

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 401 601**

51 Int. Cl.:

C22C 38/18 (2006.01)

C22C 38/42 (2006.01)

C21D 8/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.06.2007 E 07803755 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2012 EP 2038445**

54 Título: **Acero inoxidable dúplex**

30 Prioridad:

16.06.2006 EP 06290991

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

23.04.2013

73 Titular/es:

**INDUSTEEL FRANCE (50.0%)
Immeuble "Le Cézanne", 6, rue André Campra
93200 Saint-Denis, FR y
UGITECH (50.0%)**

72 Inventor/es:

**BONNEFOIS, BERNARD;
PEULTIER, JÉRÔME;
SERRIERE, MICKAEL;
HAUSER, JEAN-MICHEL y
CHAUVEAU, ERIC**

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 401 601 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 **[0001]** La presente invención se refiere a un acero inoxidable dúplex, más especialmente destinado a la fabricación de elementos de estructuras para instalaciones de producción de materia (química, petroquímica, papel, offshore) o de producción de energía, sin por ello limitarse a ello, así como al procedimiento de fabricación de una chapa, de una tira, de barras, de alambres, o de perfiles de este acero.

10 **[0002]** Este acero puede ser más generalmente utilizado para sustituir un acero inoxidable de tipo 304L en numerosas aplicaciones, por ejemplo, en las industrias anteriores o en la industria agro-alimentaria, que incluyen piezas realizadas a partir de alambres formados (rejillas soldadas,..) de perfiles (filtros..), ejes... Se podrían también realizar piezas moldeadas y piezas forjadas.

15 **[0003]** Se conocen a tal efecto clases de acero de acero inoxidable de tipo 304 y 304L cuya microestructura en el estado recocido es esencialmente austenítica; en el estado batido en frío, pueden contener además una proporción variable de martensita. Estos aceros comprenden sin embargo elevadas adiciones de níquel, cuyo coste es generalmente, prohibitivo. Además, estas clases de acero pueden plantear problema desde un punto de vista técnico para determinadas aplicaciones puesto que tienen unas características de tracción reducidas en el estado recocido, en especial por lo que respecta al límite de elasticidad, y una resistencia poco elevada a la corrosión bajo sollicitación.

20 **[0004]** Se conocen también aceros inoxidables austeno-ferríticos, que están compuestos principalmente por una mezcla de ferrita y de austenita, tales como los aceros 1.4362, 1.4655, 1.4477, 1.4462, 1.4507, 1.4410, 1.4501 y 1.4424 de la norma EP10088, que contienen todos más de 3,5% de níquel. Estos aceros son especialmente resistentes a la corrosión y a la corrosión bajo tensión.

25 **[0005]** US 4 798 635 describe un acero inoxidable dúplex que comprende austenita y 35 a 65% de ferrita y cuya composición contiene $C \leq 0,06\%$, $Si \leq 1,5\%$, $Mn \leq 2,0\%$, Cr de 21,5 a 24,5%, Ni de 2,5% a 5,5%, Mo de 0,01% a 1,0%, Cu de 0,01 a 1,0%, N de 0,05% a 0,3%, estando el complemento constituido por hierro e impurezas inevitables.

[0006] JP 2005 105346 describe un acero inoxidable dúplex cuya composición contiene $C \leq 0,03\%$, $Si \leq 2,0\%$, $Mn \leq 1,5\%$, $P \leq 0,04\%$, $S \leq 0,008\%$, Cr de 20 a 27%, Ni de 4,0 a 10%, Mo de 2,5 a 5,5%, N de 0,15 a 0,35% N , $Cu \leq 1,0\%$, B de 0,001 a 0,01% fabricado mediante laminado en caliente seguido de un tratamiento térmico a 1050-1300°C y de una refrigeración a una velocidad superior o igual a 3K/s.

30 **[0007]** También se conocen clases de acero de acero inoxidables llamadas ferríticas o ferrito - martensíticas, cuya microestructura están, para una gama definida de tratamientos térmicos, compuestas por dos constituyentes, ferrita y martensita, preferentemente en una relación de 50/50, tal como la clase de acero 1.4017 de la norma EN10088. Estas clases de acero, con contenido de cromo generalmente inferior a 20%, presentan características mecánicas elevadas en tracción, pero no presentan una resistencia a la corrosión satisfactoria.

35 **[0008]** Por otro lado, también se busca una simplificación del procedimiento de fabricación de las chapas, tiras, barras, alambres o perfiles de acero.

40 **[0009]** El objetivo de la presente invención es dar remedio a los inconvenientes de los aceros y procesos de fabricación del estado de la técnica poniendo a disposición un acero inoxidable que presenta buenas características mecánicas y en particular un límite de elasticidad a tracción superior a 400 incluso 450MPa en el estado recocido o puesto en solución, una resistencia a la corrosión elevada y en particular superior o igual a la del 304L, una buena estabilidad microestructural y una buena resiliencia de las zonas soldadas, sin adición de elementos de adición costosos, así como un procedimiento de fabricación de chapas, tiras, barras, alambres, o perfiles con este acero que sea de realización simplificada.

45 **[0010]** A tal efecto, la invención tiene como primer objeto un acero inoxidable dúplex, cuya composición está constituida por, en % en peso:

$C \leq 0,05 \%$

$21\% \leq Cr \leq 25\%$

$1 \% \leq Ni \leq 2,95\%$

50 $0,16 \% \leq N \leq 0,28 \%$

$Mn \leq 2,0 \%$

Mo +W/2 ≤0,50 %

Mo ≤0,45%

W ≤0,15%

Si ≤1,4%

5

0,11% ≤Cu ≤0,50%

S ≤0,010 %

P ≤0,040 %

Co ≤0,5 %

10 REM ≤0,1 %

V ≤0,5 %

Ti ≤0,1 %

Nb ≤0,3 %

Mg ≤0,1 %

15 Ca ≤0,003 %

siendo el resto hierro e impurezas resultantes de la elaboración y estando la microestructura constituida por austenita y por 35 a 65% de ferrita en volumen, satisfaciendo la composición además las relaciones siguientes: $40 \leq IF \leq 70$ y preferentemente $40 \leq IF \leq 60$ con

$$IF = 6 \times (\%Cr + 1,32 \times \%Mo + 1,27 \times \%Si) - 10 \times (\%Ni + 24 \times \%C + 16,15 \times \%N + 0,5 \times \%Cu + 0,4 \times \%Mn) - 6,17$$

20

e

IRCL ≥30,5 y preferentemente ≥32 con

$$IRCL = \%Cr + 3,3 \times \%Mo + 16 \times \%N + 2,6 \times \%Ni - 0,7 \times \%Mn$$

25 **[0011]** El acero según la invención también puede comprender las características opcionales siguientes, tomadas aisladamente o en combinación:

- la proporción de ferrita está comprendida entre 35 y 55% en volumen,

- el contenido de cromo está comprendido entre 22 y 24% en peso,

30 - el contenido de manganeso es inferior a 1,5% en peso,

- el contenido de molibdeno es superior a 0,1 % en peso.

[0012] Un segundo objeto de la invención está constituido por un procedimiento de una chapa, de una tira o de una bobina laminada en caliente de acero según la invención, según el cual:

- se hace provisión de un lingote o un llantón de un acero de composición conforme a la invención,

35 - se lamina dicho lingote o dicho llantón en caliente, a una temperatura comprendida entre 1150 y 1280 °C para obtener una chapa, una tira o una bobina.

