

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 648 787**

51 Int. Cl.:

C21D 8/04	(2006.01)	C22C 38/26	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)	C22C 38/28	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)	C22C 38/42	(2006.01)
C22C 38/12	(2006.01)	C22C 38/50	(2006.01)
C22C 38/14	(2006.01)	C22C 38/58	(2006.01)
C23C 2/06	(2006.01)	C23C 2/02	(2006.01)
C21D 9/46	(2006.01)	C22C 38/38	(2006.01)
C21D 8/02	(2006.01)		
C22C 38/00	(2006.01)		
C22C 38/06	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.03.2012 PCT/FR2012/000104**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **27.09.2012 WO12127136**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2012 E 12714743 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.09.2017 EP 2689045**

54 Título: **Chapa de acero laminada en caliente y procedimiento de fabricación asociado**

30 Prioridad:
24.03.2011 WO PCT/FR2011/000173

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.01.2018

73 Titular/es:
**ARCELORMITTAL (100.0%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:
**PERLADE, ASTRID;
AMARD, AURÉLIE;
PECHENOT, FLORENCE;
STENBACK, ERIK;
PIPARD, JEAN MARC y
HASSANI, FARID E.**

74 Agente/Representante:
SALVA FERRER, Joan

ES 2 648 787 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

Chapa de acero laminada en caliente y procedimiento de fabricación asociado

- 5 **[0001]** La invención se refiere principalmente a una chapa de acero laminada en caliente.
- [0002]** La invención se refiere, además, a procedimientos que permiten fabricar dicha chapa de acero.
- 10 **[0003]** La necesidad de aligeramiento de los vehículos a motor y de aumento de la seguridad ha conducido a la elaboración de aceros de alta resistencia.
- [0004]** Se comenzó históricamente por desarrollar aceros que comprenden elementos de adición para obtener principalmente un endurecimiento por precipitación.
- 15 **[0005]** A continuación, se propusieron aceros «*Dual Phase*» que comprenden martensita dentro de una matriz ferrítica para obtener un endurecimiento estructural.
- [0006]** Con el fin de obtener niveles de resistencia superior combinados con una aptitud para la deformación, se desarrollaron aceros «TRIP» (*Transformation Induced Plasticity*) cuya microestructura está constituida por una
20 matriz ferrítica que consta de bainita y de austénita residual que, bajo el efecto de una deformación, por ejemplo durante una operación de estampación, se transforma en martensita.
- [0007]** Finalmente, para alcanzar una resistencia mecánica superior a 800 MPa, se han propuesto aceros multifásicos con estructura mayoritariamente bainítica. Estos aceros se utilizan en la industria, y particularmente en
25 la industria del automóvil, para realizar piezas estructurales.
- [0008]** Este tipo de acero se describe en la publicación EP 2 020 451. Con el fin de obtener un alargamiento de rotura superior al 10% así como una resistencia mecánica superior a 800 MPa, los aceros descritos en esta publicación constan, además de la presencia conocida de carbono, de manganeso y de silicio, de molibdeno y de
30 vanadio. La microestructura de estos aceros comprende esencialmente bainita superior (al menos un 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 de vanadio.
35
- [0010]** La invención pretende, por lo tanto, poner a disposición una chapa cuyos costes de fabricación son inferiores a la chapa obtenida de la publicación EP 2 020 451.
- [0011]** Además, ciertas piezas de automóviles tales como las vigas de parachoques y los brazos de
40 suspensión, se fabrican mediante operaciones de conformación que combinan diferentes modos de deformación. Ciertas características microestructurales del acero pueden revelarse bien adaptadas a un modo de deformación, pero poco favorables frente a otro modo. Ciertas partes de las piezas deben presentar una alta resistencia al alargamiento, otras deben presentar una buena aptitud a la conformación de un borde recortado.
- 45 **[0012]** Esta última propiedad se evalúa de la siguiente manera: después de la realización de un agujero mediante corte en una chapa, se utiliza una herramienta troncocónica para realizar una expansión a nivel de los bordes de este agujero. Es durante esta operación que se puede observar un daño precoz en las inmediaciones de los bordes del agujero durante la expansión, comenzando este daño en partículas de segunda fase o en las interfases entre los diferentes constituyentes microestructurales en el acero.
50
- [0013]** Descrito en la norma ISO 16630:2009, el método de expansión de agujero consiste en medir el diámetro inicial D_i del agujero antes de la estampación, y a continuación el diámetro final D_f del agujero después de la estampación, determina el momento en el que se observan fisuras pasantes en el grosor de la chapa en los bordes del agujero. Se determina entonces la aptitud para la expansión de agujero $Ac\%$ de acuerdo con la siguiente
55 fórmula:

$$Ac\% = 100 \times \frac{(D_f - D_i)}{D_i}$$
 Ac permite, por lo tanto, cuantificar la aptitud de una chapa para resistir a una estampación a nivel de un orificio recortado. De acuerdo con este método, el diámetro inicial es de 10 milímetros.
- [0014]** En estas condiciones, la invención pretende poner a disposición una chapa de acero cuya relación de

expansión de agujeros Ac% es superior o igual al 50% y esto, para un intervalo de grosor que puede obtenerse mediante un laminado en caliente, es decir de 1,5 a 4 milímetros.

[0015] Por otro lado, la invención se refiere a una chapa de acero en estado no revestido, o electrozincado o galvanizado. La composición y las características mecánicas del acero deben ser compatibles con las tensiones y los ciclos térmicos de los procedimientos de revestimiento con zinc en templado en continuo.

[0016] La invención también tiene por objetivo proponer un procedimiento de fabricación de una chapa de acero que no necesita esfuerzos de laminado importantes, lo que permite garantizar su fabricación en un amplio intervalo de grosor.

[0017] La invención también tiene por objetivo poner a disposición una chapa de acero poco sensible a los problemas de retorno elástico durante operaciones de estampación en frío. A tal efecto, el límite de elasticidad Re no debe ser superior a 840 MPa. El límite de elasticidad no debe ser inferior o igual a 690 MPa para satisfacer las exigencias de aligeramiento.

[0018] La invención también tiene por objetivo proponer una chapa de acero fácilmente soldable mediante los procedimientos de ensamblaje habituales.

[0019] Finalmente, la invención se refiere a una chapa de acero laminado en caliente de coste de fabricación económico, que presenta conjuntamente un límite de elasticidad superior a 690 MPa e inferior o igual a 840 MPa, una resistencia mecánica comprendida entre 780 MPa y 950 MPa, un alargamiento de rotura superior al 10% y una relación de expansión de agujeros Ac% superior o igual al 50%. Se entiende por límite de elasticidad superior a 690 MPa, un límite de elasticidad estrictamente superior a 690 MPa.

[0020] A tal efecto, la invención propone una chapa de acero laminado en caliente cuya composición química comprende, estando los contenidos expresados en peso:

0,040% ≤ C ≤ 0,065%
 1,4% ≤ Mn ≤ 1,9%
 0,1% ≤ Si ≤ 0,55%
 0,095% ≤ Ti ≤ 0,145%
 0,025% ≤ Nb ≤ 0,045%
 0,005% ≤ Al ≤ 0,1%
 0,002% ≤ N ≤ 0,007%
 S ≤ 0,004%
 P < 0,020
 opcionalmente
 Cr ≤ 0,7%
 Cu ≤ 0,1%
 Ni ≤ 0,25%
 B ≤ 0,003%
 Ca ≤ 0,005%
 Mg ≤ 0,005%

estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que provienen de la elaboración, cuya microestructura está constituida por bainita granular, por ferrita, por cementita en porcentaje superficial inferior al 1,5%, y por carbonitruros de titanio y de niobio, y

la relación entre el tamaño de grano D_L medido paralelamente a la dirección de laminado y el tamaño de grano D_N medido perpendicularmente a la dirección de laminado es inferior o igual a 1,4.

