

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 633 014**

51 Int. Cl.:

C22C 19/05 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.02.2012 PCT/DE2012/000153**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.08.2012 WO12113373**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.02.2012 E 12720397 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.04.2017 EP 2678458**

54 Título: **Aleación de níquel, cromo, hierro y aluminio con buena trabajabilidad**

30 Prioridad:

23.02.2011 DE 102011012210
10.02.2012 DE 102012002514

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.09.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

HATTENDORF, HEIKE y
KLÖWER, JUTTA

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 633 014 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 níquel, cromo, hierro y aluminio con buena trabajabilidad

La invención se refiere a una aleación de níquel, cromo, hierro y aluminio con una resistencia a la corrosión a alta temperatura sobresaliente, buena resistencia a la fluencia lenta y una trabajabilidad mejorada.

5 Las aleaciones austeníticas de níquel, cromo, hierro y aluminio con diferentes cantidades de níquel, cromo y aluminio se utilizan desde hace bastante tiempo en la construcción de hornos y en la industria química. Para este uso es necesario una buena resistencia a la corrosión a alta temperatura y una buena resistencia en caliente y a la fluencia lenta incluso para temperaturas superiores a 1000 °C.

10 En general hay que señalar que la resistencia a la corrosión a alta temperatura de las aleaciones indicadas en la tabla 1 aumenta al aumentar el contenido de cromo. Todas estas aleaciones forman una capa de óxido de cromo (Cr₂O₃) con una capa de óxido de aluminio (Al₂O₃) subyacente más o menos cerrada. Pequeñas adiciones de elementos de gran afinidad con el oxígeno, por ejemplo, Y y Ce, mejoran la resistencia a la oxidación. El cromo incluido para formar la capa de protección se va consumiendo lentamente a medida que se usa el material en la aplicación concreta de la que se trate. Por lo tanto, un mayor contenido de cromo aumenta la vida útil del material
15 puesto que un mayor contenido de cromo que constituye la capa de protección aplaza el instante en el que el contenido de cromo es inferior al límite crítico, a partir del que se forman otros óxidos distintos al óxido de cromo, Cr₂O₃, que contienen, por ejemplo, hierro y níquel. Un aumento adicional de la resistencia a la corrosión a alta temperatura se puede conseguir añadiendo aluminio y silicio. A partir de un contenido mínimo determinado estos elementos forman una capa cerrada bajo la capa de óxido de cromo y reducen así el consumo de cromo.

20 La resistencia en caliente y a la fluencia lenta para las temperaturas indicadas se mejora entre otras cosas si el contenido de carbono es alto.

Algunos ejemplos de estas aleaciones están recogidos en la tabla 1.

25 Las aleaciones N06025, N06693 o N06603 se conocen por su resistencia a la corrosión sobresaliente en comparación con las aleaciones N06600, N06601 o N06690 gracias al alto contenido de aluminio. También las aleaciones N06025, N06603 debido al alto contenido de carbono presentan una resistencia en caliente y una resistencia a la fluencia lenta sobresaliente incluso a temperaturas superiores a 1000 °C. Sin embargo, por ejemplo, debido a estos altos contenidos de aluminio se ve empeorada la trabajabilidad, por ejemplo, la conformabilidad y la soldabilidad siendo mayor el perjuicio cuanto mayor sea el contenido de aluminio (N06693). Lo mismo cabe decir en gran medida del silicio que forma fases intermetálicas de bajo punto de fusión conjuntamente con el níquel. En el caso de N06025 se pudo conseguir, por ejemplo, la soldabilidad mediante la utilización de un gas de soldadura especial (Ar con 2% de nitrógeno; ficha de producto Nicrofer 6025 HT de la empresa ThyssenKrupp VDM). El alto contenido de carbono en las aleaciones N06025, N06603 tiene como consecuencia la existencia de un alto contenido de carburos primarios que, por ejemplo, para grandes deformaciones, por ejemplo, las que se dan en el embutido profundo derivan en la formación de fisuras que se originan en los carburos primarios. Algo parecido
30 ocurre cuando se fabrican tubos sin cordones de soldadura. El problema también en este caso se acentúa al aumentar el contenido de carbono en particular para la aleación N06025.

35 La patente europea EP0508058 A1 divulga una aleación austenítica de níquel, cromo, hierro que consta en % en peso de: C 0,12-0,3 %, Cr 23-30%; Fe 8-11%, Al 1,8-2,4%; Y 0,01-0,15%; Ti 0,01-1,0%; Nb 0,1-1,0% Zr 0,01-0,2%; Mg 0,001-0,015%, Ca 0,001%-0,01%, N máx 0,03%; Si máx. 0,5%; Mn máx. 0,25%, P máx. 0,02%, S máx. 0,01%, y el resto Ni inclusive las inevitables impurezas debidas a la fusión.

40 La patente europea EP0549286 divulga una aleación de níquel-cromo resistente a alta temperatura que contiene 55-65% Ni, 19-25% Cr, 1-4,5% Al; 0,045-0,3% Y; 0,15-1% Ti; 0,005-0,5% C; 0,1-1,5% Si; 0-1% Mn y al menos 0,005% agregado de, uno o varios, al menos uno, de los elementos Mg, Ca, Ce; <0,5% agregado de Mg y Ca; < 1% de Ce, 0,0001-0,1% B; 0-0,5% Zr; 0,0001-0,2% N, 0-10% de Co y el resto es hierro e impurezas.

45 En el documento de patente de Alemania DE 60004737 T2 se da a conocer una aleación a base de níquel resistente al calor que contiene unas cantidades $\leq 0,1\%$ C; $0,01-2\%$ Si; $\leq 2\%$ Mn, $\leq 0,005\%$ S, 10-25% Cr, 2,1-4,5 % Al, $\leq 0,055\%$ N, en total $0,001-1\%$ de al menos uno de los elementos B, Zr, Hf pudiendo estar presentes los elementos mencionados en las siguientes cantidades $B \leq 0,03\%$; $Zr \leq 0,2\%$; $Hf < 0,8\%$; Mo 0,01-15%, W 0,01-9% pudiendo ser el contenido total agregado de Mo y W de 2,5-15%; Ti 0-3%; Mg 0-0,1%; Ca 0-0,01%, Fe 0-10%, Nb 0-1%; V 0-1%;
50 Y 0-0,1%; La 0-0,1%, Ce 0-0,01% Nd 0-0,1%, Cu 0-5%, Co 0-5%, y el resto níquel. En cuanto al Mo y W se tiene que cumplir la siguiente fórmula:

$$2,5 \leq \text{Mo} + \text{W} \leq 15 \% \quad (1)$$

El objetivo de la invención es conseguir una aleación que para unas cantidades suficientemente altas de níquel, cromo y aluminio tenga:

55 • una buena trabajabilidad, es decir, conformabilidad, embutibilidad, y soldabilidad

- una buena resistencia a la corrosión, parecida a la de la aleación N06025
- una buena resistencia en caliente y resistencia a la fluencia lenta

