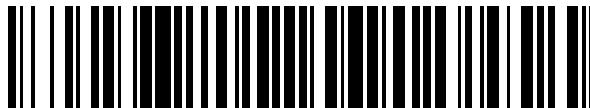


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 523 491**

51 Int. Cl.:

G21C 7/117 (2006.01)

G21C 21/18 (2006.01)

G21C 7/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.06.2003 E 09153138 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.09.2014 EP 2136373**

54 Título: **Conjunto de regulación de la reactividad del núcleo de un reactor nuclear**

30 Prioridad:

25.06.2002 FR 0207884

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

26.11.2014

73 Titular/es:

**AREVA NP (100.0%)
TOUR AREVA 1 PLACE JEAN MILLIER
92400 COURBEVOIE, FR**

72 Inventor/es:

**HERTZ, DOMINIQUE y
DESPREZ, YVES**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 523 491 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

Conjunto de regulación de la reactividad del núcleo de un reactor nuclear.

- 5 La invención se refiere a un conjunto de regulación de la reactividad del núcleo de un reactor nuclear refrigerado por agua ligera a presión y a una barra absorbente de un conjunto de regulación de este tipo.

10 Los reactores nucleares tales como los reactores nucleares de agua a presión comprenden un núcleo constituido por unos ensamblajes de combustible yuxtapuestos en la cuba del reactor. Un ensamblaje de combustible está constituido por un haz de barras de combustible mantenidas en una estructura portadora, denominada esqueleto, que constituye el armazón del ensamblaje. Este esqueleto comprende en particular tubos guía dispuestos según la dirección axial del ensamblaje de combustible, que conectan las terminales de extremo superior e inferior y que soportan las rejillas de mantenimiento de las barras de combustible. Estos tubos guía tienen la función de garantizar una buena rigidez del armazón y permitir la inserción en el ensamblaje de las barras que absorben los neutrones utilizados para la regulación de la reactividad del núcleo del reactor nuclear.

15 Las barras absorbentes están conectadas entre sí, en su extremo superior, por medio de un soporte designado generalmente mediante el término "araña", para constituir un haz denominado conjunto de regulación. El conjunto de las barras absorbentes es móvil en el interior de los tubos guía de ensamblaje de combustible.

20 Para regular la reactividad del núcleo del reactor nuclear durante el funcionamiento del reactor, se desplazan los conjuntos de regulación en el interior de determinados conjuntos del núcleo en posición vertical, o bien en el sentido de la inserción, desplazándose entonces el conjunto de regulación hacia abajo, o bien en el sentido de la extracción, desplazándose entonces el conjunto de regulación hacia arriba, de manera que se introduce una longitud más o menos importante de las barras absorbentes en los ensamblajes del núcleo. Con el fin de regular la reactividad del núcleo durante el funcionamiento del reactor nuclear y la distribución de potencia en el núcleo del reactor, se utilizan generalmente unos conjuntos de regulación de diversos tipos en diferentes zonas del núcleo del reactor nuclear. En particular se utilizan unos conjuntos muy absorbentes o conjuntos negros y unos conjuntos menos absorbentes o conjuntos grises.

25 De manera general, las barras absorbentes están constituidas por un tubo que está cerrado en su extremo superior por un primer tapón denominado tapón superior, y en su extremo inferior por un segundo tapón denominado tapón inferior de la barra. Las barras absorbentes están fijadas a la araña de mantenimiento por medio de sus tapones superiores.

30 Generalmente, para los conjuntos negros, todas las barras son unas barras de gran capacidad de absorción de los neutrones. Estas barras absorbentes pueden estar constituidas por un tubo de revestimiento que contiene unas pastillas de un material absorbente tal como el carburo de boro B_4C , por unos tubos de un material que absorbe los neutrones que no contienen pastillas absorbentes o incluso por unos tubos de material absorbente que contienen unas pastillas de carburo de boro B_4C . Se ha propuesto en particular utilizar, como tubos de material absorbente para las barras de los conjuntos de regulación, unos tubos de hafnio. Por lo tanto, los conjuntos de regulación de la reactividad de los reactores nucleares pueden comprender, o bien en su totalidad o bien en parte, unas barras absorbentes constituidas por un tubo de hafnio que contiene eventualmente unas pastillas de un material absorbente tal como el B_4C . En determinados casos, se ha propuesto realizar en hafnio únicamente una parte de las barras absorbentes, por ejemplo la parte inferior.

