

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 729 644**

51 Int. Cl.:

C22C 38/44 (2006.01)

C22C 38/50 (2006.01)

C22C 38/46 (2006.01)

C21D 8/00 (2006.01)

C21D 6/00 (2006.01)

C21D 7/13 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.05.2005 PCT/FR2005/001191**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.12.2005 WO05123975**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.05.2005 E 05770867 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2019 EP 1751321**

54 Título: **Acero de alta resistencia mecánica y resistencia al desgaste**

30 Prioridad:

21.05.2004 FR 0405535

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

05.11.2019

73 Titular/es:

**INDUSTEEL FRANCE (100.0%)
Immeuble "Le Cézanne", 6, rue André Campra
93200 Saint-Denis, FR**

72 Inventor/es:

**BEGUINOT, JEAN y
VIALE, DOMINIQUE**

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 729 644 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 de alta resistencia mecánica y resistencia al desgaste

5 **[0001]** La presente invención se refiere a un acero de alta resistencia mecánica y alta resistencia al desgaste.

[0002] En numerosas industrias se utiliza aceros de alta resistencia al desgaste elevado. Son por ejemplo aceros destinados a fabricar equipos para la industria minera y que deben resistir a la abrasión. También son aceros destinados a fabricar herramientas para la conformación en frío o en semicaliente de piezas metálicas y que deben resistir al desgaste por fricción metal contra metal. Para estas aplicaciones de utillaje, al menos, los aceros deben conservar buenas propiedades a pesar de los calentamientos a temperaturas que pueden alcanzar 500 °C, o incluso 600 °C.

15 **[0003]** Además de esta resistencia al desgaste, los aceros considerados aquí deben tener propiedades adaptadas con el fin de poder ser mecanizadas o soldadas. Deben, por último, poder resistir a los golpes o a esfuerzos intensos.

[0004] De manera general, para obtener el conjunto de propiedades deseadas, se utiliza habitualmente aceros que contienen aproximadamente entre 0,3 % y 1,5 % de carbono, menos de 2 % de silicio, menos de 2 % de manganeso, opcionalmente hasta 3 % de níquel, entre 1 % y 12 % de cromo, entre 0,5 % y 5 % de molibdeno, con adición opcional de vanadio o niobio.

25 **[0005]** En estos aceros, la resistencia al desgaste se debe fundamentalmente al endurecimiento causado por la precipitación secundaria de carburos de molibdeno. Esta resistencia al desgaste puede ser mejorada, en su caso, por la presencia de grandes carburos ledeburíticos especialmente ricos en cromo.

[0006] La presencia necesaria de altos contenidos de elementos carburógenos importantes, tales como molibdeno y vanadio, que asegura una precipitación secundaria lo suficientemente endurecida y estable a temperatura, presenta, no obstante, el inconveniente de generar la formación de venas altamente segregadas en estos elementos y en carbono y, por lo tanto, muy duras y muy frágiles. Estas venas segregadas hacen que el mecanizado o la soldadura sea difícil. Además, constituyen zonas frágiles que, incluso localizadas, pueden reducir de manera muy significativa la resistencia a los golpes y a los esfuerzos de flexión intensos de las piezas.

35 **[0007]** El objetivo de la presente invención es superar este inconveniente proponiendo un medio para obtener un acero cuyas propiedades son equivalentes a las de los aceros conocidos, pero cuya nocividad de venas segregadas se reduce de manera significativa.

[0008] A tal fin, se describe a continuación una forma de reducir la nocividad de las venas segregadas de un acero de alta resistencia mecánica y alta resistencia al desgaste, no según la invención, cuya composición comprende en peso:

0,30 %	≤	C	≤	1,42 %
0,05 %	≤	Si	≤	1,5 %
		Mn	≤	1,95 %
		Ni	≤	2,9 %
1,1 %	≤	Cr	≤	7,9 %
0,61 %	≤	Mo	≤	4,4 %

45 - opcionalmente uno o más elementos seleccionados entre vanadio, niobio y tántalo en cantidades tales que

$$V \leq 1,45 \%, Nb \leq 1,45 \%, Ta \leq 1,45 \%, \text{ et } V + Nb/2 + Ta/4 \leq 1,45 \%,$$

- opcionalmente hasta 0,1 % de boro,

50 - opcionalmente hasta 0,19 % de azufre, hasta 0,38 % de selenio y hasta 0,76 % de telurio, la suma $S + Se/2 + Te/4$ es inferior o igual a 0,19 %,

- opcionalmente hasta 0,01 % de calcio,

55 - opcionalmente hasta 0,5 % de tierras raras,

- opcionalmente hasta 1 % de aluminio,

ES 2 729 644 T3

- opcionalmente hasta 1 % de cobre,

siendo el resto hierro e impurezas resultantes de la elaboración. La composición cumple además:

$$800 \leq D \leq 1150$$

5

con:

$$D = 540 (C)^{0,25} + 245 (Mo + 3 V + 1,5 Nb + 0,75 Ta)^{0,30} + 125 Cr^{0,20} + 15,8 Mn + 7,4 Ni + 18 Si$$

10

[0009] Con tal fin:

- se sustituye la totalidad o parte del molibdeno con una proporción doble de tungsteno de modo que el contenido W de tungsteno sea superior o igual a 0,21 %,
15

- y se añade titanio y/o circonio destinados a formar, principalmente durante la solidificación, grandes carburos, y un suplemento de carbono δC igual a $Ti/4 + Zr/8$, de modo que el contenido de carbono antes del ajuste se contemplará igual a $C' = C$ antes del ajuste + $Ti/4 + Zr/8$.

20 **[0010]** Los contenidos añadidos de titanio y/o circonio serán tales que:

$$Ti + Zr/2 \geq 0,2 \times W$$

$$(Ti + Zr/2) \times C' \geq 0,07$$

es decir, dado que $C' = (C + Ti/4 + Zr/8)$ (en el que C = contenido de carbono antes del ajuste):

25

$$(Ti + Zr/2) \geq 2 (-C + \sqrt{C^2 + 0,07})$$

y,

30

$$Ti + Zr/2 \leq 1,49 \%$$

[0011] La cantidad de carbono añadida δC que forma de manera precoz carburos de titanio y/o circonio, ya no está disponible y, por lo tanto, no interviene en la precipitación secundaria endurecida de carburos de molibdeno, tungsteno, vanadio y, de forma secundaria, cromo. Esto depende del carbono libre C^* después del ajuste = $C' - Ti/4 - Zr/8$. De ello resulta que el endurecimiento del acero no sea modificado por el procedimiento en una dispersión estrechamente relacionada con las dispersiones prácticas de realización observadas en acería. Se estima en este sentido, que la dispersión resultante en la factura D no exceda $\pm 5 \%$, por lo que se desea:

35

0,95 x D antes del ajuste \leq D después del ajuste \leq 1,05 x D antes del ajuste, en el que D después del ajuste = $540 (C' - Ti/4 - Zr/8)^{0,25} + 245 (Mo \text{ después del ajuste} + W/2 + 3 V + 1,5 Nb + 0,75 Ta)^{0,30} + 125 Cr^{0,20} + 15,8 Mn + 7,4 Ni + 18 Si$.

40

[0012] Preferentemente, se ajusta la composición para que D después del ajuste = D antes del ajuste.

[0013] Cuando el contenido de cromo está comprendido entre 2,5 y 3,5 %, y si los contenidos de carbono, titanio y circonio son tales que $C \geq 0,51 \%$ antes del ajuste, se limita preferentemente los contenidos de W para que, después del ajuste, $W \leq 0,85 \%$ si $Mo < 1,21 \%$ y $W/Mo \leq 0,7$ si $Mo \geq 1,21 \%$.

