

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 811 838**

51 Int. Cl.:

C21D 1/19	(2006.01)
C21D 1/18	(2006.01)
C21D 6/00	(2006.01)
C21D 8/02	(2006.01)
C21D 9/46	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)
B32B 15/01	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.07.2015 PCT/IB2015/055033**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **07.01.2016 WO16001889**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.07.2015 E 15750459 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2020 EP 3164513**

54 Título: **Procedimiento de fabricación de una lámina de acero de alta resistencia y de una lámina obtenida por el procedimiento**

30 Prioridad:

03.07.2014 WO PCT/IB2014/002285

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.03.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**XU, WEI y
ARLAZAROV, ARTEM**

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 811 838 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 de fabricación de una lámina de acero de alta resistencia y de una lámina obtenida por el procedimiento

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere a un procedimiento para fabricar una lámina de acero de alta resistencia que utiliza una línea de tratamiento térmico continuo y a la lámina obtenida por este procedimiento.
- [0002]** Para producir diversos equipos tales como remolques, camiones, máquinas agrícolas, piezas automotrices etc., se usan láminas de acero de alta resistencia, hechas de aceros DP (de fase dual) o TRIP (plasticidad
10 inducida por transformación). Algunos de dichos aceros que se producen en líneas de recocido continuo, que contienen, por ejemplo, aproximadamente 0,2 % de C, aproximadamente 2 % de Mn y aproximadamente 1,7 % de Si, tienen una resistencia a la tracción de aproximadamente 980 MPa.
- [0003]** Para reducir el peso de los equipos fabricados con estos aceros, que es muy deseable para mejorar su eficiencia energética, se propuso utilizar aceros CMnSi que contienen de 0,1 % a 0,4 % de C, de 2 % a 4 % de Mn, hasta 2 % de Si o Si+Al, siendo tratados dichos aceros térmicamente para tener una estructura martensítica con un contenido significativo de austenita retenida o una estructura ferrito-martensítica. Dichos aceros se utilizan para producir grados que tienen una resistencia a la tracción de más de 1000 MPa. Estas láminas se producen en líneas de recocido continuo y opcionalmente están recubiertas por inmersión en caliente. Las propiedades mecánicas de las
20 láminas dependen de la cantidad de austenita residual que debe ser suficientemente alta. Esto requiere que la austenita sea suficientemente estable. Además, para realizar el tratamiento en líneas existentes con una buena productividad, es deseable que los puntos característicos de transformación del acero como Ac₁, Ac₃, Ms y Mf no sean demasiado restrictivos.
- 25 **[0004]** El artículo "Effect of Si on the Microstructure and Mechanical Property of Medium Mn steel Treated by Quenching and Partitioning Process", Zhao y col., Chinese Journal of Materials Research, vol.25, n.º1, 2011 describe un acero que comprende 0,2 % de C, 5 % de Mn y 1,76 % de Si, que se produce mediante recocido por encima de Ac₃ a 750 °C durante 30 min, enfriamiento a 140 °C y retención durante 5 min, y partición a 450 °C durante 0,5 a 30 min.
- 30 **[0005]** El documento KR 2012 0070739 A describe un acero TRIP que comprende 0,07-0,2 % de C, como máximo 2,0 % de Si, 3,0-7,0 % de Mn y 1,3-3,0 % de Al. La estructura del acero consiste en ferrita y 10-40 % de austenita.
- 35 **[0006]** El documento CN 102.912.219 A también describe un acero TRIP, con una composición que incluye 0,08-0,5 % de C, 0,4-2,0 % de Si, 3-8 % de Mn y 0,02-4 % de Al, comprendiendo la estructura 30-90 % de martensita, 5-30 % de austenita, ferrita y cementita.
- [0007]** Por estas razones, sigue siendo necesario contar con un acero y un procedimiento para fabricar
40 fácilmente láminas de acero de alta resistencia en líneas de tratamiento térmico continuo.
- [0008]** La invención se refiere a un procedimiento según la reivindicación 1.
- [0009]** Preferentemente, la composición química del acero satisface al menos una de las siguientes
45 condiciones:
- 0,03 % ≤ Al ≤ 0,5 %
Si + Al ≥ 1,4 %
1,4 % ≤ Al ≤ 2,5 %
- 50 **[0010]** En una realización, la temperatura de sobreenviejamiento PT está entre 440 °C y 470 °C y la lámina se mantiene a la temperatura de sobreenviejamiento durante un tiempo Pt entre 5 s y 60 s. En este caso, la retención a la temperatura de sobreenviejamiento se puede realizar haciendo pasar la lámina en un baño de recubrimiento por inmersión caliente. Después de pasar en el baño de recubrimiento por inmersión en caliente, la lámina se puede
55 mantener adicionalmente a una temperatura entre 480 °C y 570 °C para ser galvanorrecochida antes de enfriarse a la temperatura ambiente.
- [0011]** El recocido, el enfriamiento y el sobreenviejamiento se pueden realizar en una línea de tratamiento térmico continuo tal como una línea de recocido continuo que comprende opcionalmente una sección de recubrimiento
60 por inmersión en caliente.
- [0012]** La preparación de la lámina por laminación puede comprender laminación en caliente de una losa y opcionalmente laminación en frío.

