

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 605 949**

51 Int. Cl.:

C22C 19/05 (2006.01)

C22F 1/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.05.2013 PCT/DE2013/000269**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.12.2013 WO13182178**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.05.2013 E 13731274 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.09.2016 EP 2855724**

54 Título: **Aleación de níquel y cromo con una elaborabilidad, una resistencia a la viscofluencia y una estabilidad frente a la corrosión buenas**

30 Prioridad:

05.06.2012 DE 102012011162

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

17.03.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

HATTENDORF, HEIKE

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 605 949 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 y cromo con una elaborabilidad, una resistencia a la viscofluencia y una estabilidad frente a la corrosión buenas

5 El invento a una aleación de níquel y cromo que tiene una buena estabilidad frente a la corrosión a alta temperatura, una buena estabilidad frente a la viscofluencia y una elaborabilidad mejorada.

Unas aleaciones de níquel con diferentes contenidos de níquel, cromo y aluminio se emplean desde hace mucho tiempo en la construcción de hornos y en la industria tanto química como petroquímica. Para este empleo se necesita una buena estabilidad frente a la corrosión a alta temperatura, también en atmósferas carburantes, y una buena resistencia al calor o estabilidad frente a la viscofluencia.

10 En general hay que mencionar que la estabilidad frente a la corrosión a alta temperatura de las aleaciones indicadas en la Tabla 1 aumenta con un contenido creciente de cromo. Todas estas aleaciones forman una capa de óxido de cromo (Cr_2O_3) con una capa de Al_2O_3 , situada debajo de ella, que está más o menos cerrada. Unas pequeñas adiciones de elementos fuertemente afines para el oxígeno, tales como, p.ej., Y o Ce mejoran la estabilidad frente a la oxidación. El contenido de cromo se consume lentamente en el transcurso del empleo en el sector de aplicación para la constitución de la capa protectora. Por lo tanto, mediante un contenido más alto de cromo se aumenta la duración de vida útil del material, puesto que un contenido más alto del elemento cromo que forma la capa protectora retrasa el momento en el que el contenido de Cr se encuentra por debajo del límite crítico y se forman otros óxidos distintos que el Cr_2O_3 , que son p.ej. unos óxidos que contienen hierro y que contienen níquel. Un aumento adicional de la estabilidad frente a la corrosión alta temperatura se podría conseguir, cuando fuese necesario, mediante unas adiciones de aluminio y silicio. A partir de un cierto contenido mínimo, estos elementos forman una capa cerrada por debajo de la capa de óxido de cromo y de esta manera disminuyen el consumo de cromo.

25 En el caso de atmósferas carburantes (mezclas de CO , H_2 , CH_4 , CO_2 y H_2O) el carbono puede penetrar en el material, de manera tal que se puede llegar a la formación de carburos internos. Éstos dan lugar a una pérdida de resistencia al impacto con entalladura. También el punto de fusión puede disminuir a unos valores muy bajos (hasta de $350\text{ }^\circ\text{C}$) y se puede llegar a procesos de transformación por empobrecimiento del cromo en la matriz.

30 Una alta estabilidad frente a la carburación se consigue mediante unos materiales que tienen una pequeña solubilidad para el carbono y una pequeña velocidad de difusión del carbono. Por lo tanto, las aleaciones de níquel son generalmente más estables frente a la carburación que las aleaciones constituidas sobre la base de hierro, puesto que tanto la difusión del carbono como también la solubilidad del carbono en níquel son más pequeñas que en hierro. Una elevación del contenido de cromo da lugar a una más alta estabilidad frente a la carburación mediante la formación de una capa protectora de óxido de cromo, a menos que la presión parcial de oxígeno en el gas no sea suficiente para la formación de esta capa protectora de óxido de cromo. El caso de unas presiones parciales de oxígeno mucho más pequeñas, se pueden emplear unos materiales que forman una capa a base de óxido de silicio o respectivamente del óxido de aluminio que es todavía más estable, ambos de los cuales pueden formar todavía unas capas protectoras de óxidos en el caso de unos contenidos de oxígeno manifiestamente más pequeños.

40 En el caso de que la actividad de carbono sea > 1 , en las aleaciones constituidas sobre la base de níquel, hierro o cobalto se puede llegar al fenómeno denominado en inglés "metal dusting" (que se puede traducir como pulverización metálica con el resultado de una carburación catastrófica). En contacto con el gas sobresaturado, las aleaciones pueden recoger grandes cantidades de carbono. Los procesos de segregación o desmezcladura que tienen lugar en una aleación sobresaturada con carbono conducen a la destrucción del material. En tal caso la aleación se descompone en una mezcla de partículas metálicas, grafito, carburos y/u óxidos. Este modo de realizarse la destrucción del material aparece en el intervalo de temperaturas de $500\text{ }^\circ\text{C}$ hasta $750\text{ }^\circ\text{C}$.

45 Unas condiciones típicas para la aparición de la pulverización metálica son unas mezclas gaseosas de CO , H_2 o CH_4 fuertemente carburantes, tal como aparecen en la síntesis de amoníaco, en instalaciones de preparación de metanol, en procesos metalúrgicos, pero también en los hornos de talleres de temple.

50 La estabilidad frente a la pulverización metálica tiende a aumentar con un contenido creciente de níquel en la aleación (Grabke, H.J., Krajak, R., Müller-Lorenz, E.M., Strauß, S.: Materials and Corrosion 47 (1996), página 495), pero también las aleaciones de níquel no son generalmente resistentes frente a la pulverización metálica.

55 Una manifiesta influencia sobre la estabilidad frente a la corrosión en condiciones de pulverización metálica la tienen los contenidos de cromo y de aluminio (véase la Figura 1). Unas aleaciones de níquel con un bajo contenido de cromo (tales como la Aleación 600, véase la Tabla 1) muestran unas velocidades de corrosión comparativamente altas en condiciones de pulverización metálica. Son manifiestamente más resistentes unas aleaciones de níquel Aleación 602 CA (N06025) con un contenido de cromo de 25 % y un contenido de aluminio de 2,3 %, así como la Aleación 690 (N06690) con un contenido de cromo de 30 % de (Hermse, C.G.M. y van Wortel, J.C.: Metal dusting: relationship between alloy composition and degradation rate [Pulverización metálica: relación entre la composición y

la velocidad de degradación de una aleación]. Corrosion Engineering, Science and Technology 44 (2009), páginas 182 - 185). La capacidad de resistir frente a la pulverización metálica aumenta con la suma de Cr + Al.

5 La resistencia al calor o respectivamente la resistencia a la viscofluencia a las temperaturas indicadas es mejorada, entre otras cosas, mediante un alto contenido de carbono. Sin embargo, también unos altos contenidos de elementos que consolidan a los cristales mixtos, tales como cromo, aluminio, silicio, molibdeno y wolframio, mejoran la resistencia al calor. En el intervalo de 500 °C hasta 900 °C unas adiciones de aluminio, titanio y niobio pueden mejorar la resistencia y ciertamente mediante separación de la fase γ' y/o γ'' .

Unos ejemplos de acuerdo con el estado de la técnica se enumeran en la Tabla 1.

10 Unas aleaciones tales como Aleación 602 CA, 602 CA (N06025), Aleación 693 (N06693) o Aleación 603 (N06603) son conocidas por su sobresaliente estabilidad frente a la corrosión en comparación con la Aleación 600 (N06600) o Aleación 601 (N06601) a causa del alto contenido en aluminio de más de 1,8 %. Las Aleación 602 CA (N06025), Aleación 693 (N06693), Aleación 603 (N06603) y Aleación 690 (N06690), a causa de sus altos contenidos de cromo y/o de aluminio, muestran una sobresaliente estabilidad frente a la carburación o respectivamente estabilidad frente a la pulverización metálica. Al mismo tiempo unas aleaciones tales como las Aleación 602 CA (N06025), Aleación 15 693 (N06693) o Aleación 603 (N06603), a causa del alto contenido de carbono o respectivamente de aluminio tienen una sobresaliente resistencia al calor o respectivamente resistencia a la viscofluencia en el intervalo de temperaturas en el que aparece una pulverización metálica. Las Aleación 602 CA (N06025) y Aleación 603 (N06603), incluso a unas temperaturas situadas por encima de 1.000 °C, tienen todavía una sobresaliente resistencia al calor o respectivamente resistencia a la viscofluencia. No obstante, p.ej. mediante los altos contenidos de aluminio es perjudicada la elaborabilidad, siendo el perjuicio tanto más grande cuanto más alto es el contenido de aluminio (Aleación 693 - N06693). Lo mismo es válido en medida creciente para el silicio, que forma con el níquel unas fases intermetálicas que funden a bajas temperaturas. En la Aleación 602 CA (N06025) o Aleación 603 (N06603) la conformabilidad en frío es limitada particularmente mediante un alto contenido de carburos primarios.

25 El documento de patente de los EE.UU. US 6623869 B1 divulga un material metálico que se compone de $\leq 0,2$ % de C, 0,01 % de Si, 0,05 - 2,0 % de Mn, $\leq 0,04$ % de P, $\leq 0,015$ % de S, 10 - 35 % de Cr, 30 - 78 % de Ni, 0,005 - 4,5 % de Al, 0,005 - 0,2 % de N y por lo menos uno de los elementos 0,015 - 3 % de Cu resp. 0,015 - 3 % de C siendo hierro el resto hasta 100 %. En este caso el valor de $40\text{Si} + \text{Ni} + 5\text{Al} + 40\text{N} + 10(\text{Cu} + \text{Co})$ no está por debajo de 50, significando los símbolos de los elementos el contenido de los correspondientes elementos. El material tiene una excelente estabilidad frente a la corrosión en un entorno, en el que puede tener lugar una pulverización metálica y por lo tanto se puede utilizar para tubos de hornos, sistemas de tubos, tubos de intercambiadores de calor etc., en 30 refinerías de petróleo o en instalaciones petroquímicas y puede mejorar apreciablemente la duración de vida útil en servicio y la seguridad de la instalación.

35 El documento de patente europea EP 0 549 286 divulga una aleación de Ni y Cr estable frente a una alta temperatura, que contiene 55 - 65 % de Ni, 19 - 25 %, Cr 1 - 4,5 % de Al, 0,045 - 0,3 % de Y, 0,15 - 1 % de Ti, 0,005 - 0,5 % de C, 0,1 - 1,5 % de Si, 0 - 1 % de Mn y por lo menos 0,005 % en la suma de por lo menos uno de los elementos del conjunto que contiene Mg, Ca, Ce, $< 0,5$ % en la suma de Mg + Ca, < 1 % de Ce, 0,0001 - 0,1 % de B, 0 - 0,5 % de Zr, 0,0001 - 0,2 % de N, 0 - 10 % de Co, 0 - 0,5 % de Cu, 0 - 0,5 % de Mo - 0,3 % de Nb, 0 - 0,1 % de V, 0 - 0,1 % de W, el resto hierro e impurezas.

40 En la hoja de datos INCONEL aleación 690, 9 de octubre 2009 (2009-10-09), páginas 1 hasta 8, XP 055085643 de la entidad Special Metals Corp. se describe la conocida Aleación 690 (N 06690).

La misión que constituye el fundamento del invento consiste en concebir una aleación de níquel y cromo que supere a la estabilidad frente a la pulverización metálica de la Aleación 690, de manera tal que se garantice una sobresaliente estabilidad frente a la pulverización metálica, pero que al mismo tiempo tenga.

- una buena estabilidad de fases
- 45 • una buena elaborabilidad
- una buena estabilidad frente a la corrosión en presencia de aire, que sea similar a la de la Aleación 601 o respectivamente Aleación 690.

