

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 836 441**

51 Int. Cl.:

C21D 6/00	(2006.01)	C22C 38/46	(2006.01)
C21D 8/00	(2006.01)	C22C 38/50	(2006.01)
C21D 9/00	(2006.01)	C22C 38/54	(2006.01)
C21D 1/18	(2006.01)	C22C 38/58	(2006.01)
C21D 1/19	(2006.01)	C22C 38/60	(2006.01)
C21D 1/20	(2006.01)		
C22C 38/02	(2006.01)		
C22C 38/04	(2006.01)		
C22C 38/18	(2006.01)		
C22C 38/44	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2018** **E 18163690 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.11.2020** **EP 3378957**

54 Título: **Acero, procedimiento para la fabricación de piezas mecánicas de este acero y piezas así fabricadas**

30 Prioridad:

23.03.2017 FR 1752403

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

25.06.2021

73 Titular/es:

**ASCOMETAL FRANCE HOLDING SAS (100.0%)
Avenue de France
57300 Hagondange, FR**

72 Inventor/es:

**SOURMAIL, THOMAS;
MAMINSKA, KAROLINA y
GALTIER, ANDRÉ**

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 836 441 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

Acero, procedimiento para la fabricación de piezas mecánicas de este acero y piezas así fabricadas

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere al uso de un acero de composición determinada para la fabricación de una pieza mecánica, normalmente una pieza divisible, y en particular para la fabricación de una biela divisible para motor de combustión interna, y al procedimiento de obtención de esta pieza.
- 10 **[0002]** Algunas piezas mecánicas, tales como las bielas de motor de combustión interna, están constituidas por dos elementos separables ensamblados por medios de fijación tales como tornillos. Si, históricamente, en el caso de las bielas, las dos partes se fabricaban independientemente y después se mecanizaban y ensamblaban, el desarrollo del procedimiento de ruptura controlada se ha generalizado en los quince últimos años. Este procedimiento, por el que se conforma una sola pieza, por ejemplo, por forjado, y después se rompe de manera controlada antes de volverla a ensamblar con ayuda de medios de fijación, ha facilitado una simplificación considerable de las cadenas de
15 fabricación.
- [0003]** Para las piezas divisibles hechas de acero, como sucede a menudo en los motores de combustión interna modernos, se usan clases específicas (por ejemplo, la clase llamada C70S6) o se han desarrollado especialmente para este uso.
20
- [0004]** Por ejemplo, el documento EP-B1-0 779 375 describe un procedimiento de fabricación de una pieza divisible y el acero usado para este fin, teniendo este último una composición ajustada específicamente para hacer que el acero sea adecuado para la operación de ruptura controlada. Asimismo, el documento EP-B1-1 051 531 se aplica al mismo campo técnico, y describe una clase diseñada para mejorar los rendimientos de las piezas fabricadas,
25 en particular por el uso de una adición de vanadio significativa (0,20-0,50% en peso).
- [0005]** Se han desarrollado otras soluciones para proponer aceros adaptados a la fabricación de piezas forjadas divisibles tales como las bielas. Se puede citar, en particular, los documentos WO2011124851, EP-B2-0 856 590, EP-B1-1 070 153, EP-A1-1 243 665, US-A-2006/000088 y JP-A-2002356743.
30
- [0006]** Conviene observar dos puntos importantes en el conjunto de los aceros descritos en los documentos citados anteriormente.
- [0007]** En primer lugar, el conjunto de los aceros de los documentos citados anteriormente tiene una estructura ferrito-perlítica con, en algunos casos, una tasa de ferrita controlada.
35
- [0008]** Por otra parte, estas clases se han diseñado específicamente para no necesitar tratamiento térmico después del forjado.
- 40 **[0009]** Estas clases se implementan así en un procedimiento que incluye normalmente las etapas siguientes: En un primer momento, se proporciona una palanquilla obtenida por aserrado o cizalla de una barra laminada.
- [0010]** Después se calienta la palanquilla a temperaturas normalmente comprendidas entre 1.050 y 1.280°C.
- 45 **[0011]** Después se da a la pieza así calentada la forma deseada, mediante forjado.
- [0012]** Después se deja enfriar la pieza, casi siempre al aire.
- [0013]** Después se procede a una limpieza, por ejemplo, por enarenado, y al mecanizado de la pieza.
50
- [0014]** Finalmente, se procede a la ruptura controlada de la pieza, y a su reensamblaje, en su caso con operaciones de mecanizado de acabado.
- [0015]** En la gran mayoría de los procedimientos, las características mecánicas se obtienen al final del enfriamiento, y además pueden modularse mediante el uso de un enfriamiento acelerado (uso de ventiladores para obtener una convección forzada) o ralentizado (encajamiento de la pieza) con respecto a un enfriamiento natural al aire libre y en calma. En casos muy raros y en aplicaciones muy específicas, puede usarse un tratamiento térmico de temple y revenido, para alcanzar características mecánicas superiores, si bien estas gamas de fabricación no son compatibles con la fabricación de bielas divisibles.
60
- [0016]** Con el fin de responder a las exigencias cada vez más elevadas que se aplican para las piezas mecánicas en los motores de combustión interna, los aceros especiales para la fabricación de piezas forjadas han experimentado una evolución constante. En el caso de los aceros ferrito-perlíticos, el uso de contenidos de vanadio del orden del 0,2-0,3% ha permitido alcanzar niveles elevados de características mecánicas sin necesitar por otra
65 parte un tratamiento térmico (documento EP-B1-1 051 531). Así, por ejemplo, en las bielas divisibles para el automóvil

(de sección típica equivalente a un cilindro de 10 a 25 mm de diámetro) que usan las clases ferrito-perlíticas 36MnV4S o 46MnVS6mod (K. Lipp and H. Kauffman, Schmiede- und Sinterschmiede-Werkstoffe für PKW-Pleuel, MTZ, 2011), se miden los límites de elasticidad que pueden alcanzar 850 MPa, frente a 600-650 MPa en materiales más convencionales. Esto se acompaña, claro está, de valores elevados de resistencia mecánica, pero como contrapartida
5 con una disminución importante de la maquinabilidad.

[0017] Sin embargo, las clases de este tipo han alcanzado sus límites para este tipo de aplicación. Una primera limitación reside en el hecho de que las propiedades mecánicas citadas anteriormente solo pueden obtenerse en
10 piezas de dimensiones modestas (por ejemplo, bielas para motores de vehículos ligeros), y disminuyen rápidamente con el aumento de la dimensión de los componentes. Así, la clase 36MnV4S, que permite obtener un límite elástico convencional $R_{p0,2}$ de 850 MPa en una biela de automóvil (K. Lipp and H. Kauffman, Schmiede- und Sinterschmiede-Werkstoffe für PKW-Pleuel, MTZ, 2011), presenta una $R_{p0,2}$ de 700 MPa en una barra de diámetro 55 mm. Una segunda limitación se refiere a la gran sensibilidad a las condiciones de enfriamiento de los resultados obtenidos con estas clases (ya reflejada en la sensibilidad a las dimensiones de la pieza), cuando se usan al máximo de sus
15 rendimientos. Debido a ello, si bien es posible, en laboratorio, obtener valores de $R_{p0,2}$ que alcancen 900-940 MPa, estos resultados son difíciles de transponer a una producción industrial.

[0018] Las soluciones técnicas actuales para la fabricación de piezas divisibles, y en particular de bielas, están hoy limitadas a los rendimientos mencionados anteriormente.
20

[0019] Una evolución evidente a primera vista para el experto en la materia consistiría, por ejemplo, en aumentar aún más los contenidos de V. Sin embargo, esto sería poco eficaz ya que solo el vanadio en solución sólida antes del enfriamiento puede contribuir al endurecimiento por precipitación. Ahora bien, con contenidos superiores al 0,35-0,40% se hace difícil efectuar una nueva puesta en solución completa de los precipitados que contienen V, incluso
25 para las temperaturas de forjado usadas comúnmente (del orden de 1.250°C).

[0020] El objeto de la invención es proponer una clase y un procedimiento de fabricación de piezas divisibles que permitan superar las limitaciones señaladas anteriormente en particular con:

30 - la posibilidad de obtener características mecánicas elevadas, que se traducen en un beneficio mensurable en los rendimientos en términos de fatiga y de hundimiento;
- la posibilidad de obtener estas características mecánicas de manera robusta, es decir, hacer estas características poco sensibles a las fluctuaciones de los parámetros del procedimiento de conformación.

