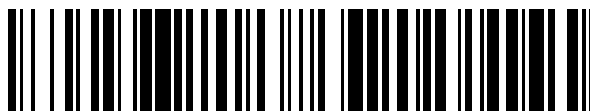


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 878 652**

51 Int. Cl.:

C21D 9/28	(2006.01) C22C 38/00	(2006.01)
C21D 9/32	(2006.01) C22C 38/02	(2006.01)
C23C 8/02	(2006.01) C22C 38/04	(2006.01)
C23C 8/22	(2006.01) C22C 38/06	(2006.01)
C23C 8/26	(2006.01) C22C 38/12	(2006.01)
C23C 8/32	(2006.01) C22C 38/42	(2006.01)
C23C 8/34	(2006.01) C22C 38/44	(2006.01)
C23C 8/80	(2006.01) C22C 38/46	(2006.01)
C21D 1/06	(2006.01) C22C 38/48	(2006.01)
C21D 1/18	(2006.01) C22C 38/50	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.07.2018** **E 18182024 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.04.2021** **EP 3591081**

54 Título: **Procedimiento para la fabricación de una pieza de construcción de acero endurecida por cementación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.11.2021

73 Titular/es:

**DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE SPECIALTY
STEEL GMBH & CO. KG (100.0%)
Austraße 4
58452 Witten, DE**

72 Inventor/es:

**VAN SOEST, FRANK y
DR. KRULL, HANS-GÜNTER**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 878 652 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

Procedimiento para la fabricación de una pieza de construcción de acero endurecida por cementación

5 La invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de una pieza de construcción de acero endurecida por cementación. Si a continuación se realizan indicaciones en "%" con respecto a aleaciones o composiciones de acero, entonces éstas se refieren en cada caso al peso, en tanto que no se indique lo contrario de manera expresa.

10 Todas las propiedades mecánicas indicadas en el presente texto del acero que va a usarse de acuerdo con la invención y de los aceros mencionados dado el caso para la comparación se han determinado, en tanto que no se indique lo contrario, según la norma DIN EN ISO 6892-1.

15 En el caso de las piezas de construcción de acero consideradas en el presente documento se trata normalmente de elementos de construcción que en la práctica entran en contacto metálico con otras piezas de construcción en un movimiento de rodadura y por tanto están expuestas en la zona de su superficie de contacto a altas cargas mecánicas. Ejemplos típicos de tales piezas de construcción son ruedas dentadas, árboles o ejes. Pueden producirse cargas comparables en el caso de soportes de herramientas, por ejemplo herramientas de corte y similares, en la zona de las superficies de contacto entre el soporte y la respectiva herramienta.

20 A este respecto existe el reto especial de que tales piezas de trabajo de acero se han moldeado de manera compleja por regla general y solo pueden fabricarse mediante mecanizado con desprendimiento de virutas costoso. Un mecanizado con desprendimiento de virutas de este tipo puede realizarse de manera especialmente rentable cuando las piezas de construcción están constituidas por aceros con bajos contenidos en carbono, o sea tienen una dureza baja. Al mismo tiempo resulta favorable una dureza comparativamente baja y acompañando a esto alta tenacidad del
25 acero, por el que están constituidas tales piezas de construcción, en cuanto a su resistencia a la carga de rotura en particular en condiciones de funcionamiento, en las que se producen de manera dinámica las cargas que han de absorberse por la respectiva pieza de construcción.

30 Por ejemplo para la fabricación de ruedas dentadas actualmente se usan normalmente aceros cementados, para los que pueden mencionarse a modo de ejemplo los aceros con el 16MnCr5 / 16MnCrS5 (números de material 1.7131 /1.7139) y 18CrNiMo7-6 (número de material 1.6587).

35 Los soportes de herramientas, tal como por ejemplo soportes para cuerpos de corte generados de manera pulvimetalúrgica, se fabrican con frecuencia a partir de aceros para herramientas relativamente caros, tal como aceros con los números de material 1.2311, 1.2312, 1.2738, 1.2343 o 1.2343.

40 Se conocen distintos procedimientos de tratamiento térmico, con los que pueden mejorarse la vida útil de piezas de trabajo y herramientas fabricadas a partir de tales aceros de manera habitual comparativamente blandos. Estos procedimientos se basan en que en una capa marginal que lleva la superficie de contacto sometida a carga en el uso se genera una dureza más alta que en la zona de núcleo de la pieza de construcción que lleva la correspondiente capa marginal, en la que se encuentra también tras el tratamiento térmico además una alta tenacidad.

45 Tal como se explica en detalle en las fichas técnicas 452 "Einsatzhärten", edición 2008, y 477 "Wärmebehandlung von Stahl - Nitrieren und Nitrocarburieren", edición 2005, ambas editadas por Stahl-Informationen-Zentrum, Postfach 10 48 42, 40039 Düsseldorf, Alemania, y en URL <http://www.stahl-online.de/index.php/service/publikationen/stahlanwendung-merkblaetter/> facilitada para la descarga, los procedimientos de tratamiento térmico dirigidos a la formación de una zona de capa marginal endurecida en piezas de construcción de acero trabajan sin y con modificación química de la capa marginal. Los procedimientos que se basan en una modificación química, en los que el endurecimiento de la capa marginal de la pieza de construcción se
50 provoca mediante procesos de difusión termoquímicos, diferenciándose además otra vez debido a ello si tras el tratamiento térmico se realiza un tratamiento térmico adicional (endurecimiento) o no.

A los procedimientos habituales, con los que pueden dotarse en particular ruedas dentadas y piezas de construcción comparativamente cargadas en el uso de una capa marginal endurecida, pertenecen el endurecimiento por
55 cementación (véase ficha técnica 452), en el que en primer lugar la capa de borde de la pieza de construcción de acero pasa por un tratamiento de carburación o bien carbonitración, una elevación del contenido de carbono y a continuación la pieza de construcción pasa por un endurecimiento, para conseguir en la capa marginal endurecida una dureza máxima, y la nitración o bien nitrocarburación (véase ficha técnica 477), en la que el aumento de dureza de la capa marginal se consigue esencialmente mediante nitrógeno introducido por difusión, pudiéndose conseguir un
60 aumento de la dureza adicional mediante carbono introducido por difusión en combinación con el nitrógeno.

En el contexto del estado de la técnica explicado anteriormente, el objetivo de la invención consistía en mencionar un procedimiento para la fabricación de una pieza de construcción de acero, que dé como resultado una combinación de propiedades óptima en tales piezas de construcción de acero con capa marginal endurecida mediante un tratamiento de difusión térmico, que están en contacto de manera rodante en el uso con otra pieza de construcción.
65

Igualmente se ha divulgado una pieza de construcción de acero con capa marginal endurecida, que tiene una combinación óptima, en cuanto a su resistencia a la carga de rotura, de dureza en su capa marginal y tenacidad en su zona de núcleo que lleva la capa marginal.

