

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 663 087**

51 Int. Cl.:

C22C 38/46 (2006.01)

C22C 38/54 (2006.01)

C22C 38/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.07.2010 PCT/IB2010/001759**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.01.2011 WO11010206**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.07.2010 E 10795762 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.12.2017 EP 2456901**

54 Título: **Acero austenítico resistente al calor que tiene resistencia elevada al agrietamiento por relajación de tensiones**

30 Prioridad:

22.07.2009 EP 09290581

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

11.04.2018

73 Titular/es:

**ARCELORMITTAL (33.3%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU;
CENTRO SVILUPPO MATERIALI S.P.A. (33.3%) y
NETHERLANDS ORGANIZATION FOR APPLIED
SCIENTIFIC RESEARCH (TNO) (33.3%)**

72 Inventor/es:

**BONNEFOIS, BERNARD;
FANICA, AMÉLIE;
COUDREUSE, LIONEL;
ORIANA, TASSA y
VAN WORTEL, JOHANNES, CORNELIS**

74 Agente/Representante:

SALVA FERRER, Joan

ES 2 663 087 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

Acero austenítico resistente al calor que tiene resistencia elevada al agrietamiento por relajación de tensiones

- 5 **[0001]** La invención se refiere a acero resistente al calor austenítico y su uso para la fabricación de instalaciones tales como vasijas de reactor, piezas forjadas y tuberías que operan a temperaturas por encima de 550°C. En particular, La invención se refiere a un acero que no es susceptible a agrietamiento por relajación de tensiones.
- 10 **[0002]** Diversas industrias, tales como por ejemplo la industria química, están usando tipos de acero resistentes al calor para aplicaciones que operan a temperaturas entre 550 y 900°C, a menudo a presiones elevadas. Los principales mecanismos de degradación a estas temperaturas son fluencia, ataque químico/oxidación y agrietamiento por relajación de tensiones. Los dos primeros mecanismos de degradación se han estudiado exhaustivamente y tenido en cuenta en códigos de construcción. Materiales tales como acero AISI 304H (cuyos
15 principales elementos de aleación son 18-20% de Cr, 8-10,5% de Ni), AISI 316H (16-18% de Cr, 10-14% de Ni, 2-3% de Mo), 800H (19-23% de Cr, 30-35% de Ni) presentan elevada resistencia a la fractura por fluencia. A este respecto, la aleación 800H es favorable ya que presenta elevada resistencia a la fractura en el intervalo de 550-950°C. Sin embargo, la aleación 800H es cara debido a su alto contenido de níquel. Además, las tres aleaciones mencionadas anteriormente son susceptibles al agrietamiento por relajación de tensiones (SRC). El agrietamiento se produce en modo intergranular, es decir en los límites de grano. Este fenómeno no se produce cuando aleaciones
20 susceptibles se someten a tratamientos térmicos para reducir las tensiones residuales. Se ha demostrado que tratamientos térmicos entre 875 y 980°C son eficaces para evitar el SRC. Sin embargo, estos tratamientos a alta temperatura difícilmente pueden realizarse en plantas industriales. Los componentes en la industria química son, generalmente, muy complejos y enromes. También es un proceso costoso y arriesgado.
- 25 **[0003]** El documento GB 1365773 A describe un acero inoxidable austenítico resistente a la fluencia con una composición que contiene concretamente en peso 0,005-0,06% de C, 0-10% de Mn, 0-1% de Si, 12-25% de Cr, 5-30% de Ni, 0-10% de Mn, 0,30-0,7% de V, 0,10-0,20% de N, 0,001-0,02% de B, en el que el contenido de V es de 3 a 4 veces el contenido de N, siendo el contenido total de Ti, Nb, Ta, Ce, Zr de no más del 0,002%. El acero contiene
30 carburos $M_{23}C_6$ precipitados en los límites de grano de austenita y nitruros de vanadio que hacen posible obtener la resistencia a la fluencia.
- [0004]** Sin embargo, este documento no proporciona ninguna indicación sobre propiedades de agrietamiento por relajación de tensiones.
- 35 **[0005]** El documento US 4.897.132 A describe un acero colado austenítico resistente al calor que consiste, en peso, en el 0,03-0,09% de C, $\leq 2,0\%$ de Si, $\leq 3,0\%$ de Mn, 0,11-0,30% de N, 6-15% de Ni, 15-19,5% de Cr, 0,01-1,0% de V, 1-5% de Mo y el resto hierro. El acero colado austenítico resistente al calor exhibe una elevada resistencia mecánica, alargamiento, reducción del área y el tiempo de fractura causada por fractura por fluencia.
40 Este acero es adecuado para fabricar cubiertas de turbinas.
- [0006]** Sin embargo, la enseñanza de este documento es específica para aceros colados y no contiene indicaciones sobre las propiedades de agrietamiento por relajación de tensiones.
- 45 **[0007]** Por lo tanto, existe una necesidad de un acero resistente al calor con elevada resistencia a la fluencia y a la oxidación a alta temperatura, no susceptible al agrietamiento por relajación de tensiones. Un objetivo de la presente invención es proporcionar un acero resistente al calor que es intrínsecamente no susceptible al agrietamiento por relajación, de modo que puedan evitarse tratamientos térmicos extra después del proceso de fabricación.
50
- [0008]** Otro objetivo de la invención es proporcionar una composición de acero que tiene excelentes propiedades de fluencia y oxidación en el amplio intervalo de temperaturas de 550 hasta 900°C, especialmente en el intervalo de temperatura entre 550 y 750°C.
- 55 **[0009]** Otro objetivo de la invención es proporcionar una composición de acero que tiene alta ductilidad a alta temperatura y que presenta también tenacidad satisfactoria a temperatura ambiente después de un mantenimiento a alta temperatura.
- [0010]** Un objetivo adicional de la invención es proporcionar una composición de acero con cantidad limitada

