

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 659 544**

51 Int. Cl.:

**C22C 38/02** (2006.01)

**C22C 38/04** (2006.01)

**C22C 38/06** (2006.01)

**C22C 38/12** (2006.01)

**C22C 38/14** (2006.01)

**C21D 8/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.03.2014** **E 14161606 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.11.2017** **EP 2924140**

54 Título: **Procedimiento para la fabricación de un producto plano de acero altamente resistente**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**16.03.2018**

73 Titular/es:

**THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG (50.0%)**  
**Kaiser-Wilhelm-Strasse 100**  
**47166 Duisburg, DE y**  
**THYSSENKRUPP AG (50.0%)**

72 Inventor/es:

**GAGANOV, DR. ALEXANDER;**  
**GERVERS, WOLFGANG;**  
**KERN, PROF. DR. ANDREAS;**  
**KOLEK, GABRIEL;**  
**SCHAFFNIT, ELENA y**  
**TSCHERSICH, HANS-JOACHIM**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 659 544 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 un producto plano de acero altamente resistente

La invención se refiere un procedimiento para la fabricación de un producto plano de acero con un límite elástico de al menos 700 MPa y con una estructura bainítica en al menos 70 % en volumen.

5 Los productos planos de acero del tipo en cuestión son normalmente productos laminados, como bandas de acero o chapas, así como recortes y placas que se fabrican a partir de los mismos.

La invención se refiere principalmente a un procedimiento para la fabricación de las llamadas "chapas gruesas" de alta resistencia que tienen un grosor de al menos 3 mm.

10 Todas las indicaciones sobre contenidos de las composiciones de acero indicadas en la presente solicitud se refieren al peso, siempre que no se mencione expresamente algo diferente. Todas las "indicaciones en %" en relación con una aleación de acero que no se determinen más detalladamente, deben entenderse, por lo tanto, como indicaciones en "% en peso".

15 Los productos planos de acero de alta resistencia tienen una importancia creciente, particularmente en el sector de la construcción de vehículos industriales, puesto que hacen posible una reducción de la tara del vehículo y un incremento de la carga útil. Un peso bajo no sólo contribuye a un aprovechamiento óptimo de la potencia técnica de la unidad de potencia respectiva, sino que apoya la eficiencia de recursos, la optimización de costes y la protección climática.

20 Puede lograrse una reducción decisiva de la tara de las construcciones de chapa de acero mediante un incremento de las propiedades mecánicas, principalmente de la resistencia del producto plano de acero respectivamente transformado. Además de una alta resistencia, se espera que los productos planos de acero modernos, suministrados para la construcción de vehículos industriales, tengan también buenas propiedades de tenacidad, un buen comportamiento de resistencia a fractura por fragilidad, así como una aptitud óptima para conformación en frío y para soldadura.

25 Se conoce que esta combinación de propiedades puede lograrse seleccionando un concepto adecuado de aleación y un procedimiento especial de fabricación. En los procedimientos convencionales para la fabricación de chapas gruesas de alta resistencia con un límite elástico mínimo de 700 MPa, se procede tal como sigue. En primer lugar, los lingotes son laminados en caliente y se enfrían al aire después del laminado. Después, las chapas se recalientan, se endurecen y se someten a un tratamiento de revenido. Por lo tanto, el procedimiento contiene varias etapas para lograr las propiedades mecánicas. La pluralidad de las etapas de fabricación asociadas con esto  
30 conduce a costes de fabricación comparativamente altos. También se requiere un procedimiento exacto para lograr las propiedades de tenacidad y las calidades de superficie deseadas.

35 Por la publicación EP 2 130 938 A1 se conoce un procedimiento para la fabricación de un producto plano de acero laminado en caliente en el cual una masa fundida se vierte en lingotes que contienen, además de hierro e impurezas inevitables (en % en peso), 0,01 - 0,1 % en peso de C, 0,01 - 0,1 % en peso de Si, 0,1 - 3 % en peso de Mn, no más de 0,1 % en peso de P, no más de 0,03 % en peso de S, 0,001 - 1 % en peso de Al, no más de 0,01 % en peso de N, 0,005 - 0,08 % en peso de Nb y 0,001 a 0,2 % en peso de Ti, en cuyo caso para el contenido respectivo de Nb (% de Nb) y el respectivo contenido de C (% de C) se aplica: % de Nb x % de C  $\leq 4.34 \times 10^{-3}$ .

40 Después de moldear y de solidificar la masa fundida, en el procedimiento conocido el lingote de hierro (tocho) vuelve a calentarse hasta un intervalo de temperatura cuyo límite inferior se determina dependiendo de los contenidos de C y Nb del acero colado respectivo y cuyo límite superior es de 1170 °C. A continuación, el tocho recalentado es desbastado a una temperatura final de 1080 - 1150 °C. Después de una pausa de 30-150 segundos, durante la cual el tocho desbastado se mantiene entre 1000 y 1080 °C, entonces el tocho desbastado es laminado en caliente hasta obtener una banda caliente. El grado de deformación de la última pasada del laminado en caliente debe ser de 3 - 15 %.

45 Según el procedimiento conocido, el laminado en caliente se termina a una temperatura de laminado en caliente que corresponde al menos a la temperatura Ar3 del acero trabajado y es de 950 °C como máximo. Después de finalizar el laminado en caliente, la banda en caliente obtenida se enfría a una velocidad de enfriado de más de 15 °C/s hasta una temperatura de bobinado de 450 a 550 °C, a la que esta se bobina hasta hacer un rollo.

