

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 655 476**

51 Int. Cl.:

C21D 8/02 (2006.01)

C21D 9/46 (2006.01)

C22C 38/04 (2006.01)

C22C 38/02 (2006.01)

C22C 38/06 (2006.01)

C22C 38/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.04.2008 PCT/FR2008/000609**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.12.2008 WO08145871**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.04.2008 E 08805523 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **27.04.2022 EP 2155915**

54 Título: **Procedimiento de fabricación de chapas de acero laminadas en frío y recocidas con una resistencia muy alta, y chapas producidas de tal forma**

30 Prioridad:

11.05.2007 WO PCT/FR2007/290598

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente modificada:
29.09.2022

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**GIL OTIN, JAVIER y
MOULIN, ANTOINE**

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 655 476 T5

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de fabricación de chapas de acero laminadas en frío y recocidas con una resistencia muy alta, y chapas producidas de tal forma

5

[0001] La invención se refiere a la fabricación de chapas finas laminadas en frío y recocidas de acero que presentan una resistencia superior a 1.200 MPa y un alargamiento a la rotura superior a 8 %. El sector de la automoción y la industria en general constituyen, en particular, campos de aplicación de estas chapas de acero.

10 **[0002]** Existe en particular en la industria automovilística una necesidad continua de vehículos más ligeros y una mayor seguridad. Se han propuesto sucesivamente diferentes familias de aceros para satisfacer esta necesidad de mayor resistencia; se sugirió de entrada aceros que constan de elementos de micro-aleación. Su endurecimiento se debe a la precipitación de estos elementos y al afinamiento del tamaño de los granos. Se asistió posteriormente al desarrollo de aceros "de fase dual", en los que la presencia de martensita, que constituye una gran dureza, en una matriz ferrítica más ligera, permite obtener una resistencia superior a 450 MPa asociada con una buena aptitud para la conformación en frío.

20 **[0003]** Con el fin de aumentar aún más la resistencia, se han desarrollado aceros que presentan un comportamiento "TRIP" (transformación inducida por plasticidad) con combinaciones de propiedades (resistencia-aptitud de deformación) muy ventajosas; estas propiedades están relacionadas con la estructura de estos aceros constituida por una matriz ferrítica que consta de bainita y austenita residual. La presencia de este último que se constituye confiere una ductilidad elevada a una chapa no deformada. Bajo el efecto de una deformación posterior, por ejemplo durante un esfuerzo uniaxial, la austenita residual de una pieza de acero TRIP se transforma gradualmente en martensita, lo que se traduce por una consolidación significativa y retrasa la aparición de una deformación localizada.

25 **[0004]** Se han propuesto chapas de aceros de fase dual o TRIP, con un nivel de resistencia máxima del orden de 1.000 MPa. La obtención de niveles de resistencia significativamente superiores, por ejemplo 1.200-1.400 MPa se enfrenta a varias dificultades:

30

- El crecimiento de resistencia mecánica necesita un análisis químico mucho más cargado de elementos de aleación en detrimento de la aptitud a la soldadura de estos aceros.

35 - Se observa un aumento de la diferencia de dureza entre la matriz ferrítica y los constituyentes endurecidos; esto supone una concentración local de tensiones y deformaciones y un daño más precoz, como se evidencia por la disminución del alargamiento.

- También se observa un aumento de la fracción de constituyentes endurecidos en la matriz ferrítica; en este caso, las islas, aisladas inicialmente y de pequeño tamaño cuando la resistencia es baja, son conexas progresivamente y forman constituyentes de gran tamaño que favorecen una vez más un daño precoz.

40 **[0005]** Las posibilidades de obtener simultáneamente niveles muy altos de resistencia y otras propiedades de uso por medio de los aceros TRIP o con microestructura de fase dual, parecen así limitadas. Para lograr una resistencia aún más elevada, es decir un nivel superior a 800-1.000 MPa, se han desarrollado aceros denominados "multifásicos" con una estructura principalmente bainítica. En la industria automovilística o en la industria general, las chapas de aceros multifásicos de espesor medio se utilizan con éxito para piezas estructurales tales como traviesas parachoques, montantes, varios refuerzos.

50 **[0006]** En particular, en el campo de las chapas de acero multifásicas laminadas en frío de más de 980 MPa, la patente EP1559798 describe la fabricación de aceros de composición: 0,10-0,25 % C, 1,0-2,0 % Si, 1,5-3 % Mn, estando constituida la microestructura de al menos 60 % de ferrita bainítica y de al menos 5 % de austenita residual, siendo inferior la ferrita poligonal a 20 %. Los ejemplos de realización presentados en este documento muestran que la resistencia no supera los 1.200 MPa.

55 **[0007]** La patente EP 1589126 también describe la fabricación de chapas finas laminadas en frío, cuyo producto (resistencia x alargamiento) es superior a 20.000 MPa %. La composición de los aceros consta de: 0,10-0,28 % C, 1,0-2,0 % Si, 1-3 % Mn, menos de 0,10 % Nb. La estructura está constituida por más de 50 % de ferrita bainítica, 5 a 20 % de austenita residual y menos de 30 % de ferrita poligonal. Una vez más, los ejemplos presentados muestran que la resistencia es aún inferior a 1.200 MPa. El documento JP10280090 describe una chapa de acero y el procedimiento de fabricación de chapas de acero laminadas en frío tienen una resistencia muy alta, la chapa comprende en peso entre 0,13-0,20 % C, ≤0,6 % Si, 1,8-2,8 % Mn, ≤0,02 % P, ≤0,015 % S, 0,005-0,1 % Al, ≤0,0060

% N, y opcionalmente 0,01-0,15 % Mo y 0,0005-0,0020 % B, siendo el resto hierro e impurezas residuales inevitables. La microestructura denominada acero comprende bainita y martensita. La microestructura puede lograrse mediante el control de laminación en caliente, bobinado, decapado, laminación en frío, tratamiento térmico; la chapa de acero tendrá una resistencia a la tracción de aproximadamente 780-1.470 MPa. La presente invención tiene como objetivo resolver los problemas mencionados anteriormente. Su objetivo es poner a disposición una chapa de acero fina laminada en frío y recocida que presenta una resistencia mecánica superior a 1.200 MPa junto con un alargamiento a la rotura superior a 8 % y una buena aptitud al conformado en frío. La invención también tiene como objetivo poner a disposición un acero poco sensible a daños durante el corte por un procedimiento mecánico.

10 **[0008]** Además, la invención tiene como objetivo poner a disposición un procedimiento de fabricación de chapas finas cuyas pequeñas variaciones de los parámetros no dan lugar a modificaciones significativas de la microestructura o de las propiedades mecánicas. La invención también tiene como objetivo poner a disposición una chapa de acero de fácil fabricación por laminación en frío, es decir, cuya dureza tras la etapa de laminación en caliente se limita de manera que los esfuerzos de laminación siguen siendo moderados durante la etapa de laminación en frío.