45

[0014] La invención se refiere por tanto a un acero de alta resistencia mecánica y de alta resistencia al desgaste, opcionalmente obtenible mediante el procedimiento según la invención, cuya composición química comprende, en peso:

50

$$0,35 \% \leq C \leq 1,47 \%,$$

ES 2 729 644 T3

$$0,05 \% \leq \text{Si} \leq 1,5 \%,$$

$$\text{Mn} \leq 1,95 \%,$$

5

$$\text{Ni} \leq 2,9 \%,$$

$$1,1 \% \leq \text{Cr} \leq 7,9 \%,$$

$$0 \% \leq \text{Mo} \leq 4,29 \%,$$

10

$$0,21 \% \leq \text{W} \leq 4,9 \%$$

$$0,61 \% \leq \text{Mo} + \text{W}/2 \leq 4,4 \%$$

$$0 \% \leq \text{Ti} \leq 1,49 \%$$

15

$$0 \% \leq \text{Zr} \leq 2,9 \%$$

$$0,2 \% \leq \text{Ti} + \text{Zr}/2 \leq 1,49 \%$$

20

- opcionalmente uno o más elementos seleccionados entre vanadio, niobio y tantalio, en contenidos tales que $V \leq 1,45 \%$, $Nb \leq 1,45 \%$, $Ta \leq 1,45 \%$ y $V + Nb/2 + Ta/4 \leq 1,45 \%$,

25

- opcionalmente hasta 0,1 % de boro,

- menos de 0,005 % de azufre,

- opcionalmente hasta 0,01 % de calcio,

30

- opcionalmente hasta 0,5 % de tierras raras,

- opcionalmente hasta 1 % de aluminio,

35

- opcionalmente hasta 1 % de cobre,

siendo el resto hierro e impurezas resultantes de la elaboración,

la composición cumple con las siguientes condiciones:

40

$$(\text{Ti} + \text{Zr}/2)/\text{W} \geq 0,20$$

$$(\text{Ti} + \text{Zr}/2) \times \text{C} \geq 0,07$$

45 $0,3 \% \leq \text{C}^* \leq 1,42 \%$, y preferentemente $\leq 1,1 \%$

$$800 \leq D \leq 1150$$

con

$$D=540 (C^*)^{0,25} + 245 (Mo + W/2 + 3V + 1,5 Nb + 0,75 Ta)^{0,3} \\ + 125 Cr^{0,20} + 15,8 Mn + 7,4 Ni + 18 Si$$

$$C^* = C - Ti/4 - Zr/8,$$

5 además, si $C^* \geq 0,51 \%$, y si $2,5 \% \leq Cr \leq 3,5 \%$, entonces $W \leq 0,85 \%$ si $Mo < 1,21 \%$, y $W/Mo \leq 0,7$ si $Mo \geq 1,21 \%$.

[0015] Preferentemente, el acero puede cumplir además una o más de las siguientes condiciones:

10 Si $< 0,45 \%$, si se desea favorecer la conductividad térmica, o

Si $\geq 0,45 \%$ si se desea favorecer la capacidad de trabajo en caliente, o incluso:

15 Mo + W/2 $\geq 2,2 \%$ para aumentar la resistencia al ablandamiento del acero e impartirle una resistencia elevada; Cr $\geq 3,5 \%$ para contribuir tanto a la templabilidad como al endurecimiento;

C $\leq 0,85 \%$ si se quiere favorecer la tenacidad,

o

20 C $> 0,85 \%$ si se quiere obtener una resistencia al desgaste lo más elevada posible.

[0016] Además, el acero puede ser tal que:

$$Ti + Zr/2 < 0,7 \%$$

25 con el fin de favorecer la tenacidad,

o tal que:

$$Ti + Zr/2 \geq 0,7 \%$$

30

con el fin de favorecer la resistencia al desgaste.

[0017] La invención se refiere asimismo a un procedimiento de fabricación de una pieza de acero según la invención, según el cual:

- se elabora un acero líquido que tiene la composición deseada ajustando los contenidos de titanio y/o circonio en el baño de acero fundido, preferentemente evitando en todo momento las concentraciones excesivas locales de titanio y/o circonio en el baño de acero fundido,

40

- se cuela dicho acero para obtener un producto semiacabado,

- después se somete dicho producto semiacabado a un tratamiento de conformación por deformación plástica en caliente y, opcionalmente, a un tratamiento térmico, para obtener dicha pieza.

45

[0018] Preferentemente, con el objetivo de limitar las concentraciones excesivas transitorias en el baño líquido, la adición de titanio y/o circonio se realiza ajustando de manera progresiva el titanio y/o circonio en una escoria que recubre el baño de acero líquido y dejando el titanio y/o circonio distribuyéndose lentamente en el baño de acero líquido.

50

[0019] La adición de titanio y/o circonio también se puede llevar a cabo por introducción de un alambre que incluye titanio y/o circonio en el baño de acero líquido, mientras se agita el baño.

[0020] La invención se refiere por último a una pieza de acero según la invención que puede obtenerse por el procedimiento de fabricación según la invención.

5 **[0021]** La invención se describirá ahora en más detalle pero de manera no limitativa e ilustrará por ejemplos y la única figura que representa la tasa de segregación de tungsteno en función de la relación $(Ti+Zr/2)/W$ para diferentes aceros.

[0022] Es conocido que el tungsteno es un elemento de aleación cuyos efectos sobre las propiedades del acero son comparables a los del molibdeno. En particular, se sabe que el tungsteno tiene efectos de endurecimiento y de resistencia al ablandamiento térmico comparables a los del molibdeno en la proporción de dos partes de tungsteno por una parte de molibdeno. Sin embargo, el tungsteno es poco utilizado excepto en ciertos aceros muy aleados no afectados por la presente invención, y en particular porque es mucho más costoso que el molibdeno. Es más, el tungsteno, al igual que el molibdeno, presenta el inconveniente de segregar profundamente y dar lugar a venas segregadas muy duras y muy frágiles.

[0023] No obstante, los inventores han comprobado, de manera novedosa y sorprendente, que en presencia de cantidades suficientes de titanio o circonio, la segregación de tungsteno se atenúa muy sustancialmente; hecho particularmente interesante a utilizar cuando, además, el contenido de molibdeno es también ya relativamente elevado.

20 **[0024]** Una hipótesis que puede aclarar a posteriori este resultado inesperado podrá ser la siguiente:

- los elementos tales como molibdeno y tungsteno forman carburos en forma de finos precipitados que endurecen la matriz y así permiten obtener la dureza deseada para el acero. Las venas segregadas, que se caracterizan en concreto por concentraciones excesivas de molibdeno o tungsteno presentan, por ende, un gran aumento de la densidad de precipitados endurecidos y por ende un fuerte aumento local de dureza y fragilidad.

- El titanio o el circonio forman asimismo carburos. Pero estos carburos son relativamente grandes, y en consecuencia, comparativamente pocos y no tienen ningún efecto endurecedor significativo en la matriz metálica en sí.

- Los inventores han descubierto de manera novedosa e inesperada que, cuando el acero contiene simultáneamente titanio y/o circonio, por una parte, y tungsteno por otra parte, el tungsteno tiende a precipitarse junto con el titanio y/o circonio para formar grandes precipitados no endurecidos.

35 **[0025]** Así, en vista de estas observaciones, se puede pensar, que en presencia de titanio y/o circonio, el contenido de tungsteno y por lo tanto la densidad de finos precipitados endurecidos de carburos se reduce y esto, más particularmente en las venas segregadas en las que los grandes carburos de titanio o circonio son mucho más numerosos, por el mismo hecho de la segregación. De ello se deduce que la diferencia de dureza entre las venas segregadas y las zonas no segregadas sería de este modo sustancialmente atenuada, y la nocividad de las venas segregadas (en particular la presencia de un aumento de zonas de fragilidad, dificultades de mecanizado, respuesta heterogénea al pulido y al graneado, a la soldadura de recargue...) se reduciría.

45 **[0026]** Basándose en estas observaciones y en la hipótesis que se acaba de formular, los inventores han ideado una manera de reducir significativamente los inconvenientes de las venas segregadas de aceros que contienen una proporción significativa de molibdeno, al tiempo que se conserva el conjunto de propiedades de uso esenciales del acero en cuestión.

