

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 581 524**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00 (2006.01)

C22C 38/02 (2006.01)

C22C 38/04 (2006.01)

C22C 38/08 (2006.01)

C22C 38/16 (2006.01)

C22C 38/20 (2006.01)

C22C 38/22 (2006.01)

C22C 38/40 (2006.01)

C22C 38/42 (2006.01)

C22C 38/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.01.2013** **E 13701640 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.04.2016** **EP 2809818**

54 Título: **Acero dúplex con un índice de resiliencia y una maquinabilidad mejorados**

30 Prioridad:

03.02.2012 DE 102012100908

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

06.09.2016

73 Titular/es:

KLAUS KUHN EDELSTAHLGIESSEREI GMBH
(100.0%)

Otto-Hahn-Strasse 12-14
42477 Radevormwald, DE

72 Inventor/es:

WISCHNOWSKI, FRANK

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 581 524 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 dúplex con un índice de resiliencia y una maquinabilidad mejorados

La presente invención se refiere a un acero dúplex nuevo, en particular a un acero lean-dúplex, con índice de resiliencia y maquinabilidad mejorados.

- 5 Los aceros inoxidables austeníticos tienen hasta la fecha una importancia particularmente grande en el mercado de aceros finos inoxidables. Estos están siendo desplazados de forma creciente por aceros dúplex. Actualmente se conocen cuatro tipos principales de acero dúplex: dúplex estándar, superdúplex, hiperdúplex y lean-dúplex. Las diferencias entre los mismos son la composición química, así como las diferentes propiedades mecánicas y de corrosión. Los aceros dúplex se basan en una estructura bifásica, formada por proporciones casi iguales de una fase de ferrita (hierro α) y una fase de austenita (hierro γ). Los aceros dúplex se caracterizan por su combinación de propiedades, proporcionando la fase ferrítica esencialmente una alta resistencia mecánica y una resistencia a la fisuración por corrosión bajo tensión (SCC) y siendo la fase austenítica responsable de la ductilidad y la resistencia a la corrosión general. Los aceros dúplex que pertenecen a los aceros inoxidables y resistentes a los ácidos existen desde hace más de 70 años.
- 10
- 15 En los últimos años ha aumentado significativamente el precio de elementos de aleación, en particular de níquel y molibdeno. En particular, el elevado precio del níquel fue el punto de partida para impulsar un desarrollo para proporcionar aleaciones sustitutorias con propiedades de acero fino que proporcionen las mismas propiedades de resistencia mecánica, así como prácticamente las mismas propiedades de corrosión con una proporción de aleación claramente reducida de los poco económicos níquel y molibdeno.
- 20 Un resultado de este desarrollo es el acero lean-dúplex. Hasta hace pocos años, la fabricación de estos aceros finos resistentes a la corrosión con una proporción de aleación reducida de níquel y molibdeno era demasiado complicada y cara. Debido a un nuevo procedimiento de producción se ha logrado posibilitar la fabricación de acero lean-dúplex en el sector industrial. La resistencia de aceros lean-dúplex frente a la corrosión por fisuras por tensión o por picaduras es superior a la de aceros finos austeníticos comparables. Para una carga térmica y una capacidad termoconductora similares, el acero se dilata menos intensamente. Además, el material constituido esencialmente en partes similares por ferrita y por austenita tiene una resistencia básica el doble de elevada también en estado fundido con respecto a aceros austeníticos. Estas propiedades se pueden usar para la reducción constructiva de elementos de fijación en la construcción de edificios. Por ejemplo, se pueden usar pocos puntos de sujeción, lo que tiene como consecuencia que se facilita el montaje y también una reducción del número de puentes conductores del calor en la construcción de fachadas. Una reducción del contenido de carbono en la fabricación conduce en un acero lean-dúplex a una mejor tenacidad, como también a mejores propiedades de ductilidad.
- 25
- 30