- 5 Para la fabricación de piezas de construcción de acero con capa marginal endurecida, que presentan una zona de núcleo tenaz de manera óptima, la invención propone el procedimiento según la reivindicación 1.

Configuraciones ventajosas de la invención están indicadas en las reivindicaciones dependientes y se explican en detalle a continuación como la idea general de la invención.

- 10 El acero que va a usarse de acuerdo con la invención abre una vía de fabricación robusta y económica para la generación de piezas de construcción de acero con capa marginal que va a endurecerse mediante un tratamiento de difusión termoquímico, concretamente ruedas dentadas, ejes, árboles o soportes para herramientas con condiciones de aplicación especiales. A este respecto, las piezas de construcción generadas a partir del acero usado de acuerdo con la invención presentan, tras el tratamiento térmico realizado en cada caso para su endurecimiento de capa marginal termoquímico, una tenacidad más alta en su zona de núcleo, también denominada "matriz", que lo que es esto el caso en aceros usados actualmente de manera habitual para este fin.

- 20 La invención parte del conocimiento de que es adecuada una modificación de un acero que forma una estructura bainítica, que se conoce básicamente por la publicación EP 3 168 312 A1 de una solicitud de patente europea ya para la generación técnica de forjado de piezas de construcción, en medida especial también como material para la fabricación de piezas de construcción de acero con una capa marginal endurecida de manera termoquímica. Así se ha mostrado de manera sorprendente que el concepto de aleación previsto en sí para aplicaciones técnicas de forjado debido a la alta estabilidad de revenido de la estructura bainítica del acero propuesto para su uso de acuerdo con la invención presenta también considerables ventajas durante el endurecimiento termoquímico de la capa marginal, en particular en cuanto a la tenacidad de la pieza de construcción de acero en su zona de núcleo.

- 30 A este respecto resulta especialmente ventajoso que el acero en sí conocido por la publicación de la solicitud de patente europea mencionada anteriormente, tal como se explica detalladamente en el documento EP 3 168 312 A1, tiene en el diagrama de tiempo-temperatura ("diagrama ZTU") una amplia ventana de bainita, o sea a través de un gran intervalo de velocidades de enfriamiento forma de manera fiable una estructura bainítica dominada por bainita en al menos el 80 % en volumen. Sorprendentemente se ha mostrado en este caso que el reglamento de aleación conocido garantiza estas propiedades del acero entonces también cuando el acero no se enfría, tal como se prevé originariamente, desde el calor de forjar, sino que se somete a un tratamiento de difusión termoquímico. Esto se aplica también cuando la respectiva pieza de construcción de acero, tal como es habitual en el endurecimiento por cementación, se somete a un endurecimiento tras el tratamiento de difusión.

- 40 El documento EP 2 357 262 A1 divulga un cigüeñal y un procedimiento de fabricación para el mismo. El documento JP 2006 169637 A divulga un procedimiento para la fabricación de una pieza de construcción carburada, altamente resistente. El documento EP 1 070 760 A2 divulga una pieza de construcción resistente a alta presión y su procedimiento de fabricación.

- 45 Las piezas de construcción de acero generadas a partir del acero usado de acuerdo con la invención, o sea ruedas dentadas, árboles, ejes o soportes para herramientas, se caracterizan por una estructura especialmente homogénea con una baja varianza de la dureza. Esta distribución óptimamente uniforme de las propiedades de estructura se encuentra también en el caso de las más diversas dimensiones de las piezas de construcción de acero que van a fabricarse a partir del acero que va a usarse de acuerdo con la invención y en el caso de las condiciones de enfriamiento variables por un gran intervalo, causadas por estas diferencias de dimensión. El estado de estructura homogéneo que se ajusta con el uso de acuerdo con la invención del acero causa además bajas tensiones propias en la pieza de construcción. De manera correspondiente a esto, las piezas de construcción de acero generadas a partir del acero usado de acuerdo con la invención tienden en el transcurso del endurecimiento termoquímico de la capa marginal en todo caso de manera insignificante a la deformación y a la producción de grietas u otros daños causados por la tensión.

- 55 De acuerdo con la invención se usa por consiguiente para la fabricación de una pieza de construcción de acero, en el caso de la cual se trata de una rueda dentada, un árbol, un eje o un soporte para herramientas, con una capa marginal endurecida de manera termoquímica un acero que está constituido por (en % en peso) del 0,1 - 0,30 % de C, hasta el 0,80 % de Si, del 0,20 - 2,00 % de Mn, hasta el 4,00 % de Cr, del 0,5 - 1,80 % de Mo, del 0,004 - 0,020 % de N, hasta el 0,40 % de S, del 0,004 - 0,020 % de Al, hasta el 0,0025 % de B, hasta el 0,20 % de Nb, hasta el 0,02 % de Ti, hasta el 0,40 % de V, hasta el 0,5 % de Ni, el 0,3 % de Cu, hasta el 1,5 % de Co y como resto por hierro e impurezas inevitables, cumpliendo el contenido de Al %Al, el contenido de Nb %Nb, el contenido de Ti %Ti, el contenido de V %V y el contenido de N %N del acero la siguiente condición:

$$\%Al/27 + \%Nb/45 + \%Ti/48 + \%V/25 > \%N/3,5.$$

- 65 El acero que va a usarse de acuerdo con la invención está aleado a este respecto y puede procesarse de modo que

la pieza de construcción de acero, que está fabricada a partir de éste, presente en su zona de núcleo una estructura que está constituida en al menos el 80 % en volumen por bainita. A este respecto pertenecen a las impurezas inevitables causadas por la fabricación del acero que va a usarse de acuerdo con la invención todos los elementos que están presentes con respecto a las propiedades interesantes en este caso en cantidades ineficaces desde el punto de vista técnico de aleación y debido a la ruta seleccionada en cada caso del polvo de acero o del material de partida seleccionado en cada caso (chatarra) llegan al acero. En particular pertenecen a las impurezas inevitables también contenidos en P de hasta el 0,0035 % en peso.

Una pieza de construcción de acero generada a partir del acero que va a usarse de acuerdo con la invención se caracteriza por consiguiente por que ésta tiene una estructura que está constituida en al menos el 80 % en volumen por bainita. La estructura restante de en total como máximo el 20 % en volumen de la estructura total se ocupa a este respecto por austenita residual, ferrita, perlita y/o martensita. Normalmente, sin embargo, los contenidos en partes constituyentes de estructura no bainíticos de una pieza de construcción de acero que está constituida por acero que va a usarse de acuerdo con la invención están fuertemente minimizados de modo que en ésta se encuentre en el sentido técnico una estructura completamente bainítica.

