

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 551 005**

51 Int. Cl.:

C22C 38/12	(2006.01) C22C 38/26	(2006.01)
C21D 6/00	(2006.01) C22C 38/28	(2006.01)
C21D 9/46	(2006.01) C22C 38/32	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01) C22C 38/06	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01) C22C 38/00	(2006.01)
C22C 38/38	(2006.01)	
B62D 29/00	(2006.01)	
C21D 8/02	(2006.01)	
C22C 38/14	(2006.01)	
C22C 38/22	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.04.2012** **E 12724659 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.08.2015** **EP 2707515**

54 Título: **Procedimiento de fabricación de acero martensítico de límite elástico muy alto y chapa o pieza obtenida de ese modo**

30 Prioridad:

12.05.2011 WO PCT/FR2011/000295

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.11.2015

73 Titular/es:

**ARCELORMITTAL INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO SL (100.0%)
C/ Chavarri, 6
48910 Sestao, Bizkaia, ES**

72 Inventor/es:

**ZHU, KANGYING y
BOUAZIZ, OLIVIER**

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 551 005 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 de fabricación de acero martensítico de límite elástico muy alto y chapa o pieza obtenida de ese modo

5

[0001] La invención se refiere a un procedimiento de chapas de acero de grosor inferior a 3 milímetros de estructura totalmente martensítica con una resistencia mecánica superior a la que podría obtenerse por un simple tratamiento de refrigeración rápida con temple martensítico y unas propiedades de resistencia mecánica y de alargamiento que permiten su aplicación a la fabricación de piezas de absorción de energía en los vehículos

10 automóviles.

[0002] En ciertas aplicaciones, se busca realizar unas piezas a partir de chapa de acero con resistencia mecánica muy alta. Este tipo de combinación es particularmente deseable en la industria automóvil donde se busca un aligeramiento significativo de los vehículos. Esto se puede obtener especialmente gracias a la utilización de

15

piezas de aceros con características mecánicas muy altas cuya microestructura es totalmente martensítica. Unas piezas anti-intrusión, de estructura o que participan en la seguridad de los vehículos automóviles tales como: travesaños de parachoques, refuerzos de puerta o de montante, brazo de rueda, que necesitan por ejemplo tales características. Su grosor es preferiblemente inferior a 3 milímetros.

20

[0003] Se busca obtener unas chapas con una resistencia mecánica incluso superior. Es bien conocida la posibilidad de aumentar la resistencia mecánica de un acero con estructura martensítica por medio de una adición de carbono. No obstante, este contenido en carbono más elevado disminuye la capacidad de soldadura de las chapas o de las piezas fabricadas a partir de estas chapas y aumenta el riesgo de fisuración unido a la presencia de hidrógeno.

25

[0004] Se busca por tanto disponer de un procedimiento de fabricación de chapas de acero que no presente los inconvenientes anteriores, que estarían dotadas de una resistencia a la ruptura de más de 50 MPa a la que se podría obtener gracias a una austenitización seguida de un simple temple martensítico del acero en cuestión. Los inventores han puesto de manifiesto que, para unos contenidos en carbono que van de 0,15 a 0,40% en peso, la resistencia a la ruptura en tracción R_m de chapas, de aceros fabricadas por austenitización total seguida de un simple temple martensítico, solo dependía prácticamente del contenido en carbono y estaba unida a este con una precisión muy buena, según la expresión (1): R_m (megapascals) = $3220(C) + 908$.

30

[0005] En esta expresión, (C) designa el contenido en carbono del acero expresado en porcentaje ponderal. Con contenido en carbono C dado de un acero, se busca por tanto un procedimiento de fabricación que permite obtener una resistencia a la ruptura superior de 50 MPa a la expresión (1), es decir una resistencia superior a $3220(C) + 958$ MPa para este acero. Se busca disponer de un procedimiento que permite la fabricación de chapa de límite de elasticidad muy alto, es decir superior a 1300 MPa. Se busca igualmente disponer de un procedimiento que permite la fabricación de chapas utilizables directamente, es decir sin necesidad imperativa de un tratamiento de

40

[0006] Estas chapas deben ser soldables por los procedimientos usuales y no constar de adiciones costosas de elementos de aleación.

45

[0007] La presente invención tiene como objetivo solucionar los problemas mencionados anteriormente. Tiene el objetivo en particular de poner a disposición de las chapas de grosor inferior a 3 milímetros con un límite de elasticidad superior a 1300 MPa, una resistencia mecánica en tracción, expresada en megapascals, superior a $(3220(C) + 958)$ MPa y, preferentemente, un alargamiento total superior al 3%.

