(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 397 256**

(51) Int. Cl.:

G21F 9/00 (2006.01)
G21F 9/28 (2006.01)
G21F 9/30 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.02.2010** **E 10709987 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.11.2012** **EP 2399262**

(54) Título: **Procedimiento para la descontaminación de superficies contaminadas radioactivamente**

(30) Prioridad:

18.02.2009 DE 102009009441
28.04.2009 DE 102009002681

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.03.2013

(73) Titular/es:

AREVA NP GMBH (100.0%)
Paul-Gossen-Strasse 100
91052 Erlangen, DE

(72) Inventor/es:

GASSEN, RAINER;
SEMPERE BELDA, LUIS;
SCHWEIGHOFER, WERNER y
ZEILER, BERTRAM

(74) Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 397 256 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 descontaminación de superficies contaminadas radioactivamente

La invención se refiere a un procedimiento para la descontaminación de superficies de centrales nucleares contaminadas radioactivamente. En el caso de una central nuclear a la que, a continuación, se hará referencia a título de ejemplo, durante el funcionamiento se les aplica agua caliente con una temperatura de hasta aproximadamente 350º C como refrigerante sobre las superficies de componentes del sistema de refrigeración, de modo que, incluso aceros de CrNi y aleaciones de Ni que están clasificados como resistentes a la corrosión sufren a un cierto grado de oxidación. Sobre las superficies de los componentes se forma una capa de óxido que contiene iones de oxígeno y de metal.

Durante el funcionamiento del reactor llegan iones de metal provenientes de la capa de óxido en forma disuelta o como parte integrante de partículas de óxido al agua de refrigeración y son transportados por ésta a la vasija de presión del reactor en la que se encuentran los elementos combustibles. Debido a las reacciones nucleares que se desarrollan en los elementos combustibles se produce una radiación de neutrones que transforma una parte de los iones de metal en elementos radioactivos. A partir del níquel de los materiales mencionados anteriormente se forma, por ejemplo cobalto-58 radioactivo. Durante las reacciones nucleares que tienen lugar en el combustible nuclear se generan elementos transuránicos que emiten rayos alfa tales como, por ejemplo, Am-241 que llegan al medio refrigerante como óxidos, a través de fugas de las barras de combustible que acogen el combustible nuclear. Los elementos radioactivos son distribuidos en el circuito primario por el agua de refrigeración que está en circulación y vuelven a ser depositados en la capa de óxido de las superficies de componentes, por ejemplo sobre las superficies de las tuberías del sistema de refrigeración, o bien son incorporados en la capa de óxido. A medida que aumenta el tiempo de funcionamiento, aumenta la cantidad de los nucleídos radioactivos depositados y/o incorporados y, por consiguiente, aumenta la radiación radioactiva en el entorno de los sistemas y los componentes del circuito primario. Si se quiere reducir la misma, por ejemplo en el caso de proceder a un desmantelamiento de una central nuclear, habrá que eliminar esencialmente toda la capa de óxido mediante medidas de descontaminación.

Por el documento DE-A-198 51 852 se conoce la descontaminación de superficies de acero mediante ácidos orgánicos. Los iones que se forman son ligados en intercambiadores de iones.

La eliminación de la capa de óxido sobre superficies de componentes se realiza por ejemplo, porque las superficies de los componentes entran en contacto con una solución de tratamiento que contiene un ácido orgánico, y en el caso de un sistema de refrigeración porque el mismo es llenado con la solución mencionada. El ácido orgánico es del tipo de los que forman compuestos complejos solubles al agua con los iones de metal existentes en la capa de óxido. En algunos casos, la aleación de la que está hecho el componente contiene cromo. En este caso, una capa de óxido existente sobre el componente contiene óxidos de cromo (III) difícilmente solubles. Para convertir éstos a una forma soluble, las superficies son tratadas con un medio fuertemente oxidante, tal como permanganato de potasio o ácido permangánico, antes de proceder al tratamiento mencionado con ácido. Los óxidos de cromo (III) son convertidos en óxidos de cromo (VI) que se disuelven más fácilmente. Independientemente de si tiene lugar un pretratamiento oxidativo o no, la solución de limpieza agotada que contiene los elementos de la capa de óxido en forma disuelta es evaporada hasta una cantidad residual, o bien se hace pasar por intercambiadores de iones. En este último caso, los elementos de la capa de óxido que están presentes en forma iónica son retenidos por el intercambiador de iones y, de esta manera, son eliminados de la solución de limpieza. El material intercambiador de iones que está cargado de elementos iónicos en parte radioactivos, y la cantidad residual de la solución de limpieza que queda después de la evaporación, son llevados de forma adecuada a un almacenamiento transitorio o final.