50 **[0027]** Esta reducción se aplica a un acero, no según la invención, que, antes del ajuste, contiene principalmente 0,30 % a 1,42 % de carbono, 0,05 % a 1,5 % de silicio, menos de 1,95 % de manganeso, menos de 2,9 % de níquel, 1,1 % a 7,9 % de cromo, 0,61 % a 4,4 % de molibdeno, opcionalmente hasta 1,45 % de vanadio, hasta 1,45 % de niobio, menos de 1,45 % de tantalio con $V + Nb/2 + Ta/4 \leq 1,45$ %. Este acero tiene un índice de dureza D, que se explicará más tarde, comprendido entre 800 y 1150. Puede contener, además, hasta 0,1 % de boro, hasta 0,19 % de azufre, hasta 0,38 % de selenio, hasta 0,79 % de telurio, la suma $S + Se/2 + Te/4$ es inferior a 0,19 %, 55 opcionalmente hasta 0,01 % de calcio, hasta 0,5 % de tierras raras, hasta 1 % de aluminio y hasta 1 % de cobre.

[0028] Se sustituye la totalidad o parte del molibdeno con una proporción sustancialmente doble de tungsteno, se añade titanio y/o circonio con el fin de obtener cantidades suficientes de titanio y/circonio teniendo en cuenta las cantidades de tungsteno introducidas en acero, y se ajusta el contenido de carbono de manera que, en concreto, la dureza del acero permanece sustancialmente sin cambios.

60 **[0029]** Para ello, por ejemplo mediante el uso de la fórmula que permite calcular el índice de dureza D que se explicará más adelante o por otros medios conocidos por los expertos en la materia, se selecciona la composición a contemplar para el acero sin tungsteno con el fin de obtener las características de empleo buscadas, en particular el nivel de dureza. Acto seguido se modifica la composición contemplada al seleccionar un contenido de tungsteno,

ajustando en consecuencia el contenido de molibdeno y los contenidos de titanio o circonio y de carbono de modo que al menos una de las características de empleo principales, en particular la dureza, permanece sustancialmente sin cambios. Acto seguido, se elabora un acero que corresponde al análisis modificado. Por «sustancialmente sin cambios», se entiende, por ejemplo, que la dureza del acero después del ajuste de la composición es igual a la dureza del acero antes del ajuste de la composición, aproximadamente 5 %. Esta tolerancia se introduce para reflejar las dificultades prácticas en la producción de un acero con propiedades exactamente definidas con antelación. Sin embargo, es deseable que las características obtenidas sean las más cercanas posible a las características contempladas para el acero antes del ajuste de la composición. Además, es preferible que la tolerancia solo sea de 2 %, y, en la medida en que solo se considera únicamente las características contempladas, es aún más preferible que la característica de dureza contemplada después del ajuste de la composición sea igual a la característica de dureza contemplada antes del ajuste de la composición.

[0030] La cantidad de tungsteno añadida debe ser superior o igual a 0,21 %, preferentemente superior a 0,4 %, más preferentemente superior a 0,7 %, y aún más preferentemente superior a 1,05 %. De hecho, cuanto más importante sea la sustitución de molibdeno con tungsteno, más marcado será el efecto en las segregaciones. Sin embargo, este efecto depende de los contenidos de titanio o circonio, lo que da lugar, en general, a limitar aún más la adición máxima de tungsteno.

[0031] Para obtener el efecto deseado en las segregaciones, los contenidos de titanio y circonio deben ser tales que la suma $Ti + Zr/2$ sea superior o igual a $0,2 \times W$, preferentemente superior o igual a $0,4 \times W$, más preferentemente superior o igual a $0,6 \times W$. Sin embargo, por razones que se explicarán más adelante, no es deseable aumentar en exceso los contenidos de titanio o circonio. Esto conduce indirectamente a limitar las adiciones de tungsteno a 4,9 % como máximo. En general, el contenido de tungsteno permanece por debajo de 2,9 %, más preferentemente 1,9 % o incluso inferior o igual a 0,85 %, incluso 0,49 %.

[0032] Además, en función de los contenidos de titanio y/o circonio, el contenido de carbono debe ajustarse para que el contenido de carbono libre $C^* = C' - Ti/4 - Zr/8$ permanezca sustancialmente constante, es decir, para que el contenido de carbono libre C^* después del ajuste de la composición sea sustancialmente igual al contenido de carbono C antes del ajuste de la composición (en esta fórmula, C' representa el contenido de carbono del acero después del ajuste de la composición). Esta condición es necesaria para mantener de manera sustancialmente constante la dureza y la resistencia al ablandamiento térmico del acero. D es el índice de dureza que se definirá más adelante, se contempla tener:

$0,95 \times D$ antes del ajuste $\leq D$ después del ajuste $\leq 1,05 \times D$ ventajosamente

o preferentemente:

$0,98 \times D$ antes del ajuste $\leq D$ después del ajuste $\leq 1,02 \times D$ antes del ajuste

o incluso mejor:

D después del ajuste = D antes del ajuste.

[0033] En la práctica, el procedimiento de la elección de los contenidos a ajustar incluye:

- la elección del contenido de tungsteno para sustituir una parte media de molibdeno, en función del grado mínimo de reducción deseado de segregación (las tablas 2, 3, 4 o la figura pueden servir de guía en este sentido);
- la elección del contenido de Ti y/o Zr , más o menos elevado en función de si se favorece respectivamente la resistencia al desgaste o la tenacidad y que debe además ser suficiente con respecto a la adición de tungsteno puesto que es necesario que $(Ti + Zr/2) \geq 0,2 W$.
- la determinación del aumento de carbono a contemplar en función de los contenidos anteriores, a saber, $\delta C = Ti/4 + Zr/8$.

[0034] A continuación se describirá el acero según la invención, que puede ser obtenido por el procedimiento según la invención y que presenta la ventaja de tener venas segregadas menos nocivas que las de los aceros con la misma dureza, según la técnica anterior.

[0035] El acero según la invención contiene al menos 0,35 % de carbono, preferentemente más de 0,51 % y más preferentemente 0,65 %, con el fin de poder formar de manera suficiente carburos y alcanzar el nivel de dureza que se desea obtener, pero hasta un 1,47 % y preferentemente menos de 1,1 % y más preferentemente menos de 0,98 % con el fin de evitar que el acero sea demasiado frágil. Como se ha señalado anteriormente, el acero contiene titanio y circonio, y estos elementos se combinan a alta temperatura con el carbono para formar carburos primarios.

Así, tras la formación de carburos primarios de titanio y circonio, el carbono referido como «libre» que queda disponible para actuar en las propiedades de la matriz es carbono libre, no combinado con titanio y circonio. Esta cantidad de carbono no combinado con titanio y con circonio, designada por C^* , es tal que: $C^* = C - Ti/4 - Zr/8$ (C, Ti y Zr tienen los mismos contenidos de acero de carbono, titanio y circonio, respectivamente; en lo sucesivo C, se denominará
5 asimismo «contenido de carbono total»). Esta cantidad de carbono disponible, debe ser suficiente para permitir la precipitación de carburos secundarios y en particular de carburos de tungsteno, molibdeno u otros elementos que se agregan al acero, y desde este punto de vista, este contenido de carbono libre C^* debe ser superior o igual a 0,3 %. No obstante, este contenido no debe de superar 1,42 %, y preferentemente 1,1 % o preferentemente 0,98 %, o más preferentemente 0,79 %, para no perjudicar excesivamente la tenacidad de la propia matriz.

10

[0036] Además, puede ser deseable limitar aún más el contenido máximo de carbono total C a 0,85 %, o preferentemente 0,79 %, con el fin de facilitar las operaciones de producción, en particular para reducir las precauciones que se deben tomar para el enfriamiento de lingotes o desbastes, entonces se prefiere que el contenido de C^* permanezca por debajo de 0,60 %, o incluso de 0,50 %. Por el contrario, puede ser deseable elegir un contenido
15 de carbono total C superior a 0,85 %, con el fin de mejorar la resistencia mecánica y la resistencia al desgaste del acero. Esta elección se hace caso por caso, en función del uso que se prevé para el acero.