[0013] Según un modo de realización particular, se lamina dicho lingote o dicho llantón en caliente, a una temperatura comprendida entre 1150 y 1280 °C para obtener una chapa llamada cuarto, y luego se realiza un tratamiento térmico a una temperatura comprendida entre 900 y 1100°C, y se enfría dicha chapa por templado al aire, a unas velocidades comprendidas entre 0,1 a 2,7°C/s

5 **[0014]** Un tercer objeto de la invención está constituido mediante un procedimiento de fabricación de una barra o de un alambre laminados en caliente de acero según la invención, según el cual:

- se hace provisión de un lingote o un desbaste de colada continua de un acero de composición la invención,
- se lamina en caliente dicho lingote o dicho desbaste, desde una temperatura comprendida entre 1150 y 1280°C para obtener una barra que se enfría al aire o una corona de alambre que se enfría al agua, y luego, facultativamente:
- 10 - se realiza un tratamiento térmico a una temperatura comprendida entre 900 y 1100°C, y
- se enfría dicha barra o dicha corona por templado.

[0015] Según un modo de realización particular, se puede realizar además un estirado en frío de dicha barra o un trefilado de dicho alambre, tras la refrigeración.

15 **[0016]** La invención cubre también un procedimiento de fabricación de un perfil de acero, según el cual se realiza un perfilado en frío de una barra laminada en caliente obtenida según la invención, así como un procedimiento de fabricación de una pieza forjada de acero, según el cual se corta en trozos una barra laminada en caliente obtenida según la invención, y luego se realiza un forjado de dicho trozo entre 1100°C y 1280°C.

20 **[0017]** La invención cubre además diferentes productos que pueden ser obtenidos por los procesos según la invención así como sus utilizaciones, tales como:

- las chapas de acero laminada en caliente, llamadas cuartos, y que presentan un espesor comprendido entre 5 y 100 mm, y las tiras y devanados, que pueden ser utilizados para la fabricación de elementos de estructuras para instalaciones de producción de materia o de producción de energía, en particular, para instalaciones de producciones de materia y de energía que funcionan entre -100 y 300°C y preferentemente entre -50 y 300°C,

25 - las tiras de acero laminadas en frío que pueden ser obtenidas mediante laminado en frío de una bobina laminada en caliente,

- las barras laminadas en caliente que presenta un diámetro de 18mm a 250 mm y las barras estiradas en frío que presenta un diámetro de 4 mm a 60 mm, pudiendo estos productos ser utilizados para la fabricación de piezas mecánicas tales como bombas, ejes de válvulas, ejes de motores y conexiones que funcionan en medios corrosivos,

30 - los alambres laminados en caliente que presentan un diámetro de 4 a 30 mm y los alambres trefilados que presentan un diámetro de 0,010 mm a 20 mm, pudiendo estos productos ser utilizados para la fabricación de ensamblados formados en frío, para la industria agro-alimentaria, la extracción de petróleo y minerales, o para la fabricación de tejidos y tricotados metálicos para filtración de productos químicos, de mineral o de materias alimentarias.

35 - los perfiles,

- las piezas forjadas que pueden ser utilizadas para la fabricación de bridas o conexiones,

- las piezas moldeadas que pueden obtenidas por moldeado de un acero según la invención.

40 **[0018]** Otras características y ventajas de la invención aparecerán con la lectura de la descripción siguiente, determinada únicamente a título de ejemplo.

[0019] El acero inoxidable dúplex según la invención comprende los contenidos definidos a continuación.

45 **[0020]** El contenido de carbono de la clase de acero es inferior o igual a 0,05% y preferentemente inferior a 0,03% en peso. Efectivamente, un contenido demasiado elevado de este elemento degrada la resistencia a la corrosión localizada aumentando el riesgo de precipitación de carburos de cromo en las zonas afectadas térmicamente por las soldaduras.

[0021] El contenido de cromo de la clase de acero está comprendido entre 21 y 25% en peso, preferentemente entre 22 y 24% en peso con la finalidad de obtener una buena resistencia a la corrosión, que sea al menos equivalente a aquella obtenida con las clases de acero de tipo 304 o 304L.

50 **[0022]** El contenido de níquel de la clase de acero está comprendido entre 1 y 2,95% en peso, y es preferentemente inferior o igual a 2,7, incluso a 2,5% en peso. Este elemento formador de austenita se añade con

la finalidad de obtener buenas propiedades de resistencia a la formación de cavernas de corrosión. Con contenidos superiores a 1% y preferentemente superiores a 1,2% en peso, tienen un efecto favorable para luchar contra la iniciación de la corrosión por picaduras. Se limita sin embargo su contenido puesto que más allá de 2,95% en peso, se observa una degradación de la resistencia a la propagación de estas picaduras. Su adición permite también obtener un buen compromiso resiliencia /ductilidad. Presenta efectivamente el interés de trasladar la curva de transición de la resiliencia hacia las temperaturas bajas, lo cual es especialmente ventajoso para la fabricación de chapas cuarto gruesas para las cuales las propiedades de resiliencia son importantes.

[0023] Al ser el contenido de níquel limitado, en el acero según la invención, se ha descubierto que convenía, para obtener un contenido de austenita apropiado tras tratamiento térmico entre 900°C y 1100°C, añadir otros elementos formadores de austenita en cantidades inhabitualmente elevadas y de limitar los contenidos en elementos formadores de ferrita.

[0024] El contenido de nitrógeno de la clase de acero está comprendido entre 0,16 y 0,28%, lo cual implica generalmente que se añade nitrógeno al acero durante la elaboración. Este elemento formador de austenita permite en primer lugar obtener un acero dúplex bifásico ferrita+austenita que contiene una proporción de austenita apropiada para una buena resistencia a la corrosión bajo tensión, y también obtener características mecánicas elevadas para el metal. También permite tener una buena estabilidad microestructural en la zona afectada térmicamente de las zonas soldadas. Se limita su contenido máximo puesto que, más allá de 0,28%, se pueden observar problemas de solubilidad: formación de sopladuras durante la solidificación de los llantones, desbastes, lingotes, piezas moldeadas o soldaduras.

[0025] El contenido de manganeso, elemento también formador de austenita por debajo de 1150°C, se mantiene inferior a 2,0% en peso, y preferentemente inferior a 1,5% en peso, debido a los efectos nefastos de este elemento en numerosos puntos. Así, plantea problemas durante la elaboración y el refinado de la clase de acero, puesto que ataca a determinados refractarios utilizados en los calderos de colada, lo cual necesita una sustitución más frecuente de estos elementos costosos y por lo tanto interrupciones más frecuentes del procedimiento. Las aportaciones de ferro-manganeso que se utilizan normalmente para poner una composición de la clase de acero, contienen además contenidos notables en fósforo, y también en selenio, cuya introducción en el acero no se desea y que son difíciles de retirar durante el afinado de la clase de acero. El manganeso perturba por otro lado este afinado limitando la posibilidad de descarbonación. También plantea problemas aguas abajo desde el punto de vista de la resistencia a la corrosión de la clase de acero debido a la formación de sulfuros de manganeso MnS, y de inclusiones oxidadas. Tradicionalmente este elemento se añadía a las clases de acero que se deseaba enriquecer con nitrógeno, con la finalidad de aumentar la solubilidad de este elemento en la clase de acero. A falta de un contenido suficiente en manganeso, no era por lo tanto posible alcanzar un tal nivel de nitrógeno en el acero. Sin embargo, los presentes inventores han constatado que era posible limitar la adición del manganeso en el acero según la invención, añadiendo a la vez suficiente nitrógeno para obtener el efecto buscado en el equilibrado ferrita - austenita del metal de base y la estabilización de las zonas afectadas térmicamente de las zonas soldadas.