50

[0008] En este objetivo, la invención tiene como objeto un procedimiento de fabricación de un grosor inferior a 3 milímetros de estructura totalmente martensítica con límite de elasticidad superior a 1300 MPa, que comprende las etapas sucesivas y en este orden según las cuales:

- se suministra un semi-producto de acero cuya composición comprende, estando expresados los contenidos en peso: $0,15\% \leq C \leq 0,40\%$, $1,5\% \leq Mn \leq 3\%$, $0,005\% \leq Si \leq 2\%$, $0,005\% \leq Al \leq 0,1\%$, $S \leq 0,05\%$, $P \leq 0,1\%$, $0,025\% \leq Nb \leq 0,1\%$ y opcionalmente: $0,01\% \leq Ti \leq 0,1\%$, $0\% \leq Cr \leq 4\%$, $0\% \leq Mo \leq 2\%$, $0,0005\% \leq B \leq 0,005\%$, $0,0005\% \leq Ca \leq 0,005\%$, estando constituido el resto de la composición de hierro y de impurezas inevitables que resultan de la elaboración.

55

- se recalienta el semi-producto a una temperatura T_1 comprendida entre 1050 °C y 1250 °C, después se efectúa un laminado de desbaste del semi-producto recalentado, a una temperatura T_2 comprendida entre 1050 y 1150 °C, con un índice de reducción ε_a acumulado superior al 100% de forma que se obtenga una chapa con una estructura austenítica no totalmente recrystalizada de tamaño medio de grano inferior a 40 micrómetros, después

5

- se refrigera no completamente la chapa hasta una temperatura T_3 comprendida entre 970 °C y $Ar3+30$ °C, de forma que se evite una transformación de la austenita, a una velocidad V_{R1} superior a 2 °C/s, después

- se efectúa un laminado en caliente de acabado a la temperatura T_3 , de la chapa no completamente refrigerada, con un índice de reducción acumulado ε_b superior al 50% de forma que se obtenga una chapa, de grosor inferior a 3 milímetros, después se refrigera la chapa a una velocidad V_{R2} superior a la velocidad crítica de temple martensítico.

[0009] Según un modo preferido, el tamaño medio de granos austeníticos es inferior a 5 micrómetros.

15

[0010] Preferentemente, se somete la chapa a un tratamiento térmico ulterior de revenido a una temperatura T_4 comprendida entre 150 y 600 °C durante una duración comprendida entre 5 y 30 minutos.

[0011] La invención tiene igualmente como objeto una chapa de acero de grosor inferior a 3 milímetros no revenida de límite de elasticidad superior a 1300 MPa, obtenida por un procedimiento según uno de los modos de fabricación anteriores, de estructura totalmente martensítica, que presenta un tamaño medio de listones inferior a 1,2 micrómetros, estando comprendido el factor de alargamiento medio de los listones entre 2 y 5.

[0012] La invención tiene incluso como objeto una chapa de acero de grosor inferior a 3 milímetros obtenida por el procedimiento con tratamiento de revenido anterior, teniendo el acero una estructura totalmente martensítica con un tamaño medio de listones inferior a 1,2 micrómetros, estando comprendido el factor de alargamiento medio de los listones entre 2 y 5.

[0013] La composición de los aceros aplicada en el procedimiento según la invención se va a detallar ahora:

30

Cuando el contenido en carbono del acero es inferior al 0,15% en peso, la templabilidad del acero es insuficiente y no es posible obtener una estructura totalmente martensítica teniendo en cuenta el procedimiento aplicado. Cuando este contenido es superior al 0,40%, las juntas soldadas realizadas a partir de estas chapas o de estas piezas presentan una tenacidad insuficiente. El contenido óptimo en carbono para la aplicación de la invención está comprendido entre el 0,16 y el 0,28%.

35

[0014] El manganeso baja la temperatura de inicio de formación de la martensita y ralentiza la descomposición de la austenita. A fin de obtener unos efectos suficientes, el contenido en manganeso no debe ser inferior al 1,5%. Por otro lado, cuando el contenido en manganeso supera el 3%, unas zonas segregadas se presentan en cantidad excesiva lo que afecta a la aplicación de la invención. Una gama preferencial para la aplicación de la invención es del 1,8 al 2,5% Mn.

