

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 737 884**

51 Int. Cl.:

C21D 6/00 (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01)
C21D 9/46 (2006.01)
C21D 1/18 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01)
C23C 2/06 (2006.01)
C23C 2/40 (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/IB2015/055036**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **07.01.2016 WO16001892**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.07.2015 E 15750809 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2019 EP 3164514**

54 Título: **Procedimiento para fabricar una hoja de acero de alta resistencia que presenta una conformabilidad y una ductilidad mejoradas y la hoja obtenida**

- 30 Prioridad:
03.07.2014 WO PCT/IB2014/002293
- 45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.01.2020

- 73 Titular/es:
**ARCELORMITTAL (100.0%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU**
- 72 Inventor/es:
**FÖJER, GUNHILD;
SOLER, MICHEL y
HELL, JEAN-CHRISTOPHE**
- 74 Agente/Representante:
SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 737 884 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para fabricar una hoja de acero de alta resistencia que presenta una conformabilidad y una ductilidad mejoradas y la hoja obtenida

5

[0001] La presente invención se refiere a hojas de acero de alta resistencia excelentes en términos de conformabilidad, ductilidad y resistencia y a un procedimiento para producirlas.

10 **[0002]** Para fabricar varios equipos como piezas automotrices, remolques, camiones y así sucesivamente, se usan hojas de acero de alta resistencia, hechas de aceros tales como los aceros DP (de fase dual) o TRIP (plasticidad inducida por transformación).

15 **[0003]** Para reducir el peso de los equipos, lo cual es muy recomendable a fin de reducir el consumo de energía, resulta deseable contar con aceros que presentan mejores propiedades mecánicas como límite elástico o resistencia a la tracción. Pero dichos aceros deben presentar una buena conformabilidad y una buena ductilidad.

20 **[0004]** A tal efecto, se propuso usar aceros que contienen alrededor del 0,2 % de C, 2,5 % de Mn, 1,5 % de Si y presentan una estructura que consiste en martensita y austenita retenida. Las hojas se producen en líneas de recocido continuo mediante un tratamiento de calor que consiste en un recocido, un templeado interrumpido y un envejecimiento. La finalidad del envejecimiento es generar un enriquecimiento de carbono de la austenita retenida mediante la transferencia desde la martensita a fin de aumentar la estabilidad de la austenita retenida. En estos aceros, el contenido de Mn siempre permanece por debajo del 3,5 %.

25 **[0005]** Además, el documento EP 2 325 346 A1 describe una hoja de acero que comprende del 0,17 al 0,73 % de C, el 3,0 % o menos de Si, del 0,5 al 3,0 % de Mn y el 3,0 % o menos de Al.

[0006] Además se propuso, mediante el documento EP 2 660 345 A2 producir un miembro formado hecho de un acero que comprende del 0,1 al 1,0 % de C, del 0,4 al 3,0 % de Si+Al y del 0,1 al 5,0 % de Mn.

30 **[0007]** Si bien con dichos aceros es posible obtener propiedades interesantes, un objeto claro sigue siendo obtener austenita retenida que presente una mejor estabilidad a fin de obtener mejores características. Pero la ductilidad que se necesita para presentar una buena conformabilidad debe permanecer en un alto nivel, en particular, una muy buena expandibilidad del metal resulta muy útil. Más específicamente, resulta deseable contar con un acero que presente un límite elástico mayor a 1050 MPa, una elongación uniforme de al menos el 10 % y una expandibilidad
35 del metal correspondiente a la relación de expansión del orificio HER medida según la norma ISO 16630:2009 de al menos 25. Con respecto a esto, cabe señalar que, debido a las diferencias entre los procedimientos de medición, la relación de expansión del orificio HER medida según la norma ISO 16630:2009 no es comparable a la relación de expansión del orificio λ medida según la norma JFS T 1001 (norma de la Federación de Acero y Hierro de Japón).

40 **[0008]** A tal efecto, la invención se refiere a un procedimiento para fabricar una hoja de acero de alta resistencia que presenta una conformabilidad mejorada según la reivindicación 1.

[0009] La invención también se refiere a un procedimiento para fabricar una hoja de acero de alta resistencia que presenta una conformabilidad mejorada según la reivindicación 2.

45

[0010] Preferentemente, el procedimiento además comprende una o más de las características de las reivindicaciones 3 a 11.

