

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 738 876**

51 Int. Cl.:

C21D 8/02 (2006.01)

C22C 38/04 (2006.01)

C22C 38/12 (2006.01)

C22C 38/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.04.2010 PCT/FI2010/050310**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.11.2010 WO10130871**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.04.2010 E 10727754 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2019 EP 2430199**

54 Título: **Método para fabricar un producto de banda de acero laminado en caliente, y producto de banda de acero laminado en caliente**

30 Prioridad:

11.05.2009 FI 20095528

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

27.01.2020

73 Titular/es:

**RAUTARUUKKI OYJ (100.0%)
Panuntie 11
00620 Helsinki, FI**

72 Inventor/es:

**LIIMATAINEN, TOMMI y
HEMMILÄ, MIKKO**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 738 876 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

Método para fabricar un producto de banda de acero laminado en caliente, y producto de banda de acero laminado en caliente

Antecedentes de la invención

- 5 La invención se refiere a un método para fabricar un producto de banda de acero laminado en caliente que tiene un grosor de pared de 2 a 12 mm utilizando acero cuya composición en tanto por ciento en peso es

C:	0,04-0,08
Si:	0-0,5
Mn:	1,3-2,2
Nb:	0,04-0,09
Ti:	0,06-0,16
N:	< 0,01
P:	≤ 0,03
S:	< 0,015
Al:	0,01-0,15
V:	≤ 0,1
Cr:	< 0,2
Mo:	< 0,2
Cu:	≤ 0,5
Ni:	≤ 0,5

consistiendo el resto en hierro e impurezas inevitables. El bajo contenido de carbono es excelente para proporcionar acero con buenas características de soldadura. El bajo equivalente de carbono del acero también tiene un efecto positivo para una buena soldabilidad.

- 10 La invención se refiere además a un producto de acero con un grosor de pared de 2 a 12 mm y una composición tal como se describió anteriormente.

El documento EP 1319725 describe un método para fabricar una banda de acero que tiene la composición anterior. La resistencia de la banda de acero así fabricada es relativamente alta, superando su límite elástico los 690 MPa, combinado con un porcentaje relativamente alto de elongación tras la fractura (del 12 al 21%). Según la publicación, se llega a estas propiedades mecánicas sometiendo el acero a un enfriamiento en dos etapas. En la primera etapa de enfriamiento, se lleva a cabo un enfriamiento extremadamente rápido, estando la velocidad de enfriamiento de más de 150°C/s tras la laminación en caliente, seguido de una pausa de 3 a 10 segundos sin enfriamiento activo, tras lo cual se lleva a cabo una segunda etapa de enfriamiento hasta la temperatura de bobinado de la banda de acero que va a fabricarse, eligiéndose la temperatura según la resistencia deseada. La temperatura de bobinado recomendada para límites elásticos que superan los 690 MPa es de 580°C. La alta velocidad de enfriamiento de más de 150°C/s en la primera etapa de temple puede obtenerse solo a grosores de banda bajos, y la publicación solo se refiere a grosores de banda menores de 4 mm. La pausa de enfriamiento está pensada para proporcionar tiempo para un cambio de fase, durante el cual el límite elástico del material en particular disminuye y el valor del límite elástico/resistencia a la tracción disminuye en comparación con el enfriamiento continuo. La publicación no describe cómo se obtiene un límite elástico de más de 690 MPa en el acero cuando la temperatura de bobinado está por debajo de 580°C. La publicación muestra que el límite elástico obtenido en una temperatura de bobinado de menos de 580°C permanece por debajo de 690 MPa.

El documento US 2004/040633 A1 describe una banda caliente o placa caliente, y su método de producción. El acero está microaleado y su composición química descrita se solapa con la composición reivindicada en la solicitud. El método descrito en el documento US 2004/040633 A1 consiste en fundir el acero para conformar una materia prima tal como planchas, eflorescencias o planchas delgadas; calentar hasta una temperatura de 1300-1350°C; laminar en bruto a un grado de deformación del 36% al 43%; laminar en caliente termomecánicamente a una temperatura de rodillo de acabado que supera la temperatura de Ac3 para formar una banda caliente; enfriar a una velocidad de enfriamiento de al menos 15°C/s hasta una temperatura de bobinado de 590-630°C.

- 35 Dicho enfriamiento en dos etapas es en la práctica más complicado de llevar a cabo que un enfriamiento en una etapa y requiere equipos de producción más complejos. Además, la capacidad de flexión de la banda de acero obtenida mediante enfriamiento en dos etapas no es particularmente buena, aunque la banda de acero tiene valores relativamente buenos para el porcentaje de elongación tras la fractura. La capacidad de flexión significa la capacidad

de la banda de acero para curvarse hasta un radio de curvatura pequeño sin que surja daño superficial en el punto de flexión. El enfriamiento en dos etapas no ha logrado dotar al acero de valores de resistencia al impacto particularmente buenos a bajas temperaturas en combinación con una alta resistencia.

Compendio de la invención

5 Un objeto de la invención es superar dichos inconvenientes de la técnica anterior y proporcionar un método que sea fácil de implementar para fabricar producto de acero en bandas, normalmente una banda de acero, de alta resistencia y una capacidad de flexión particularmente buena, teniendo el producto de acero en bandas una composición química tal como se mencionó anteriormente. Para lograr esto, el método de la invención se caracteriza por

- austenizar una pieza de trabajo de acero a una temperatura de austenización de 1200 a 1350°C;
- 10 - laminar en caliente la pieza de trabajo de acero en una etapa de laminación previa;
- laminar la pieza de trabajo de acero laminada previamente en un laminador para bandas de manera que se alcance una temperatura de laminación de 760 a 960°C para la pieza de trabajo en la última pasada; y
- someter a temple directo de la banda de acero después de la última pasada en el laminador para bandas mediante un enfriamiento en una sola etapa a una velocidad de enfriamiento de 30 a 150°C/s hasta 300°C como máximo, llevándose a cabo el temple directo en el plazo de 15 s desde la última pasada.

