

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 524 616**

51 Int. Cl.:

G21C 3/07 (2006.01)

C22C 16/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.12.2007 E 07871813 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.11.2014 EP 2126926**

54 Título: **Procedimiento de concepción de un ensamblaje de combustible optimizado en función de los esfuerzos de utilización en un reactor nuclear de agua ligera**

30 Prioridad:

11.12.2006 FR 0610785

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

10.12.2014

73 Titular/es:

**AREVA NP (100.0%)
TOUR AREVA 1 PLACE DE LA COUPOLE
92400 COURBEVOIE, FR**

72 Inventor/es:

**BARBERIS, PIERRE;
REBEYROLLE, VÉRONIQUE y
VERMOYAL, JEAN-JÉRÔME**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 524 616 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de concepción de un ensamblaje de combustible optimizado en función de los esfuerzos de utilización en un reactor nuclear de agua ligera.

5 La invención se refiere a la concepción de los ensamblajes de combustible para reactores nucleares de agua ligera.

10 En un núcleo de reactor nuclear de agua en ebullición (REB) o de agua a presión (REP), los componentes realizados en aleación de circonio de los ensamblajes de combustible están sometidos a severas sollicitaciones que provocan su deformación. Los principales componentes implicados son las rejillas de mezcla, los tubos-guías, las fundas que contienen las pastillas de combustible y las cajas.

15 La deformación de los componentes de estructura del ensamblaje puede provocar numerosos problemas de explotación. Por ejemplo, en funcionamiento, la deformación de conjunto del ensamblaje, provocada esencialmente por la de los tubos-guías o de la caja, puede obstaculizar la maniobra de los grupos de mando que permiten el pilotaje del reactor. O también, durante las operaciones de carga y de descarga del núcleo del reactor, las deformaciones de los componentes tales como las rejillas o la caja aumentan los rozamientos y los riesgos de enganche. Esto obliga a menudo a la empresa explotadora a reducir las velocidades de manutención, incrementando así la duración de indisponibilidad del reactor. Asimismo, más allá de un cierto umbral, la deformación de los componentes ya no les permite asegurar su función con total seguridad, y puede llevar a la empresa explotadora a descargar prematuramente el ensamblaje de combustible en cuestión.

Las sollicitaciones a las que están sometidos estos componentes son esencialmente:

- 25
- la temperatura,
 - los esfuerzos mecánicos que son susceptibles de provocar la fluencia de los componentes;
 - la corrosión por el agua que circula en el reactor;
 - la hidruración;
 - la irradiación por el flujo neutrónico, que provoca unos fenómenos de agrandamiento (crecimiento libre) y acentúa la corrosión.
- 30
- 35

La elección de los materiales utilizados para realizar los componentes de estructura del ensamblaje y de su dimensionamiento deben tener en cuenta todas estas sollicitaciones. Se han desarrollado con este fin diferentes clases de aleaciones de circonio, pero la elección de un material sigue siendo empírica, conduciendo a menudo a utilizar una misma aleación para componentes diferentes tales como las rejillas de mezcla y los tubos-guías (REP) o las cajas (REB) incluso aunque éstos no están sometidos a las mismas sollicitaciones.

40

El objetivo de la invención es proponer un procedimiento que permita optimizar la elección de los materiales utilizados para realizar los diferentes componentes de estructura del ensamblaje de combustible en función de las condiciones específicas de funcionamiento del reactor o de la familia de reactores considerados con el fin de minimizar la deformación total de los componentes. Se trata por lo tanto de definir la composición química de las aleaciones de Zr utilizadas para realizar los diferentes componentes de estructura del ensamblaje de combustible que permitirán conseguir las prestaciones esperadas por la empresa explotadora, en términos de maniobrabilidad, de facilidad de explotación, de vida útil, etc. Por ejemplo, a partir del documento EP 0 802 264 se conocen unas aleaciones a base de Zr para componentes de un ensamblaje de combustible.

45

50

Con este fin, la invención tiene por objeto un procedimiento de concepción de un ensamblaje de combustible para reactor nuclear de agua ligera que comprende unos componentes de estructura realizados en aleación de circonio, caracterizado por que:

- 55
- se calculan los esfuerzos uniaxiales medios de tracción o de compresión a los que estarán sometidos dichos componentes durante la vida del ensamblaje;
 - y se eligen las aleaciones de circonio en las que estarán realizados dichos componentes según el criterio siguiente:
- 60
- * los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre -10 y -20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $Sn = (-0,025 \cdot \sigma - 0,25)\%$ y $Sn = -0,05 \cdot \sigma\%$
 - * los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre 0 y -10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo
- 65

ES 2 524 616 T3

contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = \text{trazas}$ y $S_n = (0,05 \cdot \sigma + 1)\%$

* los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $0,05 \cdot \sigma\%$ y $S_n = (0,07 \cdot \sigma + 1)\%$

* los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre 0,50% y 1,70%.

