

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 983 193**

51 Int. Cl.:

C22C 38/02 (2006.01)

C22C 38/42 (2006.01)

C22C 38/44 (2006.01)

C22C 38/58 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.09.2012 PCT/FI2012/050858**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.03.2013 WO13034804**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.09.2012 E 12830561 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2024 EP 2753724**

54 Título: **Acero inoxidable dúplex**

30 Prioridad:
07.09.2011 FI 20110291

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.10.2024

73 Titular/es:
**OUTOKUMPU OYJ (100.0%)
Salmisaarenranta 11
00180 Helsinki, FI**

72 Inventor/es:
**OLIVER, JAMES;
JONSSON, JAN Y. y
THULIN, ALEXANDER**

74 Agente/Representante:
DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 983 193 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 inoxidable dúplex

5 Esta invención se refiere a un acero inoxidable austenítico ferrítico dúplex que tiene una alta conformabilidad con el efecto TRIP (plasticidad inducida por transformación) y una alta resistencia a la corrosión y un equivalente de resistencia a las picaduras (PRE) optimizado.

10 El efecto de plasticidad inducida por transformación (TRIP) se refiere a la transformación de la austenita retenida metaestable en martensita durante la deformación plástica como resultado de una tensión o deformación impuesta. Esta propiedad permite que los aceros inoxidables con efecto TRIP tengan una alta conformabilidad, mientras que conservan una excelente resistencia mecánica.

15 Por la solicitud de patente FI 20100178 se conoce un método para fabricar un acero inoxidable ferrítico-austenítico que tiene buena conformabilidad y alto alargamiento, acero que contiene en % en peso menos del 0,05 % de C, el 0,2-0,7 % de Si, el 2-5 % de Mn, el 19-20,5 % de Cr, el 0,8-1,35 % de Ni, menos del 0,6 % de Mo, menos del 1 % de Cu, el 0,16-0,24 % de N, siendo el resto hierro e impurezas inevitables. El acero inoxidable de la solicitud de patente FI 20100178 se trata térmicamente de modo que la microestructura del acero inoxidable contiene entre un 45 y un 75 % de austenita en la condición tratada térmicamente, siendo la microestructura restante ferrita. Además, la temperatura M_{d30} medida del acero inoxidable se ajusta entre 0 y 50 °C para utilizar la plasticidad inducida por transformación (TRIP) para mejorar la conformabilidad del acero inoxidable. La temperatura M_{d30} , que es una medida de la estabilidad de la austenita frente al efecto TRIP, se define como la temperatura a la que una deformación verdadera de 0,3 puntos produce una transformación del 50 % de la austenita en martensita.

25 El documento EP 1.061.151 A1 describe un acero inoxidable bifásico ferrítico-austenítico que comprende, en % en peso, más del 0 % a no más del 0,05 % de C, del 0,1 al 2,0 % de Si, del 0,1 al 2,0 % de Mn, del 20,0 al 23,0 % de Cr, del 3,0 al 3,9 % de Ni, del 0,5 al 1,4 % de Mo, más del 0 % a no más del 2,0 % de Cu y del 0,05 al 0,2 % de N, conteniendo además el acero, cuando se desee, al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en más del 0 % a no más del 0,5 % de Ti, más del 0 % a no más del 0,5 % de Nb, más del 0 % a no más del 1,0 % de V, más del 0 % a no más del 0,5 % de Al, más del 0 % a no más del 0,5 % de Zr, más del 0 % a no más del 0,5 % de S, más del 0 % a no más del 0,2 % de un elemento de tierras raras, más del 0 % a no más del 1,0 % de Co, más del 0 % a no más del 1,0 % de Ta y más del 0 % a no más del 1,0 % de Si, siendo el resto sustancialmente Fe. El Cr, Mo y N están dentro del intervalo definido por $Cr + 3,3 \times Mo + 16 \times N \leq 28$ %. La estructura metálica del acero inoxidable es del 45 al 80 % en la razón de área α % de una fase ferrítica en el mismo. El Cr y el N se encuentran además dentro del intervalo definido por $0,2 \times Cr/N + 25 \leq \alpha$.

40 El objeto de la presente invención es mejorar las propiedades del acero inoxidable dúplex descrito en la solicitud de patente FI 20100178 y lograr un nuevo acero inoxidable austenítico ferrítico dúplex que utilice el efecto TRIP con una nueva composición química en donde se cambien al menos los contenidos de níquel, molibdeno y manganeso. Las características esenciales de la invención se enumeran en las reivindicaciones adjuntas.

45 Según la invención, el acero inoxidable austenítico ferrítico dúplex contiene menos del 0,04 % en peso de C, menos del 0,7 % en peso de Si, menos del 2,5 % en peso de Mn, el 19,5 % - 21,0 % en peso de Cr, el 0,8-4,5 % en peso de Ni, el 0,6-1,4 % en peso de Mo, menos del 1 % en peso de Cu, del 0,10-0,24 % en peso de N, menos del 0,003 % en peso de B, menos del 0,003 % en peso de Ca, menos del 0,1 % en peso de Ce, siendo el resto hierro e impurezas inevitables que se producen en los aceros inoxidables. El azufre está limitado a menos del 0,010 % en peso y preferiblemente a menos del 0,005 % en peso, el contenido de fósforo es inferior al 0,040 % en peso y la suma de azufre y fósforo (S+P) es inferior al 0,04 % en peso, y el contenido total de oxígeno es inferior a 100 ppm.