5 Este objetivo se consigue con una aleación de níquel, cromo, aluminio y hierro con un % en peso de: 12-28% de cromo, 1,8-3,0% de aluminio; 1,0-15% de hierro; 0,01-0,5% de silicio, 0,005 a 0,5% de manganeso; 0,01- 0,20% de itrio, 0,02-0,60% de titanio; 0,01-0,2% de circonio; 0,0002 -0,05% de magnesio; 0,0001-0,05% de calcio; 0,03-0,11% de carbono; 0,003-0,05% de nitrógeno; 0,0005-0,008% de boro; 0,0001-0,010% de oxígeno; 0,001-0,030% de fósforo; máx. 0,010% de azufre; máx. 0,5% de molibdeno; máx. 0,5% de wolframio; pudiendo sustituirse el ytrio, si es necesario, total o parcialmente por 0,001% -0,2% de lantano y/o por 0,001% a 0,2% de Ce; y pudiendo sustituirse el titanio, si es necesario, total o parcialmente por 0,001% a 0,6% de niobio; el resto sería níquel y las impurezas habituales de los procesos habiéndose de cumplir las siguientes relaciones:

10 $0 < 7,7 C - x \cdot a < 1,0$ (2)

$a = PN$ si $PN > 0$ (3a)

o $a = 0$ si $PN \leq 0$ (3b)

y $x = (1,0 Ti + 1,06 Zr) / (0,251 Ti + 0,132 Zr)$ (3c)

15 y $PN = 0,251 Ti + 0,132 Zr - 0,857 N$ (4)

siendo los valores de Ti, Zr, N, C las concentraciones de los elementos respectivos en % en masa y pudiendo sustituirse el circonio, si es necesario, total o parcialmente por 0,001 a 0,2% de hafnio y pudiendo sustituirse las fórmulas 3c y 4 por las siguientes fórmulas:

y $x = (1,0 Ti + 1,06 Zr + 0,605 Hf) / (0,251 Ti + 0,132 Zr + 0,0672 Hf)$ (3c-1)

20 siendo $PN = 0,251 Ti + 0,132 Zr + 0,0672 Hf - 0,857 N$ (4-1)

siendo los valores Ti, Zr, Hf, N, C las concentraciones respectivas de los elementos en % en masa.

Las configuraciones ventajosas del objeto de la invención se indican en las reivindicaciones dependientes asociadas.

25 El intervalo de variabilidad para el cromo está entre 12 y 28% pudiendo haber en la aleación, en función de la aplicación, los siguientes contenidos de cromo.

Los intervalos preferidos son los siguientes:

- 16 a 28%
- 20 a 28%
- >24 a 27%
- 30 - 19 a 24%

El contenido de aluminio está entre 1,8% y 3,0% pudiendo haber también en este caso, en función de la aplicación de la aleación las cantidades de aluminio siguientes:

- 1,9 a 2,9%
- 1,9 a 2,5%
- 35 - >2,0 a 2,5%

El contenido de hierro está entre 1,0 y 15% pudiéndose elegir, en función de la aplicación, cantidades concretas dentro de los intervalos siguientes:

- 1,0 a 11,0%
- 1,0 a 7,0%
- 40 - 7,0 a 11,0%

El contenido de silicio está entre 0,01 y 0,50%. Preferiblemente el silicio de la aleación se elegirá dentro de los intervalos siguientes:

- 0,01 a 0,20%

ES 2 633 014 T3

- 0,01 a <0,10%

Lo mismo se aplica para el manganeso que puede formar parte de la aleación en porcentajes de 0,005 a 0,5%. Alternativamente también se podrían considerar los siguientes intervalos:

- 0,005 a 0,20%

5 - 0,005 a 0,10%

- 0,005 a <0,05%

El objeto de la invención se basa, preferiblemente, en que las propiedades del material se pueden ajustar fundamentalmente gracias a la adición de itrio en cantidades de 0,01 a 0,20%. Preferiblemente se puede ajustar el contenido de itrio de la aleación dentro del intervalo siguiente:

10 - 0,01 a 0,15%

- 0,02 a 0,15%

- 0,01 a 0,10%

- 0,02 a 0,10%

- 0,01 a <0,045%

15 Alternativamente también se puede sustituir el itrio completamente o parcialmente por:

- 0,001 a 0,20% de lantano y/o 0,001 a 0,20% de Ce

Preferiblemente el sustituyente respectivo se puede incluir en la aleación dentro del siguiente intervalo:

0,001 a 0,15%

20 El contenido de titanio está entre 0,02 y 0,60%. Preferiblemente el titanio de la aleación se puede elegir dentro de los intervalos siguientes:

- 0,03 a 0,30%

- 0,03 a 0,20%

Opcionalmente también se puede sustituir el titanio total o parcialmente por:

- 0,001 a 0,60% de niobio

25 Preferiblemente el sustituyente se puede incluir en la aleación dentro del intervalo siguiente:

- 0,001 a 0,30%

Alternativamente también se puede sustituir el titanio total o parcialmente por 0,001 a 0,60% de tántalo

Preferiblemente el sustituyente se puede incluir en la aleación dentro del intervalo siguiente:

- 0,001 a 0,30%

30 El contenido de circonio está entre 0,01 y 0,20%. Preferiblemente se puede elegir el contenido de circonio de la aleación dentro del intervalo siguiente:

- 0,01 a 0,15%

- 0,01 a 0,08%

- 0,01 a 0,06%

35 Alternativamente también se puede sustituir el circonio total o parcialmente por:

-0,001-0,2% de hafnio

También se incluye magnesio en cantidades de entre 0,0002 y 0,05%. Preferiblemente existe la posibilidad de ajustar la cantidad de este elemento en la aleación dentro del siguiente intervalo:

- 0,0005 a 0,03%.

ES 2 633 014 T3

La aleación contiene además calcio en cantidades de entre 0,0001 y 0,05%, en particular, de entre 0,0005 y 0,02%.

La aleación contiene 0,03- 0,11% de carbono. Preferiblemente el contenido de carbono de la aleación se puede elegir dentro del siguiente intervalo:

- 0,04 a 0,10%

- 5 Lo anterior cabe decirlo igualmente del nitrógeno que puede estar presente en cantidades de entre 0,003 y 0,05%. Las cantidades pueden ser las siguientes:

- 0,005 a 0,04%.

En la aleación pueden estar incluidos boro y oxígeno en las siguientes cantidades:

- boro 0,0005 a 0,008%

- 10 - oxígeno 0,0001 a 0,010%

Las cantidades preferidas pueden ser las siguientes:

- boro 0,0015 -0,008%

La aleación contiene además fósforo en cantidades de entre 0,001 y 0,030%, en particular, de entre 0,002 y 0,020%.

El azufre puede formar parte de la aleación en la siguiente cantidad:

- 15 - azufre máx. 0,010%

El molibdeno y el wolframio pueden estar incluidos individualmente o combinadamente en la aleación en unas cantidades respectivas máximas de 0,50%. Las cantidades preferidas pueden ser las siguientes:

- Mo máx. 0,20%

- W máx. 0,20%

- 20 - Mo máx. 0,10%

- W máx. 0,10%

- Mo máx. 0,05%

- W máx. 0,05%

Han de cumplirse las siguientes relaciones que describen las interacciones entre los elementos Ti, Zr, N y C.

