

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 625 319**

51 Int. Cl.:

G21C 3/07 (2006.01)

G21C 17/022 (2006.01)

G21C 21/02 (2006.01)

G21C 3/20 (2006.01)

G21C 3/356 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.10.2009 E 09172949 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.03.2017 EP 2178092**

54 Título: **Conjunto de barras de combustible y método para mitigar la corrosión intensificada por radiaciones de un componente basado en zirconio**

30 Prioridad:

14.10.2008 US 250699

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

19.07.2017

73 Titular/es:

**GLOBAL NUCLEAR FUEL-AMERICAS, LLC
(100.0%)
3901 Castle Hayne Road Wilmington
North Carolina 28401, US**

72 Inventor/es:

**KIM, YOUNG JIN;
GRAY, DENNIS MICHAEL;
WHITE, DAVID WILLIAM;
LIN, YANG-PI;
CURTIS, TODD CHARLES y
PATTERSON, CHARLES BEATY**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 625 319 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 barras de combustible y método para mitigar la corrosión intensificada por radiaciones de un componente basado en zirconio

CAMPO DEL INVENTO

- 5 El invento se refiere en términos generales a un conjunto de barras de combustible y a un método para reducir la magnitud de la corrosión intensificada por radiaciones en la superficie de un componente basado en zirconio en un entorno a alta temperatura, tal como un reactor de agua hirviendo (BWR = acrónimo de boiling water reactor).

ANTECEDENTES DEL INVENTO

10 Los conocidos reactores nucleares de agua hirviendo son provistos de un núcleo central grande. En la típica construcción, una corriente líquida de una mezcla de un refrigerante y un moderador de agua entra en el núcleo desde el fondo y sale del núcleo desde la parte superior en forma de una mezcla de vapor de agua y agua. El núcleo incluye muchos haces de combustibles yuxtapuestos lateralmente. El agua se introduce dentro de cada haz de combustibles a través de una pieza moldeada por colada para el soporte de haces de combustibles a partir de una cámara impelente a alta presión, que está situada por debajo del núcleo. El agua pasa en una corriente distribuida a 15 través de los haces de combustibles individuales, es calentada para generar vapor de agua, y sale por la parte superior del núcleo como una mezcla bifásica de agua y vapor de agua, a partir de la que se extrae el vapor de agua para la generación de energía.

Típicamente, cada haz de combustible incluye una matriz de barras de combustible erguidas. Las barras de combustible son unos tubos cerrados herméticamente, cada uno de los cuales contiene un material fisionable, que 20 cuando es sometido a una reacción nuclear, produce vapor de agua que genera energía. Junto al extremo superior de la matriz de las barras de combustible erguidas está colocada una denominada placa de empalme superior. Esta placa de empalme superior sostiene por lo menos a algunas de las barras de combustible en una alineación yuxtapuesta vertical. Algunas de las barras de combustible pueden ser sujetas tanto a la placa de empalme superior como a las correspondientes placas de empalme inferiores. Entre las placas de empalme superior e inferiores se 25 incluyen generalmente unas barras de agua (o dispositivos equivalentes) para mejorar la relación del moderador de agua al combustible, particularmente en la región de la fracción vacía más alta, superior, del haz de combustibles.

Además, los haces de combustibles incluyen aproximadamente siete u ocho espaciadores de barras de combustible a alturas variables a lo largo de la longitud del haz de combustibles. Estos espaciadores son requeridos puesto que 30 las barras de combustible son largas (aproximadamente 4 m (160 pulgadas)) y esbeltas (con un diámetro de aproximadamente 10,16 a 12,7 mm (0,4 a 0,5 pulgadas)), y entrarían en contacto bajo la dinámica de una corriente de fluido y la generación de energía nuclear dentro de los haces de combustibles. Los espaciadores tienen normalmente la forma de una rejilla e incluyen una pluralidad de celdas espaciadoras individuales que proporcionan refrenamientos apropiados para cada barra de combustible en sus alturas respectivas y de esta manera impiden el contacto entre las barras de combustible y mantienen a las barras de combustible en un espaciamiento uniforme con 35 relación a las otras a lo largo de la longitud del haz de combustibles para obtener un rendimiento óptimo. Además, las celdas espaciadoras adyacentes son unidas corrientemente por un resorte común que empuja a unas barras de combustible adyacentes en direcciones opuestas hacia unos topes en la celda espaciadora.

Se ha encontrado que generalmente es deseable formar el tubo de revestimiento a partir de una aleación basada en zirconio mientras que, en unos más recientes diseños de espaciadores, los materiales de los espaciadores y del 40 tope son formados preferiblemente a partir de una aleación basada en níquel, p.ej. Inconel o X-750, o de una aleación basada en hierro, p.ej. 304 SS. Ocasionalmente se ha observado que un espaciador hecho de una aleación basada en níquel exhibe una corrosión intensificada por radiaciones, p.ej. corrosión por sombra, cuando un material basado en zirconio es colocado adyacente a él. Esta corrosión intensificada por radiaciones se manifiesta por un denominado "efecto de sombra" que adopta la forma de una región con corrosión intensificada por radiaciones en el 45 componente basado en zirconio, que aparece inmediatamente adyacente al componente sombreador.

El documento de patente europea EP 1933328 divulga un método para tratar un material para haces de combustibles, hecho de una aleación de Zr, en un reactor nuclear, que incluye tratar una superficie del material para 50 haces de combustibles, hecho de una aleación de Zr, con un haz de láser generado por un dispositivo láser de estado sólido. Esto puede reducir la generación de corrosión por sombra y/o reducir la propensión a interferir entre la paleta de control y el canal de flujo durante el funcionamiento del reactor nuclear.

El documento de patente de los EE.UU. US 5227120 divulga un revestimiento de nitruro de zirconio resistente a la corrosión, que es aplicado al tubo de revestimiento de una barra de combustible nuclear. El nitruro de zirconio es depositado reactivamente mediante un procedimiento de deposición por plasma con un arco catódico. El nitruro de

zirconio proporciona superiores resultados en los ensayos de desgaste y aumenta la resistencia a la corrosión del tubo de revestimiento.

5 El documento EP 0225089 describe unas barras desplazadoras del agua para usarse en reactores de agua y para sus soportes en el reactor son provistas de unos revestimientos resistentes al desgaste aplicados mediante deposición por chispas eléctricas y unidos mediante deposición por chispas eléctricas a la aleación basada en zirconio que forma la parte exterior de la barra.