40

[0015] El contenido en silicio debe ser superior al 0,005% de forma que participe en la desoxidación del acero en fase líquida. El silicio no debe exceder el 2% en peso en razón de la formación de óxidos superficiales que reducen notablemente la revestibilidad, en el caso en que se desearía revestir la chapa por pasaje en un baño metálico de revestimiento, especialmente por galvanización continua.

45

[0016] El contenido en aluminio del acero según la invención no es inferior al 0,005% de forma que se obtenga una desoxidación suficiente del acero en el estado líquido. Cuando el contenido en aluminio es superior al 0,1% en peso, pueden aparecer unos problemas de colada. Pueden formarse igualmente unas inclusiones de alúmina en cantidad o en tamaño demasiado importantes que desempeñan una función perjudicial sobre la tenacidad.

50

[0017] Los contenidos en azufre y en fósforo del acero están respectivamente limitados al 0,05 y 0,1% para evitar una reducción de ductilidad o de la tenacidad de las piezas o de las chapas fabricadas según la invención.

55

[0018] El acero contiene igualmente niobio en cantidad comprendida entre el 0,025 y el 0,1% y opcionalmente titanio en cantidad comprendida entre el 0,01 y el 0,1%. Estas adiciones de niobio y eventualmente de titanio permiten la aplicación del procedimiento según la invención retrasando la recrystalización de la austenita a alta temperatura y permitiendo obtener un tamaño de grano suficientemente fino a temperatura alta.

[0019] El cromo y el molibdeno son unos elementos muy eficaces para retrasar la transformación de la austenita y se pueden utilizar opcionalmente para la aplicación de la invención. Estos elementos tienen como efecto separar los dominios de transformación ferrito-perlítica y bainítica, interviniendo la transformación ferrito-perlítica en unas temperaturas superiores a la transformación bainítica. Estos dominios de transformación se presentan entonces en forma de dos «narices» bastante distintas en un diagrama de transformación isoterma (Transformación-Temperatura-Tiempo).

[0020] El contenido en cromo debe ser inferior o igual al 4%. Más allá de este contenido, su efecto sobre la templabilidad está prácticamente saturado; una adición suplementaria es entonces costosa sin efecto beneficioso correspondiente.

[0021] El contenido en molibdeno no debe exceder no obstante el 2% en razón de su coste excesivo.

[0022] A título opcional, el acero puede contener igualmente boro: en efecto, la deformación importante de la austenita puede acelerar la transformación en ferrita con la refrigeración, fenómeno que conviene evitar. Una adición de boro, en cantidad comprendida entre el 0,0005 y el 0,005% en peso permite protegerse de una transformación ferrítica precoz.

[0023] A título opcional, el acero puede contener igualmente calcio en cantidad comprendida entre el 0,0005 y el 0,005%: combinándose con el oxígeno y el azufre, el calcio permite evitar la formación de inclusiones de gran tamaño que son perjudiciales para la ductilidad de las chapas o de las piezas fabricadas de este modo.

[0024] El resto de la composición del acero está constituido de hierro y de impurezas inevitables que resultan de la elaboración.

[0025] Las chapas de acero fabricadas según la invención están caracterizadas por una estructura totalmente martensítica en listones de una gran finura: en razón del ciclo termomecánico y de la composición específicas, el tamaño medio de los listones martensíticos es inferior a 1,2 micrómetros y su factor de alargamiento medio está comprendido entre 2 y 5. Estas características microestructurales se determinan por ejemplo observando la microestructura por Microscopía Electrónica de Barrido por medio de un cañón con efecto de campo (técnica «MEB-FEG») con un aumento superior a 1200x, acoplado a un detector EBSD («Electron Backscatter Diffraction»). Se define que dos listones contiguos son distintos cuando su desorientación es superior a 5 grados. El tamaño medio de listones se define por el método de las intercepciones conocido en sí mismo: se evalúa el tamaño medio de los listones interceptados por unas líneas definidas de forma aleatoria con respecto a la microestructura. La medición se realiza sobre al menos 1.000 listones martensíticos de forma que se obtenga un valor medio representativo. La morfología de los listones individualizados se determina a continuación por análisis de imágenes por medio de programas conocidos en sí mismos: se determina la dimensión máxima l_{max} y mínima l_{min} de cada listón martensítico

y su factor de alargamiento $\frac{l_{max}}{l_{min}}$. A fin de ser estadísticamente representativa, esta observación trata de al menos

1.000 listones martensíticos. El factor de alargamiento medio $\frac{l_{max}}{l_{min}}$ se determina a continuación para el conjunto de estos listones observados.