[0037] El acero contiene al menos 0,05 % de silicio, ya que este elemento es un desoxidante. Es más, contribuye un poco al endurecimiento del acero. No obstante, el contenido de silicio debe permanecer inferior o igual a 1,5 % y preferentemente inferior o igual a 1,1 %, más preferentemente 0,9 %, y más preferentemente inferior o igual a 0,6 %, con el fin de evitar debilitar excesivamente el acero y reducir demasiado su capacidad de deformación plástica en caliente, por ejemplo, por laminado. Además, puede ser deseable imponer un contenido mínimo de silicio de 0,45 %, y preferentemente de 0,6 %, con el fin de mejorar la maquinabilidad del acero y también mejorar la resistencia a la oxidación. La mejora en la resistencia a la oxidación es particularmente deseable cuando el acero se utiliza para
20 fabricar piezas destinadas a trabajar a temperaturas relativamente elevadas del orden de 450 °C a 600 °C, lo que requiere una resistencia al ablandamiento suficiente. Sin embargo, cuando se desea obtener una resistencia al ablandamiento suficiente para tales condiciones de trabajo, es deseable que el contenido de Mo + W/2 sea superior o igual a 2,2 %. Por ello, los valores mínimos de contenido de silicio, 0,45 % o preferentemente 0,6 %, son particularmente más interesantes cuando los contenidos de molibdeno y tungsteno son tales que la suma de Mo + W/2
25 es superior o igual a 2,2 %, sin que ello tenga, no obstante, un carácter exclusivo. No obstante, para determinadas aplicaciones, es deseable que la conductividad térmica del acero sea lo mayor posible. En este caso, es deseable que el contenido de silicio se mantenga inferior a 0,45 %, y, preferentemente, sea lo más bajo posible.

[0038] El acero contiene manganeso hasta un 1,95 % en peso con el fin de mejorar la templabilidad del acero, pero este contenido debe permanecer preferentemente inferior o igual a 1,5 % y más preferentemente inferior o igual a 0,9 % con el fin de limitar las segregaciones que provocan una forjabilidad deficiente y una tenacidad insuficiente. Cabe destacar que el acero contiene siempre una pequeña cantidad de manganeso, unas pocas décimas de porcentaje, con el fin, en concreto, de fijar el azufre y es preferible que el contenido de Mn sea de al menos 0,4 %.

[0039] El acero contiene hasta un 2,9 % de níquel para ajustar la templabilidad y mejorar la tenacidad. Pero este elemento es muy caro. Además, en general, no se busca un contenido de níquel que supere 0,9 % o incluso 0,7 %. El acero puede no contener níquel pero cuando el níquel no se añade deliberadamente, resulta interesante que el acero contenga hasta un 0,2 %, incluso hasta 0,4 % en forma de residuos que resultan de la elaboración.

[0040] El acero contiene al menos 1,1 % de cromo y más preferentemente 2,1 %, y aún más preferentemente 3,1 % e incluso más de 3,5 %, con el fin de obtener una templabilidad suficiente y aumentar el endurecimiento al revenido, pero hasta 7,9 %, y más preferentemente menos de 5,9 % o incluso más preferentemente, menos de 4,9 % con el fin de no entorpecer la formación de carburos secundarios, en concreto, que contienen Mo y/o W y, como tales, más eficaces que los carburos de cromo ante el endurecimiento.

50

[0041] Estos carburos secundarios (es decir, formados tras el enfriamiento después de la reaustenización y especialmente durante un revenido o revenidos) son mucho más finos y numerosos que los carburos ledeburíticos (opcionalmente obtenidos al final de la solidificación). Contribuyen en gran medida al endurecimiento de la matriz metálica después del revenido. En general son útiles para reforzar la resistencia al desgaste de la matriz, limitando así
55 el riesgo de segregación de grandes carburos muy duros de titanio y/o circonio que, a su vez, aportan una fuerte contribución adicional a la resistencia al desgaste del acero.

[0042] Dentro de este campo de contenido de cromo, es deseable distinguir dos subdominios preferidos. De hecho, cuando el contenido de cromo es suficientemente elevado, este elemento tiende a formar, en concreto, en las
60 venas segregadas, carburos de tipo ledeburíticos que son gruesos y más o menos dispuestos en redes interdendríticas. Estos carburos, a pesar de un determinado efecto favorable sobre la resistencia al desgaste, contribuyen especialmente a una fragilización al menos local de la matriz. De modo que cuando se desea dar prioridad a la dureza y a la resistencia al desgaste a expensas de la tenacidad, es deseable seleccionar un contenido de cromo superior o igual a 3,5 %, lo que favorece la presencia de carburos de tipo ledeburíticos. Por el contrario, cuando se
65 desea favorecer la tenacidad del acero mediante la aceptación de una ligera reducción de la resistencia al desgaste,

es preferible seleccionar un contenido de cromo inferior o igual a 2,5 %. Sin embargo, en el intervalo intermedio de 2,5 a 3,5 % de cromo, todavía es posible favorecer la tenacidad bien limitando el contenido de carbono libre a menos de 0,51 %, bien limitando el contenido de tungsteno o incluso la relación de tungsteno a molibdeno, ya que el tungsteno, debido a su propensión a formar carburos más estables en temperatura que los de molibdeno, tiende a favorecer la formación de carburos ledeburíticos de cromo aleándose preferentemente entre sí.

[0043] Los contenidos de molibdeno y tungsteno del acero deberán ser tales que la suma $Mo + W/2$ sea superior o igual a 0,61 %, preferentemente superior o igual a 1,1 %, y más preferentemente superior o igual a 1,6 %. Incluso es deseable que este contenido sea superior a 2,2 % con el fin de obtener un endurecimiento significativo así como una mejor resistencia al ablandamiento térmico, en particular cuando el uso del acero hace que sea calentado a temperaturas que pueden superar los 450 °C aproximadamente. Se trata por ejemplo del caso de los aceros utilizados para la fabricación de herramientas de trabajo en semicaliente del acero. En este caso, la suma $Mo + W/2$ podrá llegar hasta 2,9 %, incluso 3,4 %, o incluso 3,9 %, según la dureza deseada y la temperatura de revenido que se desea alcanzar en las piezas. Para acceder a un nivel muy alto de resistencia al desgaste de la matriz y limitar al máximo el efecto de debilitar y retrasar así al máximo la segregación de grandes carburos de Ti o Zr, $Mo+W/2$ puede incluso alcanzar hasta 4,4 %.

[0044] El interés que despierta el aumento del contenido de $(Mo + W/2)$, es decir, incluso en el contenido de molibdeno antes de la aplicación del procedimiento, hace que sea aún más interesante para tomar en consideración puesto que la segregación de carburígenos Mo, sin la aplicación del procedimiento, está aumentando con el contenido de estos elementos.

[0045] En el contexto definido previamente para los contenidos combinados de $Mo + W/2$, el contenido de tungsteno será como mínimo de 0,21 %, preferentemente al menos 0,41 %, incluso más preferentemente al menos 0,61 %, con el fin de extraer la mejor parte del efecto específico del tungsteno.

[0046] El contenido de tungsteno depende del grado de reducción de la nocividad de las segregaciones buscado, como se mencionó anteriormente, y también puede incluir el coste de la aleación. Este contenido puede llegar hasta 4,9 % pero, no superará habitualmente 1,9 %, se expresa en general contenidos inferiores o iguales a 0,90 % o incluso 0,79 %.

[0047] El contenido de molibdeno puede encontrarse en trazas, pero preferentemente al menos igual a 0,51 % y más preferentemente, incluso al menos igual a 1,4 %, incluso más preferentemente, al menos 2,05 %. Por otra parte, según el nivel de resistencia contemplado, no será necesario superar los contenidos límites de 4,29 %, preferentemente 3,4 % o, más preferentemente, de 2,9 %, limitaciones que permiten de otra manera reducir por ello las contribuciones de molibdeno a la segregación endurecida.