10 El documento EP 1172460 describe un método para aplicar un revestimiento adherente de fórmula MCrAlX, en donde M es Fe, Ni o Co sobre un sustrato basado en un metal. Una suspensión que contiene un material de soldadura fuerte y un componente volátil es depositada sobre el sustrato. La suspensión puede incluir también un material de revestimiento adherente. Alternativamente el material de revestimiento adherente puede ser aplicado posteriormente, en forma sólida o en la forma de una segunda suspensión. La suspensión y el revestimiento adherente se secan y fusionan luego al sustrato.

15 Los documentos de patentes canadienses CA 1128376 y CA 1114077 describen unos métodos para prevenir la fisuración por corrosión bajo tensión o la fragilización por metales de un recipiente de zirconio que está revestido en su superficie interna con una capa metálica, tal como cobre, una aleación de cobre, níquel o hierro. Este método proporciona una capa límite hecha de óxido de zirconio entre el recipiente de zirconio y la capa metálica.

BREVE DESCRIPCIÓN DEL INVENTO

20 De acuerdo con un aspecto del presente invento se proporciona un conjunto de barras de combustible que comprende un primer componente, que comprende un material basado en zirconio puesto en contacto con o situado adyacentemente a un segundo componente, que comprende un material diferente del material basado en zirconio. Se dispone sobre una superficie exterior del primer componente un revestimiento, que es efectivo para reducir la diferencia de potencial de corrosión electroquímica (ECP = acrónimo de electrochemical corrosion potential) entre el primer componente y el segundo componente en relación con la diferencia de ECP entre el primer componente y el segundo componente sin el revestimiento. El revestimiento comprende un componente seleccionado entre el conjunto que consiste en NiCrAlY, NiCr, Cr₂O₃, FeCrAlY, FeCr y sus combinaciones.

30 En otro aspecto del invento, se proporciona un método para disminuir la magnitud de la corrosión intensificada por radiaciones dentro de un conjunto de barras de combustible que comprende un primer componente y un segundo componente. En el método, el primer componente comprende un material basado en zirconio y el segundo componente comprende un material diferente del material basado en zirconio, p.ej. una aleación basada en níquel, p.ej. Inconel o X-750, o una aleación basada en Fe, p.ej. 304 SS. El segundo componente está en contacto con o colocado adyacentemente al primer componente. El método comprende aplicar un revestimiento sobre una superficie exterior del primer componente para formar un revestimiento sobre una superficie exterior del mismo. El revestimiento es efectivo para reducir la diferencia de ECP entre el primer componente y el segundo componente en relación con la diferencia de potencial de corrosión electroquímica entre el primer componente y el segundo componente sin el revestimiento. El revestimiento comprende un componente seleccionado entre el conjunto que consiste en NiCrAlY, NiCr, Cr₂O₃, FeCrAlY, FeCr y sus combinaciones.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

40 Estas/os y otras/os características, aspectos y ventajas del presente invento se comprenderán mejor, por ejemplo, cuando se lea la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos anejos, en los que unos caracteres iguales representan unas partes iguales a lo largo de los dibujos, en donde:

La FIG. 1 es una vista en perspectiva, parcialmente esquemática, que ilustra un conjunto de combustibles que incluye barras de combustible que tienen un revestimiento inhibitor del desgaste de acuerdo con el invento;

La FIG. 2 es una vista desde arriba que muestra menos que la totalidad de las celdas espaciadoras de un espaciador típico;

45 Las FIGS. 3A y 3B son unas vistas desde arriba y en alzado respectivamente de unas celdas espaciadoras emparejadas que tienen un resorte común;

La FIG.4 es una vista en sección transversal de un tubo de revestimiento que tiene sobre él un revestimiento dentro de una barra de combustible de acuerdo con una forma de realización del presente invento;

50 La FIG.5 es un gráfico que compara los valores de ECP para 304-SS, X-750, Zircaloy-2 y Zircaloy-2 revestida con NiCrAlY;

La FIG. 6 es un gráfico que compara los valores de ECP para 304-SS, X-750, Zircaloy-2 y Zircaloy-2 revestida con FeCrAlY; y

La FIG. 7 es una vista en perspectiva de una paleta de control y de un conjunto de combustibles asociado con un aspecto del presente invento.

5 DESCRIPCIÓN DETALLADA

Refiriéndose a la FIG. 1, un conjunto de combustibles se indica generalmente por el número de referencia 5 e incluye típicamente una pluralidad de haces de combustibles 10. Se muestra un haz de combustibles 10 ilustrativo incluyendo una placa de empalme superior 12 y una placa de empalme inferior 14 y una pluralidad de barras de combustible 16 situadas entre ellas. En el caso de unos conjuntos para un BWR, el haz de combustibles 10 puede contener una o más barras de agua 18. Una pluralidad de rejillas espaciadoras o elementos espaciadores 20 se dispone a lo largo de la longitud de las barras de combustible 16 en lugares situados entre las placas de empalme 12 y 14. En el caso de unos conjuntos para BWR, el haz de combustibles 10 puede contener una estructura de canales 19 que encierra a las barras de combustible 16 y a los espaciadores 20.

Típicamente, el haz de combustibles 10 incluye siete u ocho espaciadores de barras de combustible 20 situados a alturas variables a lo largo de la longitud del haz de combustibles 10. Estos espaciadores 20 son requeridos puesto que las barras de combustible son largas (aproximadamente 4 m (160 pulgadas)) y esbeltas (con un diámetro de aproximadamente 10,16 a 12,7 mm (0,4 a 0,5 pulgadas)), y entrarían en contacto bajo la dinámica de una corriente de fluido y la generación de energía nuclear dentro de los haces de combustibles. Los espaciadores 20 proporcionan refrenamientos apropiados para cada barra de combustible 16 en sus alturas respectivas y de esta manera impiden el contacto entre las barras de combustible 16 y mantienen a las barras de combustible 16 en un espaciamiento uniforme en relación entre ellas a lo largo de la longitud del haz de combustibles 10 para obtener un rendimiento óptimo.

