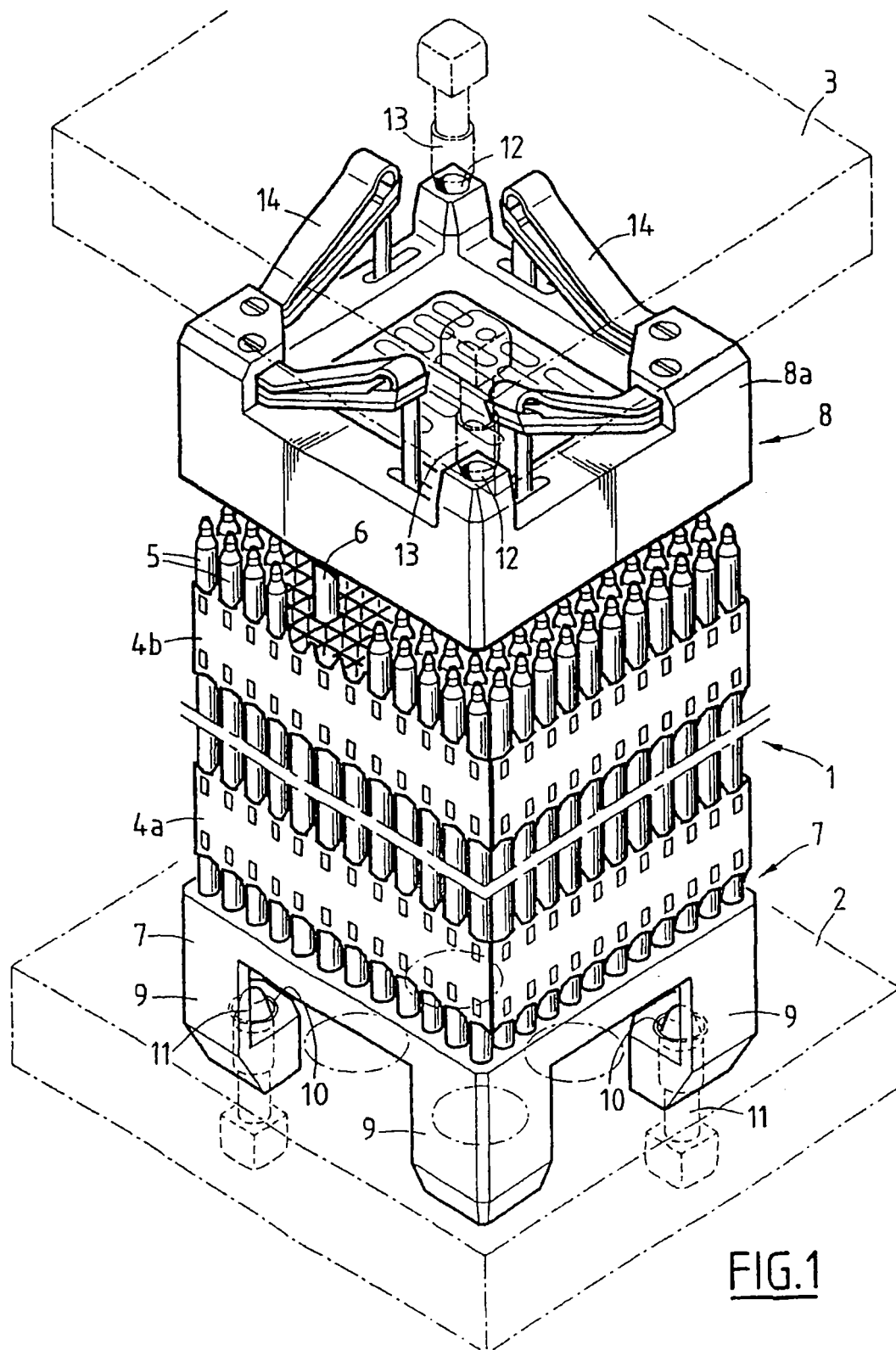


FIG.1

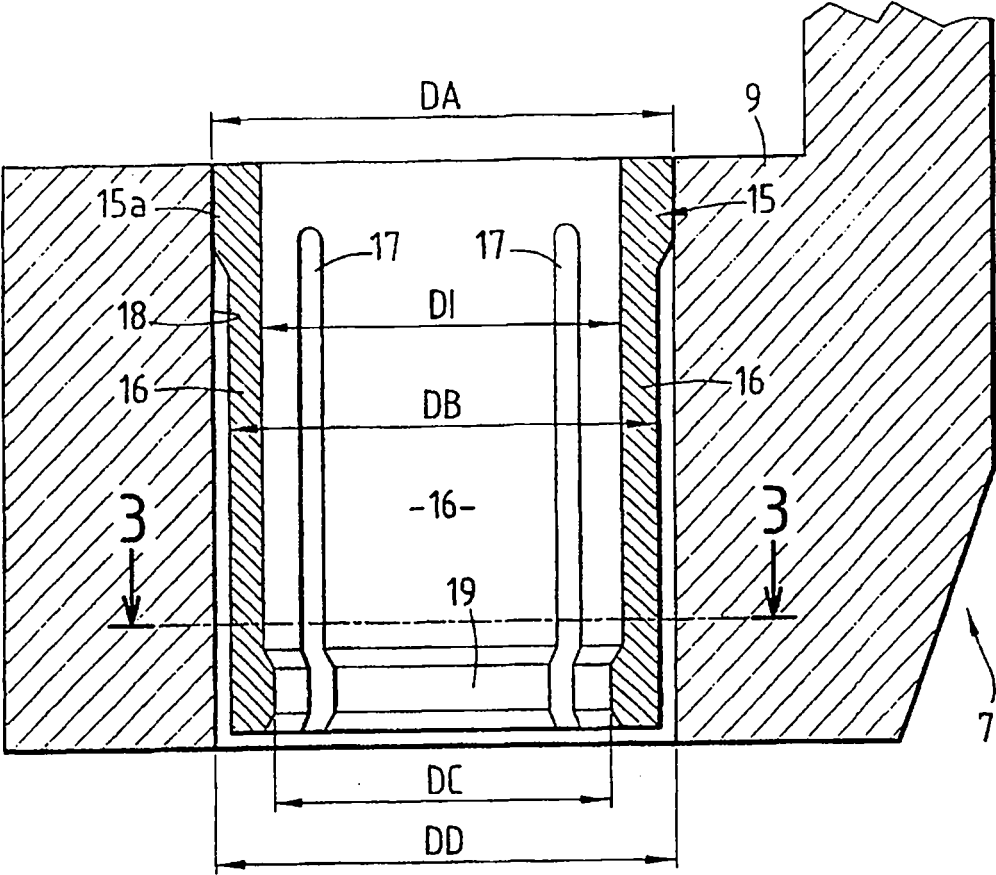


FIG.2

