

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 643 635**

51 Int. Cl.:

C22C 19/05 (2006.01)

C22C 38/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.06.2008** **PCT/DE2008/000965**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.12.2008** **WO09000230**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.06.2008** **E 08773262 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2017** **EP 2162558**

54 Título: **Aleación de hierro-níquel-cromo-silicio**

30 Prioridad:

26.06.2007 DE 102007029400

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

23.11.2017

73 Titular/es:

VDM METALS INTERNATIONAL GMBH (100.0%)

Plettenberger Straße 2

58791 Werdohl, DE

72 Inventor/es:

HATTENDORF, HEIKE y

WEBELSIEP, JÜRGEN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 643 635 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-níquel-cromo-silicio

La invención se refiere a aleaciones de hierro-níquel-cromo-silicio con una vida útil y una estabilidad dimensional mejoradas.

- 5 Las aleaciones austeníticas de hierro-níquel-cromo-silicio con diferentes contenidos en níquel, cromo y silicio han sido utilizadas desde hace tiempo como conductores de calor en el intervalo de temperatura de hasta 1100°C. Para el uso como aleaciones de conductores de calor, este grupo de aleaciones está normalizado en DIN 17470 (Tabla 1) y ASTM B344-83 (Tabla 2). Para esta norma hay una serie de aleaciones disponibles comercialmente, enumeradas en la Tabla 3.
- 10 El fuerte aumento del precio del níquel en los últimos años ha dado como resultado el deseo de emplear aleaciones de conductores de calor que tengan el menor contenido posible en níquel, o bien aumentar significativamente la vida útil de las aleaciones empleadas. Esto hace posible que el fabricante de elementos de calentamiento cambie a una aleación que tenga un menor contenido en níquel o que utilice una vida útil más larga para justificar ante el cliente un precio más alto.
- 15 En general se debe observar que la vida útil y la temperatura de uso de las aleaciones enumeradas en las Tablas 1 y 2 aumentan a medida que se incrementa el contenido en níquel. Todas estas aleaciones forman una capa de óxido de cromo (Cr_2O_3) que tiene una capa de SiO_2 por debajo de la misma que está más o menos cerrada. Pequeñas adiciones de elementos que tienen alta afinidad por el oxígeno, tales como Ce, Zr, Th, Ca, Ta (Pfeifer/ Thomas, Zunderfeste Legierungen, 2ª edición, Springer Verlag 1963, páginas 258 y 259) aumentan la vida útil, en donde en el
- 20 caso citado únicamente se investigó el efecto de un solo elemento con afinidad por el oxígeno, pero no se proporcionó ninguna información sobre el efecto de una combinación de este tipo de elementos. Cuando se emplea un conductor de calor, el contenido en cromo se agota lentamente para construir la capa protectora. Por lo tanto, con un mayor contenido en cromo se aumenta la vida útil, ya que un mayor contenido en cromo, el elemento que forma la capa protectora, retrasa el momento en el que el contenido en Cr se encuentra por debajo del límite crítico y se
- 25 forman otros óxidos distintos de Cr_2O_3 , los cuales, por ejemplo, son óxidos que contienen hierro.

En el documento 6.623.869 B1 de Estados Unidos se muestra un material metálico que tiene buena resistencia a la formación de polvo metálico. La composición (en % en masa) es del modo siguiente:

C	no más de 0,2%
Si	0,01 - 4%
Mn	0,05 - 2%
P	no más de 0,04%
S	no más de 0,015%
Cr	10 - 35%
Ni	30 - 78%
Al	no menos de 0,005, pero no más de 4,5%
N	0,005 - 0,2%
y uno o varios de Cu 0,15 - 3%, así como	
Co	0,015 - 3%
el resto hierro.	

- 30 La composición debe satisfacer la fórmula fn1 en no menos de 50: $\text{fn1} = 40 \text{ Si} + \text{Ni} + 5 \text{ Al} + 40 \text{ N} + 10 (\text{Cu} + \text{Co})$.

Por el documento EP-A 0 531 775 se ha dado a conocer una aleación austenítica de níquel térmicamente moldeable, resistente al calor con la siguiente composición (en % en peso)

C	0,05 - 0,15%
Si	2,5 - 3,0%
Mn	0,2 - 0,5%
P	máx. 0,015%
S	máx. 0,005%
Cr	25 - 30%
Fe	20 - 27%
Al	0,05 - 0,15%
Cr	0,001 - 0,005%
SE	0,05 - 0,15%
N	0,05 - 0,20%

el resto Ni e impurezas inherentes a la fusión.

En el documento EP-A 0 386 730 se describe una aleación de níquel-cromo-hierro con muy buena resistencia a la oxidación y resistencia al calor, como se desea para aplicaciones avanzadas de conductores de calor que se basan en la conocida aleación para conductores de calor NiCr6015 y en la que, mediante modificaciones ajustadas entre sí de la composición, se pudieron conseguir específicamente mejoras considerables de las propiedades de uso. La aleación se diferencia del material conocido NiCr6015 especialmente en que los metales de tierras raras (SE, del alemán "seltene Erde") están sustituidos por itrio, en que contiene adicionalmente circonio y titanio, y en que el contenido en nitrógeno está especialmente ajustado a los contenidos en circonio y titanio.

