

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 748 436**

51 Int. Cl.:

C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/12 (2006.01)
C22C 38/22 (2006.01)
C22C 38/26 (2006.01)
C22C 38/28 (2006.01)
C22C 38/32 (2006.01)
C22C 38/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.03.2016 PCT/IB2016/000343**
 87 Fecha y número de publicación internacional: **29.09.2016 WO16151390**
 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2016 E 16718723 (6)**
 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2019 EP 3274483**

54 Título: **Piezas de estructura bainítica con altas propiedades de resistencia y procedimiento de fabricación**

30 Prioridad:
23.03.2015 WO PCT/IB2015/000384

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.03.2020

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

72 Inventor/es:
**PERROT-SIMONETTA, MARIE-THÉRÈSE;
RESIAK, BERNARD y
VOLL, ULRICH**

74 Agente/Representante:
SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 748 436 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

Piezas de estructura bainítica con altas propiedades de resistencia y procedimiento de fabricación

- 5 **[0001]** La presente invención cubre la fabricación de piezas con altas propiedades de resistencia que pueden mecanizarse, obtenidas a partir de aceros que presentan simultáneamente una buena ductilidad en caliente que permite realizar operaciones de conformado en caliente y una templabilidad tal que no es útil realizar operaciones de temple y revenido para obtener las propiedades anunciadas.
- 10 **[0002]** La invención se refiere más en concreto a piezas que presentan, sea cual sea la forma y la complejidad de la pieza, una resistencia mecánica superior o igual a 1.100 MPa, que presenta un límite de elasticidad superior o igual a 700 MPa, una elongación a la ruptura A superior o igual a 12 y una estricción a la ruptura Z superior al 30 %,
- [0003]** En el marco de la presente invención, se define por pieza barras de cualquier forma, alambres o piezas
15 complejas obtenidas por un procedimiento de conformación en caliente como, por ejemplo, el laminado, o forjado con o sin operaciones ulteriores de recalentamiento parcial o total, de tratamiento térmico o termoquímico y/o de conformación con o sin levantamiento de material, e incluso con añadido de material como en la soldadura.
- [0004]** Se entiende por conformación en caliente de un acero cualquier procedimiento que modifica la forma
20 primera de un producto mediante una operación que se realiza a una temperatura del material tal que la estructura cristalina del acero es mayoritariamente austenítica.
- [0005]** La alta demanda de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, asociada al crecimiento
25 de las exigencias de seguridad automovilística y de los precios del carburante, han impulsado a los fabricantes de vehículos terrestres a motor a investigar en materiales que presentan una resistencia mecánica elevada. Esto permite reducir el peso de estas piezas manteniendo o aumentando los rendimientos de resistencia mecánica.
- [0006]** Para obtener características mecánicas muy altas, desde hace mucho tiempo existen soluciones
30 tradicionales de acero. Contienen elementos de aleación en mayor o menor cantidad asociados a tratamientos térmicos de tipo austenitización a una temperatura superior a AC1, seguido de un temple en un fluido de tipo aceite, polímero e incluso agua y en general de un revenido a una temperatura inferior a Ar3. Los diversos inconvenientes asociados a estos aceros y a los tratamientos necesarios para obtener las propiedades demandadas pueden ser de orden económico (coste de las aleaciones, coste de los tratamientos térmicos), ambiental (energía gastada para la reaustenitización, dispersada por el temple, tratamiento de los baños de temple) o geométrica (deformación de las
35 piezas complejas). En esta perspectiva, los aceros que permiten obtener una resistencia relativamente elevada, justo después de la conformación en caliente, adquieren una importancia creciente. Así, a lo largo del tiempo se han propuesto varias familias de aceros que ofrecen diversos niveles de resistencia mecánica, como por ejemplo los aceros en microaleaciones de estructura ferrito-perlítica con diferentes contenidos de Carbono para obtener varios niveles de resistencia. Estos aceros de microaleaciones ferrito-perlíticas se han extendido notablemente en las últimas décadas
40 y muy a menudo se usan en toda clase de piezas mecánicas para obtener piezas complejas sin tratamiento térmico directamente después de la conformación en caliente. Aunque de muy alto rendimiento, estos aceros tienen hoy en día límites cuando los fabricantes reclaman propiedades mecánicas superiores a 700 MPa de límite elástico y a 1.100 MPa de resistencia mecánica, lo que a menudo los obliga a las soluciones tradicionales citadas más arriba.
- 45 **[0007]** Por otra parte, en función del grosor y de la forma de las piezas, puede ser difícil garantizar una homogeneidad satisfactoria de las propiedades, debido principalmente a la heterogeneidad de las velocidades de enfriamiento que incide en la microestructura.
- [0008]** Con el fin de responder a esta demanda de vehículos cada vez más ligeros, al tiempo que se conservan
50 las ventajas económicas y ambientales de los aceros con microaleaciones de matriz ferrito-perlítica, es necesario así tener aceros cada vez más resistentes, obtenidos directamente después de las operaciones de conformación en caliente. Sin embargo, en el dominio de los aceros al carbono se sabe que un aumento de la resistencia mecánica se acompaña en general de una pérdida de ductilidad y de una pérdida de maquinabilidad. Por otra parte, los fabricantes de vehículos terrestres a motor definen piezas cada vez más complejas que necesitan aceros que presenten niveles
55 elevados de resistencia mecánica, resistencia a la fatiga, tenacidad, conformabilidad y maquinabilidad.
- [0009]** Se conoce la patente EP0787812 que describe un procedimiento para la fabricación de piezas forjadas
60 cuya composición química comprende, en peso: $0,1 \% \leq C \leq 0,4 \%$; $1 \% \leq Mn \leq 1,8 \%$; $1,2 \% \leq Si \leq 1,7 \%$; $0 \% \leq Ni \leq 1 \%$; $0 \% \leq Cr \leq 1,2 \%$; $0 \% \leq Mo \leq 0,3 \%$; $0 \% \leq V \leq 0,3 \%$; $Cu \leq 0,35 \%$ en su caso del 0,005 % al 0,06 % de aluminio, en su caso boro en contenidos comprendidos entre el 0,0005 % y el 0,01 %, en su caso entre el 0,005 % y el 0,03 % de titanio, en su caso entre el 0,005 % y el 0,06 % de niobio, en su caso entre el 0,005 % y el 0,1 % de azufre, en su caso hasta el 0,006 % de calcio, en su caso hasta el 0,03 % de telurio, en su caso hasta el 0,05 % de selenio, en su caso hasta el 0,05 % de bismuto, en su caso hasta el 0,1 % de plomo, siendo el resto hierro e impurezas que proceden
65 de la elaboración. Este procedimiento implica que se somete la pieza a un tratamiento térmico que incluye un enfriamiento desde una temperatura a la que el acero es totalmente austenítico hasta una temperatura T_m