[0021] La chapa de la invención también puede constar de las siguientes características opcionales tomadas de forma aislada o en combinación:

- la relación entre el tamaño de grano D_L medido paralelamente a la dirección de laminado y el tamaño de grano D_N medido perpendicularmente a la dirección de laminado es inferior o igual a 1,3.

- de acuerdo con un primer aspecto de la invención, la composición química comprende, estando los contenidos expresados en peso:

	$0,045\% \leq C \leq 0,065\%$
	$1,6\% \leq Mn \leq 1,9\%$
	$0,1\% \leq Si \leq 0,55\%$
	$0,095\% \leq Ti \leq 0,125\%$
5	$0,025\% \leq Nb \leq 0,045\%$
	$0,01\% \leq Al \leq 0,1\%$
	$0,002\% \leq N \leq 0,007\%$
	$S \leq 0,004\%$
	$P < 0,020$
10	opcionalmente
	$Cu \leq 0,1\%$
	$Ni \leq 0,25\%$
	$B \leq 0,003\%$
	$Ca \leq 0,005\%$
15	$Mg \leq 0,005\%$

dicha composición no comprendiendo cromo.

- de acuerdo con el primer aspecto de la invención, la composición del acero comprende, estando los contenidos expresados en peso:

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

- de acuerdo con un segundo aspecto de la invención, la composición química comprende, estando los contenidos expresados en peso:

	$0,040\% \leq C \leq 0,065\%$
	$1,4\% \leq Mn \leq 1,9\%$
	$0,1\% \leq Si \leq 0,4\%$
30	$0,095\% \leq Ti \leq 0,145\%$
	$0,025\% \leq Nb \leq 0,045\%$
	$0,01\% \leq Al \leq 0,1\%$
	$0,002\% \leq N \leq 0,007\%$
	$0,2\% \leq Cr \leq 0,7\%$
35	$S \leq 0,004\%$
	$P < 0,020$
	opcionalmente
	$Cu \leq 0,1\%$
	$Ni \leq 0,25\%$
40	$B \leq 0,003\%$
	$Ca \leq 0,005\%$
	$Mg \leq 0,005\%$

- cuando la composición del acero comprende cromo, los contenidos de cromo son los siguientes: $0,4\% \leq Cr \leq 0,6\%$

- el porcentaje superficial de la bainita granular está comprendido entre el 80% y el 95% y porque el porcentaje superficial de la ferrita es inferior al 20%.

- la densidad de nitruros de titanio de tamaño medio superior a 6 micrómetros es inferior o igual a $3/\text{mm}^2$.

50 - la composición del acero comprende en contenido en peso:

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

- la composición del acero comprende en contenido en peso:

55

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

[0022] La invención también se refiere a un procedimiento de realización de la chapa enunciada anteriormente.

[0023] Este procedimiento se caracteriza porque se proporciona, en forma de metal líquido, un acero cuya composición comprende, estando los contenidos expresados en peso:

- 5 $0,040\% \leq C \leq 0,065\%$
 $1,4\% \leq Mn \leq 1,9\%$
 $0,1\% \leq Si \leq 0,55\%$
 $0,095\% \leq Ti \leq 0,145\%$
 $0,025\% \leq Nb \leq 0,045\%$
 10 $0,005\% \leq Al \leq 0,1\%$
 $0,002\% \leq N \leq 0,007\%$
 $S \leq 0,004\%$
 $P < 0,020$
 opcionalmente
 15 $Cr \leq 0,7\%$
 $Cu \leq 0,1\%$
 $Ni \leq 0,25\%$
 $B \leq 0,003\%$
 $Mg \leq 0,005\%$

- 20 estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables,
 porque se efectúa un tratamiento al vacío o con SiCa, en este último caso, la composición comprende además,
 estando los contenidos expresados en peso $0,0005\% \leq Ca \leq 0,005\%$,
 porque las cantidades de titanio [Ti] y de nitrógeno [N] disueltos en el metal líquido satisfacen $\%[Ti] \%[N] < 6 \cdot 10^{-4} \%$,
 25 porque se cuele el acero para obtener un producto semiacabado colado,
 porque se calienta eventualmente dicho producto semiacabado a una temperatura comprendida entre 1160°C y
 1300°C, y a continuación
 porque se lamina en caliente dicho producto semiacabado colado con una temperatura de fin de laminado
 comprendida entre 880°C y 930°C, siendo la tasa de reducción del penúltimo pase inferior a 0,25, siendo la tasa del
 30 último pase inferior a 0,15, siendo la suma de las dos tasas de reducción inferior a 0,37, siendo la temperatura de
 inicio de laminado del penúltimo pase inferior a 960°C, para obtener un producto laminado en caliente, y a
 continuación
 porque se enfría dicho producto laminado en caliente a una velocidad comprendida entre 50 y 150 °C/s para obtener
 una chapa de acero laminado en caliente,
 35 porque se bobina dicha chapa a una temperatura comprendida entre 470 y 625°C.

[0024] Este procedimiento también puede constar de, de acuerdo con un primer aspecto de la invención, las siguientes características opcionales tomadas de forma aislada o en combinación:

- 40 - la composición del acero comprende, estando los contenidos expresados en peso:

- $0,045\% \leq C \leq 0,065\%$
 $1,6\% \leq Mn \leq 1,9\%$
 $0,1\% \leq Si \leq 0,3\%$
 45 $0,025\% \leq Nb \leq 0,045\%$
 $0,095\% \leq Ti \leq 0,125\%$
 $0,01\% \leq Al \leq 0,1\%$
 $0,002\% \leq N \leq 0,007\%$
 $S \leq 0,004\%$
 50 $P < 0,020$
 opcionalmente
 $Cu \leq 0,1\%$
 $Ni \leq 0,25\%$
 $B \leq 0,003\%$
 55 $Mg \leq 0,005\%$

dicha composición no comprendiendo cromo

- en el caso en el que la composición no consta de cromo, se bobina la chapa a una temperatura comprendida entre

515 y estrictamente 620°C.

- se bobina la chapa a una temperatura comprendida entre 515 y 560°C,

se decapa dicha chapa, y a continuación

- 5 se calienta la chapa decapada a una temperatura comprendida entre 600 y 750°C, y a continuación se enfría la chapa decapada calentada a una velocidad comprendida entre 5 y 20°C/s, y se reviste con zinc la chapa obtenida en un baño de zinc adaptado.

