

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 447 022**

51 Int. Cl.:

C22C 19/05 (2006.01)

H05B 3/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.06.2006 E 06748041 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2013 EP 1899489**

54 Título: **Aleación de Ni-Cr-Fe para uso a altas temperaturas**

30 Prioridad:

01.07.2005 SE 0501536

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

11.03.2014

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

NORLING, RIKARD

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 447 022 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 Ni-Cr-Fe para uso a altas temperaturas

La presente invención se refiere a una aleación de Ni-Cr-Fe para uso a altas temperaturas.

- 5 Durante muchos años se han usado aleaciones austeníticas basadas en Ni-Cr y sistemas de Ni-Cr-Fe con contenidos de cromo de hasta el 30% en peso, y contenidos de silicio de hasta el 3% en peso, en usos a altas temperaturas, hasta temperaturas de operación de 1.100°C. Estas aleaciones con frecuencia contienen también adiciones de pequeñas cantidades de metales de las tierras raras. En ASTM B 344-01 y en DIN 17470 (junto con DIN 17742) se han definido como estándares varias de estas aleaciones con diferentes niveles de níquel, pensadas para ser usadas como materiales de resistencia eléctrica para calentar en, entre otras aplicaciones, hornos industriales y aparatos domésticos. Estos estándares no concuerdan completamente unos con otros, como se puede ver en la Tabla 1. La Tabla 1 especifica también la composición nominal de una aleación no estándar, como la especificada por la Patente de EE.UU. número 2.858.208. Esta aleación, por lo que se conoce, ya no está comercialmente disponible, pero ha sido comercializada en una cierta cantidad de usos previos para la mismas aplicaciones.
- 10
- 15 Tabla 1. Composiciones químicas, en porcentaje en peso, de materiales resistivos de Ni-Cr-(Fe) como las especificadas en los estándares de DIN y ASTM, y la de una aleación como la especificada en el documento US 2.858.208.

	Ni	Cr	Fe	Si	Mn	C	Otros
DIN 17470							
NiCr 80 20 *	>75 **	19 – 21	<0,1	0,5 – 0,2	<1,0	<0,15	Al <0,3; Cu <0,5
NiCr 70 30 *	>60 **	29 – 32	<0,5	0,5 – 2,0	<1,0	<0,10	Al <0,3; Cu <0,5
NiCr 60 15 *	>59 **	14 – 19	19 – 25	0,5 – 2,0	<2,0	<0,15	Al <0,3; Cu <0,5
NiCr 30 20	28 – 31	20 – 22	el resto	2,0 – 3,0	<1,5	<0,2	
CrNi 25 20	19 – 22	22 – 25	el resto	1,5 – 2,5	<2,0	<0,2	
ASTM B 344							
80Ni – 20Cr	el resto **	19 – 21	<1,0	0,75 – 1,75	<1,0	<0,15	
60Ni – 16Cr	>57 **	14 – 18	el resto	0,75 – 1,75	<1,0	<0,15	
35Ni – 20Cr	34 – 37 **	18 – 21	el resto	1,0 – 3,0	<1,0	<0,15	
US 2858208	67,75	20,0	8,3	2,0	0,5	<0,1	Co = 1,0; Nb = 0,25

*También DIN 17742

**Incluye hasta 1% de Co.

- 20 Se da generalmente el caso de que la temperatura máxima de operación y el tiempo de vida aumentan con el aumento del contenido de Ni en las aleaciones de Ni-Cr-(Fe), pero varios de los otros elementos de la aleación tienen una mayor influencia sobre estas propiedades. Sobre estas aleaciones se forma una capa de óxido protector, consistente principalmente en Cr₂O₃ y en varios casos también, y hasta una cierta cantidad, en SiO₂, si se añade Si a la aleación. Se han usado pequeñas adiciones de ciertas sustancias tales como metales de las tierras raras con el fin de mejorar más las propiedades de la capa de óxido, y varias patentes recomendaban esto con el fin de obtener un material con una alta estabilidad frente a la oxidación. Ejemplos de estas patentes son la EP 0531775 y EP 0386730.
- 25

- Es un requisito que los materiales eléctricamente resistivos tengan, además de una alta estabilidad frente a la oxidación, una resistividad eléctricamente relativamente alta de manera que sea posible obtener el desarrollo de potencia eléctrica deseada dentro de un elemento calefactor eléctrico con las limitaciones dadas de dimensiones y de peso. Se da generalmente el caso de que si un elemento calefactor eléctrico con una cierta potencia nominal se fabrica con la misma sección transversal que el conductor, una aleación con una resistividad más alta da lugar a un conductor más corto y, por eso a un ahorro de peso, lo que conduce directamente a un ahorro de los costes.
- 30

- El cambio en la resistividad a elevada temperatura, C_t, se da mediante la relación entre la resistencia eléctrica a la temperatura de trabajo y la resistencia eléctrica a temperatura ambiente para un material eléctricamente resistivo. Este parámetro es un factor importante al obtener una distribución uniforme de la temperatura a lo largo del
- 35

elemento eléctricamente resistivo, en particular cuando aumenta el tiempo total de servicio. Cuanto más bajo es el valor de C_t , más uniforme será la distribución de la temperatura y, normalmente, esto dará como resultado un tiempo de vida del elemento más largo, ya que se reduce el riesgo de sobrecalentamiento local. Por lo general se da el caso de que C_t disminuye con el aumento del contenido de Ni, pero los niveles de Cr, Fe y Si también son significativos.