El concepto de aleación en el que se basa el acero que va a usarse de acuerdo con la invención evita partes constituyentes de aleación caras, tal como se requieren actualmente de manera habitual en los aceros de cementación y de herramientas usados para la fabricación de piezas de construcción de acero, de los que se habla en el presente documento, para ajustar la dureza necesaria. Esto se logra debido a que los elementos de aleación y sus contenidos en el acero que va a usarse de acuerdo con la invención se seleccionan tal como sigue:

Carbono ("C") está contenido en el acero que va a usarse de acuerdo con la invención en contenidos del 0,1 - 0,3 % en peso, para contribuir mediante la formación de carburos al aumento de la resistencia del material. Así puede provocarse, mediante la adición de en cada caso el 0,01 % en peso, una aumento de resistencia de en cada caso aprox. 70 MPa. Este efecto comienza en particular a partir de un contenido de al menos el 0,09 % en peso de C, en particular al menos el 0,12 % en peso de C. Mediante la limitación del contenido de C en como máximo el 0,30 % en peso, en particular como máximo el 0,25 % en peso, se consigue a este respecto que el acero tenga a pesar de su resistencia maximizada buenas propiedades de dilatación y tenacidad. Al mismo tiempo, el contenido de C comparativamente bajo contribuye en un acero que va a usarse de acuerdo con la invención también a la aceleración de la conversión de bainita, de modo que se evita la producción de partes constituyentes de estructura indeseadas. Una acción optimizada de la presencia de C en el acero que va a usarse de acuerdo con la invención puede conseguirse debido a que el contenido de C se ajusta en del 0,12 - 0,25 % en peso.

Silicio ("Si") suprime en el acero que va a usarse de acuerdo con la invención la formación de cementita y desplaza la formación de ferrita a tiempos más cortos. El contenido de Si de un acero que va a usarse de acuerdo con la invención está limitado por tanto en el 0,80 % en peso, para dejar desarrollar lo antes posible la transformación de bainita. Al mismo tiempo, los contenidos en Si hasta este límite superior contribuyen al aumento de la resistencia mediante solidificación de cristal mixto. Para poder aprovechar de manera especialmente segura las acciones ventajosas de Si en el acero que va a usarse de acuerdo con la invención, está ajustado el contenido de Si, por tanto, preferentemente en al menos el 0,2 % en peso, en particular más del 0,45 % en peso, tal como al menos el 0,46 % en peso.

Manganeso ("Mn") está presente en contenidos del 0,20 - 2,00 % en peso en el acero que va a usarse de acuerdo con la invención, para ajustar la resistencia a la tracción y el límite de estricción mediante la formación de cristal mixto. Un contenido mínimo del 0,20 % en peso de Mn es necesario, para que se produzca un aumento de la resistencia. Si este efecto debe conseguirse de manera especialmente segura, entonces puede preverse un contenido de Mn de al menos el 0,4 % en peso. Contenidos en Mn demasiado altos conducirían, sin embargo, al retardo de la transformación de bainita y con ello a una transformación predominantemente martensítica. Por tanto, el contenido de Mn está limitado en como máximo el 2,00 % en peso, en particular como máximo el 1,5 % en peso. Las influencias negativas de la presencia de Mn pueden evitarse de manera especialmente segura limitándose el contenido de Mn en el acero que va a usarse de acuerdo con la invención en como máximo el 1,2 % en peso.

Los contenidos en cromo ("Cr") opcionalmente existentes de hasta el 4,00 % en peso contribuyen, mediante la formación de carburos especiales y nitruros de cromo en caso de un tratamiento de nitración realizado de acuerdo con la invención, a la templabilidad y estabilidad frente a la corrosión del acero que va a usarse de acuerdo con la invención. Para ello pueden estar previstos por ejemplo al menos el 0,5 % en peso o al menos el 0,8 % en peso de Cr. Una acción óptima de la presencia de Cr resulta con un contenido de Cr de al menos el 1,00 % en peso. Los contenidos en Cr que se encuentran por encima del 4,00 % en peso favorecerían una formación de martensita indeseada en la estructura del acero que va a usarse de acuerdo con la invención. Para evitar esto de manera segura, pueden limitarse el contenido de Cr hasta el 3 % en peso o hasta el 2,5 % en peso.

Molibdeno ("Mo") está presente en el acero que va a usarse de acuerdo con la invención en contenidos del 0,5 - 1,8 % en peso, para retardar la transformación de la estructura en ferrita o perlita y aumentar el intervalo para la transformación de bainita. Esta acción se produce en particular cuando está presente al menos el 0,6 % en peso en el acero. Con contenidos de más del 1,8 % en peso ya no se produce, con respecto al aprovechamiento del acero que va a usarse de acuerdo con la invención que es el punto central en el presente documento, ningún otro aumento económicamente justificable de la acción positiva de Mo. Mediante la limitación del contenido de Mo en el 1,8 % en

peso se excluye de manera segura la formación de una fase de carburo rica en molibdeno, que influiría de manera negativa en las propiedades de tenacidad. Las acciones óptimas de Mo en el acero que va a usarse de acuerdo con la invención pueden esperarse cuando el contenido de Mo asciende a al menos el 0,7 % en peso. A este respecto han resultado especialmente eficaces contenidos en Mo de como máximo el 1,5 % en peso o como máximo el 1,0 % en peso.

5 La presencia de N en los contenidos previstos de acuerdo con la invención del 0,004 - 0,020 % en peso permite la formación de nitruros y carbonitruros para el aumento de la resistencia y aumento de la estabilidad de grano fino, sin que se llegue a la fragilidad. Así, Al con N forma nitruro de aluminio, que contribuye a la estabilidad de grano fino.

10 El contenido de azufre ("S") puede ascender en el acero que va a usarse de acuerdo con la invención a hasta el 0,4 % en peso, en particular a como máximo el 0,1 % en peso, para fomentar la capacidad de desprendimiento de virutas del acero. Para este fin puede estar previsto un contenido de S de al menos el 0,001 % en peso. En caso de contenidos en S que se encuentran por encima del 0,4 % en peso existe el riesgo de la producción de fragilidad al rojo. Acciones óptimas de la presencia de S en el acero que va a usarse de acuerdo con la invención pueden conseguirse con contenidos del 0,003 - 0,1 % en peso.

15 La presencia de B en contenidos de hasta el 0,0025 % en peso, en particular al menos el 0,0001 % en peso o al menos el 0,0005 % en peso, en el acero que va a usarse de acuerdo con la invención retarda la producción de ferrita o perlita y asegura así la producción de la estructura bainítica pretendida en el acero que va a usarse de acuerdo con la invención. Contenidos en B que se encuentra por encima del 0,0025 % en peso conllevarían el riesgo de una fragilidad. Los elementos de microaleación en cada caso opcionalmente existentes Nb, Ti y V forman carbonitruros y pueden conseguir así una contribución esencial a la optimización de la estabilidad de grano fino y la resistencia del acero que va a usarse de acuerdo con la invención.

