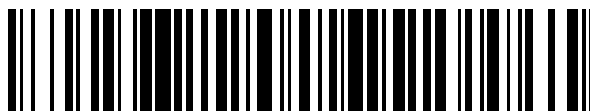


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 787 260**

51 Int. Cl.:

**C22C 38/12** (2006.01)

**C22C 38/18** (2006.01)

**C21D 1/06** (2006.01)

**C23C 8/22** (2006.01)

**E21B 10/46** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.08.2012 PCT/EP2012/065523**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.02.2013 WO13021009**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.08.2012 E 12750727 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.03.2020 EP 2742165**

54 Título: **Acero para la fabricación de piezas cementadas, pieza cementada realizada con este acero y su procedimiento de fabricación**

30 Prioridad:

**09.08.2011 FR 1157254**

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

**15.10.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**MENDIBIDE, CHRISTOPHE**

74 Agente/Representante:

**SALVÀ FERRER, Joan**

ES 2 787 260 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 para la fabricación de piezas cementadas, pieza cementada realizada con este acero y su procedimiento de fabricación

5

**[0001]** La invención se refiere a la siderurgia, y más particularmente a los grados de aceros de cementación que presentan una resiliencia elevada.

**[0002]** Una de las principales aplicaciones de tales aceros es la fabricación de piezas mecánicas de gran formato y más particularmente la fabricación de trépanos de perforación («drill bits»).

**[0003]** Un tal trépano es una herramienta forjada constituida por tres conos rotativos de acero «entrecruzados» los unos con los otros y que permite triturar las formaciones geológicas durante las operaciones de exploración petrolera o gasífera. Estos tres conos están en rotación, mediante uno o varios rodamientos, sobre tres brazos de acero ensamblados por soldadura. Las pistas de rodamiento mecanizadas en los brazos y en el interior de los conos están, generalmente, en los procedimientos clásicos de producción, tratados superficialmente por cementación atmosférica para alcanzar una profundidad convencional, donde la dureza Vickers es de 550 HV, comprendida de media entre 1 y 1,5 mm.

**[0004]** La presente invención se refiere a un nuevo grado de acero que puede utilizarse para la fabricación de los conos y de los brazos. Existen varios tipos de tales trépanos. Uno es el trépano con «dientes insertados», es decir con unas puntas, que suelen ser de carburo de tungsteno obtenido por pulvimetalurgia, insertadas en cada uno de los conos. El acero objeto de la presente invención no se limita, en su utilización, a este tipo de trépanos, y podría utilizarse asimismo para la producción de trépanos con «dientes mecanizados».

25

**[0005]** Actualmente, los grados de referencia utilizados para la fabricación de los conos y de los brazos que constituyen los trépanos son aceros fuertemente aleados con níquel con contenidos que pueden alcanzar el 3,5 % en peso (en concreto el grado de tipo 15NiCrMo13). Este elemento de aleación se considera necesario habitualmente para conferir al producto el nivel de ductilidad indispensable para resistir a la severidad de las sollicitaciones mecánicas que sufre en servicio. Esta ductilidad debe asociarse a características de tracción y a una templabilidad elevada. Las propiedades típicamente buscadas para estos grados son, de hecho:

- una templabilidad tal que la curva Jominy sea horizontal, típicamente al menos sobre una profundidad de 20 mm; tal como se describe en el documento FR-A-2765890, esta característica puede evaluarse por el coeficiente  $\beta$  correspondiente a la diferencia de dureza entre los puntos J<sub>15</sub> y J<sub>3</sub>. Para que la templabilidad sea suficiente, es conveniente que la curva Jominy verifique  $\beta < 3,5$  HRC y J<sub>1</sub> > 40 HRC; se recuerda que la curva Jominy es una curva que traduce la templabilidad de un acero; se obtiene mediante un ensayo normalizado (en concreto por la norma NF EN ISO 642), midiendo la dureza a lo largo de una generadora de una probeta cilíndrica templada por un chorro de agua que rocía uno de sus extremos; la dureza medida con una profundidad de x mm a partir de dicho extremo está designada por J<sub>x</sub>;

- un límite de elasticidad Re superior a 900 MPa;

- una resistencia a la tracción Rm superior a 1200 MPa;

- una resiliencia Kv medida a 20°C superior a 75J;

- una buena aptitud para la cementación atmosférica; esta se traduce, en concreto, por la posibilidad de encontrar condiciones de cementación atmosférica que permitan alcanzar las siguientes características:

- una profundidad de cementación a 550 HV comprendida entre 1,2 y 1,5 mm;
- una dureza superficial superior a 670 HV;
- un tamaño de grano austenítico tal que el índice de grano es superior a ASTM 5;
- un contenido volúmico superficial máximo en austenita residual (a 20 mm bajo la piel del metal) en la capa cementada inferior a un contenido del orden del 40 %, tal como se busca típicamente después del tratamiento de los grados de cementación de tipo 15NiCrMo13.

**[0006]** Sin embargo, los aceros habitualmente utilizados en este contexto tienen, como se ha dicho, un contenido de Ni que necesita una adición significativa de este elemento oneroso y cuyo precio de comprar varía mucho en el tiempo. Por tanto, se ha intentado sustituir estos aceros por aceros de cementación sin Ni con una resiliencia mejorada.