15 **[0009]** También tiene como objetivo disponer una chapa de acero fina adecuada al posible depósito de un revestimiento metálico según los procedimientos usuales.

[0010] También tiene como objetivo disponer una chapa de acero poco sensible a un daño por corte y adecuada a la expansión del orificio.

[0011] También tiene como objetivo disponer un acero que presenta una buena aptitud a la soldadura por medio de procedimientos de montaje usuales, tales como la soldadura por resistencia por puntos.

25 **[0012]** En este objetivo, la invención tiene por objeto una chapa según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3.

[0013] Según un modo particular, la composición comprende: $0,19 \% \leq C \leq 0,23 \%$. Según un modo preferido, la composición comprende: $1,5 \% \leq Mn \leq 2,5 \%$. Preferentemente, la composición comprende: $1,2 \% \leq Si \leq 1,8 \%$. A modo preferido, la composición comprende: $1,2 \% \leq Al \leq 1,8 \%$. Según un modo particular, la composición comprende: $0,05 \% \leq V \leq 0,15 \%$, $0,004 \leq N \leq 0,008 \%$.

[0014] A modo preferente, la composición comprende: $0,12 \% \leq V \leq 0,15 \%$. Según un modo preferido, la composición comprende: $0,00050 \leq B \leq 0,003 \%$.

35 **[0015]** Preferentemente, el tamaño medio de islas de martensita y austenita residual es inferior a 1 micrómetro, siendo la distancia media entre las islas inferior a 6 micrómetros.

[0016] La invención también tiene por objeto un procedimiento de fabricación de una chapa de acero laminada en frío con una resistencia superior a 1.200 MPa, alargamiento de rotura superior a 10 %, según el cual se suministra un acero de composición: $0,10 \% \leq C \leq 0,25 \%$, $1 \% \leq Mn \leq 3 \%$, $Al \geq 0,010 \%$, $Si \leq 2,990 \%$, quedando entendido que: $1 \% \leq Si+Al \leq 3 \%$, $S \leq 0,015 \%$, $P \leq 0,1 \%$, $N \leq 0,008 \%$, $Mo < 0,005 \%$, $Cr < 0,005 \%$, $B=0$, la composición comprende opcionalmente: $0,05 \% \leq V \leq 0,15 \%$, Ti en una cantidad tal que $Ti/N \geq 4$ y que $Ti \leq 0,040 \%$. Se procede a la colada de un producto semiacabado a partir de este acero, a continuación, se lleva el producto semiacabado a una temperatura superior a 1.150 °C y se lamina en caliente el producto semiacabado para obtener una chapa laminada en caliente. Se bobina y se decapa la chapa, a continuación ésta se lamina en frío con una tasa de reducción comprendida entre 30 y 80 % con el fin de obtener una chapa laminada en frío. Se calienta la chapa laminada en frío a una velocidad V_c comprendida entre 5 y 15 °C/s hasta una temperatura T_1 comprendida entre $Ac3$ y $Ac3+20$ °C, durante un tiempo t_1 comprendido entre 50 y 150 s, a continuación se enfría la placa a una velocidad V_{R1} superior a 40° C/s e inferior a 100 °C/s hasta una temperatura T_2 comprendida entre (M_s-30 °C y M_s+30 °C). Se mantiene la chapa a dicha temperatura T_2 durante un tiempo t_2 comprendido entre 150 y 350 s, a continuación se efectúa un enfriamiento a una velocidad V_{R2} inferior a 30 °C/s hasta la temperatura ambiente. La invención también tiene por objeto un procedimiento de fabricación de una chapa de acero laminada en frío con una resistencia superior a 1.200 MPa, alargamiento a la rotura superior a 8 %, según el cual se suministra un acero de composición: $0,10 \% \leq C \leq 0,25 \%$, $1 \% \leq Mn \leq 3 \%$, $Al \geq 0,010 \%$, $Si \leq 2,990 \%$, quedando entendido que $1 \% \leq Si+Al \leq 3 \%$, $S \leq 0,015 \%$, $P \leq 0,1 \%$, $N \leq 0,008 \%$, $Mo \leq 0,25 \%$, $Cr \leq 1,65 \%$, quedando entendido que $Cr+(3 \times Mo) \geq 0,3 \%$, opcionalmente $0,05 \% \leq V \leq 0,15 \%$, $B \leq 0,005 \%$, Ti en una cantidad tal que $Ti/N \geq 4$ y $Ti \leq 0,040 \%$. Se procede a la colada de un producto semiacabado a partir de este acero, se lleva el producto semiacabado a una temperatura superior a 1.150 °C, a continuación se lamina en caliente el producto semiacabado para obtener una chapa laminada en caliente. Se bobina la chapa, se decapa la misma, a continuación

se lamina en frío la chapa con una tasa de reducción comprendida entre 30 y 80 % con el fin de obtener una chapa laminada en frío. Se calienta la chapa laminada en frío a una velocidad V_c comprendida entre 5 y 15 °C/s hasta una temperatura T_1 comprendida entre Ac_3 y Ac_3+20 °C, durante un tiempo t_1 comprendido entre 50 y 150 s, a continuación se enfría la misma a una velocidad V_{R1} superior a 25 °C/s e inferior a 100 °C/s hasta una temperatura T_2 comprendida entre B_s y (M_s-20) °C. Se mantuvo la chapa a la temperatura T_2 durante un tiempo t_2 comprendido entre 150 y 350 s, a continuación se efectúa un enfriamiento a una velocidad V_{R2} inferior a 30 °C/s hasta la temperatura ambiente.

[0017] La temperatura T_1 está preferentemente comprendida entre Ac_3+10 °C y Ac_3+20 °C.

10 **[0018]** La invención también tiene por objeto el uso de una chapa de acero laminada en frío y recocida según uno de los modos anteriores, o fabricada por un procedimiento según uno de los modos anteriores, para la fabricación de piezas estructurales o elementos de refuerzo, en el campo de la automoción.

15 **[0019]** Otras características y ventajas de la invención aparecerán en la siguiente descripción, dada a modo de ejemplo y con referencia a las figuras anexas adjuntas:

- La figura 1 presenta un ejemplo de estructura de una chapa de acero según la invención, siendo revelada la estructura por un reactivo LePera.

20 - La figura 2 presenta un ejemplo de estructura de una chapa de acero según la invención, siendo revelada la estructura por un reactivo Nital.

[0020] Los inventores han puesto de manifiesto que los problemas anteriores se resuelven cuando la chapa de acero fina laminada en frío y recocida presentaba una microestructura bainítica, con un complemento de islas de martensita y austenita residual, o islas "M-A". Para los aceros cuya resistencia es la más elevada, superior a 1.600 MPa, la microestructura consta de una mayor cantidad de martensita y austenita residual.

