

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 701 838**

51 Int. Cl.:

**C21D 8/02** (2006.01)

**C21D 9/46** (2006.01)

**C22C 38/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.07.2015 PCT/IB2015/055043**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.01.2016 WO16001899**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.07.2015 E 15750814 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2018 EP 3164521**

54 Título: **Procedimiento para fabricar una chapa de acero de alta resistencia y la chapa obtenida**

30 Prioridad:

**03.07.2014 WO PCT/IB2014/002290**

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

**26.02.2019**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**FÖJER, GUNHILD CÉCILIA y  
MAHIEU, JAN**

74 Agente/Representante:

**SALVÀ FERRER, Joan**

ES 2 701 838 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

Procedimiento para fabricar una chapa de acero de alta resistencia y la chapa obtenida

5 **[0001]** La presente invención se refiere a una chapa de acero de alta resistencia excelente en facilidad de trabajo y límite elástico y a un procedimiento para producir esta.

**[0002]** Para fabricar varios equipos como remolques, carritos, autobuses, camiones, maquinaria agrícola, camiones de basura, piezas de automóviles y etc., se utilizan normalmente chapas de acero de alta resistencia  
10 hechas de aceros DP (fase dual) o aceros TRIP (plasticidad inducida por transformación). Algunos de tales aceros, por ejemplo, los aceros TRIP que tienen una estructura martensítica con algo de austenita retenida y contienen aproximadamente un 0,2 % de C, aproximadamente un 2 % de Mn, aproximadamente un 1,7 % de Si, tienen una resistencia a la tracción RT de aproximadamente 980 MPa, un límite elástico LE de aproximadamente 750 MPa y un alargamiento A superior a un 8 %. Estas chapas se producen en líneas de recocido continuo que comprenden una  
15 sección de sobreenviejimiento en la cual las chapas permanecen unos pocos cientos de segundos.

**[0003]** Para reducir el peso de los equipos hechos de estos aceros, es deseable aumentar la resistencia a la tracción y el límite elástico sin disminuir el alargamiento que es necesario para tener una buena facilidad de trabajo y sin reducir la soldabilidad. Pero, con aceros DP o TRIP, incluso si es posible obtener una resistencia a la tracción  
20 superior a 1500 MPa, cuando el alargamiento es superior a un 8 %, el límite elástico permanece por debajo de 950 MPa y, cuando el límite elástico es superior a 1000 MPa, el alargamiento no alcanza un 8 %.

**[0004]** Al aumentar el contenido de Mn de tales aceros en más de un 2,6 % y al añadir algunos elementos microaleados tales como Ti, es posible obtener chapas que tienen un límite elástico superior a 1000 MPa, una  
25 resistencia a la tracción superior a 1150 MPa y un alargamiento superior a un 8 %. Pero la necesidad de aumentar el contenido de Mn tiene la desventaja de aumentar significativamente el fenómeno de segregación, y la necesidad de añadir elementos tales como Ti tiene la desventaja de reducir el alargamiento total debido a pequeños precipitados.

**[0005]** También parece posible obtener tales características al añadir aproximadamente un 0,25 % de Mo.  
30 Pero con tal adición, las chapas no se pueden laminar en frío en buenas condiciones. Por lo tanto, debido a las limitaciones del laminado en caliente, no es posible producir chapas que tienen el espesor necesitado.

**[0006]** De modo que, sigue siendo deseable poder producir una chapa de acero laminada en frío que tiene un límite elástico superior a 1000 MPa, una resistencia a la tracción superior a 1150 MPa y un alargamiento superior a  
35 un 8 %, utilizando una línea de recocido continuo que comprende una sección de sobreenviejimiento en la cual la chapa permanece unos pocos cientos de segundos, sin añadir demasiado Mn y/o elementos microaleantes.

**[0007]** Con este objetivo, la invención se refiere a un procedimiento para fabricar una chapa de acero que tiene un límite elástico LE superior a 1000 MPa, una resistencia a la tracción RT superior a 1150MPa y un  
40 alargamiento total A superior a un 8 %, el procedimiento comprende las etapas de:

- preparar una chapa de acero a través de laminado a partir de un acero que contiene un porcentaje en peso de un 0,19 % a un 0,22 % de C, un 2 % a un 2,6 % de Mn, un 1,45 % a un 1,55 % de Si, un 0,15 % a un 0,4 % de Cr, menos de un 0,020 % de P, menos de un 0,011 % de S, menos de un 0,008 % de N, un 0,015 % a un 0,070 % de Al,  
45 el resto es Fe e impurezas inevitables.
- recocer la chapa de acero laminada, el recocido comprende una etapa de homogeneización de la temperatura de la chapa a una temperatura de recocido TR entre 860 °C y 890 °C durante un periodo de tiempo de entre 100 s y 210 s,
- enfriar la chapa recocida a una temperatura de temple TT de entre 220 °C y 330 °C, el enfriamiento comprende una  
50 etapa de enfriamiento de la chapa de una temperatura de enfriamiento inicial TE no inferior a 500 °C a la temperatura de temple TT a una velocidad de enfriamiento no inferior a 15 °C/s,
- calentar la chapa de acero durante un periodo de tiempo de entre 115 s y 240 s hasta una primera temperatura de sobreenviejimiento TSA1 superior a 380 °C, calentar luego la chapa durante un periodo de tiempo de entre 300 s y 610 s hasta una segunda temperatura de sobreenviejimiento TSA2 entre 420° y 450 °C y,  
55 - enfriar la chapa de acero a una temperatura inferior a 100 °C a una velocidad de enfriamiento inferior a 5 °C/s.

La chapa de acero tiene una estructura que contiene más de un 80 % de martensita revenida, más de un 5 % de austenita retenida, menos de un 5 % de ferrita, menos de un 5 % de bainita y menos de un 6 % de martensita fresca.

60 **[0008]** El recocido puede comprender una segunda etapa de homogeneización de la temperatura de la chapa

a una temperatura entre la temperatura de recocido TR y 795 °C durante un periodo de tiempo de entre 90 s y 190 s.

**[0009]** El procedimiento puede comprender además entre la etapa de homogeneización de la temperatura y la etapa de enfriamiento, una etapa de enfriamiento inicial a una velocidad de enfriamiento entre 7 °C/s y 16 °C/s a partir de la temperatura al final de la segunda etapa de homogeneización de la temperatura a la temperatura de enfriamiento inicial TE.

**[0010]** La preparación de la chapa de acero a través de laminado puede comprender las etapas de:

- 10 - calentar un desbaste plano hecho del acero correspondiente a la invención, a una temperatura superior a 1030 °C,
- laminar en caliente el desbaste plano para obtener una chapa laminada en caliente que tiene un espesor de entre 2 mm y 3 mm, con un final de temperatura de laminado superior a 880 °C, preferentemente entre 890 °C y 910 °C,
- enrollar la chapa laminada en caliente a una temperatura entre 520 °C y 600 °C, preferentemente entre 550 °C y 570 °C,
- 15 - laminar en frío la chapa laminada en caliente con una reducción de entre un 50 % y un 60 % para obtener una chapa laminada en frío que tiene un espesor de entre 0,7 mm y 1,5 mm.

**[0011]** El procedimiento puede comprender además entre la etapa de enrollado y la etapa de laminado en frío, una etapa de recocido discontinuo a una temperatura de entre 600 °C y 700 °C durante más de 30 horas en una atmósfera de HNX.

**[0012]** La invención se refiere también a una chapa de acero de alta resistencia que tiene un límite elástico LE superior a 1000 MPa, una resistencia a la tracción RT superior a 1150 MPa y un alargamiento total A superior a un 8 %, hecha de acero que contiene, en una base en peso, un 0,19 % a un 0,22 % de C, un 2 % a un 2,6 % de Mn, un 1,45 % a un 1,55 % de Si, un 0,15 % a un 0,4 % de Cr, menos de un 0,020 % de P, menos de un 0,0011 % de S, menos de un 0,008 % de N, un 0,015 % a un 0,07 % de Al, el resto es Fe e impurezas inevitables, el acero tiene una microestructura que contiene más de un 80 % de martensita revenida, más de un 5 % de austenita retenida, menos de un 5 % de ferrita, menos de un 5 % de bainita y menos de un 6 % de martensita fresca.

**[0013]** Preferentemente, la cantidad de carbono en la austenita retenida es de al menos un 0,9 %, y preferentemente de como mucho un 1,5 %.

**[0014]** Todavía preferentemente, la cantidad de carbono en la austenita retenida está comprendida entre un 0,9 % y un 1,2 %.

