

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 805**

51 Int. Cl.:

C21D 1/02	(2006.01)
C21D 1/20	(2006.01)
C22C 38/00	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)
C22C 38/12	(2006.01)
C22C 38/18	(2006.01)
C22C 38/22	(2006.01)
C22C 38/38	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.11.2015 E 15194741 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2019 EP 3168312**

54 Título: **Acero fino estructural con estructura bainítica, pieza forjada fabricada a partir del mismo y procedimiento para fabricar una pieza forjada**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.12.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**REICHEL, ULRICH;
SCHNEIDERS, TILL;
VAN SOEST, FRANK y
KRULL, HANS-GÜNTER**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 733 805 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 fino estructural con estructura bainítica, pieza forjada fabricada a partir del mismo y procedimiento para fabricar una pieza forjada

5 La invención se refiere a un acero fino estructural con alta resistencia y una estructura, que se compone en al menos el 80 % en volumen de bainita.

Además, la invención se refiere a una pieza forjada, que está fabricada a partir de tal acero fino estructural.

10 Finalmente, la invención se refiere a un procedimiento para fabricar una pieza constructiva forjada a partir de un acero fino estructural de acuerdo con la invención.

15 Si en lo sucesivo se proporcionan datos en " %" sobre aleaciones o composiciones de acero, entonces estos se refieren al peso en cada caso, a menos que se indique expresamente lo contrario.

Todas las propiedades mecánicas del acero de acuerdo con la invención y de los aceros indicados dado el caso para comparar en la presente memoria, a menos que se indique lo contrario, se han determinado según la norma DIN EN ISO 6892-1.

20 Según lo descrito por el ingeniero diplomado Christoph Keul y col. en el artículo "Entwicklung eines hochfesten duktilen bainitischen (HDB) Stahls für hochbeanspruchte Schmiedebauteile" (desarrollo de un acero de bainita dúctil altamente resistente para piezas constructivas forjadas altamente solicitadas, publicado en Schmiede-Journal, número de septiembre de 2010, editado por la Asociación Industrial Alemana Massivumformung eV, especialmente en la industria de la forja hay una demanda de conceptos de materiales de acero, que ofrezcan la posibilidad de realizar una alta resistencia y tenacidad en cadenas de proceso de su fabricación acortadas. Además, el artículo afirma que se han acreditado como materiales prometedores aquellos que presentan una estructura bainítica, en los que se combinan buenas propiedades de resistencia y tenacidad sin la necesidad de un tratamiento térmico adicional, que están caracterizados por resistencias a la tracción de más de 1200 MPa, un límite elástico de más de 850 MPa y un alargamiento a la rotura de más del 10 % en caso de una resiliencia de 27 J a temperatura ambiente. Como ejemplo de conceptos de aleación, que ofrecen tales propiedades, en el artículo se presenta un acero con (en % en peso) 0,18 % de C, 1,53 % de Si, 1,47 % de Mn, 0,007 % de S, 1,30 % de Cr, 0,07 % de Mo, 0,0020 % de B, 0,027 % de Nb, 0,026 % de Ti, 0,0080 % de N, hierro residual e impurezas inevitables y un acero con 0,22 % de C, 1,47 % de Si, 1,50 % de Mn, 0,006 % de S, 1,31 % de Cr, 0,09 % de Mo, 0,0025 % de B, 0,035 % de Nb, 0,026 % de Ti, 0,0108 % de N, hierro residual e impurezas inevitables.

Otro desarrollo, que también se dirige a un acero para la fabricación de piezas forjadas en estampa, que poseen una resistencia elevada a la vez que una elevada tenacidad sin tratamiento térmico adicional se describe en el documento EP 1 546 426 B1. El acero conocido por este documento de patente contiene (en % en peso) 0,12 - 0,45 % de C, 0,10 - 1,00 % de Si, 0,50 - 1,95 % de Mn, 0,005 - 0,060 % de S, en cada caso 0,004 - 0,050 % de Al y Ti, en cada caso hasta 0,60 % de Cr, Ni, Co, W, Mo y Cu, hasta 0,01 % de B, hasta 0,050 % de Nb, 0,10 - 0,40 % de V, 0,015 - 0,04 % de N y hierro residual e impurezas inevitables con la condición de que el producto de los contenidos V y N del acero sea 0,0021 - 0,0120, de que el contenido de S sea % de S, el contenido de Al en % de Al, el contenido de Nb % de Nb y el contenido de Ti % de Ti, cumplan la condición $1,6 \times \% \text{ de S} + 1,5 \times \% \text{ de Al} + 2,4 \times \% \text{ de Nb} + 1,2 \times \% \text{ de Ti} = 0,040 - 0,080$ % y el contenido de Mn % de Mn, el contenido de Cr % de Cr, el contenido de Ni % de Ni, el contenido de Cu % de Cu y el contenido de Mo % de Mo cumplan la condición $1,2 \times \% \text{ de Mn} + 1,4 \times \% \text{ de Cr} + 1,0 \times \% \text{ de Ni} + 1,1 \times \% \text{ de Cu} + 1,8 \times \% \text{ de Mo} = 1,00 - 3,50$ %. Se considera esencial a este respecto que la mejora de la tenacidad necesaria se logre reduciendo el contenido de carbono en el acero. La pérdida de resistencia inherente a esto principalmente del estado de la técnica se compensa con el resto de los elementos de aleación, cuyos contenidos se ajustan de modo que se produce la solidificación por formación de solución sólida.

