

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 387 929**

51 Int. Cl.:
G21C 3/14 (2006.01)
G21C 3/334 (2006.01)
G21C 21/02 (2006.01)
C10M 169/00 (2006.01)
C10M 107/34 (2006.01)
C10M 173/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **10015748 .6**
96 Fecha de presentación: **17.12.2010**
97 Número de publicación de la solicitud: **2339588**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **29.06.2011**

54 Título: **Procedimiento para la aplicación de lubricante a una barra de combustible durante el procedimiento de carga de un conjunto de combustible**

30 Prioridad:
22.12.2009 US 644257

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
04.10.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
04.10.2012

73 Titular/es:
**Westinghouse Electric Company LLC
1000 Westinghouse Drive
Cranberry Township, PA 16066, US**

72 Inventor/es:
**Bausch, Michael O.;
Crone, David C. y
Lincoln, Randal K.**

74 Agente/Representante:
Carpintero López, Mario

ES 2 387 929 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 para la aplicación de lubricante a una barra de combustible durante el procedimiento de carga de un conjunto de combustible

Antecedentes de la invención5 **1. Campo de la invención**

La presente invención se refiere en general a reactores nucleares y, más en particular, a reactores nucleares con conjuntos de combustible que emplean rejillas de soporte.

2. Descripción de la Técnica Relacionada

10 En la mayoría de los reactores nucleares refrigerados por agua, el núcleo del reactor comprende una gran cantidad de conjuntos de combustible alargados. En los reactores nucleares de agua a presión, estos conjuntos de combustible típicamente incluyen una pluralidad de barras de combustible sujetas en un conjunto organizado por una pluralidad de rejillas de soporte separadas axialmente a todo lo largo del conjunto de combustible y sujetas a una pluralidad de tubos guía alargados. Los tubos guía típicamente reciben unas barras de control o instrumentación en los mismos. Unas boquillas superior e inferior están situadas en los extremos opuestos del conjunto de combustible y están aseguradas a los extremos de los tubos guía que se extienden ligeramente por encima y por debajo de los extremos de las barras de combustible.

15 Las rejillas, tal como es sabido en la técnica relevante, se utilizan para mantener de manera precisa la separación y el soporte entre las barras de combustible en el núcleo del reactor, proporcionar soporte lateral para las barras de combustible e inducir la mezcla del refrigerante. Un tipo de diseño de rejilla convencional incluye una pluralidad de tiras entrelazadas que forman entre sí una configuración en nido de abeja con una pluralidad de celdas aproximadamente cuadradas que aceptan individualmente las barras de combustible dentro de las mismas. Dependiendo de la configuración de los tubos guía, los tubos guía pueden ser recibidos en celdas del mismo tamaño que las que reciben las barras de combustible dentro de las mismas, o en unas celdas para tubos guía relativamente más grandes definidas entre las tiras entrelazadas. Las tiras entrelazadas proporcionan puntos de sujeción a los tubos guía, permitiendo de esta manera su posicionamiento en localizaciones separadas a lo largo de la longitud del conjunto de combustible.

20 Durante el proceso de carga de las barras de combustible, se hace un esfuerzo diligente para ayudar a asegurar que se reduzcan o eliminen el contacto físico y la fricción dinámica entre la barra y la rejilla. La fabricación de combustible nuclear ha demostrado la formación de excoiraciones en la interfaz entre la barra de combustible y los elementos de soporte de barra de la rejilla. La presencia de excoiraciones en estas interfaces, dadas las condiciones de flujo y las duraciones de ciclo apropiadas, podría contribuir a la formación de huecos entre la barra de combustible y el sistema de soporte de la barra de combustible. Por ejemplo, la formación de grandes huecos podría resultar en un aumento del grado de erosión entre la rejilla y la barra y en daños a la barra de combustible. En particular, en al menos un reactor nuclear, se ha observado que la presencia de excoiraciones resultó en la profundización de las marcas de desgaste en las barras de combustible.

30 Por consiguiente, resulta deseable un medio para reducir o minimizar el tamaño y la cantidad de las excoiraciones durante el proceso de carga y montaje de la barra de combustible para: (i) reducir el riesgo de erosión entre la rejilla y la barra resultante de la presencia de excoiraciones dentro del espacio de la rejilla de un conjunto de combustible nuclear y/o (ii) reducir la cantidad de residuos en el refrigerante del reactor para reducir potencialmente el daño al conjunto de combustible y otros daños internos del reactor creados por las sustanciales fuerzas de flujo y la circulación de residuos.

