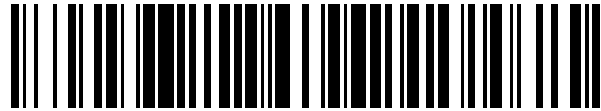


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 392 503**

51 Int. Cl.:

C23C 10/00 (2006.01)

C23C 22/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **00937471 .1**

96 Fecha de presentación: **26.05.2000**

97 Número de publicación de la solicitud: **1204781**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.05.2002**

54

Título: **Modificación de la superficie de aleaciones de temperatura elevada**

30

Prioridad:

27.05.1999 SE 9901934

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:

11.12.2012

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:

11.12.2012

73

Titular/es:

**SANDVIK INTELLECTUAL PROPERTY AB
(100.0%)
811 81 Sandviken, SE**

72

Inventor/es:

GRAF, THOMAS

74

Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 392 503 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

Modificación de la superficie de aleaciones de temperatura elevada

Campo de la invención

5 La presente se invención se refiere, de forma general, a la modificación de la superficie de materiales metálicos y de aleaciones que resisten altas temperaturas. En particular, se refiere a aleaciones de FeCrAl que son modificadas por la aplicación de un fluido, en particular una dispersión de sílice, de base acuosa.

Antecedentes de la invención

10 El aluminio puro, bajo condiciones atmosféricas normales, forma un revestimiento protector que consiste principalmente en óxido de aluminio sobre su superficie, que lo hace muy resistente a la corrosión ordinaria durante, prácticamente, una cantidad ilimitada de tiempo. Las aleaciones que tienen un contenido suficientemente alto de aluminio, tales como las aleaciones de FeCrAl, forman también óxido de aluminio sobre la superficie, con la exposición a altas temperaturas, por ejemplo, a 1000°C. Sin embargo, tales aleaciones pueden tener una vida limitada, especialmente cuando la aleación está en forma de dimensiones más delgadas, tales como hojas de 50 micrómetros de espesor. Esto es debido a la oxidación que produce desprendimiento de material, y a la oxidación del hierro y del cromo cuando se ha agotado el aluminio en la matriz, debido a la formación de óxido de aluminio. La manera más eficaz de aumentar el tiempo de vida, especialmente de las hojas delgadas, es construir una primera capa protectora de óxido de aluminio.

Los métodos convencionales comunes para incrementar la vida de aleaciones resistentes a altas temperaturas son:

- a) alear con metales de las tierras raras para disminuir la tasa de crecimiento del óxido de aluminio; y
- 20 b) la introducción de una dispersión de pequeñas inclusiones, por ejemplo de óxidos, carburos o nitruros, en la aleación.

25 A altas temperaturas, los materiales ferríticos del tipo FeCrAl tienen buenas propiedades frente a la oxidación, pero tienen una resistencia relativamente baja. Se sabe que la resistencia a una alta temperatura, y en particular la resistencia a altas temperaturas y la resistencia a la fluencia se pueden mejorar añadiendo materiales que obstaculicen el deslizamiento de los límites de grano y los movimientos de las dislocaciones en la aleación. Por eso, el deslizamiento de los límites de grano puede ser contrarrestado, por un lado, mediante una reducción de la superficie del límite de grano, es decir aumentando el tamaño de grano y, por otro lado, mediante la introducción de partículas estables que impidan la movilidad de las superficies de los granos que permanecen, siendo el orden de magnitud de estas partículas introducidas, de 50 a 1000 nm. Además, la resistencia a alta temperatura de la aleación se puede aumentar impidiendo los movimientos de las dislocaciones. Las partículas para este fin tendrán preferiblemente un tamaño medio igual, o inferior, a aproximadamente 10 nm, y estarán uniformemente distribuidas con una distancia media entre partículas de 100 a 200 nm. Estas partículas tienen que ser extremadamente estables hacia la matriz metálica con el fin de evitar que se lleguen a disolver o hacerse más gruesas con el tiempo. Los materiales adecuados formadores de partículas que contrarresten el deslizamiento de los límites de grano y los movimientos de las dislocaciones pueden ser nitruros estables, principalmente de titanio, hafnio, circonio y vanadio, óxidos de Al, Y, Th, Ca, ..., carburos de Ti, Zr, V, Ta, y mezclas de los anteriores.