35 Los conjuntos grises comprenden a la vez unas barras absorbentes y unas barras inertes constituidas por un tubo simple de material nada o poco absorbente cerrado en sus extremos por unos tapones. Las barras absorbentes pueden estar constituidas por tubos de material absorbente tal como el hafnio.

40 El hafnio presenta la ventaja con respecto a otros materiales absorbentes de presentar una excelente compatibilidad con el fluido primario, un bajo hinchamiento bajo irradiación y una buena resistencia a la fluencia a la temperatura de funcionamiento de un reactor nuclear de agua a presión. Por lo tanto, se puede utilizar sin revestimiento.

45 No obstante, el hafnio solamente se puede soldar con aleaciones de la misma familia (titanio, zirconio, hafnio) o que presentan con el hafnio unas soluciones sólidas continuas.

50 Si se utiliza el hafnio para el tapón superior, la resistencia mecánica del conjunto de regulación no es óptima ya que el hafnio no presenta características mecánicas lo bastante elevadas con respecto a las sollicitaciones experimentadas por el conjunto en funcionamiento. Además, la utilización de un tapón de hafnio en la parte superior de la barra absorbente no está realmente justificada por motivos de absorción neutrónica, en la medida en que el tapón superior sólo está expuesto a un flujo neutrónico muy bajo ya que permanece por debajo de la parte superior del núcleo. Por último la utilización de hafnio para el tapón superior va acompañada de un aumento de la masa del conjunto, lo cual puede ser una gran limitación en funcionamiento. La utilización de aleación de zirconio para el tapón superior sería compatible con los imperativos de masa sin perjudicar el poder absorbente. No obstante, las propiedades mecánicas de estas aleaciones también son insuficientes. En cambio, las de las aleaciones de titanio

son perfectamente compatibles con las prestaciones requeridas.

En lo que se refiere al tapón inferior, la utilización de hafnio no está excluida por motivos de resistencia mecánica ya que las propiedades de este material son compatibles con las sollicitaciones mecánicas aplicadas sobre este componente. En esta zona de gran flujo neutrónico, es útil disponer de una potencialidad de absorción neutrónica. Por último, al permanecer pequeño el volumen de este tapón inferior, el aumento de masa inducido permanece limitado y compatible con las exigencias sobre la masa de los conjuntos de mando. Por lo tanto, el tapón inferior puede ser de hafnio, incluso de aleación de zirconio, obteniéndose la compatibilidad con las exigencias funcionales.

La invención se refiere a un conjunto de regulación de un reactor nuclear de agua presurizada, que comprende un haz de barras y un soporte de forma radiante, denominado araña, a la que se fijan las barras absorbentes por medio de sus tapones superiores, caracterizado por el hecho de que la araña es de aleación a base de titanio.

Preferentemente, una parte por lo menos de las barras absorbentes del conjunto comprende un tubo de hafnio y un tapón superior de aleación de titanio soldado a la parte de extremo superior del tubo de hafnio.

Los tubos de hafnio o barras huecas se elaboran según un procedimiento conocido por hilado sobre aguja, de palanquillas perforadas, y después por estirado en caliente sobre mandril deformable, siendo el mandril evacuado en la última operación por estirado en frío hasta la rotura. La ventaja de este procedimiento de conformación en caliente es que permite utilizar un metal mucho más cargado con oxígeno que si tuviera que comprender unas operaciones de conformación en frío. Generalmente se considera que más allá de 300 ppm de oxígeno, el hafnio difícilmente se puede laminar en frío. Este procedimiento permite utilizar unas palanquillas que contienen más de 300 ppm e incluso más de 700 ppm de oxígeno, tales como las obtenidas tras la primera fusión mediante bombardeo de electrones en el intervalo clásico de elaboración. La elevación del contenido en oxígeno permite aumentar las características mecánicas del metal, lo cual reduce considerablemente la sensibilidad a los defectos de superficie y de fabricación (marcas de golpes, falta de rectitud,...).

Los tapones de titanio, zirconio o hafnio se obtienen mediante mecanizado de barras macizas de diámetro adaptado. Este diseño permite satisfacer las exigencias neutrónicas, mecánicas y ponderales.

