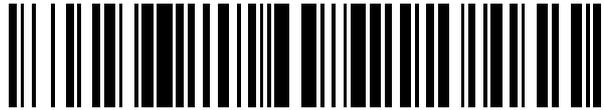


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 692 866**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01)
C22C 38/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.04.2009 PCT/DE2009/000450**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **15.10.2009 WO09124530**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.04.2009 E 09730026 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.08.2018 EP 2283167**

54 Título: **Aleación de hierro-cromo-aluminio con larga vida útil y pequeñas modificaciones en resistencia térmica**

30 Prioridad:

10.04.2008 DE 102008018135

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.12.2018

73 Titular/es:

**VDM METALS INTERNATIONAL GMBH (100.0%)
Plettenberger Straße 2
58791 Werdohl, DE**

72 Inventor/es:

HATTENDORF, HEIKE

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 692 866 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

Aleación de hierro-cromo-aluminio con larga vida útil y pequeñas modificaciones en resistencia térmica

La invención se refiere a una aleación de hierro-cromo-aluminio producida por vía pirometalúrgica con larga vida útil y pequeñas modificaciones en resistencia térmica.

5 Las aleaciones de hierro-cromo-wolframio se emplean para la producción de elementos térmicos eléctricos y soportes de catalizador. Éstos materiales forman una capa de óxido de aluminio densa, adherente, que los protege contra una descomposición a temperaturas elevadas (por ejemplo hasta 1400°C). Esta protección se mejora mediante adiciones en el intervalo de 0,01 a 0,3 % de los denominados elementos reactivos, tales como, por ejemplo, Ca, Ce, La, Y, Zr, Hf, Ti, Nb, W, que mejoran, entre otras cosas, la adherencia de la capa de óxido y/o reducen el crecimiento de capa, como se describe, por ejemplo, en „Ralf Bürgel, Handbuch der Hochtemperatur-Werkstofftechnik, editorial Vieweg, Braunschweig 1998“ a partir de la página 274.

10 La capa de óxido de aluminio protege el material metálico contra la oxidación rápida. En este caso, ésta crece en sí misma, si bien muy lentamente. Este crecimiento tiene lugar bajo consumo del contenido en aluminio del material. Si ya no hay aluminio presente, se desarrollan otros óxidos (óxidos de cromo y hierro), el contenido en metal del material se consume muy rápidamente, y el material falla debido a corrosión destructiva. El tiempo hasta el fallo se define vida útil. Un aumento del contenido en aluminio prolonga la vida útil.

15 En todos los datos de concentración en la descripción, así como en las reivindicaciones, % significa un dato en % en masa.

20 A través del documento WO 02/20197 A1 se ha dado a conocer una aleación de acero inoxidable, en especial para empleo como elemento conductor térmico. La aleación se forma mediante una aleación de Fe-Cr-Al producida por vía pirometalúrgica, que contiene menos de 0,02 % de C, $\leq 0,5$ % de Si, $\leq 0,2$ % de Mn, 10,0 a 40,0 % de Cr, $\leq 0,6$ % de Ni, $\leq 0,01$ de Cu, 2,0 a 10,0 % de Al, uno o varios elemento(s) del grupo de elementos reactivos, tales como Sc, Y, La, Ce, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, en contenidos entre 0,1 y 1,0 %, resto hierro, así como impurezas inevitables.

25 En el documento DE 199 28 842 se describe una aleación con 16 a 22 % de Cr, 6 a 10 % de Al, 0,02 a 1,0 % de Si, como máximo 0,5 % de Mn, 0,02 a 0,1 % de Hf, 0,02 a 0,1 % de Y, 0,01 a 0,01 % de Mg, como máximo 0,02 % de Ti, como máximo 0,03 % de Zr, como máximo 0,02 % de Se, como máximo 0,1 % de Sr, como máximo 0,1 % de Ca, como máximo 0,5 % de Cu, como máximo 0,1 % de V, como máximo 0,1 % de Ta, como máximo 0,1 % de Nb, como máximo 0,03 % de C, como máximo 0,01 % de N, como máximo 0,01 % de B, resto hierro, así como impurezas debidas a la fusión, para el uso como lámina soporte para catalizadores de gas de escape, como conductor térmico, así como a modo de componente en la construcción de hornos industriales y en quemadores de gas.

30 En el documento EP 0 387 670 B1 se describe una aleación con (en % en peso) 20 a 25 % de Cr, 5 a 8 % de Al, 0,03 a 0,08 % de itrio, 0,004 a 0,008 % de nitrógeno, 0,020 a 0,040 % de carbono, así como aproximadamente en las mismas proporciones 0,035 a 0,07 % de Ti y 0,035 a 0,07 % de circonio, y como máximo 0,01 % de fósforo, como máximo 0,01 % de magnesio, como máximo 0,5 % de manganeso, como máximo 0,005 % de azufre, resto hierro, siendo la suma de los contenidos en Ti y Zr 1,75 a 3,5 % mayor que la suma porcentual de los contenidos en C y N, así como impurezas debidas a la fusión. Ti y Zr se pueden sustituir completa o parcialmente por hafnio y/o tántalo o vanadio.

35 En el documento EP 0 290 719 B1 se describe una aleación con (en % en masa) 12 a 30 % de Cr, 3,5 a 8 % de Al, 0,008 a 0,10 % de carbono, como máximo 0,8 % de silicio, 0,10 a 0,4 % de manganeso, como máximo 0,035 % de fósforo, como máximo 0,020 % de azufre, 0,1 a 1,0 % de molibdeno, como máximo 1 % de níquel, y las adiciones 0,010 a 1,0 % de circonio, 0,003 a 0,3 % de titanio y 0,003 a 0,3 % de nitrógeno, calcio y magnesio 0,005 a 0,05 %, así como metales pertenecientes a tierras raras de 0,003 a 0,80 %, niobio de 0,5 %, resto hierro, con elementos acompañantes habituales, que se utiliza, por ejemplo, como alambre para elementos térmicos para hornos calentados eléctricamente y como material de construcción para piezas cargadas térmicamente, así como a modo de lámina para la producción de soportes de catalizador.

40 En el documento US 4 277 374 se describe una aleación con (en % en peso) hasta 26 % de cromo, 1 a 8 % de aluminio, 0,02 a 2 % de hafnio, hasta 3 % de itrio, hasta 0,1 % de carbono, hasta 2 % de silicio, resto hierro, con un intervalo preferente de 12 a 22 % de cromo y 3 a 6 % de aluminio, que se utiliza como lámina para la producción de soportes de catalizador.

45 A través del documento US-A 4 414 023 se ha dado a conocer un acero con (en % en peso) 8,0 a 25,0 % de Cr, 3,0 a 8,0 % de Al, 0,002 a 0,06 % de metales pertenecientes a tierras raras, como máximo 4,0 % de Si, 0,06 a 1,0 % de Mn, 0,035 a 0,07 % de Ti, 0,035 a 0,07 % de Zr, incluyendo impurezas inevitables.

50 El documento DE 10 2005 016 722 A1 da a conocer una aleación de hierro-cromo-aluminio con larga vida útil con (en % en masa) 4 a 8 % de Al y 16 a 24 % de Cr, y adiciones de 0,05 a 1 % de Si, 0,001 a 0,5 % de Mn, 0,02 a 0,2 % de Y, 0,1 a 0,3 % de Zr y/o 0,02 a 0,2 % de Hf, 0,003 a 0,05 % de C, 0,0002 a 0,05 % de Mg, 0,0002 a 0,05 de Ca, como

máximo 0,04 % de N, como máximo 0,04 % de P, como máximo 0,01 % de S, como máximo 0,5 % de Cu, y las impurezas debidas a la fusión habituales, resto hierro.