**[0007]** El documento US-A-6 146 472 presenta un ejemplo. El aumento de la resiliencia se obtiene por un control de la resistencia al engrosamiento del grano austenítico mediante la utilización de una microaleación Nb-Al-N, combinada con un tratamiento térmico optimizado. Sin embargo, los valores de resiliencias indicados en este documento son en el mejor de los casos cercanos a 60J, y los ejemplos presentados son coladas que no permiten verificar el criterio de templabilidad  $\beta < 3,5$  HRC. WO 03/062484 describe un acero para los trépanos de perforación.

**[0008]** Del mismo modo, el documento US-A-2005/0081962 describe un acero para cementación que no utiliza

Ni, pero cuya resiliencia no supera 51 J, lo que no es suficiente.

**[0009]** El objeto de la invención es proponer un acero de cementación utilizable en concreto para la fabricación de trépanos, que no requiere la adición de Ni y que responde sin embargo a todos los criterios de ductilidad, 5 templabilidad, Re, Rm y Kv citados más arriba.

**[0010]** Para este fin, la invención tiene por objetivo un trépano de perforación cementado de acero caracterizado porque su composición, en porcentajes ponderales es: - 0,1 %  $\leq$  C  $\leq$  0,15 %;

- 10 - 0,8 %  $\leq$  Mn  $\leq$  2 %;  
- 1 %  $\leq$  Cr  $\leq$  2,5 %;  
- 0,2 %  $\leq$  Mo  $\leq$  0,6 %;  
- trazas  $\leq$  Si  $\leq$  0,35 %;  
- trazas  $\leq$  Ni  $\leq$  0,7 %, de preferencia trazas  $\leq$  Ni  $\leq$  0,3 %;
- 15 - trazas  $\leq$  B  $\leq$  0,005 %;  
- trazas  $\leq$  Ti  $\leq$  0,1 %, de preferencia trazas  $\leq$  Ti  $\leq$  0,04 %;  
- trazas  $\leq$  N  $\leq$  0,01 % si 0,0005 % < B  $\leq$  0,005 %, y trazas  $\leq$  N  $\leq$  0,02 % si trazas  $\leq$  B  $\leq$  0,0005 %;  
- trazas  $\leq$  Al  $\leq$  0,1 %;  
- trazas  $\leq$  V  $\leq$  0,3 %;
- 20 - trazas  $\leq$  P  $\leq$  0,025 %;  
- trazas  $\leq$  S  $\leq$  0,1 %;  
- trazas  $\leq$  Cu  $\leq$  1 %, de preferencia  $\leq$  0,6 %; el resto es hierro e impurezas resultantes de la elaboración.

**[0011]** De preferencia, trazas  $\leq$  O  $\leq$  30 ppm.

25 **[0012]** La invención también tiene por objetivo un procedimiento de fabricación de trépano de perforación cementado caracterizado porque:

- 30 - se prepara una preforma de dicho trépano de perforación con la composición anterior. Este conformado puede realizarse mediante cualquier procedimiento (forjado, mecanizado, laminado...);  
- y se practica una cementación en dicha preforma.

**[0013]** En el caso de un procedimiento de cementación atmosférica, la sucesión de etapas puede ser la siguiente:

- 35 - calentamiento hasta la temperatura del nivel de enriquecimiento.  
- nivel de enriquecimiento a una temperatura de 900 a 980°C durante 3 a 20 h y con un potencial de carbono comprendido entre el 0,8 y el 1,2 %;  
- difusión a una temperatura de 820 a 880°C con un potencial de carbono comprendido entre el 0,6 y el 0,8 %, con un tiempo de tratamiento de 1 a 4 h;
- 40 - temple en aceite a una temperatura inferior o igual a 160°C  
- revenido a una temperatura comprendida entre 150 y 250°C y con una duración comprendida entre 1 y 4 h.

**[0014]** En caso de que la cementación se efectúe a baja presión, dicha presión puede ser de 5 a 20 mbar, y la sucesión de etapas de la cementación puede ser la siguiente:

- 50 - calentamiento hasta la temperatura del nivel de enriquecimiento.  
- nivel de enriquecimiento a una temperatura de 900 a 980°C durante 3 a 20 h y con un potencial de carbono comprendido entre el 0,8 y el 1,2 %;  
- difusión a una temperatura de 890 a 950°C con un potencial de carbono comprendido entre el 0,6 y el 0,8 %, con un tiempo de tratamiento de 1 a 4 h;  
- temple a una temperatura inferior o igual a 160 °C  
- revenido a una temperatura comprendida entre 150 y 250 °C y con una duración comprendida entre 1 y 4 h.

55 **[0015]** Como se habrá comprendido, la invención se basa en un cuidadoso ajuste de la composición del acero, que permite satisfacer todos los criterios citados más arriba.

**[0016]** Además, el acero objeto de la presente invención se diferencia asimismo del descrito en US-A-6 146 472 en que las resiliencias accesibles son significativamente superiores, y en que la mejora de la resiliencia no se genera, al menos principalmente, por un control del tamaño del grano. Esto presenta la ventaja de no modificar la aptitud del grado ante el tratamiento termomecánico y de limitar el riesgo de engrosamiento anormal del grano austenítico durante la cementación. En concreto, se evita el efecto de segregación del niobio que puede conducir a un tamaño de grano austenítico heterogéneo. El nivel de resiliencia accesible mediante la presente invención es, igualmente, significativamente más elevado.

