

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 801 673**

51 Int. Cl.:

C21D 9/46 (2006.01)

C22C 38/06 (2006.01)

C22C 38/60 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.12.2016 PCT/EP2016/082202**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.06.2017 WO17108966**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2016 E 16820260 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2020 EP 3394299**

54 Título: **Procedimiento para producir una lámina de acero de alta resistencia con una resistencia y conformabilidad mejoradas, y la lámina de acero de alta resistencia obtenida**

30 Prioridad:
21.12.2015 WO PCT/IB2015/059838

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.01.2021

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

72 Inventor/es:
**VENKATASURYA, PAVAN y
JUN, HYUN JO**

74 Agente/Representante:
SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 801 673 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 producir una lámina de acero de alta resistencia con una resistencia y conformabilidad mejoradas, y la lámina de acero de alta resistencia obtenida

5

[0001] La presente invención se refiere a un procedimiento para producir una lámina de acero de alta resistencia con una resistencia, ductilidad y conformabilidad mejoradas y a las láminas obtenidas con el procedimiento.

10 **[0002]** Para fabricar diversos equipos, tales como piezas de elementos estructurales de la carrocería y paneles de la carrocería para vehículos automóviles, es habitual usar láminas hechas de aceros DP (fase dual) o aceros TRIP (plasticidad inducida por transformación).

15 **[0003]** Por ejemplo, dichos aceros que incluyen una estructura martensítica y/o austenita retenida y que contienen alrededor del 0,2 % de C, alrededor del 2 % de Mn, alrededor del 1,7 % de Si tienen un límite elástico de alrededor de 750 MPa, una resistencia a la tracción de alrededor de 980 MPa, un alargamiento total de más del 8 %. Estas láminas se producen en una línea de recocido continuo templando de una temperatura de recocido superior al punto de transformación A_{c3} a un sobre-envejecimiento superior al punto de transformación M_s y manteniendo la lámina a la temperatura durante un tiempo dado.

20 **[0004]** Para reducir el peso de los automóviles con el fin de mejorar su eficiencia en consumo de combustible, en vista de la conservación global del medio ambiente, es deseable tener láminas que tengan un límite elástico y una resistencia a la tracción mejorados. Pero dichas láminas también deben tener una buena ductilidad y una buena conformabilidad y, más específicamente, una buena expandibilidad.

25 **[0005]** A este respecto, es deseable tener láminas que tengan un límite elástico YS comprendido entre 830 MPa y 1100 MPa, preferentemente de al menos 850 MPa, una resistencia a la tracción TS de al menos 1180 MPa, un alargamiento total de al menos el 12 %, preferentemente de al menos el 14 %, y una relación de expansión del orificio HER según la norma ISO 16630:2009 de más del 30 %. Debe enfatizarse que, debido a las diferencias en los procedimientos de medición, los valores de la relación de expansión del orificio HER según la norma ISO son muy diferentes y no comparables con los valores de la relación de expansión del orificio λ según la JFS T 1001 (norma de la Federación Japonesa de Hierro y Acero). La resistencia a la tracción RT y el alargamiento total TE se miden según la norma ISO 6892-1, publicada en octubre de 2009. Debido a las diferencias en los procedimientos de medición, en particular debido a las diferencias en la geometría de la muestra utilizada, los valores del alargamiento total TE medidos según la norma ISO son muy diferentes y, en particular, más bajos que los valores del alargamiento total medidos según la norma JIS Z 2201-05.

35 **[0006]** El documento EP2325346A1 describió una lámina de acero de alta resistencia que tiene buena ductilidad y capacidad de estiramiento, y que tiene una resistencia a la tracción (TS) de 980 MPa o más.

40 **[0007]** El documento WO2016001708A1 (técnica anterior de conformidad con el artículo 54(3) EPC) describió un procedimiento para producir una lámina de acero recubierta de alta resistencia con una ductilidad mejorada y una conformabilidad mejorada.

45 **[0008]** Por lo tanto, el propósito de la presente invención es proporcionar tal lámina y un procedimiento para producirla.

50 **[0009]** Para este propósito, la invención se refiere a un procedimiento para producir una lámina de acero que tiene una microestructura que consiste en entre el 71 % y el 91 % de la suma de martensita y bainita, entre el 9 % y el 13 % de austenita retenida, y como máximo el 20 % de ferrita, comprendiendo el procedimiento las siguientes etapas sucesivas:

- proporcionar una lámina de acero laminada en frío, conteniendo la composición química del acero en % en peso:

55 $0,13 \% \leq C \leq 0,22 \%$
 $1,2 \% \leq Si \leq 2,3 \%$
 $0,02 \% \leq Al \leq 1,0 \%$,
con $1,25 \% \leq Si + Al \leq 2,35 \%$,
 $2,4 \% \leq Mn \leq 3 \%$,
60 $Ti \leq 0,05 \%$
 $Nb \leq 0,05 \%$

siendo el resto Fe e impurezas inevitables,

65 - recocer la lámina de acero a una temperatura de recocido T_A para obtener una estructura que comprende del 80 % al 100 % de austenita y del 0 % al 20 % de ferrita,

- templar la lámina a una velocidad de enfriamiento comprendida entre 20 °C/s y 50 °C/s hasta una temperatura de templado QT comprendida entre 240 °C y 310°C,
 - calentar la lámina hasta una temperatura de partición PT entre 400 °C y 465 °C y mantener la lámina a esta temperatura durante un tiempo de partición Pt entre 50 s y 250 s,
- 5 - enfriar inmediatamente la lámina hasta la temperatura ambiente.

[0010] Preferentemente, la etapa de proporcionar la lámina de acero laminada en frío comprende:

- laminar en caliente una lámina hecha de dicho acero para obtener una lámina de acero laminada en caliente,
- 10 - enrollar dicha lámina de acero laminada en caliente a una temperatura Tc comprendida entre 500 °C y 730 °C,
- laminar en frío dicha lámina de acero laminada en caliente para obtener dicha lámina de acero laminada en frío.

[0011] De acuerdo con una realización particular, la etapa de proporcionar dicha lámina de acero laminada en frío comprende, además, entre el enrollado y el laminado en frío, realizar un recocido discontinuo a una temperatura
15 comprendida entre 500 °C y 650 °C durante un tiempo entre 300 segundos y 12 horas.