Por lo demás sería deseable que esta aleación tenga adicionalmente

- una resistencia al calor y una resistencia a la viscofluencia buenas.
- 50 El problema planteado por esta misión se resuelve mediante una aleación de níquel y cromo con (en % en peso) 29 hasta 37 % de cromo, 0,001 hasta 1,8 % de aluminio, 0,10 hasta 7,0 % de hierro, 0,001 hasta 0,50 % de silicio, 0,005 hasta 2,0 % de manganeso, 0,00 hasta 1,00 % de titanio y/o 0,00 hasta 1,10 % de niobio, en cada caso 0,0002 hasta 0,05 % de magnesio y/o calcio, 0,005 hasta 0,12 % de carbono, 0,001 hasta 0,050 % de nitrógeno, 0,001 hasta 0,030 % de fósforo, 0,0001 - 0,020 % de oxígeno, como máximo 0,010 % de azufre, como máximo

ES 2 605 949 T3

- 2,0 % de molibdeno, como máximo 2,0 % de wolframio, que en caso necesario contiene por lo demás Y con un contenido de 0,01 - 0,20 %, La con un contenido de 0,01 - 0,20 %, cerio con un contenido de 0,001 hasta 0,20 %, un metal de Misch con cerio con un contenido de 0,001 hasta 0,20 %, Zr con un contenido de 0,01 - 0,20 %, pudiendo ser reemplazado el Zr total o parcialmente por 0,001 hasta 0,20 % de Hf, B con un contenido de 0,0001 - 0,008 %, Co 0,0 hasta 5,0 %, Cu como máximo 0,5 %, V como máximo 0,5 %, el resto níquel y las usuales impurezas condicionadas por el procedimiento, debiendo cumplirse las siguientes relaciones

$$\text{Cr} + \text{Al} > 30 \quad (2a)$$

$$\text{y Fp} \leq 39,9 \text{ con } (3a)$$

$$\text{Fp} = \text{Cr} + 0,272*\text{Fe} + 2,36*\text{Al} + 2,22*\text{Si} + 2,48*\text{Ti} + 1,26*\text{Nb} + 0,374*\text{Mo} + 0,538*\text{W} - 11,8*\text{C} \quad (4a)$$

- 10 siendo Cr, Fe, Al, Si, Ti, Nb, Co, W y Mo la concentración de los correspondientes elementos en % en masa.

Unos ventajosos perfeccionamientos del objeto del invento se pueden deducir de las reivindicaciones subordinadas correspondientes.

El intervalo de dispersión para el elemento cromo se sitúa entre 29 y 37 %, pudiendo ajustarse unos intervalos preferidos del siguiente modo:

- 15 - 30 hasta 37 %
- 31 hasta 37 %
- 31 hasta 36 %
- 32 hasta 35 %
- 32 hasta 36 %
20 - > 32 hasta 37 %

El contenido de aluminio está situado entre 0,001 y 1,8 %, pudiendo ajustarse también en el presente caso, según sea el sector de empleo de la aleación, unos contenidos preferidos de aluminio del siguiente modo:

- 0,001 hasta 1,4 %
- 0,001 hasta 1,3 %
25 - 0,001 hasta < 1,0 %
- 0,001 hasta 0,60 %
- 0,01 hasta 0,60 %
- 0,10 hasta 0,60 %
- 0,20 hasta 0,60 %

- 30 El contenido de hierro está situado entre 0,1 y 7,0 %, pudiendo ajustarse, dependiendo del sector de uso, unos contenidos preferidos situados dentro de los siguientes intervalos de dispersión:

- 0,1- 4,0 %
- 0,1 - 3,0 %
- 0,1 - < 2,5 %
35 - 0,1 - 2,0 %
- 0,1 - 1,0 %

El contenido de silicio está situado entre 0,001 y 0,50 %. Preferiblemente el Si se puede ajustar dentro del intervalo de dispersión del siguiente modo en la aleación:

- 0,001 - 0,20 %
40 - 0,001 - < 0,10 %
- 0,001 - < 0,05 %

ES 2 605 949 T3

- 0,01 - < 0,20 %

Lo mismo es válido para el elemento manganeso, que puede estar contenido en la aleación entre 0,005 y 2,0 %. Alternativamente se puede concebir también el siguiente intervalo de dispersión.

- 0,005 - 0,50 %
- 5
- 0,005 - 0,20 %
 - 0,005 - 0,10 %
 - 0,005 - < 0,05 %
 - 0,01 - < 0,20 %

10 El contenido de titanio está situado entre 0,00 y 1,0 %. Preferiblemente el Ti puede ser ajustado dentro del intervalo de dispersión del siguiente modo en la aleación:

- 0,001 - < 1,00 %
 - 0,001 - 0,60 %
 - 0,001 - 0,50 %
 - 0,01 - 0,50 %
- 15
- 0,10 - 0,50 %
 - 0,10 - 0,40 %

El contenido de Nb está situado entre 0,00 y 1,1 %. Preferiblemente el Nb se puede ajustar dentro del intervalo de dispersión del siguiente modo en la aleación

- 0,001 - 1,0 %
- 20
- 0,001 - < 0,70 %
 - 0,001 - < 0,50 %
 - 0,001 - 0,30 %
 - 0,01 - 0,30 %
 - 0,10 - 1,10 %
- 25
- 0,20 - 0,80 %
 - 0,20 - 0,50 %
 - 0,25 - 0,45 %

También el magnesio y/o el calcio están incluidos en unos contenidos de 0,0002 a 0,05 %. Preferiblemente existe la posibilidad de ajustar estos elementos en cada caso del siguiente modo en la aleación:

- 30
- 0,0002 - 0,03 %
 - 0,0002 - 0,02 %
 - 0,0005 - 0,02 %
 - 0,001 - 0,02 %

35 La aleación contiene de 0,005 a 0,12 % de carbono. Preferiblemente éste se puede ajustar dentro del intervalo de dispersión del siguiente modo en la aleación.

- 0,01 - 0,12 %
- 0,02 - 0,12 %
- 0,03 - 0,12 %
- 0,05 - 0,12 %

ES 2 605 949 T3

- 0,05 - 0,10 %

Esto es válido de igual manera para el elemento nitrógeno, que está presente en unos contenidos situados entre 0,001 y 0,05 %. Unos contenidos preferidos se pueden dar del siguiente modo:

- 0,003 - 0,04 %

- 5 La aleación contiene por lo demás fósforo en unos contenidos entre 0,001 y 0,030 %. Unos contenidos preferidos se pueden dar del siguiente modo:

- 0,001 - 0,020 %

La aleación tiene por lo demás oxígeno en unos contenidos entre 0,0001 y 0,020 %, y contiene en particular de

- 0,0001 a 0,010 %.

- 10 El elemento azufre se da del siguiente modo en la aleación:

- como máximo 0,010 %

El molibdeno y el wolframio están contenidos individualmente o en combinación en la aleación con un contenido en cada caso de como máximo 2,0 %. Unos contenidos preferidos se pueden dar del siguiente modo:

- Mo como máximo 1,0 %

- 15 - W como máximo 1,0 %

- Mo como máximo < 0,50 %

- W como máximo < 0,50 %

- Mo como máximo < 0,05 %

- W como máximo < 0,05 %

- 20 Debe cumplirse la siguiente relación entre el Cr y el Al, para que se presente una suficiente estabilidad frente a la pulverización metálica:

$$\text{Cr} + \text{Al} > 30 \quad (2a)$$

siendo Cr y Al la concentración de los correspondientes elementos en % de en masa.

Unos intervalos preferidos se pueden ajustar con:

25 $\text{Cr} + \text{Al} \geq 31 \quad (2b)$

Además de ello debe cumplirse la siguiente relación para que se presente una suficiente estabilidad de fases:

$$\text{Fp} \leq 39,9 \text{ con} \quad (3a)$$

$$\text{Fp} = \text{Cr} + 0,272*\text{Fe} + 2,36*\text{Al} + 2,22*\text{Si} + 2,48*\text{Ti} + 1,26*\text{Nb} + 0,374*\text{Mo} + 0,538*\text{W} - 11,8*\text{C} \quad (4a)$$

siendo Cr, Fe, Al, Si, Ti, Nb, C, W y Mo la concentración de los correspondientes elementos en % en masa.

- 30 Unos intervalos preferidos se pueden ajustar con:

$$\text{Fp} \leq 38,4 \quad (3b)$$

$$\text{Fp} \leq 36,6 \quad (3c)$$

Facultativamente, en la aleación el elemento itrio se puede ajustar en unos contenidos de 0,01 a 0,20 %. Preferiblemente el Y se puede ajustar dentro del intervalo de dispersión del siguiente modo en la aleación:

- 35 - 0,01 - 0,15 %

- 0,01 - 0,10 %

- 0,01 - 0,08 %

- 0,01 - 0,05 %

- 0,01 - < 0,045 %

ES 2 605 949 T3

Facultativamente, en la aleación el elemento lantano se puede ajustar en unos contenidos de 0,001 a 0,20 %. Preferiblemente el La se puede ajustar dentro del intervalo de dispersión del siguiente modo en la aleación:

- 0,001 - 0,15 %
- 0,001 - 0,10 %
- 5 - 0,001 - 0,08 %
- 0,001 - 0,05 %
- 0,01 - 0,05 %

Facultativamente, en la aleación el elemento Ce se puede ajustar en unos contenidos de 0,001 a 0,20 %. Preferiblemente el Ce se puede ajustar dentro del intervalo de dispersión del siguiente modo en la aleación:

- 10 - 0,001 - 0,15 %
- 0,001 - 0,10 %
- 0,001 - 0,08 %
- 0,001 - 0,05 %
- 0,01 - 0,05 %

15 Facultativamente en el caso de alearse simultáneamente el Ce y el La se puede utilizar un metal de Misch con cerio en unos contenidos de 0,001 a 0,20 %. Preferiblemente el metal de Misch con cerio se puede ajustar dentro del intervalo de dispersión del siguiente modo en la aleación:

- 0,001 - 0,15 %
- 0,001 - 0,10 %
- 20 - 0,001 - 0,08 %
- 0,001 - 0,05 %
- 0,01 - 0,05 %

En caso necesario, a la aleación se le puede añadir también Zr. El contenido de zirconio está situado entre 0,01 y 0,20 %. Preferiblemente el Zr se puede ajustar dentro del intervalo de dispersión del siguiente modo en la aleación: (

- 25 - 0,01 - 0,15 %
- 0,01 - < 0,10 %
- 0,01 - 0,07 %
- 0,01 - 0,05 %

Facultativamente el zirconio puede también ser reemplazado total o parcialmente por

- 30 - 0,001 - 0,2 % de hafnio

Facultativamente, en la aleación puede estar contenido también de 0,001 a 0,060 % de tántalo.

Facultativamente, el elemento boro puede estar contenido del siguiente modo en la aleación:

- 0,0001 - 0,008 %

Unos contenidos preferidos de boro se pueden dar del siguiente modo:

- 35 - 0,0005 - 0,008 %
- 0,0005 - 0,004 %

Por lo demás, la aleación puede contener en caso necesario entre 0,00 y 5,0 % de cobalto, que además de ello puede ser limitado todavía del siguiente modo:

- 0,01 hasta 5,0 %

- 0,01 hasta 2,0 %
- 0,1 hasta 2,0 %
- 0,01 hasta 0,5 %

Por lo demás, en la aleación puede estar contenido en caso necesario como máximo 0,5 % de Cu.

5 El contenido de cobre puede ser limitado además de ello del siguiente modo:

- como máximo < 0,05 %
- como máximo < 0,015 %

Si está contenido Cu en la aleación, la Fórmula 4a debe ser complementada en un término con Cu:

$$F_p = Cr + 0,272*Fe + 2,36*Al + 2,22*Si + 2,48*Ti + 1,26*Nb + 0,477*Cu + 0,374*Mo + 0,538*W - 11,8*C \quad (4b)$$

10 siendo Cr, Fe, Al, Si, Ti, Nb, Cu, Mo, W y C la concentración del correspondiente elemento en % en masa.

Por lo demás en la aleación puede estar contenido en caso necesario como máximo 0,5 % de vanadio.

Finalmente en cuanto a impurezas se pueden presentar todavía los elementos plomo, zinc y estaño en unos contenidos como siguen:

Pb como máximo 0,002 %

15 Zn como máximo 0,002 %

Sn como máximo 0,002 %

Por lo demás, se puede cumplir la siguiente relación que garantiza una elaborabilidad especialmente buena

$$F_a \leq 60 \text{ con} \quad (5a)$$

$$F_a = Cr + 6,15*Nb + 20,4*Ti + 201*C \quad (6a)$$

20 siendo Cr, Ti, Nb y C la concentración de los correspondientes elementos en % en masa.