35 Sin embargo, al hacer uso del método anterior, se ha establecido que la presencia de Al, que es un formador relativamente fuerte de nitruros, da lugar a una solubilidad disminuida del nitrógeno y hace más difícil el transporte del nitrógeno en el material. A su vez, esto ocasiona el inconveniente de que no se logra una separación suficientemente fina del nitruro de titanio. Además, hay un riesgo de que el aluminio se asocie en forma de nitruro de aluminio, que es perjudicial para las propiedades de oxidación de la aleación. Este nitruro de aluminio se puede disolver únicamente a altas temperaturas dando lugar a la formación de nitruro de titanio. Sin embargo, esto da como resultado un nitruro de titanio demasiado grueso para contrarrestar satisfactoriamente los movimientos de las dislocaciones. Además, la presencia de aluminio puede dar lugar también a la separación de nitruro de aluminio y titanio que, de nuevo es demasiado grueso para los fines perseguidos.

40 Menciones de la técnica anterior que ilustran la técnica formadora de nitruros, son los documentos EP-A-225047, EP-A-256555, EP-A-161756, EP-A-165732, EP-A- 363047, GB-A-2156863, GB-A-2048955, EP-A-258969, US-A-3847682, US-A-3992161, US-A-5073409, y US-A-5114470.

50 Por eso, al aplicar métodos de nitruración a las anteriores aleaciones que, a alta temperatura forman óxido de aluminio, el nitrógeno se unirá principalmente formando nitruro de aluminio. Esto ocasiona dos inconvenientes. En primer lugar, se limita la capacidad de la aleación para formar una capa protectora de óxido de aluminio. En segundo lugar, que los nitruros formados lleguen a ser demasiado grandes y no sean suficientemente estables.

En vista de estos inconvenientes con los nitruros, es muy deseable otro método para mejorar la vida de los materiales delgados resistentes al calor, en particular de artículos con paredes delgadas. Este método implica:

c) aumentar el contenido de aluminio, o los contenidos de otros elementos con alta afinidad hacia el oxígeno, en la matriz.

5 Esto se puede conseguir de diferentes maneras. Según una técnica, se realiza una atomización gaseosa del metal aluminio con un gas inerte adecuado, como el argón, y al que se introduce un polvo de la aleación en el gas de atomización. A partir del proceso de atomización, se obtiene una mezcla de polvo de aluminio y polvo de la aleación. La cantidad introducida de polvo de la aleación se adapta a las condiciones del flujo de aluminio, de forma que se obtiene en la mezcla un contenido deseado de aluminio. Después de eso, se puede encapsular la mezcla de polvos y compactarla según métodos conocidos. Según un método conocido, la mezcla de polvos se introduce en cápsulas hechas de láminas metálicas a las que se les hace el vacío y se cierran herméticamente. Una cápsula llena con una mezcla consistente en >3% en volumen de polvo de aluminio, preferiblemente entre el 8 y 18% en volumen, y el resto del polvo de la aleación, se puede comprimir en frío isotácticamente hasta una densidad relativamente alta. Luego se calienta la cápsula a una temperatura próxima al punto de fusión del aluminio. La fase sólida o líquida de Al forma entonces una solución sólida junto con la fase ferrítica de la aleación.

15 Las cápsulas compactadas según lo anterior, se pueden tratar luego térmicamente para formar, por ejemplo, barras, alambres, tubos y bandas, mediante un método adecuado, tal como extrusión, forja o laminación.