50 En la banda en caliente producida de esta forma, la densidad límite de grano del carbono que está en la solución sólida debe alcanzar de 1 a 4,5 átomos/nm<sup>2</sup> y el tamaño de los granos de cementita precipitados en los límites de grano no alcanza más de 1 µm. Los productos planos de acero conseguidos de esta forma y fabricados según el procedimiento conocido deben presentar resistencias a la tracción de más de 780 MPa y contar con límites elásticos de hasta 726 MPa en caso de contenidos de aleaciones con dosificaciones lo suficientemente altas. De esta forma, la banda en caliente producida de forma conocida debe presentar una combinación de propiedades especialmente  
55 adecuada para el uso en la construcción automovilística. Así, un acabado de superficie óptimo se debe alcanzar

limitando la temperatura de recalentamiento a la que se calienta el tocho antes del laminado en caliente al intervalo de temperatura nombrado antes y así se evita una formación excesiva de cascarilla que se incorporaría en la superficie de la banda en caliente durante el laminado en caliente.

- 5 Además del estado de la técnica explicado anteriormente, por la publicación EP 2 436 797 A1 se conoce una chapa de acero de alta resistencia que contiene (en % en masa) 0,03 a 0,10 % de C, 0,01 a 1,5 % de Si, 1,0 a 2,5 % de Mn, 0,1 % o menos de P, 0,02 % o menos de S, 0,01 - 1,2 % de Al, 0,06 a 0,15 % de Ti, 0,01 % o menos de N y como resto hierro e impurezas inevitables, en cuyo caso su resistencia a tracción es de 590 MPa o más y la proporción de resistencia a la tracción y límite elástico se encuentra en 0,80 o más. La chapa de acero en este caso debe presentar una microestructura con al menos 40 % de área de bainita, el resto de ferrita y martensita.
- 10 Para lograr esto, se calienta a 1150-1280 °C un pre-producto colado de un acero aleado de manera correspondiente, se lamina en caliente a una temperatura de laminado en caliente que se encuentra entre la temperatura de Ar3 y 1050 °C, y se enfría con una alta velocidad de enfriamiento, por ejemplo, de 45 °C/s a una temperatura del rodillo de menos de 600 °C, en cuyo caso se ajusta una temperatura del rodillo de 300-500 °C si se pretende una estructura puramente bainítica.
- 15 Además, por la publicación US 2013/167985 A1 se conoce un procedimiento para la fabricación de una chapa de acero que se compone de 0,05 - 0,15 % de C, 0,2 - 1,2 % de Si, 1,0 - 2,0 % de Mn, no más de 0,04 % de P, no más de 0,0030 % de S, 0,005 - 0,10 % de Al, no más de 0,005 % de N y 0,03 - 0,13 % de Ti, y el resto de Fe e impurezas inevitables. En tal caso, menos del 80 % del área de la estructura debe componerse de bainita y el resto de ferrita. Para su fabricación, una masa fundida compuesta de manera correspondiente se vierte a un pre-producto que es laminado en caliente a una temperatura de laminado en caliente de 800-1000 °C y a continuación, primero con al menos 55 °C/s y luego se enfría con al menos 120 °C/s a máximo 500 °C. La resistencia a tracción de la chapa de acero obtenida de esta manera debe ser de 780 MPa.
- 20

25 Frente a los antecedentes del estado de la técnica explicado anteriormente, el objetivo de la invención consiste en proporcionar un procedimiento con el que se puedan fabricar de forma práctica chapas de acero altamente resistentes con propiedades mecánicas optimizadas y un acabado de superficie igualmente optimizado en cuanto el uso en la construcción de automóviles.

La invención logra este objetivo gracias al procedimiento indicado en la reivindicación 1.

En las reivindicaciones dependientes se indican configuraciones ventajosas de la invención y se explican detalladamente a continuación como el concepto general de la invención.

- 30 Por consiguiente, un procedimiento según la invención para la producción de un producto plano de acero con un límite elástico de al menos 700 MPa y con una estructura bainítica en al menos 70 % en volumen comprende las siguientes etapas de trabajo:

a) obtención por fundición de una masa fundida de acero que se compone (en % en peso) de

C: 0,05 - 0,08 %,

35 Si: 0,015 - 0,500 %,

Mn: 1,60 - 2,00 %,

P: a zu 0,025 %,

S: a zu 0,010 %,

Al: 0,020 - 0,050 %,

40 N: a zu 0,006 %,

Cr: a zu 0,40 %,

Nb: 0,060 - 0,070 %,

B: 0,0005 - 0,0025 %,

Ti: 0,090 - 0,130 %,

45 así como impurezas industrialmente inevitables, las cuales incluyen hasta 0,12 % de Cu, hasta 0,100 % de Ni, hasta 0,010 % de V, hasta 0,004 % de Mo y hasta 0,004 % de Sb, y el resto de hierro;

b) colada de la masa fundida para lograr un tocho;

c) recalentamiento del tocho a una temperatura de recalentamiento de 1200 - 1300 °C;

d) desbastado del tocho a una temperatura de desbastado de 950 - 1250 °C y con una reducción por pasada total mediante el desbastado de al menos 50 %;

e) laminado de acabado en caliente del tocho desbastado en cuyo caso el laminado de acabado en caliente finaliza a una temperatura de laminado en caliente de 800 - 880 °C;

5 f) a lo sumo en el transcurso de 10 segundos después del laminado de acabado en caliente, enfriamiento intensivo del producto plano de acero acabado por laminado en caliente a una velocidad de enfriamiento de al menos 40 K/s a una temperatura de bobinado de 550 - 620 °C;

g) bobinado del producto plano de acero acabado por laminado en caliente.

10 El procedimiento de la invención se basa en una aleación de acero cuyos componentes de aleación y contenidos de aleación se adaptan unos a otros en límites estrechos de forma que, en un modo de proceder que se realiza de forma segura para la operación, se obtienen propiedades mecánicas maximizadas y acabado de superficie optimizado respectivamente.