Además, por el documento DE 697 28 076 T2 (EP 0 787 812 B1) se conoce un procedimiento de fabricación de una pieza forjada de acero, en la que un acero con (en % en peso) 0,1 - 0,4 % de C, 1 - 1,8 % de Mn, 0,15 - 1,7 % de Si, hasta 1 % de Ni, hasta 1,2 % de Cr, hasta 0,3 % de Mo, hasta 0,3 % de V, hasta 0,35 % de Cu y en cada caso opcionalmente 0,005 - 0,06 % de Al, 0,0005 - 0,01 % de B, 0,005 - 0,03 % de Ti, 0,005 % - 0,06 % de Nb, 0,005 - 0,1 % de S, hasta 0,006 % de calcio, hasta 0,03 % de Te, hasta 0,05 % de Se, hasta un 0,05 % de Bi y como resto hierro y las impurezas inevitables se cuelean para formar un producto semiacabado, que luego se forja en caliente de una manera convencional para formar una pieza forjada. A continuación, la pieza forjada se somete a un tratamiento térmico, que comprende un enfriamiento que se desarrolla con una velocidad de enfriamiento V_r de más de 0,5 °C/s de una temperatura, en la que el acero es austenítico, hasta una temperatura T_m , que está entre $M_s + 100$ °C y $M_s - 20$ °C. La pieza forjada se mantiene entonces durante al menos dos minutos a una temperatura, que está entre la temperatura T_m y una temperatura T_f , para la que es válido $T_f > T_m - 100$ °C. De esta forma podemos obtener una pieza constructiva de acero con estructura esencialmente bainítica, que comprende al menos un 15 % de bainita inferior y preferiblemente al menos un 20 % de bainita formada entre T_m y T_f .

Además del estado de la técnica descrito anteriormente por el documento DE 697 28 076 T2 se conoce un

procedimiento para fabricar una pieza forjada, que se crea a partir de un acero, que contiene (en % en peso) > 0.1 %, preferiblemente > 0,15 % de C, pero <0.4 % y preferiblemente <0,3 % C, para limitar una dureza suficiente y la resistencia a la tracción Rm a 1200 MPa, > 1 % de manganeso, para obtener suficiente capacidad de endurecimiento, pero <1,8 %, preferiblemente <1,6 %, de Mn, para evitar la formación de flejes con segregación, > 0.15 % de Si, para endurecer la ferrita y dado el caso para promover la formación de austenita residual, lo que mejora la resistencia a la fatiga, sin embargo, <1,7 % de Si, porque más silicio haría que el acero fuera quebradizo, y ≤ 1 % de Ni, ≤ 1,2 % de Cr y ≤ 0,3 % de Mo, para ajustar la capacidad de endurecimiento. Opcionalmente, el acero también puede contener 0,005 - 0,03 % de Ti, 0,005 - 0,06 % de Nb, 0,0005 - 0,01 % de B, ≤ 0,3 % de V, < 0,35 % de Cu, 0,005 - 0,06 % de Al, 0,005 - 0,1 % de S, ≤ 0,006 % de Ca, ≤ 0,03 % de Te, ≤ 0,05 % de Se, ≤ 0,05 % de Bi, ≤ 0.1 % de Pb, estando compuesto el resto del acero de hierro y en cada caso de impurezas inevitables.

Además, a partir del documento EP 1 408 131 A1 se conoce una composición de acero, que se compone de (en % en peso) de C: 0,12 - 0,45 %, Si: 0,10 - 1,00 %, Mn: 0,50 - 1,95 %, S: 0,005 - 0,060 %, Al: 0,004 - 0,050 %, Cr: 0 - 0,60 %, Ni: 0 - 0,60 %, Co: 0 - 0,60 %, W: 0 - 0,60 %, B: 0 - 0,01 %, Mo: 0 - 0,60 %, Cu: 0 - 0,60 %, Nb: 0 - 0,050 %, V: 0,10 - 0,40 %, N: 0,015 - 0,040 % y como resto de Fe e impurezas inevitables. A este respecto los contenidos de V y N, de S, Al, Nb, Ti y Mn, Cr, Ni, Cu, Mo según condiciones especiales se adaptan entre sí. El acero compuesto de este modo debe ser adecuado especialmente para la fabricación de piezas forjadas en estampa, en particular las piezas de tren de rodaje, con alta resistencia y alta tenacidad sin bonificación final.

Experimentos prácticos con materiales de acero del tipo descrito anteriormente han demostrado que tales aceros bainíticos no son adecuados para piezas constructivas con grandes cambios en la sección transversal debido a su tendencia a deformarse y a propiedades mecánicas muy fluctuantes.

Ante este contexto, el objetivo de la invención era crear un acero que tenga una alta resistencia, sin tener que someterse a costosos procesos de tratamiento térmico, que tenga una baja tendencia a la deformación y, como tal, sea en particular adecuado para la fabricación con tecnología de forja de piezas forjadas con grandes cambios en su sección transversal a través de su longitud.

Asimismo, debería especificarse una pieza forjada, que tenga una combinación óptima de propiedades sin complejos procedimientos de tratamiento térmico.

Finalmente, debería proponerse un procedimiento para fabricar una pieza forjada, que permita la creación de piezas forjadas con una combinación optimizada de propiedades con medios simples.

Con respecto al acero, la invención ha conseguido el objetivo mencionado anteriormente gracias al acero fino estructural especificado en la reivindicación 1.

Con respecto a la pieza constructiva de forja, la solución de acuerdo con la invención del objetivo mencionado anteriormente consiste en que dicha pieza constructiva de acero está fabricada a partir de un acero de acuerdo con la invención.