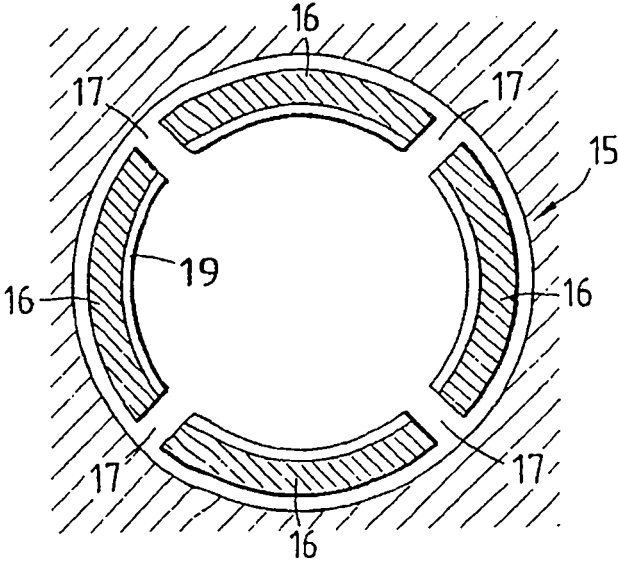


FIG.3

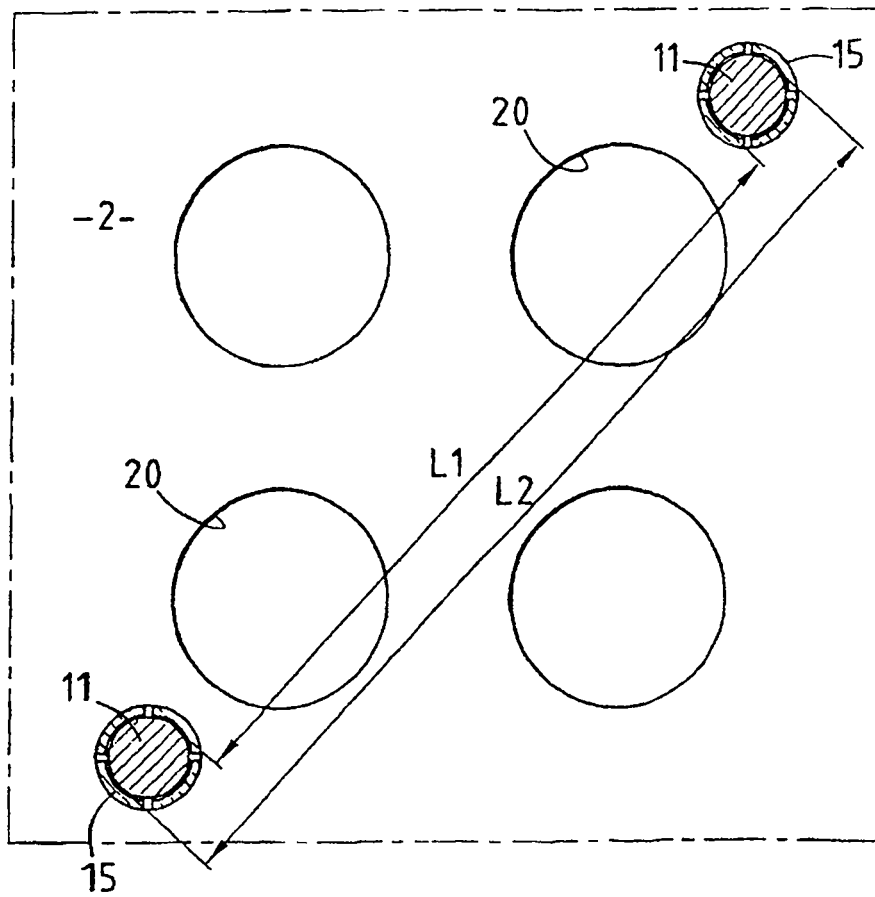


FIG.4A