de elementos de adición costosos tales como níquel.

[0011] Como resultado de numerosos ensayos e investigaciones, los inventores han descubierto que, cuando algunos elementos, y en particular carbono, aluminio, cromo, níquel, molibdeno, boro, vanadio, nitrógeno, están presentes en intervalos adecuados en el acero, el objetivo de la invención se consigue.

[0012] La estructura del acero de acuerdo con la invención es completamente austenítica.

[0013] Para este fin, el objeto de la invención es una chapa laminada en caliente fabricada mediante un proceso que comprende al menos una etapa de laminado en caliente, o pieza forjada, fabricada mediante un proceso que comprende al menos una etapa de forja, de un acero austenítico no susceptible a agrietamiento por relajación, con una composición que comprende, en porcentajes en peso: $0,019\% \leq C \leq 0,030\%$, $0,5\% \leq Mn \leq 3\%$, $0,1\% \leq Si \leq 0,75\%$, $Al \leq 0,25\%$, $18\% \leq Cr \leq 25\%$, $12\% \leq Ni \leq 20\%$, $1,5\% \leq Mo \leq 3\%$, $0,001\% \leq B \leq 0,008\%$, $0,25\% \leq V \leq 0,35\%$, $0,23\% \leq N \leq 0,27\%$, siendo el resto hierro e impurezas inevitables, y en la que: $Ni(eq.) \geq 1,11 Cr(eq.) - 8,24$, en la que: $Cr(eq.) = Cr + Mo + 1,5Si + 5V + 3Al + 0,02$, $Ni(eq.) = Ni + 30C + x(N - 0,045) + 0,87$ en la que: $x = 22$ para $0,23\% \leq N \leq 0,25\%$, $x = 20$ para $0,25\% < N \leq 0,27\%$. De acuerdo con una realización preferida, la composición de acero comprende: $14\% \leq Ni \leq 17\%$.