[0048] Sin embargo, cuando el contenido de cromo está comprendido entre aproximadamente 2,5 % y 3,5 %, y cuando el contenido de carbono libre, $C^* = C - Ti/4 - Zr/8$, es superior o igual a 0,51 %, un contenido demasiado alto de tungsteno puede causar la formación de carburos de cromo más o menos aleados con tungsteno. Estos carburos, de tipo ledeburítico, gruesos y más o menos dispuestos en redes interdendríticas, contribuyen a la fragilización al menos local de la matriz. Con el fin de evitar este inconveniente, cuando el contenido de cromo está comprendido entre 2,5 % y 3,5 %, y el contenido de carbono libre C^* es superior o igual a 0,51 %, entonces el contenido de tungsteno está limitado a no más de 0,85 % cuando el contenido de molibdeno es inferior a 1,21 %, y la relación de tungsteno/molibdeno se limita a no más de 0,7 cuando el contenido de molibdeno es superior o igual a 1,21 %.

[0049] Los contenidos de titanio y circonio deben ajustarse de tal manera que, la suma $Ti + Zr/2$ sea al menos igual a 0,21 % y preferentemente superior o igual a 0,41 % o más preferentemente superior o igual a 0,61 %, para obtener el efecto deseado de reducción de la nocividad de las venas segregadas. Es más, estos elementos contribuyen a la formación de grandes carburos que mejoran la resistencia al desgaste. Sin embargo, esta suma debe permanecer por debajo de 1,49 % y preferentemente inferior a 1,19 %, incluso inferior a 0,99 % o incluso inferior a 0,79 % con el fin de no deteriorar demasiado la tenacidad. Además, los contenidos de titanio y circonio deben ajustarse en función de si se desea favorecer la tenacidad del acero o su resistencia al desgaste. Desde este punto de vista, cuando se desea favorecer la tenacidad del acero, la suma $Ti + Zr/2$ debe permanecer preferentemente por debajo de 0,7 %. Cuando se desea favorecer la resistencia al desgaste del acero, la suma $Ti + Zr/2$ debe ser preferentemente superior o igual a 0,7 %. Por último, para ser eficaz, es decir, dar lugar a la formación de grandes carburos, los contenidos de titanio y circonio deben ser suficientes con respecto al contenido de carbono total C. Para ello, el producto $(Ti + Zr/2) \times C$ debe ser superior o igual a 0,07, preferentemente superior o igual a 0,12, y más preferentemente superior o igual a 0,2.

[0050] Con el fin de tomar parte al respecto de los dominios de contenidos indicados para $Ti + Zr/2$, el contenido mínimo de titanio puede ser de 0 %, o de trazas, pero, es preferentemente que sea al menos igual a 0,21 %, y preferentemente 0,41 %, más preferentemente 0,61 %, el contenido mínimo de circonio puede ser de 0 % o de trazas, pero es preferible que sea al menos de 0,06 %, o incluso al menos de 0,11 %. El contenido máximo de titanio es de 1,49 % pero puede reducirse a 1,19 % o incluso a 0,99 %, preferentemente a 0,79 % incluso a 0,7 % mientras que el

contenido máximo de circonio es de 2,9 %, preferentemente de 0,9 %, más preferentemente de 0,49 %.

[0051] El acero contiene opcionalmente hasta 1,45 % de vanadio, hasta 1,45 % de niobio, hasta 1,45 % de tantalio, siendo la suma $V + Nb/2 + Ta/4$ inferior a 1,45 %, preferentemente inferior a 0,95 % e incluso inferior a 0,45 %.

5 El contenido mínimo es de 0 % o trazas, pero, es preferible que sea al menos igual a 0,11 %, y más preferentemente al menos igual a 0,21 %. El nivel de adición de $V + Nb/2 + Ta/4$ contribuye a fijar la resistencia y la respuesta al revenido como se indica en la formulación del índice D.

[0052] Estos elementos tienen, de hecho, la ventaja de mejorar en gran medida la resistencia al ablandamiento por la precipitación de carburos de tipo MC. Entre estos elementos, resulta preferible seleccionar vanadio y añadirlo a los contenidos comprendidos entre 0,11 % y 0,95 %. El niobio, aunque se puede utilizar, presenta el inconveniente de precipitarse a una temperatura más alta que el vanadio, lo que reduce en gran medida la forjabilidad del acero. Por lo tanto, la presencia de niobio no es recomendable y, en cualquier caso, es deseable que el contenido de niobio permanezca por debajo de 1 %, incluso 0,5 % o más preferentemente inferior a 0,05 %.

15

[0053] Un contenido de azufre inferior a 0,005 % es preferible cuando se busca una buena tenacidad.

[0054] El acero contiene, opcionalmente, hasta 0,5 % de tierras raras para facilitar la germinación de carburos y refinar la estructura, y opcionalmente hasta 0,1 % de boro con el fin de mejorar la templeabilidad.

20

[0055] El acero también puede contener hasta 1 % de cobre. Este elemento no es adecuado pero puede ser proporcionado por las materias primas ya que sería demasiado caro de clasificar. No obstante, el contenido de cobre debe estar limitado ya que este elemento tiene un efecto adverso sobre la ductilidad en caliente. A este respecto, se desea la presencia de Ni en un contenido al menos igual al del cobre, al menos cuando el contenido de cobre supera aproximadamente 0,5 %. De hecho, un contenido suficiente de níquel atenúa la nocividad del cobre.

25

[0056] Del mismo modo, el acero puede contener aluminio que, al igual que el silicio, puede contribuir a la desoxidación del metal líquido. El contenido de aluminio se encontrará al nivel de trazas o más preferentemente, al menos igual a 0,006 %, más preferentemente, al menos igual a 0,020 %. Por otra parte, el contenido de este elemento debe permanecer inferior o igual a 1 % para garantizar una limpieza suficiente y, preferentemente no superará 0,100 %, incluso más preferentemente inferior a 0,050 %.

30

[0057] El resto de la composición está constituido por hierro e impurezas que proceden de la elaboración. Cabe destacar que, cuando un elemento no se añade intencionalmente durante la elaboración, su contenido es de 0 % o trazas, es decir, que corresponde, según el elemento, a los límites de detección por procedimientos de análisis o bien a las cantidades aportadas por las materias primas sin que tenga un efecto significativo en las propiedades.

35

[0058] El endurecimiento obtenido durante el revenido de este acero depende de los elementos disueltos en la matriz, tal como manganeso, níquel y silicio, pero especialmente de los elementos susceptibles de formar carburos tales como molibdeno, tungsteno, vanadio, niobio y, en menor medida, cromo así como carbono libre en la matriz, es decir carbono que no ha sido fijado por titanio y circonio. Como se indicó anteriormente, el contenido de carbono libre es $C^* = C - Ti/4 - Zr/8$.

40

[0059] Los inventores han comprobado que el endurecimiento de este acero podría evaluarse en función de la composición química a través de la fórmula:

45

$$D = 540 (C^*)^{0,25} + 245 (Mo + W/2 + 3 V + 1,5 Nb + 0,75 Ta)^{0,3} + 125 x Cr^{0,2} + 15,8 x Mn + 7,4 x Ni + 18 x Si.$$

[0060] D es un índice de dureza que representa el endurecimiento resultante del revenido para las condiciones de revenido convencional (550 °C durante 1 hora). Cuanto mayor sea el valor de D, más elevada será la dureza tras el revenido a temperatura determinada, o incluso, cuanto más elevada sea la temperatura que permite alcanzar un nivel de dureza dado.

50

[0061] Además, con un valor dado de D, la dureza varía en función de la temperatura y el tiempo de revenido como es conocido por los expertos en la materia.

55

[0062] Se deberá tener en cuenta que esta fórmula es aplicable tanto al acero según la invención como al acero obtenido por el procedimiento según la invención. En cualquier caso, los contenidos a tener en cuenta son los contenidos eficaces del acero para el cual se realiza el cálculo.