15 Como se explica a continuación, los componentes de aleación y los contenidos de aleación de la aleación de acero obtenida por fundición según la invención en la etapa de trabajo a) se seleccionan de forma que, siguiendo las etapas de trabajo predefinidas según la invención, pueda producirse de manera confiable un producto plano de acero laminado en caliente con una combinación de propiedades que lo hace especialmente adecuado para el uso en la construcción ligera de acero, particularmente en el sector de construcción de vehículos industriales.

20 C: el contenido de carbono del acero trabajado según la invención es de 0,05 - 0,08 % en peso. Para lograr las propiedades de resistencia deseadas, se requiere un contenido de C de al menos 0,05 % en peso. No obstante, si el contenido de carbono es muy alto se ven afectadas las propiedades de tenacidad con la capacidad de soldadura y la de forma habilidad del acero trabajado según la invención. Por esta razón, el contenido de carbono se limita a máximo 0,08 % en peso.

25 Si: el silicio se emplea en el acero trabajado según la invención como agente desoxidante, así como para mejorar las propiedades de resistencia. No obstante, si el contenido de silicio es muy alto, las propiedades de tenacidad, principalmente la tenacidad en la zona de influencia térmica de las uniones soldadas, se ven muy afectadas. Por esta razón, el contenido de silicio del acero trabajado según la invención no debe exceder 0,50 % en peso. Para impedir seguramente desperfectos en la calidad de las superficies, el contenido de silicio puede limitarse a un máximo de 0,25 % en peso.

30 Mn: el manganeso se añade a cero pesados según la invención en contenidos de 1,6-2,0 % en peso para ajustar las propiedades de resistencia deseadas y al mismo tiempo buenas propiedades de tenacidad. Si el contenido de manganeso es de menos de 1,60 % en peso, no se alcanzan las propiedades de resistencia necesarias con la suficiente seguridad. Con la limitación del contenido de Mn a un máximo de 2,00 % en peso, se evita un empeoramiento de la soldabilidad, de las propiedades de tenacidad, de la capacidad de deformación y del comportamiento de segregación.

35 P: el fósforo, como elemento residual, empeora la resiliencia de flexión por choque y la capacidad de formación. Por lo tanto, el contenido de fósforo no debe exceder el límite superior de 0,025 % en peso. De manera óptima, el contenido de P se limita a menos de 0,015 % en peso.

40 S: el azufre empeora la resiliencia de flexión por choque y la capacidad de deformación de un acero trabajado según la invención a causa de la formación de MnS. Por esta razón, el contenido de S de un acero trabajado según la invención es de máximo 0,010 % en peso. Un contenido tan bajo de azufre puede lograrse de forma conocida per se, por ejemplo, mediante un tratamiento con CaSi. Para excluir de forma segura los efectos negativos del azufre en las propiedades del acero trabajado según la invención, el contenido de S puede limitarse a un máximo de 0,003 % en peso.

45 Al: el aluminio se utiliza igualmente como agente desoxidante y dificulta el engrosamiento del grano austenítico en la austenitización a causa de la formación de AlN. Si el contenido de aluminio se encuentra por debajo del 0,020 % en peso, los procedimientos de desoxidación no transcurren de forma completa. No obstante, si el contenido de aluminio excede el límite superior de 0,050 % en peso, pueden formarse inclusiones de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Éstas ejercen un efecto negativo en el grado de pureza las propiedades de tenacidad.

50 N: El nitrógeno, como elemento residual, forma AlN con aluminio o TiN con titanio. No obstante, si el contenido de nitrógeno es demasiado alto, las propiedades de tenacidad empeoran. Para impedir esto, el límite máximo de contenido de nitrógeno se establece en 0,006 % en peso en un acero trabajado según la invención.

55 Cr: el cromo puede añadirse opcionalmente a un acero trabajado según la invención para mejorar sus propiedades de resistencia. Si el contenido de cromo es demasiado alto, no obstante, la soldabilidad y la tenacidad en la zona de influencia térmica se ven afectadas negativamente. Por lo tanto, el límite máximo de contenido de cromo se establece en 0,40 % en peso.

Nb: el niobio está contenido en un acero trabajado según la invención para apoyar las propiedades de resistencia mediante el camino del grano de la estructura austenítica en el laminado a temperatura controlada o mediante endurecimiento por precipitación durante el bobinado. Para esto, en el acero trabajado según la invención, se encuentran presentes 0,060 - 0,070 % en peso de Nb. Si el contenido de niobio se sitúa por debajo de este intervalo, no se alcanzan las propiedades de resistencia. Si el contenido de Nb se sitúa por encima del límite máximo de este intervalo, empeoran la soldabilidad y la tenacidad de la zona de influencia térmica de una soldadura.

B: el contenido de puro de un acero trabajado según la invención es de 0,0005 - 0,0025 % en peso. B se utiliza para apoyar las propiedades de resistencia y para mejorar la capacidad de endurecimiento. Sin embargo, contenidos de oro demasiado altos empeoran las propiedades de tenacidad.

Ti: el titanio contribuye igualmente a mejorar las propiedades de resistencia impidiendo el crecimiento del grano durante la austenitización o mediante el endurecimiento por precipitación en el bobinado. Para garantizar esto, los contenidos de Ti de un acero trabajado según la invención son de 0,09 - 0,13 % en peso. Si el contenido de titanio se encuentra por debajo de 0,09 % en peso, no se logran los valores de resistencia pretendidos de acuerdo con la invención. Si se excede el límite superior del intervalo predeterminado de contenidos de Ti, empeoran la soldabilidad y la tenacidad en la zona de influencia térmica de una soldadura.