- 10 **[0025]** El procedimiento de la invención también puede constar de, de acuerdo con un segundo aspecto de la invención, las siguientes características opcionales tomadas de forma aislada o en combinación:

- la composición del acero comprende, estando los contenidos expresados en peso:

- 15 $0,040\% \leq C \leq 0,065\%$
 $1,4\% \leq Mn \leq 1,9\%$
 $0,1\% \leq Si \leq 0,4\%$
 $0,095\% \leq Ti \leq 0,145\%$
 $0,025\% \leq Nb \leq 0,045\%$
 $0,005\% \leq Al \leq 0,1\%$
 20 $0,002\% \leq N \leq 0,007\%$
 $0,2\% \leq Cr \leq 0,7\%$
 $S \leq 0,004\%$
 $P < 0,020$
 opcionalmente
 25 $Cu \leq 0,1\%$
 $Ni \leq 0,25\%$
 $B \leq 0,003\%$
 $Ca \leq 0,005\%$
 $Mg \leq 0,005\%$

- 30 y se bobina dicha chapa a una temperatura comprendida entre 470 y 580°C

- la composición del acero comprende, estando los contenidos expresados en peso:

- 35 $0,4\% \leq Cr \leq 0,6\%$

- cuando la suma de los contenidos en Mn, Si y Cr es inferior al 2,35%, se bobina la chapa a una temperatura comprendida entre 520°C y 580 °C,

- 40 **[0026]** Otras características y ventajas de la invención surgirán durante la descripción a continuación, dada a modo de ejemplo y realizada en referencia a la figura única adjunta en la que se representa la evolución de la relación de expansión de agujeros Ac% en función del carácter equiaxial de los granos, observándose éste en una superficie pulida y atacada.

- 45 **[0027]** De acuerdo con la invención, el contenido en peso de carbono está comprendido entre el 0,040% y el 0,065%. Este intervalo de contenido de carbono permite obtener simultáneamente un alargamiento de rotura elevado y una resistencia mecánica superior a 780 MPa. Para un contenido de carbono más elevado, en particular más allá del 0,095%, la aptitud para la soldadura tiende a disminuir (tabla 1).

- 50 **[0028]** Por otro lado, el contenido máximo en peso de carbono está fijado al 0,065% lo que permite garantizar la transformación completa de austenita en bainita granular y evita de este modo la formación de martensita y de austenita y la formación conjugada de segundas fases duras que limitan la aptitud para la expansión de agujero. Este contenido máximo permite, por lo tanto, obtener una relación de expansión de agujeros Ac% superior o igual al 50%.

- 55 **[0029]** De acuerdo con la invención, el contenido en peso de manganeso está comprendido entre el 1,4% y el 1,9 %. Presente en dicha cantidad, el manganeso participa en la resistencia de la chapa y limita la formación de una banda de segregación central. Contribuye a obtener una relación de expansión de agujeros Ac% superior o igual al 50%.

[0030] Un contenido en peso de aluminio comprendido entre el 0,005% y el 0,1% permite garantizar la desoxidación del acero durante su fabricación.

5 **[0031]** De acuerdo con la invención, la composición química de la chapa de acero laminada en caliente consta también de titanio y de niobio. Estos dos elementos otorgan especialmente a la chapa la resistencia prevista, el endurecimiento necesario y la relación de expansión de agujeros Ac% prevista. Estos dos elementos otorgan, cada uno, a la chapa propiedades específicas de resistencia, de endurecimiento y de relación de expansión de agujeros. Se ha descubierto en el marco de la presente invención que estos dos elementos debían estar presentes
10 en la composición del acero en contenidos específicos.

[0032] El titanio está, más particularmente, presente en el acero en una cantidad comprendida entre el 0,095% y el 0,145% en peso. Por debajo del 0,095%, no se alcanza la resistencia mecánica de 780 MPa y más allá del 0,145%, existen riesgos de precipitación de los nitruros de titanio groseros que pueden conducir a un daño
15 precoz durante la expansión de agujero. En efecto, cuando están presentes nitruros de tamaño superior a 6 micrómetros, se constata que estos están mayoritariamente en el origen de las descohesiones con la matriz durante etapas de corte y de estampación.

[0033] Además, está previsto que el contenido en peso del nitrógeno esté comprendido entre el 0,002% y el
20 0,007%. El nitrógeno debe ser inferior al 0,007% con el objetivo de evitar una precipitación precoz de nitruros en el metal líquido. Aunque el contenido de nitrógeno pueda ser extremadamente bajo, se fija su valor límite en el 0,002% para que la fabricación pueda realizarse en condiciones económicamente satisfactorias.

[0034] En lo que respecta al niobio, su contenido en peso en la composición del acero está comprendido
25 entre el 0,025% y el 0,045% y preferentemente entre el 0,025% y el 0,035%. En contenido másico superior al 0,025%, el niobio se endurece eficazmente mediante la formación de carbonitruros muy finos. Sin embargo, más allá de un contenido en peso del 0,045 %, se retarda la recristalización de la austenita. La estructura contiene entonces una fracción significativa de granos alargados, lo que ya no permite alcanzar la relación de expansión de agujeros Ac% prevista.

30 **[0035]** La adición conjunta de titanio y de niobio en las proporciones específicas indicadas anteriormente, permite alcanzar propiedades de endurecimiento y de aptitud para la expansión de agujero óptimas.

[0036] De este modo, el acero de acuerdo con la invención no consta de adición costosa de molibdeno.

35 **[0037]** A título opcional, la composición puede constar de cromo en una cantidad inferior o igual al 0,7%, para mejorar la calidad de la superficie, más particularmente en un contenido comprendido entre el 0,4 y el 0,6%. De acuerdo con un aspecto de la invención, su presencia no es, sin embargo, absolutamente necesaria, lo que presenta la ventaja de evitar adiciones costosas. De acuerdo con otro aspecto de la invención, la adición de cromo en una
40 cantidad comprendida entre el 0,2 y el 0,7%, preferentemente entre el 0,4 y el 0,6%, permite bobinar a temperaturas más bajas, como se detallará más adelante.

[0038] La composición también puede comprender la presencia opcional de cobre en una cantidad comprendida hasta el 0,1%, y/o de níquel en una cantidad comprendida hasta el 0,25%.

45 **[0039]** Con el objetivo de mejorar la calidad de superficie, la composición también puede constar, a título opcional, de boro en una cantidad inferior o igual al 0,003%, y preferentemente entre el 0,0015 y el 0,0025%.

[0040] De acuerdo con la invención, el silicio está presente en la composición química de la chapa, de
50 acuerdo con un contenido en peso comprendido entre el 0,1% y el 0,55%.

[0041] El silicio retarda la precipitación de la cementita. En las cantidades definidas de acuerdo con la invención, ésta precipita en una cantidad muy baja, es decir en contenido superficial inferior al 1,5% y en una forma muy fina. Esta morfología más fina de la cementita permite obtener una aptitud para la expansión de agujeros
55 elevada, superior o igual al 50%.

[0042] El contenido de azufre del acero de acuerdo con la invención es inferior al 0,004% con el objetivo de limitar la formación de sulfuros, especialmente de sulfuros de manganeso.

[0043] Los bajos contenidos de azufre y de nitrógeno presentes en la composición de la chapa favorecen la aptitud para la expansión de agujero.

[0044] El contenido de fósforo del acero de acuerdo con la invención es inferior al 0,020% con el objetivo de favorecer la aptitud para la expansión de agujero y la soldabilidad.

[0045] Se puede prever, por otro lado, que la composición del acero incluya la presencia de calcio para un contenido en peso inferior o igual al 0,005%, preferentemente comprendido entre el 0,0005% y el 0,005% y/o la presencia de magnesio para un contenido en peso inferior o igual al 0,005%, preferentemente comprendido entre el 0,0005 y el 0,005%.

[0046] Estos dos elementos permiten formar finos óxidos u oxisulfuros de calcio y de magnesio. Estos sirven de gérmenes para una precipitación posterior muy fina de nitruros/carbonitruros de titanio. La reducción del tamaño de los carbonitruros permite entonces obtener una mejor aptitud para la expansión de agujero. La microestructura de la chapa de la invención consta de bainita granular.

[0047] La bainita granular se distingue de la bainita superior e inferior. Consultar el 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 la bainita granular.