comprendida entre M_s+100 D°C y M_s-20 °C a una velocidad de enfriamiento V_r superior a 0,5 °C/s, seguido de un mantenimiento de la pieza entre T_m y T_f , con $T_f \geq T_m-100$ °C, y preferentemente $T_f \geq T_m-60$ °C, durante al menos 2 minutos de forma que se obtiene una estructura que incluye al menos el 15 %, y preferentemente, al menos el 30 % de bainita conformada entre T_m y T_f . Esta técnica necesita numerosas etapas de procedimiento perjudiciales para la productividad. También se conoce la patente WO 2009/138586.

[0010] Por otra parte, se conoce la solicitud EP1201774 en la que el objetivo de la invención es suministrar un procedimiento de forjado realizado de manera que se mejora la maquinabilidad, modificando la estructura metalográfica de los productos sometidos a la carga de impacto en una estructura ferrito-perlítica fina sin adoptar el procedimiento de temple y revenido, con el fin de obtener un límite de elasticidad que supere al obtenido por el procedimiento de temple y revenido. La resistencia a la tracción (R_m) obtenida es inferior a la que se obtiene mediante el procedimiento de temple y revenido. Este procedimiento presenta también el inconveniente de que necesita numerosas etapas de procedimiento que complican el procedimiento de fabricación. Por otra parte la ausencia de elementos precisos de composición química puede llevar al uso de una composición química no adaptada para las aplicaciones de piezas forjadas ya que son perjudiciales para la soldabilidad, la maquinabilidad e incluso la tenacidad.

[0011] El objeto de la presente invención es resolver los problemas citados anteriormente. Pretende poner a disposición un acero para piezas conformadas en caliente con altas propiedades de resistencia, que presentan simultáneamente una resistencia mecánica y una capacidad de deformación que permite realizar operaciones de conformación en caliente. La invención se refiere más en particular a aceros que presentan una resistencia mecánica superior o igual a 1.100 MPa (es decir, una dureza superior o igual a 300 Hv), que presentan un límite de elasticidad superior o igual a 700 MPa y una elongación a la ruptura superior o igual al 12 %, con una estricción a la ruptura superior al 30 %. La invención pretende igualmente poner a disposición un acero con una aptitud para ser producido de manera robusta es decir sin grandes variaciones de propiedades en función de los parámetros de fabricación y que pueda mecanizarse con las herramientas disponibles en el comercio sin pérdida de productividad durante la implementación.

[0012] Para este fin, la invención tiene como objeto una pieza según las reivindicaciones 1 a 12 y un procedimiento de fabricación de pieza según la reivindicación 13.

[0013] En el curso de la descripción ofrecida a continuación aparecerán otras características y ventajas de la invención, ofrecidas a modo de ejemplo no limitativo.

[0014] En el marco de la invención, la composición química, en porcentaje en peso, debe ser la siguiente: El contenido de carbono está comprendido entre el 0,10 y el 0,30 %. Si el contenido de carbono está por debajo del 0,10 % en peso, existe un riesgo de formar ferrita proeutectoide y de obtener una resistencia mecánica insuficiente. Por encima del 0,30 %, la soldabilidad se hace cada vez más reducida ya que se pueden formar microestructuras de baja tenacidad en la Zona Afectada Térmicamente (ZAT) o en la zona fundida. Dentro de este intervalo, la soldabilidad es satisfactoria, y las propiedades mecánicas son estables y están conformes con los objetivos que pretende la invención. Según una realización preferida, el contenido de carbono está comprendido entre el 0,15 y el 0,27 % preferentemente entre el 0,17 y el 0,25 %.

[0015] El manganeso está comprendido entre el 1,6 y el 2,1 % y preferentemente entre el 1,7 % y el 2,0 %. Es un elemento que se endurece por solución sólida de sustitución, estabiliza la austenita y reduce la temperatura de transformación Ac3. El manganeso contribuye así a un aumento de la resistencia mecánica. Es necesario un contenido mínimo del 1,6 % en peso para obtener las propiedades mecánicas deseadas. Sin embargo, por encima del 2,1 %, su carácter gammágeno conduce a una ralentización significativa de la cinética de transformación bainítica que tiene lugar durante el enfriamiento final y la fracción de bainita sería insuficiente para alcanzar una resistencia de elasticidad superior o igual a 700 MPa. De este modo se combina una resistencia mecánica satisfactoria sin aumentar el riesgo de disminuir la fracción de bainita y, por tanto, de disminuir el límite de elasticidad, ni de aumentar la templabilidad en las aleaciones soldadas, lo que perjudicaría la capacidad de soldadura del acero según la invención.