Cu, Ni, V, Mo y Sb se presentan como elementos residuales que llegan a cero trabajado según la invención como impurezas inevitables técnicamente en el procedimiento de la producción de acero. Sus contenidos se limitan a cantidades que no tienen efecto en relación con las propiedades del acero trabajado según la invención, que son pretendidas según la invención. Para esto, el contenido de Cu se limita a un máximo de 0,12 % en peso, el contenido de Ni a menos de 0,1 % en peso, el contenido de V a máximo 0,01 % en peso, el contenido de Mo a menos de 0,004 % en peso y el contenido de Sb igualmente a menos de 0,004 % en peso.

Para lograr una buena soldabilidad, los contenidos de C, Mn, Cr, Mo, V, Cu y Ni del acero según la invención pueden ajustarse dentro de los límites predeterminados según la invención de forma que para el equivalente de carbono CE calculado según la fórmula

$$CE = \%C + \%Mn/6 + (\%Cr + \%Mo + \%V) / 5 + (\%Cu + \%Ni) / 15$$

donde %C = contenido respectivo de C en % en peso,

%Mn = contenido respectivo de Mn en % en peso,

%Cr = contenido respectivo de Cr en % en peso,

%Mo = contenido respectivo de Mo en % en peso,

%V = contenido respectivo de V en % en peso,

%Cu = contenido respectivo de Cu en % en peso,

%Ni = contenido respectivo de Ni en % en peso,

se aplica:

$$CE \leq 0,5 \% \text{ en peso}$$

Después de colar el tocho, se recalienta a una temperatura de austenitización que es de 1200 - 1300 °C. Para impedir un engrosamiento del grano austenítico y una formación de cascarilla incrementada, no debería excederse límite máximo del intervalo de temperatura al que se calienta el tocho para la austenitización. En el intervalo predeterminado según la invención de la temperatura de recalentamiento de 1200 - 1300 °C todavía no se llega a una formación elevada de cascarilla roja que disminuye la calidad de la superficie del producto plano de acero producido según la invención. La cascarilla roja se forma en la manipulación de tocho los compuestos según la invención exclusivamente en la operación de laminado en caliente (etapas de trabajo d, e) del procedimiento según la invención, si después del recalentamiento se encuentra presente demasiada cascarilla primaria en la superficie del tocho.

Por el contrario, el límite inferior de la temperatura de recalentamiento se establece de forma que se garantice la homogeneización pretendida de la estructura con una distribución de temperatura uniforme. A partir de esta temperatura empieza una disolución, tan completa como posible, de los precipitados gruesos de carbonitruro de Ti y Nb en la austenita. En el bobinado final del producto plano de acero acabado por laminado en caliente (etapa de trabajo g) del procedimiento según la invención) pueden volver a formarse precipitados finos de carbonitruro de Ti o Nb que, como se ha explicado, hacen una contribución esencial al incremento de las propiedades de resistencia. De esta manera se garantiza que los productos planos de acero producidos y compuestos según la invención posean regularmente un límite elástico mínimo de 700 MPa.

