

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 534 930**

51 Int. Cl.:

**C22C 38/00** (2006.01)

**C22C 38/42** (2006.01)

**C22C 38/44** (2006.01)

**C22C 38/58** (2006.01)

**C21D 8/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.07.2011 E 11751621 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.01.2015 EP 2591134**

54 Título: **Acero inoxidable austeno-ferrítico de maquinabilidad mejorada**

30 Prioridad:

**07.07.2010 WO PCT/FR2010/000498**

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

**30.04.2015**

73 Titular/es:

**ARCELORMITTAL INVESTIGACIÓN Y  
DESARROLLO SL (50.0%)  
C/ Chavarri, 6  
48910 Sestao, Bizkaia, ES y  
UGITECH (50.0%)**

72 Inventor/es:

**PEULTIER, JÉRÔME;  
FANICA, AMÉLIE;  
RENAUDOT, NICOLAS;  
BOURGIN, CHRISTOPHE;  
CHAUVEAU, ERIC y  
MANTEL, MARC**

74 Agente/Representante:

**PONTI SALES, Adelaida**

**ES 2 534 930 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 austeno-ferrítico de maquinabilidad mejorada

5 **[0001]** La presente invención se refiere a un acero inoxidable austeno-ferrítico más particularmente destinado a la fabricación de elementos de estructuras para unas instalaciones de producción de materia (química, petroquímica, papel, offshore) o de producción de energía, sin estar por tanto limitado a ello.

10 **[0002]** Este acero puede utilizarse más generalmente en sustitución de un acero inoxidable de tipo 4301 en numerosas aplicaciones, por ejemplo, en las industrias precedentes o en la industria agroalimentaria, incluyendo unas piezas realizadas a partir de alambres formados (rejillas soldadas...) de perfiles (filtros), de los ejes... Se podrían realizar así unas piezas moldeadas y unas piezas forjadas.

15 **[0003]** Se conocen a tal efecto los matices de acero inoxidable de tipo 1.4301 y 1.4307 cuya microestructura en el estado recocido es esencialmente austenítica; en el estado martillado en frío, pueden contener además una proporción variable de martensita de martillado. Estos aceros constan no obstante de importantes adiciones de níquel, cuyo coste está generalmente prohibido. Además, estos matices pueden plantear problemas desde un punto de vista técnico para ciertas aplicaciones ya que tienen unas características de tracción reducidas en el estado recocido, especialmente en lo que se refiere al límite de elasticidad y una resistencia poco elevada a la corrosión  
20 bajo tensión. Por último, estos matices austeníticos tienen unos coeficientes de conductividad térmica elevados que hacen que, cuando se utilizan como armaduras de estructuras de hormigón, impidan un buen aislamiento térmico.

**[0004]** Más recientemente, han aparecido unos matices austeno-ferrítico poco aleados denominados 1.4162, que constan de reducidos contenidos de níquel (menos del 3%), ningún molibdeno, pero altos contenidos de  
25 nitrógeno para compensar el índice reducido de níquel de estos matices conservando el contenido de austenita buscado. Con el fin de poder añadir unos contenidos de nitrógeno que puedan ser superiores al 0,200%, es necesario entonces añadir altos contenidos de manganeso. A tales niveles de nitrógeno, se observa no obstante la formación de depresiones longitudinales en los palancones de colada continua que generan a su vez unos defectos de superficie sobre las barras laminadas que pueden ser molestos en ciertos casos. La fabricación de tales matices  
30 se vuelve, por tanto, particularmente delicada por esta reducida colabilidad. Además, estos matices presentan una reducida maquinabilidad.

**[0005]** Se conocen igualmente unos matices de acero inoxidable llamados ferríticos o ferrito-martensíticos, cuya microestructura está, para un intervalo definido de tratamientos térmicos, compuesta por ferrita y martensita, tal  
35 el matiz 1.4017 de la norma EN10088. Estos matices, con contenido de cromo generalmente inferior al 20%, presentan unas características mecánicas elevadas en tracción, pero no presentan una resistencia a la corrosión satisfactoria.

**[0006]** El objetivo de la presente invención consiste en solucionar los inconvenientes de los aceros y  
40 procedimientos de fabricación del estado anterior de la técnica poniendo a disposición un acero inoxidable que presenta, sin adición excesiva de elementos de aleación costosos tales como el níquel y el molibdeno:

- una buena colabilidad,
- buenas características mecánicas y, en particular, un límite de elasticidad en tracción superior a 400 incluso  
45 450 MPa en el estado recocido o en solución y una buena resiliencia en chapas y barras de grandes grosores, preferentemente superior a 100 J a 20 °C y superior a 20 J a -46 °C,
- una resistencia a la corrosión generalizada elevada, y
- una buena maquinabilidad.

50 **[0007]** A tal efecto, la invención tiene como primer objeto un acero inoxidable austeno-ferrítico, cuya composición comprende en % en peso:

- 0,01% ≤ C ≤ 0,10%
- 20,0% ≤ Cr ≤ 24,0%
- 55 1,0% ≤ Ni ≤ 3,0%
- 0,12% ≤ N ≤ 0,20%
- 0,5% ≤ Mn ≤ 2,0%
- 1,6% ≤ Cu ≤ 3,0%
- 0,05% ≤ Mo ≤ 1,0%

$W \leq 0,15\%$   
 $0,05\% \leq Mo + W/2 \leq 1,0\%$   
 $0,2\% \leq Si \leq 1,5\%$   
 $Al \leq 0,05\%$