A partir del documento WO-A 2005/031018 se puede extraer una aleación austenítica de Fe-Cr-Ni para la utilización en el intervalo de altas temperaturas, la cual presenta esencialmente la siguiente composición química (en % en peso):

Ni	38 - 48%
Cr	18 - 24%
Si	1,0 - 1,9%
C	< 0,1%
Fe	resto

En elementos de calentamiento de suspensión libre también existe, además del requisito de una vida útil larga, el requisito de una buena estabilidad dimensional a la temperatura de aplicación. Un combado (sagging) demasiado fuerte del filamento durante el funcionamiento tiene como consecuencia una separación desigual de las vueltas con una distribución desigual de la temperatura, por lo que se acorta la vida útil. Para compensar esto se necesitarían más puntos de apoyo para el filamento de calentamiento, lo que aumenta los costes. Es decir, que el material para conductores de calor debe tener una estabilidad dimensional o una resistencia a la fluencia suficientemente buena.

Todos los mecanismos de fluencia que perjudican la estabilidad dimensional en el intervalo de temperatura de aplicación (fluencia de dislocación, migración del límite granular o fluencia por difusión) están influidos, excepto la fluencia de dislocación, por un gran tamaño de grano en la dirección de mayor resistencia a la fluencia. La fluencia de dislocación no depende del tamaño de grano. La producción de un alambre con gran tamaño de grano aumenta la resistencia a la fluencia y, por tanto, la estabilidad dimensional. Por este motivo, en todas las consideraciones también deberá considerarse el tamaño de grano como un factor de influencia importante.

Además, para un material para conductores de calor es importante una resistencia eléctrica específica a ser posible alta y un cambio a ser posible pequeño de la relación resistencia al calor/resistencia al frío con la temperatura (coeficiente de temperatura α).

El objetivo de la invención consiste en diseñar aleaciones que con contenidos parecidos en níquel, cromo y silicio, como las aleaciones según el estado de la técnica en la Tabla 1 y 2, muestren sin embargo

- a) una resistencia a la oxidación claramente mejorada y con ello una vida útil larga asociada a la misma
- b) una estabilidad dimensional claramente mejorada a la temperatura de aplicación

- 5 c) una alta resistencia eléctrica específica en relación con un cambio a ser posible bajo de la relación resistencia al calor/resistencia al frío con la temperatura (coeficiente de temperatura α).

Este objetivo se alcanza mediante una aleación de hierro-níquel-cromo-silicio con (en % en peso) 19 a 34% de níquel, 12 a 26% de cromo, 0,75 a 2,5% de silicio y adiciones de 0,05 a 1% de Al, 0,01 a 1% de Mn, 0,01 a 0,26% de lantano, 0,0005 a 0,05% de magnesio, 0,04 a 0,14% de carbono, 0,02 a 0,14% de nitrógeno, que además comprende 0,0005 a 0,07% de Ca, 0,002 a 0,020% de P, máx. 0,01% de azufre, máx. 0,005% de B, además, si es necesario, que contiene como aditivo al menos uno de los elementos Ce, Y, Zr, Hf, Ti, cada uno con un contenido de 0,01 a 0,3%, además, si es necesario, que contiene 0,01 a 1,0% en cada caso de uno varios de los elementos Mo, W, V, Nb, Ta, Co, resto hierro y las impurezas habituales inherentes al procedimiento, en donde las impurezas se establecen en contenidos de máx. 1,0% de Cu, máx. 0,002% de Pb, máx. 0,002% de Zn, máx. 0,002% de Sn.

- 10
- 15 Variantes ventajosas del objeto de la invención se extraen de las reivindicaciones dependientes correspondientes.

Debido a su composición especial, estas aleaciones tienen una vida útil más larga que las aleaciones según el estado de la técnica, con contenidos en níquel y cromo comparables. Adicionalmente se puede conseguir una elevada estabilidad dimensional o un menor combado que las aleaciones según el estado de la técnica.

- 20 El intervalo de dispersión para el elemento níquel se encuentra entre el 19 y el 34%, pudiendo darse en función del caso individual de utilización, contenidos en níquel como los siguientes y que se ajustan en la aleación en función del caso individual.

Los intervalos preferidos de Ni entre 19 y 34% se indican del modo siguiente:

- 19 a 25%
- 19 a 22%
- 25 – 23 a 25%
- 25 a 34%
- 25 a 28%
- 28 a 31%

- 30 El contenido en cromo se encuentra entre el 12 y el 26%, pudiendo darse aquí también, dependiendo del área de utilización de la aleación, contenidos en cromo como los siguientes:

- 14 a 26%
- 14 a 18%
- 18 a 21%
- 20 a 26%
- 35 – 21 a 24%
- 20 a 23%
- 23 a 26%.

El contenido en silicio se encuentra entre el 0,75 y el 2,5%, pudiéndose ajustar en función del área de aplicación, contenidos definidos dentro del intervalo de dispersión:

- 40 – 1,0 - 2,5%
- 1,5 - 2,5%
- 1,0 - 1,5%

- 1,5 - 2,0%
- 1,7 - 2,5%
- 1,2 - 1,7%
- 1,7 - 2,2%

5 – 2,0 - 2,5%.

