

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 704 472**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)
<b>C21D 8/02</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/06</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/12</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/14</b>	(2006.01)
<b>C21D 8/04</b>	(2006.01)
<b>C21D 9/46</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.07.2015 PCT/IB2015/001159**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **14.01.2016 WO16005811**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.07.2015 E 15753985 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2018 EP 3167091**

54 Título: **Lámina de acero laminada en caliente y procedimiento de fabricación relacionado**

30 Prioridad:

**11.07.2014 WO PCT/IB2014/001312**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**18.03.2019**

73 Titular/es:

**ARCELORMITTAL (100.0%)  
24-26 Boulevard d'Avranches  
1160 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:

**PIPARD, JEAN-MARC;  
PERLADE, ASTRID;  
WEBER, BASTIEN;  
MILANI, AURÉLIE y  
PECHENOT, FLORENCE**

74 Agente/Representante:

**SALVÀ FERRER, Joan**

**ES 2 704 472 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**

Lámina de acero laminada en caliente y procedimiento de fabricación relacionado

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere principalmente a una lámina de acero laminada en caliente.
- [0002]** La invención se refiere además a un procedimiento que permite fabricar una lámina de acero de este tipo.
- 10 **[0003]** La necesidad de hacer que los vehículos de motor sean más ligeros en peso y aumentar la seguridad ha llevado a la elaboración de aceros de alta resistencia.
- [0004]** Históricamente, el desarrollo comenzó con aceros que comprendían elementos aditivos, principalmente para obtener endurecimiento por precipitación.
- 15 **[0005]** Posteriormente, se propusieron aceros de "fase dual" que incluyen martensita en una matriz de ferrita para obtener un endurecimiento estructural.
- [0006]** Para obtener mayores niveles de resistencia combinados con funcionalidad, se desarrollaron los  
20 aceros "TRIP" (plasticidad inducida por transformación), cuya microestructura consiste en una matriz de ferrita que incluye bainita y austenita residual que se transforma en martensita bajo el efecto de la deformación, por ejemplo, durante una operación de estampación.
- [0007]** Para conseguir una resistencia mecánica superior a 800 MPa, se han propuesto aceros multifásicos  
25 con una estructura mayoritaria de bainita. Estos aceros se utilizan en la industria, y en particular en la industria automotriz, para construir piezas estructurales.
- [0008]** Este tipo de acero se describe en la publicación EP 2 020 451. Para obtener un alargamiento de rotura superior al 10%, así como una resistencia mecánica superior a 800 MPa, los aceros descritos en esta publicación  
30 incluyen, además de la presencia conocida de carbono, manganeso, silicio, molibdeno y vanadio. La microestructura de los aceros comprende esencialmente bainita superior (al menos el 80%), así como bainita inferior, martensita y austenita residual.
- [0009]** Sin embargo, la fabricación de estos aceros es costosa debido a la presencia de molibdeno y vanadio.  
35
- [0010]** Además, ciertas piezas de automóviles tales como vigas de parachoques y brazos de suspensión se fabrican mediante operaciones de conformado que combinan diferentes modos de deformación. Ciertas características microestructurales del acero pueden ser adecuadas para un modo de deformación, pero menos favorables con respecto a otro modo. Ciertas porciones de las piezas deben presentar una alta resistencia al  
40 alargamiento, otros deben tener buena idoneidad para la formación de un borde cortado. Esta última propiedad se evalúa utilizando el procedimiento de expansión de orificio descrito en la norma ISO 16630:2009.
- [0011]** Un tipo de acero que supera estos inconvenientes no contiene molibdeno ni vanadio, y comprende titanio y niobio en un contenido específico, confiriendo particularmente estos dos últimos elementos a la lámina la  
45 resistencia deseada, el endurecimiento necesario y la relación de expansión de orificio deseada.
- [0012]** Las láminas de acero que son objeto de la invención se someten a bobinado en caliente, permitiendo particularmente esta operación precipitar los carburos de titanio y conferir una dureza máxima a la lámina.
- 50 **[0013]** Sin embargo, se ha encontrado que para ciertos aceros que comprenden elementos que son más oxidables que el hierro, tales como silicio, manganeso, cromo y aluminio, ciertas láminas resultantes, bobinadas a alta temperatura, presentan defectos superficiales. Estos defectos pueden aumentar mediante una deformación posterior de las láminas. Por lo tanto, para evitar estos defectos, es necesario realizar un enfriamiento rápido de las bobinas con la ayuda de un procedimiento complementario que conduce a un coste más elevado, o realizar la  
55 operación de bobinado a una temperatura más baja, lo que provoca una reducción en la precipitación de titanio.
- [0014]** Por lo tanto, la invención pretende proporcionar una lámina para la cual la operación de bobinado a alta temperatura no provoque la formación de los defectos superficiales mencionados anteriormente.
- 60 **[0015]** Además, la invención se refiere a una lámina de acero en estado no revestido o galvanizado. La composición y las características mecánicas del acero deben ser compatibles con las restricciones y los ciclos térmicos de los procedimientos continuos de revestimiento en cinc por inmersión continua.
- [0016]** El objetivo de la invención es también proponer un procedimiento para fabricar una lámina de acero  
65 que no requiera grandes fuerzas de laminación, lo que permite asegurar la fabricación en un amplio rango de

espesores, por ejemplo, entre 1,5 y 4,5 milímetros.

**[0017]** Finalmente, la invención tiene como objetivo una lámina de acero laminado en caliente cuyo coste de fabricación es económico, que presenta conjuntamente un límite de elasticidad superior a 680 MPa al menos en la dirección transversal a la dirección de laminación, e inferior o igual a 840 MPa, resistencia mecánica comprendida entre 780 MPa y 950 MPa, un alargamiento de rotura superior al 10% y una relación de expansión de orificio (Ac) superior o igual al 45%.

**[0018]** Para este fin, la lámina de la invención está caracterizada esencialmente porque su composición química comprende, estando expresado el contenido en peso:

0,04%  $\geq$  C  $\geq$  0,08%  
 1,2%  $\geq$  Mn  $\geq$  1,9%  
 0,1%  $\geq$  Si  $\geq$  0,3%  
 15 0,07%  $\geq$  Ti  $\geq$  0,125%  
 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,35%  
 0,15%  $<$  Cr  $\geq$  0,6% cuando 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,11%, o  
 0,10%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,6% cuando 0,11%  $<$  Mo  $\geq$  0,35%  
 Nb  $\geq$  0,045%  
 20 0,005%  $\geq$  Al  $\geq$  0,1%  
 0,002%  $\geq$  N  $\geq$  0,01%  
 S  $\geq$  0,004%  
 P  $<$  0,020%  
 y opcionalmente 0,001 %  $\geq$  V  $\geq$  0,2%

25 estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables procedentes de la elaboración, cuya microestructura está constituida por bainita granular, cuyo porcentaje superficial es superior al 70%, y ferrita cuyo porcentaje superficial es inferior al 20%, estando el posible complemento constituido por bainita inferior, martensita y austenita residual, siendo la suma del contenido de martensita y austenita residual inferior al 5%.

**[0019]** La lámina de la invención puede comprender también las siguientes características opcionales, consideradas individualmente o en cualquier combinación técnica posible:

- la composición química consiste en, estando el contenido expresado en peso:

35 0,04%  $\geq$  C  $\geq$  0,08%  
 1,2%  $\geq$  Mn  $\geq$  1,9%  
 0,1%  $\geq$  Si  $\geq$  0,3%  
 0,07%  $\geq$  Ti  $\geq$  0,125%  
 40 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,25%  
 0,16%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,55% cuando 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,11%, o  
 0,10%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,55% cuando 0,11%  $<$  Mo  $\geq$  0,25%  
 Nb  $\geq$  0,045%  
 0,005%  $\geq$  Al  $\geq$  0,1%  
 45 0,002%  $\geq$  N  $\geq$  0,01%  
 S  $\geq$  0,004%  
 P  $<$  0,020%

estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables procedentes de la elaboración,

50 - la composición del acero comprende, estando el contenido expresado en peso:

0,27%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,52% cuando 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,11%, o  
 0,10%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,52% cuando 0,11%  $<$  Mo  $\geq$  0,25%

55 - la composición del acero comprende, estando el contenido expresado en peso:

0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,18%, y  
 0,16%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,55% cuando 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,11%, o  
 60 0,10%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,55% cuando 0,11%  $<$  Mo  $\geq$  0,18%

- la composición química comprende, estando el contenido expresado en peso:

0,05%  $\geq$  C  $\geq$  0,07%  
 65 1,4%  $\geq$  Mn  $\geq$  1,6%

## ES 2 704 472 T3

0,15% ≥ Si ≥ 0,3%  
Nb ≥ 0,04%  
0,01% ≥ Al ≥ 0,07%

5 - la composición química comprende, estando el contenido expresado en peso:

0,040% ≥ Tief ≥ 0,095%  
donde Tief = Ti - 3,42 x N,  
siendo Ti el contenido de titanio expresado en peso

10 siendo N el contenido de nitrógeno expresado en peso

- la lámina de acero es bobinada y decapada, realizándose la operación de bobinado a una temperatura comprendida entre 525 °C y 635 °C seguida de una operación de decapado, y la profundidad de los defectos superficiales debidos a la oxidación distribuida sobre n zonas de oxidación i de la lámina bobinada, estando i  
15 comprendido entre 1 y n, y las n zonas de oxidación que se extienden sobre una longitud  $l_{ref}$  de observación, cumple:

- un primer criterio de profundidad máxima definido por

$$P_i^{m\acute{a}x} \leq 8 \text{ micr\u00f3metros}$$

20

- con  $P_i^{m\acute{a}x}$  máxima profundidad de un defecto debido a la oxidación en la zona de oxidación i de dicha lámina bobinada, y  
- un segundo criterio de profundidad media, definido por

$$\frac{1}{l_{ref}} \sum_i^n P_i^{med} \times l_i \leq 2,5 \text{ micr\u00f3metros}$$

25

- con  $P_i^{med}$  profundidad media de los defectos debidos a la oxidación en una zona de oxidación i, y  
-  $l_i$ : longitud de la zona de oxidación i

30 - la longitud  $l_{ref}$  de observación de los defectos debidos a la oxidación es superior o igual a 100 micr\u00f3metros.  
- la longitud  $l_{ref}$  de observación de los defectos debidos a la oxidación es superior o igual a 500 micr\u00f3metros.  
- la lámina está bobinada en espiras contiguas a una tensión de bobinado mínima de 3 toneladas de fuerza.