[0012] De acuerdo con otra realización particular, la etapa de proporcionar dicha lámina de acero laminado en frío comprende, además, entre el enrollado y el laminado en frío, realizar un enfriamiento lento de la lámina de acero laminado en caliente desde la temperatura de enrollado hasta la temperatura ambiente durante un tiempo comprendido
20 entre 5 y 7 días.

[0013] Preferentemente, la lámina templada tiene, justo antes del calentamiento a la temperatura de partición PT, una estructura que consiste en entre el 10 y el 40 % de austenita, entre el 60 % y el 90 % de martensita y entre el 0 % y el 20 % de ferrita.
25

[0014] De acuerdo con una realización particular, la temperatura de templado QT está comprendida entre 240 °C y 270 °C, y la temperatura de partición PT está comprendida entre 440 °C y 460 °C.

[0015] De acuerdo con otra realización particular, la temperatura de templado QT está comprendida entre
30 290 °C y 320 °C, y la temperatura de partición PT está comprendida entre 400 °C y 425 °C.

[0016] Preferentemente, la composición química del acero satisface al menos una de las siguientes condiciones: C ≥ 0,16 %, C ≤ 0,20 %, Si ≥ 2,0 %, Si ≤ 2,2 %, Mn ≥ 2,6 %, Mn ≤ 2,8 %.

35 **[0017]** Preferentemente, después de que la lámina se temple a la temperatura de templado QT, y antes de que la lámina se caliente a la temperatura de partición PT, la lámina se mantiene a la temperatura de templado QT durante un tiempo de mantenimiento comprendido entre 2 s y 8 s, preferentemente entre 3 s y 7 s.

[0018] Preferentemente, el tiempo de partición Pt está entre 50 y 200 s.
40

[0019] Especialmente, la invención se refiere a un procedimiento para producir una lámina de acero que tiene una microestructura que consiste en entre el 71 % y el 91 % de la suma de martensita y bainita, entre el 9 % y el 13 % de austenita retenida, y como máximo el 20 % de ferrita, donde el procedimiento comprende las siguientes etapas sucesivas:
45

- proporcionar una lámina de acero laminada en frío, conteniendo la composición química del acero en % en peso:

$$0,13 \% \leq C \leq 0,22 \%$$

$$1,2 \% \leq Si \leq 2,3 \%$$

50 $0,02 \% \leq Al \leq 1,0 \%$,

$$\text{con } 1,25 \% \leq Si + Al \leq 2,35 \%$$

$$2,4 \% \leq Mn \leq 3 \%$$

$$Ti < 0,05 \%$$

55 $Nb < 0,05 \%$

siendo el resto Fe e impurezas inevitables,

- recocer la lámina de acero a una temperatura de recocido TA para obtener una estructura que comprende del 80 % al 100 % de austenita y del 0 % al 20 % de ferrita,

60 - templar la lámina a una velocidad de enfriamiento comprendida entre 20 °C/s y 50 °C/s hasta una temperatura de templado QT comprendida entre 240 °C y 270°C,

- calentar la lámina hasta una temperatura de partición PT entre 440 °C y 460 °C y mantener la lámina a la temperatura de partición PT durante un tiempo de partición Pt entre 50 s y 250 s,

- enfriar inmediatamente la lámina hasta la temperatura ambiente.

65

[0020] La invención también se refiere a un procedimiento para producir una lámina de acero que tiene una microestructura que consiste en entre el 71 % y el 91 % de la suma de martensita y bainita, entre el 9 % y el 13 % de austenita retenida, y como máximo el 20 % de ferrita, donde el procedimiento comprende las siguientes etapas sucesivas:

5

- proporcionar una lámina de acero laminada en frío, conteniendo la composición química del acero en % en peso:

$0,13 \% \leq C \leq 0,22 \%$

$1,2 \% \leq Si \leq 2,3 \%$

10

$0,02 \% \leq Al \leq 1,0 \%$,

con $1,25 \% \leq Si + Al \leq 2,35 \%$,

$2,4 \% \leq Mn \leq 3 \%$,

$Ti < 0,05 \%$

15

$Nb < 0,05 \%$

siendo el resto Fe e impurezas inevitables,

- recocer la lámina de acero a una temperatura de recocido TA para obtener una estructura que comprende del 80 % al 100 % de austenita y del 0 % al 20 % de ferrita,

- templar la lámina a una velocidad de enfriamiento comprendida entre 20 °C/s y 50 °C/s hasta una temperatura de templado QT comprendida entre 290°C y 320°C,

- calentar la lámina hasta una temperatura de partición PT entre 400 °C y 425 °C y mantener la lámina a la temperatura de partición durante un tiempo de partición Pt entre 50 s y 250 s,

25

enfriando inmediatamente la lámina a la temperatura ambiente.

[0021] La invención también se refiere a una lámina de acero, en la que la composición química del acero contiene en % en peso:

30

$0,13 \% \leq C \leq 0,22 \%$

$1,2 \% \leq Si \leq 2,3 \%$

$0,02 \% \leq Al \leq 1,0 \%$,

con $1,25 \% \leq Si + Al \leq 2,35 \%$,

35

$2,4 \% \leq Mn \leq 3 \%$,

$Ti \leq 0,05 \%$

$Nb \leq 0,05 \%$

40 siendo el resto Fe e impurezas inevitables,

teniendo una microestructura que consiste en, en porcentaje superficial:

- entre el 71 % y el 91 % de martensita y bainita,

- entre el 9 % y el 13 % de austenita retenida,

45

- como máximo el 20 % de ferrita,

la lámina de acero que tiene un límite elástico comprendido entre 850 y 1100 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa, un alargamiento total de al menos el 12 % y una relación de expansión del orificio HER de al menos el 30 %.

50

[0022] De acuerdo con una realización particular, el alargamiento total TE es de al menos el 14 % y/o la relación de expansión del orificio HER es mayor que el 40 %.

[0023] La composición química del acero puede, opcionalmente, satisfacer al menos una de las siguientes condiciones: $C \geq 0,16 \%$, $C \leq 0,20 \%$, $Si \geq 2,0 \%$, $Si \leq 2,2 \%$, $Mn \geq 2,6 \%$ y $Mn \leq 2,8 \%$.

55

[0024] Preferentemente, el contenido de carbono $C_{RA}\%$ en la austenita retenida está comprendido entre el 0,9 % y el 1,2 %.

60

[0025] De acuerdo con una realización particular, la austenita retenida comprende austenita retenida en bloque que tiene una relación de aspecto comprendida entre 2 y 4 y austenita retenida de tipo película que tiene una relación de aspecto comprendida entre 5 y 8.