[0013] La invención también se refiere a una lámina de acero de alta resistencia según la reivindicación 10.

[0014] Preferentemente, la composición química del acero satisface al menos una de las siguientes condiciones:

5

$0,03 \% \leq Al \leq 0,5 \%$

$Si + Al \geq 1,4 \%$

$1,4 \% \leq Al \leq 2,5 \%$

10 **[0015]** En cualquier caso, al menos una de las caras de la lámina puede comprender un recubrimiento metálico o un recubrimiento metálico aleado tal como recubrimiento de zinc o un recubrimiento de zinc aleado.

[0016] Ahora, la invención se describirá en detalle y se ilustrará mediante ejemplos sin presentar limitaciones.

15 **[0017]** El acero que se utiliza para fabricar láminas de acero de alta resistencia según la presente invención tiene la siguiente composición:

- $0,15 \% \leq C \leq 0,25 \%$ para asegurar una resistencia satisfactoria y mejorar la estabilidad de la austenita.

20 - $4,5 \% \leq Mn \leq 5,5 \%$. El contenido de manganeso debe ser superior al 4,5 % para mejorar la estabilidad de la austenita retenida mediante un mayor enriquecimiento químico de austenita en manganeso y la disminución del tamaño del grano de austenita. Se espera que la disminución del tamaño del grano de austenita reduzca la distancia de difusión y, por lo tanto, fomente la difusión de C y Mn durante la etapa de sobre-envejecimiento. Además, los contenidos de manganeso superiores al 4,5 % disminuyen el punto de transformación de Ms, los puntos de transformación Ac_1 y Ac_3 , lo que facilita el logro del tratamiento térmico. Por ejemplo, cuando se baja el punto Ac_3 , se puede reducir la temperatura de recocido, lo que facilita el calentamiento, es decir, es posible reducir la potencia de calentamiento o aumentar la velocidad de paso de la lámina. Pero, el contenido de manganeso debe permanecer por debajo del 10% para no reducir demasiado la ductilidad y soldabilidad. El contenido de manganeso es inferior al 5,5 %. Cabe señalar que la adición de Al aumenta Ac_3 y contrarresta el efecto Mn, dicha adición no es perjudicial hasta el 2,5 % de Al.

30

[0018] Los contenidos de C y Mn son tales que el índice de carbono-manganeso $CMnIdx = C \times (1 + Mn/3,5)$ es menor o igual a 0,6 para asegurar que la martensita no sea demasiado frágil lo que es deseable para permitir el corte mecánico en buenas condiciones. En esta fórmula, C y Mn son los contenidos en % en peso.

35 - $1,4 \% \leq Si \leq 1,8 \%$ para estabilizar la austenita, para proporcionar un fortalecimiento sólido de la solución y para retrasar la formación de carburos durante la redistribución de carbono de la martensita a la austenita resultante del envejecimiento. Pero, con un contenido demasiado alto, se formarán óxidos de silicio en la superficie, lo cual es perjudicial para la capacidad de recubrimiento. Por lo tanto, el contenido de silicio es menor o igual al 1,8 %.

40 - $0,03 \% \leq Al \leq 2,5 \%$. El Al se añade para desoxidar el acero líquido y esto aumenta la robustez, lo que significa que la evolución de la fracción de austenita es menos sensible a la temperatura de recocido. El contenido mínimo de Al es del 0,03 %. Con un alto contenido, el aluminio retrasa la formación de carburos durante la redistribución del carbono de la martensita a la austenita resultante del sobre-envejecimiento. Para retrasar la formación de carburos, el contenido mínimo de Al+Si debe ser del 1,4 %. Preferentemente, el contenido de Al es de al menos 1,4 % para permitir la soldabilidad del acero. El máximo de Al es del 2,5 %, por encima de tal cantidad, la ferrita delta se forma a alta temperatura. La ferrita delta es perjudicial para la soldabilidad y es una fase frágil. Cabe señalar que el Al aumenta significativamente el punto de transformación Ac_3 , lo que dificulta el recocido; dicho efecto está contrarrestado por la presencia de un alto contenido de Mn. Particularmente cuando no hay ningún problema particular de soldabilidad, el contenido de Al puede permanecer igual o inferior al 0,5 %. Por lo tanto, la temperatura de transformación de Ac_3 no aumenta, lo que permite mejorar la productividad de la línea de recocido continuo.

50

[0019] El resto es Fe e impurezas resultantes de la fundición. Dichas impurezas incluyen N, S, P y elementos residuales como Cr, Ni, Mo, Cu y B.