Con respecto al procedimiento, la invención finalmente ha conseguido el objetivo mencionado anteriormente en el sentido de que durante la fabricación de una pieza constructiva forjada, se ejecutan las etapas de trabajo mencionadas en la reivindicación 12.

Las realizaciones ventajosas de la invención se especifican en detalle en las reivindicaciones dependientes y se explican a continuación como el concepto inventivo general.

Un acero fino estructural de acuerdo con la invención tiene una resistencia elástica de al menos 750 MPa y una resistencia a la tracción de al menos 950 MPa y un mínimo de 80 % en volumen de estructura bainítica, pudiendo ser el 20 % en volumen restante de la microestructura austenita residual, ferrita, perlita o martensita.

A este respecto, el acero de acuerdo con la invención se caracteriza por un alto alargamiento a la rotura A de al menos el 10 %, en particular al menos el 12 %, mostrándose en la práctica que los aceros de acuerdo con la invención alcanzan regularmente un alargamiento en la rotura A de al menos el 15 %.

De acuerdo con la invención, para ello el acero fino estructural se compone de (en % en peso) hasta 0,25 % de C, hasta 1,5 % de Si, en particular hasta el 1 % de Si o hasta el 0,45 % de Si, 0,20 - 2,00 % de Mn, hasta 4,00 % de Cr, 0,7 - 3,0 % de Mo, 0,004 - 0,020 % de N, hasta 0,40 % de S, 0,001 - 0,035 % de Al, 0,0005 - 0,0025 % de B, hasta 0,015 % de Nb, hasta 0,01 % de Ti, hasta 0.50 % de V, hasta 1,5 % de Ni, hasta el 2,0 % de Cu y como resto hierro e impurezas inevitables, en el que el contenido de Al en % de Al, el contenido de Nb en % de Nb, el contenido de Ti en % de Ti, el contenido de V en % de V y el contenido de N en % de N del acero fino estructural cumplen en cada caso la siguiente condición:

$$\% \text{ Al}/27 + \% \text{ Nb}/45 + \% \text{ Ti}/48 + \% \text{ V}/25 > \% \text{ N}/3,75$$

A las impurezas inevitables debidas a la fabricación pertenecen todos los elementos que están presentes en cantidades ineficaces con relación a las propiedades de interés en este caso en términos de tecnología de aleación y llegan al acero debido a la ruta de fusión seleccionada en cada caso o al material de partida seleccionado (chatarra). En particular, a las impurezas inevitables pertenecen también contenidos de P de hasta 0,0035 % en peso.

5 Un acero de acuerdo con la invención y las piezas constructivas de forja fabricadas a partir del mismo se caracteriza por una distribución de propiedades particularmente uniforme, si, debido al cambio en las dimensiones de las piezas constructivas durante el enfriamiento, observado desde el calor de forja a través del volumen de la pieza forjada, prevalecen condiciones de enfriamiento muy diferentes localmente. Esta insensibilidad a las condiciones de enfriamiento se logra porque el acero fino estructural de acuerdo con la invención es homogéneo, posee en la mayor medida una estructura exclusivamente bainítica con baja varianza de la dureza. Este estado de estructura homogénea contiene al mismo tiempo bajas tensiones residuales, lo que tiene un efecto positivo en el comportamiento de deformación.

15 Por consiguiente, el acero de acuerdo con la invención es particularmente adecuado para la fabricación de piezas constructivas forjadas, en las que secciones de muy diferentes volúmenes y diámetros están contiguas. Ejemplos para tales piezas de forja, para cuya fabricación con la técnica de forja el acero de acuerdo con la invención es particularmente adecuado, son cigüeñales, bielas y similares, que están destinados en particular para los motores de combustión interna.

20 Además, a partir del acero de acuerdo con la invención pueden fabricarse piezas en el área del tren de rodaje y la suspensión de manera confiable con secciones transversales muy diferentes sin mucho procesamiento avanzado posterior mediante rectificado manteniéndose las propiedades de resistencia predeterminadas.

25 Como puede entenderse mediante el diagrama TTT de un acero de acuerdo con la invención adjunto como Figura 1, esto significa, desde el punto de vista de la técnica de materiales, que se puede utilizar una ventana particularmente ancha para el bainitizado en un acero fino estructural de acuerdo con la invención, cuando el acero fino estructural de acuerdo con la invención se enfría continuamente a partir del calor de forja. La aleación del acero fino estructural de acuerdo con la invención se elige a este respecto de modo que en el curso del enfriamiento no se produzcan cantidades de martensita o ferrita o perlita en la estructura que afecten a sus propiedades. El acero fino estructural de acuerdo con la invención se caracteriza por consiguiente en que predominantemente, es decir, en al menos 80 % en volumen de estructura bainítica, estando normalmente el contenido de constituyentes de estructura no bainítica en aceros de acuerdo con la invención tan minimizado que el acero de acuerdo con la invención tiene una estructura completamente bainítica en el sentido técnico.

35 En este sentido, el acero fino noble de acero de acuerdo con la invención es en gran medida independiente de la velocidad de enfriamiento en bainita con una dureza casi constante. La dureza constante es una consecuencia de la transformación casi completa de la antigua austenita en bainita, preferentemente en un paso de transformación bainítica.