Unos intervalos preferidos se pueden ajustar con:

$$F_a \leq 54$$

Por lo demás se puede cumplir la siguiente relación, que describe una resistencia al calor o respectivamente una resistencia a la viscofluencia especialmente buena:

$$25 \quad F_k \geq 40 \text{ con} \quad (7a)$$

$$F_k = Cr + 19*Ti + 34,3*Nb + 12*Al + 12,5*Si + 98*C \quad (8a)$$

siendo Cr, Ti, Nb, Al, Si y C la concentración de los correspondientes elementos en % en masa

Unos intervalos preferidos se pueden ajustar con:

$$F_k \geq 45 \quad (7b)$$

$$30 \quad F_k \leq 49 \quad (7c)$$

Si está contenido boro en la aleación entonces la Formula 6a debe de ser complementada en un término con boro:

$$F_k = Cr + 19*Ti + 34,3*Nb + 10,2*Al + 12,5*Si + 98*C + 2245*B \quad (8b)$$

siendo Cr, Ti, Nb, Al, Si, C y B la concentración de los correspondientes elementos en % en masa.

35 La aleación conforme al invento se funde preferiblemente de modo abierto, seguido por un tratamiento en una instalación VOD o VLF. Sin embargo, también son posibles una fusión y un moldeo por colada en vacío. Después de ello la aleación es moldeada por colada en forma de lingotes o en forma de una colada continua. Eventualmente, el lingote es recocido luego a unas temperaturas comprendidas entre 900 °C y 1.270 °C durante 0,1 h hasta 70 h. Por lo demás es posible refundir la aleación adicionalmente con un ESU y/o VAT. Después de ello la aleación es llevada a la deseada forma de producto semiacabado. Para ello, se recuece eventualmente a unas temperaturas

40

comprendidas entre 900 °C y 1.270 °C durante 0,1 hasta 70 h, después de ello se remodela en caliente, eventualmente con unos recocidos intermedios entre 900 °C y 1.270 °C durante 0,1 hasta 70 h. La superficie del material puede ser eventualmente erosionada de manera química y/o mecánica entretanto y/o al final de la limpieza (también varias veces). Después del final de la conformación en caliente se puede efectuar eventualmente una conformación en frío con unos grados de remodelación hasta de 98 % a la deseada forma de producto semiacabado, eventualmente con unos recocidos intermedios entre 700 °C y 1.250 °C durante 0,1 hasta 70 h, eventualmente bajo un gas protector, tal como p.ej. argón o hidrógeno, seguido por un enfriamiento en aire, en una atmósfera de recocido en movimiento o en un baño de agua. Después de ello tiene lugar un recocido por disolución en el intervalo de temperaturas de 700 °C y 1.250 °C durante 0,1 hasta 70 h, eventualmente bajo un gas protector, tal como p.ej. argón o hidrógeno, seguido por un enfriamiento en presencia de aire en una atmósfera de recocido en movimiento o en un baño de agua. Eventualmente se pueden efectuar, entretanto y/o después del último recocido, unas limpiezas químicas y/o mecánicas de la superficie del material.

La aleación conforme al invento se puede producir y utilizar de buena manera en las siguientes formas de productos: banda, chapa, barra, alambre, tubo soldado por costura longitudinal y tubo sin costura.

Estas formas de producto se producen con un tamaño medio de granos de 5 µm a 600 µm. El intervalo preferido de tamaños de granos está situado entre 20 µm y 200 µm.

La aleación conforme al invento se debe emplear preferiblemente en unas regiones en las que predominan unas condiciones carburantes tal como p.ej. en el caso de unas piezas constructivas, en particular unos tubos, en la industria petroquímica. Además de esto, ella es apropiada también para la construcción de hornos.

Ensayos llevados a cabo:

Las fases en equilibrio que aparecen se calcularon para las diferentes variantes de aleaciones con el programa JMatPro de Thermotech. Como base de datos para los cálculos se utilizó el banco de datos TTNI7 para aleaciones sobre la base de níquel de Thermotech.

La remodelabilidad se determina en un ensayo de tracción de acuerdo con la norma DIN EN ISO 6892-1 a la temperatura ambiente. En tal caso se determinan el límite de alargamiento $R_{p0,2}$, la resistencia a la tracción R_m y el alargamiento A hasta la rotura. El alargamiento A es determinado en una muestra fracturada a partir del alargamiento del tramo medido original L_0 :

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

con L_u = longitud medida después de la rotura.

Según sea la longitud medida el alargamiento a la rotura es provisto de unos índices:

p.ej. para A_5 la longitud medida L_0 es = $5 \cdot d_0$ con d_0 = diámetro inicial de una muestra cilíndrica.

Los ensayos se llevaron a cabo en unas muestras cilíndricas con un diámetro de 6 mm en la zona de medición y una longitud medida L_0 de 30 mm. La toma de muestras se efectuó transversalmente a la dirección de remodelación del producto semiacabado. La velocidad de remodelación fue, en el caso de $R_{p0,2}$, de 10 MPa/s y, en el caso de R_m , de $6,7 \cdot 10^{-3}$ 1/s (40 %/min).

La magnitud del alargamiento A en el ensayo de tracción a la temperatura ambiente se puede suponer como media de la deformabilidad. Un material bien elaborable debería tener un alargamiento de por lo menos 50 %.

La resistencia al calor se determina en un ensayo de tracción en caliente de acuerdo con la norma DIN EN ISO 6892-2. En tal caso se determinan el límite de alargamiento $R_{p0,2}$, la resistencia a la tracción R_m y el alargamiento A hasta la rotura de un modo análogo a como en el ensayo de tracción a la temperatura ambiente (norma DIN EN ISO 6892-1).

Los ensayos se llevaron a cabo en unas muestras cilíndricas con un diámetro de 6 mm en la zona de medición y una longitud medida inicial L_0 de 30 mm. La toma de muestras se efectuó transversalmente a la dirección de remodelación del producto semiacabado. La velocidad de remodelación fue en el caso de $R_{p0,2}$ de $8,33 \cdot 10^{-5}$ 1/s MPa/s (0,5 %/min) y en el caso de R_m de $8,33 \cdot 10^{-4}$ (5 %/min).

La muestra se introduce a la temperatura ambiente en una máquina de pruebas de tracción y se calienta a la temperatura deseada sin carga con una fuerza de tracción. Después de haber alcanzado la temperatura de ensayo, la muestra se mantiene sin carga durante una hora (a 600 °C) o respectivamente durante dos horas (de 700 °C a 1.100 °C) para efectuar una compensación de la temperatura. Después de ello, la muestra se carga con una fuerza de tracción de tal manera que se mantienen las deseadas velocidades de alargamiento, y comienza el ensayo.

La resistencia a la viscofluencia de un material mejora con una creciente resistencia al calor. Por lo tanto, la resistencia al calor se usa también para la evaluación de la resistencia a la viscofluencia de los diferentes materiales.

La estabilidad frente a la corrosión a temperaturas más altas se determinó en un ensayo de oxidación a 1.000 °C en presencia de aire, siendo interrumpido el ensayo cada 96 horas y siendo determinadas las modificaciones de la masa de las muestras que habían sido causadas por la oxidación. Las muestras, al realizar el ensayo, se colocaron en un crisol de material cerámico de manera tal que se recogía el óxido que eventualmente se desconchaba y por pesaje del crisol que contenía los óxidos se pudo determinar la masa del óxido desconchado. La suma de la masa del óxido desconchado y la modificación de la masa de las muestras es la modificación de la masa en bruto de la respectiva muestra. La modificación específica de la masa es la modificación de la masa referida a la superficie de las muestras. Estas modificaciones se designan a continuación como m_{neta} para la modificación de la masa neta específica, como m_{bruta} para la modificación de la masa bruta específica, como $m_{astillas}$ para la modificación de la masa específica de los óxidos desconchados. Los ensayos se llevaron a cabo en unas muestras con un espesor de aproximadamente 5 mm. De cada carga se envejecieron 3 muestras, los valores indicados son los valores medios de estas 3 muestras.

Descripción de las propiedades

La aleación conforme al invento debe de tener, junto a una sobresaliente estabilidad frente a la pulverización metálica, al mismo tiempo las siguientes propiedades:

- una buena estabilidad de fases
- una buena elaborabilidad
- una buena estabilidad frente a la corrosión en aire, similar a la de la Aleación 601 o o resp. la Aleación 690.

Es deseable además

- una buena resistencia al calor/resistencia a la viscofluencia.

Estabilidad de fases

En el sistema de níquel-cromo-aluminio-hierro con adiciones de Ti y/o Nb se pueden formar, según sean los contenidos de la aleación diferentes fases TCP fragilizantes tales como p.ej. las fases de Laves, las fases Sigma o las fases μ así como la fase η o las fases ϵ fragilizantes (véase p.ej. Ralf Bürgel, Handbuch der Hochtemperaturwerkstofftechnik, 3ª edición, Editorial Vieweg, Wiesbaden, 2006, páginas 370 - 374). El cálculo de las proporciones de la fase en equilibrio en dependencia de la temperatura de p.ej. p.ej. N06690, la carga 111389 (véanse en la Tabla 2 unas composiciones típicas) muestran por cálculo la formación de cromo α (fase BCC en la Figura 2) por debajo de 720°C ($T_{s\ BCC}$) en grandes proporciones cuantitativas. Esta fase se forma sin embargo solamente con dificultades también por el hecho de que ella es analíticamente muy diferente con respecto del material de base. No obstante, la temperatura de formación T_s de esta fase es muy alta, de manera tal que ella puede aparecer generalmente tal como se describe p.ej. en la cita "E. Sievolden, J.Z. Albertsen. U. Fink, Tjeldbergodden Methanol Plant: Metal Dusting Investigations," Corrosion/2011, paper nº 11144 (Houston, TX: NACE 2011), p. 15" para una variante de la Aleación 693 (UNS 06693). Esta fase es frágil y conduce a una indeseada fragilización del material.

La Figura 3 y la Figura 4 muestran los diagramas de fases de las variantes de la Aleación 6933 (a partir del documento de patente de los EE.UU. US 4.882.125 Tabla 1), de la Aleación 3 y resp. de la Aleación 10 a partir de la Tabla 2. La Aleación 3 tiene una temperatura de formación $T_{s\ BCC}$ de 1.079 °C, y la Aleación 10 tiene una de 939 °C. En la cita "E. Sievolden, J.Z. Albertsen. U. Fink, Tjeldbergodden Methanol Plant: Metal Dusting Investigations," Corrosion/2011, paper nº 11144 (Houston, TX: NACE 2011), p. 15" no se describe el análisis exacto de la aleación en la que aparece la fase α -cromo (BCC). Sin embargo, hay que partir del supuesto de que, dentro de los Ejemplos expuestos en la Tabla 2 para la Aleación 693, en el caso de los análisis que tienen determinadas por cálculo las temperaturas de formación $T_{s\ BCC}$ más altas (tal como p.ej. la Aleación 10), se puede formar la fase α -cromo (BCC). En el caso de un análisis corregido con una reducida temperatura de formación $T_{s\ BCC}$ se observó en "E. Sievolden, J.Z. Albertsen. U. Fink, Tjeldbergodden Methanol Plant: Metal Dusting Investigations," Corrosion/2011, paper nº 11144 (Houston, TX: NACE 2011), p. 15" entonces la fase α -cromo (BCC) todavía solamente en la proximidad de la superficie. Con el fin de evitar la aparición de tal fase fragilizadora, en el caso de las aleaciones conformes al invento, la temperatura de formación $T_{s\ BCC} \leq 939$ °C – la más baja temperatura de formación $T_{s\ BCC}$ debe estar situada dentro de los Ejemplos para la Aleación 6933 (a partir del documento US 4.882.25 Tabla 1).

Este es el caso en particular cuando se cumple la siguiente fórmula

$$F_p \leq 39,9 \text{ con} \tag{3a}$$

$$F_p = Cr + 0,272*Fe + 2,36*Al + 2,22*Si + 2,48*Ti + 1,26*Nb + 0,374*Mo + 0,538*W - 11,8*C \tag{4a}$$

siendo Cr, Al, Fe, Si, Ti, Nb, M W y C la concentración de los correspondientes elementos en % en masa. La Tabla 2 con las aleaciones de acuerdo con el estado de la técnica, muestra que F_p para las Aleación 8, Aleación 3 y

Aleación 2 es $> 39,9$ y para la Aleación 10 es exactamente de 39,9. Para todas las otras aleaciones con $T_s \text{ BCC} < 939 \text{ }^\circ\text{C}$, F_p es $\leq 39,9$.

Elaborabilidad

A modo de ejemplo de la elaborabilidad se considera aquí la remodelabilidad.

