

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 369 306**

51 Int. Cl.:
G21C 3/07 (2006.01)
G21C 7/04 (2006.01)
G21C 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08005573 .4**
96 Fecha de presentación: **26.03.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **1975944**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **01.10.2008**

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN DE UN VENENO CONSUMIBLE AL EXTERIOR DE LA VAINA DE UNA VARILLA DE COMBUSTIBLE NUCLEAR.**

30 Prioridad:
29.03.2007 US 692952

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
29.11.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
29.11.2011

73 Titular/es:
**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC
4350 NORTHERN PIKE
MONROEVILLE, PA 15146-2866**

72 Inventor/es:
**Lahoda, Edward J.;
Junker, Warren R.;
Lareau, John P. y
Congedo, Thomas V.**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 369 306 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

Procedimiento de aplicación de un veneno consumible al exterior de una vaina de una varilla de combustible nuclear

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

- 5 La presente invención versa en general acerca de varillas de combustible nuclear. Más específicamente, la presente invención versa acerca de un procedimiento de aplicación de un veneno consumible en el exterior de una varilla de combustible nuclear, veneno consumible que se adherirá y será efectivo incluso después del contacto con agua refrigerante.

Descripción de la técnica relacionada

- 10 Los venenos consumibles, que son materiales que tienen una sección transversal con gran absorción de neutrones que se consumen gradualmente bajo una irradiación de neutrones, se utilizan típicamente en reactores nucleares para controlar una reactividad excesiva en el combustible nuclear sin tener que emplear una o más varillas de control. En la actualidad, se incorporan venenos consumibles en el combustible de un reactor nuclear. Además, debido a la consunción del veneno consumible, la reactividad negativa del veneno consumible disminuye con la vida del núcleo. Ejemplos de patentes en esta área incluyen las patentes estadounidenses n^{os} 3.520.958, 4.774.051, 5.075.075 y 5.337.337 (de Versteeg et al.; Peeks et al.; Kopel y Aoyama et al.; respectivamente) y en la publicación de patente estadounidense n^o U.S. 2006/0109946 A1 (Lahoda et al.).

Resumen de la invención

- 20 Diversas necesidades son satisfechas por las diversas realizaciones de la presente invención que proporcionan un dispositivo de aplicación situado adyacente a una superficie de una varilla de combustible nuclear. Se usa el dispositivo de aplicación para pulverizar la varilla de combustible nuclear con una variedad de materiales como, por ejemplo, un material abrasivo, un veneno consumible y/o una capa de acabado.

- 25 Según una realización de la invención, se proporciona un procedimiento de aplicación de un veneno consumible a una varilla de combustible nuclear que comprende proporcionar una varilla de combustible nuclear que tiene un eje y una superficie exterior que tiene o no varios óxidos y depósitos superficiales, así como proporcionar al menos un dispositivo de aplicación adyacente a la superficie de la varilla de combustible nuclear.

- 30 El procedimiento también comprende el giro de la varilla de combustible nuclear en torno a su eje, o el movimiento del al menos un dispositivo de aplicación mientras se mantiene inmóvil la varilla, y la eliminación de una porción de cualquier óxido y de los depósitos superficiales de la superficie exterior de la varilla de combustible nuclear pulverizando un material abrasivo sobre la varilla de combustible nuclear mediante el al menos un dispositivo de aplicación mientras se regula la posición del dispositivo de aplicación en relación con la varilla de combustible nuclear u, opcionalmente, no eliminar óxidos ni otros depósitos superficiales.

- 35 El procedimiento también comprende la aplicación de un veneno consumible sobre la superficie de la varilla de combustible nuclear pulverizando el veneno consumible sobre la varilla de combustible nuclear por medio del dispositivo de aplicación mientras se regula la posición del al menos un dispositivo de aplicación en relación con la varilla de combustible nuclear.