50 El acero inoxidable dúplex de la invención contiene opcionalmente uno o más elementos añadidos de la siguiente manera: el contenido de aluminio se maximiza a menos del 0,04 % en peso y preferiblemente el máximo es inferior al 0,03 % en peso. Opcionalmente, puede añadirse cobalto hasta un 1 % en peso para reemplazar parcialmente al níquel, y puede añadirse tungsteno hasta un 0,5 % en peso como reemplazo parcial al molibdeno. También pueden añadirse opcionalmente uno o más del grupo que contiene niobio, titanio y vanadio al acero inoxidable dúplex de la invención, limitándose el contenido de niobio y titanio hasta el 0,1 % en peso y el contenido de vanadio hasta el 0,2 % en peso.

55 Según el acero inoxidable de la invención, el equivalente de resistencia a las picaduras (PRE) se ha optimizado para proporcionar una buena resistencia a la corrosión. El efecto TRIP (plasticidad inducida por transformación) en la fase de austenita se mantiene según la temperatura M_{d30} medida en el intervalo de 0-90 °C, preferiblemente en el intervalo de 10-70 °C, para garantizar una buena conformabilidad. La proporción de la fase de austenita en la microestructura del acero inoxidable dúplex de la invención se encuentra en la condición tratada térmicamente entre el 45-75 % en volumen, ventajosamente entre el 55-65 % en volumen, siendo el resto ferrita, con el fin de crear condiciones favorables para el efecto TRIP. El tratamiento térmico puede llevarse a cabo utilizando diferentes métodos de tratamiento térmico, como recocido por solubilización, recocido por inducción de alta frecuencia o recocido local, en el intervalo de temperatura de desde 950 hasta 1150 °C.

Los efectos de los diferentes elementos en la microestructura se describen a continuación, describiéndose el contenido de los elementos en % en peso: el carbono (C) se divide en la fase de austenita y tiene un fuerte efecto sobre la estabilidad de la austenita. Puede añadirse carbono hasta un 0,04 %, pero los niveles más altos tienen una influencia perjudicial sobre la resistencia a la corrosión.

5 El nitrógeno (N) es un importante estabilizador de la austenita en los aceros inoxidable dúplex y, al igual que el carbono, aumenta la estabilidad contra la martensita. El nitrógeno también aumenta la resistencia, el endurecimiento por deformación plástica y la resistencia a la corrosión. Las expresiones empíricas generales sobre la temperatura M_{d30} indican que el nitrógeno y el carbono tienen la misma fuerte influencia sobre la estabilidad de la austenita. Debido a que el nitrógeno puede
10 añadirse a los aceros inoxidable en mayor medida que el carbono sin efectos adversos sobre la resistencia a la corrosión, los contenidos de nitrógeno desde el 0,10 hasta el 0,24 % son eficaces en los aceros inoxidable actuales. Para un perfil de propiedades óptimo, es preferible un contenido de nitrógeno del 0,16-0,21 %.

15 El silicio (Si) se añade normalmente a los aceros inoxidable con fines de desoxidación en la fundición y no debe estar por debajo del 0,2 %. El silicio estabiliza la fase de ferrita en los aceros inoxidable dúplex, pero tiene un efecto estabilizador más fuerte sobre la estabilidad de la austenita frente a la formación de martensita que el que se muestra en las expresiones actuales. Por este motivo, el silicio se maximiza hasta el 0,7 %, preferiblemente hasta el 0,5 %.

20 El manganeso (Mn) es una adición importante para estabilizar la fase de austenita y para aumentar la solubilidad del nitrógeno en el acero inoxidable. El manganeso puede reemplazar parcialmente al costoso níquel y llevar al acero inoxidable al equilibrio de fase correcto. Un nivel demasiado alto en el contenido reducirá la resistencia a la corrosión. El manganeso tiene un efecto más fuerte sobre la estabilidad de la austenita frente a la deformación (martensita), por lo que el contenido de manganeso debe abordarse cuidadosamente. El intervalo de manganeso debe ser inferior al
25 2,5 %, preferiblemente inferior al 2,0 %.

El cromo (Cr) es la principal adición para hacer que el acero sea resistente a la corrosión. Como estabilizador de ferrita, el cromo también es la principal adición para crear un equilibrio de fase adecuado entre la fase de austenita y la fase de ferrita. Para lograr estas funciones, el nivel de cromo debe ser de al menos el 19,5 % y, para restringir la fase de ferrita a los niveles adecuados para el propósito real, el contenido máximo debe ser del 21,0 %.

30 El níquel (Ni) es un elemento de aleación esencial para estabilizar la fase de austenita y para una buena ductilidad, y debe añadirse al acero al menos un 0,8 %, preferiblemente al menos un 1,5 %. Al tener una gran influencia sobre la estabilidad de la austenita frente a la formación de martensita, el níquel debe estar presente en un intervalo estrecho. Además, debido al alto coste del níquel y a la fluctuación del precio, el níquel debe maximizarse en los actuales aceros
35 inoxidable al 4,5 %, preferiblemente al 3,5 %, y más preferiblemente al 2,0-3,5 %. Todavía más preferiblemente, el contenido de níquel debe ser del 2,7-3,5 %.

40 El cobre (Cu) normalmente está presente como residuo del 0,1-0,5 % en la mayoría de los aceros inoxidable, cuando las materias primas se encuentran en gran medida en forma de chatarra inoxidable que contiene este elemento. El cobre es un estabilizador débil de la fase de austenita, pero tiene un fuerte efecto sobre la resistencia a la formación de martensita y debe tenerse en cuenta en la evaluación de la conformabilidad de los actuales aceros inoxidable. Puede realizarse una adición intencionada de hasta el 1,0 %, pero preferiblemente el contenido de cobre es de hasta el 0,7 %, más preferiblemente de hasta el 0,5 %.