40 Al limitar el contenido de C a un máximo de 0,25 % en peso, por un lado se logra que un acero fino estructural de acuerdo con la invención tenga buenas propiedades de alargamiento y tenacidad a pesar de su resistencia máxima. El bajo contenido de C en un acero de acuerdo con la invención también contribuye a la aceleración de la transformación de bainita, de modo que se evite la aparición de constituyentes de estructura indeseados.

45 Al mismo tiempo, sin embargo, una cierta cantidad de carbono en el acero fino estructural de acuerdo con la invención también puede contribuir a la resistencia. Para este propósito, está previsto un contenido de al menos 0,09 % en peso en el acero. De este modo, se logra un efecto optimizado de la presencia de C en el acero de acuerdo con la invención al ajustarse el contenido de C en 0,09 - 0,25 % en peso.

50 El contenido de Si de un acero de acuerdo con la invención está limitado a 1,5 % en peso, en particular el 1 % en peso o el 0,75 % en peso, para permitir la transformación de bainita se desarrolle lo antes posible. Para lograr este efecto de manera especialmente segura, el contenido de Si puede limitarse a un máximo de 0,45 % en peso.

55 Mo está presente en el acero fino estructural de acuerdo con la invención en contenidos de 0,6 - 3,0 % en peso, para retrasar la transformación de la estructura en ferrita o perlita. Este efecto se produce en particular, entonces, si al menos el 0,7 % en peso, en particular más del 0,70 % en peso de Mo, están presentes en el acero. En contenidos de más del 3,0 % en peso, ya no se produce ningún aumento económicamente viable en el efecto positivo de Mo en el acero de acuerdo con la invención. Además, por encima del 3,0 % en peso de Mo, existe un riesgo de formación de una fase de carburo rica en molibdeno, que puede afectar negativamente a las propiedades de tenacidad. Pueden esperarse efectos óptimos de Mo en el acero de acuerdo con la invención cuando el contenido de Mo es al menos 0,7 % en peso. Los contenidos de Mo de como máximo 2,0 % en peso han demostrado ser a este respecto particularmente efectivos.

65 El manganeso está presente en cantidades de 0,20 - 2,00 % en peso en el acero de acuerdo con la invención para ajustar la resistencia a la tracción y el límite elástico. Se requiere un contenido mínimo de 0,20 % en peso de Mn,

para que haya un aumento de resistencia. Si este efecto ha de lograrse con particular seguridad, entonces puede preverse un contenido de Mn de al menos 0,35 % en peso. Los contenidos demasiado altos de Mn conducen a la demora de la transformación bainítica y, por lo tanto, a una transformación predominantemente martensítica. Por lo tanto, el contenido de Mn está limitado a como máximo 2,00 % en peso, en particular el 1,5 % en peso. Las influencias negativas de la presencia de Mn se pueden evitar de forma especialmente segura, al limitarse el contenido de Mn en el acero de acuerdo con la invención a un máximo de 1,1 % en peso.

El contenido de azufre de un acero de acuerdo con la invención puede ser de hasta el 0,4 % en peso, en particular como máximo 0,1 % en peso o como máximo 0,05 % en peso, para respaldar la maquinabilidad del acero.

El ajuste fino en cuanto a la técnica de aleación con respecto a propiedades mecánicas y la calidad de estructura de un acero fino estructural de acuerdo con la invención se lleva a cabo según el concepto de aleación de acuerdo con la invención por medio de una microaleación combinada de los elementos de boro en cantidades de 0,0005 - 0,0025 % en peso, nitrógeno en contenidos de 0,004 - 0,020 % en peso, en particular, al menos 0,006 % en peso de N o hasta 0,0150 % en peso de N, aluminio en contenidos de 0,001 - 0,035 % en peso y niobio en contenido de hasta 0,015 % en peso, titanio en cantidades de hasta 0,01 % en peso y vanadio en niveles de hasta 0,10 % en peso.

Los contenidos % de Al, % de Nb, % de Ti, % de V y % N de Al, Nb, Ti, V y N a este respecto están tan enlazados entre sí a través de la condición

$$\% \text{ Al}/27 + \% \text{ Nb}/45 + \% \text{ Ti}/48 + \% \text{ V}/25 > \% \text{ N}/3,75$$

de modo que el nitrógeno contenido en el acero estructural fino esté completamente unido a través de los contenidos presentes en cada caso de Al así como los contenidos de Nb, Ti y V añadidos adicionalmente en caso necesario, y el boro puede actuar por consiguiente retrasar la transformación. Al mismo tiempo, los contenidos previstos de acuerdo con la invención y adaptados unos a otros y al contenido de N de los microelementos contribuyen al aumento de la estabilidad de grano fino y resistencia.

La unión de N de acuerdo con la invención hace posible además que el boro sea efectivo como elemento disuelto en la matriz y reprima la formación de ferrita y / o perlita.

Para aprovechar las ventajas de la presencia de elementos de microaleación y de aluminio de forma segura, puede ser conveniente ajustar el contenido de Al a al menos 0,004 % en peso, el contenido de Ti a al menos 0,001 % en peso, el contenido de V a al menos 0,02 % en peso o el contenido de Nb a al menos 0,003 % en peso. A este respecto los elementos de microaleación V, Ti, Nb por un lado y Al por otro lado en cada caso pueden estar presentes en combinación con uno o más elementos del grupo "Al, V, Ti, Nb" o solo en cantidades situadas por encima de los contenidos mínimos mencionados.