La invención ha mostrado sorprendentemente que dicha composición de acero es capaz de producir acero de alta resistencia que también tiene buena capacidad de flexión. También sorprendentemente, se descubrió que la resistencia del acero es isotrópica, es decir, su límite elástico no varía de manera considerable independientemente de si se mide longitudinal o transversalmente en relación con la dirección de laminación.

20 La velocidad de temple directo es preferiblemente de 120°C/s como máximo, porque esto permite obtener una microestructura de acero que dota al acero de propiedades mecánicas particularmente buenas, incluyendo buena resistencia al impacto combinada con buena capacidad de flexión.

Preferiblemente, la temperatura final del temple directo es de 100°C como máximo, porque esto permite obtener una banda plana con bordes también planos y uniformes después del temple.

25 Preferiblemente, la banda de acero se somete a temple directo directamente hasta la temperatura de bobinado y se bobina.

El procesamiento de la banda de acero es preferiblemente termomecánico y, por lo tanto, no se lleva a cabo revenido tras el temple directo. Se ha observado que un producto de acero fabricado con el método tiene buenas propiedades mecánicas, aunque no se requiere revenido que aumenta los costes sobre el producto. El revenido no mejora significativamente las propiedades mecánicas del producto, y complica el proceso.

30 En las reivindicaciones adjuntas 2 y 3 se describen realizaciones preferidas de la invención.

Las principales ventajas del método de la invención son que permite que un producto de acero con buenas propiedades mecánicas, incluida la capacidad de flexión, y una composición predeterminada se fabrique de manera simple y económica y con equipos simples.

35 La invención se refiere además a un producto fabricado en etapas del método de la invención.

El producto de banda de acero de la invención que tiene un grosor de pared de 2 a 12 mm y compuesto en tanto por ciento en peso de

C:	0,04-0,08
Si:	0-0,5
Mn:	1,3-2,2
Nb:	0,04-0,09
Ti:	0,06-0,16
N:	< 0,01
P:	≤ 0,03
S:	< 0,015
Al:	0,01-0,15
V:	≤ 0,1
Cr:	< 0,2

Mo:	< 0,2
Cu:	≤ 0,5
Ni:	≤ 0,5

5 siendo el resto hierro e impurezas inevitables, se caracteriza por que la microestructura del acero es sustancialmente ferrítica baja en carbono y/o bainítica baja en carbono, y contiene islas altas en carbono; que su límite elástico es de 650-800 MPa y el porcentaje de elongación tras la fractura es de al menos el 12%; que su razón de elasticidad es de 0,8-0,95; y que su estructura es isotrópica en el sentido de que su límite elástico en la dirección de laminación difiere el 6,5% como máximo de su límite elástico en la dirección que es transversal a la dirección de laminación.

10 Se ha obtenido alta resistencia, aunque la microestructura del acero consiste principalmente en una ferrita y/o bainita baja en carbono, sin contener cantidades significativas de martensita rica en carbono o bainita rica en carbono. Según lo recomendado, la fase dominante consiste en ferrita con una microestructura casi totalmente ferrítica, según lo recomendado, y pequeñas cantidades de bainita y/o martensita y/o austenita de residuos en islas extremadamente pequeñas de contenido en carbono enriquecido. Una razón significativa para la alta resistencia obtenida es el uso de niobio y titanio como elementos de microaleación en el acero producido con el método. Debe utilizarse tanto niobio como titanio.

En las reivindicaciones adjuntas 5 a 15 se describen realizaciones preferidas de la invención.

15 Las principales ventajas del producto de acero de la invención son sus excelentes propiedades mecánicas, incluyendo capacidad de flexión y características de cizalladura y valores de resistencia al impacto, en relación con su composición. El acero también puede aplicarse bien en condiciones árticas. El acero de la invención es extremadamente útil debido a sus propiedades relacionadas con trabajos de ingeniería, debido a que su soldabilidad es buena y sus propiedades de resistencia isotrópicas permiten una optimización muy eficiente de su uso. Además, el pequeño radio de curvatura facilita particularmente el trabajo de los diseñadores de productos curvados. El producto de banda de acero de la invención es idóneo específicamente para su uso como acero de estructuras fuertes.

Breve descripción de las figuras

A continuación se describirá la invención con mayor detalle y con referencia al dibujo adjunto en el que

la figura 1 muestra las etapas del método de la invención;

la figura 2 es una vista esquemática de una flexión en V en las pruebas de flexión;

25 la figura 3 ilustra un ejemplo de un resultado exitoso de prueba de flexión;

la figura 4 ilustra un ejemplo de un resultado fallido de prueba de flexión;

la figura 5 presenta curvas de transición para el Charpy en V obtenidas con el acero de la invención y un acero de referencia;

la figura 6 ilustra la conexión entre la isotropía de límite elástico y la laminación de bandas; y

30 la figura 7 ilustra la conexión entre la isotropía de límite elástico y la temperatura de bobinado.

Descripción detallada de la invención

La figura 1 muestra las etapas del método de la invención para producir un producto de banda de acero con un grosor de pared de 2 a 12 mm. La fabricación comienza con una pieza de trabajo de acero cuya composición en tanto por ciento en peso es

C:	0,04-0,08
Si:	0-0,5
Mn:	1,3-2,2
Nb:	0,04-0,09
Ti:	0,06-0,16
N:	< 0,01
P:	≤ 0,03
S:	< 0,015
Al:	0,01-0,15
V:	≤ 0,1

Cr:	< 0,2
Mo:	< 0,2
Cu:	≤ 0,5
Ni:	≤ 0,5

y el resto de hierro e impurezas inevitables.

El acero tiene un bajo contenido en carbono C del 0,04 al 0,08%, lo que es ventajoso en vista de la resistencia al impacto, la capacidad de flexión y la soldabilidad del material.

5 Puede usarse silicio, Si, en una cantidad del 0 al 0,50% como agente de desoxidación (además del aluminio) y para refuerzo de ferrita. Si se desea lograr una calidad superficial particularmente buena, el contenido de silicio debe limitarse a por debajo del 0,25%.

El contenido de aleación de manganeso, Mn, es del 1,3 al 2,2%. Debido al bajo contenido en carbono, el acero no es propenso a la segregación de manganeso y carbono durante la colada, lo que mejora la homogeneidad de la microestructura también a contenidos relativamente altos de Mn.