- 40 Según otra realización de la invención, se proporciona un procedimiento para aplicar un veneno consumible a una varilla de combustible nuclear que comprende el proporcionamiento de una varilla de combustible nuclear que tiene un eje y una superficie exterior con varios óxidos y depósitos superficiales. El procedimiento también comprende el proporcionamiento de un dispositivo de aplicación adyacente a la superficie de la varilla de combustible nuclear. El dispositivo de aplicación incluye un canal que se extiende a través del mismo. El canal está en comunicación con una fuente de gas presurizado, así como con una fuente de partículas. El procedimiento comprende, además, el proporcionamiento de un dispositivo de captura de imágenes adyacente a la varilla de combustible nuclear. El dispositivo de captura de imágenes está adaptado para transmitir una imagen a un puesto de visionado remoto.

- 45 El procedimiento también comprende el giro de la varilla de combustible nuclear en torno a su eje y la eliminación de una porción de los óxidos y los depósitos superficiales en la superficie exterior de la varilla de combustible nuclear pulverizando la varilla de combustible nuclear con un material abrasivo mediante el dispositivo de aplicación mientras la posición del dispositivo de aplicación es regulada en relación con la varilla de combustible nuclear. Específicamente, se introduce una partícula abrasiva en el canal del dispositivo de aplicación por medio de la fuente de partículas y se expulsa gas presurizado desde la fuente de gas presurizado a través del canal del dispositivo de aplicación, pulverizando con ello la partícula abrasiva sobre la superficie de la varilla de combustible nuclear.

El procedimiento comprende, además, la aplicación de un veneno consumible sobre la superficie de la varilla de combustible nuclear pulverizando el veneno consumible sobre la varilla de combustible nuclear por medio del dispositivo de aplicación mientras la posición del dispositivo de aplicación es regulada en relación con la varilla de

combustible nuclear. Específicamente, se introduce una partícula de veneno consumible en el canal del dispositivo de aplicación por medio de la fuente de partículas y se expulsa gas presurizado desde la fuente de gas presurizado a través del canal del dispositivo de aplicación, pulverizando con ello el veneno consumible sobre la superficie de la varilla de combustible nuclear.

- 5 Según otra realización adicional de la invención, se proporciona un procedimiento para la aplicación de un veneno consumible a una varilla de combustible nuclear que comprende (a) proporcionar una varilla de combustible nuclear que tiene un eje y una superficie exterior que tiene varios óxidos y depósitos superficiales, así como (b) proporcionar un dispositivo de aplicación adyacente a la superficie de la varilla de combustible nuclear.

- 10 El procedimiento también comprende (c) girar la varilla de combustible nuclear en torno a su eje y (d) detener el giro de la varilla de combustible nuclear en torno a su eje. El procedimiento comprende, además, (e) eliminar una porción de los óxidos y los depósitos superficiales sobre la superficie exterior de la varilla de combustible nuclear pulverizando un material abrasivo sobre la varilla de combustible nuclear por medio del dispositivo de aplicación mientras se regula la posición del dispositivo de aplicación en relación con la varilla de combustible nuclear, así como (f) aplicar un veneno consumible sobre la superficie de la varilla de combustible nuclear pulverizando el
- 15 veneno consumible sobre la varilla de combustible nuclear por medio del dispositivo de aplicación mientras se regula la posición del dispositivo de aplicación en relación con la varilla de combustible nuclear.

- La presión del gas, el tamaño de la partícula y la distancia desde la vaina de la varilla se regulan para que sea efectivo, de modo que las partículas hagan impacto a una velocidad lo suficientemente elevada como para causar una actividad superficial, como, en el caso de una vaina metálica, fundir una capa superficial del metal de la vaina de
- 20 la varilla de combustible. El contacto subsiguiente del agua con las partículas estratificadas objeto de impactos formará una capa protectora de óxido en la parte externa de la capa exterior de partículas, de modo que impida que las capas interiores de veneno consumible se disuelvan en el refrigerante del reactor. Este es un resultado inesperado, dado que los venenos consumibles son generalmente solubles con el refrigerante acuoso del reactor.