30 **[0021]** En cuanto a la composición química del acero, el carbono desempeña un papel muy importante en la formación de la microestructura y en las propiedades mecánicas en asociación con otros elementos de la composición (Cr, Mo, Mn) y con el tratamiento térmico de recocido tras el laminado en frío, aumenta la templabilidad y permite obtener una transformación bainítica. El contenido de carbono según la invención también conduce a la formación de islas de martensita y austenita residual cuya cantidad, morfología, composición permiten obtener las propiedades mencionadas anteriormente.

35 **[0022]** El carbono también retrasa la formación de ferrita proeutectoide tras el tratamiento térmico de recocido tras el laminado en frío: en caso contrario, la presencia de esta fase de baja dureza causaría un daño local demasiado grande en la interfaz con la matriz cuya dureza es más elevada. La presencia de ferrita proeutectoide resultante del recocido debe evitarse para obtener niveles elevados de resistencia mecánica.

40 **[0023]** Según la invención, el contenido de carbono está comprendido entre 0,10 y 0,25 % en peso: Por debajo de 0,10 %, una resistencia suficiente no puede obtenerse y la estabilidad de la austenita residual no es satisfactoria. Más allá de 0,25 %, la soldabilidad se reduce a causa de la formación de microestructuras de temple en la zona afectada por el calor.

45 **[0024]** Según un modo preferido, el contenido de carbono está comprendido entre 0,19 y 0,23 %: en este intervalo, la soldabilidad es muy satisfactoria, y la cantidad, la estabilidad y la morfología de las islas M-A son particularmente adecuadas para obtener un par favorable de propiedades mecánicas (resistencia-alargamiento)

50 **[0025]** En una cantidad comprendida entre 1 y 3 % en peso, una adición de manganeso, elemento con carácter gammágeno, permite evitar la formación de ferrita proeutectoide durante el enfriamiento de recocido tras la laminación en frío. El manganeso también contribuye a desoxidar el acero durante la elaboración en fase líquida. La adición de manganeso también participa en un endurecimiento eficaz en solución sólida y en la obtención de una mayor resistencia. Preferentemente, el manganeso se comprende entre 1,5 y 2,5 % de manera que se obtienen estos efectos, y sin riesgo de formación de estructura en bandas perjudicial.

55 **[0026]** El silicio y aluminio desempeñan de forma conjunta un papel importante según la invención.

[0027] El silicio retrasa la precipitación de cementita durante el enfriamiento a partir de la austenita tras el recocido. Una adición de silicio según la invención contribuye por lo tanto a estabilizar una cantidad suficiente de austenita residual en forma de islas que se transforman posteriormente y gradualmente en martensita bajo el efecto

de una deformación. Otra parte de la austenita se transforma directamente en martensita durante el enfriamiento tras el recocido. El aluminio es un elemento muy eficaz para la desoxidación del acero. Por esta razón, su contenido es superior o igual a 0,010 %. Al igual que el silicio, estabiliza la austenita residual.

- 5 **[0028]** Los efectos de aluminio y silicio en la estabilización de la austenita son vecinos; cuando los contenidos de silicio y aluminio son tales que: $1\% \leq \text{Si} + \text{Al} \leq 3\%$, se obtiene una estabilización satisfactoria de la austenita, lo que permite formar las microestructuras deseadas conservando al mismo tiempo las propiedades de uso satisfactorias. Dado que el contenido mínimo de aluminio es de 0,010 %, el contenido de silicio es inferior o igual a 2,990 %.
- 10 **[0029]** El contenido de silicio se comprende preferentemente entre 1,2 y 1,8 % para estabilizar una cantidad de austenita residual suficiente y para evitar una oxidación intergranular durante la etapa de bobinado en caliente antes de la laminación en frío. También evita de esta manera la formación de óxidos fuertemente adherentes y la posible aparición de defectos de superficie que conducen en particular a una falta de humectabilidad en las operaciones de galvanización por inmersión en caliente.
- 15 **[0030]** Estos efectos también se obtienen cuando el contenido de aluminio se comprende preferentemente entre 1,2 y 1,8 %. Con un contenido equivalente, los efectos del aluminio son de hecho similares a los expuestos anteriormente para el silicio, pero el riesgo de aparición de defectos superficiales es sin embargo menor.
- 20 **[0031]** Los aceros según la invención constan de opcionalmente molibdeno y/o cromo; el molibdeno aumenta la templabilidad, impide la formación de ferrita proeutectoide y afina de forma eficaz la microestructura bainítica. Sin embargo, un contenido superior a 0,25 % en peso aumenta el riesgo de formar una microestructura predominantemente martensítica a expensas de la formación de bainita.
- 25 **[0032]** El cromo también contribuye a prevenir la formación de ferrita proeutectoide y el afinamiento de la microestructura bainítica. Más allá de 1,65 %, el riesgo de obtener una estructura principalmente martensítica es importante. En comparación con molibdeno, su efecto es sin embargo menos marcado; según la invención, los contenidos de cromo y molibdeno son tales que: $\text{Cr} + (3 \times \text{Mo}) \geq 0,3\%$. Los coeficientes de cromo y molibdeno en esta relación reflejan su influencia sobre la templabilidad, en particular la aptitud respectiva de estos elementos para evitar
- 30 la formación de ferrita proeutectoide en las condiciones de enfriamiento particulares de la invención.
- [0033]** Según un modo económico, el acero puede contener contenidos de molibdeno y cromo muy bajos o nulos, es decir, contenidos inferiores a 0,005 % en peso para estos dos elementos, y 0 % de boro.
- 35 **[0034]** Para obtener una resistencia superior a 1.400 MPa, se requiere la adición de cromo y/o molibdeno, en cantidades mencionadas anteriormente. Cuando el contenido de azufre es superior a 0,015 %, la aptitud del conformado se reduce debido a la presencia excesiva de sulfuros de manganeso.
- [0035]** El contenido de fósforo se limita a 0,1 % a fin de mantener una ductilidad en caliente suficiente.
- 40 **[0036]** El contenido de nitrógeno se limita a 0,008 % para evitar un posible envejecimiento.
- [0037]** El acero según la invención consta de opcionalmente vanadio en una cantidad comprendida entre 0,05 y 0,15 %. En particular, cuando el contenido de nitrógeno se comprende conjuntamente entre 0,004 y 0,008 %, la precipitación de vanadio puede intervenir durante el recocido tras la laminación en frío en forma de finos carbonitruros que confieren un endurecimiento adicional.
- 45 **[0038]** Cuando el contenido de vanadio se comprende entre 0,12 y 0,15 % en peso, el alargamiento uniforme o a la rotura se aumenta particularmente.
- 50 **[0039]** El acero puede comprender opcionalmente boro en una cantidad inferior o igual a 0,005 %. Según un modo preferido, el acero consta preferentemente entre 0,0005 y 0,003 % de boro, lo que contribuye a la supresión de la ferrita proeutectoide en presencia de cromo y/o molibdeno. Además de otros elementos aditivos, la adición de boro en una cantidad mencionada anteriormente permite obtener una resistencia superior a 1.400 MPa.
- 55 **[0040]** El acero puede comprender opcionalmente titanio en una cantidad tal que $\text{Ti}/\text{N} \geq 4$ y $\text{Ti} \leq 0,040\%$, lo que permite la formación de carbonitruros de titanio y aumenta el endurecimiento.
- [0041]** El resto de la composición está constituido por impurezas inevitables resultantes de la elaboración. Los

contenidos de estas impurezas, tales como Sn, Sb, As, son inferiores a 0,005 %.