En un tratamiento de descontaminación de este tipo, realizado por ejemplo durante revisiones rutinarias del sistema de refrigeración, se detectan esencialmente sólo nucleídos que emiten una radiación gamma tales como Cr-51 y Co-60. Estos nucleídos están mayoritariamente presentes en forma de sus óxidos, por ejemplo incorporados en una capa de óxido de un componente, pudiendo los mismos ser disueltos de forma relativamente fácil por las sustancias activas de soluciones de descontaminación convencionales como, por ejemplo, ácidos formadores de complejos. Los óxidos de los elementos transuránicos tales como, por ejemplo, el Am-241 ya mencionado anteriormente, son más difíciles de disolver que los óxidos formados a partir de metales y sus nucleídos radioactivos. Las partículas de óxido presentes al final de un tratamiento de descontaminación y, en especial, las que están adheridas en superficies de un componente que ya había sido liberado de una capa de óxido, y que no son visibles a simple vista están, por lo tanto, enriquecidas de emisores de radiación alfa en comparación con la capa de óxido inicial de los componentes. Las partículas en cuestión están adheridas solamente de forma suelta en la superficie de los componentes, de manera que se pueden eliminar parcialmente con un paño, por ejemplo durante una prueba de limpieza.

Cuando se desmantela una central nuclear, los componentes del sistema de refrigeración deben ser reciclados o, en todo caso, se han de poder manipular sin medidas de protección costosas. Las partículas en cuestión que están adheridas a las superficies de componentes se pueden desprender fácilmente y pueden llegar al cuerpo humano a través de las vías respiratorias, lo cual sólo se puede evitar mediante medidas de protección respiratoria muy costosas. La radioactividad medida en un componente en lo que se refiere a la radiación gamma y beta, así como en

lo que se refiere a la radiación alfa, ha de mantenerse, por lo tanto, por debajo de los valores límite predeterminados para que los componentes ya no estén sometidos a las limitaciones de la protección contra las radiaciones.

Una problemática que acompaña prácticamente toda descontaminación de superficie es el tratamiento posterior o la eliminación de la solución de descontaminación agotada que contiene los elementos radioactivos de la capa de óxido desprendida. Tal como ya se ha mencionado anteriormente, un camino viable consiste en hacer pasar una solución de descontaminación agotada por un intercambiador de iones para eliminar los elementos cargados contenidos en la misma.

A partir de esto, el objetivo de la invención consiste en liberar una superficie de partículas radioactivas con la ayuda de un componente activo presente en una solución acuosa y, concretamente, de tal manera que las partículas pueden ser eliminadas fácilmente de la solución.

Este objetivo se resuelve mediante la reivindicación 1, entre otras cosas porque la superficie es tratada con una solución acuosa que contiene un componente activo para la eliminación de partículas adheridas en la superficie, estando formado el componente activo por, al menos, un tensioactivo aniónico del grupo que contiene ácidos sulfónicos, ácidos fosfónicos, ácidos carbónicos, así como sales de los mismos.