- Una ventaja fundamental de tener el veneno consumible fuera de la vaina de la varilla de combustible es que, por ejemplo, si se usa boro como parte del veneno consumible, el gas helio resultante generado durante la reacción nuclear no presurizará de manera excesiva el interior de la varilla de combustible.
- 25

Breve descripción de los dibujos

Siguiendo la siguiente descripción puede alcanzarse una comprensión plena del concepto dado a conocer y reivindicado cuando se la lee en conjunto con los dibujos adjuntos, en los que:

- 30 La FIG. 1, que ilustra la invención de forma óptima, es una ilustración esquemática que representa una realización de un dispositivo de aplicación y de un dispositivo de captura de imágenes situado adyacente a una varilla de combustible nuclear. Esto es para el caso en el que se gire la varilla y el dispositivo de aplicación se mantenga estacionario. Según se ha afirmado previamente, el dispositivo de aplicación puede ser girado en torno a una varilla estacionaria.

- 35 La Fig. 2 es una ilustración esquemática que representa un contacto acuoso refrigerante con la capa exterior de partículas de la vaina de una varilla rodeada de una capa protectora en un entorno nuclear.

Descripción de las realizaciones preferentes

Tal como se emplea en el presente documento, el término "número" significa uno o un entero mayor que uno (es decir, una pluralidad).

- 40 Tal como se emplea en el presente documento, la expresión "veneno consumible" se refiere a grandes rasgos a un material que captura neutrones sin ceder neutrones pero en la que la capacidad de absorción de neutrones se ve reducida con el tiempo (consumible), a medida que absorbe neutrones; por ejemplo, boro elemental o boro que contiene compuestos como ZrB_2 o HfB_2 ; tierras raras, como Hf, Gd o Er elementales; y óxidos de tierras raras, preferentemente Gd_2O_3 y Er_2O_3 y sus mezclas. El material más preferente es ZrB_2 .

- 45 Cuando se hace referencia a cualquier intervalo numérico de valores, se entiende que tales intervalos incluyen cada número y/o fracción entre el mínimo y el máximo declarados del intervalo, y todos ellos.

- Las oraciones de dirección usadas en el presente documento como, por ejemplo, superior, inferior, izquierdo, derecho, vertical, horizontal, arriba, abajo, encima, en el sentido de las agujas del reloj, en sentido contrario a las agujas del reloj y derivadas de las mismas están relacionadas con la orientación de los elementos mostrados en los
- 50 dibujos y no son limitantes para las reivindicaciones, a no ser que se enumeren expresamente en las mismas.

Con referencia a la FIG. 1, se proporciona una varilla 2 de combustible nuclear que contiene pastillas o partículas de combustible (no mostradas), que tiene un eje 4 y una superficie exterior 6, como una vaina metálica (por ejemplo, un metal a base de zirconio) o una vaina cerámica (por ejemplo, SiC). Se sitúa al menos un dispositivo 8 de aplicación adyacente a la superficie exterior 6 de la varilla 2 de combustible nuclear. La varilla 2 de combustible nuclear está

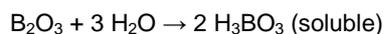
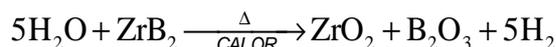
conectada a un aparato (no mostrado) que está adaptado para girar la varilla 2 de combustible nuclear en torno a su eje 4. En una realización, el giro de la varilla 2 de combustible nuclear en torno a su eje 4 es continuo. Sin embargo, en otra realización el giro de la varilla 2 de combustible nuclear es incremental (es decir, se gira la varilla 2 de combustible nuclear, luego se detiene el giro de la varilla 2 de combustible nuclear). Si la varilla nuclear 2 es girada continuamente en torno a su eje 4, entonces, en una realización, se regula la tasa de giro de modo que se obtenga un depósito de partículas de veneno consumible del espesor requerido. Este espesor puede implicar 2 o más capas y el espesor total puede oscilar entre 0,025 μm y 254 μm . Por debajo de 0,025 μm hay demasiado poca absorción de neutrones, y por encima de 254 μm hay demasiada absorción de neutrones por parte del veneno consumible, de modo que se hace difícil poner en marcha el reactor.