El elemento aluminio está previsto como aditivo y concretamente en contenidos del 0,05 al 1%. Preferiblemente, también se puede ajustar en la aleación del modo siguiente:

- 0,1 - 0,7%.

10 Lo mismo se aplica para el elemento manganeso, el cual se añade a la aleación con un 0,01 al 1%. Alternativamente, también sería posible el siguiente intervalo de dispersión:

- 0,1 - 0,7%.

El objeto de la invención se basa preferiblemente en que las propiedades de los materiales, especificadas en los ejemplos se ajustan esencialmente con la adición del elemento lantano en contenidos del 0,01 al 0,26%. Dependiendo del área de aplicación, aquí también se pueden ajustar valores definidos en la aleación:

- 15 – 0,02 - 0,26%
- 0,02 - 0,20%
- 0,02 - 0,15%
- 0,04 - 0,15%.

20 Esto se aplica de igual forma para el elemento nitrógeno que se añade en contenidos entre el 0,02 y el 0,14%. Los contenidos definidos se pueden administrar del siguiente modo:

- 0,02 - 0,10%
- 0,03 - 0,09%
- 0,05 - 0,09%.

25 El carbono se añade de igual forma a la aleación, y específicamente en contenidos entre el 0,04 y el 0,14%. Concretamente se pueden ajustar los contenidos en la aleación del modo siguiente:

- 0,04 - 0,10%.

El magnesio también figura entre los elementos de adición en contenidos del 0,0005 al 0,05%. Concretamente existe la posibilidad de ajustar este elemento en la aleación del modo siguiente:

- 30 – 0,001 - 0,05%
- 0,008 - 0,05%.

La aleación puede contener además calcio en contenidos entre el 0,0005 y el 0,07%, especialmente de 0,001 a 0,05% o de 0,01 a 0,05%.

La aleación puede contener además fósforo en contenidos entre el 0,002 y el 0,020%, especialmente de 0,005 a 0,02%.

35 Los elementos azufre y boro se pueden administrar en la aleación de la siguiente manera:

azufre máx. 0,005%

boro máx. 0,003%.

Si la eficacia del elemento reactivo lantano solo no es suficiente para producir las propiedades de los materiales, expuestas en el planteamiento del objetivo, la aleación puede contener además al menos uno de los elementos Ce, Y, Zr, Hf, Ti con un contenido del 0,01 al 0,3%, que en caso necesario, también pueden ser adiciones definidas.

Las adiciones de elementos afines al oxígeno como preferiblemente La y según los requerimientos Ce, Y, Zr, Hf, Ti, mejoran la vida útil. Esto lo hacen al incorporarse en la capa de óxido y bloqueando allí en los límites de grano las rutas de difusión del oxígeno. Por este motivo, la cantidad de elementos que están a disposición para este mecanismo se debe normalizar según el peso atómico para poder comparar entre sí las cantidades de diferentes elementos.

Por este motivo, el potencial de elementos eficaces (PwE) se define como

$$PwE = 200 \cdot \sum (X_E / \text{peso atómico de E})$$

en donde E es el elemento en cuestión y X_E el contenido del elemento en cuestión en porcentaje.

Como ya se ha mencionado, la aleación puede contener del 0,01 al 0,3% respectivamente de uno o varios de los elementos La, Ce, Y, Zr, Hf, Ti, siendo

$$\sum PwE = 1,43 \cdot X_{Ce} + 1,49 \cdot X_{La} + 2,25 \cdot X_Y + 2,19 \cdot X_{Zr} + 1,12 X_{Hf} + 4,18 \cdot X_{Ti} \leq 0,38,$$

especialmente $\leq 0,36$ (en caso de 0,01 a 0,2% del elemento total), correspondiendo PwE al potencial de los elementos eficaces.

Alternativamente, en caso de la existencia de al menos uno de los elementos La, Ce, Y, Zr, Hf, Ti en contenidos del 0,02 al 0,10%, existe la posibilidad de que la suma $PwE = 1,43 X_{Ce} + 1,49 \cdot X_{La} + 2,25 X_Y + 2,19 \cdot X_{Zr} + 1,12 X_{Hf} + 4,18 \cdot X_{Ti}$ sea menor o igual a 0,36, correspondiendo PwE al potencial de los elementos eficaces.

Además, la aleación puede contener entre el 0,01 y el 1,0% respectivamente de uno o varios de los elementos Mo, W, V, Nb, Ta, Co que además todavía se pueden limitar del siguiente modo:

– 0,01 a 0,06%

– 0,01 a 0,2%.

Por último, los elementos cobre, plomo, cinc y estaño todavía se pueden dar como impurezas en contenidos del siguiente modo:

Cu máx. 1,0%

Pb máx. 0,002%

Zn máx. 0,002%

Sn máx. 0,002%.

La aleación de acuerdo con la invención se deberá emplear con preferencia para la utilización en elementos de calentamiento eléctricos, especialmente en elementos de calentamiento eléctricos que requieren una alta estabilidad dimensional y un bajo combado.

Sin embargo, es igualmente imaginable un uso en elementos de calentamiento de radiadores tubulares.

Otro caso concreto de aplicación de la aleación de acuerdo con la invención, es la utilización en la construcción de hornos.