Preferentemente:

- por lo menos algunos de dichos componentes sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = 0,05 \cdot \sigma\%$ y $S_n = (0,025 \cdot \sigma + 1)\%$;

- por lo menos algunos de dichos componentes sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre 0,50% y 1,25%.

Preferentemente, dichas aleaciones de circonio en las que estarán realizados dichos componentes se seleccionan según los criterios siguientes:

- para los componentes que se encuentran en el estado completamente recristalizado, o recristalizado en más del 50%:

* los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre -10 y -20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = (-0,025 \cdot \sigma - 0,25)\%$ y $S_n = (-0,05 \cdot \sigma - 0,25)\%$

* los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre 0 y -10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = \text{trazas}$ y $S_n = (-0,025 \cdot \sigma - 0,5)\%$

* los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = 0,05 \cdot \sigma\%$ y $S_n = (-0,12 \cdot \sigma - 0,5)\%$

* los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre 0,50% y 1,70%

- para los componentes que se encuentran en el estado expandido o recristalizado en menos del 50%:

* los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre -10 y -20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = (-0,05 \cdot \sigma - 0,5)\%$ y $S_n = -0,05 \cdot \sigma\%$

* los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre 0 y -10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = \text{trazas}$ y $S_n = (0,05 \cdot \sigma + 1)\%$

* los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = 0,075 \cdot \sigma\%$ y $S_n = (0,07 \cdot \sigma + 1)\%$

* los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 10 y 20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre 0,75% y 1,70%.

Preferentemente:

- para los componentes que se encuentran en el estado completamente recristalizado, o recristalizado en más del 50%:

* por lo menos algunos de dichos componentes sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ

ES 2 524 616 T3

comprendido entre 0 y +10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = 0,05 \cdot \sigma$ y $S_n = (0,075 \cdot \sigma + 0,5)\%$;

- 5 * por lo menos algunos de dichos componentes sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre 0,50% y 1,25%;
- 10 - para los componentes que se encuentran en el estado expandido o recristalizado en menos del 50%:
- 15 * por lo menos algunos de dichos componentes sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = 0,075 \cdot \sigma$ y $S_n = (0,025 \cdot \sigma + 1,0)\%$;
- 20 * por lo menos algunos de dichos componentes sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre 0,75% y 1,25%.
- 20 Preferentemente:
- para los componentes que se encuentran en el estado completamente recristalizado, o recristalizado en más del 50%:
- 25 * por lo menos algunos de los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre -10 y -20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn sea igual a $S_n = (-0,05 \cdot \sigma - 0,5)\%$ o se aparte del valor así calculado en $\pm 20\%$ de éste,
- 30 * por lo menos algunos de los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre 0 y -10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn sea $\leq 0,15\%$;
- 35 * por lo menos algunos de los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn sea igual a $0,1 \cdot \sigma$ o se aparte del valor así calculado en $\pm 20\%$ de éste;
- 40 * por lo menos algunos de los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn sea igual a $1\% \pm 0,2\%$;
- para los componentes que se encuentran en el estado expandido o recristalizado en menos del 50%:
- 45 * por lo menos algunos de los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre -10 y -20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn sea igual a $S_n = (-0,05 \cdot \sigma - 0,25)\%$ o se aparte del valor así calculado en $\pm 20\%$ de éste,
- 50 * por lo menos algunos de los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre 0 y -10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn sea igual a $-0,025 \cdot \sigma$ o se aparte del valor así calculado en $\pm 20\%$ de éste;
- 55 * por lo menos algunos de los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn sea igual a $S_n = 0,1 \cdot \sigma$ o se aparte del valor así calculado en $\pm 20\%$ de éste;
- 60 * por lo menos algunos de los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn sea igual a $1\% \pm 0,2\%$;
- 65 - cuando dichos valores calculados del contenido en Sn son inferiores a 0,1%, se considera 0,15 como límite superior del contenido en Sn.

Preferentemente, por lo menos algunos de dichos componentes tienen un contenido total en elementos diferentes de Zr que no sobrepasa 3,5%.