El dispositivo 8 de aplicación incluye un canal 10 que se extiende a través del mismo. El canal 10 está en comunicación con una fuente 14 de gas presurizado por medio de un tubo 16 de entrada de gas y con una fuente 18 de partículas por medio de un tubo 20 de entrada de partículas. El gas presurizado que se expulsa desde la fuente 14 de gas viaja por el tubo 16 de entrada de gas y el canal 10 del dispositivo 8 de aplicación, impulsando con ello a las partículas 22, que son inyectadas en el canal 10 a través del tubo 20 de entrada de partículas. Las partículas 22 procedentes del dispositivo 8 de aplicación pulverizan la varilla 2 de combustible nuclear con las partículas 22. Tal como se expondrá con mayor detalle más abajo, las partículas 22 que son pulverizadas sobre la varilla 2 de combustible nuclear pueden incluir, por ejemplo, inicial y opcionalmente, partículas abrasivas, y luego partículas de veneno consumible que tengan un tamaño de partícula entre 1 micrómetro y 250 micrómetros y, por último, opcionalmente, partículas ya protectoras que puedan usarse para recubrir el veneno consumible. Estas últimas partículas ya protectoras de la capa exterior incluyen partículas metálicas de Zr. Cualquier partícula aplicada es no electrostática, es decir, no está cargada eléctricamente ni se hace que se adhiera meramente por medios electrostáticos, ya que eso no proporcionaría capas muy adhesivas ni suficientemente íntimas.

Una característica muy importante de la invención es pulverizar la vaina con partículas 33 de veneno consumible a tal velocidad, por ejemplo entre 457 m/s y 762 m/s, para iniciar un cambio de fase de la superficie, mostrada en general como 30, en el exterior de la vaina, especialmente para una vaina metálica, para que ocurra cierta fusión molecular de la superficie y se adhieran las partículas que hacen impacto, formando una capa base de partículas, 42 en la Fig. 2, que mejora adicionalmente la adherencia de las capas. Cuanto mayor es el tamaño de la partícula, menos velocidad se necesita.

Con "fusión molecular de la superficie" se quiere decir cualquier medio desde una unión interatómica entre la vaina metálica y las partículas de veneno consumible a la formación de cráteres de fusión.

Durante la operación en un entorno nuclear 50 en la Figura 2, como un reactor nuclear, ilustrado en la FIG. 2 y descrito más adelante en la solicitud, la capa superior de veneno consumible, 46 en la Fig. 2, de, por ejemplo, partículas de veneno consumible de ZrB_2 , está sometida a oxidación por el paso de agua de refrigeración, formando así un producto protector de ZrO_2 que inhibe la reacción ulterior de las capas de ZrB_2 por debajo de 42 y 44 en la Fig. 2 por la reacción



Se había supuesto que todo el ZrO_2 sería eliminado/disuelto y arrastrado por el refrigerante del reactor. Opcionalmente, puede aplicarse a la superficie exterior material adicional ya inherentemente protector, como metal de Zr.

El dispositivo 8 de aplicación está montado en un aparato de translocación (no mostrado), como un brazo robótico, que está adaptado para regular la posición del dispositivo 8 de aplicación en relación con la varilla 2 de combustible nuclear. Por ejemplo, el brazo robótico puede translocar (mover) el dispositivo 8 de aplicación por toda la longitud de la varilla 2 de combustible nuclear. Además, el aparato de translocación también puede regular el ángulo del dispositivo 8 de aplicación en relación con la varilla 2 de combustible nuclear. Por ejemplo, el brazo robótico puede colocar el dispositivo 8 de aplicación de tal manera que el dispositivo 8 de aplicación este situado coaxial con la varilla 2 de combustible nuclear.

También puede situarse un dispositivo 24 de captura de imágenes adyacente a la varilla 2 de combustible nuclear. El dispositivo 24 de captura de imágenes está adaptado para transmitir una imagen a un puesto 26 de visionado remoto para que el procedimiento de recubrimiento de la varilla 2 de combustible nuclear pueda ser monitorizado. En una realización el dispositivo 24 de captura de imágenes también está conectado al brazo robótico en el que está montado el dispositivo 8 de aplicación. Sin embargo, en otra realización el dispositivo 24 de captura de imágenes está montado en otro aparato de translocación (no mostrado) para que el dispositivo 24 de captura de imágenes pueda ser translocado con independencia del dispositivo 8 de aplicación.