- 5  $V \leq 0,5\%$   
 $Nb \leq 0,5\%$   
 $Ti \leq 0,5\%$   
 $B \leq 0,003\%$   
 $Co \leq 0,5\%$   
10  $REM \leq 0,1\%$   
 $Ca \leq 0,03\%$   
 $Mg \leq 0,1\%$   
 $Se \leq 0,005\%$   
 $O \leq 0,01\%$   $S \leq 0,030\%$   
15  $P \leq 0,040\%$

siendo el resto hierro y unas impurezas que resultan de la elaboración y estando la microestructura constituida por austenita y por un 35 al 65% de ferrita en volumen, preferentemente del 35 al 55% de ferrita en volumen, respetando la composición además las relaciones siguientes:

- 20  $40 \leq IF \leq 65$ , preferentemente  $45 \leq IF \leq 55$

con  $IF = 10\%Cr + 5,1\%Mo + 1,4\%Mn + 24,3\%Si + 35\%Nb + 71,5\%Ti - 595,4\%C - 245,1\%N - 9,3\%Ni - 3,3\%Cu - 99,8$  e  $IRCGCU \geq 32,0$ , preferentemente  $\geq 34,0$  con  $IRCGCU = \%Cr + 3,3\%Mo + 2\%Cu + 16\%N + 2,6\%Ni - 0,7\%Mn$  y

- 25  $0 \leq IU \leq 6,0$   
con  $IU = 3\%Ni + \%Cu + \%Mn - 100\%C - 25\%N - 2(\%Cr + \%Si) - 6\%Mo + 45$ .

**[0008]** En unos modos de realización preferidos, tomados solos o en combinación, el acero según la invención presenta:

- 30
- un contenido de nitrógeno comprendido entre el 0,12 y el 0,18% en peso,
  - un contenido de cobre comprendido entre el 2,0 y el 2,8% en peso,
  - un contenido de molibdeno inferior al 0,5% en peso,
  - un contenido en carbono inferior al 0,05% en peso.

35 **[0009]** Un segundo objeto de la invención está constituido por un procedimiento de fabricación de una chapa, de una banda o de una bobina laminada en caliente de acero según la invención según el cual:

- 40
- se suministra un lingote o una sección de un acero de composición según la invención,
  - se lamina dicho lingote o dicha sección en caliente, a una temperatura comprendida entre 1.150 y 1.280 °C para obtener una chapa, una banda o una bobina.

**[0010]** En un modo de realización particular, el procedimiento de fabricación de una chapa laminada en caliente de acero según la invención, comprende las etapas que consisten en:

- 45
- laminar dicho lingote o dicha sección en caliente, a una temperatura comprendida entre 1.150 y 1.280 °C para obtener una chapa denominada cuarto, después
  - efectuar un tratamiento térmico a una temperatura comprendida entre 900 y 1.100 °C, y
  - enfriar dicha chapa por temple al aire.

50 **[0011]** En otro modo de realización particular, el procedimiento de fabricación de una barra o de un alambre laminados en caliente de acero según la invención, comprende las etapas que consisten en:

- 55
- suministrar un lingote o un palancón de colada continua de un acero de composición según la invención,
  - laminar en caliente dicho lingote o dicho palancón, desde una temperatura comprendida entre 1.150 y 1.280 °C para obtener una barra que se enfría al aire o una bobina de alambre que se enfría en el agua,
  - a continuación, facultativamente en:
    - efectuar un tratamiento térmico a una temperatura comprendida entre 900 y 1.100 °C, y

- enfriar dicha barra o dicha bobina por temple.

**[0012]** En unos modos de realización particulares, el procedimiento según la invención comprende además las características siguientes, tomadas solas o en combinación:

5

- se efectúa un estirado en frío de dicha barra o un trefilado de dicho alambre, después del enfriamiento,
- se efectúa un conformado en frío de una barra laminada en caliente obtenida según la invención,
- se corta en bloquecillos una barra laminada en caliente obtenida según la invención, después se efectúa un forjado de dicho bloquecillo entre 1.100 °C y 1.280 °C.

10

**[0013]** Otras características y ventajas de la invención se mostrarán con la lectura de la descripción que aparece a continuación, dada únicamente a título de ejemplo.

**[0014]** El acero inoxidable dúplex según la invención comprende los contenidos definidos más abajo.

15

**[0015]** El contenido de carbono del matiz está comprendido entre el 0,01% y el 0,10% y, preferentemente inferior al 0,05% en peso. En efecto, 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 de las soldaduras.

20

**[0016]** El contenido de cromo del matiz está comprendido entre el 20,0 y el 24,0% en peso y, preferentemente, entre el 21,5 y el 24% en peso con el fin de obtener una buena resistencia a la corrosión, que sea al menos equivalente a la obtenida con los matices de tipo 304 ó 304L.

**[0017]** El contenido de níquel del matiz está comprendido entre el 1,0 y el 3,0% en peso y es, preferentemente, inferior o igual al 2,8% en peso. Este elemento formador de austenita se añade con el fin de obtener buenas propiedades de resistencia a la formación de cavidades de corrosión. Su adición permite obtener igualmente un buen compromiso resiliencia / ductilidad. Presenta en efecto el interés de trasladar la curva de transición de la resiliencia hacia las temperaturas bajas, lo que es particularmente ventajoso para la fabricación de barras grandes o de chapas cuarto gruesas para las cuales las propiedades de resiliencia son importantes. Se limita su contenido al 3,0% debido a su elevado precio.

30

**[0018]** Estando limitado el contenido de níquel, en el acero según la invención, se ha encontrado que era conveniente, para obtener un contenido de austenita apropiado tras el tratamiento térmico entre 900 °C y 1.100 °C, añadir otros elementos formadores de austenita en cantidades inhabitualmente elevadas y limitar los contenidos de elementos formadores de ferrita.

