

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 441 723**

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 03760719 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2013 EP 1516343**

54 Título: **Conjunto de regulación de la reactividad del núcleo de un reactor nuclear, barra absorbente del conjunto y procedimiento de protección contra el desgaste de la barra absorbente**

30 Prioridad:

25.06.2002 FR 0207884

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

06.02.2014

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 2 441 723 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 Conjunto de regulación de la reactividad del núcleo de un reactor nuclear, barra absorbente del conjunto y procedimiento de protección contra el desgaste de la barra absorbente.
- La invención se refiere a un conjunto de regulación de la reactividad del núcleo de un reactor nuclear enfriado por agua ligera a presión y una barra absorbente de dicho conjunto de regulación.
- 10 El documento FR-2 728 097 describe una barra de regulación.
- El documento WO-97/48104 describe una barra para conjunto de regulación en el que el tubo de envainado es de una aleación Hf-Zr o Ti-Zr, el tapón superior en aleación Zy-4 o en la misma aleación que el tubo de envainado Hf-Zr o Ti-Zr, y el tapón inferior está en aleación Hf-Zr.
- 15 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 de un haz de barras de combustible mantenidas en una estructura portadora, denominada esqueleto, que constituye el armazón del ensamblaje. Este esqueleto comprende en particular unos tubos-guías dispuestos según la dirección axial del ensamblaje de combustible, que unen las puntas superior e inferior y que soportan las rejillas de mantenimiento de las barras de combustible. Estos tubos-guías tienen como función 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.
- 20 Las barras absorbentes están unidas entre sí, en su extremo superior por medio de un soporte generalmente designado por 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-guías del ensamblaje de combustible.
- 25 Para ajustar la reactividad del núcleo del reactor nuclear durante el funcionamiento del reactor, se desplazan los conjuntos de regulación en el interior de ciertos ensamblajes del núcleo en posición vertical, bien en el sentido de la inserción, estando entonces el conjunto de regulación desplazado hacia abajo, o bien en el sentido de la extracción, estando entonces el conjunto de regulación desplazado hacia arriba, a fin de introducir una longitud más o menos importante de las barras absorbentes en los ensamblajes del núcleo. A fin de ajustar la reactividad del núcleo durante el funcionamiento del reactor nuclear y la distribución de la potencia en el núcleo de dicho reactor, se utilizan generalmente unos conjuntos de regulación de diversos tipos en diferentes zonas del núcleo del reactor nuclear. Se utilizan en particular unos conjuntos muy absorbentes o conjuntos negros y unos conjuntos menos absorbentes o conjuntos grises.
- 30 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.
- 35 Generalmente, para los conjuntos negros, el conjunto de las barras son unas barras de fuerte capacidad de absorción de los neutrones. Estas barras absorbentes pueden estar constituidas por un tubo de envainado que contiene unas pastillas de un material absorbente tal como el carburo de boro B_4C , por unos tubos en un 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, los tubos de hafnio. Los conjuntos de regulación de la reactividad de los reactores nucleares pueden por lo tanto comprender, bien en 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 B_4C . En ciertos casos, se ha propuesto realizar sólo una parte de las barras absorbentes, por ejemplo la parte inferior, de hafnio.
- 40 Los conjuntos grises comprenden al mismo tiempo unas barras absorbentes y unas barras inertes constituidas por un simple tubo de material poco o nada absorbente cerrado en sus extremos por unos tapones. Las barras absorbentes pueden estar constituidas por unos tubos de material absorbente, tal como el hafnio.
- 45 El hafnio presenta la ventaja sobre otros materiales absorbentes de presentar una excelente compatibilidad con el fluido primario, un hinchamiento débil bajo irradiación y una buena resistencia a la fluencia de la temperatura de funcionamiento de un reactor nuclear bajo agua a presión. Por lo tanto, se puede utilizar sin envainado.
- 50 Sin embargo, el hafnio se puede soldar sólo con aleaciones de la misma familia (titanio, circonio, hafnio) o que presenta con el hafnio las soluciones sólidas continuas.
- 55 Si se utiliza el hafnio para el tapón superior, la resistencia mecánica del grupo de regulación no es óptima ya que el hafnio no presenta características mecánicas bastante elevadas frente a los esfuerzos percibidos por el conjunto en
- 60

funcionamiento. Además, la utilización de un tapón de hafnio en la parte superior de la barra absorbente no está totalmente justificada por cuestiones de absorción neutrónica, en la medida en la que el tapón superior está expuesto sólo a un flujo neutrónico muy débil ya que se queda encima de la parte superior del núcleo. Finalmente, la utilización de hafnio para el tapón superior se acompaña de un aumento de la masa del conjunto, lo que puede ser una fuerte restricción en el funcionamiento. La utilización de aleación de circonio para el tapón superior sería compatible con los imperativos de la masa sin perjudicar al poder absorbente. Sin embargo, las propiedades mecánicas de estas aleaciones son igualmente insuficientes. Sin embargo, las de las aleaciones de titanio son perfectamente compatibles con los rendimientos requeridos.