Sorprendentemente, se ha mostrado que los tensioactivos mencionados, por un lado, son capaces de desprender especialmente partículas de óxido de metal con un grado de eficacia elevado especialmente de superficies metálicas, y que las partículas se adhieren junto con el tensioactivo en un intercambiador de aniones o un intercambiador de iones de lecho mixto, una combinación de intercambiador de aniones y cationes. Si se utiliza una solución que no contiene otras sustancias químicas a excepción de al menos un tensioactivo, lo que es deseable, estará garantizada una eliminación muy sencilla, una vez realizada la descontaminación, dado que no se requiere ni una desintegración de otras sustancias, por ejemplo con la ayuda de luz ultravioleta, ni su eliminación con la ayuda de un intercambiador de iones, lo que significaría una cantidad adicional de resina intercambiadora de iones a eliminar. En las reivindicaciones dependientes se dan a conocer otras realizaciones ventajosas.

A continuación se explicará la invención más detalladamente.

El material de las muestras utilizadas para los siguientes ejemplos o ensayos proviene de componentes desmontados del circuito de refrigeración primario de un reactor alemán de agua a presión. Se trata de fragmentos cortados de acero inoxidable estabilizado con niobio, número de material 1.4551, que presentan sobre su superficie la capa de óxido que es habitual en los componentes del sistema de refrigeración de centrales nucleares, la cual contiene elementos radioactivos. Los fragmentos son pretratados por el habitual procedimiento de descontaminación.

El tratamiento de las muestras se lleva a cabo a escala de laboratorio en cubetas de vidrio de borosilicato con una capacidad de entre 500 ml y 2l. Las muestras fueron sumergidas en la solución de tratamiento, en dispositivos de sujeción realizados en vidrio de borosilicato, acero inoxidable 1.4551, acero inoxidable ANSI 316, o PTFE. El calentamiento a temperatura de ensayo se realizó con la ayuda de placas eléctricas de calefacción. La temperatura se ajustó y se mantuvo constante con la ayuda de termómetros de contacto. La mezcla de la solución se realizó mediante la utilización de agitadores magnéticos o mecánicos.

La medición de la radioactividad existente en las muestras se realizó en un laboratorio radioquímico acreditado según DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (entidad de acreditación alemana “Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH”, Consejo Alemán de Acreditación (DAR), certificado de acreditación nº DAP-PL-3500.81).

Para una mejor legibilidad de los resultados se ha limitado el número de dígitos detrás de la coma, para los cálculos, por ejemplo, de factores de descontaminación, se han utilizado los valores completos, no redondeados.

Representatividad de la medición de Am-241 para el comportamiento de los actínidos emisores de radiación alfa Pu, Am, Cm:

La medición de la radiación alfa requiere una complicación relativamente elevada. Mucho más sencilla y más rápida, así como también más precisa resulta, sin embargo, la determinación de la actividad gamma. Como indicador para el comportamiento de los actínidos o elementos transuránicos emisores de radiación alfa se captó, por lo tanto, la actividad del isótopo 241 del americio, que está basada en radiación gamma.

En la tabla 1 se compara a título de ejemplo el desarrollo de la actividad de Am-241 detectada a través de detectores de radiación gamma sobre una de las muestras descritas con la actividad de los isótopos de Pu-240, Cm-242 y Am-241 detectada con detectores de radiación alfa en estado no tratado (nº 1), tras una descontaminación mediante procedimientos de descontaminación habituales (nº 2) y con un procedimiento de descontaminación en el que se ha utilizado el componente activo, según la invención, en diferentes concentraciones (nº 3, 4, 5), de acuerdo con la presente invención. Para facilitar una comparación de la eliminación de la actividad se refleja, además de los valores medidos que se han obtenido en Bq/cm^2, también los valores porcentuales referidos a la cantidad inicial. Se han

utilizado tensioactivos con un solo resto orgánico ($CH_3^-(CH_2)_{15}^-$), en concreto, en el nº 3 ácido sulfónico, en el nº 4 ácido carboxílico y en el nº 5 ácido fosfónico. Los ensayos se llevaron a cabo a una temperatura de 95º C y con una concentración de tensioactivos de 1g/l. El tratamiento duró 15 h en cada caso, durante los cuales no se hizo pasar la solución por intercambiadores de iones.