65

**[0017]** El tipo de cementación utilizable con el acero descrito en la presente invención no se limita al procedimiento de cementación atmosférica que podría ser sustituido por otros procedimientos de endurecimiento superficial, por ejemplo, la cementación a baja presión.

5 **[0018]** La presente invención se basa en un acero cuya composición se define a continuación. Todos los contenidos se dan en porcentajes ponderales. Al utilizar una composición como la que se describe a continuación, es posible elaborar, sin adición voluntaria de níquel y sin utilizar cantidades importantes de otros elementos costosos, un acero con una templabilidad, características mecánicas después del temple seguido de un revenido y una aptitud para la cementación (absorción de carbono, resiliencia en el núcleo, profundidad de la cementación, contenido de austenita residual...) cercanas a las de los grados de referencia al 3,5 % de Ni utilizadas habitualmente para la fabricación de trépanos de perforación.

15 **[0019]** El contenido de C está comprendido entre el 0,10 % y el 0,15 %, es decir, un contenido de carbono limitado a una gama relativamente estrecha, y que es bajo, en comparación con los que se encuentran generalmente en los aceros de cementación. Este bajo contenido de carbono permite alcanzar resiliencias muy elevadas en el núcleo de las piezas cementadas. La pérdida de templabilidad y la disminución de la dureza en el núcleo de los productos tras la cementación, que resultaría normalmente de esta reducción del contenido de C, se compensan por un ajuste optimizado de la concentración de los otros elementos de aleación.

20 **[0020]** El contenido de Mn está comprendido entre el 0,8 % y el 2 %. El manganeso se utiliza con el cromo y el molibdeno para compensar la pérdida de templabilidad asociada a la disminución del contenido de carbono. Para que sea suficiente, se requiere un contenido superior o igual al 0,8 %. Como este elemento de aleación puede presentar problemas de segregación, es preferible que su concentración no supere el 2 %.

25 **[0021]** El contenido de Cr está comprendido entre el 1 % y el 2,5 %. Como el manganeso, el cromo se utiliza para garantizar un nivel de templabilidad suficiente para el grado. El contenido mínimo del 1 % se elige para que el efecto de este elemento de aleación sobre la templabilidad sea suficiente. El contenido máximo del 2,5 % se define para evitar un efecto nefasto sobre las propiedades de uso, en concreto por formación de carburos de cromo gruesos.

30 **[0022]** El contenido de Mo está comprendido entre el 0,2 % y el 0,6 %. El molibdeno es un tercer elemento utilizado para ajustar la templabilidad del grado. Se trata asimismo de un elemento de aleación que puede utilizarse juiciosamente para aumentar la resiliencia, en concreto a baja temperatura. El molibdeno permite asimismo exacerbar el efecto del boro en la templabilidad, y por tanto puede utilizarse con este fin en el caso de grados aleados con boro. Para un contenido inferior al 0,2 %, el aumento de la templabilidad es demasiado bajo y por tanto este valor se elige como nivel mínimo. Para concentraciones elevadas, el molibdeno tiende a disminuir la aptitud de los aceros para la forja. Además, como se trata de un elemento de aleación oneroso, su utilización con un contenido excesivo conduciría a una pérdida del beneficio económico aportado por la no utilización de níquel. Por estos motivos, se prefiere un contenido máximo del 0,6 %.

40 **[0023]** El contenido de Si es inferior al 0,35 %. Al igual que el aluminio, el silicio puede utilizarse como elemento de desoxidación. Para un acero que haya sido desoxidado por adición de silicio, el contenido residual de este elemento generalmente no supera de todos modos el 0,35 %. Conviene asimismo no superar un contenido del 0,35 % en los aceros de la invención, porque el silicio es un elemento de aleación que puede limitar, por efecto barrera, la absorción de carbono durante la cementación.

45 **[0024]** El contenido de Ni es inferior o igual al 0,7 %, preferentemente 0,3 %. Como se ha dicho, uno de los objetivos de la presente invención es permitir prescindir de una adición voluntaria de este elemento. Sin embargo, siempre está presente en estado residual en las materias primas utilizadas para elaborar el acero, en concreto en la chatarra. El contenido del 0,3 % corresponde al contenido máximo encontrado más generalmente cuando no se ha realizado ninguna adición voluntaria de níquel durante la elaboración.

50 **[0025]** El contenido de B es inferior al 0,005 %. El boro es un elemento opcional. Puede utilizarse para ajustar óptimamente la templabilidad del grado si los contenidos de Mn, Cr y Mo no son totalmente suficientes a estos efectos. Pero para que este elemento de aleación actúe efectivamente sobre la templabilidad, debe mantenerse en solución sólida. Para ello, debe evitarse la precipitación de nitruros o de óxidos de boro. Este resultado puede obtenerse añadiendo un elemento de aleación con mayor afinidad con el nitrógeno, por ejemplo, titanio, y controlando el procedimiento de elaboración para limitar la disolución de nitrógeno y de oxígeno en el acero.