35 **[0021]** Para este fin, la invención tiene por objeto un acero para pieza divisible conformada en caliente, caracterizado porque su composición consiste en, expresada en porcentajes en peso:

- 0,15% ≤ C ≤ 0,40%; preferentemente 0,20% ≤ C ≤ 0,35%;
- 0,60% ≤ Mn ≤ 1,80%; preferentemente 0,80% ≤ Mn ≤ 1,60%;
- 40 - Cantidades traza ≤ Cr ≤ 1,60%;
- Cantidades traza ≤ Mo ≤ 0,40%;
- Cantidades traza ≤ Ni ≤ 1,50%; preferentemente cantidades traza ≤ Ni ≤ 1,0%; más preferentemente cantidades traza ≤ Ni ≤ 0,60%;
- Cantidades traza ≤ Cu ≤ 0,80%;
- 45 - 0,02% ≤ V ≤ 0,70%;
- Cantidades traza ≤ Nb ≤ 0,08%;
- Cantidades traza ≤ Si ≤ 1,20 %; preferentemente cantidades traza ≤ Si ≤ 0,60%;
- Cantidades traza ≤ Al ≤ 0,10%;
- Cantidades traza ≤ B ≤ 0,010%;
- 50 - Cantidades traza ≤ Ti ≤ 0,10%;
- Cantidades traza ≤ S ≤ 0,15%; preferentemente 0,005% ≤ S ≤ 0,15%;
- Cantidades traza ≤ P ≤ 0,10%;
- Cantidades traza ≤ Ca ≤ 0,010%;
- Cantidades traza ≤ Te ≤ 0,030%;
- 55 - Cantidades traza ≤ Se ≤ 0,050%;
- Cantidades traza ≤ Bi ≤ 0,10%;
- Cantidades traza ≤ Pb ≤ 0,20%;
- Cantidades traza ≤ N ≤ 0,025%;
- Cantidades traza ≤ O ≤ 0,008%;

60 siendo el resto hierro e impurezas relacionadas con la elaboración; y para la cual se verifican las relaciones siguientes:

$$* V' = V\% + 2 Nb\% + Cu\%/5 \geq 0,18\%;$$

$$* Bs = 830 - 270C\% - 90Mn\% - 37Ni\% - 70Cr\% - 83 Mo\% - 50Cu\% - 100V\% \leq Bs_{lim}, \text{ con } Bs_{lim} \text{ calculado del modo siguiente:}$$

65

ES 2 836 441 T3

$B_{S_{lim}} = 530 + 330 (V' - 0,18)$, si $530 + 330 (V' - 0,18)$ es inferior a 600;

$B_{S_{lim}} = 600$, si $530 + 330 (V' - 0,18)$ es superior o igual a 600;

y porque su microestructura incluye al menos el 60% de una mezcla de ferrita bainítica y de carburos o de austenita residual, incluyendo el resto de la microestructura como máximo el 40% de martensita y/o de ferrita proeutectoide y/o de perlita, estando la presencia de ferrita proeutectoide y/o de perlita limitada a como máximo el 10%.

5

[0022] Preferentemente, $Ti \geq 3,5 \text{ N\%}$ si $B \geq 0,0010\%$.

10 **[0023]** En este caso preferentemente cantidades traza $\leq N \leq 0,010\%$.

[0024] La invención tiene asimismo por objeto un procedimiento de fabricación de una pieza mecánica, caracterizado porque:

15 - se conforma en caliente en fase austenítica un semiproducto de acero cuya composición consiste en, expresada en porcentajes en peso:

* $0,15\% \leq C \leq 0,40\%$; preferentemente $0,20\% \leq C \leq 0,35\%$;

* $0,60\% \leq Mn \leq 1,80\%$; preferentemente $0,80\% \leq Mn \leq 1,60\%$;

20

* Cantidades traza $\leq Cr \leq 1,60\%$;

* Cantidades traza $\leq Mo \leq 0,40\%$;

* Cantidades traza $\leq Ni \leq 1,50\%$; preferentemente cantidades traza $\leq Ni \leq 1,0\%$; más preferentemente cantidades traza $\leq Ni \leq 0,60\%$;

* Cantidades traza $\leq Cu \leq 0,80\%$;

25

* $0,02\% \leq V \leq 0,70\%$;

* Cantidades traza $\leq Nb \leq 0,08\%$;

* Cantidades traza $\leq Si \leq 1,20 \%$; preferentemente cantidades traza $\leq Si \leq 0,60\%$;

* Cantidades traza $\leq Al \leq 0,10\%$;

* Cantidades traza $\leq B \leq 0,010\%$;

30

* Cantidades traza $\leq Ti \leq 0,10\%$;

* Cantidades traza $\leq S \leq 0,15\%$; preferentemente $0,005\% \leq S \leq 0,15\%$;

* Cantidades traza $\leq P \leq 0,10\%$;

* Cantidades traza $\leq Ca \leq 0,010\%$;

* Cantidades traza $\leq Te \leq 0,030\%$;

35

* Cantidades traza $\leq Se \leq 0,050\%$;

* Cantidades traza $\leq Bi \leq 0,10\%$;

* Cantidades traza $\leq Pb \leq 0,20\%$;

* Cantidades traza $\leq N \leq 0,025$;

* Cantidades traza $\leq O \leq 0,008\%$;

40

siendo el resto hierro e impurezas relacionadas con la elaboración; y para la cual se verifican las relaciones siguientes:

* $V' = V\% + 2 \text{ Nb}\% + \text{Cu}\%/5 \geq 0,18\%$;

* $B_s = 830 - 270C\% - 90Mn\% - 37Ni\% - 70Cr\% - 83 \text{ Mo}\% - 50\text{Cu}\% - 100V\% \leq B_{S_{lim}}$, con $B_{S_{lim}}$ calculado del modo siguiente:

45

$B_{S_{lim}} = 530 + 330 (V' - 0,18)$, si $530 + 330 (V' - 0,18)$ es inferior a 600;

$B_{S_{lim}} = 600$, si $530 + 330 (V' - 0,18)$ es superior o igual a 600;

50 - se realiza un enfriamiento al aire en calma, o al aire pulsado, o bajo una campana o en caja de dicho semiproducto, preferentemente a velocidades de enfriamiento superiores o iguales a $0,3^\circ\text{C/s}$ en el intervalo $750\text{-}550^\circ\text{C}$ y comprendidas entre $0,1$ y 5°C/s en el intervalo $550\text{-}300^\circ\text{C}$;

- se realiza al menos un revenido de dicho semiproducto enfriado a una temperatura T_{rev} comprendida entre 450 y 680°C durante un tiempo total de 15 min a 10 h .

55

[0025] Preferentemente, $Ti \geq 3,5 \text{ N\%}$ si $B \geq 0,0010\%$.

[0026] En este caso preferentemente cantidades traza $\leq N \leq 0,010\%$.

60 **[0027]** Después del enfriamiento según la conformación en caliente se puede realizar una conformación del semiproducto, por ejemplo, por mecanizado o conformado, que acerca las dimensiones del semiproducto a las dimensiones definitivas precisas del producto sin modificar su microestructura.

[0028] Después del revenido se puede realizar una conformación del semiproducto, por ejemplo, por mecanizado o conformado, que confiere al semiproducto las dimensiones definitivas precisas del producto sin

modificar su microestructura.

[0029] Se puede proceder a una ruptura controlada de dicha pieza mecánica, si esta es una pieza mecánica divisible.

5

[0030] Se puede proceder a al menos un tratamiento térmico suplementario con posterioridad a dicho revenido, teniendo dicho tratamiento suplementario un parámetro de revenido inferior al de dicho revenido.

[0031] La invención tiene asimismo por objeto una pieza mecánica de acero, caracterizada porque:

10

- su composición consiste en, expresada en porcentajes en peso:

* $0,15\% \leq C \leq 0,40\%$; preferentemente $0,20\% \leq C \leq 0,35\%$;

* $0,60\% \leq Mn \leq 1,80\%$; preferentemente $0,80\% \leq Mn \leq 1,60\%$;

15

* Cantidades traza $\leq Cr \leq 1,60\%$;

* Cantidades traza $\leq Mo \leq 0,40\%$;

* Cantidades traza $\leq Ni \leq 1,50\%$; preferentemente cantidades traza $\leq Ni \leq 1,0\%$; más preferentemente cantidades traza $\leq Ni \leq 0,60\%$;

* Cantidades traza $\leq Cu \leq 0,80\%$;

20

* $0,02\% \leq V \leq 0,70\%$;

* Cantidades traza $\leq Nb \leq 0,08\%$;

* Cantidades traza $\leq Si \leq 1,20\%$; preferentemente cantidades traza $\leq Si \leq 0,60\%$;

* Cantidades traza $\leq Al \leq 0,10\%$;

* Cantidades traza $\leq B \leq 0,010\%$;

25

* Cantidades traza $\leq Ti \leq 0,10\%$;

* Cantidades traza $\leq S \leq 0,15\%$; preferentemente $0,005\% \leq S \leq 0,15\%$;

* Cantidades traza $\leq P \leq 0,10\%$;

* Cantidades traza $\leq Ca \leq 0,010\%$;

* Cantidades traza $\leq Te \leq 0,030\%$;

30

* Cantidades traza $\leq Se \leq 0,050\%$;

* Cantidades traza $\leq Bi \leq 0,10\%$;

* Cantidades traza $\leq Pb \leq 0,20\%$;

* Cantidades traza $\leq N \leq 0,025$;

* Cantidades traza $\leq O \leq 0,008\%$;

35

siendo el resto hierro e impurezas relacionadas con la elaboración; y para la cual se verifican las relaciones siguientes:

* $V' = V\% + 2 Nb\% + Cu\%/5 \geq 0,18\%$;

* $Bs = 830 - 270C\% - 90Mn\% - 37Ni\% - 70Cr\% - 83 Mo\% - 50Cu\% - 100V\% \leq Bs_{lim}$, con Bs_{lim} calculado del modo siguiente:

40

$Bs_{lim} = 530 + 330 (V' - 0,18)$, si $530 + 330 (V' - 0,18)$ es inferior a 600;

$Bs_{lim} = 600$, si $530 + 330 (V' - 0,18)$ es superior o igual a 600;

y cuya microestructura incluye al menos el 60% de una mezcla de ferrita bainítica y de carburos o de austenita residual, incluyendo el resto de la microestructura como máximo el 40% de martensita y/o de ferrita proeutectoide y/o de perlita, estando la presencia de ferrita proeutectoide y/o de perlita limitada a como máximo el 10%.

45

[0032] Preferentemente, $Ti \geq 3,5 N\%$ si $B \geq 0,0010\%$.

50

[0033] En este caso preferentemente cantidades traza $\leq N \leq 0,010\%$.

[0034] Puede tratarse de una pieza divisible.

55

[0035] Puede tratarse de una biela de motor de explosión.

[0036] Como se habrá entendido, la invención consiste en primer lugar en preparar un acero de composición precisa, confiriéndole una temperatura Bs de inicio de formación de la bainita relativamente baja y una relación que relaciona los contenidos de V, Nb y Cu asegurando por una parte los rendimientos elevados de la pieza, y por otra parte una buena divisibilidad del producto final mediante la facilitación de la ruptura de tipo frágil. La conformación en caliente y el enfriamiento que le sigue, que es un enfriamiento a una velocidad moderada asegurada por aire en calma, aire pulsado o una colocación bajo campana o en caja del semiproducto, procuran al semiproducto una estructura mayoritariamente bainítica, en la que el resto (hasta el 40% como máximo) es esencialmente martensita con una cantidad de ferrita proeutectoide + perlita no superior al 10%. A continuación, se lleva a cabo un revenido de precipitación para ajustar las propiedades mecánicas.