10 El acero de la invención puede cortarse en piezas dimensionadas de manera precisa tanto térmicamente (por ejemplo, mediante láser y plasma) como mecánicamente. Se ha observado que se obtiene una pieza con una superficie de corte relativamente lisa. Esto tiene un efecto ventajoso sobre la resistencia a la fatiga. Además, el bajo contenido en carbono evita que la superficie de corte se vuelva rugosa durante el corte térmico y reduce la dureza máxima, siendo la superficie de corte menos propensa a quebrarse y agrietarse durante la conformación de la pieza y en las
15 condiciones de uso de la misma. En el corte mecánico, la distancia de corte puede fijarse a un valor del 10 al 15% del grosor de lámina, siendo el resultado del corte todavía liso y no fracturado y, por lo tanto, no es necesario rectificar por separado la superficie de corte o el corte térmico, lo que reduce significativamente los márgenes de trabajo y disminuye el número de etapas de fabricación, mejorando así el proceso de fabricación.

20 Para lograr una buena resistencia al impacto y capacidad de flexión, deben restringirse las cantidades de fósforo, P (el 0,03% como máximo) y azufre, S (el 0,015% como máximo) presentes como impurezas. La cantidad máxima de P es preferiblemente del 0,015% y la de S preferiblemente del 0,005%. Además, las propiedades pueden mejorarse, cuando sea necesario, mediante tratamiento con Ca o CaSi fundidos. Como agente de desoxidación, se utiliza el 0,01-0,15% de aluminio Al. La cantidad de aluminio utilizada es preferiblemente del 0,05% como máximo.

25 La cantidad de nitrógeno, N, utilizada es del 0,01% como máximo, porque cuando está presente en acero que contiene titanio, el nitrógeno forma partículas de nitruro de titanio duras que impiden la capacidad de flexión del acero. La cantidad preferida de nitrógeno utilizado es del 0,006% como máximo.

30 El contenido de cobre, Cu, debe reducirse al 0,3% como máximo para garantizar una excelente calidad superficial para una banda laminada en caliente. Si el contenido en cobre sobrepasa el 0,3%, se recomienda alear también níquel, Ni, en una cantidad igual a al menos 0,25 veces el contenido de Cu. Aunque el acero alcanza sus buenas propiedades también sin cobre, puede usarse, cuando sea necesario, para aumentar ligeramente la resistencia. El contenido de Cu es del 0,5% como máximo. Una aleación del 0,3 al 0,5% de cobre y al menos el 0,1% de níquel se utiliza preferentemente, en particular, para bandas gruesas de 8 a 12 mm, por ejemplo.

35 Incluso sin cobre en la aleación, el Ni está restringido al 0,5% como máximo. Aunque el acero alcanza sus excelentes propiedades de resistencia también sin la combinación de Ni, puede aumentar ligeramente la resistencia, cuando sea necesario.

No se alea apenas boro, B, ya que aumentaría innecesariamente el endurecimiento. Por lo tanto, el contenido en boro en el producto de banda de acero de la invención está restringido al nivel de impureza, es decir, $B < 0,0005\%$.

40 Puede alearse titanio, Ti, para alcanzar un nivel de resistencia deseado. Normalmente del 0,06 al 0,16%, aunque también podrían usarse niveles más altos de Ti, pero en ese caso su efecto de aumento de la resistencia es extremadamente pequeño y puede complicar la colada de la pieza de trabajo. No se utilizan porcentajes de Ti más bajos, ya que entonces es difícil obtener alta resistencia sin utilizar una aleación más costosa o aumentar el contenido en carbono a más del 0,08%. Sorprendentemente, la invención ha mostrado que incluso a bajas temperaturas, tales como -40°C y -60°C, el titanio no reduce significativamente la resistencia al impacto del agente básico, tal como muestran los resultados de medición de la tabla 3.

45 No se necesita alear cromo, Cr y molibdeno, Mo. Son elementos que aumentan el endurecimiento y tienen un efecto desventajoso sobre la soldabilidad, al menos en mayores cantidades. Por esta razón, el Cr está restringido a un contenido máximo del 0,2% y, de manera similar, el Mo a un contenido máximo del 0,2%. La cantidad de cromo es preferiblemente menos del 0,1%.