35 El documento EP 0650 168 A1 da a conocer un procedimiento para evitar arañazos en las barras de combustible durante el montaje de un haz de combustible utilizando un tubo metálico de paredes delgadas que se posiciona alrededor de la barra de combustible durante su inserción dentro del haz de combustible. Puede utilizarse un lubricante entre este tubo y la barra de combustible.

40 El documento US 5 028 382 A1 da a conocer un procedimiento para montar haces de combustible para su servicio en un reactor nuclear que minimiza el daño a los componentes montados mediante el uso de lubricantes eliminables tales como silicado de sodio soluble en agua o gelatina. Puede añadirse un agente fluorescente para la inspección posterior a su retirada para determinar la completa eliminación del lubricante.

50 **Sumario de la invención**

La presente invención logra el objetivo anterior proporcionando un procedimiento para reducir la fricción y el contacto físico entre una barra de combustible y una rejilla de soporte durante el montaje de la barra de combustible

5 en un conjunto de combustible nuclear. El procedimiento incluye aplicar una película de un compuesto de lubricante a la barra de combustible. El compuesto de lubricante incluye polialquilenglicol. La barra de combustible incluye circonio, y la rejilla de soporte incluye un material seleccionado de entre el grupo que consiste en una aleación de circonio, una aleación de Inconel® y mezclas de las mismas. El procedimiento incluye adicionalmente cargar la barra de combustible, con dicha película aplicada sobre la misma, dentro de la rejilla de soporte del conjunto de combustible nuclear.

Breve descripción del dibujo

Puede obtenerse un mejor entendimiento de la invención a partir de la siguiente descripción de las realizaciones preferidas al leerse en conjunto con el dibujo adjunto, en el cual:

10 La Fig. 1 es una vista en alzado, en sección parcial, de un conjunto de combustible en el que está incorporada la realización preferida de esta invención, estando ilustrado el conjunto de forma verticalmente acortada, con partes retiradas por claridad.

Descripción de la realización preferida

15 Con referencia al dibujo, se muestra una vista en alzado, representada de forma verticalmente acortada, de un conjunto de combustible designado generalmente por el número de referencia 22. El conjunto 22 de combustible es del tipo utilizado en un reactor nuclear de agua a presión y tiene un esqueleto estructural que, en su extremo inferior, incluye una tobera inferior 58. La tobera inferior 58 soporta el conjunto 22 de combustible sobre una placa inferior 60 de soporte del núcleo en la región del núcleo del reactor nuclear. Adicionalmente a la tobera inferior 58, el esqueleto estructural del conjunto 22 de combustible también incluye una tobera superior 62 en su extremo superior y un número de tubos de guiado o tubos guía 54, que se extienden longitudinalmente entre las toberas inferior y superior 58 y 62 y que por sus extremos opuestos están sujetos de manera rígida a las mismas.

25 El conjunto 22 de combustible incluye adicionalmente una pluralidad de rejillas transversales 64 separadas axialmente a lo largo de, y montadas en, los tubos guía 54 (también denominados tubos de guiado) y un conjunto organizado de barras 66 de combustible alargadas, separadas transversalmente y soportadas por las rejillas 64. Aunque en la Fig. 1 no puede observarse, las rejillas 64 están formadas convencionalmente a partir de tiras ortogonales que están entrelazadas en un patrón en nido de abeja con la interfaz adyacente de cuatro tiras que definen unas celdas de soporte aproximadamente cuadradas a través de las que las barras 66 de combustible están soportadas en relación transversalmente separada entre sí. Además, el conjunto 22 tiene un tubo 68 de instrumentación situado en el centro del mismo que se extiende entre, y está montado en, las toberas inferior y superior 58 y 62. Con tal disposición de partes, el conjunto 22 forma una unidad integral capaz de ser manejada convenientemente sin dañar el conjunto de partes.