35

**[0019]** Así, el contenido de nitrógeno del matiz está comprendido entre el 0,12% y el 0,20% y, preferentemente, entre el 0,12% y el 0,18%, lo que implica generalmente que el nitrógeno se añada en el acero durante la elaboración. Este elemento formador de austenita participa en primer lugar en la obtención de un acero bifásico ferrita/austenita que contiene una proporción de austenita apropiada para una buena resistencia a la corrosión bajo tensión, pero también en la obtención de características mecánicas elevadas. Permite aún limitar la formación de ferrita en la zona afectada térmicamente de las zonas soldadas, lo que evita los riesgos de fragilización de estas zonas. Se limita su contenido máximo ya que, más allá del 0,16% de nitrógeno, comienzan a aparecer los defectos sobre los palancones de colada continua. Estos defectos consisten en unas depresiones longitudinales que generan a su vez unos defectos de superficie sobre las barras laminadas que pueden ser molestos en ciertos casos. Más allá del 0,18%, las depresiones longitudinales están muy marcadas y se observan además unas sopladuras unidas a un rebasamiento de la cantidad máxima de nitrógeno que puede permanecer en solución en la estructura de este matiz.

45

**[0020]** El contenido en manganeso del matiz está comprendido entre el 0,5% y el 2,0% en peso, preferentemente entre el 0,5 y el 1,9% en peso y de forma más particularmente preferida entre el 0,5 y el 1,8% en peso. Este elemento es formador de austenita pero únicamente por debajo de 1.150 °C. A unas temperaturas más elevadas, retrasa la formación de austenita al enfriamiento, comportando una formación de ferrita demasiado importante en las zonas afectadas térmicamente de las soldaduras, lo que las vuelve demasiado poco resilientes. Por otro lado, el manganeso, si está presente en cantidad superior al 2,0% en el matiz, plantea problemas durante la elaboración y el afinado del matiz, ya que ataca a ciertos refractarios utilizados para las bolsas, lo que requiere un reemplazo más frecuente de estos elementos costosos y, por tanto, unas interrupciones más frecuentes del procedimiento. Las aportaciones de ferromanganeso que se utilizan normalmente para poner en composición el matiz, contienen además unos contenidos notables de fósforo e igualmente de selenio, de los cuales no se desea la introducción en

50

55

el acero y que son difíciles de retirar durante el afinado del matiz. El manganeso perturba por otro lado este afinado limitando la posibilidad de descarburación. Plantea igualmente problema aún más adelante en el procedimiento, ya que deteriora la resistencia a la corrosión del matiz debido a la formación de sulfuros de manganeso MnS y las inclusiones oxidadas. Se prefiere limitar a menos del 1,9, incluso menos del 1,8% en peso y de forma más particularmente preferida a menos del 1,6% en peso, ya que los ensayos han mostrado que la forjabilidad y más generalmente la capacidad de transformación en caliente se mejoraba cuando se disminuía su contenido. En particular, se ha podido observar la formación de grietas que vuelven el matiz no apto para el laminado en caliente, para un contenido superior al 2,0%.

10 **[0021]** El cobre, elemento formador de austenita, está presente en un contenido comprendido entre el 1,6 y el 3,0% en peso y, preferentemente, comprendido entre el 2,0 y el 2,8% en peso, incluso entre el 2,2 y el 2,8% en peso. In participa en la obtención de la estructura bifásica austeno-ferrítica deseada, permitiendo obtener una mejor resistencia a la corrosión generalizada sin estar obligado a aumentar el índice de nitrógeno del matiz a un nivel demasiado elevado. Por otro lado, el cobre en solución sólida mejora la resistencia a la corrosión en medio ácido reductor. Por debajo del 1,6%, el índice de nitrógeno necesario para tener la estructura bifásica deseada comienza a volverse demasiado importante para evitar los problemas de calidad de superficie de los palancones de colada continua descritos anteriormente. Por encima del 3,0%, se comienzan a arriesgar unas segregaciones y/o unas precipitaciones de cobre que pueden generar unos descensos de la resistencia a la corrosión localizada y unas bajadas de la resiliencia en utilización prolongada (plazo superior a un año) por encima de 200 °C.

20 **[0022]** El molibdeno, elemento formador de ferrita, es un elemento que está presente en el matiz en un contenido comprendido entre el 0,05 y el 1,0%, incluso comprendido entre el 0,05 y el 0,5% en peso, mientras que el volframio es un elemento opcional que se puede añadir a un contenido inferior al 0,15% en peso. Se prefiere no obstante no añadir volframio, por razones de coste, lo que limita entonces su contenido al 0,05% en peso como residual.

25 **[0023]** Por otro lado, los contenidos de estos dos elementos son tales que la suma Mo+W/2 es inferior al 1,0% en peso, preferentemente inferior al 0,5%, incluso inferior al 0,4% en peso y de forma particularmente preferida inferior al 0,3% en peso. En efecto, los presentes inventores han constatado que al mantener estos dos elementos, así como sus sumas, bajo los valores indicados, no se observaban precipitaciones de intermetálicos debilitantes, lo que permite especialmente no forzar el procedimiento de fabricación de las chapas o bandas de acero autorizando un enfriamiento al aire de las chapas y bandas tras el tratamiento térmico o la aplicación en caliente. Además, han observado que controlando estos elementos en los límites reivindicados, se mejoraría la capacidad de soldadura del matiz.

35 **[0024]** El silicio, elemento formador de ferrita, está presente en un contenido comprendido entre el 0,2% y el 1,5% en peso, preferentemente inferior al 1,0% en peso. Se añade para garantizar una buena desoxidación del baño de acero durante la elaboración, pero su contenido está limitado debido al riesgo de formación de fase sigma en caso de temple de mala calidad tras el laminado en caliente.