[0014] Otro objeto de la invención es un producto de acero con una composición anterior y en el que el alargamiento es mayor del 30% a la temperatura de 750°C. Otro objeto de la invención es un producto de acero con una composición anterior, en el que la vida útil bajo 36 MPa a 750°C es mayor de $0,5 \times 10^5$ h.

[0015] Otro objeto de la invención es el uso de un producto de acero que tiene una composición anterior, para la fabricación de vasijas de reactor, piezas forjadas y tuberías.

[0016] Con respecto a la composición del acero, el carbono es un elemento eficaz para formar precipitados de $M_{23}C_6$ finos que aumentarán la resistencia a la tracción y a la fluencia. Cuando el contenido de carbono es del 0,019% en peso o menos, estos efectos no son suficientes. Pero cuando el contenido de carbono supera el 0,030%, se produce una precipitación excesiva de carburos y el acero se vuelve susceptible al SRC. Además, la tenacidad se reduce como consecuencia del aumento de la precipitación de carbonitruros, fases sigma gruesas y carburos $M_{23}C_6$.

[0017] Se añade manganeso como un desoxidante del acero fundido. El manganeso se combina también con el azufre, mejorando así la trabajabilidad en caliente. Estos efectos se obtienen cuando el contenido de manganeso es superior al 0,5% en peso. Cuando supera el 3%, aumenta la cinética de formación de algunas fases indeseables, tales como la fase sigma frágil. Un intervalo preferible para el manganeso es del 1,3-1,7%.

[0018] Como el manganeso, el silicio también tiene un efecto desoxidante. Mejora también la resistencia a la oxidación. Por debajo del 0,1%, estos efectos no se consiguen. Pero cuando el silicio supera el 0,75%, la tenacidad del acero disminuye. Un intervalo preferible para el silicio es del 0,2-0,55%.

[0019] El aluminio es un fuerte elemento desoxidante del acero fundido. Pero cuando el aluminio supera el 0,25% en peso, se promueve la precipitación del producto intermetálico a temperaturas elevadas durante largos períodos de retención y se reduce la tenacidad. La precipitación de AlN indeseable también se promueve. Por lo tanto, el aluminio se mantiene a menos del 0,25%. Preferentemente, el contenido de aluminio es inferior al 0,2% para evitar por completo la precipitación de AlN.

[0020] El cromo mejora la resistencia a la oxidación entre 550 y 950°C y aumenta la resistencia con la formación de carbonitruros. Si el contenido de cromo es menor del 18% en peso, estos efectos no se consiguen. Por otro lado, si el contenido de cromo supera el 25%, se promueve la formación de fases intermetálicas como la fase sigma frágil. Además, a medida que aumenta el contenido de cromo, el contenido de níquel también debe aumentarse para mantener una estructura totalmente austenítica, lo que produce altos costes de producción. Un intervalo de contenido preferible para el cromo es del 19-21%.

[0021] El níquel es un elemento gammágeno que garantiza la estabilidad de la estructura austenítica junto con otros elementos tales como el carbono y el nitrógeno. Teniendo en cuenta el contenido de cromo junto con los otros elementos estabilizantes de ferrita tales como el molibdeno, el contenido de níquel debe ser superior al 12% para formar una estructura austenítica estable. Si el contenido de níquel supera el 20%, su efecto está saturado y el coste de producción aumenta innecesariamente. Un intervalo preferido para el níquel es del 14-17%.

[0022] El molibdeno aumenta la resistencia a temperaturas elevadas, así como la resistencia al agrietamiento en caliente. Las adiciones de molibdeno inferiores al 1,5% no son suficientes para obtener la resistencia a la fluencia deseada a alta temperatura. Pero cuando el Mo supera el 3%, el efecto para aumentar la resistencia se satura, y la trabajabilidad en caliente disminuye. La precipitación de fase sigma también puede ocurrir, reduciendo la ductilidad a temperatura ambiente. Un intervalo preferido para el contenido de molibdeno es del 2,2 al 2,8%.

