



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 331 949**

51 Int. Cl.:

C21D 8/00 (2006.01)

C21D 1/02 (2006.01)

C22C 38/04 (2006.01)

C22C 38/06 (2006.01)

C22C 38/08 (2006.01)

C22C 38/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03292950 .7**

96 Fecha de presentación : **27.11.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1426452**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **09.06.2004**

54

Título: **Procedimiento para la fabricación de una pieza de acero bainítico.**

30

Prioridad: **03.12.2002 FR 02 15226**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
21.01.2010

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
21.01.2010

73

Titular/es: **ASCOMETAL**
Immeuble "Le Colisee"
10 avenue de l' Arche, Faubourg de l' Arche
92400 Courbevoie, FR

72

Inventor/es: **Dierickx, Pierre y**
André, Gaëlle

74

Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 331 949 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).

ES 2 331 949 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la fabricación de una pieza de acero bainítico.

5 La invención se refiere a la metalurgia y, de una manera más precisa, se refiere al campo de los aceros destinados a la fabricación de piezas que deben resistir a importantes sollicitaciones.

10 Con frecuencia, tales piezas son realizadas con un acero templado y revenido o, en la medida de lo posible, con un acero forjado con estructura ferrito-perlítica, que se supone que ofrece un mejor compromiso técnico-económico, pero cuyas prestaciones mecánicas están igualmente limitadas.

15 Los aceros con estructura ferrito-perlítica, que son empleados con frecuencia con esta finalidad, son los tipos XC70, 45Mn5, 30MnSiV6 y 38MnSiV5 y sufren tras la laminación o el forjado, una simple refrigeración en línea con aire en calma. Su método de realización es, por lo tanto, relativamente económico pero su duración de vida está limitada en presencia de fuertes sollicitaciones.

20 Se ha propuesto ya realizar tales piezas con acero bainítico a partir de una clase de tipo 25MnSiCrVBS, teniendo lugar al aire la refrigeración después del forjado o de la laminación. Las prestaciones de comportamiento están sensiblemente mejoradas con relación a los ejemplos precedentes pero siguen estando relativamente limitadas con relación a lo que es posible conseguir con un acero templado o revenido.

El documento JP-A-10-102184 divulga un procedimiento de fabricación de pieza de acero que comprende las etapas siguientes:

25 - colada de un acero cuya composición, en porcentaje en peso, es: C 0,04 - 0,08%; Mn 1,20 - 1,70%; Si 0,10 - 0,30%; Mo 0,100 - 0,500%; Ti 0,020 - 0,070%; Nb 0,030 - 0,080%; siendo el resto Fe e impurezas;

- calentamiento entre 1.200 y 1.300°C;

30 - laminación en caliente; y

- bobinado entre 450 y 560°C.

35 El objeto de la invención consiste en proponer una asociación entre una clase de acero y un procedimiento de fabricación de una pieza, que presente ventajas económicas con relación a las asociaciones existentes sin que las prestaciones metalúrgicas sean alteradas, incluso mejorándose estas prestaciones. La pieza fabricada de este modo deberá resistir a importantes sollicitaciones en fatiga. En el caso de las piezas forjadas, este procedimiento de fabricación deberá ser adaptable, en particular, en cualquiera línea de forja.

40 Con esta finalidad, la invención tiene por objeto un procedimiento para la fabricación de una pieza de acero, caracterizado porque:

- se elabora y se cuela un acero cuya composición, en porcentajes ponderales, es de

45 $0,06\% \leq C \leq 0,25\%$; $0,5\% \leq Mn \leq 2\%$; trazas $\leq Si \leq 3\%$; trazas $\leq Ni \leq 4,5\%$; trazas $\leq Al \leq 3\%$; trazas $\leq Cr \leq 1,2\%$; trazas $\leq Mo \leq 0,30\%$; trazas $\leq V \leq 2\%$; trazas $\leq Cu \leq 3,5\%$; y respetándose al menos una de las condiciones:

• $0,5\% \leq Cu \leq 3,5\%$

50 • $0,5\% \leq V \leq 2\%$

• $2\% \leq Ni \leq 4,5\%$ y $1\% \leq Al \leq 2\%$

55 - estando constituido el resto por hierro y por impurezas que resultan de la elaboración;

- se efectúa, al menos, una deformación en caliente del acero colado, con objeto de obtener un desbaste de la pieza a una temperatura comprendida entre 1.100 y 1.300°C;

60 - se efectúa una refrigeración controlada del desbaste de la pieza con aire en calma o con aire pulsado a una velocidad menor que 3°C/s entre 600 y 300°C, con el fin de conferirle una microestructura bainítica;

- y se recalienta el acero para efectuar un revenido de precipitación, antes o después de la mecanización de la pieza a partir de dicho desbaste.

65 De manera preferente, el acero contiene entre 5 y 50 ppm de B.

De manera preferente, el acero contiene desde un 0,005 hasta un 0,04% de Ti.

ES 2 331 949 T3

Cuando esté presente B, el contenido en Ti es preferentemente igual a, al menos, 3,5 veces el contenido en N del acero.

De manera preferente, el acero contiene desde un 0,005 hasta un 0,06% de Nb.

De manera preferente, el acero contiene desde un 0,005 hasta un 0,2% de S.

En este caso, de manera preferente, el acero contiene, al menos, uno de los elementos Ca hasta un 0,007%, Te hasta un 0,03%, Se hasta un 0,05%, Bi hasta un 0,05% y Pb hasta un 0,1%.

De conformidad con una variante de la invención, el contenido en C del acero está comprendido entre un 0,06 y un 0,20%.

El contenido en Mn del acero está comprendido entonces, de manera preferente, entre un 0,5 y un 1,5%, y el contenido en Cr está comprendido, de manera preferente, entre un 0,3 y un 1,2%.

El contenido en Ni del acero puede estar comprendido entonces, de manera preferente, entre trazas y un 1%.

El contenido en Ni del acero puede estar contenido entonces, de igual modo, entre un 2 y un 4,5% y el contenido en Al está comprendido entonces entre un 1 y un 2%.

El revenido de precipitación se efectúa, en el caso general, de manera preferente entre 425 y 600°C.

Cuando el acero contenga desde un 0,5 hasta un 3,5% de Cu, el revenido de precipitación se efectúa, de manera preferente, entre 425 y 500°C durante 1 hasta 10 horas.

Cuando el acero contenga desde un 0,5 hasta un 2% de V, el revenido de precipitación se efectúa, de manera preferente, entre 500 y 600°C durante más de 1 hora.

Cuando el acero contenga desde un 2 hasta un 4,5% de Ni y desde un 1 hasta un 2% de Al, el revenido de precipitación se efectuará, de manera preferente, entre 500 y 550°C durante más de 1 hora.

La citada deformación en caliente puede ser una laminación.

La citada deformación en caliente puede ser un forjado.

De manera preferente, la refrigeración controlada del desbaste se efectúa a una velocidad menor que 3°C/s entre 600 y 300°C.

Una pieza de acero, obtenida de conformidad con el procedimiento según la invención, tiene una microestructura bainítica y, de manera típica, tiene una resistencia a la tracción Rm comprendida entre 750 y 1.300 MPa y un límite de elasticidad Re mayor o igual que 500 MPa.

Como se habrá comprendido, la invención consiste en la combinación de una clase de acero y de un procedimiento de tratamiento que sigue a la colada, que comprende una etapa de conformación en caliente de la pieza, una refrigeración controlada que puede ser efectuada con aire en calma o con aire pulsado y un revenido de precipitación que se lleva a cabo antes o después de la mecanización de la pieza. La composición del acero elegido garantiza que, independientemente del modo de refrigeración, los resultados de comportamiento en fatiga de las piezas fabricadas a partir de este acero serán suficientes para responder a las exigencias de los usuarios.

La operación de conformación en caliente puede consistir en una o en varias laminaciones, o en una laminación seguida de un forjado, o en un forjado solo. Lo esencial consiste en que la última deformación en caliente conduzca al acero entre 1.100 y 1.300°C y que la refrigeración controlada tenga lugar a partir de esta temperatura.