El polvo de la aleación se puede también mezclar mecánicamente con un polvo de aluminio en proporciones tales que se obtenga un contenido final de aluminio deseado. Después de eso, el polvo mixto se puede encapsular y compactar según la descripción anterior.

20 Sin embargo, al usar métodos de mezcla, siempre hay un riesgo de separar los componentes introducidos, dando lugar a aleaciones heterogéneas. Además, los procedimientos pueden ser costosos y complicados, por ejemplo en vista de los riesgos de que los componentes en polvo sean oxidados. Además, estos métodos, con frecuencia, dan lugar a la producción de dificultades tales como la fragilización durante el laminado.

Otra técnica más para aumentar la vida de las aleaciones a alta temperatura es:

d) revestir el material con hojas delgadas de aluminio, véase, por ejemplo, el documento US-A-5366139.

25 Según esta técnica, se funde, se moldea y se lamina una banda de FeCr inoxidable ferrítico y se suelda en frío aluminio sobre ambos lados al final de la etapa. Mediante un tratamiento térmico, el Al se disuelve en la banda de FeCr y se consigue la composición FeCrAl. La ventaja está en que se evitan varias de las dificultades que hay con la producción convencional de FeCrAl. Por ejemplo, las masas fundidas de FeCrAl requieren revestimientos más caros en hornos y en cucharas de colada. Además, es más difícil extruir las aleaciones de FeCrAl y son más frágiles, lo que hace más difícil la manipulación de los lingotes y de las piezas en bruto y aumenta el riesgo de agrietamiento durante la laminación en frío.

35 También se puede hacer una inmersión de las piezas con paredes delgadas mediante el procedimiento descrito en la Patente de EE.UU. N° 3.907.611, según la cual se obtiene una considerable mejora de la resistencia frente a la oxidación y la corrosión a alta temperatura de aleaciones basadas en hierro. El método comprende una aluminización mediante inmersión en aluminio fundido, seguido de tratamientos térmicos. El primer tratamiento térmico se realiza para formar una capa superficial intermetálica, y el segundo para obtener una buena unión de ella.

40 La Patente de EE.UU. N° 4.079.157 describe un método de fabricación de un material adecuado para usar en un reactor térmico, según el cual el acero inoxidable austenítico se sumerge en un baño de aluminio fundido con silicio añadido, y luego recibe un tratamiento térmico en intervalos específicos de temperatura, por lo que se efectúa una difusión preferencial del silicio en el material de acero. El silicio difundido impide la difusión del aluminio y asegura que el espesor de las capas de chapado permanezca en un valor tal que no se produzca la distorsión del elemento chapado, incluso después de un servicio prolongado. Sin embargo, este método de aluminizar o de galvanizar por inmersión en caliente conduce a revestimientos gruesos sobre el sustrato, con frecuencia de 50 a 100 micrómetros y, por lo tanto, se va a considerar como un planteamiento completamente diferente.

45 Sin embargo, estos métodos no ofrecen la satisfactoria protección de los productos de FeCrAl de pared delgada frente a la oxidación con desprendimiento de material.

50 El documento JP-A-50028446 describe un método para lavar una aleación de FeCrAl con una solución o disolvente adecuado para quitar los halógenos, y tratarla luego térmicamente para formar sobre la superficie una película de Al_2O_3 de 40 – 1000 Å de espesor, para resistir una oxidación adicional. Sin embargo, este documento se refiere solamente al hecho bien conocido de que una aleación que contiene suficientes cantidades de aluminio, forma una capa protectora de óxido sobre su superficie.

Resumen de la invención

Por lo tanto, es un objeto de la presente invención proporcionar una aleación con resistencia a altas temperaturas, y en particular a una aleación de FeCrAl con una larga vida útil.

Es un objeto más de la presente invención hacer artículos de aleaciones de FeCrAl con paredes delgadas, resistentes a altas temperaturas durante largos tiempos.