5 El valor C_t para el material resistivo, con un contenido de Ni superior al 40%, depende también de la velocidad a la cual la aleación se enfría después del calentamiento más reciente al rojo.

10 La Tabla 2 da valores habituales para la resistividad a temperatura ambiente y de C_t a 1.000°C, para aleaciones con composiciones como las especificadas por ASTM B 344-01 y por DIN 17470, junto con una aleación como la especificada por el documento US 2.858.208. Todas las aleaciones fueron sometidas a ensayo en forma de alambre que había sido calentado al rojo y que luego se había dejado enfriar libremente al aire después del recocido. Los valores de la Tabla 2 se basan en medidas comparativas tomadas por el solicitante a la vez y en la misma ocasión de medida, y no se toman directamente de los estándares publicados. Estos estándares dan únicamente valores recomendados, o prescriben intervalos que son tan grandes que los valores dados no se pueden comparar directamente.

15 El valor de C_t en este caso se ha determinado como se especifica en ASTM B 70-90, con una modificación: se usó la resistividad del material de prueba antes del ensayo como valor de referencia para calcular el valor C_t , y no la resistividad después de que se haya llevado a cabo el ensayo.

Tabla 2. Valores habituales de la resistividad ($\text{ohm}\cdot\text{mm}^2/\text{m}$) a temperatura ambiente, y de C_t a 1.000°C para materiales resistivos de NiCr(Fe).

	Resistividad	C_t
NiCr 80 20 / 80Ni – 20Cr	1,09	1,05
NiCr 70 30	1,18	1,05
NiCr 60 15 / 60Ni – 16Cr	1,11	1,11
35Ni – 20Cr	1,04	1,23
NiCr 30 20	1,03	1,25
CrNi 25 20	0,95	1,32
US 2.858.208	1,16	1,06

20 El valor C_t es particularmente significativo para el tiempo de vida de la cubierta, a altas temperaturas de operación, de elementos tubulares con cubierta metálica, que consiste en una bobina eléctrica calefactora embebida en un polvo de MgO eléctricamente aislante situado en el interior de la cubierta. Esto es un resultado del hecho de que las propiedades aislantes del MgO dependen muchísimo de la temperatura y, por eso las zonas de temperatura elevada tienen tendencia a originar corrientes de fuga o incluso cortocircuitos entre la bobina calefactora y la cubierta metálica.

30 Una aplicación habitual para los elementos tubulares con una cubierta metálica con una alta temperatura de operación de la cubierta es la de una parrilla de un horno doméstico. Es bien conocido que elementos con bobinas calefactoras hechas de aleaciones del tipo NiCr 80 20 consiguen una distribución más uniforme de la temperatura a lo largo del elemento y un tiempo de vida más largo que los elementos equivalentes con la bobina calefactora hecha de aleaciones del tipo NiCr 60 15. La distribución más uniforme de la temperatura del denominado primer tipo de elemento conduce también a una distribución del calor más uniforme en el horno doméstico, algo que normalmente es de desear.

35 También se usan aleaciones basadas en el sistema Fe-Cr-Al como elementos tubulares en general, y en particular como elementos tubulares para calentar agua. Estas aleaciones, sin embargo, no son adecuadas para elementos que operan bajo condiciones de carga en que la cubierta esté incandescente, al rojo, ya que es bien sabido que la presencia de Al en las aleaciones conduce en estos casos, con el tiempo, a una pobre capacidad aislante del polvo de MgO.

40 En algunas aleaciones basadas en níquel se lleva a cabo la adición de Nb, Mo y W con el fin de mejorar las propiedades mecánicas a altas temperaturas. El alto coste de estos elementos de aleación significa, no obstante, que este procedimiento no es deseable para aplicaciones en las que el coste sea un factor significativo. En particular, la adición de Nb conduce también a una inferior capacidad de la aleación de ser trabajada en caliente, lo que da como resultado una reducción en la productividad durante la laminación en caliente, y esto introduce un aumento en los costes de producción.