35 Tal como se ha mencionado anteriormente, las barras 66 de combustible del conjunto 22 están sujetas en relación separada entre sí por las rejillas 64 espaciadas longitudinalmente a lo largo del conjunto. Cada barra 66 de combustible incluye una pluralidad de pastillas 70 de combustible nuclear y está cerrada en sus extremos opuestos por unos tapones extremos superior e inferior 72 y 74. Las pastillas 70 son mantenidas en una pila mediante un muelle 76 de empuje dispuesto entre el tapón extremo superior 72 y la parte superior de la pila de pastillas. Las pastillas 70 de combustible, compuestas de un material físil, son responsables de la creación de la potencia reactiva del reactor. El encamisado que rodea las pastillas funciona como una barrera para prevenir que los subproductos de fisión se introduzcan en el refrigerante y contaminen adicionalmente el sistema del reactor.

40 Para controlar el proceso de fisión, un número de barras 78 de control pueden moverse alternativamente en los tubos guía 54 situados en unas posiciones predeterminadas en el conjunto 22 de combustible. Específicamente, un mecanismo 80 de control de la batería de barras situado por encima de la tobera superior 62 soporta las barras 78 de control. El mecanismo de control tiene un elemento 82 de buje cilíndrico roscado internamente con una pluralidad de uñas o brazos 52 que se extienden radialmente. Cada brazo 52 está interconectado con las barras 78 de control de manera que el mecanismo 80 de control pueda ser operado para mover verticalmente las barras de control en los tubos guía 54, para controlar así el proceso de fisión en el conjunto 22 de combustible, bajo la potencia motriz de los ejes 50 de accionamiento de las barras de control que están acoplados a los bujes 80 de barra de control, todo ello de manera conocida.

50 Tal como se ha mencionado previamente, los conjuntos de combustible están sometidos a fuerzas hidráulicas que exceden el peso de las barras de combustible y por lo tanto ejercen fuerzas significativas sobre las barras de combustible. Adicionalmente, existe una turbulencia significativa en el refrigerante del núcleo causada por las paletas de mezclado presentes sobre las superficies superiores de las tiras de muchas rejillas, lo que promueve la transferencia de calor desde el encamisado de la barra de combustible hasta el refrigerante. Las sustanciales fuerzas de flujo y turbulencia pueden resultar en una severa erosión del encamisado de la barra de combustible si no se contiene el movimiento de las barras de combustible. La erosión del encamisado de la barra de combustible

puede llevar a una brecha y a la exposición del refrigerante a subproductos radioactivos del interior de las barras de combustible.

La presente invención proporciona un procedimiento para reducir la fricción y el contacto físico entre una barra de combustible y una rejilla durante la fabricación de un conjunto de combustible para el combustible nuclear utilizado en un reactor nuclear. El procedimiento incluye aplicar una fina película de un compuesto de lubricante a la superficie exterior de una barra de combustible para su uso en la fabricación de un conjunto de combustible para un reactor nuclear. El compuesto de lubricante puede ser aplicado a la barra de combustible previamente a la carga de la barra de combustible dentro del esqueleto estructural. En una realización, el compuesto de lubricante puede ser aplicado a la barra de combustible a medida que se retira del cargador y se introduce en el esqueleto durante el montaje del combustible. Sin acogerse a ninguna teoría en particular, se cree que aplicar el compuesto de lubricante durante una carga por tracción en vez de una carga en seco produce mejores resultados. El reactor nuclear puede incluir diversos diseños que incluyen aquellos que están actualmente en operación comercial en las plantas nucleares. Los diseños de reactores nucleares incluyen reactores de agua en ebullición y reactores nucleares de agua a presión. Por facilidad de descripción, la descripción en el presente documento se referirá a un reactor nuclear de agua a presión fabricado por Westinghouse Electric Company. La fina película de compuesto de lubricante aplicada a la superficie de la barra de combustible sirve para reducir o minimizar la fricción dinámica y el contacto físico entre la barra de combustible y la rejilla de soporte durante el montaje de la barra de combustible, y por lo tanto reducir o minimizar la formación de excoりaciones en la interfaz de la barra de combustible y la rejilla de soporte. Las excoりaciones pueden formarse a partir de material que se re-deposita tras un arañazo en la barra de combustible. Se ha observado la presencia de excoりaciones en plantas nucleares operativas. Por ejemplo, estudios posteriores a la fabricación de esqueletos estructurales en dos plantas nucleares operativas mostraron que se había producido la formación de excoりaciones en la interfaz entre la barra de combustible y los elementos de soporte de barra de las rejillas intermedias. Sin acogerse a ninguna teoría en particular, se cree que la presencia de excoりaciones grandes en estas interfaces, dadas las condiciones de flujo y las duraciones de ciclo apropiadas, podría contribuir a la formación de huecos entre la barra de combustible y los elementos de soporte de la barra de combustible. La formación de grandes huecos puede resultar en un aumento del grado de erosión entre la rejilla y la barra. En al menos una planta nuclear, se llevó a cabo un examen posterior a la irradiación (PIE) del combustible, y se determinó que tras dos ciclos, las barras de combustible mostraban un desgaste del 20% o menos, mostrando las marcas de desgaste más profundas pruebas de la presencia de excoりaciones en la superficie de la barra de combustible. Basándose en un examen detallado de los elementos de las marcas de desgaste, se concluyó que la presencia de las excoりaciones era un factor en la formación de las marcas de desgaste más profundas. Se cree que la formación de las excoりaciones, y las marcas de desgaste que pueden estar causadas como resultado de la presencia de las excoりaciones, puede aumentar el riesgo de erosión entre la rejilla y la barra. Adicionalmente, se cree que la presencia de la fina película de lubricante de la presente invención sobre la superficie exterior de la barra de combustible puede reducir o minimizar el tamaño y la cantidad de las excoりaciones formadas, y por lo tanto reducir o minimizar el riesgo de corrosión entre la rejilla y la barra.