La FIG. 2 muestra una vista superior de un espaciador 20 ilustrativo, que comprende una pluralidad de celdas paralelas 22 soldadas unas con otras y con una banda espaciadora 24 para formar una rejilla 26. Además, como se muestra en las FIGS. 3A y 3B, cada par de celdas espaciadoras 22 adyacentes está enlazado por un resorte común 28 que empuja a las barras de combustible 12 en direcciones opuestas hacia un respectivo conjunto de topes 25. La interferencia entre el resorte 28 y las barras de combustible 16 se describe más claramente en la FIG. 3B, que se toma a lo largo de la línea 3B de la FIG. 3A. En esta forma de realización, el resorte 28 ejerce una fuerza de varias libras en la superficie de cada barra de combustible 16 mientras que está en contacto deslizante con la barra de combustible 16.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 4, se muestra la barra de combustible 16 incluyendo un tubo de revestimiento de aleación a base de zirconio 30 que tiene un revestimiento sobre su superficie exterior. El tubo de revestimiento 30 también contiene un núcleo 36 que tiene una cierta cantidad de material fisionable 38. La barra de combustible 16 está diseñada para proporcionar un excelente contacto térmico entre el tubo de revestimiento 30 y el material fisionable 38, un mínimo de absorción de neutrones parásitos, y una resistencia a la inclinación y a la vibración, que es causada ocasionalmente por la corriente de refrigerante a alta velocidad. El material fisionable 38 se compone típicamente de una pluralidad de gránulos de combustible hechos de un material fisionable y/o fértil. El núcleo de combustible 36 puede tener diversas formas, tales como las de gránulos cilíndricos, esferas o pequeñas partículas. Se pueden usar diversos combustibles nucleares, incluyendo compuestos de uranio, compuestos de torio y mezclas de los mismos. Un combustible ilustrativo es el dióxido de uranio o una mezcla que comprende dióxido de uranio y dióxido de plutonio.

El tubo de revestimiento 30 es formado corrientemente a partir de un material basado en zirconio, tal como, pero sin estar limitado a, aleaciones basadas en zirconio. En condiciones normales, los materiales basados en zirconio son excelentes para revestimientos de combustibles nucleares puesto que ellos tienen bajas secciones transversales de absorción de neutrones y, a unas temperaturas por debajo de aproximadamente 350° C, son fuertes, dúctiles, extremadamente estables y relativamente no reactivos en la presencia de agua desmineralizada o de vapor de agua. En una forma de realización, el material basado en zirconio es una aleación basada en zirconio que comprende diversos elementos aleadores de Sn, Fe, Ni, Cr o Nb, p.ej., GNF-Ziron, Zircaloy-2, Zircaloy-4, una aleación de Zr y Nb, y similares. Las Zircaloys son una familia particular de materiales de aleación basados en zirconio resistentes a la corrosión. Ellas se componen de 98-99 % de zirconio, siendo el resto estaño, hierro, cromo y níquel. Las "Zircaloy-2" y "Zircaloy-4" son dos aleaciones basadas en zirconio ampliamente usadas para revestir. La Zircaloy-2 contiene sobre una base de peso aproximadamente 1,2 a 1,7 por ciento de estaño; 0,07-0,20 por ciento de hierro; 0,05-0,15 por ciento de cromo; y 0,03 a 0,08 por ciento de níquel. La Zircaloy-4 no contiene esencialmente níquel y contiene aproximadamente 0,21 % de hierro, pero por lo demás es sustancialmente similar a la Zircaloy-2.

Un segundo componente, formado a partir de un material diferente del material basado en zirconio del tubo de revestimiento 30, está en contacto con o situado adyacentemente al tubo de revestimiento 30 en un típico BWR o PWR (acrónimo de pressure nuclear reactor = reactor nuclear a presión). Por el concepto de "adyacente," se

entiende que un primer componente, p.ej. un tubo de revestimiento 30, está situado a una distancia de un segundo componente, formado a partir de un material diferente del del primer componente, tal que se forma una diferencia de potencial entre los dos componentes tal como se explicará más abajo. En el caso de un BWR, generalmente se produce una corrosión por sombra cuando un tubo de revestimiento 30, por ejemplo, es colocado a una distancia dentro de 5 mm del segundo componente. En una forma de realización, el segundo componente es una o más de las piezas seleccionadas entre los espaciadores 20, los topes 25, o un resorte 28, como se han descrito más arriba. Alternativamente, el segundo componente puede ser una cualquiera o más piezas seleccionadas entre un espaciador con un diseño diferente al que se ha descrito más arriba, un resorte espaciador, una paleta de barra de control, una junta de rosca, unas placas superior e inferior, unas rejillas de núcleo, en un BWR o PWR, o cualquier otro componente fundamental de un con junto de combustibles o reactor. El espaciador 20, los topes 25 y/o el resorte 28 se forman típicamente a partir de una aleación basada en níquel a causa de la resistencia mecánica y la integridad de dichas aleaciones. Unas apropiadas aleaciones basadas en níquel incluyen Inconel X-750 o X-718. Alternativamente, el segundo componente puede comprender una aleación basada en Fe tal como un acero inoxidable 304 o 316 (SS 304 o SS 316).

En la configuración más arriba descrita, el componente basado en zirconio, p.ej. el tubo de revestimiento 30, es susceptible de experimentar por lo menos una corrosión electroquímica y el resultante daño estructural. La corrosión electroquímica es causada por un flujo de electrones desde las zonas anódicas a las catódicas sobre unas superficies metálicas. El ECP es una medida de la tendencia termodinámica a que ocurran fenómenos de corrosión y es un parámetro fundamental para determinar las velocidades de corrosión electroquímica. El ECP es referido también como el balance cinético de diversas reacciones de oxidación y reducción sobre una superficie metálica colocada en un electrólito. El ECP puede ser disminuido, por ejemplo, reduciendo la concentración de especies químicas oxidantes tales como oxígeno disuelto. Sin embargo, en unos entornos a alta temperatura (p.ej. unos entornos de BWR), el agua a alta temperatura puede tener una concentración elevada de especies químicas oxidantes, tales como peróxido de hidrógeno y oxígeno, favoreciendo de esta manera un ECP aumentado de los componentes.

Un primer componente en el entorno a alta temperatura, p.ej un tubo de revestimiento 30, se forma típicamente a partir de un material basado en zirconio y tiene un ECP marcadamente diferente del del segundo componente puesto en contacto con o adyacentemente al tubo de revestimiento 30 cuando el segundo componente está hecho de un material diferente, tal como X-750. Cuando existe una diferencia en los ECP's de dos metales adyacentes, se forma una diferencia de potencial o una celda galvánica cuando se transfieren partículas cargadas desde un metal (p.ej. una Zircaloy) al otro (p.ej. una aleación basada en níquel, tal como X-750). El resultado es una corrosión de uno de los metales, que en este caso es el material basado en zirconio de un primer componente (p.ej. un tubo de revestimiento 30). Cuanto mayor sea la diferencia de ECP, mayor será el potencial para sufrir corrosión, particularmente en la presencia de una radiación, tal como en un entorno nuclear.