**[0020]** La invención se refiere además a un procedimiento para la fabricación de una lámina de acero laminada en caliente con un límite de elasticidad superior a 680 MPa en la dirección transversal a la dirección de laminación, e inferior o igual a 840 MPa, con una resistencia entre 780 MPa y 950 MPa y un alargamiento de rotura superior al 10%, caracterizado porque se obtiene un acero en forma de metal líquido consiste en, estando el contenido expresado en peso:

40 0,04% ≥ C ≥ 0,08%  
1,2% ≥ Mn ≥ 1,9%  
0,1% ≥ Si ≥ 0,3%  
0,07% ≥ Ti ≥ 0,125%  
0,05% ≥ Mo ≥ 0,35%  
45 0,15% < Cr ≥ 0,6% cuando 0,05% ≥ Mo ≥ 0,11%, o  
0,10% ≥ Cr ≥ 0,6% cuando 0,11% < Mo ≥ 0,35%  
Nb ≥ 0,045%  
0,005% ≥ Al ≥ 0,1%  
0,002% ≥ N ≥ 0,01%  
50 S ≥ 0,004%  
P < 0,020%  
y opcionalmente 0,001 % ≥ V ≥ 0,2%

estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables,

55 porque se realiza un tratamiento al vacío o con SiCa, en cuyo caso la composición comprende, además, estando el contenido expresado en peso

$$0,0005 \% \leq Ca \leq 0,005 \%,$$

60 porque las cantidades de titanio [Ti] y de nitrógeno [N] disueltas en el metal líquido satisfacen la fórmula (%[Ti]) x (%[N]) < 6,10<sup>-4</sup> %<sup>2</sup>, porque el acero es colado para obtener un producto semiacabado colado,

## ES 2 704 472 T3

porque se recalienta opcionalmente dicho producto semiacabado a una temperatura entre 1160 °C y 1300 °C, después

porque dicho producto semiacabado colado se lamina en caliente con una temperatura de fin de laminación entre 880 °C y 930 °C, siendo la tasa de reducción de la penúltima pasada inferior a 0,25, siendo la tasa de la última pasada inferior a 0,15, siendo la suma de estas dos tasas de reducción inferior a 0,37, siendo la temperatura de inicio de laminación de la penúltima pasada inferior a 960 °C para obtener un producto laminado en caliente, después

porque dicho producto laminado en caliente se enfría a una velocidad entre 20 y 150 °C/s para obtener una lámina de acero laminada en caliente.

10

**[0021]** El procedimiento de la invención puede comprender también las siguientes características opcionales, consideradas individualmente o en cualquier combinación técnica posible:

- La lámina de acero laminada en caliente se bobina a una temperatura entre 525 y 635 °C.

15 - la composición consiste en, estando el contenido expresado en peso:

0,04%  $\geq$  C  $\geq$  0,08%

1,2%  $\geq$  Mn  $\geq$  1,9%

0,1%  $\geq$  Si  $\geq$  0,3%

20 0,07%  $\geq$  Ti  $\geq$  0,125%

0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,25%

0,16%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,55% cuando 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,11%, o

0,10%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,55% cuando 0,11%  $<$  Mo  $\geq$  0,25%

Nb  $\geq$  0,045%

25 0,005%  $\geq$  Al  $\geq$  0,1%

0,002%  $\geq$  N  $\geq$  0,01%

S  $\geq$  0,004%

P  $<$  0,020%

30 estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables

- la velocidad de enfriamiento del producto laminado en caliente está entre 50 y 150 °C/s.

- la composición del acero comprende, estando el contenido expresado en peso:

35 0,27%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,52% cuando 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,11%, o

0,10%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,52% cuando 0,11%  $<$  Mo  $\geq$  0,25%

- la composición del acero comprende, estando el contenido expresado en peso:

40 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,18%, y

0,16%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,55% cuando 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,11%, o

0,10%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,55% cuando 0,11%  $<$  Mo  $\geq$  0,18%

- la composición del acero comprende, estando el contenido expresado en peso:

45

0,05%  $\geq$  C  $\geq$  0,08%

1,4%  $\geq$  Mn  $\geq$  1,6%

0,15%  $\geq$  Si  $\geq$  0,3%

Nb  $\geq$  0,04%

50 0,01%  $\geq$  Al  $\geq$  0,07%

- la lámina se bobina a una temperatura entre 580 y estrictamente 630 °C.

- la lámina se bobina a una temperatura entre 530 y 600 °C,

- dicha lámina es decapada, después

55 - la lámina decapada se recalienta a una temperatura entre 600 y 750 °C, después la lámina decapada recalentada se enfría a una velocidad entre 5 y 20 °C/s,

- y la lámina obtenida se recubre con cinc en un baño de cinc apropiado.

- la lámina se bobina en espiras contiguas con una tensión de bobinado mínima de 3 toneladas de fuerza.

60 **[0022]** Otras características y ventajas de la invención se harán evidentes a partir de la descripción que se proporciona a continuación, a modo de ejemplo y de ningún modo limitante, con referencia a las figuras adjuntas, en las que:

- la figura 1 es una gráfica que ilustra los resultados en términos de oxidación en el núcleo de bobina de las láminas de la invención y las láminas de la técnica anterior, bobinadas a una temperatura de 590 °C, que comprenden un

contenido diferente de cromo y molibdeno,

- la figura 2 es una representación esquemática de la superficie de una lámina vista en sección transversal que ilustra la distribución de defectos superficiales debidos a la oxidación sobre una lámina bobinada y decapada, en vista de la definición de un criterio de oxidación permisible,

5 - la figura 3 es un gráfico que representa la evolución del límite de elasticidad medida en la dirección de laminación en función del contenido eficaz de titanio de las láminas de la invención para las que varía el contenido de titanio y nitrógeno,

- la figura 4 es un gráfico que representa la evolución del límite de elasticidad en la dirección transversal de dirección de laminación en función del contenido eficaz de titanio de las láminas de la invención para las que varía el contenido de titanio y nitrógeno,

10

- la figura 5 es un gráfico que representa la evolución de la resistencia a la tracción máxima en la dirección de laminación en función del contenido eficaz de titanio de las láminas de la invención para las que varía el contenido de titanio y nitrógeno,

- la figura 6 es un gráfico que representa la evolución de la resistencia a la tracción máxima en la dirección transversal de laminación en función del contenido eficaz de titanio de las láminas de la invención para las que varía el contenido de titanio y nitrógeno,

15

- la figura 7 es una fotografía tomada con un microscopio electrónico de barrido que representa el estado superficial en sección de una lámina después del decapado, cuya composición está fuera del alcance de la invención y que no satisface los criterios de oxidación,

20

- la figura 8 es una fotografía tomada con un microscopio electrónico de barrido que representa el estado superficial en sección de una lámina de la invención después del decapado, que satisface los criterios de oxidación,

- la figura 9 es una fotografía tomada con un microscopio electrónico de barrido que representa el estado superficial en sección de una lámina de la invención después del decapado, cuya composición difiere de la de la lámina representada en la figura 8 y que satisface también los criterios de oxidación, y

25

- la figura 10 es una fotografía tomada con un microscopio electrónico de barrido que representa la microestructura de una lámina de la invención.

**[0023]** Los inventores han descubierto que los defectos de superficie presentes en ciertas láminas bobinadas a altas temperaturas, en particular por encima de una temperatura de 570 °C, se sitúan principalmente al nivel del núcleo de la bobina. En esta región, las espiras son contiguas, y la presión parcial de oxígeno es tal que sólo los elementos que son más oxidables que el hierro, como, por ejemplo, el silicio, el manganeso y el cromo, se pueden oxidar en contacto con los átomos de oxígeno.

30

**[0024]** El diagrama de la fase hierro-oxígeno a 1 atmósfera muestra que el óxido de hierro, la wustita, que se forma a altas temperaturas ya no es estable más allá de 570 °C y se descompone en equilibrio termodinámico en otras dos fases: hematita y magnetita, siendo uno de los productos de esta reacción el oxígeno.

35

**[0025]** Por lo tanto, los inventores han determinado que se cumplen las condiciones de modo que, en el núcleo de la bobina, el oxígeno liberado de esta manera se combine con elementos que son más oxidables que el hierro, es decir, en particular manganeso, silicio, cromo y aluminio presentes en la superficie de la lámina. Los límites de grano de la microestructura final constituyen naturalmente cortocircuitos de difusión para estos elementos con respecto a una difusión homogénea en la matriz. El resultado es una oxidación más marcada y más profunda a nivel de los límites de grano.

40

**[0026]** Durante la operación de decapado, para eliminar la capa de calamina, se eliminan también los óxidos formados de esta manera, dejando espacio para defectos (discontinuidades) esencialmente perpendiculares a la piel de la lámina de aproximadamente 3 a 5 micrómetros.

45

**[0027]** Aunque estos defectos no provocan ninguna degradación particular del rendimiento a la fatiga para una lámina no sometida a deformación, éste no es el caso cuando la lámina se deforma y más particularmente en la zona situada en la superficie interior de un pliegue de deformación donde la profundidad del defecto puede alcanzar los 25 micrómetros.

50

**[0028]** Para una temperatura de bobinado de aproximadamente 590 °C, estos defectos superficiales están presentes naturalmente en el núcleo de la bobina, donde la superficie de la lámina permanece durante más tiempo sometida a altas temperaturas, en particular superiores a 570 °C.

55

**[0029]** Por lo tanto, los inventores han encontrado una composición de la lámina que permite evitar la formación de oxidación intergranular en el núcleo de la bobina a nivel de los granos de la microestructura final después del decapado, produciéndose la oxidación intergranular en los límites de grano de la microestructura final.

60

**[0030]** Para este propósito, se ha identificado que la composición de la lámina debe incluir cromo y molibdeno definidos en un contenido particular. Sorprendentemente, los inventores han mostrado que las láminas de este tipo no presentan los defectos superficiales mencionados anteriormente.

65

**[0031]** Según la invención, el contenido en peso de carbono en la lámina está entre el 0,040% y el 0,08%. Este intervalo de contenido de carbono permite obtener simultáneamente un alto alargamiento de rotura y una resistencia mecánica  $R_m$  superior a 780 MPa.

5 **[0032]** Además, el contenido máximo en peso de carbono se fija al 0,08%, lo que permite obtener una relación de expansión de orificio % de Ac superior o igual al 45%.

**[0033]** Preferiblemente, el contenido de carbono en peso está entre el 0,05% y el 0,07%.

10 **[0034]** Según la invención, el contenido en peso de manganeso está entre el 1,2% y el 1,9%. Cuando está presente en esta cantidad, el manganeso contribuye a la resistencia de la lámina y limita la formación de una banda de segregación central. Contribuye a obtener una relación de expansión de orificio % de Ac superior o igual al 45%. Preferiblemente, el contenido de manganeso en peso está entre el 1,4% y el 1,6%.