55 **[0020]** El contenido de N permanece inferior al 0,01 %, el contenido de S inferior al 0,01 %, el contenido de P inferior al 0,02 %, el contenido de Cr inferior al 0,1 %, el contenido de Ni inferior al 0,1 % el contenido de Mo inferior al 0,05 %, el contenido de Cu inferior al 0,2 % y el contenido de B inferior al 0,0010 %. La microaleación con Nb, Ti y V es posible en este concepto, pero el contenido de Ti debe ser inferior al 0,1 %, el contenido de Nb inferior al 0,1 % y el contenido de V inferior al 0,3 %

60

[0021] Con este tipo de acero se producen láminas laminadas en caliente. Estas láminas laminadas en caliente tienen un espesor entre 2 mm y 5 mm, por ejemplo.

[0022] Opcionalmente, las láminas laminadas en caliente se laminan en frío para obtener láminas laminadas en frío que tienen un espesor entre 0,5 mm y 2 mm, por ejemplo. Los expertos en la materia saben cómo producir

tales láminas laminadas en frío o en caliente.

[0023] A continuación, las láminas laminadas en frío o en caliente se tratan térmicamente en una línea de tratamiento térmico continuo tal como una línea de recocido continuo que comprende al menos una zona de calentamiento capaz de calentar la lámina hasta una temperatura de recocido, una zona de remojo capaz de mantener la lámina a la temperatura de recocido o alrededor de esta temperatura, una zona de enfriamiento capaz de enfriar rápidamente la lámina hasta una temperatura de enfriamiento QT, una zona de recalentamiento capaz de calentar la lámina hasta una temperatura de sobrevejecimiento PT y una zona de sobrevejecimiento capaz de mantener la lámina a la temperatura de sobrevejecimiento o alrededor de esta temperatura durante un tiempo Pt. Opcionalmente, la zona de sobrevejecimiento puede ser una zona de recubrimiento por inmersión en caliente que comprende al menos un baño de recubrimiento por inmersión en caliente que contiene un metal líquido tal como zinc y opcionalmente una zona de aleación.

[0024] Dicha línea de tratamiento térmico continuo es conocida por los expertos en la materia. La finalidad del tratamiento térmico es conferir al acero una estructura adecuada para obtener las características deseadas de resistencia y ductilidad y, posiblemente, para sumergir en caliente la lámina.

[0025] Cabe señalar que el contenido de los componentes microestructurales generalmente se proporciona como una fracción de superficie basada en imágenes ópticas y de microscopio de barrido.

[0026] En cualquier caso, la temperatura de recocido AT es mayor que el punto de transformación AC₁ del acero para formar suficiente austenita capaz de transformarse mediante enfriamiento y sobrevejecimiento.

[0027] Si la estructura de la lámina antes del recocido contiene ferrita y perlita y si se desea un contenido significativo de ferrita después del enfriamiento y el sobrevejecimiento, la temperatura de recocido debe permanecer inferior al punto de transformación AC₃ del acero.

[0028] Es preferible mantener la lámina a esa temperatura de recocido al menos 60 s, pero no es necesario más de 200 s.

[0029] Se desea que durante el enfriamiento y el sobrevejecimiento, la austenita que se forma durante la etapa de recocido se transforme al menos parcialmente en martensita. La temperatura de enfriamiento QT debe ser inferior al punto de transformación Ms del acero y con una velocidad de enfriamiento suficiente para obtener una estructura inmediatamente después del enfriamiento que contenga al menos martensita. La velocidad mínima de enfriamiento, que es la velocidad de enfriamiento martensítica crítica, depende al menos de la composición química del acero y los expertos en la materia saben cómo determinarla. Como preferentemente se desea tener una estructura que contenga un contenido significativo de austenita retenida, la temperatura QT no debe ser demasiado baja y debe elegirse según el contenido deseado de austenita retenida. Por esa razón, la temperatura de enfriamiento está entre 190°, que es menor que el punto de transformación de Ms, y 80 °C para tener una cantidad suficiente de austenita retenida. Pero, la temperatura de enfriamiento es inferior a 190° porque, cuando es más alta que esta temperatura, la cantidad de austenita retenida es demasiado importante y esta austenita retenida puede transformarse en martensita fresca después de dividirse y enfriarse a la temperatura ambiente, lo que es perjudicial para la ductilidad. Más específicamente, es posible determinar para cada composición química del acero una temperatura de enfriamiento óptima QTop que teóricamente logra un contenido de austenita residual óptimo. Esta temperatura de enfriamiento óptima se puede calcular utilizando una relación entre la composición química del acero y la Ms que los inventores establecieron recientemente:

$$Ms = 561 - 474 \times C - 33 \times Mn - 17 \times Cr - 21 \times Mo - 11 \times Si - 17 \times Ni + 10 \times Al$$

Y la relación de Koistinen Marburger:

$$fa' = 1 - \exp\{-0.011 \times (Ms - T)\}$$

fa' es la proporción de martensita a la temperatura T durante el enfriamiento, y suponiendo que, después de enfriar a una temperatura QT, el acero se sobrevejece a una temperatura superior a QT y que, debido al sobrevejecimiento, se realiza completamente la partición del carbono entre la martensita y la austenita restante.