45 El molibdeno (Mo) es un estabilizador de ferrita que puede añadirse para aumentar la resistencia a la corrosión y, por tanto, el molibdeno debe tener un contenido superior al 0,6 %. Además, el molibdeno aumenta la resistencia a la formación de martensita y, junto con otras adiciones, no puede añadirse molibdeno a más del 1,4 %. Preferiblemente, el contenido de molibdeno es del 1,0 % - 1,4 %.

50 El boro (B), el calcio (Ca) y el cerio (Ce) se añaden en pequeñas cantidades en los aceros dúplex para mejorar la trabajabilidad en caliente y no en contenidos demasiado altos, ya que esto puede deteriorar otras propiedades. Los contenidos preferidos de boro y calcio son inferiores al 0,003 % en peso y de cerio inferiores al 0,1 % en peso.

55 El azufre (S) en los aceros dúplex deteriora la trabajabilidad en caliente y puede formar inclusiones de sulfuro que influyen negativamente sobre la resistencia a la corrosión por picaduras. Por tanto, el contenido de azufre debe limitarse a menos del 0,010 % en peso y preferiblemente a menos del 0,005 % en peso.

60 El fósforo (P) deteriora la trabajabilidad en caliente y puede formar partículas o películas de fosfuro que influyen negativamente sobre la resistencia a la corrosión. Por tanto, el contenido de fósforo debe limitarse a menos del 0,040 % en peso, de modo que la suma de los contenidos de azufre y fósforo (S+P) sea inferior al 0,04 % en peso.

65 El oxígeno (O) junto con otros elementos residuales tiene un efecto adverso sobre la ductilidad en caliente. Por este motivo, es importante controlar su presencia a niveles bajos, particularmente en el caso de calidades dúplex altamente aleadas que son susceptibles de agrietarse. La presencia de inclusiones de óxido puede reducir la resistencia a la corrosión (corrosión por picaduras) dependiendo del tipo de inclusión. El alto contenido de oxígeno también reduce la dureza al impacto. De manera similar al azufre, el oxígeno mejora la penetración de la soldadura al cambiar la energía

superficial del baño de soldadura. Para la presente invención, el nivel máximo de oxígeno aconsejable está por debajo de 100 ppm. En el caso de un polvo metálico, el contenido máximo de oxígeno puede ser de hasta 250 ppm.

El aluminio (Al) debe mantenerse a un nivel bajo en el acero inoxidable dúplex de la invención con un alto contenido de nitrógeno, ya que estos dos elementos pueden combinarse y formar nitruros de aluminio que deteriorarán la dureza al impacto. El contenido de aluminio se limita a menos del 0,04 % en peso y preferiblemente a menos del 0,03 % en peso.

El tungsteno (W) tiene propiedades similares a las del molibdeno y, a veces, puede reemplazar al molibdeno; sin embargo, el tungsteno puede promover la precipitación en fase sigma y el contenido de tungsteno debe limitarse al 0,5 % en peso.

El cobalto (Co) tiene un comportamiento metalúrgico similar al de su elemento hermano, el níquel, y el cobalto puede tratarse de manera muy similar en la producción de acero y aleaciones. El cobalto inhibe el crecimiento del grano a temperaturas elevadas y mejora considerablemente la retención de la dureza y la resistencia al calor. El cobalto aumenta la resistencia a la erosión por cavitación y el endurecimiento por deformación. El cobalto reduce el riesgo de formación de fase sigma en los aceros inoxidables superdúplex. El contenido de cobalto está limitado a un 1,0 % en peso.

Los elementos "microaleantes" titanio (Ti), vanadio (V) y niobio (Nb) pertenecen a un grupo de adiciones denominadas así porque cambian significativamente las propiedades del acero a bajas concentraciones, a menudo con efectos beneficiosos en el acero al carbono, pero en el caso de los aceros inoxidables dúplex también contribuyen a cambios de propiedades no deseados, tales como la reducción de las propiedades de impacto, los niveles más altos de defectos superficiales y la reducción de la ductilidad durante la colada y el laminado en caliente. Muchos de estos efectos dependen de su fuerte afinidad por el carbono y, en particular, por el nitrógeno en el caso de los aceros inoxidables dúplex modernos. En la presente invención, el niobio y el titanio deben limitarse a un nivel máximo del 0,1 %, mientras que el vanadio es menos perjudicial y debe ser inferior al 0,2 %.

La presente invención se describe con más detalle haciendo referencia a los dibujos donde

la Figura 1 ilustra la dependencia de los valores mínimo y máximo de temperatura M_{d30} y PRE entre los contenidos de elementos Si+Cr y Cu+Mo en las aleaciones sometidas a prueba de la invención,

la Figura 2 ilustra un ejemplo con valores constantes de C+N y Mn+Ni para la dependencia de los valores mínimo y máximo de temperatura M_{d30} y PRE entre los contenidos de elementos Si+Cr y Cu+Mo en las aleaciones sometidas a prueba de la invención según la Figura 1,

la Figura 3 ilustra la dependencia de los valores mínimo y máximo de temperatura M_{d30} y PRE entre los contenidos de elementos C+N y Mn+Ni en las aleaciones sometidas a prueba de la invención, y

la Figura 4 ilustra un ejemplo con valores constantes de Si+Cr y Cu+Mo para la dependencia de los valores mínimo y máximo de temperatura M_{d30} y PRE entre los contenidos de elementos C+N y Mn+Ni en las aleaciones sometidas a prueba de la invención según la Figura 3.