En lo referente al tapón inferior, la utilización de hafnio no es excluida por razones de resistencia mecánica ya que las propiedades de este material son compatibles con los esfuerzos mecánicos aplicados sobre este componente. En esta zona de fuerte flujo neutrónico, no es inútil disponer de una potencialidad de absorción neutrónica. Finalmente, el volumen de este tapón inferior continúa siendo bajo, el aumento de masa inducida sigue siendo limitado y compatible con las exigencias sobre la masa de los conjuntos de control. El tapón inferior puede por lo tanto ser de hafnio, incluso de una aleación de circonio, permaneciendo la compatibilidad adquirida con las exigencias funcionales.

La invención se refiere por lo tanto a una barra para conjunto de regulación según la reivindicación 1, un conjunto de regulación según la reivindicación 6, y un procedimiento de protección contra el desgaste según la reivindicación 7.

Las reivindicaciones dependientes 2 a 5 y 8 a 10 se refieren a características facultativas.

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

Los tubos de hafnio o barras huecas están elaborados según un procedimiento conocido por hilado con aguja, de molduras perforadas, y después de estirado en caliente sobre mandril deformable, siendo el mandril evacuado en última operación por estirado en frío hasta la ruptura. La ventaja de este procedimiento de moldeo en caliente es que permite utilizar un metal mucho más cargado en oxígeno que si tuviera que comprender unas operaciones de moldeo en frío. Se considera generalmente que más allá de 300 ppm de oxígeno, el hafnio no se puede laminar en frío. Este procedimiento permite utilizar unas molduras que contienen más de 300 ppm e incluso más de 700 ppm de oxígeno, tales como las obtenidas después de la primera fusión por bombardeo de electrones en el modo clásico de elaboración. La elevación del contenido en oxígeno permite aumentar las características mecánicas del metal, lo que reduce considerablemente la sensibilidad de los defectos de superficie y de fabricación (marcas de golpe, no rectitud, etc.).

Los tapones de titanio circonio o hafnio son obtenidos por mecanizado de barras sólidas de diámetro adecuado. Esta concepción permite satisfacer las exigencias neutrónicas, mecánicas y ponderales.

Sin embargo, los movimientos del conjunto, tanto longitudinales como orbitales tienen el riesgo de inducir desgastes a nivel de las guías del conjunto (guiado continuo y mapas de guiado) y del ensamblaje combustible (desgaste sobre ojiva). En efecto, se conoce que estos materiales (titanio, circonio y hafnio) no resisten bien al desgaste. Un medio conocido para proteger estos materiales contra el desgaste es el de realizar un tratamiento de oxidación a alta temperatura en atmósfera oxidante. Tal tratamiento lleva a realizar una capa de difusión de oxígeno que asegura la protección contra el desgaste y una capa de óxido de la que no se puede impedir la formación debido a la presión muy baja de equilibrio en atmósfera oxidante del óxido. La profundidad de difusión de oxígeno requerida para asegurar la resistencia al desgaste es de una veintena de micrómetros. La profundidad mínima pretendida para esta operación es por lo tanto de 35 a 50 μm .

La realización de un procedimiento de oxidación en horno de barras de 3,5 a 4,6 m necesitaría disponer de un horno de tamaño suficiente capaz de trabajar en atmósfera oxidante a 800-1000°C. La invención se refiere por lo tanto también a una realización del tratamiento de oxidación en marcha a una temperatura más elevada pero durante un periodo de tiempo más corto, lo que permite asegurar una difusión del oxígeno a una profundidad suficiente para asegurar 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 homogeneidades mecánicas. Una difusión de oxígeno sobre ~50 μm puede ser obtenida por calentamiento por inducción a 1300-1700°C, en una atmósfera oxidante constituida de argón y de oxígeno, a una velocidad de 50-250 mm/min en marcha. El calentamiento a una temperatura superior tiene el riesgo de inducir unos cambios de fase en el metal (1725-1775°C) o en el óxido (~1700°C). La oxidación en marcha se realiza sobre las barras absorbentes soldadas a su tapón inferior.