Los autores del invento han encontrado que la aplicación del revestimiento 32 a la superficie exterior de un primer componente, p.ej. un tubo de revestimiento 30, da como resultado una disminución de la diferencia de ECP entre el primer componente (tubo de revestimiento 30) y un segundo componente formado a partir de un material diferente del material basado en zirconio. Por ejemplo, el revestimiento 32 del presente invento es efectivo para proporcionar el mismo o similar potencial electroquímico, p.ej. dentro de una tolerancia aproximadamente 10 %, sobre el tubo de revestimiento 30, por ejemplo, como sobre el correspondiente segundo componente, p.ej. un espaciador 20, unos topes 25 y/o un resorte 28 formados a partir de X-750 (por ejemplo). Como resultado, la aplicación del revestimiento 32 puede disminuir la susceptibilidad de los componentes a sufrir una corrosión intensificada por radiaciones, p.ej. una corrosión por sombra. En una forma de realización, el revestimiento 32 comprende por lo menos un componente seleccionado entre el conjunto que se compone de NiCrAlY, NiCr, Cr₂O₃, FeCrAlY, FeCr y sus combinaciones. En una forma de realización particular, el revestimiento comprende por lo menos uno de los componentes NiCrAlY y/o FeCrAlY.

El revestimiento 32 puede tener un espesor de desde aproximadamente 0,1 micrómetros a aproximadamente 10 milésimas (mil) y, en una forma de realización, de aproximadamente 50,8 a 76,2 μm (de 2 a aproximadamente 3 mil). Además, el revestimiento 32 puede ser aplicado a una superficie exterior del tubo de revestimiento 30 en una o más regiones o zonas en donde se espera que se produzca una corrosión por sombra. En una forma de realización, el revestimiento es aplicado a las regiones del tubo de revestimiento 30 que están justamente adyacentes al espaciador 20. Opcionalmente, el revestimiento 32 puede comprender además un metal dúctil para proporcionar adicionales propiedades de dureza, resistencia al desgaste y/o adhesión al revestimiento 32.

La FIG. 5 ilustra los ECP de diversos materiales, incluyendo Zircaloy-2, 304 Stainless Steel, X-750 y Zircaloy-2 revestida con NiCrAlY. Como se puede observar la Zircaloy-2 y la X-750 tienen unos ECP marcadamente diferentes. Sin embargo, la Zircaloy-2 revestido de NiCrAlY desplaza al ECP del tubo de revestimiento 30 (cuando el revestimiento 32 está aplicado sobre él) a unos valores cercanos a los de X-750 y 304 Stainless Steel. Similarmente, la FIG. 6 ilustra los ECP de diversos materiales incluyendo Zircaloy-2, 304 Stainless Steel, X-750 y Zircaloy-2 revestida con FeCrAlY. De la misma manera que se ha expuesto anteriormente con respecto al revestimiento con NiCrAlY, el revestimiento con FeCrAlY 32 sobre Zircaloy-2 desplaza al ECP del tubo de revestimiento 30 (cuando el

revestimiento 32 está aplicado sobre él) a unos valores cercanos a los de X-750 y 304 Stainless Steel. De esta manera, el revestimiento 32 eliminará o reducirá en gran manera el gradiente de potenciales de corrosión electroquímica (ECP) de los metales distintos y de esta manera eliminará la corrosión inducida por radiaciones (p.ej. la corrosión por sombra) de la que se conoce que se acelera durante el funcionamiento de la instalación. Además, el revestimiento 32 no permitirá o reducirá en gran manera el par galvánico de un tubo de revestimiento 30 de Zircaloy, por ejemplo, y de un segundo componente p.ej. un espaciador 20, unos toques 25 y/o un resorte 28, formados a partir de un material diferente en un entorno de agua a alta temperatura.

En todavía otra forma de realización, el revestimiento 32 puede ser aplicado a una paleta de control 40 adyacente a uno o más canales de combustible 42 para reducir la diferencia de potencial entre la paleta de control 40 y un correspondiente canal de combustible 42 cuando los componentes 42, 44 se forman a partir de diferentes materiales. En la típica forma de realización, como se muestra en la FIG. 5, una paleta de control 40 está asociada con un conjunto de combustibles 5 como más arriba se ha descrito, que se compone de cuatro haces de combustibles 10. El haz de combustibles 10 incluye unas barras de combustible 16 y unos espaciadores 20 separados verticalmente, tal como se muestra y como se describe más arriba. Los canales de combustible 42 rodean a cada haz de combustibles 10 y definen un orificio cruciforme entre los haces de combustibles 10.

En una forma de realización del presente invento, los canales de combustible 42 (primer componente) pueden ser formados a partir de un material basado en zirconio (p.ej. una Zircaloy) como más arriba se ha descrito mientras que la paleta de control 40 puede ser formada a partir de un diferente material, p.ej. un material basado en Ni o basado en Fe. En esta forma de realización, uno o más de los canales de combustible 42 puede(n) ser revestido(s), en su totalidad o en parte, con el revestimiento 32 del presente invento para proporcionar el mismo potencial de corrosión electroquímica o uno similar, p.ej. dentro de una tolerancia de aproximadamente 10 %, sobre el canal de combustible revestido 42 así como sobre la paleta de control 40. En una forma de realización, el revestimiento 32 comprende por lo menos un componente seleccionado entre el conjunto que se compone de NiCrAlY, NiCr, Cr₂O₃, FeCrAlY, FeCr y sus combinaciones. En una forma de realización particular, el revestimiento comprende por lo menos una de las NiCrAlY y/o FeCrAlY. Alternativamente el revestimiento 32 puede ser aplicado a cualquier componente basado en zirconio en el conjunto de barras de combustible 5 o un reactor nuclear que está adyacente a o en contacto con un componente formado a partir de un material diferente, lo que causa una diferencia de potencial entre ellos.