55 **[0026]** El contenido de Ti es inferior al 0,1 % y preferentemente inferior al 0,04 %. El titanio se añade opcionalmente para permitir al boro mantenerse en solución sólida por precipitación de nitruros de titanio que disminuyen la cantidad de nitrógeno que podría ser susceptible de combinar con el boro. Su contenido debe elegirse óptimamente en función de la cantidad de nitrógeno del grado. Para ser totalmente eficaz, se debe añadir una cantidad estequiométrica de titanio para garantizar una precipitación de la totalidad del nitrógeno contenido en el acero en forma de TiN, y así mantener el boro en solución sólida. Esto se verifica si la relación Ti/N es superior a 3,4. En caso de adición subestequiométrica de titanio, el efecto del boro en la templabilidad también puede expresarse, pero está

menos marcado. Más allá del límite prescrito, existe un riesgo de formación de TiN demasiado gruesos durante la solidificación, y además la adición de Ti se vuelve demasiado onerosa.

5 **[0027]** El contenido de N es inferior al 0,02 % y preferentemente inferior al 0,01 %. En el caso de una elaboración con adición de boro y de titanio, es necesario controlar el contenido de nitrógeno del acero para limitar el riesgo de formación de nitruros de titanio TiN gruesos, que pueden deteriorar las propiedades de uso del producto. En el caso de una adición de boro (de 5 a 50 ppm), se recomienda por tanto un contenido de nitrógeno inferior al 0,01 %. Si no se utiliza boro (B < 5 ppm), no es absolutamente indispensable controlar estrictamente el contenido de nitrógeno que puede ir entonces hasta el 0,02 % sin efecto nefasto sobre las propiedades del acero elaborado.

10 **[0028]** El contenido de Al debe ser como máximo el 0,1 %. El aluminio es un elemento opcional. Puede utilizarse como desoxidante del acero como sustituto del silicio, y para optimizar el contenido del grano austenítico durante la cementación.

15 **[0029]** El contenido de V es como máximo el 0,3 %. El vanadio es un elemento opcional. Puede utilizarse como elemento de microaleación para un mejor control del tamaño de grano durante la cementación, aportando una mejora adicional de la resiliencia.

20 **[0030]** El contenido de P es como máximo el 0,025 %. Se recomienda este límite para no correr el riesgo de fragilizar el acero. Efectivamente, este elemento, con un contenido demasiado importante, tiene tendencia a la segregación en las juntas de granos austeníticos, lo que puede conducir a un aumento de la temperatura de transición dúctil-frágil y a una disminución de la resiliencia a temperatura ambiente.

25 **[0031]** El contenido de Cu es como máximo el 1 %, preferentemente como máximo el 0,6 %. Se recomienda un contenido máximo del 1 % porque se trata de un elemento onerosos que no aporta ningún beneficio de templabilidad o de resiliencia. El valor máximo preferido del 0,6 % es un contenido reconocido habitualmente por ser el que está por debajo del cual el cobre no tiene efecto notable sobre las propiedades mecánicas del acero. Sin embargo, se puede contemplar su utilización con un contenido más elevado sin modificar la aptitud del grado para ser utilizado para la fabricación de trépanos de perforación.

30 **[0032]** Los efectos negativos del cobre con contenidos más elevados son, en particular, el riesgo de aparición de defectos en la superficie durante el laminado (cuarteado). Las adiciones de Ni y/o de Si pueden permitir remediarlo, pero como la invención exige contenidos relativamente bajos de estos elementos, no se puede contar mucho con ellos para limitar los efectos nefastos del cobre, por eso se establecen los límites del 1 %, mejor del 0,6 %, para el contenido de cobre de los aceros de la invención.

35 **[0033]** El contenido de S no se impone estrictamente en la definición del acero según la invención más general, pero debe controlarse en función de la aplicación contemplada. Se buscará un bajo contenido si se desea mejorar la limpieza inclusionaria sin formar sulfuros (típicamente < 0,01 %) y se podrá elegir un contenido más elevado (típicamente del 0,03 % al 0,1 %) si se busca una ganancia de maquinabilidad y a condición de que la limpieza inclusionaria se mantenga conforme a las exigencias requeridas por la aplicación contemplada para el acero.

40 **[0034]** El contenido de O suele ser a menudo un máximo de 0,003 % (30 ppm), de manera que optimice la limpieza inclusionaria. Este límite puede sobrepasarse eventualmente si la aplicación futura del acero no requiere una muy buena limpieza inclusionaria, y en cualquier caso un contenido en O determinado no constituye una propiedad intrínseca del acero según la invención.

45 **[0035]** El control del contenido de oxígeno está garantizado por sistemas de inertización durante la colada y por un control del contenido de elementos desoxidantes como Si y Al. Cuando estos elementos desoxidantes están presentes en contenidos bajos, se puede garantizar sin embargo un bajo contenido de oxígeno en el metal líquido:

- bien agitando el metal líquido de manera que se ponga en equilibrio químico con la escoria, bien se controla la composición de manera que este equilibrio químico conduzca al establecimiento de un bajo contenido de oxígeno disuelto en el metal líquido, evitando a continuación las reoxidaciones del metal líquido hasta la colada mediante una protección eficaz contra el oxígeno atmosférico, por ejemplo la inertización de la superficie del metal con argón, y el confinamiento de los chorros de colada en tubos refractarios a su vez llenos de argón;
- bien conduciendo la elaboración del metal líquido al menos en parte a presión reducida, de manera que el contenido de oxígeno disuelto esté limitado por el carbono presente en el acero líquido, lo que conlleva la salida del oxígeno disuelto excedente en forma de CO; a continuación, como en el caso anterior, el bajo contenido de oxígeno disuelto de conservarse hasta la colada mediante una protección eficaz del acero líquido contra las reoxidaciones atmosféricas.