[0016] El contenido de cromo debe estar comprendido entre el 0,5 % y el 1,7 % y preferentemente entre el 1,0 y el 1,5 %. Este elemento permite controlar la formación de ferrita en el enfriamiento a partir de una estructura totalmente austenítica, ya que esta ferrita, en cantidad elevada, disminuye la resistencia mecánica necesaria para el acero según la invención. Por otra parte este elemento permite endurecer y afinar la microestructura bainítica, motivo por el cual es necesario un contenido mínimo del 0,5 %. Sin embargo, este elemento ralentiza considerablemente la cinética de la transformación bainítica, de manera que, para contenidos superiores al 1,7 %, se incurre en el riesgo de que la fracción de bainita sea insuficiente para alcanzar un límite de elasticidad superior o igual a 700 MPa. Preferentemente se elige un intervalo de contenido de cromo comprendido entre el 1,0 % y el 1,5 % para afinar la microestructura bainítica.

[0017] El silicio debe estar comprendido entre el 0,5 y el 1,0 %. En esta horquilla, se hace posible la estabilización de austenita residual mediante la adición de silicio que ralentiza considerablemente la precipitación de carburos durante la transformación bainítica. Este hecho ha sido corroborado por los autores de la invención que han

- observado que la bainita de la invención está casi exenta de carburos. Esto proviene del hecho de que la solubilidad del silicio en la cementita es muy baja y de que este elemento aumenta la actividad del carbono en la austenita. Así pues cualquier formación de cementita estará precedida de una etapa de rechazo de Si en la interfaz. El enriquecimiento de la austenita con carbono lleva así a su estabilización a la temperatura ambiente en el acero según esta primera realización. A continuación, la aplicación de una restricción exterior a una temperatura inferior a 200 °C por ejemplo, de conformación o de esfuerzo mecánico de tipo conformación en frío o de tipo fatiga, puede conducir a la transformación de una parte de esta austenita en martensita. Esta transformación tendrá como resultado un aumento del límite elástico. El contenido mínimo de silicio debe fijarse en el 0,5 % en peso para obtener el efecto estabilizador en la austenita y retrasar la formación de los carburos. Por otra parte, se observa que, si el silicio es inferior al 0,5 %, el límite de elasticidad no alcanza el mínimo requerido de 700 MPa. Además, una adición de silicio en cantidad superior al 1,0 % inducirá un exceso de austenita residual lo que reducirá el límite de elasticidad. De forma preferente, el contenido de silicio estará comprendido entre el 0,75 y el 0,9 % con el fin de optimizar los efectos mencionados anteriormente.
- 15 **[0018]** El niobio debe estar comprendido entre el 0,065 % y el 0,15 %. Se trata de un elemento de microaleación que tiene la particularidad de formar precipitados endurecedores con el carbono y/o el nitrógeno. Por otra parte permite retrasar la transformación bainítica, en sinergia con los elementos de microaleación como el boro y el molibdeno presentes en la invención. No obstante, el contenido de niobio debe estar limitado al 0,15 % para evitar la formación de precipitados de gran tamaño que puedan actuar como lugares de fomento de fisuras y para evitar los problemas de pérdida de ductilidad en caliente asociados con una posible precipitación intergranular de nitruros. Por otra parte, el contenido de niobio debe ser superior o igual al 0,065 % lo que, combinado con el titanio, permite tener un efecto de estabilización en las propiedades mecánicas finales, es decir, una menor sensibilidad a la velocidad de enfriamiento. En efecto, puede formar carbonitruros mixtos con el titanio y mantenerse estable a temperaturas relativamente elevadas, lo que permite evitar el aumento de tamaño anormal de los granos a alta temperatura, e incluso lo que permite un afinamiento suficientemente importante del grano austenítico. Preferentemente el contenido máximo de Nb está comprendido en la gama del 0,065 % al 0,110 % para optimizar los efectos mencionados anteriormente.
- 20 **[0019]** El contenido de titanio debe ser tal que $0,010 < Ti < 0,1$ %. Se tolera un contenido máximo del 0,1 %, por encima del cual el titanio tendrá como efecto un aumento del precio y la generación de precipitados nocivos para el valor de fatiga y la maquinabilidad. Es necesario un contenido mínimo del 0,010 % para controlar el tamaño de grano austenítico y para proteger el boro del nitrógeno. De forma preferente, se elige un intervalo de contenido de titanio comprendido entre el 0,020 % y el 0,03 %.
- 30 **[0020]** El contenido de boro debe estar comprendido entre 10 ppm (0,0010 %) y 50 ppm (0,0050 %). Este elemento permite controlar la formación de ferrita en el enfriamiento a partir de una estructura totalmente austenítica, ya que esta ferrita, en cantidad elevada disminuiría la resistencia mecánica y el límite elástico pretendidos por la invención. Se trata de un elemento de templado. Es necesario un contenido mínimo de 10 ppm para evitar la formación de ferrita durante el enfriamiento natural y por tanto en general inferior a 2 °C/s para los tipos de piezas a los que se dirige la invención. Sin embargo, por encima de 50 ppm el boro tendrá como efecto la formación de boruros de hierro que pueden ser nefastos para la ductilidad. De forma preferente se elige un intervalo de contenido de boro comprendido entre 20 ppm y 30 ppm para optimizar los efectos mencionados anteriormente.
- 40 **[0021]** El contenido de nitrógeno debe estar comprendido entre 10 ppm (0,0010 %) y 130 ppm (0,0130 %). Es necesario un contenido mínimo de 10 ppm para formar los carbonitruros mencionados anteriormente. Sin embargo, por encima de 130 ppm el nitrógeno podrá tener como efecto un endurecimiento demasiado elevado de la ferrita bainítica, con posible disminución de la resiliencia de la pieza terminada. De forma preferente se elige un intervalo de contenido de boro comprendido entre 50 ppm y 120 ppm para optimizar los efectos mencionados anteriormente.
- 45 **[0022]** El contenido de aluminio debe ser inferior o igual al 0,050 % y preferentemente inferior o igual al 0,040 %, e incluso inferior o igual al 0,020 %. De forma preferente, el contenido de Al es tal que $0,003 \% \leq Al \leq 0,015 \%$. Se trata de un elemento residual del cual se desea limitar el contenido. Se considera que los contenidos elevados de aluminio aumentan la erosión de los materiales refractarios y el riesgo de taponamiento de las boquillas durante la colada del acero. Además el aluminio se segrega negativamente y, puede llevar a macrosegregaciones. En cantidad excesiva, el aluminio puede reducir la ductilidad en caliente y aumentar el riesgo de aparición de defectos en colada continua. Sin un control exhaustivo de las condiciones de colada, los defectos de tipo micro y macrosegregación producen, finalmente, una segregación en la pieza forjada. Esta estructura en bandas está constituida de forma alterna por bandas bainíticas con durezas diferentes lo que puede ser perjudicial para la conformabilidad del material.
- 50 **[0023]** El contenido de molibdeno debe ser inferior o igual al 1,0 %, preferentemente inferior o igual al 0,5 %. De forma preferente se elige un intervalo de contenido de molibdeno comprendido entre el 0,03 y el 0,15 %. Su presencia es favorable para la formación de la bainita por efecto de sinergia con el boro y el niobio. De este modo permite garantizar la ausencia de ferrita proeutectoide en las uniones de los granos. Por encima de un contenido del 1,0 %, favorece la aparición de martensita que no se pretende.
- 60 **[0024]** El contenido de níquel debe ser inferior o igual al 1,0 %. Se tolera un contenido máximo del 1,0 %, por
- 65