25 El ajuste fino técnico de aleación con respecto a las propiedades mecánicas y la calidad de la estructura de un acero usado de acuerdo con la invención se realiza según el concepto de aleación usado de acuerdo con la invención a través de una microaleación combinada de los elementos boro ("B") en contenidos opcionales de hasta el 0,0025 % en peso, en particular en contenidos del 0,0001 - 0,0025 % en peso de B o del 0,0005 - 0,0025 % en peso de B, nitrógeno ("N") en contenidos del 0,004 - 0,020 % en peso, en particular al menos el 0,006 % en peso de N o hasta el 30 0,0150 % en peso de N, aluminio ("Al") en contenidos del 0,004 - 0,020 % en peso así como niobio ("Nb") en contenidos opcionales de hasta el 0,020 % en peso, en particular hasta el 0,015 % en peso y en particular al menos el 0,003 % en peso o al menos el 0,005 % en peso de Nb, titanio ("Ti") en contenidos opcionales de hasta el 0,02 % en peso o hasta el 0,015 % en peso, en particular al menos el 0,001 % en peso o al menos el 0,005 % en peso de Ti, y vanadio ("V") en contenidos opcionales de hasta el 0,40 % en peso, en particular hasta el 0,3 % en peso y en particular al menos el 35 0,01 % en peso o al menos el 0,02 % en peso de V.

40 Para aprovechar de manera segura las ventajas de la presencia de los elementos de microaleación y de aluminio, puede ser conveniente ajustar el contenido de Al en al menos el 0,005 % en peso, el contenido de Ti en al menos el 0,001 % en peso, el contenido de V en al menos el 0,02 % en peso o el contenido de Nb en al menos el 0,003 % en peso. A este respecto pueden estar presentes los elementos de microaleación V, Ti, Nb por un lado y Al por otro lado en cada caso en combinación con uno o varios elementos del grupo "Al, V, Ti, Nb" o solos en cantidades que se encuentran por encima de los contenidos mínimos mencionados. Con contenidos de hasta el 0,01 % en peso de Ti, de hasta el 0,1 % en peso de Nb, de hasta el 0,075 % en peso de V o de hasta el 0,020 % en peso de Al pueden aprovecharse de manera especialmente eficaz las acciones de estos elementos en el acero usado de acuerdo con la 45 invención. También en este caso pueden cumplirse los límites superiores mencionados de los contenidos en Ti, Nb, V o Al en cada caso solos o en combinación entre sí, para conseguir la acción en cada caso óptima del respectivo elemento de aleación.

50 Los contenidos de %Al, %Nb, %Ti, %V y %N en Al, Nb, Ti, V y N están enlazados entre sí a este respecto en el acero que va a usarse de acuerdo con la invención a través de la condición

$$\%Al/27 + \%Nb/45 + \%Ti/48 + \%V/25 > \%N/3,5$$

55 de modo que el nitrógeno contenido de el acero que va a usarse de acuerdo con la invención a través de los contenidos existentes en cada caso en Al así como los contenidos dado el caso añadidos adicionalmente en Nb, Ti y V se haya aislado completamente y el boro pueda actuar por consiguiente de manera retardante de la transformación. El aislamiento de acuerdo con la invención del N permite además que el boro opcionalmente existente como elemento disuelto en la matriz del acero se vuelva eficaz y suprima la formación de ferrita y/o perlita.

60 Igualmente los contenidos opcionalmente existentes en Ni de hasta el 0,5 % en peso mejoran la tenacidad del acero que va a usarse de acuerdo con la invención. En el caso de que deba aprovecharse este efecto, se produce éste a partir de un contenido de Ni de al menos el 0,1 % en peso, en particular al menos el 0,15 % en peso.

65 A los elementos de aleación añadidos de manera dirigida o que acceden a través del material de partida al acero que va a usarse de acuerdo con la invención pertenece también Cu, cuyo contenido está limitado para la evitación de influencias negativas en el acero que va a usarse de acuerdo con la invención en como máximo el 0,3 % en peso.

5 El cobalto ("Co") opcionalmente existente en el acero que va a usarse de acuerdo con la invención provoca en contenidos de hasta el 1,5 % en peso un desplazamiento de la formación de bainita a tiempos más cortos. La influencia positiva de Co puede aprovecharse a este respecto en particular con contenidos en Co de al menos el 0,25 % en peso, en particular al menos el 0,5 % en peso, habiendo resultado especialmente eficaces los contenidos en Co de hasta el 1,0 % en peso.

10 Una aleación de acero especialmente adecuada para los fines de acuerdo con la invención está constituida según esto de manera correspondiente a las explicaciones anteriores por (en % en peso) del 0,12 - 0,25 % de C, del 0,20 - 0,80 % de Si, del 0,40 - 1,20 % de Mn, del 1,0 - 3,0 % de Cr, del 0,5 - 1,8 % de Mo, del 0,004 - 0,020 % de N, hasta el 0,40 % de S, del 0,004 - 0,020 % de Al, del 0,0005 - 0,0025 % de B, hasta el 0,10 % de Nb, hasta el 0,015 % de Ti, hasta el 0,20 % de V, hasta el 0,5 % de Ni, y/o hasta el 1,5 % de Co, el resto hierro e impurezas inevitables, para la que sirven también en este caso las explicaciones dadas anteriormente ya con respecto a esto.

15 Básicamente es adecuado el acero que va a usarse para la fabricación de piezas de construcción de acero para todos los procedimientos de difusión termoquímicos, descritos en las fichas técnicas 452 y 477 mencionadas ya anteriormente, "carburación" (cementación), "carbonitruración", "nitruración" o "nitrocarburación".

20 En tanto que deba realizarse un endurecimiento por cementación, se realiza, tal como se explica en la ficha técnica 452 en particular, en primer lugar como tratamiento de difusión termoquímica una carburación o carbonitruración. Tras la carburación producida en este sentido mediante difusión termoquímica (carburación, carbonitruración) de la capa marginal se realiza durante el endurecimiento por cementación convencional un endurecimiento de acuerdo con el procedimiento de endurecimiento descrito igualmente en detalle en la ficha técnica 452 "endurecimiento directo (tipo A)", "endurecimiento sencillo (tipo B)", "endurecimiento tras transformación isotérmica (tipo C)" o "endurecimiento sencillo (tipo D)". En el caso del endurecimiento directo (tipo A) se enfría bruscamente la pieza de construcción de acero directamente a partir del calor del tratamiento de carburación o carbonitruración anterior. En el caso del endurecimiento sencillo (tipo B) se enfría la pieza de construcción de acero tras el tratamiento de carburación o carbonitruración anterior en primer lugar hasta temperatura ambiente y a continuación de nuevo se calienta hasta una temperatura de austenización que se encuentra por encima de la temperatura Ac1 y por debajo de la temperatura Ac3 del acero y a continuación se enfría bruscamente. En el caso del endurecimiento tras la transformación isotérmica (tipo C) se enfría la pieza de construcción de acero a partir del calor del tratamiento de carburación o carbonitruración anterior en primer lugar hasta un intervalo de temperatura en el que se forman determinados depósitos de carburo, y a continuación partiendo de este intervalo de temperatura se calienta de nuevo hasta una temperatura de austenización que se encuentra por encima de la temperatura Ac1 y por debajo de la temperatura Ac3 del acero, para enfriarse bruscamente entonces. En el caso del endurecimiento doble (tipo D), la pieza de construcción de acero, después de que se haya enfriado a partir del calor del tratamiento de carburación o carbonitruración anterior, tal como en el caso del endurecimiento sencillo tipo A, hasta temperatura ambiente, recorre dos veces un proceso de endurecimiento, tal como se realiza en el caso del endurecimiento sencillo tipo A solo una vez.