65

[0026] Preferentemente, la microestructura comprende entre el 5,5 % y el 10,5 % de austenita retenida de tipo película.

[0027] De acuerdo con una realización, la lámina está recubierta con un recubrimiento metálico fabricado por electrodeposición o procedimiento de deposición al vacío.

5 **[0028]** Especialmente, la invención se refiere a una lámina de acero, en la que la composición química del acero contiene en % en peso:

- 0,13 % ≤ C ≤ 0,22 %
 1,2 % ≤ Si ≤ 2,3 %
 10 0,02 % ≤ Al ≤ 1,0 %, con 1,25 % ≤ Si + Al ≤ 2,35 %, 2,4 % ≤ Mn ≤ 3 %,

 15 Ti < 0,05 %
 Nb < 0,05 %

siendo el resto Fe e impurezas inevitables, teniendo una microestructura que consiste en, en porcentaje superficial:

- 20 - entre el 71 % y el 91 % de martensita y bainita,
 - entre el 9 % y el 13 % de austenita retenida,
 - como máximo el 20 % de ferrita,

25 en la que la austenita retenida comprende la austenita retenida en bloque que tiene una relación de aspecto comprendida entre 2 y 4 y la austenita retenida de tipo película que tiene una relación de aspecto comprendida entre 5 y 8, teniendo la lámina un límite elástico comprendido entre 850 y 1100 Mpa, una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa, un alargamiento total de al menos el 14 % y una relación de expansión del orificio HER de al menos el 30 %.

30 **[0029]** La invención se describirá ahora en detalle, pero sin introducir limitaciones.

[0030] La composición del acero según la invención comprende, en un porcentaje del peso:

- 35 - del 0,13 % al 0,22 % de carbono para garantizar una resistencia satisfactoria y mejorar la estabilidad de la austenita retenida que es necesaria para obtener un alargamiento suficiente. Preferentemente, el contenido de carbono es superior o igual al 0,16 %, y/o preferentemente inferior o igual al 0,20 %. Si el contenido de carbono es demasiado alto, la lámina laminada en caliente es demasiado difícil de laminar en frío y la soldabilidad es insuficiente. Si el contenido de carbono es inferior al 0,13 %, los valores del límite elástico y la resistencia a la tracción no alcanzarán, respectivamente, los 850 y 1180 MPa.
- 40 - del 2,4 % al 3 % y preferiblemente más del 2,6 % y preferentemente menos del 2,8 % de manganeso. El mínimo se define para tener una templabilidad suficiente con el fin de obtener una microestructura que contenga al menos el 71 % de martensita y bainita, y una resistencia a la tracción de más de 1180 MPa. El máximo se define para evitar tener problemas de segregación que son perjudiciales para la ductilidad.
- 45 - del 1,2 % al 2,3 %, de silicio con el fin de estabilizar la austenita, con el fin de proporcionar un refuerzo de la solución sólida y retrasar la formación de carburos durante el sobrevejecimiento sin formación de óxidos de silicio en la superficie de la lámina, lo que sería perjudicial para la revestibilidad. Preferentemente, el contenido de silicio es superior o igual al 1,9 %, aun preferentemente inferior o igual al 2,0 %. Una mayor cantidad de silicio mejora la relación de expansión del orificio. Preferentemente, el contenido de silicio es inferior o igual al 2,2 %. Un contenido de silicio superior al 2,3 % conduciría a la formación de óxidos de silicio en la superficie.
- 50 - del 0,02 % al 1,0 % de aluminio. Se añade aluminio para desoxidar el acero líquido y esto aumenta la robustez del procedimiento de fabricación, en particular reduce las variaciones de la fracción de austenita cuando varía la temperatura de recocido. El contenido máximo de aluminio se define para evitar un aumento del punto de transformación Ac₃ a una temperatura que dificultaría el recocido. El aluminio, como el silicio, retrasa la formación de carburos durante la redistribución del carbono de la martensita a la austenita resultante del sobrevejecimiento. Para
- 55 retrasar la formación de carburos, el contenido mínimo de Al + Si debe ser del 1,25 %. El contenido máximo de Al + Si debe ser del 2,35 %.

[0031] El resto es hierro y elementos residuales resultantes de la fabricación del acero. A este respecto, Ni, Cr, Mo, Cu, Nb, Ti, V, B, S, P y N al menos se consideran elementos residuales que son impurezas inevitables. Por lo tanto, sus contenidos son inferiores al 0,05 % para el Ni, 0,05 % para el Cr, 0,02 % para el Mo, 0,03 % para el Cu, 0,007 % para el V, 0,0010 % para el B, 0,005 % para el S, 0,02 % para el P y 0,010 % para el N. El contenido de Nb se limita al 0,05 % y el contenido de Ti se limita al 0,05 % porque, por encima de tales valores, se formarían grandes precipitados y la conformabilidad del acero disminuiría, haciendo que el objetivo del 12 % para el alargamiento total sea más difícil de alcanzar.

65

[0032] El acero laminado en caliente que presenta un grosor entre 2 y 5 mm puede producirse de una manera conocida a partir de este acero. Como ejemplo, la temperatura de recalentamiento antes del laminado puede estar entre 1200 °C y 1280 °C, preferentemente alrededor de 1250 °C, la temperatura de laminado final es preferentemente inferior a 850 °C, la temperatura de enfriamiento inicial inferior a 800 °C, la temperatura de enfriamiento final entre 570 °C y 590 °C y el enrollado se realiza a una temperatura preferentemente comprendida entre 500 °C y 730 °C.

[0033] Después del laminado en caliente, la lámina se trata térmicamente para reducir la deformación del acero y por lo tanto mejorar la capacidad de laminación en frío de la lámina de acero laminada en caliente y enrollada.

10 **[0034]** De acuerdo con una primera realización, este tratamiento térmico es un recocido discontinuo. En esta realización, la lámina de acero laminada en caliente y enrollada se recuece de forma discontinua a una temperatura entre 500 °C y 650 °C durante un tiempo entre 300 segundos y 12 horas, preferentemente durante 4 horas a 12 horas.

15 **[0035]** De acuerdo con una segunda realización, el tratamiento térmico es un enfriamiento lento desde la temperatura de enrollado hasta la temperatura ambiente, a una velocidad de enfriamiento tal que la lámina se enfría desde la temperatura de enrollado hasta la temperatura ambiente en un tiempo de enfriamiento comprendido entre 5 y 7 días.