5 Del documento EP 0 516 267 A1 se puede extraer un acero ferrítico inoxidable, con < 0,03 % de C, < 1 % de Si, < 1 % de Mn, 0,04 % de P, < 0,03 % de S, 15 a 25 % de Cr, < 0,03 % de N, 3 a 6 % de Al, 0,01 a 4 % de Mo, 0,01 a 0,15 % de Y y/o Se, resto hierro. Opcionalmente se puede añadir al menos uno de los elementos Nb, V, Ti en contenidos de 0,05 a 1 %. El acero se puede utilizar para catalizadores, sistemas de gas de escape y elementos térmicos.

El documento US 5 411 610 da a conocer una lámina de acero ferrítica inoxidable altamente sólida, que contiene 10 a 20 % de Cr, 1 a 10 % de Al, resto hierro.

10 El documento JP 08-269730 se puede extraer una placa constituida por una aleación de hierro-cromo-aluminio, que contiene 9 a 30 % de cromo y 3 a 8 % de aluminio, que está recubierta con un revestimiento a base de metales SE. Por lo demás, la placa contiene ≤ 0,05 % de C, ≤ 1 % de Si, ≤ 1 % de Mn, ≤ 0,04 % de P, ≤ 0,01 % de S y ≤ 0,05 % de N. Por lo demás, pueden estar presentes los siguientes elementos: 0,01 a 1 % de Nb, 0,01 a 0,5 % de Ti, 0,01 a 1 % de Zr, 0,1 a 1 % de V, 0,01 a 0,03 % de Hf y 0,5 % de SE. Además, se pueden añadir 3 % de Mo, hasta 3 % de Ta y hasta 3 % de Co.

15 Del documento JP 09-053156 se puede extraer una lámina de hierro-cromo-aluminio de la siguiente composición: ≤ 0,02 % de C, ≤ 1 % de Si, ≤ 1 % de Mn, 11 a 26 % de Cr, 6 a 8 % de Al, ≤ 0,02 % de N. Además pueden estar previstos SE y/o Y en contenidos de 0,02 a 0,3 %. Por lo demás, la aleación puede contener Ti, Nb, Zr, V y Hf en contenidos de 0,01 a 0,4 %, así como Mo, Ta y W en contenidos de 0,1 a 2 %, resto hierro.

20 A través del documento JP 04-128345 se ha dado a conocer una lámina de acero inoxidable resistente al calor para soportes de catalizador o sistemas de gas de escape, que contiene > 0,06 a 0,15 % de Ln (La, Ce, Pr y Nd), 4,5 a 6,5 % de Al, 13 a 25 % de Cr, ≤ 0,025 % de C, ≤ 0,02 % de N, 2 a 4 % de Mo y/o W, resto hierro.

El documento JP 04-128343 da a conocer una lámina de acero inoxidable de la siguiente composición: > 0,06 a 0,15 % de Ln (La, Ce, Pr y Nd), 4,5 a 6,5 % de Al, 13 a 25 % de Cr, ≤ 0,025 % de C, ≤ 0,02 % de N, 1 a 2,5 % de Si y/o 0,01 a 0,1 % de Mg, resto hierro.

25 En el documento JP 06-212363 se describe una aleación de hierro-cromo-aluminio de la siguiente composición: ≤ 0,03 % de C, ≤ 0,5 % de Si, ≤ 1,0 % de Mn, 10 a 28 % de Cr, 2 a 6,5 % de Al, ≤ 0,02 % de N, 0,01 a 0,05 % de Zr, 0,01 a 0,2 % de La y 1 a 5 % en suma de Mo y/o W, resto hierro.

Aparte de La, también pueden estar presentes Y ≤ 0,5 %, Hf ≤ 0,3 %, así como al menos dos elementos, seleccionados a partir de Nb, V, Ta y Ti, en contenidos ≤ 1 %.

30 A través del documento WO 01/49441 es un material de alta temperatura, basado en un polvo metálico de FeCrAl, que contiene, además de Fe como resto, Cr 15 a 25 %, Al 3 a 7 %, Mo 0 a 5 %, Y 0,05 a 0,6 %, Zr 0,01 a 0,3 %, Hf 0,05 a 0,5 %, Ta 0,05 a 0,5 %, Ti 0 a 0,1 %, C 0,01 a 0,05 %, N 0,01 a 0,06 %, O 0,02 a 0,1 %, Si 0,1 a 0,7 %, Mn 0,05 a 0,5 %, P 0 a 0,08 % y S 0 a 0,005 %.

35 Se describe un modelo detallado de vida útil de aleaciones de hierro-cromo-aluminio en el artículo de I. Gurrappa, S. Weinbruch, D. Naumenko, W. J. Quadackers, Materials and Corrosions 51 (2000), páginas 224 a 235. En éste se expone un modelo en el que la vida útil de aleaciones de hierro-cromo-aluminio será dependiente del contenido en aluminio y de la forma de la muestra, no considerándose aún posibles desprendimientos en la fórmula (modelo de empobrecimiento en aluminio).

$$t_B = \left[4,4 \times 10^{-3} \times (C_0 - C_B) \times \frac{\rho \cdot f}{k} \right]^{\frac{1}{n}} \quad \text{Con } f = 2x \frac{\text{Volumen}}{\text{superficie}}$$

t_B = vida útil, definida como tiempo hasta la aparición de óxidos diferentes a óxido de aluminio,

40 C_0 = concentración de aluminio al comienzo de la oxidación,

C_B = concentración de aluminio en el caso de aparición de óxidos diferentes a óxidos de aluminio,

ρ = densidad específica de la aleación metálica,

k = constante de velocidad de oxidación,

n = coeficiente de velocidad de oxidación.

45 Considerando los desprendimientos, para una muestra plana de anchura y longitud infinitas con el grosor d ($f \approx d$) resulta la siguiente fórmula:

$$t_B = 4,4 \times 10^{-3} \times (C_0 - C_B) \times \rho \times d \times k^{-\frac{1}{n}} \times (\Delta m^*)^{\frac{1}{n}-1}$$

Siendo Δm^* la variación de peso crítica con la que comienzan los desprendimientos.

Ambas fórmulas expresan que la vida útil desciende con la reducción del contenido en aluminio y una gran proporción superficie respecto a volumen (o menor grosor de muestra).

- 5 Esto es significativo si se deben utilizar láminas delgadas en el intervalo de dimensiones de aproximadamente 20 μm a aproximadamente 300 μm para determinadas aplicaciones.

Los conductores térmicos, que están constituidos por láminas delgadas (por ejemplo aproximadamente 20 a 300 μm de grosor en el caso de una anchura en el intervalo de uno o varios milímetros), se distinguen por una gran proporción superficie respecto a volumen. Esto es ventajoso si se desea obtener tiempos rápidos de calefacción y refrigeración, como se requieren, por ejemplo, en el caso de conductores térmicos utilizados en cocinas vitrocerámicas, para hacer visible el calentamiento rápidamente y obtener un rápido calentamiento, de modo similar a un horno degas. No obstante, la gran proporción superficie respecto a volumen es simultáneamente desfavorable para la vida útil del conductor térmico.

En el caso de empleo de una aleación como conductor térmico se debe considerar también el comportamiento de resistencia térmica. En los conductores térmicos se aplica generalmente una tensión constante. Si la resistencia permanece constante en el transcurso de la vida útil del elemento térmico, tampoco se modifican la corriente ni el rendimiento de este elemento térmico.