Basándose en los efectos de los elementos, el acero inoxidable austenítico ferrítico dúplex según la invención se presenta con las composiciones químicas A a F tal como se indican en la tabla 1. La tabla 1 contiene también la composición química del acero inoxidable dúplex de referencia de la solicitud de patente FI 20100178 denominada G, todos los contenidos de la tabla 1 en % en peso.

Tabla 1

Aleación	% de C	% de Si	% de Mn	% de Cr	% de Ni	% de Cu	% de N	% de Mo
A	0,03	0,30	0,50	20,7	4,0	0,42	0,165	1,27
B	0,023	0,29	1,4	20,4	3,5	0,41	0,162	0,99
C	0,024	0,28	1,36	20,6	2,7	0,42	0,18	1,14
D	0,02	0,4	1,8	19,6	1,6	0,42	0,23	1,2
E	0,02	0,3	0,7	20,3	2,9	0,40	0,18	1,2
F	0,02	0,3	0,8	19,8	3,1	0,40	0,18	1,25
G	0,04	0,40	3,0	20,2	1,2	0,40	0,22	0,40

Al comparar los valores de la tabla 1, los contenidos de carbono, nitrógeno, manganeso, níquel y molibdeno en los aceros inoxidables dúplex de la invención son significativamente diferentes de los del acero inoxidable de referencia G.

ES 2 983 193 T3

Las propiedades, los valores de la temperatura M_{d30} , la temperatura crítica de picadura (CPT) y el PRE se determinaron para las composiciones químicas de la tabla 1 y los resultados se presentan en la siguiente tabla 2.

5 La temperatura M_{d30} predicha (M_{d30} Nohara) de la fase de austenita en la tabla 2 se calculó utilizando la expresión de Nohara (1) establecida para los aceros inoxidable austeníticos

$$M_{d30} = 551 - 462(C + N) - 9,2Si - 8,1Mn - 13,7Cr - 29(Ni + Cu) - 18,5Mo - 68Nb \quad (1)$$

10 cuando se somete a recocido a una temperatura de 1050 °C.

15 Las temperaturas M_{d30} reales medidas (M_{d30} medidas) de la tabla 2 se establecieron estirando las muestras de tracción hasta una deformación verdadera de 0,30 puntos a diferentes temperaturas y midiendo la fracción de la martensita transformada con un equipo Satmagan. El dispositivo Satmagan es un equilibrio magnético en el que la fracción de fase ferromagnética se determina colocando una muestra en un campo magnético saturado y comparando las fuerzas magnéticas y gravitacionales inducidas por la muestra.

Las temperaturas M_{d30} calculadas (M_{d30} calc.) en la tabla 2 se lograron según una restricción matemática de optimización a partir de la cual también se derivaron las expresiones (3) y (4) del cálculo.

20 La temperatura crítica de picadura (CPT) se mide en una disolución de cloruro de sodio (NaCl) 1 M según la prueba de la norma ASTM G150, y por debajo de esta temperatura crítica de picadura (CPT) no es posible la formación de picaduras y solo se observa un comportamiento pasivo.

El equivalente de resistencia a las picaduras (PRE) se calcula mediante la fórmula (2):

$$25 \quad PRE = \%Cr + 3,3*\%Mo + 30*\%N - \%Mn \quad (2)$$

30 Las sumas de los contenidos de los elementos para C+N, Cr+Si, Cu+Mo y Mn+Ni en % en peso también se calculan para las aleaciones de la tabla 1 en la tabla 2. Las sumas C+N y Mn+Ni representan estabilizadores de austenita, mientras que la suma Si+Cr representa estabilizadores de ferrita y la suma de elementos Cu+Mo que tienen resistencia a la formación de martensita.

Tabla 2

Aleación	% de C+N	% de Si+Cr	% de Mn+Ni	% de Cu+Mo	M_{d30} Calc. °C	M_{d30} Nohara °C	M_{d30} medida °C	CPT °C	PRE %
A	0,195	21	4,5	1,7	7,7	-18,4	12,5	29,2	29,3
B	0,185	20,7	4,9	1,4	19,9	6,5	22	22,5	27,1
40 C	0,204	20,9	4,1	1,6	17,2	-5,5	15,5	25,2	28,4
D	0,25	20,0	3,4	1,62	46,2	8,7	-	-	28,6
E	0,2	20,6	3,6	1,60	30,7	-0,6	-	-	29,4
F	0,2	20,1	3,9	1,65	46,0	15,0	-	-	28,5
45 G	0,26	20,7	4,3	1,0	19,4	-6	17	< 10	25

50 Al comparar los valores de la tabla 2, el valor de PRE, que tiene el intervalo de 27-29,5, es mucho mayor que el valor de PRE en el acero inoxidable dúplex de referencia G, lo que significa que la resistencia a la corrosión de las aleaciones A-C es mayor. La temperatura crítica de picadura CPT está en el intervalo de 20-31 °C, preferiblemente de 23-31 °C, que es mucho más alta que la CPT de los aceros inoxidable austeníticos, tal como la norma EN 1.4401 y calidades similares.

55 Las temperaturas M_{d30} predichas utilizando la expresión de Nohara (1) son esencialmente diferentes de las temperaturas M_{d30} medidas para las aleaciones de la tabla 2. Además, en la tabla 2 se observa que las temperaturas M_{d30} calculadas concuerdan bien con las temperaturas M_{d30} medidas y, por tanto, la restricción matemática de optimización utilizada para el cálculo es muy adecuada para los aceros inoxidable dúplex de la invención.