No obstante, se corre el riesgo de que los movimientos del conjunto tanto longitudinales como orbitales induzcan desgastes a nivel de las guías de conjunto (guiado continuo y mapas de guiado) y del ensamblaje de combustible (desgaste en la ojiva). En efecto, se sabe que estos materiales (titanio, zirconio y hafnio) no resisten bien el desgaste. Un medio conocido de proteger estos materiales contra el desgaste es realizar un tratamiento de oxidación a alta temperatura en atmósfera oxidante. Un tratamiento de este tipo conduce a realizar una capa de difusión de oxígeno que garantiza la protección contra el desgaste y una capa de óxido cuya formación difícilmente se puede impedir debido a la presión de equilibrio muy baja en atmósfera oxidante del óxido. La profundidad de difusión de oxígeno requerida para garantizar la resistencia al desgaste es de una veintena de micrómetros. Por lo tanto, la profundidad mínima prevista para esta operación es de 35 a 50 μm .

La utilización de un procedimiento de oxidación en horno de barrotos de 3,5 a 4,6 m requeriría disponer de un horno de tamaño suficiente capaz de funcionar en atmósfera oxidante a 800-1000°C. Por lo tanto, la invención también se refiere a una utilización del tratamiento de oxidación en desplazamiento a una temperatura más elevada pero durante una duración más corta, lo cual permite garantizar una difusión del oxígeno a una profundidad suficiente para garantizar la resistencia al desgaste, mantener la constancia de la temperatura, garantía de la homogeneidad de la barra oxidada, sin introducir defectos de rectitud o de faltas de homogeneidad mecánica. Se puede obtener una difusión de oxígeno en $\sim 50 \mu\text{m}$ mediante calentamiento por inducción a 1300-1700°C, en una atmósfera oxidante constituida por argón y por oxígeno, a una velocidad de 50-250 mm/min en desplazamiento. El calentamiento a una temperatura superior corre el riesgo de inducir unos cambios de fase en el metal (1725-1775°C) o en el óxido ($\sim 1700^\circ\text{C}$). La oxidación en desplazamiento se realiza en las barras absorbentes soldadas a su tapón inferior.

Además, el tratamiento se lleva a cabo en unos tubos de revestimiento soldados en su tapón inferior, lo cual permite garantizar la continuidad de la protección contra el desgaste en la zona del tapón inferior en forma de ojiva. No obstante, no es deseable tratar unas barras terminadas (con tapón superior soldado). En efecto, la presencia, para algunas barras, de cuña, columna de pastillas de B_4C y dispositivo de mantenimiento perturba el calentamiento, limita la elección de las cuñas y de los dispositivos de mantenimiento (se deben excluir los materiales que corren el riesgo de conducir a unas eutécticas fundidas a la temperatura de tratamiento). Además el cambio de las condiciones de calentamiento a nivel de la unión hafnio-titanio es delicado de controlar sin correr el riesgo de un calentamiento excesivo del titanio, calentamiento que sería perjudicial para el mantenimiento de sus características mecánicas.

El tratamiento en desplazamiento también permite no oxidar la zona que se soldará al tapón superior, evitando así contaminar la soldadura.

La protección contra el desgaste de los tapones superiores de las barras se realiza mediante un tratamiento en

horno estático en atmósfera oxidante en unas condiciones que garantizan la obtención de las características de la aleación. El tratamiento en horno estático se realiza generalmente a una temperatura comprendida entre 550°C y 850°C, durante una duración de 2 horas a 12 horas. Por ejemplo, se puede realizar un tratamiento de 4 h a 730°C.

5 La utilización de un conjunto de regulación cuya araña es de aleación a base de titanio permite beneficiarse de las mejores características mecánicas de estas aleaciones así como de su menor densidad. Por lo tanto, el diseño del conjunto se vuelve más cómodo ya que una parte de la masa de la araña puede estar asignada a las barras absorbentes.

10 La araña de soporte de las barras absorbentes del conjunto se puede realizar en una forma y con unas dimensiones idénticas a las de las arañas de soporte de barras absorbentes de los conjuntos de regulación según la técnica anterior conocida. No obstante, en determinados casos, en función de la forma y de la dimensión del tapón superior de aleación de titanio, es posible adaptar la forma y las dimensiones de las partes de la araña que garantizan la fijación de las barras absorbentes.