[0048] De acuerdo con este artículo, se define la bainita granular que compone la microestructura de la chapa de la invención como que presenta una proporción importante de granos adyacentes fuertemente desorientados y una morfología irregular de los granos.

[0049] De acuerdo con la invención, la cementita está presente en poca cantidad, limitada por una fracción superficial que no supera el 1,5%. El daño que se produce entre la matriz bainítica y la cementita netamente más dura, está de este modo limitado. Este bajo contenido de cementita proviene especialmente de la adición de silicio utilizado y permite obtener una chapa de acero con una relación de expansión de agujeros Ac% superior o igual al 50%.

[0050] La chapa puede contener hasta un 20% de ferrita en porcentaje superficial.

[0051] Finalmente, de acuerdo con la invención, la chapa contiene también carbonitruros de titanio y de niobio.

[0052] La chapa de la invención está libre de martensita y de austenita, lo que permite evitar la presencia de segundas fases dures que tendrían el efecto de limitar la relación de expansión de agujeros Ac%. La microestructura de la chapa de la invención está principalmente constituida por bainita granular y eventualmente por ferrita y por cementita en proporciones determinadas e indicadas anteriormente. El endurecimiento de la chapa se obtiene mediante precipitación y se constata la ausencia de segundas fases duras mencionadas anteriormente.

[0053] Se hace referencia a la figura 1 que ilustra la relación entre el tamaño de grano D_L medido paralelamente a la dirección de laminado y el tamaño de grano D_N medido perpendicularmente a la dirección de laminado, y la relación de expansión de agujeros Ac.

[0054] La relación D_L/D_N se determina de la siguiente manera: se observa la microestructura, en corte pulido y atacado por medio de un reactivo conocido en sí mismo, por microscopía óptica con aumentos que van de 500 a 1500x aproximadamente sobre una superficie que consta de una población de granos estadísticamente representativa. Se determina por medio de un programa de análisis de imágenes conocido en sí mismo, tal como por ejemplo por cartografía EBSD (*Electron Back Scattered Diffraction*), los tamaños medios de granos medidos paralelamente (D_L) y perpendicularmente (D_N) a la dirección de laminado. La relación D_L/D_N caracteriza, por lo tanto, el alargamiento medio de los granos en el sentido del laminado, llamado de otro modo el carácter equiaxial.

[0055] Como se presenta en la figura 1, los inventores han demostrado que existe una relación entre el coeficiente de expansión de agujero Ac% y la relación D_L/D_N . La recta trazada en la figura 1 indica la envuelta inferior de los resultados experimentales y permite determinar, a nivel de expansión de agujero dado, el valor de la relación D_L/D_N que conviene no superar, para alcanzar este nivel dado. De este modo se demuestra que para obtener un coeficiente Ac superior o igual al 50%, la relación D_L/D_N debe ser inferior o igual a 1,4, lo que significa que los granos deben ser relativamente equiaxiales. Para obtener un relación de expansión de agujeros Ac%

superior al 65 o al 100%, la relación D_L/D_N debe ser respectivamente inferior o igual a 1,3 o 1,1.

[0056] Por otro lado, el porcentaje superficial de la bainita granular está comprendido entre el 80% y el 95% y el porcentaje superficial de la ferrita es inferior al 20%.

5

[0057] Con el fin de obtener un contenido superficial de cementita inferior al 1,5%, el contenido de silicio está comprendido entre el 0,1 y el 0,55% en peso.

[0058] Las tablas 1, 2A, 2B y 2C a continuación muestran la influencia de la composición química y de las condiciones de fabricación de una chapa de acero laminado en caliente sobre la microestructura y la resistencia mecánica, el alargamiento de rotura, la relación de expansión de agujeros Ac% y la relación D_L/D_N .

10

[0059] Todas estas composiciones de acero tienen un contenido de fósforo inferior al 0,020% en peso.

[0060] Estas tablas dan también informaciones sobre el coste de fabricación de la chapa, sobre la facilidad de fabricar chapas laminadas en caliente en un intervalo de grosor que va de 1,5 a 4 milímetros, así como sobre la soldabilidad.

15

[0061] Las temperaturas de bobinado de las chapas de acero laminadas en caliente y enfriadas se indican para todos los ejemplos presentes en estas tablas así como para ciertos contraejemplos.

20

[0062] Estas tablas indican también la presencia más o menos importante de compuestos «M-A», es decir «Martensita-Austenita residual». Debido a su dureza intrínseca (martensita) o a su aptitud para formar martensita bajo la influencia de una deformación (austenita residual), la presencia de estos compuestos que asocian en proporción variable martensita y austenita residual, es nefasta para la obtención de valores elevados de relaciones de expansión de agujero.

25

[0063] Todas las composiciones y las condiciones de elaboración de las chapas de acuerdo con la invención son tales que la densidad de TiN de tamaño medio superior a 6 micrómetros, es inferior o igual a 3/mm².

30

[0064] La tabla 1 se refiere específicamente a ejemplos en los que la composición del acero no consta de cromo.

[0065] El contraejemplo 1 corresponde a una chapa de la publicación EP 2 020 451. En esta chapa, como se ha explicado anteriormente, la presencia de vanadio y de molibdeno genera costes demasiado importantes.

35

[0066] El contraejemplo 2 muestra que en ausencia de molibdeno y en presencia de vanadio, la chapa obtenida presenta una resistencia máxima a la tracción demasiado baja.

[0067] Esta resistencia máxima a la tracción R_m se puede aumentar mediante adición de carbono y de niobio (contraejemplo 3), pero en este caso, la relación de expansión de agujeros es insuficiente.

40

[0068] En el contraejemplo 4, un contenido de niobio del 0,03% y un bajo contenido de titanio genera, una vez más, una resistencia máxima a la tracción demasiado baja.

45

[0069] Los contraejemplos 2, 3 y 4 presentan, además, una presencia demasiado importante de compuestos M-A definidos anteriormente.

[0070] En los contraejemplos 5 y 6, los contenidos de niobio y de titanio son elevados. Se observa que, con (contraejemplo 5) o sin (contraejemplo 6) molibdeno, la relación de expansión de agujeros es insuficiente y la relación D_L/D_N es demasiado elevada. Además, para el contraejemplo 5, contenidos elevados de niobio y de molibdeno generan problemas de viabilidad dimensional.

50

[0071] Finalmente, el contraejemplo 7 difiere del contraejemplo 3 en que la composición no consta de vanadio y consta de un contenido elevado de carbono. Se constata en este caso una soldabilidad insuficiente, una proporción nefasta de compuestos «M-A», así como un límite de elasticidad y una relación de expansión de agujeros insuficientes.

55

[0072] Los ejemplos 1 a 3 entran en el marco de la invención para un contenido de silicio comprendido entre

el 0,1% y el 0,55%.

[0073] Debido a la ausencia de elementos endurecedores (Mo especialmente) y al contenido limitado de niobio, los aceros de acuerdo con la invención permiten una fabricación fácil por laminado en caliente en un amplio intervalo de grosor.

[0074] Las tablas 2A, 2B y 2C se refieren específicamente a composiciones que constan de cromo en contenidos comprendidos entre el 0,2 y el 0,7%.

10 **[0075]** Las temperaturas de bobinado de las chapas de acero laminadas en caliente y enfriadas son de 500°C y 550°C.

[0076] En los contraejemplos A y B, el contenido de manganeso es del 1,296%. Para estos dos contraejemplos, se constata que sea cual sea la temperatura de bobinado de 500°C o de 550°C, la chapa no presenta las propiedades requeridas, especialmente en términos de resistencia máxima a la tracción.