40 **[0025]** El aluminio, elemento formador de ferrita, es un elemento opcional que se puede añadir al matiz en un contenido inferior al 0,05% en peso y, preferentemente, comprendido entre el 0,005% y el 0,040% en peso con el fin de obtener unas inclusiones de aluminatos de calcio a bajo punto de fusión. Se limita su contenido máximo con el fin de evitar una formación excesiva de nitruros de aluminio.

45 **[0026]** El vanadio, elemento formador de ferrita, es un elemento opcional que puede estar presente en el matiz en una cantidad que puede ir del 0,02% al 0,5% en peso y, preferentemente, inferior al 0,2% en peso, con el fin de mejorar la resistencia a la corrosión por cavitación del acero. Puede estar presente igualmente como elemento residual proporcionado durante la adición de cromo.

50 **[0027]** El niobio, elemento formador de ferrita, es un elemento opcional que puede estar presente en el matiz en una cantidad que puede ir del 0,001% al 0,5% en peso. Permite mejorar la resistencia mecánica a la tracción del matiz y su maquinabilidad a través de un mejor fraccionamiento de las virutas de mecanización, gracias a la formación de nitruros de niobio finos de tipo NbN o de niobio y de cromo de tipo NbCrN (Fase Z). Se limita su contenido para limitar la formación de nitruros de niobio gruesos.

55 **[0028]** El titanio, elemento formador de ferrita, es un elemento opcional que puede estar presente en el matiz en una cantidad que puede ir del 0,001% al 0,5% en peso y, preferentemente, en una cantidad que puede ir del 0,001 al 0,3% en peso. Permite mejorar la resistencia mecánica del matiz y su maquinabilidad a través de un mejor fraccionamiento de las virutas de mecanización, gracias a la formación de nitruros de titanio finos. Se limita su

contenido con el fin de evitar la formación de depósitos de nitruros de titanio formados en el acero líquido especialmente.

**[0029]** El boro es un elemento opcional que puede estar presente en el matiz según la invención en una cantidad que puede ir del 0,0001% al 0,003% en peso, con el fin de mejorar su transformación en caliente.

**[0030]** El cobalto, elemento formador de austenita es un elemento opcional que puede estar presente en el matiz en una cantidad que puede ir del 0,02 al 0,5% en peso. Este elemento es un residual proporcionado por las materias primas. Se limita especialmente debido a problemas de manipulación que puede plantear tras la irradiación de las piezas en unas instalaciones nucleares.

**[0031]** Las tierras raras (designadas por REM) son unos elementos opcionales que pueden estar presentes en el matiz a la altura del 0,1% en peso. Se citará especialmente el cerio y el lantano. Se limitan los contenidos en estos elementos puesto que pueden formar intermetálicos no deseados.

**[0032]** Se podrá encontrar igualmente en el matiz según la invención calcio, en una cantidad que puede ir del 0,0001 al 0,03% en peso y, preferentemente, superior al 0,0005% en peso, con el fin de controlar la naturaleza de las inclusiones de óxidos y mejorar la maquinabilidad. Se limita el contenido de este elemento ya que puede formar con el azufre unos sulfuros de calcio que degradan las propiedades de resistencia a la corrosión.

**[0033]** Una adición de magnesio a un máximo de un contenido final del 0,1% se puede realizar para modificar la naturaleza de los sulfuros y de los óxidos.

**[0034]** El selenio se mantiene preferentemente a menos del 0,005% en peso debido a su efecto nefasto sobre la resistencia a la corrosión. Este elemento se proporciona en general en el matiz como impurezas de los lingotes de ferromanganeso.

**[0035]** El contenido de oxígeno está limitado preferentemente al 0,01% en peso, con el fin de mejorar su capacidad de forjado y la resiliencia de estas soldaduras.

**[0036]** El azufre se mantiene con un contenido inferior al 0,030% en peso y, preferentemente, con un contenido inferior al 0,003% en peso. Como se ha visto precedentemente, este elemento forma unos sulfuros con el manganeso o el calcio, sulfuros cuya presencia es nefasta para la resistencia a la corrosión. Se considera como una impureza.

**[0037]** El fósforo se mantiene con un contenido inferior al 0,040% en peso y se considera como una impureza.

**[0038]** El resto de la composición está constituido por hierro e impurezas. Además de las ya mencionadas más arriba, se citará especialmente el circonio, el estaño, el arsénico, el plomo o el bismuto. El estaño puede estar presente en un contenido inferior al 0,100% en peso y, preferentemente, inferior al 0,030% en peso para evitar los problemas de soldadura. El arsénico puede estar presente en un contenido inferior al 0,030% en peso y, preferentemente, inferior al 0,020% en peso. El plomo puede estar presente en un contenido inferior al 0,002% en peso y, preferentemente, inferior al 0,0010% en peso. El bismuto puede estar presente en un contenido inferior al 0,0002% en peso y, preferentemente, inferior al 0,00005% en peso. El circonio puede estar presente en un máximo del 0,02%.

**[0039]** La microestructura del acero según la invención, en estado recocido, está compuesta de austenita y de ferrita, que están, preferentemente, tras el tratamiento de 1h a 1.050 °C, en una proporción del 35 al 65% en volumen de ferrita y de forma más particularmente preferida del 45 al 55% en volumen de ferrita.

**[0040]** Los presentes inventores han encontrado también que la fórmula siguiente toma convenientemente en cuenta el contenido de ferrita a 1.050 °C:

$$IF = 10\%Cr + 5,1\%Mo + 1,4\%Mn + 24,3\%Si + 35\%Nb + 71,5\%Ti - 595,4\%C - 245,1\%N - 9,3\%Ni - 3,3\%Cu - 99,8$$

**[0041]** Así, para obtener una proporción de ferrita comprendida entre el 35 y el 65% a 1.050 °C, el índice IF debe estar comprendido entre 40 y 65.