- De acuerdo con la invención, la temperatura de recalentamiento en la austenitización del tocho respectivo es de al menos 1200 °C para lograr el efecto pretendido de una disolución, tan completa como posible, de los precipitados de TiC y NbC. Por el contrario, a una temperatura de austenitización que se encuentra por debajo de los 1200 °C, la cantidad de los precipitados de carburo de Ti y Nb disueltos en la austenita es tan baja que no se presentan los efectos utilizados según la invención. Por lo tanto, una temperatura de recalentamiento que se encuentra por debajo de 1200 °C tendría como consecuencia que no se lograrán las propiedades de resistencia requeridas en el tratamiento de productos planos de acero que se componen de la selección de aleación optimizadas según la invención. La disolución, tan completa como posible, de los precipitados de TiC y NbC puede garantizarse luego de manera particularmente segura si la temperatura de recalentamiento es de al menos 1250 °C.
- 5
- 10 Un producto plano de acero que cumpla los requisitos de calidad más estrictos en su acabado de superficie puede producirse eliminando completamente la cascarilla que está en el tocho antes del desbastado. Esto puede suceder descascarillando completamente la superficie del tocho después de retirarlo del horno y de la forma más inmediata posible antes del desbastado. Para esto, el tocho puede atravesar un lavador de descascarillado convencional.
- 15 Para producir un producto plano de acero con un acabado de superficie optimizado, el tiempo  $t_1$  que necesita la transferencia del tocho desde la estación de trabajo ("recalentamiento (etapa de trabajo c)") o la "eliminación de la cascarilla primaria (etapa de trabajo c')") que transcurre opcionalmente después del recalentamiento hasta el comienzo de laminado de acabado en caliente (etapa de trabajo e)) puede limitarse a un máximo de 30 segundos. De forma óptima, esto incluye el desbastado. En un tiempo tan corto de transferencia, la cantidad de cascarilla primaria que se vuelve a formar es tan baja que la cascarilla roja que se forma a partir de la misma en el laminado en caliente es inocua para la calidad de la superficie del producto plano de acero obtenido tras el laminado en caliente.
- 20 En el caso de que se realice un descascarillado antes del desbastado, la duración de la transferencia entre la unidad de descascarillado y la caja de desbastado debería ser de un máximo de 30 segundos. Por lo tanto, con una duración de transferencia tan breve no puede formarse o, en todo caso, se forma una fina capa de óxido inocua en el tocho previamente descascarillado.
- 25 En la etapa de trabajo d), el tocho respectivamente tratado se desbastado a una temperatura de desbastado de 950 - 1250 °C. La reducción por pasada lograda en el desbastado es en total de al menos 50 %. Como reducción de pasada total  $\Delta hv$  se denomina aquí la relación formada a partir de la diferencia de los espesores del tocho antes (espesor  $dVv$ ) y después (espesor  $dNv$ ) del desbastado y del espesor  $dVv$  del tocho antes del desbastado.
- $$(\Delta hv \text{ [\%]} = (dVv - dNv) / dVv \times 100 \text{ \%}) .$$
- 30 Aquí, el límite inferior del intervalo predeterminado de la temperatura del desbastado y el valor mínimo de la reducción por pasada total  $\Delta hv$  se establecen de forma que las operaciones de recristalización puedan transcurrir de forma completa en el tocho respectivamente desbastado. De esta manera se garantiza la formación de una estructura austenítica de grano fino antes del laminado de acabado, mediante lo cual se logran propiedades de tenacidad y de alargamiento a ruptura optimizadas del producto plano de acero producido según la invención.
- 35 El tiempo de residencia y de pausa  $t_2$  entre el desbastado y el laminado de acabado se limita a 50 segundos para evitar un crecimiento del grano austenítico indeseado.
- Al desbastado le sigue, en la etapa de trabajo e), el laminado en caliente del tocho desbastado hasta hacer un producto plano de acero laminado en caliente con un espesor de banda en caliente que normalmente es de 3 - 15 mm. Los productos planos de acero con estos espesores se denominan "chapas gruesas" en el lenguaje especializado.
- 40
- En este caso, la temperatura final del laminado en caliente se encuentra en 800 - 880 °C. Manteniendo este intervalo de temperatura final del laminado en caliente se logra un grano austenítico muy alargado en la estructura de la banda en caliente obtenida. Mediante la temperatura final comparativamente baja del laminado en caliente se refuerza el efecto del laminado en caliente. En la estructura de la banda en caliente obtenida se encuentra presente austenita con muchas dislocaciones. Esta se convierte en una bainita con muchas dislocaciones y de estructura fina después de un enfriamiento intenso (etapa de trabajo f)), de manera tal que el límite elástico se incrementa. El límite máximo del intervalo de temperatura final del laminado en caliente se establece de manera que no tenga lugar recristalización alguna de la austenita durante el laminado en el tren de laminado de acabado en caliente. Esto también contribuye a la manifestación de una estructura de grano fino. La temperatura límite inferior es de mínimo
- 45 800 °C para que no se forme ferrita durante el laminado.
- 50
- La reducción por pasada  $\Delta hf$  lograda en el laminado de acabado es en total de al menos 70 %, en cuyo caso aquí la reducción por pasada  $\Delta hf$  se calcula según la fórmula  $\Delta hf = (dVf - dNf) / dVf \times 100 \text{ \%}$  (donde  $dVf$  = espesor del material laminado a la entrada en el grupo de rodillos de laminado de acabado en caliente y  $dNf$  = espesor del material laminado a la salida del grupo de rodillos de laminado de acabado en caliente). El cambio de fase a partir de austenita muy deformada tiene lugar mediante la reducción alta por pasada  $\Delta hf$ . Esto influye positivamente en la finura del grano, de manera que en la estructura del producto plano de acero producido según la invención hay tamaños de granos pequeños.
- 55

Después de que el producto plano de acero acabado por laminado en caliente haya salido de la última caja del tren de laminado de acabado en caliente, se aplica un enfriamiento intenso en un período máximo de 10 segundos en el que el producto plano de acero laminado en caliente se enfría con una velocidad de enfriamiento  $dT$  de al menos 40 K/s a una temperatura de bobinado de 550 - 620 °C.

- 5 La pausa de enfriamiento después de laminado en caliente es de máximo 10 segundos para evitar que se produzcan modificaciones de la estructura no deseadas entre el laminado en caliente y el enfriado acelerado controlado.

Manteniendo el intervalo de la temperatura de bobinado predeterminado según la invención se consiguen las condiciones previas para la formación de una estructura bainítica del producto plano de acero producido según la invención.

- 10 Al mismo tiempo, la elección de la temperatura de bobinado tiene una influencia decisiva en el endurecimiento por precipitación. Para esto, el intervalo de temperatura de bobinado se selecciona según la invención de manera que se encuentre, por un lado, por debajo de la temperatura de inicio de la bainita y, por otro lado, al máximo de precipitación para la formación de precipitados de carbonitruro. No obstante, una temperatura de bobinado muy reducida daría lugar a que el potencial de precipitación dejara de ser útil y, por lo tanto, a que ya no se alcanzara el límite elástico mínimo necesario. En este caso, las condiciones de enfriamiento se seleccionan según la invención de forma que el producto plano de acero laminado en caliente inmediatamente antes del bobinado presente una estructura bainítica con una proporción de fases de al menos 70 % en volumen. Después transcurre otra formación de bainita en la bobinadora. En cuanto a la necesaria combinación de propiedades, ha demostrado ser óptimo si la estructura del producto plano de acero producido por laminado en caliente según la invención, después del bobinado, se compone completamente de bainita en un sentido técnico. Esto se alcanza manteniendo el intervalo de temperatura de bobinado predeterminado según la invención.

Mediante la alta velocidad de enfriamiento, se evita la formación de componentes de fase indeseados. En este caso, para obtener un producto plano de acero que es óptimamente plano, la velocidad de enfriamiento del enfriamiento después de laminado en caliente se limita a 150 K/s.

- 25 El límite elástico de los productos planos de acero laminados en caliente, producidos según la invención de la forma explicada previamente, es confiablemente de 700 - 850 MPa. En tal caso, su alargamiento a ruptura se encuentra respectivamente en al menos 12 %. De igual modo, regularmente los productos planos de acero según la invención alcanzan resistencias a la tracción de 750 - 950 MPa. La resiliencia de flexión por choque determinada para los productos según la invención se encuentra en el intervalo de 50 - 110 J a -20 °C y en el intervalo de 30 - 110 J a -40 °C.