15 En lugar de una araña de soporte de las barras absorbentes de acero, la utilización de una araña realizada en aleación a base de titanio permite beneficiarse de las características mecánicas de un nivel superior a las del acero. Por lo tanto, se puede aumentar la fiabilidad y la vida útil de la araña debido a estas características mecánicas mejoradas. También es posible disminuir ligeramente las dimensiones transversales de la araña de soporte de los conjuntos de regulación, cuando esta araña está realizada en aleación a base de titanio con altas características mecánicas. Se disminuye así la pérdida de carga durante el descenso del conjunto de regulación en el núcleo del reactor nuclear y se disminuye el tiempo de descenso.

20 La araña puede estar realizada por recorte de una pieza en aleación de titanio cuya integridad metalúrgica ha sido controlada. Por lo tanto, se disminuye el riesgo de defectos y se disminuye el número de uniones por soldadura o soldadura fuerte de los elementos constitutivos de la araña. El recorte se puede realizar mediante mecanizado mecánico, químico o electroquímico, recorte con hilo o con chorro de agua.

25 Las aleaciones de titanio tal como las consideradas anteriormente son insensibles a la corrosión en la cuba del reactor nuclear. Por lo tanto, se proporcionarán menos productos activables en el circuito primario.

30 Por último, la integridad metalúrgica del material y la simplicidad de fabricación de la araña en aleación a base de titanio permiten reducir los costes de fabricación y las anomalías de funcionamiento y aumentar la productividad de fabricación de los conjuntos de regulación.

35 Una araña de aleación a base de titanio se puede utilizar para cualquier conjunto de regulación, independientemente de que comprenda o no unas barras que tienen unos tubos de hafnio.

40 Se han realizado unos ensayos de resistencia mecánica de los conjuntos de regulación según la invención en unas condiciones que reproducen las condiciones en el reactor nuclear en funcionamiento.

También se han realizado unos ensayos de desgaste en las diferentes partes de las barras absorbentes para validar los tratamientos antidesgaste mediante oxidación.

45 Los ensayos realizados prevén verificar la resistencia de los tapones de las barras absorbentes y en particular de los tapones superiores, de los tubos de hafnio de las barras absorbentes y de las partes de unión de los tapones superiores con la araña del conjunto de regulación. Se han realizado unos ensayos de fatiga que permiten demostrar que los conjuntos de regulación según la invención pueden funcionar en el reactor nuclear, sin destrucción prematura, durante unas duraciones de funcionamiento previstas para los reactores nucleares de la técnica actual.

50 Con el fin de que se entienda correctamente la invención, se describirá, a título de ejemplo, haciendo referencia a las figuras adjuntas en anexo, un conjunto de regulación y una barra absorbente según la invención.

55 La figura 1 es una vista en perspectiva de un conjunto de regulación para reactor nuclear de agua a presión, insertado en un ensamblaje de combustible.

La figura 2 es una vista en sección axial de una barra absorbente según la invención.

60 La figura 3 es una vista en sección parcial de la parte superior de una barra absorbente fijada a una aleta de araña.

En la figura 1 se ha representado un conjunto de regulación de un reactor nuclear de agua a presión designado de manera general mediante la referencia 1.

65 El conjunto de regulación 1 comprende un haz de barras absorbentes 2 y una araña 3 que garantiza el soporte y el mantenimiento de las barras 2 en forma de un haz en el que las barras son paralelas entre sí y están colocadas

lateralmente según la misma red que la de los tubos guía del ensamblaje de combustible.

La araña 3 comprende un pomo cilíndrico 3a acanalado en su interior que permite conectar el conjunto de regulación a un vástago de mando para su desplazamiento en la dirección vertical en el núcleo y unas aletas 3b solidarias al pomo 3a a cada una de las cuales están fijadas unas barras absorbentes 2 por su tapón superior

Una parte por lo menos de las barras 2 del conjunto de regulación 1 comprende un cuerpo tubular constituido por un tubo de hafnio.

En el caso en el que el conjunto 1 es un conjunto negro, los tubos de todas las barras absorbentes 2 del conjunto pueden ser de hafnio.

En el caso de un conjunto gris, sólo una parte de las barras 2 comprende un tubo de hafnio, siendo los tubos de las otras barras de acero o de cualquier otro material no absorbente que satisfaga las exigencias de funcionamiento en el reactor nuclear.