60 Las sumas del contenido de los elementos para C+N, Si+Cr, Mn+Ni y Cu+Mo en % en peso para el acero inoxidable dúplex de la presente invención se usaron en la restricción matemática de la optimización para establecer la dependencia, por un lado, entre C+N y Mn+Ni, y por otro lado, entre Si+Cr y Cu+Mo. Según esta restricción matemática de optimización de las sumas de Cu+Mo y Si+Cr, respectivamente las sumas Mn+Ni y C+N, forman el eje x y el eje y de una coordinación en las Figuras 1-4 donde se define la dependencia lineal para los valores mínimo y máximo de PRE ($27 < PRE < 29,5$) y para los valores mínimo y máximo de temperatura M_{d30} ($10 < M_{d30} < 70$).

65 Según la Figura 1, se establece una ventana de composición química para Si+Cr y Cu+Mo con los intervalos preferidos de 0,175-0,215 para C+N y 3,2-5,5 para Mn+Ni cuando el acero inoxidable dúplex de la invención se sometió a

recocido a la temperatura de 1050 °C. También se observa en la Figura 1 una limitación de $Cu+Mo < 2,4$ debido a los intervalos máximos para el cobre y el molibdeno.

5 La ventana de composición química, que se encuentra dentro del marco del área a', b', c', d' y e' de la Figura 1, se define con las siguientes posiciones etiquetadas de la coordinación en la tabla 3.

Tabla 3

10

	% de Si+Cr	% de Cu+Mo	% de C+N	% de Mn+Ni
a'	22,0	0,45	0,175	3,2
b'	21,4	1,9	0,175	3,2
c'	19,75	2,4	0,21	3,3
d'	18,5	2,4	0,215	5,5
e'	18,9	1,34	0,215	5,5

15

La Figura 2 ilustra una ventana de ejemplo de composición química de la Figura 1 cuando se usan valores constantes de 0,195 para C+N y 4,1 para Mn+Ni en todos los puntos en lugar de los intervalos para C+N y Mn+Ni en la Figura 1. La ventana de composición química, que se encuentra dentro del marco del área a, b, c y d de la Figura 2, se define con las siguientes posiciones etiquetadas de la coordinación en la tabla 4.

20

Tabla 4

25

	% de Si+Cr	% de Cu+Mo	% de C+N	% de Mn+Ni
a	21,40	0,80	0,195	4,1
b	20,10	1,60	0,195	4,1
c	19,15	2,25	0,195	4,1
d	19,50	1,40	0,195	4,1

30

La Figura 3 ilustra una ventana de composición química para C+N y Mn+Ni con los intervalos de composición preferidos 19,7-21,45 para Cr+Si y 1,3-1,9 para Cu+Mo, cuando el acero inoxidable dúplex se sometió a recocido a la temperatura de 1050 °C. Además, según la invención, la suma C+N se limita a $0,1 < C+N < 0,28$ y la suma Mn+Ni se limita a $0,8 < Mn+Ni < 7,0$. La ventana de composición química, que se encuentra dentro del marco del área p', q', r', s', t' y u' de la Figura 3, se define con las siguientes posiciones etiquetadas de la coordinación en la tabla 5.

35

40

Tabla 5

45

	% de Si+Cr	% de Cu+Mo	% de C+N	% de Mn+Ni
p'	20,4	1,8	0,28	4,3
q'	19,8	1,3	0,28	7,0
r'	20,2	1,7	0,17	7,0
s'	20,1	1,7	0,10	5,2
t'	20,9	1,9	0,10	1,5
u'	20,6	1,9	0,16	0,8

50

El efecto de las limitaciones para C+N y Mn+Ni con los intervalos preferidos para el contenido de los elementos de la invención es que la ventana de composición química de la Figura 3 está parcialmente limitada por los valores máximo y mínimo del PRE y parcialmente limitada por las limitaciones para C+N y Mn+Ni.

55

La Figura 4 ilustra una ventana de composición química de ejemplo de la Figura 3 con los valores constantes de 20,5 para Cr+Si y 1,6 para Cu+Mo y además, con la limitación de $0,1 < C+N$. La ventana de composición química, que está dentro del marco del área p, q, r, s, t y u de la Figura 4, se define con las siguientes posiciones etiquetadas de la coordinación en la tabla 6.

60

ES 2 983 193 T3

Tabla 6

	% de Si+Cr	% de Cu+Mo	% de C+N	% de Mn+Ni
p	20,5	1,6	0,24	5,1
q	20,5	1,6	0,19	6,0
r	20,5	1,6	0,10	3,2
s	20,5	1,6	0,10	2,4
t	20,5	1,6	0,13	1,8

Utilizando los valores de la tabla 2 y los valores de las Figuras 1-4, se establecen las siguientes expresiones para los valores mínimo y máximo de temperatura M_{d30}

$$19,14 - 0,39(\text{Cu} + \text{Mo}) < (\text{Si} + \text{Cr}) < 22,45 - 0,39(\text{Cu} + \text{Mo}) \quad (3)$$

$$0,1 < (\text{C} + \text{N}) < 0,78 - 0,06(\text{Mn} + \text{Ni}) \quad (4)$$

cuando el acero inoxidable dúplex de la invención se somete a recocido en el intervalo de temperatura de 950-1150 °C.

Las aleaciones A, B y C de la presente invención, así como el material de referencia G anterior, se sometieron a prueba adicionalmente determinando los límites elásticos $R_{p0,2}$ y $R_{p1,0}$ y la resistencia a la tracción R_m , así como los valores de alargamiento para A_{50} , A_5 y A_g , ambos en la dirección longitudinal (long) y en la dirección transversal (trans). La tabla 7 contiene los resultados de las pruebas para las aleaciones A, B y C de la invención, así como los valores respectivos para el acero inoxidable dúplex de referencia G.