**[0042]** En el estado recocido, la microestructura no contiene otras fases que sean nocivas para sus propiedades mecánicas especialmente, tales como la fase sigma y otras fases intermetálicas. En el estado martillado en frío, una parte de la austenita se puede haber convertido en martensita, en función de la temperatura efectiva de deformación y de la cantidad de deformación en frío aplicada.

**[0043]** Por otro lado, los presentes inventores han constatado que, cuando los porcentajes en peso de cromo, molibdeno, cobre, nitrógeno, níquel y manganeso respectan la relación que aparece a continuación, los matices en cuestión presentan una buena resistencia a la corrosión generalizada:

$$\text{IRCGU} \geq 32,0 \text{ y, preferentemente } \geq 34,0$$

15 con  $\text{IRCGU} = \% \text{Cr} + 3,3\% \text{Mo} + 2\% \text{Cu} + 16\% \text{N} + 2,6\% \text{Ni} - 0,7\% \text{Mn}$

**[0044]** Por último los presentes inventores han constatado que, cuando los porcentajes en peso de níquel, cobre, manganeso, carbono, nitrógeno, cromo, silicio y molibdeno respetan la relación que aparece a continuación, los matices en cuestión presentan una buena maquinabilidad:

20

$$0 \leq \text{IU} \leq 6,0$$

con  $\text{IU} = 3\% \text{Ni} + \% \text{Cu} + \% \text{Mn} - 100\% \text{C} - 25\% \text{N} - 2(\% \text{Cr} + \% \text{Si}) - 6\% \text{Mo} + 45$ .

**[0045]** De una forma general, el acero según la invención se puede elaborar y fabricar en forma de chapas laminadas en caliente, incluso denominadas chapas cuarto, pero también en forma de bandas laminadas en caliente, a partir de secciones o lingotes e igualmente en forma de bandas laminadas en frío a partir de bandas laminadas en caliente. Se puede laminar también en caliente en barras o alambres o en perfiles o forjados; estos productos se pueden transformar a continuación en caliente por forjado o en frío en barras o perfiles estirados o en alambres trefilados. El acero según la invención se puede aplicar también por moldeo seguido o no de tratamiento térmico.

**[0046]** Con el fin de obtener los mejores resultados posibles, se utilizará preferentemente el procedimiento según la invención que comprende en primer lugar el suministro de un lingote, de una sección o de un palancón de acero que tenga una composición conforme a la invención.

**[0047]** Este lingote, esta sección o este palancón se obtienen generalmente por fusión de las materias primas en un horno eléctrico, seguido de una refusión al vacío de tipo AOD o VOD con descarbonación. A continuación se puede colar el matiz en forma de lingotes o en forma de secciones o de palancones por colada continua en una lingotera sin fondo. Se podría considerar igualmente colar el matiz directamente en forma de secciones delgadas, en particular por colada continua entre cilindros contrarrotativos.

**[0048]** Después del suministro del lingote o de la sección o del palancón, se procede eventualmente a un recalentamiento para alcanzar una temperatura comprendida entre 1.150 y 1.280 °C, pero también es posible trabajar directamente sobre la sección que se acaba de colar de forma continuada, en el calor de colada.

**[0049]** En el caso de la fabricación de chapas, se lamina a continuación en caliente la sección o el lingote para obtener una chapa denominada cuarto que presenta generalmente un grosor comprendido entre 5 y 100 mm. El índice de reducción generalmente empleado en esta fase varía entre el 3 y el 30%. Esta chapa se somete a continuación a un tratamiento térmico de solución de los precipitados formados en esta fase por recalentamiento a una temperatura comprendida entre 900 y 1.100 °C, después se enfría.

**[0050]** El procedimiento según la invención prevé un enfriamiento por temple al aire que es más fácil de aplicar que el enfriamiento clásicamente utilizado para este tipo de matiz, que es un enfriamiento más rápido, con la ayuda de agua. Se vuelve no obstante posible proceder a un enfriamiento en agua si se desea.

**[0051]** Este enfriamiento lento al aire, se vuelve especialmente posible gracias a los contenidos limitados de níquel y molibdeno de la composición según la invención que no está sujeta a la precipitación de fases intermetálicas,

nocivas para sus propiedades de uso. Este enfriamiento se puede efectuar en particular a unas velocidades que van de 0,1 a 2,7 °C/s.

5 **[0052]** Después del laminado en caliente, la chapa cuarto se puede aplanar, recortar y decapar, si se desea entregarla en este estado.

**[0053]** Se puede laminar igualmente este acero no recubierto sobre un tren de laminación con unos grosores comprendidos entre 3 y 10 mm.

10 **[0054]** En el caso de la fabricación de productos largos a partir de lingotes o de palancones, se puede laminar en caliente en uno o varios calientes sobre un laminador multi-cajas, en cilindros acanalados, a una temperatura comprendida entre 1.150 y 1.280 °C, para obtener una barra o una bobina de alambón o de alambre laminado. El rendimiento de sección entre el palancón inicial y el producto final es preferentemente superior a 3, de forma que garantiza la pureza interna del producto laminado.

15 **[0055]** Cuando se ha fabricado una barra, esta se enfría en salida de laminado por simple esparcimiento al aire.

**[0056]** Cuando se ha fabricado alambre laminado, este se puede enfriar, por temple en bobina en un depósito de agua en salida de laminador o bien por temple en el agua en espiras esparcidas sobre un transportador tras el paso de estas sobre el transportador a través de un horno de solución a temperatura comprendida entre 850 °C y 1.100 °C.

20 **[0057]** Un tratamiento térmico ulterior en horno, entre 900 °C y 1.100 °C, se puede practicar opcionalmente sobre estas barras o bobinas ya tratadas en el calor de laminación, si se desea rematar la recristalización de la estructura y reducir ligeramente las características mecánicas en tracción.