El objeto de la invención se explica más detalladamente mediante los siguientes ejemplos.

Ejemplos:

Las Tablas 1 a 3 reproducen - como ya se ha mencionado al principio - el estado de la técnica

Para las aleaciones fundidas a escala industrial de los siguientes ejemplos, se tomó de la producción a escala industrial una muestra industrialmente acabada y con recocido blando con un diámetro de 1,29 mm. Para el ensayo de la vida útil se tomó una cantidad parcial más pequeña de alambre, respectivamente a escala de laboratorio de hasta 0,4 mm.

Para los elementos de calentamiento, en particular conductores de calor en forma de alambre, son posibles y habituales ensayos de vida útil acelerados para comparar los materiales entre sí, por ejemplo, con las siguientes condiciones:

El ensayo de vida útil de conductores de calor se realiza en alambres con un diámetro de 0,40 mm. El alambre se tensa entre 2 suministros de corriente a una distancia de 150 mm y se calienta mediante la aplicación de una tensión

de hasta 1150°C. El calentamiento hasta 1150°C se realiza respectivamente durante 2 minutos, luego se interrumpe el suministro de corriente durante 15 segundos. Al final de su vida útil, el alambre falla porque se funde la sección transversal restante. El tiempo de combustión es la suma de los tiempos de "encendido" durante la vida útil del alambre. El tiempo de combustión relativo t_b es el dato en % referido al tiempo de combustión de un lote de referencia.

Para investigar la estabilidad dimensional, en un ensayo de combado, se investiga el comportamiento de caída (combado) del filamento de calentamiento a la temperatura de aplicación. A este respecto, en filamentos de calentamiento se registra el combado de los filamentos en relación con la horizontal después de un tiempo determinado. Cuanto menor sea el combado, mayor será la estabilidad dimensional o la resistencia a la fluencia del material.

Para este experimento, un alambre con recocido blando con un diámetro de 1,29 mm se enrolla en espirales con un diámetro interno de 14 mm. En total, para cada lote se preparan 6 filamentos de calentamiento con 31 vueltas cada uno. Todos los filamentos de calentamiento se regulan al inicio del experimento a una temperatura inicial uniforme de 1000°C. La temperatura se determina con un pirómetro. El experimento se realiza con un ciclo de conexión de 30 s de "encendido" / 30 s de "apagado" a tensión constante. El experimento termina después de 4 horas. Después de enfriar los filamentos de calentamiento, el combado de las vueltas individuales (sagging) se mide en relación con la horizontal y se establece el valor medio de los 6 valores de los filamentos de calentamiento.

Diferentes aleaciones ejemplares con contenidos en níquel de 30 a 34%, 16 a 22% de Cr, 1,3 a 2,2% de Si y adiciones de 0,2 a 0,5% de Al, 0,3 a 0,5% de Mn, 0,01 a 0,09% de La, 0,005 a 0,01% de Mg, 0,01 a 0,065% de C, 0,03 a 0,065% de N, además que contenían de 0,001 a 0,04 de Ca, 0,005 a 0,013% de P, 0,0005 a 0,002% de S, máx. 0,003 de B, 0,01 a 0,08% de Mo, 0,01 a 0,1% de Co, 0,02 a 0,08% de Nb, 0,01 a 0,06% de V, 0,01 a 0,02% de W, 0,01 a 0,1% de Cu, el resto de hierro y un valor de PwE de 0,09 a 0,19, se produjeron a escala industrial y se investigaron como se ha descrito anteriormente.

Los resultados se evaluaron mediante una regresión lineal múltiple.

En la Figura 1 se representa la dependencia del tiempo de combustión del contenido en La, en donde se han excluido las influencias del contenido en Ni, Cr, Si. Se muestra que el tiempo de combustión relativo aumentó considerablemente con el aumento del contenido en La. En particular, un contenido en La de 0,04 a 0,15% es particularmente ventajoso.

En la evaluación de los saggings (combado de los filamentos) solo se incluyeron muestras que tenían un tamaño de grano de 20 a 25 μm , de modo que no se tenía que realizar ninguna regresión en relación con este parámetro.

En la Figura 2 se representa la dependencia del combado del contenido en N, en donde las influencias del contenido en Ni, Cr, Si y C se han excluido. Se muestra que el combado se reduce en gran medida con un aumento del contenido en N. En particular, un contenido en N de 0,05 a 0,09% es ventajoso.

En la Figura 3, se muestra la dependencia del combado del contenido en C, en donde las influencias del contenido en Ni, Cr, Si y N se han excluido. Se muestra que el combado se reduce en gran medida con un aumento del contenido en C. En particular, un contenido en C de 0,04 al 0,10% es ventajoso.

Las aleaciones que tienen un bajo contenido en níquel (variante 1) son particularmente rentables. Por lo tanto, las aleaciones en el intervalo de 19% a 34% de Ni son de gran interés, a pesar de los peores coeficientes de temperatura y menores resistencias eléctricas específicas en comparación con aleaciones con mayor contenido en níquel. El riesgo de formación de fases sigma, que hace que la aleación se vuelva frágil, aumenta cada vez más por debajo del 19% de níquel. Por lo tanto el 19% constituye el límite inferior para el contenido en níquel.