[0023] Con un contenido superior al 0,001% en peso, el boro aumenta la resistencia a la fluencia mediante la precipitación de carbonitruros o boruros finos en la matriz y refuerza también los límites de grano. Por encima del 0,008%, aumenta el riesgo de agrietamiento en caliente y se reduce la soldabilidad. El intervalo más preferible para el boro es del 0,003 al 0,005%.

[0024] El vanadio es un elemento importante en la invención, dado que forma carbonitruros intragranulares finos. La precipitación también se produce en forma de boruros de vanadio. Estos precipitados mejoran la resistencia a la fluencia y la tenacidad. Estos efectos se obtienen de forma óptima cuando el contenido de vanadio no es inferior al 0,25% en peso. Pero cuando el vanadio supera el 0,35%, los carbonitruros gruesos y la fase sigma tienden a reducir demasiado el efecto de refuerzo y la ductilidad a temperatura ambiente.

[0025] Como el carbono, el nitrógeno es un elemento eficaz para aumentar la resistencia al alargamiento, a la tracción y a la fluencia. Como elemento gammágeno, también contribuye a la formación de una estructura totalmente austenítica. Menos del 0,23%, el nitrógeno no puede formar carbonitruros en una cantidad suficiente y óptima para obtener estos efectos. Por otro lado, más del 0,27% de nitrógeno produce demasiada formación de nitruros gruesos que reducen la ductilidad a temperatura y la tenacidad. El nitrógeno también está restringido junto con el aluminio para prevenir la precipitación de AlN.

[0026] Además del hierro, el acero de la invención puede contener impurezas incidentales resultantes de la elaboración o fundición. Entre estas impurezas, el azufre, el fósforo y el oxígeno tienen efectos adversos sobre la ductilidad, ya sea a temperatura ambiente o alta temperatura, y sobre la soldabilidad. Por lo tanto, deben restringirse a cantidades lo más bajas posible. Preferentemente, el azufre debe ser inferior al 0,005%, el fósforo inferior al 0,030% y el oxígeno inferior al 0,010% en peso.

[0027] Los aceros de acuerdo con la invención tienen una microestructura austenítica. Por lo tanto, no es posible que se produzca una descomposición adicional de la ferrita en la fase sigma frágil a temperaturas elevadas. Se obtiene una estructura totalmente austenítica cuando el "equivalente de cromo" (Cr(eq)) y el "equivalente de níquel" (Ni(eq)) son tales que:

$$\text{Ni(eq.)} \geq 1,11 \text{ Cr(eq.)} - 8,24,$$

en la que:

$$\text{Cr(eq)} = \text{Cr} + \text{Mo} + 1,5\text{Si} + 5\text{V} + 3\text{Al} + 0,02$$

$$\text{Ni(eq)} = \text{Ni} + 30\text{C} + x(\text{N} - 0,045) + 0,87$$

en la que:

$$x = 22 \text{ para } 0,23\% \leq \text{N} \leq 0,25\%$$

$$x = 20 \text{ para } 0,25\% < \text{N} \leq 0,27\%$$

estando expresados todos los elementos en % en peso.

[0028] Gracias a la adición de vanadio, el contenido de carbono y nitrógeno, los carbonitruros de vanadio están presentes en el intervalo de 550-950°C. Estos carbonitruros estables tienen un efecto positivo sobre la resistencia a la fluencia sin alterar la susceptibilidad al SRC.

[0029] La invención abarca, además, diversos productos que pueden obtenerse mediante los procesos así como sus usos, tales como:

- chapas laminadas en caliente de tamaño cuartilla, y que presentan un grosor incluido entre 5 y 100 mm,

- piezas forjadas que pueden usarse para la fabricación de bridas o conexión.

[0030] Los siguientes ejemplos se presentan como una ilustración de la presente invención. Debe entenderse, sin embargo, que la invención no se limita a los detalles particulares en estos ejemplos.