No obstante, éste no es el caso debido a los procesos descritos anteriormente, en los que se consume continuamente aluminio. Debido al consumo de aluminio se reduce la resistencia eléctrica específica del material. Sin embargo, esto tiene lugar eliminándose átomos de la matriz metálica, es decir, reduciéndose la sección transversal, lo que tiene por consecuencia un aumento de resistencia (véase también Harald Pfeifer, Hans Thomas, Zunderfeste Legierungen, editorial Springer, Berlín/Göttingen/Heidelberg/1963 página 111). A continuación, debido a las tensiones en el crecimiento de la capa de óxido y a las tensiones ocasionadas por los diferentes coeficientes de dilatación de metal y óxido, en el calentamiento y la refrigeración del conductor térmico se producen tensiones adicionales, que tienen por consecuencia una deformación de la lámina y con ella una variación de dimensiones (véase también H. Echsler, H. Hattendorf, L. Singheiser, W. J. Quadackers, Oxidation behaviour of Fe-Cr-Al alloys during resistance and furnace heating, Materials and Corrosion 57 (2006) 115-121). Según interacción de las variaciones de dimensiones con la variación de la resistencia eléctrica específica se puede producir un aumento o un descenso de la resistencia térmica del elemento térmico en el transcurso del tiempo de utilización. Estas variaciones de dimensiones son tanto más significativas cuanto mayor es la frecuencia de calentamiento y refrigeración del conductor térmico, es decir, cuanto más rápido y corto es el ciclo. En este caso, la lámina se deforma en forma de vidrio de reloj. Esto daña adicionalmente la lámina, de modo que, en el caso de ciclos muy cortos y rápidos en láminas, esto es un otro mecanismo de fallo ulterior en función de ciclo y temperatura, en caso dado el mecanismo de fallo determinante.

En el caso de acero de aleaciones de hierro-cromo-aluminio se observa generalmente un aumento de la resistencia térmica con el tiempo (Harald Pfeifer, Hans Thomas, Zunderfeste Legierungen, editorial Springer, Berlín/Göttingen/Heidelberg/1963 página 112) (Figura 1), en conductores térmicos en forma de lámina de aleaciones de hierro-cromo-aluminio se puede observar generalmente un descenso de la resistencia térmica con el tiempo (Figura 2).

Si la resistencia térmica R_w aumenta en el transcurso del tiempo, el rendimiento P desciende en el caso de tensión constante en el elemento térmico fabricado de este modo, que se calcula a través de $P = U \cdot I = U^2/R_w$. Con rendimiento descendente en el elemento térmico también se reduce la temperatura del elemento térmico. Se prolonga la vida útil del conductor térmico, y con ella también la del elemento térmico. Sin embargo, para elementos térmicos existe frecuentemente un límite inferior para el rendimiento, de modo que este efecto no se puede utilizar a voluntad para la prolongación de la vida útil. Por el contrario, si la resistencia térmica R_w desciende en el transcurso del tiempo, el rendimiento P aumenta en el caso de tensión constante en el elemento térmico. No obstante, con rendimiento creciente también aumenta la temperatura, y con ello se acorta la vida útil del conductor térmico, o bien del elemento térmico. Por consiguiente, las desviaciones de resistencia térmica en función del tiempo se debían mantener en un intervalo estrechamente limitado alrededor de cero.

La vida útil y el comportamiento de resistencia térmica se pueden medir, por ejemplo, en un ensayo de vida útil acelerado. Tal ensayo se describe, por ejemplo, en Harald Pfeifer, Hans Thomas, Zunderfeste Legierungen, editorial Springer, Berlín/Göttingen/Heidelberg/ 1963 en la página 13. Éste se lleva a cabo con un ciclo de conexión de 120 s a temperatura constante en alambre moldeado en espirales con el diámetro de 0,4 mm. Como temperatura de ensayo se proponen temperaturas de 1200°C, o bien 1050°C. No obstante, ya que en este caso se trata especialmente del comportamiento de láminas delgadas, el test se modificó de la siguiente manera:

5 Se tensaron tiras de lámina de 50 µm de grosor y 6 mm de anchura entre 2 aplicaciones de corriente y se calienta mediante establecimiento de una tensión hasta 1050°C. El calentamiento a 1050°C se efectuó respectivamente durante 15 segundos, después se interrumpió la alimentación de corriente durante 5 segundos. Al final de la vida útil, la lámina falla al fundirse completamente la sección transversal restante. La temperatura se mide automáticamente con un pirómetro durante el ensayo de vida útil y se corrige, en caso dado a la temperatura de ajuste, por un control de programa.

10 Como medida de la vida útil se toma la duración de la cochura. La duración de la cochura, o bien el tiempo de cochura, es la adición de los tiempos en los que se calienta la muestra. En este caso, la duración de la cochura es el tiempo hasta el fallo de las muestras, el tiempo de cochura es el tiempo que transcurre durante un ensayo. En todas las figuras y tablas siguientes la duración de la cochura, o bien el tiempo de cochura, se indica como un valor relativo en %, referido a la duración de la cochura de una muestra de referencia, y se denomina duración de la cochura relativa, o bien tiempo de cochura relativo.

Por el estado de la técnica descrito anteriormente es sabido que adiciones insignificantes de Y, Zr, Ti, Hf, Ce, La, Nb, V, influyen en gran medida, entre otras cosas, sobre la vida útil de aleaciones de FeCrAl.

15 Por parte del mercado se plantean requisitos elevados en productos, que requieren una vida útil más larga y una temperatura de empleo más elevada de las aleaciones.

20 La invención toma como base la tarea de poner a disposición una aleación de hierro-cromo-aluminio para un campo de aplicación concreto, que tiene una vida útil más larga que las aleaciones de hierro-cromo-aluminio empleadas hasta la fecha, simultáneamente con una pequeña modificación de la resistencia térmica en el transcurso del tiempo a temperatura de aplicación predeterminada. Adicionalmente, la aleación estará prevista para casos de empleo concretos, en los que se dan ciclos cortos y rápidos y simultáneamente se requiere una vida útil especialmente larga.

Esta tarea se soluciona mediante una aleación de hierro-cromo-aluminio con larga vida útil y pequeña modificación de la resistencia térmica, con (en % en masa):

| | | |
|----|----|--------------------|
| 25 | Al | 4,9 a 5,8 % |
| | Cr | 16 a 24 % |
| | W | 1,4 a 2,5 % |
| | Si | 0,5 a 0,7 % |
| | Mn | 0,001 a 0,5 % |
| | Y | 0,02 a 0,1 % |
| 30 | Zr | 0,02 a 0,1 % |
| | Hf | 0,02 a 0,1 % |
| | C | 0,003 a 0,030 % |
| | N | 0,002 a 0,03 % |
| | S | como máximo 0,01 % |
| 35 | Cu | como máximo 0,5 % |

Con 0,0001 – 0,05 % de Mg, 0,0001 – 0,03 % de Ca, 0,0002 – 0,03 % de P, como máximo 0,1 % de Nb, como máximo 0,1 % de V, como máximo 0,1 % de Ta, como máximo 0,01 % de O, como máximo de 0,5 % de Ni, como máximo 0,003 % de B, resto hierro y las impurezas habituales debidas a la fusión.

De las reivindicaciones subordinadas se pueden extraer perfeccionamientos ventajosos del objeto de la invención.

40 Por lo demás es ventajoso que la aleación cumpla la siguiente relación (Fórmula 1):

$$I = -0,015 + 0,065*Y + 0,030*Hf + 0,095*Zr + 0,090*Ti - 0,065*C < 0,$$

Donde I refleja la oxidación interna del material y

Siendo Y, Hf, Zr, Ti, C la concentración de los elementos de aleación en % en masa.

45 En caso necesario, el elemento Y se puede sustituir completa, o bien parcialmente, por al menos uno de los elementos Sc y/o La y/o Cer, siendo concebibles intervalos entre 0,02 y 0,1 % en el caso de sustitución parcial.

ES 2 692 866 T3

Asimismo, en caso necesario, el elemento Hf se puede sustituir completa, o bien parcialmente, por al menos uno de los elementos Sc y/o Ti y/o Cer, siendo concebibles intervalos entre 0,01 y 0,1 % en el caso de sustitución parcial.

La aleación se puede fundir ventajosamente con un máximo de 0,005 % de S.

La aleación puede contener ventajosamente como máximo 0,010 % de O tras la fusión.