45 En ciertas aleaciones basadas en níquel de uso a altas temperaturas, hallamos un nivel de C que es superior al 0,1% en peso. Estas aleaciones son conocidas como “aleaciones de colada” y no son adecuadas para trabajar usando métodos normales tales como laminación y extrusión, que se usan, entre otras aplicaciones, para formar materiales eléctricamente resistivos. El alto contenido de carbono también hace que estas aleaciones sean

inadecuadas para usar como materiales eléctricamente resistivos para calentar, debido, entre otros factores, a su limitada estabilidad frente a la oxidación.

5 Las aleaciones con un contenido de Cr superior al 25% en peso tienen, generalmente, pobres propiedades en su capacidad para ser trabajados, lo que da como resultado altos costes de producción. Esto limita el uso de tales aleaciones, por ejemplo del tipo NiCr 70 30, a aplicaciones en las que el coste es menos significativo.

10 La presente invención ofrece composiciones de una aleación de Ni-Cr-Fe que combina un coste de producción relativamente bajo, si es posible tan bajo como el de la NiCr 60 15, con las siguientes propiedades: buena estabilidad frente a la oxidación, una resistividad eléctrica relativamente alta, y un pequeño cambio en la resistividad al aumentar la temperatura tal como, por ejemplo, el de la NiCr 80 20. Los factores importantes para conseguir un bajo coste de producción son la buena capacidad de las composiciones para ser trabajadas en caliente, y el bajo contenido global de elementos caros en la aleación, tales como níquel y cobalto.

15 El documento EP 0549286 se refiere a una aleación de Cr-Fe-Ni para usar como un rodillo en aplicaciones dentro de hornos a alta temperatura. Ya que los rodillos no se calientan mediante electricidad, el anteriormente mencionado cambio de la resistividad al aumentar la temperatura, el valor C_t , no se menciona en absoluto en el documento EP 0549286.

El documento GB 1151178 se refiere a una aleación de Cr-Fe-Ni con buenas propiedades de corrosión frente a ambientes, que contienen vanadio y azufre, a temperaturas que exceden los 500°C. No se establece nada sobre dicho valor C_t .

20 El documento FR 926323 muestra una aleación de Cr-Ti que tiene 10 – 25% de Cr y 1,5 – 5% de Ti, cuya aleación muestra una buena resistencia frente a la oxidación y tensión a temperaturas elevadas. No se establece nada sobre el valor C_t .

El documento FR 2286885 muestra una aleación para uso dental que comprende Ni-Cr-Fe, donde el Ni supone hasta el 64%. La aleación es para prótesis dentales.

25 La presente invención se refiere por eso a una disposición para el calentamiento eléctrico de uso a altas temperaturas, caracterizada porque su material eléctricamente resistivo está fabricado de una aleación que comprende Ni, Cr y Fe, y porque la aleación consiste en la siguiente composición, donde los niveles de los elementos Fe, Si, C, Nb, Mo, y Mn están dentro de los siguientes intervalos, dados en porcentaje en peso:

30 Fe 5 – 13
Si 1 – 3
C <0,1
Nb <0,2
Mo <0,1
Mn hasta 2,0

35 el nivel de Cr es superior a Cr = 15% y es inferior al más bajo de los dos valores de Cr = $5 \cdot Si - 2,5 \cdot Fe + 42,5$, y Cr = 25, y como elementos opcionales Co, Ta hasta el 0,2%, N hasta el 0,2%, Al hasta el 0,4%, metales de las tierras raras Y, Ca, y Mg hasta un total del 0,3%, y Ti, Zr, Hf, Ta, Nb y V hasta un total del 0,4%, y Cu, Mo y W hasta un total del 1%, y con Ni en al menos el 57%, pero sin exceder del 69%, siendo el resto, junto con las impurezas, hasta el 1%, y el valor C_t de la aleación a 1.000°C es 1,10 o más bajo.

40 Con el fin de obtener un valor C_t satisfactorio, la aleación según la presente invención contendrá al menos el 57% de Ni, preferiblemente al menos el 60%.

Según una realización preferida, la aleación puede contener Al, Ca, Cu, Hf, Mg, Mn, Mo, N, Ta, Ti, V, W, T, Zr, y metales de las tierras raras hasta un total del 7%, e impurezas hasta un máximo del 1%. El Co puede sustituir al Ni hasta en un 5%.

45 La invención se describirá a continuación con más detalle parcialmente, en asociación con realizaciones de la invención mostradas en los dibujos que se adjuntan, donde:

- la Figura 1 muestra una región de composiciones ventajosas de la aleación según la invención, y particularmente ventajosas en comparación con las aleaciones existentes, en forma de un diagrama de fases,

- la Figura 2 muestra una región de composiciones ventajosas de la aleación según la invención, y particularmente ventajosas con un nivel de Si del 2%, en forma de un diagrama de fases, y

50 - La Figura 3 muestra una región alternativa de composiciones ventajosas de la aleación según la invención, y particularmente ventajosas con un nivel de Si del 2%, en forma de un diagrama de fases.