En una realización del procedimiento, se gira continuamente la varilla 2 de combustible nuclear en torno a su eje 4. A medida que se gira la varilla 2 de combustible nuclear, el dispositivo 8 de aplicación se coloca adyacente a la

superficie exterior 6 de la varilla 2 de combustible nuclear. Una vez que el dispositivo de aplicación está en la posición debida, se pulveriza un material abrasivo, tal como partículas de óxido de aluminio o de nitruro de boro, sobre la superficie exterior 6 de la varilla 2 de combustible nuclear por medio del dispositivo 8 de aplicación para eliminar uno o más óxidos y/o los depósitos superficiales que están dispuestos sobre la superficie exterior 6 de la varilla 2 de combustible nuclear. El procedimiento de eliminación de óxidos y/o de los depósitos superficiales de la varilla 2 de combustible nuclear se realiza típicamente para proporcionar una superficie sustancialmente limpia sobre la que poder aplicar un veneno consumible en la varilla 2 de combustible nuclear en una o más etapas consecutivas. A medida que se expulsa material abrasivo desde el dispositivo 2 de aplicación, se regulan la posición y/o el ángulo del dispositivo 8 de aplicación en relación con la varilla 2 de combustible nuclear en rotación. Obsérvese que esta etapa puede no ser necesaria, dado que los óxidos o los otros contaminantes superficiales pueden haber sido eliminados previamente o pueden estar en cantidades suficientemente reducidas como para proporcionar una adherencia aceptable del veneno consumible a la superficie exterior de la varilla.

Después de que una porción de los óxidos y/o de los depósitos superficiales sea eliminada opcionalmente de la varilla 2 de combustible nuclear, el dispositivo 8 de aplicación se usa para aplicar un veneno consumible sobre la varilla 2 de combustible nuclear mientras la varilla 2 de combustible nuclear sigue girando. Específicamente, se expulsan del dispositivo 8 de aplicación y se pulverizan sobre la varilla 2 de combustible nuclear partículas elementales de un veneno consumible, tales como, sin limitación, boro elemental, gadolinio elemental, hafnio elemental o erbio elemental, Er_2O_3 , Gd_2O_3 , HfB_2 o ZrB_2 . Estas partículas se muestran específicamente como partículas 33. Las partículas 33 de veneno consumible siempre serían aplicadas después de la aplicación (no con ella) de partículas opcionales 22, como partículas abrasivas de limpieza (mostradas en la misma Fig. 1, pero las partículas 22 y 33 son pulverizadas en momentos separados y nunca juntas). Mientras las partículas de veneno consumible son pulverizadas sobre la varilla 2 de combustible nuclear, se regulan la posición y/o el ángulo del dispositivo 8 de aplicación en relación con la varilla 2 de combustible nuclear, de tal modo que comienza a acumularse una capa de veneno consumible sobre la superficie exterior 6 de la varilla 2 de combustible nuclear.

La velocidad a la que se expulsa el veneno consumible del dispositivo 8 de aplicación depende de la velocidad a la que es expulsado el gas presurizado de la fuente 14 de gas presurizado, así como de la masa de las partículas que son introducidas en el canal 10 del dispositivo 8 de aplicación. En una realización, se deposita una pluralidad de capas sustancialmente uniformes de veneno consumible sobre la varilla 2 de combustible nuclear, oscilando el espesor total de las capas entre aproximadamente $0,025 \mu\text{m}$ y $254 \mu\text{m}$ (espesor de la capa). En otra realización, las capas son sustancialmente no uniformes. Es decir, por ejemplo una capa inicial, 42 en el ejemplo, puede tener un tamaño de partícula de 300 micrómetros para causar un buen impacto de adherencia, seguida por entre 2 y 10 capas de partículas de 50 micrómetros. Después de la aplicación, la varilla puede ser descargada inmediatamente del dispositivo de aplicación.

Después de que se completa el procedimiento de aplicación del veneno consumible sobre la varilla 2 de combustible nuclear, puede aplicarse opcionalmente una capa de terminación ya inherentemente protectora sobre las capas depositadas de veneno consumible. La capa de terminación puede ser de un material tal como, sin limitación, zirconio, hafnio, titanio o un material similar que proporcione una capa barrera protectora para el veneno consumible que ya está pulverizado y depositado. Como en las etapas previas, típicamente se regulan la posición y/o el ángulo del dispositivo 8 de aplicación en relación con la varilla 2 de combustible nuclear durante el procedimiento de deposición de la capa de terminación sobre el veneno consumible.