- 25 $0 < 7,7C_x \cdot a < 1,0$ (2)

$a = PN$ si $PN > 0$ (3a)

$a = 0$ si $PN \leq 0$ (3b)

$x = (1,0 Ti + 1,06 Zr) / (0,251 Ti + 0,132 Zr)$ (3c)

siendo $PN = 0,251 Ti + 0,132 Zr - 0,857 N$ (4)

- 30 Los valores Ti, Zr, N, C son las concentraciones de cada elemento en % en masa.

El intervalo preferido resultaría de:

$0 < 7,7C_x \cdot a < 0,90$ (2a)

Cuando se sustituye el circonio total o parcialmente por hafnio hay que modificar las fórmulas 3c y 4 según lo siguiente:

- 35 $x = (1,0 Ti + 1,06 Zr + 0,605 Hf) / (0,251 Ti + 0,132 Zr + 0,0672 Hf)$ (3c-1)

siendo $PN = 0,251 Ti + 0,132 Zr + 0,672 Hf - 0,857 N$ (4-1)

Los valores Ti, Zr, N, C son las concentraciones de cada elemento en % en masa.

Además la aleación puede contener entre un 0,01 y un 5,0% de cobalto que además puede limitarse según lo siguiente:

- 0,01 a 2,0%

- 0,1 a 2,0%

-0,01 a 0,5%

Además en la aleación puede incluirse como máximo 0,1% de vanadio.

- 5 Finalmente pueden existir impurezas correspondientes a elementos como el cobre, el plomo, el zinc y el estaño en las cantidades siguientes:

Cu máx. 0,50%

Pb máx. 0,002%

Zn máx. 0,002%

- 10 Sn máx. 0,002%

El contenido de cobre puede estar limitado según lo siguiente:

Cu < 0,015%

- 15 La aleación según la invención preferiblemente se funde al aire y a continuación se somete a un tratamiento en una instalación VOD o VLF. Después de la colada en lingotes o continua se conforma en caliente la aleación hasta lograr el producto semiterminado deseado, en su caso con recocidos intermedios entre 900 °C y 1270 °C durante entre 2 horas y 70 horas. La superficie del material puede eliminarse en su caso (también puede hacerse varias veces) a lo largo del proceso y/o al final para limpiarla química y/o mecánicamente. Tras terminar la conformación en caliente se puede hacer en su caso una conformación en frío con un grado de conformación de hasta un 98% hasta lograr el producto semiterminado deseado en su caso con recocidos intermedios entre 800 °C y 1250 °C entre 0,1 minutos y 70 horas, en su caso con una atmósfera de gas de protección, por ejemplo, argón o hidrógeno, seguida de un enfriamiento al aire en una atmósfera de recocido en movimiento o en un baño de agua. A continuación se hace un recocido entre 800 °C y 1250 °C entre 0,1 minutos y 70 horas, en su caso con gas de protección, por ejemplo, argón o hidrógeno seguido de un enfriamiento al aire en una atmósfera de recocido en movimiento o en un baño de agua. En su caso puede hacerse limpieza química y/o mecánica de la superficie del material a lo largo de todo el proceso.

- 25 La aleación según la invención se puede fabricar bien y usar satisfactoriamente en forma de tiras, chapa, barra, alambre, tubos con cordones de soldadura longitudinales y tubos sin soldadura.

La aleación según la invención se utilizará preferiblemente para construcción de hornos, por ejemplo, para muflas de hornos de recocido, rodillos, o bases de soporte.

Otro campo de aplicación es el de los tubos de la industria petroquímica o de las centrales termosolares.

- 30 Igualmente se puede utilizar la aleación como revestimiento de bujías incandescentes, como sustratos de catalizadores y como componente de los sistemas de escape de gases.

La aleación según la invención es adecuada para la fabricación de piezas por embutido profundo.

Ensayos realizados

- 35 La ductilidad se determinó en un ensayo de tracción según la norma DIN EN ISO 6892-1 a temperatura ambiente. El límite elástico $R_{p0,2}$, la resistencia a tracción R_m y el alargamiento de rotura A . El alargamiento se determinó utilizando el testigo roto a partir de la variación de la longitud inicial L_0 .

$$A = (L_u - L_0) / L_0 \cdot 100\% = \Delta L / L_0 \cdot 100\%$$

Siendo L_u la longitud tras rotura.

En función de la longitud medida se asocia un índice al alargamiento de rotura.

- 40 Por ejemplo A_5 corresponde a $L_0 = 5 \cdot d_0$, siendo d_0 el diámetro inicial de una barra sección circular

Los ensayos se realizaron con barras de sección circular de un diámetro de 6 mm en la zona de medida y una longitud L_0 de 30 mm. Las muestras se tomaron transversalmente a la dirección de deformación del producto semiterminado La velocidad de deformación para $R_{p0,2}$ fue de 10 MPA/s y para R_m $6,7 \cdot 10^{-3}$ 1/s (40%/min).

- 45 El valor del alargamiento A en el ensayo de tracción a temperatura ambiente se puede tomar como indicador de la ductilidad. Un material de buena trabajabilidad tendría que tener un alargamiento de 50% como mínimo.

La soldabilidad se evaluó a partir de las dimensiones de fisuras térmicas (véase la ficha técnica DVS 1004-1). Cuanto mayor sea el riesgo de formación de fisuras térmicas más complicado de soldar es un material. La tendencia a la formación de fisuras térmicas se evaluó mediante un ensayo *varestraint transvarestraint* modificado (Ensayo MVT) en el Laboratorio federal de Alemania de ensayos e investigación de materiales (véase la ficha técnica 1004-2). En un ensayo MVT sobre la cara superior de un testigo de material de dimensiones 100 mm x 40 mm x 10 mm se hizo de forma completamente automática un cordón longitudinal mediante soldadura WIG con una velocidad de avance constante. Cuando el arco eléctrico paso por el centro del testigo se aplicó sobre este una deformación de flexión definida, doblándose el testigo mediante estampa alrededor de una matriz con un radio conocido. En esta fase de doblado se formaron fisuras térmicas en una zona de ensayo concreta del testigo MVT. Para las mediciones los testigos se doblaron a lo largo de la dirección de soldadura (Varestraint). Se realizaron ensayos con una deformación de flexión de entre un 1% y un 4% y una velocidad de estampa de 2 mm/s con una energía de deformación de 7,5 kJ/cm respectivamente, en argón 5,0 y en argón con un 3% de nitrógeno. La resistencia a la formación de fisuras térmicas se cuantificó como sigue: se sumaron las longitudes de todas las fisuras de refundición y solidificación que se pudieron apreciar en el testigo con un microscopio óptico a 25 aumentos. De la misma manera se determinaron las fisuras por caída de ductilidad (DDC= *ductility dip cracks*). En base a estos resultados se puede clasificar entonces el material en las siguientes categorías: sin formación de fisuras térmicas, con tendencia a formación de fisuras térmicas y con riesgo de formación de fisuras térmicas.