En la figura 2, se ha representado una barra absorbente de un conjunto negro que se puede utilizar por ejemplo en un reactor nuclear refrigerado mediante agua a presión con una potencia de 1300 MWe.

La barra 2 representada en la figura 2 comprende un tubo de hafnio 4 que contiene un apilamiento de pastillas 5 de carburo de boro B_4C muy absorbentes y cerrado, en su extremo superior, por un tapón 6 de aleación de titanio y, en su extremo inferior, por un tapón 7 en forma de ojiva de hafnio o de aleación de zirconio. Se realizó una difusión de oxígeno 11 en el tubo soldado al tapón inferior y garantiza una protección contra el desgaste. El tapón superior podrá ser protegido o no mediante una difusión de oxígeno 12.

El hafnio utilizado puede contener más de 300 ppm de oxígeno.

El apilamiento de pastillas 5 de carburo de boro B_4C se mantiene en el interior del tubo 4 de hafnio mediante un resorte o cualquier otro dispositivo de bloqueo 8, estando el extremo inferior de la columna de pastillas apoyado, por medio de un tirante 7a, sobre el tapón inferior 7. El tapón inferior 7 de la barra 2 de hafnio se solidariza mediante un cordón de soldadura 7b al extremo inferior del tubo 4 de hafnio, pudiendo la soldadura ser realizada, por ejemplo, mediante un haz de láser, haz de electrones, TIG, fricción o resistencia. La soldadura obtenida es perfectamente íntegra y perfectamente resistente.

El tapón superior 6 de la barra 2 es de titanio o aleación de titanio y por ejemplo de aleación Ti-6Al- 4V (TA6V) o de aleación TA3V2,5 y su fijación rígida y estanca en el extremo superior del tubo 4 está realizada mediante una soldadura 9. Ensayos han demostrado que la soldadura entre el tapón de aleación de titanio 6 y el tubo de hafnio 4 se puede realizar, por ejemplo, mediante un haz de láser, haz de electrones, TIG, fricción o resistencia. La soldadura obtenida es perfectamente íntegra y perfectamente resistente. En el caso de soldaduras de tipo TIG o mediante fricción, la zona de ruptura de una probeta soldada de hafnio/titanio o de hafnio/Zircaloy se encuentra fuera de la zona soldada. La ruptura se produce bajo una carga correspondiente a la carga de ruptura del material macizo.

Tal como se puede observar en la figura 3, el tapón superior 6 de aleación de titanio que garantiza la fijación de la barra absorbente 2 a una aleta 3b de la araña 3 del conjunto de regulación puede presentar una forma y unas dimensiones idénticas a las de un tapón superior de una barra absorbente según la técnica anterior. La parte superior del tapón 6 que presenta un fileteado para la fijación de la barra absorbente al brazo 3b de la araña 3 puede, o bien ser roscada en el brazo de la araña, o bien ser colocada en una disposición pasante y mantenerse por medio de una tuerca 10 superior que también garantizará el guiado del conjunto durante su ascenso.

Tal como se puede observar en la figura 3, el tapón de extremo superior de la barra absorbente 6 presenta una parte de sección pequeña 3c que le permite garantizar a la barra la flexibilidad requerida.

Además, se ha podido verificar que la soldadura 9 entre el tapón de aleación de titanio 6 y el extremo superior del tubo de hafnio 4 (figura 2) resiste las sollicitaciones mecánicas, térmicas y químicas en el entorno del reactor nuclear, no observándose ninguna corrosión adicional a nivel de la soldadura de conexión 9 del tapón superior 6.

Además, el tapón 6, durante la utilización del conjunto de regulación en un núcleo de reactor nuclear, se encuentra por encima de la superficie superior del núcleo, en una zona que no está sometida al flujo neutrónico intenso que reina en el núcleo del reactor nuclear. Por lo tanto, el tapón superior de aleación de titanio no está sometido a unas condiciones que provoquen un hinchamiento bajo irradiación o una pérdida de las características mecánicas. Por lo tanto, el tapón superior que presenta unas características mecánicas elevadas conserva sus características durante una larga vida útil en el interior del núcleo de un reactor nuclear.