Según una realización, una aleación según la invención se caracteriza porque su valor C_t a 1.000°C es 1,10 o inferior. El valor C_t se puede medir como específica, por ejemplo, la norma ASTM B70-90.

Se fundieron a escala de laboratorio ocho composiciones de aleaciones diferentes, se laminaron en caliente y se estiraron en frío hasta formar alambres, siguiendo procedimientos estándar. Las composiciones químicas de las aleaciones, sus resistividades y sus valores C_t a 1.000°C se dan en la Tabla 3 y en la Tabla 4.

5 Tabla 3. Composiciones químicas (porcentaje en peso) de las fusiones de prueba. Se usa Ni como elemento que completa la composición.

Fusión Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Cr	24,0	23,6	15,9	16,1	23,8	23,6	16,4	16,4
Fe	12,8	13,1	13,0	13,1	5,0	5,3	5,2	4,9
Si	2,4	1,0	2,5	1,0	2,2	1,0	2,2	1,0
Mn	0,7	0,1	0,1	0,7	0,1	0,7	0,7	0,1
C	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
P	0,005	0,005	0,004	0,004	0,005	0,005	0,004	0,004
S	0,001	0,003	0,003	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002
Otros elementos	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5

Tabla 4. Resistividad (ohm-mm²/m) a temperatura ambiente, y C_t a 1.000°C para las fusiones de prueba.

Fusión Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Resistividad	1,24	1,16	1,16	1,11	1,23	1,16	1,12	1,05
C_t	1,086	1,097	1,074	1,088	1,054	1,064	1,059	1,077

10 La Tabla 5 da una evaluación cualitativa del coste de las materias primas, la capacidad de trabajo en caliente, la estabilidad frente a la oxidación y el tiempo de vida del elemento tubular de las fusiones de prueba. También se ha incluido la evaluación cualitativa de la resistividad y del valor C_t de las aleaciones con el fin de facilitar la comparación. La evaluación del coste de las materias primas está basada en el nivel de Ni en las aleaciones y la evaluación de la capacidad de trabajo en caliente se basa en los resultados de la laminación en caliente. La estabilidad frente a la oxidación se ha evaluado calentando alambres de muestra con una potencia eléctrica constante que es producida por una corriente eléctrica que es transportada a través de ellos, por lo que los alambres de prueba han sido expuestos cíclicamente a periodos de dos minutos encendidos y dos minutos apagados. Se registraron y se compararon mutuamente los tiempos empleados por los alambres para encenderse totalmente. El tiempo de vida de los elementos tubulares se evaluó probando los elementos tubulares con una cubierta metálica, cuyos elementos se han fabricado mediante métodos convencionales con un alambre resistivo a partir de cada fusión de prueba. El ensayo se llevó a cabo de manera que cada elemento tubular fue sometido a carga cíclica con una potencia eléctrica constante en periodos de 60 minutos encendidos y 20 minutos apagados. Se registraron y se compararon mutuamente los tiempos empleados por los elementos tubulares para dejar de funcionar.

25 Tabla 5. Evaluación cualitativa de las propiedades de las fusiones de prueba. “+” especifica la propiedad se ha evaluado como que es mejor que la media, “0” como la media, y “-” más pobre que la media. “X” especifica que no se ha evaluado la propiedad.

Fusión Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Coste de materias primas	+	+	0	0	0	0	-	-
Capacidad de trabajo en caliente	0	0	0	0	-	0	0	0
Estabilidad frente a la oxidación	-	-	-	+	-	0	+	0
Tiempo de vida del elemento tubular	X	0	0	0	X	+	0	+
Resistividad	+	0	0	-	+	0	-	-
C_t	-	-	0	-	+	+	+	0

30 Los resultados muestran que hay una correlación compleja entre los niveles de los elementos básicos Ni, Cr, Fe y Si, con el fin de obtener una combinación de las propiedades deseadas: alta resistividad, C_t bajo, alta estabilidad frente a la oxidación y larga tiempo de vida del elemento tubular. El que se pueda hallar un compromiso óptimo entre estas propiedades y una buena capacidad de trabajo en caliente y de bajo coste de las materias primas, está únicamente dentro de una limitada región de composiciones.

El análisis de los datos obtenidos para las propiedades evaluadas de las fusiones en el laboratorio ha hecho posible determinar qué intervalo de composiciones es ventajoso, y particularmente ventajoso, para una aleación según la invención. La Figura 1 muestra una visión de conjunto de la región en la que se pueden hallar las composiciones ventajosas y particularmente ventajosas de la aleación según la invención. Las composiciones de las aleaciones resistivas existentes de NiCr(Fe), según la Tabla 1, han sido marcadas para su comparación. El dibujo es únicamente una ilustración, y no toma en consideración pequeñas desviaciones que dependen de la presencia de otros elementos de la aleación distintos del Ni, Co, Fe y Cr.