	Longitud total de las fisuras de refundición y solidificación en mm		
Deformación de flexión	sin formación de fisuras térmicas	con tendencia a formación de fisuras térmicas	con riesgo de formación de fisuras térmicas
1%	≤ 0	≤ 7,5	> 7,5
4%	≤ 15	≤ 30	> 30

Todos los materiales que estén clasificados tras el ensayo en los intervalos «sin formación de fisuras térmicas» y «con tendencia a formación de fisuras térmicas» se consideran en los siguientes ensayos como soldables.

La resistencia a la corrosión a alta temperatura se determinó en un test de oxidación a 1100 °C con aire interrumpiéndose el ensayo cada 96 horas y determinándose las variaciones de masa de los testigos debida a la oxidación (variación de masa neta, m_N). La variación de masa neta específica es la variación de masa por unidad de superficie de los testigos. De cada lote se utilizaron 3 testigos.

La resistencia en caliente se determinó en un ensayo de tracción en caliente según la norma DIN EN ISO 6892-2. El límite elástico $R_{p0,2}$, la resistencia a la tracción R_m y el alargamiento de rotura A se determinaron análogamente al ensayo de tracción a temperatura ambiente (según la norma DIN EN ISO 6892-1).

Los ensayos se realizaron con barras de sección circular con un diámetro de 6 mm en la zona de medida y con una longitud inicial L_0 de 30 mm. Las muestras se tomaron transversalmente a la dirección de deformación del producto semiterminado. La velocidad de deformación fue para $R_{p0,2}$ $8,33 \cdot 10^5$ 1/s (0,5%/min) y para R_m $8,33 \cdot 10^4$ 1/s (5%/min).

El testigo se introdujo a temperatura ambiente en una máquina de tracción de ensayo y se calentó sin cargarlo con una fuerza de tracción hasta la temperatura deseada. Después de que se alcanzara la temperatura de ensayo se mantuvo el testigo sin carga una hora (600 °C) o dos horas (entre 700 °C y 1100 °C) para que la temperatura se uniformizara. A continuación se aplicó una carga de tracción al testigo manteniéndose las velocidades de deformación deseadas, comenzando el ensayo.

La resistencia a la fluencia lenta se determinó mediante un ensayo de tracción lenta (SSRT = *slow strain rate test*). Para ello se realizó un ensayo de tracción en caliente según la norma DIN EN ISO 6892-2 con una velocidad de deformación muy baja de $1,0 \cdot 10^{-6}$ 1/s. Esta velocidad de alargamiento queda ya en el intervalo de las velocidades de fluencia lenta de modo que, comparando el límite de alargamiento γ , en particular, la resistencia a tracción, a partir del ensayo de tracción lenta se puede establecer una clasificación de materiales en función de la resistencia a la fluencia lenta.

El límite elástico $R_{p0,2}$, la resistencia a tracción R_m y el alargamiento a rotura A se determinan análogamente al alargamiento a rotura del ensayo de tracción a temperatura ambiente (norma DIN EN ISO 6892-1) Para reducir los tiempos de ensayo se interrumpieron los ensayos después de que se llegara aproximadamente al 30% de alargamiento, cuando se alcanzó R_m y si no tras superarse el alargamiento de rotura A para R_m . Los ensayos se realizaron con barras de sección circular de diámetro de aproximadamente 8 mm en la zona de medida y una longitud inicial L_0 de 40 mm. Las muestras se tomaron transversalmente a la dirección de deformación del producto semiterminado.

El testigo se introdujo a temperatura ambiente en la máquina de tracción de ensayo y se calentó, sin cargarlo, hasta la temperatura deseada. Después de alcanzar la temperatura de ensayo deseada se mantuvo el testigo sin carga

dos horas (entre 700 °C y 1100 °C) para conseguir uniformización de temperaturas. A continuación se aplicó una carga de tracción al testigo y se mantuvieron las velocidades de alargamiento deseadas, comenzando el ensayo.

Ejemplos

Las tablas 2a y 2b muestran la composición de las aleaciones ensayadas.

5 Las aleaciones N06025 y N06601 son aleaciones del estado de la técnica. La aleación según la invención está indicada con la letra E. Los análisis de las aleaciones N06025 y N06601 están en los intervalos indicados en la tabla 1. La aleación según la invención, E, tiene un contenido de C de valor intermedio al de las aleaciones N06025 y N06601. En la tabla 2a se indica además PN y $7,7C-x \cdot a$ según las fórmulas 2 y 4. El valor de PN para todas las aleaciones de la tabla 2a es mayor que cero. $7,7C-x \cdot a$, 0,424, en la aleación según la invención precisamente está en el intervalo preferido $0 < 7,7C-x \cdot a < 1,0$.

Para la aleación del estado de la técnica N06025 el valor $7,7C-x \cdot a$ es $> 1,0$ y por tanto excesivamente grande.

Para la aleación del estado de la técnica N06601 el valor $7,7C-x \cdot a$ es < 0 y, por tanto, es demasiado pequeño.

Para estos lotes de ejemplo se compararon las siguientes propiedades:

- la conformabilidad basándose en el ensayo de tracción a temperatura ambiente
- 15 - la soldabilidad basándose en el ensayo MVT
- la resistencia a la corrosión a partir del ensayo de oxidación
- la resistencia en caliente con ensayos de tracción en caliente
- la resistencia a la fluencia lenta a partir de la clasificación de resultados de los ensayos de tracción lenta

20 La tabla 3 muestra los resultados del ensayo de tracción a temperatura ambiente. La aleación según la invención, E, tiene un alargamiento superior a un 80%, mucho mayor que el de las aleaciones N06025 y N06601. Esto no resulta sorprendente en el caso de la aleación N06025 debido a su alto contenido de carbono de 0,17% para cada lote de ejemplo 163968 y 160483. Ambos lotes manifiestan su mala ductilidad con un alargamiento inferior a un 50%. En el caso de la aleación N06601 resulta llamativo puesto que los lotes 314975, 156656 tienen un contenido de carbono de 0,045 y 0,053% lo que es claramente inferior al de la aleación según la invención que tiene un 0,075% y también, como cabría esperar, tienen un alargamiento superior a un 50%. Esto indica que si se mantiene un intervalo con unos límites $0 < 7,7C-x \cdot a < 1,0$ resulta una ductilidad superior a la del estado de la técnica.

30 La tabla 4 muestra los resultados del ensayo MVT. La aleación N06601 se puede soldar con ambos gases, argón y argón con un 3% de nitrógeno, puesto que todas las longitudes totales de fisuras medidas para una deformación de flexión de un 1% son inferiores a 7,5 mm y todas las longitudes totales de fisuras para una deformación de flexión de un 4% son inferiores a 30 mm. Para la aleación N06025 y la aleación según la invención, E, las longitudes de fisuras totales medidas son mayores que 7,5 mm (1% de deformación a flexión) o 30 mm (4% de deformación a flexión) de modo que estas aleaciones no se pueden soldar con argón. En el caso de argón con 3% de nitrógeno la longitud de fisuras totales medidas son claramente inferiores a 7,5 mm (1% de deformación a flexión) o 30 mm (4% de deformación a flexión) de modo que la aleación N06025 y la aleación según la invención, E, se pueden soldar con argón y un 3% de nitrógeno y argón.