Tabla 7

Aleación	$R_{p0,2}$ (MPa)	$R_{p1,0}$ (MPa)	R_m (MPa)	A_{50} (%)	A_5 (%)	A_g (%)
A trans.	549,0	594,0	777,0	37,9	41,4	33,4
A long.	527,8	586,0	797,3	40,0	44,0	34,6
B long.	479,7	552,0	766,7	40,8	44,5	36,9
C trans.	550,3	594,0	757,5	38,3	42,1	31,0
C long.	503,8	583,0	772,3	42,5	46,7	34,6
G trans.	493,7	543,7	757,3	44,6	48,6	40
G long.	498,0	544,0	787,0	45,2	49,0	40

Los resultados de la tabla 7 muestran que los valores de límites elásticos $R_{p0,2}$ y $R_{p1,0}$ para las aleaciones A y C son mucho más altos que los valores respectivos para el acero inoxidable dúplex de referencia G, y el valor de resistencia a la tracción R_m es similar al del acero inoxidable dúplex de referencia G. Los valores de alargamiento A_{50} , A_5 y A_g de las aleaciones A a C son inferiores a los valores respectivos del acero inoxidable de referencia.

El acero austenítico ferrítico dúplex de la invención puede producirse en forma de lingotes, losas, tochos, palanquillas y productos planos tales como placas, láminas, tiras, bobinas y productos largos tales como barras, varillas, alambres, perfiles y formas, tubos y/o tuberías sin costura y soldados. Además, pueden producirse productos adicionales tales como polvo metálico, formas y perfiles conformados.

REIVINDICACIONES

1. Acero inoxidable austenítico ferrítico dúplex que tiene alta conformabilidad que utiliza la transformación de austenita retenida metaestable en martensita durante la deformación plástica (efecto TRIP) y alta resistencia a la corrosión con el manganeso equilibrado con el equivalente a la resistencia a las picaduras, **caracterizado porque** el acero inoxidable dúplex contiene menos del 0,04 % en peso de carbono, menos del 0,7 % en peso de silicio, menos del 2,5 % en peso de manganeso, el 19,5 - 21,0 % en peso de cromo, el 0,8-4,5 % en peso de níquel, el 0,6-1,4 % en peso de molibdeno, menos del 1 % en peso de cobre, el 0,10-0,24 % en peso de nitrógeno, menos del 0,003 % en peso de B, menos del 0,003 % en peso de Ca, menos del 0,1 % en peso de Ce, opcionalmente uno o más elementos añadidos: menos del 0,04 % en peso de Al, hasta el 1 % en peso de Co, hasta el 0,5 % en peso de W, hasta el 0,1 % en peso de Nb, hasta el 0,1 % en peso de Ti, hasta el 0,2 % en peso de V, siendo el resto hierro e impurezas inevitables que se producen en aceros inoxidables, tales como menos del 0,010 % en peso de S, menos del 0,040 % en peso de P de modo que la suma (S+P) menos del 0,04 % en peso, y el contenido total de oxígeno está por debajo de 100 ppm, donde la dependencia entre Si+Cr y Cu+Mo es de $19,14-0,39(Cu+Mo) < (Si+Cr) < 22,45-0,39(Cu+Mo)$ y la dependencia entre C+N y Mn+Ni es de $0,1 < (C+N) < 0,78-0,06(Mn+Ni)$ en el intervalo de equivalente de resistencia a las picaduras (PRE) de 27-29,5 y en el intervalo de temperatura media M_{d30} de 10-70 °C, la proporción de la fase de austenita en la microestructura es el 45-75 % en volumen, siendo el resto ferrita, cuando se somete a tratamiento térmico en el intervalo de temperatura de 950 -1150 °C y la temperatura crítica de picaduras CPT está en el intervalo de 20-33 °C.
2. Acero inoxidable austenítico ferrítico dúplex según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el contenido de níquel es del 1,5-3,5 % en peso.
3. Acero inoxidable austenítico ferrítico dúplex según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el contenido de níquel es del 2,0-3,5 % en peso.
4. Acero inoxidable austenítico ferrítico dúplex según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el contenido de níquel es del 2,7-3,5 % en peso.
5. Acero inoxidable austenítico ferrítico dúplex según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el contenido de manganeso es del 2,0 % en peso.
6. Acero inoxidable austenítico ferrítico dúplex según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el contenido de cobre es del 0,7 % en peso.
7. Acero inoxidable austenítico ferrítico dúplex según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el contenido de molibdeno es del 1,0-1,4 % en peso.
8. Acero inoxidable austenítico ferrítico dúplex según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el contenido de nitrógeno es del 0,16-0,21 % en peso.
9. Acero inoxidable austenítico ferrítico dúplex según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la ventana de composición química, que se encuentra dentro del marco del área p', q' r', s', t' y u' de la Figura 3, se define con las siguientes posiciones etiquetadas de la coordinación en % en peso

	% de Si+Cr	% de Cu+Mo	% de C+N	% de Mn+Ni
p'	20,4	1,8	0,28	4,3
q'	19,8	1,3	0,28	7,0
r'	20,2	1,7	0,17	7,0
s'	20,1	1,7	0,10	5,2
t'	20,9	1,9	0,10	1,5
u'	20,6	1,9	0,16	0,8

10. Acero inoxidable austenítico ferrítico dúplex según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el acero se produce como lingotes, losas, tochos, palanquillas, placas, láminas, tiras, bobinas, barras, varillas, alambres, perfiles y formas, tubos y/o tuberías sin costura y soldados, polvo metálico, formas y perfiles conformados.