60

[0063] En general, el coeficiente D está comprendido entre 800 y 1150. Sin embargo, este intervalo puede descomponerse en subintervalos según el nivel de dureza deseado por el usuario y la temperatura de revenido prevista. En particular, el valor de D se comprenderá en los siguientes intervalos:

65 - entre 800 y 900

ES 2 729 644 T3

- entre 901 y 950
- entre 951 y 1000
- 5 - entre 1001 y 1075
- entre 1076 y 1150

10 **[0064]** En estos intervalos, los niveles de dureza típicos obtenidos tras el revenido a 550 °C durante una hora son, a modo indicativo, respectivamente del orden de: 45 HRC, 52 HRC, 57 HRC, 60 HRC y 63 HRC.

[0065] Teniendo en cuenta todas las condiciones indicadas anteriormente, se puede seleccionar un dominio preferente de composición definido de la siguiente manera para el acero según la invención:

15

$$0,55 \leq C \leq 1,1 \%$$

$$0,21 \% \leq Ti \leq 1,19 \%$$

20 Zr: 0 % o trazas

$$0,05 \% \leq Si \leq 0,9 \%$$

$$Mn \leq 0,9 \%$$

25

$$Ni \leq 0,9 \%$$

$$2,1 \% \leq Cr \leq 4,9 \%$$

30

$$2,05 \% \leq Mo \leq 2,9 \%$$

$$0,21 \% \leq W \leq 0,79 \%$$

$$0,21 \% \leq W \leq 0,45 \%$$

35

Nb: 0 % o trazas

[0066] Dentro de este campo, se puede identificar subcampos, o grupos, definidos por los intervalos de contenido de carbono y de titanio y que se corresponden con el hecho de que favorecen más o menos la tenacidad o la resistencia al desgaste.

40

[0067] Estos grupos son los siguientes:

Grupo A:

45

[0068]

$$0,85 \% \leq C \leq 1,1 \%$$

$$0,70 \% \leq Ti \leq 1,19 \%$$

50

[0069] Grupo B:

$$0,65 \% \leq C \leq 1,1 \%$$

$$0,61 \% \leq Ti \leq 0,99 \%$$

55

[0070] Grupo C:

$$0,65 \% \leq C \leq 0,98 \%$$

$$0,41 \% \leq Ti \leq 0,79 \%$$

60

[0071] Grupo D:

$$0,51 \% \leq C \leq 0,85 \%$$

$$0,21 \% \leq Ti \leq 0,70 \%$$

5

[0072] Dentro de cada uno de estos grupos, el nivel de dureza puede ser ajustado teniendo en cuenta las influencias de los diversos elementos de aleación indicadas por la expresión del índice de dureza D.

[0073] En el nivel de dureza dado, los diferentes grupos, en el orden A, B, C, D, van en la dirección de un refuerzo del nivel de tenacidad a expensas de la reducción de la resistencia al desgaste.

[0074] Una realización particularmente interesante que corresponde a una elección preferencial a favor de la tenacidad, consiste en ajustar la composición para obtener:

15 $W = 0,2$ a $0,9 \%$ y $(Ti + Zr/2)$ al menos igual a $0,35 \%$ pero inferior a $0,49 \%$, con $(Mo + W/2 + 3 V + 1,5 Nb + 0,75 Ta)$ comprendido entre $2,5 \%$, más preferentemente $3,0 \%$ en valores mínimos, y $4,5 \%$, más preferentemente $3,5 \%$ en valores máximos, siendo el carbono libre C^* además comprendido entre $0,51 \%$ y 1% , más preferentemente, entre $0,6 \%$ y $0,9 \%$.

20 **[0075]** Otra realización particularmente interesante que corresponde a una elección preferencial a favor de la resistencia al desgaste, consiste en ajustar la composición para obtener:

$W = 0,2$ a $0,9 \%$ y $(Ti + Zr/2)$ al menos igual a $0,49 \%$ pero inferior a $0,95 \%$, con $(Mo + W/2 + 3 V + 1,5 Nb + 0,75 Ta)$ comprendido entre $2,5 \%$, más preferentemente $3,0 \%$ en valores mínimos, y $4,5 \%$, más preferentemente $3,5 \%$ en valores máximos, siendo el carbono libre C^* además comprendido entre $0,51 \%$ y 1% , más preferentemente, entre $0,6 \%$ y $0,9 \%$.

30 **[0076]** Según la presente invención, es deseable que el titanio y el circonio estén en forma de carburos primarios y no en forma de nitruros que son susceptibles de formarse en acero líquido, en concreto, cuando las concentraciones excesivas transitorias de titanio y circonio en el líquido justo después de la adición son demasiado elevadas teniendo en cuenta los contenidos de nitrógeno disueltos que existen en el acero líquido.

35 **[0077]** Asimismo, con el fin de elaborar acero según la invención, se puede introducir el titanio y circonio de manera que estos dos elementos reaccionan poco con el nitrógeno y reaccionan esencialmente con el carbono. Esto se consigue evitando, en fase líquida del acero, las concentraciones excesivas transitorias de Ti o Zr durante las adiciones de Ti y Zr.

[0078] Para fabricar una pieza de acero según la invención, se puede proceder como sigue:

- 40 - en primer lugar, se elabora un acero líquido por fusión de todos los elementos de la clase según la invención, con la excepción de titanio y/o circonio,
- acto seguido se añade al baño de acero fundido el titanio y el circonio evitando en todo momento las concentraciones excesivas locales de titanio y/o circonio en el baño de acero fundido.

45

[0079] Después se cuela un acero en forma de producto semiacabado tal como un lingote o un desbaste, se conforma por deformación plástica en caliente y por ejemplo por laminado del producto semiacabado, luego el producto obtenido se somete a un tratamiento térmico opcional.

50 **[0080]** Para introducir el titanio y el circonio en el acero líquido evitando cualquier concentración excesiva local, se puede proceder de diversas maneras, y en particular se puede:

- o bien añadir titanio y/o circonio en la escoria que cubre el baño de acero líquido, dejando que el titanio y el circonio se distribuyan lentamente en el baño de acero.
- 55 - o bien añadir titanio y/o circonio de manera continua por medio de un alambre compuesto de este o estos elementos mientras se agita el baño de acero líquido por gas o por cualquier otro procedimiento adecuado.
- 60 - o bien añadir titanio y/o circonio por soplado de un polvo que contiene este o estos elementos en el baño de ácido líquido agitando el baño por gas o por cualquier otro procedimiento.

[0081] En el contexto de la presente invención, se prefiere utilizar diferentes realizaciones que acaban de ser descritas. Pero queda entendido que podrá ser utilizado cualquier procedimiento que permite evitar una concentración

excesiva local de titanio y/o circonio.

[0082] Este procedimiento de adición particular de Ti y Zr no es necesario para la elaboración de acero considerado aquí pero que constituye una opción.

5

[0083] Los tratamientos térmicos a los que puede someterse la pieza fabricada son de tipo convencional para los aceros de herramientas. Tal tratamiento térmico puede incluir opcionalmente uno o más recodidos para facilitar el corte y mecanizado, a continuación una austenización seguido de enfriamiento según un modo adaptado al espesor, tal como un enfriamiento por aire o aceite, opcionalmente seguido de uno o varios revenidos según el nivel de dureza que se desea lograr.

10

[0084] Por el procedimiento que se acaba de describir, se obtienen piezas de acero con las mismas características de empleo principales que las piezas de acero según la técnica anterior. Pero estas piezas presentan venas segregadas muy atenuadas en comparación con las observadas en las piezas según la técnica anterior. De ello resulta que estas piezas son más fáciles de trabajar o soldar y más tenaces que las piezas según la técnica anterior.