15 **[0035]** Un contenido de aluminio en peso entre el 0,005% y el 0,1% permite asegurar la desoxidación del acero durante su fabricación. Preferiblemente, el contenido de aluminio en peso está entre el 0,01% y el 0,07%.

**[0036]** El titanio está presente en la lámina de acero de la invención en una cantidad entre el 0,07% y el 0,125% en peso.

20

**[0037]** Opcionalmente, es posible añadir vanadio en una cantidad de entre el 0,001% y el 0,2% en peso. Se puede lograr un aumento de la resistencia mecánica de hasta 250 MPa refinando la microestructura y endureciendo la precipitación de carbonitruros.

25 **[0038]** Además, se espera que el contenido en peso de nitrógeno se encuentre entre el 0,002% y el 0,01%. Aunque el contenido de nitrógeno puede ser extremadamente bajo, su valor límite se fija en el 0,002% para que la fabricación se pueda llevar a cabo en condiciones económicamente satisfactorias.

**[0039]** En cuanto al niobio, su contenido en peso en la composición del acero es inferior al 0,045%. Más allá  
30 de un contenido en peso del 0,045%, la recristalización de la austenita se retrasa. La estructura contiene una fracción significativa de granos alargados, que ya no permite alcanzar la relación de expansión de orificio prevista % de Ac. Preferiblemente, el contenido de niobio en peso es inferior al 0,04%.

**[0040]** La composición de la invención también comprende cromo en una cantidad de entre el 0,10% y el  
35 0,55%. Tal contenido de cromo permite mejorar la calidad de la superficie. Como se verá más adelante, el contenido de cromo se define junto con el contenido de molibdeno.

**[0041]** Según la invención, el silicio está presente en la composición química de la lámina, de acuerdo con un  
40 contenido en peso de entre el 0,1% y el 0,3%. El silicio retrasa la precipitación de la cementita. En las cantidades definidas según la invención, se precipita en una cantidad muy pequeña, es decir, en un contenido superficial inferior al 1,5% y en una forma muy fina. Esta morfología más fina de la cementita permite obtener una capacidad de expansión de orificio alta, superior o igual al 45%. Preferiblemente, el contenido en peso de silicio está entre el 0,15% y el 0,3%.

45 **[0042]** El contenido de azufre del acero según la invención no debe ser superior al 0,004% para limitar la formación de sulfuros, particularmente sulfuros de manganeso. El bajo contenido de azufre y nitrógeno presente en la composición de la lámina promueven la capacidad de expandir el orificio.

**[0043]** El contenido de fósforo del acero según la invención es inferior al 0,020% con el objeto de promover la  
50 capacidad de expansión del orificio y la soldabilidad.

**[0044]** Según la invención, la composición de la lámina comprende cromo y molibdeno en un contenido específico.

55 **[0045]** Se hace referencia a las tablas 1 a 4, así como a la figura 1 para explicar los límites del contenido de cromo y molibdeno en la composición de la lámina de la invención.

**[0046]** Las tablas 1 a 4 muestran la influencia de la composición de una lámina y las condiciones de  
60 fabricación de esta lámina en el límite de elasticidad, la resistencia máxima a la tracción, el alargamiento de rotura total, la expansión del orificio y un criterio de oxidación tomado en el centro o el núcleo de la bobina y en el eje de la tira, estando estos conceptos de núcleo de la bobina y el eje de la tira explicados más adelante.

**[0047]** El procedimiento de expansión de orificio se describe en la norma ISO 16630:2009 de la siguiente  
65 manera: después de hacer un orificio cortando una lámina, se utiliza una herramienta troncocónica para lograr la expansión en los bordes de este orificio. Es durante esta operación cuando se puede observar un daño temprano

cerca de los bordes del orificio durante la expansión, este daño comienza en las partículas de la segunda fase o en las interfaces entre los diferentes componentes microestructurales en el acero.

**[0048]** Por lo tanto, el procedimiento de expansión de orificio consiste en medir el diámetro inicial  $D_i$  del orificio antes de la estampación, y después el diámetro final  $D_f$  del orificio después de la estampación, determinado en el momento en que se observan grietas que atraviesan el espesor de la lámina en los bordes del orificio. La capacidad

de expansión del orificio % de Ac se determina según la siguiente fórmula:  $\% \text{ de Ac} = 100 \times \frac{(D_f - D_i)}{D_i}$ . Por lo tanto, Ac permite cuantificar la capacidad de una lámina para resistir la estampación en un orificio cortado. De acuerdo con este procedimiento, el diámetro inicial es de 10 milímetros.

10

**[0049]** Como se ha explicado anteriormente, se busca evitar la formación de oxidación intergranular caracterizada por la falta de continuidad en la superficie de la lámina bobinada y decapada.

**[0050]** Por lo tanto, se trata de obtener una superficie para la cual la profundidad de estos defectos sea suficientemente baja para que después de dar forma a la lámina, el aumento del factor de intensidad de restricción local asociado con estos defectos introducidos por éste conformado no amenace la vida útil a fatiga de la lámina.

**[0051]** Los inventores han demostrado que dos criterios relacionados con la presencia de defectos de la lámina bobinada deben cumplirse para permitir obtener excelentes rendimientos a fatiga. Más precisamente, estos criterios deben respetarse en un área de la bobina que está sujeta a condiciones específicas: esta zona está situada en el núcleo de la bobina y en el eje de la tira, donde la presión parcial de oxígeno es menor pero suficiente para que los elementos más oxidables que el hierro puedan oxidarse. Este fenómeno se observa cuando el bobinado se realiza en espiras contiguas a una tensión de bobinado mínima de 3 toneladas de fuerza.

**[0052]** El núcleo de la bobina se define como la zona de longitud de la bobina a la que, en cada lado, se corta una zona de extremo, siendo la longitud de cada una de las zonas de extremo igual al 30% de la longitud total de la bobina. El eje de la tira se define de manera similar como una zona centrada en el centro de la tira en la dirección transversal a la dirección de laminación, y de un ancho igual al 60% del ancho de la tira.

**[0053]** Con referencia a la figura 2, estos dos criterios de oxidación se evalúan en una lámina 1 en el centro de la bobina y en el eje de la tira sobre una longitud de observación  $l_{ref}$ . Esta longitud de observación se elige para caracterizar, de manera representativa, el estado de la superficie. La longitud de observación  $l_{ref}$  se fija en 100 micrómetros, pero puede ser de hasta 500 micrómetros o incluso más si se desea reforzar los requisitos en términos de criterio de oxidación.

35

**[0054]** Los defectos debidos a la oxidación 2 se distribuyen en  $n$  zonas de oxidación  $O_i$  de dicha lámina bobinada 1, estando  $i$  entre 1 y  $n$ . Cada zona de oxidación  $O_i$  se extiende a lo largo de una longitud  $l_i$ , y se considera que es distinta de la zona vecina  $O_{i+1}$  si estas dos zonas  $O_i$ ,  $O_{i+1}$  están separadas por una zona libre de cualquier defecto de oxidación de al menos 3 micrómetros de longitud. El primer criterio [1] que deben cumplir los defectos 2 de la lámina 1 es un criterio de profundidad máxima correspondiente a  $P_i^{m\acute{a}x} \geq 8$  micrómetros, siendo  $P_i^{m\acute{a}x}$  la profundidad máxima de un defecto debido a la oxidación 2 en cada zona de oxidación  $O_i$ .

40

**[0055]** El segundo criterio [2] que deben cumplir los defectos 2 de la lámina 1 es un criterio de profundidad media que refleja la mayor o menor presencia de las zonas de oxidación en la zona de observación de longitud  $l_{ref}$ .

Este segundo criterio está definido por  $\frac{1}{l_{ref}} \sum_i^n P_i^{med} \times l_i \leq 2,5$  micrómetros, siendo  $P_i^{med}$  la profundidad media de los defectos debidos a la oxidación en una zona de oxidación  $O_i$ .

45

**[0056]** En las tablas 1 a 4 y en la figura 1, los resultados de la oxidación de la superficie se representan de la siguiente manera:

50

- o oxidación nula o muy baja: criterios [1] y [2] satisfechos
- oxidación baja: criterios satisfechos
- fuerte oxidación: criterios no satisfechos

**[0057]** Una oxidación nula o muy baja permite obtener una excelente resistencia a fatiga, incluso en piezas que se deforman de manera significativa, es decir, que presentan una tasa de deformación plástica equivalente de hasta el 39%, definiéndose la tasa de deformación plástica equivalente en todas las piezas deformadas a partir de las deformaciones principales  $\epsilon_1$  y  $\epsilon_2$ , mediante la fórmula:

55

$$\bar{\epsilon}_c = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{(\epsilon_1^2 + \epsilon_1 \epsilon_2 + \epsilon_2^2)}$$

**[0058]** La tabla 1 muestra los resultados obtenidos para las composiciones que no están dentro del alcance de la lámina de la invención.

5 **[0059]** La tabla 2a muestra las composiciones de láminas según la invención y la tabla 2b muestra los resultados obtenidos para las composiciones de láminas de la tabla 2a, cuyas láminas están destinadas a no revestirse y bobinarse a una temperatura constante de 590 °C, con la excepción del ejemplo 5.

10 **[0060]** La tabla 3 muestra los resultados obtenidos para las composiciones de la lámina de la invención, que también está destinada a no revestirse y para temperaturas de bobinado que varían de 526 °C a 625 °C.

**[0061]** La tabla 4 muestra los resultados obtenidos para las composiciones de la lámina de la invención, que está destinada a galvanizarse y para una temperatura de bobinado que varía de 535 °C a 585 °C.

15 **[0062]** Los contraejemplos 1 y 11 de la tabla 1 muestran que, cuando el contenido de cromo y molibdeno no cumple las condiciones de la invención, no se cumplen los criterios de oxidación.

20 **[0063]** Los contraejemplos 5, 6, 7 y 9 muestran que, en presencia de cromo, pero sin molibdeno, tampoco se permite la oxidación. El contraejemplo 9 también ilustra que la adición de níquel no permite obtener resultados satisfactorios en los criterios de oxidación.

**[0064]** Por el contrario, el contraejemplo 4 muestra que, en presencia de molibdeno, pero con un pequeño contenido de cromo, la oxidación de la superficie no cumple los criterios predefinidos.

25 **[0065]** Finalmente, los contraejemplos 2, 3, 8 y 11 muestran que el contenido respectivo de cromo y molibdeno debe ser suficiente.

30 **[0066]** La tabla 2b ilustra los resultados obtenidos para una composición de la lámina que comprende cromo y molibdeno en un contenido respectivo de entre el 0,15% y el 0,55% para cromo y entre el 0,05% y el 0,32% de molibdeno.