20 **[0036]** El acero laminado en caliente puede decaparse y laminarse en frío para obtener un acero laminado en frío con un grosor entre 0,5 y 2,5 mm.

[0037] A continuación, el acero se somete a un tratamiento térmico en una línea continua de recocido.

25 **[0038]** El tratamiento térmico comprende las etapas de:

- recocer la lámina a una temperatura de recocido T_A de tal forma que, al final de la etapa de recocido, el acero tiene una estructura que comprende al menos el 80 % de austenita, preferentemente al menos el 95 %, y hasta el 100 %. Un experto en la materia sabe cómo determinar la temperatura de recocido T_A a partir de pruebas de dilatometría. Preferentemente, la temperatura de recocido T_A es de, como máximo, $Ac3 + 50$ °C, para limitar el engrosamiento de los granos austeníticos. Aun preferentemente, la temperatura de recocido T_A es de, como máximo, $Ac3$. $Ac3$ designa la temperatura de inicio y final de la transformación en austenita durante la etapa de calentamiento. La lámina se mantiene a la temperatura de recocido, es decir, se mantiene entre $T_A - 5$ °C y $T_A + 10$ °C, durante un tiempo de recocido t_R suficiente para homogeneizar la composición química. Este tiempo de recocido t_R es, preferentemente, de más de 60 s, pero no tiene por qué ser de más de 300 s.

30 - templar la lámina hasta una temperatura de templado QT inferior al punto de transformación M_s de la austenita, a una velocidad de enfriamiento lo suficientemente rápida como para evitar la formación de nuevas ferritas y bainitas. La velocidad de enfriamiento está comprendida entre 20 °C/s y 50 °C/s. De hecho, una velocidad de enfriamiento inferior a 20 °C/s conduciría a la formación de ferrita y no permitiría obtener una resistencia a la tracción de, al menos, 1180 MPa. La temperatura de templado está entre 240 °C y 320 °C para tener una estructura que contenga entre el 10 y el 40 % de austenita, entre el 60 % y el 90 % de martensita y entre el 0 % y el 20 % de ferrita, a esa temperatura QT justo después del enfriamiento. Si la temperatura de templado QT es inferior a 240 °C, la fracción de martensita particionada en la estructura final es demasiado alta para estabilizar una cantidad suficiente de austenita retenida por encima del 9 %, de modo que el alargamiento total no alcanza el 12 %. Asimismo, si la temperatura de templado QT es superior a 320 °C, la fracción de martensita particionada es demasiado baja para obtener las resistencias a la tracción y el límite elástico deseados.

45 - opcionalmente, mantener la lámina enfriada a la temperatura de templado durante un tiempo de mantenimiento comprendido entre 2 s y 8 s, preferentemente entre 3 s y 7 s.

50 - recalentar la lámina desde la temperatura de templado hasta una temperatura de partición PT entre 400 °C y 465 °C. La velocidad de recalentamiento puede ser alta cuando el recalentamiento se realiza mediante un calentador de inducción. Si la temperatura de partición PT es inferior a 400 °C, el alargamiento no es satisfactorio.

- mantener la lámina a la temperatura de partición PT durante un tiempo entre 50 s y 250 s.

- inmediatamente después de esta etapa de mantenimiento, enfriar la lámina a la temperatura ambiente, a una velocidad de enfriamiento preferentemente superior a 1 °C/s, por ejemplo, entre 2 °C/s y 20 °C/s.

55 **[0039]** Además, cuando la temperatura de templado QT está comprendida entre 240 °C y 270 °C, la temperatura de partición PT está comprendida entre 440 °C y 460 °C. Esta primera realización permite alcanzar las propiedades mecánicas deseadas para una composición dada en un rango muy amplio de tiempos de recocido y partición y, por lo tanto, es muy estable cuando se varía la velocidad de la línea. En particular, esta primera realización proporciona un fuerte revenido de la martensita, lo que da como resultado altos valores de la fuerza del límite elástico y de la relación de expansión del orificio.

60 **[0040]** Si la temperatura de templado QT está comprendida entre 290 °C y 320 °C, la temperatura de partición PT está comprendida entre 390 °C y 425 °C. Esta segunda realización permite obtener las propiedades mecánicas deseadas en un amplio rango de tiempos de recocido y partición.

65

[0041] Además, estas dos realizaciones permiten conseguir un alargamiento total de al menos el 14 %, como se describe con más detalle a continuación.

[0042] Este tratamiento permite obtener una estructura final, es decir, después de la partición y el enfriamiento a temperatura ambiente, que consiste en:

- austenita retenida, con un porcentaje de la superficie comprendido entre el 9 % y el 13 %,
- martensita y bainita, con un porcentaje de la superficie entre el 71 % y el 91 %, preferentemente entre el 82 % y el 91 %,

10 - como máximo el 20 % de ferrita, preferentemente como máximo el 5 %.

[0043] Una fracción de austenita retenida de al menos el 9 % permite obtener un alargamiento total de al menos el 12 %, y una fracción de martensita y bainita de al menos el 71 % permite obtener una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa.

15

[0044] La austenita retenida puede comprender austenita retenida en bloque y austenita retenida de tipo película, ubicada entre los listones de martensita.

[0045] La austenita retenida de tipo bloque tiene una relación de aspecto promedio comprendida entre 2 y 4. La austenita retenida de tipo película tiene una relación de aspecto promedio comprendida entre 5 y 8.

[0046] Las relaciones de aspecto de cada una de las austenitas retenidas de tipo bloque y de tipo película se determinan en la lámina final mediante grabado con agente Klemm, observando a continuación al menos 10 micrografías con un aumento de 500 y realizando un análisis de la imagen de las micrografías para la identificación de los N constituyentes (i) de la austenita retenida. Se determinan los tamaños máximos (I_{max})_i y mínimo (I_{min})_i de cada constituyente (i), y se calcula la relación de aspecto de cada constituyente individual (i) como $(I_{max})_i/(I_{min})_i$, en la población total de constituyentes N. La relación de aspecto promedio se calcula como el valor medio aritmético de los N valores individuales de $(I_{max})_i/(I_{min})_i$.

[0047] Preferentemente, la microestructura comprende entre el 5,5 % y el 10,5 % de austenita retenida de tipo película y, como máximo, el 7,5 % de austenita de tipo bloque. La austenita retenida de tipo película es más estable que la austenita en bloque y no se transforma rápidamente en martensita durante la deformación.