15

[0085] A modo de ejemplo y para ilustrar el efecto sinérgico entre el tungsteno y titanio o circonio, se pueden producir piezas en aceros cuyas composiciones nominales se recuerdan en la tabla 1. Esta tabla que indica las composiciones químicas, el valor del índice D de dureza y un índice de segregación Γ_s da cuenta de la segregación endurecida y fragilizante acumulada del molibdeno y tungsteno en las venas segregadas susceptibles de crear el endurecimiento secundario. Con tal fin, se mide por medio de una microsonda los contenidos de molibdeno y tungsteno en (Mos y Ws) y sin (Moh y Wh) venas segregadas, mediante el enmascaramiento de los grandes carburos de titanio con el fin de tener en cuenta los contenidos de molibdeno y tungsteno en la matriz, salvo que pueda fijarse en estos grandes carburos de titanio y circonio (los cuales los mismos son susceptibles de contener molibdeno o tungsteno, formando de hecho carburos mixtos (Ti Zr Mo W) C). De esta manera se aprecia bien la parte endurecida y fragilizante de Mo y W frente a la matriz metálica.

20

25

[0086] Se define también la tasa de segregación $\Gamma_s MW$ de contenidos acumulados de (Mo + W/2), igual a:

30

$$\Gamma_s MW = ((Mos + Ws/2) - (Moh + Wh/2)) / (Moh + Wh/2)$$

[0087] El criterio de Mo + W/2 fue elegido puesto que representa la contribución endurecida acumulada de los elementos de Mo y W, tanto como en las venas segregadas como fuera de las mismas.

35

TABLA 1

		C	Ti	Zr	C*	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Mo+W/2	D	$\Gamma_s MW$
a ₁	comp	0,31	0	0	0,31	0,2	0,7	0,4	3	0,75	0	0,10	0	0,75	825	133
a ₂	comp	0,31	0	0	0,31	0,2	0,7	0,4	3	0,55	0,4	0,10	0	0,75	825	137
a ₃	Inv	0,41	0,40	0	0,31	0,2	0,7	0,4	3	0,55	0,4	0,10	0	0,75	825	106
b ₁	comp	0,6	0,4	0	0,5	0,5	0,5	0,3	6,5	2,2	0	0,3	0	2,2	999	128
b ₂	comp	0,75	0,8	0,4	0,5	0,5	0,5	0,3	6,5	2,2	0	0,3	0	2,2	999	131
b ₃	Inv	0,75	0,8	0,4	0,5	0,5	0,5	0,3	6,5	1,5	1,4	0,3	0	2,2	999	98
c ₁	comp	0,80	0,25	0	0,74	0,9	0,45	0,25	3,9	2,1	0	0,28	0	2,1	1028	130
c ₂	Inv	0,80	0,25	0	0,74	0,9	0,45	0,25	3,9	1,2	1,8	0,28	0	2,1	1028	121
c ₃	Inv	0,95	0,85	0	0,74	0,9	0,45	0,25	3,9	1,2	1,8	0,28	0	2,1	1028	93
d ₁	comp	1,25	1	0	1	1	0,5	0,2	5	2,4	0	0,6	0	2,4	1117	127
d ₂	Inv	1,25	1	0	1	1	0,5	0,2	5	2,0	0,8	0,6	0	2,4	1117	107
d ₃	Inv	1,25	1	0	1	1	0,5	0,2	5	1,5	1,8	0,6	0	2,4	1117	91

[0088] Los ejemplos a₁, b₁, c₁ y d₁ corresponden a aceros de referencia, es decir, a aceros cuya composición se selecciona antes de la implementación del procedimiento según la invención. Los otros ejemplos se deducen de estos aceros de referencias por el procedimiento según la invención, salvo los ejemplos a₂ y b₂ para los que las condiciones relativas al tungsteno y titanio no se cumplen.

40

[0089] Los ejemplos a₁, a₂ y a₃ tienen la misma dureza. El ejemplo a₂ se deduce del ejemplo a₁ por el reemplazo de 0,20 % de molibdeno con 0,40 % de tungsteno, sin adición de titanio. Se comprueba que la tasa de segregación no se modifica de forma significativa.

5 **[0090]** El ejemplo a₃, según la invención, se deduce del ejemplo a₁ no solo por el reemplazo de 0,20 % de molibdeno con 0,40 % de tungsteno, sino además por la adición de 0,40 % de titanio y el ajuste en consecuencia de carbono. Se comprueba que la tasa de segregación de este acero se reduce significativamente en comparación con la de los ejemplos a₁ y a₂.

10 **[0091]** De manera similar, los ejemplos b₁, b₂ y b₃ muestran que la adición de titanio y de circonio sin adición de tungsteno no tiene ningún efecto (comparación b₁, b₂), mientras que el efecto deseado se produce en presencia de tungsteno parcialmente sustituido con molibdeno (comparación b₂, b₃).

[0092] Los ejemplos c₁, c₂ y c₃ muestran que, con una adición igual de tungsteno, un aumento de la adición de titanio tiene un efecto favorable sobre las segregaciones.

[0093] De la misma manera, los ejemplos d₁, d₂, y d₃ muestran que un aumento del contenido de tungsteno tiene un efecto favorable ya que los contenidos de titanio o circonio son suficientes.

20 **[0094]** Para ilustrar el efecto de la relación $(Ti + Zr/2)/W$ en la segregación de tungsteno, también se puede considerar los ejemplos correspondientes a los aceros de las coladas ref., 5, 7, 1,9, 6, 2, 18, 13, 17 y 3, todos los cuales corresponden a la invención salvo la colada ref. Los contenidos de los elementos principales de estas coladas se indican en la tabla 2; siendo el resto de la composición hierro e impurezas resultantes de la elaboración.

25

TABLA 2

N.º de colada	C	Ti	Zr	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb
Ref.	0,82	0	0	0,35	1,15	0,25	5,00	0,90	0,57	0,11	0,00
5	0,37	0,20	0,00	1,00	0,50	0,20	3,00	1,50	0,60	0,20	0,00
7	0,62	0,55	0,21	0,50	0,40	1,20	2,20	1,00	1,50	0,20	0,15
1	0,37	0,35	0,00	1,00	0,50	0,20	3,00	1,50	0,60	0,20	0,00
9	0,75	0,80	0,40	0,50	0,50	0,30	6,50	1,40	1,50	0,30	0,00
6	0,50	0,50	0,00	0,40	0,60	0,20	5,00	1,20	0,60	0,25	0,10
2	0,41	0,42	0,00	0,20	0,70	0,40	3,00	0,40	0,50	0,10	0,00
18	0,95	0,85	0,00	0,90	0,45	0,25	2,10	1,60	0,95	0,28	0,00
13	1,00	1,00	0,00	0,60	0,60	0,20	3,80	1,00	1,00	0,25	0,20
17	1,25	1,00	0,00	1,00	0,50	0,20	5,00	2,40	0,80	0,60	0,00
3	0,55	0,95	0,00	0,25	0,70	0,30	2,50	0,45	0,45	0,10	0,00

[0095] En la tabla 3, se indicó la suma Ti + Zr/2, los contenidos de W, las relaciones $(Ti + Zr/2)/W$ y las relaciones Ws/W de los contenidos de tungsteno en las venas segregadas con los contenidos nominales de tungsteno.

30

[0096] Los valores de la relación Ws/W se indicaron en el gráfico de la figura, en función de los valores de la relación $(Ti + Zr/2)/W$.

TABLA 3

N.º de colada	Ti+Zr/2	W	$(Ti+Zr/2)/W$	Ws/W
ref.	0	0,57	0	2,7
5	0,2	0,6	0,33	1,95
7	0,66	1,5	0,44	1,55
1	0,35	0,6	0,58	1,73

35

ES 2 729 644 T3

(continuación)

9	1	1,5	0,67	1,15
6	0,5	0,6	0,83	1,48
2	0,42	0,5	0,84	1,52
18	0,85	0,95	0,89	1,12
13	1	1	1	1,09
17	1	0,8	1,25	0,94
3	0,95	0,45	2,11	0,79

5 **[0097]** En el gráfico se observa que la relación Ws/W llega a ser sustancialmente inferior a 2 dado que la relación $(Ti+Zr/2)/W$ supera 0,2. También se observa que Ws/W disminuye regularmente cuando $(Ti+Zr/2)/W$ aumenta, de modo que es de 2,7 para la colada de referencia que no contiene ni titanio ni circonio.