encima del cual el níquel tendrá como efecto el aumento del precio de la solución propuesta, lo que conlleva el riesgo de reducir su viabilidad desde un punto de vista económico. De forma preferente se elige un intervalo de contenido de níquel comprendido entre el 0 y el 0,55 %.

5 **[0025]** El contenido de vanadio debe ser inferior o igual al 0,3 %. Se tolera un contenido máximo del 0,3 %, por encima del cual el vanadio tendrá como efecto el aumento del precio de la solución y afectará a la resiliencia. De forma preferente, en esta invención, se elige un intervalo de contenido de vanadio comprendido entre el 0 y el 0,2 %.

10 **[0026]** El azufre puede estar en diferentes niveles según la maquinabilidad buscada. Siempre estará en una cantidad baja, ya que es un elemento residual cuyo valor no puede reducirse a un cero absoluto, aunque también puede añadirse voluntariamente. Se buscará un contenido de S menor si las propiedades de fatiga buscadas son muy elevadas. De forma general, se buscará entre el 0,015 y el 0,04 %, sabiendo que es posible añadir hasta el 0,1 % para mejorar la maquinabilidad. Como variante, es posible asimismo añadir en combinación con el azufre uno o varios elementos elegidos entre telurio, selenio, plomo y bismuto en cantidades inferiores o iguales al 0,1 % para cada elemento.

20 **[0027]** El fósforo debe ser inferior o igual al 0,050 % y preferentemente inferior o igual al 0,025 %. Es un elemento que se endurece en solución sólida pero que disminuye considerablemente la soldabilidad y la ductilidad en caliente, especialmente debido a su capacidad para la segregación en las uniones de los granos o a su tendencia a la cosegregación con el manganeso. Por estos motivos, su contenido debe estar limitado al 0,025 % con el fin de obtener una buena aptitud para la soldadura.

25 **[0028]** El contenido de cobre debe ser inferior o igual al 0,5 %. Se tolera un contenido máximo del 0,5 %, ya que por encima del mismo el cobre tendrá como efecto la disminución de la aptitud para la conformación del producto.

30 **[0029]** El resto de la composición está constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la elaboración, tales como por ejemplo arsénico o estaño.

35 **[0030]** En realizaciones preferidas, las composiciones químicas según la invención pueden cumplir además las condiciones siguientes, tomadas de forma aislada o en combinación:

$$0,1 \leq S1 \leq 0,4$$

y
35

$$0,5 \leq S2 \leq 1,8$$

$$0,7 \leq S3 \leq 1,6$$

$$0,3 \leq S4 \leq 1,5$$

con

40 $S1 = Nb + V + Mo + Ti + Al$

$$S2 = C + N + Cr/2 + (S1)/6 + (Si + Mn - 4 * S) / 10 + Ni/20$$

45 $S3 = S2 + 1/3 \times Vr600$

$$S4 = S3 - Vr400$$

en las que los contenidos de los elementos se expresan en porcentaje en peso y las velocidades de enfriamiento Vr400 y Vr600 se expresan en °C/s. Vr400 representa la velocidad de enfriamiento en el intervalo de temperatura comprendido entre 420 y 380 °C. Vr600 representa la velocidad de enfriamiento en el intervalo de temperatura comprendido entre 620 y 580 °C.