50 **[0036]** El resto de elementos puede estar presente en forma de simples impurezas resultantes de la elaboración.

65 **[0037]** En el caso de un procedimiento de cementación atmosférica que busque obtener un contenido de

carbono superficial típicamente del 0,5 al 0,8 %, la sucesión de etapas puede ser la siguiente:

- calentamiento hasta la temperatura del nivel de enriquecimiento; se aconseja una velocidad del orden de 10 °C/min para este calentamiento para procurar un buen control de la evolución del tamaño de los granos;
- 5 - nivel de enriquecimiento a una temperatura inferior de 900 a 980 °C y con un potencial de carbono comprendido entre 0,8 y 1,2, durante 3 a 20 h; estas condiciones pueden variar en función de la composición exacta del acero tratado, y sobre todo de la profundidad de cementación buscada; típicamente para una temperatura de 960 °C, un tratamiento de 3 a 6 h permite cementar la pieza sobre una profundidad de 1 a 1,5 mm;
- difusión a una temperatura de 820 a 880 °C con un potencial de carbono comprendido entre el 0,6 y el 0,8 %, con un
- 10 tiempo de tratamiento de 1 a 4 h, típicamente del orden de 2 h; los criterios de elección de la temperatura de difusión están principalmente, y clásicamente para el experto en la materia, relacionados con la situación de los puntos de transformación de fase del grado tratado, y al hecho de que esta temperatura no debe ser demasiado elevada para minimizar las deformaciones de la pieza durante el temple que sigue;
- temple en aceite a una temperatura inferior o igual a 160 °C;
- 15 - revenido a una temperatura comprendida entre 150 y 250 °C y con una duración clásicamente del orden de 2 h, y en cualquier caso comprendida entre 1 y 4 h.

**[0038]** Este tipo de cementación solo es un ejemplo, se pueden utilizar otros procedimientos. En particular, se puede recurrir a una cementación a baja presión para evitar posibles problemas de oxidación superficial y/o intergranular durante el tratamiento, y también para acceder a profundidades de cementación más importantes que los 1 a 2 mm habitualmente accesibles mediante una cementación atmosférica y/o reducir la duración de cementación gracias a la temperatura elevada a la que se practica la cementación a baja presión.

**[0039]** En el caso de un procedimiento de cementación a baja presión conducida a una presión de unos pocos milibares (de 5 a 20 mbar), la sucesión de etapas puede ser la siguiente, para obtener un contenido de C superficial típicamente del 0,5 al 0,8 %;

- calentamiento hasta la temperatura del nivel de enriquecimiento; se aconseja una velocidad del orden de 10 °C/min para este calentamiento para procurar un buen control de la evolución del tamaño de los granos;
- 30 - nivel de enriquecimiento a una temperatura de 900 a 980 °C y con un potencial de carbono comprendido entre 0,8 y 1,2, con una duración de 3 a 20 h; estas condiciones pueden variar en función de la composición exacta del acero tratado, y sobre todo de la profundidad de cementación buscada; típicamente para un temperatura de 960 °C, un tratamiento de 3 a 6 h permite cementar la pieza sobre una profundidad de 1 a 1,5 mm, evitando problemas de oxidación de superficie que pueden aparecer durante una cementación atmosférica.
- 35 - difusión a una temperatura de 890-950 °C con un potencial de carbono comprendido entre el 0,6 y el 0,8 %, con un tiempo de tratamiento de 1 a 4 h, típicamente del orden de 2 h; los criterios de elección de la temperatura de difusión están principalmente, y clásicamente para el experto en la materia, relacionados con la situación de los puntos de transformación de fase del grado tratado, y al hecho de que esta temperatura no debe ser demasiado elevada para minimizar las deformaciones de la pieza durante el temple que sigue;
- 40 - temple, por ejemplo, en aceite o gas (presión de temple comprendida entre 3 y 10 bar), a una temperatura inferior o igual a 160 °C;
- revenido a una temperatura comprendida entre 150 y 250 °C y con una duración clásicamente del orden de 2 h, y en cualquier caso comprendida entre 1 y 4 h.

45 **[0040]** Por supuesto, las propiedades mecánicas obtenidas sobre el producto final dependen no solo de la composición del acero, sino también de los tratamientos térmicos y termomecánicos a los que se somete hasta la obtención del producto. Sin embargo, se puede resaltar que en el caso de que el producto final deba cementarse, las condiciones de su conformado en caliente por forjado, laminado u otro, tienen poca importancia. De hecho, la cementación está acompañada por una operación de temple y revenido que confiere al producto una nueva estructura

50 y borra las consecuencias del conformado en caliente. Entonces, este tratamiento es el que confiere al producto lo esencial de sus propiedades mecánicas, si no está seguido por ningún otro tratamiento que pueda modificarlas.