[0011] Preferentemente, la composición química del acero contiene:

50

$0,25 \% < C \leq 0,35 \%$

$2,4 \% \leq Mn \leq 2,7 \%$

$2,3 \% \leq Si \leq 2,5 \%$

$Al \leq 0,040 \%$,

55

y la temperatura de recocido AT es superior a 860 °C e inferior a 950 °C, la temperatura de templeado QT se encuentra entre 200 y 260 °C y la temperatura de envejecimiento se ubica entre 370 y 430 °C.

[0012] El recubrimiento por inmersión en caliente es con o sin aleación.

60

La invención también se refiere a una hoja de acero de alta resistencia según la reivindicación 12.

[0013] La hoja de acero preferentemente comprende una o más de las características de las reivindicaciones 13 a 18.

65

[0014] Preferentemente, la composición química del acero contiene:

0,25 % < C ≤ 0,35 %

2,4 % ≤ Mn ≤ 2,7 %

2,3 % ≤ Si ≤ 2,5 %

5 Al ≤ 0,040 %,

[0015] El límite elástico YS puede ser mayor o igual a 1050 Mpa, la resistencia a la tracción mayor o igual a 1300 Mpa, la elongación uniforme UE mayor o igual al 10 %, la elongación total mayor o igual al 13 % y la relación de expansión del orificio HER mayor o igual al 25 %. En general, la resistencia a la tracción es inferior a 2000 MPa.

10

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

[0017] La composición del acero según la invención comprende, en un porcentaje del peso:

15 - 0,25 % < C ≤ 0,4 % y preferentemente 0,25 % < C ≤ 0,35 % a fin de obtener una resistencia satisfactoria y mejorar la estabilidad de la austenita retenida. Si el contenido de carbono es muy alto, se reduce la soldabilidad.

- 2,3 % ≤ Mn ≤ 3,5 %. El contenido de Mn es superior al 2,3 % y preferentemente superior al 2,4 %, a fin de presentar una templabilidad suficiente para ser capaz de obtener una estructura que comprende al menos el 75 % de martensita y presentar una resistencia a la tracción de al menos 1100 Mpa. Pero, el contenido de manganeso debe permanecer

20 por debajo del 3,5 %, y preferentemente por debajo del 2,7 % a fin de no presentar demasiada segregación, lo cual es perjudicial para la expandibilidad del metal.

- Si ≥ 2,3 %, y Si ≤ 3 % y preferentemente Si ≤ 2,5 %. El silicio es útil para estabilizar la austenita, para proporcionar fortalecimiento a una solución sólida y para retrasar la formación de carburos durante la redistribución de carbono de la martensita a la austenita durante el envejecimiento. Pero también, ante un contenido de silicio demasiado alto, se

25 formarán óxidos de silicio en la superficie de la hoja, lo cual será perjudicial para la capacidad de recubrimiento.

[0018] El restante es el Fe y las impurezas resultantes de la fusión. Dichas impurezas incluyen N, S, P y elementos residuales como Cr, Ni, Mo, Cu, B y Al.

30 **[0019]** Habitualmente, el contenido de N permanece por debajo del 0,01 %, el contenido de S por debajo del 0,01 %, el contenido de P por debajo del 0,02 %, el contenido de Cr por debajo del 0,1 %, el contenido de Ni por debajo del 0,1 %, el contenido de Mo por debajo del 0,05 %, el contenido de Cu por debajo del 0,2 %, el contenido de B por debajo del 0,0010 % y el contenido de Al por debajo del 0,02 %. Sin embargo, cabe señalar que el Al puede añadirse a fin de desoxidar el acero. En este caso, su contenido puede alcanzar el 0,04 %. Además, el Al puede formar

35 pequeños precipitados de AlN que pueden usarse para limitar el crecimiento del grano austenítico durante el recocido.

[0020] Según la invención, en el acero, no se apunta a ninguna microaleación, como Ti, V y Nb. Dichos contenidos de elementos se limitan individualmente al 0,050 %, preferentemente, la suma de Nb, Ti y V se limita al 0,1 %.