Además, el tapón superior de las barras absorbentes de hafnio del conjunto de regulación según la invención que es de aleación de titanio con altas características mecánicas puede estar realizado de manera que presente una longitud lo más grande posible compatible con la utilización del conjunto de regulación. De este modo se puede

disminuir la longitud del tubo de hafnio, lo cual permite disminuir el coste y adaptar la masa de las barras absorbentes.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Conjunto de regulación de un reactor nuclear de agua presurizada, que comprende un haz de barras (2) que absorben los neutrones y un soporte de forma radiante denominado araña (3) en la que están fijadas las barras absorbentes (2) por medio de sus tapones superiores (6), caracterizado por que la araña (3) es de aleación a base de titanio.
- 10 2. Conjunto de regulación según la reivindicación 1, en el que se ha realizado la araña mediante recorte de una pieza de aleación de titanio cuya integridad metalúrgica se ha controlado.
- 15 3. Conjunto de regulación según la reivindicación 2, en el que el recorte se ha realizado mediante mecanizado mecánico, químico o electroquímico, recorte con hilo o con chorro de agua.
- 20 4. Conjunto de regulación según una de las reivindicaciones anteriores, en el que cada barra que absorbe los neutrones (2) comprende un tubo metálico (4), denominado tubo de revestimiento, cerrado, en su extremo superior, por un tapón superior (6) y, en su extremo inferior, por un tapón inferior (7).
- 25 5. Conjunto de regulación según la reivindicación 4, en el que para una parte por lo menos de las barras absorbentes:
- los tubos de revestimiento (4) son unos tubos de hafnio sin soldadura,
 - los tapones superiores (6) son de aleación a base de titanio y están soldados a las partes de extremo superior de los tubos de revestimiento (4), y
 - los tapones inferiores (7) son de hafnio macizo y están soldados a las partes de extremo inferior de los tubos de revestimiento (4).
- 30 6. Conjunto de regulación según la reivindicación 5, en el que una protección contra el desgaste de los tapones superiores (6) de aleación de titanio se ha obtenido mediante un tratamiento en horno estático en atmósfera oxidante en unas condiciones que garantizan el mantenimiento de las características de la aleación de titanio.
- 35 7. Conjunto de regulación según la reivindicación 6, en el que el tratamiento en horno estático se ha realizado a una temperatura comprendida entre 550°C y 850°C, durante una duración de 2 horas a 12 horas.
- 40 8. Conjunto de regulación según una de las reivindicaciones 5 a 7, en el que se ha realizado una oxidación del tubo de revestimiento (4) de la barra absorbente (2), a alta temperatura, en atmósfera oxidante.
- 45 9. Conjunto de regulación según la reivindicación 8, en el que la oxidación del tubo de revestimiento (4) se ha realizado en el tubo de revestimiento soldado al tapón inferior (7).
10. Conjunto de regulación según la reivindicación 9, en el que la oxidación del tubo de revestimiento (4) se ha realizado en desplazamiento, a una temperatura de 1300°C a 1700°C y a una velocidad de 50 a 250 mm/min.
11. Conjunto de regulación según una de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo además el conjunto unas barras inertes.