**[0041]** Ahora se van a describir los resultados de los ensayos efectuados en aceros según la invención y aceros de referencia. Todos los resultados presentados se han obtenido en coladas de laboratorio forjadas a 1200 °C en

55 barras de sección cuadrada de 40 mm de lado.

**[0042]** Antes del forjado, el acero se presenta en forma de lingotillos de sección cuadrada de 100x100 mm y de 200 mm de altura. Después del forjado, las barras de sección de 40x40 mm se enfrían al aire en reposo y después se normalizan durante 2 h a una temperatura de 875, 900 o 925 °C, elegida en función del punto de transformación

60 Ac3 del grado. Esta normalización está destinada a homogeneizar el contenido de carbono y la microestructura inicial en todo el producto.

**[0043]** La composición de los diferentes grados probados se da en la Tabla 1. Las coladas n.º 1 a 4 son aquellas cuya composición es conforme a la presente invención. Las coladas n.º 5 a 10 son aquellas en las que al menos uno

65 de los elementos de aleación está fuera de los intervalos reivindicados. Todas las concentraciones se dan en %

## ES 2 787 260 T3

ponderales, salvo el nitrógeno, el oxígeno y el boro, que se dan en ppm ponderales. La tabla indica asimismo la temperatura del punto de transformación Ac3 (en °C) de cada uno de los grados.

Tabla 1: composiciones y temperaturas Ac3 de las muestras probadas

	Muestra	C %	Si %	Mn %	Ni %	Cr %	Mo %	S %	P %	O ppm	Al %	N ppm	Cu %	B ppm	Ti %	V %	Ac3 (°C)
Inv.	1	0,107	0,274	1,484	0,067	2,107	0,443	0,008	0,009	7	0,022	115	0,07	3	0,009	0,01	857
Inv.	2	0,137	0,239	1,536	0,072	2,058	0,401	0,008	0,008	21	0,002	120	0,08	3	0,006	0,01	845
Inv.	3	0,114	0,235	0,893	0,059	1,428	0,406	0,005	0,007	10	0,030	67	0,06	31	0,023	0,01	874
Inv.	4	0,146	0,243	1,017	0,056	1,519	0,376	0,006	0,007	13	0,018	78	0,05	29	0,019	0,21	861
Ref.	5	0,160	0,040	1,240	0,180	1,380	0,090	0,031	0,08	18	0,020	148	0,21	1	0,002	0,00	826
Ref.	6	0,070	0,380	1,250	0,260	0,940	0,080	0,004	0,012	12	0,030	100	0,21	36	0,022	0,01	881
Ref.	7	0,130	0,260	1,350	0,050	1,660	0,100	0,008	0,008	9	0,020	175	0,05	25	0,006	0,01	848
Ref.	8	0,120	0,930	1,470	0,050	1,440	0,210	0,007	0,008	10	0,020	141	0,04	2	0,005	0,01	882
Ref.	9	0,120	0,250	1,110	0,060	1,920	0,160	0,006	0,008	14	0,020	155	0,06	10	0,006	0,01	851
Ref.	10	0,130	0,880	0,530	0,050	1,510	0,860	0,008	0,007	12	0,020	143	0,04	4	0,006	0,01	916



**[0044]** Dada la presencia significativa de Al con contenidos bastantes comparables, los contenidos de O de las diferentes muestras están todos comprendidos entre 7 y 21 ppm y no influyen sensiblemente en las propiedades obtenidas.

5 **[0045]** La templabilidad de las diferentes muestras se ha evaluado mediante ensayos Jominy. La temperatura de austenización se ha elegido, en función del punto de transformación del acero considerado, entre las temperaturas 875, 900 y 925 °C.

10 **[0046]** Para evaluar las características mecánicas, se han extraído piezas de sección cuadrada de 20 mm de lado de cada una de las barras forjadas, y después de se han tratado con el siguiente ciclo térmico:

- calentamiento hasta la temperatura de austenización
- austenización a 930 °C durante 30 minutos;

15 - temple en aceite a 30 °C;  
 - revenido a 190 °C durante 2 h;  
 - enfriamiento al aire.

**[0047]** Este ciclo de tratamiento permite estimar la resiliencia esperada en el núcleo de estas piezas tratadas mediante cementación.

**[0048]** A continuación, se han mecanizado probetas de tracción y de resiliencia (tipo Charpy con entalladura en V) en las piezas así tratadas. La Tabla 2 presenta los resultados obtenidos y se van a comparar con las propiedades requeridas para la producción de trépanos. Los datos subrayados indican los resultados que no son conformes al criterio  $J_1 > 40$ , o al criterio de templabilidad  $\beta < 3,5$  HRC, o cuyas características de elasticidad, de tracción y de resiliencia son insuficientes.