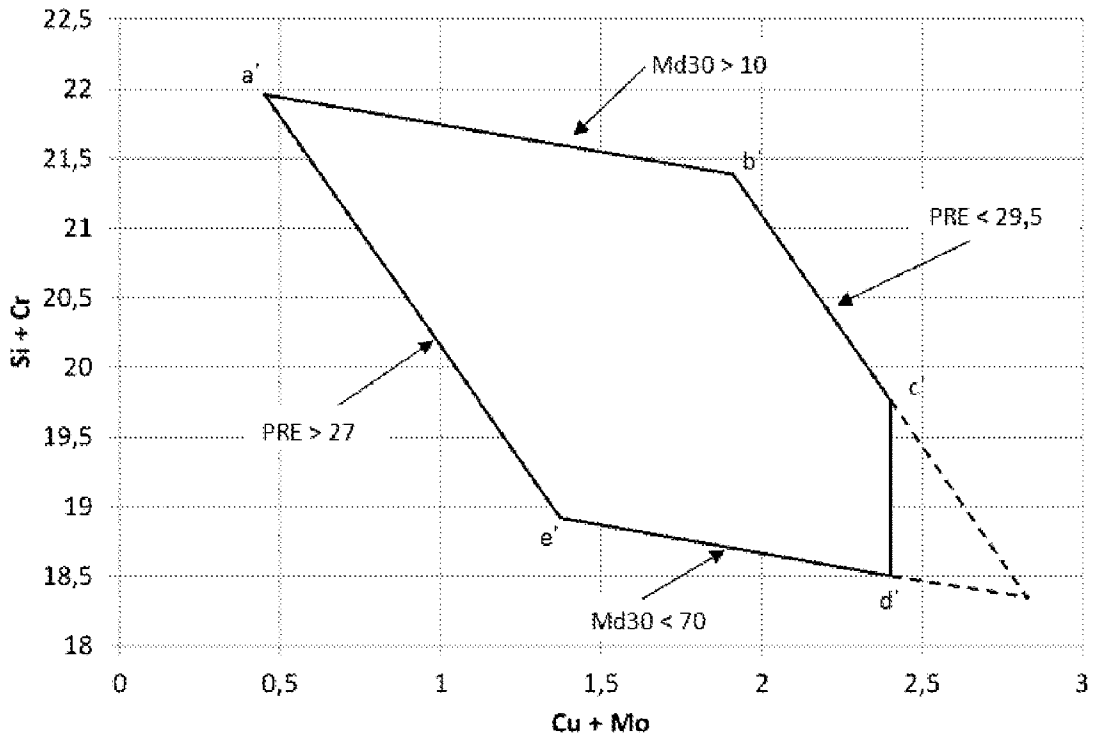


Figura 1

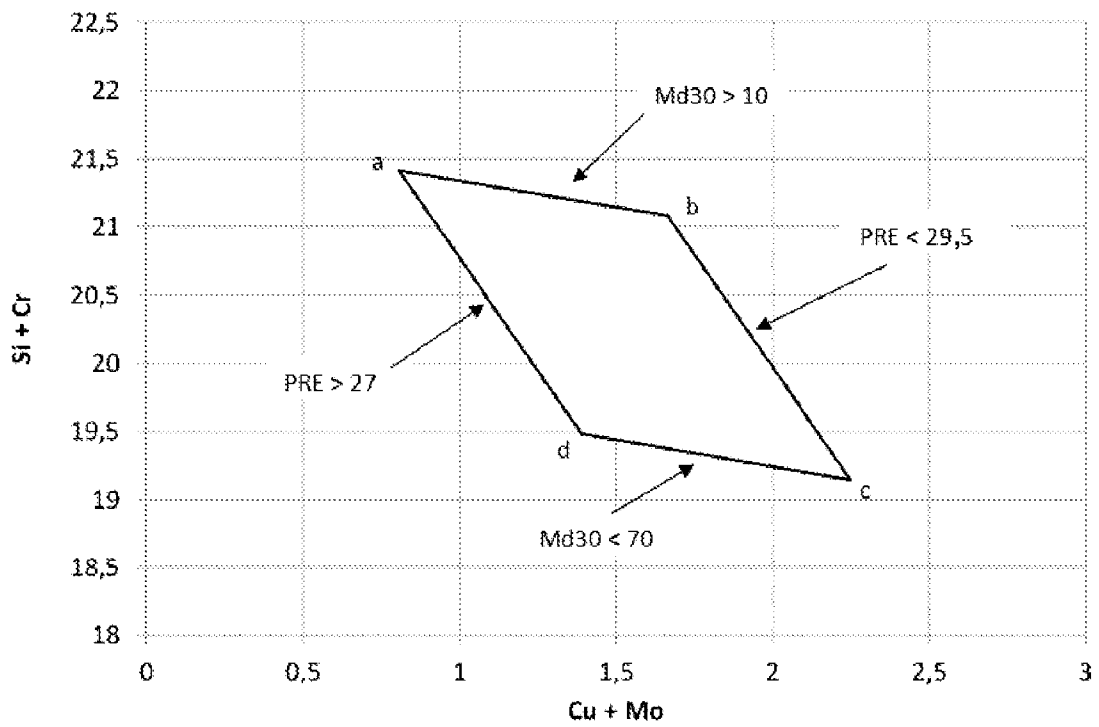


Figura 2