35 **[0067]** La tabla 3 ilustra los resultados obtenidos para una composición de la lámina que comprende cromo y molibdeno en un contenido respectivo de entre el 0,30 % y el 0,32 % para cromo y entre el 0,15 % y el 0,17% de molibdeno.

40 **[0068]** Y la tabla 4 ilustra los resultados obtenidos para una composición de la lámina que comprende cromo y molibdeno en un contenido respectivo de entre el 0,31% y el 0,32% para cromo y entre el 0,15 % y el 0,16% de molibdeno. Cada uno de los ejemplos en las tablas 2, 3 y 4 cumplen los criterios de oxidación definidos anteriormente.

**[0069]** La figura 7 ilustra la presencia de defectos superficiales para una lámina 9 que no satisface los criterios de oxidación definidos previamente y cuya composición comprende un 0,3% de cromo y un 0,02% de molibdeno.

45 **[0070]** Las figuras 8 y 9 ilustran el estado de la superficie de dos láminas 10, 11 que satisfacen los criterios de oxidación y cuya composición respectiva comprende, para la figura 8, el 0,3% de cromo y el 0,093% de molibdeno, y para la figura 9, el 0,3% de cromo y el 0,15% de molibdeno.

50 **[0071]** Se debe recordar que el bobinado de las láminas objeto de los resultados presentados en las tablas 2 a 4 se realiza en espiras contiguas a una tensión de bobinado mínima de 3 toneladas de fuerza.

55 **[0072]** En la figura 1, se muestran los puntos experimentales obtenidos para los contraejemplos y ejemplos a una temperatura de bobinado de 590 °C. Más precisamente, los puntos experimentales 3 corresponden a los contraejemplos de la tabla 1, los puntos experimentales 4a corresponden a los ejemplos de las tablas 2a y 2b para los que la oxidación de la superficie es baja, y los puntos experimentales 4b corresponden a los ejemplos de las tablas 2a y 2b, para los que la oxidación de la superficie es nula o muy baja.

**[0073]** Cabe destacar la cuasi superposición de dos puntos experimentales al 0,10% de molibdeno. Un primer punto experimental 3 corresponde al contraejemplo 11 para el que el contenido exacto de cromo es 0,150, y un segundo punto experimental 4a corresponde al ejemplo 11 para el que el contenido exacto de cromo es 0,152.

60 **[0074]** A la luz de lo anterior, se define de este modo que la composición de la lámina de la invención comprende cromo y molibdeno con un contenido en peso de cromo que es estrictamente superior al 0,15% e inferior o igual al 0,6% cuando el contenido de molibdeno está entre el 0,05% y el 0,11%, y un contenido en peso de cromo entre el 0,10% y el 0,6%, cuando el contenido de molibdeno es estrictamente superior al 0,11% e inferior o igual al 65 0,35%. Por lo tanto, el contenido de molibdeno está entre el 0,05% y el 0,35%, respetando el contenido de cromo

expresado anteriormente.

5 **[0075]** Preferiblemente, el contenido en peso de cromo está entre el 0,16% y el 0,55% cuando el contenido en peso de molibdeno está entre el 0,05% y el 0,11%, y el contenido en peso de cromo se encuentra entre el 0,10% y el 0,55% cuando el contenido en peso de molibdeno se encuentra entre el 0,11% y el 0,25%.

**[0076]** Aún más preferiblemente, el contenido en peso de cromo está entre el 0,27% y el 0,52% y el contenido en peso de molibdeno está entre el 0,05% y el 0,18%.

10 **[0077]** La microestructura de la lámina de la invención comprende bainita granular.

**[0078]** La bainita granular se distingue de la bainita superior e inferior. Se hace referencia aquí al artículo "Characterisation and Quantification of Complex Bainitic Microstructures in High and Ultra-High Strength Steels" - *Materials Science Forum* Vol 500-501, págs. 387-394; Nov2005 para la definición de bainita granular.

15 **[0079]** De acuerdo con este artículo, la bainita granular que compone la microestructura de la lámina de la invención se define por tener una gran proporción de granos adyacentes fuertemente desorientados y una morfología irregular de los granos. El porcentaje superficial de bainita granular es superior al 70%.

20 **[0080]** Además, la ferrita está presente en una fracción superficial que no supera el 20%. El complemento opcional consiste en bainita inferior, martensita y austenita residual, siendo la suma del contenido de martensita y austenita residual inferior al 5%.

25 **[0081]** La figura 10 representa la microestructura de una lámina de la invención que comprende bainita granular 12, islotes de martensita y austenita 13 y ferrita 14.

**[0082]** Según la invención, se ha determinado que un criterio a considerar para el límite de elasticidad y la resistencia máxima a la tracción es los que se denomina titanio eficaz.

30 **[0083]** Suponiendo que la precipitación de titanio tiene lugar en forma de nitruro y teniendo en cuenta la relación estequiométrica de estos dos elementos en nitruro de titanio, el titanio eficaz Tief representa la cantidad de titanio en exceso capaz de precipitar en forma de carburos. Por lo tanto, el titanio eficaz se define de acuerdo con la fórmula  $Tief = Ti - 3,42 \times N$ , siendo Ti el contenido de titanio expresado en peso, y N el contenido de nitrógeno expresado en peso.

35 **[0084]** Las tablas 2 a 4 muestran los valores eficaces de titanio para cada composición probada.

40 **[0085]** Las figuras 3 a 6 ilustran los resultados obtenidos respectivamente para el límite de elasticidad y la resistencia máxima a la tracción, en función del contenido de titanio eficaz para diferentes composiciones para las que varía el contenido de titanio y nitrógeno. Las figuras 3 y 5 ilustran estas propiedades en la dirección de laminación de la hoja, y las figuras 4 y 6 ilustran estas propiedades en la dirección transversal de la laminación de la lámina.

45 **[0086]** En estas figuras 3 a 6, los puntos experimentales 5,5a representados por círculos de color negro corresponden a una composición para la que el contenido de titanio varía entre el 0,071% y el 0,076% y el contenido de nitrógeno varía entre el 0,0070% y el 0,0090%, los puntos experimentales 6,6a representados por rombos de color negro corresponden a una composición para la que el contenido de titanio varía entre el 0,087% y el 0,091% y el contenido de nitrógeno varía entre el 0,0060% y el 0,0084%, los puntos experimentales 7,7a representados por triángulos de color negro corresponden a una composición para la que el contenido de titanio varía entre el 0,088% y el 0,092%, y el contenido de nitrógeno varía entre el 0,0073% y el 0,0081%, y los puntos experimentales 8,8a representados por cuadrados de color negro corresponden a una composición para la que el contenido de titanio varía entre el 0,098% y el 0,104% y el contenido de nitrógeno varía entre el 0,0048% y el 0,0070%.

50 **[0087]** Con respecto a estas cifras, es evidente que se debe tener en cuenta el titanio eficaz.

55 **[0088]** Más específicamente, en la dirección de laminación (figuras 3 y 5), se respetan los criterios del límite de elasticidad y resistencia máxima a la tracción para un contenido de titanio eficaz que oscila entre el 0,055% y el 0,095%. En la dirección transversal de laminación (figuras 4 y 6), se respetan los criterios del límite de elasticidad y resistencia máxima a la tracción para un contenido de titanio eficaz que oscila entre el 0,040% y el 0,070%.

60 **[0089]** Por lo tanto, se define que la composición puede comprender un contenido de titanio eficaz que varía entre el 0,040% y el 0,095%, preferiblemente entre el 0,055% y el 0,070%, cuando los criterios se respetan tanto en la dirección de laminación como en la dirección transversal.

65 **[0090]** La ventaja que presenta la consideración del titanio eficaz reside, en particular, en la posibilidad de

utilizar un alto contenido de nitrógeno para evitar limitar el contenido de nitrógeno que es limitante para el procedimiento de producción de la lámina.

**[0091]** El procedimiento de fabricación de una lámina de acero previamente definida comprende las siguientes etapas:

5

El acero líquido se proporciona en forma de un metal líquido cuya composición consiste en, expresándose el contenido en peso:

0,04%  $\geq$  C  $\geq$  0,08%

10 1,2%  $\geq$  Mn  $\geq$  1,9%

0,1%  $\geq$  Si  $\geq$  0,3%

0,07%  $\geq$  Ti  $\geq$  0,125%

0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,35%

0,15%  $<$  Cr  $\geq$  0,6% cuando 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,11%, o

15 0,10%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,6% cuando 0,11%  $<$  Mo  $\geq$  0,35%

Nb  $\geq$  0,045%

0,005%  $\geq$  Al  $\geq$  0,1%

0,002%  $\geq$  N  $\geq$  0,01%

S  $\geq$  0,004%

20 P  $<$  0,020 y opcionalmente 0,001%  $\geq$  V  $\geq$  0,2%

estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables,

**[0092]** En el metal líquido que contiene un contenido de nitrógeno disuelto [N], se añade titanio [Ti] de modo

25 que las cantidades de titanio [Ti] y nitrógeno [N] disueltas en el metal líquido satisfacen % [Ti] % [N]  $<$   $6,10^{-4}$  %<sup>2</sup>.

**[0093]** El metal líquido se somete después a un tratamiento de vacío o un tratamiento de sílice-calcio (SiCa), en cuyo caso se prevé que la composición comprende además un contenido en peso del 0,0005  $\geq$  Ca  $\geq$  0,005%.

30 **[0094]** En estas condiciones, los nitruros de titanio no precipitan prematuramente en forma gruesa en el metal líquido, lo que tendría el efecto de reducir la capacidad de expandir el orificio. La precipitación de titanio se produce a temperaturas más bajas en forma de carbonitruros finos distribuidos uniformemente. Esta fina precipitación contribuye al endurecimiento y refinamiento de la microestructura.

35 **[0095]** Después el acero se funde para obtener un producto semiacabado fundido. Esto se puede hacer preferiblemente por colada continua. Muy preferiblemente, la colada puede realizarse entre cilindros que giran en sentido contrario para obtener un producto semiacabado fundido en forma de losas delgadas o tiras delgadas. De hecho, estos procedimientos de colada conducen a una disminución del tamaño de los precipitados, lo que favorece la expansión del orificio en el producto obtenido en el estado final.

