

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 761 839**

51 Int. Cl.:

C21D 1/18 (2006.01)

C21D 8/02 (2006.01)

C22C 38/42 (2006.01)

C22C 38/44 (2006.01)

C22C 38/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.12.2011 PCT/FI2011/051066**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.06.2012 WO12072884**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2011 E 11815448 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2019 EP 2646582**

54 Título: **Acero estructural de resistencia ultra alta y método para producir acero estructural de resistencia ultra alta**

30 Prioridad:

02.12.2010 FI 20106275

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

21.05.2020

73 Titular/es:

RAUTARUUKKI OYJ (100.0%)

Panuntie 11

00620 Helsinki, FI

72 Inventor/es:

LIIMATAINEN, TOMMI

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 761 839 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Acero estructural de resistencia ultra alta y método para producir acero estructural de resistencia ultra alta

Antecedentes de la invención.

5 La invención se refiere a un acero estructural de resistencia ultra alta, que se produce por laminado en caliente como producto de acero de tipo lámina.

Más específicamente, la invención se refiere a un acero estructural de resistencia ultra alta de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 y a un método para producir un acero estructural de resistencia ultra alta de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 11. Por acero estructural de resistencia ultra alta se entiende acero cuyo límite elástico $R_{p0.2}$ es de al menos 960 MPa y el índice de rendimiento ($R_{p0.2}/R_m$) es más de 0,7, lo cual es típico especialmente de los aceros estructurales de enfriamiento directo.

10

La invención se refiere a la producción de un acero estructural de resistencia ultra alta, cuya composición, como porcentajes en peso, se expone en la reivindicación 1.

15 La invención se refiere también especialmente a un acero estructural de resistencia ultra alta, cuya composición comprende dichos elementos anteriores, en donde, además de alta resistencia, el acero estructural de resistencia ultra alta tiene también una excelente soldabilidad al poseer excelentes propiedades de tenacidad al choque en la zona afectada por el calor de la soldadura.

Los aceros estructurales se usan en las industrias de equipos para la construcción y el transporte, en los que la tendencia es usar aceros más fuertes para lograr estructuras más ligeras. En este caso, las estructuras de acero se pueden aligerar, mejorando la capacidad de carga de máquinas y dispositivos y disminuyendo el consumo de energía. Se intenta proporcionar un acero que sea lo más fuerte posible, pero que, a medida que aumenta la resistencia, las propiedades de usabilidad, como la soldabilidad y la expandibilidad, así como otras propiedades importantes, como la elongación y la resistencia al choque, pueden debilitarse, como es sabido. Especialmente, en tales aceros resistentes, el riesgo relacionado con el agrietamiento de la soldadura por el hidrógeno es grande y el comportamiento de rotura es a veces inseguro, lo que hace que sean problemáticos el trabajo del ingeniero de estructuras y del calculador de la resistencia. En la zona afectada por el calor (Heat Affected Zone: HAZ) de la soldadura, tampoco puede haber durante el proceso de soldadura un ablandamiento significativo, o al menos la anchura de la zona ablandada debe mantenerse lo más estrecha posible, para que la resistencia de la unión soldada se mantenga buena, es decir, lo más próxima posible a la resistencia del metal de base. Otras propiedades mecánicas de la zona de la soldadura afectada por el calor, como como la elongación o alargamiento, y especialmente la resistencia al choque, también deben mantenerse lo mejor posible para que el trabajo de diseño de estructuras prácticas sea lo más sensible y sencillo posible y la funcionalidad de las estructuras quede asegurada en la práctica.

20

25

30

Como es sabido, también el aporte de calor debe estar significativamente limitado cuando se sueldan aceros de resistencia alta y ultra alta, lo que puede causar una forma desfavorable de cordón de soldadura para la tenacidad a la rotura y la resistencia a la fatiga, porque, a un bajo aporte de calor, el punto de unión del metal de soldadura y el metal de base no se forma tan fácilmente como con un aporte de calor más alto. La limitación del aporte de calor también debilita la productividad del trabajo de soldadura, sumando costes.