Estado de la técnica

En el sector de los aceros dúplex ferrítico-austeníticos se ha descrito una gran serie de aleaciones forjables o de aleaciones de fundición. A continuación se explicarán algunas propuestas del estado de la técnica en detalle:

- 35 La patente de Estados Unidos 4 798 635 describe una aleación de acero ferrítico-austenítico con una resistencia a la corrosión elevada y una buena soldabilidad, estando constituida la aleación de acero esencialmente por los elementos siguientes:
- C no más del 0,06 % en peso
- Si no más del 1,5 % en peso
- 40 Mn no más del 2,0 % en peso
- Cr del 21,0 al 24,5 % en peso,
- Ni del 2,0 al 5,5 % en peso,
- Cu del 0,01 al 1,0 % en peso,
- N del 0,05 al 0,3 % en peso
- 45 y el resto de esta composición está constituido por hierro y las impurezas habituales. El contenido de los elementos está ajustado entre sí a este respecto de modo que el contenido de ferrita α se encuentre entre el 35 y el 65 %. La aleación es adecuada en particular para ambientes en los que la aleación está sometida a temperaturas superiores a 60 °C, así como a cloruros en cantidades de hasta 1.000 ppm simultáneamente, siendo resistente la fase austenítica frente a una deformación en frío en el intervalo de entre el 10 y el 30 %.
- 50 Esta aleación se ha desarrollado en el sector del forjado para reducir los costes de la aleación. Mediante el ahorro de los elementos de aleación níquel y molibdeno se ha fabricado un acero dúplex con una resistencia mecánica comparable, pero con una resistencia a la corrosión reducida. La aleación también es adecuada como aleación de

fundición.

Además, el documento WO 02/27056 A1 (EP 1 327 008 A1) trata de un acero inoxidable ferrítico-austenítico con una microestructura que consiste esencialmente en del 35 al 65 % en volumen de ferrita y del 35 al 65 % en volumen de austenita y que presenta una composición que contiene en porcentaje en peso:

- 5 del 0,005 al 0,07 de C,
- del 0,1 al 2,0 de Si,
- del 3 al 8 de Mn,
- del 19 al 23 de Cr,
- del 0,5 al 1,7 de Ni,
- 10 dado el caso Mo y/o W en una cantidad total de como máximo 1,0 (Mo + W/2),
- dado el caso Cu hasta un máximo de 1,0,
- del 0,15 al 0,30 de N,
- el resto hierro e impurezas.

Además, las condiciones siguientes tendrán validez en cada caso para los formadores de ferrita y austenita, es decir, para los equivalentes de cromo y de níquel:

- 15 $20 < Cr_{eq} < 24,5$
- $10 < Ni_{eq}$,
- siendo $Cr_{eq} = Cr + 1,5 Si + Mo + 2 Ti + 0,5 Nb$ y
- $Ni_{eq} = Ni + 0,5 Mn + 30 (C + N) + 0,5 (Cu + Co)$.
- 20 Para reducir más los costes de la aleación se ha reducido adicionalmente en este acero el contenido en cromo y el poco económico níquel se ha reemplazado parcialmente por manganeso.
- Una composición química idéntica a la del documento WO 02/27056 A1 para acero inoxidable se ha descrito en particular como aleación de fundición en el documento WO 2009/138570 A1 (EP 2 279 276 A1). El alto contenido en manganeso descrito y el tamaño de grano más grande en comparación con la aleación forjable conducen en esta
- 25 aleación a un desplazamiento de la temperatura de transición y fragiliza el material a temperaturas de aplicación bajas.
- Por el estado de la técnica según el documento EP 1 867 748 A1 se conoce también una aleación con la composición siguiente:

- C $\leq$ 0,05 % en peso
- 30 21 % en peso $\leq$ Cr $\leq$ 25 % en peso,
- 1 % en peso $\leq$ Ni $\leq$ 2,95 % en peso,
- 0,16 % en peso $\leq$ N $\leq$ 0,28 % en peso,
- Mn $\leq$ 2,0 % en peso,
- Mo+W/2 $\leq$ 0,5 % en peso,
- 35 Mo $\leq$ 0,45 % en peso,
- W $\leq$ 0,15 % en peso,
- Si $\leq$ 1,4 % en peso,
- Al $\leq$ 0,05 % en peso,
- 0,11 % en peso $\leq$ Cu $\leq$ 0,50 % en peso,
- 40 S $\leq$ 0,010 % en peso,
- P $\leq$ 0,040 % en peso,

B ≤ 0,0005 % en peso,

Co ≤ 0,5 % en peso,

REM ≤ 0,1 % en peso,

V ≤ 0,5 % en peso,

5 Ti ≤ 0,1 % en peso,

Nb ≤ 0,3 % en peso,

Mg ≤ 0,1 % en peso,

y el resto hierro e impurezas.

A este respecto se trata de una aleación forjable que presenta hasta el 2 % de manganeso, pero nada de cobre.

10 Además, en la 8ª Conferencia sobre aceros dúplex inoxidables en Beaune, Francia, del 13 al 15 de octubre de 2010, se presentó una nueva aleación con el número de material 1.4669 de la empresa Ugitech. No obstante, esta aleación presenta un contenido en manganeso del 1-3 % en peso y se diferencia, por lo tanto, también de la aleación según la invención.

Descripción de la invención: Objetivo, forma de lograrlo, ventajas

15 La presente invención se basa, por lo tanto, en el objetivo de proporcionar un acero inoxidable ferrítico-austenítico que evite las desventajas del estado de la técnica, que presente una proporción más reducida de elementos de aleación caros que el acero dúplex habitual comercialmente disponible, pero que, sin embargo, proporcione buenas propiedades, en particular una resistencia mecánica alta y una buena resistencia a la corrosión, buenas colabilidad y procesabilidad. En particular debe reducirse el contenido de níquel y de molibdeno en la aleación, debiendo lograrse
20 simultáneamente, no obstante, las buenas propiedades deseadas para un acero dúplex.

El objetivo expuesto anteriormente se logra según la invención mediante un acero dúplex con índice de resiliencia y maquinabilidad mejorados, presentando el acero dúplex la composición química siguiente o estando constituido por la misma:

C < 0,070 % en peso,

25 Si < 1,5 % en peso,

Mn < 1,0 % en peso,

Cr 21,0 al 23,0 % en peso,

Ni 1,0 al 3,0 % en peso,

Cu 1,0 al 3,0 % en peso,

30 N 0,10 al 0,30 % en peso,

Mo < 0,5 % en peso,

y el resto hierro e impurezas.

Además, un acero inoxidable ferrítico-austenítico, en particular un acero lean-dúplex, proporciona, preferentemente, una aleación de fundición lean-dúplex que presenta un índice de resiliencia y una maquinabilidad mejorados. Por
35 medio de la elección de la composición de la aleación se ha puesto a disposición según la invención una aleación que además de una resistencia mecánica elevada presenta un buen índice de resiliencia también a bajas temperaturas (por ejemplo -40 °C).

También muestra la aleación de acero según la invención una buena soldabilidad. La necesidad y el tipo del tratamiento térmico después de la soldadura se realizan en función de la composición química del material y los
40 aditivos de soldadura, la forma del componente, el espesor de la pared, las condiciones de la soldadura, las propiedades de resistencia mecánica, el volumen del ensayo no destructivo y, si es necesario, del cumplimiento de condiciones adicionales.