Los costes de la aleación aumentan con el contenido en níquel. Por lo tanto, el límite superior para las aleaciones que tienen un bajo contenido en níquel debe ser del 34% (variante 1).

Contenidos bajos en Cr significan que la concentración de Cr disminuye muy rápidamente por debajo del límite crítico. Por lo tanto, 12% de Cr es el límite inferior para el cromo. Contenidos demasiado altos en Cr deterioran la procesabilidad de la aleación. Por lo tanto, 26% de Cr se debe considerar como el límite superior.

La formación de una capa de óxido de silicio por debajo de la capa de óxido de cromo reduce la tasa de oxidación. Por debajo del 0,75%, la capa de óxido de silicio es demasiado incompleta para desarrollar su efecto completamente. Contenidos demasiado altos en Si menoscaban la capacidad de procesamiento de la aleación. Por lo tanto, un contenido en Si del 2,5% es el límite superior.

Como ya se ha mencionado, las adiciones de elementos afines al oxígeno mejoran la vida útil. Esto lo realizan mediante su incorporación en la capa de óxido, bloqueando allí en los límites de grano las rutas de difusión del oxígeno. Por consiguiente, la cantidad de los elementos disponibles para este mecanismo se debe normalizar con el peso atómico, para poder comparar las cantidades de diferentes elementos entre sí.

Por este motivo, el potencial de elementos eficaces (PwE) se define como

$$PwE = 200 \cdot \sum (X_E / \text{peso atómico de E})$$

en donde E es el elemento en cuestión y X_E el contenido del elemento en cuestión en %.

En caso de presencia de La o Ce o SE, parece que Ca y Mg ya no están entre los elementos eficaces.

- 5 Por ello, la adición para el potencial de elementos eficaces PwE, se llevó a cabo mediante La, Ce, Y, Zr, Hf y Ti. Si no se existen datos para La y Ce, sino que debido a la adición de metal mixto de cerio, solo se da la indicación general SE, entonces para el cálculo de PwE se supone $Ce = 0,6 \text{ SE}$ y $La = 0,35 \text{ SE}$.

$$PwE = 1,49 \cdot X_{La} + 1,43 \cdot X_{Ce} + 2,25 \cdot X_Y + 2,19 \cdot X_{Zr} + 1,12 \cdot X_{Hf} + 4,18 \cdot X_{Ti}$$

- 10 Se requiere un contenido mínimo de 0,01% de La con el fin de obtener el efecto aumentador de la resistencia a la oxidación de La. El límite superior se establece en 0,26%, lo que corresponde a un PwE de 0,38. En este caso, valores más altos de PwE no son útiles.

Al se requiere para mejorar la procesabilidad de la aleación. Por este motivo se requiere un contenido mínimo de 0,05%. Los contenidos demasiado altos, a su vez, afectan a la capacidad de procesamiento. Por consiguiente, el contenido en Al se limita al 1%.

- 15 Se requiere un contenido mínimo de 0,04% de C para una buena estabilidad dimensional y bajo combado. C está limitado a 0,14% ya que este elemento reduce la resistencia a la oxidación y la capacidad de procesamiento.

Se requiere un contenido mínimo de 0,02% de N para una buena estabilidad dimensional o bajo combado. N se limita a 0,14% ya que este elemento reduce la resistencia a la oxidación y la capacidad de procesamiento.

- 20 Para Mg se requiere un contenido mínimo de 0,0005%, con el cual se mejora la capacidad de procesamiento del material. El límite se fija en 0,05%, debido a que una cantidad excesiva de Mg ha demostrado ser negativa.

Para Ca se requiere un contenido mínimo de 0,0005%, con el cual se mejora la capacidad de procesamiento del material. El límite se fija en 0,07% debido a que una cantidad excesiva de Ca ha demostrado ser negativa.

- 25 El contenido en azufre y boro se debe ajustar en el mínimo posible, ya que estos elementos con actividad tensioactiva afectan a la resistencia a la oxidación. Por este motivo se fija un máx. de 0,01% de S y un máx. de 0,005% de B.

El cobre está limitado a un máx. de 1%, ya que este elemento reduce la resistencia a la oxidación.

Pb está limitado a un máx. de 0,002%, ya que este elemento reduce la resistencia a la oxidación. Lo mismo se aplica al Sn.

- 30 Se requiere un contenido mínimo de 0,01% de Mn para mejorar la capacidad de procesamiento. El manganeso se limita a 1%, ya que este elemento también reduce la resistencia a la oxidación.

Tabla 1: Aleaciones según la norma DIN 17470 y 17742 (composición de NiCr8020, NiCr7030, NiCr6015). Todos los valores son en % en peso.

	Nº de W	Cr	Ni + Co *)	Fe	Al	Si	Mn	C	Cu	P	S	ρ (μΩm) 20°C	ρ (μΩm) 900°C
NiCr8020	2.4869	19-21	>75	<1,0	<0,3	0,5-2,0	<1,0	<0,15	<0,5	<0,020	<0,015	1,12 (1,08)	1,14
NiCr7030	2.4658	29-32	>60	<5,0	<0,3	0,5-2,0	<1,0	<0,10	<0,5	<0,020	<0,015	1,19 (1,16)	1,24
NiCr6015	2.4867	14-19	>59	18-25	<0,3	0,5-2,0	<2,0	<0,15	<0,5	<0,020	<0,015	1,13 (1,11)	1,23
NiCr3020	1.4860	20-22	28,0-31,0	resto		2,0-3,0	<1,5	<0,2		<0,045	<0,03	1,02	1,28
NiCr2520	1.4843	22-25	19,0-22,0	resto		1,5-2,5	<2,0	<0,2		<0,045	<0,03	0,95	1,24
*) máx. 1,5% de Co													

Tabla 2: Aleaciones según la norma ASTM B 344-83. Todos los valores son en % en peso.