Tabla 1: Medición de la radiación gamma de Am-241 como nucleído guía

Nº	Actividad mediante medición de radiación alfa [Bq/cm^2]			Activ. gamma [Bq/cm^2]	Actividad mediante medición de radiación alfa [%]			Activ. gamma [%]
	Pu-240	Am-241	Cm-242	Am-241	Pu-240	Am-241	Cm-242	Am-241
1	0,771	5,43	0,6	4,58	100	100	100	100
2	0,079	0,425	0,03	0,413	10,2	7,83	5,02	9,02
3	0,056	0,264	0,019	0,308	7,21	4,86	3,13	6,73
4	0,01	0,042	0,003	0,033	1,28	0,78	0,51	0,73
5	0,001	0,003	0,0001	0,003	0,08	0,05	0,02	0,06

La temperatura mínima para la efectividad del componente activo o uno de los tensioactivos que lo componen, del grupo formado por ácido sulfónico, ácido fosfónico y ácido carbónico, depende entre otras cosas de la estructura (por ejemplo, de la longitud) de la parte no polar del tensioactivo y está condicionada por la denominada “temperatura Krafft”. Por debajo de esta temperatura no se pueden vencer las interacciones entre partes no polares, la sustancia activa permanece en solución como agregado. En caso de utilizar ácido octadecil-fosfónico como componente activo, la temperatura mínima para que tenga un efecto eficaz es, por ejemplo 75º C. El límite superior depende en general de los parámetros técnicos del procedimiento. No resulta deseable, por ejemplo, que la solución de tratamiento llegue a hervir. Por esta razón, una temperatura de aplicación habitual de tratamientos de descontaminación bajo presión atmosférica es, por ejemplo de 80-95º C o de 90-95º C.

Grupos funcionales polares óptimos:

La efectividad de los tensioactivos propuestos depende también del tipo de su parte polar. Aunque desde un punto de vista estructural los diferentes componentes activos propuestos sean comparables (presentan una parte no polar a través de la que entran en interacción entre sí y una parte polar a través de la que las moléculas de la sustancia activa se repelen entre sí de forma localizada y a través de la que se hace posible la interacción de la sustancia activa con las partículas o las superficies polares, cargadas o ionizadas), existen diferencias en las propiedades químicas de los diferentes grupos funcionales, las cuales son responsables del efecto diferente también en el ámbito de la descontaminación en cuestión. Estas diferencias se pueden detectar comparando una selección de componentes activos que presentan diferentes grupos funcionales polares, pero partes no polares idénticas. En los ensayos realizados a tal efecto se han mantenido idénticas las demás condiciones de ensayo, tal como el tipo de capa de óxido a desprender, la temperatura de tratamiento, el valor pH, la concentración del componente activo y el tiempo de tratamiento. Antes del tratamiento, las muestras han sido tratadas con 3 ciclos de un procedimiento de descontaminación habitual para centrales nucleares (por ejemplo, con un ácido orgánico que actúa como formador de complejos, tal como el ácido oxálico). En la tabla 2 que refleja los resultados de los ensayos se indica, además de la actividad, también el factor de descontaminación (DF), es decir el cociente entre la actividad al inicio y la actividad al final que permite una estimación de la efectividad de la descontaminación. De los resultados reflejados en la tabla 2 se desprende que, en igualdad de condiciones, un ácido fosfónico con la fórmula $R\text{-}PO_3H_2$ (donde $R = CH_3(CH_2)_{15}$) es el más apropiado para la eliminación de la contaminación emisora de radiación alfa.

Tabla 2: Mejor grupo funcional polar:

Grupo polar	Actividad Am-241 [Bq/cm^2]		DF
	Antes	Después	
Ácido carboxílico *)	3,08	0,19	16,3
Ácido sulfónico *)	3,68	0,45	8,2
Ácido fosfónico *)	3,59	0,12	30,7
Sulfato	2,30	0,19	12,1
*) con resto $CH_3^-(CH_2)_{15}^-$			