Según la presente invención, estos objetos se consiguen, de una manera sorprendente, modificando la superficie de la aleación según la presente invención.

- 5 Según un primer aspecto, la presente invención proporciona un material metálico resistente al calor y a la oxidación, que contiene aluminio, comprendiendo el material al menos uno de silicio y compuestos que contengan silicio, aplicado sobre su superficie, estando la superficie en estado metálico u oxidada, dando como resultado por ello una capa o región superficial que contiene cantidades de, al menos uno, de silicio y compuestos de silicio, y que tiene un espesor medio de 0,9 nm a 10 micrómetros.
- 10 Con fines ilustrativos pero no limitadores, se describirán ahora realizaciones preferidas de la invención haciendo referencia a los dibujos adjuntos. Esos están aquí brevemente presentados.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 muestra el contenido de aluminio de la matriz, debido a la oxidación cíclica en piezas de alambre tratadas de forma diferente, de 0,7 mm de espesor.

- 15 La Figura 2 muestra el contenido de aluminio de la matriz, debido a la oxidación cíclica en hojas delgadas tratadas de forma diferente, de 50 µm de espesor.

Descripción detallada de realizaciones preferidas

- 20 Según la invención, la superficie del material se modifica de una manera especial, ya que esta modificación de la superficie ha resultado ser un parámetro muy importante para determinar la vida de materiales metálicos delgados resistentes al calor. Esta modificación de la superficie se consigue aplicando un fluido a la superficie del material. Habiéndose obtenido los mejores resultados usando una dispersión en base acuosa de SiO₂, que puede incluir sílice coloidal en base acuosa. El fluido se aplica a una superficie metálica desnuda o ligeramente oxidada del producto acabado. El fluido se puede aplicar antes o después del montaje en un aparato de tratamiento, por ejemplo un calentador eléctrico, o durante el tratamiento. Este tratamiento tiene la ventaja de influir e impedir la formación de óxido de aluminio y la nucleación, ya durante el comienzo de la exposición a las altas temperaturas, lo que incrementa la vida del material de forma más eficaz que mediante otros métodos tales como la formación de aleaciones o de revestimientos que, principalmente, tienen que depender de procedimientos controlados por la difusión que requieren mucho tiempo.

- 30 La modificación de la superficie mediante la aplicación de un líquido coloidal basado en silicio, con tamaños de partícula del orden de nanómetros, puede proporcionar una distribución uniforme de sustancia activa sobre la superficie. Esta fina dispersión sobre la superficie de la aleación puede originar una nucleación muy homogénea de óxido de aluminio y, por eso, limita la reducción del aluminio en la matriz, lo que no es posible mediante la metalurgia corriente. La capa que contiene silicio, formada al comienzo de la oxidación, actúa también como una barrera contra la difusión para la difusión del aluminio y del oxígeno a través del límite aleación/óxido.

- 35 Además, el fluido aplicado puede mejorar la resistencia a la oxidación por medio de limpieza, por ejemplo en la solución pueden ir impurezas salinas adherentes, y/o pasivar la superficie y/o proporcionar sitios de nucleación que originen el crecimiento de óxido de aluminio homogéneo. La capa superficial basada en silicio, obtenida después de aplicar una composición coloidal de silicio, no modificará considerablemente las características de emisión de la aleación. De hecho, un objeto de la invención es incrementar la vida frente a la oxidación influyendo en el proceso de oxidación en vez de afectar al poder de emisión de la superficie. Una ventaja más del método es que se puede aplicar, independientemente del tipo de aleación o de la forma de la parte.
- 40

A efectos ilustrativos, se describirán ahora, con más detalle, algunos ejemplos de realizaciones de la invención. En primer lugar se describirá el procedimiento de ensayo.