5

Una aleación según la invención contiene al menos 1% de Si, preferiblemente al menos 1,5% de Si. La adición de Si eleva la resistencia a la corrosión y la resistividad, y disminuye el valor C_t .

10

Es una ventaja que una aleación según la invención tenga una composición (dada en porcentajes en peso) en la que el nivel de Fe caiga dentro del intervalo de 5 a 13, y el de Si caiga dentro del intervalo de 1 a 3, y donde el nivel de Cr sea superior a $Cr = 15$ e inferior al más bajo de los dos valores $Cr = 5 \cdot Si - 2,5 \cdot Fe + 42,5$, y $Cr = 25$, y donde el Ni constituya el resto, sin que el nivel de Ni exceda el 68%.

15

También se prefiere que la aleación contenga hasta el 5% de Co, como sustituyente del Ni, y hasta el 2% de Mn. La aleación puede contener, además de esto, Al en un nivel de hasta el 0,4% y metales de las tierras raras (lantánidos, es decir elementos desde el La al Lu), Y, Ca, y Mg hasta un nivel total del 0,3%. Puede contener además elementos que forman nitruros y carburos, tales como Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, y V hasta un nivel total del 0,4%; sin embargo, unos valores de estas sustancias que sean demasiado altos pueden dar lugar a que llegue a ser difícil fabricar la aleación. El nivel de C es inferior al 0,1%, y el nivel de N no excede el 0,2%. El nivel total de Cu, Mo, y W no excede el 1%.

20

Puede haber presentes otras sustancias que constituyen impurezas en la presente aleación y que derivan de las materias primas y del proceso de fabricación en niveles de hasta el 1%.

Una aleación con una composición preferida según la anterior descripción se caracteriza porque su valor C_t a 1.000°C es 1,08 o más bajo. La Figura 2 muestra con detalle la región de estas composiciones para un nivel de Si del 2%. La forma en la que se cambia la región con un nivel creciente o decreciente de Si está indicada en el dibujo.

25

Se prefiere en particular que la aleación según la invención tenga una composición (dada en porcentajes en peso) en la que el nivel de Fe caiga dentro del intervalo de 5 a 13, y el de Si caiga dentro del intervalo de 1 a 3, y donde el nivel de Cr sea superior a $Cr = 15$ e inferior al más bajo de los dos valores $Cr = 0,7 \cdot Si \cdot (2 \cdot Si - 1) - 2,5 \cdot Fe + 42,5$, y $Cr = 25$, y donde el Ni constituya el resto, sin que el nivel de Ni exceda el 68%.

30

También se prefiere que la aleación contenga también hasta el 5% de Co como sustituyente del Ni, y hasta el 2% de Mn. La aleación puede contener, además de esto, Al en un nivel de hasta el 0,4% y metales de las tierras raras (lantánidos, es decir elementos desde el La al Lu), Y, Ca, y Mg hasta un nivel total del 0,3%. Puede contener además elementos que forman nitruros y carburos, tales como Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, y V hasta un nivel total del 0,4%. El nivel de C es inferior al 0,1% y el nivel de N no excede del 0,2%. El nivel total de Cu, Mo y W no excede el 1%.

35

Puede haber presentes otras sustancias que constituyen impurezas en la presente aleación y que derivan de las materias primas y del proceso de fabricación en niveles de hasta el 1%.

Una aleación con una composición preferida según la anterior descripción se caracteriza porque su valor C_t a 1.000°C es 1,07 o inferior. La Figura 3 muestra con detalle la región de estas composiciones para un nivel de Si del 2%. La forma en la que se cambia la región con un nivel creciente o decreciente de Si está indicada en el dibujo.

40

A continuación se da un ejemplo específico de una aleación según la invención. La aleación contiene (los niveles se dan en porcentajes en peso):

Cr	22,5
Fe	8,9
Si	2,5
Mn	0,7
45 C	0,01
N	0,03
Ce	0,01
C	<0,01
Nb	<0,01
50 impurezas,	hasta el 0,7%
Ni	el resto

Esta composición se ha fundido usando un método industrial y a tamaño natural, se ha laminado en caliente y estirada en frío hasta dar un alambre como el especificado por los procedimientos estándar y se han obtenido así las siguientes propiedades ventajosas:

55

una capacidad de trabajo en caliente que es tan buena como las de NiCr 80 20 y NiCr 60 15,

ES 2 447 022 T3

una estabilidad frente a la oxidación que es aproximadamente un 50% superior a la de una cualquiera de las aleaciones de la Tabla 2, las cuales han sido probadas, todas ellas, usando el mismo método,

una resistividad de $1,22 \text{ ohm}\cdot\text{mm}^2/\text{m}$

y un valor C_t de 1,067 a 1.000°C .