5 Las aleaciones de Fr-Cr-Al preferentes se distinguen por la siguiente composición:

| | | |
|----|----|--------------------|
| | Al | 4,9 - 5,8 % |
| | Cr | 19 -22 % |
| | W | 1,5 - 2,5 % |
| | Si | 0,05 a 0,5 % |
| 10 | Mn | 0,005 - 0,5 % |
| | Y | 0,03 - 0,09 % |
| | Zr | 0,02 a 0,08 % |
| | Hf | 0,02 a 0,08 % |
| | C | 0,003 a 0,020 % |
| 15 | Mg | 0,0001 – 0,05 % |
| | Ca | 0,0001 – 0,03 % |
| | P | 0,002 a 0,030 |
| | S | como máximo 0,01 % |
| | N | como máximo 0,03 % |
| 20 | O | como máximo 0,01 % |
| | Cu | como máximo 0,5 % |
| | Ni | como máximo 0,5 % |
| | Mo | como máximo 0,1 % |
| | Fe | resto |

25 La aleación según la invención es aplicable preferentemente para el uso como lámina para elementos térmicos, en especial para elementos térmicos calentables eléctricamente.

Es especialmente ventajoso que la aleación según la invención para láminas se utilice en el intervalo de grosores de 0,02 a 0,03 mm, en especial de 20 a 200 μm , o bien 20 a 100 μm .

30 También es ventajoso el uso de la aleación como conductor térmico laminar para la inserción en cocinas, en especial en cocinas vitrocerámicas.

Por lo demás, es igualmente concebible un uso de la aleación para la inserción como lámina soporte en catalizadores de gas de escape metálicos calentables, así como para la inserción de la aleación como lámina en pilas de combustible.

Los detalles y las ventajas de la invención se explican más detalladamente en los siguientes ejemplos.

35 En la Tabla 1 se representan algunas aleaciones de hierro-cromo-aluminio propias, fundidas a escala industrial, T1 a %, fusiones de laboratorio propias L1 a L7, A1 a A5, V1 a V17, y la aleación E1 según la invención.

En el caso de las aleaciones fundidas en laboratorio, a partir del material moldeado en bloques por medio de deformación en caliente y en frío y recocidos intermedios apropiados se produjo una lámina de 50 μm de grosor. La lámina se cortó en tiras de aproximadamente 6 mm de anchura.

40 En el caso de las aleaciones fundidas a escala industrial, a partir de la fabricación a escala industrial a través de moldeo de bloques, o bien barras, así como deformación en caliente y en frío, con recocido(s) intermedio(s) requeridos

en caso necesario, se cortó una muestra de grosor de banda 50 µm, y se cortó a la anchura de aproximadamente 6 mm.

En estas tiras de ensayo se llevó a cabo el ensayo de conductor térmico para láminas descrito anteriormente.

5 La Figura 1 muestra una representación gráfica ejemplar del transcurso de resistencia térmica según el ensayo de conductor térmico de alambre correspondiente al estado de la técnica.

La Figura 2 muestra, de manera ejemplar para la carga T6, el transcurso de resistencia térmica según el ensayo de conductor térmico para láminas en una aleación de hierro-cromo-aluminio (alucromo Y) con una composición de

| | | |
|----|----|---------|
| | Cr | 20,7 % |
| | Al | 5,2 % |
| 10 | Si | 0,15 % |
| | Mn | 0,22 % |
| | Y | 0,04 % |
| | Zr | 0,04 % |
| | Ti | 0,04 % |
| 15 | C | 0,043 % |
| | N | 0,006 % |
| | S | 0,001 % |
| | Cu | 0,03 % |

La Figura 3 muestra la oxidación interna (I) de A4 según la Tabla 1 tras un 25 % de tiempo de cochura relativo.

20 La resistencia, referida a su valor inicial, se representa al comienzo de la medición. Se muestra un descenso de la resistencia térmica. Hacia el final del transcurso ulterior, poco antes de la fusión de la muestra, la resistencia térmica aumenta en gran medida (en la Figura 1 a partir de aproximadamente 100 % de tiempo de cochura relativo). A continuación se denomina A_w la desviación máxima de la relación de resistencia térmica del valor de partida 1,0 al comienzo del ensayo (o poco antes del comienzo tras formación de la resistencia transitoria) hasta el comienzo del aumento abrupto.

25 Este material (alucromo Y) tiene típicamente una duración de cochura relativa de aproximadamente 100 % y una A_w de aproximadamente -1 a -3 %, como muestran los Ejemplos T4 a T6 en la Tabla 3.

30 Los resultados del ensayo de vida útil se pueden extraer de la tabla 2. La duración de cochura relativa indicada en la tabla 2 respectivamente se forma por medio de los valores medios de al menos 3 muestras. Por lo demás, para cada carga se registra una determinada A_w . T4 a T6 son cargas de la aleación de hierro-cromo-aluminio alucromo Y con una composición de aproximadamente 20 % de cromo, aproximadamente 5,2 % de aluminio, aproximadamente 0,03 % de carbono, y adiciones de Y, Zr y Ti de aproximadamente 0,05 % en cada caso. Éstas alcanzan una duración de cochura relativa de 91 % (T4) a 124 % (T6) y un excelente valor para A_w de -1 a -3 %.

35 Por lo demás, en la tabla 2 se registran las cargas T1 a T3 del material alucromo Yhf con 19 a 22 % de Cr, 5,5 a 6,5 % de aluminio, como máximo 0,5 % de Mn, como máximo 0,5 % de Si, como máximo 0,05 % de carbono, y adiciones como máximo de 0,10 % de Y, como máximo 0,07 % de Zr y como máximo 0,1 % de Hf. Este material se puede utilizar, por ejemplo, como lámina para soportes de catalizador, pero también como conductor térmico. Si las cargas T1 a T3 se someten al ensayo de conductor térmico para láminas descrito anteriormente, se puede determinar la vida útil (duración de la cochura) claramente elevada de T1 con 188 % y T2 con 152 % y T3 con 189 %. T1 tiene una vida útil más larga que T2, lo que se puede explicar con el contenido en aluminio elevado, de 5,6 a 5,9 %. T1 muestra una A_w de -5 % y T2 muestra una A_w de -8 %. En especial una A_w de -8 % es demasiado elevada y conduce, según la experiencia, a un claro aumento de temperatura del componente, que compensa la vida útil más larga de este material, es decir, no aporta ninguna ventaja en suma. Las tablas 1 y 2 muestran la carga 3, que presenta, como T1 y T2, una aleación de hierro-cromo-aluminio con 20,1 % de Cr, 6,0 % de aluminio, 0,12 % de Mn, 0,33 % de Si, 0,008 % de carbono, y adiciones de 0,05 % de Y, 0,04 % de Zr y 0,03 % de Hf. Sin embargo, a diferencia de L1 y L2, ésta presenta un contenido en carbono muy reducido, de apenas 0,08 %.

45 El objetivo consistía ahora en aumentar la vida útil por encima del nivel de 189 % alcanzado con T3, y obtener en este caso una A_w de aproximadamente 1 % a -3 %.

A tal efecto se fundieron y se analizaron las cargas de laboratorio L1 a L7, A1 a A5, V1 a V17, y el objeto de la invención E1, como se describe anteriormente.

Tenían una vida útil mayor que T3 las cargas de laboratorio A1 con 262 %, A3 con 212 %, A4 con 268 % y A5 con 237 %, V9 con 224 %, V10 con 271 %, y el objeto de la invención E1 con el valor máximo alcanzado de 323 %.

- 5 Las aleaciones A1, A3, A5, A5 y A9, igualmente convenientes, se describieron ya en el documento DE 10 2005 016 722 A1. Sin embargo, éstas muestran una $A_w > 2$, lo que conduce a un descenso del rendimiento inadmisiblemente elevado en el transcurso del tiempo en el caso de uso en un elemento térmico.

Además es indeseable una aleación que tienda a oxidación interna acrecentada (I) (Figura 3). Ésta misma conduce a una mayor fragilidad del conductor térmico en el transcurso del tiempo, lo que es indeseable en un elemento térmico.

- 10 Esto se puede evitar si la aleación cumple la siguiente relación (Fórmula 1):

$$I = -0,015 + 0,065*Y + 0,030*Hf + 0,095*Zr + 0,090*Ti - 0,065*C < 0,$$

Donde I es el valor de oxidación interna.