5

Ejemplo:

[0031] Se elaboraron composiciones de acero, cuyos elementos se indican en la tabla 1 con sus composiciones en % en peso. Las composiciones de aceros A y B corresponden a la invención. Los lingotes se fundieron, pre-forjaron en forma de productos planos y se laminaron en caliente a chapas con grosores que van desde 15 a 40 mm. Las chapas se recoció en solución a 1100°C y se enfriaron en agua. Los aceros con referencias C a I son aceros comparativos.

10

Tabla 1 : composiciones químicas del acero (% en peso). Valores subrayados: no de acuerdo con la invención

Referencia del acero	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Al (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	B (%)	V (%)	N (%)	Otros (%)	
Invención	A	0,023	1,44	0,26	0,005	19,87	14,61	2,49	0,0034	0,31	0,23	S: 0,0017 P: 0,014 O: 0,007
	B	0,019	1,49	0,51	0,010	20,1	14,82	2,51	0,004	0,30	0,26	S: 0,001 P: 0,003 O: 0,004
Referencia	C	0,02	1,51	0,49	0,005	20	11,9	-	0,0033	-	0,276	S: 0,001 P: 0,004 O: 0,006
	D	0,02	1,5	0,52	0,29	20	13,3	2,54	0,004	-	0,25	S: 0,002 P: 0,005 O: 0,004
	E	0,072	1,47	0,50	0,005	20,1	12,1	2,52	0,0044	-	0,267	S: 0,001 P: 0,002 O: 0,006
	F	0,022	1,50	0,51	0,005	25,9	17,3	-	0,0037	-	0,351	S: 0,002 P: 0,003 O: 0,006
	G	0,06	1,04	0,53	0,23	20,6	31,3	0,16	0,0013	0,065	0,015	S: 0,005 P: 0,012 O: 0,001
	H	0,016	1,71	0,38	0,015	17,0	12,86	2,26	0,004	0,049	0,12	S: 0,005 P: 0,020 O: 0,002
	I	0,064	1,71	0,39	0,030	18,2	10,5	-	-	-	0,05	S: 0,005 P: 0,035 O: 0,002

[0032] Se realizaron los siguientes ensayos:

- Ensayos de tracción a 750 y 850°C para determinar la resistencia a la tracción (TS) y el alargamiento total (A). Se desea un alargamiento superior al 30% para atestiguar una buena ductilidad a alta temperatura.
- 5 - Los ensayos de Charpy V se realizaron en las siguientes condiciones: después del tratamiento térmico (envejecimiento) a 650°C durante 1000 horas, las chapas se enfriaron a temperatura ambiente y se ensayaron en dicho estado. Las muestras se maquinaron en las chapas y se ensayaron a 20°C en un péndulo Charpy V. Se desea una energía de fractura Charpy V superior a 100 Julios para garantizar la tenacidad satisfactoria. Este criterio es severo, dado que el envejecimiento generalmente corresponde a una marcada caída de tenacidad para este tipo de materiales.
- 10 - Se realizaron ensayos de fluencia ISO para determinar la vida útil de ruptura a 750°C bajo un nivel de tensión de 36 MPa, y a 850°C bajo un nivel de tensión de 16 MPa. Se desea una vida útil de ruptura por fluencia superior o igual a 0,5x10⁵ h a 750°C por debajo de 36 MPa.
- Se midió el grosor total de la cascarilla después de 3000 h a 750°C en algunas muestras, lo que indica el nivel de resistencia a la oxidación a alta temperatura.
- 15 - Los resultados de los ensayos de tracción, fluencia y Charpy V, grosor de la cascarilla, se indican en la tabla 2.