ES 2 738 876 T3

- 5 El molibdeno se permite lo más preferiblemente en una cantidad del 0,10%, y del 0,2% como máximo, porque las propiedades mecánicas del acero de la invención se alcanzan lo más preferiblemente aleando titanio que proporciona costes de elementos de aleación más asequibles que el molibdeno. El molibdeno incluso puede ser dañino para la resistencia en un producto de banda de acero sometido a temple directo de la invención. En cualquier caso, el molibdeno añadido no mejora significativamente la resistencia del producto de banda de acero de la invención, cuando el producto se produce mediante tratamiento termomecánico.
- No se necesita alear vanadio, V. Además, aumenta un endurecimiento innecesario y tiene un efecto desventajoso en la soldabilidad al menos en altas concentraciones. Por esta razón, el V está restringido a un contenido máximo del 0,1%.
- 10 Sin embargo, con grosores de banda bajos t de 2 a 6 mm en particular, a altas fuerzas de laminación, las concentraciones de Nb y Ti están restringidas de la siguiente manera: Nb: 0,04-0,06% y Ti: 0,06-0,10% para reducir las fuerzas de laminación y, al mismo tiempo, puede seleccionarse una concentración de vanadio V del 0,06-0,10% para obtener alta resistencia.
- 15 Con los bajos grosores de banda $t = 2-6$ mm, también puede añadirse de manera ventajosa silicio en una cantidad de Si: 0,30-0,50% para aumentar la resistencia, tal como se muestra en la tabla 1 de las pruebas ejecutadas con una composición experimental E1.
- Según una realización preferida de la invención, la suma de las concentraciones de niobio, titanio y vanadio es mayor del 0,15%, es decir, $Ti + Nb + V > 0,15\%$, siendo aplicable el producto de banda de acero como un acero estructural particularmente fuerte.
- 20 A un límite de contenido en carbono inferior en particular, el producto de banda de acero de la invención es excelente para curvar (doblar) y soldar, por ejemplo mediante soldadura autógena de alta frecuencia (HF) en un tubo o una viga de tubo. Los experimentos de fabricación han mostrado que el material se adapta perfectamente a la producción de vigas de tubo soldadas con HF.
- 25 La pieza de trabajo de acero tiene 210 mm de grosor, por ejemplo, y se calienta hasta una temperatura de austenización de 1280°C, donde se mantiene durante aproximadamente 3 horas. Naturalmente, el grosor de la pieza de trabajo de acero puede diferir del que se describe en este caso y la temperatura de austenización puede elegirse de manera diferente, pero se recomienda un intervalo de 1200-1350°C. Si la temperatura de austenización está por debajo del límite inferior dado, existe el riesgo de que los elementos de microaleación no se disuelvan en la austenita, es decir, no se obtiene una austenita homogénea. Más preferiblemente, el tiempo de recocido varía dentro de un
- 30 intervalo de 2 a 4 horas.
- El equivalente de carbono $C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + Ni + Cu/15$ para el acero es preferiblemente no mayor de 0,45, lo que garantiza una buena soldabilidad del acero.
- 35 Después de austenizar, la pieza de trabajo de acero se lamina en caliente a una temperatura de 950-1250°C hasta un grosor que es normalmente de 25-50 mm y luego se transfiere inmediatamente a un laminador para bandas para laminarse en una banda con un grosor final de 2-12 mm. El grosor final recomendado de la banda de acero es de al menos 4 mm. También recomendó que el grosor final no supere los 10 mm.
- El número de pasadas en el laminador para bandas es normalmente de 5 a 7. La última pasada en el laminador para bandas se lleva a cabo a un intervalo de temperatura de 760-960°C, siendo la recomendación de 780-850°C.
- 40 Después de la última pasada, el temple directo de la banda de acero comienza en el plazo de 15 segundos. Al comienzo del temple directo, la temperatura de la banda de acero debe ser de al menos 700°C. El temple directo se lleva a cabo como un temple con agua a una velocidad de temple de 30-150°C/s, siendo el límite superior recomendado de 120°C/s como máximo. El temple directo continúa hasta una temperatura de 300°C como máximo, siendo la temperatura recomendada de 100°C. Inmediatamente después del temple directo, el acero se bobina. Por lo tanto, la temperatura de bobinado puede estar dentro de un intervalo de temperatura de 30-300°C. Una temperatura de bobinado inicial recomendada es de 100°C como máximo, ya que cuando el acero se bobina a una temperatura que supera los 100°C, puede formarse un cojín de vapor discontinuo que complica el proceso sobre la superficie del acero.
- 45 Como resultado del tratamiento termomecánico, la microestructura del acero se vuelve homogénea y consiste en una fase dominante, que es preferiblemente ferrita baja en carbono y/o bainita baja en carbono. La cantidad de la fase dominante es normalmente de más del 90%. En otras palabras, están presentes cantidades extremadamente bajas de bainita alta en carbono y/o austenita residual y/o martensita en grupos extremadamente altos en carbono. El tamaño de grano promedio en la microestructura es pequeño, preferiblemente de 2-4 micrómetros aproximadamente. También es esencial que la microestructura no contenga granos grandes en primer lugar y, por lo tanto, el acero tiene características de flexión particularmente buenas teniendo en cuenta la resistencia del acero. El tamaño del grano debe ser tan uniforme y fino como sea posible, lo que se logra mediante el método de la invención.
- 50
- 55 Las tablas 1 a 3 a continuación proporcionan ejemplos de las concentraciones y los parámetros de fabricación del acero de la invención y de los valores de resistencia y tenacidad obtenidos con ellos. En aras de la comparación, las

tablas 2 y 3 también contienen parámetros de fabricación que no pertenecen al alcance del método de la invención, es decir, tratamientos que no corresponden al método de la invención. En la tabla 2 en los parámetros de fabricación y en la tabla en las propiedades de resistencia mecánica, las pruebas de referencia se han indicado con R.

5 Una cuestión adicional de examen son las características de flexión obtenidas con los tratamientos de la invención, comparándose éstas con las características de flexión obtenidas mediante los parámetros de fabricación que quedan fuera del alcance del método, véanse las tablas 3 y 4, acero B3Q23 (prueba de flexión a) según la invención) y acero A3M33 (prueba de flexión b) fuera de la invención).

10 La indicación T_f en la tabla 2 denota la temperatura en la última pasada de laminación, denotando la indicación T_c la temperatura al inicio del bobinado, denotando la indicación Th el grosor de la banda de acero y denotando la indicación Wi el ancho de la banda de acero.

En la primera columna de la tabla 3, T denota una muestra cuya resistencia y tenacidad se han determinado en una dirección transversal a la dirección del rodillo. La terminación L denota una muestra cuya resistencia y tenacidad se han determinado en la dirección de laminación.

Tabla 1. Composición de prueba

anal	C	SI	MN	P	S	AL	NB	V	CU	CR	NI	N	MO	TI	CA	Ti + Nb + V	ejemplo
A1	0,049	0,23	1,99	0,008	0,003	0,03	0,08	0,01	0,03	0,04	0,04	0,005		0,10		0,20	1, 2, 3
A2	0,049	0,19	1,92	0,007	0,003	0,03	0,09	0,01	0,04	0,04	0,05	0,005	0,01	0,10	0,003	0,19	10
A3	0,049	0,19	1,89	0,009	0,002	0,03	0,08	0,01	0,01	0,03	0,05	0,006	0,00	0,10	0,003	0,19	9
B2	0,056	0,21	1,81	0,007	0,003	0,03	0,09	0,01	0,04	0,04	0,05	0,007	0,01	0,11	0,003	0,21	5
B3	0,058	0,21	1,76	0,008	0,004	0,03	0,08	0,01	0,03	0,04	0,05	0,004	0,01	0,11	0,002	0,19	6, 9
B4	0,064	0,21	1,78	0,011	0,001	0,03	0,09	0,01	0,04	0,06	0,06	0,009	0,01	0,11	0,003	0,20	4, 10
C1	0,053	0,18	1,78	0,008	0,004	0,03	0,06	0,00	0,03	0,05	0,05	0,008	0,01	0,14	0,003	0,19	8
D1	0,057	0,17	1,65	0,008	0,003	0,03	0,04	0,01	0,03	0,03	0,04	0,005		0,09		0,14	7
E1	0,079	0,39	1,43	0,011	0,003	0,03	0,05	0,08	0,04	0,06	0,06	0,007	0,01	0,06	0,002	0,20	11
F1	0,061	0,23	1,79	0,008	0,001	0,04	0,08	0,01	0,40	0,07	0,20	0,007	0,01	0,12	0,002	0,22	12
F2	0,058	0,20	1,90	0,007	0,002	0,03	0,08	0,01	0,40	0,06	0,21	0,006	0,02	0,12	0,002	0,21	12
B5	0,06	0,21	1,81	0,009	0,004	0,03	0,08	0,01	0,04	0,07	0,08	0,007	0,02	0,11	0,002	0,20	