La efectividad del componente activo no está determinada solamente por su parte polar, sino también por su parte no polar, en especial por su longitud o por la longitud de la cadena de la misma. El tamaño o la longitud de la parte no polar influye en la interacción entre las moléculas tensioactivas debido a las fuerzas de Van-der Waals, provocando con una estructura comparable las partes no polares con mayor tamaño mayores fuerzas de interacción. En caso de que se formen capas dobles en las superficies cargadas esto tiene, por ejemplo, como consecuencia que en la segunda capa de la capa doble, la que no está en contacto con la superficie, se pueden absorber más moléculas. Debido a ello aumenta la densidad de carga en esta capa lo cual provoca interacciones más elevadas con agua y fuerzas repulsivas de Coulomb. Esto favorece la movilización de la actividad. En los ensayos realizados a tal efecto se mantuvo siempre la igualdad de condiciones (tipo de capa de óxido existente sobre las muestras,

temperatura de tratamiento, valor pH, concentración del componente activo y tiempo de tratamiento). El resultado de estos ensayos se desprende de la tabla 3. En ella se muestra una comparación entre la efectividad de descontaminación media de diferentes componentes activos con el mismo grupo funcional (grupo de los ácidos fosfónicos) y con diferentes restos no polares (C14: $CH_3^-(CH_2)_{13}^-$; C16:$CH_3^-(CH_2)_{15}^-$; C18:$CH_3^-(CH_2)_{17}$. Antes del tratamiento, las muestras fueron tratadas con 3 ciclos de un procedimiento de descontaminación habitual para centrales nucleares (véase arriba). Además de las indicaciones de actividad, también se indica el factor de descontaminación (DF) habitual que simplifica la estimación de la efectividad de la descontaminación.

Tabla 3: El mejor tamaño de la parte no polar

	Con C14-PO3H2 Am-241		Con C16-PO3H2 Am-241		Con C18-PO3H2 Am-241	
	[Bq/cm^2]	σ	[Bq/cm^2]	σ	[Bq/cm^2]	σ
Antes	6,09	0,79	6,11	2,66	6,79	9,43
Después	0,28	1,53	0,15	0,02	0,07	0,09
DF	21,9		41,8		102,0	

Para determinar el rango de pH óptimo para llevar a cabo la descontaminación se han tratado cuatro muestras paralelamente, en concreto en igualdad de condiciones de ensayo tales como temperatura, concentración de sustancia activa o tiempo de exposición, a excepción del valor de pH. Éste ha sido reducido en el ensayo nº 1 mediante adición de HNO_3, en el ensayo nº 2 se ha dejado el propio pH equilibrado de la sustancia activa del ácido fosfónico, en el ensayo nº 3 se ha alcalinizado ligeramente mediante adición de una solución de NaOH y en el ensayo nº 4 se ha alcalinizado fuertemente mediante adición de cantidades superiores de NaHO. Tal como se muestra en la tabla 4, se obtienen los mejores resultados al neutralizar el grupo de ácidos fosfónicos (nº 3). En este medio, el grupo está doblemente ionizado como $R\text{-}PO_3^{2-}$, al contrario del estado normal ($R\text{-}PO_3H^-$). Con un pH ácido (nº 1) se inhibe la disociación del grupo de ácidos debido a la concentración elevada de iones de H_3O^+ en el agua y la sustancia activa no puede adquirir su estado de carga requerido. En caso de una solución fuertemente alcalina, el grupo de ácidos está totalmente disociado y, por lo tanto, cargado al máximo.

Tabla 4: Rango de pH óptimo

Nº	pH	Am-241 [Bq/cm^2]		DF
		Antes	Después	
1	1,5	3,75	2,25	1,7
2	4,25	4,63	0,46	10,1
3	6	6,15	0,37	16,8
4	12	3,73	3,36	1,1