**[0015]** La invención se describirá ahora en detalle y se ilustrará con ejemplos sin introducir limitaciones.

**[0016]** La composición del acero según la invención comprende en % en peso:

- 40 -  $0,19 \% \leq C \leq 0,22 \%$  para garantizar una resistencia satisfactoria y mejorar la estabilidad de la austenita retenida que es necesaria para obtener un alargamiento suficiente. Si el contenido de carbono es muy alto, la chapa laminada en caliente es dura para laminarla en frío y la soldabilidad es insuficiente.
- $2 \% \leq Mn \leq 2,6 \%$ . El contenido de manganeso tiene que ser superior a un 2 % y preferentemente superior a un 2,1 % para tener una templabilidad para que pueda obtener una estructura que comprenda al menos un 80 % de martensita revenida considerando la capacidad de enfriamiento de la línea de recocido continuo en la que se fabricará la chapa y porque por debajo de un 2 % la resistencia a la tracción estará por debajo de 1150 MPa. Por encima de un 2,6 %, aparecerán problemas de segregación que son perjudiciales para la formabilidad. En una realización preferida de la invención, el contenido de Mn está por debajo o es igual a un 2,3 % para reducir los problemas de segregación.
- 45 -  $1,3 \% \leq Si \leq 1,6 \%$ ; preferentemente  $Si \geq 1,45 \%$ ; preferentemente  $Si \leq 1,55 \%$ . El contenido de Si tiene que ser suficiente para estabilizar la austenita y proporcionar una solución sólida endurecida. Además, el Si retrasa la formación de carburos durante la redistribución del carbono de martensita a austenita como resultado del sobre-envejecimiento, manteniendo así el carbono en disolución para estabilizar la austenita. Pero si el contenido de Si es demasiado alto, se formarán óxidos de silicio en la superficie y esto es perjudicial para la capacidad de recubrimiento.
- 50 -  $0,15 \% \leq Cr \leq 0,4 \%$  aumenta la templabilidad para estabilizar la austenita retenida para retrasar la formación de bainita durante el tratamiento de sobre-envejecimiento. Preferentemente, el contenido de cromo es superior o igual a un 0,30 %.
- $P \leq 0,02 \%$ . El fósforo puede reducir la formación de carburos y, por lo tanto, fomentar la redistribución del carbono
- 55 a
- 60 a

austenita. Pero una adición de P demasiado alta debilita la chapa a temperaturas de laminado en caliente y reduce la tenacidad de la martensita.

-  $S \leq 0,011 \%$  y preferentemente  $\leq 0,005 \%$ . El sulfuro es una impureza que puede debilitar el producto intermedio o final.

5 -  $N \leq 0,008 \%$ . Este elemento es el resultado de la elaboración. Puede formar nitruros de aluminio que limitan el engrosamiento del grano de austenita durante el recocido.

-  $0,015 \% \leq Al \leq 0,070 \%$ . El aluminio se añade normalmente al acero líquido con el objetivo de desoxidación. Además, el resto de aluminio que no se combina con oxígeno puede formar nitruros que limitan el engrosamiento del tamaño del grano de austenita a una temperatura alta.

10

**[0017]** El resto de la composición es hierro e impurezas inevitables. En esta invención, Ni, Mo, Cu, Ti, Nb, V, B y etc. se consideran impurezas. Por lo tanto, sus contenidos son inferiores a un 0,050 % para Ni, un 0,04 % para Mo, un 0,01 % para Cu, un 0,007 % para Ti, un 0,005 % para Nb, un 0,007 % para V y un 0,0007 % para B.

15 **[0018]**

Para fabricar una chapa según la invención, primero, un semiproducto tal como un desbaste plano se lamina en caliente para obtener una chapa laminada en caliente. La chapa laminada en caliente se lamina en frío entonces para obtener una chapa laminada en frío que tiene el espesor deseado. Entonces, la chapa laminada en frío se trata térmicamente utilizando una línea de recocido continuo para obtener la microestructura deseada y las propiedades mecánicas deseadas que son  $LE \geq 1000 \text{ MPa}$ ,  $RT \geq 1150 \text{ MPa}$  y  $A$  (alargamiento total)  $\geq 8 \%$ .

20

**[0019]** Para el laminado en caliente, la temperatura de calentamiento del desbaste plano es superior a  $1030 \text{ }^\circ\text{C}$  para tener una disolución completa de los carburos. Para prevenir el aumento en la pérdida por oxidación, esta temperatura debe permanecer por debajo de  $1340 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pero, preferentemente, debe permanecer por debajo de  $1150 \text{ }^\circ\text{C}$  para no tener una temperatura de acabado muy alta.

25

**[0020]** La temperatura de acabado o temperatura del final del laminado debe ser superior a  $880 \text{ }^\circ\text{C}$  para permanecer más alta que el punto de transformación  $Ac_3$  del acero para obtener una estructura homogénea sin una microestructura tipo banda. Esta temperatura debe permanecer por debajo de  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  para no estar por encima de la temperatura de no recristalización. Preferentemente, la temperatura de acabado debe permanecer en el intervalo  $890 \text{ }^\circ\text{C} - 910 \text{ }^\circ\text{C}$ , la temperatura de acabado óptima es  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ .

30

**[0021]** Después del laminado en caliente, la chapa laminada en caliente que tiene un espesor comprendido generalmente entre  $2 \text{ mm}$  y  $3 \text{ mm}$  se enrolla a una temperatura de entre  $520 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  y preferentemente de entre  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $570 \text{ }^\circ\text{C}$ . La temperatura de enrollado tiene que ser superior a  $520 \text{ }^\circ\text{C}$  para tener una chapa laminada en caliente que se pueda laminar en frío sin utilizar fuerzas de laminado en frío demasiado altas e inferior a  $570 \text{ }^\circ\text{C}$  para evitar oxidación intergranular que es perjudicial para las propiedades de fatiga.