Las características químicas del acero y sus tratamientos térmicos realizados después de la colada tratan de obtener una microestructura bainítica y, de igual modo, tratan de obtener características mecánicas optimizadas. Esta microestructura bainítica debe poder ser obtenida después de una refrigeración con aire en calma, pero también debe ser compatible con una refrigeración con aire pulsado. De esta forma, las piezas del procedimiento de la invención pueden ser producidas sobre cualquier instalación existente, ya sea que ésta permita tras el forjado o la laminación una refrigeración con aire pulsado, o ya sea que no permita más que una refrigeración con aire en calma. De este modo, una instalación de forjado concebida, inicialmente, para tratar piezas de acero con microestructura ferrito-perlítica, podrá tratar sin dificultades y sin adaptaciones particulares, piezas con microestructura bainítica del procedimiento de la invención. Los aceros con microestructura bainítica, empleados precedentemente para estos usos, exigían una refrigeración con aire pulsado, y por lo tanto no podían ser tratadas siempre sobre instalaciones de concepción corriente.

De conformidad con la invención, se comienza, por lo tanto, por elaborar un acero, cuya composición será detallada y justificada más adelante, a continuación se le cuela, en lingotes o en continuo, según el formato de la pieza final y, de una manera más general, se le lamina con el fin de obtener un producto semielaborado.

ES 2 331 949 T3

A continuación se puede efectuar una operación de forjado del producto semielaborado.

La última deformación en caliente se efectúa entre 1.100 y 1.300°C y va seguida por una refrigeración controlada al aire a la temperatura de laminación o de forjado, con aire calmado o con aire pulsado. De este modo se obtiene un desbaste de la pieza.

En este caso, debe entenderse por el término “desbaste” que se designa una barra, o un producto semielaborado con otra forma, a partir de la cual se obtendrá la pieza definitiva por mecanización, y esto independientemente del modo en que se practique la deformación en caliente: laminación, forjado o su combinación.

A continuación se lleva a cabo un revenido de precipitación. Éste se sitúa bien antes, bien después de la mecanización de la pieza a partir de dicho desbaste.

Los intervalos analíticos exigidos son los siguientes para los diferentes elementos químicos que deben o que pueden estar presentes (todos los porcentajes son ponderales).

El contenido en carbono está comprendido entre un 0,06 y un 0,25%. Este contenido permite gobernar el tipo de microestructura obtenida. Con una proporción menor que un 0,06%, la microestructura obtenida no sería interesante para los objetivos considerados. Más allá de un 0,25%, en combinación con los otros elementos, no se obtendría una microestructura suficientemente bainítica tras la refrigeración con aire en calma.

El contenido en manganeso está comprendido entre un 0,5 y un 2%. Cuando este elemento es aportado en una proporción mayor que un 0,5% proporciona su aptitud al temple al material y permite obtener un ancho dominio bainítico independientemente del modo en que se lleve a cabo la refrigeración. Sin embargo, un contenido mayor que un 2% sería susceptible de provocar segregaciones demasiado importantes.

El contenido en silicio está comprendido entre trazas y un 3%. Este elemento, no obligatorio hablando propiamente, es ventajoso puesto que endurece la bainita como consecuencia de su paso a solución sólida. Además, en el caso en que estuviese presente el cobre en cantidad relativamente importante, el silicio permite evitar los problemas asociados con esta presencia de cobre durante el conformado en caliente. Sin embargo, un contenido mayor que un 3% puede plantear problemas de aptitud a la mecanización del material.

El contenido en níquel está comprendido entre trazas y un 4,5%. Este elemento, no obligatorio, favorece la aptitud al temple y la estabilización de la austenita. Si el contenido en aluminio lo permite, el níquel puede formar precipitados de NiAl muy endurecedores, que proporcionan al metal características mecánicas elevadas. En el caso en que el cobre estuviese presente en cantidad relativamente importante, el níquel puede jugar el mismo papel que el silicio. Por encima de un 4,5%, la adición de níquel es inútilmente costosa con vistas a los objetivos metalúrgicos considerados.