- 5 Se ha investigado tiempo de vida de la aleación según el ejemplo, cuando el elemento es un elemento calefactor no aislado que irradia libremente en un horno industrial. La temperatura del horno era de 900°C y el elemento se alimentó con una potencia eléctrica constante durante periodos de 90 segundos y se dejó sin potencia eléctrica durante 30 segundos. El tiempo de vida resultante fue aproximadamente el mismo tiempo de vida que el de la aleación NiCr 70 30, un 25% inferior al de la NiCr 80 20 y un 65% inferior al de la NiCr 60 15.
- 10 Es importante en las presentes composiciones que el nivel de Nb sea bajo. Esto se ilustra por lo siguiente. Se preparó una fusión usando el mismo método de fabricación y con una idéntica composición que en el ejemplo anterior, excepto por la adición de un 0,2 por ciento en peso de Nb.
- La adición de Nb dio como resultado un tiempo de vida frente a la oxidación que se acorta en un 40% y la capacidad de trabajo en caliente empeora hasta un nivel que corresponde a la de la NiCr 70 30. La resistividad y el valor C_t permanecieron invariables.
- 15 El tiempo de vida del elemento calefactor se acortó en casi un 50%.
- Sin embargo, se puede aceptar un cierto bajo nivel de Nb para ciertas aplicaciones, incluso si ciertas propiedades son pobres, debido al hecho de que el coste de fabricación se hace inferior al de un material conocido con las correspondientes propiedades.
- 20 Se espera que el efecto de una adición de Ta sea el mismo que el de la adición de Nb en la presente invención. El nivel de Ta se deberá limitar también, por esta razón, hasta un valor del 0,2 por ciento en peso.

REIVINDICACIONES

1. Una disposición para el calentamiento eléctrico de uso a altas temperaturas, caracterizada porque su material eléctricamente resistivo está fabricado de una aleación que comprende Ni, Cr y Fe, y porque la aleación consiste en la siguiente composición, donde los niveles de los elementos Fe, Si, C, Nb, Mo, y Mn están dentro de los siguientes intervalos, dados en porcentaje en peso:
- 5 Fe 5 – 13
Si 1 – 3
C <0,1
Nb <0,2
10 Mo <0,1
Mn hasta 2,0
- el nivel de Cr es superior a $Cr = 15\%$ y es inferior al más bajo de los dos valores de $Cr = 5 \cdot Si - 2,5 \cdot Fe + 42,5$, y $Cr = 25$, y como elementos opcionales Co hasta el 5%, Ta hasta el 0,2%, N hasta el 0,2%, Al hasta el 0,4%, metales de la tierras raras Y, Ca, y Mg hasta un total del 0,3%, y Ti, Zr, Hf, Ta, Nb y V hasta un total del 0,4%, y Cu, Mo y W hasta un total del 1%, y con Ni en al menos el 57%, pero sin exceder del 69%, siendo el resto, junto con las impurezas, hasta el 1%, y el valor C_t de la aleación a 1.000°C es 1,10 o inferior.
- 15 2. Una aleación según la reivindicación 1, caracterizada porque el Ni comprende el resto, mientras que su nivel no excede el 68%.
3. Una aleación según la reivindicación 1, caracterizada porque el Ni comprende el resto, mientras que su nivel no exceda el 67%.
- 20 4. Una aleación según la reivindicación 1, caracterizada porque el Ni comprende el resto, mientras que su nivel no exceda el 66%.
5. Una aleación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 – 4, caracterizada porque la aleación contiene hasta un 5% de Co como sustituyente del Ni.
- 25 6. Una aleación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 – 4, caracterizada porque la aleación contiene hasta un 0,8% de Co como sustituyente del Ni.
7. Una aleación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 – 4, caracterizada porque la aleación contiene hasta un 0,5% de Co como sustituyente del Ni.
8. Una aleación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 – 4, caracterizada porque la aleación contiene hasta un 0,1% de Co como sustituyente del Ni.
- 30 9. Una aleación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizada porque contiene Al, Ca, Cu, Hf, Mg, Mn, Mo, N, Nb, Ta, Ti, V, W, Y, Zr y metales de las tierras raras hasta un nivel total del 7%, porque el nivel de impurezas constituye un máximo del 1%.
10. Una aleación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizada porque contiene
- 35 N hasta un 0,2%
Mn hasta un 2%
Al hasta un 0,4%
y metales de las tierras raras, Y, Ca, y Mg hasta un total del 0,3%;
Ti, Zr, Hf, Ta, Nb y V hasta un total del 0,4%;
40 y Cu, Mo y W hasta un total del 1%
e impurezas hasta el 1%.
11. Una aleación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizada porque contiene Mn hasta un nivel del 1%.
12. Una aleación según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque su valor C_t a 1.000°C es de 1,08 o inferior.
- 45 13. Una aleación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizada porque el nivel de Cr es superior a $Cr = 15\%$ y porque es inferior al más bajo de los dos valores $Cr = 0,7 \cdot Si \cdot (2 \cdot Si - 1) - 2,5 \cdot Fe + 42,5$, y $Cr = 25\%$.
14. Una aleación según la reivindicación 13, caracterizada porque su valor C_t a 1.000°C es 1,07 o inferior.