- 5 Una aleación puede ser endurecida por varios mecanismos, por lo que ella tiene una alta resistencia al calor o respectivamente estabilidad frente a la viscofluencia. Así, la adición a la aleación de otro elemento, según sea el elemento, da lugar a una elevación más o menos grande de la resistencia (endurecimiento de cristales mixtos). Es muchísimo más efectiva una elevación de la resistencia mediante finas partículas o segregaciones (endurecimiento de las partículas). Esto puede efectuarse p.ej. mediante la fase γ' , que se forma en el caso de adiciones de Al y otros elementos tales como p.ej.: Ti, a una aleación de níquel o mediante unos carburos, que se forman mediante la adición de carbono a una aleación de níquel que contiene cromo (véase Ralf Bürgel, Handbuch der

Hochtemperaturwerkstofftechnik, 3^a Auflage, Editorial Vieweg, Wiesbaden, 2006, páginas 358 - 369)

- 15 La elevación del contenido de los elementos que forman la fase γ' , o respectivamente del contenido de C aumenta ciertamente la resistencia al calor pero perjudica crecientemente a la deformabilidad, incluso en un estado recocido por disolución.

Para un material bien remodelable se pretenden unos alargamientos A_5 en el ensayo de tracción a la temperatura ambiente de $\geq 50 \%$, pero por lo menos de $\geq 45 \%$

Esto se consigue particularmente cuando entre los elementos que forman carburos Cr, Nb, Ti y C se cumple la siguiente relación

20 $F_a \leq 60$ con (5a)

$F_a = Cr + 6,15 \cdot Nb + 20,4 \cdot Ti + 201 \cdot C$ (6b)

siendo Cr, Nb, Ti y C la concentración de los correspondientes elementos en % en masa.

Resistencia al calor/resistencia a la viscofluencia

- 25 El contenido de cromo se ha establecido, en el caso de la aleación conforme al invento, $\leq 29 \%$ de manera preferida $\geq 30 \%$ resp. $\geq 31 \%$. Con el fin de garantizar la estabilidad de fases en el caso de unos contenidos de cromo tan altos, el contenido de aluminio, con $\leq 1,8 \%$, preferiblemente $\leq 1,4 \%$, se ha escogido más bien en la región inferior del intervalo. Puesto que el contenido de aluminio contribuye sin embargo esencialmente en la resistencia a la tracción o respectivamente en la resistencia a la viscofluencia (tanto mediante endurecimiento de cristales mixtos como también mediante endurecimiento de γ') esto tiene como consecuencia que como meta para la resistencia al calor o respectivamente a la resistencia a la viscofluencia no se tome la de la Aleación 602 CA sino la de la Aleación 602 aún cuando naturalmente serían deseables unos valores más altos para la resistencia al calor y a la resistencia a la viscofluencia.

- 35 Se pretendió que el límite de alargamiento o respectivamente la resistencia a la tracción a temperaturas más altas deberían estar situados en el intervalo de los valores de la Aleación 601 resp. la Aleación 690 (véase la Tabla 4). Se deben cumplir por lo menos 3 de las 4 siguientes relaciones:

600 °C: Límite de alargamiento $R_{p0,2} > 140 \text{ MPA}$; Resistencia a la tracción $R_m > 450 \text{ MPA}$ (7a, 7b)

800 °C: Límite de alargamiento $R_{p2} > 130 \text{ MPA}$; Resistencia a la tracción $R_m > 135 \text{ MPA}$ (7c, 7d)

Esto se consigue en particular cuando se cumple la siguiente relación entre los elementos principalmente endurecedores:

40 $F_k \geq 40$ con (7a)

$F_k = Cr + 19 \cdot Ti + 34,3 \cdot Nb + 10,2 \cdot Al + 12,5 \cdot Si + 98 \cdot C + 2245 \cdot B$ (8b) (8b)

siendo Cr, Ti, Nb, Al, Si, C y B la concentración de los correspondientes elementos en % en masa.

Estabilidad frente a la corrosión:

- 45 La estabilidad frente a la oxidación de un buen compuesto formador de óxido de cromo es suficiente. La aleación conforme al invento debe de tener por lo tanto una estabilidad frente a la corrosión en aire similar a la de la Aleación 690 o resp. la Aleación 601.

Ejemplos

Producción:

5 Las Tablas 3a y 3b muestran los análisis de las cargas fundidas a escala de laboratorio juntamente con algunas cargas fundidas a gran escala técnica que se usaron como comparación de acuerdo con el estado de la técnica de las Aleación 602CA (N06025), Aleación 690 (N06690) y Aleación 601 (N06601). Las cargas de acuerdo con el estado de la técnica son caracterizadas con una T, las que son conformes al invento lo son con una E. Las cargas caracterizadas a la escala de laboratorio son caracterizadas con una L y las cargas fundidas a gran escala técnica con una G.

10 Los lingotes de las aleaciones fundidas en vacío a la escala de laboratorio en las Tablas 3a y b fueron recocidas entre 900 °C y 1.270 °C durante 8 h y mediante laminación en caliente y otros recocidos intermedios entre 900 °C y 1.270 °C durante 0,1 hasta 1 h a un espesor final de 13 mm o resp. 6 mm. Las chapas así producidas fueron recocidas por disolución entre 900 °C y 1.270 °C durante 1 h. A partir de estas chapas se sacaron las muestras necesarias para las mediciones.

15 En el caso de las aleaciones fundidas a gran escala técnica se sacó una muestra a partir de la producción a gran escala técnica a partir de una chapa producida en servicio con un espesor ajustado. A partir de esta muestra se produjeron las muestras necesarias para las mediciones.

Todas las variantes de aleaciones tenían típicamente un tamaño de granos comprendido entre 65 y 310 μm .

Para las cargas de Ejemplos en las Tablas 3a y 3b se acompañan las siguientes propiedades:

- estabilidad frente a la pulverización metálica
- 20 - estabilidad de fases
- remodelabilidad con ayuda del ensayo de tracción a la temperatura ambiente
- resistencia al calor/estabilidad frente a la viscofluencia con ayuda de ensayos de tracción en caliente
- estabilidad frente a la corrosión con ayuda de un ensayo de oxidación

25 A la escala de laboratorio se fundieron las cargas 2294 hasta 2314 y 250053 hasta 250150. Las cargas caracterizadas con E conformes al invento cumplen la fórmula (2a) con $\text{Cr} + \text{Al} > 30$ y por consiguiente son más estables frente a la pulverización metálica que la Aleación 690. Las cargas 2298, 2299, 2303, 2304, 2305, 2308, 2314, 250063, 260065, 250066, 250067, 250068, 250079, 250139, 250140 y 250141 cumplen la fórmula (2b) $\text{Al} + \text{Cr} \geq 31$. Ellas, por consiguiente, son especialmente bien estables frente a la pulverización metálica.

30 Para las aleaciones seleccionadas de acuerdo con el estado de la técnica en la Tabla 2 y para todas las cargas de laboratorio (Tablas 3a y 3b) se calcularon los diagramas de fases, y la temperatura de formación $T_{s \text{ BCC}}$ se anotó en las Tablas 2 y 3a. Para las composiciones en las Tablas 2 resp. 3a y 3b se calculó también el valor para F_p de acuerdo con la fórmula 4a. F_p es tanto más grande cuanto mayor es la temperatura de formación $T_{s \text{ BCC}}$. Todos los Ejemplos de la Aleación 693 (N06693) con una temperatura de formación $T_{s \text{ BCC}}$ más alta que la de la Aleación 10 tienen un $F_p > 39,9$. La exigencia $F_p \leq 39,9$ (Fórmula 3a) es por lo tanto un buen criterio con el fin de obtener una suficiente estabilidad de fases en el caso de una aleación. Todas las cargas de laboratorio (caracterización con L) en las Tablas 3a y 3b cumplen el criterio $F_p \leq 39,9$.

35 En la Tabla 4 se anotan el límite de alargamiento $R_{p,0,2}$, la resistencia a la tracción R_m y el alargamiento A_5 para la temperatura ambiente RT y para 600 °C, y además la resistencia a la tracción R_m para 800 °C. Además de ello se anotan los valores para F_a y F_k .

40 Las cargas de Ejemplos 156817 y 160483 de la aleación de acuerdo con el estado de la técnica Aleación 602 CA tienen en la Tabla 4 unos alargamientos A_5 comparativamente pequeños a la temperatura ambiente de 36 y resp. 42 %, que se sitúan por debajo de los requisitos para una buena remodelabilidad. F_a es > 60 y por consiguiente está por encima del intervalo que caracteriza a una buena remodelabilidad. Todas las aleaciones conformes al invento muestran un alargamiento > 50 %. Ellas cumplen por lo tanto los requisitos. F_a es para todas las aleaciones conformes al invento < 60 . Ellas se encuentran por consiguiente en la región de una buena remodelabilidad. El alargamiento es especialmente alto, cuando F_a es comparativamente pequeño.

45 La carga de Ejemplo 156658 de la aleación de acuerdo con el estado de la técnica Aleación 601 en la Tabla 4 es un ejemplo de la región, en la que se deberían alcanzar el límite de alargamiento y la resistencia a la tracción a 600 °C o resp. 800 °C. Esto se describe mediante las relaciones 7a hasta 7d. El valor para F_k es > 40 . Las aleaciones 2298, 2299, 2303, 2304, 2305, 2308, 2314, 250060, 250063, 260065, 250066, 250067, 250068, 250079, 250139, 250140, 250141, 250143, 250150 cumplen el requisito de que se han de cumplir por lo menos 3 de las 4 relaciones 7a hasta 7d. En el caso de estas aleaciones, también F_k es mayor que 40. Las cargas de laboratorio 2295, 2303, 250053,

250054 y 250057 son unos ejemplos de que se cumplen menos de 3 de las 4 relaciones 7a hasta 7d. Entonces también F_k es < 45 .

- 5 La Tabla 5 muestra las modificaciones específicas de la masa después de un ensayo de oxidación a 1.100 °C en presencia de aire después de 11 ciclos de 96 h, por lo tanto en total después de 1.056 h. Se indica en la Tabla 5 la modificación de la masa bruta, la modificación de la masa neta y la modificación específica de la masa de los óxidos desconchados después de 1.056 h. Las aleaciones de acuerdo con el estado de la técnica Aleación 601 y Aleación 690 mostraron una modificación de la masa bruta manifiestamente más alta que la de la Aleación 602 CA. Esto se debe a que las Aleación 601 y Aleación 690 forman una capa de óxido de cromo, que crece más rápidamente que una capa de óxido de aluminio, pero la Aleación 602 CA tiene por debajo de la capa de óxido de cromo una capa de óxido de aluminio por lo menos parcialmente cerrada. Esto reduce apreciablemente el crecimiento de la capa de óxido y por consiguiente también el aumento específico de la masa. Las aleaciones conformes al invento deben tener una estabilidad frente a la corrosión en aire que es similar a las de las Aleación 601 y resp. Aleación 601. Es decir, que la modificación de la masa bruta debería estar situada por debajo de 60 g/m². Esto se da el caso con todas las cargas de laboratorio en la Tabla 5, por lo tanto también para las que son conformes al invento.
- 10
- 15 Los límites reivindicados para la aleación "E" conforme al invento se deben de justificar por lo tanto en particular del siguiente modo:
- Unos contenidos de Cr demasiado pequeños significan que la concentración de Cr en el caso del empleo de la aleación en una atmósfera corrosiva disminuye muy rápidamente por debajo del límite crítico, de modo tal que ya no se puede formar ninguna capa cerrada de óxido de cromo. Por lo tanto, 29 % de Cr es el límite inferior para el cromo. Unos contenidos de Cr demasiado altos empeoran la estabilidad de fases de la aleación. Por lo tanto ha de considerarse que 37 % de Cr es el límite superior.
- 20
- Un cierto contenido mínimo de aluminio de 0,001 % es necesario para la producibilidad de la aleación. Unos contenidos demasiado altos de Al perjudican, en particular en el caso de muy altos contenidos de cromo, a la elaborabilidad y a la estabilidad de fases de la aleación. Por lo tanto, un contenido de Al de 1,8 % forma el límite superior.
- 25
- Los costes de la aleación aumentan con la reducción del contenido de hierro. Por debajo de 0,1 % los costes suben por encima de la proporcionalidad, puesto que se debe de emplear un material precursor especial. Por lo tanto, por motivos de costes, ha de considerarse que 0,1 % de Fe es el límite inferior.
- 30
- Con una elevación del contenido de hierro disminuye la estabilidad de fases (formación de fases fragilizadoras), en particular en el caso de altos contenidos de cromo. Por lo tanto 7 % de Fe es un límite superior conveniente con el fin de asegurar la estabilidad de fases de la aleación conforme al invento.
- Se necesita el Si en el caso de la producción de la aleación. Por lo tanto, es necesario un contenido mínimo de 0,001 %. Unos contenidos demasiado altos, por su parte, perjudican a la elaborabilidad y a la estabilidad de fases, en particular en el caso de altos contenidos de cromo. Por lo tanto el contenido de Si está restringido a 0,50 %.
- 35
- Es necesario un contenido mínimo de 0,005 % de Mn para mejorar la elaborabilidad. El manganeso es limitado a 2,0 %, puesto que este elemento reduce la estabilidad frente a la oxidación.
- El titanio aumenta la resistencia a altas temperaturas. A partir de 1,0 % se puede empeorar grandemente el comportamiento en oxidación, por lo que 1,0 % es el valor máximo.
- 40
- El niobio, exactamente igual que el titanio, aumenta la resistencia a las altas temperaturas. Unos contenidos más altos aumentan muy grandemente los costes. Por lo tanto el límite superior es establecido en 1,1 %.
- Ya unos muy pequeños contenidos de Mg y/o contenidos de Ca mejoran la elaboración mediante la fijación de azufre, con lo que se evita la aparición de eutécticos de NiS que funden a bajas temperaturas. Para el Mg y/o el Ca es necesario por lo tanto un contenido mínimo en cada caso de 0,0002 %. En el caso de unos contenidos demasiado altos, pueden aparecer fases de Ni-Mg o respectivamente fases de Ni-Ca intermetálicas, que de nuevo empeoran manifiestamente a la elaborabilidad. El contenido de Mg y/o el contenido de Ca son limitados por lo tanto a como máximo 0,05 %.
- 45
- Es necesario un contenido mínimo de 0,005 % C para que se presente una buena estabilidad frente a la viscofluencia. El C es limitado a como máximo 0,12 %, puesto que este elemento, por encima de este contenido, reduce la elaborabilidad por medio de la formación excesiva de carburos primarios.
- 50
- Es necesario un contenido mínimo de 0,001 % N, con lo que se mejora la elaborabilidad del material. El N es limitado a como máximo 0,05 %, puesto que este elemento, por medio de la formación de carbonitruros gruesos, reduce la elaborabilidad.
- El contenido de oxígeno debe ser $\leq 0,020$ %, con el fin de garantizar la producibilidad de la aleación. Un contenido de oxígeno demasiado pequeño aumenta los costes. El contenido de oxígeno es por lo tanto $\geq 0,0001$ %.