Además, el acero proporcionado según la invención presenta una buena resistencia a la corrosión. El equivalente para la resistencia frente a la corrosión por picaduras (abreviada como PRE: *pitting resistance equivalent*, en inglés),
45 también denominada "*Wirksumme*" en alemán, sirve para evaluar la resistencia a la corrosión de una aleación que contiene níquel frente a la corrosión por picaduras o la corrosión por fisuras. La corrosión por picaduras designa en general sitios de corrosión que parecen pequeños o con forma de punto en superficies de metales, que pueden

extenderse de forma significativa por debajo de la superficie. La corrosión por fisuras es una corrosión acelerada localmente y que conduce en la región de las fisuras (por ejemplo fisuras de unión) a la acumulación de corrosiones. La capacidad del acero para protegerse contra esta forma de corrosión depende de diferentes cantidades de los elementos de aleación. La resistencia a la corrosión por picadura se calcula según la fórmula siguiente:

$$5 \quad \text{PRE} = [\% \text{ en peso}] \text{ de Cr} + 3,3 [\% \text{ en peso}] \text{ de Mo} + 16 [\% \text{ en peso}] \text{ de N},$$

introduciendo el porcentaje de los elementos cromo, molibdeno y nitrógeno, con respecto al peso, en la fórmula. Cuando mayor sea la resistencia a la corrosión por picaduras, más resistente será el material frente a la corrosión por picaduras y a la corrosión por fisuras.

10 La composición química del acero, en particular de la aleación de fundición lean-dúplex, de la presente invención presenta ahora un valor de PRE definido por la fórmula siguiente superior a 26:

$$\text{PRE} = [\% \text{ en peso}] \text{ de Cr} + 3,3 [\% \text{ en peso}] \text{ de Mo} + 16 [\% \text{ en peso}] \text{ de N} > 26$$

Además, el acero dúplex según la invención presenta propiedades mecánicas particularmente buenas.

Las exigencias mínimas sobre los materiales a temperatura ambiente según la presente invención son las siguientes:

15 Límite elástico: $R_{p0,2} > 400 \text{ MPa}$

Resistencia a la tracción: $R_m > 600 \text{ MPa}$

Dilatación: $A > 30 \%$

Trabajo de impacto: $Av > 80 \text{ J}$

$Av (-40 \text{ °C}) > 27 \text{ J}$.

20 El acero según la invención puede usarse preferentemente allí donde sea ventajoso el acero dúplex debido a sus propiedades. Estos son por ejemplo sectores en las que tienen un papel importante una alta resistencia mecánica, una buena soldabilidad, una buena maquinabilidad, un buen índice de resiliencia, en particular también a bajas temperaturas. Por ejemplo, se pueden mencionar solo: Camisas del tambor en centrifugadoras o construcción de decantadores, recipientes de presión, también en forma de construcción soldada, rodillos para la industria química y la industria del papel.

A continuación se explican en detalle los elementos de aleación individuales del acero lean-dúplex según la invención con respecto a sus propiedades, importancia e interacciones en el acero:

30 En los elementos de aleación debe diferenciarse básicamente si son formadores de carburo, austenita o ferrita, es decir, para qué fin se adicionan por aleación al acero. Cada elemento de aleación proporciona al acero según su contenido propiedades específicas. Varios elementos de aleación pueden aumentar su efecto, dado el caso, pero pueden tener también efectos contrarios e influenciarse correspondientemente entre sí, de modo que puede obtenerse un efecto total complejo, que no puede preverse sin más. La presencia de determinados elementos de aleación propicia las condiciones que permitirán obtener una propiedad deseada, pero solo el procesamiento y el tratamiento térmico muestran las características logradas realmente.

35 Carbono (punto de fusión 3974 °C):

En la aleación de acero según la invención el carbono es un componente opcional. Es un elemento para la estabilización de la fase austenítica. El carbono reduce como elemento de aleación en hierro el punto de fusión, como elemento de aleación disuelto intersticial aumenta la resistencia mecánica. Con un contenido de carbono creciente aumenta el riesgo de formación de carburos $M_{23}C_6$, por lo que se reduce la ductilidad, la tenacidad y la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, se usa según la invención menos del 0,070 % de carbono, preferentemente menos del 0,050 % en peso, aún más preferentemente menos del 0,030 % en peso, para mejorar la resistencia a la corrosión.