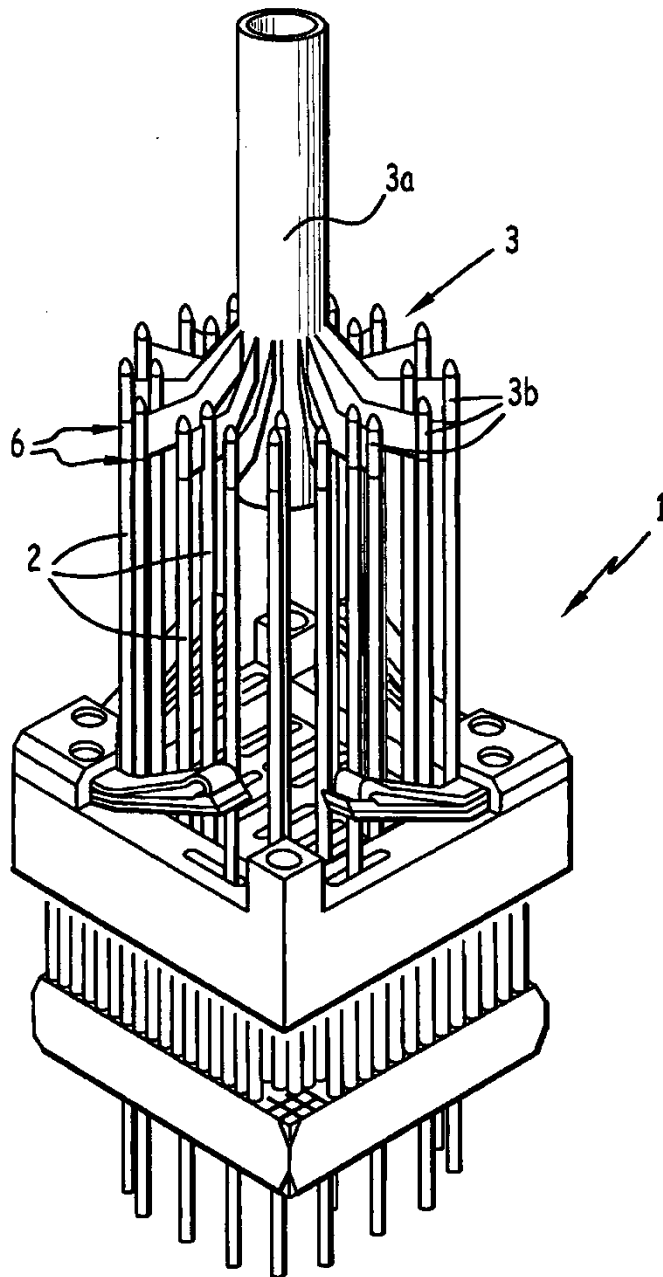


FIG.1

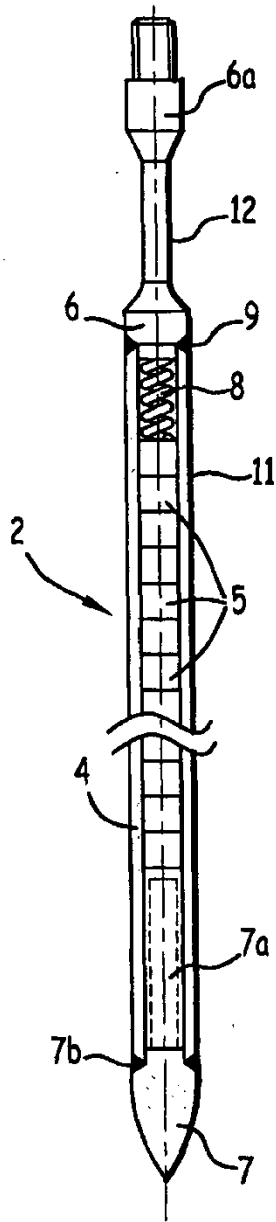


FIG. 2

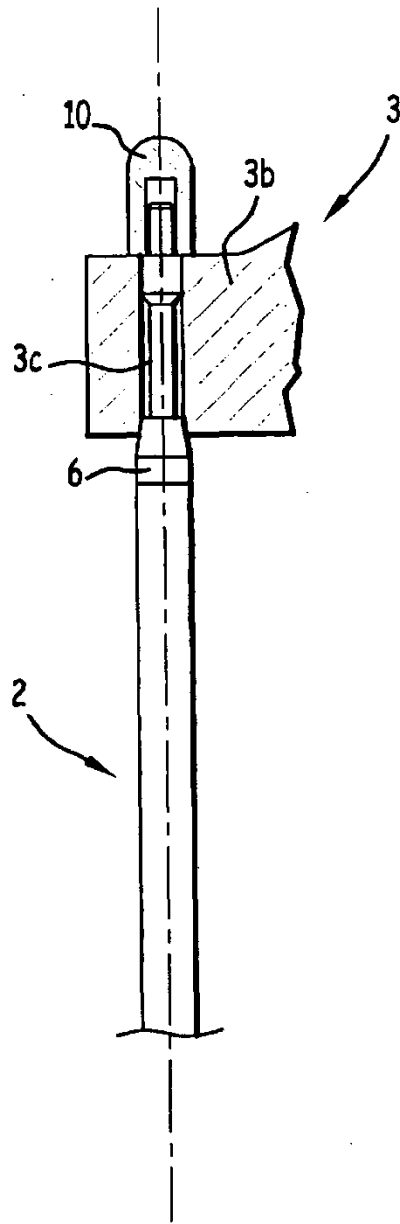


FIG. 3