5 **[0042]** Según una realización de la invención destinada a la fabricación de placas de acero con una resistencia superior a 1.200 MPa, la microestructura del acero se compone de 65 a 90 % de bainita, estos contenidos hacen referencia a los porcentajes de superficie, estando constituido el balance de islas de martensita y austenita residual (islas de compuestos M-A).

10 **[0043]** Esta estructura principalmente de bainita, al no contener ferrita proeutectoide con una baja dureza, presenta una capacidad de alargamiento a la rotura superior a 10 %.

[0044] Según la invención, las islas M-A dispersas regularmente en la matriz tienen un tamaño medio inferior a 1 micrómetro.

15 **[0045]** La figura 1 presenta un ejemplo de microestructura de una chapa de acero según la invención. La morfología de las islas M-A fue revelada por reactivos químicos adecuados; tras el ataque, las islas M-A aparecen en blanco en una matriz bainítica más o menos oscura. Algunas islas de pequeño tamaño se encuentran entre los listones de ferrita bainítica. Se observa las islas con aumentos que van de 500 a 1.500x aproximadamente en una superficie estadísticamente representativa y se mide gracias a un software de análisis de imágenes el tamaño medio de las islas así como la distancia media entre estas islas. En el caso de la figura 1, el porcentaje de superficie de las islas es de 20 12 % y el tamaño medio de las islas M-A es inferior a 1 micrómetro.

[0046] Se puso de manifiesto que una morfología específica de las islas M-A fue buscar particularmente cuando el tamaño medio de las islas es inferior a 1 micrómetro y cuando la distancia media entre estas islas es inferior a 6 micrómetros, se obtienen simultáneamente los siguientes efectos:

- 25
- daño limitado debido a la ausencia de iniciación de la rotura en las islas M-A de gran tamaño
 - un endurecimiento significativo debido a la proximidad de muchos constituyentes M-A de pequeño tamaño.

30 **[0047]** Según otra realización de la invención destinada a la fabricación de chapas de acero con una resistencia superior a 1.400 MPa y alargamiento a la rotura superior a 8 %, la microestructura se compone de 45 a 65 % de bainita, siendo constituido el balance de islas de martensita y austenita residual.

35 **[0048]** Según otra realización de la invención destinada a la fabricación de chapas de acero con una resistencia superior a 1.600 MPa y alargamiento a la rotura superior a 8 %, la microestructura se compone de 15 a 45 % de bainita, siendo constituido el balance de martensita y austenita residual.

[0049] La implementación del procedimiento de fabricación de una chapa fina laminada en frío y recocida según la invención es la siguiente:

- 40
- Se suministra un acero de composición según la invención;
 - Se procede a la colada de un producto semiacabado a partir de este acero. Esta colada puede ser realizada en lingotes o de forma continua en forma de planchones con un espesor del orden de 200 mm. También se puede efectuar la colada en forma de planchones finos de unas pocas decenas de milímetros de espesor o bandas finas entre cilindros de acero contrarrotativos.

45 **[0050]** Los productos semiacabados colados se llevan en primer lugar a una temperatura superior a 1.150 °C para alcanzar en cualquier punto una temperatura favorable a las deformaciones elevadas a las que se va a someter el acero durante la laminación. Naturalmente, en el caso de una colada directa de planchones finos o bandas finas entre los cilindros contrarrotativos, la etapa de laminación en caliente de estos productos semiacabados que se inicia a más de 1.150 °C se puede realizar directamente tras la colada, de modo que una etapa de calentamiento intermedia no es necesaria en este caso.

50

[0051] Se lamina en caliente el producto semiacabado. Una ventaja de la invención es que las características finales y la microestructura de la chapa laminada en frío y recocida son relativamente poco dependientes de la 55 temperatura de fin de laminación y del enfriamiento posterior a la laminación en caliente.

[0052] A continuación, se bobina la placa en caliente. La temperatura de bobinado es preferentemente inferior a 550 °C para limitar la dureza de la chapa laminada en caliente y la oxidación intergranular en superficie. Una dureza excesiva de la chapa laminada en caliente conduce a esfuerzos excesivos durante la laminación posterior en frío, así

como opcionalmente defectos en los bordes.

[0053] Se decapa a continuación la chapa laminada en caliente según un procedimiento conocido en sí mismo a fin de conferir a la misma un estado de superficie adecuada para la laminación en frío. Esto último se efectúa mediante la reducción del espesor de la chapa laminada en caliente de 30 a 80 %.

[0054] A continuación, se efectúa un tratamiento térmico de recocido, preferentemente mediante un recocido continuo, que consta de las siguientes fases:

10 - Una fase de calentamiento con una velocidad V_c comprendida entre 5 y 15 °C/s hasta una temperatura T_1 . Cuando V_c es superior a 15 °C/s, la recristalización de la chapa cruda por laminación en frío puede no ser completa. Se requiere un valor mínimo de 5 °C/s para la productividad. Una velocidad V_c comprendida entre 5 y 15 °C/s permite obtener un tamaño de grano de austenita particularmente adecuado a la microestructura final deseada.

15 **[0055]** La temperatura T_1 está comprendida entre A_{c3} y $A_{c3}+20$ °C, la temperatura A_{c3} corresponde a la transformación completa en austenita durante el calentamiento. A_{c3} depende de la composición del acero y de la velocidad de calentamiento y se puede determinar por ejemplo mediante dilatometría. La austenización total permite limitar la formación posterior de ferrita proeutectoide. Es importante que la temperatura T_1 sea inferior a $A_{c3}+20$ °C con el objetivo de evitar un incremento excesivo de grano austenítico. En este intervalo ($A_{c3}-A_{c3}+20$ °C), las características del producto final son poco sensibles a una variación en la temperatura T_1 .

20 **[0056]** Muy preferentemente, la temperatura T_1 se comprende entre $A_{c3}+10$ °C y $A_{c3}+20$ °C. En estas condiciones, los inventores han puesto de relieve que el tamaño de grano austenítico es más homogéneo y más fino, lo que conduce finalmente a la formación de una microestructura final que presenta asimismo estas características.

25 - Un mantenimiento de la temperatura T_1 durante un tiempo t_1 comprendido entre 50 y 150 s. Esta etapa conduce a la homogeneización de la austenita.