Silicio (punto de fusión 1410 °C):

45 El silicio, que también representa solo un componente opcional de la aleación de acero de la presente invención, es un estabilizante de ferrita, y actúa como desoxidante. Tiene el efecto desventajoso de que a contenidos elevados acelera la formación de fases intermetálicas frágiles (fases sigma y similares) y, por ello, reduce la ductilidad del acero. El silicio aumenta la resistencia mecánica y la resistencia al desgaste, aumenta la fluidez de acero fundido y reduce, por ello, defectos de superficie en la fabricación de fundición. A altos contenidos de silicio aumenta adicionalmente la resistencia al cascarillado, la resistencia a ácidos y la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, el silicio se usa según la invención con un contenido $< 1,5 \%$ en peso, preferentemente $< 1,0 \%$ en peso, aún más preferentemente inferior al 0,50 % en peso para mejorar la tenacidad.

Manganeso (punto de fusión 1221 °C):

El manganeso es un estabilizante austenítico. Sirve, por ejemplo, para aumentar la solubilidad del nitrógeno. El manganeso se une al azufre como sulfuro de manganeso y reduce con ello la influencia desfavorable del sulfuro de hierro, tiene un efecto desoxidante durante la fusión de aceros dúplex inoxidables y sirve para mejorar la procesabilidad en caliente de los aceros. El manganeso repercute, por lo tanto, favorablemente sobre la forjabilidad y la soldabilidad. El límite elástico, la resistencia mecánica y la resistencia al desgaste se aumentan mediante la adición de manganeso. El manganeso aumenta la resistencia a la tracción y también, por lo tanto, la capacidad de carga. No obstante, una gran cantidad de manganeso perjudica la resistencia a la corrosión y facilita la formación de fases intermetálicas frágiles, que son no deseadas. Por lo tanto, el contenido de manganeso según la invención está limitado a < 1,0 % en peso, aún más preferentemente a menos del 0,50 % en peso, para mejorar la tenacidad. El manganeso puede faltar como componente facultativo en el acero según la invención también totalmente.

Cromo (punto de fusión 1920 °C):

En el acero según la invención, el cromo es un elemento esencial, en particular con respecto al mantenimiento de la resistencia a la corrosión y para ajustar la relación ferrita-austenita. El cromo actúa estabilizando ferrita. Con un contenido de cromo elevado se produce una formación aumentada de compuestos intermetálicos tales como la fase sigma, acompañada de una fragilización del material. El cromo se usa, por lo tanto, en el acero dúplex según la invención en el intervalo del 21,0 al 23,0 % en peso.

Níquel (punto de fusión 1455°C):

El níquel es un elemento cúbico centrado en las caras y, por lo tanto, actúa en el intervalo de temperatura de recocido en solución estabilizando la austenita. Presenta un efecto favorable sobre la tenacidad del acero, dado que aumenta la energía de defectos de apilamiento de la austenita. Con una energía de defectos de apilamiento creciente, la conversión mecánica y/o térmica de la austenita en martensita se dificulta y, con ello, aumenta la tenacidad del acero. Un contenido demasiado elevado de níquel en caso de un contenido de cromo y de molibdeno fijo produce una elevación del contenido de austenita y, con ello, una reducción de la resistencia mecánica. El precio del material bruto de níquel es relativamente alto en comparación con los otros elementos de aleación y fluctúa significativamente, de modo que se usan según la invención otros elementos de aleación siempre que sea posible, para reemplazar el níquel. Por lo tanto, según la invención, se usa un contenido de níquel del 1,0 al 3,0 % en peso, preferentemente del 2,0 al 3,0 % en peso.