**[0058]** Después del enfriamiento de estas barras o de estas bobinas de alambres, se podrá proceder a diferentes tratamientos de conformación 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, después del enfriamiento.

30 **[0059]** Se podrán perfilar igualmente en frío las barras laminadas en caliente o incluso fabricar unas piezas después de haber cortado las barras en bloquecillos y de haberlas forjado.

### Ejemplos

35 **[0060]** Diferentes coladas se han elaborado y posteriormente transformado en barras de diferentes diámetros y caracterizadas.

### Propiedades mecánicas

40 **[0061]** Las propiedades de tracción  $R_{p0,2}$  y  $R_m$  se han determinado según la norma NFEN 10002-1. La resiliencia KV se ha determinado a diferentes temperaturas que siguen la norma NF EN 10045.

### Ensayos de torneado

45 **[0062]** Se han efectuado sobre un torno RAMO RTN30 de 28 kW torneando al máximo 5.800 tr/min, equipado con una platina de fuerza Kistler. Todos los ensayos se realizan en seco. La plaquita de referencia utilizada es la plaquita STELLRAM SP0819CNMG120408E-4E, considerada como óptima para los aceros inoxidables Dúplex.

50 **[0063]** Estos ensayos permiten determinar dos valores característicos del nivel de maquinabilidad de un matiz:

- una velocidad de torneado  $VB_{15/0,15}$  expresada en m/min (cuanto más elevada sea la  $VB_{15/0,15}$ , mejor será la maquinabilidad),
- una zona de fraccionamiento de virutas ZFC (cuanto mayor sea la ZFC, mejor será la maquinabilidad).

55 1. Determinación de  $VB_{15/0,15}$

**[0064]** La prueba consiste en encontrar la velocidad de torneado que genera 0,15 mm de desgaste en 15 min de mecanización efectiva. El ensayo se realiza en pasadas regulares de cilindrado con una plaquita de carburo

revestido. Los parámetros establecidos son:

- profundidad de pasada  $a_p = 1,5$  mm
- avance  $f = 0,25$  mm/tr

5

**[0065]** Durante estos ensayos, el desgaste se mide por un sistema óptico acoplado a una cámara, a un engrosamiento de  $\times 32$ . Esta medida es la superficie de la zona utilizada añadida a la longitud aparente de esta zona. En el caso en que aparezca un desgaste en entalladura superior a 0,45 mm (3 veces el valor del VB) o se produzca un hundimiento de punta antes de la obtención del desgaste de 0,15 mm en flanco, se considerará que el valor del

10

**[0066]** En el marco de la presente invención, se considerará que un valor de  $VB_{15/0,15}$  inferior a 220 m/min, medido en las condiciones descritas anteriormente, no es conforme a la invención.

15

## 2. Determinación de ZFC

**[0067]** Antes de determinar el valor de ZFC, es necesario definir la velocidad de corte mínima,  $V_{Cmin}$ .

20

### 2.1) Evaluación de $V_{Cmin}$

**[0068]** La determinación del  $V_{Cmin}$  se realiza por una pasada de cilindrado a velocidad creciente. Se comienza por una velocidad de corte  $V_c$  muy baja (40 m/min) y se aumenta a una velocidad superior a  $VB_{15/0,15}$  de manera regular durante la pasada. El registro de las fuerzas  $K_c$  permite trazar en directo una curva  $K_c = f(V_c)$ .

25

**[0069]** Las condiciones de corte son:

- profundidad de pasada  $a_p = 1,5$  mm
- avance  $f = 0,25$  mm/tr

30

- herramienta esmerilada por una pasada de cilindrado en las condiciones del  $VB_{15/0,15}$ .

**[0070]** La curva obtenida es monótona decreciente en la mayoría de los casos. El valor de  $V_{Cmin}$  es el correspondiente a una inflexión de la curva.

35

### 2.2) Evaluación de ZFC

**[0071]** A una velocidad igual al 120% de  $V_{Cmin}$ , se realizan unos ensayos de 6 segundos de mecanización a velocidad constante, haciendo variar las condiciones de corte. Se explora así una tabla de avances (de 0,1 mm/tr a 0,4 mm/tr por paso de 0,05 mm/tr) y unas profundidades de pasada (de 0,5 mm a 4 mm por paso de 0,5 mm).

40

**[0072]** Por cada una de las 56 combinaciones  $f - a_p$  se evalúan las virutas obtenidas comparándolas con unas formas de virutas predefinidas en la norma del «C.O.M. torneado» ISO 3685. La ZFC es la zona de la tabla que reagrupa las condiciones en  $f$  y  $a_p$  para las cuales las virutas están bien fragmentadas, que se cuantifica contando el número de combinaciones satisfactorias.

45

**[0073]** En el marco de la presente invención, se considera que un valor de ZFC inferior a 15, medido en las condiciones descritas anteriormente, no es conforme a la invención.

## Ensayos de corrosión

50

**[0074]** Se ha determinado la corriente crítica de disolución o de actividad expresada en  $\mu A/cm^2$  en medio ácido sulfúrico a 2 Moles/litro a 23 °C. Una medida del potencial de abandono durante 900 segundos se realiza primero; a continuación, una curva potencio-dinámica se traza a la velocidad de 10 mV/min a partir de -750 mV/ECS hasta +1V/ECS. En la curva de polarización obtenida de este modo, la corriente crítica corresponde a la corriente máxima del pico puesto de manifiesto previamente en el dominio de pasividad.

55

**[0075]** Las tablas que se muestran a continuación resumen las composiciones probadas y los resultados de las caracterizaciones realizadas en los productos obtenidos.