En contenidos de hasta 0,008 % en peso de Ti, hasta el 0,01 % en peso de Nb, hasta el 0,075 % en peso de V o de hasta el 0,020 % en peso de Al, los efectos de estos elementos en el acero estructural de acuerdo con la invención se pueden usar de manera particularmente efectiva. Al mismo tiempo, los nitruros o carbonitruros formados aumentan la resistencia y contribuyen a la estabilidad del grano fino. También en este caso los límites superiores establecidos de los contenidos de Ti, Nb, V o Al se mantienen en cada caso solos o en combinación entre sí, para lograr el efecto óptimo en cada caso del elemento de aleación respectivo.

Los contenidos opcionalmente presentes de Cr de hasta el 4,00 % en peso, en particular de hasta el 3 % en peso o hasta el 2,5 % en peso, contribuyen a la capacidad de endurecimiento y resistencia a la corrosión del acero de acuerdo con la invención. Por ejemplo, para este propósito puede estar previsto al menos un 0,5 % en peso o al menos un 0,8 % en peso de Cr.

Asimismo los contenidos opcionalmente presentes de Ni de hasta 1,5 % en peso también pueden contribuir a la capacidad de endurecimiento del acero.

Entre los elementos de aleación que llegan a través del material de partida al acero de acuerdo con la invención o que se han agregado deliberadamente, también se encuentra Cu, cuyo contenido para evitar influencias negativas en el acero de acuerdo con la invención está limitado a como máximo 2,0 % en peso. Un efecto positivo de la presencia opcional de cobre en la aleación de un acero estructural de acuerdo con la invención consiste en la configuración de las más finas películas de austenita residual y en el aumento significativo asociado en el nivel de tenacidad. Este efecto se puede lograr al estar presentes al menos 0,3 % en peso de Cu, en particular más del 0,3 % en peso de Cu, en el acero estructural de acuerdo con la invención. Al limitarse el contenido de Cu a como máximo 0,9 % en peso, puede lograrse un efecto positivo optimizado del contenido de cobre.

Si se calienta acero de acuerdo con la invención a temperaturas de calentamiento típicas para una conformación en caliente de al menos 100 °C por encima de la temperatura respectiva de Ac3, especialmente temperatura de calentamiento que asciende en particular a más de 900 °C para la conformación en caliente, después se deforma en caliente y finalmente se enfría de manera regulada o no regulada en aire estático o agitado a una temperatura

inferior a 200 °C, en particular a temperatura ambiente, Por lo tanto, con un margen extremadamente amplio de la velocidad de enfriamiento después de la transformación, se establece una estructura bainítica uniforme. La temperatura Ac3 del acero se puede determinar de una manera conocida per se en función de su composición respectiva. El límite superior del intervalo de temperatura de calentamiento es normalmente 1300 °C, en particular 1250 °C o 1200 °C.

Como medida para el margen de velocidades de enfriamiento en este caso puede utilizarse el tiempo $t_{8/5}$, es decir, el tiempo dentro del cual cada pieza conformada en caliente en cada caso se enfría de 800 °C a 500 °C. Este tiempo $t_{8/5}$ debe ser de 10 a 1000 s en el enfriamiento de las piezas constructivas fabricadas con acero de acuerdo con la invención.

El tiempo de enfriamiento específico seleccionado en cada caso debe seleccionarse en función de la temperatura de calentamiento respectiva. La influencia de la temperatura de calentamiento se puede entenderse mediante el diagrama TTT como Figura 2, en el que para las temperaturas de calentamiento 900 °C (línea continua), 1100 °C (línea discontinua) y 1300 °C (línea punteada) la posición respectiva de cada zona de bainita está representada durante el tiempo de enfriamiento. En consecuencia, deberían seleccionarse tiempos $t_{8/5}$ más cortos a bajas temperaturas de calentamiento de 900 °C, para lograr la estructura de bainita deseada, mientras que a temperaturas de calentamiento más altas, el enfriamiento puede realizarse más lentamente. Existe una seguridad elevada de que durante el enfriamiento del acero de acuerdo con la invención se llega a la zona de bainita independientemente de la temperatura de calor respectiva, para aceros de acuerdo con la invención a temperaturas de calentamiento situadas en el intervalo de 900 - 1300 °C, si el tiempo $t_{8/5}$ es 100 - 800 s.

El concepto de aleación de acuerdo con la invención permite así altas temperaturas de conformación en caliente de más de 1150 °C, por lo que se pueden reducir las fuerzas de formación durante la conformación en caliente, sin que ocurra un crecimiento indeseable del grano.

El procedimiento de acuerdo con la invención para la fabricación de piezas forjadas con un límite elástico de al menos 750 MPa y una resistencia a la tracción de al menos 950 MPa y al menos 80 % en volumen de estructura bainítica, que en total puede contener hasta un 20 % en volumen de austenita residual, ferrita, perlita o martensita, comprende de manera correspondiente las siguientes etapas de trabajo:

- a) proporcionar un producto semiacabado de forja, que se compone de un acero fino compuesto de acuerdo con la invención del modo explicado anteriormente;
- b) calentar el producto semiacabado de forja a una temperatura de forjado de al menos 100 °C por encima de la temperatura Ac3 del acero fino estructural respectivo, determinándose la temperatura Ac3 de una manera convencional dependiendo de la composición respectiva del acero fino estructural;
- c) forjar el producto semiacabado de forja calentado a la temperatura de forja para formar la pieza forjada;
- d) enfriar la pieza forjada desde el calor de forja a una temperatura inferior a 500 °C, siendo el tiempo $t_{8/5}$ durante el enfriamiento de 10 - 1000 s.