Por lo menos algunos de dichos componentes pueden tener un contenido en Nb de 0,5 a 3%.

5 Por lo menos algunos de dichos componentes pueden tener un contenido en Nb de 0,5 a 3% y contienen asimismo Fe y/o Cr y/o Cu y/o V y/o Ni, siendo $Fe+Cr+Ni+Cu+V = 0,03$ a 0,5%.

10 Como se habrá comprendido, la invención se basa en el razonamiento inicial según el cual el contenido en Sn de la aleación en la que está realizado un componente tiene una marcada influencia en sus propiedades, y la elección de este contenido se debe efectuar en función de las sollicitaciones térmicas, mecánicas y físico-químicas a las que el componente estará sometido cuando tiene lugar la utilización del reactor, óptimamente teniendo en cuenta asimismo el estado más o menos recristalizado o expandido del componente.

15 La invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción siguiente, haciendo referencia a las figuras adjuntas siguientes:

- la figura 1 que muestra los contenidos en Sn mínimo, máximo y preferido que, según la invención, se impone a los componentes del ensamblaje de combustible en función del esfuerzo axial de tracción o de compresión al cual están sometidos, en el caso en el que la aleación está en el estado recristalizado;
- la figura 2, que muestra los contenidos en Sn mínimo, máximo y preferido que, según la invención, se impone a los componentes del ensamblaje de combustible en función del esfuerzo axial de tracción o de compresión al cual están sometidos, en el caso en el que la aleación está en el estado expandido;
- la figura 3, que muestra los contenidos en Sn mínimo y máximo que, según la invención, se impone a los componentes del ensamblaje de combustible en función del esfuerzo axial de tracción o de compresión al cual están sometidos, en el caso más general;

30 Lo que se expondrá a continuación es válido para las aleaciones de Zr cuyo contenido en elementos de aleación diferentes de Zr no sobrepasa 5%, preferentemente no sobrepasa 3,5%.

35 El contenido en Sn de una aleación de Zr tiene una marcada influencia al mismo tiempo en su comportamiento en corrosión y en su resistencia a la fluencia, que es una de las características mecánicas más importantes a considerar para apreciar el comportamiento de un componente.

40 La invención se basa en el concepto según el cual el contenido en Sn de los diferentes componentes de un reactor debe ser optimizado para que el componente se corroa poco y esté poco sujeto a la deformación, en las condiciones precisas en las que será utilizado. Esta optimización debe ser afinada después gracias a la elección de los contenidos de los otros elementos, en particular de O y S que tienen una influencia importante en la fluencia y de Fe que tiene una influencia importante en la corrosión. Pero Sn, que tiene una influencia importante en estos dos factores, es el elemento más importante a considerar cuando se quiere obtener un buen compromiso entre estas diversas exigencias, a menudo contradictorias.

45 Para llegar a estas conclusiones, los inventores han realizado una modelización del comportamiento en fluencia de las aleaciones de Zr que contienen como máximo 5% de elementos diferentes de Zr, en función:

- del esfuerzo uniaxial σ de compresión o de tracción aplicado al componente considerado, en el intervalo de -20 MPa a +20 MPa, mediado sobre la vida del ensamblaje;
- y del contenido en Sn de la aleación que constituye el componente, así como de su estado recristalizado o expandido.

55 El intervalo de esfuerzos considerado cubre ampliamente las sollicitaciones uniaxiales encontradas en un reactor. Más allá de 20 MPa, la sollicitación provocaría una fluencia redhibitoria de los componentes.

60 En el curso de estas simulaciones, los inventores tuvieron en cuenta asimismo la influencia de la temperatura y de las condiciones físico-químicas de utilización de estas aleaciones en los entornos habituales de los reactores. En particular, fue preciso tener en cuenta el agrandamiento bajo irradiación provocada por el flujo neutrónico, y los esfuerzos causados por la formación de la capa de óxido a consecuencia de la corrosión del material. Asimismo, se tuvo en cuenta la hidruración, que provoca un agrandamiento del material, y el rozamiento del fluido sobre el ensamblaje.

65 En cuanto a las temperaturas a las que están sometidos los componentes, se las ha considerado típicamente de 280 a 360°C para un reactor de agua a presión y de 280 a 300°C para un reactor de agua en ebullición.

Las conclusiones están resumidas por las figuras 1 a 3 que muestran el contenido en Sn que, según la invención, se preconiza imponer a un componente del ensamblaje de combustible en función del esfuerzo de tracción (valores positivos) o de compresión (valores negativos) al que está sometido cuando el reactor está funcionando en sus condiciones de utilización nominales.