30 **[0057]** La siguiente etapa del procedimiento depende del contenido de cromo y molibdeno del acero:

- Cuando el acero no consta de prácticamente cromo, molibdeno y boro, es decir, cuando $Cr < 0,005$ %, $Mo < 0,005$ %, $B=0$ %, se efectúa un enfriamiento con una velocidad V_{R1} superior a 40 °C/s e inferior a 100 °C/s hasta una temperatura T_2 comprendida entre M_s-30 °C y M_s+30 °C. Para estas condiciones de velocidad de enfriamiento, la difusión del carbono en la austenita es limitada. Este efecto se satura más allá de 100 °C/s. Un mantenimiento se realiza a esta

35 temperatura T_2 durante un tiempo t_2 comprendido entre 150 y 350 s. M_s designa la temperatura de inicio de la transformación martensítica. Esta temperatura depende de la composición del acero aplicada y puede determinarse por ejemplo mediante dilatometría. Estas condiciones permiten prevenir la formación de ferrita proeutectoide durante el enfriamiento. También se obtiene en estas condiciones una transformación bainítica de la mayor parte de la austenita. La fracción restante se transforma en martensita o se estabiliza opcionalmente en forma de austenita residual.

40 - Cuando el acero consta de un contenido de cromo y molibdeno tales como $Mo \leq 0,25$ %, $Cr \leq 1,65$ % y $Cr+(3 \times Mo) \geq 0,3$ %, se efectúa un enfriamiento con una velocidad V_{R1} superior a 25 °C/s e inferior a 100 °C/s hasta una temperatura T_2 comprendida entre (B_s y M_s-20 °C). Un mantenimiento se realiza a esta temperatura T_2 durante un tiempo t_2 comprendido entre 150 y 350 s. B_s denota la temperatura de inicio de transformación bainítica. Estas condiciones

45 permiten obtener las mismas características microestructurales como anteriormente. La adición de cromo y/o molibdeno, en particular, permite asegurar que la formación de ferrita proeutectoide no intervenga. En los límites de velocidad de enfriamiento V_{R1} según la invención, las características finales del producto son relativamente poco sensibles a una variación en esta velocidad V_{R1} .

50 - La siguiente etapa del procedimiento es idéntica si el producto consta o no de cromo y/o molibdeno; se efectúa un enfriamiento a una velocidad V_{R2} inferior a 30 °C/s hasta la temperatura ambiente. En particular, cuando la temperatura T_2 es poco elevada en los intervalos según la invención, el enfriamiento a una velocidad V_{R2} inferior a 30 °C/s provoca un revenido de islas de martensita recién formada, lo que es favorable en términos de propiedades de uso.

Ejemplo:

55 **[0058]** Se elaboró aceros cuya composición figura en la siguiente tabla, expresada en porcentaje ponderal. Además, los aceros I-1 a I-5 que han servido en la fabricación de chapas según la invención, se indicaron a modo de comparación de la composición de aceros R-1 a R-5 que han servido en la fabricación de chapas de referencia.

Tabla 1 Composiciones de aceros (% en peso). I= Según la invención. R= referencia Valores subrayados: no conforme con la invención.

Acero	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Al (%)	Si+Al (%)	Mo (%)	Cr (%)	Cr+(3xMo) (%)	S (%)	P (%)	V (%)	Ti (%)	B (%)	N (%)
I-1	0,19	2	1,5	0,040	1,54	-	-	-	0,003	0,015	-	-	-	0,004
I-2	0,2	2	1,5	0,040	1,54	0,25	-	0,75	0,003	0,015	-	-	-	0,004
I-3	0,19	2	1,5	0,040	1,54	0,14	0,34	0,76	0,003	0,015	-	-	-	0,004
I-4	0,2	2	1,5	0,040	1,54	0,25	-	0,75	0,003	0,015	-	0,020	0,0038	0,004
I-5	0,2	2	1,5	0,040	1,54	0,25	-	0,75	0,003	0,015	0,15	0,020	0,0038	0,004
R-1	0,110	2,2	0,347	0,031	<u>0,378</u>	0,13	0,4	0,79	0,003	0,015	-	0,027	-	0,004
R-2	<u>0,038</u>	<u>0,212</u>	0,036	0,053	<u>0,089</u>	<u>1,1</u>	0,21	3,51	0,003	0,015	-	0,002	-	0,004
R-3	<u>0,035</u>	<u>0,21</u>	0,035	0,054	<u>0,089</u>	<u>0,5</u>	0,034	1,534	0,003	0,015	-	0,002	-	0,004
R-4	0,19	1,3	0,25	0,040	<u>0,29</u>	-	0,18	0,18	0,003	0,015	-	-	0,003	0,006
R-5	0,148	1,925	0,214	0,024	<u>0,238</u>	-	0,19	0,19	0,002	0,012	-	0,024	-	0,005

[0059] La composición del acero I-1 no es conforme a las reivindicaciones 1 a 3.

[0060] Los productos semiacabados correspondientes a las composiciones anteriores se calentaron a 1.200 °C, se laminaron en caliente hasta un espesor de 3 mm y se bobinaron a una temperatura inferior a 550 °C. Las chapas fueron entonces laminadas en frío hasta un espesor de 0,9 mm o una tasa de reducción de 70 %. A partir de una misma composición, algunos aceros se realizaron con el objeto de diferentes condiciones de fabricación. Las referencias I1-a, I1-b y I1-c, I1-d designan por ejemplo cuatro chapas de acero fabricadas bajo condiciones diferentes a partir de la composición de acero I1. La tabla 2 indica las condiciones de fabricación de las chapas recocidas tras la laminación en frío. La velocidad de calentamiento V_c es de 10 °C/s en todos los casos.

[0061] Las temperaturas de transformación A_{c3} , B_s y M_s también fueron expuestas en la tabla 2.

[0062] También se indicó los diversos constituyentes microestructurales medidos por microscopía cuantitativa; fracción de superficie de bainita, martensita y austenita residual.

[0063] Las islas M-A se pusieron de relieve por el reactivo LePera. Su morfología fue examinada por un software de análisis de imágenes Scion®.

Tabla 2: Condiciones de fabricación y microestructura de chapas laminadas en caliente obtenidas. I = Según la invención. R = referencia Valores subrayados: No conforme con la invención.

Chapa de acero	T_1 (°C)	A_{c3} (°C)	t_1 (s)	V_{R1} (°C/s)	T_2 (°C)	B_s (°C)	M_s (°C)	t_2 (s)	V_{R2} (°C/s)
I1-a	850	830	100	54	350	600	380	200	15
I1-b	<u>800</u>	830	100	54	400	600	380	200	15
I1-c	<u>825</u>	830	100	54	400	600	380	200	15
I1-d	850	830	100	54	<u>450</u>	600	380	200	15
I2-a	850	830	100	54	400	575	375	200	15
I2-b	850	830	120	54	400	575	375	240	15
I2-c	850	830	95	<u>22</u>	400	575	375	200	5
I3-a	850	830	100	54	400	565	395	200	15
I3-b	850	830	100	65	<u>350</u>	565	395	200	15
I4	850	830	100	54	400	575	375	200	15
I5	850	830	100	54	400	575	375	200	15
R1	850	845	100	54	<u>400</u>	520	425	200	15
R2	<u>800</u>	930	60	<u>20</u>	<u>460</u>	695	510	<u>20</u>	15
R3	<u>800</u>	915	60	<u>20</u>	<u>460</u>	760	520	<u>20</u>	15
R4	850	845	<u>300</u>	<u>20</u>	460	650	425	<u>20</u>	15
R5	<u>800</u>	900	60	<u>20</u>	460	605	425	<u>60</u>	20

[0064] Las propiedades mecánicas de tracción obtenidas (límite de elasticidad R_e , resistencia R_m , alargamiento uniforme A_u , alargamiento a la rotura A_t) se han expuesto en la tabla 3 a continuación. También se indicó la relación R_e/R_m .