[0026] El molibdeno, elemento formador de ferrita, se mantiene con un contenido inferior a 0,45% en peso, igual que el tungsteno se mantiene con un contenido inferior a 0,15% en peso. Por otro lado, los contenidos de estos dos elementos son tales que la suma $Mo+W/2$ es inferior a 0,50% en peso, preferentemente inferior a 0,4% en peso y de manera especialmente preferida inferior a 0,3% en peso. Efectivamente, los presentes inventores han constatado que manteniendo estos dos elementos, así como sus sumas, bajo los valores indicados, no se observaban precipitaciones de inter-metálicos fragilizantes, lo cual permite en especial de retirar restricciones en el procedimiento de fabricación de las chapas o tiras de acero permitiendo una refrigeración con aire de las chapas y tiras tras el tratamiento térmico o realización en caliente. Además, han observado que controlando estos elementos en los límites reivindicados, se mejoraba aptitud para la soldadura de la clase de acero. Se prefiere sin embargo mantener un contenido mínimo de molibdeno de 0,1% con la finalidad de mejorar la forjabilidad en caliente de la clase de acero. Además, la elaboración de una clase de acero que presenta menos de 0,1% de molibdeno supondría limitar mucho la utilización de chatarra metálica de reciclado para esta clase de acero, lo cual plantea problemas de realización, obligando en particular a utilizar una carga constituida en un 100% por ferro-aleaciones puras.

[0027] El cobre, elemento formador de austenita, está presente en un contenido comprendido entre 0,11 y 0,15% en peso, y comprendido entre 0,15 y 0,40% en peso. Este elemento mejora la resistencia a la corrosión en medio ácido reductor. Se limita sin embargo su contenido a 0,50% en peso para evitar la formación de fases épsilon que se desea evitar, puesto que provocan endurecimiento de la fase ferrítica y fragilización de la aleación dúplex.

[0028] El contenido de oxígeno está preferentemente limitado a 0,010% en peso, con la finalidad de mejorar su aptitud para el forjado.

[0029] El boro es un elemento opcional que puede ser añadido a la clase de acero según la invención en un contenido comprendido entre 0,0005% y 0,01% en peso, preferentemente entre 0,0005% y 0,005% y de manera más especialmente preferida entre 0,0005% y 0,003% en peso, con la finalidad de mejorar su transformación en

ES 2 401 601 T3

caliente. Según modo de realización, se prefiere sin embargo limitar el contenido de boro a menos de 0,0005% en peso para limitar los riesgos de fisura en la soldadura y en colada continua.

5 **[0030]** El silicio, elemento formador de ferrita, está presente en un contenido inferior a 1,4 % en peso. El aluminio, elemento formador de ferrita, está presente con un contenido inferior a 0,05 % en peso y preferentemente comprendido entre 0,005 % y 0,040 % en peso con la finalidad de obtener inclusiones de aluminatos de calcio con bajo punto de fusión. También se limita el contenido máximo de aluminio con la finalidad de evitar una formación excesiva de nitruros de aluminio. La acción de estos dos elementos silicio y aluminio es esencialmente asegurar una buena desoxidación del baño de acero durante la elaboración.

10 **[0031]** El cobalto, elemento formador de austenita, se mantiene con un contenido inferior a 0,5% en peso, y preferentemente inferior a 0,3% en peso. Este elemento es un residual aportado por las materias primas. Se limita en especial debido a problemas de manutención que puede plantear tras irradiación de las piezas en instalaciones nucleares.

15 **[0032]** Las tierras raras (llamadas REM) pueden ser añadidas en la composición como máximo en un 0,1% en peso y preferentemente inferior a 0,06% en peso. Se citan en especial el cerio y el lantano. Se limitan los contenidos de estos elementos puesto que son susceptibles de formar intermetálicos no deseados.

[0033] El vanadio, elemento formador de ferrita, puede ser añadido a la clase de acero como máximo en un 0,5% en peso y preferentemente inferior a 0,2% en peso, con la finalidad de mejorar la resistencia a la corrosión cavernosa del acero.

20 **[0034]** El niobio, elemento formador de ferrita, puede ser añadido a la clase de acero como máximo en un 0,3% en peso y preferentemente inferior a 0,050% en peso. Permite mejorar la resistencia mecánica a la tracción de la clase de acero, gracias a la formación de finos nitruros de niobio. Se limita su contenido para limitar la formación de nitruros de niobio bastos.

25 **[0035]** El titanio, elemento formador de ferrita, puede ser añadido a la clase de acero como máximo en un 0,1% en peso y preferentemente inferior a 0,02% en peso para limitar la formación de nitruros de titanio formados en el acero líquido en especial.

30 **[0036]** Se podrá también añadir a la clase de acero según la invención calcio, para obtener un contenido de calcio inferior a 0,03% en peso, y preferentemente superior a 0,0002% incluso superior a 0,0005 % en peso, con el fin de controlar la naturaleza de las inclusiones de óxidos y mejorar la mecanibilidad. Se limita el contenido de este elemento puesto que es susceptible de formar con el azufre sulfuros de calcio que degradan las propiedades de resistencia a la corrosión. En un modo de realización preferido, se limita el contenido de calcio a menos de 0,0005% en peso y preferentemente a menos de 0,0002%.

[0037] El azufre se mantiene con un contenido inferior a 0,010% en peso y preferentemente a un contenido inferior a 0,003% en peso. Como se ha visto anteriormente, este elemento forma sulfuros con el manganeso o el calcio, sulfuros cuya presencia es nefasta para la resistencia a la corrosión. Se considera como una impureza.

35 **[0038]** Una adición de magnesio en una cantidad con un contenido final de 0,1 % puede hacerse para modificar la naturaleza de los sulfuros y los óxidos.

[0039] El selenio se mantiene preferentemente a menos de 0,005% en peso debido a su a la corrosión. Este elemento se aporta en general a la clase de acero como impurezas de los lingotes de ferro-manganeso.

[0040] El fósforo se mantiene con un contenido inferior a 0,040% en peso y se considera como una impureza.

40 **[0041]** El resto de la composición está constituido por hierro e impurezas. Aparte de las ya mencionadas más arriba, se citarán también el zirconio, el estaño, el arsénico, el plomo o el bismuto. El estaño puede estar presente con un contenido inferior a 0,100% en peso y preferentemente inferior a 0,030% en peso para evitar los problemas de soldadura. El arsénico puede estar presente con un contenido inferior a 0,030 % en peso y preferentemente inferior a 0,020% en peso el plomo puede estar presente con un contenido inferior a 0,002% en peso y preferentemente inferior a 0,0010% en peso. El bismuto puede estar presente con un contenido inferior a 0,0002% en peso y preferentemente inferior a 0,00005% en peso. El zirconio puede estar presente con una concentración de 0,02 %.

45 **[0042]** Por otro lado, los presentes inventores han constatado que, cuando los porcentajes en peso de cromo, molibdeno, nitrógeno, níquel y manganeso satisfacen la relación siguiente, las clases de acero implicadas presentan una buena resistencia a la corrosión localizada, es decir a la formación de picaduras o cavernas:

$$IRCL = \%Cr + 3,3 \times \%Mo + 16 \times \%N + 2,6 \times \%Ni - 0,7 \times \%Mn \geq 30,5$$

[0043] La microestructura del acero según la invención, en el estado recocido, está compuesta por austenita y ferrita, que están preferentemente, tras tratamiento de 1 h a 1000°C, en una proporción de 35 a 65% en volumen de ferrita y de manera más especialmente preferida de 35 a 55% en volumen de ferrita.

5 **[0044]** Los presentes inventores también han encontrado que la fórmula siguiente refleja convenientemente el contenido de ferrita a 1100°C:

$$IF = 6 \times (\%Cr + 1,32 \times \%Mo + 1,27 \times \%Si) - 10 \times (\%Ni + 24 \times \%C + 16,15 \times \%N + 0,5 \times \%Cu + 0,4 \times \%Mn) - 6,17$$

[0045] Así, para obtener una proporción de ferrita comprendida entre 35 y 65% a 1100°C, el índice IF debe estar comprendido entre 40 y 70.

10 **[0046]** En el estado recocido, la microestructura no contiene otras fases que serían nocivas para sus propiedades mecánicas en especial, tales como la fase sigma y otras fases intermetálicas. En el estado batido en frío, una parte de la austenita puede haber sido convertida en martensita, en función de la temperatura efectiva de deformación y de la cantidad de deformación en frío aplicada.