35

**[0022]** Opcionalmente, la chapa se recuece de manera discontinua para homogenizar la dureza y reducir la fragilidad de los bordes y los extremos de la chapa. El recocido discontinuo se hace a una temperatura entre  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $700 \text{ }^\circ\text{C}$  en una atmósfera de HNX. Preferentemente, el tiempo de recocido es superior a 30 horas. Entonces, la chapa se enfría lentamente hasta  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ . Preferentemente, el enfriamiento debe necesitar al menos 30 horas.

40

**[0023]** Entonces, la chapa se lamina en frío con una relación de reducción preferentemente entre un 50 % y un 60 % para alcanzar el espesor deseado que está entre  $0,7 \text{ mm}$  y  $1,5 \text{ mm}$ , preferentemente superior a  $0,8 \text{ mm}$  y/o inferior a  $1,4 \text{ mm}$ .

45

**[0024]** La chapa laminada en frío se recuece entonces en una línea de recocido continuo con una velocidad de línea mínima de  $50 \text{ m/min}$ . Es la velocidad a la que la chapa se desplaza en la línea. Esta velocidad depende del espesor de la chapa. Es conocido por un experto en la técnica que, en tal línea continua, entre más gruesa es la chapa, más lenta es la velocidad.

50

**[0025]** La línea continua comprende al menos una zona de calentamiento que puede calentar la chapa hasta una temperatura de recocido, una zona de homogeneización de la temperatura que se puede dividir en dos partes, la primera que es un horno de tubo radiante y la segunda, que puede mantener la chapa a la temperatura de recocido durante un periodo de tiempo de unos pocos cientos de segundos, una zona de enfriamiento inicial para enfriar la chapa a una temperatura de enfriamiento no demasiado alta hasta una temperatura de inicio de enfriamiento rápido, una zona de enfriamiento rápido que puede templar la chapa hasta una temperatura de temple TT a la que el enfriamiento rápido se para, una primera y una segunda parte de una zona de sobrevejecimiento que pueden calentar y mantener la chapa a temperaturas correspondientes a una etapa de sobrevejecimiento, y una zona de enfriamiento final que puede enfriar la chapa hasta la temperatura ambiental.