En otras realización, puede someterse opcionalmente a una varilla 2 de combustible nuclear que tiene una capa de terminación a diversos procedimientos corrientes abajo, tales como un tratamiento mecánico, para impartir un acabado superficial deseado a la varilla 2 de combustible nuclear recubierta.

En otra realización de la invención, no se gira continuamente la varilla 2 de combustible nuclear en torno a su eje 4. Más bien, la varilla 2 de combustible nuclear es girada incrementalmente en torno a su eje 4. En esta realización particular, la varilla 2 de combustible nuclear es girada incrementalmente para que el veneno consumible se deposite sobre la superficie exterior 6 de la varilla 2 de combustible nuclear a modo de tiras. En consecuencia, se aprecia que, en esta realización particular, la varilla 2 de combustible nuclear tendrá un número de tiras de veneno consumible que se extienden por toda la longitud de la varilla 2 de combustible nuclear sustancialmente paralelas al eje 4 de la varilla 2 de combustible nuclear. En otra realización, la varilla 2 puede ser estacionaria y puede hacerse girar transversalmente a uno o más dispositivos 8 de aplicación en torno al eje de la varilla.

En la FIG. 1 también se muestran la flecha 28, que representa la velocidad de las partículas de polvo, especialmente las partículas 33 de veneno consumible; la flecha 29, que muestra una dirección del movimiento del pulverizador; y la flecha 31, que muestra una realización del giro de la varilla. Las partículas 33 de veneno consumible de la capa inicial chocan con la superficie 6 metálica o cerámica de la vaina 35, que se muestra como un tubo, con una velocidad efectiva para provocar una "acción" superficial 30, tal como una ligera fusión molecular de la superficie, una difusión interatómica entre el veneno consumible y la vaina metálica o cerámica, o una unión atómica debida a la formación de cristales; lo que causa la adherencia de las partículas 33, proporcionando una o más capas 32 de partículas en la Fig. 1. Cada una de estas capas de partículas consumibles puede ser de partículas todas del mismo tamaño (diámetro) o de una mezcla de tamaños de partícula.