50

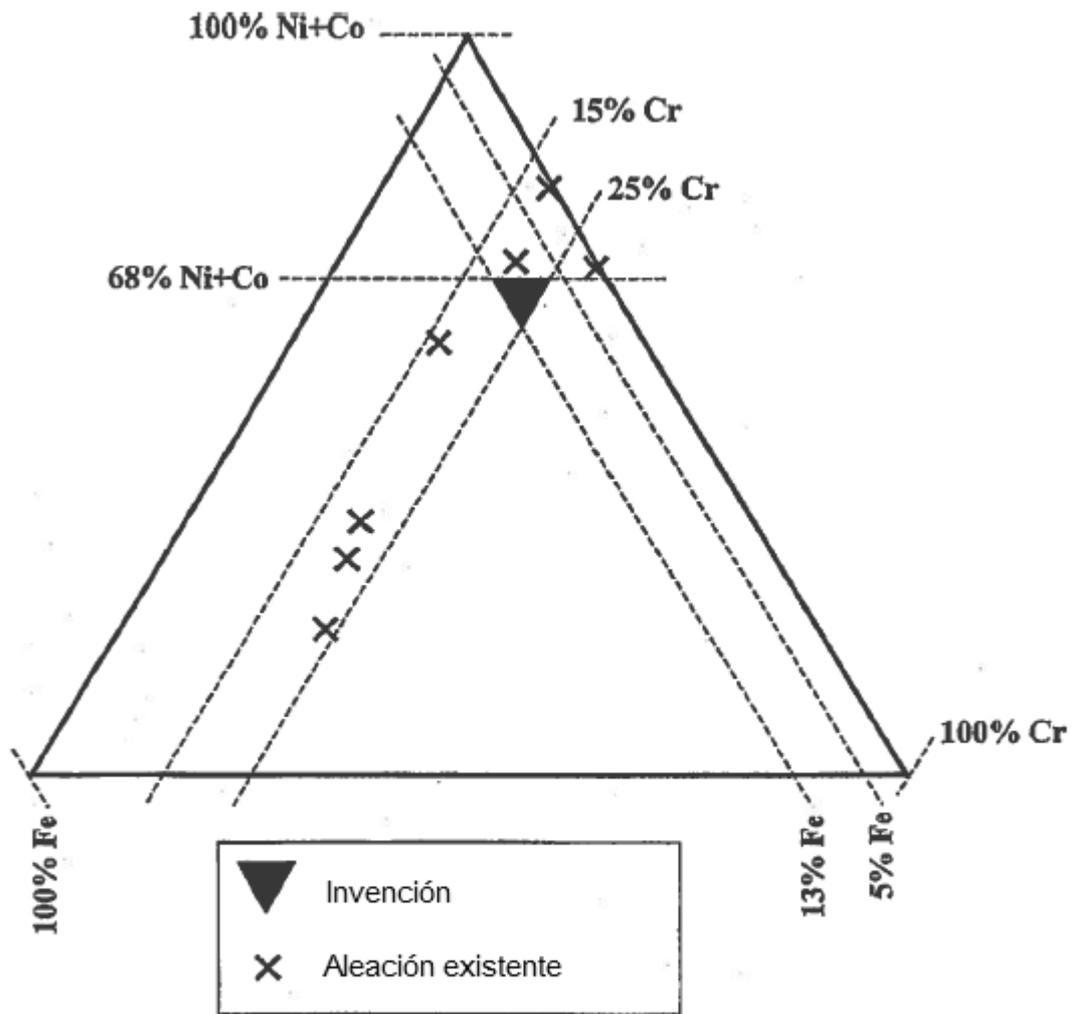


Fig. 1

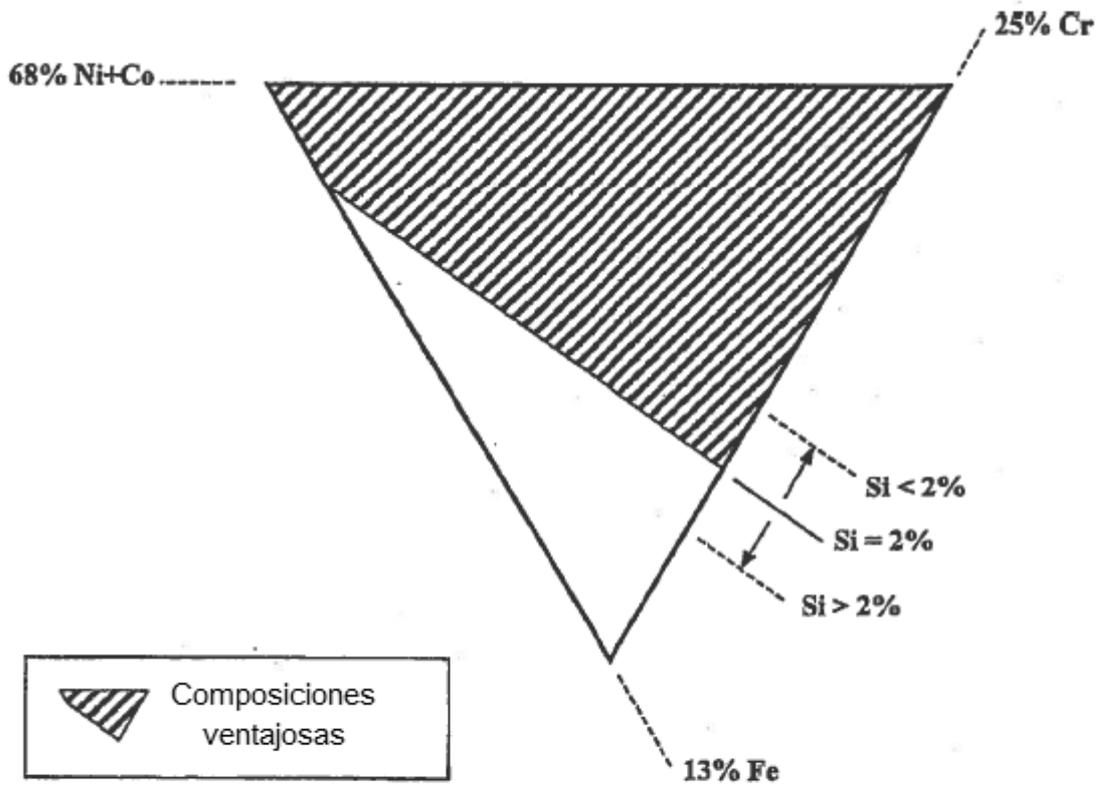