15

Tabla 2. Parámetros de fabricación

muestra	T _f	T _c	Th	Wi	ejemplo		
A1M33	875	605	5	1260	1	R	
A1M63	905	480	5	1260	2a	R	
A1Q61	920	250	5	1260	2b		
A1M83	885	50	5	1260	3		
B2L13	910	360	10	1260	5	R	
B3Q25	805	50	10	1270	6		
D1Q63	865	50	5	1500	7		
C1Q35	910	50	7,7	1355	8		
A3M33	890	615	10	1520	9	R	flexión b
B3Q23	830	50	10	1270	9		flexión a
A2M33	895	605	8	1330	10	R	curva de transición 9c
B4Q23	835	50	8	1500	4, 10		curva de transición 9d
E1Q11	825	50	6	1500	11		
E1Q33	860	50	5	1500	11		

ES 2 738 876 T3

F1Q23	810	50	12	1500	12		
F2Q43	805	50	12	1250	12		
B5Q23	820	50	6	1500			flexión c

Tabla 3. Propiedades de resistencia y tenacidad

muestra	Th	RP02	RM	Diferencia RP02 (T-L)/L	A5	ChV-20	ChV-40	ChV-60	p.ej.		
	mm	MPa	MPa	%	%	J/cm2	J/cm2	J/cm2			
A1 M33T	5	829	873	9,8%	17,0				1	R	
A1 M33L	5	748	833		19,0	133	120	104	1	R	
A1 M63T	5	728	770	8,0%	16,0				2a	R	
A1 M63L	5	670	734		18,0	245	216	187	2a	R	
A1Q61T	5	747	850	7,0%	15,0				2b		
A1Q61L	5	695	773		15,0	211	205	189	2b		
A1 M83T	5	752	841	4,1%	15,0				3		
A1M83L	5	721	811		16,0	216	195	187	3		
B2L13T	10	734	812	10,4%	15,6				5	R	
B2L13L	10	658	745		17,6	221	234	185	5	R	
B3Q25T	10	736	835	0,0%	16,3				6		
B3Q25L	10	736	786		17,5				6		
D1Q63T	5	678	794	6,3%	19,0				7		
D1Q63L	5	635	768		20,0	235	221		7		
C1Q35pLA	7,7	737	852		12,7	164	67	22	8		
C1Q35pLB	7,7	708	815		14,0		140	88	8		
A3M33L	10		799		19,2	84	73		9	R	flexión b
B3Q23T	10	717	810	1,7%	17,4				9		flexión a
B3Q23L	10	705	786		17,9	177	164	143	9		
A2M33L	8	724	806		18,0		84		10	R	curva de trans. 9c
B4Q23T	8	745	837	0,4%	15,7			121	4,10		curva de trans. 9d
B4Q23L	8	742	807		17,1		179	152	4,10		
E1Q11T	6	737	855	-1,6%	16,1		165	143	11		
E1Q11L	6	749	841		16,4		213		11		
E1Q33T	5	728	872	5,3%	16,1		177		11		
E1 Q33L	5	691	845		17,8		223	157	11		
F1Q23T	12	740	863	3,2%	16,2			127	12		
F1Q23L	12	717	832		18,1	227	209	198	12		
F2Q43T	12	725	850	3,6%	16,2			122	12		
F2Q43L	12	700	816		17,9	215	213	182	12		
B5Q23T	6	768	861	6,8%	15,7		205	155			flexión c
B5Q23L	6	719	827		16,9			193			flexión c

Los [Ej. A1Q61 y B5Q23] son ejemplos comparativos.

Las tablas 2 y 3 muestran que los valores de resistencia al impacto son buenos y la resistencia es alta de manera isotrópica, cuando el temple directo se lleva a cabo hasta una temperatura baja (50°C).

Tal como se observa a partir de tabla 3, el límite elástico de los aceros según la invención es de 635-829 MPa. El porcentaje de elongación tras la fractura A5 es de al menos el 12% y normalmente de al menos el 15%. La razón de elasticidad (límite elástico/resistencia a la rotura) de los aceros es de aproximadamente 0,8-0,95.

5 Además puede concluirse a partir de los resultados de las tablas 1 a 3 que los valores de límite elástico de la banda de acero en la dirección de la máquina y en la dirección transversal de la máquina de la banda de acero no difieren significativamente entre sí en los ejemplos 3, 4, 6, 7, 9, 11 y 12. El límite elástico en la dirección de la máquina es casi tan alto como el límite elástico en la dirección transversal de la máquina, siendo la razón de las resistencias de < 6,5%, incluso < 2%. Según los ejemplos, las variaciones de resistencia tan bajas como éstas se obtienen llevando a cabo el temple según una realización preferida de la invención hasta una temperatura de menos de 100°C y/o utilizando la temperatura final de laminación de banda de 890°C.

Tal como se muestra en las tablas 2 y 3, dicha calidad uniforme está presente en los aceros en los que la temperatura final de laminación es baja (por debajo de 890°C) y/o se bobina a una temperatura baja (temperaturas de bobinado de 50°C).

15 Los valores de referencia de la tabla muestran, para los ejemplos 1, 2a y 5, que cuando la temperatura de bobinado está muy por encima de 100°C, la isotropía de los valores de resistencia del acero disminuye hasta un valor cercano al 10%, representando esto una variación habitual en los valores de resistencia para un acero convencional, producido termomecánicamente. Lo mismo se aplica a los valores de resistencia a la rotura.