Tabla 2: propiedades mecánicas de las muestras probadas

	Muestra	T Jominy (°C)	$J_1$	$\beta$	Re (MPa)	Rm (MPa)	Kv 20 °C (J)
	Inv. 1	875	40,9	1,9	995	1280	121
	Inv. 2	875	43,5	2,9	967	1291	108
	Inv. 3	900	40,2	3	907	1204	160
	Inv. 4	900	43,6	2	949	1212	89
	Ref. 5	875	44,4	<u>10,1</u>	1016	1319	46
	Ref. 6	900	<u>35,4</u>	<u>10,7</u>	<u>746</u>	<u>850</u>	-
	Ref. 7	875	41	<u>10,1</u>	<u>821</u>	<u>1106</u>	123
	Ref. 8	925	43	<u>7,3</u>	982	1298	<u>72</u>
	Ref. 9	875	41,1	<u>9,2</u>	<u>887</u>	<u>1184</u>	109
	Ref. 10	925	41,2	<u>10,4</u>	<u>820</u>	<u>1114</u>	142

30 **[0049]** Se observa que todos los grados cuya composición es conforme a la presente invención están caracterizados por características mecánicas superiores a los mínimos requeridos para la producción de trépanos; es decir Re superior a 900 MPa, Rm superior a 1200 MPa, Kv a 20 °C superior a 75 J, y por una templabilidad que satisface los criterios  $\beta < 3,5$  HRC y  $J_1 > 40$  HRC. A la inversa, todos los grados cuya composición está fuera de la presente invención tienen una templabilidad insuficiente y/o características mecánicas demasiado bajas. Es, en concreto, el caso de la muestra 6 para la cual las características mecánicas Re y Rm son de todas maneras realmente demasiado bajas para que el acero sea utilizable para fabricar trépanos, y para el que no se ha considerado útil medir la resiliencia.

**[0050]** Asimismo, se ha probado la aptitud para la cementación de los aceros según la invención. Se han realizado ensayos de cementación en las siguientes condiciones.

**[0051]** Además, se han realizado ensayos en cilindros de 25 mm de diámetro y de 120 mm de longitud colocados en cargas industriales del orden de 150 a 200 kg. Tras la cementación, los cilindros cementados se han caracterizado de la siguiente manera:

45 - determinación, según la norma NF EN ISO 2639, de la profundidad convencional de cementación a 550 HV y de la dureza superficial por ensayos de microdureza bajo una carga de 0,1 kg (denominada "profundidad a 550 HV0,1");

- determinación del tamaño de grano austenítico en la capa y en el núcleo tras ataque de Béchet-Beaujard; esta evaluación se ha realizado de conformidad con la norma NF EN ISO 643;
- dosificación, por difracción de rayos X, del contenido en austenita residual a 20 µm bajo la superficie de las piezas.

5

**[0052]** Los ensayos de cementación se han realizado en los grados n.º 1 y n.º 3 colocados en una carga de cementación industrial y tratados a presión atmosférica en las siguientes condiciones:

- calentamiento a 9 °C/min hasta 950 °C;
- 10 - mantenimiento isotérmico a 950 °C durante 5 h con un potencial de carbono (denominado «potencial de carbono de enriquecimiento») del 1,2 %; hay que recordar que una atmósfera de cementación gaseosa se caracteriza por su potencial de carbono que es el contenido de carbono de una muestra del acero en equilibrio en estado austenítico con la atmósfera de cementación, a la temperatura y a la presión de utilización;
- enfriamiento a 870 °C y mantenimiento a esta temperatura durante 2 h con un potencial de carbono (denominado «potencial de carbono de difusión») comprendido entre 0,6 y 0,7%;
- 15 - temple en aceite a 30 °C;
- revenido a 190 °C durante 2 h.

**[0053]** Estas condiciones son las de un ciclo de cementación estándar utilizado para tratar los grados 20 13NiCrMo13 actualmente utilizados para la fabricación de conos de perforación.

**[0054]** Para ello, se ha colocado un cilindro de 13NiCrMo13 en la carga de cementación para servir de referencia y determinar las características de referencia que deben alcanzar, para el formato de muestra considerado, los grados elaborados de conformidad con la presente invención. La composición de la colada utilizada como 25 referencia se da en la Tabla 3.

Tabla 3: composición de la muestra de referencia de acero 13NiCrMo13

C (%)	Si (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mo (%)	S (%)	P (%)	O (ppm)	Al (%)	N (ppm)	Cu (%)
0,13	0,23	0,70	3,24	1,44	0,11	0,005	0,01	11	0,028	78	0,19

**[0055]** El potencial de carbono en la fase de difusión (potencial de carbono dif) se ha adaptado al grado tratado 30 de manera que se controle el contenido superficial de austenita residual.

**[0056]** Los resultados de caracterización del grado de referencia se dan en la Tabla 4. Estos dos grados elaborados de conformidad con la presente invención se dan en la Tabla 5. Se observa que las características de los grados conformes a la presente invención son idénticos o casi idénticos a los del grado de referencia, y por tanto 35 respetan todos los aspectos los mínimos requeridos para la fabricación de trépanos de perforación, es decir:

- profundidad de cementación comprendida entre 1 y 1,5 mm;
- dureza superficial superior a 670 HV;
- contenido de austenita residual inferior al 40 %;
- 40 - índice de grano ASTM superior a 5.