Fig. 2

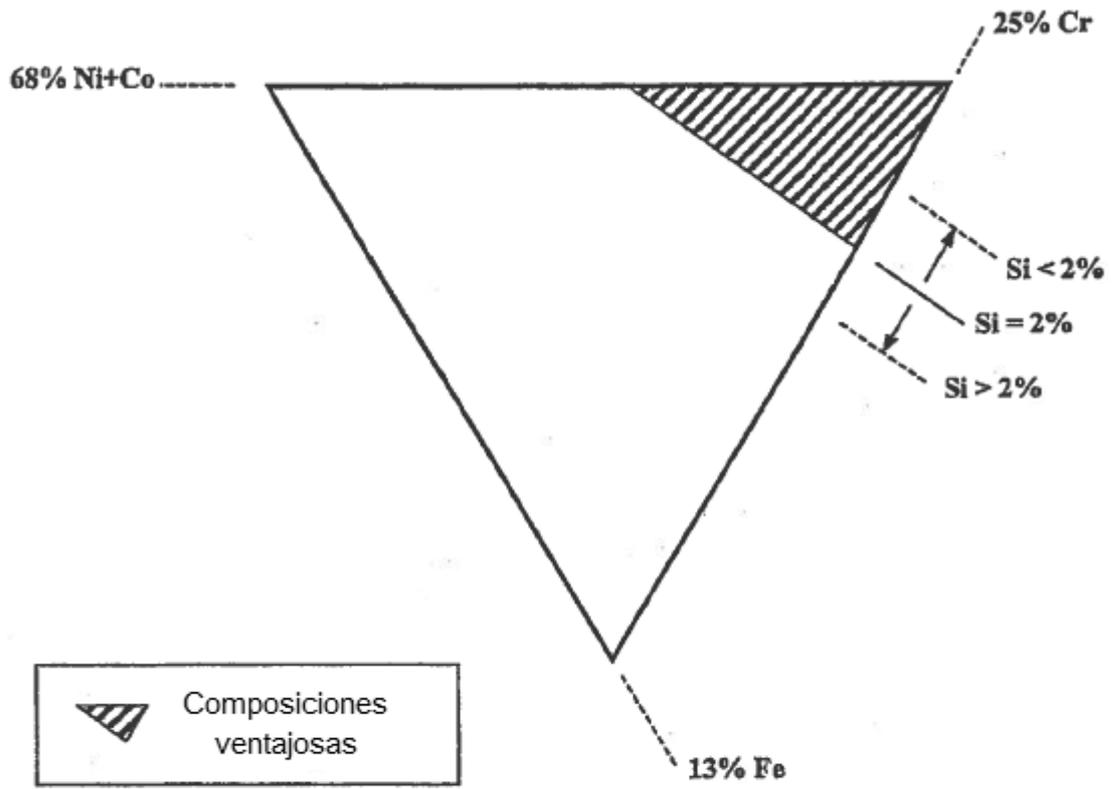


Fig. 3