Además, el tratamiento se lleva a cabo sobre unos tubos de envainado soldados sobre su tapón inferior, lo que permite asegurar la continuidad de la protección contra el desgaste en la zona del tapón inferior en forma de ojiva. Sin embargo, no es deseable tratar unas barras terminadas (con tapón superior soldado). En efecto, la presencia, para ciertas barras, de cuña, columna de pastillas B₄C y dispositivo de mantenimiento perturba el calentamiento, restringe la selección de las cuñas y dispositivos de mantenimiento (los materiales que tienen el riesgo de conducir a unos eutécticos fundidos a la temperaturas de tratamiento deben ser excluidos). Además, el cambio de condiciones

de calentamiento a nivel de la unión hafnio-titanio es difícil de controlar sin arriesgar un calentamiento excesivo del titanio, calentamiento que sería perjudicial para el mantenimiento de sus características mecánicas.

5 El tratamiento en movimiento permite también no oxidar la zona que se soldará sobre el tapón superior, evitando así contaminar la soldadura.

10 La protección contra el desgaste de los tapones superiores de las barras se realiza mediante un tratamiento en horno estático en atmósfera oxidante en 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 un periodo de tiempo de 2 horas a 12 horas. Por ejemplo, se puede realizar un tratamiento de 4h a 730°C.

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

Se han efectuado igualmente unos ensayos de desgaste sobre las diferentes partes de las barras absorbentes para validar los tratamientos anti-desgaste por oxidación.

20 Los ensayos efectuados pretenden 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 efectuado unos ensayos de resistencia que permiten mostrar que conjuntos de regulación según la invención pueden funcionar en el reactor nuclear, sin destrucción prematura, durante tiempos de funcionamiento considerados para los reactores nucleares de la técnica actual.

25 A fin de entender bien la invención, se describirá, a título de ejemplo, y refiriéndose a las figuras anexas, un conjunto de regulación y una barra absorbente según la invención.

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

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

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

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

40 El conjunto de regulación 1 comprende un haz de barras absorbentes 2 y una araña 3 que asegura el soporte y el mantenimiento de las barras 2 bajo la forma de un haz en el que las barras son paralelas entre sí y posicionadas lateralmente según la misma red que la de los tubos-guías del ensamblaje de combustible.

45 La araña 3 comprende un pomo cilíndrico 3a acanalado interiormente que permite unir el conjunto de regulación a una varilla de mando para su desplazamiento en la dirección vertical en el núcleo, y unas aletas 3b solidarias del pomo 3a sobre cada una de las cuales están fijadas unas barras absorbentes 2 por su tapón superior.

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

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

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

En la figura 2, se ha representado una barra absorbente según la invención de un conjunto negro que puede ser utilizado por ejemplo en un reactor nuclear enfriado por agua a presión de una potencia de 1300 MWe.

60 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 B₄C fuertemente absorbentes y cerrado, en su extremo inferior, por un tapón 7 en forma de ojiva de hafnio o de aleación de circonio. Se ha realizado una difusión de oxígeno 11 sobre el tubo soldado sobre el tapón inferior y asegura una protección contra el desgaste. El tapón superior podrá estar protegido o no por una difusión de oxígeno 12.

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

5 El apilamiento de pastillas 5 de carburo de boro B_4C está mantenido en el interior del tubo 4 de hafnio por un muelle o cualquier otro dispositivo bloqueante 8, estando el extremo inferior de la columna de pastillas en apoyo, por medio de un tirante 7a, sobre el tapón inferior 7. El tapón inferior 7 de la barra 2 de hafnio se hace solidario por un cordón de soldadura 7b del extremo inferior del tubo 4 de hafnio, pudiendo la soldadura ser realizada, por ejemplo, por un haz láser, haz de electrones, TIG, fricción o resistencia. La soldadura obtenida es perfectamente sana y perfectamente resistente.

10 Según la invención, el tapón superior 6 de la barra 2 es de titanio o de aleación de titanio y, por ejemplo, de aleación Ti-6Al-4V (TA6V o de aleación TA3V2.5 y su fijación rígida y hermética sobre el extremo superior del tubo 4 está realizada por una soldadura 9. Unos ensayos han mostrado que la soldadura entre el tapón de aleación de titanio 6 y el tubo de hafnio 4 puede ser realizada, por ejemplo, por un haz láser, haz de electrones, TIG, fricción o resistencia. La soldadura obtenida es perfectamente sana y perfectamente resistente. En el caso de soldaduras TIG o por fricción, la zona de ruptura de una probeta soldada hafnio/titanio o hafnio/zircaloy se sitúa fuera de la zona soldada. La ruptura se produce bajo una carga que corresponde a la carga de ruptura del material masivo.