40

[0021] El acero laminado en caliente que presenta un grosor entre 2 y 5 mm puede producirse de una manera conocida para este acero. Como un ejemplo, la temperatura de recalentamiento antes del laminado puede estar entre 1200 y 1280 °C, preferentemente alrededor de 1250 °C, la temperatura de laminado de acabado es preferentemente inferior a 850 °C, la temperatura de enfriamiento inicial es inferior a 800 °C, la temperatura de enfriamiento de

45 detención entre 570 y 590 °C y el bobinado debe hacerse entre 350 y 580 °C.

[0022] Según una primera realización, el bobinado se realiza a una temperatura de bobinado entre 350 y 450 °C, preferentemente entre 375 y 450 °C. Según una segunda realización, el bobinado se efectúa a una temperatura de bobinado entre 450 y 580 °C, preferentemente entre 540 y 580 °C.

50

[0023] Después del laminado en caliente, la hoja se recoce en lote a una temperatura entre 400 y 700 °C durante 300 segundos hasta 10 horas, preferentemente durante 4 a 10 horas. El recocido en lote, mediante el templado de la hoja de acero, mejora la capacidad de laminado en frío de la hoja de acero laminada en caliente y enrollada.

55 **[0024]** 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 mm.

[0025] Después, el acero se somete a un tratamiento con calor en una línea continua de recocido.

60 **[0026]** Antes del tratamiento con calor, se determina una temperatura óptima de templado QTop. Esta temperatura óptima de templado es la temperatura a la que el templado debe detenerse a fin de obtener un contenido óptimo de austenita retenida.

[0027] Para determinar la temperatura óptima de templado en teoría QTop, es posible usar las relaciones de Andrews y Koistinen Marburger. Estas relaciones son:

65

$$M_s = 539 - 423 \times C - 30,4 \times Mn - 12,1 \times Cr - 7,5 \times Mo - 7,5 \times Si$$

y:

5

$$f_{a'} = 1 - \exp \{-0.011 \times (M_s - Q_T)\}$$

10 $f_{a'}$ es la proporción de martensita obtenida durante el templeado a la temperatura Q_T . Para determinar la proporción de austenita residual después del envejecimiento y enfriamiento hasta alcanzar la temperatura ambiente después del enfriamiento a la temperatura de templeado Q_T , se supone que, después del templeado, el acero se envejece a una temperatura superior a la Q_T durante un tiempo suficiente para provocar una subdivisión suficiente de carbono entre la martensita y la austenita con una formación de ferrita y bainita tan baja como sea posible. También se supone que, después del envejecimiento, el acero se enfría hasta alcanzar la temperatura ambiente.

15 **[0028]** Aquellos expertos en la técnica saben cómo calcular la proporción de la austenita residual y la temperatura óptima de templeado en teoría Q_{Top} , la cual es la temperatura de templeado para la cual la proporción de austenita residual es máxima.

20 **[0029]** La temperatura óptima de templeado en teoría Q_{Top} no es necesariamente la temperatura de templeado Q_T a la que el templeado debe detenerse.

25 **[0030]** La finalidad del tratamiento de calor es obtener una estructura que consista en al menos un 65 % y preferentemente al menos el 75 % de martensita y al menos el 15 % y preferentemente al menos el 20 % de austenita retenida con tan poca ferrita o bainita como sea posible. La suma de la fracción superficial de ferrita y bainita es inferior al 10 % y preferentemente inferior al 5 %.

30 **[0031]** Las proporciones de martensita, ferrita y bainita son fracciones de área de estos constituyentes. La proporción de austenita residual se mide mediante una difracción de rayos X. Aquellos expertos en la técnica saben cómo determinar estas proporciones.

35 **[0032]** Para hacer este tratamiento de calor, el acero se recoce a una temperatura de recocido AT superior al punto de transformación Ac_3 del acero y preferentemente igual o superior a $Ac_3 + 20^\circ C$ a fin de presentar una estructura completamente de austenita, pero inferior a $1100^\circ C$ y preferentemente inferior a $950^\circ C$ a fin de no engrosar demasiado los granos de austenita.

40 **[0033]** Cuando el recocido ha sido terminado, el acero se temple mediante un enfriamiento a una temperatura de templeado Q_T a la que se detiene el enfriamiento. Después, el acero se calienta a una temperatura de envejecimiento PT a la que se mantiene durante un tiempo de envejecimiento P_t antes de ser enfriado hasta alcanzar la temperatura ambiente o ser recubierto por inmersión en caliente con o sin aleación, como el galvanizado, el galvanneal o el recubrimiento con aleaciones de aluminio.