El contenido en aluminio está comprendido entre trazas y un 3%. Este elemento, no obligatorio, es un fuerte desoxidante, incluso cuando se añade con un bajo contenido, permite limitar la cantidad de oxígeno disuelto en el acero líquido, por lo tanto permite mejorar la limpieza de inclusiones de la pieza si se tiene cuidado en evitar reoxidaciones demasiado importantes durante la colada. Con un elevado contenido, tal como se ha dicho, el aluminio es susceptible de formar precipitados de NiAl si el níquel está presente en gran cantidad. El níquel únicamente es útil cuando el contenido en aluminio sobrepase el 3%.

El contenido en cromo, elemento que no es obligatorio, está comprendido entre trazas y un 1,2%. Como el manganeso, el cromo contribuye a mejorar la aptitud al temple. Su adición es inútilmente costosa por encima del 1,2%.

El contenido en molibdeno está comprendido entre trazas y un 0,30%. Este elemento, no obligatorio, impide la formación de ferrita con granos gruesos y permite obtener con mayor seguridad la estructura bainítica. Su adición es inútilmente costosa por encima del 0,30%.

El contenido en vanadio está comprendido entre trazas y un 2%. Este elemento, no obligatorio, sirve para endurecer la bainita por medio de su paso a solución sólida. Con un fuerte contenido, el vanadio permite así mismo obtener un endurecimiento por precipitación de carburos y/o de carbonitruros. Su adición es inútilmente costosa por encima del 2%.

El contenido en cobre está comprendido entre trazas y un 3,5%. Este elemento, no obligatorio, puede mejorar la aptitud a la mecanización y, por medio de una precipitación, puede provocar un endurecimiento secundario del material. Por encima de un 3,5% hace que sea problemático el conformado en caliente de la pieza. Como se ha dicho, es aconsejable asociarlo con un contenido en níquel o en silicio significativo para minimizar los problemas de conformado en caliente. Por encima de un 3,5% su adición es, de todas formas, inútilmente costosa.

Por otra parte, es preciso que sea respetada una, al menos, de las tres condiciones siguientes:

- un contenido en cobre comprendido entre un 0,5 y un 3,5%,

ES 2 331 949 T3

- un contenido en vanadio comprendido entre un 0,5 y un 2%,
- un contenido en níquel comprendido entre un 2 y un 4,5% y un contenido en aluminio comprendido entre un 1 y un 2%.

5

Los elementos que acaban de ser citados son aquellos cuyo papel metalúrgico es o puede ser el más importante para la invención, pero también pueden estar presentes de manera opcional otros elementos, que van a ser citados, para mejorar ciertas propiedades del acero.

10

El contenido en boro puede estar comprendido entre 5 y 50 ppm. Éste puede mejorar la aptitud al temple, pero debe encontrarse en solución sólida para ser eficaz. Dicho en otras palabras, debe evitarse que todo o casi todo el boro se encuentre en forma de nitruros o de carbonitruros de boro. Con esta finalidad, es aconsejable asociar la adición de boro con una adición de titanio, preferentemente en una proporción tal que $3,5 \times N\% \leq Ti\%$. Con esta última condición, se puede captar todo el nitrógeno disuelto y evitarse la formación de nitruros o de carbonitruros de boro.

15

Con esta finalidad, el contenido mínimo en titanio es de un 0,005%, para los contenidos de nitrógeno más bajos, que son encontrados de manera usual. Sin embargo es aconsejable no sobrepasar un contenido en titanio de un 0,04%, puesto que, en otro caso, se obtienen nitruros de titanio de tamaño demasiado elevado.

20

El titanio tiene igualmente por función limitar el aumento de tamaño del grano austenítico a alta temperatura y con esta finalidad, puede ser añadido independientemente del boro, en un contenido comprendido entre un 0,005 y un 0,04%.

25

De igual modo, puede añadirse niobio con contenidos comprendidos entre un 0,005 y un 0,06%. Este puede precipitar también en forma de carbonitruros en la austenita y de este modo puede aportar un endurecimiento del material.