15 **[0047]** De manera general, el acero según la invención puede ser elaborado y fabricado en forma de chapas laminadas en caliente, también llamadas chapas cuarto, pero también en forma de tiras laminadas en caliente, a partir de llantones o lingotes y también en forma de tiras laminadas en frío a partir de tiras laminadas en caliente. También puede ser laminado en caliente en barras o alambres-máquina o en perfiles o forjados; estos productos pueden ser a continuación transformados en caliente por forjado o en frío en barras o perfiles estirados o en alambres trefilados. El acero según la invención también puede ser realizado por moldeado seguido o no de tratamiento térmico.

20 **[0048]** Con la finalidad de obtener las mejores prestaciones posibles, se utilizará preferentemente el procedimiento según la invención que comprende ante todo aprovisionarse de un lingote, de un llantón o de un desbaste de acero que tenga una composición conforme a la invención.

25 **[0049]** Este lingote, este llantón o este desbaste se obtienen generalmente por fusión de las materias primas en un horno eléctrico, seguido de una refusión en vacío de tipo AOD o VOD con descarburación. Se puede a continuación colar la clase de acero en forma de lingotes, o en forma de llantones o desbastes por colada continua en una lingotera sin fondo. Se podría también concebir colar la clase de acero directamente en forma de llantones delgados, en particular por colada continua entre cilindros contra-rotativos.

30 **[0050]** Tras el aprovisionamiento del lingote o del llantón o del desbaste, se procede eventualmente a una recalefacción para alcanzar una temperatura comprendida entre 1150 y 1280 °C, pero también es posible trabajar directamente sobre el llantón que se acaba de colar en continuo, en el calor de la colada.

35 **[0051]** En el caso de la fabricación de chapas, se lamina a continuación en caliente el llantón o el lingote para obtener una chapa llamada cuarto que presenta generalmente un espesor comprendido entre 5 y 100 mm. Los contenidos de reducción generalmente empleados en este estadio varían entre 3 y 30%. Esta chapa es a continuación sometida a un tratamiento térmico de puesta de nuevo en solución de los precipitados formados en este estadio por recalefacción a una temperatura comprendida entre 900 y 1100 °C, y luego refrigerada.

40 **[0052]** El procedimiento según la invención prevé una refrigeración por templado al aire que es más fácil de llevar a cabo que la refrigeración clásicamente utilizada para este tipo de clase de acero, que es una refrigeración más rápida, con ayuda de agua. Sigue siendo sin embargo posible proceder a una refrigeración al agua si se desea.

[0053] Esta refrigeración lenta, al aire, es posible en especial posible gracias a los contenidos limitados en níquel y molibdeno de la composición según la invención que no está sujeta a la precipitación de fases intermetálicas, nocivas para sus propiedades de utilización. Esta refrigeración puede en particular ser realizada a unas velocidades comprendidas entre 0,1 a 2,7°C/s.

45 **[0054]** Tras el laminado en caliente, la chapa cuarto puede ser aplanada, recortada y decapada, si se desea entregarla en este estado.

[0055] Se puede también laminar este acero desnudo en un tren de bandas con unos espesores comprendidos entre 3 y 10mm.

50 **[0056]** En el caso de la fabricación de productos largos a partir de lingotes o desbastes, se puede laminar en caliente en una única fuente de calor en un laminador multi-jaulas, en cilindros acanalados. A una temperatura comprendida entre 1150 y 1280°C, para obtener una barra o una corona de alambre máquina o laminado. La

relación de sección entre el desbaste inicial y el producto final es preferentemente superior a 3, de modo que se asegure la salud interna del producto laminado.

[0057] Cuando se ha fabricado una barra, esta se refrigera a la salida de laminado por simple exposición al aire.

5 **[0058]** Cuando se ha fabricado alambre laminado de diámetro superior a 13 mm, este puede ser enfriado, por templado en corona en un depósito de agua a la salida de laminador.

[0059] Cuando se ha fabricado alambre de diámetro inferior o igual a 13 mm, se puede enfriar por templado al agua en espiras expuestas sobre convoyador tras el paso de estas por el convoyador en 2 a 5 mn a través de un horno de puesta en solución a temperatura comprendida entre 850°C y 1100°C.

10 **[0060]** Un tratamiento térmico ulterior en horno, entre 900°C y 1100°C, puede llevarse a cabo opcionalmente en estas barras o coronas ya tratadas en el calor de laminado, si se desea finalizar la recristalización de la estructura y rebajar ligeramente las características mecánicas de tracción.

[0061] Tras la refrigeración de estas barras o de estas coronas de alambres, se podrá proceder a diferentes tratamientos de puesta en forma en caliente o en frío, en función del uso final del producto. Así, se podrá proceder a un estirado en frío de las barras o a un trefilado de los alambres, tras la refrigeración.

15 **[0062]** Se podrán también perfilar en frío las barras laminadas en caliente, o bien fabricar piezas después de haber cortado las barras en trozos y haberlas forjado.

[0063] Con el fin de ilustrar la invención, se han realizado unos ensayos y se describirán, en especial con referencia a las figuras 1 a 5 que representan:

- Figura 1: Correlación entre % de ferrita tras tratamiento a 1100°C e índice IF para productos en bruto

20 - Figura 2: Separación diametral relativa Delta \varnothing en función de la temperatura de deformación

- Figura 3: Potenciales de picaduras E1 y E2 determinados en barras forjadas en función del índice IRCL

- Figura 4: velocidad de corrosión uniforme V determinada en barras forjadas en función del índice IRCL

- Figura 5: Temperaturas críticas CCT y CPT determinadas en barras forjadas en función del índice IRCL

Ejemplos

25 **[0064]** Unos lingotes de laboratorio de 25 kg se han realizado por fusión por inducción en condiciones de vacío de materias primas y ferro-aleaciones puras, y luego adición de nitrógeno por adición de ferro-aleaciones nitruradas bajo presión parcial de nitrógeno y colados en molde metálico bajo presión externa de 0,8 bar de nitrógeno. Entre estos, solamente los ensayos 14441 y 14604 son conformes a la invención.

30 **[0065]** Se ha realizado una colada industrial según la invención de 150 toneladas referenciada 8768. Esta clase de acero se ha elaborado por fusión en horno eléctrico, y luego refinada en condiciones de vacío con descarburación para alcanzar el nivel de carbono objetivo. A continuación se ha colado en continuo en llantones de sección 220 x 1700 mm, y luego laminado en caliente tras recalefacción a 1200°C en chapas llamadas cuarto de espesor 7, 12 y 20mm. Las chapas así obtenidas se han sometido a continuación a un tratamiento térmico
35 entorno a 1000°C con el fin de poner en solución los diferentes precipitados presentes en este estadio. Tras el tratamiento térmico, las chapas se han enfriado al agua luego aplanadas, recortadas y decapadas.

[0066] Las composiciones en porcentajes en peso de las diferentes clases de acero elaboradas en laboratorio o de manera industrial se reúnen en la tabla 1, así como los diferentes productos o semi-productos industriales elaborados en horno eléctrico, afinado mediante AOD, colada en lingote o en continuo, mencionados a título de comparación.