Procedimiento de ensayo

- 45 Se calientan muestras de la aleación mediante corriente eléctrica, que se ajusta para mantener el mismo valor de energía por superficie específica de las muestras. La duración de la conexión de la corriente era de 2 minutos y la desconexión también de 2 minutos, proporcionando por ello la comprobación acelerada del comportamiento a alta temperatura en ciclo térmico, un método como el descrito en ASTM B 78 "Standard Test Method of Accelerated Life of Iron-Chromium-Aluminum Alloys for Electrical Heating" (Método de ensayo estándar para determinar la vida acelerada de aleaciones de hierro-cromo-aluminio con calentamiento eléctrico). El contenido de Al de la matriz, que disminuye con el tiempo debido a la oxidación, se muestra en la Figura 1 para una muestra de alambre, y en la Figura 2 para una muestra de una hoja delgada.
- 50

Después de aplicar el fluido según la invención, las muestras pudieron ser, como meros ejemplos, o bien calentadas directamente a temperaturas en el intervalo de 800 a 1300°C durante el ensayo de oxidación, o calentadas a

aproximadamente 870°C durante aproximadamente 1 minuto en atmósfera de NH₃, luego enfriadas y cortadas, y luego medidas para ver sus propiedades frente a la oxidación, de 1000 a 1300°C, al aire. En el último tratamiento térmico, se halló que era suficiente para obtener una calidad de superficie seca del sustrato con un revestimiento adherente, incluso después del tratamiento mecánico del sustrato, como corte, doblado, etc.

5 Composición de la aleación

La composición de la aleación de FeCrAl usada, es de importancia secundaria, ya que el tratamiento de la superficie origina el efecto dominante. La principal característica esencial es que el material metálico comprende aluminio, adecuadamente al menos el 1,5% en peso. Se usó un material formador de alúmina resistente al calor y una "composición estándar" de una aleación de hierro-cromo-aluminio con 2 – 10% en peso de Al; 10 – 40% en peso de Cr, y el resto básicamente hierro, con o sin adiciones de metales de las tierras raras y/o otras adiciones aleantes, e impurezas inevitables.

Método de revestimiento/Espesor

Se puede usar una diversidad de métodos siempre que proporcionen una capa suficientemente uniforme, tal como sol-gel, PVD, CVD, pintura, rociado, etc. También se trató la inmersión ordinaria (combinación de solución fría o caliente con muestra fría o caliente) y funcionó en la mayoría de los casos. El éxito de semejante tratamiento depende de la muestra, por ejemplo, la limpieza de la superficie, posible aceite residual procedente del laminado, y el propio fluido. Por eso, en el caso de las soluciones coloidales, se ha de tener cuidado con la temperatura del baño para evitar el efecto no deseado de destruir la estructura coloidal.

El espesor de la capa, que depende del fluido usado, no es muy crítico, sin embargo, se usarán capas preferiblemente más delgadas con espesores como las monocapas. En el caso de soluciones coloidales de Si, los revestimientos más gruesos tienden a descascarillarse de la muestra debido a la cristalización del fluido.

De forma ventajosa, la modificación de la superficie está incluida en el procedimiento de producción, preferiblemente antes del recocido final del material. Por eso, una secuencia de pasos preferida es, primero laminar en frío el material hasta dar una hoja delgada, luego tratar la superficie de la hoja delgada, y luego recocerla. Al recocer el material modificado en su superficie, se prefiere esencialmente gas hidrógeno a otras atmósferas que contienen trazas de NH₃.

El tratamiento de la superficie en el procedimiento de producción se puede mejorar más, calentando la hoja delgada laminada en frío, principalmente para provocar un proceso de secado con el fin de limpiar la superficie de impurezas superficiales volátiles. La temperatura de secado puede ser incluso tan alta que se formen sobre el material unas delgadas escamas de óxido de aluminio que, en el caso de aplicar un coloide que contenga Si, dará una adherencia mejorada a la superficie de la hoja delgada. Por lo tanto, de forma ventajosa, la secuencia de los pasos del procedimiento será, primero, laminar en frío el material para formar una hoja delgada, luego tratarla superficialmente, y luego recocerla.