30

Por último, de manera clásica, se puede mejorar la aptitud a la mecanización del material por medio de una adición de azufre (desde un 0,005% hasta un 0,2%), con la que se puede asociar una adición de calcio (hasta un 0,007%) y/o de telurio (hasta un 0,03%) y/o de selenio (hasta un 0,05%) y/o de bismuto (hasta un 0,05%) y/o de plomo (hasta un 0,1%).

35

Una vez obtenido el producto semielaborado, por laminación, que tenga la composición citada precedentemente, se procede o no a un forjado del desbaste de la pieza según los procedimientos habituales. Se calienta hasta 1.100-1.300°C, y a continuación se ejecutan las deformaciones que dan lugar al desbaste de la pieza.

En ausencia de forja, la laminación debe terminarse a una temperatura comprendida entre 1.100 y 1.300°C.

40

A continuación, inmediatamente después de la laminación, o tras el forjado si esta operación ha sido efectuada, se efectúa una refrigeración controlada de la pieza, bien con aire en calma o bien con aire pulsado. De manera general, se impone a la pieza una refrigeración con una velocidad menor o igual que 3°C/s entre 600 y 300°C.

45

De conformidad con la invención, se procede, antes o después de la mecanización de la pieza, que le confiere sus dimensiones definitivas, a un endurecimiento del acero por medio de una precipitación con ayuda de un revenido, es decir de un tratamiento térmico que se realiza después de un recalentamiento a partir de una temperatura igual o ligeramente superior a la ambiente; para ello son posibles tres opciones y, además, pueden ser combinadas:

- la precipitación de cobre, si el contenido en cobre está comprendido entre un 0,5 y un 3,5%;
- la precipitación del vanadio si su contenido está comprendido entre un 0,5 y un 2%;
- la precipitación de NiAl si el contenido en níquel está comprendido entre un 2 y un 4,5% y el contenido en aluminio está comprendido entre un 1 y un 2%.

50

De manera general, el revenido de precipitación se efectúa de manera preferente entre 425 y 600°C. Sin embargo, la temperatura del revenido y su duración deben adaptarse de manera óptima a las características consideradas. A título de ejemplo, la precipitación del cobre se obtiene de manera preferente por medio de un tratamiento entre 425 y 500°C durante 1 a 10 horas. La precipitación del vanadio se obtiene, de manera preferente, por medio de un tratamiento entre 500 y 600°C durante más de 1 hora. La precipitación del NiAl se obtiene, de manera preferente, por medio de un tratamiento entre 500 y 550°C durante más de 1 hora.

60

Este revenido puede ser efectuado:

- bien después de la mecanización con el fin de tener un metal no demasiado duro durante la mecanización;
- bien después de la refrigeración controlada al aire y antes de la mecanización; en este caso se realiza la mecanización sobre una pieza con elevadas características mecánicas, lo que le hace particularmente precisa.

65

ES 2 331 949 T3

Merced a este revenido, pueden obtenerse características mecánicas elevadas para el producto obtenido. De manera típica, la resistencia a la tracción R_m está comprendida entre 1.000 y 1.300 MPa y el límite de elasticidad R_e es del orden de 900 MPa o mayor.

5 De manera óptima, se limita el contenido en carbono a un valor comprendido entre un 0,06 y un 0,2%, con el fin de obtener una bainita de dureza limitada entre 300 y 330 Hv30. De manera óptima, el contenido en manganeso debe estar comprendido entre un 0,5 y un 1,5%, el contenido en cromo debe estar comprendido entre un 0,3 y un 1,2% y el contenido en níquel puede llegar bien hasta un 1%, sino se tiene en mente más que una buena aptitud al temple, o bien puede estar comprendido entre un 2 y un 4% si se busca una precipitación de NiAl como e ha visto. En este último caso, el contenido en aluminio está comprendido entre un 1 y un 2%.