Los productos planos de acero producido según la invención presentan una estructura del grano fino con un tamaño de grano medio de 20  $\mu\text{m}$  como máximo para alcanzar un buen alargamiento a ruptura y una buena tenacidad.

- 35 De esta manera, en un producto plano de acero laminado en caliente, las propiedades nombradas anteriormente se encuentran en el estado de laminado después del bobinado en el procedimiento según la invención. No es necesario otro tratamiento térmico para ajustar o manifestar determinadas cualidades importantes para el uso destinado como chapa altamente resistente en la construcción de vehículos industriales.

A continuación, se describe la invención más detalladamente por medio de ejemplos de realización.

Se han obtenido por fundición masas fundidas de acero A - E con la composición indicada en la tabla 1 y se han colado de manera conocida hasta obtener los tochos 1 a 26.

- 40 A continuación, los tochos compuestos por los aceros A - E se han calentado completamente hasta una temperatura de recalentamiento TW.

Los tochos recalentados se han transferido desde el horno de recalentamiento hasta un lavador de descascarillado en menos de 30 segundos, en el que la cascarilla primaria adherida a los mismos se ha eliminado de los tochos.

- 45 Luego, los tochos que salen del lavador de descascarillado se han transferido a una caja de desbastado en la que se han desbastado con una temperatura de desbastado TVW y una reducción por pasada total  $\Delta h_v$  obtenida a través del desbastado.

- 50 A continuación, los tochos desbastados se han acabado por laminado en caliente en un grupo de rodillos de laminado de acabado en caliente hasta hacer bandas en caliente con un espesor BD y una anchura BB. El laminado en caliente se ha finalizado respectivamente con una reducción por pasada total en el grupo de rodillos de laminado de acabado en caliente  $\Delta h_f$  a una temperatura final de laminado en caliente TEW. El tiempo que ha transcurrido entre la salida del lavador de descascarillado y el comienzo de laminado de acabado en caliente fue respectivamente de menos de 30 segundos.

El producto plano de acero, acabado por laminado en caliente, que sale de la última caja se ha enfriado después de una pausa  $t_p$  de 1 - 7 s, en la que se enfrió lentamente al aire por medio de un enfriamiento intenso con agua a una

velocidad de enfriamiento  $dT$  de 50 – 120 K/s, hasta una temperatura de bobinado HT. Después del enfriamiento, los productos planos de acero presentaban ya una estructura bainítica en al menos 70 % en volumen.

5 A esta temperatura de bobinado HT, las bandas en caliente obtenidas se han bobinado respectivamente hasta hacer un rollo. Durante el enfriamiento de los productos planos de acero en el rollo se produjo la transformación completa de la estructura en bainita, de manera que los productos planos de acero obtenidos contaban con una estructura bainítica al 100 % en volumen en un sentido técnico.

10 En las tablas 2a, 2b se indican los parámetros procedimentales respectivamente establecidos durante el tratamiento de los tochos 1 - 26: temperatura de recalentamiento TW, temperatura de desbastado TVW, reducción por pasada total lograda a través del desbastado  $\Delta hv$ , tiempo  $t_1$  entre el descascarillado realizado después del recalentamiento y antes del desbastado y el comienzo de laminado de acabado en caliente, tiempo  $t_2$  entre el desbastado y el laminado en caliente, reducción por pasada total  $\Delta hf$  lograda a través de laminado de acabado, temperatura de laminado final TEW, pausa de enfriamiento  $t_p$  entre el final de laminado en caliente y el comienzo del enfriamiento acelerado, velocidad de enfriamiento  $dT$ , temperatura de bobinado HT, espesor de banda BD y anchura de banda BB.

15 Se han estudiado las propiedades mecánicas, así como la estructura de las bandas en caliente obtenidas.

Los ensayos de tracción para determinar el límite elástico  $ReH$ , la resistencia a tracción  $Rm$  y el alargamiento a ruptura A fueron realizados según DIN EN ISO 6892-1 en muestras longitudinales de bandas en caliente.

Los ensayos de flexión por choque para determinar la resiliencia de flexión por choque  $Av$  a  $-20\text{ °C}$  y a  $-40\text{ °C}$  y  $-60\text{ °C}$  fueron realizados en muestras longitudinales según DIN EN ISO 148-1.

20 Los estudios de estructura se efectuaron por medio de microscopio óptico y microscopio electrónico de barrido. Para esto se extrajeron muestras de un cuarto de la anchura de banda, se prepararon como sección longitudinal y se corroyeron con Nital (es decir, ácido nítrico alcohólico que contiene una fracción de ácido nítrico de 3 % en volumen) o bisulfito de sodio. Los componentes de la estructura se determinaron por medio de un análisis superficial con una orientación de la muestra de un 1/3 del espesor de la chapa, tal como se describe en H. Schumann y H. Oettel "Metallografie" 14ª edición, 2005, editorial WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

25

Las propiedades mecánicas y los componentes de la estructura de las bandas en caliente, producidas según la invención, se indican en la tabla 3. Las chapas de banda fabricadas según el procedimiento de la presente invención presentan altas propiedades de resistencia junto con buenas propiedades de tenacidad, así como un buen alargamiento a ruptura.

30 Los límites elásticos de las bandas en caliente producidas de la forma explicada previamente se encuentran entre 700 MPa y 790 MPa. El alargamiento a ruptura es de al menos 12 % y la resistencia a la tracción es de al menos 750 - 880 MPa. La resiliencia de flexión por choque a  $-20\text{ °C}$  se encuentra en el intervalo de 60 a 100 J. A  $-40\text{ °C}$  la resiliencia de flexión por choque es de 40 a 75 J y a  $-60\text{ °C}$  la resiliencia de flexión por choque se encuentra en 30 - 70 J.