55

60

- 5 **[0026]** En la zona de calentamiento, la chapa se calienta hasta la temperatura de recocido que es superior a 860 °C para ser superior al punto de transformación Ac<sub>3</sub> del acero, para obtener una estructura completamente austenítica, pero preferentemente inferior a 890 °C para no engrosar demasiado los granos austeníticos.
- 10 **[0027]** En la primera parte de la zona de homogeneización de la temperatura que comprende los tubos radiantes, la chapa se mantiene a la temperatura de recocido TR o a aproximadamente esta temperatura pero por encima de 860 °C durante un periodo de tiempo de 100 a 200 segundos dependiendo de la velocidad de la chapa, esta velocidad depende del espesor de la chapa.
- 15 **[0028]** En la segunda parte de la zona de homogeneización de la temperatura, la chapa se mantiene a una temperatura de recocido durante un periodo de tiempo de aproximadamente 80 segundos a aproximadamente 180 segundos, dependiendo del espesor de la chapa. La temperatura de la chapa disminuye lentamente de tal manera que al final de la zona la temperatura es inferior a la temperatura de recocido pero permanece por encima de 795 °C.
- 20 **[0029]** Después de la homogeneización de la temperatura, la chapa pasa a través de una primera zona de enfriamiento en la que se enfría a una temperatura TE no inferior a 500 °C a una velocidad de enfriamiento de entre 7 °C/s y 16 °C/s, dependiendo del espesor de la chapa. Entre más gruesa es la chapa, más lenta es la velocidad de enfriamiento.
- 25 **[0030]** Después del primer enfriamiento, la estructura de la chapa permanece completamente austenítica.
- 30 **[0031]** Entonces, la chapa pasa a través de una zona de enfriamiento rápido en la que se enfría a una velocidad no inferior a 15 °C/s de la temperatura TE del final del primer enfriamiento hasta la temperatura de temple TT entre 220 °C y 330 °C. La temperatura de enfriamiento depende del espesor de la chapa, pero siempre es superior a la tasa de temple crítico para obtener una estructura martensítica con austenita retenida. Adicionalmente, esta estructura puede contener algo de ferrita, pero menos de un 5 %, preferentemente menos de un 2 % e idealmente no tiene nada de ferrita.
- 35 **[0032]** La temperatura de temple se elige para obtener una estructura que contiene al menos más de un 5 % de austenita retenida y preferentemente aproximadamente un 15 %. Para obtener aproximadamente un 15 % de austenita retenida, la temperatura de temple óptima teórica para un acero que tiene una composición según la presente invención es aproximadamente 235 °C. Por lo tanto, preferentemente, la temperatura de temple está entre 220 °C y 245 °C.
- 40 **[0033]** Después del temple, la chapa pasa a través de una sección de sobrevejecimiento que puede calentar la chapa hasta una temperatura de entre 350 °C y 450 °C. En esta zona de sobrevejecimiento, la temperatura se mide en dos puntos diferentes dividiendo esta zona de sobrevejecimiento en dos zonas, la primera medición se hace a unos pocos metros después de la entrada de la sección de sobrevejecimiento y la segunda se hace a la salida de la sección de sobrevejecimiento.
- 45 **[0034]** En la primera zona, la chapa se calienta durante un periodo de tiempo de entre 115 s y 240 s dependiendo del espesor para calentar progresivamente hasta una primera temperatura de sobrevejecimiento TSA1 superior a 350 °C y preferentemente superior a 380 °C.
- 50 **[0035]** En la segunda zona, la chapa se calienta durante un periodo de tiempo de entre 300 s y 610 s dependiendo del espesor de la chapa para calentar de una primera temperatura de sobrevejecimiento hasta una segunda temperatura de sobrevejecimiento TSA2 superior a TSA1, TSA2 es entre 420 °C y 450 °C.
- 55 **[0036]** El objetivo de este tratamiento es transferir carbono de la martensita a la austenita para enriquecer la austenita con carbono de manera que, cuando la chapa se enfría a una temperatura inferior a 70 °C, la austenita permanezca estable. La cantidad de carbono en la austenita retenida es de al menos un 0,9 %, lo que garantiza una estabilización suficiente de la austenita retenida, y hasta un 1,5 %. Más de un 1,5 % de carbono en la austenita retenida, dicha austenita retenida sería demasiado dura. Preferentemente, la cantidad de carbono en la austenita retenida está comprendida entre un 0,9 %, y un 1,2 %.
- [0037]** Además, la martensita se agota en carbono sin formación de carburo lo que la hace menos frágil.
- 60 **[0038]** La duración y la temperatura del sobrevejecimiento son tales que hay poca y preferentemente ninguna formación de bainita.

**[0039]** Después del tratamiento de sobrevejecimiento, la chapa se enfría hasta una temperatura inferior a 70 °C a una velocidad de enfriamiento preferentemente inferior a 5 °C/s para tener poca o ninguna formación de martensita fresca. Pero esta velocidad de enfriamiento debe ser suficientemente alta para tener poca o ninguna formación de bainita y ser compatible con las características de la línea y la velocidad de la chapa.

**[0040]** Con tal tratamiento, es posible obtener una chapa que tiene la composición química definida anteriormente, con una estructura que contiene más de un 80 % de martensita, y preferentemente más de un 85 %, al menos un 5 % preferentemente más de un 8 % de austenita retenida, menos de un 5 % y preferentemente menos de un 2 % de ferrita.

**[0041]** La cantidad de carbono en la austenita retenida después del enfriamiento a temperatura ambiente permanece en al menos un 0,9 %, y hasta un 1,5 %, preferentemente entre un 0,9 % y un 1,2 %.

**[0042]** La martensita se temple preferentemente sin carburos, es decir, la martensita con contenido de carbono reducido resultante del sobrevejecimiento. Pero también puede contener hasta un 6 % de martensita fresca y algo de bainita, el contenido de esta última estructura es inferior a un 5 % y preferentemente inferior a un 2 %. En cualquier caso, es preferible que la estructura contenga al menos un 80 % de martensita revenida.

**[0043]** La proporción de austenita retenida se mide preferentemente por el procedimiento de DRX que es el procedimiento que da los resultados menos subestimados.

**[0044]** Con tal estructura, la chapa tiene un límite elástico LE superior a 1000 MPa, una resistencia a la tracción RT superior a 1150 MPa y un alargamiento total A superior a un 8 %.

**[0045]** Para determinar la composición química del acero con el que es posible obtener los resultados deseados, se han hecho algunos ensayos con las muestras M1, M2, M3 y M4 que tienen la composición registrada en la tabla 1, en % en peso.

**Tabla 1**

Muestra	Tipo	C	Mn	Si	Cr	Ti	Cu	Ni	Mo	Al
M1	CMnSi	0,2	1,63	1,63	-	-	-	-	-	-
M2	CMnSiMo	0,188	2,0	1,6	-	-	-	-	0,28	0,055
M3	CMnSiCuNi	0,18	1,7	0,79	-	-	1,3	0,5	-	-
M4	CMn Si Cr	0,2	2,15	1,5	0,35	-	-	-	-	-

**[0046]** Las composiciones químicas se eligieron para obtener una estructura de martensita con una cantidad significativa de austenita retenida.