[0030] Los expertos en la materia saben cómo realizar este cálculo.

[0031] La temperatura de enfriamiento óptima QTop no es necesariamente la temperatura de enfriamiento QT que se elige para realizar tratamientos térmicos reales. Preferentemente, la temperatura de enfriamiento QT se elige igual o cercana a esta temperatura de enfriamiento óptima y preferentemente inferior a 190 °C porque, cuando la temperatura de enfriamiento es demasiado alta, después de dividirse, la austenita se transforma al menos parcialmente

en martensita fresca y la estructura obtenida es muy frágil. Con el acero según la presente invención, el contenido máximo de austenita residual que es posible obtener después de una austenización completa está entre 20 % y 45 %. Como durante el sobrevejecimiento o después de él, parte de la austenita residual se puede transformar en bainita o en martensita fresca, la estructura que se obtiene después de una austenización completa contiene algo de ferrita o algo de bainita, el contenido total de tales componentes es menor del 10 % y preferentemente menor del 5 % y la estructura contiene al menos 65 % de martensita. Con el acero según la presente invención, cuando la temperatura de enfriamiento QT es inferior a 80 °C, el contenido de austenita de la estructura es demasiado bajo, inferior a aproximadamente el 8 % e incluso puede ser completamente martensítico. En este caso, la estructura que se obtiene después de la partición puede ser muy frágil.

10

[0032] En la invención, la austenización no está completa, es decir, la temperatura de recocido está entre el punto de transformación AC₁ y el punto de transformación AC₃ del acero, el contenido de austenita y martensita depende del contenido de ferrita después del recocido, es decir, depende de la temperatura de recocido. Pero, el contenido de ferrita es de al menos el 15 %, el contenido de martensita es de al menos el 50 % y el contenido de austenita retenido es de al menos el 15 %.

15

[0033] Cuando la estructura contiene martensita y austenita retenida, la finalidad del sobrevejecimiento es generalmente transferir carbono de la martensita a la austenita retenida para mejorar la ductilidad de la martensita y aumentar el contenido de carbono de la austenita para hacer posible un efecto TRIP, sin formar una cantidad significativa de bainita y/o carburos. Para ello, la temperatura de sobrevejecimiento PT debe estar entre 350 °C y 500 °C y el tiempo de sobrevejecimiento Pt debe ser de al menos 5 s y preferentemente de más de 90 s para que el enriquecimiento de la austenita en carbono sea suficiente. Pero este tiempo no debe ser demasiado largo y preferentemente no debe ser más de 600 s para no tener o casi ninguna descomposición de la austenita en una estructura como la bainita. En cualquier caso, la temperatura de sobrevejecimiento PT debe elegirse lo suficientemente alta dado el tiempo de sobrevejecimiento Pt que depende de las características de la línea de recocido y del espesor de la lámina, para tener suficiente transferencia de carbono de martensita a austenita, es decir, suficiente partición.

20

25

[0034] En una realización particular, la temperatura de sobrevejecimiento PT es igual a la temperatura óptima para el recubrimiento por inmersión en caliente, es decir, entre 440 °C y 470 °C y típicamente aproximadamente 460 °C. Además, el sobrevejecimiento se puede realizar al menos parcialmente mediante el paso de la lámina en el baño de recubrimiento por inmersión en caliente. En este caso, la temperatura de sobrevejecimiento está entre 5 s y 60 s. Si la capa de recubrimiento se alea calentando y manteniendo a una temperatura entre 480 °C y 570 °C para el galvanorrecocido, este tratamiento contribuirá al sobrevejecimiento del acero.

30

35

[0035] Más precisamente, con un acero que tiene la siguiente composición: $0,15 \% \leq C \leq 0,25 \%$, $4,5 \% \leq Mn \leq 5,5 \%$, $1,4 \% \leq Si \leq 1,8 \%$, $0,03 \leq Al \leq 2,5 \%$, siendo el resto Fe e impurezas, es posible obtener una lámina de acero de alta resistencia con un límite elástico YS superior a 1100 MPa, una resistencia a la tracción TS superior a 1350 MPa y un alargamiento uniforme UE de más de 10 % y un alargamiento total TE de más del 12 % si el CMnIndex permanece inferior a 0,6 %. Estas propiedades se pueden obtener si la estructura es esencialmente martensítica con un contenido significativo de austenita retenida, conteniendo preferentemente más del 65 % de martensita y más del 20 % de austenita retenida, permaneciendo la suma de los contenidos de ferrita y bainita por debajo del 10 %.

40

[0036] La lámina se puede recubrir o no. Cuando está recubierta, puede ser galvanizada o galvanorrecocida.