40

**[0096]** El producto semiacabado obtenido se calienta entonces a una temperatura de entre 1160 y 1300 °C. Por debajo de 1160 °C, no se alcanza la resistencia mecánica a la tracción objetivo de 780 MPa. Naturalmente, en el caso de una colada directa de losas delgadas, la etapa de laminación en caliente de los productos semiacabados a más de 1160 °C puede realizarse directamente después de la colada, es decir, sin enfriar el producto semiacabado hasta la temperatura ambiente, y por lo tanto sin que sea necesario realizar una etapa de calentamiento. Después, dicho producto semiacabado colado se lamina en caliente con una temperatura de fin de laminación entre 880 y 930 °C, siendo la tasa de reducción de la penúltima pasada inferior a 0,25, siendo la tasa de la última pasada inferior a 0,15, siendo la suma de estas dos tasas de reducción inferior a 0,37, siendo la temperatura de inicio de laminación de la penúltima pasada inferior a 960 °C para obtener un producto laminado en caliente.

45

**[0097]** Por lo tanto, se lamina durante las dos últimas pasadas a una temperatura por debajo de la temperatura de no recristalización, lo que evita la recristalización de la austenita. Por lo tanto, se pretende no causar una deformación excesiva de la austenita durante estas dos últimas pasadas.

55 **[0098]** Estas condiciones permiten crear el grano más equivalente posible para satisfacer las exigencias relativas a la relación de expansión del orificio % de Ac.

**[0099]** Después de la laminación, el producto laminado en caliente se enfría a una velocidad de entre 20 y 150 °C/s, preferiblemente entre 50 y 150 °C/s, para obtener una lámina de acero laminada en caliente.

60

**[0100]** Finalmente, la lámina obtenida se bobina a una temperatura de entre 525 y 635 °C.

**[0101]** En el caso de la fabricación de una lámina no revestida y con referencia a las tablas 2 y 3, la temperatura del bobinado estará entre 525 y 635 °C, a fin de que la precipitación sea lo más densa y más endurecedora posible, lo que permite satisfacer una resistencia mecánica a la tracción superior a 780 MPa en la

65

dirección tanto longitudinal como transversal. De acuerdo con los resultados presentados en estas tablas, estas temperaturas de bobinado permiten obtener una lámina para la que se satisface el criterio de oxidación.

- 5 **[0102]** Con referencia a la tabla 3, se observará que el aumento de la temperatura de bobinado (ejemplos 26 y 28) da lugar a defectos debidos a la oxidación que están ausentes a temperaturas de bobinado más bajas. No obstante, la composición de la lámina de la invención permite bobinar a altas temperaturas respetando el criterio de oxidación.
- 10 **[0103]** En el caso de la fabricación de una lámina destinada a someterse a una operación de galvanización y con referencia a la tabla 4, la temperatura del bobinado estará entre 530 y 600 °C, independientemente de la dirección deseada de las propiedades en la dirección de laminación o en la dirección transversal y para compensar la precipitación complementaria que interviene durante el tratamiento de recalentamiento asociado con la operación de galvanización. De acuerdo con los resultados presentados en esta tabla, estas temperaturas de bobinado permiten obtener una lámina para la que se satisface el criterio de oxidación.
- 15 **[0104]** En este último caso, la lámina bobinada se decapará entonces de acuerdo con una técnica convencional ya conocida, y después se recalienta a una temperatura entre 550 y 750 °C. La lámina se enfriará entonces a una velocidad de entre 5 y 20 °C/s, y luego se revestirá con cinc en un baño de cinc adecuado.
- 20 **[0105]** Todas las láminas de acero según la invención se han laminado con una tasa de reducción inferior a 0,15 en el penúltimo pase de laminación, y una tasa de reducción inferior a 0,07 en la última pasada de laminación, siendo la deformación acumulada durante estas dos pasadas inferior a 0,37. Al final de la laminación en caliente, se obtiene una austenita menos deformada.
- 25 **[0106]** Por lo tanto, la invención permite proporcionar láminas de acero que presentan características mecánicas de tracción elevadas y buena conformabilidad por estampación. Las piezas estampadas fabricadas a partir de estas láminas presentan una alta resistencia a la fatiga debido a la minimización o ausencia de defectos superficiales después de la estampación.

Composición química (en %)													
	C	Mn	Si	Al	Cr	Mo	Nb	Ti	Ni	P	S	N	Tief
Contraejemplo 1	0,049	1,64	0,21	0,03	0	0	0,041	0,112	-	-	0,003	0,004	0,097
Contraejemplo 2	0,062	1,59	0,24	0,08	0,29	0,005	0,031	0,109	-	0,015	0,002	0,007	0,085
Contraejemplo 3	0,060	1,58	0,23	0,04	0,29	0,026	0,031	0,114	-	0,015	0,001	0,006	0,093
Contraejemplo 4	0,069	1,86	0,24	0,03	0,003	0,15	0,024	0,102	-	0,020	0,001	0,005	0,085
Contraejemplo 5	0,053	1,30	0,21	0,04	0,15	0	0,030	0,105	-	0,014	0,002	0,006	0,084
Contraejemplo 6	0,054	1,63	0,21	0,04	0,30	0	0,031	0,105	-	0,014	0,002	0,006	0,084
Contraejemplo 7	0,055	1,65	0,24	0,04	0,61	0	0,031	0,080	-	0,017	0,001	0,006	0,059
Contraejemplo 8	0,067	1,59	0,24	0,04	0,15 <sup>1</sup>	0,10	0,028	0,115	-	0,009	0,001	0,006	0,094
Contraejemplo 9	0,065	1,61	0,24	0,04	0,33	0	0,031	0,123	0,230	0,013	-	0,008	0,095
Contraejemplo 10	0,053	1,78	0,22	0,02	0	0	0,030	0,105	-	0,012	0,001	0,006	0,084
Contraejemplo 11	0,050	1,46	0,24	0,04	0,15 <sup>2</sup>	0,05	0,030	0,089	-	0,012	0,002	0,008	NA
	Temperatura de bobinado (°C)	Límite de elasticidad Re (Mpa)	Resistencia máxima a la tracción Rm (Mpa)	Alargamiento de rotura total (%)	Expansión de orificio Ac (Procedimiento ISO) (%)	Criterio de oxidación en el núcleo de la bobina	Leyenda del criterio de oxidación						
Contraejemplo 1	590	816,5	821	14,8	66,47	•	○	Oxidación nula o muy baja: criterio satisfecho					
Contraejemplo 2	590	785	814	17,2	NA	•	●	oxidación baja: criterio satisfecho					
Contraejemplo 3	590	810	835	16,8	NA	•	●	oxidación fuerte: criterio no satisfecho					
Contraejemplo 4	590	NA	NA	NA	NA	•							
Contraejemplo 5	590	747	778	17,4	53	•							
Contraejemplo 6	590	768	797	17,5	49	•							
Contraejemplo 7	590	NA	NA	NA	NA	•							
Contraejemplo	590	854	877	14,3	NA	•							

8									
Contraejemplo 9	590	829	849	15,9	NA	•			
Contraejemplo 10	590	764	786	15,5	72	•			
Contraejemplo 11	590	703	748	16,5	NA	•			

NA: no determinado - <sup>1</sup>Valor exacto: 0,150 - <sup>2</sup>Valor exacto: 0,150

Tabla 1: Condiciones de prueba y resultados obtenidos para las condiciones no correspondientes a la invención

ES 2 704 472 T3

Tabla 2a: Composiciones de láminas según la invención

	Composición química (en %)											
	C	Mn	Si	Al	Cr	Mo	Nb	Ti	P	S	N	Tief
Ejemplo 1	0,06	1,6	0,2	0,06	0,29	0,09	0,031	0,110	0,015	0,002	0,007	0,086
Ejemplo 2	0,06	1,6	0,2	0,04	0,29	0,05	0,034	0,115	0,015	0,001	0,006	0,094
Ejemplo 3	0,06	1,6	0,2	0,04	0,29	0,11	0,034	0,111	0,015	0,001	0,006	0,090
Ejemplo 4	0,06	1,5	0,2	0,06	0,38	0,15	0,026	0,100	0,017	0,001	0,006	0,078
Ejemplo 5	0,07	1,5	0,2	0,04	0,30	0,16	0,030	0,100	0,016	0,001	0,005	0,083
Ejemplo 6	0,06	1,5	0,3	0,03	0,41	0,11	0,033	0,093	0,017	0,002	0,009	0,063
Ejemplo 7	0,06	1,5	0,3	0,03	0,51	0,11	0,033	0,094	0,017	0,002	0,01	0,059
Ejemplo 8	0,06	1,5	0,2	0,05	0,28	0,15	0	0,098	0,017	0,001	0,003	0,087
Ejemplo 9	0,080	1,61	0,23	0,04	0,15	0,15	0,028	0,113	0,012	0,001	0,006	0,092
Ejemplo 10	0,06	1,5	0,21	0,05	0,47	0,15	0,030	0,074	0,015	0,002	0,008	0,047
Ejemplo 11	0,05	1,5	0,24	0,04	0,15 <sup>1</sup>	0,10	0,030	0,089	0,012	0,002	0,007	0,065
Ejemplo 12	0,05	1,5	0,24	0,04	0,15	0,25	0,030	0,094	0,013	0,002	0,008	0,066
Ejemplo 13	0,05	1,5	0,24	0,04	0,30	0,25	0,030	0,092	0,012	0,002	0,008	0,064
Ejemplo 14	0,05	1,5	0,25	0,04	0,21	0,06	0,033	0,087	0,012	0,001	-	0,063
Ejemplo 15 <sup>2</sup>	0,05	1,5	0,25	0,04	0,21	0,09	0,033	0,087	0,012	0,001	-	0,063
Ejemplo 16	0,05	1,5	0,25	0,04	0,21	0,15	0,032	0,088	0,012	0,001	-	0,064
Ejemplo 17	0,05	1,5	0,25	0,04	0,21	0,32	0,033	0,089	0,013	0,001	-	0,065
Ejemplo 18 <sup>2</sup>	0,05	1,5	0,25	0,04	0,25	0,15	0,032	0,088	0,012	0,002	0,008	0,060
Ejemplo 19	0,05	1,4	0,25	0,03	0,30	0,20	0,032	0,089	0,013	0,002	0,008	0,061
Ejemplo 20	0,05	1,5	0,25	0,04	0,55	0,05	0,030	0,089	0,012	0,002	0,009	0,058
Ejemplo 21	0,05	1,5	0,25	0,04	0,54	0,11	0,030	0,087	0,012	0,002	0,008	0,059
Ejemplo 22	0,05	1,4	0,24	0,03	0,16	0,20	0,030	0,088	0,013	0,002	0,008	0,060
Ejemplo 23	0,05	1,4	0,24	0,03	0,19	0,20	0,030	0,088	0,013	0,002	0,008	0,060
Ejemplo 24	0,05	1,4	0,24	0,04	0,39	0,24	0,030	0,087	0,012	0,002	0,008	0,059
Ejemplo 25	0,05	1,5	0,24	0,04	0,53	0,26	0,030	0,088	0,012	0,002	0,008	0,060