El procedimiento, según la invención, se utiliza preferentemente para la descontaminación de componentes del sistema de refrigeración de una central nuclear (véase la figura 1 adjuntada). Durante el funcionamiento de la central se forma una capa de óxido más o menos gruesa sobre las superficies de estos componentes que están contaminadas radioactivamente tal y como ya se ha mencionado anteriormente. En primer lugar se elimina lo mejor posible la capa de óxido. Las superficies de los componentes son tratadas entonces con una solución que contiene al menos un tensioactivo aniónico del grupo formado por los ácidos sulfónicos, fosfónicos o carbónicos y sus sales. Cabe destacar especialmente que, además del tensioactivo, no se requieren otros aditivos químicos, es decir que preferentemente se trabaja con una solución acuosa que contiene exclusivamente al menos un tensioactivo del grupo indicado. Dado que además del tensioactivo no están presentes otras sustancias, la eliminación de la solución tensioactiva resulta sencilla. En lo que se refiere a las partículas desprendidas de las superficies de los componentes y que han pasado a la solución tensioactiva, resultó sorprendente que éstas pudieran ser eliminadas de la solución con la ayuda de un intercambiador de aniones o de un intercambiador de iones de lecho mixto, es decir de una combinación de un intercambiador de aniones y de cationes. Tras haber pasado una o varias veces por un intercambiador de iones, en la solución tensioactiva prácticamente tan sólo queda agua que puede ser eliminada del modo habitual con un gasto reducido.

La segunda etapa del tratamiento se lleva a cabo a una temperatura superior a la temperatura ambiente, es decir superior a aproximadamente 25º C, en la que se trabaja sin embargo debajo de los 100º C para evitar una evaporación y la consiguiente pérdida de agua. Preferentemente, se trabaja a temperaturas de más de 50º C y los mejores resultados se obtienen con temperaturas de más de 80º C.

El valor de pH de la solución de tratamiento en la segunda etapa del tratamiento puede ser variado en principio. Así es concebible aceptar aquel valor de pH que se obtiene debido al tensioactivo presente en la solución. Si el tensioactivo es un ácido, el valor pH se establecerá en el rango ácido. Los mejores resultados se obtienen en un rango de pH de 3 a 9, especialmente cuando se utiliza un derivado del ácido fosfónico como tensioactivo.

La concentración del componente activo, es decir de un tensioactivo del tipo en cuestión en la segunda solución de tratamiento, es de 0,1 g/l hasta 10 g/l. Por debajo de 0,1 g/l no se produce una reducción de la contaminación por

radiación alfa de la superficie del componente en una medida significativa. Por encima de 10g/l apenas se observa aún un aumento del factor de descontaminación, de manera que concentraciones que sobrepasan este valor indicado no tienen prácticamente efecto alguno. Un muy buen equilibrio entre la utilización, una cantidad de tensioactivo y la efectividad de la descontaminación se consigue en concentraciones de tensioactivos hasta 3 g/l.

Para llevar a cabo la segunda etapa del tratamiento es concebible, en principio, eliminar la solución de limpieza que está agotada tras la primera etapa del tratamiento y sustituirla por una segunda solución de limpieza, es decir, por ejemplo vaciar el sistema de refrigeración de una central nuclear en caso de descontaminación del mismo para volver a llenarlo a continuación otra vez con la segunda solución de tratamiento. Sin embargo, según el procedimiento preferido, la primera solución de tratamiento es liberada mayoritariamente de las sustancias contenidas en ella, es decir de un ácido descontaminante que sirve para que se desprenda la capa de óxido depositada sobre una superficie de un componente y de los iones de metal que provienen de la capa de óxido. Para eliminar el ácido descontaminante, por ejemplo ácido oxálico o ácidos orgánicos similares, la solución de tratamiento es expuesta a luz ultravioleta, debido a lo cual el ácido es descompuesto en dióxido de carbono y agua. Los iones de metal contenidos en la solución de descontaminación agotada son eliminados al hacer pasar la solución por un intercambiador de iones.