[0026] El procedimiento de fabricación de chapas laminadas en caliente según la invención consta de las etapas siguientes:

Se suministra en primer lugar un semi-producto de acero cuya composición se ha expuesto anteriormente. Este semi-producto se puede presentar por ejemplo en forma de sección resultante de colada continua, de sección delgada o de lingote. A título de ejemplo indicativo, una sección de colada continua tiene un grosor del orden de 200 mm, una sección delgada, un grosor del orden de 50-80 mm.

Se recalienta este semi-producto a una temperatura T_1 comprendida entre 1050 °C y 1250 °C. La temperatura T_1 es superior a A_{c3} , temperatura de transformación total en austenita al calentamiento. Este recalentamiento permite por tanto obtener una austenitización completa del acero así como la disolución de eventuales carbonitruros de niobio que existen en el semi-producto. Esta etapa de recalentamiento permite realizar igualmente las diferentes operaciones ulteriores de laminado en caliente que se van a presentar: se efectúa un laminado denominado de

desbaste del semi-producto: este laminado de desbaste se efectúa a una temperatura T_2 comprendida entre 1050 y 1150 °C. El índice de reducción acumulado de las diferentes etapas de laminado al desbaste se señala como ε_a . Si e_{ia} designa el grosor del semi-producto antes del laminado en caliente de desbaste y e_{fa} el grosor de la chapa tras

$$\varepsilon_a = \ln \frac{e_{ia}}{e_{fa}}.$$

este laminado, se define el índice de reducción acumulado por

- 5 reducción ε_a debe ser superior al 100%, es decir superior a 1. En estas condiciones de laminado, la presencia de niobio, y opcionalmente de titanio, retrasa la recrystalización y permite obtener una austenita no totalmente recrystalizada a alta temperatura. El tamaño medio de grano austenítico obtenido de este modo es inferior a 40 micrómetros, incluso a 5 micrómetros cuando el contenido en niobio está comprendido entre 0,030 y 0,050%. Este tamaño de grano puede medirse por ejemplo gracias a unas pruebas en las que se temple directamente después del
- 10 laminado la chapa. Se observa a continuación una sección pulida y atacada de esta, siendo efectuado el ataque gracias a un reactivo conocido en sí mismo, tal como por ejemplo el reactivo de Béchet-Beaujard que revela las juntas antiguas de granos austeníticos.

- Se refrigera a continuación no completamente, es decir hasta una temperatura intermedia T_3 , la chapa a una
- 15 velocidad V_{R1} superior a 2 °C/s, de forma que se evite una transformación y una eventual recrystalización de la austenita, después se efectúa un laminado en caliente de acabado de la chapa con un índice de reducción acumulado ε_b superior al 50%. Si e_{i2} designa el grosor de la chapa antes del laminado de acabado y e_{f2} el grosor de

$$\varepsilon_b = \ln \frac{e_{i2}}{e_{f2}}.$$

la chapa tras este laminado, se define el índice de reducción acumulado por

- 20 acabado se efectúa a una temperatura T_3 comprendida entre 970 y $Ar3+30$ °C, designando $Ar3$ la temperatura de inicio de transformación de la austenita a la refrigeración. Esto permite obtener al final del laminado de acabado una austenita deformada con granos finos, no teniendo esta tendencia a recrystalizar. Se refrigera a continuación esta chapa a una velocidad V_{R2} superior a la velocidad de temple crítica martensítica y se obtiene así una chapa caracterizada por una estructura martensítica muy fina cuyas propiedades mecánicas son superiores a las que se pueden obtener por un simple tratamiento térmico de temple.

- 25 [0027] Aunque el procedimiento anterior describe la fabricación de chapas, es decir de productos planos, a partir de secciones, la invención no está limitada a esta geometría y a este tipo de productos y puede estar adaptada también a la fabricación de productos largos, de barras, perfilados, por unas etapas sucesivas de deformación en caliente.

- 30 [0028] Las chapas de acero se pueden utilizar tal cual o sometidas a un tratamiento térmico de revenido efectuado a una temperatura T_4 comprendida entre 150 y 600 °C durante una duración comprendida entre 5 y 30 minutos. Este tratamiento de revenido tiene generalmente por efecto aumentar la ductilidad a costa de una disminución del límite de elasticidad y de la resistencia. Los inventores han puesto de manifiesto no obstante que el procedimiento según
- 35 la invención, que confiere una resistencia mecánica en tracción de al menos 50 MPa más elevada que la obtenida después del temple convencional, conservaba esta ventaja incluso después de un tratamiento de revenido con unas temperaturas que van de 150 a 600 °C. Las características de finura de la microestructura se conservan por este tratamiento de revenido.