[0065] En algunos casos se determinó la energía de rotura a -40 °C a partir de probetas de resiliencia del tipo Charpy V de espesor reducido a 1,4 mm. También se evaluó el daño asociado con un corte (cizallamiento o punzonado por ejemplo) que eventualmente podría disminuir las capacidades de deformación posterior de una pieza cortada. Para este objetivo, se cortó por cizallamiento probetas con una dimensión de 20 x 80 mm². Una parte de estas probetas se sometió a continuación a un pulido de los bordes. Las probetas se revistieron con rejillas fotodepositadas a continuación se sometieron a una tracción uniaxial hasta la rotura. Los valores de las deformaciones principales ϵ_1 paralelos al sentido del esfuerzo se midieron lo más cerca posible del inicio de la rotura a partir de las rejillas deformadas. Esta medición se efectuó sobre las probetas con los bordes cortados mecánicamente y en las probetas con los bordes pulidos. La sensibilidad al corte se evaluó por el factor de daño: $\Delta = \epsilon_1$ (bordes cortados)- ϵ_1 (bordes pulidos)/ ϵ_1 (bordes pulidos).

[0066] Para algunas chapas, también se evaluó el daño en las proximidades de los bordes cortados a partir de las muestras de 105x105mm² que constan de un orificio con un diámetro inicial de 10 mm. Se mide el aumento relativo del diámetro del orificio tras la introducción de un punzón cónico hasta que aparezca una grieta.

Tabla 3: Propiedades mecánicas de las chapas laminadas en frío y recocidas. Valores subrayados: No conforme con la invención. N.d: no determinado

Chapa de acero	Fracción bainítica (%)	Fracción (M-A) (%)	Tamaño de la isla (MA)<1 micrómetro y distancia media <6 micrómetro	Re (MPa)	Rm (MPa)	Au (%)	At (%)	KCV (-40 °C) J/cm ²	Daño Δ bordes cortados (%)	Expansión (%)
I1-a	89	11	Sí	718	1.200	7,5	11,2	63		35
I1-b	43	17	No	490	<u>1.020</u>	15	19			
I1-c	63	17	Sí	500	<u>1.040</u>	14	17	36		
I1-d	83	17	No	550	<u>1.100</u>	9	12			
I2-a	88	12	Sí	800	1250	8,8	12,7		-14	
I2-b	90	10	Sí	790	1.260	8,2	12			
I2-c	Nd	Nd	Nd	700	1.200	7	<u>8,5</u>			
I3-a	88	12	Sí	750	1.200	9,5	12,7			40
I3-b	Nd	Nd	Nd	900	1.300	9	8			
I4	60	40	Sí	690	1.420	8	11,2		-22,5	
I5	45	55	Nd	800	1.600	7,5	10			
R1	Nd	Nd	Nd	800	<u>950</u>	4	6			
R2	<u>Ferrita</u>	6	Nd	400	<u>520</u>	10	16			
R3	<u>Ferrita</u>	5	Nd	300	<u>450</u>	16	21			
R4	60	40	Nd	650	<u>950</u>	Nd	4			
R5	Ferrita	17	Sí	404	<u>856</u>	12,4	16		-43	

[0067] Las chapas fabricadas según las condiciones de la invención (I1-a, I2-a-b, I3-a, 14, 15) presentan una combinación de propiedades mecánicas particularmente ventajosa: por una parte una resistencia mecánica superior a 1.200 MPa, por otra parte, un alargamiento a la rotura siempre superior o igual a 10 %. Los aceros según la invención también presentan una energía de rotura Charpy V a -40 °C superior a 40 julios/cm². Esto permite la fabricación de piezas resistente a la propagación drástica de un defecto especialmente en caso de esfuerzos dinámicos. Las microestructuras de los aceros con una resistencia mínima de 1.200 MPa y un alargamiento a la rotura mínimo de 10 % según la invención constan de un contenido de bainita comprendido entre 65 y 90 %, siendo constituido el balance de islas M-A. La figura 1 por lo tanto presenta la microestructura de la chapa de acero I3a que consta de 88 % de bainita y 12 % de islas M-A, revelada por un ataque al reactivo LePera. La figura 2 presenta esta microestructura revelada por un ataque Nital. En el caso de que los aceros presenten una resistencia mínima de 1.400 MPa y un alargamiento a la rotura mínimo de 8 %, los aceros según la invención presentan un contenido de bainita comprendido entre 45 y 65 %, siendo el balance de islas M-A. En el caso de que los aceros presenten una resistencia mínima de 1.600 MPa y un alargamiento a la rotura mínimo de 8 %, los aceros según la invención presentan un contenido de bainita comprendido entre 15 y 35 %, siendo el balance de martensita y austenita residual. Las chapas de acero según la invención presentan un tamaño de islas M-A inferior a 1 micrómetro, la distancia entre las islas es inferior a 6 micrómetros.

[0068] Los aceros según la invención también presentan una buena resistencia al daño en caso de corte ya que el factor daño Δ se limita a -23 %. Una chapa de acero que no presenta estas características (R5) puede presentar un factor de daño de 43 %. Las chapas según la invención que se presentan tienen una buena aptitud para la expansión del orificio.

[0069] Los aceros según la invención también presentan una buena aptitud a la soldadura homogénea; para los parámetros de soldadura adaptados a los espesores indicados anteriormente, las juntas soldadas están exentas de grietas en frío o en caliente.

[0070] Las chapas de acero I1-b y I1-c se recocieron a una temperatura T_1 demasiado baja, la transformación austenítica no es completa. En consecuencia, la microestructura comprende ferrita proeutectoide (40 % para I1b, 20 % para I1-c) y un contenido excesivo de islas M-A. La resistencia mecánica se reduce entonces por la presencia de ferrita proeutectoide.

[0071] Para la chapa de acero I1-d, la temperatura de mantenimiento T_2 es superior a M_s+30 °C; la transformación bainítica que se produce a una temperatura más alta da lugar a una estructura más gruesa y conduce a una resistencia mecánica insuficiente.

[0072] Para la chapa de acero I-2c, la velocidad de enfriamiento V_{R1} tras el recocido no es suficiente, la microestructura formada es más heterogénea y el alargamiento a la rotura se reduce por debajo del 10 %.