45

[0037] Para obtener dicho acero, es necesario recocer la lámina a una temperatura superior al punto de transformación AC₃ del acero y enfriarla a una temperatura inferior al punto de transformación Ms seguido de un recalentamiento a la temperatura de sobrevejecimiento.

50

[0038] Con respecto al punto de transformación AC₃, puede observarse que, para este acero, es inferior a aproximadamente 750 °C cuando el contenido de Al es inferior al 0,5 %, mientras que es de aproximadamente 850 °C para los aceros generalmente utilizados para producir láminas de dicha categoría. Esta diferencia de aproximadamente 100 °C es muy importante porque es más fácil calentar una lámina hasta una temperatura que solo debe ser superior a 750 °C que hasta una temperatura que debe ser superior a 850 °C. El calentamiento necesita menos energía y puede ser más rápido. Por lo tanto, es posible tener una mejor productividad, al mismo tiempo, los puntos Ac₁ y Ac₃ no deben estar demasiado cerca porque si están demasiado cerca, la robustez del acero se verá afectada ya que un pequeño cambio de temperatura de recocido inducirá una gran modificación de las fracciones de fase y, en consecuencia, propiedades mecánicas inestables.

55

[0039] Cuando el contenido de Al está entre 1,4 % y 2,5 %, el punto de transformación Ac₃ puede ser superior a 850 °C, pero se mejora la soldabilidad del acero.

60

[0040] Con este acero, las láminas de la invención tienen una estructura que contiene al menos 50 % de martensita, al menos 10 % y preferentemente al menos 15 % de austenita retenida y al menos 10 % y preferentemente al menos 15 % de ferrita. Para ello, la temperatura de recocido debe estar entre los puntos de transformación Ac₁ y

65

Ac₃ y la temperatura de enfriamiento debe ser menor que el punto de transformación Ms. El límite elástico puede ser superior a 1300 MPa y el alargamiento total puede ser de aproximadamente el 14 %, lo que es muy bueno para la conformabilidad de la lámina. Pero, el límite elástico es de sólo de aproximadamente 750 MPa.

5 **[0041]** Con un acero que contiene de 0,15 % a 0,25 % de C, de 6,5 % a 7,5 % de Mn, de 1,4 % a 1,8 % de Si, menos de 0,03 ≤ Al ≤ 2,5 % siendo el resto Fe e impurezas, es posible obtener un límite elástico superior a 1000 MPa y una resistencia a la tracción superior a 1100 MPa con una estructura que consiste en martensita y austenita retenida. Debido al alto contenido de Mn, los puntos de transformación Ac₁ y Ms de este acero se reducen significativamente: Ac₁ menos de 450 °C y Ms menos de 250 °C. Además, el Ac₃ se reduce si el contenido de Al es inferior al 0,5 %. En
10 este caso, Ac₃ podría ser inferior a 700 °C. Esto es útil ya que los tratamientos térmicos son más fáciles de realizar, es decir, es posible un recocido más rápido y tratamientos de recocido que consumen menos energía.

[0042] Las láminas de acero que tienen las composiciones que se presentan en la tabla I se produjeron por laminación en caliente, teniendo las láminas laminadas en caliente un espesor de 2,4 mm. Las láminas laminadas en
15 caliente se recocieron por lotes a 600 °C durante 5 horas, a continuación, se decaparon y laminaron en frío para obtener láminas que tenían un espesor de 1,2 mm. A continuación, estas láminas fueron tratadas térmicamente.

[0043] Antes del tratamiento térmico, se determinó una temperatura de enfriamiento óptima QTop para cada composición. Esta temperatura de enfriamiento óptima es la temperatura a la que teóricamente debe detenerse el
20 enfriamiento para obtener el contenido máximo de austenita en la estructura después del tratamiento térmico. Pero, no es necesariamente la temperatura QT la que es preferible elegir para el tratamiento térmico real.

[0044] Cada tratamiento térmico incluía un recocido a una temperatura de recocido AT, un enfriamiento hasta una temperatura de enfriamiento QT, un sobreenviejamiento a una temperatura de sobreenviejamiento PT durante
25 un tiempo de sobreenviejamiento Pt. Se midieron las estructuras y las propiedades mecánicas YS, TS, UE y TE.

[0045] El índice de carbono-manganeso CMnIndex, los valores de los puntos de transformación Ae₁, Ae₃ y Ms de los aceros y la temperatura óptima de enfriamiento QTop se presentan en la tabla I. Los puntos de transformación Ae₁ y Ae₃ son los valores en equilibrio y no dependen de la velocidad de calentamiento ni del tiempo de retención a la
30 temperatura de transformación contraria a Ac₁ y Ac₃ que son los puntos de transformación de calentamiento. Los valores de los puntos de transformación de calentamiento son siempre más altos que los valores de equilibrio y dependen de las condiciones reales del tratamiento. Los expertos en la materia saben cómo determinar los valores de los puntos de transformación que deben considerarse en cada caso específico. Las condiciones, las estructuras y las propiedades mecánicas resultantes de los tratamientos de aceros según la invención o proporcionadas como
35 comparación se presentan en la tabla II y la tabla III. En la tabla IV se presentan los contraejemplos correspondientes a aceros fuera del alcance de la invención.