[0048] Estas características se obtienen especialmente cuando la temperatura de templado QT está comprendida entre 240 °C y 270 °C y la temperatura de partición PT está comprendida entre 440 °C y 460 °C, o cuando la temperatura de templado QT está comprendida entre 290 °C y 320 °C, y la temperatura de partición PT está comprendida entre 390 °C y 425 °C.

[0049] Estas características permiten obtener un alargamiento total TE de al menos el 14 %, en combinación con un límite elástico YS comprendido entre 850 y 1100 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa y una relación de expansión del orificio HER según la norma ISO 16630:2009 de al menos el 30 %.

[0050] Además, el tamaño medio de los bloques de bainita o martensita es preferentemente de 10 mm o menos.

45

[0051] Además, este tratamiento permite obtener un mayor contenido de C en la austenita retenida, que es de al menos el 0,9 %, preferentemente incluso de al menos el 1,0 %, y hasta el 1,2 %.

[0052] Con dicho tratamiento, se pueden obtener láminas con un límite elástico YS comprendido entre 850 y 1100 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa, un alargamiento total de al menos el 12 % y una relación de expansión del orificio HER según la norma ISO 16630:2009 de al menos el 30 %.

[0053] Asimismo, cuando la temperatura de templado QT está comprendida entre 240 °C y 270 °C y la temperatura de partición PT está comprendida entre 440 °C y 460 °C, o cuando la temperatura de templado QT está comprendida entre 290 °C y 320 °C y la temperatura de partición PT está comprendida entre 390 °C y 425 °C, se obtienen láminas con un límite elástico YS comprendido entre 850 y 1100 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa, un alargamiento total de al menos el 14 % y una relación de expansión del orificio HER según la norma ISO 16630:2009 de al menos el 30 %.

[0054] Las láminas de acero así obtenidas se pueden utilizar como láminas sin recubrimiento o se pueden recubrir con un recubrimiento metálico tal como el zinc o aleación de zinc, producido por electrodeposición o deposición al vacío.

Ejemplos:

65

[0055] Las láminas de un acero que tiene una composición que comprende el 0,163 % de C, el 2,05 % de Si, el 2,7 % de Mn y el 0,02 % de Al, siendo el resto Fe e impurezas, se produjeron por laminación en caliente, seguido de un enrollado a 730 °C. Las láminas laminadas en caliente se recocióron de forma discontinua a 650 °C durante 10 horas, luego se decaparon y se laminaron en frío para obtener láminas de 1,6 mm de espesor. Los puntos Ac1, Ac3 y Ms del acero se determinaron mediante pruebas de dilatometría, siendo Ac1=780 °C, Ac3=900 °C y Ms=330 °C.

[0056] Se trataron varias láminas térmicamente mediante el recocido a una temperatura T_A durante un tiempo t_A , el templado a una temperatura QT a una velocidad de enfriamiento de 45 °C/s, se recalentaron a una temperatura de partición PT y se mantuvieron en la partición PT durante un tiempo de partición Pt y, a continuación, se enfriaron inmediatamente a temperatura ambiente.

[0057] En las tablas a continuación, T_A es la temperatura de recocido, t_A es el tiempo de recocido, QT la temperatura de templado, PT la temperatura de partición, Pt el tiempo de mantenimiento a la temperatura de partición, YS el límite elástico, TS la resistencia a la tracción, UE el alargamiento uniforme, TE el alargamiento total y HER la relación de expansión del orificio medida según la norma ISO. RA es la fracción de austenita retenida en la microestructura, y $C_{RA}\%$ es el contenido de C en la austenita retenida. La columna «¿RA de tipo bloque y de tipo película?» indica si la estructura comprende austenita de tipo bloque y retenida de tipo película.

[0058] Todos los ejemplos se refieren a láminas sin recubrimiento.

[0059] Las condiciones de tratamiento térmico y las propiedades obtenidas se presentan en la tabla I.

[0060] Los valores subrayados no son según la invención.

Tabla I

| Ejemplo | T _A (°C) | T _A (s) | Q _T (°C) | PT (°C) | PT (s) | YS (MPa) | TS (MPa) | UE (%) | TE (%) | HER (%) | RA (%) | ¿RA de tipo bloque y de tipo pelícuta? | C _{RA} % |
|---------|---------------------|--------------------|---------------------|---------|--------|----------|----------|--------|--------|---------|--------|--|-------------------|
| 1 | 880 | 120 | 225 | 400 | 100 | 1115 | 1283 | 3,2 | 3,9 | 40 | 7,2 | No | 1,27 |
| 2 | | 120 | 275 | | | 1096 | 1286 | 8,2 | 12,8 | 39 | 9,1 | No | 1,03 |
| 3 | | 120 | 300 | | | 833 | 1268 | 10 | 14,5 | 38 | 10,8 | Sí | 1,02 |
| 4 | | 120 | 325 | | | 900 | 1280 | 9,9 | 14,5 | 28 | 10,1 | No | 1,01 |
| 5 | 880 | 120 | 300 | 400 | 100 | 833 | 1268 | 10 | 14,5 | 38 | 10,8 | Sí | 1,02 |
| 6 | | 120 | | 425 | | 1002 | 1245 | 10,5 | 15,4 | 30 | 12 | Sí | 0,97 |
| 7 | | 120 | | 475 | | 921 | 1227 | 10,8 | 14,6 | 29 | 11,7 | No | 0,94 |
| 8 | 880 | 100 | 250 | 460 | 50 | 1095 | 1220 | 10 | 15,5 | nd | nd | Sí | nd |
| 9 | | 100 | | | | 1095 | 1220 | 9 | 14 | nd | nd | Sí | nd |
| 10 | | 100 | | | | 1095 | 1220 | 9,5 | 15,3 | nd | nd | Sí | nd |
| 11 | 880 | 100 | 250 | 460 | 200 | 1080 | 1220 | 10 | 15 | nd | nd | Sí | nd |
| | | 100 | | | | 1080 | 1220 | 10 | 15 | nd | nd | Sí | nd |

[0061] Los ejemplos 1 a 4 muestran que únicamente una temperatura de templado entre 240 °C y 320 °C permite obtener un límite elástico entre 830 y 1100 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa, un alargamiento total de al menos el 12 % y una relación de expansión del orificio de al menos el 30 %.