Cobre (punto de fusión 1083 °C):

También el cobre es un estabilizante de la fase de austenita y tiene además una influencia favorable sobre la resistencia a la corrosión, en particular en medios ácidos. Dado que la solubilidad de cobre en la fase ferrítica del acero dúplex a bajas temperaturas se reduce rápidamente, precipita una fase rica en cobre en la ferrita. Con ello aumenta la relación límite elástico-resistencia mecánica. Además, el cobre puede reducir la resistencia a la corrosión por picaduras y a la corrosión por herrumbre. Por lo tanto, según la invención, se usa en contenido de cobre del 1,0 al 3,0 % en peso, preferentemente del 1,5 al 2,5 % en peso. Además, el cobre posee como el níquel un efecto positivo sobre la tenacidad a temperaturas bajas.

Nitrógeno:

El nitrógeno es un formador de austenita, es decir, estabiliza el componente estructural austenítico. El nitrógeno, generalmente, se disuelve intersticialmente en el acero dúplex, estando concentrado el 95 % del nitrógeno en la austenita. Esto conduce a una deformación de la red de austenita intensa y, por ello, a un aumento de la dureza de la fase austenítica y a un aumento de la resistencia mecánica del acero dúplex. Esta deformación de la red de la austenita produce una reducción de la tenacidad con temperatura reducida. Con un contenido aumentado de nitrógeno disuelto también se aumenta la resistencia frente a la corrosión por picaduras y por fisuras.

El nitrógeno no disuelto reduce, por lo tanto, la tenacidad mediante la formación de nitruros en la fase ferrítica. Por lo tanto, el contenido en nitrógeno según la invención es del 0,10 al 0,30 % en peso, preferentemente del 0,15 al 0,25 % en peso.

Molibdeno (punto de fusión 2622 °C):

El molibdeno es un componente opcional en la aleación de acero dúplex según la invención. El molibdeno sirve para estabilizar la fase ferrítica. El molibdeno es en comparación con el hierro un átomo muy grande. Como átomo de sustitución disuelto produce, por lo tanto, un aumento del límite elástico y de la resistencia a la tracción. Con la adición de molibdeno se mejora también la resistencia a la corrosión particularmente en medios que contienen cloruros. Un contenido demasiado elevado de molibdeno produce una fragilización del acero en su fabricación. Dado que el precio de la materia prima para obtener molibdeno es muy alto y es volátil, se usa solo un contenido de Mo < 0,5 % en peso.

Además de los elementos mencionados anteriormente, el acero según la invención no presenta preferentemente esencialmente ningún otro componente añadido, sino solo hierro e impurezas inevitables. Las impurezas inevitables

son, por ejemplo, azufre, fósforo y similares. Por lo tanto, el acero dúplex inoxidable según la invención representa una alternativa económica a aceros austeníticos, en particular en forma de una aleación lean-dúplex, preferentemente una aleación de fundición lean-dúplex, que dispone particularmente de buenas propiedades, tales como valor de la resiliencia mejorado, en particular a bajas temperaturas (por ejemplo -40 °C), buena maquinabilidad, alta resistencia mecánica y buena soldabilidad sin necesidad de tratamiento térmico posterior. El acero dúplex inoxidable, en particular en forma de una aleación de fundición, la presente invención es especialmente ventajosa en diferentes aplicaciones en las que existe un perfil de exigencias para el que es particularmente adecuado el acero según la invención.

Un objeto de la invención es también el uso del acero dúplex según la invención en ámbitos en los que presión y/o temperaturas por debajo de 0 °C son importantes. Las aplicaciones particularmente preferentes son:

- en construcción de centrifugadoras y de decantadores, en particular para camisas del tambor,
- para recipientes de presión de todo tipo,
- para rodillos en la industria química y la industria del papel.

A continuación se explicará la presente invención mediante ejemplos, que ilustran las enseñanzas según la invención, pero que no las limitan.