40 Independientemente de cuál de los cuatro procedimientos de endurecimiento convencionales mencionados en el presente documento se use, han de ajustarse, en el tratamiento de difusión termoquímico y el endurecimiento posterior de las piezas de construcción de acero que están constituidas por acero que va a usarse de acuerdo con la invención, los enfriamientos que van a realizarse en cada caso de modo que se ajusten por un lado las deposiciones que aumentan la dureza en la capa marginal carburada mediante la carburación o carbonitruración y en la zona de núcleo no carburada de la pieza de construcción una estructura que tras la medida explicada anteriormente está constituida en al menos el 80 % en volumen por bainita. Para ello ha de recorrerse durante el enfriamiento el intervalo de temperatura de 800 - 500 °C en cada caso en un tiempo $t_{8/5}$ de al menos 6 s, en particular al menos 10 s, y como máximo 600 s.

50 Si, por el contrario, para el fin de la formación de la capa marginal endurecida debe realizarse el tratamiento de difusión termoquímico como nitruración o nitrocarburación, lo que no se encuentra en la invención actual, entonces puede seleccionarse para ello el modo de procedimiento descrito detalladamente en la ficha técnica 477. En este sentido se enfría la pieza de construcción de acero tras un calentamiento hasta una temperatura de austenización que se encuentra por encima de la temperatura Ac3 del acero, por el que está constituida la pieza de construcción de acero, de manera continua de modo que se recorra el intervalo de temperatura de 800 - 500 °C en un tiempo $t_{8/5}$ de al menos 6 s, en particular al menos 10 s, y como máximo 1000 s, en particular como máximo 200 s, para formar en la pieza de construcción una estructura que tras la medida explicada anteriormente está constituida en al menos el 80 % en volumen por bainita. A continuación se realiza entonces la etapa de nitruración o nitrocarburación, en la que la pieza de construcción de acero en cada caso de manera correspondiente a las indicaciones y medidas contenidas en la ficha técnica 477 bajo una atmósfera que contiene nitrógeno o una atmósfera que contiene nitrógeno y carbono se mantiene a una temperatura que se encuentra por debajo de la temperatura Ac1 del acero, por el que está constituida la pieza de construcción de acero, y a continuación se enfría.

65 De acuerdo con la invención se somete la pieza de construcción de acero a un endurecimiento por cementación y se moldea para ello en una etapa de trabajo

a) a partir del acero que va a usarse de acuerdo con la invención de manera convencional para dar una pieza de construcción de acero, en el caso de la cual se trata de una rueda dentada, un árbol, un eje o un soporte para herramientas. A continuación, en una etapa de trabajo

b) se endurece por cementación entonces la respectiva pieza de construcción de acero, en cuanto que

b1) la pieza de construcción de acero se mantengan en primer lugar en una etapa de carburación durante un período de 150 min a 250 horas a una temperatura de 900 - 1050 °C con un medio que contiene carbono y opcionalmente de manera adicional nitrógeno, para generar en la pieza de construcción de acero una capa marginal carburada o carbonitrurada con un espesor de 0,3 - 15 µm, y a continuación de la etapa de carburación entonces se enfría rápidamente hasta temperatura ambiente de modo que durante el enfriamiento se recorre el intervalo de temperatura de 800 - 500 °C en el plazo de 6 - 600 s. Las velocidades de enfriamiento adecuadas para ello ascienden normalmente hasta 5 K/s, en particular al menos 0,5 K/s, realizándose el enfriamiento en el intervalo de temperatura de 800 - 500 °C en particular con más de 1,5 K/s.

La duración, durante la que se mantiene la pieza de construcción de acero durante la etapa de carburación bajo el medio que contiene carbono, se selecciona de manera en sí conocida dependiendo del tamaño de la pieza de construcción así como con consideración del medio que contiene carbono en cada caso usado y de la temperatura, a la que se realiza la carburación, de modo que se consiga una capa marginal carburada con un espesor que se encuentra dentro de las especificaciones de acuerdo con la invención. La duración más corta puede indicarse a este respecto por ejemplo para piezas de construcción más pequeñas, tal como piezas integrantes de engranaje, en particular ruedas dentadas, árboles y ejes, de engranajes de automóviles y similares, mientras que la duración más larga puede indicarse en piezas de construcción grandes, tal como piezas integrantes de engranaje, en particular ruedas dentadas, árboles y ejes, de engranajes grandes, que están destinados a coronas giratorias, tal como se usan en centrales eólicas o propulsiones de buques.

En la práctica se encuentra la temperatura, a la que se mantiene la pieza de construcción de acero durante la etapa de carburación (etapa de trabajo b.1), normalmente a hasta 950 °C. Mediante la elección de temperaturas más altas puede acelerarse el proceso de carburación y de manera correspondiente a esto puede acotarse la duración necesaria para la carburación necesaria.

Tras la etapa de trabajo b1) se calienta la pieza de construcción de acero en una etapa de endurecimiento b2) hasta una temperatura de austenización, que se encuentra al menos 20 °C por encima de la temperatura Ac1 y por debajo de la temperatura Ac3 del acero por el que está constituida la pieza de construcción de acero, y partiendo de la temperatura de austenización se enfría con una velocidad de enfriamiento de 0,5 - 50 K/s, en particular al menos 1,5 K/s o más de 1,5 K/s, hasta temperatura ambiente.

Para reducir tensiones existentes posiblemente en la pieza de construcción tras el tratamiento de difusión termoquímico (etapa de trabajo b1), puede someterse la pieza de construcción de acero que está constituida por acero usado de acuerdo con la invención entre las etapas de trabajo b1) y b2) opcionalmente a un recocido de eliminación de tensiones, en el que se mantiene durante un período de 15 - 120 min en el intervalo de 150 - 680 °C.