[0034] Para el templeado, la velocidad de enfriamiento debe ser suficientemente alta para evitar la formación de ferrita o bainita. Con respecto a esto, una velocidad de enfriamiento superior a $10^\circ C/s$ es suficiente.

45 **[0035]** La temperatura de templeado Q_T es inferior al punto de transformación M_s del acero para asegurar que la estructura obtenida sea martensita y austenita retenida.

50 **[0036]** La temperatura de templeado Q_T es tal que el contenido de austenita retenida es suficiente para obtener las propiedades deseadas.

55 **[0037]** En la presente invención, la temperatura de templeado Q_T es preferentemente $Q_{Top} + 45^\circ C$ y $Q_{Top} - 5^\circ C$. Ya que, para el acero de la presente invención, Q_{Top} es aproximadamente igual a $M_s - 110^\circ C$, por lo tanto, la temperatura de templeado Q_T puede escogerse entre $M_s - 65^\circ C$ y $M_s - 115^\circ C$, con m_s siendo el M_s calculado usando la fórmula de Andrews.

[0038] La temperatura de envejecimiento PT se ubica entre 360 y $500^\circ C$, por ejemplo, entre 360 y $460^\circ C$, y el tiempo de envejecimiento P_t es de entre 300 y 600 s.

60 **[0039]** Con dicho tratamiento de calor, la estructura del acero obtenida contiene al menos el 65 % e incluso más del 75 % de martensita y al menos el 15 % de austenita residual, con la suma de contenidos de ferrita y bainita permaneciendo por debajo del 10 %. El contenido de austenita residual puede ser incluso mayor al 20 % y la suma de ferrita y bainita puede ser incluso menor al 5 %.

65 **[0040]** Los contenidos de martensita, ferrita y bainita son áreas de fracción y el contenido de austenita se mide mediante una difracción de rayos X.

[0041] Opcionalmente, entre el envejecimiento y el enfriamiento hasta alcanzar la temperatura ambiente, la hoja puede ser recubierta por inmersión en caliente, por ejemplo, con un galvanizado o galvanneal. Para esto, la temperatura de la hoja al final del envejecimiento se ajusta a la temperatura del baño de recubrimiento por inmersión en caliente, por ejemplo 470 °C (+/- 10 °C) para el recubrimiento con zinc.

[0042] En particular, si la hoja se recubre por inmersión en caliente después de la etapa de envejecimiento y antes de enfriarla hasta alcanzar la temperatura ambiente, el tratamiento de calor correspondiente a la inmersión en caliente y finalmente a la aleación debe tomarse en consideración, lo que implica que el tiempo de envejecimiento P_t se acorte como consecuencia. Por consiguiente, cuando la hoja se recubre por inmersión en caliente, después de la etapa de envejecimiento y antes de enfriarla hasta alcanzar la temperatura ambiente, el tiempo de envejecimiento P_t puede ser tan bajo como de 10 hasta 200 s.

[0043] Para un acero que presenta la siguiente configuración preferente: 0,25 % < C ≤ 0,35 %, 2,4 % ≤ Mn ≤ 2,7 %, 2,3 % ≤ Si ≤ 2,5 %, el porcentaje restante siendo de Fe e impurezas inevitables, la temperatura de recocido es preferentemente mayor a 860 °C e inferior a 950 °C, la temperatura de templado QT se ubica preferentemente entre 200 y 260 °C y la temperatura de envejecimiento se ubica preferentemente entre 370 y 430 °C.

[0044] Dicha hoja presenta un límite elástico YS superior a 1050 MPa, una resistencia a la tracción TS mayor a 1300 MPa, una elongación uniforme UE mayor o igual al 10 % y una relación de expansión del orificio HER medida según el estándar ISO 16630:2009 mayor o igual al 25 %.

[0045] Como ejemplo y comparación, se produjeron tres aceros correspondientes a los moldes H118, H117 y H115. Las composiciones, los puntos de transformación y las temperaturas opcionales teóricas de los aceros se informan en la tabla I.