En general, el revestimiento 32 inhibidor de la corrosión por sombra puede ser aplicado al tubo de revestimiento 30 o a cualquier otro componente basado en zirconio (p.ej. la paleta de control 40) usando unos procedimientos conocidos dependiendo del material que se aplique al tubo de revestimiento. Por ejemplo, en el caso de que el revestimiento 32 comprenda una capa única mostrada en la FIG. 4, el revestimiento 32 puede ser aplicado usando una pistola de pulverización térmica y unos parámetros específicos para crear la única capa. En una forma de realización, el material para el revestimiento 32 puede ser aplicado usando un procedimiento de pulverización térmica, tal como Hyper-Velocity-Oxy-Fuel (HVOF), Hyper-Velocity-Air-Fuel (HVOF), o sus combinaciones. Estos procedimientos dan lugar a que unas partículas del material de revestimiento se adhieran al tubo de revestimiento 30, por ejemplo, y a cada una de las otras piezas para formar un revestimiento. Por ejemplo, la temperatura usada en el procedimiento HVOF era de aproximadamente 3.000 K y había una velocidad media de partículas de aproximadamente 450 m/s para partículas metálicas con un tamaño medio de desde aproximadamente 5 micrómetros hasta aproximadamente 35 micrómetros.

En un procedimiento de pulverización térmica HVOF (acrónimo de High Velocity Oxygen Fuel), hay un cierto número de pistolas que usan diferentes métodos para conseguir la pulverización a alta velocidad. Uno de los métodos se compone básicamente de una cámara de combustión para HVOF, enfriada por agua a alta presión, y una tobera larga. En el método, un combustible (queroseno, acetileno, propileno e hidrógeno) y oxígeno se alimentan dentro de la cámara. La combustión produce una llama caliente a alta presión que es forzada a descender a través de una tobera aumentando su velocidad. Un polvo, p.ej. el material de revestimiento 32, se puede alimentar axialmente dentro de la cámara de combustión para HVOF bajo alta presión, o alimentar a través de la pared lateral de una tobera de tipo Laval cuando la presión es más baja.

Otro método de HVOF usa un sistema más simple a base de una tobera de combustión a alta presión y un casquillo de aire. Un gas combustible (p.ej. propano, propileno o hidrógeno) y oxígeno se suministran a alta presión, se produce una combustión fuera de la tobera pero dentro de un casquillo de aire al que se suministra aire comprimido. El aire comprimido apr ieta y acelera a la llama y actúa como un refrigerante para la pistola de HVOF. Un polvo se alimenta a alta presión axialmente desde el centro de la tobera. Unos procedimientos de pulverización térmica minimizan típicamente la oxidación de las partículas mientras que ellas están dentro de la llama caliente, pero tienen suficiente energía para salpicarse hacia fuera sobre la superficie del revestimiento para formar un revestimiento denso.

En otra forma de realización, el revestimiento puede ser aplicado usando un procedimiento de pulverización por plasma como es conocido en la especialidad. Los procedimientos de pulverización por plasma aplican típicamente el revestimiento pulverizando un material fundido o reblandecido por calor sobre una superficie para proporcionar un

revestimiento. El material de revestimiento, en la forma de un polvo, es inyectado dentro de una llama de plasma a muy alta temperatura, en donde él es calentado rápidamente y acelerado a una alta velocidad. Por ejemplo, la temperatura de la llama de un soplete de plasma puede ser de aproximadamente 15.000 K. El material caliente choca sobre la superficie del sustrato y se enfría rápidamente formando un revestimiento. Este procedimiento de pulverización de plasma llevado a cabo correctamente puede ser denominado un "procedimiento en frío" (relativo al material del sustrato que está siendo revestido) puesto que la temperatura del sustrato puede ser mantenida baja durante el tratamiento, evitando un deterioro, unos cambios metalúrgicos y una deformación al material de sustrato.

En una forma de realización, se utiliza una pistola de pulverización por plasma que comprende un ánodo de cobre y un cátodo de wolframio, ambos de los cuales son enfriados por agua, unos gases de plasma (argón, nitrógeno, hidrógeno, helio) circulan alrededor del cátodo y a través del ánodo que está conformado como una tobera que se va estrechando. El plasma es iniciado por una descarga a un alto voltaje que causa una ionización localizada y una trayectoria conductiva para que se forme un arco de CC (corriente continua) entre el cátodo y el ánodo. El calentamiento por resistencia eléctrica a partir del arco puede provocar que el gas alcance una temperatura extremada, se disocie y se ionice para formar un plasma. El plasma sale de la tobera de ánodo como una llama de plasma libre o neutra (un plasma que no transporta corriente eléctrica), lo cual es bastante diferente del procedimiento de revestimiento por Arco Transferido en Plasma en donde el arco se extiende hasta la superficie que ha de ser revestida. Cuando el plasma se ha estabilizado y está presto para pulverizar, el arco eléctrico se extiende hacia abajo por la tobera en vez de acortar el camino hasta el borde más próximo a la tobera de ánodo. Este estiramiento del arco es debido a un efecto de apriete térmico. Un gas frío alrededor de la superficie de la tobera de ánodo enfriada por agua, que no es conductor de la electricidad, estrecha el arco de plasma, subiendo su temperatura y su velocidad. El material de revestimiento es alimentado dentro de la llama de plasma del modo más corriente a través de una lumbrera de polvo exterior montada cerca de la salida de la tobera de ánodo. El polvo es calentado y acelerado con tanta rapidez que las distancias de pulverización pueden ser del orden de aproximadamente 25 mm hasta aproximadamente 150 mm (aproximadamente 0,984 pulgadas hasta aproximadamente 5,906 pulgadas).

En otra forma de realización, el revestimiento 32 puede ser aplicado por medio de un procedimiento de revestimiento por arco de alambre. En un procedimiento de revestimiento por arco de alambre, dos alambres con un potencial eléctrico se colocan juntos formando un ángulo de aproximadamente 20 grados. Se impulsa una corriente eléctrica a través de los alambres y ellos funden al material de revestimiento que ha de ser aplicado en el punto de contacto con los alambres. Un gas atomizador propulsa a las partículas fundidas junto al sustrato a una baja velocidad.

Alternativamente, el revestimiento 32 puede ser aplicado usando una técnica de revestimiento conocida en la especialidad, tal como la deposición química en fase de vapor (CVD, acrónimo de chemical vapor deposition), la deposición física en fase de vapor de haz de electrones, pulverización catódica, deposición con láser pulsante, chapado electrolítico, deposición electroforética, revestimiento no electrolítico o cualquier método apropiado.