Igualmente de manera opcional puede someterse la pieza de construcción de acero tras el endurecimiento (etapa de trabajo b2) opcionalmente de manera en sí conocida a un tratamiento de revenido, en el que se mantiene durante un período de 30 - 180 min a una temperatura de 150 - 275 °C y a continuación se enfría de manera no controlada hasta temperatura ambiente. Mediante un revenido de este tipo puede reducirse adicionalmente el riesgo de formación de grietas.

En particular mediante aplicación del procedimiento explicado anteriormente puede generarse una pieza de construcción de acero endurecida por cementación de acuerdo con la invención, que se ha fabricado a partir del acero que va a usarse de acuerdo con la invención, que está constituido por (en % en peso) del 0,12 - 0,25 % de C, del 0,20 - 0,80 % de Si, del 0,40 - 1,20 % de Mn, del 1,0 - 3,0 % de Cr, del 0,5 - 1,8 % de Mo, del 0,004 - 0,020 % de N, hasta el 0,40 % de S, del 0,004 - 0,020 % de Al, del 0,0001 - 0,0025 % de B, hasta el 0,10 % de Nb, hasta el 0,01 % de Ti, hasta el 0,20 % de V, hasta el 0,5 % de Ni, hasta el 1,0 % de Co y como resto por hierro e impurezas inevitables, y presenta una capa marginal con una dureza de 500 - 800 HV así como está constituida de acuerdo con la invención en su zona de núcleo en al menos el 80 % en volumen por bainita, que está constituida por bainita altamente recocida, que procede de la estructura que presentaba la pieza de construcción de acero tras la cementación (etapa de trabajo b.1) y antes del endurecimiento (etapa de trabajo b.2), y bainita nuevamente formada así como en como máximo el 20 % en volumen por austenita residual, ferrita, perlita o martensita.

Esta composición de estructura se produce mediante un endurecimiento de las piezas de construcción de acuerdo con la invención en el campo de dos fases. A este respecto pueden distinguirse aquellas de proporciones de estructura bainíticas "viejas", o sea producidas antes del endurecimiento (etapa de trabajo b.2) de las de proporciones de estructura bainíticas "nuevas", producidas en el transcurso del endurecimiento y altamente revenidas mediante un ligero color marrón de la nueva bainita de la vieja bainita altamente revenida, que tiene una coloración gris y una estructura granular indicada.

A este respecto se caracteriza la estructura de una pieza de construcción, que ha recorrido el procedimiento de

endurecimiento por cementación explicado anteriormente, modificado según la medida de la invención, por que ésta presenta en la zona de núcleo de la pieza de construcción de acero una energía absorbida durante el choque Charpy-V determinada de acuerdo con la norma DIN EN 10045 de más de 40 J, en particular más de 60 J.

5 Si debe generarse la capa marginal endurecida mediante nitruración o nitrocarburoción, lo que no se encuentra en la invención actual, entonces, el tratamiento de difusión termoquímico necesario para ello puede realizarse en particular partiendo de la composición optimizada del acero que va a usarse de acuerdo con la invención con (en % en peso) del 0,12 - 0,25 % de C, del 0,20 - 0,80 % de Si, del 0,40 - 1,20 % de Mn, del 1,0 - 3,0 % de Cr, del 0,5 - 1,8 % de Mo, del 0,004 - 0,020 % de N, hasta el 0,40 % de S, del 0,004 - 0,020 % de Al, del 0,0005 - 0,0025 % de B, hasta el 0,10 %
10 de Nb, hasta el 0,01 % de Ti, hasta el 0,20 % de V o hasta el 0,5 % de Ni, así como hasta el 1,5 % de Co, el resto hierro e impurezas inevitables, tal como sigue:

A) a partir del acero se moldea una pieza de construcción de acero.

15 B) La pieza de construcción de acero se somete a un tratamiento de nitruración o nitrocarburoción, en el que

B.1) la pieza de construcción de acero se calienta en primer lugar durante un período de austenización de 15 - 120 min hasta una temperatura de austenización que se encuentra al menos 20 °C, en particular 20 -100 °C o 30 - 50 °C, por encima de la temperatura Ac3 del acero, por el que está constituida la pieza de construcción de acero, y a continuación se enfría rápidamente hasta temperatura ambiente de modo que durante el enfriamiento se recorre el intervalo de temperatura de 800 - 500 °C en el plazo de menos de 200 s, para generar una estructura que está constituida en al menos el 80 % en volumen en la pieza de construcción, y
20

B.2) la pieza de construcción de acero a continuación para la nitruración o nitrocarburoción se mantiene durante un período de 60 min a 100 horas bajo una atmósfera que contiene nitrógeno o que contiene nitrógeno y carbono, a una temperatura que se encuentra por debajo de la temperatura Ac1 del acero, por el que está constituida la pieza de construcción de acero, que asciende normalmente a 440 - 580 °C y a continuación se enfría, para generar en la pieza de construcción de acero una capa marginal endurecida con un espesor de 1 - 1200 µm.
25

30 Durante la nitruración o nitrocarburoción realizada de la manera indicada anteriormente se producen a partir del acero usado tras la medida de la invención contenidos existentes en Cr, V, Nb o Ti mediante la formación de nitruros para una alta dureza de superficie. La zona de núcleo bainítica (matriz) experimenta durante la nitruración o nitrocarburoción un aumento de la dureza en aprox. 100 - 150 MPa mediante la producción de carburos especiales en particular a partir de los contenidos en Mo contenidos en el acero (carburo rico en molibdeno).

35 Los parámetros, ajustados de manera concreta en cada caso, "duración" y "temperatura" del tratamiento de nitruración o nitrocarburoción se ajustan a este respecto de manera en sí conocida dependiendo del tamaño de la pieza de construcción de modo que se consigue una capa marginal endurecida con un espesor que se encuentra dentro de las especificaciones de acuerdo con la invención.

40 Si debe realizarse un mecanizado con desprendimiento de virutas de la pieza de construcción, para optimizar por ejemplo su exactitud dimensional, entonces se realiza éste ventajosamente entre las etapas de trabajo B1) y B2) en la pieza de construcción de acero relativamente blanda tras la etapa de trabajo B1), para evitar el desgaste de la herramienta en comparación con un desprendimiento de virutas en el estado endurecido final.

45 El acero que va a usarse de acuerdo con la invención es adecuado especialmente para la fabricación de ruedas dentadas, ejes, árboles o soportes para herramientas con capa marginal endurecida para herramientas de corte fabricadas de manera pulvimetalúrgica.

50 A continuación se explica la invención por medio de ejemplos de realización.

Se han fundido tres masas fundidas S1, S2, S3 que van a usarse de acuerdo con la invención, cuya composición está indicada en la tabla 1.