20 Como se puede ver en la figura 3, el tapón superior 6 de aleación de titanio que asegura la fijación de la barra absorbente 2 sobre 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 roscado para la fijación de la barra absorbente sobre el brazo 3b de la araña 3 puede ser bien enroscada en el brazo de la araña, o bien colocada en una disposición pasante y mantenida por medio de una tuerca 10 superior que asegura también el guiado del conjunto durante su subida.

25 Como se puede ver en la figura 3, el tapón de extremo superior de la barra absorbente 6 presenta una parte de poca sección 3C que le permite asegurar a la barra la flexibilidad requerida.

30 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 los esfuerzos mecánicos, térmicos y químicos en el ambiente del reactor nuclear, no observándose ninguna corrosión suplementaria a nivel de la soldadura de unión 9 del tapón superior 6.

35 Además, el tapón 6, durante la utilización del conjunto de regulación en un núcleo de reactor nuclear, se encuentra 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. El tapón superior de aleación de titanio no está por lo tanto sometido a condiciones que provocan un hinchamiento bajo irradiación o una pérdida de las características mecánicas. El tapón superior que presenta características mecánicas elevadas guarda por lo tanto sus características durante largas duraciones de servicio en el interior del núcleo de un reactor nuclear.

40 Además, el tapón superior de las barras absorbentes de hafnio del conjunto de regulación según la invención, que es de aleación de titanio a altas características mecánicas puede ser realizado a fin de presentar una longitud lo más grande posible compatible con la utilización del conjunto de regulación. Se puede así disminuir la longitud del tubo de hafnio, lo que permite disminuir el coste y adaptar la masa de las barras absorbentes.

45 La invención se aplica a cualquier conjunto de regulación de un reactor nuclear enfriado por agua ligera que comprende barras absorbentes que comprenden un tubo de hafnio.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Barra absorbente de un conjunto de regulación de un reactor nuclear de agua a presión, comprendiendo dicha barra un tubo de envainado (4) de hafnio, un tapón superior (6) de aleación de titanio soldado sobre una parte de extremo superior del tubo de envainado (4) de hafnio y un tapón inferior (7) de hafnio macizo soldado sobre una parte de extremo inferior del tubo de envainado (4) de hafnio, barra en la que:
- 10 - una protección contra el desgaste del tapón superior (6) de aleación de titanio ha sido obtenida mediante un tratamiento en horno estático en atmósfera oxidante a una temperatura comprendida entre 550°C y 850°C, durante un periodo de tiempo de 2 horas a 12 horas; y
- una protección contra el desgaste de la barra ha sido realizada por oxidación a alta temperatura en atmósfera oxidante del tubo de envainado (4) soldado al tapón inferior (7), pero no al tapón superior (6).
- 15 2. Barra según la reivindicación 1, en la que el tapón superior (6) es de una aleación de titanio TA6V o TA3V2.5.
3. Barra según la reivindicación 1 o 2, en la que la oxidación del tubo de envainado (4) ha sido obtenida en movimiento a una temperatura comprendida entre 1300°C y 1700°C en atmósfera oxidante y a una velocidad comprendida entre 50 y 250 mm/min.
- 20 4. Barra según una de las reivindicaciones anteriores, en la que la soldadura de al menos uno de entre el tapón superior (6) e inferior (7) ha sido realizada mediante por al menos uno de los procedimientos siguientes: soldadura por fricción, soldadura por resistencia, soldadura TIG.
- 25 5. Barra según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el hafnio utilizado para la fabricación del tubo de envainado (4) y del tapón inferior (7) contiene más de 300 ppm de oxígeno.
6. Conjunto de regulación de un reactor de agua a presión constituido por un haz de barras (2) que absorben los neutrones, comprendiendo cada una un tubo metálico (4), denominado tubo de envainado, cerrado, en su extremo superior, por un tapón superior (6) y, en su extremo inferior, por un tapón inferior (7) y un soporte (3), o araña, de forma radiante sobre el cual las barras absorbentes (2) son fijadas por medio de sus tapones superiores (6), caracterizado porque por lo menos una parte de las barras absorbentes son unas barras según una de las reivindicaciones anteriores.
- 30 7. Procedimiento de protección contra el desgaste de una barra absorbente de un conjunto de regulación de un reactor nuclear de agua a presión, comprendiendo dicha barra un tubo de envainado (4) de hafnio, un tapón superior (6) de aleación de titanio soldado sobre una parte de extremo superior del tubo de envainado (4) de hafnio y un tapón inferior (7) de hafnio macizo soldado sobre una parte de extremo inferior del tubo de envainado (4) de hafnio, en el que se realiza:
- 35 - una protección contra el desgaste del tapón superior (6) de aleación de titanio mediante un tratamiento en horno estático en atmósfera oxidante a una temperatura comprendida entre 550°C y 850°C, durante un periodo de tiempo de 2 horas a 12 horas; y
- 40 - una protección contra el desgaste de la barra por oxidación a alta temperatura en atmósfera oxidante del tubo de envainado (4) soldado al tapón inferior (7), pero no al tapón superior (6).
- 45 8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que se realiza la oxidación del tubo de envainado (4) soldado al tapón inferior (7), en movimiento, a una temperatura comprendida entre 1300°C y 1700°C y a una velocidad comprendida entre 50 y 250 mm/min.
- 50 9. Procedimiento según la reivindicación 7 u 8, en el que el tapón superior (6) es de una aleación de titanio TA6V o TA3V2.5.
- 55 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 7 a 9, en el que el hafnio utilizado para la fabricación del tubo de envainado (4) y del tapón inferior (7) contiene más de 300 ppm de oxígeno.