40

Tabla 1

Colada n°	14441	14604	8768	14382	14383	14439	14426	14422	14425	14424	14660
Producto	25 kg	25 kg	150 t	25 kg							
Al	0,014	0,012	0,0042	0,010	0,015	0,014	< 0,002	< 0,002			0,024
C	0,016	0,028	0,020	0,020	0,020	0,017	0,021	0,022	0,019	0,020	0,024
Cr	23,07	22,80	22,83	23,03	23,01	23,05	26,67	26,56	26,68	26,61	22,79
Cu	0,301	0,300	0,15	0,304	0,297	0,299	0,279	0,280	0,280	0,208	0,284
Mn	1,282	1,284	1,25	1,288	1,277	1,309	0,724	0,706	0,723	0,705	4,780
Mo	0,249	0,249	0,35	0,251	0,250	0,251	1,322	1,337	1,327	1,328	0,296
N	0,212	0,239	0,21	0,110	0,110	0,290	0,119	0,117	0,300	0,237	0,199
Ni	2,539	1,692	2,50	4,249	1,552	1,485	4,532	1,419	1,541	2,549	2,470
O	0,0049	0,0038	0,0042	0,0031	0,0039	0,0052	0,0316	0,0284	0,0205	0,0221	0,0033
P	0,023	0,023	0,024	0,024	0,024	0,022	0,025	0,022	0,025	0,022	0,025
S	0,0009	0,0010	0,0005	0,0008	0,0008	0,0009	0,0209	0,0203	0,0210	0,0203	0,0014
Si	0,430	0,358	0,44	0,399	0,455	0,403	0,424	0,391	0,407	0,408	0,494
V	0,121	0,061	0,064	0,123	0,122	0,120	0,106	0,102	0,109	0,107	0,013
W	< 0,010	< 0,010	0,019	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Ti	0,0048	0,0017	0,007	0,0027	0,0039	0,0027	0,0041	0,0059	0,0047	0,0050	0,0011
Zr	0,0048	0,0052	0,0042	0,0049	0,0055	0,0064	0,0055	0,0060	0,0058	0,0072	0,0083
Co	< 0,002	< 0,002	0,041	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ca	< 0,0005	< 0,0005	0,0003	< 0,0005	< 0,0005	< 0,005	< 0,0005	< 0,005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0002
Nb	< 0,002	< 0,002	0,0009	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Se	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
As	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Ce+ La	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Mg	< 0,0005	< 0,0005	0,0004	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
B	< 0,0005	< 0,0005	0,0024	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005

Colada n° Producto	304	304L	316L	UNS32101	UNS32304	140301	436002	517077	533054	150091
Al	*	*	*	*	*	0,026	*	*	*	*
C		0,020	0,018	0,022	0,018	0,015	0,021	0,026	0,029	0,006
Cr	18,23	18,4	16,5	21,6	22,9	23,01	22,30	22,14	22,32	23,02
Cu		0,15	0,11	0,31	0,24	0,163	0,303	0,260	0,284	0,083
Mn	0,79	1,20	1,66	5,2	1,26	1,563	1,097	1,082	1,054	1,584
Mo	0,37	0,16	2,08	0,3	0,24	2,802	0,277	0,285	0,275	3,118
N	0,044	0,074	0,067	0,224	0,12	0,164	0,143	0,119	0,106	0,150
Ni	8,96	10,2	10,24	1,5	4,20	5,500	4,022	3,995	4,364	8,672
O						0,0037				
P		0,023	0,020	0,019	0,027	0,028	0,022	0,022	0,023	0,019
S		0,0013	0,0011	0,0004	0,0008	0,0006	0,0004	0,0004	0,0006	0,0009
Si		0,37	0,50	0,71	0,40	0,206	0,414	0,464	0,400	0,390
V						0,103	0,114		0,058	0,126
W						0,028	0,017		0,013	0,022
Ti						0,0065	0,0040		0,0030	0,0033
Co						0,063	0,129		0,056	0,035
Zr										
Ca						0,0007	0,0026		0,0028	0,0007
Nb						0,0046	0,009		0,012	0,0063
Se						< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020
Ce+ La										
Mg	* Placa, rodillo o barra laminados									
B						0,0014	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
						0,0008	< 0,0005	< 0,0005	0,0022	< 0,0005

1. Contenidos en ferrita

1.1 Contenidos en ferrita en productos en bruto

- 5 **[0067]** En trozos de 1 a 8 cm³ recortados en estas coladas de laboratorio en el estado bruto de colada o en los productos industriales en el estado bruto de colada, se ha realizado en baño de sal, con templado al agua al final del tratamiento, tratamientos térmicos de 30 minutos a temperatura variable, para determinar la proporción de ferrita a alta temperatura. Al ser la ferrita magnética, contrariamente a la austenita, a los carburos y nitruros eventualmente presentes, se ha utilizado un método de dosificación por medida de la imanación a saturación. Los contenidos en ferrita así determinados se reflejan en la tabla 2 y en la figura 1.
- 10 **[0068]** Si se considera la figura 1, se constata una buena correlación entre el índice IF y los contenidos en ferrita medidos en el metal de base tras los tratamientos a 1100°C.
- 15 **[0069]** Se constata por otro lado que la colada según la invención, n° 14441, presenta, por debajo de 1300°C, un contenido de ferrita apropiado para la transformación en caliente en estructura dúplex. Además, tras tratamiento en el ámbito de 950°C a 1100°C, presenta un contenido en ferrita apropiado para la resistencia a la corrosión bajo tensión.

Tabla 2

Colada	14382	14383	14441	14426	14422	14425	14424	140301	436002	517077	533054	150091
Producto	Linaote	BCC	BCC	BCC	BCC	BCC						
Est. Bruto												
+ 900°C	45,6	89,5	54,4	71,2	98,7	100	91,9		45	51,0	47,2	20,5
+ 950°C	48,7	87,1	51,7	71,1	98,8	99,6	94,6		42,8	48,9	46,1	25,4
+ 1000°C	50,9	90,0	54,5	71,8	99,4	99,4	93,4	50,8	42,1	50,7	46,0	28,8
+ 1050°C	55,7	81,0	53,0	77,8	98,6	99,1	78,8	54	44,2	54,6	48,3	33,7
+ 1100°C	60,8	84,6	55,5	82,0	99,0	87,4	75,4	58,6	47,6	59,4	51,3	36,1
+ 1150°C	65,2	88,6	59,0	88,1	98,9	75,6	78,1	64,6	52,7	66,7	57,9	41,1
+ 1200°C	76,6	94,2	64,0	95,4	98,8	78,4		71,6	59,3	75,5	64,8	46,7
+ 1250°C	92,3	98,1	67,7	100	99,2	81,0	86,2	81,5	67,4	86,0	73,2	55,1
+ 1300°C	95,2	97,7	72,6	99,4	98,7	85,9	93,5	100	78,3	99,0	85,0	66,4
3CC = Bloom de colada continua												

1.2. Contenidos en ferrita en productos acabados

5 **[0070]** El contenido de ferrita también se ha medido con el método de la rejilla (según la norma ASTM E 562) en barras forjadas tras tratamiento térmico a 1030°C y en zonas afectadas térmicamente por cordones de soldadura depositados por electrodo recubierto con una energía constante que lleva a unas velocidades de refrigeración de 20°C/s a 700°C. Los resultados (contenidos en ferrita en metal de base y en zona afectada térmicamente) se dan en la tabla 3. Se constata que las coladas 14441 y 14604 según la invención presentan un contenido de ferrita en el metal de base y en la zona afectada térmicamente que favorece la resistencia a la corrosión localizada y bajo tensión, así como la resiliencia (cf. Tabla 5).

10 **Tabla 3 - Contenidos de ferrita**

REF	Producto	αM.B. (%)	αZ.A.T. (%)
14441*	Barra forjada	48	70
14604*	Barra forjada	54	65
14382	Barra forjada	49	80
14383	Barra forjada	79	88
14660	Barra forjada	48	72
UNS S32101	chapa LAC	45	67
UNS S32304	chapa LAC	47	75
*: según la invención LAC: Laminada en caliente; αM.B (%): contenido en ferrita medido en el metal de base αZ.A.T.: contenido en ferrita medido en la zona afectada térmicamente			

2. Colabilidad

15 **[0071]** El lingote 14439 presentaba sopladuras y es inutilizable. Para evitar este fenómeno durante coladas bajo aire a presión atmosférica, resulta por lo tanto necesario limitar el contenido de nitrógeno de las coladas según la invención a menos de 0,28 % en peso.