Se remite a la tabla 2:

- 15 Las aleaciones T1 a T6, V8, V11 a V13 y el objeto de la invención E1 tienen en su totalidad un I menor que cero, y no muestran oxidación interna. Las aleaciones A1 a A5, V9, V10 tienen un I mayor que cero y muestran una oxidación interna acrecentada.

E1 muestra una aleación como la que es empleable según la invención para láminas en intervalos de aplicación de 20 μm a 0,300 mm de grosor.

- 20 Además de la vida útil claramente elevada requerida de 323 %, la aleación E1 según la invención muestra un comportamiento muy conveniente de resistencia térmica con una A_w de -1,3 %, y cumple la condición $I < 0$.

Sorprendentemente, ésta muestra esta vida útil elevada a través de la adición de $W < 4 \%$, preferentemente $< 3 \%$. Si bien el wolframio conduce a oxidación acrecentada, la cantidad añadida en este caso no tiene un efecto perjudicial sobre la vida útil. Por lo tanto, el contenido máximo en wolframio se limita a un 4 %.

- 25 El wolframio solidifica la aleación. Esto contribuye a la estabilidad dimensional en el caso de deformación cíclica, y con ello a que la A_w se sitúe en el intervalo de -3 a 1 %. Por consiguiente, no se debía sobrepasar un límite inferior de 1 %.

También para Mo y Co se considera lo mismo que para wolframio.

Es necesario un contenido mínimo de 0,02 % de Y para obtener la acción potenciadora de la resistencia a la oxidación de Y. Por motivos económicos, el límite superior se sitúa en 0,1 %.

- 30 Es necesario un contenido mínimo de 0,02 % de Zr para obtener una vida útil conveniente y una baja A_w . Por motivos de costes, el límite superior se sitúa en 0,1 % de Zr.

Es necesario un contenido mínimo de 0,02 % de Hf para obtener la acción potenciadora de la resistencia a la oxidación de Hf. Por motivos económicos, el límite superior se sitúa en 0,1 % de Hf.

- 35 El contenido en carbono debía ser menor que 0,030 % para obtener un valor reducido de A_w . Éste debía ser mayor que 0,003 % para garantizar una buena elaborabilidad.

El contenido en nitrógeno debía ascender como máximo a 0,03 % para evitar la formación de nitruros, que influyen negativamente sobre la elaborabilidad. Éste debía ser mayor que 0,003 % para garantizar una buena elaborabilidad de la aleación.

- 40 El contenido en fósforo debía ser menor que 0,030 %, ya que este elemento tensioactivo reduce la resistencia a la oxidación. El contenido en P es preferentemente $\geq 0,002 \%$.

El contenido en azufre se debía mantener lo más reducido posible, ya que este elemento tensioactivo reduce la resistencia a la oxidación. Por lo tanto, se determina como máximo 0,01 % de S.

- 45 El contenido en oxígeno se debía mantener lo más reducido posible, ya que, en caso contrario, los elementos afines a oxígeno, como Y, Zr, Hf, Ti, etc, están principalmente enlazados en forma oxídica. La acción positiva de los elementos afines a oxígeno sobre la resistencia a la oxidación se reduce, entre otras maneras, estando distribuidos los elementos afines a oxígeno enlazados en forma oxídica de manera muy irregular en el material, y no estando éstos a disposición en el volumen necesario en todo el material. Por consiguiente, se establece como máximo 0,01 % de O.

ES 2 692 866 T3

Contenidos en cromo entre 16 y 24 % en masa no tienen una influencia decisiva sobre la vida útil, como se puede consultar en J. Klöwer, Materials and Corrosion 51 (2000), páginas 373 a 385. Sin embargo, es necesario un cierto contenido en cromo, ya que el cromo fomenta la formación de la capa de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, especialmente estable y protectora. Por lo tanto, el límite inferior se sitúa en 16 %. Contenidos en cromo > 24 % dificultan la elaborabilidad de la aleación.

- 5 Un contenido en aluminio de 4,5 % es necesario al menos para obtener una aleación con vida útil suficiente. Contenidos en Al > 6,5 % ya no aumentan la vida útil en conductores térmicos laminares.

Según J. Klöwer, Materials and Corrosion 51 (2000), páginas 373 a 385, adiciones de silicio aumentan la vida útil a través de una mejora de la adherencia de la capa cubriente. Por lo tanto es necesario un contenido de al menos 0,05 % de silicio. Contenidos en Si demasiado elevados dificultan la elaborabilidad de la aleación. Por lo tanto, el límite superior se sitúa en 0,7 %.

- 10

Es necesario un contenido mínimo de 0,001 % de Mn para la mejora de la elaborabilidad. El manganeso se limita a 0,5 %, ya que este elemento reduce la resistencia a la oxidación.

El cobre se limita a un máximo de 0,5 %, ya que este elemento reduce la resistencia a la oxidación. Se considera lo mismo para níquel.

- 15 Los contenidos en magnesio y calcio se ajustan en el intervalo de diferencia 0,0001 hasta 0,05 %, respectivamente 0,0001 a 0,03 % en peso.

B se limita como máximo a 0,003 %, ya que este elemento reduce la resistencia a la oxidación.