5

[0062] La comparación de los ejemplos 5 a 7 muestra que únicamente una temperatura de partición PT comprendida entre 400 °C y 465 °C permite obtener un límite elástico entre 830 y 1100 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa, un alargamiento total de al menos 12 % y una relación de expansión del orificio de al menos el 30 %, mientras que una temperatura de partición PT superior a 465 °C conduce a la formación de una elevada fracción de martensita fresca, lo que conduce a una relación de expansión del orificio inferior al 30 %.

10

[0063] Estos ejemplos 1 a 7 muestran, además, que cuando la temperatura de templado QT está comprendida entre 290 °C y 320 °C y la temperatura de partición PT está comprendida entre 400 °C y 425 °C, se puede alcanzar un alargamiento total de más del 14 %. Por el contrario, el ejemplo 2, templado a una temperatura de 275 °C, no alcanza un alargamiento total del 14 %.

15

[0064] Los ejemplos 8 a 11 muestran que las propiedades buscadas pueden obtenerse en un amplio intervalo de tiempos de partición, y más concretamente que las propiedades mecánicas obtenidas son muy estables cuando se cambia el tiempo de partición.

20

[0065] Entre los ejemplos 1 a 11, únicamente los ejemplos 3, 5, 6 y 8 a 11 comprenden austenita retenida en bloque con una relación de aspecto comprendida entre 2 y 4 y austenita retenida en forma de película con una relación de aspecto comprendida entre 5 y 8. La fracción de superficie de austenita retenida de tipo película, con respecto a toda la microestructura, comprende entre el 5,5 % y el 10,5 % para los ejemplos 3, 5, 6 y 8-11. Por el contrario, los ejemplos 1, 2, 4 y 7 comprenden únicamente la austenita retenida en bloque.

25

[0066] Estos ejemplos muestran, además, que cuando la temperatura de templado QT está comprendida entre 240 °C y 270 °C y la temperatura de partición PT está comprendida entre 440 °C y 460 °C, se obtiene un alargamiento total de al menos el 14 %.

30

[0067] Además, estos ejemplos muestran que cuando la temperatura de templado QT está comprendida entre 240 °C y 270 °C, y la temperatura de partición PT está comprendida entre 440 °C y 460 °C, se pueden obtener valores muy altos de límite elástico. Estos altos valores se deben a un importante revenido de la martensita, debido al bajo valor de la temperatura de templado QT y al alto valor de la temperatura de partición PT.

35

[0068] Se realizaron pruebas adicionales para estudiar la influencia de la velocidad de la línea en las propiedades mecánicas de la lámina durante la fabricación, es decir, la estabilidad de estas propiedades mecánicas con variaciones de la velocidad de la línea.

40

[0069] Estas pruebas se realizaron en una línea que tiene una velocidad de línea mínima de 50 m/min y una velocidad de línea máxima de 120 m/min, con secciones de remojo y partición configuradas para que el tiempo máximo de remojo y el tiempo de partición, alcanzado con la velocidad de línea mínima, sean respectivamente de 188 s y 433 s. El tiempo mínimo de remojo y el tiempo de partición, alcanzado con la velocidad de línea máxima, son respectivamente 79 s y 181 s.

45

[0070] Las pruebas se realizaron utilizando las velocidades de línea mínima y máxima, con una temperatura de templado QT de 250 °C y una temperatura de partición PT de 450 °C, o una temperatura de templado QT de 300 °C y una temperatura de partición PT de 400 °C.

50

[0071] Las condiciones de tratamiento térmico y las propiedades obtenidas se presentan en la tabla II.

Tabla II

| Ejemplo | T _A (°C) | t _A (s) | QT (°C) | TP (°C) | Pt (s) | YS (MPa) | TS (MPa) | UE (%) | TE (%) | HER (%) |
|---------|---------------------|--------------------|---------|---------|--------|----------|----------|--------|--------|---------|
| 12 | 870 | 80 | 250 | 450 | 181 | 974 | 1205 | 10,2 | 14,9 | 50 |
| 13 | | 188 | 250 | 450 | 433 | 903 | 1212 | 10,9 | 16,2 | 46 |
| 14 | | 80 | 300 | 400 | 181 | 883 | 1231 | 10,5 | 15,2 | 37 |
| 15 | | 188 | 300 | 400 | 433 | 794 | 1220 | 10,3 | 14,6 | 31 |

[0072] Estos resultados muestran que con una temperatura de templado QT de 250 °C y una temperatura de partición PT de 450 °C, la velocidad de la línea tiene poca influencia en la calidad de las propiedades mecánicas obtenidas, de modo que las propiedades buscadas pueden obtenerse en todo el intervalo de velocidades de la línea.

55

Estos resultados también muestran que el procedimiento de fabricación es muy robusto con respecto a las variaciones de la velocidad de la línea.

5 **[0073]** Los resultados obtenidos con una temperatura de templado QT de 300 °C y una temperatura de partición PT de 400 °C son similares, incluso si el límite elástico es ligeramente inferior al valor objetivo de 850 MPa cuando la velocidad de la línea es demasiado lenta y la temperatura de partición es, por consiguiente, superior a 250 s.

10 **[0074]** Estos resultados muestran, además, que cuando la temperatura de templado QT está comprendida entre 290 °C y 320 °C y la temperatura de partición PT está comprendida entre 400 °C y 425 °C, o cuando la temperatura de templado QT está comprendida entre 240 °C y 270 °C, y la temperatura de partición PT está comprendida entre 440 °C y 460 °C, se puede alcanzar un alargamiento total de más del 14 %.

15 **[0075]** Se realizaron, además, pruebas para evaluar el efecto del tratamiento térmico realizado entre las etapas de enrollado y laminado en frío.

20 **[0076]** Las pruebas se realizaron con un tratamiento térmico que comprende el recocido discontinuo a una temperatura de 650 °C (tratamiento térmico 1), o con un tratamiento térmico que comprende el enfriamiento lento de la lámina de acero laminado en caliente desde la temperatura de enrollado hasta la temperatura ambiente durante un tiempo de 7 días (tratamiento térmico 2).

25 **[0077]** Las pruebas 16 a 19 de la tabla III se realizaron con una temperatura de templado QT de 250 °C y una temperatura de partición PT de 460 °C, siendo el tiempo de partición de 150 s (ejemplos 16 y 17) o 200 s (ejemplos 18 y 19).