[0073] Para la chapa I-3b, la temperatura de mantenimiento T_2 es inferior a M_s-20 °C; en consecuencia, el enfriamiento V_{R1} provoca la aparición de una bainita formada a baja temperatura y de martensita, asociadas con un alargamiento insuficiente.

[0074] El acero R1 tiene un contenido en (silicio+aluminio) insuficiente, la temperatura de mantenimiento T_2 es inferior a M_s-20 °C. Debido al contenido insuficiente en (Si+Al), la cantidad de islas M-A formada es insuficiente para obtener una resistencia superior o igual a 1.200 MPa.

[0075] Los aceros R2 y R3 tienen contenidos de carbono, manganeso, silicio+aluminio, insuficientes. La cantidad de compuestos M-A formados es inferior a 10 %. Además, la temperatura de recocido T_1 inferior a A_{c3} conduce a un contenido excesivo de ferrita proeutectoide y cementita, y a una resistencia insuficiente.

[0076] El acero R4 tiene un contenido insuficiente en (Si+Al). La velocidad de enfriamiento V_{R1} es particularmente demasiado baja. El enriquecimiento de la austenita en carbono en el enfriamiento es entonces insuficiente para permitir la formación de martensita y para obtener propiedades de resistencia y de alargamiento incluidas por la invención.

[0077] El acero R5 también presenta un contenido insuficiente en (Si+Al). La velocidad de enfriamiento insuficientemente rápida tras el recocido conduce a un contenido excesivo de ferrita proeutectoide y a una resistencia mecánica insuficiente.

[0078] Partiendo del procedimiento de fabricación de la chapa de acero I2-a, una chapa de acero I2-d se fabricó según un procedimiento que presenta características idénticas, excepto para la temperatura T_1 igual a 830 °C, o la temperatura A_{c3} . En el caso en que T_1 es igual a A_{c3} , la aptitud a la expansión del orificio cónico es 25 %. Cuando la temperatura T_1 es igual a 850 °C ($A_{c3}+20$ °C), la aptitud a la expansión se incrementa hasta 31 %.

5

[0079] De este modo, la invención permite la fabricación de chapas de acero que combina una resistencia muy alta y una ductilidad elevada. Las chapas de aceros según la invención se utilizan de manera beneficiosa para la fabricación de piezas estructurales o de elementos de refuerzo en el campo de la automoción y la industria general.

REIVINDICACIONES

1. Chapa de acero laminada en frío y recocida con una resistencia superior a 1.200 MPa y alargamiento a la rotura superior a 8 %, cuya composición comprende, estando los contenidos expresados en peso:

- 5
 10
 15
 20
- $0,10\% \leq C \leq 0,25\%$
 $1\% \leq Mn \leq 3\%$
 $Al \geq 0,010\%$
 $1,2\% \leq Si \leq 1,8\%$
 $S \leq 0,015\%$
 $P \leq 0,1\%$
 $N \leq 0,008\%$,
 quedando entendido que
 $1,2\% \leq Si+Al \leq 3\%$,
 $Mo \leq 0,25\%$
 $Cr \leq 1,65\%$
 quedando entendido que
 $Cr+(3 \times Mo) \geq 0,3\%$
 $B = 0\%$,
 donde la composición posiblemente comprende:
 $0,05\% \leq V \leq 0,15\%$
 Ti en una cantidad tal que $Ti/N \geq 4$ y $Ti \leq 0,040\%$,

estando formado el resto de la composición por hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición, comprendiendo la microestructura de dicho acero de 65 a 90% de bainita, estando el balance formado por islas de martensita y austenita residual.

2. Chapa de acero laminada en frío y recocida con una resistencia superior a 1.400 MPa, alargamiento a la rotura superior a 8 %, caracterizada porque contiene

- 30
 35
 40
 45
- $0,10\% \leq C \leq 0,25\%$
 $1\% \leq Mn \leq 3\%$
 $Al \geq 0,010\%$
 $1,2\% \leq Si \leq 1,8\%$
 $S \leq 0,015\%$
 $P \leq 0,1\%$
 $N \leq 0,008\%$,
 quedando entendido que
 $1,2\% \leq Si+Al \leq 3\%$,
 $Mo \leq 0,25\%$
 $Cr \leq 1,65\%$
 quedando entendido que
 $Cr+(3 \times Mo) \geq 0,3\%$
 $B = 0\%$,
 donde la composición posiblemente comprende:
 $0,05\% \leq V \leq 0,15\%$
 $B \leq 0,005\%$
 Ti en una cantidad tal que $Ti/N \geq 4$ y $Ti \leq 0,040\%$,

estando formado el resto de la composición por hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición, comprendiendo la microestructura de dicho acero de 45 a 65 % de bainita, siendo constituido el balance en islas de martensita y austenita residual.

3. Chapa de acero laminada en frío y recocida con una resistencia superior a 1.600 MPa, alargamiento a la rotura superior a 8 %, caracterizada porque contiene

- $0,10\% \leq C \leq 0,25\%$
 $1\% \leq Mn \leq 3\%$
 $Al \geq 0,010\%$

- 5
10
15
- 1,2% ≤ Si ≤ 1,8%
S ≤ 0,015%
P ≤ 0,1%
N ≤ 0,008%,
quedando entendido que
1,2% ≤ Si+Al ≤ 3%,
Mo ≤ 0,25%
Cr ≤ 1,65%
quedando entendido que
Cr+(3 × Mo) ≥ 0,3%
0,0005% ≤ B ≤ 0,003%,
donde la composición posiblemente comprende:
0,05% ≤ V ≤ 0,15%
Ti en una cantidad tal que Ti/N ≥ 4 y Ti ≤ 0,040%,
estando formado el resto de la composición por hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición, comprendiendo la microestructura de dicho acero de 15 a 45 % de bainita, siendo constituido el balance de martensita y austenita residual.
- 20 4. Chapa de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizada porque la composición de dicho acero contiene, siendo el contenido expresado en peso:
- 0,19% ≤ C ≤ 0,23%
- 25 5. Chapa de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizada porque la composición de dicho acero contiene, siendo el contenido expresado en peso:
- 1,5% ≤ Mn ≤ 2,5%
- 30 6. Chapa de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizada porque la composición de dicho acero contiene, siendo el contenido expresado en peso:
- 1,2% ≤ Al ≤ 1,8%
- 35 7. Chapa de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizada porque la composición de dicho acero contiene, siendo el contenido expresado en peso:
- 0,12% ≤ V ≤ 0,15%
0,004% ≤ N ≤ 0,008%
- 40 8. Chapa de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizada porque la composición de dicho acero contiene, siendo el contenido expresado en peso:
- 0,12% ≤ V ≤ 0,15%
- 45 9. Chapa de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizada porque el tamaño medio de dichas islas de martensita y austenita residual es inferior a 1 micrómetro, y la distancia media entre dichas islas es inferior a 6 micrómetros.
- 50 10. Procedimiento de fabricación de una chapa de acero laminada en frío con una resistencia superior a 1.200 MPa, alargamiento a la rotura superior a 10%, según el cual:
- se suministra un acero cuya composición comprende, siendo el contenido expresado en peso:
- 55 0,10% ≤ C ≤ 0,25%
1% ≤ Mn ≤ 3%
Al ≥ 0,010%
1,2% ≤ Si ≤ 1,8%
S ≤ 0,015%