20 El efecto de la temperatura de flexión final T_f y la temperatura de bobinado T_c sobre la isotropía del límite elástico se examina con mayor detalle en las figuras 6 y 7, que muestran que una disminución tanto en la temperatura final de flexión como en la temperatura de bobinado permite que se mejore el límite elástico del acero de la invención.

La invención también ha mostrado que puede evaluarse la isotropía del límite elástico utilizando la fórmula $R_p(T-L)/R_p(L) = -46,6 + 0,0576 T_f + 0,0103 T_c$, donde T_f es la temperatura final de flexión y T_c la temperatura de bobinado.

25 La calidad uniforme es ventajosa, dado que cuando se está diseñando una banda de acero para diferentes fines, no es necesario tener en cuenta el hecho de que la banda de acero tiene una mayor resistencia en la dirección de laminación que en la dirección que es transversal a la dirección de laminación. Por lo tanto, es posible aprovechar la alta resistencia de la banda de acero en todas las situaciones, es decir, al cortar piezas toscas que se procesan a productos que en uso reciben su mayor carga en la dirección que corresponde a la dirección de laminación de la banda de acero. Además, el uso de la banda de acero puede optimizarse, ya que no es necesario tener en cuenta variaciones de resistencia en relación con la dirección de carga. Además, las propiedades de resistencia isotrópica probablemente contribuyen a la formación de curvaturas de calidad uniforme independientemente de la dirección de flexión (longitudinal/transversal), lo que mejora adicionalmente la aplicabilidad del producto de banda de acero de la invención. La tabla 4 muestra que la capacidad de flexión en la flexión longitudinal, que se sabe que es problemática, es excelente. La muestra de acero B5Q3, por ejemplo, en flexión longitudinal permite que se alcance un valor de R/t de 1,3. La flexión transversal de este acero todavía tiene éxito a un valor de R/t de 0,3.

La flexión se ha llevado a cabo mediante un método de la técnica anterior como una curvatura en V entre la herramienta superior e inferior, ilustrando el principio la figura 3. El método de flexión utilizado es flexión libre con un ancho de abertura en V de 100 mm. Las piezas de prueba se flexionaron en ambas direcciones, por lo que se flexionaron en formas de Z.

40 Tabla 4. Resultados de flexión. Flexión con una lámina cuadrada que tiene una longitud lateral de 300-400 mm, y la flexión realizada de manera transversal a la dirección de laminación. En la tabla, R representa el radio de curvatura y t el grosor de la lámina. Las pruebas de flexión se realizaron transversalmente (T) a la dirección de laminación.

R/t	Dirección	Resultados de flexión		
		Acero B3Q23 (prueba de flexión a) T = 10 mm	Acero B5Q23 (prueba de flexión c) T = 6 mm	Acero A3M33 (prueba de flexión b) T = 10 mm
2	T		OK	OK
1,8	T		OK	
1,6	T	OK		OK
1,5	T			
1,4	T			Falla
1,25	T		OK	
1,2	T	OK		Falla

1	T	OK	OK	Falla
0,8	T	OK	OK	Falla
0,6	T	OK	OK	Falla
0,4	T	OK	OK	Falla
0,3	T		OK	
2,2	L		OK	
1,7	L		OK	
1,3	L		OK	
1	L		Falla	
0,7	L		Falla	

Los resultados de la prueba de flexión se han analizado visualmente. La figura 3 muestra una curvatura exitosa (OK) con una forma de curvatura redonda y una superficie intacta. El resultado de rechazo (Falla) se debe a grietas, fisuras o angulosidades visibles en el área del radio de curvatura. La tabla 5 muestra los fallos típicos de flexión que conducen a un resultado de rechazo y la tabla 4 un ejemplo de una flexión claramente fallida (Falla).

5

Tabla 5. Fallos de flexión típicos

Nombre	Descripción
Fractura de borde	Fracturas de borde en el borde de cizalladura de la curvatura exterior
Fractura superficial muy delgada	Líneas de elasticidad visibles en la curvatura
Fractura superficial delgada	Líneas de elasticidad muestran como surcos distintivos
(Grieta superficial)	Posible grieta en la superficie de la curvatura
Grieta superficial	Grieta reflectante en la superficie de la curvatura
Grieta abierta	Rotura clara en la superficie de la curvatura

Tal como se muestra en la figura 4, el acero B3Q23 (prueba de flexión a en la tabla 2) tiene una capacidad de flexión mucho mejor que el acero A3M33 (prueba de flexión b en la tabla 2). En el acero de la invención, la razón del radio de curvatura con respecto a la resistencia del material (R/t) puede ser incluso de 0,4, mientras que la razón lograda por acero de referencia fabricado de manera convencional es solo de aproximadamente 1,6. La conclusión extraída de las tablas 1 a 4 y de la figura 5 es que, en el método de la invención, el temple directo se realiza hasta una temperatura de 300°C como máximo.

10

Tal como se muestra en la tabla 3 y la figura 5, los valores de resistencia al impacto obtenidos para muestras de acero B4Q23 (curva de transición d) son significativamente mejores que los de las muestras de acero A2M33 (curva de transición c). Las muestras de acero anteriores se sometieron temple directo hasta una temperatura de 50°C (véase la tabla 2), mientras que las últimas se han enfriado hasta una temperatura de 615°C. La tabla 3 también muestra que el enfriamiento hasta una temperatura alta de aproximadamente 600°C (ejemplos 1 y 10) da como resultado solo valores de resistencia al impacto que son típicos para acero de este grado de resistencia. Tal como se muestra, la resistencia al impacto del acero de la invención a una temperatura de -20°C es de al menos 200 J/cm² y/o a una temperatura de -40°C de al menos 190 J/cm² y/o a una temperatura de -60°C de al menos 180 J/cm².

15

20

Por último, la invención se ilustrará mediante una descripción más detallada de los ejemplos de prueba y la información en las tablas 1 a 4.