Tabla 1 Composición de las aleaciones examinadas

| | Carga | Cr | Mn | Si | Al | Y | Zr | Hf | Ti | Nb | W | Mg |
|-----|--------|------|-------|------|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| T1 | 152891 | 20,0 | 0,18 | 0,25 | 5,9 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | <0,01 | <0,01 | - | 0,009 |
| T2 | 55735 | 20,3 | 0,20 | 0,28 | 5,6 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 0,01 | <0,01 | - | 0,007 |
| T3 | 153190 | 20,1 | 0,12 | 0,33 | 6,0 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | <0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,008 |
| T4 | 58860 | 20,9 | 0,21 | 0,13 | 5,1 | 0,04 | 0,06 | <0,01 | 0,05 | <0,01 | <0,01 | 0,009 |
| T5 | 59651 | 20,8 | 0,26 | 0,17 | 5,1 | 0,05 | 0,05 | <0,01 | 0,05 | <0,01 | 0,02 | 0,010 |
| T6 | 153275 | 20,7 | 0,22 | 0,15 | 5,2 | 0,04 | 0,04 | <0,01 | 0,04 | <0,01 | 0,02 | 0,010 |
| L1 | 649 | 20,3 | 0,28 | 0,35 | 5,7 | 0,03 | 0,05 | <0,01 | <0,01 | - | - | 0,0004 |
| L2 | 717 | 20,8 | 0,24 | 0,34 | 4,9 | 0,04 | 0,06 | <0,01 | 0,05 | - | - | 0,0003 |
| L3 | 711 | 19,8 | 0,26 | 0,34 | 5,7 | 0,06 | <0,01 | 0,01 | <0,01 | - | - | 0,0008 |
| L4 | 712 | 19,3 | 0,25 | 0,33 | 5,5 | 0,03 | 0,05 | <0,01 | <0,01 | - | - | 0,0005 |
| L5 | 718 | 20,2 | 0,24 | 0,35 | 5,3 | 0,05 | 0,02 | <0,01 | <0,01 | - | - | 0,0006 |
| L6 | 713 | 19,8 | 0,25 | 0,36 | 5,3 | 0,05 | <0,01 | 0,04 | <0,01 | - | - | 0,0013 |
| L7 | 714 | 20,2 | 0,25 | 0,35 | 5,4 | 0,04 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | - | - | 0,0003 |
| A1 | 767 | 19,6 | 0,25 | 0,35 | 5,7 | 0,05 | 0,21 | 0,03 | <0,01 | - | - | 0,0009 |
| A2 | 768 | 21,1 | 0,25 | 0,61 | 5,3 | 0,02 | 0,20 | <0,01 | 0,10 | - | - | 0,0005 |
| A3 | 1001 | 20,4 | 0,25 | 0,19 | 5,3 | 0,05 | 0,21 | <0,01 | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,0005 |
| A4 | 1003 | 20,3 | 0,24 | 0,2 | 5,4 | 0,07 | 0,22 | 0,06 | <0,01 | 0,02 | <0,01 | 0,0005 |
| A5 | 1004 | 20,8 | 0,24 | 0,19 | 5,2 | 0,05 | 0,17 | 0,05 | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,0005 |
| V1 | 715 | 20,4 | 0,25 | 0,59 | 5,6 | 0,04 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | - | 0,0003 |
| V2 | 719 | 19,5 | 0,26 | 0,35 | 5,7 | 0,06 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | - | 0,0007 |
| V3 | 754 | 20,5 | 0,24 | 0,03 | 5,2 | 0,01 | 0,05 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | - | 0,0010 |
| V4 | 755 | 20,5 | 0,24 | 0,13 | 5,2 | 0,03 | 0,05 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | - | 0,0010 |
| V5 | 760 | 20,6 | 0,24 | 0,13 | 5,2 | 0,08 | 0,05 | <0,01 | 0,06 | 0,01 | - | 0,0018 |
| V6 | 760 | 20,6 | 0,24 | 0,13 | 5,2 | 0,08 | 0,05 | <0,01 | 0,06 | 0,01 | - | 0,0013 |
| V7 | 1048 | 20,7 | 0,21 | 0,20 | 5,3 | 0,04 | 0,06 | 0,03 | <0,01 | <0,01 | - | 0,0006 |
| V8 | 1049 | 20,4 | 0,25 | 0,31 | 5,2 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | <0,01 | <0,01 | <0,02 | 0,0002 |
| V9 | 1064 | 21,2 | 0,006 | 0,18 | 5,2 | 0,06 | 0,13 | 0,04 | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,0005 |
| V10 | 1121 | 20,9 | 0,001 | 0,20 | 5,0 | 0,06 | 0,06 | 0,27 | <0,01 | 0,01 | <0,01 | 0,0010 |
| V11 | 1122 | 20,3 | 0,31 | 0,26 | 4,9 | 0,10 | 0,08 | 0,06 | <0,01 | 1,11 | 0,02 | 0,0006 |
| V12 | 1123 | 20,4 | 0,34 | 0,27 | 5,0 | 0,10 | 0,05 | 0,04 | <0,01 | 1,12 | 0,02 | 0,0006 |
| V13 | 1124 | 20,5 | 0,34 | 0,03 | 4,9 | 0,08 | 0,08 | 0,00 | <0,01 | 0,16 | 1,54 | 0,0004 |
| V14 | 1126 | 21,3 | 0,34 | 0,26 | 4,9 | 0,09 | 0,18 | 0,00 | <0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,0005 |
| V15 | 1128 | 20,6 | 0,03 | 0,20 | 5,0 | 0,06 | 0,05 | 0,21 | <0,01 | 0,09 | <0,01 | 0,0008 |
| V16 | 1129 | 20,8 | 0,28 | 0,25 | 4,8 | 0,05 | 0,09 | 0,02 | 0,08 | 0,02 | <0,01 | 0,0004 |
| V17 | 1130 | 20,6 | 0,32 | 0,26 | 4,9 | 0,05 | 0,05 | 0,00 | 0,11 | 0,01 | 1,65 | 0,0004 |
| E1 | 1125 | 20,6 | 0,33 | 0,25 | 5,0 | 0,08 | 0,05 | 0,04 | <0,01 | 0,01 | 1,97 | 0,0009 |

ES 2 692 866 T3

Continuación tabla 1 Composición de las aleaciones examinadas

| | Carga | Ca | S | C | N | P | Ni | Mo | Co | Cu | V | B | O |
|-----|--------|---------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------|--------|--------|
| T1 | 152891 | 0,001 | 0,001 | 0,028 | 0,005 | 0,012 | 0,17 | <0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,08 | 0,001 | |
| T2 | 55735 | 0,001 | 0,002 | 0,037 | 0,004 | 0,013 | 0,15 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,05 | <0,001 | |
| T3 | 153190 | 0,0004 | 0,002 | 0,008 | 0,007 | 0,011 | 0,18 | <0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,001 | |
| T4 | 58860 | 0,003 | <0,001 | 0,041 | 0,006 | 0,012 | 0,15 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | <0,001 | |
| T5 | 59651 | 0,0005 | <0,001 | 0,037 | 0,006 | 0,012 | 0,19 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,07 | <0,001 | |
| T6 | 153275 | 0,0016 | 0,001 | 0,043 | 0,006 | 0,012 | 0,17 | <0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,05 | <0,001 | |
| L1 | 649 | 0,0002 | 0,003 | 0,007 | 0,005 | 0,003 | 0,02 | 0,01 | - | <0,01 | 0,01 | - | 0,001 |
| L2 | 717 | 0,0002 | 0,002 | 0,037 | 0,002 | 0,003 | - | <0,01 | - | <0,01 | 0,01 | <0,001 | 0,005 |
| L3 | 711 | 0,0003 | <0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,02 | <0,01 | - | <0,01 | 0,01 | - | 0,001 |
| L4 | 712 | 0,0002 | 0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,002 | <0,01 | <0,01 | - | <0,01 | 0,01 | - | 0,001 |
| L5 | 718 | 0,0003 | 0,005 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | - | <0,01 | - | <0,01 | 0,01 | <0,001 | 0,003 |
| L6 | 713 | 0,0005 | 0,001 | 0,010 | 0,005 | 0,003 | 0,02 | 0,01 | - | <0,01 | 0,01 | - | 0,003 |
| L7 | 714 | 0,0002 | 0,001 | 0,031 | 0,005 | 0,002 | 0,02 | 0,01 | - | <0,01 | 0,01 | - | 0,001 |
| A1 | 767 | 0,0004 | 0,002 | 0,006 | 0,002 | 0,005 | - | 0,03 | - | <0,01 | 0,01 | - | 0,003 |
| A2 | 768 | 0,0002 | 0,002 | 0,020 | 0,007 | 0,006 | - | 0,03 | - | <0,01 | 0,01 | - | 0,002 |
| A3 | 1001 | 0,0002 | 0,003 | 0,022 | 0,003 | 0,002 | 0,02 | 0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,001 | 0,009 |
| A4 | 1003 | 0,0002 | 0,002 | 0,018 | 0,004 | 0,002 | 0,04 | 0,02 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,001 | |
| A5 | 1004 | 0,0002 | 0,004 | 0,016 | 0,005 | 0,002 | 0,02 | 0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,001 | 0,010 |
| V1 | 715 | 0,0003 | 0,001 | 0,003 | 0,006 | 0,002 | 0,02 | - | - | <0,01 | 0,01 | | 0,003 |
| V2 | 719 | 0,0003 | 0,004 | 0,004 | 0,002 | 0,003 | - | - | - | <0,01 | 0,01 | 0,005 | 0,001 |
| V3 | 754 | <0,0002 | 0,002 | 0,010 | 0,018 | 0,001 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,02 | 0,01 | <0,001 | |
| V4 | 755 | <0,0002 | 0,003 | 0,009 | 0,010 | 0,002 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,01 | <0,001 | 0,009 |
| V5 | 760 | <0,0002 | 0,003 | 0,017 | 0,006 | 0,002 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,01 | <0,001 | 0,009 |
| V6 | 760 | <0,0002 | 0,003 | 0,017 | 0,006 | 0,002 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,01 | <0,001 | 0,009 |
| V7 | 1048 | 0,0003 | 0,001 | 0,016 | 0,006 | 0,001 | 0,03 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,001 | 0,003 |
| V8 | 1049 | 0,0002 | 0,001 | 0,023 | 0,005 | <0,002 | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,001 | 0,002 |
| V9 | 1064 | 0,0003 | 0,001 | 0,019 | 0,005 | <0,002 | <0,01 | 0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,001 | 0,003 |
| V10 | 1121 | 0,0002 | 0,002 | 0,029 | 0,003 | <0,002 | 0,03 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,001 | 0,01 |
| V11 | 1122 | 0,0002 | 0,002 | 0,030 | 0,004 | 0,002 | 0,03 | 0,02 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,001 | 0,004 |
| V12 | 1123 | 0,0002 | 0,003 | 0,027 | 0,003 | 0,002 | 0,03 | 0,03 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,001 | <0,002 |
| V13 | 1124 | 0,0002 | 0,003 | 0,023 | 0,004 | 0,003 | 0,04 | 0,02 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,001 | 0,002 |
| V14 | 1126 | 0,0002 | 0,003 | 0,033 | 0,003 | 0,021 | 0,01 | 0,02 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,001 | 0,002 |
| V15 | 1128 | 0,0002 | 0,002 | 0,029 | 0,002 | 0,002 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,001 | 0,005 |
| V16 | 1129 | 0,0002 | 0,001 | 0,029 | 0,001 | 0,022 | 0,01 | 0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,001 | 0,002 |
| V17 | 1130 | 0,0002 | 0,001 | 0,027 | 0,001 | 0,006 | 0,04 | 0,00 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,001 | <0,002 |
| E1 | 1125 | 0,0002 | 0,003 | 0,023 | 0,005 | 0,004 | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,02 | <0,001 | 0,008 |