30 **[0078]** Las pruebas 20 a 23 de la tabla III se realizaron con una temperatura de templado QT de 300 °C y una temperatura de partición PT de 400 °C, siendo el tiempo de partición de 150 s (ejemplos 20 y 21) o 200 s (ejemplos 22 y 23).

| Ejemplo | Tratamiento térmico | T _A (°C) | t _A (s) | QT (°C) | PT (°C) | Pt (s) | YS (MPa) | TS (MPa) | UE (%) | TE (%) | HER (%) |
|---------|---------------------|---------------------|--------------------|---------|---------|--------|----------|----------|--------|--------|---------|
| 16 | 1 | 880 | 100 | 250 | 460 | 150 | 1095 | 1222 | 9,5 | 15,8 | 71 |
| 17 | 2 | | 100 | 250 | 460 | 150 | 1064 | 1216 | 10,3 | 15,1 | 56 |
| 18 | 1 | | 100 | 250 | 460 | 200 | 1048 | 1223 | 10,1 | 14,3 | 67 |
| 19 | 2 | | 100 | 250 | 460 | 200 | 1065 | 1231 | 10,5 | 16,3 | 52 |
| 20 | 1 | | 100 | 300 | 400 | 150 | 1044 | 1255 | 9,1 | 14,3 | 54 |
| 21 | 2 | | 100 | 300 | 400 | 150 | 1033 | 1258 | 9,7 | 14,9 | 36 |
| 22 | 1 | | 100 | 300 | 400 | 200 | 1038 | 1251 | 10,2 | 14,5 | 52 |
| 23 | 2 | | 100 | 300 | 400 | 200 | 1062 | 1253 | 9,1 | 14,0 | 30 |

35 **[0079]** Los ejemplos 16 a 23 comprenden austenita retenida en bloque con una relación de aspecto comprendida entre 2 y 4 y austenita retenida de tipo película con una relación de aspecto comprendida entre 5 y 8, estando la fracción de superficie de la austenita retenida de tipo película, con respecto a la totalidad de la microestructura, comprendida entre el 5,5 % y el 10,5 %.

40 **[0080]** Estas pruebas muestran que las propiedades mecánicas buscadas se obtienen mediante un procedimiento según la invención si el tratamiento térmico realizado entre las etapas de enrollado y laminado en frío es un recocido discontinuo o un enfriamiento lento.

45 **[0081]** Estas pruebas confirman, además, que una temperatura de templado QT comprendida entre 240 °C y 270 °C y una temperatura de partición PT comprendida entre 440 °C y 460 °C, o una temperatura de templado QT comprendida entre 290 °C y 320 °C, y una temperatura de partición PT comprendida entre 400 °C y 425 °C, permiten obtener propiedades mecánicas muy satisfactorias, en particular un alargamiento total de más del 14 %.

[0082] También se realizaron pruebas para determinar la velocidad de enfriamiento mínima para el templado a la temperatura de templado QT.

[0083] Las condiciones de tratamiento térmico y las propiedades obtenidas se presentan en la tabla IV.

[0084] En esta tabla, CR designa la velocidad de enfriamiento.

Tabla IV

| Ejemplo | T _A (°C) | t _A (s) | CR (°C/s) | QT (°C) | PT (°C) | Pt (s) | YS (MPa) | TS (MPa) | UE (%) | TE (%) | HER (%) |
|---------|---------------------|--------------------|-----------|---------|---------|--------|----------|----------|--------|--------|---------|
| 24 | 880 | 100 | 16 | 250 | 460 | 150 | 895 | 1173 | 11,2 | 15,7 | 38 |
| 25 | | 100 | 20 | 250 | 460 | 150 | 908 | 1195 | 10,4 | 15,2 | 31 |
| 26 | | 100 | 30 | 250 | 460 | 150 | 897 | 1202 | 11,3 | 16,1 | 34 |
| 27 | | 100 | 50 | 250 | 460 | 433 | 1089 | 1221 | 9,8 | 14,8 | 51 |

5

[0085] Estos resultados muestran que cuando la velocidad de enfriamiento es inferior a 20 °C/s, se obtiene una resistencia a la tracción inferior a 1180 MPa, mientras que las propiedades mecánicas son satisfactorias cuando la velocidad de enfriamiento está comprendida entre 20 °C/s y 50 °C/s.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para producir una lámina de acero que tiene una microestructura que consiste en entre el 71 % y el 91 % de la suma de martensita y bainita, entre el 9 % y el 13 % de austenita retenida, y como máximo el 20 % de ferrita, donde el procedimiento comprende las siguientes etapas sucesivas:

- proporcionar una lámina de acero laminada en frío, conteniendo la composición química del acero en % en peso:

10 0,13 % ≤ C ≤ 0,22 %
 1,2 % ≤ Si ≤ 2,3 %
 0,02 % ≤ Al ≤ 1,0 %, con 1,25 % ≤ Si + Al ≤ 2,35 %,
 2,4 % ≤ Mn ≤ 3 %,

15 Ti ≤ 0,05 %
 Nb ≤ 0,05 %

siendo el resto Fe e impurezas inevitables,

20 - recocer la lámina de acero a una temperatura de recocido T_A para obtener una estructura que comprende del 80 % al 100 % de austenita y del 0 % al 20 % de ferrita,
 - templar la lámina a una velocidad de enfriamiento comprendida entre 20 °C/s y 50 °C/s hasta una temperatura de templado QT comprendida entre 240°C y 270°C,
 - calentar la lámina hasta una temperatura de partición PT entre 440 °C y 460 °C y mantener la lámina a la temperatura de partición PT durante un tiempo de partición Pt entre 50 s y 250 s,
 25 - inmediatamente después de la etapa de mantenimiento, enfriar la lámina hasta la temperatura ambiente.

2. Un procedimiento para producir una lámina de acero que tiene una microestructura que consiste en entre el 71 % y el 91 % de la suma de martensita y bainita, entre el 9 % y el 13 % de austenita retenida, y como máximo el 20 % de ferrita, donde el procedimiento comprende las siguientes etapas sucesivas:

- proporcionar una lámina de acero laminada en frío, conteniendo la composición química del acero en % en peso:

35 0,13 % ≤ C ≤ 0,22 %
 1,2 % ≤ Si ≤ 2,3 %
 0,02 % ≤ Al ≤ 1,0 %, con 1,25 % ≤ Si + Al ≤ 2,35 %,
 2,4 % ≤ Mn ≤ 3 %,

40 Ti ≤ 0,05 %
 Nb ≤ 0,05 %

siendo el resto Fe e impurezas inevitables,

45 - recocer la lámina de acero a una temperatura de recocido T_A para obtener una estructura que comprende del 80 % al 100 % de austenita y del 0 % al 20 % de ferrita,
 - templar la lámina a una velocidad de enfriamiento comprendida entre 20 °C/s y 50 °C/s hasta una temperatura de templado QT comprendida entre 290°C y 320°C,
 - calentar la lámina hasta una temperatura de partición PT entre 400°C y 425°C y mantener la lámina a la temperatura de partición PT durante un tiempo de partición Pt entre 50 s y 250 s,
 50 - enfriar inmediatamente la lámina hasta la temperatura ambiente.

3. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que la etapa de proporcionar dicha lámina de acero laminada en frío comprende:

55 - laminar en caliente una lámina hecha de dicho acero para obtener una lámina de acero laminada en caliente,
 - enrollar dicha lámina de acero laminada en caliente a una temperatura T_c comprendida entre 500 °C y 730 °C,
 - laminar en frío dicha lámina de acero laminada en caliente para obtener dicha lámina de acero laminada en frío.

4. El procedimiento según la reivindicación 3, en el que la etapa de proporcionar dicha lámina de acero laminada en frío comprende, además, entre el enrollado y el laminado en frío, realizar un recocido discontinuo a una temperatura comprendida entre 500 °C y 650 °C durante un tiempo entre 300 segundos y 12 horas.

5. El procedimiento según la reivindicación 3, en el que la etapa de proporcionar dicha lámina de acero laminado en frío comprende, además, entre el enrollado y el laminado en frío, realizar un enfriamiento lento de la lámina de acero laminado en caliente desde la temperatura de enrollado hasta la temperatura ambiente durante un tiempo comprendido entre 5 y 7 días.

6. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la lámina templada tiene, justo antes del calentamiento a la temperatura de partición TP, una estructura que consiste en entre el 10 y el 40 % de austenita, entre el 60 % y el 90 % de martensita y entre el 0 % y el 20 % de ferrita.
- 5
7. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la composición química del acero satisface al menos una de las siguientes condiciones:
- 10 $C \geq 0,16 \%$,
 $C \leq 0,20 \%$,
 $Si \geq 2,0 \%$,
 $Si \leq 2,2 \%$,
 $Mn \geq 2,6 \%$, y
 $Mn \leq 2,8 \%$.
- 15
8. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que, después de que la lámina se temple a la temperatura de templado QT y antes de que la lámina se caliente a la temperatura de partición PT, la lámina se mantiene a la temperatura de templado QT durante un tiempo de mantenimiento comprendido entre 2 s y 8 s, preferentemente entre 3 s y 7 s.
- 20
9. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el tiempo de partición Pt está comprendido entre 50 s y 200 s.
- 25
10. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la austenita retenida comprende austenita retenida en bloque que tiene una relación de aspecto comprendida entre 2 y 4 y austenita retenida de tipo película que tiene una relación de aspecto comprendida entre 5 y 8.
- 30
11. El procedimiento según la reivindicación 10, en el que la microestructura comprende entre el 5,5 % y el 10,5 % de austenita retenida de tipo película.
- 35
12. Una lámina de acero sin recubrimiento en la que la composición química del acero contiene en % en peso:
- $0,13 \% \leq C \leq 0,22 \%$
 $1,2 \% \leq Si \leq 2,3 \%$
 $0,02 \% \leq Al \leq 1,0 \%$,
 con $1,25 \% \leq Si + Al \leq 2,35 \%$,
 $2,4 \% \leq Mn \leq 3 \%$,
- 40 $Ti \leq 0,05 \%$
 $Nb \leq 0,05 \%$
- siendo el resto Fe e impurezas inevitables,
 que tienen una microestructura que consiste en, en porcentaje de superficie:
- 45 - entre el 71 % y el 91 % de martensita y bainita,
 - entre el 9 % y el 13 % de austenita retenida,
 - como máximo el 20 % de ferrita,
- 50 en la que la austenita retenida comprende la austenita retenida en bloque que tiene una relación de aspecto comprendida entre 2 y 4 y la austenita retenida de tipo película que tiene una relación de aspecto comprendida entre 5 y 8, teniendo la lámina un límite elástico comprendido entre 850 y 1100 Mpa, una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa, un alargamiento total de al menos el 14 % y una relación de expansión del orificio HER de al menos el 30 %.
- 55
13. La lámina de acero según la reivindicación 12, en la que la relación de expansión del orificio HER es superior al 40 %.
- 60
14. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 13, en la que la composición química del acero satisface al menos una de las siguientes condiciones:
- 65 $C \geq 0,16 \%$,
 $C \leq 0,20 \%$,
 $Si \geq 2,0 \%$,
 $Si \leq 2,2 \%$,

ES 2 801 673 T3

Mn \geq 2,6 %,
y
Mn \leq 2,8 %.

5 15. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, donde el contenido de C C_{RA} % en la austenita retenida, está comprendido entre el 0,9 % y el 1,2 %.

16. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15, en la que la microestructura comprende entre el 5,5 % y el 10,5 % de austenita retenida de tipo película.

10

17. Una lámina de acero, en la que la composición química del acero contiene en % en peso:

0,13 % \leq C \leq 0,22 %

1,2 % \leq Si \leq 2,3 %

15

0,02 % \leq Al \leq 1,0 %,

con 1,25 % \leq Si + Al \leq 2,35 %,

2,4 % \leq Mn \leq 3 %,

Ti \leq 0,05 %

20

Nb \leq 0,05 %

siendo el resto Fe e impurezas inevitables,
teniendo una microestructura que consiste en, en porcentaje superficial:

25 - entre el 71 % y el 91% de martensita y bainita,
- entre el 9 % y el 13 % de austenita conservada,
- como máximo el 20 % de ferrita,

30 en la que la austenita retenida comprende la austenita retenida en bloque que tiene una relación de aspecto comprendida entre 2 y 4 y la austenita retenida de tipo película que tiene una relación de aspecto comprendida entre 5 y 8,

teniendo la lámina un límite elástico comprendido entre 850 y 1100 Mpa, una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa, un alargamiento total de al menos el 14 % y una relación de expansión del orificio HER de al menos 30,

35 siendo la lámina recubierta con un recubrimiento metálico fabricado por electrodeposición o procedimiento de deposición al vacío.