55 En un primer ensayo se ha moldeado a partir del acero S1 una rueda dentada. La rueda dentada se ha sometido a continuación de manera convencional según la medida del modo de procedimiento descrito en la ficha técnica 452 en primer lugar a una carburación a 920 °C durante un período de 300 min bajo una atmósfera que contiene carbono compuesta de manera en sí conocida para este fin. De esta manera se ha producido en la rueda dentada mediante difusión termoquímica una capa marginal cementada (carburada) con un espesor de 520 µm. A continuación se ha enfriado la rueda dentada hasta temperatura ambiente, ascendiendo la velocidad de enfriamiento a 2 K/s y habiéndose recorrido el intervalo de temperatura crítico de 800 - 500 °C en un tiempo t8/5 de 10 min.
60

La rueda dentada obtenida se ha calentado a continuación hasta una temperatura de austenización que asciende a 920 °C y se ha mantenido a esta temperatura durante 30 min. A continuación se ha enfriado bruscamente la rueda dentada con una velocidad de enfriamiento de 2 K/s. A este respecto se ha recorrido el intervalo de temperatura crítico de 800 - 500 °C en un tiempo t8/5 de 600 s.
65

La rueda dentada endurecida por cementación de esta manera presentaba en la superficie de su capa marginal endurecida una dureza de 750 HV y en su zona de núcleo (matriz) que lleva la capa marginal endurecida una estructura completamente bainítica. La energía absorbida durante el choque Charpy-V de la zona de núcleo no endurecida de la

5 En un segundo ensayo se ha moldeado a partir del acero S2 de nuevo una rueda dentada. La rueda dentada se ha sometido a continuación en primer lugar a una carburación a 920 °C durante un período de 30 min bajo una atmósfera que contiene carbono habitual para este fin en el estado de la técnica. De esta manera se ha producido en la rueda dentada mediante difusión termoquímica una capa marginal cementada (carburada) con un espesor de 535 µm.

10 A continuación se ha enfriado bruscamente la rueda dentada en aceite hasta temperatura ambiente. Se ha recorrido el intervalo de temperatura crítico de 800 - 500 °C a este respecto en un tiempo t8/5 de 17 s.

15 A continuación ha recorrido la rueda dentada un recocido de eliminación de tensiones, en el que se ha mantenido durante una hora a 650 °C, para reducir tensiones producidas en el tratamiento de carburación realizado anteriormente.

20 Tras el recocido de eliminación de tensiones se ha calentado la pieza de construcción en una etapa de endurecimiento hasta una temperatura de austenización y se ha mantenido a esta temperatura durante una hora, que se encontraba 40 °C por debajo de la temperatura Ac3 del acero S2, habiéndose determinado la temperatura Ac3 del acero S2 anteriormente de manera en sí conocida por medio de un ensayo de dilatómetro. A continuación se ha enfriado bruscamente la rueda dentada de nuevo en aceite, de modo que también en este caso ascendía el tiempo t8/5 a 17 s.

25 Tras el endurecimiento se ha sometido la rueda dentada a un revenido convencional, en el que se ha mantenido durante una hora a 180 °C.

30 La rueda dentada endurecida por cementación de esta manera presentaba en la superficie de su capa marginal endurecida una dureza de 750 HV y en su zona de núcleo (matriz) que lleva la capa marginal endurecida una estructura completamente bainítica, que estaba constituida por bainita nuevamente formada y vieja altamente revenida. La energía absorbida durante el choque Charpy-V ascendía en tres muestras en promedio a 62 J.

35 En un tercer ensayo se ha moldeado a partir del acero S3 una rueda dentada con un diámetro inferior a 40 mm. La rueda dentada se ha sometido a continuación en primer lugar a una carburación a 920 °C durante un período de 30 min bajo una atmósfera que contiene carbono habitualmente usada para este fin. De esta manera se ha producido en la rueda dentada mediante difusión termoquímica una capa marginal cementada (carburada) con un espesor de 530 µm. A continuación se ha enfriado bruscamente la rueda dentada con una velocidad de enfriamiento de 3 K/s hasta temperatura ambiente en agua. Se ha recorrido el intervalo de temperatura crítico de 800 - 500 °C a este respecto en un tiempo t8/5 de 300 s.

40 Tras este tratamiento de carburación se ha calentado la pieza de construcción en una etapa de endurecimiento hasta una temperatura de austenización y se ha mantenido a esta temperatura durante una hora, que ascendía a 920 °C. A continuación se ha enfriado bruscamente la rueda dentada en agua, ascendiendo en este caso el tiempo t8/5 a 300 s.

45 La rueda dentada endurecida por cementación de esta manera presentaba en la superficie de su capa marginal endurecida una dureza de 760 HV y en su zona de núcleo (matriz) que lleva la capa marginal endurecida una estructura completamente bainítica. La energía absorbida durante el choque Charpy-V ascendía en tres muestras en promedio a 78 J.

50 Con el tercer ensayo pudo mostrarse, por consiguiente, que mediante la adición de contenidos eficaces en Co puede encontrarse el riesgo de que en piezas de construcción de acero aleadas de acuerdo con la invención con diámetros pequeños por regla general inferiores a 40 mm y un enfriamiento brusco en agua también con aceros que van a transformarse básicamente de manera bainítica se llega a una transformación martensítica indeseada de la cubierta exterior. La zona de transformación martensítica puede ser sin contramedidas adecuadas de varios milímetros de espesor y sobre todo es alterante en caso de un mecanizado mecánico. Mediante la adición de cobalto puede acelerarse el inicio de la transformación bainítica, tal como puede asumirse por medio del diagrama de ZTU reproducido en la figura 1 para el acero S3.

55

Tabla 1

Elemento	S1	S2	S3
C	0,19	0,17	0,18
Si	0,29	0,62	0,65
Mn	0,79	1,37	1,42
Cr	2,0	0,83	0,87
Mo	0,70	0,75	0,82
V	0,097	0,12	0,12
Al	0,020	0,018	0,010
N	0,007	0,007	0,008
B	0,0001	0,0010	0,0001
Nb	0,020	0,002	0,002
Co	0,001	0,001	0,890
Ti	0,001	0,01	0,01
S	0,0016	0,003	0,003
Ni	0,22	0,12	0,10
Cu	0,03	0,03	0,04
datos en % en peso, el resto hierro e impurezas inevitables			

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la fabricación de una pieza de construcción de acero endurecida por cementación, concretamente de una rueda dentada, de un árbol, de un eje o de un soporte para herramientas, en el que la pieza de construcción de acero

a) se moldea a partir de un acero, que está constituido, en % en peso, por

C:	0,1	-0,30 %,
Si:	0	- 0,80 %,
Mn:	0,20	- 2,00 %,
Cr:	0	- 4,00 %,
Mo:	0,5	- 1,80 %,
N:	0,004	- 0,020 %,
S:	0	- 0,40 %,
Al:	0,004	- 0,020 %,
B:	0	- 0,0025 %
Nb:	0	- 0,20 %,
Ti:	0	- 0,02 %,
V:	0	- 0,40 %,
Ni:	0	- 0,5 %,
Cu:	0	- 0,3 %,
Co:	0	- 1,5 %