- 40 [0029] A título de ejemplo no limitativo, los resultados siguientes van a mostrar las características ventajosas conferidas por la invención.

Ejemplo:

- 45 [0030] Se han suministrado unos semi-productos de acero cuyas composiciones, expresadas en contenidos ponderales (%) son las siguientes:

	C	Mn	Si	Cr	Mo	Al	S	P	Nb	Ti	B	Ca
A	0,27	1,91	0,01	0,01	0,01	0,03	0,003	0,020	0,042	0,010	0,0016	0,001
B	0,198	1,94	0,01	1,909	0,01	0,03	0,003	0,020	0,003	0,012	0,0014	0,0004

Los valores subrayados son no conformes a la invención

- 50 [0031] Unos semi-productos de 31 mm de grosor se han recalentado y mantenido 30 minutos a una temperatura T_1 de 1250 °C, sometidos después a un laminado en 4 pasadas a una temperatura T_2 de 1100 °C con un índice de reducción acumulado ε_1 del 164%, es decir hasta un grosor de 6 mm. En este estado, a alta temperatura después del desbaste, la estructura es totalmente austenítica, no completamente recrystalizada con un tamaño medio de

grano de 30 micrómetros. Las chapas obtenidas de este modo se han refrigerado a continuación a la velocidad de 3 °C/s hasta una temperatura T_3 comprendida entre 955 °C y 840 °C, siendo esta última temperatura igual a Ar3+60 °C. Las chapas se han laminado en esta gama de temperatura en 5 pasadas con un índice de reducción acumulado ε_b del 76%, es decir hasta un grosor de 2,8 mm, después refrigeradas a continuación hasta la temperatura ambiente con una velocidad de 80 °C/s de forma que se obtenga una microestructura completamente martensítica.

[0032] Por comparación, unas chapas de aceros de composición anterior se han calentado a una temperatura de 1250 °C, mantenidas 30 minutos a esta temperatura, refrigeradas después al agua de forma que se obtenga una microestructura completamente martensítica (condición de referencia)

[0033] Por medio de pruebas de tracción, se ha determinado el límite de elasticidad R_e , la resistencia a la ruptura R_m y el alargamiento total A de las chapas obtenidas por estos diferentes modos de fabricación. Se ha hecho figurar igualmente el valor estimado de la resistencia tras el temple martensítico simple (3220(C)+908 (MPa), así como la diferencia ΔR_m entre este valor estimado y la resistencia efectivamente medida.

Acero	Prueba	Temperatura de reducción T_3 (°C)	R_e (MPa)	R_m (MPa)	A (%)	3220 (C)+908 (MPa)	ΔR_m (MPa)
A	A1	955	1410	1840	5,2	1777	63
	A2	860	1584	1949	4,9	1777	172
B	B1	840	1270	1692	6,5	1545	147
	B2	Sin	1223	1576	6,9	1545	31
Condiciones de pruebas y resultados mecánicos obtenidos							
Valores subrayados: no conformes a la invención							

[0034] El acero B no contiene suficiente niobio: no se alcanza entonces un límite de elasticidad de 1300 MPa, tanto después del temple martensítico simple (prueba B2) como en el caso de un laminado con desbaste y acabado a la temperatura T_3 (prueba B1)

[0035] En el caso de la prueba B2 (temple martensítico simple), se observa que el valor de la resistencia estimado (1545 MPa) a partir de la expresión (1) es próximo al determinado experimentalmente (1576 MPa)

[0036] Se ha observado igualmente la microestructura de las chapas obtenidas por Microscopía Electrónica de Barrido por medio de un cañón con efecto de campo (técnica «MEB-FEG») y detector EBSD y cuantificado el tamaño medio de los listones de la estructura martensítica así como su factor de alargamiento medio

[0037] En las pruebas A1 y A2, el procedimiento según la invención permite obtener una estructura martensítica con un tamaño medio de listones de 0,9 micrómetros y un factor de alargamiento de 3. Esta estructura es claramente más fina que la observada tras el simple temple martensítico, cuyo tamaño medio de listones es del orden de 2 micrómetros.