- Con referencia ahora a la FIG. 2, se muestra en sección una varilla 2 de combustible en un entorno nuclear 50 que tiene una vaina 35 y una superficie exterior 6 de la vaina. La vaina aquí mostrada contiene pastillas interiores 40 de combustible que pueden ser insertadas en la varilla de combustible antes o después de la pulverización. Se muestra como 42 una primera capa aplicada de partículas consumibles; se muestran como 44 y 46 unas capas aplicadas segunda y tercera, respectivamente, de partículas consumibles. Se muestra agua 48 de refrigeración pasando cerca o haciendo contacto con la capa exterior consumible 46, material refrigerante acuoso que reaccionará, en un entorno calentado/caliente, normalmente entre aproximadamente 200°C y aproximadamente 360°C, formando las partículas consumibles un óxido protector sobre o en la capa 46 (mostrada a rayas) que protegerá la capas consumibles interiores 42 y 44.
- 5
- 10 Aunque en lo que antecede se han mostrado en detalle realizaciones específicas de la invención, los expertos en la técnica apreciarán que podrían desarrollarse diversas modificaciones y alternativas a esos detalles teniendo en cuenta las enseñanzas generales de la revelación. En consecuencia, se pretende que las disposiciones particulares dadas a conocer sean únicamente ilustrativas y no limitantes en cuanto al alcance del concepto dado a conocer y reivindicado, al que se le ha de dar la total amplitud de las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, tal como se ha
- 15 mencionado más arriba, moviendo el dispositivo de aplicación y no la varilla.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de aplicación de un veneno consumible a una varilla (2) de combustible nuclear que tiene una vaina exterior (35), varilla (2) de combustible que es útil en un entorno nuclear y que estará sometida a un contacto exterior con un refrigerante acuoso, comprendiendo el procedimiento:
- 5 (a) proporcionar una varilla (2) de combustible nuclear, teniendo dicha varilla de combustible nuclear un eje (4) y una superficie exterior (6) de la vaina (35) que puede tener posibles óxidos superficiales y otros depósitos superficiales;
- (b) proporcionar al menos un dispositivo (8) de aplicación adyacente a dicha superficie (6) de dicha varilla de combustible nuclear;
- 10 (c) girar dicha varilla (2) de combustible nuclear en torno a dicho eje (4) o mover el al menos un dispositivo (8) de aplicación y mantener inmóvil la varilla; y
- (d) aplicar partículas (33) de veneno consumible sobre dicha superficie (6) de la vaina de dicha varilla (2) de combustible nuclear pulverizando una pluralidad de capas (32) de dichas partículas de veneno consumible sobre dicha superficie de dicha varilla de combustible nuclear mediante dicho al menos un dispositivo (8) de aplicación, en el que las partículas (33) de veneno consumible son aplicadas a una velocidad (28) suficiente para causar la adherencia a dicha superficie exterior (6) de la vaina para formar una capa exterior de veneno consumible sometida a oxidación por contacto con un material acuoso, en el que la pluralidad total de capas de veneno consumible tiene un espesor entre 0,025 μm y 254 μm .
- 15
2. El procedimiento según la reivindicación 1 que comprende la eliminación de al menos una porción de dichos posibles óxidos superficiales y de dichos otros depósitos superficiales de dicha superficie exterior (6) de la vaina de dicha varilla (2) de combustible nuclear pulverizando un material abrasivo sobre dicha superficie de dicha varilla de combustible nuclear mediante dicho al menos un dispositivo (8) de aplicación.
- 20
3. El procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2 que, además, comprende la aplicación de una capa protectora adicional sobre dichas capas de veneno consumible mediante dicho dispositivo (8) de aplicación mientras se regula la posición de dicho dispositivo (8) de aplicación en relación con dicha varilla (2) de combustible nuclear.
- 25
4. El procedimiento según la reivindicación 3 que, además, comprende la aplicación de una capa metálica como dicha capa protectora.
5. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 en el que una porción de dicha regulación de la posición de dicho dispositivo (8) de aplicación implica la regulación del ángulo de dicho dispositivo de aplicación en relación con dicha varilla (2) de combustible nuclear.
- 30
6. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 en el que una porción de dicha regulación de la posición de dicho dispositivo (8) de aplicación implica la regulación de la posición de dicho dispositivo de aplicación en relación con dicho eje (4) de dicha varilla (2) de combustible nuclear.
- 35
7. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 que, además, comprende la aplicación de dicho veneno consumible (33) seleccionado del grupo que comprende boro elemental, gadolinio elemental, hafnio elemental, erbio elemental, HfB_2 , ZrB_2 , Gd_2O_3 , Er_2O_3 y mezclas de los mismos.
8. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 en el que la vaina (35) es un metal, comprendiendo el procedimiento, además, la regulación de la tasa con la que salen dichas partículas (33) de veneno consumible de dicho dispositivo (8) de aplicación durante la etapa de aplicación de dichas partículas (33) de veneno consumible sobre dicha superficie (6) de la vaina de dicha varilla (2) de combustible nuclear, para mejorar la adherencia superficial de las partículas a la superficie de la vaina.
- 40
9. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 en el que dicha varilla (2) de combustible nuclear es girada continuamente.
- 45
10. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 en el que, después de la etapa (d), dicha varilla (2) de combustible nuclear se pone en contacto con un material acuoso (48), lo que causa que dicha capa exterior (46) de veneno consumible forme un óxido adhesivo protector.
11. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 en el que la velocidad (28) en la etapa (d) se encuentra entre 457 m/segundo y 762 m/segundo y el tamaño de partícula del veneno consumible (33) se encuentra entre 1 micrómetro y 500 micrómetros.
- 50
12. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 en el que la pulverización de partículas de veneno consumible sobre dicha superficie (6) de la vaina se realiza introduciendo las partículas en un canal

que se extiende a través de dicho dispositivo de aplicación y está en comunicación con una fuente de gas presurizado, y expulsando gas presurizado de dicha fuente de gas presurizado a través de dicho canal.