[0077] En los contraejemplos C y D, el contenido de silicio es del 0,6%. Para estos dos contraejemplos, se constata que sea cual sea la temperatura de bobinado de 500°C o de 550°C, la chapa no presenta las propiedades requeridas, especialmente debido a la presencia de numerosos compuestos «M-A»

20 **[0078]** Los otros resultados presentados en las tablas 2A, 2B y 2C se clasifican de acuerdo con la suma creciente de los contenidos adicionados de manganeso, silicio y cromo.

[0079] Pruebas realizadas con una composición que entra en el marco de la invención para una suma de los contenidos de Mn, Si y Cr inferior a 2,35 y una temperatura de bobinado de 500°C condujeron a resultados insatisfactorios, especialmente en términos de resistencia máxima a la tracción.

[0080] Cuando la suma de los contenidos de Mn, Si y Cr es superior a 2,35, las propiedades de la chapa obtenida son satisfactorias sea cual sea la temperatura de bobinado de 500°C o de 550°C.

30 **[0081]** El procedimiento de fabricación de una chapa de acero definida anteriormente y que consta de un contenido en peso de silicio comprendida entre el 0,1% y el 0,55% comprende las etapas siguientes:

Se proporciona, en forma de metal líquido, un acero cuya composición comprende, estando los contenidos expresados en peso:

35 $0,040\% \leq C \leq 0,065\%$
 $1,4\% \leq Mn \leq 1,9\%$
 $0,1\% \leq Si \leq 0,55\%$
 $0,095\% \leq Ti \leq 0,145\%$
 40 $0,025\% \leq Nb \leq 0,045\%$
 $0,01\% \leq Al \leq 0,1\%$
 $0,002\% \leq N \leq 0,007\%$
 $S \leq 0,004\%$,
 $P < 0,020\%$ y opcionalmente:
 45 $Cr \leq 0,7\%$
 $Cu \leq 0,1\%$
 $Ni \leq 0,25\%$
 $B \leq 0,003\%$
 $Mg \leq 0,005\%$,

50 estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables.

[0082] En el metal líquido que contiene un contenido de nitrógeno [N] disuelto, se añade el titanio [Ti] de forma que las cantidades de titanio [Ti] y de nitrógeno [N] disueltas en el metal líquido satisfagan $\%[Ti] \%[N] < 6 \cdot 10^{-4} \%^2$.

[0083] Se efectúa en el metal líquido bien un tratamiento al vacío, bien un tratamiento con silicio-calcio (SiCa), en cuyo caso estará previsto que la composición comprenda además un contenido en peso de calcio tal que $0,0005\% \leq Ca \leq 0,005\%$,

60

TABLA 1

	Composición química (en %)											Ti	Nb	Mo	Expansion de agujero (Método ISO)	Relación de alargamiento de los granos DN/DL	V	N
	C	Mn	Si	Al	S	Cr	Ni	Co	Cu	P	As							
Contraejemplo 1	<u>0.076</u>	1,661	0,22	0,03	0,003	0,408	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>0.154</u>	0,007	
Contraejemplo 2	<u>0.095</u>	<u>2.054</u>	0,21	0,035	0,002	0,399	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>0.162</u>	0,003	
Contraejemplo 3	<u>0.125</u>	<u>2.067</u>	0,204	0,038	0,001	0,402	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>0.164</u>	0,004	
Contraejemplo 4	0,06	<u>2.011</u>	0,502	0,04	0,002	0,514	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,004	
Contraejemplo 5	0,05	1,66	0,227	0,035	0,003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,006	
Contraejemplo 6	0,057	1,626	0,206	0,033	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,005	
Contraejemplo 7	<u>0.095</u>	<u>1.943</u>	0,482	0,04	0,002	0,505	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,005	
Ejemplo 1 *	0,05	1,7	0,2	0,033	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,005	
Ejemplo 2 **	0,049	1,64	0,215	0,032	0,003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,004	
Ejemplo 3 ***	0,064	1,778	0,521	0,05	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,006	
	Coste analítico	Viabilidad de grosor	Soldabilidad	Fracción de islores MA	Límite de elasticidad Re (Mpa)	Resistencia máxima a la tracción Rm (Mpa)	Alargamiento total de rotura	Expansion de agujero (Método ISO)	Relación de alargamiento de los granos DN/DL									
Contraejemplo 1	•	○	○	○	760	867	10	64	ND									
Contraejemplo 2		○			<u>690</u>	<u>750</u>	13,4	ND	ND							•	Malo	
Contraejemplo 3		○		•	765	847	16,6	<u>33.3</u>	ND								Medio	
Contraejemplo 4	○	○	○		<u>674</u>	<u>730</u>	18,1	ND	ND							○	Bueno	
Contraejemplo 5	•	•	○	○	836	878	13,4	<u>45</u>	<u>1.8</u>							ND	Sin determinar	

3

Contraejemplo 6	o		o	o	813,5	820	13,5	43,1	1,44		
Contraejemplo 7	o			•	668	966	12,8	21,8	ND		
Ejemplo 1 *	o	o	o	o	816,5	821	14,8	66,5	1,35	*	T bobinado: 590°C
Ejemplo 2 **	o	o	o	o	818	824	14,4	78	ND	**	T bobinado: 500°C
Ejemplo 3 ***	o	o	o	o	776	864	16,8	53	ND	***	T bobinado: 578°C

TABLA 2A

	Composición química (en %)												
	C	Mn	Si	Al	S	Cr	Nb	Ti	N	Mn+Si+Cr			
Contraejemplo A *	0,049	1,296	0,209	0,03	<0,001	0,616	0,033	0,102	0,004	-			
Contraejemplo B **	0,049	1,296	0,209	0,03	<0,001	0,616	0,033	0,102	0,004	-			
Contraejemplo C *	0,055	1,6	0,6	0,045	<0,001	0,6	0,03	0,125	0,004	-			
Contraejemplo D **	0,055	1,6	0,6	0,045	<0,001	0,6	0,03	0,125	0,004	-			
Ejemplo 1 *	0,048	1,492	0,206	0,031	<0,001	0,612	0,031	0,1	0,004	2,31			
Ejemplo 2 *	0,048	1,501	0,207	0,031	<0,001	0,614	0,032	0,1	0,005	2,322			
Ejemplo 3**	0,056	1,78	0,207	0,038	0,002	0,405	0,03	0,108	0,005	2,392			
Ejemplo 4*	0,045	1,78	0,4	0,038	0,002	0,22	0,03	0,122	0,004	2,4			
Ejemplo 5 **	0,045	1,78	0,4	0,038	0,002	0,22	0,03	0,122	0,004	2,4			
Coste analítico		Viabilidad de grosor	Soldabilidad	Fracción de islotes M-A	Límite de elasticidad Re (Mpa)	Resistencia máxima a la tracción Rm (Mpa)	Alargamiento total de rotura	Expansión de agujero (Método ISO)					
Contraejemplo A *	o	o	o	o	725	770	8	72					
Contraejemplo B **	o	o	o	o	725	769	16,3	100	•		Malo		

Ejemplo 6*	o	o	o	o	o	783	829	16,8	67		
Ejemplo 7**	o	o	o	o	o	739	783	14,9	58	•	Malo
Ejemplo 8*	o	o	o	o	o	764	827	17,7	51		Medio
Ejemplo 9**	o	o	o	o	o	741	794	13,8	87	o	Bueno
Ejemplo 10**	o	o	o	o	o	762	809	14,6	64	ND	Sin determinar
Ejemplo 11*	o	o	o	o	o	ND	825	15	53		
Ejemplo 12*	o	o	o	o	o	785	826	16,6	72		*T bobinado: 550°C
Ejemplo 13**	o	o	o	o	o	741	793	15,2	82	**T 500°C	bobinado:

TABLA 2C

	Composición química (en %)										
	C	Mn	Si	Al	S	Cr	Nb	Ti	N	Mn+Si+Cr	
Ejemplo 14*	0,045	1,76	0,4	0,035	0,002	0,393	0,03	0,12	0,004	2,553	
Ejemplo 15**	0,045	1,76	0,4	0,035	0,002	0,393	0,03	0,12	0,004	2,553	
Ejemplo 16**	0,055	1,6	0,4	0,045	<0,001	0,6	0,03	0,125	0,004	2,6	
Ejemplo 17*	0,045	1,696	0,293	0,039	<0,003	0,63	0,03	0,121	0,005	2,619	
Ejemplo 18**	0,045	1,696	0,293	0,039	<0,003	0,63	0,03	0,121	0,005	2,619	
Ejemplo 19**	0,053	1,8	0,199	0,022	0,002	0,626	0,032	0,105	0,006	2,625	
Ejemplo 20**	0,053	1,8	0,344	0,022	0,002	0,627	0,032	0,106	0,006	2,771	

	Coste analítico	Viabilidad de grosor	Soldabilidad	Fracción de islotes M-A	Límite de elasticidad Re (Mpa)	de Resistencia máxima a tracción Rm (Mpa)	Alargamiento total de rotura	Expansión de agujero (Método ISO)		
Ejemplo 14*	o	o	o	o	786	838	15,5	75		
Ejemplo 15**	o	o	o	o	754	799	14	69	•	Malo
Ejemplo 16**	o	o	o	o	803	840	15,5	72		Medio
Ejemplo 17*	o	o	o	o	824	864	14,2	62	o	Bueno
Ejemplo 18**	o	o	o	o	768	811	15	71	ND	Sin determinar
Ejemplo 19**	o	o	o	o	741	811	15,9	68	*T bobinado: 550°C	

- [0084]** En estas condiciones, los nitruros de titanio no precipitan precozmente en forma grosera en el metal líquido, lo que tendría el efecto de reducir la aptitud para la expansión de agujero. La precipitación del titanio tiene lugar a menor temperatura en forma de carbonitruros finos distribuidos uniformemente. Esta precipitación fina contribuye al endurecimiento y al afinamiento de la microestructura.
- [0085]** A continuación se cuela el acero para obtener un producto semiacabado colado. Esto puede hacerse preferentemente mediante colada continua. Muy preferentemente, la colada puede realizarse entre cilindros contrarrotatorios para obtener un producto semiacabado colado en forma de esbozos delgados o de bandas delgadas. En efecto, estos modos de colada conducen a una disminución del tamaño de los precipitados, favorables para la expansión de agujero en el producto obtenido en estado final.
- [0086]** El producto semiacabado obtenido se calienta a continuación a una temperatura comprendida entre 1160 y 1300°C. Por debajo de 1160°C, la resistencia mecánica a la tracción prevista de 780 MPa no se alcanza. Naturalmente, en el caso de una colada directa de esbozos delgados, la etapa de laminado en caliente de los productos semiacabados que comienza a más de 1160°C puede realizarse directamente después de la colada, es decir sin enfriamiento del producto semiacabado hasta temperatura ambiente, y por lo tanto sin que sea necesario efectuar una etapa de calentamiento. A continuación, se lamina en caliente dicho producto semiacabado colado con una temperatura de fin de laminado comprendida entre 880 y 930°C, siendo la tasa de reducción del penúltimo pase inferior a 0,25, siendo la tasa del último pase inferior a 0,15, siendo la suma de las dos tasas de reducción inferior a 0,37, siendo la temperatura de inicio de laminado del penúltimo pase inferior a 960°C, para obtener un producto laminado en caliente.
- [0087]** Se lamina, por lo tanto, durante los dos últimos pases a una temperatura inferior a la temperatura de no recristalización, lo que impide la recristalización de la austenita. Se pretende, de este modo, no provocar una deformación excesiva de la austenita durante estos dos últimos pases.
- [0088]** Estas condiciones permiten crear un grano lo más equiaxial posible para satisfacer las exigencias relativas a la relación de expansión de agujeros Ac%.
- [0089]** Después del laminado, se enfría el producto laminado en caliente a una velocidad comprendida entre 50 y 150 °C/s para obtener una chapa de acero laminado en caliente. Este modo de enfriamiento se denomina «directo», es decir que se realiza en una sola etapa sin meseta intermedia de enfriamiento.
- [0090]** Finalmente, se bobina la chapa obtenida a una temperatura comprendida entre 470 y 625°C. Esta temperatura es importante ya que una temperatura de bobinado superior a 625°C conducirá a una relación de expansión de agujeros Ac% inferior al 50%.
- [0091]** En el caso de la fabricación de una chapa no revestida, la temperatura de bobinado estará comprendida entre 470 y 625°C para que la precipitación sea la más densa y la más endurecedora posible.
- [0092]** En el caso de la fabricación de una chapa que se someterá a una operación de galvanización, la temperatura de bobinado estará comprendida entre 515 y 560°C y esto, para compensar la precipitación complementaria que tiene lugar durante el tratamiento de calentamiento asociado a la operación de galvanización.
- [0093]** En este último caso, la chapa bobinada se decapará a continuación y después se calentará a una temperatura comprendida entre 600 y 750°C. La chapa se enfriará entonces a una velocidad comprendida entre 5 y 20°C/s, y a continuación se revestirá con zinc en un baño de zinc adaptado.
- [0094]** En la tabla 3 que comprende, se hizo variar la temperatura de calentamiento de esbozo, y/o la temperatura de bobinado para tres chapas de composiciones químicas diferentes, una que contiene un 0,215% de Si (composición A), la segunda un 0,490% de Si (composición B) y la tercera un 0,21% de Si (composición C).
- [0095]** Todas las chapas de acero de acuerdo con la invención se laminaron con una tasa de reducción de 0,15 en el penúltimo pase de laminado, y una tasa de reducción de 0,07 en el último pase de laminado, siendo la deformación acumulada durante estos dos pases de 0,22. Al terminar el laminado en caliente, se obtiene, por lo tanto, una austenita poco deformada.

[0096] En el caso del acero de las composiciones A y B, cuando la temperatura de bobinado es demasiado elevada (650°C, ensayos A1 y B3), la relación de expansión Ac de agujero es netamente inferior al 50%.

[0097] En el caso del acero de composición B, cuando la temperatura de calentamiento del esbozo es solamente de 1150°C (ensayo B2), la resistencia mecánica prevista de 780 MPa no se alcanza.

[0098] De este modo, en el caso en el que la composición no consta de cromo (tabla 3), la temperatura de bobinado está comprendida entre 470°C y estrictamente 620°C. La temperatura de 620°C es excluida de acuerdo con el ensayo B4 de la tabla 3. Se preferirá una temperatura de bobinado comprendida entre 525°C y estrictamente 620°C.

[0099] En el caso en el que la composición consta de cromo, la temperatura de bobinado está preferentemente comprendida entre 470°C y 580°C de acuerdo con las tablas 2A, 2B y 2C.