	Cr	Ni + Co *)	Fe	Si	Mn	C	S	ρ (μΩm)	ct (a 871°C)
80Ni, 20Cr	19-21	resto	<1,0	0,75-1,75	<1,0	<0,15	<0,01	1,081	1,008
60Ni, 16Cr	14-18	>57		0,75-1,75	<1,0	<0,15	<0,01	1,122	1,073
35Ni, 20Cr	18-21	34-37	resto	1,0-3,0	<1,0	<0,15	<0,01	1,014	1,214

Tabla 3: Aleaciones disponibles comercialmente. Todos los valores son en % en peso.

		14862			14862	14862	14862					24889					
	353Ma	Nicrofer 3718 Aleación 330-DB	Inconel 330	Aleación brillante 35	Nicrofer 3718So Aleación DS-DB	Nicrofer 3718So Aleación DS- Band	Nicrofer 3519Nb	Cronifer II	Cronifer III	Cronifer 45	Nicrofer 45TM	Microthal 40	WO2005/031018 A8	WO2005/031018 A9			
Ni	35	33-37	34-37	34-37	34,5-41	35-39	35,2- 35,8	57-59	30-32	45-48	45-50	37	39-41	44-46			
Cr	25	15-17	17-20	18-21	17-19	17-19	19,2- 19,8	14-17	19,5-21,5	22-24	26-29	20	20-22	20-22			
Si	1,3	1-2	0,75-1,5	1,0-3,0	1,9-2,6	1,9-2,5	1,9-2,5	1,0-1,75	1,8-3	1,5-2,2	2,5-3	2	1,0-1,5	1,0-1,5			
Al			Máx. 2					Máx. 0,3	Máx.0,3	Máx. 0,3	Máx. 0,2						
Mn		Máx. 2		Máx. 1	0,8-1,5	0,8-1,5	1,5		Máx. 1,0	Máx. 1,0	Máx. 1						
Nb							0,9										
Cu					Máx. 0,5	Máx. 0,5					Máx. 0,3						
Ti		Máx. 0,2			Máx. 0,2	Máx. 0,2	1,5										
sE				si			0,03	Máx. 0,04	Máx. 0,10	Máx. 0,04	0,05-0,15						
Ce	si												0,01- 0,04	0,01- 0,04			
N	0,17										0,17		Máx. 0,15	Máx. 0,15			
C	Máx. 0,05	Máx. 0,15	Máx. 0,08		Máx.0,10	Máx. 0,10			Máx. 0,10	Máx. 0,08	0,05-0,12		Máx. 0,10	Máx. 0,10			
S		Máx. 0,015	Máx. 0,03	Máx. 0,15	Máx. 0,03						Máx. 0,01						
P		Máx. 0,045	Máx. 0,03	Máx. 0,01	Máx. 0,03						Máx. 0,015						
B																	
Fe	resto	resto	resto		resto	resto	resto	resto	resto	resto	resto	resto	resto	resto			

Lista de referencias

- Figura 1 Representación gráfica de la dependencia del tiempo de combustión relativo t_b del contenido en La, en donde se han excluido las influencias del contenido en Ni, Cr, Si con ayuda de un análisis de regresión lineal múltiple.
- 5 Figura 2 Dependencia del sagging (combado de los filamentos) del contenido en N, en donde las influencias del contenido en Ni, Cr, Si y C se han excluido con ayuda de un análisis de regresión lineal múltiple. Se muestra que el combado se reduce en gran medida con un aumento del contenido en N. En particular, un contenido en N de 0,03 a 0,09% es ventajoso.
- 10 Figura 3 Dependencia del sagging (combado de los filamentos) del contenido en C, en donde las influencias del contenido en Ni, Cr, Si y N se han excluido con ayuda de un análisis de regresión lineal múltiple. Se muestra que el combado se reduce en gran medida con un aumento del contenido en N. En particular, un contenido en C de 0,04 al 0,10% es ventajoso.