**[0047]** Se produjeron los aceros, se laminaron en caliente y luego se laminaron en frío en una escala industrial y las muestras se trataron térmicamente utilizando tratamientos de baños salinos.

**[0048]** Los tratamientos térmicos consistieron en un recocido a una temperatura de recocido TR superior a Ac<sub>3</sub> un temple hasta una temperatura de temple TT seguido de un sobrevejecimiento a una temperatura de sobrevejecimiento TSA durante un tiempo de sobrevejecimiento tiempo SA. La temperatura de temple se eligió para obtener una estructura martensítica con una cantidad significativa de austenita retenida.

**[0049]** Las condiciones del tratamiento térmico y los resultados obtenidos: límite elástico LE, resistencia a la tracción RT, alargamiento total A, fracción de austenita retenida % $\gamma$  se registran en la tabla 2:

**Tabla 2**

Muestra	TR °C	TT °C	TSA °C	tiempo de SA s	LE MPa	RT MPa	%A	$\gamma$ %
M1	850	235	300-450	490	437	826	24,3	no medido
M2	850	240	400	300	1083	1283	13	13,6

## ES 2 701 838 T3

M3	850	200	400	300	983	1144	7,7	3
M4	850	235	300-450	490	1011	1221	13,6	7

**[0050]** Para las muestras M1 y M4, el sobrevejecimiento no fue un mantenimiento a una temperatura constante, sino un mantenimiento a una temperatura creciente regularmente de 300 °C al inicio del mantenimiento a 450 °C al final del mantenimiento.

5

**[0051]** Todas las temperaturas de recocido fueron superiores a las temperaturas AC<sub>3</sub> de los aceros, por lo tanto, antes del temple, la estructura fue completamente austenítica.

**[0052]** Después del temple, la estructura fue martensítica con algo de austenita retenida para las muestras M2, M3 y M4.

10

**[0053]** Para la muestra M1, la estructura contuvo también unas pocas fracciones de ferrita y bainita.

**[0054]** Estos resultados muestran que las propiedades deseadas se pueden alcanzar solo con aceros de la M2, es decir, acero CMnSiMo y de la M4, es decir, acero CMnSiCr. Pero la producción de aceros correspondientes a estos aceros mostró que el acero CMnSiMo era muy difícil de laminar en frío porque, después del laminado en caliente y enrollado a una temperatura entre 530 °C y 550 °C, el acero era demasiado duro para ser laminado en frío.

15

**[0055]** Por lo tanto, estos resultados muestran que el único tipo aceptable de acero útil para fabricar chapas laminadas en frío que tienen las propiedades deseadas (LE > 1000 MPa, RT > 1150 MPa, A > 8 %) es el tipo CMnSiCr que contiene aproximadamente un 0,2 % de C, aproximadamente un 2,3 % de Mn, aproximadamente un 1,5 % de Si y un 0,35 % de Cr.

20

**[0056]** Con este acero, las chapas se producen por laminado en caliente y laminado en frío, entonces se tratan térmicamente en una línea de recocido continuo.

25

**[0057]** Se utilizaron dos coladas, cuyas composiciones se registran en la tabla 3:

30

**Tabla 3**

	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P ppm	S ppm	Al (%)	N ppm	Ti ppm	Cr (%)
Colada 1	0,196	2,18	1,50	116	40	0,041	46	36	0,36
Colada 3	0,203	2,25	1,46	112	19	0,039	38	18	0,38

**[0058]** El acero se fundió continuamente para obtener desbastes planos. Los desbastes planos se laminaron en caliente para obtener bobinas en caliente (o chapas laminadas en caliente) cuyos espesores fueron 2,8 mm y 2,05 mm.

35

**[0059]** Los desbastes planos se calentaron a 1050 °C y el laminado se acabó a una temperatura de entre 930 °C y 950 °C para la Colada 1 y de entre 860 °C y 910 °C para la Colada 3.

**[0060]** Durante las primeras pruebas de laminado en frío, aparecieron grietas en los bordes debido a una dureza demasiado alta de los bordes de la chapa laminada en caliente.

40

**[0061]** Otras chapas se recoció de manera discontinua a 650 °C durante 6 horas en una atmósfera de HNX. Después de este recocido discontinuo, no hubo más dificultades en el laminado en frío.

**[0062]** Las chapas laminadas en caliente se laminaron en frío para obtener chapas laminadas en frío con unos espesores de 0,8 mm, 1 mm y 1,4 mm.