Ejemplos:

Se fabricaron los materiales fundidos indicados en la tabla 1 siguiente, que presentan una composición química según el acero dúplex según la invención:

Tabla 1

Material fundido	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N
C 39895	0,030	0,40	0,27	0,017	0,0060	22,13	2,87	0,23	1,33	0,233
B 40674	0,027	0,26	0,36	0,023	0,0078	22,22	2,43	0,19	1,57	0,202
D 24640	0,033	0,34	0,46	0,018	0,0058	22,11	2,36	0,15	1,43	0,223

Para los materiales fundidos indicados en la tabla 1 se determinaron los coeficientes mecánicos indicados en la tabla 2 siguiente a temperatura ambiente:

Tabla 2

Material fundido	Rp0,2 [MPa]	RP1,0 [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	Z [%]	Av1 [J]	Av2 [J]	Av3 [%]	Av media [%]
C 39895	438	497	663	45	59	169	170	183	174
B 40674	432	486	659	42	42	222	234	200	219
D 24640	442	494	634	42	48	158	152	145	152

Para el índice de resiliencia a bajas temperaturas se determinaron los coeficientes indicados en la tabla 3:

Tabla 3

Carga	Av (TA)	Av (0)	Av (-20)	Av (-40)
C 39895	181	161	105	56
B 40674	218	91	67	38
D 24640	152	57	31	30

Los coeficientes determinados e indicados anteriormente en las tablas 2 y 3 confirman las propiedades ventajosas del acero dúplex según la invención.

REIVINDICACIONES

1. Acero dúplex con un índice de resiliencia y una maquinabilidad mejoradas, presentando el acero dúplex la composición química siguiente o estando constituido por la misma:

C < 0,070 % en peso,

5 Si < 1,5 % en peso,

Mn < 0,50 % en peso,

Cr del 21,0 al 23,0 % en peso,

Ni del 1,0 al 3,0 % en peso,

Cu del 1,0 al 3,0 % en peso,

10 N del 0,10 al 0,30 % en peso

Mo < 0,5 % en peso,

y el resto hierro e impurezas.

2. Acero dúplex según la reivindicación 1, caracterizado porque contiene hasta el 0,050 % en peso de carbono.

3. Acero dúplex según la reivindicación 1, caracterizado porque contiene hasta el 0,030 % en peso de carbono.

15 4. Acero dúplex según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque contiene < 1,0 % en peso de silicio.

5. Acero dúplex según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque contiene < 0,50 % en peso de silicio.

20 6. Acero dúplex según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque contiene del 21,5 al 22,5 % en peso de cromo.

7. Acero dúplex según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque contiene del 2,0 al 3,0 % en peso de níquel.

8. Acero dúplex según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque contiene del 1,5 al 2,5 % en peso de cobre.

25 9. Acero dúplex según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque contiene del 0,15 al 0,25 en peso de nitrógeno.

10. Acero dúplex según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la fracción volumétrica de la fase ferrítica se encuentra en el intervalo del 35 al 65 % y la fracción volumétrica de la fase austenítica se encuentra en el intervalo del 35 al 65 %.

30 11. Acero dúplex según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la resistencia a la corrosión por picaduras (PRE), definida según la fórmula siguiente:

$$PRE = [\% \text{ en peso}] \text{ de Cr} + 3,3 [\% \text{ en peso}] \text{ de Mo} + 16 [\% \text{ en peso}] \text{ de N}$$

es superior a 26.

35 12. Acero dúplex según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el trabajo de impacto Av (a temperatura ambiente) es > 80 J.

13. Acero dúplex según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el trabajo de impacto Av (a - 40 °C) es > 27 J.

14. Uso del acero dúplex según al menos una de las reivindicaciones anteriores en ámbitos en los que la presión y/o temperaturas por debajo de 0 °C son importantes.

40 15. Uso del acero dúplex según al menos una de las reivindicaciones anteriores

- en la construcción de centrifugadoras y de decantadores, en particular para camisas del tambor,
- para recipientes de presión de todo tipo,
- para rodillos en la industria química y la industria del papel.