35



Tabla 1

Acero	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cr	Nb	B	Ti	Cu	Ni	V	Mo	Sb
A	0,060	0,42	1,77	0,012	0,0010	0,034	0,0046	0,04	0,062	0,0020	0,110	0,02	0,03	0,010	0,004	0,004
B	0,053	0,49	1,75	0,015	0,0014	0,034	0,0049	0,06	0,066	0,0020	0,091	0,02	0,03	0,005	0,004	0,004
C	0,061	0,22	1,79	0,014	0,0021	0,050	0,0047	0,04	0,063	0,0019	0,097	0,02	0,02	0,003	0,004	0,004
D	0,065	0,20	1,8	0,014	0,0021	0,040	0,0047	0,04	0,065	0,0005	0,110	0,02	0,02	0,003	0,004	0,004
E	0,070	0,03	1,89	0,011	0,0014	0,042	0,0051	0,04	0,060	0,0005	0,130	0,02	0,03	0,008	0,004	0,004

Indicaciones en % en peso, el resto de hierro e impurezas inevitables

ES 2 659 544 T3

Tabla 2a

No.	Acero	TW	$\Delta h_v$	TVW	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	$\Delta h_f$	TEW	t <sub>p</sub>	dT	HT	BD	BB
		[°C]	[ %]	[°C]	[s]	[s]	[ %]	[°C]	[s]	[K/s]	[°C]	[mm]	[mm]
1	A	1293	85	1070	220	40	90	905	1	100	600	4	1525
2	A	1296	80	1065	220	40	92	915	1	100	600	4	1525
3	A	1288	80	1045	225	40	92	895	2	100	605	4	1525
4	A	1287	85	1045	230	42	90	880	2	100	605	4	1530
5	A	1269	82	1055	230	40	91	890	2	100	600	4	1525
6	A	1300	82	1050	240	45	82	835	3	70	600	8	1545
7	A	1296	82	1050	245	41	82	810	4	70	600	8	1545
8	A	1305	76	1060	240	42	86	825	4	70	600	8	1755
9	A	1247	76	1040	260	44	83	800	6	50	580	10	1530
10	B	1291	80	1060	230	40	90	910	2	100	600	5	1630
11	B	1309	80	1110	240	44	90	870	2	100	610	5	1630
12	B	1288	85	1070	230	40	88	890	2	100	600	5	1540
13	B	1304	76	1055	240	40	90	860	2	90	600	6	1540
14	B	1285	85	1030	255	42	75	800	5	50	590	10	1550
15	B	1296	85	1100	210	40	93	850	2	120	600	3	1280
16	B	1298	82	1090	200	40	93	900	1	120	580	3	1275

Tabla 2b

No.	Acero	TW	$\Delta h_v$	TVW	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	$\Delta h_f$	TEW	t <sub>p</sub>	dT	HT	BD	BB
		[°C]	[ %]	[°C]	[s]	[s]	[ %]	[°C]	[s]	[K/s]	[°C]	[mm]	[mm]
17	B	1206	82	1067	205	40	93	870	1	120	610	3	1275
18	C	1289	85	1040	260	45	75	800	6	50	550	10	1550
19	C	1291	85	1090	235	42	85	880	2	90	605	6	1535
20	C	1214	82	1070	230	40	91	865	2	100	600	4	925
21	D	1290	85	1090	205	40	93	890	1	120	620	3	1280
22	D	1285	82	1080	200	40	93	900	1	120	575	3	1275
23	E	1290	76	1060	260	43	83	800	6	50	598	10	1550
24	E	1290	78	1090	235	40	89	860	3	90	615	6	1535
25	E	1290	80	1040	260	45	76	800	7	50	590	12	1530
26	E	1285	78	1045	260	45	73	822	7	50	570	15	1530

Tabla 3

No.	Acero	Posición en la bobina	Ensayo de tracción, longitudinal			Ensayo de flexión por choque, longitudinal			Componentes de estructura
			ReH	Rm	A	Av-20°C	Av-40°C	Av-60°C	
			[MPa]	[MPa]	[ %]	[J]	[J]	[J]	% en volumen
1	A	Principio	770	852	19,0	n.d.	n.d.	n.d.	100 de bainita
2	A	Principio	762	837	17,0	n.d.	n.d.	n.d.	100 de bainita
3	A	Principio	749	819	18,0	n.d.	n.d.	n.d.	100 de bainita
4	A	Principio	754	818	21,0	n.d.	n.d.	n.d.	100 de bainita
5	A	Principio	737	809	24,0	n.d.	n.d.	n.d.	100 de bainita
6	A	Principio	736	834	20,3	70	44	31	100 de bainita
7	A	Principio	739	842	15,7	81	62	31	100 de bainita
8	A	Principio	716	817	17,2	62	40	31	100 de bainita
9	A	Principio	733	832	23,5	79	68	65	100 de bainita
10	B	Principio	750	852	16,0	n.d.	n.d.	n.d.	100 de bainita
11	B	Principio	752	841	22,0	n.d.	n.d.	n.d.	100 de bainita
12	B	Principio	736	829	20,0	n.d.	n.d.	n.d.	100 de bainita
13	B	Principio	734	860	17,0	99	48	33	100 de bainita
14	B	Principio	717	846	18,0	84	58	30	100 de bainita
15	B	Principio	782	864	23,0	n.d.	n.d.	n.d.	100 de bainita
16	B	Principio	779	857	24,0	n.d.	n.d.	n.d.	100 de bainita
17	B	Principio	720	819	23,0	n.d.	n.d.	n.d.	100 de bainita

ES 2 659 544 T3

(continuación)