En la figura 1 adjunta a la presente descripción se muestra esquemáticamente el sistema de refrigeración de un reactor de agua en ebullición. Además de la vasija de presión 1 que cuenta, como mínimo, durante el funcionamiento con múltiples elementos combustibles 2, comprende un sistema de tuberías 3 que está conectado a la vasija de presión 1 a través de racores 4, 5 así como diversos elementos incorporados tales como, por ejemplo, condensadores, estando estos elementos incorporados simbolizados en su totalidad por la caja 6 en la figura 1. Para llevar a cabo la primera etapa de tratamiento durante una descontaminación de todo el sistema de refrigeración, éste es llenado con una solución de tratamiento que contiene, por ejemplo, un ácido orgánico, formador de complejos. Generalmente, antes de esta etapa de descontaminación se dispone una etapa de oxidación a efectos de oxidar el cromo III contenido en la capa de óxido que se encuentra sobre las superficies interiores 7 de los componentes de manera que se obtiene cromo VI. En caso de una descontaminación completa, se llena todo el sistema de refrigeración, de lo contrario solo se podría tratar partes, por ejemplo, solo un tramo del sistema de tuberías.

Una vez se haya limpiado del modo descrito anteriormente la solución agotada que se encuentra en el sistema, es decir, una vez se haya destruido el ácido descontaminante contenido en ella y los iones de metal hayan sido eliminados con la ayuda de un intercambiador de iones, se añade a la solución de tratamiento generada de esta manera un tensioactivo, preferentemente un ácido fosfónico o una sal de ácido fosfónico y se lleva a cabo la segunda etapa del tratamiento.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la descontaminación química de superficies contaminadas radioactivamente de un componente metálico de centrales nucleares, en el que

en una primera etapa de tratamiento se desprende de la superficie del componente la capa de óxido que se ha formado sobre dicho componente por la corrosión del material del mismo, con ayuda de una primera solución de tratamiento acuosa que contiene un ácido orgánico descontaminante, y
en una subsiguiente segunda etapa de tratamiento, conectada a aquella, la superficie liberada, como mínimo parcialmente, de la capa de óxido, es tratada con una segunda solución de tratamiento acuosa que contiene un componente activo para eliminar las partículas adheridas a la superficie, estando el componente activo compuesto de al menos un tensioactivo aniónico del grupo formado por ácidos sulfónicos, ácidos fosfónicos, ácidos carbónicos y sales de estos ácidos, y en la que se hace pasar la segunda solución de tratamiento por un intercambiador de iones, a lo más tardar, una vez terminada la segunda etapa de tratamiento.

2. Procedimiento, según la reivindicación 1, caracterizado porque se utilizan aquellos tensioactivos que poseen un resto orgánico con 12 a 22 átomos de carbono.

3. Procedimiento, según la reivindicación 2, caracterizado por la utilización de tensioactivos con un resto orgánico con 14 a 18 átomos de carbono.

4. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque la segunda etapa de tratamiento se lleva a cabo a una temperatura de 25º C a menos de 100º C.

5. Procedimiento, según la reivindicación 4, caracterizado por una temperatura de tratamiento de más de 50º C.

6. Procedimiento, según la reivindicación 4, caracterizado por una temperatura de tratamiento de más de 80º C.

7. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 4 a 6, caracterizado por una temperatura de tratamiento como máximo de 95º C.

8. Procedimiento, según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque durante la segunda etapa de tratamiento se mantiene el valor de pH de la segunda solución de tratamiento que resulta de la presencia de al menos un tensioactivo.

9. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque se modifica el valor de pH que resulta de la presencia de al menos un tensioactivo en la segunda solución de tratamiento.

10. Procedimiento, según la reivindicación 9, caracterizado porque el valor de pH es aumentado.

11. Procedimiento, según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en la segunda solución de tratamiento se establece un valor de pH de 3 a 9.

12. Procedimiento, según la reivindicación 11, caracterizado porque el valor de pH de la segunda solución de tratamiento es de 6-8.

13. Procedimiento, según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el componente activo está contenido en la segunda solución de tratamiento en una concentración de 0,1 g/l hasta 10 g/l.

14. Procedimiento, según la reivindicación 13, caracterizado por una concentración de 0,1 g/l hasta 3 g/l.

15. Procedimiento, según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque a la segunda solución de tratamiento no se le añaden otras sustancias químicas a excepción de al menos un tensioactivo y, en su caso, un medio alcalinizante o acidificante.