Tabla 2 Duración de combustión relativa y A_w para las aleaciones examinadas y cálculo de las Fórmulas B y I.

| | Carga | Duración de combustión relativa en % Lámina 50 μ m x 6 mm, 1050°C, 15 | | A_w en % | | I Menor 0 | Fuerte oxidación interna |
|-----|--------|---|----------------|-------------|----------------|-----------------|--------------------------|
| | | s "en"/ 5 s "de" | | Valor Desv. | | | |
| | | Valor medio | Desv. estándar | Valor medio | Desv. estándar | | |
| T1 | 152891 | 188 | 33 | -5,0 | <0,1 | -0,0074 | no |
| T2 | 55735 | 152 | 14 | -8,0 | <0,1 | -0,0080 | no |
| T3 | 153190 | 189 | 19 | -3,2 | 0,8 | -0,0078 | no |
| T4 | 58860 | 91 | 8 | -1,7 | 0,5 | -0,0053 | no |
| T5 | 59651 | 105 | 20 | -2,0 | <0,1 | -0,0052 | no |
| T6 | 153275 | 124 | 8 | -2,5 | 0,8 | -0,0077 | no |
| L1 | 649 | 102 | 14 | -2,3 | 0,6 | -0,0091 | |
| L2 | 717 | 128 | 41 | 2,3 | 0,5 | -0,0047 | |
| L3 | 711 | 96 | 16 | -2,3 | 0,5 | -0,0111 | |
| L4 | 712 | 120 | 24 | 2,7 | 0,6 | -0,0084 | |
| L5 | 718 | 149 | 18 | 1,0 | <0,1 | -0,0105 | |
| L6 | 713 | 116 | 22 | -2,3 | 0,6 | -0,0115 | |
| L7 | 714 | 112 | 19 | -1,0 | <0,1 | -0,0143 | |
| A1 | 767 | 262 | 15 | 3,0 | <0,1 | 0,0086 | si |
| A2 | 768 | 175 | 14 | 3,3 | 0,6 | 0,0129 | si |
| A3 | 1001 | 212 | 16 | 3,3 | 1,2 | 0,0068 | si |
| A4 | 1003 | 268 | 22 | 3,9 | 0,7 | 0,0114 | si |
| A5 | 1004 | 237 | 58 | 2,7 | 0,4 | 0,0049 | si |
| V1 | 715 | 99 | 17 | -3,0 | <0,1 | -0,0127 | |
| V2 | 719 | 110 | 26 | -2,3 | 0,5 | -0,0117 | |
| V3 | 754 | 115 | 5 | 3,5 | 0,7 | -0,0104 | |
| V4 | 755 | 71 | 4 | -0,8 | 0,3 | -0,0087 | |
| V5 | 760 | 77 | 6 | 2,3 | 1,5 | -0,0008 | |
| V6 | 760 | 100 | 5 | 1,0 | 1,0 | -0,0008 | |
| V7 | 1048 | 156 | 23 | -1,9 | 0,9 | -0,0066 | |
| V8 | 1049 | 177 | 11 | -2,3 | 1,1 | -0,0076 | no |
| V9 | 1064 | 224 | 34 | 2,5 | 0,5 | 0,0012 | si |
| V10 | 1121 | 271 | 30 | 0,3 | 0,4 | 0,0004 | si |
| V11 | 1122 | 152 | 20 | 4,7 | 2,1 | -0,0017 | no |
| V12 | 1123 | 99 | 3 | 6,0 | <0,1 | -0,0042 | no |
| V13 | 1124 | 188 | 83 | 1,0 | <0,1 | -0,0035 | no |
| V14 | 1126 | 151 | 1 | -0,8 | 0,4 | 0,0057 | |
| V15 | 1128 | 180 | 47 | -1,3 | 0,4 | -0,0015 | |
| V16 | 1129 | 141 | 39 | 1,5 | <0,1 | 0,0026 | |
| V17 | 1130 | 105 | 49 | 1,0 | <0,1 | 0,0014 | |
| E1 | 1125 | 323 | 24 | -1,3 | 0,4 | -0,0054 | no |

REIVINDICACIONES

1.- Aleación de hierro-cromo-aluminio con larga vida útil y pequeña modificación de la resistencia térmica, con (en % en masa):

| | | |
|----|----|--------------------|
| | Al | 4,9 a 5,8 % |
| 5 | Cr | 16 a 24 % |
| | W | 1,4 a 2,5 % |
| | Si | 0,5 a 0,7 % |
| | Mn | 0,001 a 0,5 % |
| | Y | 0,02 a 0,1 % |
| 10 | Zr | 0,02 a 0,1 % |
| | Hf | 0,02 a 0,1 % |
| | C | 0,003 a 0,030 % |
| | N | 0,002 a 0,03 % |
| | S | como máximo 0,01 % |
| 15 | Cu | como máximo 0,5 % |

Con 0,0001 – 0,05 % de Mg, 0,0001 – 0,03 % de Ca, 0,0002 – 0,03 % de P, como máximo 0,1 % de Nb, como máximo 0,1 % de V, como máximo 0,1 % de Ta, como máximo 0,01 % de O, como máximo de 0,5 % de Ni, como máximo 0,003 % de B, resto hierro y las impurezas habituales debidas a la fusión.

2.- Aleación según la reivindicación 1, con 4,9 a 5,5 % de Al.

20 3.- Aleación según la reivindicación 1 o 2, con 18 a 23 % de Cr.

4.- Aleación según la reivindicación 1 o 2, con 19 a 22 % de Cr.

5.- Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 4, con 0,05 a 0,5 % de Si.

6.- Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 5, con 0,005 a 0,5 % de Mn.

7.- Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 6, con 0,03 a 0,09 % de Y.

25 8.- Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 7, con 0,02 a 0,08 % de Zr.

9.- Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 8, con 0,02 a 0,08 % de Hf.

10.- Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 9, con 0,003 a 0,020 % de C.

11.- Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 10, con 0,0001 a 0,03 % de Mg.

12.- Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 10, con 0,0001 a 0,02 % de Mg.

30 13.- Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 10, con 0,0002 a 0,01 % de Mg.

14.- Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 13, con 0,0001 a 0,02 % de Ca.

15.- Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 13, con 0,0002 a 0,01 % de Ca.

16.- Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 15, con 0,003 a 0,025 % de P.

17.- Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 15, con 0,003 a 0,022 % de P.

35 18.- Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 17, con un máximo de 0,02 % de N y un máximo de 0,005 % de S.

19.- Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 18, con un máximo de 0,01 % de N y un máximo de 0,003 % de S.

20.- Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 19, con un máximo de 0,002 % de Boro.