3. Capacidad de transformación en caliente

20 **[0072]** La capacidad de deformación en caliente se ha evaluado con ayuda de ensayos de tracción en caliente, realizados en muestras cuya parte calibrada, de diámetro 8 mm y de longitud 5 mm, se calienta por efecto Joule durante 80 segundos a 1280°C, y luego se refrigera a 2°C por segundo hasta la temperatura de ensayo que varía entre 900 y 1280°C. Cuando se alcanza esta temperatura, se activa inmediatamente la tracción rápida, a la velocidad de 73 mm/s; tras la ruptura, se mide el diámetro de estricción al nivel de la ruptura.

[0073] La separación diametral relativa (tabla 4), tal como se define a continuación, refleja la capacidad de deformación en caliente:

25
$$\text{Delta } \varnothing = 100 \times (1 - (\text{diamètre final} / \text{diamètre initial}))$$

ES 2 401 601 T3

Tabla 4: separaciones diametrales relativas (ensayos de tracción en caliente)

Temperatura de ensayo (°C)	Delta Ø(en %)		
	colada14382	colada 14383	colada 14441*
1280	85,0	100,0	96,7
1250		98,3	86,7
1200	75,0	98,3	76,7
1150	70,0	95,0	61,7
1100	63,3	93,3	56,7
1050	51,7	75,0	44,2
1010	45,0		
1000		65,0	40,0
980			36,7
960		58,3	
950	35,8		
900	35,0	51,7	36,7
*: según la invención			

5 [0074] Se constata con la lectura de la tabla 4 y de la figura 2 que representa los datos en la forma de curvas, que la colada 14441 según la invención tiene una capacidad de deformación en caliente comparable a la de la colada de referencia comparativa n° 14382.

4. Propiedades mecánicas

10 [0075] Las propiedades de tracción $Re_{0,2}$ y R_m se han determinado según la norma NFEN 10002-1. La resiliencia KV se ha determinado a diferentes temperaturas según la norma NF EN 10045.

Tabla 5 - Características mecánicas

REF	Producto	Re _{0,2} (MPa)	R _m (MPa)	KV 20°C (J)	KV -50°C (J)
14441*	Barra forjada	477	716	334	51
14604*	Barra forjada	477	691	288	18
14382	Barra forjada	436	664	> 339	339
14383	Barra forjada	458	604	79	9
14660	Barra forjada	493	701	293	31
304L	Chapa LAC	218	523	312	301
316L	Chapa LAC	232	537	307	298
UNS S32101	Chapa LAC	466	720	101	60
UNS S32304	Chapa LAC	438	663	268	153
8768*	Chapa LAC	519	743		

*: según la invención

LAC: Laminada en caliente;

Re_{0,2}: límite de elasticidad a 0,2% de deformación

R_m: resistencia a la ruptura.

[0076] Los resultados de las coladas de laboratorio 14441 y 14604 y de la colada industrial 8768, las tres según la invención, muestran que se puede obtener un límite elástico superior a 450MPa, es decir el doble al obtenido con aceros austeníticos de tipo AISI 304L.

5 [0077] Los valores de resiliencia determinados a 20°C para las coladas de laboratorio 14441 y 14604 y de la colada industrial 8768, las tres según la invención, son todos superiores a 200 J lo cual es satisfactorio teniendo en cuenta del nivel del límite de elasticidad de estas clases de acero. Para la colada 14383 que no está incluida invención, con bajo contenido de nitrógeno y fuerte contenido en ferrita en el estado recocido, los valores de resiliencia a 20°C son inferiores a 100 J. Esto confirma la necesidad de una adición suficiente de nitrógeno para obtener un nivel satisfactorio de tenacidad.

5. Resistencia a la corrosión

[0078] Se han realizado unos ensayos de resistencia a la corrosión a la vez con barras forjadas en laboratorio y en des retazos extraídos de chapas laminadas en caliente provenientes de coladas industriales.

5.1 Resistencia a la corrosión localizada

15 [0079] Se ha evaluado la resistencia a la corrosión por picaduras mediante trazado de las curvas de intensidades potenciales y determinación del potencial de picadura para $i = 100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Este parámetro se ha medido en un medio neutro (pH = 6,4) fuertemente clorado ($[\text{Cl}^-] = 30\text{g/l}$) a 50°C (E1), representativo de las salmueras encontradas en instalaciones de desalinización de agua de mar, y en un medio ligeramente ácido (pH = 5,5) poco clorado ($[\text{Cl}^-] = 250\text{ppm}$) a temperatura ambiente (E2), representativo de un agua potable. También se ha determinado la temperatura crítica de picaduras en medio clorado férrico (FeCl₃ 6%) según la norma ASTM G48-00 método C.

20 [0080] En otra serie de ensayos, se ha determinado la resistencia a la corrosión por picadura en medio neutro sin aire a 0,86 Moles / litro en NaCl, correspondiente a 5% en peso de NaCl, a 35°C. Se ha realizado una medida del potencial de abandono durante 900 segundos. A continuación, se ha trazado una curva potencio-dinámica es a la velocidad de 100 mV/min a partir del abandono hasta el potencial de picadura. se ha determinado el potencial de picadura (E3) para $i = 100 \text{mA}/\text{cm}^2$. Se han verificado, en estas condiciones, unas muestras según la invención, así como muestras de referencia en clase de acero 304L y en clases de acero dúplex austeno-ferríticos tipo 1.4362 y otras.

25 [0081] La resistencia a la corrosión cavernosa se ha estudiado midiendo la temperatura crítica de caverna en el medio neutro (pH = 6,4) fuertemente clorado ($[\text{Cl}^-] = 30\text{g/l}$). El montaje que permite favorecer la corrosión cavernosa es conforme con las recomendaciones de la norma ASTM G78-99. La temperatura crítica de caverna es la temperatura mínima para la cual unas cavernas de una profundidad superior a 25 mm han

30 [0082] Los valores obtenidos figuran en la tabla 6. La comparación entre los resultados obtenidos en la chapa de UNS S32304 y la barra proveniente de la colada 14382, ambas de composición química similar, indica que la resistencia a la corrosión de una barra es más reducida que la de una chapa laminada en caliente de misma composición.

[0083] Los presentes inventores han hallado que el índice de resistencia a la corrosión localizada, es decir formación de picaduras o cavernas, resumido por IRCL y definido por:

$$\text{IRCL} = \text{Cr} + 3,3 \times \text{Mo} + 16 \times \text{N} + 2,6 \times \text{Ni} - 0,7 \times \text{Mn}$$

40 (contenidos en Cr, Mo, N, Ni y Mn en % en peso) refleja bien la clasificación del conjunto de composiciones a menos de 6% de níquel en resistencia a la corrosión localizada (ver figuras 3, 4 y 5).

ES 2 401 601 T3

- 5 **[0084]** Las coladas 14383 y 14660 que no están incluidas en la invención, índices IRCL igual a 28,7 y 29,8, se comportan peor frente a la corrosión que un acero de tipo AISI 304L. Las coladas 14604 y 14441, según la invención, con IRCL 30,9 y 33, se comportan al menos tan bien como el acero de tipo 304L. Para obtener una resistencia a la corrosión al menos igual a la de la clase de acero AISI 304L, se ha hallado que los aceros según la invención deben tener preferentemente un IRCL superior a 30,5 y preferentemente superior a 32.

5.2 Resistencia a la corrosión uniforme

[0085] La corrosión uniforme se ha caracterizado evaluado la velocidad de corrosión por pérdida de masa tras inmersión 72 horas en una solución de ácido sulfúrico 2% llevado a 40°C.