Las barras de combustible están típicamente fabricadas de circonio o un aleación de circonio, y las rejillas dentro de las cuales son insertadas están típicamente hechas de circonio, una aleación de circonio, Inconel®, una aleación de Inconel® o mezclas de las mismas.

El compuesto de lubricante para su uso en la presente invención puede incluir diversos componentes que sean efectivos para recubrir al menos parcialmente la superficie exterior de la barra de combustible con una fina película que se adhiera sustancialmente a la superficie exterior de la barra de combustible. En una realización, toda la superficie exterior de la barra de combustible es recubierta con el compuesto de lubricante. Para seleccionar el compuesto de lubricante puede considerarse el material al que va a ser aplicado. En una realización, la fina película del compuesto de lubricante se aplicará a una barra de combustible fabricada con una aleación de circonio. Adicionalmente, para seleccionar el lubricante pueden considerarse los impactos potenciales de las cantidades residuales del compuesto de lubricante restante en las barras de combustible que serán colocadas en la vasija del reactor, estarán en contacto con el refrigerante del reactor que fluye a través del núcleo del reactor y, finalmente, fluye dentro del sistema de refrigeración del reactor de la planta nuclear. La barra de combustible recubierta con el compuesto de lubricante se lava tras el proceso de construcción del conjunto y previamente a la inserción del conjunto de combustible dentro del reactor. Sin embargo, una cantidad residual del compuesto de lubricante puede permanecer en la barra de combustible lavada tras el proceso de lavado. Por lo tanto, el conjunto de combustible insertado en el reactor puede incluir una cantidad residual del compuesto de lubricante. Por lo tanto, el compuesto de lubricante se selecciona de manera que no interactúe de manera adversa con los diversos compuestos, p. ej., el refrigerante del reactor, y componentes de la vasija del reactor y los sistemas relacionados. De acuerdo con la invención el compuesto de lubricante incluye polialquilenglicol. Compuestos de lubricante adecuados para su uso en la presente invención incluyen polímeros sintéticos con base de polialquilenglicol. Algunos ejemplos no limitativos de compuestos de lubricante adecuados para su uso en la presente invención incluyen los conocidas bajo el nombre comercial UCON, que están comercializados por Dow Chemical Company. Un ejemplo de un material UCON incluye, pero no está limitado a, UCON 60H-5300. Típicamente, el compuesto de lubricante utilizado

5 en la presente invención tiene una viscosidad que depende de la temperatura. Por ejemplo, UCON tiene un grado 1000 según el ISO 3448. En una realización, la viscosidad del compuesto de lubricante es mayor de 1050 cSt aproximadamente a 40°C y de 178 cSt a 100°C. Adicionalmente, el grosor de la fina película del compuesto de lubricante aplicada a la barra de combustible no es una característica crítica de la presente invención. El grosor de la fina película puede variar ampliamente y puede depender del compuesto de lubricante específico que se esté empleando y del material específico sobre el que se esté aplicando la fina película. En una realización, el grosor de la película del compuesto de lubricante es de entre 12,7 μm y 38,1 μm aproximadamente. En realizaciones alternativas, el grosor de la película puede ser menor o mayor y puede servir para reducir o minimizar la formación de excoiraciones.