55 **[0031]** Como se verá en los ensayos descritos a continuación, el criterio S1 está correlacionado con la robustez de las propiedades mecánicas frente a las variaciones de las condiciones de enfriamiento en general y frente a las variaciones de Vr600 en particular. El respeto de las horquillas de valor de este criterio permite así garantizar una sensibilidad muy baja de la calidad a las condiciones de fabricación. En una realización preferida, $0,200 \leq S1 \leq 0,4$, lo que permite mejorar aún más la robustez.

[0032] Por otra parte, los criterios S2 a S4 están relacionados con la obtención de una estructura mayoritariamente bainítica en más del 70 % para las calidades según la invención, permitiendo así garantizar que se alcanzan las propiedades mecánicas pretendidas.

5

[0033] Según la invención, la microestructura del acero puede contener, en proporción de áreas superficiales después del enfriamiento final:

10 - bainita en un contenido comprendido entre el 70 y el 100 %. En el marco de la presente invención, se entiende por bainita una bainita que comprende menos del 5 % en superficie de carburos y cuya fase interlaminar es austenita.

- austenita residual en un contenido inferior o igual al 30 %

15 - ferrita en un contenido inferior al 5 %. En particular, si el contenido de ferrita es superior al 5 %, el acero según la invención presentará una resistencia mecánica inferior a los 1.100 MPa pretendidos.

[0034] El acero según la invención podrá fabricarse mediante el procedimiento descrito a continuación:

20 - se proporciona un acero de composición según la invención en forma de desbaste, de palanquilla de sección cuadrada, rectangular o redonda, o en forma de lingote, a continuación

- se lamina este acero en forma de producto semiacabado, en forma de barra o de alambre, a continuación

25 - se lleva el producto semiacabado a una temperatura de recalentamiento (T_{rec}) comprendida entre 1.100 °C y 1.300 °C para obtener un producto semiacabado recalentado, a continuación

- se conforma en caliente el producto semiacabado recalentado, de manera que la temperatura de fin de conformación en caliente es superior o igual a 850 °C para obtener una pieza conformada en caliente, a continuación,

30 - se enfría dicha pieza conformada en caliente hasta alcanzar una temperatura comprendida entre 620 y 580 °C a una velocidad de enfriamiento V_{r600} comprendida entre 0,10 °C/s y 10 °C/s, a continuación

35 - se enfría dicha pieza hasta alcanzar una temperatura comprendida entre 420 y 380 °C a una velocidad de enfriamiento V_{r400} inferior a 4 °C/s, a continuación

- se enfría la pieza entre 380 °C y 300 °C a una velocidad inferior o igual a 0,3 °C/s, a continuación

- se enfría la pieza hasta la temperatura ambiente a una velocidad inferior o igual a 4 °C/s, a continuación,

40 - en su caso se somete a un tratamiento térmico de revenido dicha pieza conformada en caliente y se enfría hasta el ambiente, a una temperatura de revenido comprendida entre 300 °C y 450 °C durante un tiempo comprendido entre 30 minutos y 120 minutos, a continuación

- se realiza el mecanizado de las piezas.

45

[0035] En una realización preferida, se realiza el tratamiento térmico de revenido con el fin de garantizar la obtención de muy buenas propiedades de las piezas después del enfriamiento.

[0036] Para ilustrar mejor la invención, se han realizado ensayos en tres calidades.

50

Ensayos

[0037] En la tabla 1 se han reunido las composiciones químicas de los aceros usados durante las pruebas. La temperatura de recalentamiento de estas calidades fue de 1.250 °C. La temperatura de fin de conformación en caliente fue de 1.220 °C. Las velocidades de enfriamiento V_{r600} y V_{r400} están indicadas en la tabla 2. Las piezas se enfriaron entre 380 y la temperatura ambiente a 0,15 °C/s y a continuación se mecanizaron. En la tabla 2 se reúnen las condiciones de realización de los ensayos y los resultados de las medidas de caracterización.

Tabla 1

Calidad	C	Si	Mn	P	S	Al	B	Cr	Cu	Mo	N	Ni	Sn	Ti	V	Nb	S1
A	0,183	0,758	1,756	0,002	0,031	0,032	0,0027	1,437	0,001	0,072	0,0090	0,027	0,003	0,030	0,001	0,110	0,245
B	0,183	0,796	1,699	0,013	0,029	0,019	0,0028	1,644	0,001	0,070	0,0089	0,026	0,003	0,027	0,001	0,060	0,177
C	0,178	0,764	1,769	0,005	0,021	0,007	0,0024	1,165	0,006	0,056	0,0059	0,006	0,003	0,023	0,001	0,050	0,137

Tabla 2

Ensayo	Calidad	Vr600 (°C/s)	Vr400 (°C/s)	S2	S3	S4	Microestructura	Rm (MPa)	Re (MPa)	A%	Z%	Re/Rm	ΔRm	ΔRe
1	A	0,80	0,18	1,192	1,458	1,278	100% bainita	1.215	916	15,2	51,1	0,75		
2	A	0,22	0,10	1,192	1,265	1,165	100% bainita	1.172	906	14,9	46,3	0,77	43	10
3	B	0,80	0,18	1,283	1,549	1,369	bainita + < 5% de martensita	1.319	1.036	14,9	52,2	0,79		
4	B	0,22	0,10	1,283	1,356	1,256	bainita + < 5% de martensita	1.220	932	13,4	42,9	0,76	99	104
5	C	0,80	0,18	1,034	1,301	1,121	100% bainita	1.165	883	14,8	48,1	0,76		
6	C	0,22	0,10	1,034	1,108	1,008	100% bainita	1.042	749	16,7	42,7	0,72	123	134

[0038] Los resultados de estos ensayos se han representado gráficamente en forma de 4 figuras. La figura 1 muestra la variación de la resistencia mecánica a la ruptura R_m en función de la velocidad de enfriamiento V_{r600} para las calidades A y B. La figura 2 muestra la variación del límite elástico R_e en función de la velocidad de enfriamiento V_{r600} para las calidades A y B.