No.	Acero	Posición en la bobina	Ensayo de tracción, longitudinal			Ensayo de flexión por choque, longitudinal			Componentes de estructura
			ReH	Rm	A	Av-20°C	Av-40°C	Av-60°C	
			[MPa]	[MPa]	[ %]	[J]	[J]	[J]	% en volumen
18	C	Principio	705	813	19,1	97	73	30	100 de bainita
19	C	Principio	718	783	24,0	80	60	31	100 de bainita
20	C	Principio	710	790	24,0	n.d.	n.d.	n.d.	100 de bainita
21	D	Principio	720	850	22,0	n.d.	n.d.	n.d.	100 de bainita
22	D	Principio	760	823	22,0	n.d.	n.d.	n.d.	100 de bainita
23	E	Principio	712	820	20,0	97	73	30	100 de bainita
24	E	Principio	713	825	23,0	80	60	31	100 de bainita
25	E	Principio	733	809	21,0	72	53	42	100 de bainita
26	E	Principio	727	821	19,2	83	76	67	100 de bainita

"n.d." = "no determinado"

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para producir un producto plano de acero con un límite elástico de al menos 700 MPa y con una estructura bainítica en al menos el 70 % en volumen, el cual comprende las siguientes etapas de trabajo:

a) obtención por fundición de una masa fundida de acero que se compone (en % en peso) de

- 5 C: 0,05 - 0,08 %,
  - Si: 0,015 - 0,500 %,
  - Mn: 1,60 - 2,00 %,
  - P: hasta 0,025 %,
  - S: hasta 0,010 %,
- 10 Al: 0,020 - 0,050 %,
  - N: hasta 0,006 %,
  - Cr: hasta 0,40 %,
  - Nb: 0,060 - 0,070 %,
  - B: 0,0005 - 0,0025 %,
- 15 Ti: 0,090 - 0,130 %,
  - N: hasta 0,006 %,
  - Cr: hasta 0,40 %,
  - Nb: 0,060 - 0,070 %,
  - B: 0,0005 - 0,0025 %,
    - 15 Ti: 0,090 - 0,130 %,

así como de impurezas inevitables a nivel técnico, entre las que se incluyen hasta el 0,12 % de Cu, hasta el 0,100 % de Ni, hasta el 0,010 % de V, hasta el 0,004 % de Mo y hasta el 0,004 % de Sb y hierro como residuo;

b) colada de la masa fundida hasta hacer un tocho;

c) recalentamiento del tocho a una temperatura de recalentamiento de 1200 - 1300 °C;

- 20 d) desbastado del tocho a una temperatura de desbastado de 950 - 1250 °C y con una reducción por pasada total lograda a través del desbastado de al menos el 50 %;

e) laminado de acabado en caliente del tocho desbastado, finalizando el laminado de acabado en caliente a una temperatura final de laminado en caliente de 800 - 880 °C;

- 25 f) en el transcurso de como máximo 10 segundos después del laminado de acabado en caliente, enfriamiento intenso aplicado del producto plano de acero acabado por laminado en caliente a una velocidad de enfriamiento de al menos 40 K/s hasta una temperatura de bobinado de 550 - 620 °C;

g) bobinado del producto plano de acero acabado por laminado en caliente,

en donde el alargamiento a ruptura de los productos planos de acero laminados en caliente, obtenidos después del bobinado, es de al menos el 12 %.

- 30 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque para el equivalente de carbono CE de la masa fundida de acero, obtenida por fundición, que se ha calculado según la fórmula

$$CE = \%C + \%Mn/6 + (\%Cr+\%Mo+\%V) / 5 + (\%Cu+\%Ni) / 15$$

con

%C = contenido respectivo de C en % en peso,

- 35 %Mn = contenido respectivo de Mn en % en peso,

%Cr = contenido respectivo de Cr en % en peso,

%Mo = contenido respectivo de Mo en % en peso,

%V = contenido respectivo de V en % en peso,

%Cu = contenido respectivo de Cu en % en peso,

- 40 %Ni = contenido respectivo de Ni en % en peso,

## ES 2 659 544 T3

se aplica:

$$CE \leq 0,5 \% \text{ en peso}$$

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la temperatura de recalentamiento es de 1250 - 1300 °C.
- 5 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en una etapa de trabajo c') que transcurre entre el recalentamiento (etapa de trabajo c)) y el desbastado (etapa de trabajo d)) se elimina la cascarilla primaria adherida al respectivo tocho tratado.
- 10 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el tiempo de transporte que transcurre para el transporte del tocho desde la estación de trabajo atravesada en cada caso antes (etapa de trabajo c) u opcionalmente la etapa de trabajo c')) hasta el laminado de acabado en caliente (etapa de trabajo e)) se limita a un máximo de 300 segundos.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el tiempo de residencia que transcurre entre el desbastado (etapa de trabajo d)) y el laminado de acabado en caliente (etapa de trabajo e)) es de como máximo 50 segundos.
- 15 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la velocidad de enfriamiento del enfriamiento en la etapa de trabajo f) es de como máximo 150 K/s.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el espesor del producto plano de acero, laminado en caliente, obtenido después de laminado en caliente, es de 3 - 15 mm.
- 20 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el límite elástico de los productos planos de acero laminados en caliente, obtenidos después del bobinado, es de 700 - 850 MPa.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la resistencia a la tracción de los productos planos de acero laminados en caliente, obtenidos después del bobinado, es de 750 - 950 MPa.
- 25 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la resiliencia de flexión por choque de los productos planos de acero, laminados en caliente, obtenidos después del bobinado, a -20 °C se encuentra en el intervalo de 50 - 110 J.
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los productos planos de acero, laminados en caliente, obtenidos después del bobinado, tienen una estructura exclusivamente bainítica a excepción de otros componentes de la estructura que son inevitables desde un punto de vista técnico.
- 30 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el diámetro medio del grano de la estructura de los productos planos de acero, laminados en caliente, obtenidos después del bobinado, es de como máximo 20 µm.