Con el fin de reducir las fuerzas de conformación, también en el curso del procedimiento de acuerdo con la invención, con vistas a minimizar las fuerzas de forja requeridas puede ser ventajoso si el producto semiacabado que forma en cada caso el punto de partida de la deformación de forja para la forja se calienta a una temperatura de forja de más de 1150 °C.

Otro ajuste de las propiedades mecánicas, en particular la resistencia y tenacidad, de las piezas constructivas conformadas en caliente del acero de acuerdo con la invención, en particular, forjadas puede realizarse por medio de un tratamiento de revenido, en el que se mantiene la parte respectiva durante una duración de revenido de 0,5 a 2 h en el intervalo de temperatura de 180 a 375 °C.

En la práctica, en el acero de acuerdo con la invención, pueden alcanzarse de manera fiable resistencias a la tracción de al menos 950 MPa, un límite elástico de al menos 750 MPa, y un alargamiento en la rotura A de al menos 15 %, habiéndose demostrado en la práctica que se alcanzan regularmente valores de alargamiento A incluso superiores de al menos el 17 %. Esta combinación de propiedades en piezas de forja que se componen de acero de acuerdo con la invención ocurre en particular entonces, si se han creado de la manera de acuerdo con la invención.

La invención se explicará con más detalle por medio de ejemplos de realización.

Las masas fundidas de acero E1-E6 de acuerdo con la invención y una masa fundida V1 comparativa con las composiciones indicadas en la Tabla 1 se fundieron y se colaron para formar productos semiacabados, que eran bloques, como suelen proporcionarse habitualmente para el procesamiento avanzado de la tecnología de forja.

Los productos semiacabados se calientan a una temperatura de calentamiento T_w para una deformación de forja, a continuación de una manera convencional mediante forja en estampa se conforman en caliente para formar piezas forjadas y luego se enfrían en aire a temperatura ambiente. Para algunas de las forjas obtenidas se realizó a continuación un tratamiento de revenido.

5 En la Tabla 2 se indica las temperaturas de calentamiento aplicadas a los ejemplos son T_w , el tiempo $t_{8/5}$ requerido en cada caso para pasar el intervalo de temperatura crítica de 800 - 500 °C, la temperatura y duración del tratamiento de revenido, siempre y cuando se haya llevado a cabo, y el porcentaje de bainita en la estructura, la resistencia a la tracción R_m , el límite elástico R_e , el alargamiento A y resiliencia W de la pieza forjada obtenida
10 después de la forja.

Los ejemplos muestran que pueden fabricarse piezas forjadas cumpliendo con las especificaciones de acuerdo con la invención, que permiten variar los parámetros de funcionamiento establecidos en su creación en un amplio intervalo y así obtener de manera confiable a este respecto piezas constructivas conformadas en caliente con
15 propiedades mecánicas optimizadas.

Tabla 1

acero	C	Si	Mn	Cr	Mo	N	S	Al	B	Nb	Ti	V	Ni	Cu	P	(1)	(2)	(1)>(2)
E1	0,13	0,4	0,55	2,37	1,04	0,0069	0,003	0,015	0,0012	0,003	0,002	0,03	0,24	0,19	0,019	0,006864	0,00184	SI
E2	0,17	0,25	0,72	2,05	0,71	0,0100	0,005	0,020	0,0012	0,021	0,001	0,10	0,24	0,23	0,021	0,005228	0,002667	SI
E3	0,17	0,24	0,90	1,72	0,74	0,0082	0,003	0,031	0,0008	0,007	0,001	0,03	0,22	0,62	0,017	0,002525	0,002187	SI
E4	0,23	0,27	0,43	1,23	0,77	0,0076	0,034	0,017	0,0013	0,003	0,001	0,04	0,17	0,21	0,017	0,002317	0,002027	SI
E5	0,16	0,73	1,49	0,94	0,78	0,0077	0,004	0,027	0,0013	0,003	0,001	0,06	0,21	0,17	0,016	0,003488	0,002050	SI
E6	0,19	0,67	0,89	1,47	0,79	0,0092	0,005	0,035	0,0012	0,003	0,001	0,03	0,22	0,13	0,020	0,002584	0,002453	SI
V1	0,24	0,10	1,50	2,00	0,03	0,0100	0,002	0,023	-	0,020	0,015	0,02	0,40	0,50	0,018	0,002409	0,002667	NO

Datos en % en peso. Hierro residual e impurezas inevitables
 (1): %Al/27 + %Nb/45 + %Ti/48 + %V/25
 (2): %N/3,75

Tabla 2

acero	Tw	t8/5	Tratamiento de revenido	Porcentaje de bainita en la estructura	Rm	Re	A	¿De acuerdo con la invención?
	[°C]	[S]	[°C], [h]	[% en volumen]	[MPa]	[MPa]	[%]	
E1	1050	320	sin	> 97 %	965	763	22	SÍ
E2	1080	580	sin	> 97 %	1225	972	17	SÍ
E3	1080	640	sin	> 97 %	1174	840	25	SÍ
E4	1150	500	300 °C, 1,5 h	> 97 %	1192	1034	24	SÍ
E5	950	100	sin	> 97 %	1353	1112	24	SÍ
E6	950	200	sin	> 97 %	1367	1167	22	SÍ
V1	1075	500	sin	75 % (resto de MS)	1352	897	8	NO

REIVINDICACIONES

1. Acero fino estructural con un límite elástico de al menos 750 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 950 MPa y una microestructura, que se compone de al menos el 80 % en volumen de bainita y presenta en total como máximo 20 % en volumen de austenita residual, ferrita, perlita y / o martensita, estando compuesto el acero de (% en peso)