[0038] En las pruebas A1 y A2 según la invención, los valores de ΔR_m son respectivamente de 63 y de 172 MPa respectivamente. El procedimiento según la invención permite obtener por tanto unos valores de resistencia mecánica significativamente superiores a los que se obtendrían por un temple martensítico simple. En el caso de la prueba A2 por ejemplo, este aumento de resistencia (172 MPa) es equivalente al que se obtendría, según la relación (1), gracias a un temple martensítico simple aplicado a unos aceros en los cuales una adición suplementaria de 0,05% aproximadamente se habría realizado. Tal aumento del contenido en carbono tendría no obstante unas consecuencias perjudiciales con respecto a la soldabilidad y la tenacidad, mientras que el procedimiento según la invención permite incrementar la resistencia mecánica sin estos inconvenientes.

[0039] Las chapas fabricadas según la invención, en razón de su contenido en carbono más reducido, que presentan una buena capacidad de soldadura por los procedimientos usuales, en particular de la soldadura por resistencia por puntos. Presentan igualmente una buena capacidad para ser revestidas, por ejemplo por galvanización o aluminización al temple continuo.

[0040] Así, la invención permite la fabricación de chapas de grosor inferior a 3 milímetros o desnudas o revestidas con características mecánicas muy altas, en unas condiciones económicas muy satisfactorias.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fabricación de una chapa de acero de grosor inferior a 3 milímetros, de estructura totalmente martensítica, con límite de elasticidad superior a 1300 MPa, que comprende las etapas sucesivas y en este orden según las cuales:

- se suministra un semi-producto de acero cuya composición comprende, estando los contenidos expresados en peso,

$$\begin{aligned}
 &0,15\% \leq C \leq 0,40\% \\
 &1,5\% \leq Mn \leq 3\% \\
 &0,005\% \leq Si \leq 2\% \\
 &0,005\% \leq Al \leq 0,1\% \\
 &S \leq 0,05\% \\
 &P \leq 0,1\% \\
 &0,025\% \leq Nb \leq 0,1\% \\
 &\text{y opcionalmente:} \\
 &0,01\% \leq Ti \leq 0,1\% \\
 &0\% \leq Cr \leq 4\% \\
 &0\% \leq Mo \leq 2\% \\
 &0,0005\% \leq B \leq 0,005\% \\
 &0,0005\% \leq Ca \leq 0,005\%
 \end{aligned}$$

estando constituido el resto de la composición de hierro y de impurezas inevitables que resultan de la elaboración,

- se recalienta el semi-producto a una temperatura T_1 comprendida entre 1050 °C y 1250 °C, después
- se efectúa un laminado de desbaste de dicho semi-producto recalentado, a una temperatura T_2 comprendida entre 1050 y 1150 °C, con un índice de reducción ϵ_a acumulado superior al 100% de forma que se obtenga una chapa con una estructura austenítica no totalmente recristalizada de tamaño medio de grano inferior a 40 micrómetros, después
- se refrigera no completamente dicha chapa hasta una temperatura T_3 comprendida entre 970 °C y $Ar3+30$ °C, a una velocidad V_{R1} superior a 2 °C/s, después
- se efectúa un laminado en caliente de acabado a dicha temperatura T_3 , de dicha chapa no completamente refrigerada, con un índice de reducción acumulado ϵ_b superior al 50% de forma que se obtenga una chapa, de grosor inferior a 3 milímetros, después
- se refrigera dicha chapa a una velocidad V_{R2} superior a la velocidad crítica de temple martensítico.

2. Procedimiento de fabricación de una chapa de acero según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicho tamaño medio de grano austenítico es inferior a 5 micrómetros.

3. Procedimiento de fabricación de una chapa de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado porque** se somete dicha chapa a un tratamiento térmico ulterior de revenido a una temperatura T_4 , comprendida entre 150 y 600 °C durante una duración comprendida entre 5 y 30 minutos.

4. Chapa de acero de grosor inferior a 3 milímetros, de límite de elasticidad superior a 1300 MPa, obtenida por un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, de estructura totalmente martensítica, que presenta un tamaño medio de listones inferior a 1,2 micrómetros, estando comprendido el factor de alargamiento medio de dichos listones entre 2 y 5.

5. Chapa de acero obtenida por un procedimiento según la reivindicación 3, de estructura totalmente martensítica, que presenta un tamaño medio de listones inferior a 1,2 micrómetros, estando comprendido el factor de alargamiento medio de dichos listones entre 2 y 5.