El contenido de fósforo debería ser $\leq 0,030$ %, puesto que este elemento activo interfacialmente perjudica a la estabilidad frente a la oxidación. Un contenido de P demasiado pequeño aumenta los costes. El contenido de P es por lo tanto $\geq 0,001$ %.

5 Los contenidos de azufre deberían ajustarse tan pequeños como sean posibles, puesto que este elemento activo interfacialmente perjudica a la estabilidad frente a la oxidación. Se establecen por lo tanto unos valores de como máximo 0,010 % de S.

El molibdeno es limitado a como máximo 2,0 %, puesto que este elemento reduce la estabilidad frente a la oxidación.

10 El wolframio es limitado a como máximo 2,0 %, puesto que este elemento reduce asimismo la estabilidad frente a la oxidación.

Se debe cumplir la siguiente relación entre el Cr y el Al, para que se presente una suficiente estabilidad frente a la pulverización metálica:

$$\text{Cr} + \text{Al} > 30 \quad (2a)$$

15 siendo Cr y Al la concentración de los correspondientes elementos en % en masa. Solamente entonces es lo suficientemente alto el contenido de elementos que forman óxidos como para garantizar una estabilidad frente a la pulverización metálica mejor que la de la Aleación 690.

Además de ello se debe cumplir la siguiente relación, para que se presente una suficiente estabilidad de fases:

$$F_p \leq 39,9 \text{ con} \quad (3a)$$

$$F_p = \text{Cr} + 0,272*\text{Fe} + 2,36*\text{Al} + 2,22*\text{Si} + 2,48*\text{Ti} + 1,26*\text{Nb} + 0,374*\text{Mo} + 0,538*\text{W} - 11,8*\text{C} \quad (4a)$$

20 siendo Cr, Fe, Al, Si, Ti, Nb, Mo, W y C la concentración de los correspondientes elementos en % en masa. Los límites para F_p así como la posible inclusión de otros elementos se justificaron detalladamente en la precedente descripción.

25 En caso necesario, con adiciones de elementos afines para el oxígeno, se puede mejorar adicionalmente la estabilidad frente a la oxidación. Ellos hacen esto introduciéndolos en la capa de óxidos, y allí bloquean sobre los límites de granos los caminos de difusión del oxígeno.

Es necesario un contenido mínimo de 0,01 % de Y, con el fin de conservar el efecto acrecentador de la estabilidad frente a la oxidación del Y. El límite superior es establecido por motivos de costes en 0,20 %.

Es necesario un contenido mínimo de 0,001 % de La, con el fin de conservar el efecto acrecentador de la estabilidad frente a la oxidación del La. El límite superior es establecido por motivos de costes en 0,20 %.

30 Es necesario un contenido mínimo de 0,001 % de Ce, con el fin de conservar el efecto acrecentador de la estabilidad frente a la oxidación del Ce. El límite superior es establecido por motivos de costes en 0,20 %.

Es necesario un contenido mínimo de 0,001 % de metal de Misch con cerio, con el fin de conservar el efecto acrecentador de la estabilidad frente a la oxidación del metal de Misch con cerio. El límite superior es establecido por motivos de costes en 0,20 %.

35 En caso necesario la aleación puede recibir también Zr. Es necesario un contenido mínimo de 0,01 % Zr, con el fin de conservar el efecto acrecentador de la estabilidad frente a la oxidación del Zr. El límite superior es establecido por motivos de costes en 0,20 % de Zr.

40 El Zr puede ser reemplazado en caso necesario total o parcialmente por el Hf, puesto que también este elemento, como el Zr, aumenta la resistencia a altas temperaturas y la estabilidad frente a la oxidación. El reemplazo es posible a partir de unos contenidos de 0,001 %. El límite superior es establecido por motivos de costes en 0,20 % Hf.

En caso necesario la aleación puede contener también tántalo, puesto que también el tántalo aumenta la resistencia a altas temperaturas. Unos contenidos más altos aumentan muy grandemente los costes. El límite superior es establecido por lo tanto en 0,60 %. Es necesario un contenido mínimo de 0,001 %, con el fin de conseguir un efecto.

45 En caso necesario se puede añadir boro a la aleación, puesto que el boro mejora la estabilidad frente a la viscofluencia. Por lo tanto debería estar presente un contenido de por lo menos 0,0001 %. Al mismo tiempo, este elemento activo interfacialmente empeora la estabilidad frente a la oxidación. Se establece por lo tanto como máximo 0,008 % de boro.

El cobalto puede estar contenido en esta aleación hasta en 5,0 %. Unos contenidos más altos reducen apreciablemente la estabilidad frente a la oxidación.

ES 2 605 949 T3

El cobre es limitado a como máximo 0,5 %, puesto que este elemento reduce la estabilidad frente a la oxidación.

El vanadio es limitado a como máximo 0,5 %, puesto que este elemento reduce la estabilidad frente a la oxidación

El Pb es limitado a como máximo 0,002 %, puesto que este elemento reduce la estabilidad frente a la oxidación. Lo mismo es válido para el Zn y el Sn.

- 5 Por lo demás se puede cumplir facultativamente la siguiente relación entre los elementos formadores de carburos Cr, Ti y C, que describe una elaborabilidad especialmente buena:

$$Fa \leq 60 \text{ con} \quad (5a)$$

$$Fa = Cr + 6,15 \cdot Nb + 20,4 \cdot Ti + 201 \cdot C \quad (6a)$$

- 10 siendo Cr, Nb, Ti y C la concentración de los correspondientes elementos en % en masa. Los límites para Fa se justificaron detalladamente en la precedente descripción.

Por lo demás se puede cumplir facultativamente la siguiente relación entre los elementos acrecentadores de la resistencia, que describe una resistencia al calor o resp. una resistencia a la viscofluencia especialmente buena:

$$Fk \geq 40 \text{ con} \quad (7a)$$

$$Fk = Cr + 19 \cdot Ti + 34,3 \cdot Nb + 10,2 \cdot Al + 12,5 \cdot Si + 98 \cdot C \quad (8a)$$

- 15 siendo Cr, Ti, Nb, Al, Si y C la concentración de los correspondientes elementos en % en masa. Los límites para Fk y la posible inclusión de otros elementos se justificaron detalladamente en la precedente descripción.

Tabla 1: Aleaciones según ASTM B168-11 (Todos los datos en % en masa)

Aleación	Ni	Cr	Co	Mo	Nb	Fe	Mn	Al	C	Cu	Si	S	Ti	P	Zr	Y	B	N	Ce
Aleación 600 N06600	72,0 min	14,0- 17,0				6,0- 10,0	1,0 max		0,15 max	0,5 max	0,5 max	0,015 max							
Aleación 601 N06601	58,0- 63,0	21,0- 25,0				Resto	1,0 max	1,0- 1,7	0,10 max	0,5 max	0,5 max	0,015 max							
Aleación 617 N06617	44,5 min	20,0- 24,0	10,0- 15,0	8,0- 10,0		3,0 max	1,0 max	0,8- 1,5	0,05- 0,15	1,0 max	0,5 max	0,015 max	0,6 max				0,006 max		
Aleación 690 N06690	58,0 min	27,0- 31,0				7,0- 11,0	0,5 max		0,05 max	0,5 max	1,0 max	0,015 max							
Aleación 693 N06693	Resto	27,0- 31,0				2,5- 6,0	1,0 max	2,5- 4,0	0,15 max	0,5 max	0,5 max	0,01 max	1,0 max						
Aleación 602CA - N06025	Resto	24,0- 26,0				8,0- 11,0	0,15 max	1,8- 2,4	0,15- 0,25	0,1 max	0,5 max	0,010 max	0,1- 0,2	0,020 max	0,01- 0,12				
Aleación 45 N06045	45 min	26,0- 29,0				21,0- 25,0	1,0 max		0,05- 0,12	0,3 max	2,5- 3,0	0,010 max		0,020 max					0,03- 0,09
Aleación 603 N06603	Resto	24,0- 26,0				8,0- 11,0	0,15 max	2,4- 3,0	0,20- 0,40	0,50 max	0,5 max	0,010 max	0,01- 0,25	0,020 max	0,01- 0,15				
Aleación 696 N06696	Resto	28,0- 32,0		1,0- 3,0		2,0- 6,0	1,0 max		0,15 max	1,5-3,0	1,0- 2,5	0,010 max	1,0 max						

ES 2 605 949 T3

Tabla 2: Composiciones típicas de algunas aleaciones según ASTM B 168-11 (Estado de la técnica). Todos los datos en % en masa
Composición de aleación procedente de la patente US 4.882.125 Tabla 1

*)

Nombre	Carga	C	S	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	Ti	Nb	Cu	Fe	P	Al	Zr	Y	B	T _s BCC in °C	Cr+ Al	Fp
Aleación 600 N06600	164310	0,07	0,002	15,75	73,77	0,28	0,32		0,2		0,01	9,42	0,009	0,16			0,001		15,9	19,1
Aleación 601 N06601	156656	0,053	0,0016	22,95	59,58	0,72	0,24		0,47		0,04	14,4	0,008	1,34	0,015	0	0,001	669	24,3	31,2
Aleación 690 N06690	111389	0,022	0,002	28,45	61,95	0,12	0,32		0,29		0,01	8,45	0,005	0,31		0	0	720	28,8	32,7
Aleación 693 N06693	Alloy 10 *)	0,015	≤ 0,01	29,42	60,55	0,014	0,075		0,02	1,04	0,03	5,57		3,2			0,002	939	32,6	39,9
Aleación 693 N06693	Alloy 8 *)	0,007	≤ 0,01	30,00	60,34	0,11	0,38		0,23	1,13	0,03	4,63		3,08			0,002	979	33,1	41,3
Aleación 693 N06693	Alloy 3 *)	0,009	≤ 0,01	30,02	57,79	0,01	0,14		0,02	2,04	0,03	5,57		4,3			0,002	1079	34,3	44,5
Aleación 693 N06693	Alloy 2 *)	0,006	≤ 0,01	30,01	60,01	0,12	0,14		0,01	0,54	0,03	5,80		3,27			0,002	948	33,3	40,3
Aleación 602 N06025	163968	0,170	≤ 0,01	25,39	62,12	0,07	0,07		0,13		0,01	9,47	0,008	2,25	0,08	0,08	0,005	690	27,6	31,8
Aleación 603 N06603	52475	0,225	0,002	25,20	61,6	0,09	0,03		0,16	0,01	0,01	9,6	0,007	2,78	0,07	0,08	0,003	707	28,0	32,2
Aleación 696 N06696	UNS Mitte	0,080	≤ 0,01	30,00	61,20	0,1	1,5	2	0,1		2	3						792	30,0	35,1