10 Para estos aceros, las características de tracción (límite de elasticidad, resistencia) del producto obtenido tras la laminación o el forjado y la refrigeración al aire controlada no son particularmente elevadas: de manera típica la resistencia a la tracción R_m es del orden de 750 a 1.050 MPa y el límite de elasticidad R_e es del orden de 500 a 750 MPa. Sin embargo estos aceros presentan una buena aptitud a la mecanización.

A título de ejemplos de realización de la invención y de ejemplo comparativo, se pueden citar los ensayos siguientes.

20 Ejemplo 1

(Invención)

25 Este ejemplo es representativo de la variante de la invención en la que se puede utilizar un contenido en carbono relativamente bajo, y en la que se realiza el endurecimiento por precipitación merced a una adición de cobre.

La composición del acero es la siguiente, expresada en $10^{-3}\%$ ponderales

30

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cu	Cr	Mo	Al	Ti	B	N
80	1500	300	85	10	1500	2500	280	50	25	-	-	6

35

40 Tras el forjado en caliente, a una temperatura comprendida entre 1.250 y 1.200°C, y refrigeración con aire en calma (velocidad de refrigeración media de 1°C/s entre 700 y 300°C), se obtiene una microestructura bainítica con una dureza moderada de 265 Hv30, que proporciona una resistencia menor que 900 MPa. Con este nivel de características mecánicas, la aptitud a la mecanización no plantea problemas. A continuación, un revenido a 450°C, con una duración de mantenimiento de una hora, permite aumentar las características de resistencia para alcanzar más de 340 Hv30 de dureza, que proporciona una resistencia de 1.100 MPa.

45 Ejemplo 2

(Invención)

50 Este ejemplo es representativo de la variante de la invención en la que se puede utilizar un contenido en carbono relativamente bajo, y en la que se realiza el endurecimiento por precipitación merced a una adición de vanadio.

La composición del acero es la siguiente, expresada en $10^{-3}\%$ ponderales:

55

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cu	Cr	Mo	Al	Ti	V
150	1230	250	80	20	150	200	205	50	30	-	820

60

65 Tras el forjado en caliente, a una temperatura comprendida entre 1.250 y 1.200°C, y refrigeración con aire en calma (en promedio 1°C/s entre 700 y 300°C) de una pieza de forja de diámetro equivalente a 15 mm, se obtiene una microestructura mayoritariamente bainítica que presenta ya una dureza importante comprendida entre 300 y 320 Hv30, que proporciona una resistencia de 1.000 MPa aproximadamente, que es actualmente el límite alto que permite todavía una aptitud a la mecanización correcta sobre medios de mecanización clásicos. Después de un revenido de 2

ES 2 331 949 T3

horas a 580°C, el endurecimiento por el vanadio permite alcanzar una dureza del orden de 400 Hv30, que corresponde a una resistencia mayor que 1.200 MPa.

5 Ejemplo 3

(Invención)

10 Este ejemplo es representativo de la variante de la invención en la que se puede utilizar un contenido en carbono relativamente bajo, y en la que se realiza el endurecimiento por precipitación merced a adiciones conjugadas de níquel y de aluminio.

La composición del acero es la siguiente, dada en 10⁻³% ponderales:

15

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cu	Cr	Mo	Al	Ti	B	N
95	1150	200	80	10	3000	206	220	60	1500	-	3	3

20

25 Tras el forjado en caliente, a una temperatura comprendida entre 1.250 y 1.200°C, y refrigeración con aire en calma (velocidad de refrigeración media de 1°C/s entre 700 y 300°C), se obtiene una microestructura bainítica con una dureza moderada de 240 Hv30, que proporciona una resistencia menor que 800 MPa. Con este nivel de características mecánicas, la aptitud a la mecanización no plantea problemas. A continuación, un revenido a 520°C, con una duración de mantenimiento de 10 horas, permite aumentar las características de resistencia para alcanzar más de 370 Hv30 de dureza, que proporciona una resistencia del orden de 1.200 MPa.