- 21.- Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1 a 20 como lámina para elementos térmicos.
- 22.- Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1 a 20 para la inserción como lámina en elementos térmicos calentables eléctricamente.
- 5 23.- Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1 a 20 como lámina para elementos térmicos, en especial para elementos térmicos calentables eléctricamente, en el intervalo de dimensiones de 0,020 a 0,30 mm de grosor.
- 24.- Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1 a 20 para la inserción como lámina en elementos térmicos calentables eléctricamente, en especial para elementos térmicos calentables eléctricamente, con un grosor de 20 a 200 mm.
- 10 25.- Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1 a 20 para la inserción como lámina en elementos térmicos calentables eléctricamente, en especial para elementos térmicos calentables eléctricamente, con un grosor de 20 a 100 mm.
- 26.- Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1 a 20 como lámina de conductor térmico para la inserción en cocinas, en especial cocinas vitrocerámicas.
- 15 27.- Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1 a 20 como lámina soporte en catalizadores de gas de escape metálicos calentables.
- 28.- Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1 a 21 como lámina en pilas de combustible.

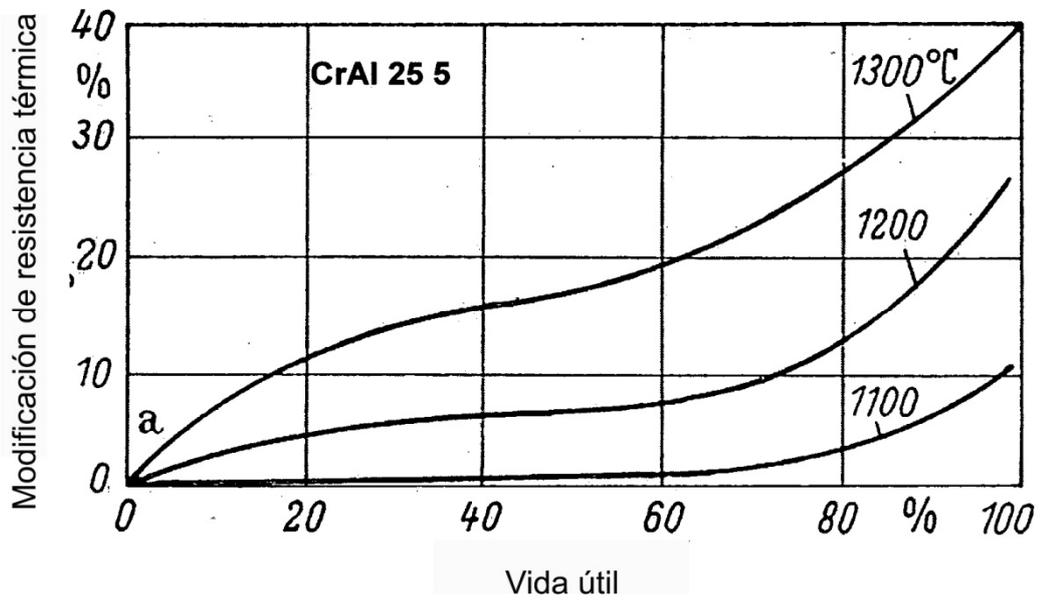


Figura 1

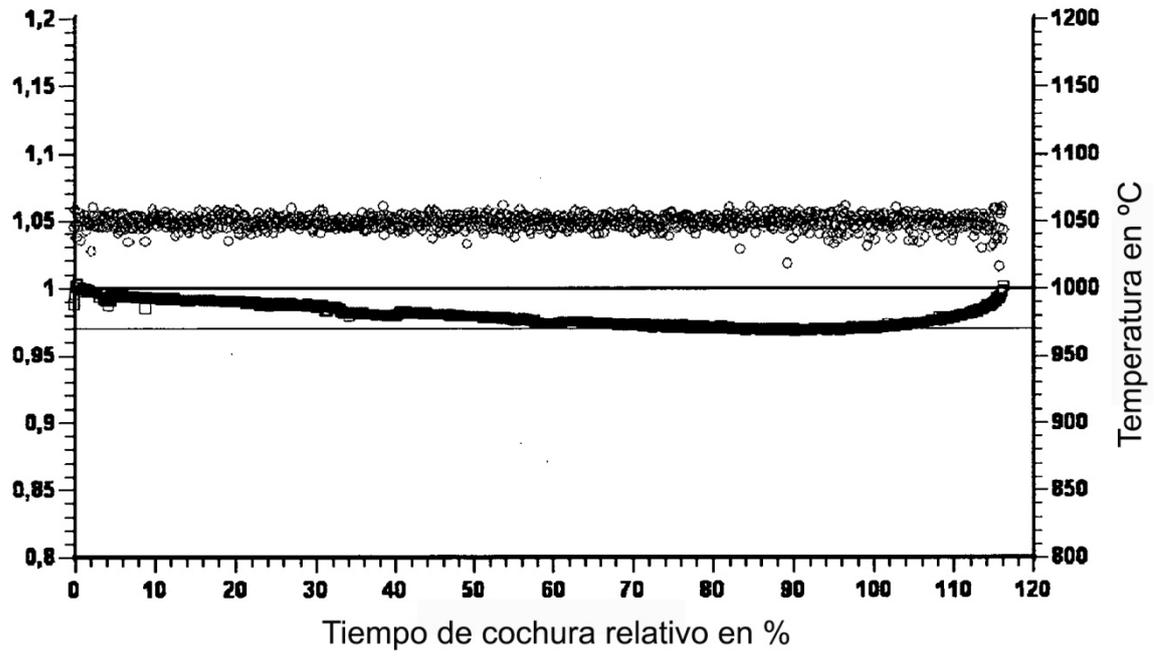


Figura 2

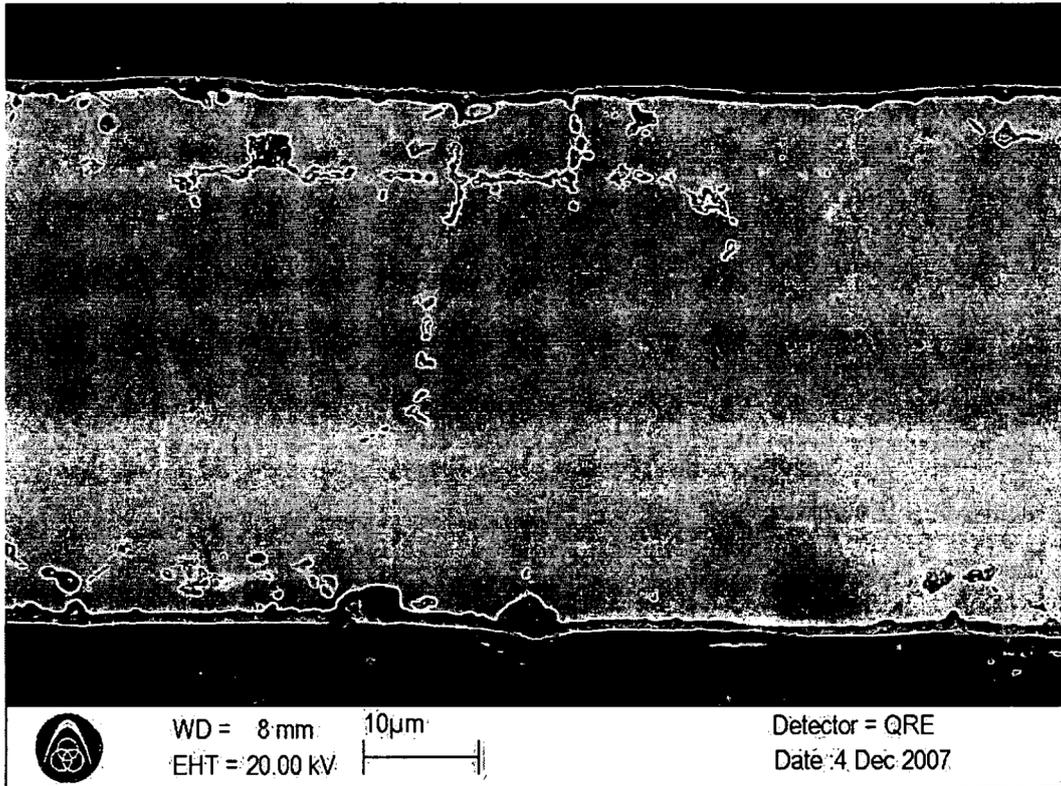


Figura 3