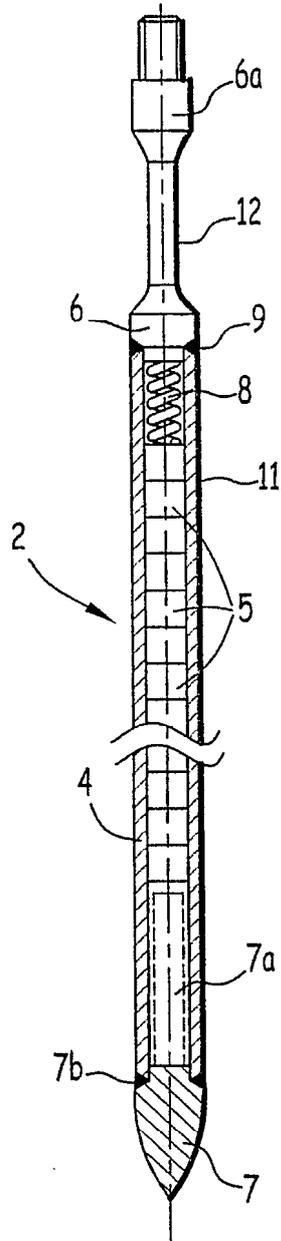


FIG. 2

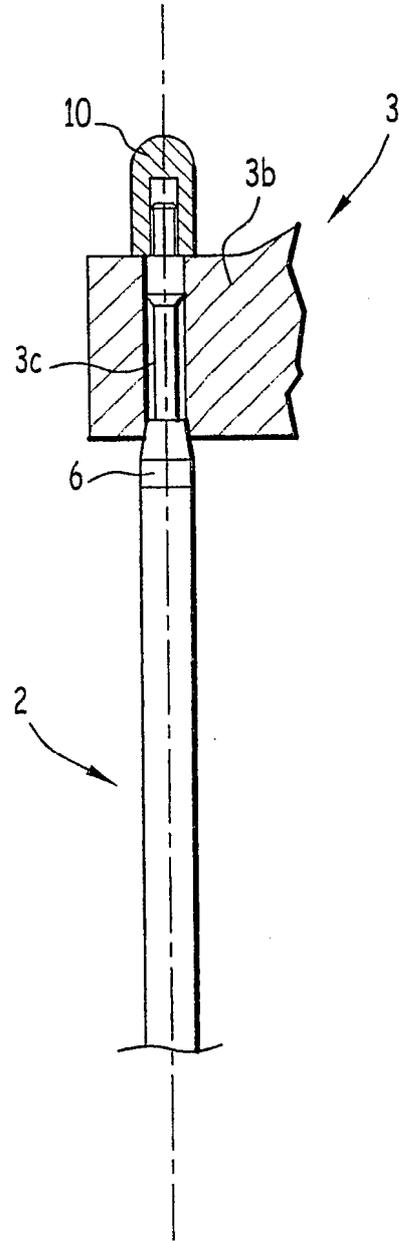


FIG. 3