45

**[0063]** Las chapas laminadas en frío se trataron térmicamente en una línea de recocido continuo, la velocidad de la línea estuvo entre 50 m/mn y 100 m/mn dependiendo del espesor de la chapa y de la temperatura de temple deseada.

50

**[0064]** En la línea continua, el tratamiento térmico comprendió las siguientes etapas:

- calentar la chapa de la temperatura ambiental a una temperatura de recocido TR;
- homogeneizar térmicamente la chapa a la temperatura de recocido TR1 (primera homogeneización de la temperatura);
- 5 - homogeneizar térmicamente la chapa a una temperatura TR2 entre la temperatura de recocido y 795 °C, la temperatura de la chapa disminuyó regularmente y lentamente de la temperatura de recocido TR1 a la temperatura TR2 (segunda homogeneización de la temperatura);
- enfriar la chapa hasta una temperatura de enfriamiento inicial TE no inferior a 500 °C (enfriamiento inicial);
- enfriar la chapa de una temperatura TE hasta una temperatura de temple TT a una velocidad de enfriamiento superior a 15 °C/s para templar la chapa;
- 10 - calentar la chapa durante un periodo de tiempo  $t_1$  de entre 115 y 240 s hasta una primera temperatura de sobreenvejecimiento TSA1;
- calentar la chapa durante un periodo de tiempo  $t_2$  de entre 300 y 610 s de una primera temperatura de sobreenvejecimiento a una segunda temperatura de sobreenvejecimiento TSA2;
- 15 - enfriar la chapa hasta la temperatura ambiente (o temperatura ambiental).

Los parámetros de los tratamientos térmicos y las propiedades mecánicas que se obtienen de los ejemplos o contraejemplos se registran en la tabla 4.

- 20 **[0065]** En la tabla 4, los ejemplos C-1, C-2 y C-3 son contraejemplos y E-1, E-2, E-3, E-4, E-5, E-6 y E-7 son ejemplos según la invención.

**Tabla 4**

Ejemplos	Colada N.º	Espesor mm	TR1 °C	TR2 °C	TE-DC	TT °C	Tasa de enfriamiento °C/s	t <sub>1</sub> s	TSA2 °C	t <sub>2</sub> s	TSA2 °C	LE MPa	RT MPa	A %
C-1	1	1,4	851	813	540	235	23	149	340	380	443	903	1126	15,1
E-1	1	0,8	880	822	652	227	50	119	420	304	450	1067	1211	13,2
E-2	1	1,5	860	795	650	228	29	216	396	552	451	1047	1208	11,6
E-3	3	1,4	870	836	650	220	24	238	407	608	450	1106	1261	12,1
E-4	3	0,8	870	828	675	245	37	132	405	338	420	1135	1282	8,6
C-2	3	0,8	870	812	635	235	40	132	395	338	404	1169	1365	6,8
C-3	3	1	870	829	680	225	32	149	355	380	385	1176	1351	6,7
E-5	3	1,4	860	801	660	310	30	159	396	405	450	1015	1188	13,9
E-6	3	1	860	797	650	290	40	132	400	338	450	1056	1215	13
E-7	3	0,8	860	797	660	275	50	238	280	608	450	1115	1254	11,4

**[0066]** En esta tabla, se puede ver que la primera y la segunda temperatura de sobrevejecimiento no dependen solo del espesor y de la duración del calentamiento (es decir, la velocidad de la chapa en la línea). Esto es el resultado del hecho de que la potencia de calentamiento de cada zona se puede ajustar parcialmente.

5 **[0067]** El contraejemplo C-1 muestra un límite elástico bajo debido a la presencia de demasiada ferrita. Esto es el resultado del hecho de que la temperatura de recocido TR1 es demasiado baja. Esta temperatura 851 °C es inferior a la temperatura AC<sub>3</sub>. Así, el acero no es completamente austenítico antes del temple y permanece menos de un 5 % de ferrita.

10 **[0068]** Los contraejemplos C-2 y C-3 muestran un alargamiento bajo porque las temperaturas de sobrevejecimiento son demasiado bajas y la martensita no se templó suficientemente. Además, la austenita retenida se enriqueció insuficientemente con carbono, de modo que la austenita no se estabilizó suficientemente y se formó más de un 6 % de martensita fresca.

15 **[0069]** Los ejemplos E-5, E-6 y E-7 muestran que la temperatura de temple no necesita ser tan baja como 235 °C que se calcula que es la temperatura óptima.