Valor exacto: 0,152 - También contiene vanadio V = 0,005%

Tabla 2b: condiciones de ensayo y resultados obtenidos para las composiciones de láminas según la invención de la Tabla 2a, bobinadas a 590 °C y sin revestimiento

	Temperatura de bobinado (°C)	Límite de elasticidad Re (Mpa)	Resistencia máxima a la tracción Rm (Mpa)	Alargamiento de rotura total (%)	Expansión de orificio Ac (Procedimiento ISO) (%)	Criterio de oxidación en el núcleo de la bobina	Leyenda del criterio de oxidación
Ejemplo 1	590	808	841	15,8	NA	●	Oxidación nula o muy baja: criterio satisfecho
Ejemplo 2	590	820	848	15,9	NA	●	oxidación baja: criterio satisfecho
Ejemplo 3	590	823	854	15	NA	○	oxidación fuerte: criterio no satisfecho
Ejemplo 4	590	792	832	16,5	58	●	
Ejemplo 5	595	810	893	13,3	59	○	
Ejemplo 6	590	766	801	15,6	NA	●	
Ejemplo 7	590	761	798	17,8	NA	●	
Ejemplo 8	590	787	818	15,2	71	○	
Ejemplo 9	590	823*	854	15,9	NA	●	
Ejemplo 10	590	796	834	15,2	56	●	
Ejemplo 11	590	711	801*	17,1	NA	●	
Ejemplo 12	590	768	809	16,9	NA	○	
Ejemplo 13	590	781	825	16,2	NA	○	
Ejemplo 14	590	721	807*	17,8	NA	●	

\*: valor estimado  
NA: no determinado

	Temperatura de bobinado (°C)	Límite de elasticidad Re (Mpa)	Resistencia máxima a la tracción Rm (Mpa)	Alargamiento de rotura total (%)	Expansión de orificio Ac (Procedimiento ISO) (%)	Criterio de oxidación en el núcleo de la bobina	Leyenda del criterio de oxidación
Ejemplo 15	590	746	781	17,0	NA	●	
Ejemplo 16	590	754	787	16,0	NA	○	
Ejemplo 17	590	751	788	16,9	NA	●	
Ejemplo 18	590	759	793	19,0	NA	○	
Ejemplo 19	590	770	805	17,7	NA	○	
Ejemplo 20	590	721	814*	16,9	NA	○	
Ejemplo 21	590	744	789	17,6	NA	○	
Ejemplo 22	590	757	799	16,5	NA	○	
Ejemplo 23	590	764	802	17,5	NA	○	
Ejemplo 24	590	796	837	16,5	NA	○	
Ejemplo 25	590	760	822	15,8	NA	○	





**REIVINDICACIONES**

1. Lámina de acero laminada en caliente con un espesor de entre 1,5 y 4,5 mm, con un límite de elasticidad superior a 680 MPa al menos en dirección transversal a la dirección de laminación, e inferior o igual a 840 MPa, una resistencia de entre 780 MPa y 950 MPa, un alargamiento de rotura superior al 10% y una relación de expansión de orificio (Ac) superior o igual al 45%, cuya composición química consiste en, estando el contenido expresado en peso:

- 0,04%  $\geq$  C  $\geq$  0,08%
- 10 1,2%  $\geq$  Mn  $\geq$  1,9%
- 0,1%  $\geq$  Si  $\geq$  0,3%
- 0,07%  $\geq$  Ti  $\geq$  0,125%
- 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,35%
- 0,15%  $<$  Cr  $\geq$  0,6% cuando 0,06%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,11%, o
- 15 0,10%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,6% cuando 0,11%  $<$  Mo  $\geq$  0,35%
- Nb  $\geq$  0,045%
- 0,005%  $\geq$  Al  $\geq$  0,1%
- 0,002%  $\geq$  N  $\geq$  0,01%
- S  $\geq$  0,004%
- 20 P  $<$  0,020%
- y opcionalmente 0,001%  $\geq$  V  $\geq$  0,2%

estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables procedentes de la elaboración, cuya microestructura está constituida por bainita granular, cuyo porcentaje superficial es superior al 70%, y ferrita cuyo porcentaje superficial es inferior al 20%, estando el posible complemento constituido por bainita inferior, martensita y austenita residual, siendo la suma del contenido de martensita y austenita residual inferior al 5%.

2. Lámina de acero laminada según la reivindicación 1, **caracterizada porque** la composición química consiste en, estando el contenido expresado en peso:

- 30 0,04%  $\geq$  C  $\geq$  0,08%
- 1,2%  $\geq$  Mn  $\geq$  1,9%
- 0,1%  $\geq$  Si  $\geq$  0,3%
- 0,07%  $\geq$  Ti  $\geq$  0,125%
- 35 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,25%
- 0,16%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,55% cuando 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,11%, o
- 0,10%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,55% cuando 0,11%  $<$  Mo  $\geq$  0,25%
- No  $\geq$  0,045%
- 0,005%  $\geq$  Al  $\geq$  0,1%
- 40 0,002%  $\geq$  N  $\geq$  0,01%
- S  $\geq$  0,004%
- P  $<$  0,020%

estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables procedentes de la elaboración,

3. Lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizada porque** la composición de acero comprende, estando el contenido expresado en peso:

- 50 0,27%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,52% cuando 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,11%, o
- 0,10%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,52% cuando 0,11%  $<$  Mo  $\geq$  0,25%

4. Lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** la composición de acero comprende, estando el contenido expresado en peso:

- 55 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,18%, y **porque**
- 0,16%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,55% cuando 0,05%  $\geq$  Mo  $\geq$  0,11%, o
- 0,10%  $\geq$  Cr  $\geq$  0,55% cuando 0,11%  $<$  Mo  $\geq$  0,18%

5. Lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** la composición química comprende, estando el contenido expresado en peso:

- 65 0,05%  $\geq$  C  $\geq$  0,07%
- 1,4%  $\geq$  Mn  $\geq$  1,6%
- 0,15%  $\geq$  Si  $\geq$  0,3%
- Nb  $\geq$  0,04%

0,01% ≥ Al ≥ 0,07%

6. Lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada porque** la composición química comprende, estando el contenido expresado en peso:

5

$$0,040 \% \leq \text{Tief} \leq 0,095 \%$$

donde Tief = Ti - 3,42 x N,

siendo Ti el contenido de titanio expresado en peso

10 siendo N el contenido de nitrógeno expresado en peso

7. Lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque**, después del bobinado a una temperatura entre 525 °C y 635 °C seguida de una operación de decapado, la profundidad de los defectos superficiales debidos a la oxidación distribuida sobre n zonas de oxidación i de la lámina bobinada, estando  
15 i comprendido entre 1 y n, y las n zonas de oxidación que se extienden sobre una longitud  $l_{ref}$  de observación, satisface:

- un primer criterio de profundidad máxima definido por

20

$$P_i^{m\acute{a}x} \leq 8 \text{ micr\acute{o}metros}$$

con  $P_i^{m\acute{a}x}$  : profundidad máxima de un defecto debido a la oxidación en la zona de oxidación i de dicha lámina bobinada, y

- un segundo criterio de profundidad media, definido por

25

$$\frac{1}{l_{ref}} \sum_i^n P_i^{med} \times l_i \leq 2,5 \text{ micr\acute{o}metros}$$

con  $P_i^{med}$  : profundidad media de los defectos debidos a la oxidación en una zona de oxidación i, y  
30  $l_i$ : longitud de la zona de oxidación i

8. Lámina de acero según la reivindicación 7, **caracterizada porque** la longitud  $l_{ref}$  de observación de los defectos debidos a la oxidación es superior o igual a 100 micrómetros.

9. Lámina de acero según la reivindicación 8, **caracterizada porque** la longitud  $l_{ref}$  de observación de los  
35 defectos debidos a la oxidación es superior o igual a 500 micrómetros.

10. Lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** se bobina en espiras contiguas a una tensión mínima de bobinado de 3 toneladas de fuerza.

40 11. Procedimiento de fabricación de una lámina de acero en caliente de un espesor entre 1,5 y 4,5 milímetros, con un límite de elasticidad superior a 680 MPa en dirección transversal a la dirección de laminación, e inferior o igual a 840 MPa, con una resistencia entre 780 MPa y 950 MPa y un alargamiento de rotura superior al 10%, **caracterizado porque** se obtiene un acero en forma de metal líquido cuya composición consiste en, estando el contenido expresado en peso:

45

0,04% ≥ C ≥ 0,08%

1,2% ≥ Mn ≥ 1,9%

0,1% ≥ Si ≥ 0,3%

0,07% ≥ Ti ≥ 0,125%

50

0,05% ≥ Mo ≥ 0,35%

0,15% < Cr ≥ 0,6% cuando 0,05% ≥ Mo ≥ 0,11%, o

0,10% ≥ Cr ≥ 0,6% cuando 0,11% < Mo ≥ 0,35%

Nb ≥ 0,045%

0,005% ≥ Al ≥ 0,1%

55

0,002% ≥ N ≥ 0,01%

S ≥ 0,004%

P < 0,020%

y opcionalmente 0,001% ≥ V ≥ 0,2%

60 estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables,

**porque** se realiza un tratamiento al vacío o con SiCa, en cuyo caso la composición comprende, además, estando el contenido expresado en peso  $0,0005\% \geq \text{Ca} \geq 0,005\%$ ,

**porque** las cantidades de titanio [Ti] y de nitrógeno [N] disueltas en el metal líquido satisfacen la fórmula  $(\%[\text{Ti}]) \times (\%[\text{N}]) < 6,10^{-4} \%$ , **porque** el acero es colado para obtener un producto semiacabado colado,

5 **porque** se recalienta opcionalmente dicho producto semiacabado a una temperatura entre 1160 °C y 1300 °C, después

**porque** dicho producto semiacabado colado se lamina en caliente con una temperatura de fin de laminación entre 880 °C y 930 °C, siendo la tasa de reducción de la penúltima pasada inferior a 0,25, siendo la tasa de la última pasada inferior a 0,15, siendo la suma de estas dos tasas de reducción inferior a 0,37, siendo la temperatura de inicio de laminación de la penúltima pasada inferior a 960 °C para obtener un producto laminado en caliente, después

**porque** dicho producto laminado en caliente se enfría a una velocidad entre 20 y 150 °C/s, después

**porque** dicho producto laminado en caliente se bobina en caliente para obtener una lámina de acero laminada en caliente.

15

12. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado porque** la lámina de acero laminada en caliente se bobina a una temperatura entre 525 y 635 °C.

13. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 11 y 12, **caracterizado porque**

20 la composición consiste en, estando el contenido expresado en peso:

$0,04\% \geq \text{C} \geq 0,08\%$

$1,2\% \geq \text{Mn} \geq 1,9\%$

$0,1\% \geq \text{Si} \geq 0,3\%$

25  $0,07\% \geq \text{Ti} \geq 0,125\%$

$0,05\% \geq \text{Mo} \geq 0,25\%$

$0,16\% \geq \text{Cr} \geq 0,55\%$  cuando  $0,05\% \geq \text{Mo} \geq 0,11\%$ , o

$0,10\% \geq \text{Cr} \geq 0,55\%$  cuando  $0,11\% < \text{Mo} \geq 0,25\%$

$\text{Nb} \geq 0,045\%$

30  $0,005\% \geq \text{Al} \geq 0,1\%$

$0,002\% \geq \text{N} \geq 0,01\%$

$\text{S} \geq 0,004\%$

$\text{P} < 0,020\%$

35 estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables,

14. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, **caracterizado porque** la velocidad de enfriamiento del producto laminado en caliente está entre 50 y 150 °C/s.

40 15. Procedimiento de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, **caracterizado porque** la composición de acero comprende, estando el contenido expresado en peso:

$0,27\% \geq \text{Cr} \geq 0,52\%$  cuando  $0,05\% \geq \text{Mo} \geq 0,11\%$ , o

$0,10\% \geq \text{Cr} \geq 0,52\%$  cuando  $0,11\% < \text{Mo} \geq 0,25\%$

45

16. Procedimiento de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, **caracterizado porque** la composición de acero comprende, estando el contenido expresado en peso:

$0,05\% \geq \text{Mo} \geq 0,18\%$ , y **por que**

50  $0,16\% \geq \text{Cr} \geq 0,55\%$  cuando  $0,05\% \geq \text{Mo} \geq 0,11\%$ , o

$0,10\% \geq \text{Cr} \geq 0,55\%$  cuando  $0,11\% < \text{Mo} \geq 0,18\%$

17. Procedimiento de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16, **caracterizado porque** la composición de acero comprende, estando el contenido expresado en peso:

55

$0,05\% \geq \text{C} \geq 0,08\%$

$1,4\% \geq \text{Mn} \geq 1,6\%$

$0,15\% \geq \text{Si} \geq 0,3\%$

$\text{Nb} \geq 0,04\%$

60  $0,01\% \geq \text{Al} \geq 0,07\%$

18. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 17, **caracterizado porque** la lámina se bobina a una temperatura de entre 580 y 630 °C.

65 19. Procedimiento para fabricar una lámina laminada en caliente de acuerdo con una cualquiera de las

reivindicaciones 10 a 17, **caracterizado porque** la lámina se bobina a una temperatura de entre 530 y 600 °C, **porque** dicha lámina es decapada, después

**porque** la lámina decapada se recalienta a una temperatura entre 600 y 750 °C, después **porque** la lámina decapada recalentada se enfría a una velocidad entre 5 y 20 °C/s,

5 y **porque** la lámina obtenida se recubre con cinc en un baño de cinc apropiado.

20. Procedimiento para fabricar una lámina laminada en caliente de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 19, **caracterizado porque** la lámina se bobina con espiras contiguas a una tensión de bobinado mínima de 3 toneladas de fuerza.