Tabla 2: resultados obtenidos en las composiciones de acero de la tabla 1

	Aleación	TS a 750°C (MPa)	TS a 850°C (MPa)	A a 750°C (%)	Energía de Charpy después de 1000h a 650°C (Julios)	Vida útil a 750°C tensión de fluencia 36 MPa (x10 ⁵ h)	Vida útil a 850°C tensión de fluencia 16 MPa (x10 ⁵ h)	Grosor de la cascarilla después 750°C - 3000 h (micrómetros)
Invención	A	n.d	n.d	50	133	n.d	n.d	50
	B	407	269	40	130	1	0,8	n.d
Referencia	C	300	175	<u>30</u>	126	<u>0,1</u>	0,02	n.d
	E	370	275	50	41	1	0,7	n.d
	F	350	220	35	61	<u>0,3</u>	0,1	n.d
	G	270	150	40	182	1	1	150
	H	275	nd	65	166	<u>0,25</u>	n.d.	n.d
	I							

- 20 - La susceptibilidad al agrietamiento por relajación se evaluó mediante el siguiente procedimiento: después de una flexión de tres puntos a temperatura ambiente, las muestras de grosor completo se sometieron a una tensión constante a una temperatura que variaba entre 500 y 900°C durante 150 horas. Se registró la variación de la carga y se evaluó un daño eventual por agrietamiento por relajación examinando las secciones transversales pulidas de las muestras. Algunas de ellas no mostraron daños o cavidades muy pequeñas: se clasificaron como no susceptibles ("NS").
- 25 - Por otro lado, las muestras con micro- o macrogrietas y cavidades revelan una susceptibilidad ("S") al SRC. Con el fin de uso en condiciones industriales, se desea una no susceptibilidad en el intervalo de 550 a 900°C, y particularmente en el intervalo de 550-750°C. Los resultados de los ensayos de SRC se indican en la tabla 3.

Tabla 3: resultados de ensayos de agrietamiento por relajación de tensiones a diferentes temperaturas en las composiciones de acero de la tabla 1.

30

	Aleación	500°C	550°C	600°C	650°C	700°C	750°C	800°C	850°C	900°C
Invención	A	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	B	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Referencia	C	n.d	n.d	<u>S</u>	<u>S</u>	<u>S</u>	n.d	n.d	n.d	n.d
	E	n.d	n.d	<u>S</u>	<u>S</u>	<u>S</u>	n.d	n.d	n.d	n.d
	F	n.d	n.d	<u>S</u>	<u>S</u>	<u>S</u>	n.d	n.d	n.d	n.d
	G	NS	NS	<u>S</u>	<u>S</u>	<u>S</u>	NS	NS	NS	NS
	H	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	I	NS	NS	<u>S</u>	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	J									

S= Susceptible a SRC

NS= No Susceptible a SRC

n.d.: No determinado

35

[0033] A partir de los resultados anteriores, aceros de acuerdo con la invención presentan una combinación

particular de propiedades: no susceptibilidad al agrietamiento por relajación en el intervalo de temperatura de 500-900°C, excelente resistencia a la fluencia, alta ductilidad en un amplio intervalo de temperaturas. Estos aceros también presentan buena tenacidad a temperatura ambiente después de un mantenimiento a alta temperatura, y un grosor de la cascarilla limitado.

5

[0034] La susceptibilidad al agrietamiento en caliente en la soldadura para los aceros de acuerdo con la invención también se evaluó mediante el siguiente ensayo: la superficie de las chapas se fundió mediante soldadura de arco con tungsteno gaseoso con aportes de calor de 4,5 a 10,3 kJ/cm y velocidades de desplazamiento que van desde 5,7 hasta 24,3 cm/mn. En todos los casos, no se detectaron grietas en el material refundido y en las zonas afectadas por el calor. Por lo tanto, las composiciones de acuerdo con la invención muestran buena resistencia al agrietamiento en caliente.