El espesor medio resultante de la capa aplicada puede estar en el intervalo de 0,9 nm a 10 micrómetros, dando por ello el mencionado aumento de la vida frente a la oxidación. La capa aplicada tendrá preferiblemente un espesor medio de 5 a 60 nm. En algunos casos, la capa aplicada, rica en silicio, alcanza unos pocos micrómetros, actuando evidentemente, por ello, como una barrera adicional contra la difusión durante la oxidación. El tratamiento de la superficie, como anteriormente se describió, se podría hacer sobre el material en una etapa de acabado o de semiacabado, o sobre un producto acabado o semiacabado.

40 Definición de los fluidos

Son útiles varios fluidos diferentes con composiciones diferentes, pero no en la misma medida. Principalmente, son útiles los fluidos que contienen silicio, bien como una solución o bien como una suspensión, preferiblemente una suspensión coloidal. Una solución que contenga Si puede estar en forma de una solución pura o una solución en combinación que comprenda otros elementos, tales como Na₂SiO₃, normalmente como soluciones acuosas. Preferiblemente, se puede usar cualquier forma de fluido con una estructura coloidal que contenga Si, por ejemplo partículas coloidales de SiO₂ amorfo a los rayos X, en solución.

Unos ejemplos poco concretos de fluidos adecuados son (estando los porcentajes en peso):

a) Una dispersión coloidal al 40%, en agua, de partículas de sílice amorfas, separadas y esféricas, con un tamaño medio de partícula de aproximadamente 15 nm, estabilizada por un 0,2% de Na₂O de carácter aniónico, pH de aproximadamente 9.

b) Una dispersión coloidal al 40%, en agua, de partículas de sílice amorfas, separadas y esféricas, con un tamaño medio de partícula de aproximadamente 9 nm, estabilizada por un 0,3% de Na₂O de carácter aniónico, pH de aproximadamente 10.

c) Una dispersión coloidal al 30%, en agua, de partículas de sílice amorfas, separadas y esféricas, con un tamaño medio de partícula de aproximadamente 30 nm, estabilizada por un 0,15% de Na₂O de carácter aniónico, pH de aproximadamente 10.

5 d) Una dispersión coloidal al 40%, en agua, de partículas de sílice amorfas, separadas y esféricas, con un tamaño medio de partícula de aproximadamente 15 nm, estabilizada por una sal de Al de carácter catiónico, pH de aproximadamente 3,8.

Además, las concentraciones anteriores, en los ejemplos a) a d) fueron bajando desde 40 al 5,7% con todavía muy buenos resultados.

Otros fluidos útiles son:

10 e) Dispersión coloidal al 30% de sílice y Al₂O₃ en agua.

f) Una solución acuosa de Na₂SiO₃ al 7% (también fueron probadas soluciones al 10 y 20% con buenos resultados).

g) Una solución acuosa de Na₂SiO₃ al 10% y jabón al 5% (sal de metal alcalino de ácidos grasos).

h) Gel de sílice (mediante “desestabilización” de la dispersión coloidal con, por ejemplo, jabón).

i) Dispersión coloidal al 40% de sílice en agua, con aproximadamente 5% de nitrato de aluminio.

15 j) Aceite de silicio

k) Dispersión coloidal al 30% de sílice en alcohol.

El alcohol referido anteriormente podría ser adecuadamente etanol o isopropanol.

20 El principal elemento activo en los fluidos es el silicio, incluso en concentraciones muy bajas. Bastante sorprendentemente, pequeñas cantidades, tales como 0,6% en peso de silicio en el fluido, dieron buenos resultados de resistencia a la oxidación. Otros elementos, tales como el sodio, no pueden sustituir el efecto del Si en la misma medida (Si puro y/o Si en cualquier combinación con otros elementos) en el proceso de oxidación.