16. Procedimiento, según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se obtiene la segunda solución de tratamiento a partir de la primera solución de tratamiento, eliminando de dicha primera solución de tratamiento al menos un ácido o varios ácidos descontaminantes que sirven para que se desprenda la capa de óxido existente en la superficie de un componente.

17. Procedimiento, según la reivindicación 16, caracterizado porque se expone la primera solución de tratamiento a luz ultravioleta para descomponer un ácido descontaminante en dióxido de carbono y agua.

18. Procedimiento, según la reivindicación 16 ó 17, caracterizado porque se hace pasar la primera solución de tratamiento por al menos un intercambiador de iones para eliminar los iones de metal contenidos en la misma.

19. Procedimiento, según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la primera o la segunda soluciones de tratamiento están dispuestas en un recipiente y porque un componente a tratar es sumergido en la correspondiente solución.

20. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 19, caracterizado porque una superficie a tratar del componente es la superficie interior de un recipiente y/o de un sistema de tuberías, estando el recipiente o el sistema de tuberías llenado con la primera o la segunda soluciones de tratamiento.

21. Procedimiento, según la reivindicación 20, caracterizado porque se aplica en el sistema de refrigeración de una central nuclear.

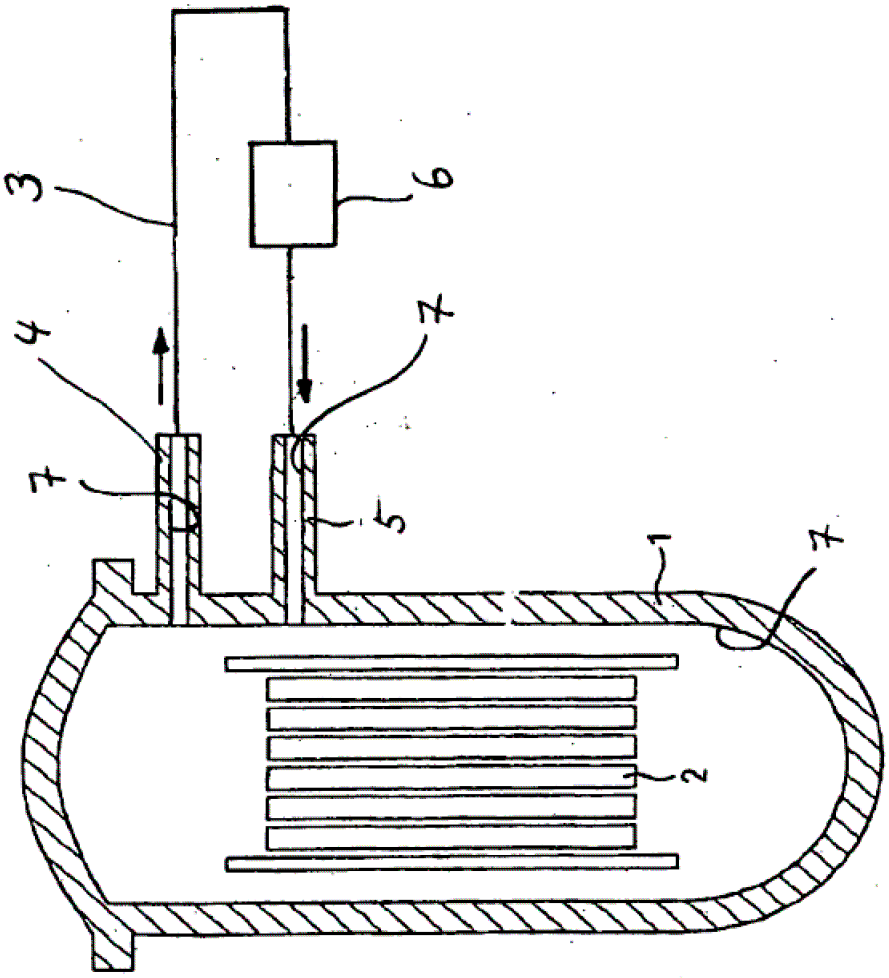

Fig. 1