10 El compuesto de lubricante también puede incluir otros aditivos opcionales que son convencionalmente conocidos en la técnica para su uso en compuestos de recubrimiento. En una realización, el compuesto de lubricante incluye un disolvente. El disolvente puede ser seleccionado de entre diversos disolventes conocidos en la técnica. En una realización adicional, el disolvente es agua. Cuando el compuesto de lubricante incluye una solución acuosa de polialquilenglicol, la solución se mantiene a una temperatura tal que el polialquilenglicol (p. ej., comercializado bajo el nombre UCON) sea soluble en el agua. En una realización, la solución está a una temperatura inferior a 60°C.

20 En la presente invención, el compuesto de lubricante puede aplicarse a la superficie exterior de la barra de combustible para formar una fina película utilizando una variedad de técnicas convencionales que son conocidas en la técnica para depositar un recubrimiento sobre un sustrato. Ejemplos no limitativos pueden incluir pulverizado (p. ej., con aire o sin aire), cepillado, barrido, inmersión, impresión, recubrimiento por chorro (p. ej., una cortina de cascada) y similares. Adicionalmente, puede permitirse que la fina película de lubricante seque o asiente en condiciones ambientales (p. ej., temperatura ambiente), o en realizaciones alternativas, puede someterse la fina película a condiciones de calor o de curado conocidas en la técnica para asentar o curar recubrimientos y películas.

25 Adicionalmente, el compuesto de lubricante se selecciona de manera que tras la deposición en forma de una fina película sobre la barra de combustible, pueda lavarse la barra de combustible para eliminar sustancialmente el compuesto de lubricante de la superficie exterior de la barra de combustible previamente a su inserción en el reactor. La eliminación del compuesto de lubricante puede llevarse a cabo mediante diversas técnicas. Preferiblemente, el compuesto de lubricante puede eliminarse de la barra de manera relativamente fácil. En una realización, se elimina el compuesto de lubricante mediante el lavado de la superficie exterior de la barra de combustible o de todo el conjunto utilizando soluciones de aclarado, temperaturas y tiempos de inmersión que son convencionales en la técnica de los recubrimientos. En una realización adicional, el compuesto de lubricante es soluble al agua a temperatura ambiente. En otra realización, tras montar el conjunto de combustible, puede someterse todo el conjunto de combustible a un proceso de lavado para eliminar el compuesto de lubricante previamente a su inserción en el reactor. Tal como se ha indicado previamente, una cantidad residual del compuesto de lubricante puede permanecer sobre la barra de combustible o el conjunto lavados. La cantidad residual del compuesto de lubricante puede variar dependiendo del fluido de lavado y el proceso de lavado utilizados para eliminar el exceso de compuesto de lubricante de la barra de combustible o el conjunto recubiertos. En una realización, se somete todo el conjunto de combustible a un proceso de lavado, y la cantidad residual de compuesto de lubricante restante sobre el conjunto de combustible lavado es menos de 40 gramos por conjunto de combustible.

40 Emplear el proceso de la presente invención puede resultar en la eliminación de etapas intensivas de tiempo y trabajo típicamente requeridas para eliminar manualmente excoiraciones grandes de la superficie de las barras de combustible y/o reducir el riesgo de erosión entre la rejilla y la barra para mejorar el rendimiento del ciclo de combustible.

Listado de números de referencia

45	REFERENCIA Nº	ELEMENTO
	22	Conjunto de Combustible
	50	Ejes de Accionamiento
	52	Uñas o Brazos
	54	Tubos de Guiado o Tubos Guía
50	58	Tobera Inferior
	60	Placa de Soporte del Núcleo
	62	Tobera Superior

ES 2 387 929 T3

	64	Rejillas
	66	Barras de Combustible
	68	Tubo de Instrumentación
	70	Pastillas
5	72	Tapones Extremos Superiores
	74	Tapones Extremos Inferiores
	76	Muelle de Empuje
	78	Barras de Control
	80	Mecanismo de Control
10	82	Elemento de Buje

REIVINDICACIONES

1.- Un procedimiento para reducir la fricción y el contacto físico entre una superficie exterior de una barra (66) de combustible y una rejilla (64) de soporte durante el montaje de una barra de combustible de un conjunto (22) de combustible nuclear que comprende:

5 aplicar a la superficie exterior de la barra (66) de combustible una película de un compuesto de lubricante, comprendiendo dicho compuesto de lubricante polialquilenglicol, comprendiendo dicha barra de combustible circonio y comprendiendo dicha rejilla de soporte un material seleccionado de entre el grupo que consiste en una aleación de circonio, una aleación de Inconel® y mezclas de las mismas; y

10 cargar la barra (66) de combustible con dicha película aplicada a la misma dentro de la rejilla (64) de soporte del conjunto (22) de combustible.