5 En particular, la figura 1 se refiere a las aleaciones que se encuentran en el estado completamente recristalizado, y la figura 2 se refiere a las aleaciones que se encuentran en el estado expandido.

10 En estas figuras, las curvas con las referencias 1 corresponden a los contenidos mínimos en Sn a imponer según la invención. Las curvas 2 corresponden a los contenidos máximos en Sn a imponer según la invención cuando se busca una resistencia elevada del componente a la corrosión y a la hidruración; las curvas 2' corresponden a una variante de las curvas 2 que corresponden al caso en el que no se busca particularmente una resistencia elevada del componente a la corrosión. Las curvas 3 corresponden a los contenidos en Sn considerados como óptimos.

15 En la perspectiva de la invención, los inventores creen que es preferible en general imponer a las aleaciones utilizadas un contenido en Sn de 1,25% como máximo, ya que más allá, la corrosión y la hidruración se vuelven muy rápidas para algunas condiciones de utilización. Sin embargo se puede prever mezclar en el ensamblaje de combustible, unos componentes con $Sn \leq 1,25\%$ en las zonas más expuestas a la corrosión y a la hidruración y unos componentes con $Sn > 1,25\%$ en las zonas menos expuestas a la corrosión y a la hidruración. 1,70% de Sn aparece como el contenido a no sobrepasar en ningún caso. Asimismo, seguiría estando de acuerdo con la invención utilizar conjuntamente en el ensamblaje unos elementos cuya composición se ha elegido según los criterios óptimos que serán definidos y unos elementos que no responden a estos criterios óptimos, sino a unos criterios menos exigentes que se desprenden asimismo de la invención.

25 El esfuerzo uniaxial en cuestión puede ser un esfuerzo longitudinal (axial) de compresión o de tracción, como es el caso en los tubos-guías, las fundas y las cajas, o un esfuerzo transversal de compresión o de tracción, como es el caso en las rejillas.

30 En cuanto a las aleaciones en el estado completamente recristalizado (figura 1) los criterios de elección preferentes son los siguientes, aplicados a unas aleaciones cuyo contenido total en elementos diferentes de Zr no sobrepasa 5%, preferentemente 3,5%.

35 Cuando el componente está sometido a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre -10 y -20 MPa, el contenido en Sn está comprendido entre $Sn = (-0,025 \cdot \sigma - 0,25)\%$ y $Sn = (-0,05 \cdot \sigma - 0,25)\%$. De forma óptima, es igual a $Sn = (-0,05 \cdot \sigma - 0,5)\%$ o se aparta del valor así definido en $\pm 20\%$ de éste. Si el valor encontrado por este cálculo del contenido en Sn es inferior a 0,10%, se considera 0,15% como límite superior óptimo del contenido en Sn.

40 Cuando el componente está sometido a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre -10 y 0 MPa, el contenido en Sn está comprendido entre trazas y $Sn = (0,025 \cdot \sigma + 0,5)\%$. Óptimamente, se tiene $Sn \leq 0,15\%$.

45 Cuando el componente está sometido a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa, el contenido en Sn está comprendido entre $Sn = 0,05 \cdot \sigma\%$ y $Sn = (0,12 \cdot \sigma + 0,5)\%$ cuando no se busca particularmente una elevada resistencia a la corrosión, o entre $Sn = 0,05 \cdot \sigma\%$ y $Sn = (0,075 \cdot \sigma + 0,5)\%$ cuando se busca una elevada resistencia a la corrosión. De forma óptima, es igual a $0,1 \cdot \sigma\%$ o se aparta del valor así calculado en $\pm 20\%$ de éste. Si este valor calculado es inferior a 0,1%, se considera 0,15% como límite superior óptimo del contenido en Sn.

50 Cuando el componente está sometido a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa, el contenido en Sn está comprendido entre 0,50% y 1,70% cuando no se busca particularmente una elevada resistencia a la corrosión, o entre 0,50 y 1,25% cuando se busca una elevada resistencia a la corrosión. Óptimamente, es igual a $1\% \pm 0,2\%$.

55 En cuanto a las aleaciones en el estado expandido (figura 2), los criterios de elección preferentes son los siguientes, aplicados a unas aleaciones cuyo contenido total en elementos diferentes de Zr no sobrepasa 5%, preferentemente no sobrepasa 3,5%.