Tabla 3a: Composición de las cargas de laboratorio. Parte 1. Todos los datos en % en masa (T: Aleación de acuerdo con el estado de la técnica, E: Aleación conforme al invento, L: Fundida a la escala de laboratorio, G: Fundida a gran escala técnica)

	Nombre	Carga	C	N	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	Ti	Nb	Cu	Fe	Al	W	T _e ¹⁶⁰⁰ _{eff} °C	Cr+Al	Fp
T	G	Aleación 602 CA	156817	0,171	0,036	25,2	62,1	0,06	0,07	0,01	0,17	<0,01	9,56	2,36		683	27,6	31,9
T	G	Aleación 602 CA	160483	0,172	0,025	25,7	62,0	0,06	0,05	0,02	0,14	0,01	9,44	2,17		683	27,8	31,8
T	G	Aleación 601	156656	0,053	0,018	23,0	59,6	0,72	0,24	0,04	0,47	0,01	14,41	1,34	0,01	669	24,3	31,2
T	G	Aleación 690	80116	0,010	0,025	27,8	62,8	0,18	0,15	0,01	0,31	<0,01	8,48	0,14		683	27,9	31,4
T	G	Aleación 690	111389	0,022	0,024	28,5	62,0	0,12	0,32	<0,01	0,29	0,01	8,45	0,31		720	28,8	32,7
E	L	Cr30TiLa	2294	0,023	0,025	30,2	68,3	0,25	0,10	<0,01	0,15	<0,01	0,56	0,26	0,01	666	30,5	31,3
E	L	Cr30La	2295	0,020	0,020	30,0	68,7	0,25	0,10	<0,01	<0,01	<0,01	0,54	0,28	<0,01	650	30,3	30,8
E	L	Cr30CLa	2296	0,059	0,022	30,1	68,6	0,25	0,09	<0,01	<0,01	<0,01	0,54	0,27	<0,01	637	30,3	30,3
E	L	Cr30AlTiLa	2298	0,018	0,022	29,9	67,5	0,25	0,08	<0,01	0,30	<0,01	0,55	1,28	<0,01	759	31,2	33,8
E	L	Cr30AlTiNbLa	2308	0,017	0,028	30,1	67,1	0,25	0,08	<0,01	0,31	0,28	0,53	1,25	0,01	772	31,4	34,3
E	L	Cr30AlTiNbLaTi	2299	0,060	0,021	30,1	67,6	0,25	0,09	<0,01	0,01	<0,01	0,54	1,25	0,01	730	31,3	32,7
E	L	Cr33La	2303	0,019	0,020	32,9	65,7	0,25	0,09	<0,01	<0,01	<0,01	0,56	0,36	<0,01	739	33,3	33,9
E	L	Cr33CLa	2304	0,045	0,025	33,0	65,6	0,25	0,08	<0,01	<0,01	<0,01	0,56	0,32	<0,01	726	33,3	33,6
E	L	Cr33WCLa	2314	0,054	0,026	33,1	63,7	0,25	0,12	<0,01	<0,01	<0,01	0,53	0,25	1,91	766	33,3	34,4
E	L	Cr33AlTiLa	2305	0,018	0,030	32,9	64,4	0,25	0,09	<0,01	0,15	<0,01	0,57	1,44	<0,01	846	34,4	36,8
E	L	Cr30C	250054	0,040	0,025	30,4	68,3	0,25	0,12	<0,01	<0,01	<0,01	0,53	0,25	<0,01	637	30,7	30,9
E	L	Cr30C	250053	0,040	0,022	30,5	68,7	0,25	0,12	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,25	<0,01	610	30,7	30,9
E	L	Cr30CNLa	250056	0,045	0,045	30,2	68,5	0,25	0,10	<0,01	<0,01	<0,01	0,53	0,23	<0,01	620	30,4	30,6
E	L	Cr30AlTi	250060	0,017	0,027	29,6	67,9	0,24	0,11	<0,01	0,31	<0,01	0,54	1,16	0,01	759	30,8	33,3
E	L	Cr30AlTi	250063	0,017	0,024	29,9	67,4	0,25	0,10	<0,01	0,31	<0,01	0,53	1,39	<0,01	759	31,3	34,2
E	L	Cr30AlTiNb	250066	0,016	0,022	29,9	67,1	0,24	0,09	<0,01	0,31	0,31	0,5	1,42	0,01	772	31,3	34,6
E	L	Cr30AlTiNb	250065	0,017	0,025	30,3	67,1	0,24	0,10	0,01	0,30	0,31	0,05	1,41	0,01	768	31,7	34,8
E	L	Cr30AlTiNbZr	250067	0,019	0,020	29,7	67,2	0,25	0,10	0,02	0,31	0,31	0,53	1,47	0,01	776	31,1	34,4
E	L	Cr30AlTiNb	250068	0,017	0,024	29,8	66,6	0,25	0,09	0,01	0,31	0,88	0,53	1,43	0,02	799	31,2	35,2
E	L	Cr33C	250057	0,040	0,027	32,5	66,3	0,24	0,10	<0,01	<0,01	<0,01	0,52	0,18	<0,01	726	32,7	32,8
E	L	Cr33AlTi	250079	0,018	0,024	32,7	64,8	0,25	0,10	<0,01	0,15	<0,01	0,54	1,32	<0,01	844	34,1	36,4
E	L	Cr33C1Ti	250139	0,083	0,027	32,5	65,8	0,27	0,07	<0,01	0,17	<0,01	0,45	0,37	0,01	734	32,9	33,1
E	L	Cr33C1Zr	250140	0,081	0,028	32,7	65,7	0,26	0,07	0,01	<0,01	0,01	0,46	0,32	0,01	744	33,1	32,8
E	L	Cr33C1	250141	0,079	0,028	32,9	65,6	0,27	0,06	<0,01	<0,01	0,02	0,65	0,29	0,01	719	33,2	32,9
E	L	Cr30C1Y	250143	0,081	0,022	30,5	68,1	0,27	0,05	<0,01	<0,01	0,01	0,46	0,32	0,02	630	30,8	30,5
E	L	Cr30Nb1YC	250150	0,091	0,023	29,6	67,7	0,27	0,06	<0,01	<0,01	1,00	0,48	0,57	<0,01	675	30,2	31,4

Tabla 3b: Composición de las cargas de laboratorio. Parte 2. Todos los datos en % en masa (para todas las aleaciones es válido que:

Pb: max. 0,002 %, Zn: max. 0,002 %, Sn: max. 0,002 %,.) (Significados de T, E, G, L, véase la Tabla 3a)

Nombre	Carga	S	P	Mg	Ca	V	Zr	Co	Y	La	B	Hf	Ta	Ce	O
T G Aleación 602 CA	156817	0,002	0,005	0,004	0,001	0,03	0,08	0,05	0,060		0,003	-	-	-	0,001
T G Aleación 602 CA	160483	<0,002	0,007	0,01	0,002	-	0,09	0,04	0,070		0,003	-	-	-	0,001
T G Aleación 601	156656	0,002	0,008	0,012	<0,01	0,03	0,015	0,04	-		0,001	-	-	-	0,0001
T G Aleación 690	80116	0,002	0,006	0,03	0,0009	-	<0,002	0,02	-		0,002	-	-	-	0,0005
T G Aleación 690	111389	0,002	0,005	<0,001	0,0005	-	-	0,01	-		-	-	-	-	0,001
E L Cr30TiLa	2294	0,002	0,003	0,012	<0,01	<0,01	0,002	<0,001	-	0,07	-	-	<0,005	0,001	0,0001
E L Cr30La	2295	0,002	0,003	0,013	<0,01	<0,01	0,002	<0,001	-	0,06	-	-	<0,005	0,001	0,0001
E L Cr30CLa	2296	0,003	0,003	0,015	<0,01	<0,01	<0,002	<0,001	-	0,06	-	-	<0,005	0,001	0,0001
E L Cr30Al1TiLa	2298	0,006	0,002	0,016	<0,01	<0,01	<0,002	<0,001	<0,001	0,06	<0,001	<0,001	<0,005	0,001	0,002
E L Cr30Al1TiNbLa	2308	0,002	0,002	0,014	<0,01	<0,01	<0,002	0,001	<0,001	0,09	<0,001	<0,001	<0,005	0,001	0,002
E L Cr30Al1CLaTi	2299	0,003	0,002	0,015	<0,01	<0,01	<0,002	<0,001	<0,001	0,06	<0,001	<0,001	<0,005	0,001	0,002
E L Cr33La	2303	0,003	0,002	0,014	<0,01	<0,01	<0,002	0,001	<0,001	0,06	<0,001	<0,001	<0,005	0,001	0,0001
E L Cr33CLa	2304	0,002	0,002	0,013	<0,01	<0,01	<0,002	0,001	<0,001	0,04	<0,001	<0,001	<0,005	0,001	0,0001
E L Cr33WCLa	2314	0,001	0,003	0,009	<0,01	<0,01	<0,002	0,001	<0,001	0,05	<0,001	<0,001	<0,005	0,001	0,002
E L Cr33Al1TiLa	2305	0,003	0,002	0,018	<0,01	<0,01	<0,002	0,001	<0,001	0,05	<0,001	<0,001	<0,005	0,001	0,0001
E L Cr30C	250054	0,003	0,002	0,007	<0,01	<0,01	<0,002	<0,001	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,005	<0,001	0,001
E L Cr30C	250053	0,003	0,002	0,007	<0,01	<0,01	<0,002	<0,001	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,005	<0,001	0,003
E L Cr30CNLa	250056	0,001	0,003	0,018	<0,01	<0,01	<0,002	<0,001	<0,001	0,03	<0,001	<0,001	<0,005	<0,001	0,002
E L Cr30Al1Ti	250060	0,003	0,002	0,009	<0,01	<0,01	<0,002	<0,001	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,005	<0,001	0,003
E L Cr30Al1Ti	250063	0,003	0,003	0,012	<0,01	<0,01	<0,002	<0,001	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,005	<0,001	0,003
E L Cr30Al1TiNb	250066	0,002	0,002	0,012	<0,01	<0,01	<0,002	<0,001	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,005	<0,001	0,004
E L Cr30Al1TiNb	250065	0,002	0,002	0,012	<0,01	<0,01	<0,002	<0,001	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,005	<0,001	0,005
E L Cr30Al1TiNbZr	250067	0,003	0,002	0,010	<0,01	<0,01	0,069	<0,001	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,005	<0,001	0,003
E L Cr30Al1TiNb	250068	0,002	<0,002	0,010	<0,01	<0,01	<0,002	<0,001	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,005	<0,001	0,004
E L Cr33C	250057	0,004	0,002	0,008	<0,01	<0,01	<0,002	<0,001	-	-	-	-	<0,005	<0,001	0,003
E L Cr33AlTi	250079	0,003	0,002	0,011	<0,01	<0,01	<0,002	<0,001	-	-	-	-	<0,005	<0,001	0,004
E L Cr33C1Ti	250139	0,002	0,004	0,008	0,0002	<0,01	0,002	<0,01	0,01	-	<0,0005	-	-	-	0,004
E L Cr33C1Zr	250140	0,003	0,004	0,007	0,0002	<0,01	0,125	<0,01	0,01	-	0,001	-	-	-	0,003
E L Cr33C1	250141	0,002	0,004	0,008	0,0002	<0,01	0,007	<0,01	0,01	-	0,001	-	-	-	0,005
E L Cr30C1Y	250143	0,003	0,004	0,001	0,0002	<0,01	0,003	<0,01	0,08	-	0,001	-	-	-	0,002
E L Cr30Nb1YC	250150	0,004	0,005	0,01	<0,0005	<0,01	0,003	<0,01	0,09	-	0,001	-	-	-	0,002