5

[0039] Se constata que la calidad según la invención presenta una gran estabilidad de sus propiedades mecánicas cuando varían las condiciones de enfriamiento. La calidad es así mucho más robusta frente a las variaciones de las condiciones de procedimiento que las calidades según la técnica anterior.

10 **[0040]** Además, la figura 3 muestra el delta de la resistencia mecánica a la ruptura R_m en función del criterio S_1 para las calidades A, B y C. Asimismo, la figura 4 muestra el delta del límite elástico R_e en función del criterio S_1 para las calidades A, B y C.

15 **[0041]** Se constata que la sensibilidad a las condiciones de enfriamiento es tanto más baja cuanto más elevado es el valor de S_1 .

20 **[0042]** La invención se usará especialmente con aprovechamiento para la fabricación de piezas formadas en caliente y en particular, forjadas en caliente, para aplicaciones en los vehículos terrestres a motor. También encuentra aplicaciones en la fabricación de piezas para barcos o en el dominio de la construcción, especialmente para la fabricación de barras atornillables para encofrados.

[0043] De una forma general, la invención podrá aplicarse para la fabricación de todos los tipos de piezas que necesiten alcanzar las propiedades pretendidas

REIVINDICACIONES

1. Pieza cuya composición comprende, estando los contenidos expresados en porcentaje en peso,

$$0,10 \leq C \leq 0,30$$

$$1,6 \leq Mn \leq 2,1$$

$$0,5 \leq Cr \leq 1,7$$

$$0,5 \leq Si \leq 1,0$$

5

$$0,065 \leq Nb \leq 0,15$$

$$0,0010 \leq B \leq 0,0050$$

$$0,0010 \leq N \leq 0,0130$$

$$0 \leq Al \leq 0,060$$

$$0 \leq Mo \leq 1,00$$

$$0 \leq Ni \leq 1,0$$

$$0,01 \leq Ti \leq 0,07$$

$$0 \leq V \leq 0,3$$

$$0 \leq P \leq 0,050$$

$$0,01 \leq S \leq 0,1$$

$$0 \leq Cu \leq 0,5$$

$$0 \leq Sn \leq 0,1$$

10 estando el resto de la composición constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la elaboración, estando la microestructura constituida, en proporciones de área superficial, por el 100 al 70 % de bainita, menos del 30 % de austenita residual y menos del 5 % de ferrita.

2. Pieza según la reivindicación 1, en la que los contenidos de niobio, vanadio, molibdeno, titanio y aluminio son tales que:

ES 2 748 436 T3

$$0,1 \leq S1 \leq 0,4$$

con $S1 = Nb + V + Mo + Ti + Al$

- 5 3. Pieza según la reivindicación 2, en la que los contenidos de carbono, nitrógeno, cromo, silicio, manganeso, azufre y níquel son tales que:

$$0,5 \leq S2 \leq 1,8$$

$$0,7 \leq S3 \leq 1,6$$

$$0,3 \leq S4 \leq 1,5$$

- 10 con $S2 = C + N + Cr/2 + (S1)/6 + (Si + Mn - 4 * S) / 10 + Ni/20$
 $S3 = S2 + 1/3 \times Vr600$
 $S4 = S3 - Vr400$

estando Vr400 y Vr600 expresadas en °C/s, de manera que Vr400 representa la velocidad de enfriamiento de la pieza en el intervalo de temperatura entre 420 y 380 °C y Vr600 representa la velocidad de enfriamiento de la pieza en el intervalo de temperatura entre 620 y 580 °C.

4. Pieza según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, cuya composición comprende, estando el contenido expresado en porcentaje en peso:

$$0,15 \leq C \leq 0,27$$

5. Pieza según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, cuya composición comprende, estando el contenido expresado en porcentaje en peso:

$$1,7 \leq Mn \leq 2,0$$

6. Pieza según cualquiera de las reivindicaciones anteriores cuya composición comprende, estando el contenido expresado en porcentaje en peso:

$$1,0\% \leq Cr \leq 1,5$$

7. Pieza según cualquiera de las reivindicaciones anteriores cuya composición comprende, estando el contenido expresado en porcentaje en peso:

$$0,75 \leq Si \leq 0,9$$

8. Pieza según cualquiera de las reivindicaciones anteriores cuya composición comprende, estando el contenido expresado en porcentaje en peso:

$$0,065 \leq Nb \leq 0,110$$

9. Pieza según cualquiera de las reivindicaciones anteriores cuya composición comprende, estando el contenido expresado en porcentaje en peso:

$$0,0020 \leq B \leq 0,0030$$

ES 2 748 436 T3

10. Pieza según cualquiera de las reivindicaciones anteriores cuya composición comprende, estando el contenido expresado en porcentaje en peso:

$$0,0050 \leq N \leq 0,0120$$

5

11. Pieza según cualquiera de las reivindicaciones anteriores cuya composición comprende, estando el contenido expresado en porcentaje en peso:

$$0,003 \leq Al \leq 0,015$$

10

12. Pieza según cualquiera de las reivindicaciones anteriores cuya composición comprende, estando el contenido expresado en porcentaje en peso:

$$0 \leq Ni \leq 0,55$$

15

13. Pieza según cualquiera de las reivindicaciones anteriores cuya composición comprende, estando el contenido expresado en porcentaje en peso:

$$0 < V \leq 0,2$$

20

14. Pieza según cualquiera de las reivindicaciones anteriores cuya composición comprende, estando el contenido expresado en porcentaje en peso:

$$0,03 < Mo \leq 0,15$$

25

15. Pieza según cualquiera de las reivindicaciones anteriores cuya estructura incluye el 0 % de ferrita.

16. Procedimiento de fabricación de una pieza de acero que comprende las etapas sucesivas siguientes:

- 30 - se proporciona un acero de composición según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14 en forma de desbaste, de palanquilla de sección cuadrada, rectangular o redonda, o en forma de lingote, a continuación
- se lamina este acero en forma de producto semiacabado, en forma de barra o de alambre, a continuación
- se lleva dicho producto semiacabado a una temperatura de recalentamiento (T_{rec}) comprendida entre 1.100 °C y 1.300 °C para obtener un producto semiacabado recalentado, a continuación
- 35 - se conforma en caliente dicho producto semiacabado recalentado, siendo la temperatura de fin de conformación en caliente superior o igual a 850 °C para obtener una pieza conformada en caliente, a continuación
- se enfría dicha pieza conformada en caliente hasta alcanzar una temperatura comprendida entre 620 y 580 °C a una velocidad de enfriamiento $Vr600$ comprendida entre 0,10 °C/s y 10 °C/s, a continuación
- se enfría dicha pieza hasta alcanzar una temperatura comprendida entre 420 y 380 °C a una velocidad de enfriamiento $Vr400$ inferior a 4 °C/s, a continuación
- 40 - se enfría la pieza entre 380 °C y 300 °C a una velocidad inferior o igual a 0,3 °C/s, a continuación
- se enfría la pieza hasta la temperatura ambiente a una velocidad inferior o igual a 4 °C/s, a continuación,
- en su caso se somete a un tratamiento térmico de revenido dicha pieza conformada en caliente y se enfría hasta el ambiente, a una temperatura de revenido comprendida entre 300 °C y 450 °C durante un tiempo comprendido entre
- 45 30 minutos y 120 minutos, a continuación
- se realiza el mecanizado de las piezas.