60 Cuando el componente está sometido a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre -10 y -20 MPa, el contenido en Sn está comprendido entre $Sn = (-0,05 \cdot \sigma - 0,5)\%$ y $Sn = -0,05 \cdot \sigma\%$. De forma óptima, es igual a $Sn = (-0,05 \cdot \sigma - 0,25)\%$ o se aparta del valor así definido en $\pm 20\%$ de éste.

65 Cuando el componente está sometido a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre -10 y 0 MPa, el contenido en Sn está comprendido entre trazas y $Sn = 0,05 \cdot \sigma + 1\%$. Óptimamente, es igual a $Sn = -0,025 \cdot \sigma\%$ o se aparta del valor así definido en $\pm 20\%$ de éste. Si el valor encontrado por este cálculo es inferior a 0,1%, se considera 0,15% como límite superior óptimo del contenido en Sn.

ES 2 524 616 T3

- 5 Cuando el componente está sometido a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa, el contenido en Sn está comprendido entre $S_n = 0,075 \cdot \sigma\%$ y $S_n = (0,07 \cdot \sigma + 1)\%$ cuando no se busca particularmente una elevada resistencia a la corrosión, y entre $S_n = 0,075 \cdot \sigma\%$ y $S_n = (0,025 \cdot \sigma + 1)\%$ cuando se busca una elevada resistencia a la corrosión. De forma óptima, es igual a $S_n = 0,1 \cdot \sigma\%$ o se aparta de este valor en $\pm 20\%$ de éste. Si este valor calculado es inferior a 0,1%, se considera 0,15% como límite superior óptimo del contenido en Sn.
- 10 Cuando el componente está sometido a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa, el contenido en Sn está comprendido entre 0,75 y 1,70% si no se busca particularmente una elevada resistencia a la corrosión, o entre 0,75% y 1,25% si se busca una elevada resistencia a la corrosión. Óptimamente, el contenido en Sn es igual a $1\% \pm 0,2\%$.
- 15 Cuando la aleación está en un estado parcialmente recristalizado, se le puede conferir, para un esfuerzo de compresión o de tracción axial determinado, un valor intermedio entre el definido como anteriormente para una aleación totalmente recristalizada y el definido para una aleación en el estado expandido. Como primera aproximación, se podrá asimilar una aleación recristalizada en más del 50% a una aleación completamente recristalizada, y una aleación recristalizada en menos del 50% a una aleación expandida.
- 20 De esta manera, reuniendo los dos campos preferentes anteriores, se concluye que según la definición más amplia de la invención, se puede definir la elección del contenido en Sn de los componentes según los criterios siguientes, como lo muestra la figura 3.
- 25 Para componentes sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre -20 y -10 MPa, el contenido en Sn está comprendido entre $S_n = (-0,025 \cdot \sigma - 0,25)\%$ (curva 1 de la figura 1) y $S_n = -0,05 \cdot \sigma\%$ (curva 2 de la figura 2).
- 30 Para componentes sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre -10 y 0 MPa, el contenido en Sn está comprendido entre $S_n = \text{trazas}$ (curva 1 de la figura 1) y $S_n = (0,05 \cdot \sigma + 1)\%$ (curva 2 de la figura 2).
- 35 Para componentes sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa, el contenido en Sn está comprendido entre $S_n = 0,05 \cdot \sigma\%$ (curva 1 de la figura 1) y $S_n = (0,07 \cdot \sigma + 1)\%$ (curva 2' de la figura 2) cuando no se busca particularmente una elevada resistencia a la corrosión del componente, o entre $S_n = 0,05 \cdot \sigma\%$ (curva 1 de la figura 1) y $S_n = (0,025 \cdot \sigma + 1)\%$ (curva 2 de la figura 2) cuando se busca una elevada resistencia a la corrosión del componente.
- 40 Para componentes sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa, el contenido en Sn está comprendido entre 0,50% (curva 1 de la figura 1) y 1,70% (curva 2' de la figura 2) cuando no se busca particularmente una elevada resistencia a la corrosión del componente y entre 0,50% (curva 1 de la figura 1) y 1,25% (curva 2 de la figura 2) cuando se busca una elevada resistencia a la corrosión del componente.
- 45 Así, en todos los casos, en ausencia de esfuerzo uniaxial de tracción o de compresión axial o transversal, el contenido óptimo en Sn es como máximo de 0,15%, y puede descender hasta simples trazas a título de impurezas que resultan de la elaboración de la aleación.
- 50 De manera general, el contenido en Sn óptimo es más elevado en los estados expandidos que en los estados recristalizados, debido a la velocidad de fluencia más importante.
- 50 La invención se aplica, como ya se ha expuesto, a las aleaciones de Zr que contienen hasta 5% (mejor, hasta 3,5%) de elementos de aleación diferentes de Zr. En particular, las aleaciones que contienen entre 0,5 y 3% de Nb son unos ejemplos privilegiados, así como las aleaciones que contienen de 0,5 a 3% de Nb y asimismo Fe y/o Cr y/o Cu y/o V y/o Ni, siendo $Fr+Cr+Ni+Cu+V = 0,03$ a 0,5%.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de concepción de un ensamblaje de combustible para reactor nuclear de agua ligera que comprende unos componentes de estructura en aleación de circonio, caracterizado por que:

- 5 - se calculan los esfuerzos uniaxiales medios de tracción o de compresión a los que estarán sometidos dichos componentes durante la vida del ensamblaje,
- 10 - y se eligen las aleaciones de circonio en las que estarán realizados dichos componentes según el criterio siguiente:
 - 15 * los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre -10 y -20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = (-0,025 \cdot \sigma - 0,25)\%$ y $S_n = -0,05 \cdot \sigma\%$
 - * los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre 0 y -10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = \text{trazas}$ y $S_n = (0,05 \cdot \sigma + 1)\%$
 - 20 * los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = 0,05 \cdot \sigma\%$ y $S_n = (0,07 \cdot \sigma + 1)\%$
 - 25 * los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre 0,50% y 1,70%.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que:

- 30 - por lo menos algunos de dichos componentes sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = 0,05 \cdot \sigma\%$ y $S_n = (0,025 \cdot \sigma + 1)\%$;
- 35 - por lo menos algunos de dichos componentes sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre 0,50% y 1,25%.

3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que dichas aleaciones de circonio en las que estarán realizados dichos componentes siguen los criterios siguientes:

- 40 - para los componentes que se encuentran en el estado completamente recristalizado, o recristalizado en más del 50%:
 - 45 * los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre -10 y -20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = (-0,025 \cdot \sigma - 0,25)\%$ y $S_n = (-0,05 \cdot \sigma - 0,25)\%$
 - 50 * los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre 0 y -10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = \text{trazas}$ y $S_n = (-0,025 \cdot \sigma - 0,5)\%$
 - 55 * los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = 0,05 \cdot \sigma\%$ y $S_n = (0,12 \cdot \sigma + 0,5)\%$
 - 60 * los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre 0,50% y 1,70%.
- 60 - para los componentes que se encuentran en el estado expandido o recristalizado en menos del 50%:
 - 65 * los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre -10 y -20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = (-0,05 \cdot \sigma - 0,5)\%$ y $S_n = -0,05 \cdot \sigma\%$
 - * los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre 0 y -10 MPa estarán

ES 2 524 616 T3

realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = \text{trazas}$ y $S_n = (0,05 \cdot \sigma + 1)\%$

5 * los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = 0,075 \cdot \sigma\%$ y $S_n = (0,07 \cdot \sigma + 1)\%$

10 * los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 10 y 20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre 0,75% y 1,70%.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que:

15 - para los componentes que se encuentran en el estado completamente recristalizado o recristalizado en más del 50%:

20 * por lo menos algunos de dichos componentes sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = 0,05 \cdot \sigma\%$ y $S_n = (0,075 \cdot \sigma + 0,5)\%$;

25 * por lo menos algunos de dichos componentes sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre 0,50% y 1,25%.

- para los componentes que se encuentran en el estado expandido o recristalizado en menos del 50%:

30 * por lo menos algunos de dichos componentes sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre $S_n = 0,075 \cdot \sigma\%$ y $S_n = (0,025 \cdot \sigma + 1)\%$;

35 * por lo menos algunos de dichos componentes sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn esté comprendido entre 0,75% y 1,25%.