ES 2 605 949 T3

Tabla 4: Resultados de los ensayos de tracción a la temperatura ambiente (RT), 600 °C y 800 °C. La velocidad de remodelación fue para $R_{p0,2}$ de $8,33 \cdot 10^{-5}$ 1/s (0,5 %/min) y para R_m de $8,33 \cdot 10^{-4}$ 1/s (5 %/min); KG = Tamaño de granos, *) La muestra falta

	Nombre	Carga	KG en μm	$R_{p0,2}$ en MPa RT	R_m en MPa RT	As en % RT	$R_{p0,2}$ en MPa 600°C	R_m en MPa 600°C	As en % 600°C	$R_{p0,2}$ en MPa 800°C	R_m en MPa 800°C	Fa	Fk
T G	Alaeación 602 CA	156817	76	292	699	36	256	578	41	186	198	63,0	76,9
T G	Alaeación 602 CA	160483	76	340	721	42	254	699	69			62,2	75,0
T G	Alaeación 601	156656	136	238	645	53	154	509	55	133	136	63,2	56,3
T G	Alaeación 690	80116	92	279	641	56	195	469	48	135	154	43,3	41,6
T G	Alaeación 690	111389	72	285	630	50	188	465	51			36,2	43,6
E L	Cr30TiLa	2294	161	285	537	*)	170	452	29	145	171	38,0	39,6
E L	Cr30La	2295	189	225	555	*)	131	358	25	110	167	34,0	36,0
E L	Cr30ClLa	2296	237	295	644	59	197	472	57	192	200	41,9	39,7
E L	Cr30Al1TiLa	2298	94	351	704	59	228	490	31	149	161	39,7	51,5
E L	Cr30Al1TiNbLa	2308	90	288	683	55	200	508	39	174	181	41,6	61,0
E L	Cr30Al1ClLaTi	2299	253	258	661	62	212	475	59	181	185	42,3	50,0
E L	Cr33La	2303	145	272	618	*)	137	433	57	118	171	36,7	39,6
E L	Cr33ClLa	2304	278	284	640	50	171	439	65	168	209	42,1	41,7
E L	Cr33WClLa	2314	298	254	644	66	143	438	67	154	212	43,9	42,4
E L	Cr33Al1TiLa	2305	68	276	623	*)	224	472	41	161	166	39,6	53,3
E L	Cr30C	250054	207	227	628	63	127	428	64	147	196	38,5	38,4
E L	Cr30C	250053	150	215	626	55	119	426	57	128	187	38,5	38,5
E L	Cr30CNLa	250056	242	234	612	55	145	440	74	144	204	39,3	38,2
E L	Cr30Al1Ti	250060	114	252	662	67	183	509	62	143	154	39,3	50,4
E L	Cr30Al1Ti	250063	118	252	659	70	178	510	57	148	1521	39,6	52,9
E L	Cr30Al1TiNb	250066	121	240	666	67	186	498	66	245	255	41,4	63,6
E L	Cr30Al1TiNb	250065	132	285	685	61	213	521	58	264	265	41,8	64
E L	Cr30Al1TiNbZr	250067	112	287	692	67	227	532	65	280	280	41,6	64,2
E L	Cr30Al1TiNb	250068	174	261	666	69	205	498	65	297	336	44,9	83,2
E L	Cr33C	250057	191	241	638	66	127	414	54	185	197	40,6	39,5
E L	Cr33AlTi	250079	101	267	665	68	190	489	56	145	164	39,4	52,0
E L	Cr33C1Ti	250139	112	266	679	54	161	495	48	167	187	52,7	48,5
E L	Cr33C1Zr	250140	153	269	667	60	177	447	36	164	191	49,1	47,4
E L	Cr33C1	250141	302	269	645	58	157	430	52	192	214	48,8	46,6
E L	Cr30C1Y	250143	195	264	650	69	166	490	50	174	195	46,8	44,9
E L	Cr30Nb1YC	250150	72	287	722	53	188	577	57	181	194	54,0	81,6

Tabla 5: Resultados de los ensayos de oxidación a 1.000 °C en aire después de 1.056 h.

	Nombre	Carga	Ensayo N°	m _{bruta} en g/m ²	m _{neto} en g/m ²	m _{astillas} en g/m ²
T G	Aleación 602 CA	160483	412	8,66	7,83	0,82
T G	Aleación 602 CA	160483	425	5,48	5,65	-0,18
T G	Aleación 601	156125	403	51,47	38,73	12,74
T G	Aleación 6090	111389	412	23,61	7,02	16,59
T G	Aleación 690	111389	421	30,44	-5,70	36,14
T L	Aleación 690	111389	425	28,41	-0,68	29,09
E L	Cr30TiLa	2294	412	28,40	-18,37	46,77
E L	Cr30La	2295	412	19,44	0,09	19,35
E L	Cr30CLa	2296	412	26,83	-11,43	38,27
E L	Cr30Al1TiLa	2298	412	49,02	-30,59	79,61
E L	Cr30Al1TiNbLa	2308	412	42,93	-15,54	58,47
E L	Cr30Al1CLaTi	2299	412	30,51	0,08	30,44
E L	Cr33La	2303	412	25,98	-8,42	34,40
E L	Cr33CLa	2304	412	29,18	-14,42	43,60
E L	Cr33WCLa	2314	412	24,37	-10,35	34,72
E L	Cr33Al1TiLa	2305	412	49,96	-19,36	69,32
E L	Cr30C	250054	421	31,15	-21,76	52,92
E L	Cr30C	250053	421	31,37	-26,58	57,95
E L	Cr30CNLa	250056	421	23,46	-9,64	33,11
E L	Cr30Al1Ti	250060	421	43,30	-19,88	63,17
E L	Cr30Al1Ti	250063	421	32,81	-22,15	54,96
E L	Cr30Al1TiNb	250066	421	26,93	-16,35	43,28
E L	Cr30Al1TiNb	250065	421	25,85	-24,27	50,12
E L	Cr30Al1TiNbZr	250067	421	41,59	-15,56	57,16
E L	Cr30Al1TiNb	250068	421	42,69	-39,26	81,95
E L	Cr33C	250057	421	34,72	-47,71	82,43
E L	Cr33AlTi	250079	421	17,02	1,99	15,03
E L	Cr33C1Ti	250139	425	57,97	-49,60	107,58
E L	Cr33C1Zr	250140	425	23,83	7,22	16,60
E L	Cr33C1	250141	425	37,63	-28,71	66,35
E L	Cr30C1Y	250143	425	25,78	-1,85	27,63
E L	Cr30Nb1YC	250150	425	27,70	-10,02	37,72

Lista de signos de referencia

- Figura 1 Pérdida de metal por pulverización metálica en función de los contenidos de aluminio y cromo en un gas fuertemente carburante con 37 % de CO, 9 % de H₂O, 7 % de CO₂, 46 % de H₂, que tiene $a_c = 163$ y $p(O_2) = 2,5 \cdot 10^{-27}$. (Procedente de Hermse, C.G.M. y van Wortel, J.C.: Metal dusting: relationship between alloy composition and degradation rate. Corrosion Engineering, Science and Technology 44 (2009), páginas 182 - 185)
- Figura 2 Proporciones cuantitativas de las fases en el equilibrio termodinámico en dependencia de la temperatura de la Aleación 690 (N06690) en el ejemplo de la carga típica 111389
- Figura 3 Proporciones cuantitativas de las fases en el equilibrio termodinámico en dependencia de la temperatura de la Aleación 693 (N06693) en el ejemplo de la Aleación 3 procedente de la Tabla 2.
- Figura 4 Proporciones cuantitativas de las fases en el equilibrio termodinámico en dependencia de la temperatura de la Aleación 693 (N06693) en el ejemplo de la Aleación 10 procedente de la Tabla 2.

REIVINDICACIONES

1. Una aleación de níquel y cromo, con (en % en peso) 29 hasta 37 % de cromo, 0,001 hasta 1,8 % de aluminio, 0,10 hasta 7,0 % de hierro, 0,001 hasta 0,50 % de silicio, 0,005 hasta 2,0 % de manganeso, 0,00 hasta 1,00 % de titanio y/o 0,00 hasta 1,10 % de niobio, en cada caso de 0,0002 hasta 0,05 % de magnesio y/o calcio, 0,005 hasta 0,12 % de carbono, 0,001 hasta 0,050 % de nitrógeno, 0,001 hasta 0,030 % de fósforo, 0,0001 - 0,020 % de oxígeno, como máximo 0,010 % de azufre, como máximo 2,0 % de molibdeno, como máximo 2,0 % de wolframio, que en caso necesario contiene por lo demás Y con un contenido de 0,01 - 0,20 %, La con un contenido de 0,01 - 0,20 %, cerio con un contenido de 0,001 hasta 0,20 %, metal de Misch con cerio con un contenido de 0,001 hasta 0,20 %, Zr con un contenido de 0,01 - 0,20 %, pudiendo el Zr ser sustituido total o parcialmente por 0,001 hasta 0,20 % de Hf, B con un contenido de 0,0001 - 0,008 %, Co con 0,0 hasta 5,0 %, Cu con como máximo 0,5 %, V con como máximo 0,5 %, que en caso necesario contiene el resto níquel y las usuales impurezas condicionadas por el procedimiento, debiendo cumplirse las siguientes relaciones:

$$\text{Cr} + \text{Al} > 30 \quad (2a)$$

$$\text{y Fp} \leq 39,9 \text{ con} \quad (3a)$$

$$15 \quad \text{Fp} = \text{Cr} + 272*\text{Fe} + 2,36*\text{Al} + 2,22*\text{Si} + 2,48*\text{Ti} + 1,26*\text{Nb} + 0,374*\text{Mo} + 0,538*\text{W} - 11,8*\text{C} \quad (4a)$$

siendo Cr, Fe, Al, Si, Ti, Nb, C, W y Mo la concentración de los correspondientes en % en masa.

2. Una aleación de acuerdo con la reivindicación 1, con un contenido de cromo de 30 hasta 37 %.

3. Una aleación de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, con un contenido de cromo > 32 - 37 %.

4. Una aleación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 3, con un contenido de aluminio de 0,001 hasta 1,4 %.

5. Una aleación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 4, con un contenido de hierro de 0,1 hasta 4,0 %.

6. Una aleación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 5, con un contenido de silicio de 0,001 - 0,2 %.

7. Una aleación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 6, con un contenido de manganeso de 0,005 hasta 0,50 %.

8. Una aleación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 7 con un contenido de titanio de 0,001 hasta 0,60 %.

9. Una aleación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 8, con un contenido de niobio de 0,00 hasta 1,0 %.

10. Una aleación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 9, con un contenido de carbono de 0,01 hasta 0,12 %.

11. Una aleación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 10, con como máximo 0,5 % de cobre, siendo complementada la Fórmula 4a por un término con Cu:

$$\text{Fp} = \text{Cr} + 0,272*\text{Fe} + 2,36*\text{Al} + 2,22*\text{Si} + 2,48*\text{Ti} + 1,26*\text{Nb} + 0,477*\text{Cu} + 0,374*\text{Mo} + 0,538*\text{W} - 11,8*\text{C} \quad (4b)$$

35 y siendo Cr, Fe, Al, Si, Ti, Nb, Cu, W y Mo la concentración de los correspondientes elementos en % en masa.

12. Una aleación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 11, en la que las impurezas se ajustan en unos contenidos de como máximo 0,002 % de Pb, como máximo 0,002 % de Zn y como máximo 0,002 % de Sn.

13. Una aleación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 12, en la que se cumplen las siguientes fórmulas y de esta manera se consigue una elaboración especialmente buena:

$$40 \quad \text{Fa} \leq 60 \quad (5a)$$

$$\text{con Fa} = \text{Cr} + 6,15*\text{Nb} + 20,4*\text{Ti} + 201*\text{C} \quad (6a),$$

siendo Cr, Ti, Nb y C la concentración de los correspondientes elementos en % en masa.

14. Una aleación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 13, en la que se cumplen las siguientes fórmulas y de esta manera se consigue una resistencia al calor o una resistencia a la viscofluencia especialmente buena:

$$45 \quad \text{Fk} \geq 40 \quad (7a)$$

con $F_k = Cr + 19 \cdot Ti + 34,3 \cdot Nb + 10,2 \cdot Al + 12,5 \cdot Si + 98 \cdot C$ (8a)

para una aleación sin B,

siendo Cr, Ti, Nb, Al, Si y C la concentración de los correspondientes elementos en % en masa,

o respectivamente con $F_k = Cr + 19 \cdot Ti + 34,3 \cdot Nb + 10,2 \cdot Al + 12,5 \cdot Si + 98 \cdot C + 2245 \cdot B$ (8b)

5 para una aleación con B,

siendo Cr, Ti, Nb, Al, Si, C y B la concentración de los correspondientes elementos en % de en masa.