Tabla 1: composiciones químicas de los ensayos

	1*	2*	3*	4*	5*	6	7	8	9	10	11	12
C	0,022	0,024	0,026	0,041	0,025	0,028	0,026	0,027	0,055	0,025	0,019	0,011
Cr	21,487	21,661	22,195	22,533	22,212	23,363	23,2070	21,377	18,21	22,159	22,733	25,185
Ni	2,406	2,399	2,719	2,741	2,581	2,603	2,621	1,596	8,598	4,227	5,41	6,215
Cu	2,520	2,479	2,499	2,535	2,497	0,131	0,203	0,365	0,386	0,271	0,289	1,794
N	0,146	0,166	0,145	0,141	0,175	0,191	0,194	0,210	0,038	0,113	0,156	0,227
Mn	1	1,065	0,958	1,500	1,51	1,17	1,152	4,983	0,725	1,057	1,522	1,208
Mo	0,114	0,109	0,125	0,106	0,057	0,101	0,244	0,329	0,334	0,271	2,759	3,640
W	0,06	-	-	-	-	0,007	0,028	-	-	0,016	-	-
Si	0,537	0,500	0,519	0,53	0,528	0,524	0,591	0,489	0,353	0,392	0,420	0,387
Al	0,018	0,017	0,018	0,018	0,018	0,013	0,022	0,017	0,002	0,014	0,015	0,002
V	0,132	0,126	0,131	0,090	0,038	0,134	0,111	0,0974	0,088	0,115	0,116	0,041
Nb	0,019	0,117	0,027	0,018	0,006	0,002	0,019	0,01	0,019	0,0096	0,025	0,0074
Ti	0,002	0,002	0,002	0,002	0,058	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,0048
B	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0005	0,0008	0,0006	0,0018	-	0,0011	0,0009	-
Co	0,064	0,052	0,057	0,069	0,031	0,056	0,061	0,031	0,148	0,059	0,087	0,0254
Ca	0,0018	0,0005	0,0021	0,0033	0,0004	0,0005	0,0026	0,002	0,0012	0,0005	0,0011	0,0002
O	0,0044	0,0052	0,0048	0,0051	0,0042	0,0053	0,0043	0,0029	0,0031	0,0053	0,005	0,0048
S	0,0005	0,0005	0,0007	0,0002	0,0003	0,0007	0,0002	0,0007	0,0189	0,0002	0,0006	0,0002
P	0,0225	0,0214	0,0194	0,0223	0,0221	0,0224	0,0248	0,0195	0,0266	0,0235	0,0266	0,0096
Se	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
REM	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Mg	0,0006	<0,0005	0,0011	0,0010	<0,0005	0,0012	0,0006	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0011	0,0009

\* según la invención

Tabla 2: barras de diámetro 73 mm

	1*	2*	3*	4*	5*	6	7	8	9	10	11	12
<b>R<sub>m</sub> (MPa)</b>	717	726	722	715	727	668	714	709	605	656	773	890
<b>R<sub>p0,2</sub> (MPa)</b>	571	508	566	584	568	493	554	479	<u>323</u>	482	578	732
<b>KV a 20 °C (J)</b>	311	125	356	107	134	51	<u>51</u>	ne	ne	382	358	ne
<b>KV a -46 °C (J)</b>	32	24	103	29	31	<u>14</u>	<u>13</u>	ne	ne	220	190	ne
<b>IF</b>	51,3	49,8	53,3	49,0	51,9	60,8	62,2	51,4	-28,9	51,9	54,1	56,4
<b>% ferrita a 1.050 °C</b>	50,7	48,6	50,0	49,0	51,4	61,2	63,1	49,9	ne	ne	ne	ne
<b>Depresiones longitudinales</b>	no	no	no	no	no	sí	sí	sí	no	no	no	sí
<b>IU</b>	5,16	4,22	4,21	2,87	4,05	-1,85	-2,29	1,48	<u>26,33</u>	<u>6,96</u>	-5,62	-13,11
<b>Vb<sub>150,15</sub> (m/min)</b>	240	240	240	220	230	<u>210</u>	<u>210</u>	220	220	240	<u>200</u>	<u>140</u>
<b>ZFC</b>	22	27	19	21	27	ne	26	24	ne	<u>12</u>	15	19

\*: según la invención  
ne: no evaluado

Tabla 3: barras de diámetro 5,5 mm

	1*	2*	3*	4*	5*	6	7	8	9	10	11	12
<b>IRCGU</b>	34,8	35,1	36,3	36,3	35,8	33,0	33,5	<u>27,2</u>	42,6	35,7	47,9	59,7
<b>I crítico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 2M</b>	45	ne	33	ne	40	33	34	<u>79</u>	22	15	<5	<5

\* según la invención

- 5 **[0076]** Se constata en primer lugar que los matices comparativos de 6 a 8 y 12 presentan una formación de depresiones longitudinales sobre los palancones de colada continua, mientras que los matices de 1 a 5 estando exentos según la invención, demostrando así la buena colabilidad del matiz según la invención.
- [0077]** Además, el límite de elasticidad en tracción de los ensayos según la invención es mucho mayor de 450 MPa contrariamente a lo que se observa para el matiz comparativo 9, por ejemplo.
- 10 **[0078]** Los valores de resiliencia sobre chapas y barras de grandes grosores a 20 °C como a -46 °C son igualmente satisfactorios y, en particular, mejores que los de los matices comparativos 6 y 7, por ejemplo.
- 15 **[0079]** Los matices según la invención presentan además una buena maquinabilidad tanto en términos de velocidad de corte como en zona de fraccionamiento de las virutas. Por el contrario, se constata que los matices comparativos 6 y 7, así como 11 y 12, cuyos índices IU son negativos no presentan una velocidad de corte suficiente, mientras que el matiz comparativo 10 cuyo índice IU es superior a 6,0 presenta una zona de fraccionamiento de las virutas insuficiente.
- 20 **[0080]** La resistencia a la corrosión generalizada de los matices según la invención es muy satisfactoria y, en particular, mejor que la del matiz comparativo 8.
- 25 **[0081]** Se constata por tanto que los matices según la invención son los únicos que reúnen el conjunto de las propiedades buscadas, a saber una buena colabilidad, un límite de elasticidad en tracción superior a 400 incluso 450 MPa en el estado recocido o en solución, una buena resiliencia sobre las chapas y las barras de grandes grosores, preferentemente superior a 100 J a 20 °C y superior a 20 J a -46 °C, una resistencia a la corrosión generalizada elevada y una buena maquinabilidad.