- 5
13. El procedimiento según la reivindicación 12 en el que la pulverización de un material abrasivo sobre la superficie de la vaina de la varilla de combustible se realiza introduciendo partículas abrasivas en dicho canal y expulsando gas presurizado de dicha fuente de gas presurizado a través de dicho canal.
 14. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13 en el que se usa un dispositivo de captura de imágenes adyacente a dicha varilla de combustible nuclear para transmitir una imagen de dicha varilla de combustible nuclear a un puesto de visionado remoto.

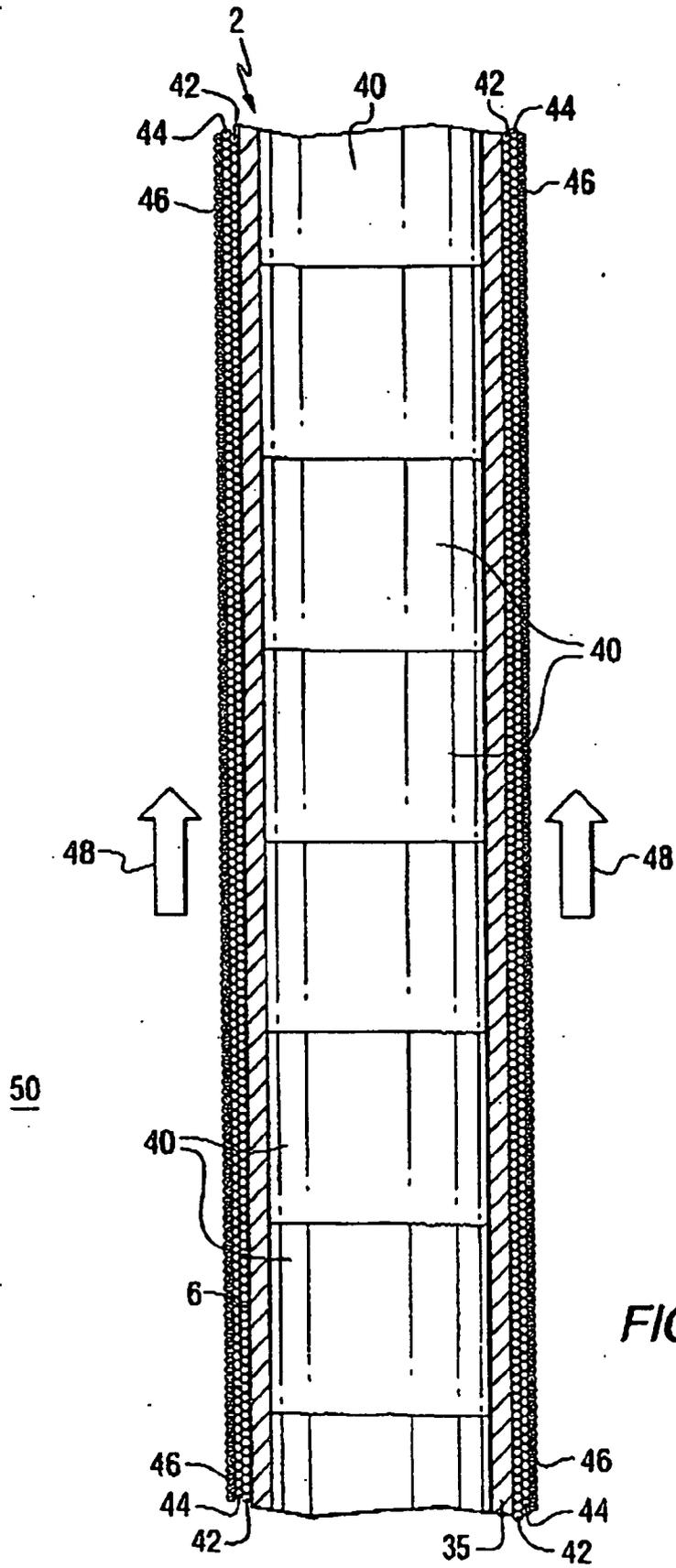


FIG. 2