5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por que:

40 - para los componentes que se encuentran en el estado completamente recristalizado o recristalizado en más del 50%:

45 * por lo menos algunos de los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre -10 y -20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn sea igual a $S_n = (-0,05 \cdot \sigma - 0,5)\%$ o se aparte del valor así calculado en $\pm 20\%$ de éste,

50 * por lo menos algunos de los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre 0 y -10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn sea $\leq 0,15\%$;

55 * por lo menos algunos de los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn sea igual a $0,1 \cdot \sigma\%$ o se aparte del valor así calculado en $\pm 20\%$ de éste;

* por lo menos algunos de los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn sea igual a $1\% \pm 0,2\%$

60 - para los componentes que se encuentran en el estado expandido o recristalizado en menos del 50%:

65 * por lo menos algunos de los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre -10 y -20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn sea igual a $S_n = (-0,05 \cdot \sigma - 0,25)\%$ o se aparte del valor así calculado en $\pm 20\%$ de éste;

ES 2 524 616 T3

- 5 * por lo menos algunos de los sometidos a un esfuerzo de compresión axial o transversal σ comprendido entre 0 y -10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn sea igual a $-0,025 \cdot \sigma\%$ o se aparte del valor así calculado en $\pm 20\%$ de éste;
- 10 * por lo menos algunos de los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre 0 y +10 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5%, y cuyo contenido en Sn sea igual a $Sn = 0,1 \cdot \sigma\%$ o se aparte del valor así calculado en $\pm 20\%$ de éste;
- 15 * por lo menos algunos de los sometidos a un esfuerzo de tracción axial o transversal σ comprendido entre +10 y +20 MPa estarán realizados en una aleación cuyo contenido en elementos diferentes de Zr no sobrepase 5% y cuyo contenido en Sn sea igual a $1\% \pm 0,2\%$;
- cuando dichos valores calculados del contenido en Sn son inferiores a 0,1%, se toma 0,15 como límite superior del contenido en Sn.
- 20 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que por lo menos algunos de dichos componentes tienen un contenido total en elementos diferentes de Zr que no sobrepasa 3,5%.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que por lo menos algunos de dichos componentes tienen un contenido en Nb de 0,5 a 3%.
- 25 8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado por que por lo menos algunos de dichos componentes tienen un contenido en Nb de 0,5 a 3% y contienen asimismo Fe y/o Cr y/o Cu y/o V y/o Ni, siendo $Fe+Cr+Ni+Cu+V = 0,03$ a 0,5%.