La descripción escrita usa unos ejemplos para divulgar el invento, incluyendo el mejor de los modos y también para permitir que cualquier persona experta en la especialidad realice y use el invento. El alcance patentable del invento es definido por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos que se les ocurra a los expertos en la especialidad dentro del alcance de las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de barras de combustible, que comprende:
 un primer componente que comprende un material basado en zirconio
 un segundo componente que comprende un material diferente del material basado en zirconio del primer
 5 componente en contacto con o situado adyacentemente al primer componente;
 un revestimiento dispuesto sobre una superficie exterior del primer componente en donde el revestimiento es
 efectivo para reducir la diferencia de potencial de corrosión electroquímica entre el primer componente y el segundo
 componente en relación con la diferencia de potencial de corrosión electroquímica entre el primer componente y el
 10 segundo componente sin el revestimiento,
 caracterizado por que
 el revestimiento comprende un componente seleccionado entre el conjunto que se compone de NiCrAlY, NiCr,
 Cr₂O₃, FeCrAlY, FeCr y sus combinaciones.
2. El conjunto de barras de combustible de la reivindicación 1, en donde el revestimiento comprende al menos una
 de las NiCrAlY o FeCrAlY.
- 15 3. El conjunto de barras de combustible de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el primer
 componente es por lo menos una pieza tomada entre un tubo de revestimiento o un canal de combustible.
4. El conjunto de barras de combustible de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el segundo
 componente es por lo menos una pieza tomada entre un espaciador, unos topes, un resorte, y en donde el segundo
 componente comprende una aleación basada en níquel o una aleación basada en hierro.
- 20 5. El conjunto de barras de combustible de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el
 revestimiento tiene un espesor situado entre aproximadamente 0,1 y 254 µm (0,1 micrómetros y aproximadamente
 10 milésimas).
6. El conjunto de barras de combustible de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el
 25 revestimiento comprende además un agente aglutinante para ayudar a adherir el revestimiento sobre la superficie
 exterior del tubo de revestimiento.
7. Un método para reducir la magnitud de la corrosión intensificada por radiaciones dentro de un conjunto de barras
 de combustible, que comprende:
 aplicar un revestimiento sobre una superficie exterior del primer componente del conjunto de barras de combustible
 para formar un revestimiento sobre la superficie exterior, en donde el primer componente comprende un material
 30 basado en zirconio;
 en donde el revestimiento reduce la diferencia de potencial de corrosión electroquímica entre el primer componente
 y un segundo componente del conjunto de barras de combustible en relación con la diferencia de potencial de
 corrosión electroquímica entre el primer componente y el segundo componente sin el revestimiento; y
 en donde el segundo componente está en contacto con o situado adyacentemente al primer componente, y en
 35 donde el segundo componente comprende un material diferente del material basado en zirconio del primer
 componente;
 caracterizado por que
 el revestimiento comprende un componente seleccionado entre el conjunto que se compone de NiCrAlY, NiCr,
 Cr₂O₃, FeCrAlY, FeCr y sus combinaciones
- 40 8. El método de la reivindicación 7, en donde el revestimiento comprende por lo menos una de las NiCrAlY o
 FeCrAlY.
9. El método de la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en donde el primer componente es por lo menos una pieza
 tomada entre un tubo de revestimiento o un canal de combustible.
10. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 7 hasta 9, en donde el segundo componente es por lo
 45 menos una pieza tomada entre un espaciador, unos topes, un resorte o una paleta de control, y en donde el
 segundo componente comprende una aleación basada en níquel o una aleación basada en hierro.
11. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 7 hasta 10, en donde el revestimiento tiene un espesor
 situado entre aproximadamente 0,1 y 254 µm (0,1 micrómetros y aproximadamente 10 milésimas).
12. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 7 hasta 11, que comprende además añadir un agente
 50 aglutinante al revestimiento para ayudar a adherir el revestimiento sobre la superficie exterior del tubo de
 revestimiento.

13. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 7 hasta 12, en donde la aplicación se hace por al menos un procedimiento entre un procedimiento de pulverización térmica, un procedimiento de deposición por pulverización de plasma, un procedimiento de revestimiento por arco de alambre, una deposición química en fase de vapor, una deposición física en fase de vapor con un haz de electrones, una pulverización catódica, o una deposición por láser pulsante, un chapado electrolítico, una deposición electroforética, un HVOF o un revestimiento no electrolítico.
- 5