- 10 **[0086]** La comparación de las velocidades de corrosión para las coladas experimentales a 2,5%Ni y 0,2%N (14441, según la invención, y 14660, no incluido en la invención) también muestra el efecto negativo de un contenido elevado de Mn en la resistencia a la corrosión uniforme en medio sulfúrico.

Tabla 6 - Datos de resistencia a la corrosión localizada y uniforme

REF	Producto	IRCL	E1 (V/ECS)	E2 (V/ECS)	E3 (V/ECS)	CPT (°C)	CCT (°C)	V (mm/año)
14441*	Barra forjada	33,0	0,165	1,058	0,320	7,5	50	0,73
14604*	Barra forjada	30,9	0,159	0,802		5	45	1,8
14382	Barra forjada	35,8	0,302	1,323	0,420	15	60	0,24
14383	Barra forjada	28,7	0,049	0,595	0,050	0	35	4,95
14660	Barra forjada	29,8	0,094	0,707		7,5	45	1,11
304L	Chapa LAC	NA	0,188	0,834	0,210	5	65	
316L	Chapa LAC	NA	0,266	0,865		7,5	75	
UNS S32101	Chapa LAC	26,4	0,163	0,855		12,5		
UNS S32304	Chapa LAC	35,7	0,413	1,330 ¹		17,5	95	
517077	Barra laminada	34,6			0,415			
140301	Barra laminada	47,1			1,200 ¹			
8768*	Chapa LAC	33,1	0,227	1,273 ¹				

*: según la invención

1: potencial de oxidación del disolvente, no se observa picadura

LAC: laminada en caliente; NA: no aplicable

E1: potencial de picadura en medio neutro (pH = 6,4) y fuertemente clorado (30g/l de Cl-) a 50°C

E2: potencial de picadura en medio ligeramente ácido (pH = 5,5) y pobremente clorado (250ppm de Cl-) a 25°C

E3: potencial de picadura en medio neutro y clorado (NaCl 5%) a 35°C CPT: temperatura crítica de picadura

en medio cloruro férrico

CCT: temperatura crítica de caverna en medio neutro (pH = 6,4) y fuertemente clorado (30g/l de Cl⁻)

V: velocidad de corrosión uniforme en medio ácido sulfúrico 2% a 40°C

5.3 Potencial de repasivación

[0087] Las muestras de acero se han pulido con agua con ayuda de papeles de SiC hasta 1200, y luego envejecidos 24 horas al aire.

5 **[0088]** El ensayo de polarización cíclica realizado en medio clorado se ha hecho empezando por una medida del potencial de abandono durante 15 mn, seguido de una polarización dinámica cíclica a 100µV/mn a partir del potencial de abandono hasta el potencial para el cual la corriente alcanza la intensidad de 300mA/cm² y el retorno hasta el potencial para el cual la corriente es nula.

10 **[0089]** De este modo se determinan los valores de los potenciales de picadura (Vpit) y de los potenciales de repasivación (Vrepasivación) de las picaduras anteriormente formadas. Los resultados obtenidos se reúnen en la tabla 7.

Tabla 7 - Repasivación en función del contenido de níquel

Colada	% Ni	Vpit - Vrepasivación (mV/ECS)
14382	4,5	460
14441	2,5	361
14383	1,5	227

15 **[0090]** De los tests de potenciales de repasivación en medio NaCl, se deduce que cuanto mayor es el contenido de níquel, mayor es la separación entre (suite) el potencial de picadura y el potencial de repasivación, lo cual muestra que el níquel no es beneficioso para la repasivación de una clase de acero según la invención que haya padecido anteriormente un ataque por picadura.

REIVINDICACIONES

1. Acero inoxidable dúplex, cuya composición está constituida por, en % en peso:

$C \leq 0,05 \%$

$21\% \leq Cr \leq 25\%$

5 $1 \% \leq Ni \leq 2,95\%$

$0,16 \% \leq N \leq 0,28 \%$

$Mn \leq 2,0 \%$

$Mo + W/2 \leq 0,50 \%$

$Mo \leq 0,45\%$

10 $W \leq 0,15\%$

$Si \leq 1,4\%$

$Al \leq 0,05 \%$

$0,11\% \leq Cu \leq 0,50\%$

$S \leq 0,010 \%$

15 $P \leq 0,040 \%$

$Co \leq 0,5 \%$

$REM \leq 0,1 \%$

$V \leq 0,5 \%$

$Ti \leq 0,1 \%$

20 $Nb \leq 0,3 \%$

$Mg \leq 0,1 \%$

$Ca \leq 0,003 \%$

siendo el resto hierro e impurezas resultantes de la elaboración y estando la microestructura constituida por austenita y por 35 a 65% de ferrita en volumen, satisfaciendo dicha composición además las relaciones siguientes:

25 $40 \leq IF \leq 70$

con

e

$IRCL \geq 30,5$

30 con $IRCL = \%Cr + 3,3 \times \%Mo + 16 \times \%N + 2,6 \times \%Ni - 0,7 \times \%Mn$

2. Acero según la reivindicación 1, **caracterizado además por el hecho de que:** $IRCL \geq 32$.

3. Acero según las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado además por el hecho de que** la proporción de ferrita está comprendida entre 35 y 55% en volumen.

4. Acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado además por el hecho de que**

35 $40 \leq IF \leq 60$

5. Acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado además por el hecho de que** el contenido de cromo está comprendido entre 22 y 24% en peso.

6. Acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado además por el hecho de que** el contenido de manganeso es inferior a 1,5% en peso.
7. Acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado además por el hecho de que** el contenido de molibdeno es superior a 0,1% en peso.
- 5 8. Procedimiento de fabricación de una chapa, de una tira o de una bobina laminada en caliente de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, según el cual:
- se hace provisión de un lingote o un llantón de un acero de composición según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7
 - se lamina dicho lingote o dicho llantón en caliente, a una temperatura comprendida entre 1150 y 1280 °C para obtener una chapa, una tira o una bobina.
- 10
9. Procedimiento de fabricación de una chapa laminada en caliente de acero según la reivindicación 8, según el cual:
- se lamina dicho lingote o dicho llantón en caliente, a una temperatura comprendida entre 1150 y 1280 °C para obtener una chapa llamada cuarto, y luego
 - se realiza un tratamiento térmico a una temperatura comprendida entre 900 y 1100°C, y
 - se enfría dicha chapa por templado al aire a unas velocidades comprendidas entre 0,1 y 2,7°C/s.
- 15
10. Procedimiento de fabricación de una barra o de un alambre laminados en caliente de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, según el cual:
- se hace provisión de un lingote o un desbaste de colada continua de un acero de composición según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7,
 - se lamina en caliente dicho lingote o dicho desbaste, desde una temperatura comprendida entre 1150 y 1280°C para obtener una barra que se enfría al aire o una corona de alambre que se enfría al agua, y luego, opcionalmente:
 - se realiza un tratamiento térmico a una temperatura comprendida entre 900 y 1100°C, y
 - se enfría dicha barra o dicha corona por templado.
- 20
- 25
11. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 10, según el cual se realiza un estirado en frío de dicha barra o un trefilado de dicho alambre, tras la refrigeración.
12. Procedimiento de fabricación de un perfil de acero, según el cual se realiza un perfilado en frío de una barra laminada en caliente obtenida por el procedimiento según la reivindicación 10.
- 30
13. Procedimiento de fabricación de una pieza forjada de acero, según el cual se corta en trozos una barra laminada en caliente obtenida por el procedimiento según la reivindicación 10, y luego se realiza un forjado de dicho trozo entre 1100°C y 1280°C.