**REIVINDICACIONES**

1. Acero inoxidable austeno-ferrítico, cuya composición comprende en % en peso:

- 5  $0,01\% \leq C \leq 0,10\%$   
 $20,0\% \leq Cr \leq 24,0\%$   
 $1,0\% \leq Ni \leq 3,0\%$   
 $0,12\% \leq N \leq 0,20\%$   
 $0,5\% \leq Mn \leq 2,0\%$
- 10  $1,6\% \leq Cu \leq 3,0\%$   
 $0,05\% \leq Mo \leq 1,0\%$   
 $W \leq 0,15\%$   
 $0,05\% \leq Mo + W/2 \leq 1,0\%$   
 $0,2\% \leq Si \leq 1,5\%$
- 15  $Al \leq 0,05\%$   
 $V \leq 0,5\%$   
 $Nb \leq 0,5\%$   
 $Ti \leq 0,5\%$   
 $B \leq 0,003\%$
- 20  $Co \leq 0,5\%$   
 $REM \leq 0,1\%$   
 $Ca \leq 0,03\%$   
 $Mg \leq 0,1\%$   
 $Se \leq 0,005\%$
- 25  $O \leq 0,01\%$   
 $S \leq 0,030\%$   
 $P \leq 0,040\%$

siendo el resto hierro y unas impurezas que resultan de la elaboración y estando la microestructura constituida por austenita y por un 35 al 65% de ferrita en volumen, respetando la composición además las relaciones siguientes:

- 30  $40 \leq IF \leq 65$   
con  $IF = 10\%Cr + 5,1\%Mo + 1,4\%Mn + 24,3\%Si + 35\%Nb + 71,5\%Ti - 595,4\%C - 245,1\%N - 9,3\%Ni - 3,3\%Cu - 99,8$
- 35 e  $IRCGCU \geq 32,0$   
con  $IRCGCU = \%Cr + 3,3\%Mo + 2\%Cu + 16\%N + 2,6\%Ni - 0,7\%Mn$   
y  $0 \leq IU \leq 6,0$   
con  $IU = 3\%Ni + \%Cu + \%Mn - 100\%C - 25\%N - 2(\%Cr + \%Si) - 6\%Mo + 45$ .

40 2. Acero según la reivindicación 1, **caracterizado además porque**:

$$IRCGU \geq 34.$$

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

4. Acero según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 3, **caracterizado además porque**

$$45 \leq IF \leq 55$$

50

5. Acero según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 4, **caracterizado además porque** el contenido de nitrógeno está comprendido entre el 0,12 y el 0,18% en peso.

6. Acero según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 5, **caracterizado además porque** el contenido de cobre está comprendido entre el 2,0 y el 2,8% en peso.

7. Acero según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 6, **caracterizado además porque** el contenido de molibdeno es inferior al 0,5% en peso.
- 5 8. Acero según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 7, **caracterizado además porque** el contenido de carbono es inferior al 0,05% en peso.
9. Procedimiento de fabricación de una chapa, de una banda o de una bobina laminada en caliente de acero según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 8, según el cual:
- 10
- se suministra un lingote o una sección de un acero de composición según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 8,
  - se lamina dicho lingote o dicha sección en caliente, a una temperatura comprendida entre 1.150 y 1.280 °C para obtener una chapa, una banda o una bobina.
- 15
10. Procedimiento de fabricación de una chapa laminada en caliente de acero según la reivindicación 9, según el cual:
- 20
- se lamina dicho lingote o dicha sección en caliente, a una temperatura comprendida entre 1.150 y 1.280 °C para obtener una chapa denominada cuarto, después
  - se efectúa un tratamiento térmico a una temperatura comprendida entre 900 y 1.100 °C, y
  - se enfría dicha chapa por temple al aire.
- 25
11. Procedimiento de fabricación de una barra o de un alambre laminados en caliente de acero según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 8, según el cual:
- 30
- se suministra un lingote o un palancón de colada continua de un acero de composición según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 8,
  - se lamina en caliente dicho lingote o dicho palancón, desde una temperatura comprendida entre 1.150 y 1.280 °C para obtener una barra que se enfría al aire o una bobina de alambre que se enfría en el agua,
- a continuación, facultativamente:
- 35
- se efectúa un tratamiento térmico a una temperatura comprendida entre 900 y 1.100 °C, y
  - se enfría dicha barra o dicha bobina por temple.
- 40
12. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 11, según el cual se efectúa un estirado en frío de dicha barra o un trefilado de dicho alambre, después del enfriamiento.
- 40
13. Procedimiento de fabricación de un conformado de acero, según el cual se efectúa un conformado en frío de una barra laminada en caliente obtenida por el procedimiento según la reivindicación 11.
- 45
14. Procedimiento de fabricación de una pieza forjada de acero, según el cual se corta en bloques una barra laminada en caliente obtenida por el procedimiento según la reivindicación 11, después se efectúa un forjado de dicho bloque entre 1.100 °C y 1.280 °C.