Tabla I

Molde	% de C	% de Si	% de Mn	% de P	% de S	% de Al	°C del Ac ₁	°C del Ac ₃	°C de Ms	°C QTop	% de γ
H118	0,293	2,4	2,5	0,0015	0,0045	0,006	777	842	321	210	29
H117	0,297	1,5	2,5	0,0013	0,0044	0,006	750	810	326	215	29
H115	0,293	1,6	3,3	0,0013	0,0047	0,014	757	806	302	195	30

[0046] En esta tabla, las temperaturas del Ac₁ y el Ac₃ se miden mediante una dilatometría, Ms es el valor calculado usando la fórmula de Andrews, QTop es la temperatura óptima de templado en teoría y γ% es la fracción calculada de la austenita residual correspondiente a QTop.

[0047] Los aceros que presentan un grosor de 1 mm se obtuvieron mediante laminado en caliente y en frío.

[0048] Para el laminado en caliente, la temperatura de recalentamiento fue de 1250 °C, la temperatura de laminado de acabado fue inferior a 850 °C, la temperatura de enfriamiento inicial para el enfriamiento por rocío de agua fue de menos de 800 °C, la temperatura de enfriamiento de detención fue de entre 570 y 590 °C y el bobinado se efectuó a 560 °C.

[0049] La hoja de acero laminado en caliente cuyo grosor fue de 2,5 mm se recoció en lote a una temperatura de 550 °C durante 10 h. Después, la hoja de acero laminada en caliente se laminó en frío para obtener una hoja laminada en frío que presenta un grosor de 1 mm.

[0050] Se tomaron veintiún muestras en las hojas y se trataron con calor. Para cada molde, se recocieron algunas muestras por encima del Ac₃ y las demás se recocieron por debajo del Ac₃ durante un tiempo de alrededor de 180 s, después se las templó a temperaturas de templado QT iguales a QTop, QTop - 20 °C, QTop + 20 °C y QTop + 40 °C, y se las envejeció a 350 o 400 °C durante 100 o 500 s.

[0051] Las condiciones de los tratamientos con calor y los resultados obtenidos se informan en la tabla II.

Tabla II

M	Molde	°C AT	°C QT	°C PT	s de Pt	% de γ	Mpa de YS	Mpa de TS	% de UE	% de HER
1	H118	880	190	400	500	18	1220	1390	5	
2	H118	880	210	400	500	18	1175	1385	10	29

(continuación)

3	H118	880	230	400	500	18	1100	1380	10,5	
4	H118	880	250	400	500	17	1050	1365	14	
5	H118	880	210	400	100	16	1170	1430	8	
6	H118	880	210	350	500	16	1175	1430	5	
7	H118	820	210	400	500	24	750	1420	14	
8	H117	840	195	400	500	14	1200	1340	5	
9	H117	840	215	400	500	14	1150	1310	6	32
10	H117	840	235	400	500	16	1110	1310	8	-
11	H117	840	255	400	500	16	1040	1275	9	
12	H117	840	215	400	100	16	1120	1330	5	
13	H117	840	215	350	500	9	1150	1360	2	
14	H117	790	215	400	500	13	940	1275	12	
15	H115	820	175	400	500	17	1040	1420	10	
16	H115	820	195	400	500	19	1200	1430	10	11
17	H115	820	215	400	500	18	915	1490	9,5	
18	H115	820	235	400	500	17	850	1550	6	
19	H115	820	195	400	100	20	1000	1500	10	
20	H115	820	195	350	500	19	1000	1500	10	
21	H115	760	195	400	500	20	710	1390	2	

[0052] En esta tabla, $\gamma\%$ es el contenido de austenita residual según se midió en la muestra mediante una difracción de rayos X, YS es el límite elástico, TS es la resistencia a la tracción, UE es la elongación uniforme y HER es la relación de expansión del orificio según el estándar ISO.

5

[0053] Los ejemplos 8 a 21 muestran que con los moldes H115 a H117, los resultados deseados no se obtuvieron.

[0054] Los ejemplos 2, 3 y 4 muestran que un límite elástico de más de 1050 MPa, una resistencia a la tracción de más de 1300 MPa, una elongación uniforme de al menos un 10 % pueden obtenerse con el molde H118, con una temperatura de recocido superior al Ac_3 , una temperatura de templado QT entre $Ms - 65^\circ C$ y $Ms - 115^\circ C$, igual a la temperatura óptima de templado Q_{Top} , una temperatura promedio de $400^\circ C$ y un tiempo de envejecimiento de alrededor de 500 s. El ejemplo 2 muestra que es posible obtener una relación de expansión del orificio de más del 25 %.