60

65

- [0037]** En cualquier otro campo distinto al de las piezas divisibles, las clases llamadas «bainíticas» (véanse los documentos EP-B1-0 787 812, S. Engineer, H. Justinger, P. Janssen, M. Hartel, C. Hampel, F. Randelhoff, Int Conf Steel in Cars and Trucks, Salzburgo, Austria, 2011, y H. Roelofs, S. Hasler, M. Lembke, F.G. Caballero, Int Conf Steel in Cars and Trucks, Salzburgo, Austria, 2011) adquieren una popularidad creciente en el marco de la sustitución de los aceros sometidos a temple-revenido (con respecto a los cuales permiten evitar un tratamiento térmico), o para sustituir los aceros ferrito-perlíticos con microaleaciones (por ejemplo, 38MnSiV5) con una ganancia de rendimientos.
- [0038]** Se recuerda que estas clases bainíticas tienen composiciones adaptadas de manera que se obtiene, con poco o incluso sin control del enfriamiento, una microestructura mayoritariamente bainítica en el calor de forja. El empleo del término «clase bainítica» en lo que sigue del documento deberá entenderse en este sentido, y lo que se entiende por «mayoritariamente bainítica» se explicará más adelante.
- [0039]** Además de la ventaja de permitir suprimir los tratamientos térmicos de temple y revenido en algunas cadenas de fabricación, estas clases presentan en general resistencias a la flexión por choque (resiliencia) superiores a las de las clases ferrito-perlíticas de igual resistencia mecánica. Sin embargo, en el marco de las piezas divisibles, esta ventaja se convierte en un inconveniente importante, ya que la operación de ruptura controlada necesita una baja resistencia a la flexión por choque.
- [0040]** Otro inconveniente importante de las clases bainíticas de enfriamiento continuo es que presentan a menudo valores modestos para su relación $R_{p0,2}/R_m$. Así, es frecuente obtener $R_{p0,2}$ del orden de 650-750 MPa, para resistencias mecánicas, sin embargo, del orden de 1.100-1.200 MPa. Esta diferencia de comportamiento es tanto más acusada si se considera el límite de elasticidad verdadero, que puede ser bastante más bajo que el límite convencional para las microestructuras bainíticas tales como las obtenidas después de enfriamiento continuo (y esto, por comparación con las microestructuras ferrito-perlíticas).
- [0041]** Ahora bien, al menos para el caso concreto de las bielas divisibles, uno de los criterios de dimensionamiento es, además de la resistencia a la fatiga, la resistencia al hundimiento en compresión. De forma simplificada, se trata de prevenir toda deformación permanente de la biela durante una o varias sobrecargas importantes, pero de duración limitada. Esta resistencia se evalúa en general en algunos ciclos solamente (orden de magnitud de la decena). En primera aproximación, está correlacionada con el límite de elasticidad verdadero, de manera que el uso de clases bainíticas tal como se definen en la actualidad conduce a rendimientos muy por detrás de los de las clases ferrito-perlíticas.
- [0042]** Como corolario, un segundo inconveniente importante de la baja relación $R_{p0,2}/R_m$ de las clases bainíticas es que, para obtener un límite de elasticidad convencional cercano al de las clases ferrito-perlíticas, será necesario aumentar la R_m de manera importante, con la consecuencia de un fuerte deterioro de la maquinabilidad.
- [0043]** Por tanto, está claro que las clases bainíticas de enfriamiento continuo, tal como se usan en la actualidad, no permiten contemplar con facilidad su uso para la fabricación de una pieza divisible, y muy en particular de una biela para motor de combustión interna. En la práctica, esta solución solo presentaría inconvenientes con respecto a los aceros ferrito-perlíticos en microaleación, lo que se refleja bien en el hecho de que esta microestructura solo se encuentra en este tipo de pieza tal como se comercializan actualmente.
- [0044]** De manera sorprendente, los autores de la invención han concluido que, para paliar las dificultades mencionadas anteriormente, era posible usar una clase que conduce a una microestructura mayoritariamente bainítica en el calor de forja, incluso en ausencia de control del enfriamiento, o solo con un control poco restrictivo, tal como permiten los equipos encontrados habitualmente en los herreros, en concreto, una cinta transportadora con o sin campana, ventiladores o una caja de enfriamiento. La invención consiste, además, en modificar el procedimiento de fabricación de la pieza, para integrar en ella un revenido de precipitación después de la forja, y en usar ajustes muy específicos de la composición, que son tales que se obtienen ganancias de rendimiento espectaculares, y compensan en gran medida el coste del alargamiento de la fabricación que conlleva la ejecución del revenido de precipitación.
- [0045]** Se precisa a continuación lo que se entiende por «bainita mayoritaria» en el sentido de la invención:
- la microestructura incluye una mezcla de ferrita bainítica (ya sea convencional, es decir, germinada en los límites de grano, o germinada de manera intragranular, lo que da una estructura también denominada «ferrita acicular») y de carburos o de austenita residual, el conjunto, designado comúnmente como «bainita» por el experto en la materia, que está presente en un nivel mínimo del 60%;
 - el resto de la microestructura, hasta un máximo del 40%, está constituido principalmente por martensita como complemento;
 - por el contrario, se prohíbe la presencia de ferrita proeutectoide o de perlita con contenidos superiores al 10% para el total de estos dos constituyentes; de hecho, en la ferrita proeutectoide (como la presente en las clases ferrito-perlíticas), el vanadio tiende a precipitar en el curso de la transformación, de manera que el potencial de endurecimiento al revenido es bajo o incluso nulo; sucede lo mismo para la ferrita laminar presente en la perlita, y que

por tanto, se incluye en los constituyentes que, tomados en conjunto, no deben superar el 10% de la microestructura.

[0046] Dicho de otro modo, la microestructura del acero debe contener al menos el 60% de bainita en el sentido clásico para el experto en la materia y como máximo el 40% de otros constituyentes, entre los cuales la ferrita 5 proeutectoide y la perlita no deben representar, tomadas en conjunto, más del 10% de la microestructura.

[0047] Según la invención, el acero tiene la composición, en porcentaje en peso:

- $0,15\% \leq C \leq 0,40\%$; preferentemente $0,20\% \leq C \leq 0,35\%$;
 - 10 - $0,60\% \leq Mn \leq 1,80\%$; preferentemente $0,80\% \leq Mn \leq 1,60\%$;
 - Cantidades traza $\leq Cr \leq 1,60\%$;
 - Cantidades traza $\leq Mo \leq 0,40\%$;
 - Cantidades traza $\leq Ni \leq 1,50\%$; preferentemente cantidades traza $\leq Ni \leq 1,0\%$; más preferentemente cantidades traza $\leq Ni \leq 0,60\%$;
 - 15 - Cantidades traza $\leq Cu \leq 0,80\%$;
 - $0,02\% \leq V \leq 0,70\%$;
 - Cantidades traza $\leq Nb \leq 0,08\%$;
 - Cantidades traza $\leq Si \leq 1,20\%$; preferentemente cantidades traza $\leq Si \leq 0,60\%$;
 - Cantidades traza $\leq Al \leq 0,10\%$;
 - 20 - Cantidades traza $\leq B \leq 0,010\%$;
 - Cantidades traza $\leq Ti \leq 0,10\%$;
 - Cantidades traza $\leq S \leq 0,15\%$; preferentemente $0,005\% \leq S \leq 0,15\%$;
 - Cantidades traza $\leq P \leq 0,10\%$;
 - Cantidades traza $\leq Ca \leq 0,010\%$;
 - 25 - Cantidades traza $\leq Te \leq 0,030\%$;
 - Cantidades traza $\leq Se \leq 0,050\%$;
 - Cantidades traza $\leq Bi \leq 0,10\%$;
 - Cantidades traza $\leq Pb \leq 0,20\%$;
 - Cantidades traza $\leq N \leq 0,025\%$;
 - 30 - Cantidades traza $\leq O \leq 0,008\%$;
- siendo el resto hierro e impurezas relacionadas con la elaboración; y para la cual se verifican las relaciones siguientes:

$$* V' = V\% + 2 Nb\% + Cu\%/5 \geq 0,18\%.$$

* $Bs = 830 - 270C\% - 90Mn\% - 37Ni\% - 70Cr\% - 83 Mo\% - 50Cu\% - 100V\% \leq Bs_{lim}$, con Bs_{lim} calculado del modo siguiente:

$$Bs_{lim} = 530 + 330 (V' - 0,18), \text{ si } 530 + 330 (V' - 0,18) \text{ es inferior a } 600;$$

$$Bs_{lim} = 600, \text{ si } 530 + 330 (V' - 0,18) \text{ es superior o igual a } 600.$$

40 **[0048]** Preferentemente, $Ti \geq 3,5 N\%$ si $B \geq 0,0010\%$.

[0049] En este caso preferentemente cantidades traza $\leq N \leq 0,010\%$.