Tabla I

Molde	% de C	% de Mn	% de Si	% de Al	CMnIndex	Ac ₁ °C	Ac ₃ °C	Ms °C	QTop °C
H166	0,2	5	1,6	0,03	0,49	562	742	280	160
H167	0,2	5	1,6	1,5	0,49	592	891	300	160
H240	0,2	7,5	1,6	0,03	0,63	434	696	200	110
H169	0,3	5	1,6	0,03	0,73	585	727	235	155
H170	0,2	5	-	0,03	0,49	512	718	302	170

40 **[0046]** En esta tabla, los moldes H166 y H167 son ejemplos que tienen una composición de la invención. Los moldes H240, H169 y H170 están fuera del alcance de la invención y se proporcionan como comparación.

Tabla II

Prueba	Molde	AT °C	QT °C	PT °C	Pt s	Estructura	YS MPa	TS MPa	UE %	TE %
1	H166	820	20	400	500	M(A < 2 %)	1377	1500	2,4	2,4
2	H166	820	<u>120</u>	400	500	M+28 % A	1245	1390	11,9	15
3	H166	820	<u>140</u>	400	500	M+30 % A	1143	1390	10,6	13,8
4	H166	820	160	400	<u>500</u>	M+36 % A	1088	1414	11,7	14,1
5	H166	<u>820</u>	180	400	500	M+42 % A	875	1475	9,6	11,6
6	H166	820	200	400	500	M+31 % A	811	1342	3,9	3,9

ES 2 811 838 T3

(continuación)

Prueba	Molde	AT °C	QT °C	PT °C	Pt s	Estructura	YS MPa	TS MPa	UE %	TE %
7	H166	820	230	400	<u>500</u>	M+20 % A	775	1616	3,6	3,6
8	H166	<u>820</u>	<u>160</u>	400	100	M+29 % A	971	1464	11,2	13,4
9	H166	820	<u>160</u>	450	<u>500</u>	M +34 % A	890	1457	11,4	13,8
(10)	H166	820	<u>160</u>	450	<u>10</u>	M+27 %A	1029	1414	9,7	12
11	H166	820	<u>160</u>	350	<u>500</u>	M+25 %A	951	1473	9,8	12,2
12	H166	900	<u>160</u>	400	<u>500</u>	M+33 %A	1074	1338	11,3	14,2
13	H166	800	<u>160</u>	400	<u>500</u>	M+27 %A	1125	1461	9,7	12,9
14	H166	800	<u>140</u>	400	<u>500</u>	M+23 %A	1233	1452	11,5	13,9
15	H166	800	<u>180</u>	400	<u>500</u>	M+29 %A	933	1517	9,7	11,3
16	H166	800	<u>160</u>	400	<u>100</u>	M+24 %A	1093	1486	9,1	12,6
17	H166	800	<u>160</u>	450	<u>500</u>	M+28 %A	944	1456	9,3	11,7
18	H166	800	<u>160</u>	450	<u>10</u>	M+25 %A	1063	1451	8,9	12,4
19	H166	700	<u>120</u>	400	<u>500</u>	F+M+45 %A	783	1306	13,9	14,5

Tabla III

Prueba	Molde	AT °C	QT °C	PT °C	Pt s	Estructura	YS MPa	TS MPa	UE %	TE %
20	H167	950	160	400	500	M+ 18 %A	950	1340	12,6	15,4
21	H167	950	140	400	500	M+21 %A	1021	1315	12,9	16,4
22	H167	1050	160	400	500	M+20 %A	1000	1230	7,5	12,3
23	H167	1050	140	400	500	M+ 17 %A	1020	1215	3,7	8,2
24	H167	1050	180	400	500	M+24 %A	960	1210	9	13
25	H167	1050	120	400	500	M+ 14 %A	1025	1260	3	7,2

5

Tabla IV

Prueba	Molde	AT °C	QT °C	PT °C	Pt s	Estructura	YS MPa	TS MPa	UE %	TE %
26	H240	820	70	400	500		1198	1288	0,9	0,9
27	H240	820	90	400	500	M+17 %A	1090	1213	1,8	1,8
28	H240	820	110	400	500	M+22 %A	936	1182	2,5	2,5
29	H240	800	90	400	500		1149	1274	1,4	1,4
30	H240	800	110	400	500		1021	1291	2,6	2,6
31	H240	800	130	400	500		1180	1260	1	1
32	H240	800	180	400	1800	M+8 %A	780	1540	1,7	1,8
33	H169	820	110	400	500		1123	1426	4,5	4,5
34	H169	820	130	400	500	M+40 %A	1000	1365	3,3	3,3
35	H169	820	150	400	500	M+33 %A	784	1375	3,1	3,1
36	H169	800	140	400	500	M+31 %A	950	1145	1	1
37	H169	800	160	400	500	M+35 %A	790	1210	1,6	1,6