10

[0035] Por comparación, los resultados obtenidos en los aceros de referencia son los siguientes:

- 15 - La aleación C, que es un acero de referencia sin molibdeno y vanadio, es extremadamente susceptible al agrietamiento por relajación de tensiones, dado que las macrogrietas se inician incluso después de un tiempo de relajación de 75 h. Además, el alargamiento a 750°C no es satisfactorio.
 - La aleación D no contiene vanadio y tiene un contenido de aluminio excesivo, causando de este modo una ductilidad insuficiente a temperatura elevada.
- 20 - La aleación E tiene un contenido de carbono excesivo y no contiene vanadio. Como consecuencia, se produce la precipitación de carbonitruros, fase sigma gruesa y carburos $M_{23}C_6$, lo que causa la reducción de la energía Charpy después de 1000 h a 650°C. Además, esta aleación era susceptible a SRC, particularmente a temperaturas de aproximadamente 650°C.
 - La aleación F tiene un contenido de cromo excesivo, pero no contiene molibdeno ni vanadio. Como consecuencia, se forman fases intermetálicas y reducen la tenacidad de Charpy, y por otro lado esta aleación es muy susceptible a SRC.
 - La aleación G tiene un contenido excesivo de carbono y níquel, pero tiene un contenido insuficiente en molibdeno, vanadio y nitrógeno. En consecuencia, después de tratamientos a 600-700°C, la aleación G muestra daños con SRC, dado que aparecen macrogrietas.
- 30 - Incluso si la aleación H no es susceptible a SRC, su vida útil a 750°C es menor que el valor deseado de $0,5 \times 10^5$ h, debido a sus bajos contenidos de vanadio y nitrógeno.
 - De acuerdo con sus contenidos inadecuados en carbono, níquel, molibdeno, boro, vanadio, nitrógeno, la aleación I es susceptible a SRC a 600°C.

- 35 **[0036]** Los aceros de acuerdo con la invención se usan con beneficios para la fabricación de instalaciones tales como vasijas de reactor, piezas forjadas y tuberías que operan a temperaturas por encima de 550°C.

REIVINDICACIONES

1. Una chapa laminada en caliente fabricada mediante un proceso que contiene al menos una etapa de laminado en caliente, o pieza forjada, fabricada mediante un proceso que contiene al menos una etapa de forja, de un acero austenítico no susceptible a agrietamiento por relajación, con una composición que comprende, en porcentajes en peso:

$$0,019\% \leq C \leq 0,030\%$$

10

$$0,5\% \leq Mn \leq 3\%$$

$$0,1\% \leq Si \leq 0,75\%$$

15

$$Al \leq 0,25\%$$

$$18\% \leq Cr \leq 25\%$$

$$12\% \leq Ni \leq 20\%$$

20

$$1,5\% \leq Mo \leq 3\%$$

$$0,001\% \leq B \leq 0,008\%$$

25

$$0,25\% \leq V \leq 0,35\%$$

$$0,23\% \leq N \leq 0,27\%,$$

siendo el resto hierro e impurezas inevitables, y en la que:

30

$$Ni(eq.) \geq 1,11 Cr(eq.) - 8,24,$$

en la que:

35

$$Cr(eq) = Cr+Mo+1,5Si+5V+3Al+0,02$$

$$Ni(eq) = Ni+30C+x(N-0,045)+0,87$$

en la que:

40

$$x = 22 \text{ para } 0,23\% \leq N \leq 0,25\%$$

$$x = 20 \text{ para } 0,25\% < N \leq 0,27\%.$$

2. Una chapa laminada en caliente o pieza forjada de un acero de acuerdo con la reivindicación 1, en la que:

$$14\% \leq Ni \leq 17\%.$$

3. Una chapa laminada en caliente o pieza forjada con una composición de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, en la que el alargamiento es mayor del 30% a la temperatura de 750°C

4. Una chapa laminada en caliente o pieza forjada con una composición de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que la vida útil bajo 36 MPa a 750°C es mayor de $0,5 \times 10^5$ h.

5. Uso de una chapa de acero laminada en caliente o pieza forjada de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 para la fabricación de vasijas de reactor, piezas forjadas y tuberías.