15 **[0100]** También se realizan otros ensayos en un acero que contiene un 0,245% de Si y una pequeña cantidad de Cr al 0,0299% cuya composición figura en la tabla 4 a continuación. Se determinó el límite de elasticidad Re, la resistencia Rm, y el alargamiento de rotura A. Estos ensayos se realizaron a partir de un esbozo calentado a 1240°C, laminado en caliente hasta una temperatura de fin de laminado de 900°C, enfriado directamente a 70°C/s, a continuación bobinado a una temperatura comprendida entre 440 y 540°C y enfriado hasta una temperatura ambiente. La chapa se calienta a continuación hasta una temperatura comprendida entre 580 y 720°C antes de galvanizarla de forma continua en un baño de Zn.

20 **[0101]** Para el ensayo C1, la temperatura de bobinado demasiado baja no permite una precipitación y un endurecimiento suficiente, la resistencia no alcanza 780MPa. Lo mismo ocurre para el ensayo C2, en el que se aumentó la temperatura de calentamiento antes de la galvanización, sin que se llegue a alcanzar la resistencia deseada.

Para el ensayo C3, el endurecimiento fue excesivo y el límite de elasticidad supera el nivel buscado de 840MPa.

TABLA 3

		Nº de ensayo	Temperatura de calentamiento de esbozo (°C)	Temperatura de fin de laminado (°C)	Temperatura de bobinado (°C)	Límite de elasticidad Re (Mpa)	Resistencia máxima a la tracción Rm (MPa)	Alargamiento total de rotura (%)	Expansión de agujero Ac (Método ISO) (%)
	Composición B	B1	1250	900	500	768	784	16,4	93
Efecto de calentamiento	Composición B	B2	1150	900	500	672	703	18,1	112
Efecto de bobinado	Composición A	A1	1240	900	650	824	833	15,3	34
	Composición A	A2	1240	900	560	836,5	847	14,5	50
	Composición C	C1	1250	900	500	742	774	14,8	94
	Composición B	B3	1240	900	650	821,5	833,5	15,1	47
	Composición B	B4	1240	900	620	877	887,5	14,4	46
	Composición B	B5	1250	900	500	768	784	16,4	93
	Composición C	Mn	Si	Al	Nb	Ti	N	S	P
Composición A	0,049	1,64	0,215	0,032	0,041	0,112	0,004	0,003	0,018
Composición B	0,049	1,63	0,49	0,032	0,04	0,11	0,004	0,002	0,018
Composición C	0,051	1,66	0,21	0,006	0,04	0,115	0,002	0,002	0,015

TABLA 4

N° de ensayo	Temperatura de bobinado (°C)	Temperatura de calentamiento antes de galvanización (°C)	Límite de elasticidad (Mpa)	de Re	Resistencia mecánica Rm (MPa)	A (%)
C1	440	580	695		765	12,4
C2	440	630	708		774	8,5
C3	500	720	842		888	12,4
C4	540	660	771		824	14

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu	Nb	Ti	N
0,0528	0,245	1,791	0,0114	0,0015	0,0299	0,0248	0,0359	0,0295	0,0285	0,0995	0,007

REIVINDICACIONES

1. Chapa de acero laminado en caliente de límite de elasticidad superior a 690 MPa e inferior o igual a 840 MPa, de resistencia comprendida entre 780 MPa y 950 MPa, de alargamiento de rotura superior al 10% y de relación de expansión de agujeros (Ac) superior o igual al 50%, cuya composición química comprende, estando los contenidos expresados en peso:
- 10 0,040% ≤ C ≤ 0,065%
1,4% ≤ Mn ≤ 1,9%
0,1% ≤ Si ≤ 0,55%
0,095% ≤ Ti ≤ 0,145%
0,025% ≤ Nb ≤ 0,045%
0,005% ≤ Al ≤ 0,1%
0,002% ≤ N ≤ 0,007%
- 15 S ≤ 0,004%
P < 0,020%
opcionalmente
Cr ≤ 0,7%
Cu ≤ 0,1%
- 20 Ni ≤ 0,25%
B ≤ 0,003%
Ca ≤ 0,005%
Mg ≤ 0,005%
- 25 estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que provienen de la elaboración, cuya microestructura está constituida por bainita granular, por ferrita, por cementita en porcentaje superficial inferior al 1,5%, y por carbonitruros de titanio y de niobio, cuya densidad de nitruros de titanio de tamaño medio superior a 6 micrómetros es inferior o igual a 3/mm², y la relación entre el tamaño de grano D_L medido paralelamente a la dirección de laminado y el tamaño de grano D_N medido perpendicularmente a la dirección de laminado es inferior o igual a 1,4.
- 30
2. Chapa de acero de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada porque** la relación entre el tamaño de grano D_L medido paralelamente a la dirección de laminado y el tamaño de grano D_N medido perpendicularmente a la dirección de laminado es inferior o igual a 1,3.
- 35
3. Chapa de acero de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizada porque** la composición química comprende, estando los contenidos expresados en peso:
- 40 0,045% ≤ C ≤ 0,065%
1,6% ≤ Mn ≤ 1,9%
0,1% ≤ Si ≤ 0,55%
0,095% ≤ Ti ≤ 0,125%
0,025% ≤ Nb ≤ 0,045%
0,01% ≤ Al ≤ 0,1%
- 45 0,002% ≤ N ≤ 0,007%
S ≤ 0,004%
P < 0,020%
opcionalmente
Cu ≤ 0,1%
- 50 Ni ≤ 0,25%
B ≤ 0,003%
Ca ≤ 0,005%
Mg ≤ 0,005%
- 55 dicha composición no comprendiendo cromo.
4. Chapa de acero de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** la composición del acero comprende, estando los contenidos expresados en peso:

$0,1\% \leq \text{Si} \leq 0,3\%$.

5. Chapa de acero de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada porque** la composición química comprende, estando los contenidos expresados en peso:

5
 $0,040\% \leq \text{C} \leq 0,065\%$
 $1,4\% \leq \text{Mn} \leq 1,9\%$
 $0,1\% \leq \text{Si} \leq 0,4\%$
 $0,095\% \leq \text{Ti} \leq 0,145\%$
10 $0,025\% \leq \text{Nb} \leq 0,045\%$
 $0,01\% \leq \text{Al} \leq 0,1\%$
 $0,002\% \leq \text{N} \leq 0,007\%$
 $0,2\% \leq \text{Cr} \leq 0,7\%$
 $\text{S} \leq 0,004\%$
15 $\text{P} < 0,020\%$
opcionalmente
 $\text{Cu} \leq 0,1\%$
 $\text{Ni} \leq 0,25\%$
 $\text{B} \leq 0,003\%$
20 $\text{Ca} \leq 0,005\%$
 $\text{Mg} \leq 0,005\%$

6. Chapa de acero de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 o 5, **caracterizada porque** la composición del acero comprende, estando los contenidos expresados en peso:

25 $0,4\% \leq \text{Cr} \leq 0,6\%$

7. Chapa de acero de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** el porcentaje superficial de la bainita granular está comprendido entre el 80% y el 95% y **porque** el 30 porcentaje superficial de la ferrita es inferior al 20%.