Tabla 4: resultados de los ensayos de cementación (Referencia)

	Tamaño de grano	Austenita residual (%)	Profundidad a 550 HV0,1 (mm)	Dureza superficial (HV0,1)	Potencial de carbono enriquecido (%)	Potencial de carbono de difusión (%)
13NiCrMo13 (referencia)	ASTM 6/7	36 ± 1,5	1,4	680	1,2	0,7

Tabla 5: resultados de los ensayos de cementación (Invención)

	Tamaño de grano	Austenita residual (%)	Profundidad a 550 Hv0,1 (mm)	Dureza superficial (HV0,1)	Potencial de carbono enriquecido (%)	Potencial de carbono de difusión (%)
Muestra 1 (Invención)	ASTM 6/8	39 ± 3	1,35	750	1,2	0,6
Muestra 3 (Invención)	ASTM 6/7	36 ± 1,5	1,4	700	1,2	0,7

45

**REIVINDICACIONES**

1. Trépano de perforación cementado de acero, **caracterizado porque** el trépano de perforación es de un acero cuya composición, en porcentajes ponderales, es:

5

- 0,1 %  $\leq$  C  $\leq$  0,15 %;
- 0,8 %  $\leq$  Mn  $\leq$  2 %;
- 1 %  $\leq$  Cr  $\leq$  2,5 %;
- 0,2 %  $\leq$  Mo  $\leq$  0,6 %;

10

- trazas  $\leq$  Si  $\leq$  0,35 %;
- trazas  $\leq$  Ni  $\leq$  0,7 %;
- trazas  $\leq$  B  $\leq$  0,005 %;
- trazas  $\leq$  Ti  $\leq$  0,1 %;
- trazas  $\leq$  N  $\leq$  0,01 % si 0,0005 %  $\leq$  B  $\leq$  0,005 %, y trazas  $\leq$  N  $\leq$  0,02 % si trazas  $\leq$  B  $\leq$  0,0005 %;

15

- trazas  $\leq$  Al  $\leq$  0,1 %;
- trazas  $\leq$  V  $\leq$  0,3 %;
- trazas  $\leq$  P  $\leq$  0,025 %;
- trazas  $\leq$  Cu  $\leq$  1 %, preferentemente  $\leq$  0,6 %;
- trazas  $\leq$  S  $\leq$  0,1 %

20

el resto es hierro e impurezas resultantes de la elaboración, y **porque** la pieza se ha sometido a una cementación.

2. Trépano de perforación según la reivindicación 1 **caracterizado porque** el contenido de O del acero es inferior o igual a 30 ppm.

25

3. Procedimiento de fabricación de un trépano de perforación cementado, **caracterizado porque**:

30

- se prepara una preforma de dicho trépano de perforación con un acero cuya composición, en porcentajes ponderales es:

- 0,1 %  $\leq$  C  $\leq$  0,15 %;
- 0,8 %  $\leq$  Mn  $\leq$  2 %;
- 1 %  $\leq$  Cr  $\leq$  2,5 %;
- 0,2 %  $\leq$  Mo  $\leq$  0,6 %;

35

- trazas  $\leq$  Si  $\leq$  0,35 %;
- trazas  $\leq$  Ni  $\leq$  0,7 %;
- trazas  $\leq$  B  $\leq$  0,005 %;
- trazas  $\leq$  Ti  $\leq$  0,1 %;
- trazas  $\leq$  N  $\leq$  0,01 % si 0,0005 %  $\leq$  B  $\leq$  0,005 %, y trazas  $\leq$  N  $\leq$  0,02 % si trazas  $\leq$  B  $\leq$  0,0005 %;

40

- trazas  $\leq$  Al  $\leq$  0,1 %;
- trazas  $\leq$  V  $\leq$  0,3 %;
- trazas  $\leq$  P  $\leq$  0,025 %;
- trazas  $\leq$  Cu  $\leq$  1 %, preferentemente  $\leq$  0,6 %;
- trazas  $\leq$  S  $\leq$  0,1 %

45

el resto es hierro e impurezas resultantes de la elaboración, y se le da forma mediante forjado;

- y se practica una cementación en dicha preforma.

50

4. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque** la cementación se realiza a presión atmosférica, y **porque** la sucesión de etapas de la cementación es la siguiente:

55

- calentamiento hasta la temperatura del nivel de enriquecimiento.
- nivel de enriquecimiento a una temperatura de 900 a 980 °C durante 3 a 20 h y con un potencial de carbono comprendido entre el 0,8 y el 1,2 %;
- difusión a una temperatura de 820 a 880 °C con un potencial de carbono comprendido entre el 0,6 y el 0,8 % con un tiempo de tratamiento de 1 a 3 h;
- temple del aceite a una temperatura inferior o igual a 160 °C - revenido a una temperatura comprendida entre 150 y 250 °C y con una duración comprendida entre 1 y 4 h.

60

5. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque** la cementación se realiza a baja presión, **porque** dicha presión es de 5 a 20 mbar, y **porque** la sucesión de etapas de la cementación es la siguiente:

65

- calentamiento hasta la temperatura del nivel de enriquecimiento.

## ES 2 787 260 T3

- nivel de enriquecimiento a una temperatura de 900 a 980 °C durante 3 a 20 h y con un potencial de carbono comprendido entre el 0,8 y el 1,2 %;
- difusión a una temperatura de 890 a 950 °C con un potencial de carbono comprendido entre el 0,6 y el 0,8 %, con un tiempo de tratamiento de 1 a 4 h;
- 5 - temple a una temperatura inferior o igual a 160 °C- revenido a una temperatura comprendida entre 150 y 250 °C y con una duración comprendida entre 1 y 4 h.