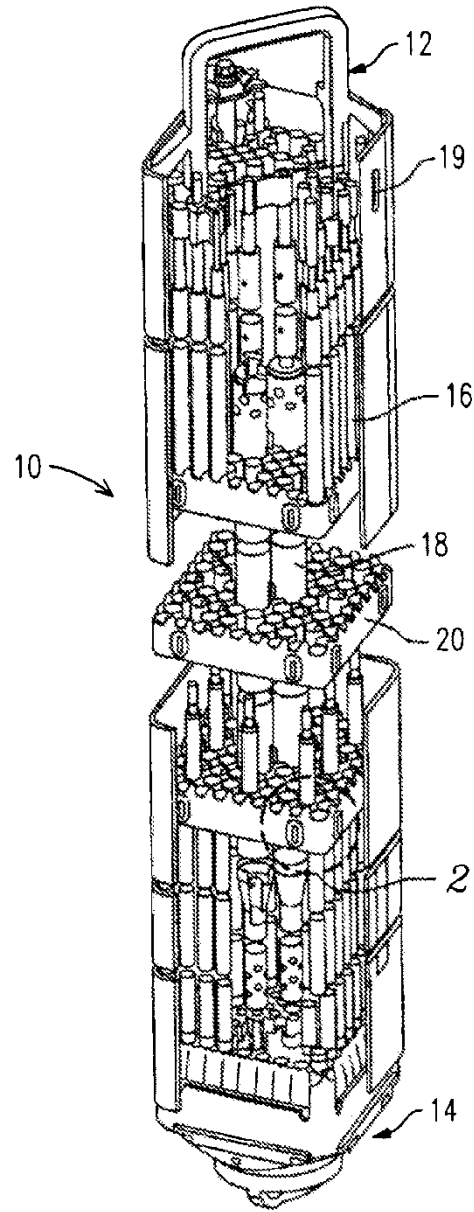
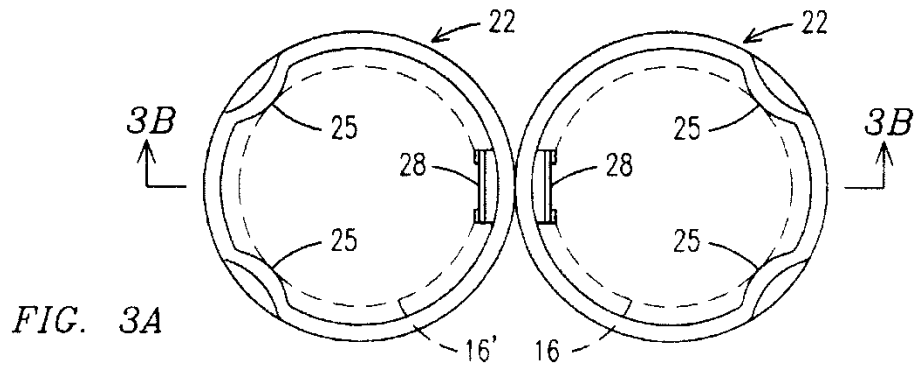
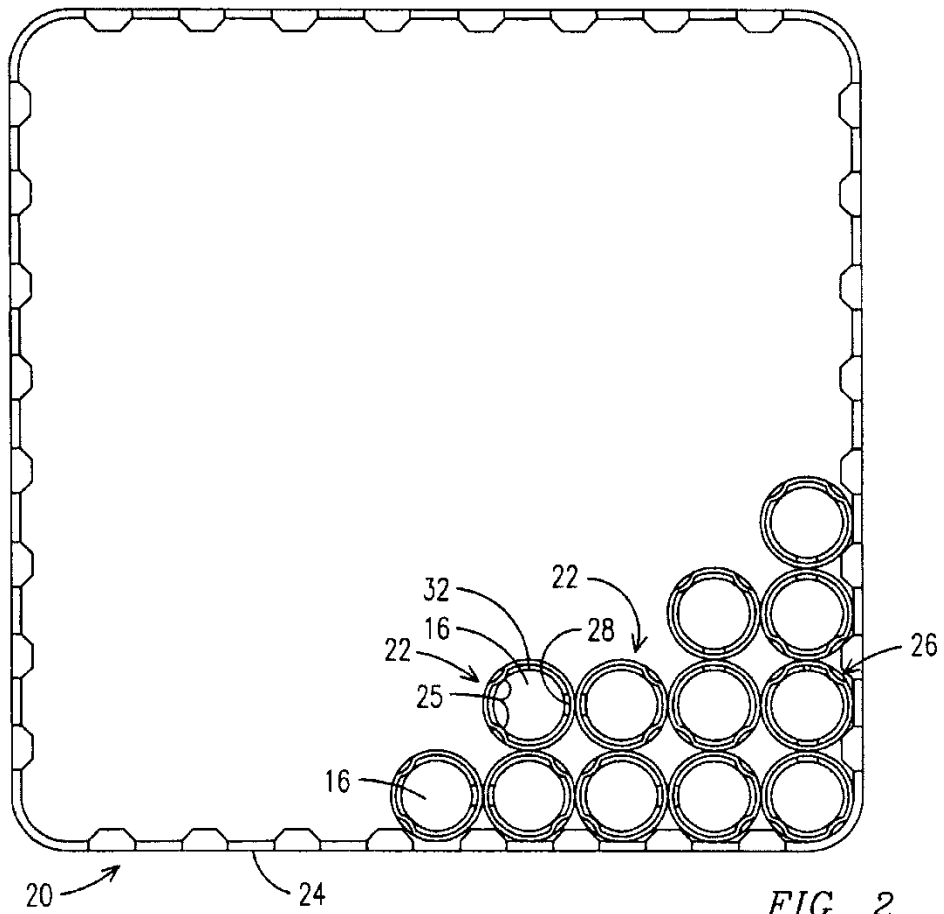
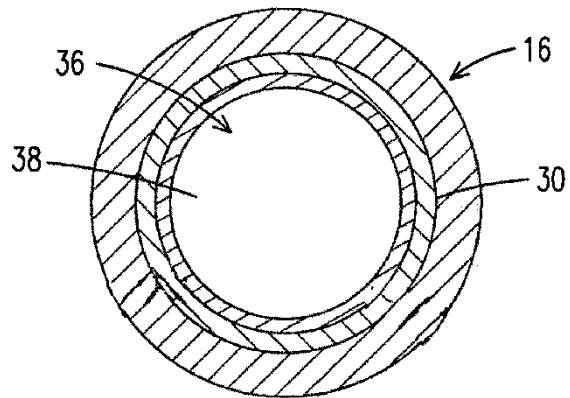
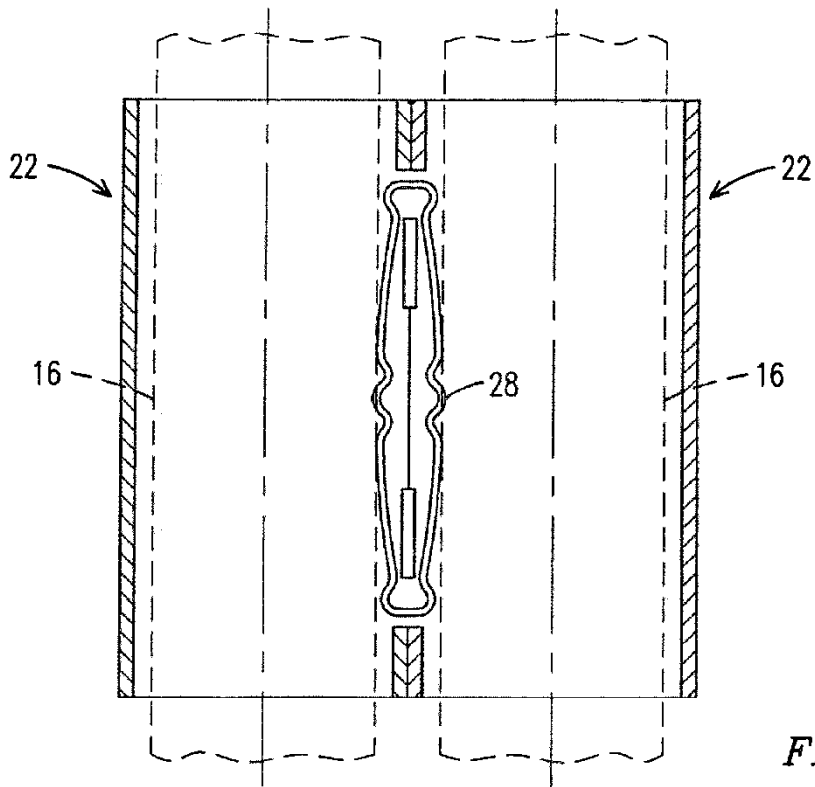