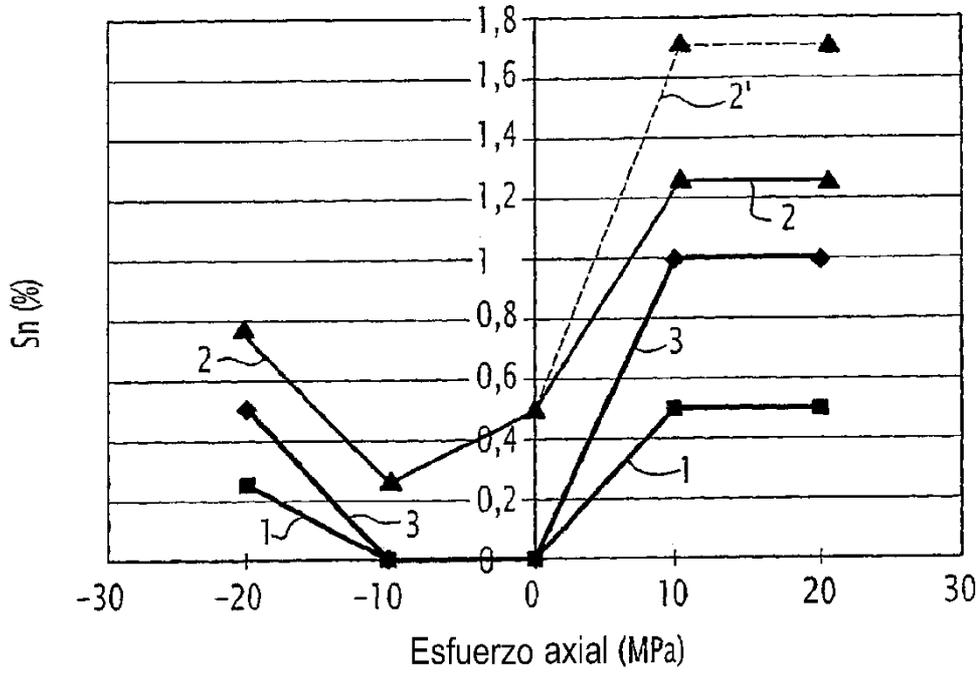


FIG. 1

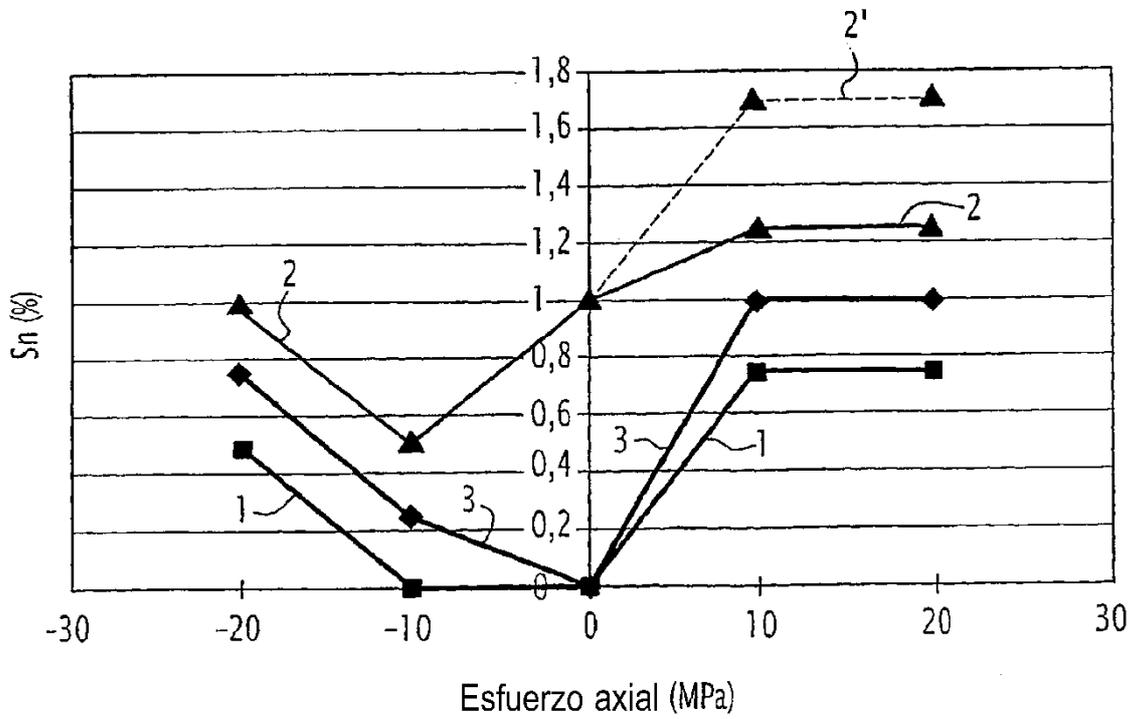


FIG. 2

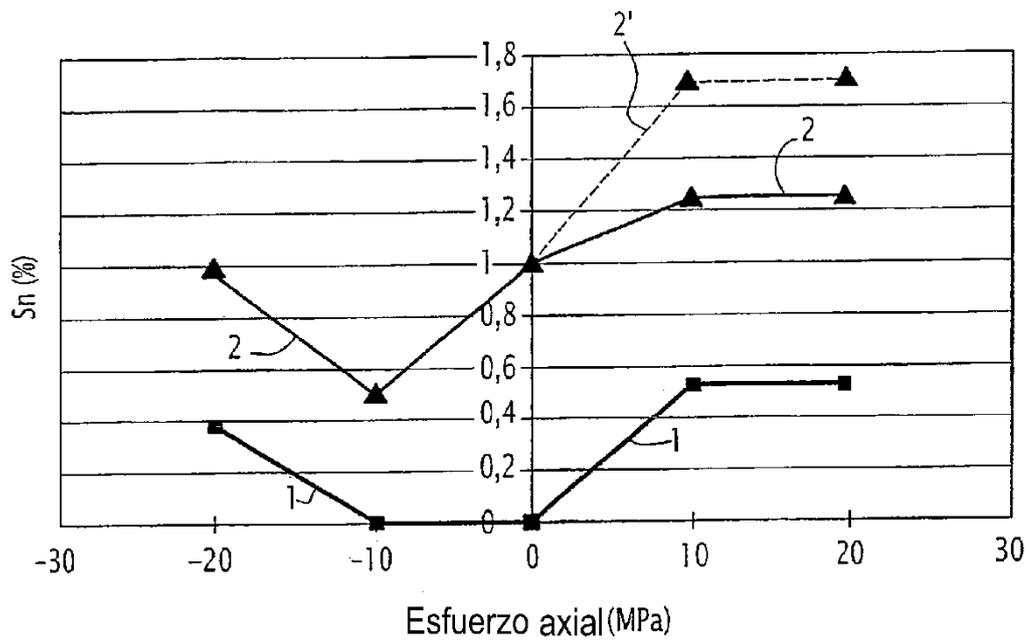


FIG.3