[0050] Dicho acero se usa para la fabricación de una pieza mecánica, normalmente de una pieza divisible, 45 según un procedimiento caracterizado porque presenta al menos las etapas siguientes:

- se somete a colada y se solidifica un acero de composición según la descripción anterior;
- se realiza uno o varios conformados en caliente, en el dominio austenítico, normalmente por laminado y/o forjado en caliente;
- 50 - se deja enfriar el producto obtenido al aire, modulando en su caso la velocidad de enfriamiento con ayuda de las herramientas estándar que están a disposición de los herreros (caja, cinta transportadora con o sin campana, ventiladores); este enfriamiento natural, opcionalmente ralentizado o acelerado en proporciones moderadas, debe conferir a la pieza una estructura mayoritariamente bainítica según la definición que se ha dado anteriormente; normalmente corresponde a velocidades de enfriamiento superiores o iguales a $0,3^\circ C/s$ en el intervalo $750-550^\circ C$ y
- 55 comprendidas entre $0,1$ y $5^\circ C/s$ en el intervalo $550-300^\circ C$; debe entenderse que estas condiciones son pretendidas en todas las porciones de la pieza, y que las dimensiones de esta pueden necesitar adaptaciones particulares del procedimiento de enfriamiento para evitar una heterogeneidad demasiado importante de la microestructura y obtener la microestructura pretendida en el conjunto de la pieza, en particular para que la divisibilidad de la pieza sea satisfactoria uniformemente si es el objetivo buscado; sin embargo, esta problemática es familiar para el experto en la
- 60 materia que debe proceder a tratamientos térmicos de piezas voluminosas y/o de formas complejas;
- se procede a un revenido a una temperatura T_{rev} comprendida entre 450 y $680^\circ C$, durante un tiempo de 15 min a 10 h según las dimensiones de la pieza y los equipos disponibles, con el doble objetivo de aumentar el límite de elasticidad verdadero de la pieza por precipitación a la vez que se conserva o se disminuye sustancialmente su resistencia mecánica, y de disminuir acusadamente la resistencia a la flexión por choque para convertir el material en
- 65 divisible;

- se procede a una operación de ruptura controlada de la pieza por un procedimiento clásico que aprovecha la baja resistencia a la flexión por choque del material.

5 **[0051]** Una o varias operaciones de mecanizado podrán tener lugar en diferentes etapas de la implementación descrita anteriormente.

10 **[0052]** Podrá realizarse uno o varios tratamientos térmicos suplementarios, cada uno efectuado a una temperatura T durante un tiempo t, en el curso de la implementación descrita anteriormente, con posterioridad al revenido de precipitación. Sin embargo, el parámetro de revenido total de estos tratamientos suplementarios no debe superar al parámetro de revenido del revenido de endurecimiento por precipitación que ha permitido el establecimiento de las características mecánicas, con el fin de no modificarlas claramente. Se recuerda que el «parámetro de revenido» se define clásicamente, para cada tratamiento, mediante $M = T (20 + \log t) \cdot 10^{-3}$ (con T en K y t en h).

15 **[0053]** La pieza en cuestión podrá ser, aunque sin limitación, una biela para motor de combustión interna.

[0054] La invención se entenderá mejor a partir de la lectura de la descripción que se ofrece a continuación.

20 **[0055]** La tabla 1 compara las posibilidades ofrecidas normalmente por las diferentes soluciones ferrito-perlíticas mencionadas anteriormente con las de la presente invención.

Tabla 1: Límites de elasticidad convencionales y resistencias a la tracción típicas de bielas realizadas según la técnica anterior y según la invención

Clase	Rp _{0,2} / Rm típicas, biela de automóvil MPa	Rp _{0,2} / Rm típicas, biela de vehículo pesado MPa
C70S6 (estado forjado)	650 - 700 / 950-1.050	520 - 570 / 900-1.000
36MnV4S (estado forjado)	850-920 / 1.100-1.200	720-750 / 1.000-1.100
Invención (estado forjado y después revenido)	≥ 900 / ≥ 1.100	≥ 900 / ≥ 1.100

25 **[0056]** La tabla 1 anterior muestra los límites de elasticidad convencionales Rp_{0,2} y las resistencias a la tracción Rm esperados normalmente en piezas de dimensiones diferentes (por una parte, bielas para automóviles, por otra parte bielas para vehículos pesados), siendo los valores máximos para las clases de referencia los accesibles si el enfriamiento después del forjado se realiza en condiciones optimizadas.

30 **[0057]** La clase estándar C70S6 no permite superar un límite de elasticidad de aproximadamente 650 MPa, y así mismo en piezas de pequeñas dimensiones. La clase 36MnV4S presenta actualmente los mejores rendimientos mecánicos (véase por ejemplo Lipp y Kaufmann, MTZ, 2011, pág. 70), aunque, no obstante, muy normalmente, permanece limitada a un límite de elasticidad de 850 MPa en piezas pequeñas, que desciende a 720-750 MPa en piezas grandes.

35 **[0058]** En comparación, la clase usada en la invención permite, en estado forjado y revenido, alcanzar y superar ampliamente un límite de elasticidad convencional Rp_{0,2} de 900 MPa. Ahora bien, el límite de elasticidad convencional es, en primera aproximación, un buen indicador de los rendimientos en servicio de las bielas. Como muestra la tabla 1, esto es posible, además, de manera mucho menos dependiente del tamaño de la biela que para las clases ferrito-perlíticas. Además, se conserva una excelente resistencia a la tracción, todavía independientemente del tamaño de la
40 biela.

[0059] Debe observarse que el conjunto de las clases de los ejemplos de la tabla 1 presenta valores de KV normalmente inferiores a 10 J, y por tanto, se corresponde bien, desde este punto de vista, con un uso para la
45 fabricación de piezas divisibles.

[0060] A continuación, se va a justificar la elección de gamas de composición para los diversos elementos de la invención. Como se ha dicho, todos los contenidos se proporcionan en porcentajes en peso.

50 **[0061]** El contenido de C está comprendido entre el 0,15 y el 0,40%, preferentemente entre el 0,20 y el 0,35%.

[0062] Como se ha visto, la microestructura exigida para la invención es mayoritariamente bainítica, y esta microestructura debe obtenerse en el curso del enfriamiento después de conformación en caliente. Un contenido de C superior al 0,15% permite limitar las adiciones necesarias para la supresión de la ferrita proeutectoide (por ejemplo, Mo), cuya presencia no es deseable en el contexto de la invención. Sin embargo, al tener C un efecto retardante sobre
55 la transformación bainítica, su contenido se limita al 0,40% para evitar una formación excesiva de martensita.

[0063] La elección de la gama preferida del 0,20-0,35% permite evitar con más seguridad al mismo tiempo una

presencia excesiva de ferrita (para el límite bajo) y de martensita (para el límite alto).

[0064] El contenido de Mn está comprendido entre el 0,60 y el 1,80%, preferentemente entre el 0,80 y el 1,60%.

5 **[0065]** Mn se usa, conjuntamente con Cr, para bajar la temperatura Bs de inicio de formación de la bainita durante un enfriamiento continuo. Este efecto se obtiene significativamente a partir del 0,60% de Mn. Sin embargo, se sabe bien que Mn contribuye de manera importante a la formación de bandas segregadas que, al darse los contenidos de C usados, serán especialmente perjudiciales ya que podrán conducir, según el camino de enfriamiento, a la formación de bandas martensíticas de muy alta dureza. Por este motivo, el contenido máximo de Mn está limitado al
10 1,80%. La gama preferida del 0,80-1,60% permite obtener con más seguridad el descenso de Bs y evitar con más seguridad segregaciones excesivas.

[0066] El contenido de Cr está comprendido entre cantidades traza y el 1,60%.

15 **[0067]** En la presente invención, Cr se usa con el mismo fin que Mn, para bajar la temperatura Bs de inicio de transformación bainítica. En los límites impuestos, puede usarse en sustitución parcial o total por una parte Mn y/o en totalidad o en parte Ni, siempre que la condición en BS_{lim} siga verificándose (esta condición se detallará más adelante). El contenido de Cr está limitado al 1,60% para limitar los problemas de segregación. Cr puede estar presente solo en el estado de cantidades traza resultantes de la elaboración y, por tanto, no añadirse voluntariamente, si además los
20 contenidos de los otros elementos permiten respetar la condición requerida en BS_{lim} .

[0068] El contenido de Mo está comprendido entre cantidades traza y el 0,40%.

25 **[0069]** El papel de Mo en la templabilidad está bien establecido: permite evitar la formación de ferrita y de perlita, aunque, sin embargo, no ralentiza, o apenas lo hace, la formación de bainita. Por tanto, puede añadirse en cantidades variables según el diámetro de la pieza. El límite superior del 0,40% se establece principalmente por motivos económicos.

30 **[0070]** El contenido de Ni está comprendido entre cantidades traza y el 1,50%; preferentemente entre cantidades traza y el 1,0%, más preferentemente entre cantidades traza y el 0,60%.

35 **[0071]** Puede estar presente únicamente por su introducción por las materias primas como elemento residual, o añadirse en cantidad suficiente para contribuir a la disminución de la temperatura BS_{lim} , en cuyo caso podrá sustituirse en parte por Mn, Cr o Mo. No obstante, su contenido está limitado al 1,50% por motivos de coste, al ser el Ni caro y susceptible de intensas fluctuaciones de precio en el mercado.

[0072] El contenido de Cu está comprendido entre cantidades traza y el 0,80%.

40 **[0073]** Cu puede usarse para contribuir al endurecimiento secundario que comunicará a la pieza sus características finales, aunque en general los contenidos superiores al 0,80% deben prohibirse ya que están asociados a dificultades importantes de conformación en caliente. Su adición no es obligatoria, siempre que los contenidos de otros elementos garanticen una temperatura BS_{lim} suficientemente baja y que se respete la relación entre V, Nb y Cu que se verá más adelante.

45 **[0074]** El contenido de V está comprendido entre el 0,02 y el 0,70%.

50 **[0075]** El añadido de V permite por una parte contribuir a la templabilidad del acero, y por otra parte controlar, en cooperación con Cu y Nb si están presentes, el endurecimiento secundario que dará a la pieza sus características mecánicas. Es necesario un mínimo de V ya que, como se puede constatar, el simple añadido de Cu no permite la verificación del criterio $V\% + 2 Nb\% + Cu\%/5 \geq 0,18\%$ que se verá más adelante. Además, se sabe que las adiciones de Nb para obtener un endurecimiento secundario por precipitación al revenido solo son eficaces como complemento de un mínimo de V pero no de manera independiente. Su adición está limitada además al 0,70% por motivos técnicos (ausencia de efecto más allá de este contenido debido a la no puesta de nuevo en solución de los precipitados durante el calentamiento) y económicos (coste elevado).