C:	0,09	-	0,25 %,
Si:	0	-	1,5 %,
Mn:	0,20	-	2,00 %,
Cr:	0	-	4,00 %,
Mo:	0,6	-	3,0 %,
N:	0,004	-	0,020 %,
S:	0	-	0,40 %,
Al:	0,001	-	0,035 %,
B:	0,0005	-	0,0025 %
Nb:	0	-	0,015 %,
Ti:	0	-	0,01 %,
V:	0	-	0,10 %,
Ni:	0	-	1,5 %,
Cu:	0	-	2,0 %,

el resto hierro e impurezas inevitables, y

el contenido de Al en % de Al, el contenido de Nb en % de Nb, el contenido de Ti en % de Ti, el contenido de V en % de V y el contenido de N en % de N del acero fino estructural cumplen en cada caso la siguiente condición:

$$\% \text{ Al}/27 + \% \text{ Nb}/45 + \% \text{ Ti}/48 + \% \text{ V}/25 > \% \text{ N}/3,75.$$

2. Acero fino estructural según la reivindicación 1, **caracterizado por que** su contenido de Al es de al menos 0,004 % en peso.

3. Acero fino estructural según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** su contenido de Al es como máximo del 0,020 % en peso.

4. Acero fino estructural según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** su contenido de Nb es de al menos el 0,003 % en peso.

5. Acero fino estructural según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** su contenido de Nb es de como máximo el 0,01 % en peso.

6. Acero fino estructural según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** su contenido de Ti es de al menos el 0,001 % en peso.

7. Acero fino estructural según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** su contenido de Ti es como máximo del 0,008 % en peso.

8. Acero fino estructural según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** su contenido de V es de al menos el 0,02 % en peso.

9. Acero fino estructural según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** su contenido de V es de al menos el 0,075 % en peso.

10. Acero fino estructural según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** su alargamiento a la rotura A es de al menos el 10 %.

11. Pieza forjada que se compone de un acero obtenido de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.

12. Procedimiento para fabricar una pieza forjada con un límite elástico de al menos 750 MPa y una resistencia a la tracción de al menos 950 MPa y una estructura bainítica en al menos el 80 % en volumen, pudiendo ser el 20 % en volumen que queda como máximo austenita retenida, ferrita, perlita o martensita, que comprende las siguientes

etapas:

- 5 a) proporcionar un producto semiacabado de forja, que se compone de un acero fino estructural compuesto según una de las reivindicaciones 1 a 9;
- b) calentar el producto semiacabado de forja a una temperatura de forja de al menos 100 °C por encima de la temperatura Ac3 del acero fino estructural;
- c) forjar el producto semiacabado de forja calentado a la temperatura de forja para formar la pieza forjada;
- d) enfriar la pieza forjada desde el calor de forja a una temperatura inferior a 200 °C, siendo el tiempo $t_{8/5}$ durante el enfriamiento de 10 - 1000 s.
- 10 13. Procedimiento según la reivindicación 12, **caracterizado por que** la temperatura de forja es superior a 1150 °C.
- 15 14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 12 u 13, **caracterizado por que** la pieza forjada pasa por un tratamiento de revenido después del enfriamiento, en el que se mantiene durante una duración de revenido de 0,5 a 2 h a una temperatura de revenido que es de 180 a 375 °C.