10 el resto son hierro e impurezas inevitables, que comprenden en particular contenidos de P de hasta el 0,0035 % en peso, cumpliendo el contenido de Al % Al, el contenido de Nb % Nb, el contenido de Ti % Ti, el contenido de V % V y el contenido de N % N del acero la siguiente condición: $\% \text{Al}/27 + \% \text{Nb}/45 + \% \text{Ti}/48 + \% \text{V}/25 > \% \text{N}/3,5$, y en el que

15 b) la pieza de construcción de acero se endurece por cementación, en cuanto que

20 b1) la pieza de construcción de acero se mantiene en una etapa de carburación durante un período de 150 min a 250 horas a una temperatura de 900 - 1050 °C en un medio que contiene carbono y opcionalmente de manera adicional nitrógeno, para generar en la pieza de construcción de acero una capa marginal carburada o carbonitrurada con un espesor de 0,3 - 15 µm, y a continuación de la etapa de carburación se enfría rápidamente hasta temperatura ambiente de modo que durante el enfriamiento se recorre el intervalo de temperatura de 800 - 500 °C en el plazo de 6 a 600 s,

25 y b2) la pieza de construcción de acero se calienta en una etapa de endurecimiento realizada tras la etapa de carburación (etapa de trabajo b1) hasta una temperatura de austenización que se encuentra al menos 20 °C por encima de la temperatura Ac1 y por debajo de la temperatura Ac3 del acero del que está constituida la pieza de construcción de acero, y se enfría partiendo de la temperatura de austenización con una velocidad de enfriamiento de 0,5 - 50 K/s hasta temperatura ambiente,

30 de modo que la pieza de construcción de acero obtenida presenta una capa marginal endurecida termoquímicamente y en su zona de núcleo presenta una estructura que está compuesta en al menos el 80 % en volumen de bainita, que está constituida por bainita altamente recocida, que procede de la estructura que presentaba la pieza de construcción de acero tras la cementación (etapa de trabajo b.1) y antes del endurecimiento (etapa de trabajo b.2), y bainita formada nuevamente, así como de como máximo el 20 % en volumen de austenita residual, ferrita, perlita o martensita.

35 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el acero contiene (en % en peso) del 0,12- 0,25 % de C, del 0,20 - 0,80 % de Si, del 0,40 - 1,20 % de Mn; del 1,0 - 3,0 % de Cr, del 0,5 - 1,8 % de Mo, del 0,004 - 0,020 % de N, hasta el 0,40 % de S, del 0,004 - 0,020 % de Al, del 0,0001 - 0,0025 % de B, hasta el 0,10 % de Nb, hasta el 0,015 % de Ti, hasta el 0,20 % de V, hasta el 0,5 % de Ni y/o hasta el 1,0 % de Co.

40 3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** la pieza de construcción de acero entre las etapas de trabajo b1) y b2) se somete opcionalmente a un recocido de eliminación de tensiones a una temperatura de 150 - 680 °C durante un período de 15 - 120 min.

45 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la pieza de construcción de acero se somete tras el endurecimiento (etapa de trabajo b2) opcionalmente a un tratamiento de revenido, en el que se mantiene durante un período de 30 - 180 min a una temperatura de 150 - 275 °C y a continuación se enfría de

manera no controlada hasta temperatura ambiente.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la estructura en la zona de núcleo de la pieza de construcción de acero presenta una energía absorbida durante el choque Charpy-V de más de 40 J, que se determina de acuerdo con la norma DIN EN 10045.

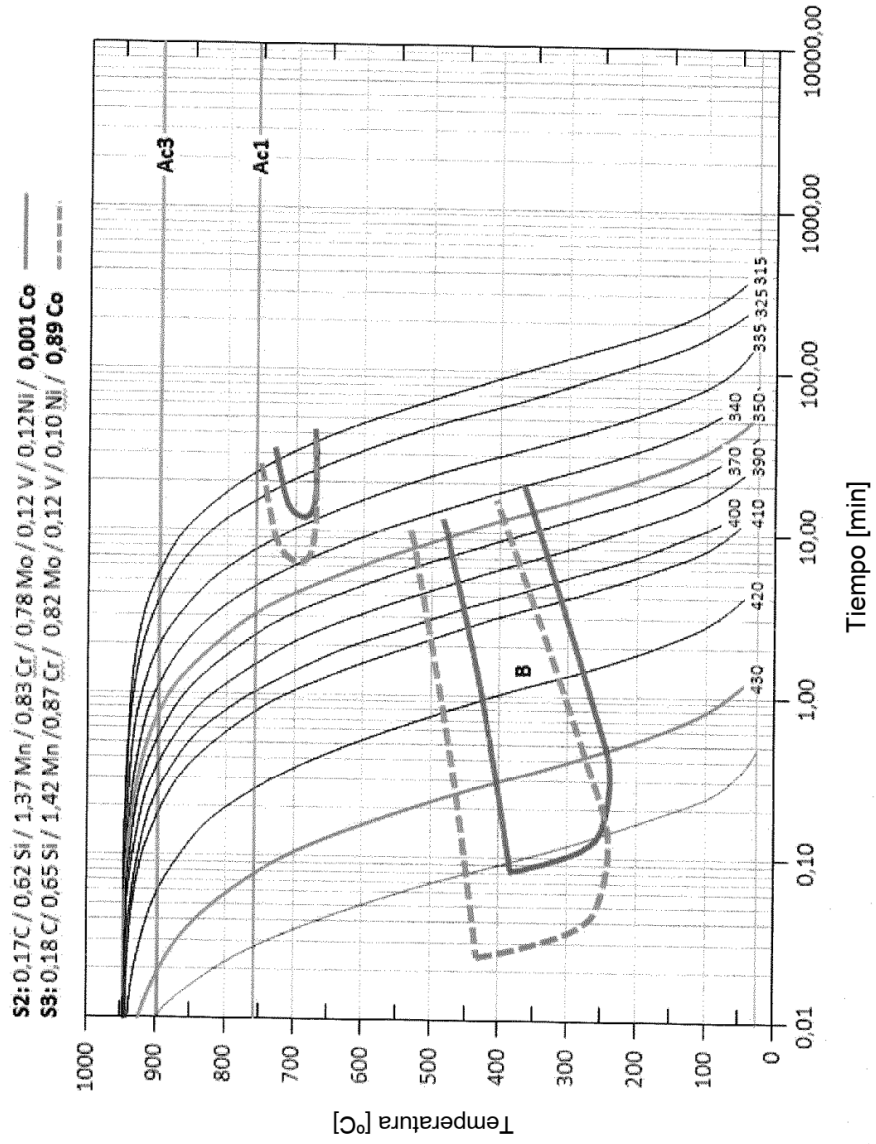


FIG. 1