Tabla IV

Prueba	Molde	AT °C	QT °C	PT °C	Pt s	Estructura	YS MPa	TS MPa	UE %	TE %
38	H169	800	180	400	500		740	1300	1,6	1,6
39	H170	820	110	400	500		1066	1263	5,7	6,1
40	H170	820	130	400	500		1020	1270	6	8
41	H170	820	150	400	500	M+6 %A	961	1276	6,7	9,4
42	H170	820	170	400	500	M+14 %A	947	1297	5,9	8,0
43	H170	800	150	400	500	M+7 %A	1000	1330	6,3	8,8
44	H170	800	170	400	500	M+11 %A	971	1300	6,1	7,8

[0047] Los ejemplos 1 a 19 se refieren a un acero que contiene 0,2 % de C, 5 % de Mn, 1,6 % de Si y 0,03 % de Al. El ejemplo 1 corresponde a un tratamiento de enfriamiento y templado según la técnica anterior, siendo el enfriamiento por debajo de la temperatura ambiente y siendo la estructura aproximadamente completamente martensítica. Para el ejemplo 19, el recocido es intercrítico. Todos los ejemplos 2 a 19 muestran que es posible obtener un límite elástico superior a 700 MPa y una resistencia a la tracción superior a 1100 MPa. Los ejemplos 2, 3, 4, 12, 13, 14 y 16 muestran que con una temperatura de enfriamiento igual o inferior a 160 °C y superior o igual a 120 °C y una partición (o sobre-envejecimiento) a 400 °C durante 500 s, es posible obtener un límite elástico de más de 1050 MPa y una resistencia a la tracción de más de 1350 MPa. Pero, cuando la temperatura de enfriamiento es superior a 160 °C (ejemplos 5, 6, 7 y 15), incluso si la resistencia a la tracción es de al menos 1342 MPa, el límite elástico permanece inferior a 1000 MPa. Los ejemplos 2, 3, 4, 8, 9, 12, 14 y 19 muestran que es posible obtener un alargamiento uniforme UE de más del 10 % y un alargamiento total TE de más del 12 %. Los ejemplos 1, 6 y 7 para los que el alargamiento total es igual al alargamiento uniforme son muy frágiles y muestran que deben permanecer por debajo de 180 °C. El ejemplo 1 muestra que el límite elástico y la resistencia a la tracción que se obtienen con un enfriamiento total son más altos que con un enfriamiento parcial, pero las muestras son muy frágiles.

[0048] Los ejemplos 20 a 25 de acero que tienen un alto contenido de aluminio y que por lo tanto son más fácilmente soldables pueden tener muy buenas propiedades, por ejemplo, un límite elástico de al menos 950 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 1315 MPa, un alargamiento uniforme superior al 12 % y un alargamiento total superior al 15 % (ejemplos 20 y 21). Pero una comparación con los ejemplos 23 a 25 muestra que es preferible que la temperatura de recocido permanezca por debajo de 1000 °C para no deteriorar el límite elástico del alargamiento uniforme.

[0049] Los contraejemplos 27 a 32 muestran que con un acero que contiene 7,5 % de manganeso y que tiene un equivalente de carbono $C_{eq} > 0,6$ es posible obtener un alto límite elástico y una alta resistencia a la tracción ($YS > 700$ MPa y $T_s > 100$ MPa), pero todos los ejemplos son muy frágiles. Los alargamientos totales son siempre iguales a los alargamientos uniformes y son muy bajos.

[0050] Los contraejemplos 33 a 38 muestran que con el acero H167 que tiene un equivalente de carbono C_{eq} de 0,73 es muy frágil.

[0051] Los contraejemplos 39 a 44 relacionados con un acero que no contiene silicio muestran que incluso si el límite elástico y la resistencia a la tracción son similares a los de los aceros según la invención, los alargamientos nunca son tan altos. El alargamiento uniforme máximo es 6,7 y el alargamiento total máximo es 9,4 (ejemplo 41).

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de fabricación de una lámina de acero de alta resistencia que tiene una resistencia a la tracción de más de 1100 MPa, un límite elástico de más de 700 MPa, un alargamiento uniforme UE de al menos 8,0 % y un
5 alargamiento total de al menos 10,0 %, hecha de un acero que contiene en porcentaje en peso:

$$0,15 \% \leq C \leq 0,25 \%$$

$$4,5 \% \leq Mn \leq 5,5 \%$$

$$1,4 \% \leq Si \leq 1,8 \%$$

$$10 \quad 0,03 \% \leq Al \leq 2,5 \%$$

siendo el resto Fe e impurezas resultantes de la fundición, incluyendo las impurezas N, S, P y elementos residuales que incluyen Cr, Ni, Mo, Cu y B, siendo el contenido de N inferior al 0,01 %, el contenido de S inferior al 0,01 %, el contenido de P inferior al 0,02 %, el contenido de Cr inferior al 0,1 %, el contenido de Ni inferior al 0,1 %, el contenido
15 de Mo inferior al 0,05 %, el contenido de Cu inferior al 0,2 % y el contenido de B inferior al 0,0010 %, siendo la composición tal que:

$$CMnIndex = Cx(1 + Mn/3.5) \leq 0.6$$

20 siendo C y Mn los contenidos en C y Mn en % en peso, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