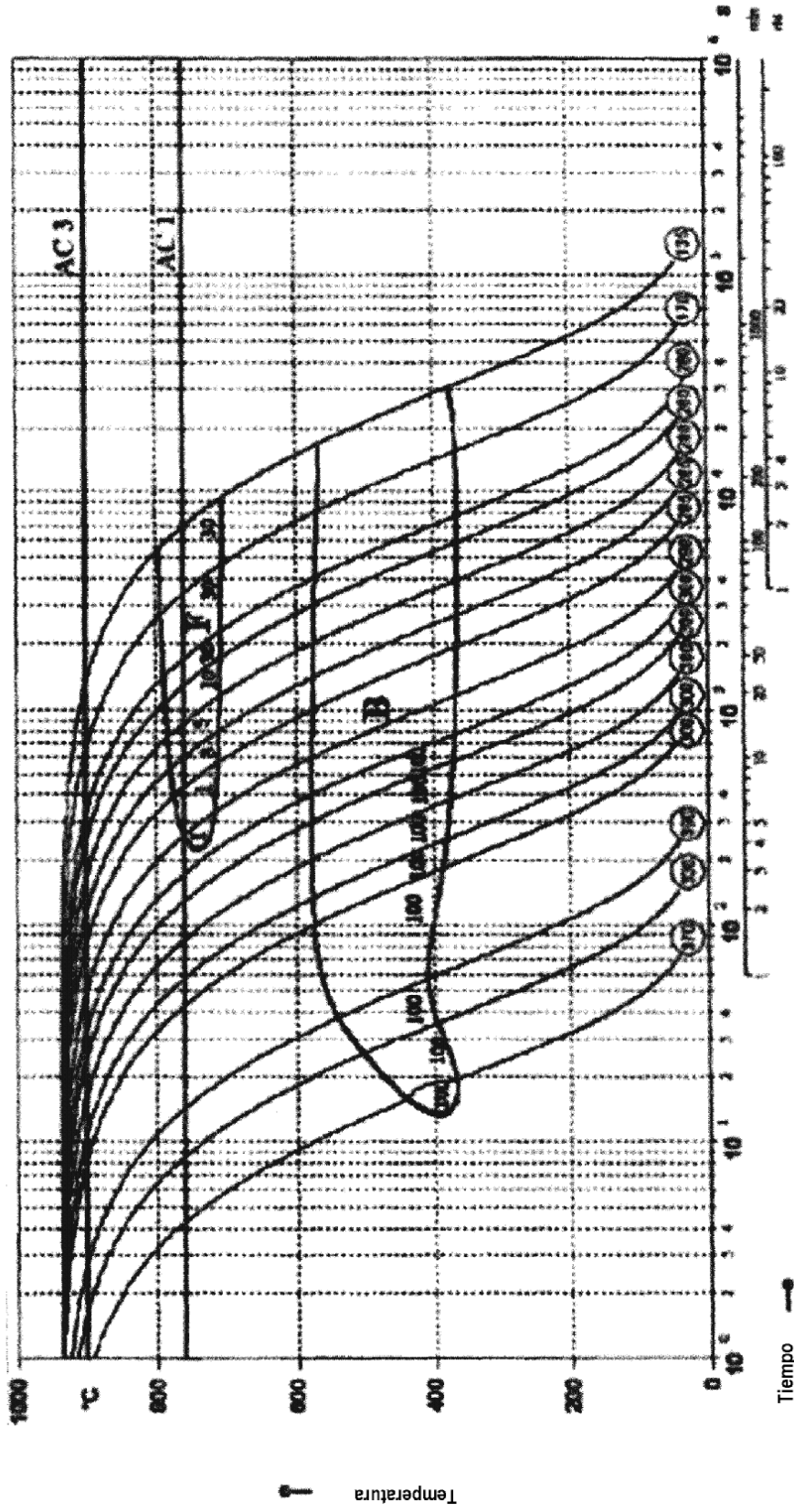


Fig. 1

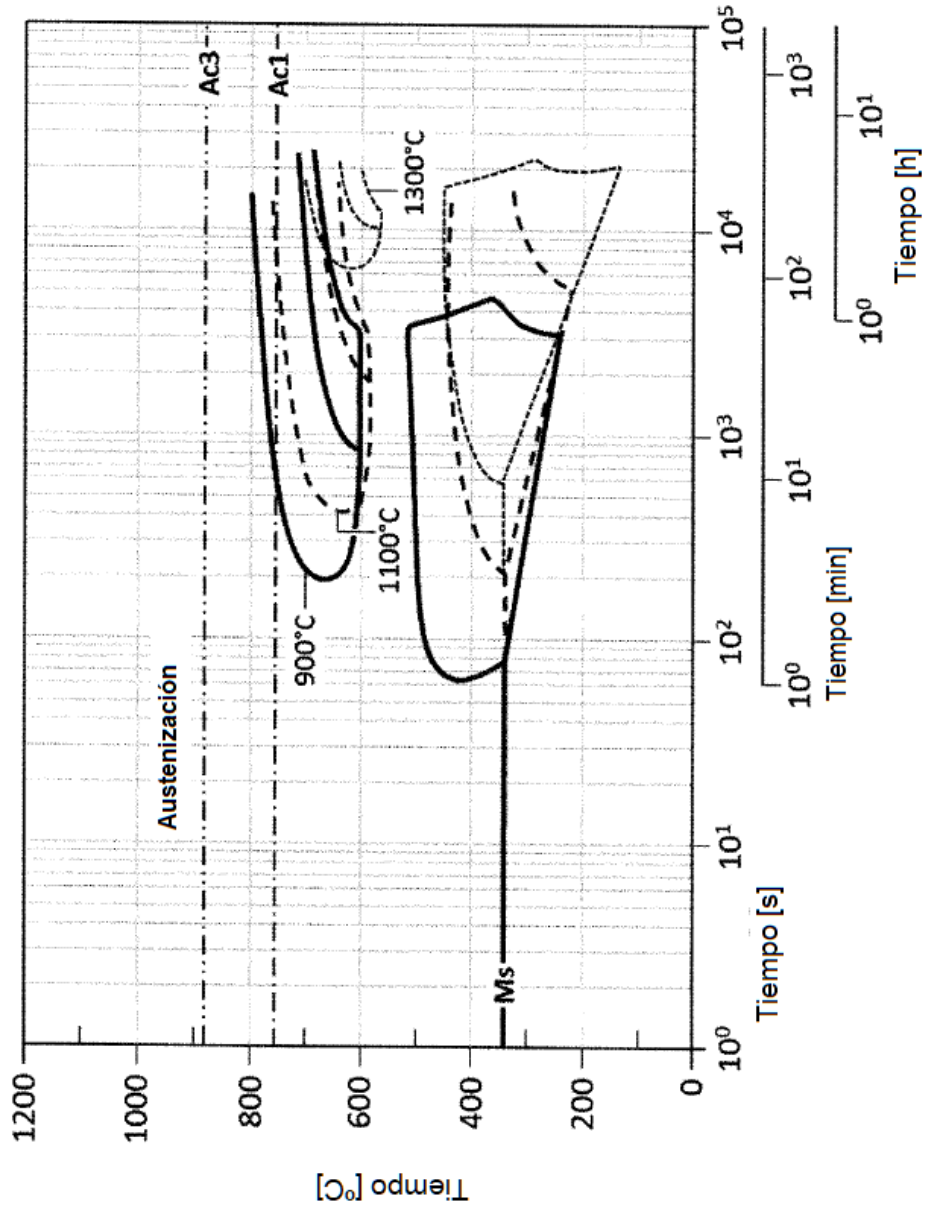


Fig. 2