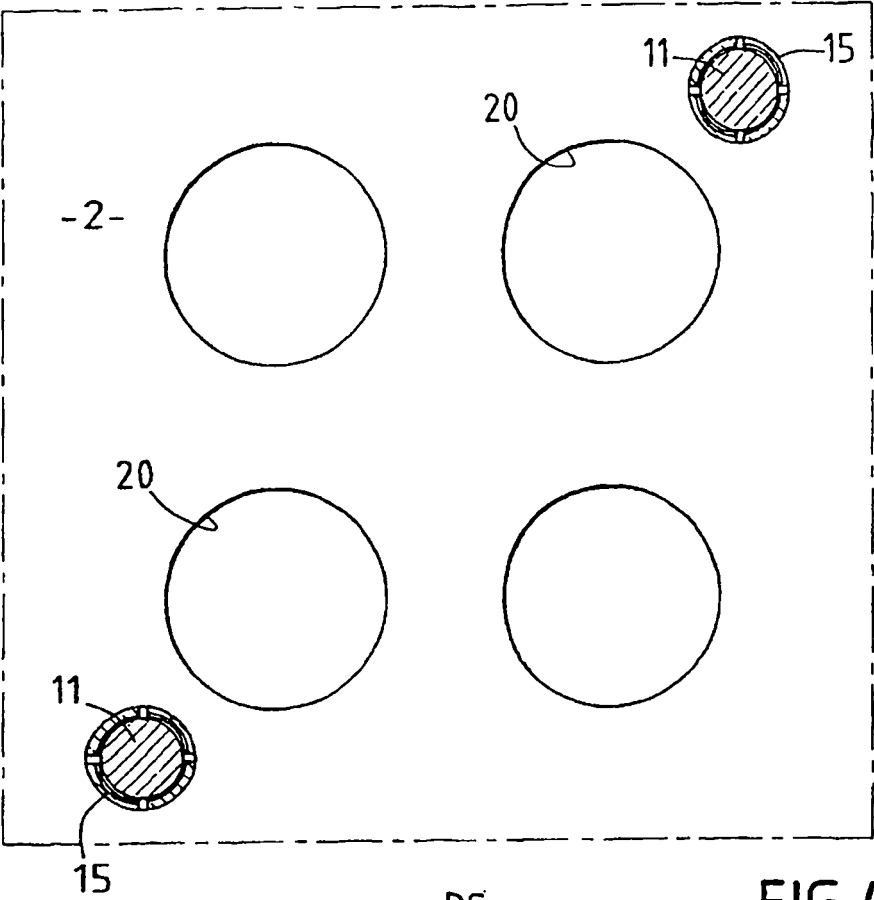


FIG. 4B

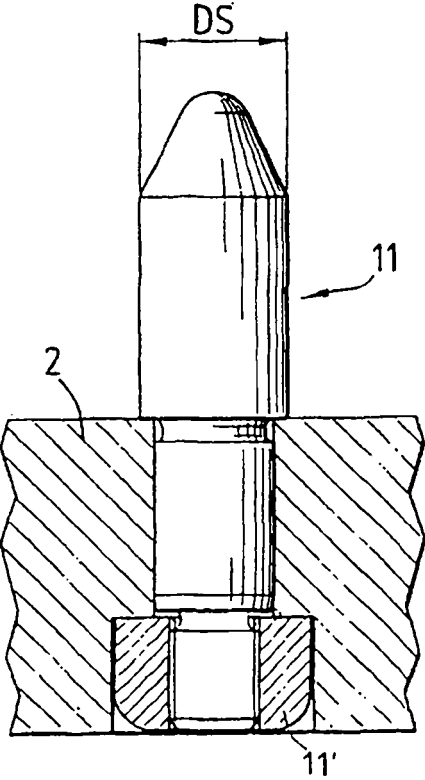


FIG. 5