Ejemplo 1. Se usó un laminador para bandas para laminar una banda caliente que tenía un grosor de 5 mm y la composición (A1) de la tabla 1. Los parámetros del rodillo (A1M33) se muestran en la tabla 2. Los resultados (A1M33) se muestran en la tabla 3. Los resultados muestran que cuando la banda se bobina a una temperatura de bobinado de 600°C, se logra una excelente resistencia, pero la resistencia al impacto, sin embargo, permanece en un nivel normal solamente. Un aspecto notable es que los límites elásticos son claramente diferentes en diferentes direcciones de prueba, lo que es normal para los aceros de microaleación laminados termomecánicamente de manera convencional. El nivel de elongación es normal.

25

30

Ejemplo 2. Se usó un laminador para bandas para laminar una banda caliente que tenía un grosor de 5 mm y la composición (A1) de la tabla 1. Los parámetros del rodillo (A1M63) se muestran en la tabla 2. Los resultados se muestran en la tabla 3. Los resultados muestran que el bobinado a una temperatura de bobinado relativamente baja (de aproximadamente 480°C) produce acero (A1M63) de una baja resistencia pero con una energía de impacto mejorada. El nivel de elongación es normal. Enfriar la banda hasta una temperatura de bobinado todavía menor (de

aproximadamente 250°C) aumenta la resistencia del acero (A1Q61) cercano al nivel normal con una energía de impacto claramente mejorada. La elongación se mantiene por debajo del nivel normal.

5 Ejemplo 3. Se usó un laminador para bandas para laminar una banda caliente que tenía un grosor de 5 mm y la composición (A1) de la tabla 1. Los parámetros del rodillo (A1M83) se muestran en la tabla 2. Los resultados (A1M83) se muestran en la tabla 3. Los resultados muestran que el bobinado a una temperatura de bobinado muy baja (aproximadamente de 50°C) eleva la resistencia a un buen nivel cercano al normal con la energía de impacto todavía claramente mejor que el nivel normal. La elongación se mantiene por debajo del nivel normal.

10 Ejemplo 4. Se usó un laminador para bandas para laminar una banda caliente que tenía un grosor de 8 mm y la composición (B4) de la tabla 1. Los parámetros del rodillo (B4Q23) se muestran en la tabla 2 y los resultados correspondientes en la tabla 3. Los resultados muestran que el bobinado a una temperatura de bobinado muy baja (de aproximadamente 50°C) aumenta la resistencia hasta un nivel normal y proporciona una energía de impacto que es claramente mejor que lo normal. De nuevo, es digno de mencionar que los límites elásticos en la dirección de laminación son casi los mismos tanto en sentido transversal como longitudinal. La elongación es ligeramente inferior a lo normal.

15 Ejemplo 5. Se usó un laminador para bandas para laminar una banda caliente que tenía un grosor de 10 mm y la composición (B2) de la tabla 1. Los parámetros del rodillo (B2L13) se muestran en la tabla 2, los resultados correspondientes en la tabla 3. Los resultados muestran que a una temperatura de laminación muy alta (910°C) y el bobinado a una temperatura de bobinado de 360°C, el límite elástico en sentido longitudinal en la dirección de flexión permanece a un nivel bajo, pero la energía de impacto todavía es buena. La elongación está aproximadamente a un nivel normal.

20 Ejemplo 6. Se usó un laminador para bandas para laminar una banda caliente que tenía un grosor de 10 mm y la composición (B3) de la tabla 1. Los parámetros del rodillo (B3Q25) se muestran en la tabla 2, los resultados correspondientes en la tabla 3. Los resultados muestran que a una temperatura de laminación muy baja (de aproximadamente 800°C) y una temperatura de bobinado muy baja (de aproximadamente 50°C) aumenta el límite elástico hasta un nivel normal también para una banda gruesa, con la energía de impacto todavía en un buen nivel. Un aspecto notable es que los límites elásticos en relación con la dirección de laminación son los mismos tanto en sentido transversal como longitudinal. La elongación está ligeramente por debajo del nivel normal.

30 Ejemplo 7. Se usó un laminador para bandas para laminar una banda caliente con un grosor de 5 mm y la composición (D1) de la Tabla 1. Los parámetros del rodillo (D1Q63) se muestran en la tabla 2, los resultados correspondientes en la tabla 3. Los resultados muestran que la reducción de elementos de aleación (Ti, Nb en particular) disminuyen fuertemente la resistencia cuando el acero se enfría rápidamente hasta una temperatura de 50°C. La elongación y la resistencia al impacto están a un buen nivel.

35 Ejemplo 8. Se usó un laminador para bandas para laminar una banda caliente que tenía un grosor de 7,7 mm y una composición (C1) de la tabla 1, utilizándose luego la banda para fabricar una viga de tubo cuadrática soldada con HF con dimensiones de 100 mm x 250 mm. Los parámetros de laminación (C1Q35) se muestran en la tabla 2 y los resultados medidos a partir de la viga de tubo en la tabla 3. Los valores de resistencia medidos son las resistencias obtenidas después de la formación de las vigas de tubo. Debido a la conformación en frío que tiene lugar en la fabricación de vigas de tubo, los valores de resistencia al impacto normalmente disminuyen un poco. Los resultados muestran que el acero según el método también es idóneo para la fabricación de vigas de tubo de alta resistencia.

40 Ejemplo 9. Se usó un laminador para bandas para laminar una banda caliente que tenía un grosor de 8 mm y composiciones (A3 y B4) de la tabla 1. Los parámetros de laminación (A3M33 y B3Q23) se muestran en la tabla 2 y los resultados de las pruebas correspondientes medidos de la banda en la tabla 3. La Tabla 4 muestra una comparación de la flexión de estos aceros (A3M33 y B3Q23), en donde se observa que un acero B3Q23 sometido a temple directo mantiene la flexión bien incluso a un valor de R/t de 0,4. El acero A3M33 enfriado hasta una temperatura de aproximadamente 600°C puede curvarse con éxito hasta valor de R/t de 1,6.

45 Ejemplo 10. La figura 5 compara los valores de resistencia al impacto de los aceros A2M33 y B4Q23 a diferentes temperaturas de prueba mediante una prueba de impacto de Charpy V. Las composiciones y los parámetros de fabricación de los aceros A2M33 y B4Q23 se muestran en las tablas 1 y 2. El acero B4Q33 sometido a temple directo demuestra ser claramente mejor, manteniendo su resistencia también a temperaturas extremadamente bajas.