Fig. 1

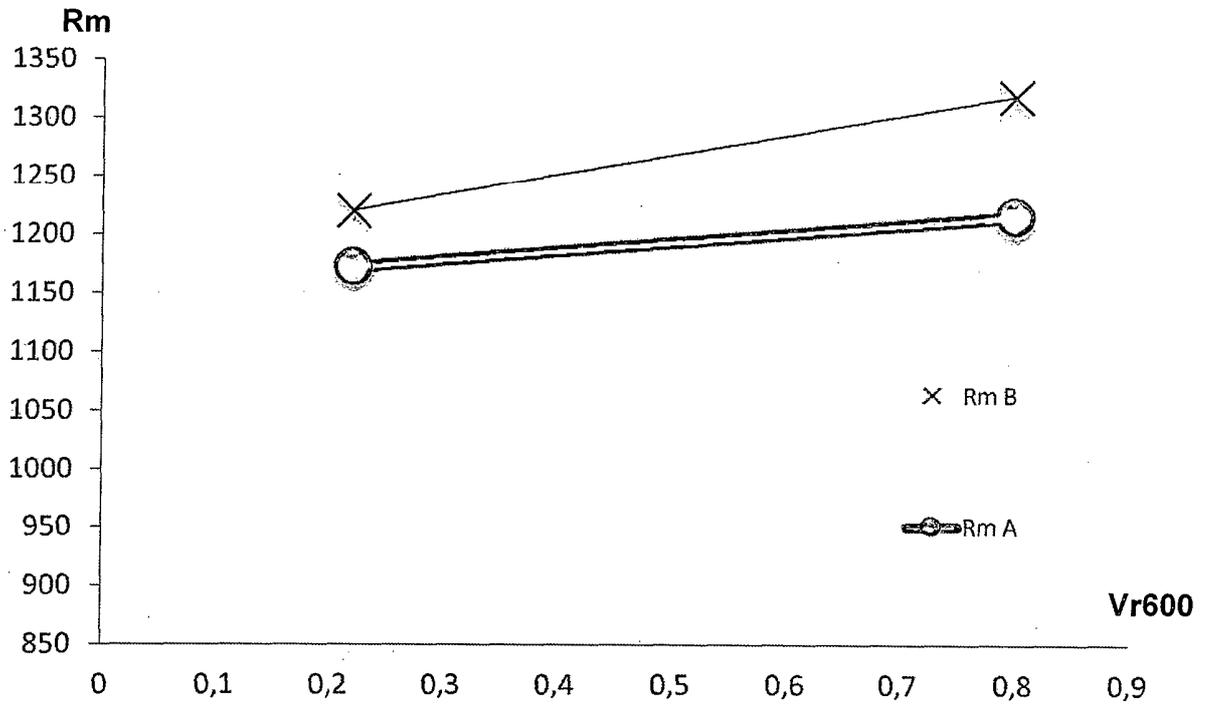


Fig. 2

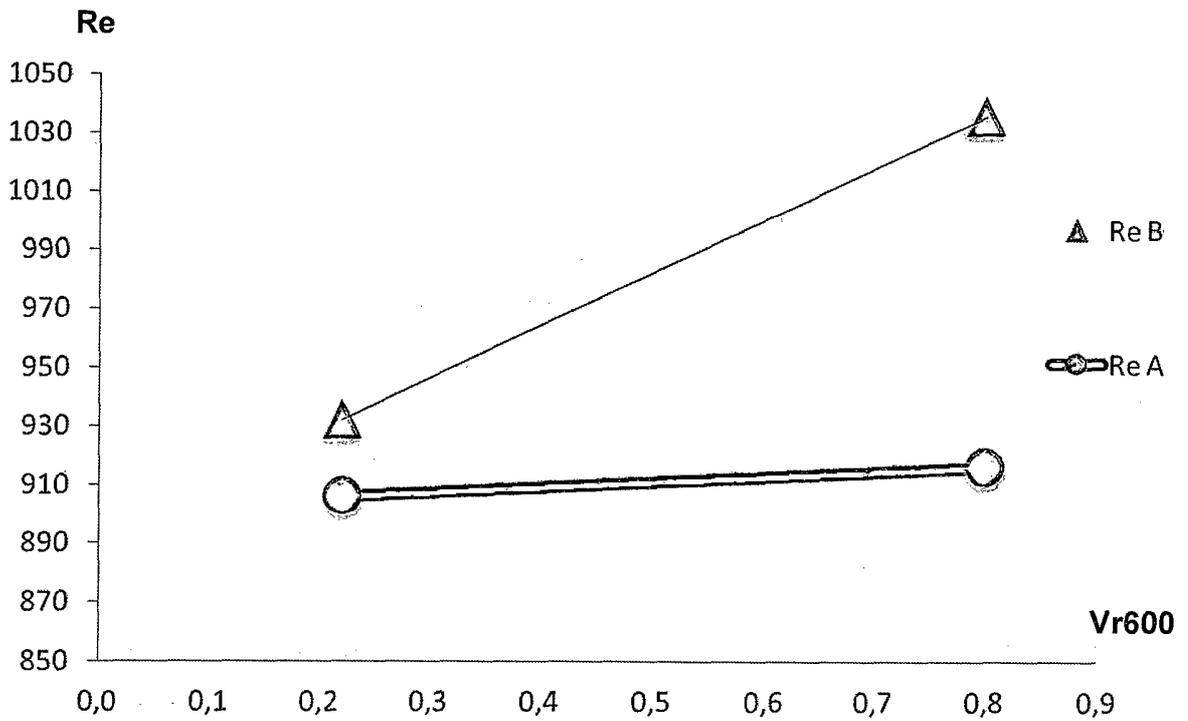


Fig. 3

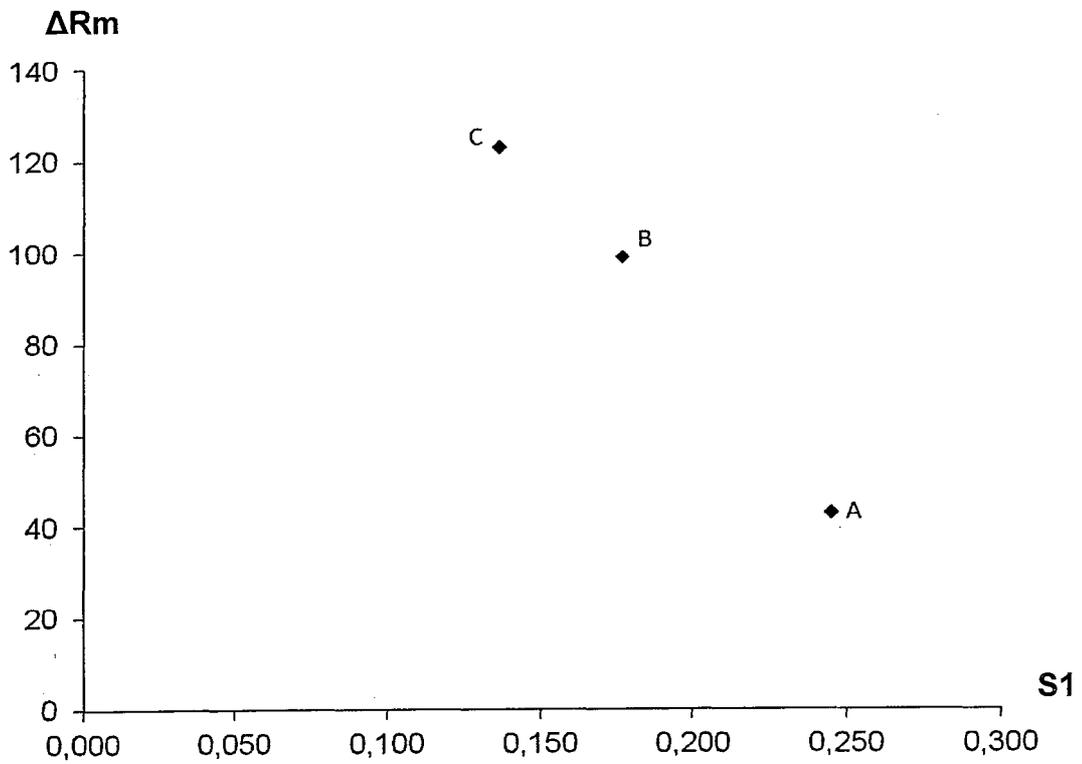


Fig. 4