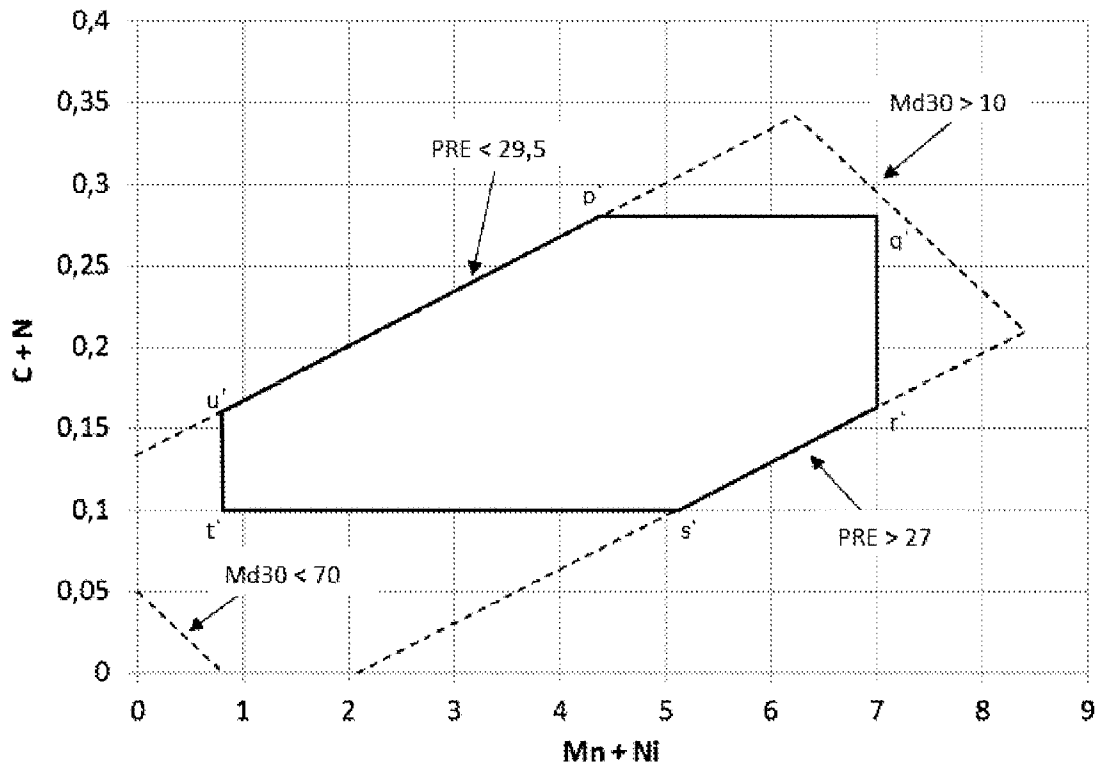


Figura 3

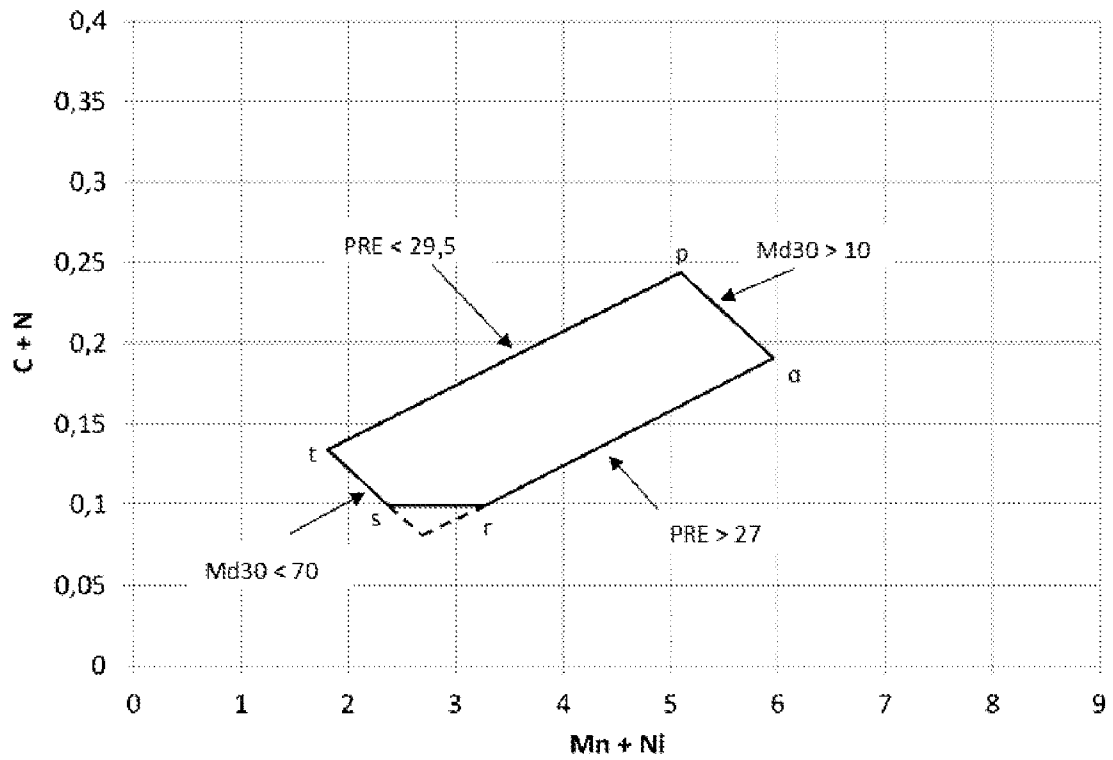


Figura 4