15. Una utilización de la aleación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 14 en forma de banda, chapa, alambre, barra, tubo soldado con costura longitudinal y tubo sin costura.

10 16. Una utilización de la aleación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 15 para la producción de tubos sin costura.

17. Una utilización de la aleación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 16 en atmósferas fuertemente carburantes.

18. Una utilización de la aleación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 16 como una pieza constructiva en la industria petroquímica.

15 19. Una utilización de la aleación de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 16 en la construcción de hornos.

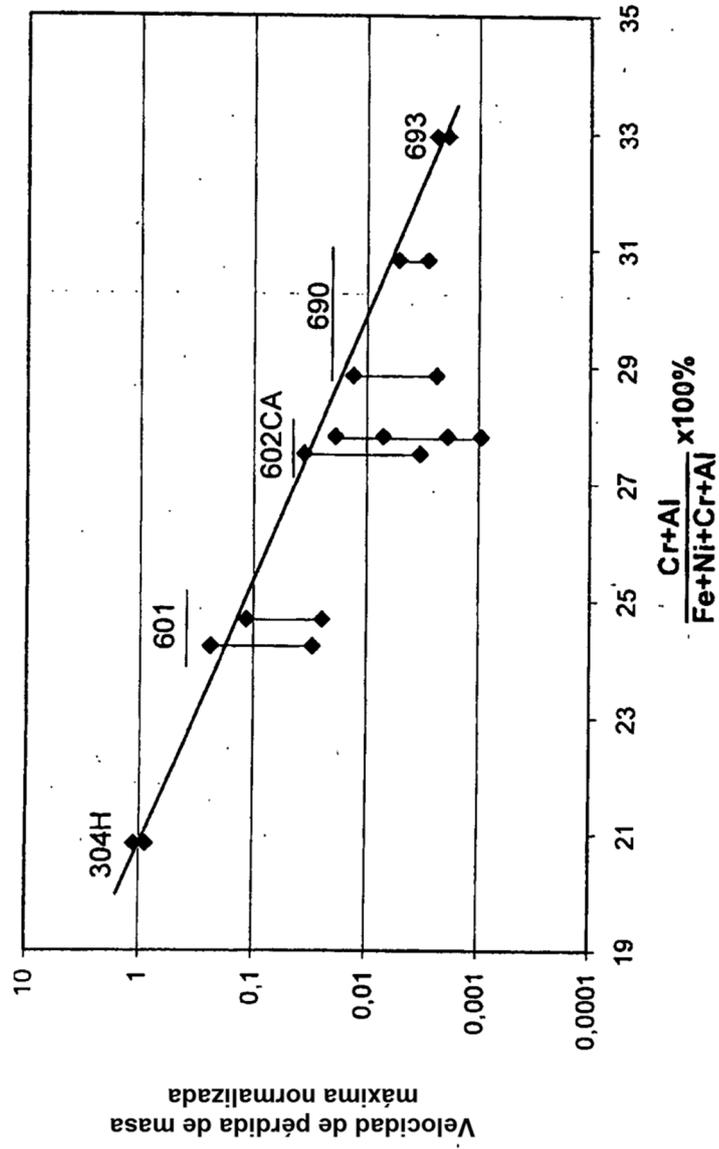


Fig. 1

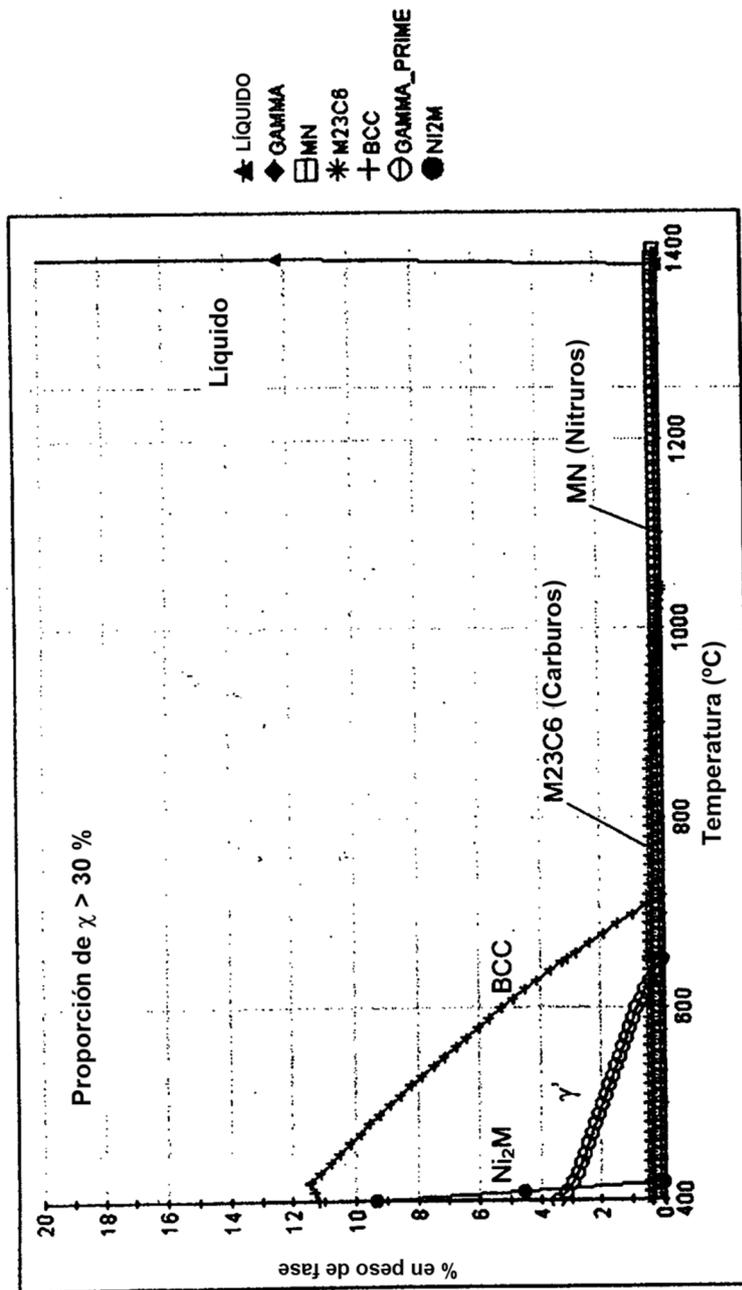


Fig. 2

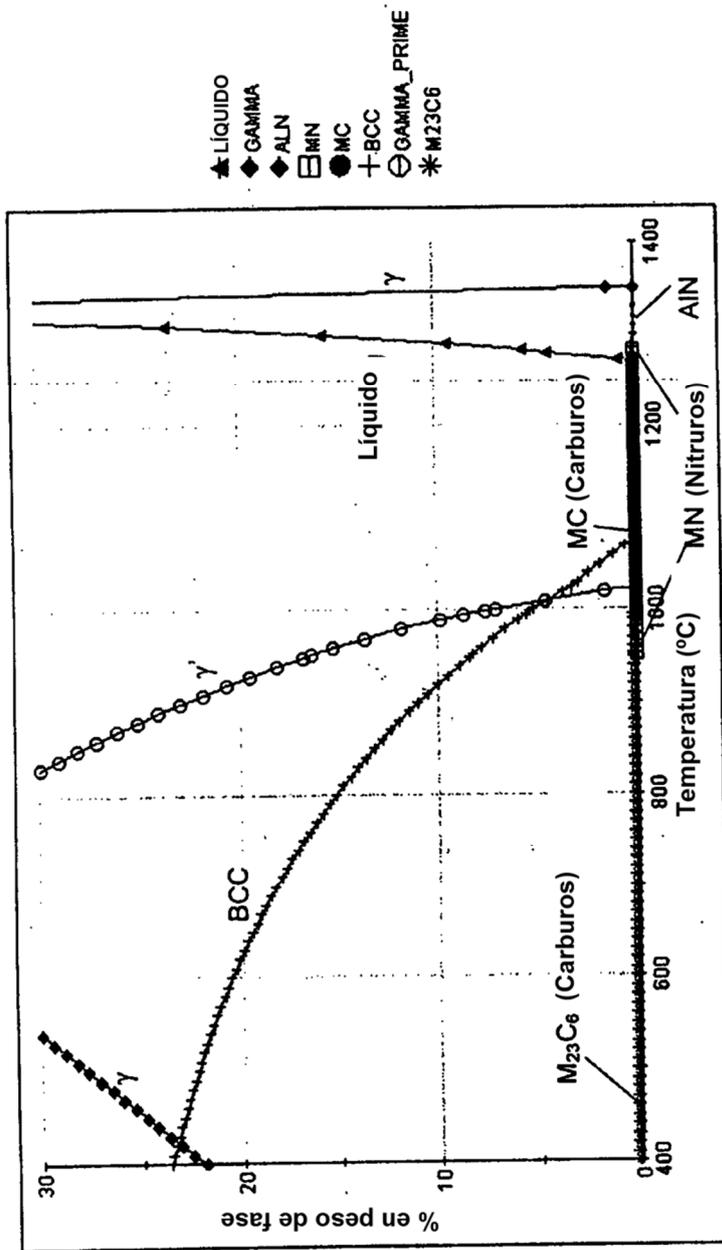


Fig. 3

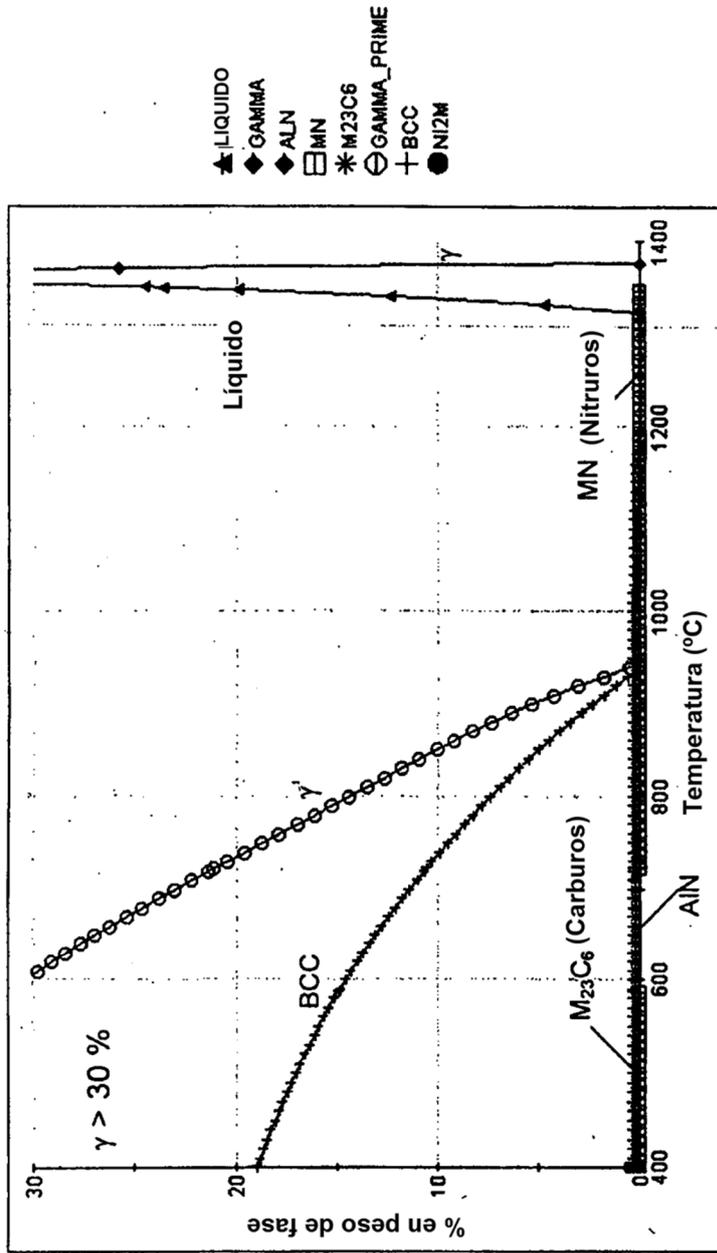


Fig. 4