15

[0055] Pero el ejemplo 1 muestra que si la temperatura de templado es demasiado baja, al menos la elongación uniforme no es suficiente.

[0056] Los ejemplos 5, 6 y 7 muestran que, si el tiempo de envejecimiento es muy bajo, la temperatura de envejecimiento es demasiado baja, ante la ausencia de una etapa adicional de inmersión en caliente, o si la temperatura de recocido se ubica por debajo del Ac_3 , no se obtienen los resultados deseados.

20

[0057] La hoja que se describió anteriormente no está recubierta. Pero está claro que la hoja puede ser recubierta a través de cualquier medio, es decir, mediante un recubrimiento por inmersión en caliente, mediante un electro-recubrimiento, mediante un recubrimiento al vacío como la deposición por chorro de vapor (JVD) o la deposición en fase de vapor (PVD) y así sucesivamente. Cuando la hoja se recubre por inmersión en caliente, el recubrimiento puede ser un galvanizado con o sin aleación (galvanneal). En estos casos, el tratamiento de calor que corresponde a la inmersión en caliente y finalmente a la aleación que se efectúan antes de enfriar la hoja hasta alcanzar la temperatura ambiente deben tomarse en cuenta. Los expertos en la materia saben cómo hacer eso, por ejemplo, mediante pruebas, a fin de optimizar la temperatura y el tiempo de envejecimiento. En este caso, al menos una cara de la hoja puede recubrirse, y más específicamente, recubrirse con un metal.

25

30

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para fabricar una hoja de acero de alta resistencia que presenta una conformabilidad y ductilidad mejoradas según las cuales la composición química del acero contiene, en porcentaje por peso:

5 0,25 % < C ≤ 0,4 %
2,3 % ≤ Mn ≤ 3,5 %
2,3 % ≤ Si ≤ 3 %
Al ≤ 0,040 %,

10 el porcentaje restante es de Fe e impurezas inevitables, con el procedimiento comprendiendo las siguientes etapas sucesivas:

- laminar en caliente una hoja elaborada con dicho acero para obtener una hoja de acero laminada en caliente,
- 15 - recocer en lote dicha hoja de acero laminada en caliente entre 400 °C y 700 °C durante un tiempo entre 300 segundos y 10 horas,
- laminar en frío dicha hoja de acero laminada en caliente y recocida en lote a fin de obtener una hoja de acero laminada en frío,
- recocer dicha hoja de acero laminada en frío remojándola a una temperatura de recocido AT superior al punto de transformación del acero de $Ac_3 + 20$ °C, y a menos de 1100 °C,
- 20 - templar la hoja enfriándola a una temperatura de templado QT entre el Ms - 65 °C y el Ms - 115 °C del acero, a fin de obtener una estructura final que contenga al menos el 65 % de martensita y al menos un 15 % de austenita residual, con la suma de ferrita y bainita ubicándose por debajo del 10 %, con el Ms siendo el punto de transformación Ms del acero según la fórmula de Andrews, según la cual $Ms = 539 - 423 \times C - 30,4 \times Mn - 12,1 \times Cr - 7,5 \times Mo - 7,5 \times Si$,
- 25 - calentar la hoja hasta una temperatura de envejecimiento PT entre 360 °C y 500 °C y mantenerla a dicha temperatura durante un tiempo Pt de entre 300 s y 600 s, y
- enfriar la hoja hasta alcanzar la temperatura ambiente.

2. Un procedimiento para fabricar una hoja de acero de alta resistencia que presenta una conformabilidad y ductilidad mejoradas según las cuales la composición química del acero contiene, en porcentaje por peso:

30 0,25 % < C ≤ 0,4 %
2,3 % ≤ Mn ≤ 3,5 %
2,3 % ≤ Si ≤ 3 %
35 Al ≤ 0,040 %,

el porcentaje restante es de Fe e impurezas inevitables, con el procedimiento comprendiendo las siguientes etapas sucesivas:

- 40 - laminar en caliente una hoja elaborada con dicho acero para obtener una hoja de acero laminada en caliente,
- recocer en lote dicha hoja de acero laminada en caliente entre 400 °C y 700 °C durante un tiempo entre 300 segundos y 10 horas,
- laminar en frío dicha hoja de acero laminada en caliente y recocida en lote a fin de obtener una hoja de acero laminada en frío,
- 45 - recocer dicha hoja de acero laminada en frío remojándola a una temperatura de recocido AT superior al punto de transformación del acero de $Ac_3 + 20$ °C, y a menos de 1100 °C,
- templar la hoja enfriándola a una temperatura de templado QT entre el Ms - 65 °C y el Ms - 115 °C del acero, a fin de obtener una estructura final que contenga al menos el 65 % de martensita y al menos un 15 % de austenita residual, con la suma de ferrita y bainita ubicándose por debajo del 10 %, con el Ms siendo el punto de transformación Ms del
- 50 acero según la fórmula de Andrews, según la cual $Ms = 539 - 423 \times C - 30,4 \times Mn - 12,1 \times Cr - 7,5 \times Mo - 7,5 \times Si$,
- calentar la hoja hasta una temperatura de envejecimiento PT entre 360 °C y 500 °C y mantenerla a dicha temperatura durante un tiempo Pt de entre 10 s y 200 s,
- recubrir la hoja adicionalmente por inmersión en caliente a una temperatura comprendida entre 450 °C y 490 °C, y
- enfriar la hoja hasta alcanzar la temperatura ambiente.

55 3. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** además comprende, entre el laminado en caliente y el recocido en lote, una etapa de bobinar la hoja de acero laminado en caliente.

60 4. El procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque** la hoja de acero laminado en caliente se bobina a una temperatura de bobinado comprendida entre 350 °C y 580 °C.

5. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** dicho recocido en lote se efectúa a una temperatura entre 525 °C y 700 °C, preferentemente entre 550 °C y 700 °C, por ejemplo entre 65 550 °C y 650 °C.

6. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** dicho recocido en lote se efectúa durante un tiempo de entre 4 horas a 10 horas.
- 5 7. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** la hoja se enfría a la temperatura de templado QT a fin de obtener una estructura final que contenga al menos un 75 % de martensita.
8. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** la hoja se enfría a la temperatura de templado QT a fin de obtener una estructura final que contenga al menos un 20 % de austenita residual.
- 10 9. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** la composición química del acero es tal que $2,3 \% \leq \text{Si} \leq 2,5 \%$.
- 15 10. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** la composición química del acero es tal que:
- 0,25 % < C ≤ 0,35 %
2,4 % ≤ Mn ≤ 2,7 %
- 20 11. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado porque** la temperatura de recocido AT es superior a 860 °C e inferior a 950 °C, la temperatura de templado QT se ubica entre 200 °C y 260 °C, la temperatura de envejecimiento PT se ubica entre 370 °C y 430 °C.
- 25 12. Una hoja de acero de alta resistencia elaborada a base de un acero cuya composición química contiene en porcentaje por peso:
- 0,25 % < C ≤ 0,4 %
2,3 % ≤ Mn ≤ 3,5 %
30 2,3 % ≤ Si ≤ 3 %
Al ≤ 0,040 %, el porcentaje restante siendo de Fe e impurezas inevitables, con el acero presentando una estructura que contiene más del 65 % de martensita, más del 15 % de austenita retenida y menos del 10 % de la suma de ferrita y bainita.
- 35 13. La hoja de acero de alta resistencia según la reivindicación 12, **caracterizada porque** la estructura contiene al menos el 75 % de martensita.
14. La hoja de acero de alta resistencia según cualquiera de las reivindicaciones 12 o 13, **caracterizada porque** la estructura contiene al menos el 20 % de austenita residual.
- 40 15. La hoja de acero de alta resistencia según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, **caracterizada porque** la composición química del acero es tal que $2,3 \% \leq \text{Si} \leq 2,5 \%$.
- 45 16. La hoja de acero de alta resistencia según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15, **caracterizada porque** la composición química del acero es tal que:
- 0,25 % < C ≤ 0,35 %
2,4 % ≤ Mn ≤ 2,7 %.
- 50 17. La hoja de acero de alta resistencia según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 16, **caracterizada porque** el límite elástico YS es mayor o igual a 1050 MPa, la resistencia a la tracción es mayor o igual a 1300 MPa, la elongación uniforme UE es mayor o igual al 10 % y la relación de expansión del orificio HER es mayor o igual al 25 %.
- 55 18. La hoja de acero de alta resistencia según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 17, **caracterizada porque** se recubre al menos una cara de la hoja.