FIG. 1





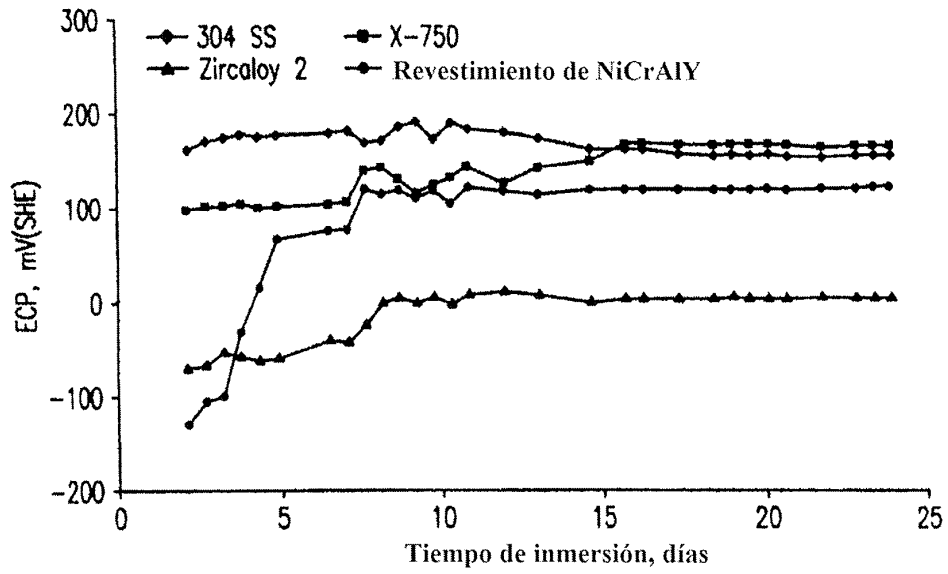


FIG. 5

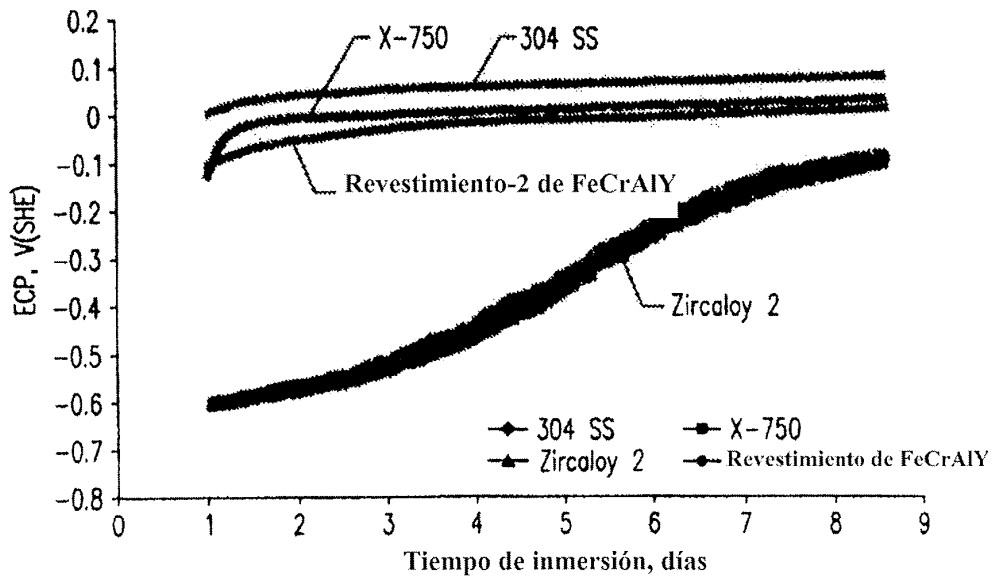


FIG. 6

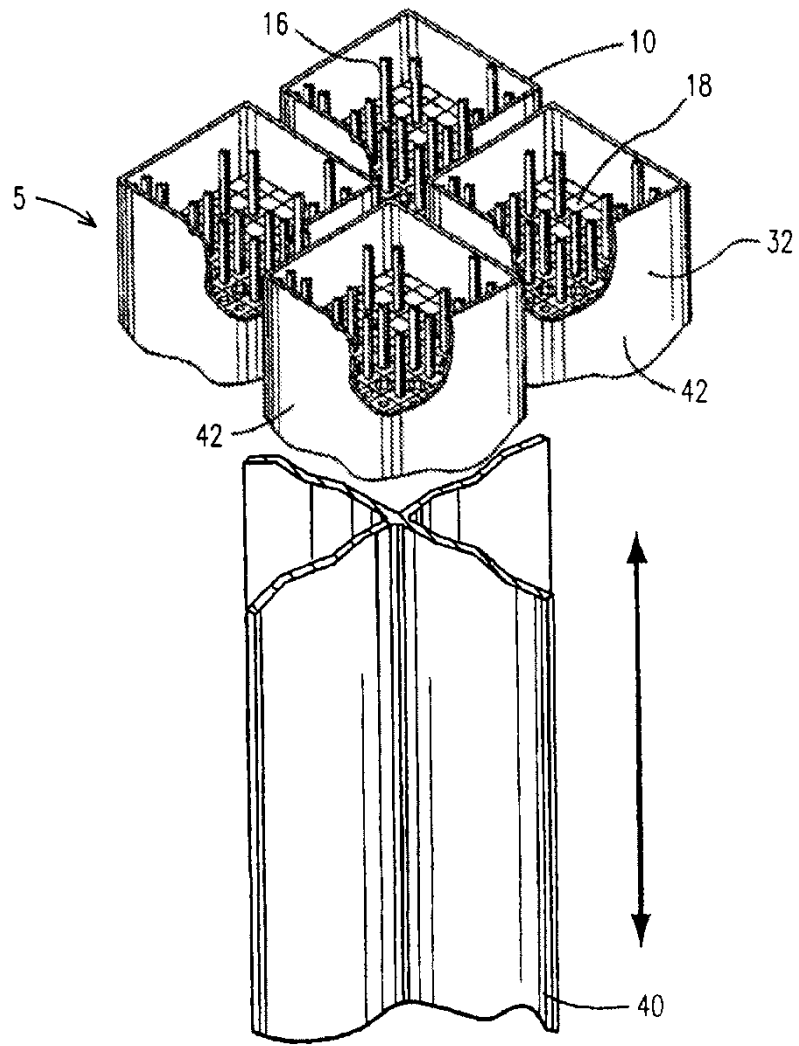


FIG. 7