10

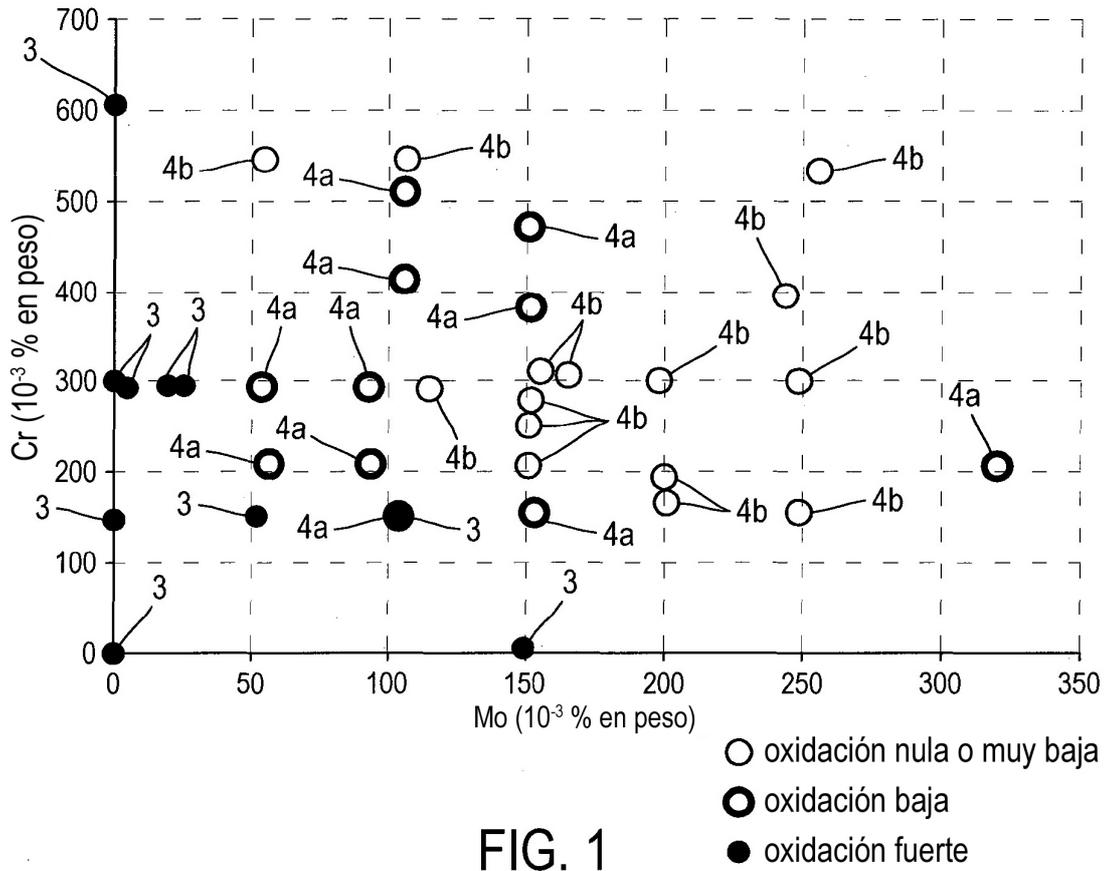


FIG. 1

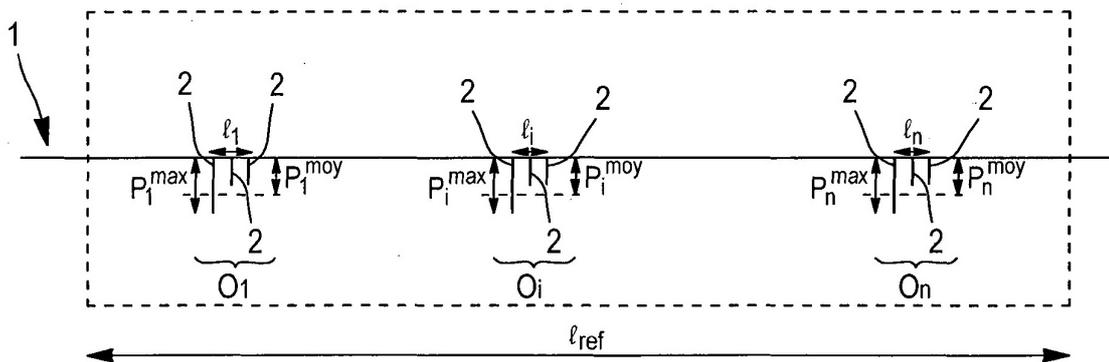


FIG. 2

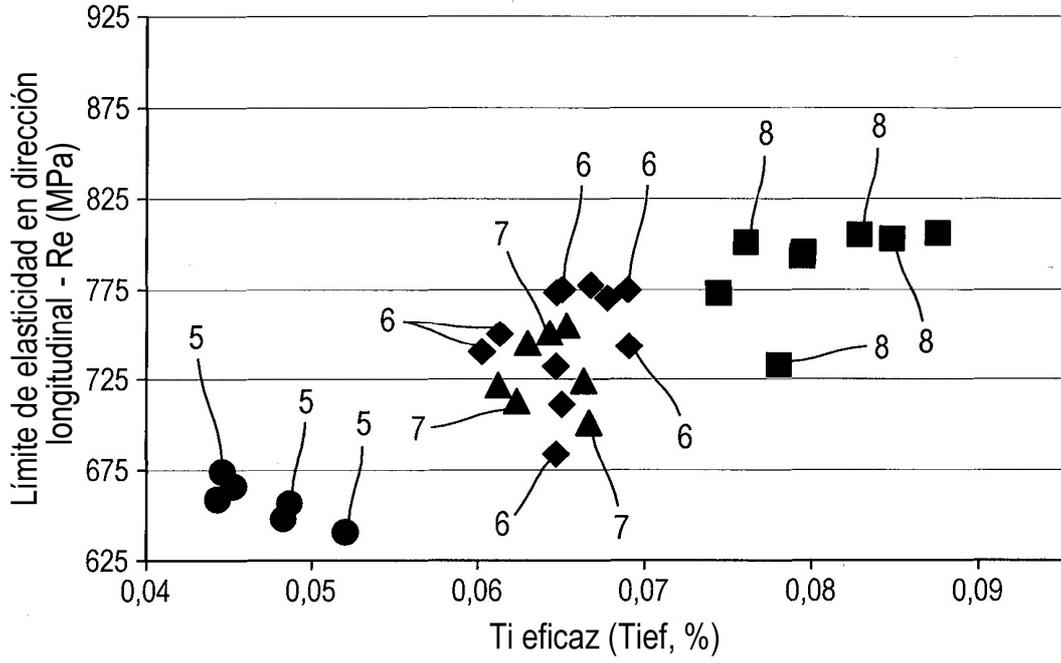


FIG. 3

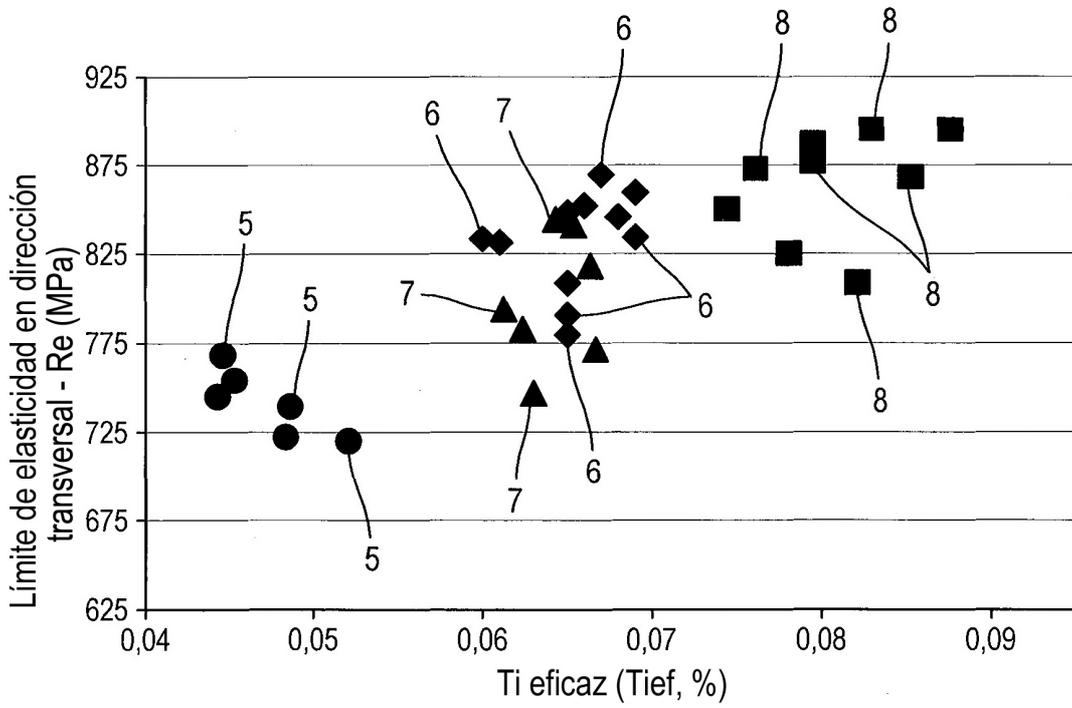


FIG. 4

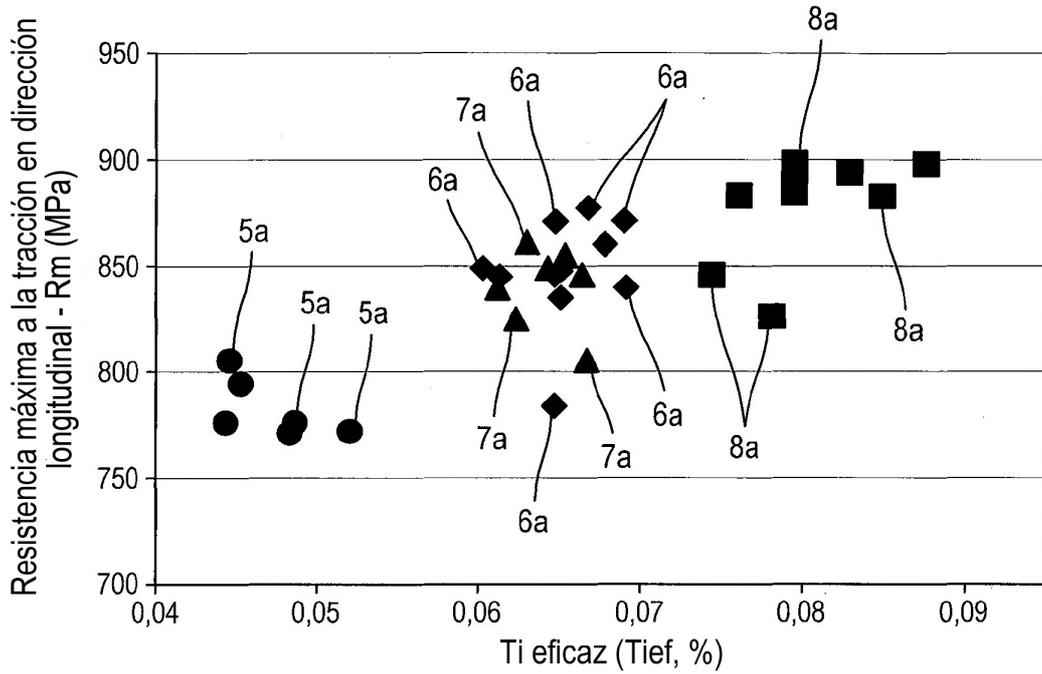


FIG. 5

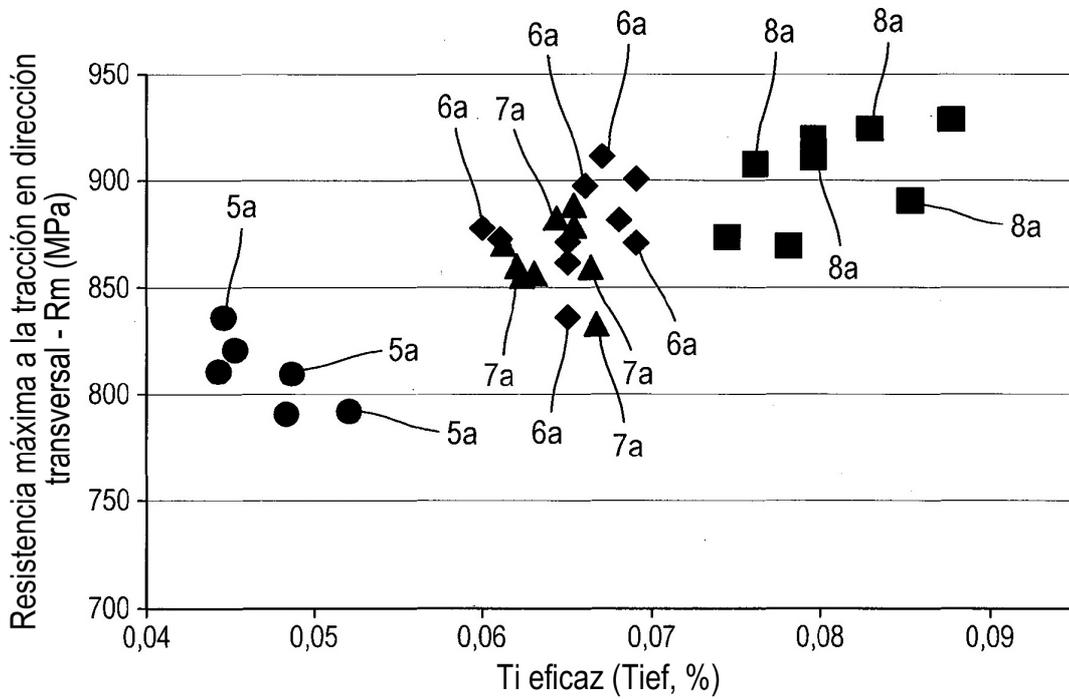


FIG. 6



FIG. 7

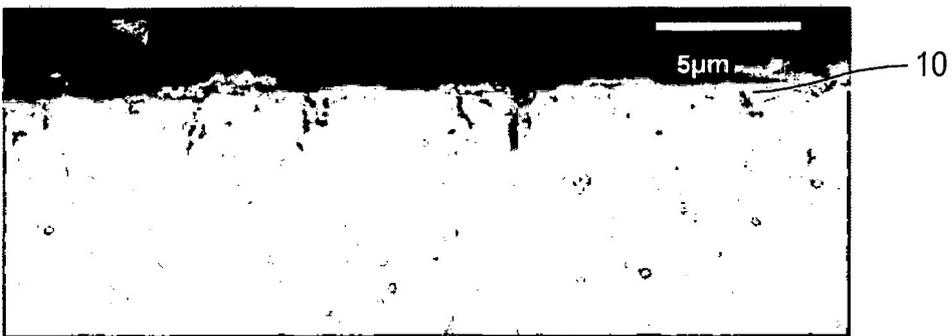


FIG. 8

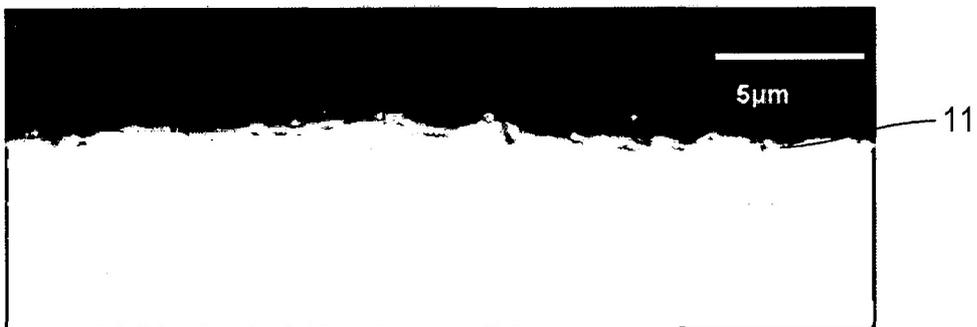


FIG. 9

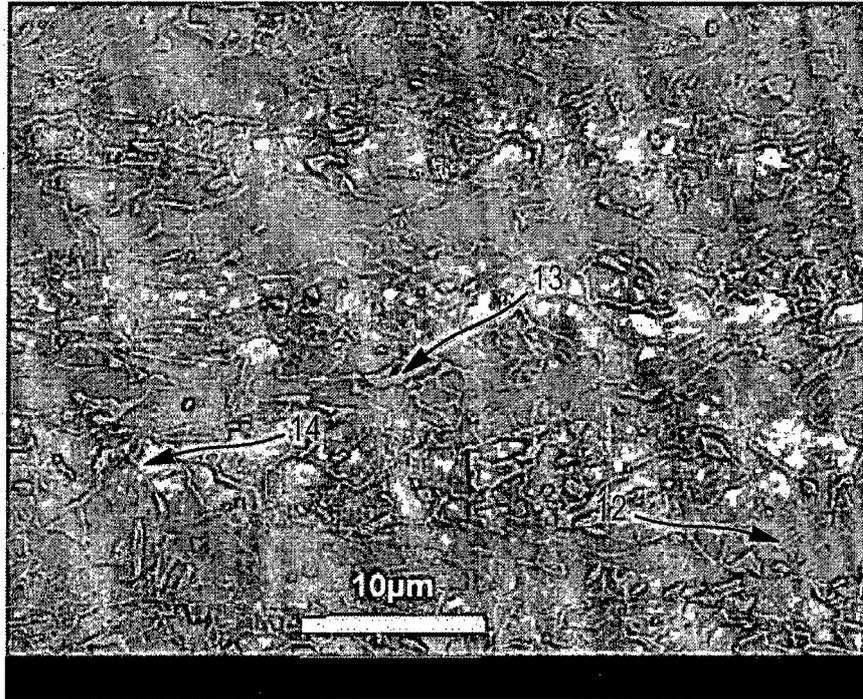


FIG. 10