REIVINDICACIONES

1. Aleación de hierro-níquel-cromo-silicio con (en % en peso) 19 a 34% de níquel, 12 a 26% de cromo, 0,75 a 2,5% de silicio y adiciones de 0,05 a 1% de Al, 0,01 a 1% de Mn, 0,01 a 0,26% de lantano, 0,0005 a 0,05% de magnesio, 0,04 a 0,14% de carbono, 0,02 a 0,14% de nitrógeno, que comprende además 0,0005 a 0,07% de Ca, 0,002 a 0,020% de P, máx. 0,01% de azufre, máx. 0,005% de B, además, si es necesario, que contiene como aditivo al menos uno de los elementos Ce, Y, Zr, Hf, Ti, cada uno con un contenido de 0,01 a 0,3%, además, si es necesario, que contiene 0,01 a 1,0% de cada uno o de varios de los elementos Mo, W, V, Nb, Ta, Co, resto hierro y las impurezas habituales inherentes al procedimiento, en donde las impurezas se establecen en contenidos de máx. 1,0% de Cu, máx. 0,002% de Pb, máx. 0,002% de Zn, máx. 0,002% de Sn.
2. Aleación según la reivindicación 1, con un contenido en níquel de 25 a 34%.
3. Aleación según la reivindicación 1 o 2, con un contenido en cromo de 14 a 18%.
4. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 3, con un contenido en cromo de 20 a 26%.
5. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 4, con un contenido en silicio de 1,0 a 2,5%.
6. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 5, con un contenido en aluminio de 0,1 a 0,7%.
7. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 6, con un contenido en manganeso de 0,1 a 0,7%.
8. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 7, con un contenido en lantano de 0,02 a 0,2%.
9. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 8, con un contenido en nitrógeno de 0,02 a 0,10%.
10. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 8, con un contenido en nitrógeno de 0,03 a 0,09%.
11. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 10, con un contenido en carbono de 0,04 a 0,10%.
12. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 11, con máx. 0,005% de azufre y máx. 0,003% de B.
13. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 12, con 0,01 a 0,26% de cada uno o de varios de los elementos Ce, Y, Zr, Hf, Ti, en donde la suma $PwE = 1,43 \cdot X_{Ce} + 1,49 \cdot X_{La} + 2,25 \cdot X_Y + 2,19 \cdot X_{Zr} + 1,12 \cdot X_{Hf} + 4,18 \cdot X_{Ti}$ es $\leq 0,38$, en donde PwE se corresponde con el potencial de los elementos eficaces.
14. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 13, con 0,01 a 0,2% de cada uno o de varios de los elementos Ce, Y, Zr, Hf, Ti, en donde la suma $PwE = 1,43 \cdot X_{Ce} + 1,49 \cdot X_{La} + 2,25 \cdot X_Y + 2,19 \cdot X_{Zr} + 1,12 \cdot X_{Hf} + 4,18 \cdot X_{Ti}$ es $\leq 0,36$, en donde PwE se corresponde con el potencial de los elementos eficaces.
15. Aleación según una de las reivindicaciones 1 a 13, con 0,02 a 0,15% de cada uno o de varios de los elementos Ce, Y, Zr, Hf, Ti, en donde la suma $PwE = 1,43 \cdot X_{Ce} + 1,49 \cdot X_{La} + 2,25 \cdot X_Y + 2,19 \cdot X_{Zr} + 1,12 \cdot X_{Hf} + 4,18 \cdot X_{Ti}$ es $\leq 0,36$, en donde PwE se corresponde con el potencial de los elementos eficaces.
16. Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1 a 15, para el uso en elementos de calentamiento eléctricos.
17. Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1 a 15, para el uso en radiadores tubulares.
18. Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1 a 15, para el uso en elementos de calentamiento eléctricos que requieren una alta estabilidad dimensional o un bajo combado.
19. Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1 a 15, para el uso en la construcción de hornos.