30

Ejemplo 4

(Referencia)

35

La composición del acero es la siguiente, dada en 10⁻³% ponderales:

40

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cu	Cr	Mo	Al	Ti	V	B
230	1500	700	80	11	150	150	800	70	20	25	190	3

45

Tras el forjado en caliente, entre 1.250 y 1.200°C, y refrigeración con aire en calma de una pieza de diámetro equivalente a 25 mm, se obtiene una microestructura mayoritariamente bainítica con una dureza próxima a los 320 Hv30, que proporciona una resistencia de 1.050 MPa aproximadamente. Un revenido de una hora entre 300 y 450°C no permite aumentar significativamente la resistencia.

50

55

60

65

ES 2 331 949 T3

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la fabricación de una pieza de acero, **caracterizado** porque:

- se elabora y se cuela un acero cuya composición, en porcentajes ponderales, es de

$0,06\% \leq C \leq 0,25\%$; $0,5\% \leq Mn \leq 2\%$; trazas $\leq Si \leq 3\%$; trazas $\leq Ni \leq 4,5\%$; trazas $\leq Al \leq 3\%$; trazas $\leq Cr \leq 1,2\%$; trazas $\leq Mo \leq 0,30\%$; trazas $\leq V \leq 2\%$; trazas $\leq Cu \leq 3,5\%$; y respetándose al menos una de las condiciones:

- $0,5\% \leq Cu \leq 3,5\%$
- $0,5\% \leq V \leq 2\%$
- $2\% \leq Ni \leq 4,5\%$ y $1\% \leq Al \leq 2\%$

de manera opcional desde 5 hasta 50 ppm de B;

de manera opcional desde 0,005 hasta 0,04% de Ti;

de manera opcional desde 0,005 hasta 0,06% de Nb;

de manera opcional desde 0,005 hasta 0,2% de S;

de manera opcional, al menos, uno de los elementos Ca hasta un 0,007%, Te hasta un 0,03%, Se hasta un 0,05%, Bi hasta un 0,05% y Pb hasta un 0,1%;

siendo el resto hierro e impurezas que resultan de la elaboración;

- se efectúa, al menos, una deformación en caliente del acero colado, con objeto de obtener un desbaste de la pieza a una temperatura comprendida entre 1.100 y 1.300°C;
- se efectúa una refrigeración controlada del desbaste de la pieza con aire en calma o con aire pulsado, con una velocidad menor que 3°C/s entre 600 y 300°C, con el fin de conferirle una microestructura bainítica;
- y se recalienta el acero para efectuar un revenido de precipitación, antes o después de la mecanización de la pieza a partir de dicho desbaste.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el acero contiene B y Ti y porque el contenido en Ti es igual a 3,5 veces, al menos, el contenido en N del acero.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 2, **caracterizado** porque el contenido en C del acero está comprendido entre un 0,06 y un 0,20%.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado** porque el contenido en Mn del acero está comprendido entre un 0,5 y un 1,5%, y porque el contenido en Cr está comprendido entre un 0,3 y un 1,2%.

5. Procedimiento según la reivindicación 3 o 4, **caracterizado** porque el contenido en Ni del acero está comprendido entre trazas y un 1%.

6. Procedimiento según la reivindicación 3 o 4, **caracterizado** porque el contenido en Ni del acero está comprendido entre un 2 y un 4,5%, y porque el contenido en Al está comprendido entre un 1 y un 2%.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque el revenido de precipitación se efectúa entre 425 y 600°C.

8. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado** porque el acero contiene desde un 0,5 hasta un 3,5% de Cu y porque el revenido de precipitación se efectúa entre 425 y 500°C durante 1 a 10 horas.

9. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado** porque el acero contiene desde un 0,5 hasta un 2% de V y porque el revenido de precipitación se efectúa entre 500 y 600°C durante más de 1 hora.

10. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado** porque el acero contiene desde un 2 hasta un 4,5% de Ni y desde un 1 hasta un 2% de Al y porque el revenido de precipitación se efectúa entre 500 y 550°C durante más de 1 hora.

ES 2 331 949 T3

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado** porque dicha deformación en caliente es una laminación.

5 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado** porque dicha deformación en caliente es un forjado.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65