- $P \leq 0,1\%$
 $N \leq 0,008\%$,
 quedando entendido que
 $1,2\% \leq Si+Al \leq 3\%$,
 $Mo \leq 0,005\%$
 $Cr \leq 0,005\%$
 $B = 0\%$,
 comprendiendo posiblemente la composición:
 $0,05\% \leq V \leq 0,15\%$
- 5
- 10
- 15
- 20
- 25
11. Procedimiento de fabricación de una chapa de acero laminada en frío con una resistencia superior a 1.200 MPa, alargamiento a la rotura superior a 8 %, según el cual:
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- se procede a la colada de un producto semiacabado a partir de este acero, a continuación
 - se lleva dicho producto semiacabado a una temperatura superior a 1.150 °C, a continuación
 - se lamina en caliente dicho producto semiacabado para obtener una chapa laminada en caliente, a continuación
 - se bobina dicha chapa, a continuación
 - se decapa dicha chapa laminada en caliente, a continuación
 - se lamina en frío dicha chapa con una tasa de reducción comprendida entre 30 y 80 % con el fin de obtener una chapa laminada en frío, a continuación
 - se calienta dicha chapa laminada en frío a una velocidad V_c comprendida entre 5 y 15 °C/s hasta una temperatura T_1 comprendida entre Ac_3 y Ac_3+20 °C, durante un tiempo t_1 comprendido entre 50 y 150 s, a continuación dicha chapa se enfría a una velocidad V_{R1} superior a 40 °C/s e inferior a 100 °C/s hasta una temperatura T_2 comprendida entre $(M_s-30$ °C y M_s+30 °C), se mantiene dicha chapa a dicha temperatura T_2 durante un tiempo t_2 comprendido entre 150 y 350 s, a continuación se efectúa un enfriamiento a una velocidad V_{R2} inferior a 30 °C/s hasta la temperatura ambiente.
- se suministra un acero de composición según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, los contenidos de Mo y Cr son tales que $Mo \leq 0,25\%$, $Cr \leq 1,65\%$, quedando entendido que: $Cr+(3 \times Mo) \geq 0,3\%$, a continuación
 - se procede a la colada de un producto semiacabado a partir de este acero, a continuación
 - se lleva dicho producto semiacabado a una temperatura superior a 1.150 °C, a continuación
 - se lamina en caliente dicho producto semiacabado para obtener una chapa laminada en caliente, a continuación
 - se bobina dicha chapa, a continuación
 - se decapa dicha chapa laminada en caliente, a continuación
 - se lamina en frío dicha chapa con una tasa de reducción comprendida entre 30 y 80 % con el fin de obtener una chapa laminada en frío, a continuación
 - se calienta dicha chapa laminada en frío a una velocidad V_c comprendida entre 5 y 15 °C/s hasta una temperatura T_1 comprendida entre Ac_3 y Ac_3+20 °C, durante un tiempo t_1 comprendido entre 50 y 150 s, a continuación se enfría dicha chapa a una velocidad V_{R1} superior a 25 °C/s e inferior a 100 °C/s hasta una temperatura T_2 comprendida entre B_s y $(M_s-20$ °C), se mantiene dicha chapa a dicha temperatura T_2 durante un tiempo t_2 comprendido entre 150 y 350 s, a continuación se efectúa un enfriamiento a una velocidad V_{R2} inferior a 30 °C/s hasta la temperatura ambiente.
12. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 10, caracterizado porque la temperatura T_1 está comprendida entre Ac_3+10 °C y Ac_3+20 °C.
13. Uso de una chapa de acero laminada en frío y recocida según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, o fabricada por un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12 para la fabricación de piezas estructurales o elementos de refuerzo, en el campo automovilístico.

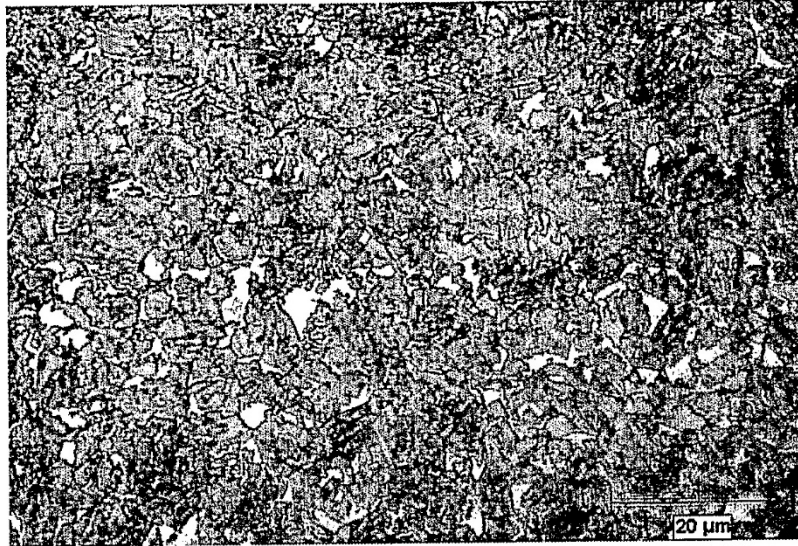


Figura 1

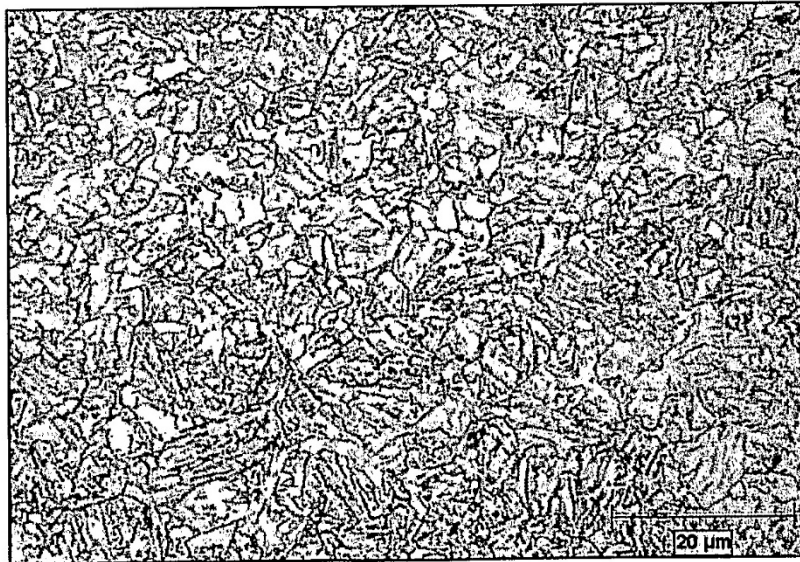


Figura 2