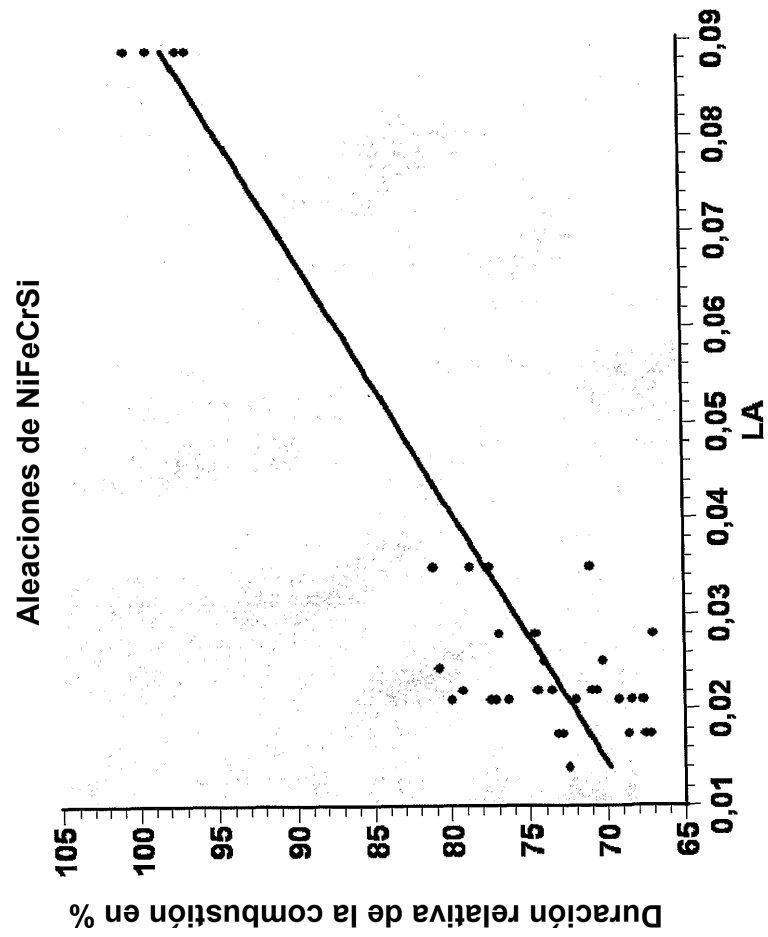


Fig. 1

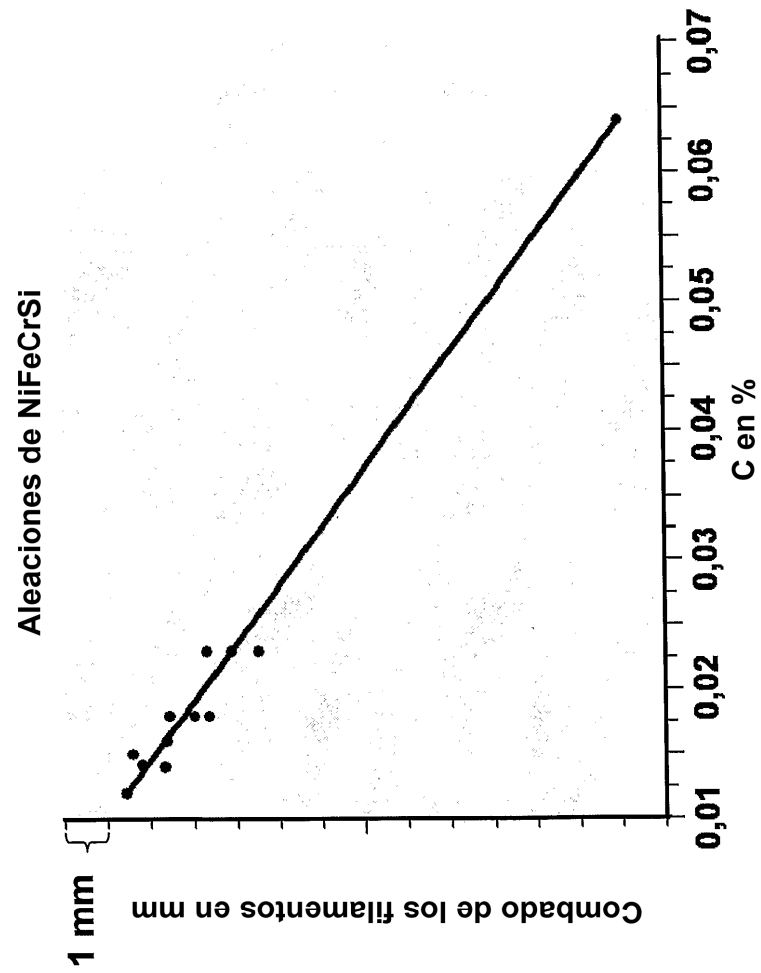


Fig. 2

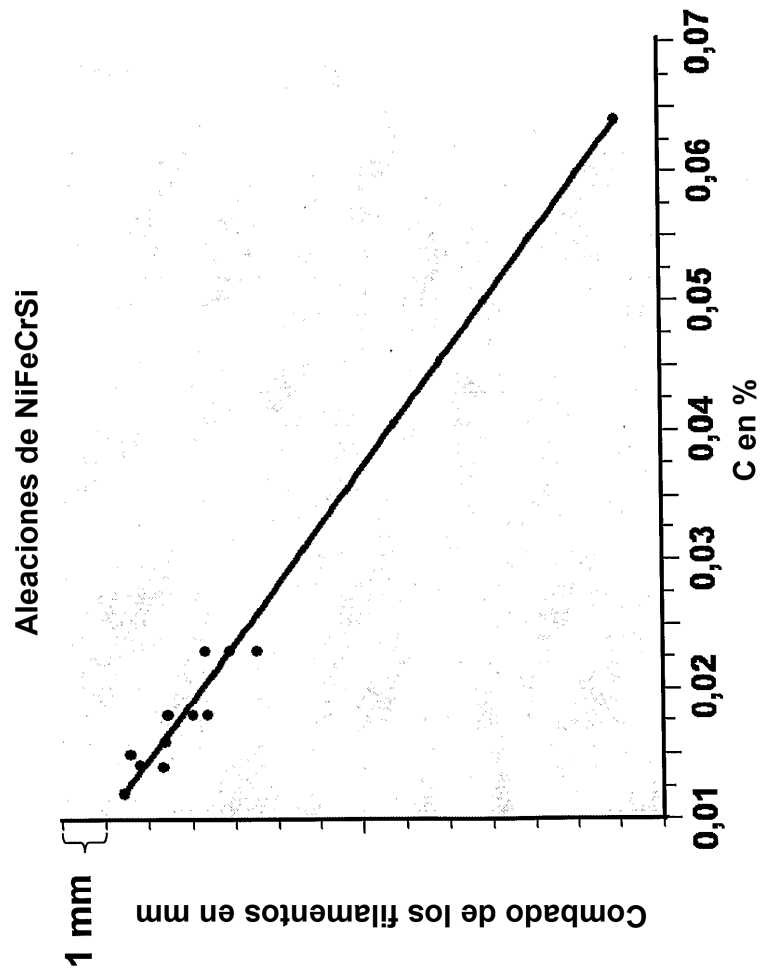


Fig. 3