8. Chapa de acero de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** la composición del acero comprende en contenido en peso:

35 $0,0005\% \leq \text{Ca} \leq 0,005\%$

9. Chapa de acero de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** la composición del acero comprende en contenido en peso:

40 $0,0005\% \leq \text{Mg} \leq 0,005\%$

10. Procedimiento de fabricación de una chapa de acero laminada en caliente de límite de elasticidad superior a 690 MPa e inferior o igual a 840 MPa, de resistencia comprendida entre 780 MPa y 950 MPa y de alargamiento de rotura superior al 10%, **caracterizado porque** se proporciona, en forma de metal líquido, un acero 45 cuya composición comprende, estando los contenidos expresados en peso:

50 $0,040\% \leq \text{C} \leq 0,065\%$
 $1,4\% \leq \text{Mn} \leq 1,9\%$
 $0,1\% \leq \text{Si} \leq 0,55\%$
 $0,095\% \leq \text{Ti} \leq 0,145\%$
 $0,025\% \leq \text{Nb} \leq 0,045\%$
 $0,005\% \leq \text{Al} \leq 0,1\%$
 $0,002\% \leq \text{N} \leq 0,007\%$
 $\text{S} \leq 0,004\%$
55 $\text{P} < 0,020\%$
opcionalmente
 $\text{Cr} \leq 0,7\%$
 $\text{Cu} \leq 0,1\%$
 $\text{Ni} \leq 0,25\%$

B ≤ 0,003%
Mg ≤ 0,005%

estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables,

- 5 **porque** se efectúa un tratamiento al vacío o con SiCa, en este último caso, la composición comprende además, estando los contenidos expresados en peso, $0,0005\% \leq Ca \leq 0,005\%$, **porque** las cantidades de titanio [Ti] y de nitrógeno [N] disueltos en el metal líquido satisfacen $\%[Ti] \%[N] < 6 \cdot 10^{-4} \%$, **porque** se cuele el acero para obtener un producto semiacabado colado, **porque** se calienta eventualmente dicho producto semiacabado a una temperatura comprendida entre 1160°C y
- 10 1300°C, y a continuación **porque** se lamina en caliente dicho producto semiacabado colado con una temperatura de fin de laminado comprendida entre 880°C y 930°C, siendo la tasa de reducción del penúltimo pase inferior a 0,25, siendo la tasa del último pase inferior a 0,15, siendo la suma de las dos tasas de reducción inferior a 0,37, siendo la temperatura de inicio de laminado del penúltimo pase inferior a 960°C, para obtener un producto laminado en caliente, y a
- 15 continuación **porque** se enfría dicho producto laminado en caliente a una velocidad comprendida entre 50 y 150 °C/s para obtener una chapa de acero laminado en caliente, y **porque** se bobina dicha chapa a una temperatura comprendida entre 470 y 625°C.

- 20 11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado porque** la composición del acero comprende, estando los contenidos expresados en peso:

0,045% ≤ C ≤ 0,065%
1,6% ≤ Mn ≤ 1,9%
25 0,1% ≤ Si ≤ 0,3%
0,095% ≤ Ti ≤ 0,125%
0,025% ≤ Nb ≤ 0,045%
0,01% ≤ Al ≤ 0,1%
0,002% ≤ N ≤ 0,007%
30 S ≤ 0,004%
P < 0,020%
opcionalmente
Cu ≤ 0,1%
Ni ≤ 0,25%
35 B ≤ 0,003%
Mg ≤ 0,005%

dicha composición no comprendiendo cromo

- 40 12. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado porque** se bobina la chapa a una temperatura comprendida entre 515 y estrictamente 620°C.

13. Procedimiento de fabricación de una chapa laminada en caliente de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, **caracterizado porque** se bobina la chapa a una temperatura comprendida entre 515 y
- 45 560°C, **porque** se decapa dicha chapa, y a continuación **porque** se calienta la chapa decapada a una temperatura comprendida entre 600 y 750°C, y a continuación **porque** se enfría la chapa decapada calentada a una velocidad comprendida entre 5 y 20 °C/s, y **porque** se reviste con zinc la chapa obtenida en un baño de zinc adaptado.

- 50 14. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado porque** la composición del acero comprende, estando los contenidos expresados en peso:

0,040% ≤ C ≤ 0,065%
55 1,4% ≤ Mn ≤ 1,9%
0,1% ≤ Si ≤ 0,4%
0,095% ≤ Ti ≤ 0,145%
0,025% ≤ Nb ≤ 0,045%
0,005% ≤ Al ≤ 0,1%

$0,002\% \leq N \leq 0,007\%$

$0,2\% \leq Cr \leq 0,7\%$

$S \leq 0,004\%$

$P < 0,020\%$

5 opcionalmente

$Cu \leq 0,1\%$

$Ni \leq 0,25\%$

$B \leq 0,003\%$

$Ca \leq 0,005\%$

10 $Mg \leq 0,005\%$

y **porque** se bobina dicha chapa a una temperatura comprendida entre 470 y 580°C

15. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado porque** la composición del acero
15 comprende, estando los contenidos expresados en peso:

$0,4\% \leq Cr \leq 0,6\%$

16. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 14 y 15, **caracterizado porque**
20 cuando la suma de los contenidos de Mn, Si y Cr es inferior al 2,35%, se bobina la chapa a una temperatura comprendida entre 520°C y 580°C.

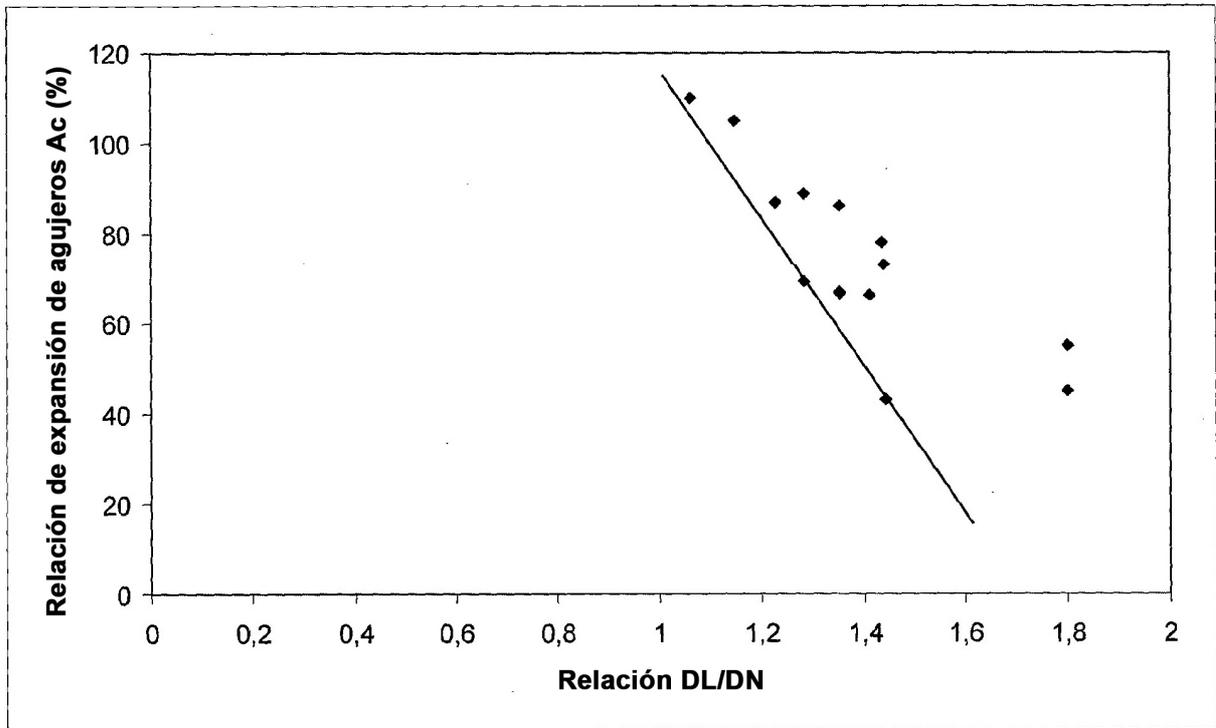


Figura 1