35 La figura 1 muestra los resultados del ensayo de oxidación a 1100 °C al aire. En la tabla se indica la variación de masa neta específica de los testigos (el valor medio de tres testigos de cada lote) en función del tiempo de exposición. El lote de la aleación N06601 muestra desde el principio una variación de masa específica negativa, producida debido al descascarillamiento y vaporización de óxidos de cromo. Para la aleación N06025 y la aleación según la invención, E, al principio hay un aumento ligero de la variación de masa, seguido de un descenso muy moderado con el tiempo. Esto muestra que ambas aleaciones a 1100 °C tienen una tasa de oxidación muy baja y poco descascarillamiento. El comportamiento de la aleación según la invención, E, es, como se exige, comparable al de la aleación N06025.

45 La tabla 5 muestra los resultados de los ensayos de tracción a alta temperatura a 600 °C, 700 °C, 800 °C, 900 °C y 1100 °C. Los valores máximos tanto para $R_{p0,2}$ como para R_m demuestran, como cabría esperar, son para la aleación N06025 y los valores mínimos son para la aleación N06601. Los valores de la aleación según la invención, E, son intermedios siendo a 800 °C, tanto para $R_{p0,2}$ como para R_m , mayores que los de la aleación N06025. El alargamiento en los ensayos de tracción en caliente para todas las aleaciones es suficientemente grande. A 1100 °C, debido a las tolerancias de medición, no cabe establecer diferencias entre la aleación según la invención, E, y la aleación N06601.

50 La tabla 6 muestra los resultados de los ensayos de tracción lenta a 700 °C, 800 °C y 1100 °C. Los valores máximos tanto para $R_{p0,2}$ como para R_m los muestra, como cabría esperar, la aleación N06025 y los valores mínimos la aleación N06601. Los valores de la aleación según la invención, E, son intermedios y para $R_{p0,2}$ y R_m a 700 °C y 800

°C son mejores o prácticamente iguales a los de la aleación N06025. Los alargamientos para los ensayos de tracción lenta, para todas las aleaciones, son suficientemente grandes. A 1100 °C, debido a las tolerancias de medición no cabe establecer diferencias entre la aleación según la invención, E, y la aleación N06601.

5 A temperaturas de 700 °C y 800 °C R_m en los ensayos de tracción lenta de la aleación N06025 y de la aleación según la invención, E, resulta comparable, es decir, puede esperarse que a estas temperaturas la resistencia a la fluencia lenta de la aleación N06025 y de la aleación según la invención, E, sea comparable. Esto muestra que para las aleaciones en el intervalo preferido $0 < 7,7C-x \cdot a < 1,0 R_m$. La resistencia a la fluencia lenta es comparable a la de la aleación Nicrofer 6025 HT y simultáneamente la aleación según la invención, E, tiene una mejor trabajabilidad que la aleación N06025.

10 Los límites reivindicados de la aleación según la invención, E, se pueden fundamentar entonces, en particular, según lo siguiente:

Los costes de la aleación aumentan con la reducción del contenido de hierro. Por debajo de un 1% los costes aumentan de forma exponencial puesto que hace falta utilizar un material de partida especial. Por lo tanto hay que considerar un 1% de hierro como límite inferior por motivos de coste.

15 Al aumentar el contenido de hierro se reduce la estabilidad de fases (se forman fases de fragilización creciente), en particular, para contenidos de cromo y aluminio altos. Por lo tanto, un 15% de hierro es un límite superior razonable para la aleación según la invención.

20 Cantidades de cromo demasiado bajas implican que la concentración de cromo pase muy rápido a ser inferior al límite crítico. Por lo tanto, un 12% de cromo es el límite inferior del contenido de cromo. Cantidades de cromo demasiado altas empeoran la trabajabilidad de la aleación. Por lo tanto, hay que considerar un 28% de cromo como límite superior.

25 La formación de una capa de óxido de aluminio bajo la capa de óxido de cromo reduce la tasa de oxidación. Si la cantidad de aluminio es inferior a 1,8% la capa de óxido de aluminio es muy incompleta para resultar plenamente eficaz. Cantidades de aluminio demasiado altas perjudican la trabajabilidad de la aleación. Por lo tanto, una cantidad de aluminio de 3,0% es el límite superior.

El silicio hace falta para la fabricación de la aleación. Por lo tanto resulta necesario un contenido mínimo de 0,01%. Cantidades altas a su vez empeoran la trabajabilidad. El contenido de silicio se limita entonces a un 0,5%.

Es necesario una cantidad mínima de 0,005% de manganeso para mejorar la trabajabilidad. El manganeso se limita a 0,5% puesto que este elemento reduce también la resistencia a la oxidación.

30 Como ya se ha mencionado, los aditivos afines al oxígeno mejoran la resistencia a la oxidación. Esto se produce cuando se incorporan a la capa de óxido bloqueando en ella, en los límites de grano, las vías de difusión de oxígeno.

Hace falta una cantidad mínima de 0,01% de itrio para conseguir su efecto de mejorar la resistencia a la oxidación. El límite superior se establece en un 0,20% por motivos de coste.

35 El itrio puede sustituirse total o parcialmente por Ce y/o La puesto que estos elementos, así como el Y, aumentan la resistencia a la oxidación. La sustitución se puede hacer a partir de cantidades de 0,001%. El límite superior, por motivos de coste, es de 0,20% Ce o 0,20% La.

El titanio aumenta la resistencia a alta temperatura. Hace falta al menos un 0,02% para conseguir ese efecto. A partir de 0,6% puede empeorar el comportamiento de oxidación.

40 El titanio puede sustituirse completa o parcialmente por niobio puesto que el niobio también aumenta la resistencia a alta temperatura. La sustitución se puede hacer a partir de 0,001%. Cantidades más altas aumentan mucho los costes. El límite superior se establece entonces en 0,6%.

El titanio también puede sustituirse total o parcialmente por tántalo puesto que también el tántalo aumenta la resistencia a alta temperatura. La sustitución se puede hacer a partir de cantidades de 0,001%. Cantidades mayores aumentan mucho los costes. El valor límite superior se fija por tanto a 0,6%.

45 Hace falta una cantidad mínima de circonio de 0,01% para conseguir su efecto de mejorar la resistencia a alta temperatura y a la oxidación. El límite superior se fija a un 0,20% por motivos de coste.

El circonio, si es necesario, puede sustituirse total o parcialmente por Hf puesto que este elemento, al igual que el circonio, también aumenta la resistencia a la alta temperatura y a la oxidación. La sustitución se puede hacer a partir de cantidades de 0,001%. El límite superior se fija, por motivos de coste, en un 0,20% Hf.