50 Ejemplo 11. Se usó un laminador para bandas para laminar banda caliente con grosores de 5 y 6 mm y la composición (E1) de la tabla 1. Los parámetros de laminación (E1Q11 y E1Q33) se muestran en la tabla 2 y los resultados de las pruebas correspondientes medidos de la banda en la tabla 3. Los resultados muestran que un producto de banda de acero de la invención puede fabricarse también en grosores pequeños, por ejemplo, seleccionando los contenidos de niobio, titanio y vanadio del acero de la siguiente manera: Nb: 0,04-0,06%, Ti: 0,06-0,10% y V: 0,06-0,1%.

55 Ejemplo 12. Se usó un laminador para bandas para laminar una banda caliente que tenía un grosor de 12 mm y las composiciones (F1 y F2) de la tabla 1. Los parámetros de laminación (F1Q23 y F2Q43) se muestran en la tabla 2 y los resultados de las pruebas correspondientes medidos de la banda en la tabla 3. Los resultados muestran que un producto de banda de acero de la invención puede fabricarse también con dimensiones gruesas. Además, este

ejemplo prueba además que se obtiene calidad uniforme mediante temple directo llevado a cabo hasta una temperatura por debajo de 100°C y/o utilizando una temperatura final de laminación de banda que está por debajo de 890°C.

5 En lo anterior, la invención se ha ilustrado mediante ejemplos. Teniendo en cuenta esto, debe observarse que los detalles de la invención pueden implementarse de diversas maneras dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para fabricar un producto de banda de acero laminado en caliente que tiene un grosor de 2 a 12 mm utilizando acero cuya composición en tanto por ciento en peso es

C:	0,04-0,08
Si:	0-0,5
Mn:	1,3-2,2
Nb:	0,04-0,09
Ti:	0,06-0,16
N:	< 0,01
P:	≤ 0,03
S:	< 0,015
Al:	0,01-0,15
V:	≤ 0,1
Cr:	< 0,2
Mo:	< 0,2
Cu:	≤ 0,5
Ni:	≤ 0,5

consistiendo el resto en hierro e impurezas inevitables, caracterizado por

- 5 - austenizar una pieza de trabajo de acero a una temperatura de austenización de 1200 a 1350°C;
 - laminar en caliente la pieza de trabajo de acero en una etapa de laminación previa;
 - laminar la pieza de trabajo de acero laminada previamente en un laminador para bandas de manera que se alcance una temperatura de laminación de 760 a 960°C para la pieza de trabajo en la última pasada; y
 10 - someter a temple directo la banda de acero después de la última pasada en el laminador para bandas mediante un enfriamiento en una sola etapa a una velocidad de enfriamiento de 30 a 150°C/s hasta 300°C como máximo, llevándose a cabo el temple directo en el plazo de 15 s a partir de la última pasada.
2. Un método según la reivindicación 1, caracterizado por que la temperatura final del temple directo es de 100°C como máximo.
3. Un método según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la banda de acero se conforma en un producto de tubo después del temple directo.
- 15 4. Un producto de banda de acero laminado en caliente con un grosor de 2-12 mm y una composición en tanto por ciento en peso de

C:	0,04-0,08
Si:	0-0,5
Mn:	1,3-2,2
Nb:	0,04-0,09
Ti:	0,06-0,16
N:	< 0,01
P:	≤ 0,03
S:	< 0,015
Al:	0,01-0,15
V:	≤ 0,1
Cr:	< 0,2
Mo:	< 0,2
Cu:	≤ 0,5
Ni:	≤ 0,5

- siendo el resto hierro e impurezas inevitables, caracterizado por que la microestructura del acero es sustancialmente ferrítica baja en carbono y/o bainítica baja en carbono y contiene islas altas en carbono; que su límite elástico es de 650-800 MPa y el porcentaje de elongación tras la fractura es de al menos el 12%; y que su razón de elasticidad es de 0,8-0,95; y que su estructura es isotrópica en el sentido de que su límite elástico en la dirección de laminación difiere el 6,5% como máximo de su límite elástico en la dirección que es transversal a la dirección de laminación.
5. Un producto de banda de acero según la reivindicación 4, caracterizado por que en la flexión transversal, el acero mantiene un radio de curvatura de $0,4 \leq R \leq 0,75 t$, siendo t el grosor de pared del producto de acero, sin grietas o fracturas visibles a simple vista.
10. Un producto de banda de acero según las reivindicaciones 4 o 5, caracterizado por que su tamaño de grano promedio es de 2 a 4 micrómetros.
7. Un producto de banda de acero según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 4 a 6, caracterizado por que su equivalente de carbono es de 0,45 como máximo.
8. Un producto de banda de acero según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 4 a 7, caracterizado por que su límite elástico es de más de 680 MPa.
15. Un producto de banda de acero según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 4 a 8, caracterizado por que su resistencia al impacto a una temperatura de -20°C es de al menos 200 J/cm² y/o a una temperatura de -40°C de al menos 190 J/cm² y/o a una temperatura de -60°C de al menos 180 J/cm².
20. Un producto de banda de acero según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 4 a 9, caracterizado por que puede cortarse a una distancia de corte del 10-15% del grosor de la lámina sin grietas visualmente perceptibles.
11. Un producto de banda de acero según la reivindicación 4, caracterizado por que la composición del acero también cumple con el requisito $Ti + Nb + V > 0,15$.
12. Un producto de banda de acero según la reivindicación 11, caracterizado por que su grosor es de 2-6 mm y los contenidos de los elementos de aleación Nb, Ti y V en el acero son de
25. Nb: 0,04-0,06
Ti: 0,06-0,10
V: 0,06-0,10.
13. Un producto de banda de acero según la reivindicación 10, caracterizado por que el contenido en molibdeno del acero es de $Mo < 0,10$.
30. Un producto de banda de acero según la reivindicación 4, caracterizado por que su grosor supera los 8 mm y que el contenido en cobre y níquel del acero es de $0,3 \leq Cu \leq 0,5$ y $Ni < 0,1\%$.