55 **[0076]** Los contenidos de V, Nb y Cu deben verificar además la relación siguiente:

$$V' = V\% + 2 Nb\% + Cu\%/5 \geq 0,18\%.$$

60 **[0077]** Esta relación es una condición importante de la invención, ya que garantiza no solo un aumento significativo de las propiedades mecánicas durante el revenido, aunque también la obtención de la fragilización que conducirá a la obtención de una clase divisible a altos rendimientos.

65 **[0078]** Los contenidos de C, Mn, Cr, Ni, Mo, Cu y V expresadas en % en peso deben, además, verificar la relación siguiente que determina la temperatura Bs (en °C) de inicio de formación de la bainita:

$B_s = 830 - 270 C\% - 90 Mn\% - 37 Ni\% - 70 Cr\% - 83 Mo\% - 50 Cu\% - 100 V\% \leq B_{s_{lim}}$ con $B_{s_{lim}}$ calculado del modo siguiente:

- 5 $B_{s_{lim}} = 530 + 330 (V' - 0,18)$ en el caso en que $530 + 330 (V' - 0,18)$ es inferior a 600 (observando que la exigencia en V' conduce a un valor bajo límite de 530);
 10 $B_{s_{lim}} = 600$ en el caso en que $530 + 330 (V' - 0,18)$ es superior o igual a 600.

10 **[0079]** La finura de la microestructura permite, cuando se verifica esta relación, obtener características mecánicas después del forjado suficientemente elevadas para que el endurecimiento secundario conduzca al objetivo de la invención.

[0080] Como se habrá entendido, sin embargo, dentro de ciertos límites, es posible tolerar características mecánicas antes del revenido tanto más bajas cuando mayor es el poder endurecedor del revenido (medido por V').

15 **[0081]** Así, se correlaciona la exigencia de B_s con el poder endurecedor, de manera que el valor calculado B_s deberá ser inferior o igual a $530^\circ C$ si el valor de V' está en su mínimo, aunque podrá ser inferior o igual a otra temperatura límite $B_{s_{lim}}$, que puede ir hasta $600^\circ C$, si el poder endurecedor, que se traduce en la fórmula V' , es más elevado que su mínimo.

20 **[0082]** Por encima de $B_{s_{lim}} = 600^\circ C$, sin embargo, se dificulta la compensación de la debilidad de las propiedades mecánicas por el revenido, al igual que la capacidad para obtener la microestructura de la invención. Por este motivo, no se tolera un valor de B_s superior a $600^\circ C$, y ello con independencia del valor de V' .

25 **[0083]** El contenido de Nb está comprendido entre cantidades traza y el 0,08%.

30 **[0084]** Este elemento opcional puede usarse para afinar la estructura austenítica después del forjado o el laminado en caliente. También interviene en la reacción de endurecimiento secundario y, en este último, puede sustituir a una parte del V en la medida en que se cumpla la ecuación que define V' vista anteriormente, que relaciona los elementos de precipitación durante el revenido. Su adición se limita al 0,08%, no solo porque es difícil volver a poner en solución los precipitados formados por encima de este contenido, sino también para limitar la formación de carbonitruros primarios durante la solidificación.

35 **[0085]** El contenido de Si está comprendido entre cantidades traza y el 1,20%; preferentemente Si está comprendido entre cantidades traza y el 0,60%.

40 **[0086]** A veces se usa Si para ralentizar la formación de la cementita y favorecer el desarrollo de una microestructura que presenta austenita residual a temperatura ambiente. En el marco de la invención, al desestabilizarse la austenita residual durante el revenido y, por ello, al no ser útil, no son necesarias adiciones importantes de Si. Además, el silicio puede usarse para la desoxidación del metal líquido, de manera alternativa al aluminio.

[0087] El contenido de Al está comprendido entre cantidades traza y el 0,10%.

45 **[0088]** Se añade opcionalmente Al para asegurar la desoxidación del acero, en particular si el contenido de Si es relativamente bajo. Los añadidos se limitan al 0,10% para limitar los riesgos de formación de inclusiones de reoxidación por contacto del metal líquido con el aire.

[0089] El contenido de O está comprendido entre cantidades traza y el 0,008%.

50 **[0090]** La presencia de oxígeno está limitada al 0,008% para evitar un deterioro de los rendimientos mecánicos de las piezas.

[0091] El contenido de B está comprendido entre cantidades traza y el 0,010%.

55 **[0092]** Este elemento opcional puede usarse para garantizar la homogeneidad de la estructura (limitar la presencia de ferrita). En este caso, podrá ser preferible acoplar la adición de B con una adición de Ti que capte el nitrógeno para formar nitruros, y evita la formación de nitruros de B. Así todo el B está disponible en solución para desempeñar su papel de homogeneizador de la estructura.

60 **[0093]** El contenido de Ti está comprendido entre cantidades traza y el 0,10%.

[0094] Como acaba de decirse, este elemento opcional puede usarse principalmente para las clases con B. En el caso de una elaboración al B (correspondiente a $B \geq 0,0010\%$), preferentemente N se limita a 100 ppm (0,010%) y se asegura que la adición de Ti verifica la condición $Ti\% \geq 3,5 N\%$.

65

[0095] El contenido de S está comprendido entre cantidades traza y el 0,15%.

[0096] Como se sabe bien, llegado el caso, este elemento puede dejarse en un nivel relativamente elevado, e incluso añadirse voluntariamente para mejorar la maquinabilidad del acero. Se le confiere entonces un contenido del 5 0,005 al 0,15%. Preferentemente, esta presencia significativa de S se puede acompañar así por una adición de Ca hasta el 0,010%, y/o de Te hasta el 0,030%, y/o de Se hasta el 0,050%, y/o de Bi hasta el 0,10% y/o de Pb hasta el 0,20%.

[0097] El contenido de P está comprendido entre cantidades traza y el 0,10%.

10 **[0098]** P puede usarse por su poder endurecedor y por su poder fragilizante. Sin embargo, su contenido se limita al 0,10%, ya que estos contenidos pueden conducir a dificultades de elaboración, de laminado y de forjado.

[0099] El contenido de N está comprendido entre cantidades traza y el 0,025%.

15 **[0100]** En el caso del uso conjunto de B y de Ti (es decir, de contenidos de B de al menos el 0,0010% y de Ti de al menos el 0,005%), preferentemente N se limita al 0,010% para limitar la formación de nitruros de boro.

[0101] En cambio, en el caso contrario, se podrá aceptar o imponer contenidos de N superiores, de manera 20 que se obtenga una precipitación del V más intensa. El contenido de N está limitado naturalmente por la solubilidad del nitrógeno en el acero líquido con contenidos que se aproximan al 0,025%.

[0102] Los otros elementos contenidos en el acero según la invención son hierro e impurezas resultantes de la 25 elaboración, presentes en contenidos habituales teniendo en cuenta las materias primas usadas y el modo de elaboración del acero líquido (uso de un convertidor o de un horno eléctrico de arco para obtener el metal líquido, tratamiento al vacío o no del metal líquido...).

[0103] Debe entenderse que los contenidos preferentes posibles de cada elemento tomados de forma aislada 30 son independientes unos de otros. Dicho de otro modo, se podrán situar en una gama preferente para el uno o varios de estos elementos y fuera de las gamas preferentes para los otros elementos que incluyen una de ellas.

[0104] A escala industrial, la pieza según la invención puede producirse por conformado en caliente de un 35 semiproducto tal como una palanquilla, una barra o un lingote desbastado, que presentan la composición descrita anteriormente. Normalmente, esta conformación en caliente es un forjado en caliente o un laminado en caliente o una sucesión de dichas etapas. La pieza según la invención puede producirse también por mecanizado de barras listas para su empleo, en la medida en que el procedimiento de fabricación de estas últimas corresponda a las etapas del procedimiento descrito.

[0105] En el primer caso, en el procedimiento según la invención interviene una etapa de conformación en 40 caliente efectuada en fase austenítica (normalmente pero no de forma exclusiva de 1.100 a 1.300°C, dado que es preciso tener en cuenta la composición precisa del acero para determinar si está en fase austenítica a una temperatura dada pero también asegurar la nueva puesta en solución completa de los elementos que provocan el endurecimiento secundario), seguida normalmente de un enfriamiento natural (es decir, al aire, sin uso de un medio de enfriamiento potente tal como agua, aceite, un medio criogénico como nieve carbónica o nitrógeno líquido).

45 **[0106]** Uno de los puntos importantes de la invención es la posibilidad de obtener características mecánicas relativamente constantes antes del revenido, independientemente de las dimensiones de la pieza conformación, tales como su sección máxima.

50 **[0107]** Esto se basa en particular en la obtención de una microestructura bainítica homogénea en el curso del enfriamiento, que podrá efectuarse de forma natural, al aire en calma.

[0108] No obstante, si las instalaciones lo permiten, en algunos casos podrá usarse una adaptación del 55 enfriamiento, en particular para obtener características mecánicas iniciales superiores a las que se obtendrían mediante un enfriamiento natural al aire en calma. Para alcanzar este objetivo puede bastar un enfriamiento por aire insuflado. Sin embargo, se deberá prestar atención a que el enfriamiento no sea demasiado rápido hasta el punto de provocar una aparición masiva de martensita que haría pasar la proporción de bainita a menos del 60%.

[0109] A la inversa, en algunos casos puede usarse un enfriamiento ralentizado, en particular por una campana 60 que cubre la pieza que va a ser conformada, o un encajamiento de la pieza conformada, para asegurar una presencia de bainita suficiente.