50 Ya con pequeñas cantidades de magnesio se mejora la trabajabilidad por la separación de azufre evitándose la aparición de eutécticos de sulfato de níquel de bajo punto de fusión. En cuanto al magnesio, sin embargo es necesario un contenido mínimo de 0,0002%. Para cantidades demasiado grandes pueden aparecer fases

intermetálicas Ni-Mg que empeoran la trabajabilidad mucho. El contenido de magnesio, se limita, por tanto a 0,05%.

5 Al igual que el magnesio, cantidades muy pequeñas de calcio ya de por sí mejoran la trabajabilidad al separar el azufre evitándose la aparición de eutécticos de NiS de bajo punto de fusión. En cuanto al calcio es necesario un contenido mínimo de 0,0001%. Para cantidades demasiado grandes pueden aparecer fases de Ni-Ca intermetálicas que empeoran mucho la trabajabilidad. El contenido de calcio se limita, por tanto, a 0,05%.

Un contenido mínimo de 0,03% de C resulta necesario para una buena resistencia a la fluencia lenta; el carbono se limita a un 0,11% puesto que este elemento reduce la trabajabilidad.

Hace falta una cantidad mínima de 0,003% N, mejorándose con él la trabajabilidad del material. El nitrógeno se limita entonces a un 0,05% puesto que este elemento reduce la resistencia a la oxidación.

10 El boro mejora la resistencia a la fluencia lenta. Por tanto, tiene que haber un contenido de al menos 0,0005%. Simultáneamente este elemento activo en toda la superficie de frontera empeora la resistencia a la oxidación. Por tanto, se establece un límite máximo de 0,008% de boro.

15 El contenido de oxígeno tiene que ser inferior a 0,010% para garantizar una buena fabricabilidad de la aleación. Cantidades de oxígeno demasiado pequeñas aumentan los costes. El contenido de oxígeno debe ser, por tanto, >0,0001%.

El contenido de fósforo debe ser inferior a 0,030% puesto que este elemento activo en toda la superficie de frontera empeora la resistencia a la oxidación. Un contenido de fósforo demasiado bajo aumenta los costes. El contenido de fósforo, por tanto, tiene que ser $\geq 0,001\%$.

20 El contenido de azufre se tiene que elegir tan bajo como sea posible puesto que este elemento activo en toda la superficie de frontera reduce la resistencia a la oxidación. Por tanto, se fija un límite máximo de 0,010% de azufre.

El molibdeno se limita a un máximo de 0,5% puesto que este elemento reduce la resistencia a la oxidación.

El wolframio se limita a un máximo de un 0,5% puesto que este elemento reduce también la resistencia a la oxidación.

La siguiente fórmula describe la interacción de los elementos C, N, Ti, Zr en la aleación:

25 $0 < 7,7C - x \cdot a < 1,0$ (2)

$a = PN$ si $PN > 0$ (3a)

$a = 0$ si $PN \leq 0$ (3b)

$x = (1,0 Ti + 1,06 Zr) / (0,251 Ti + 0,132 Zr)$ (3c)

siendo $PN = 0,251 Ti + 0,132 Zr - 0,857 N$ (4)

30 y siendo los valores Ti, Zr, N, C las concentraciones de los elementos respectivos en % en masa.

Si $7,7C - x \cdot a$ es mayor que 1,0 se forman muchos carburos primarios que empeoran la conformabilidad. Si $7,7C - x \cdot a$ es menor que 0 se ve empeorada la resistencia en caliente y la resistencia a la fluencia lenta.

35 La aleación puede contener hasta un 5,0% de cobalto. Unas cantidades mayores reducen notablemente la resistencia a la oxidación. Un contenido de cobalto demasiado bajo aumenta los costes. El contenido de cobalto por tanto es $\geq 0,01\%$.

El vanadio se limita a un 0,1% como máximo puesto que este elemento reduce la resistencia a la oxidación.

El cobre se limita a un 0,5% como máximo puesto que este elemento reduce la resistencia a la oxidación.

El plomo se limita a un 0,002% como máximo puesto que este elemento reduce la resistencia a la oxidación. Lo mismo se aplica a Zn y Sn.

40

Tabla 1: Aleaciones según ASTM B 168-08. Todos los datos son en % en masa.

Aleación	Ni	Cr	Co	Mo	Nb	Fe	Mn	Al	C	Cu	Si	S	Ti	P	Zr	Y	B	N	Ce
N06600	72,0 mín.	14,0- 17,0				6,0- 10,0	1,0 máx.		0,15 máx.	0,5 máx.	0,015 máx.								
N06601	58,0- 63,0	21,0- 25,0				R	1,0 máx.	1,0- 1,7	0,10 máx.	0,5 máx.	0,015 máx.								
N06617	44,5 mín.	20,0- 24,0	10,0- 15,0	8,0- 10,0		3,0 máx.	1,0 máx.	0,8- 1,5	0,05- 0,15	1,0 máx.	0,5 máx.	0,015 máx.	0,6 máx.				0,006 máx.		
N06690	58,0 mín.	27,0- 31,0				7,0- 11,0	0,5 máx.		0,5 máx.	0,5 máx.	1,0 máx.	0,015 máx.							
N06693	R	27,0- 31,0			0,5- 2,5	2,5- 6,0	1,0 máx.	2,5- 4,0	0,15 máx.	0,5 máx.	0,5 máx.	0,01 máx.	1,0 máx.						
N06025	R	24,0- 26,0				8,0- 11,0	0,15 máx.	1,8- 2,4	0,15- 0,25	0,1 máx.	0,5 máx.	0,010 máx.	0,1- 0,2	0,020 máx.	0,01- 0,10	0,05- 0,12			
N06045	45 mín	26,0- 29,0				21,0- 25,0	1,0 máx.		0,05- 0,12	0,3 máx.	2,5- 3,0	0,010 máx.		0,020 máx.					0,03- 0,09
N06603	R	24,0- 26,0				8,0- 11,0	0,15 máx.	2,4- 3,0	0,20- 0,40	0,50 máx.	0,5 máx.	0,010 máx.	0,01- 0,25	0,020 máx.	0,01- 0,10	0,01- 0,15			
N06696	R	28,0- 32,0		1,0- 3,0		2,0- 6,0	1,0 máx.		0,15 máx.	1,5- 3,0	1,0- 2,5	0,010 máx.	1,0 máx.						