- recocer una lámina laminada hecha de dicho acero sumergiéndola a una temperatura de recocido TA superior al punto de transformación Ac₁ del acero, pero inferior a 1000 °C e inferior al punto de transformación Ac₃ del acero,
- 25 - enfriar la lámina recocida a una temperatura de enfriamiento QT entre 110 °C y 170 °C, a una velocidad de enfriamiento suficiente para obtener una estructura inmediatamente después del enfriamiento que contenga martensita y austenita retenida,
- mantener la lámina de acero a una temperatura de sobrevejecimiento PT entre 350 °C y 500 °C durante un tiempo de sobrevejecimiento Pt entre 5 s y 600 s,
- 30 - enfriar la lámina hasta la temperatura ambiente,

conteniendo la estructura del acero al menos el 15 % de ferrita, al menos el 50 % de martensita y al menos el 15 % de austenita retenida.

35 2. El procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la composición química del acero es tal que: 0,03 % ≤ Al ≤ 0,5 %.

3. El procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado porque** la composición química del acero es tal que: Si + Al ≥ 1,4 %.

40 4. El procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la composición química del acero es tal que: 1,4 % ≤ Al ≤ 2,5 %.

5. El procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la temperatura de sobrevejecimiento PT está
45 entre 440 °C y 470 °C y la lámina se mantiene a la temperatura de sobrevejecimiento durante un tiempo Pt entre 5 s y 60 s.

6. El procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado porque** al menos una parte del mantenimiento a la temperatura de sobrevejecimiento se realiza haciendo pasar la lámina en un baño de recubrimiento por inmersión
50 en caliente.

7. El procedimiento según la reivindicación 6, **caracterizado porque**, después de pasar en un baño de recubrimiento por inmersión en caliente y antes de enfriarse a la temperatura ambiente, la lámina se mantiene adicionalmente a una temperatura entre 480 °C y 570 °C.

55 8. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** el recocido, el enfriamiento y el sobrevejecimiento se realizan en una línea de tratamiento térmico continuo, tal como una línea de recocido continuo que comprende opcionalmente una sección de recubrimiento en caliente.

60 9. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** la lámina laminada se prepara por laminación y **porque** la preparación de la lámina por laminación comprende laminación en caliente y opcionalmente laminación en frío.

10. Una lámina de acero de alta resistencia que tiene una resistencia a la tracción de más de 1100 MPa, un límite elástico de más de 700 MPa, un alargamiento uniforme UE de al menos 8,0 % y un alargamiento total de al menos 10,0 %, **caracterizada porque** la composición química del acero contiene, en porcentaje en peso:

- 5 $0,15 \% \leq C \leq 0,25 \%$
 $4,5 \% \leq Mn \leq 5,5 \%$
 $1,4 \leq Si \leq 1,8 \%$
 $0,03 \% \leq Al \leq 2,5 \%$

10 siendo el resto Fe e impurezas resultantes de la fundición, incluyendo las impurezas N, S, P y elementos residuales que incluyen Cr, Ni, Mo, Cu y B, siendo el contenido de N inferior al 0,01 %, el contenido de S inferior al 0,01 %, el contenido de P inferior al 0,02 %, el contenido de Cr inferior al 0,1 %, el contenido de Ni inferior al 0,1 %, el contenido de Mo inferior al 0,05 %, el contenido de Cu inferior al 0,2 % y el contenido de B inferior al 0,0010 %, siendo la composición tal que:

15

$$CMnIndex = Cx(1 + Mn/3.5) \leq 0.6,$$

siendo C y Mn los contenidos en C y Mn en % en peso,

20 y **porque** la estructura del acero comprende al menos el 15 % de ferrita, al menos el 50 % de martensita y al menos el 15 % de austenita retenida.

11. La lámina de acero de alta resistencia según la reivindicación 10, **caracterizada porque** la composición química del acero es tal que: $0,03 \% \leq Al \leq 0,5 \%$.

25 12. La lámina de acero de alta resistencia según la reivindicación 11, **caracterizada porque** la composición química del acero es tal que: $Si + Al \geq 1,4 \%$.

13. La lámina de acero de alta resistencia según la reivindicación 10, **caracterizada porque** la composición química del acero es tal que: $1,4 \% \leq Al \leq 2,5 \%$.

30

14. La lámina de acero de alta resistencia según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, **caracterizada porque** al menos una de sus caras comprende un recubrimiento metálico.