[0110] Preferentemente, este enfriamiento se efectúa a velocidades superiores o iguales a 0,3°C/s en el 65 intervalo 750-550°C y comprendidas entre 0,1 y 5°C/s en el intervalo 550-300°C.

[0111] Opcionalmente, a continuación, se llevan a cabo una o varias operaciones tales como un conformado, un mecanizado... destinadas al menos a acercar las dimensiones del semiproducto a las dimensiones definitivas del producto final, en el curso de las cuales el estado térmico de la pieza no se ve afectado sustancialmente y, por tanto, su microestructura se conserva.

5

[0112] En el procedimiento interviene a continuación, según la invención, una etapa de revenido, a una temperatura elegida para optimizar el endurecimiento secundario por precipitación, lo que conduce de manera simultánea a una disminución de la ductilidad y convierte la pieza en «divisible». Habitualmente, las proporciones de los diversos constituyentes obtenidos después del enfriamiento según la conformación en caliente no se ven afectadas por este revenido, o son poco afectadas. Las modificaciones microestructurales introducidas por el revenido actúan muy especialmente sobre la naturaleza y el número de los diversos precipitados que participan en el endurecimiento secundario.

10

[0113] Este tratamiento de revenido se efectúa a una temperatura T_{rev} comprendida entre 450 y 680°C, para una duración de 15 min a 10 h según las dimensiones de la pieza y los equipos disponibles. De manera alternativa a un simple revenido, se podrán efectuar varios revenidos, en la misma gama de tiempo y temperatura, según los principios habituales y bien conocidos que dictan la elección de los parámetros de revenido, sin que, sin embargo, pueda considerarse que se alejan de la presente invención.

15

[0114] Como se ha dicho anteriormente, puede plantearse efectuar otros tratamientos térmicos con posterioridad al revenido de endurecimiento por precipitación. No obstante, su parámetro de revenido total no deberá ser superior al del revenido de precipitación.

20

[0115] Se debe subrayar que dicho tratamiento de conformación en caliente seguida de un revenido se encuentra totalmente desfasado con la práctica industrial corriente, que se basa casi exclusivamente en el uso de clases ferrito-perlíticas en microaleación, para las cuales dicho revenido carecería de interés técnico.

25

[0116] Opcionalmente, a continuación, se llevan a cabo una o varias operaciones tales como un conformado, un mecanizado... que no modifican la microestructura obtenida mediante el revenido según la invención, de forma que se confieren a la pieza sus dimensiones definitivas precisas si no se han alcanzado ya como resultado de las etapas anteriores. Es posible que, en algunos casos, los tratamientos térmicos hayan conducido a una deformación de la pieza más o menos sensible, de manera que este último ajuste de las dimensiones precisas de la pieza sea necesario, sobre todo si no ha habido mecanizado, conformado u otra operación similar desde la conformación en caliente y el enfriamiento subsiguiente.

30

[0117] Debe observarse que existen aceros que presentan composiciones bastante próximas a la de la invención en lo que respecta a los contenidos individuales de cada elemento tomado por separado, y que a veces pueden respetar, de manera fortuita, también las condiciones planteadas por la invención en V' y Bs. Tal es el caso, por ejemplo, del documento WO-A-2011/124851. Sin embargo, este documento no plantea exactamente las mismas exigencias que la invención, desde el punto de vista de la microestructura de sus aceros y del endurecimiento por precipitación obtenido durante el revenido final. El documento WO-A-2011/124851 describe piezas mecánicas con características elevadas y estructura bainítica, obtenidas de manera simple, es decir, sin control especial de su enfriamiento después de la conformación y sin tratamiento térmico final obligatorio. No obstante, no presentan propiedades particulares de divisibilidad, al contrario de lo que se busca en general en la presente invención.

40

45

[0118] De hecho, las microestructuras del WO-A-2011/124851 y de la invención difieren porque en el documento WO-A-2011/124851 se acepta solo hasta el 20% en total de martensita, ferrita proeutectoide y perlita. Por el contrario, la invención acepta hasta el 30% de martensita (si la ferrita proeutectoide y la perlita están en su contenido total máximo tolerable del 10%), e incluso hasta el 40% de martensita (si la ferrita proeutectoide y la perlita están totalmente ausentes).

50

[0119] Esta tolerancia mayor en lo que respecta a la presencia de la martensita en el caso de la invención se debe al hecho de que el revenido a relativamente alta temperatura obligatoria, que sigue al enfriamiento de la pieza, hace menos dañina esta presencia de martensita, por ejemplo, para un mecanizado que concluiría la implementación de la pieza.

55

[0120] Por otra parte, el documento WO-A-2011/124851 acepta que se proceda a un ligero revenido final a 200-350°C durante 30 min a 4 h, que no es sino opcional. Por el contrario, la invención exige en términos absolutos la ejecución de un revenido final, y a temperaturas siempre claramente más altas, y, a veces, durante un tiempo más extendido: 450-680°C durante 15 min a 10 h, con el fin preciso de obtener un endurecimiento secundario por precipitación que confiere a la pieza en particular características aptas para hacerla divisible.

60

[0121] Un ligero revenido como el del documento WO-A-2011/124851 tiene por objeto mejorar el límite de elasticidad $R_{p0,2}$, llevándolo a aproximadamente 900-950 MPa. No obstante, es insuficiente para obtener un endurecimiento secundario por precipitación que permite obtener de manera fiable una $R_{p0,2}$ superior a 1.000 MPa.

65

[0122] Sobre todo, el ligero revenido del documento WO-A-2011/124851 permite mejorar la resistencia a la flexión por choque (resiliencia). Ahora bien, este objetivo es contradictorio con el de la invención ya que una resiliencia elevada convierte a la pieza en no divisible. El revenido de endurecimiento practicado en la invención de forma obligatoria corre parejo con una baja resistencia a la flexión por choque. Dicha baja resistencia a la flexión por choque en general no se desea en una pieza mecánica, pero sucede en el caso de piezas mecánicas divisibles que son especialmente objeto de la invención.

[0123] A continuación, se presentarán los resultados obtenidos en laboratorio en composiciones de acero según la invención (Inv. 1 a 4), composiciones próximas a las mismas, pero no totalmente según la invención (Ref. 1, 2 y 3) y composiciones de dos aceros de clases conocidas para la fabricación de bielas.

[0124] A continuación, se presenta el conjunto de las composiciones mantenidas, en la tabla 2, que incluye los cálculos de los valores de Bs y V'. Debe entenderse que el complemento al 100% de las composiciones citadas está formado por Fe, de manera que los elementos no mencionados en esta tabla están presentes solo en forma de cantidades traza, incluidos los que pueden estar presentes opcionalmente en la invención, como los elementos de maquinabilidad Ca, Te, Se, Bi, Pb que no se han añadido en los ejemplos considerados. Los valores en negrita son los que no están de acuerdo con la invención.

	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Cu %	Mo %	V %	Nb (%)	Al %	B (%)	Ti %	S %	P %	N %	O %
36MnV4S	0,36	0,50	1,00	0,12	0,10	0,10	0,04	0,32	0,005	0,001	0,0004	0,001	0,079	0,007	0,0180	0,0027
C70S6	0,69	0,16	0,59	0,12	0,09	0,12	0,03	0,004	0,001	0,006	0,0004	0,001	0,059	0,013	0,0080	0,0012
Inv. 1	0,32	0,78	1,17	1,10	0,16	0,65	0,11	0,19	0,003	0,013	0,0031	0,029	0,069	0,01	0,0075	0,0009
Inv. 2	0,30	0,15	1,08	0,87	0,10	0,16	0,06	0,46	0,005	0,017	0,0031	0,025	0,054	0,012	0,0056	0,0027
Inv. 3	0,35	0,15	1,37	0,76	0,10	0,16	0,06	0,35	0,002	0,018	0,0033	0,025	0,0056	0,012	0,0053	0,0021
Inv. 4	0,16	0,16	1,40	0,79	0,15	0,29	0,10	0,70	0,000	0,014	0,0029	0,028	0,026	0,011	0,0075	0,0017
Ref. 1	0,30	0,70	1,17	0,51	0,15	0,15	0,10	0,20	0,002	0,025	0,0003	0,002	0,08	0,025	0,0120	0,0015
Ref. 2	0,37	0,38	1,33	0,73	0,15	0,15	0,08	0,12	0,003	0,012	0,0003	0,002	0,051	0,012	0,0136	0,0011
Ref. 3	0,31	0,70	1,20	0,51	0,15	0,15	0,10	0,19	0,003	0,020	0,0004	0,002	0,08	0,03	0,0120	0,0015

20

	V' %	B _{Siim} °C	B _s °C
36MnV4S	0,34	584	590
C70S6	0,03	530	570
Inv. 1	0,33	578	495
Inv. 2	0,50	600	528
Inv. 3	0,39	598	507
Inv. 4	0,82	600	501
Ref. 1	0,23	530	567
Ref. 2	0,16	530	529
Ref. 3	0,23	547	562

Tabla 2: Composiciones de las muestras sometidas a ensayo, con sus valores calculados para V', B_{Siim} y B_s

[0125] Se recuerda que la invención exige que $B_s \leq B_{Siim}$ y $V' \geq 0,18$.

[0126] Como se ha visto, las composiciones de los diferentes ejemplos son relativamente próximas, y los contenidos de los diferentes elementos, tomados individualmente, estarían, para todos los ejemplos (salvo el V del C70S6), de acuerdo con las exigencias de la invención. Es en el respeto o no de al menos una de las dos condiciones en B_s y V' en que se distinguen esencialmente los ejemplos no de acuerdo con la invención y los ejemplos según la invención, lo que muestra la importancia de respetar simultáneamente estas dos condiciones.