Tabla 2a Composición de las aleaciones ensayadas; parte 1 Todos los datos están en % en masa

Aleación	Lote	C	S	N	Cr	Ni	Mn	Si	Ti	Fe	P	Al	Zr	Y	Hf	7,7C-x-a	PN
N06025	163968	0,170	0,002	0,023	25,4	62,1	0,07	0,07	0,13	9,5	0,008	2,25	0,08	0,08	-	1,192	0,0235
N06025	160483	0,172	<0,002	0,025	25,7	62,0	0,06	0,05	0,14	9,4	0,007	2,17	0,09	0,08	-	1,196	0,0256
E	126251	0,075	0,003	0,023	25,3	62,0	0,02	0,05	0,18	9,8	0,003	2,27	0,06	0,07	<0,01	0,424	0,0334
N06601	314975	0,045	<0,002	0,011	23,1	59,3	0,58	0,34	0,47	14,6	0,007	1,33	0,02	-	-	-0,101	0,1105
N06601	156656	0,053	0,002	0,018	23,0	59,6	0,72	0,24	0,47	14,4	0,008	1,34	0,02	-	-	-0,015	0,1045
N06601	156125	0,052	0,002	0,017	23	60,2	0,58	0,38	0,45	13,2	0,009	1,30	0,02	-	-	-0,007	0,100

Tabla 2b: Composición de las aleaciones ensayadas, parte 2; todos los datos están en % en masa

Aleación	Lote	Mo	Nb	Cu	Mg	Ca	V	W	Co	La	B	Ta	Ce	O
N06025	163968	0,01	<0,01	0,01	0,011	0,002	0,03	-	0,05	-	0,005	-	-	0,0009
N06025	160483	0,02	0,01	0,01	0,01	0,002	-	-	0,04	-	0,003	-	-	-
E	126251	<0,01	<0,01	0,01	0,013	0,002	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	0,003	<0,01	<0,01	0,0013
N06601	314975	0,03	0,02	0,04	<0,001	<0,01	0,04	<0,01	0,03	-	0,002	-	0	0,0006
N06601	156656	0,04	0,01	0,04	0,012	<0,01	0,03	0,01	0,04	-	0,001	-	0	0,0001
N06601	156125	0,02	0,06	0,01	0,015	<0,01	0,03	-	0,04	-	-	-	-	-

Tabla 3 Resultados de los ensayos de tracción a temperatura ambiente. La velocidad de deformación fue: para $R_{p0,02}$ $8,33 \cdot 10^{-5}$ 1/s (0,5%/min) y para R_m $8,33 \cdot 10^{-4}$ 1/s (5%/min)

Aleación	Lote	7,7C-x-a	PN	Tamaño de grano en μm	$R_{p0,2}$ en MPa	R_m en MPa	A_5 en %
N06025	163968	1,192	0,0235	75	287	686	41
N06025	160483	1,196	0,0256	76	340	721	43
E	126251	0,424	0,0334	121	251	675	80
N06601	314975	-0,101	0,1105	114	232	644	56
N06601	156656	-0,015	0,1045	136	238	645	53

Tabla 4 Resultados de los ensayos MVT

Aleación	Lote	Gas de soldadura	Longitud de fisuras total en mm		Fisuras DDC en mm	
			1% deformación de flexión	4% deformación de flexión	1% deformación de flexión	4% deformación de flexión
N06025	163968	Ar	27	35	0	0
N06025	163968	Ar3%N	0	3,5	0	0
E	126251	Ar	23	34	0,1	0
E	126251	Ar3%N	1,6	15	2	0,2
N06601	314975	Ar	0,3	9,2	0	0,4
N06601	314975	Ar3%N	6	13	0	1,4
N06601	156656	Ar	1,9	10	0,2	0
N06601	156656	Ar3%N	2,6	18	1,5	0

Tabla 5 Resultados de los ensayos de tracción en caliente. La velocidad de deformación para $R_{p0,2}$ fue de $8,33 \cdot 10^{-5}$ 1/s (0,5%/min) y para R_m $8,33 \cdot 10^{-4}$ 1/s (5%/min)

T en °C	Aleación	N06025	E	N06601	N06601
	Lote	163968	126251	314975	156656
	Identificador fW	tVL	tVM	tVH	tVK
	Tamaño de grano en μm	75	121	114	136
600	$R_{p0,2}$ en MPa	219	170	151	154
700	$R_{p0,2}$ en MPa	292	267	266	227
800	$R_{p0,2}$ en MPa	222	249	201	161
900	$R_{p0,2}$ en MPa	85	77	72	76
1100	$R_{p0,2}$ en MPa	33	26	25	29
600	$R_{p0,2}$ en MPa	556	526	508	509
700	$R_{p0,2}$ en MPa	530	506	500	466
800	$R_{p0,2}$ en MPa	299	303	266	239
900	$R_{p0,2}$ en MPa	136	127	119	121
1100	$R_{p0,2}$ en MPa	51	45	43	46
600	$R_{p0,2}$ en MPa	35	47	57	55
700	$R_{p0,2}$ en MPa	30	31	56	36
800	$R_{p0,2}$ en MPa	57	58	113	91
900	$R_{p0,2}$ en MPa	82	108	136	98
1100	$R_{p0,2}$ en MPa	68	83	152	92

Tabla 6 Resultados del ensayo de tracción lenta en caliente. La velocidad de deformación fue $1,0 \cdot 10^{-6}$ 1/s ($6,0 \cdot 10^{-3} \%$ /min) durante todo el ensayo. El ensayo se interrumpió cuando se alcanzó un alargamiento de un 33%.

T en °C	Aleación	N06025	E	N06601
	Lote	163968	126251	156656
	Identificador ifw	tVL	tVM	tVK
	Tamaño de grano en µm	75	121	136
700	R _{p02} en MPa	337	274	243
800	R _{p02} en MPa	139	142	89
1100	R _{p1} en MPa	19	15	14
700	R _m en MPa	358	358	288
800	R _m en MPa	149	149	99
1100	R _m en MPa	21	17	16
700	A ₅ en %	15	13	17
800	A ₅ en %	25	26	>33
1100	A ₅ en %	>33	>33	>33