2.- El procedimiento de la Reivindicación 1, en el cual el compuesto de lubricante comprende adicionalmente un disolvente.

3.- El procedimiento de la Reivindicación 2, en el cual el disolvente es agua.

15 4.- El procedimiento de la Reivindicación 3, en el cual la mezcla de lubricante y agua se mantiene a una temperatura inferior a 60°C.

5.- El procedimiento de la Reivindicación 1, en el cual el lubricante tiene una viscosidad mayor de aproximadamente 1050 cSt a 40°C y de 178 cSt a 100°C aproximadamente.

6.- El procedimiento de la Reivindicación 1, en el cual el reactor nuclear es un reactor nuclear de agua a presión.

20 7.- El procedimiento de la Reivindicación 1, en el cual la película tiene un grosor de entre 12,7 µm y 38,1µm.

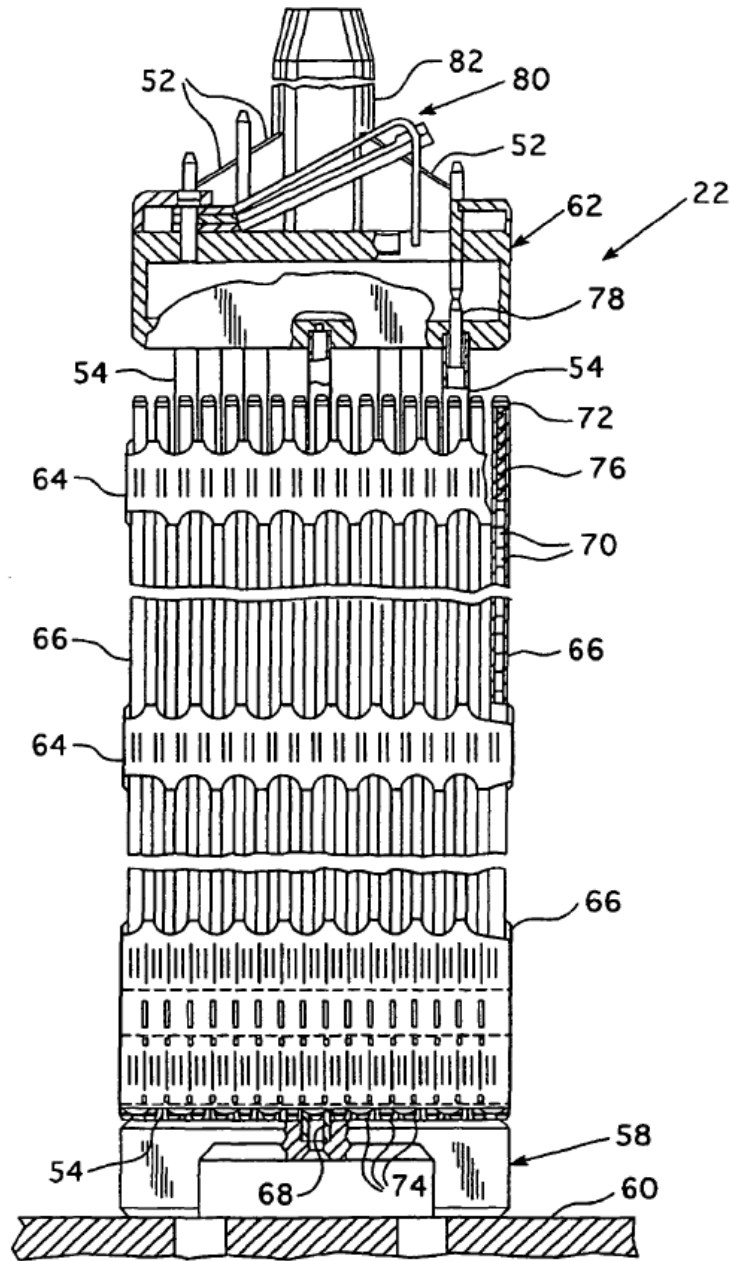


Fig. 1