30

[0127] Los resultados detallados a continuación se obtuvieron usando palanquillas de sección 25 x 25 mm, a las cuales se les aplicó un tratamiento térmico tal que su estado era similar, o incluso idéntico, al esperado en una

biela forjada de masa y dimensiones típicas de una biela de automóvil: austenización a al menos 1.050°C, seguida por un enfriamiento al aire en calma que conduce a velocidades de enfriamiento de, normalmente, 1°C/s entre 800 y 550°C y 0,35°C/s entre 550 y 300°C. A continuación, se determinaron las condiciones de revenido óptimas para aumentar las características mecánicas y se aplicó el tratamiento optimizado para cada clase, consistente en un mantenimiento de 2 h a una temperatura de 620 ± 10°C. Finalmente, se procedió a realizar análisis metalográficos y ensayos mecánicos con el fin de evaluar la ganancia de rendimiento esperada mediante la invención. Los resultados se presentan en la tabla 3, en la que B designa una microestructura bainítica, M la martensita que está presente opcionalmente junto con la bainita y F + P una microestructura ferrito-perlítica.

10 Tabla 3: Microestructuras y propiedades mecánicas de las muestras sometidas a ensayo

	Microestructura	Estado	Rp _{0,2} MPa	Rm MPa	KV J
36MnV4S	F+P	Forjado	780	1.057	9
C70S6	P	Forjado	590	990	7
Inv. 1	B (20% M)	Forjado+revenido	1.000	1174	4
Inv. 2	B	Forjado+revenido	1.043	1.156	4
Inv. 3	B (10% M)	Forjado+revenido	965	1.101	5
Inv. 4	B	Forjado+revenido	1.075	1.169	3
Ref. 1	B	Forjado+revenido	868	1.018	14
Ref. 2	B	Forjado+revenido	860	1.000	14
Ref. 3	B + 15% F	Forjado+revenido	870	1.025	19

[0128] Los valores en negrita se refieren a los resultados considerados como no conformes con la presente invención. Estos resultados no conformes se refieren en primer lugar a las clases estándar 36MnV4S y C70S6, de tipo ferrito-perlítica o perlítica, de las cuales se han subrayado ya las limitaciones en términos de límite de elasticidad y de ausencia de respuesta significativa a un revenido. Debe observarse que, para el 36MnV4S, la precipitación del V tiene lugar en el curso del desarrollo de la microestructura, durante el enfriamiento de la pieza después de conformación en caliente. Así pues, confiere propiedades mecánicas interesantes a esta clase, al igual que una baja resistencia a la ruptura por choque (≤ 10 J), lo que explica el éxito de esta clase, y de otras semejantes a ella, para la fabricación de bielas divisibles de alto rendimiento. Así, si bien estas clases estándar no pueden alcanzar el límite de elasticidad elevado de las clases de la invención, su resistencia a los choques tal como se mide mediante la magnitud KV sigue estando no obstante conforme para lo que puede requerirse para la fabricación de bielas divisibles.

[0129] Otras clases no conformes a la invención (Ref. 1, 2 y 3) aclaran más a esta última. Debe observarse que Ref. 1 y 2 presentan microestructuras bainíticas homogéneas en estado forjado, lo que supone ya una ruptura completa con las prácticas habituales para la fabricación de bielas.

[0130] El ejemplo Ref. 1 presenta un valor de Bs insuficientemente bajo (Bs = 567°C, mientras que, según la invención, el límite Bs_{lim} tal como se define anteriormente para no superarlo sería de 530°C), sin embargo, con un valor de V' que estaría de acuerdo con la invención (0,23%, frente al 0,18% como mínimo en la invención). Se observa que, en consecuencia, el límite de elasticidad no responde a las exigencias de la invención, que pretende procurar un mínimo de 900 MPa. En este primer caso, son las propiedades en tracción demasiado bajas en estado forjado las que explican esta insuficiencia, de manera que el aumento de estas propiedades en tracción en el curso del revenido, correlacionado con V', no es inferior al de varios de los ejemplos según la invención.

[0131] El ejemplo Ref. 2 presenta un valor de Bs de acuerdo con la invención (Bs = 529°C para un máximo Bs_{lim} de 530), pero tiene un potencial de endurecimiento, tal como se mide por V', que es insuficiente (V' = 0,16%, por tanto, no de acuerdo con la invención).

[0132] El ejemplo Ref. 3 presenta una Bs demasiado elevada, superior a Bs_{lim} y una microestructura que contiene el 15% de ferrita proeutectoide, por tanto, más del máximo del 10% de ferrita proeutectoide + perlita tolerado por la invención. En consecuencia, Rp_{0,2} y KV no son satisfactorios. En su caso, se constata que el vanadio, aunque presente en cantidad, en principio, suficiente, ha precipitado en parte durante el enfriamiento de la pieza, de manera que no puede desempeñar su papel endurecedor en el curso del revenido, dado que no había suficiente ya en solución al inicio del revenido. De manera general, una estructura bainítica o martensítica permite obtener un endurecimiento secundario durante el revenido según la invención, lo que no permite una microestructura ferrítica o perlítica, y de ahí la estricta limitación al 10% como máximo del contenido total de ferrita proeutectoide y perlita como resultado del enfriamiento de la pieza.

[0133] Para el conjunto de los ejemplos según la invención, la microestructura bainítica forjada y revenida o bien tiene la misma naturaleza en gran medida esencialmente bainítica que la de los ejemplos Ref. 1 y Ref. 2, o bien contiene el 10 o el 20% de martensita junto con la bainita. No obstante, el respeto de los dos criterios Bs y V' permite alcanzar las características mecánicas pretendidas por la invención que son una Rp_{0,2} de al menos 900 MPa y, simultáneamente, una resistencia a la tracción Rm de al menos 1.100 MPa, y presentan resistencias a la flexión al choque KV de acuerdo con las exigencias de un uso para la fabricación de piezas divisibles, que son como máximo de 12 J. Debe observarse, además, que ha sido posible demostrar, mediante ensayos de fatiga y de hundimiento en laboratorio, que este aumento de la resistencia en tracción se traducía en un aumento muy significativo de los rendimientos en fatiga y de la resistencia al hundimiento. Las clases bainíticas según la invención permiten satisfacer los criterios de dimensionamiento de las bielas ya reseñados, algo que no permitían las clases bainíticas consideradas en la técnica anterior.

[0134] Una segunda ventaja de la invención puede subrayarse a partir de los resultados, que figuran en la tabla 4, de un ensayo suplementario realizado en el ejemplo Inv. 4. Para este ensayo, en una barra de diámetro 80 mm se llevó a cabo un tratamiento térmico tal que la microestructura después de enfriamiento natural podía considerarse representativa de la de una pieza forjada en caliente. A continuación de este tratamiento, se realizó el tratamiento de revenido optimizado tal como se puso a punto ya en las piezas de sección 25 x 25 mm². A continuación se procedió a realizar análisis metalográficos y ensayos mecanismos de la misma forma que antes.

20

Tabla 4: Resultados de ensayos suplementarios sobre el ejemplo Inv. 4

Sección	Estado	Microestructura	Rp _{0,2} (MPa)	Rm (MPa)
25 x 25 mm	Forjado + revenido	B	1.075	1.169
diámetro 80 mm	Forjado + revenido	B	1.071	1.175

[0135] Como muestran estos resultados, una segunda ventaja importante de la invención es la de procurar las características mecánicas pretendidas en piezas de dimensiones muy diferentes, mientras que la sensibilidad de las clases ferrito-perlíticas a este parámetro es bien conocida y ya se ha destacado. Por tanto, se ve que la clase de la presente invención podrá usarse, sin modificación significativa del procedimiento de fabricación o de la composición precisa del acero, para la fabricación de piezas divisibles destinadas a automóviles, pero también a vehículos pesados, o de piezas propias de la gran mecánica (transformadores, motores marinos, etc.).

[0136] Si parece útil, para una pieza de dimensiones dadas, se podrá optimizar la microestructura de la pieza, en particular anulando o disminuyendo drásticamente su contenido de ferrita proeutectoide + perlita, por un ajuste preciso de la composición del acero, en particular en los elementos de los que se ha dicho que intervenían en el contenido de ferrita, como C, Mo y B, o en el valor de Bs, como C, Mn, Cr, Mo, Ni, Cu y V, y/o por un ajuste de las condiciones de enfriamiento después de la conformación en caliente, manteniéndose siempre dentro del marco de los contenidos y valores según la invención. Así sucederá en particular para piezas de grandes dimensiones o de formas tortuosas, con el fin de asegurar mejor que la microestructura y las propiedades mecánicas finales buscadas se obtendrán adecuadamente en el conjunto de la pieza.