REIVINDICACIONES

1. Aleación de níquel, cromo, aluminio y hierro con un contenido en % en peso de 12 a 28% de cromo, 1,8 a 3,0% de aluminio, 1,0 a 15% de hierro, 0,01 a 0,5% de silicio, 0,005 a 0,5% de manganeso, 0,01 a 0,20% de itrio, 0,02 a 0,60% de titanio y 0,01 a 0,2% circonio, 0,0002 a 0,05% de magnesio, 0,0001 a 0,05% de calcio, 0,03 a 0,11% de carbono, 0,003 a 0,05 de nitrógeno, 0,0005 a 0,008% de boro, 0,0001 a 0,010% de oxígeno, 0,001 a 0,030% de fósforo; máx. 0,010% de azufre, máx. 0,5% de molibdeno, máx. 0,5% de wolframio pudiendo sustituirse, si es necesario, el itrio total o parcialmente por entre 0,001 a 0,2% de lantano y/o por 0,001 a 0,2 % de cerio y pudiendo sustituirse, si es necesario, el titanio total o parcialmente por 0,001 a 0,6% de niobio, siendo el resto níquel y las impurezas habituales de los procesos habiendo de cumplirse las siguientes relaciones:
- 5 0<7,7 C-x·a<1,0 (2)
- a=PN si PN>0 (3a)
- o a=0 si PN≤0 (3b)
- y x=(1,0 Ti+1,06Zr)/ (0,251Ti+0,132Zr) (3c)
- y PN=0,251Ti+0,132Zr-0,857N (4)
- 15 siendo los valores de Ti, Zr, N, C las concentraciones de los elementos respectivos en % en masa y pudiendo sustituirse el circonio, si es necesario, total o parcialmente por 0,001 a 0,2% de hafnio y pudiendo sustituirse las fórmulas 3c y 4 por las siguientes fórmulas:
- y x=(1,0 Ti+1,06 Zr+0,605Hf)/ (0,251Ti+0,132Zr+0,0672Hf) (3c-1)
- y PN=0,251 Ti+0,132 Zr-+0,0672Hf-0,857N (4-1)
- 20 siendo los valores Ti, Zr, Hf, N, C las concentraciones respectivas de los elementos en % en masa.
2. Aleación según la reivindicación 1 con un contenido de cromo de 16 a 28%.
3. Aleación según la reivindicación 1 o 2 con un contenido de cromo de entre un 20 y un 28%.
4. Aleación según una de las reivindicaciones 1-3 con un contenido de aluminio de 1,9 2,9%.
5. Aleación según una de las reivindicaciones 1-4 con un contenido de hierro de 1,0 a 11,0%.
- 25 6. Aleación según una de las reivindicaciones 1-5 con un contenido de silicio de 0,01 a 0,2%, en particular, de 0,01 a <0,10%.
7. Aleación según una de las reivindicaciones 1-6 con un contenido de manganeso de 0,005 a 0,20%.
8. Aleación según una de las reivindicaciones 1-7 con un contenido de silicio de 0,01 a <0,045%.
9. Aleación según una de las reivindicaciones 1-8 con un contenido de magnesio de 0,0005 a 0,03%.
- 30 10. Aleación según una de las reivindicaciones 1-9 con un contenido de calcio de 0,0005 a 0,02%.
11. Aleación según una de las reivindicaciones 1-10 con un contenido en carbono de 0,04 a 0,10%.
12. Aleación según una de las reivindicaciones 1-11 con un contenido de nitrógeno de 0,005 a 0,4%.
13. Aleación según una de las reivindicaciones 1-12 que contiene además de un 0,01 a un 5,0% de cobalto.
- 35 14. Aleación según una de las reivindicaciones 1-13 que contiene además como máximo 0,1% de vanadio.
15. Aleación según una de las reivindicaciones 1-14 siendo las impurezas como máximo de 0,5% de cobre, como máximo 0,002% de plomo, como máximo 0,002% de zinc y como máximo 0,002% de estaño.
- 40 16. Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1-15 para tiras, chapa, alambre, barra, tubo con soldadura longitudinal y tubo sin soldadura.
17. Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1-15 para fabricar piezas de embutido profundo tipo tira, alambre o chapa.
18. Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1-15 para fabricar tubos sin cordones de soldadura de materiales en forma de barra.

19. Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1-15 para la fabricación de hornos, por ejemplo, para muflas, rodillos o bases de soporte.
20. Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1-15 para revestimiento para bujías incandescentes, en sistemas de escape de gases y como sustratos de catalizadores.
- 5 21. Uso de la aleación según una de las reivindicaciones 1-15 para tubos en la industria petroquímica.

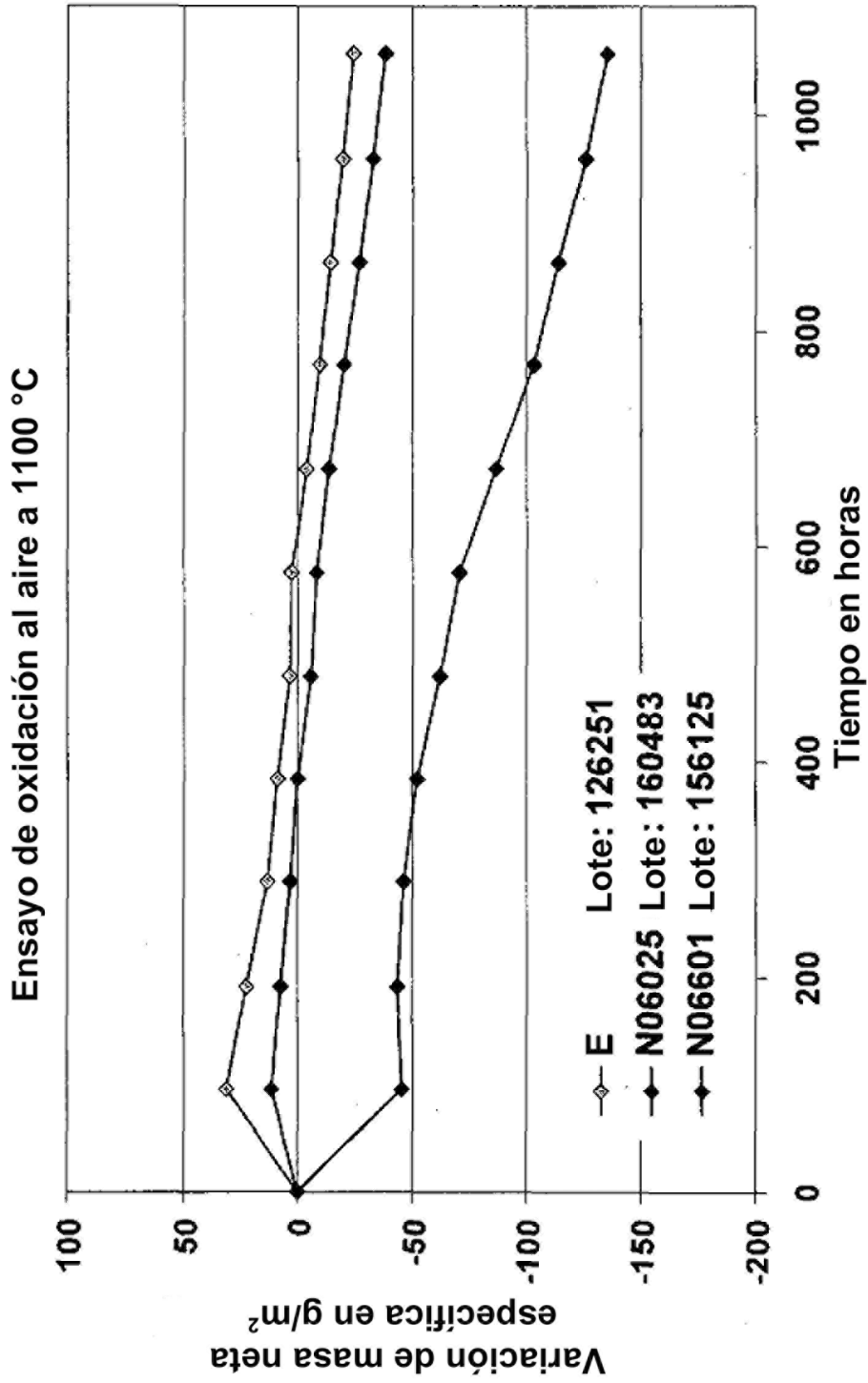


Figura 1: resultados del ensayo de oxidación a 1100 °C al aire