10 **[0098]** La invención también se ilustra mediante los ejemplos que corresponden a los análisis indicados en la tabla 4 que indica asimismo la relación Ws/W , la cual, en todos los casos, es inferior a 1,6 e incluso puede llegar a 0,67.

TABLA 4

N.º de colada	C	Ti	Zr	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Ws/W
21	0,82	0,41	tr	0,9	0,6	1,5	2,7	2,2	0,5	0,25	tr	1,51
22	0,95	0,83	0,2	0,8	0,6	0,2	4,1	2,3	0,3	0,25	tr	0,67
23	0,94	0,92	tr	0,7	1,3	0,2	3,2	2,5	0,5	0,4	tr	0,84
24	0,81	0,42	tr	0,9	0,8	0,2	4,4	1,4	0,7	0,15	0,20	1,65
25	0,72	0,4	tr	0,9	0,3	0,2	5,5	1,6	0,5	0,15	tr	1,52
26	0,79	0,71	0,4	0,9	0,6	0,2	4,4	1,5	0,5	0,15	tr	0,85
27	1,02	0,38	tr	0,9	0,9	0,3	2,1	1,5	0,5	0,15	tr	1,54
28	0,8	0,44	tr	0,2	0,6	1,4	2,7	2,1	0,5	0,25	tr	1,42
29	0,95	0,85	tr	0,3	0,6	0,2	4,0	2,3	0,4	0,20	tr	0,77
30	0,95	0,88	tr	0,2	1,4	0,2	3,1	2,6	0,5	0,4	tr	0,83
31	0,8	0,42	tr	0,3	0,9	2,1	4,7	1,5	0,7	0,15	tr	1,57
32	0,7	0,4	tr	0,3	0,3	1,2	3,5	1,4	0,5	0,15	0,25	1,47
33	0,8	0,9	tr	0,2	0,4	0,3	3,2	1,5	0,5	0,15	tr	0,82
34	1	0,44	tr	0,5	0,4	0,2	4,5	1,2	0,5	0,15	tr	1,44
35	0,71	0,41	tr	0,4	1,6	0,2	6,1	1,2	0,5	0,75	tr	1,46
36	0,91	0,92	tr	0,1	0,9	0,4	5,7	0,6	0,8	0,65	tr	1,03
37	1,25	0,95	tr	0,9	0,6	1,7	4,1	3,1	0,9	0,35	0,35	1,03

15

[0099] Estos ejemplos también resaltan el efecto del contenido de silicio en la conductividad térmica del acero, y, por ende, el interés de que hay que imponer un bajo contenido de silicio cuando el acero está destinado a fabricar herramientas para las que se desea una buena conductividad térmica. Este efecto se ilustra por los pares de los ejemplos 21 y 28, 22 y 29, 23 y 30. En cada uno de estos pares, los ejemplos difieren principalmente por los contenidos de silicio. Las conductividades térmicas son las siguientes:

Ejemplo n.º 21: Si = 0,9 % conductividad térmica = 20,6 W/m/K

ES 2 729 644 T3

Ejemplo n.º 28:	Si = 0,2 %	conductividad térmica = 25,1 W/m/K
Ejemplo n.º 22:	Si = 0,8 %	conductividad térmica = 21,3 W/m/K
Ejemplo n.º 29:	Si = 0,3 %	conductividad térmica = 24,4 W/m/K
Ejemplo n.º 23:	Si = 0,7 %	conductividad térmica = 20,7 W/m/K
Ejemplo n.º 30:	Si = 0,2 %	conductividad térmica = 23,6 W/m/K

[0100] También se observa que un bajo silicio permite aumentar la conductividad térmica de manera significativa. En el caso de los ejemplos, este aumento es de aproximadamente 15 % a aproximadamente 25 %.

5

REIVINDICACIONES

1. Acero con alta resistencia mecánica y alta resistencia al desgaste cuya composición química comprende, en % en peso:

5

$$0,35 \% \leq C \leq 1,47 \%,$$

$$0,05 \% \leq Si \leq 1,5 \%,$$

10

$$Mn \leq 1,95 \%,$$

$$Ni \leq 2,9 \%,$$

$$1,1 \% \leq Cr \leq 7,9 \%,$$

15

$$0 \% \leq Mo \leq 4,29 \%,$$

$$0,21 \% \leq W \leq 4,9 \%$$

20

$$0,61 \% \leq Mo + W/2 \leq 4,4 \%$$

$$0 \% \leq Ti \leq 1,49 \%$$

$$0 \% \leq Zr \leq 2,9 \%$$

25

$$0,21 \% \leq Ti + Zr/2 \leq 1,49 \%$$

- opcionalmente uno o más elementos seleccionados entre vanadio, niobio y tantalio, en contenidos tales que $V \leq 1,45 \%$, $Nb \leq 1,45 \%$, $Ta \leq 1,45 \%$ y $V + Nb/2 + Ta/4 \leq 1,45 \%$,

30

- opcionalmente hasta 0,1 % de boro,

- menos de 0,005 % de azufre,

35

- opcionalmente hasta 0,01 % de calcio,

- opcionalmente hasta 0,5 % de tierras raras,

- opcionalmente hasta 1 % de aluminio,

40

- opcionalmente hasta 1 % de cobre,

siendo el resto hierro e impurezas resultantes de la elaboración,

45 la composición cumple con las siguientes condiciones:

$$(Ti + Zr/2)W \geq 0,20$$

$$(Ti + Zr/2)xC \geq 0,07$$

50

$$0,3 \% \leq C^* \leq 1,42 \%$$

$$800 \leq D \leq 1150$$

55 con

$$D = 540 (C^*)^{0,25} + 245 (Mo + W/2 + 3V + 1,5 Nb + 0,75 Ta)^{0,3} + 125 x Cr^{1,2} + 15,8 x Mn + 7,4 x Ni + 18 x Si$$

y

$$C^* = C - Ti/4 - Zr/8,$$

5

además, si $C^* \geq 0,51 \%$, y si $2,5 \% \leq Cr \leq 3,5 \%$, entonces $W \leq 0,85 \%$ si $Mo < 1,21 \%$, y $W/Mo \leq 0,7$ si $Mo \geq 1,21 \%$.

2. Acero según la reivindicación 1, **caracterizado porque:**

10

$$C^* < 1,1 \%$$

3. Acero según las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque:**

15

$$W \leq 0,85 \%$$

4. Acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque:**

$$Si \geq 0,45 \%$$

20

5. Acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque:**

$$Si < 0,45 \%$$

25

6. Acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque:**

$$Mo + W/2 \geq 2,2 \%$$

7. Acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque:**

30

$$Cr \geq 3,5 \%$$

8. Acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque:**

$$C \leq 0,85 \%$$

35

9. Acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque:**

$$C > 0,85 \%$$

40

10. Acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque:**

$$Ti + Zr/2 < 0,7 \%$$

11. Acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque:**

45

$$Ti + Zr/2 \geq 0,7 \%$$

12. Procedimiento de fabricación de una pieza de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado porque:**

50

- se elabora un acero líquido que tiene la composición deseada ajustando los contenidos de titanio y/o circonio en el baño de acero fundido evitando en todo momento las concentraciones excesivas locales de titanio y/o circonio en el baño de acero fundido;

55

- dicho acero se cuela para obtener un producto semiacabado;

- después se somete dicho producto semiacabado a un tratamiento de conformación por deformación plástica en caliente y, opcionalmente, a un tratamiento térmico, para obtener dicha pieza.

60

13. Procedimiento según la reivindicación 12, **caracterizado porque** la adición de titanio y/o circonio se realiza ajustando de manera progresiva el titanio y/o circonio en una escoria que recubre el baño de acero líquido y dejando el titanio y/o circonio distribuyéndose lentamente en el baño de acero líquido.

14. Procedimiento según la reivindicación 12, **caracterizado porque** la adición de titanio y/o circonio también se puede llevar a cabo por introducción de un alambre que incluye titanio y/o circonio en el baño de acero líquido, mientras se agita el baño.
- 5 15. Pieza de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, susceptible de ser obtenida por el procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14.