Espesor de la hoja delgada

25 El efecto de incrementar la resistencia a la oxidación no se limita a hojas delgadas, el método es aplicable a, por ejemplo, muestras de alambres así como también a barras, tubos, fibras o polvos con granos esféricos o con forma irregular. Sin embargo, los efectos ventajosos son más pronunciados en muestras delgadas, ya que no exhiben desconchados, es decir, que el revestimiento se pueda descascarillar.

30 El desconchado de escamas de Al depende principalmente de la temperatura de aplicación, del ciclo de temperaturas, de la geometría de la muestra, de las impurezas, de la rugosidad de la superficie y de la composición de la aleación. Sin embargo, muestras que exhiben desconchados debido a diversas razones, incluyendo las enunciadas anteriormente, tendrán también una incrementada vida frente a la oxidación gracias al método descrito.

Como un ejemplo, una capa aplicada a la superficie mediante el método descrito, podría evitar el desconchado. Según este ejemplo, se trató parcialmente una superficie de una aleación de FeCrAl con un fluido coloidal de Si y luego se oxidó a 1200°C. Únicamente la parte no tratada mostraba un óxido desconchado.

35 Las sorprendentes mejoras conseguidas por la presente invención se pueden ver fácilmente en las Figuras 1 y 2. Se controló un alambre según la anterior “composición de la aleación” respecto al contenido de Al en la matriz a lo largo del tiempo, dos muestras que no tenían tratamiento y dos muestras que están tratadas con un fluido coloidal que contenía Si, según la invención. Partiendo con los mismos contenidos de Al, las muestras tratadas mostraron un contenido de Al significativamente más alto después de aproximadamente 100 horas.

40 En la Figura 2, se emprendió básicamente el mismo ensayo con una hoja delgada de 50 micrómetros de espesor en vez de un alambre. La composición era la misma que la del alambre. Se realizaron varios tratamientos de la superficie y se compararon con una hoja delgada sin tratamiento alguno. De nuevo, se estableció una significativa diferencia del contenido de Al en las matrices.

45 En ambas Figuras, 1 y 2, las condiciones de ensayo estaban de acuerdo con ASTM B 78. En conclusión, los materiales resistentes a altas temperaturas, con una superficie modificada según la invención, muestran una resistencia a la oxidación y al desconchado significativamente mejoradas. Además, esta invención posibilita una modificación uniforme de la superficie, que es difícil mediante aleación convencional con metales de las tierras raras debido a su tendencia a carecer de una distribución uniforme en la matriz debido a su actividad química.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un material de FeCrAl, resistente a la oxidación y al calor, caracterizado porque el material que contiene al menos 1.5% de aluminio, y el material que comprende al menos uno de, silicio y compuestos que contienen silicio, aplicados sobre su superficie, estando la superficie en estado metálico u oxidado, dando como resultado por ello una capa o región superficial que contiene cantidades de, al menos uno de, silicio y compuestos que contienen silicio, y que tienen un espesor medio de 0,9 nm a 10 micrómetros.
2. El material de la reivindicación 1, en el que dicha capa superficial comprende SiO₂ amorfa.
3. El material de la reivindicación 1, en el que el espesor medio de dicha capa superficial es de 5 a 60 nm.
- 10 4. El material de la reivindicación 1, en el que dicho material comprende una aleación de FeCrAl con un 2 – 10% en peso de Al, 10 – 40% en peso de Cr, y el resto básicamente Fe, con o sin adiciones de metales de las tierras raras y/o otras adiciones aleantes, con las inevitables impurezas.
5. El material de la reivindicación 1, en el que dicho material es un material compuesto.
- 15 6. El material de la reivindicación 1, en el que dicho material está en una forma elegida de entre hoja delgada, alambre, tira, barra, tubo, fibra o polvo con granos esféricos o de forma irregular.