Figura 1

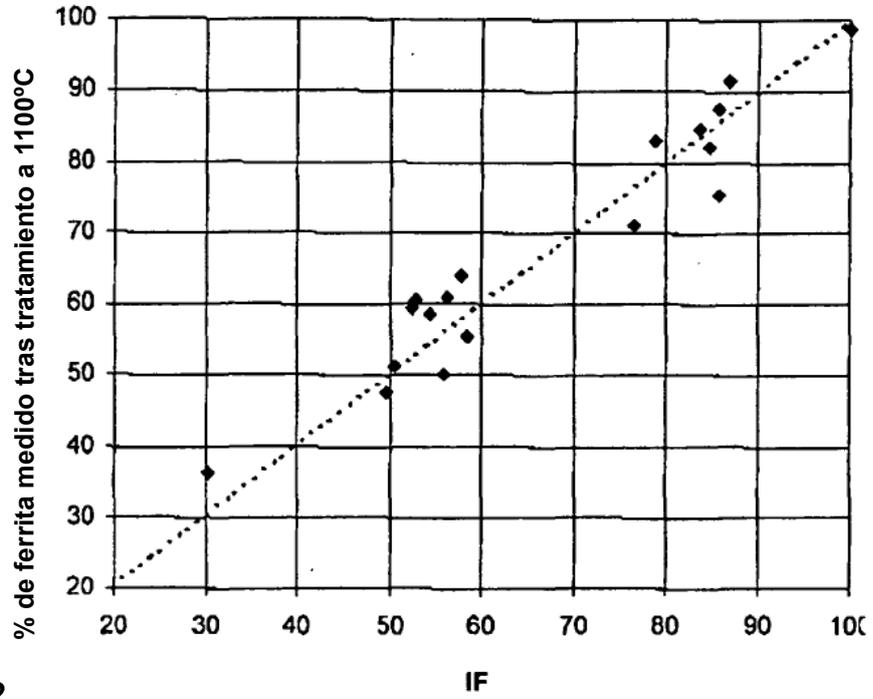


Figura 2

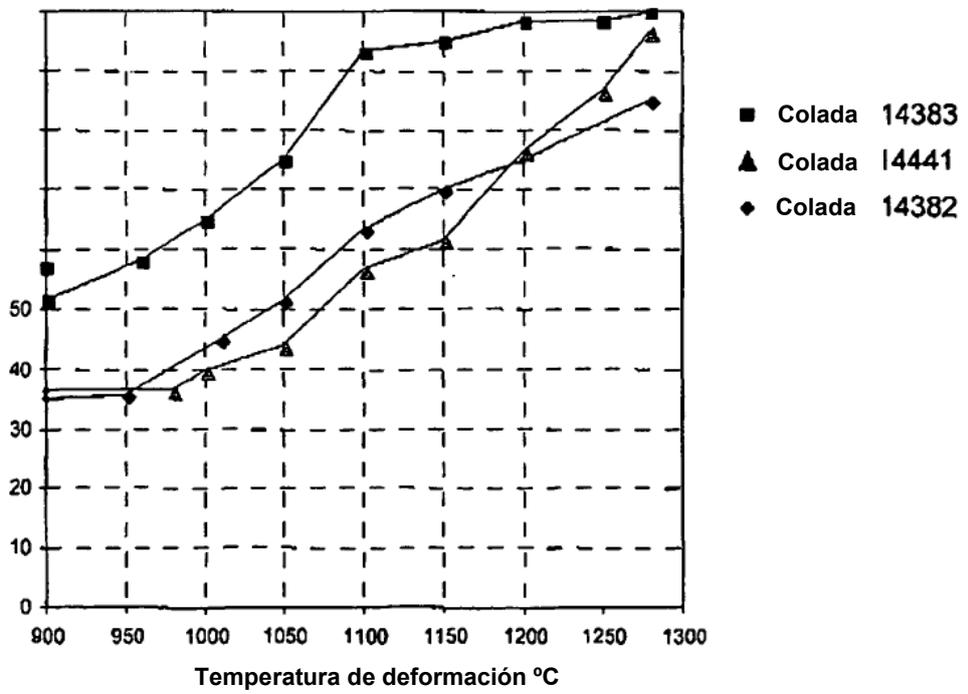


Figura 3

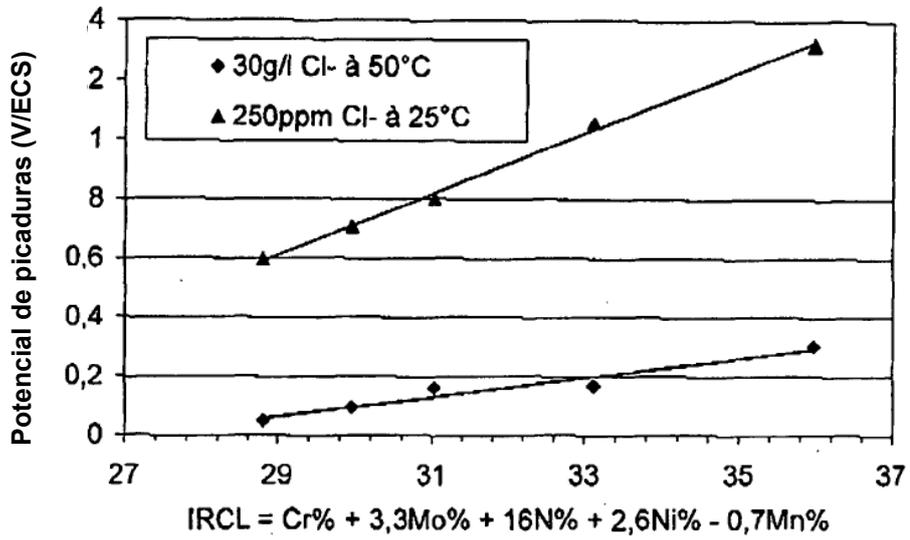


Figura 4

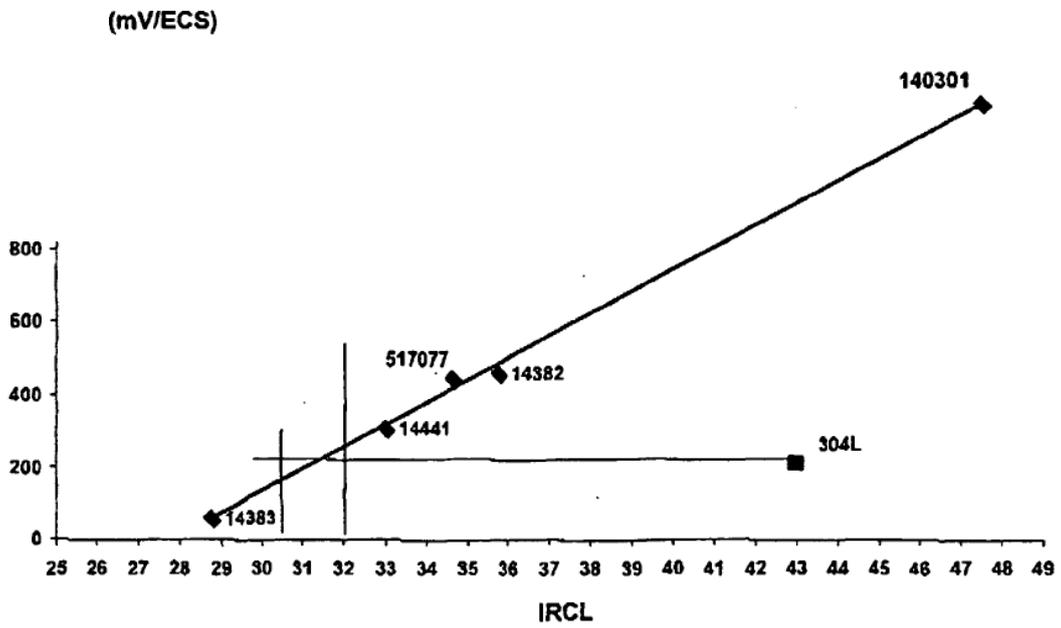


Figura 5

HYa dYfUi fUWjWUfj7L