**[0070]** Pero los ejemplos E-1 a E-7 muestran que es posible alcanzar las propiedades mecánicas deseadas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para fabricar una chapa de acero que tiene un límite elástico LE superior a 1000 MPa, una resistencia a la tracción RT superior a 1150 MPa y un alargamiento total A superior a un 8 %, el procedimiento comprende las etapas de:

- preparar una chapa de acero a través de laminado a partir de un acero que contiene un porcentaje en peso de un 0,19 % a un 0,22 % de C, un 2 % a un 2,6 % de Mn, un 1,45 % a un 1,55 % de Si, un 0,15 % a un 0,4 % de Cr, menos de un 0,020 % de P, menos de un 0,011 % de S, menos de un 0,008 % de N, un 0,015 % a un 0,070 % de Al, el resto es Fe e impurezas inevitables.
- recocer la chapa de acero laminada, el recocido comprende una etapa de homogeneización de la temperatura de la chapa a una temperatura de recocido TR de entre 860 °C y 890 °C durante un periodo de tiempo de entre 100 s y 210 s,
- enfriar la chapa recocida a una temperatura de temple TT de entre 220 °C y 330 °C, el enfriamiento comprende una etapa de enfriamiento de la chapa de una temperatura de enfriamiento inicial TE no inferior a 500 °C a la temperatura de temple TT a una velocidad de enfriamiento no inferior a 15 °C/s,
- calentar la chapa de acero durante un periodo de tiempo de entre 115 s y 240 s hasta una primera temperatura de sobre-envejecimiento TSA1 superior a 380 °C, calentar luego la chapa durante un periodo de tiempo de entre 300 s y 610 s hasta una segunda temperatura de sobre-envejecimiento TSA2 entre 420° y 450 °C y,
- enfriar la chapa de acero a una temperatura inferior a 100 °C a una velocidad de enfriamiento inferior a 5 °C/s,

la chapa de acero tiene una estructura que contiene más de un 80 % de martensita revenida, más de un 5 % de austenita retenida, menos de un 5 % de ferrita, menos de un 5 % de bainita y menos de un 6 % de martensita fresca.

2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el recocido comprende una segunda etapa de homogeneización de la temperatura de la chapa a una temperatura entre la temperatura de recocido TR y 795 °C durante un periodo de tiempo de entre 90 s y 190 s.

3. El procedimiento según la reivindicación 2, comprende además entre la segunda etapa de homogeneización de la temperatura y la etapa de enfriamiento, una etapa de enfriamiento inicial a una velocidad de enfriamiento entre 7 °C/s y 16 °C/s a partir de la temperatura al final de la segunda etapa de homogeneización de la temperatura a la temperatura de enfriamiento inicial TE.

4. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la preparación de la chapa de acero a través de laminado comprende las etapas de:

- calentar un desbaste plano hecho del acero como se define en la reivindicación 1, a una temperatura superior a 1030 °C,
- laminar en caliente el desbaste plano para obtener una chapa laminada en caliente que tiene un espesor de entre 2 mm y 3 mm, con un final de temperatura de laminado superior a 880 °C, preferentemente entre 890 °C y 910 °C,
- enrollar la chapa laminada en caliente a una temperatura entre 520 °C y 600 °C, preferentemente entre 550 °C y 570 °C,
- laminar en frío la chapa laminada en caliente con una reducción de entre un 50 % y un 60 % para obtener una chapa laminada en frío que tiene un espesor de entre de 0,7 mm y 1,5 mm.

5. El procedimiento según la reivindicación 4 comprende además entre la etapa de enrollado y la etapa de laminado en frío, una etapa de recocido discontinuo a una temperatura de entre 600 °C y 700 °C durante más de 30 horas en una atmósfera de HNX.

6. Una chapa de acero de alta resistencia que tiene un límite elástico LE superior a 1000 MPa, una resistencia a la tracción RT superior a 1150 MPa y un alargamiento total A superior a un 8 %, hecha de acero que contiene, en una base en peso, un 0,19 % a un 0,22 % de C, un 2 % a un 2,6 % de Mn, un 1,45 % a un 1,55 % de Si, un 0,15 % a un 0,4 % de Cr, menos de un 0,020 % de P, menos de un 0,0011 % de S, menos de un 0,008 % de N, un 0,015 % a un 0,07 % de Al, el resto es Fe e impurezas inevitables, el acero tiene una microestructura que contiene más de un 80 % de martensita revenida, más de un 5 % de austenita retenida, menos de un 5 % de ferrita, menos de un 5 % de bainita y menos de un 6 % de martensita fresca.

7. La chapa de acero de alta resistencia según la reivindicación 6, en la que la cantidad de C en la austenita retenida es de al menos un 0,9 %.

60

8. La chapa de acero de alta resistencia según la reivindicación 7, en la que la cantidad de C en la austenita retenida está comprendida entre un 0,9 % y un 1,5 %.

9. La chapa de acero de alta resistencia según la reivindicación 8, en la que la cantidad de C en la austenita retenida está comprendida entre un 0,9 % y un 1,2 %.