35

REIVINDICACIONES

1. Acero para pieza divisible conformada en caliente, **caracterizado porque** su composición consiste en, expresada en porcentajes en peso:

- 5
- $0,15\% \leq C \leq 0,40\%$; preferentemente $0,20\% \leq C \leq 0,35\%$;
 - $0,60\% \leq Mn \leq 1,80\%$; preferentemente $0,80\% \leq Mn \leq 1,60\%$;
 - Cantidades traza $\leq Cr \leq 1,60\%$;
 - Cantidades traza $\leq Mo \leq 0,40\%$;
 - 10 - Cantidades traza $\leq Ni \leq 1,50\%$; preferentemente cantidades traza $\leq Ni \leq 1,0\%$; más preferentemente cantidades traza $\leq Ni \leq 0,60\%$;
 - Cantidades traza $\leq Cu \leq 0,80\%$;
 - $0,02\% \leq V \leq 0,70\%$;
 - Cantidades traza $\leq Nb \leq 0,08\%$;
 - 15 - Cantidades traza $\leq Si \leq 1,20\%$; preferentemente cantidades traza $\leq Si \leq 0,60\%$;
 - Cantidades traza $\leq Al \leq 0,10\%$;
 - Cantidades traza $\leq B \leq 0,010\%$;
 - Cantidades traza $\leq Ti \leq 0,10\%$;
 - Cantidades traza $\leq S \leq 0,15\%$; preferentemente $0,005\% \leq S \leq 0,15\%$;
 - 20 - Cantidades traza $\leq P \leq 0,10\%$;
 - Cantidades traza $\leq Ca \leq 0,010\%$;
 - Cantidades traza $\leq Te \leq 0,030\%$;
 - Cantidades traza $\leq Se \leq 0,050\%$;
 - Cantidades traza $\leq Bi \leq 0,10\%$;
 - 25 - Cantidades traza $\leq Pb \leq 0,20\%$;
 - Cantidades traza $\leq N \leq 0,025\%$;
 - Cantidades traza $\leq O \leq 0,008\%$;
- siendo el resto hierro e impurezas relacionadas con la elaboración; y para la cual se verifican las relaciones siguientes:

- 30
- * $V' = V\% + 2 Nb\% + Cu\%/5 \geq 0,18\%$;
 - * $B_s = 830 - 270C\% - 90Mn\% - 37Ni\% - 70Cr\% - 83 Mo\% - 50Cu\% - 100V\% \leq B_{sim}$, con B_{sim} calculado del modo siguiente:

- 35
- $B_{sim} = 530 + 330 (V' - 0,18)$, si $530 + 330 (V' - 0,18)$ es inferior a 600;
 - $B_{sim} = 600$, si $530 + 330 (V' - 0,18)$ es superior o igual a 600;

- 40
- y **porque** su microestructura incluye al menos el 60% de una mezcla de ferrita bainítica y de carburos o de austenita residual, incluyendo el resto de la microestructura como máximo el 40% de martensita y/o de ferrita proeutectoide y/o de perlita, estando la presencia de ferrita proeutectoide y/o de perlita limitada a como máximo el 10%.

2. Acero según la reivindicación 1, **caracterizado porque** $Ti \geq 3,5 N\%$ si $B \geq 0,0010\%$.

45 3. Acero según la reivindicación 2, **caracterizado porque** cantidades traza $\leq N \leq 0,010\%$.

4. Procedimiento de fabricación de una pieza mecánica, **caracterizado porque**:

50 - se conforma en caliente en fase austenítica un semiproducto de acero cuya composición consiste en, expresada en porcentajes en peso:

- * $0,15\% \leq C \leq 0,40\%$; preferentemente $0,20\% \leq C \leq 0,35\%$;
- * $0,60\% \leq Mn \leq 1,80\%$; preferentemente $0,80\% \leq Mn \leq 1,60\%$;
- * Cantidades traza $\leq Cr \leq 1,60\%$;
- 55 * Cantidades traza $\leq Mo \leq 0,40\%$;
- * Cantidades traza $\leq Ni \leq 1,50\%$; preferentemente cantidades traza $\leq Ni \leq 1,0\%$; más preferentemente cantidades traza $\leq Ni \leq 0,60\%$;
- * Cantidades traza $\leq Cu \leq 0,80\%$;
- * $0,02\% \leq V \leq 0,70\%$;
- 60 * Cantidades traza $\leq Nb \leq 0,08\%$;
- * Cantidades traza $\leq Si \leq 1,20\%$; preferentemente cantidades traza $\leq Si \leq 0,60\%$;
- * Cantidades traza $\leq Al \leq 0,10\%$;
- * Cantidades traza $\leq B \leq 0,010\%$;
- * Cantidades traza $\leq Ti \leq 0,10\%$;
- 65 * Cantidades traza $\leq S \leq 0,15\%$; preferentemente $0,005\% \leq S \leq 0,15\%$;

- * Cantidades traza $\leq P \leq 0,10\%$;
 - * Cantidades traza $\leq Ca \leq 0,010\%$;
 - * Cantidades traza $\leq Te \leq 0,030\%$;
 - * Cantidades traza $\leq Se \leq 0,050\%$;
 - 5 * Cantidades traza $\leq Bi \leq 0,10\%$;
 - * Cantidades traza $\leq Pb \leq 0,20\%$;
 - * Cantidades traza $\leq N \leq 0,025\%$;
 - * Cantidades traza $\leq O \leq 0,008\%$;
- 10 siendo el resto hierro e impurezas relacionadas con la elaboración; y para la cual se verifican las relaciones siguientes:
- * $V' = V\% + 2 Nb\% + Cu\%/5 \geq 0,18\%$;
 - * $Bs = 830 - 270C\% - 90Mn\% - 37Ni\% - 70Cr\% - 83 Mo\% - 50Cu\% - 100V\% \leq Bs_{lim}$, con Bs_{lim} calculado del
- 15 modo siguiente:
- $$Bs_{lim} = 530 + 330 (V' - 0,18), \text{ si } 530 + 330 (V' - 0,18) \text{ es inferior a } 600;$$
- $$Bs_{lim} = 600, \text{ si } 530 + 330 (V' - 0,18) \text{ es superior o igual a } 600;$$
- 20 - se realiza un enfriamiento al aire en calma, o al aire pulsado, o bajo una campana o en caja de dicho semiproducto, preferentemente a velocidades de enfriamiento superiores o iguales a $0,3^\circ\text{C/s}$ en el intervalo $750-550^\circ\text{C}$ y comprendidas entre $0,1$ y 5°C/s en el intervalo $550-300^\circ\text{C}$;
- se realiza al menos un revenido de dicho semiproducto enfriado a una temperatura T_{rev} comprendida entre 450 y 680°C durante un tiempo total de 15 min a 10 h .
- 25
5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado porque** $Ti \geq 3,5 \text{ N\%}$ si $B \geq 0,0010\%$.
 6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado porque** cantidades traza $\leq N \leq 0,010\%$.
- 30 7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, **caracterizado porque** después del enfriamiento según la conformación en caliente se realiza una conformación del semiproducto, por ejemplo, por mecanizado o conformado, que acerca las dimensiones del semiproducto a las dimensiones definitivas precisas del producto sin modificar su microestructura.
- 35 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, **caracterizado porque** después del revenido se realiza una conformación del semiproducto, por ejemplo, por mecanizado o conformado, que confiere al semiproducto las dimensiones definitivas precisas del producto sin modificar su microestructura.
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 8, **caracterizado porque** se procede a una
- 40 ruptura controlada de dicha pieza mecánica, que es una pieza mecánica divisible.
10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 9, **caracterizado porque** se procede a al menos un tratamiento térmico suplementario con posterioridad a dicho revenido, teniendo dicho tratamiento suplementario un parámetro de revenido inferior al de dicho revenido.
- 45
11. Pieza mecánica de acero, **caracterizada porque**:
 - su composición consiste en, expresada en porcentajes en peso:
 - 50 * $0,15\% \leq C \leq 0,40\%$; preferentemente $0,20\% \leq C \leq 0,35\%$;
 - * $0,60\% \leq Mn \leq 1,80\%$; preferentemente $0,80\% \leq Mn \leq 1,60\%$;
 - * Cantidades traza $\leq Cr \leq 1,60\%$;
 - * Cantidades traza $\leq Mo \leq 0,40\%$;
 - * Cantidades traza $\leq Ni \leq 1,50\%$; preferentemente cantidades traza $\leq Ni \leq 1,0\%$; más preferentemente
 - 55 cantidades traza $\leq Ni \leq 0,60\%$;
 - * Cantidades traza $\leq Cu \leq 0,80\%$;
 - * $0,02\% \leq V \leq 0,70\%$;
 - * Cantidades traza $\leq Nb \leq 0,08\%$;
 - * Cantidades traza $\leq Si \leq 1,20 \%$; preferentemente cantidades traza $\leq Si \leq 0,60\%$;
 - 60 * Cantidades traza $\leq Al \leq 0,10\%$;
 - * Cantidades traza $\leq B \leq 0,010\%$;
 - * Cantidades traza $\leq Ti \leq 0,10\%$;
 - * Cantidades traza $\leq S \leq 0,15\%$; preferentemente $0,005\% \leq S \leq 0,15\%$;
 - * Cantidades traza $\leq P \leq 0,10\%$;
 - 65 * Cantidades traza $\leq Ca \leq 0,010\%$;

- * Cantidades traza \leq Te \leq 0,030%;
- * Cantidades traza \leq Se \leq 0,050%;
- * Cantidades traza \leq Bi \leq 0,10%;
- * Cantidades traza \leq Pb \leq 0,20%;
- * Cantidades traza \leq N \leq 0,025;
- * Cantidades traza \leq O \leq 0,008%;

5

siendo el resto hierro e impurezas relacionadas con la elaboración; y para la cual se verifican las relaciones siguientes:

10

- * $V' = V\% + 2 \text{ Nb}\% + \text{Cu}\%/5 \geq 0,18\%$;
- * $B_s = 830 - 270C\% - 90Mn\% - 37Ni\% - 70Cr\% - 83 \text{ Mo}\% - 50Cu\% - 100V\% \leq B_{sim}$, con B_{sim} calculado del modo siguiente:

15

$$B_{sim} = 530 + 330 (V' - 0,18), \text{ si } 530 + 330 (V' - 0,18) \text{ es inferior a } 600;$$

$$B_{sim} = 600, \text{ si } 530 + 330 (V' - 0,18) \text{ es superior o igual a } 600;$$

y cuya microestructura incluye al menos el 60% de una mezcla de ferrita bainítica y de carburos o de austenita residual, incluyendo el resto de la microestructura como máximo el 40% de martensita y/o de ferrita proeutectoide y/o de perlita, estando la presencia de ferrita proeutectoide y/o de perlita limitada a como máximo el 10%.

20

12. Pieza mecánica según la reivindicación 11, **caracterizada porque** $Ti \geq 3,5 \text{ N}\%$ si $B \geq 0,0010\%$.
13. Pieza mecánica según la reivindicación 12, **caracterizada porque** cantidades traza $\leq N \leq 0,010\%$.
- 25 14. Pieza mecánica según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, **caracterizada porque** se trata de una pieza divisible.
15. Pieza mecánica según la reivindicación 14, **caracterizada porque** se trata de una biela de motor de
- 30 explosión.