35

Además, los aceros estructurales deben ser a veces resistentes a la intemperie, en donde el acero no precisa necesariamente ser recubierto porque se forma una capa hermética de óxido en la superficie del acero, lo que ralentiza significativamente el progreso de la corrosión. En sitios comprometidos, el acero debe resistir, además del estrés climático normal, también el cloruro de sodio NaCl contenido en un clima marítimo, en el que el acero estructural de resistencia ultra alta puede usarse óptimamente también en estructuras de barcos y puertos incluso sin revestimiento. Además, cuando se recubre, es mejor la durabilidad de la superficie de la pintura del acero resistente a la intemperie en los puntos con daños locales de la superficie, porque se ralentiza el progreso del óxido debajo de la superficie de la pintura. Especialmente con aceros estructurales de resistencia ultra alta, el intento es para los espesores de material más pequeños posibles y, por lo tanto, se enfatiza aún más la garantía contra daños por corrosión.

40

45

Es conocido, entre otras cosas, un acero estructural laminado en caliente de resistencia ultra alta, cuya composición contiene típicamente, como porcentajes en peso, C: 0,095 %, Si: 0,20 %, Mn: 1,0 %, Cu: 0,4 %, Cr: 1 %, Ni: 0,20 % y Ti: 0,03 %, así como hierro e impurezas inevitables, y contenidos residuales. El acero en cuestión se produce con un límite elástico superior a 960 MPa, pero la tenacidad al choque de su metal de base es solo moderada y el acero en cuestión no resiste muy bien el estrés del agua salada. Del mismo modo, al soldar la zona del metal de base afectada por el calor se ablanda significativamente y en una zona relativamente amplia, en la que la capacidad de carga de la costura de soldadura, como la fuerza y la tenacidad al choque, se debilita significativamente durante la soldadura típica en comparación con la capacidad de carga del metal de base.

50

Por el documento KR950004775 B1 se conoce un método para producir un acero que tiene un límite elástico de aproximadamente 150 KSI (1034 MPa), método en el cual un acero de composición C: <0,12 %, Mn: 0,6 - 0,9 %, Si:

55

0,2 - 0,35 %, Ni: 4,75 - 5,25 %, Cr: 0,4 - 0,7 %, Mo: 0,3 - 0,65 %, V: 0,05 - 0,10 %, P: <0,01 %, y S <0,015 %, siendo el resto Fe e impurezas inevitables, se enfría del proceso de laminado en caliente y, posteriormente, se trata con temple. Sin embargo, el problema con este acero conocido es que el acero no es particularmente resistente a la intemperie, porque en él no se aleó cobre Cu y al mismo tiempo también solamente una pequeña cantidad de cromo Cr. El endurecimiento de la solución mediante el uso de níquel Ni sin cobre Cu conduce a contenidos de Ni excesivamente altos, lo cual es desventajoso, es decir, en la parte de los costes del elemento de aleación. Si el acero se temple aún más después del enfriamiento directo, este acero no tiene cobre Cu a precipitar, lo que aumentaría aún más la resistencia del acero. Este acero conocido tampoco es particularmente soldable, porque en él no se ha aleado titanio Ti para evitar la formación de granos con un aporte elevado de calor, en el que, debido a las pequeñas energías de soldadura, es difícil obtener el punto de unión del cordón de soldadura y el metal base liso, en el que es difícil conseguir una unión resistente y fuerte.

El documento US 4.572.748 describe una placa de acero que tiene una alta resistencia a la tracción que está fabricada a partir de un acero que consiste esencialmente en 0,04 - 0,16% en peso de C, 0,02 - 0,50 % en peso de Si, 0,4 - 1,2 % en peso de Mn, 0,2 - 5,0 % en peso de Ni, 0,2 - 1,5 % en peso de Cr, 0,2 - 1,0 % en peso de Mo, 0,01 - 0,10 % en peso de Al soluble en ácido, 0,03 - 0,15 % en peso de uno o más de V, Ti y Nb, 0,015 % o menos en peso de P, 0,006% o menos en peso de S y el equilibrio de hierro e impurezas inherentes. El acero se calienta a una temperatura superior a la temperatura a la que los carbonitruros de V y Nb y los carburos de Ti se convierten en un estado de solución sólida completa, se lamina con una reducción total de 40% o más por debajo de 950 °C, se apaga mediante enfriamiento simultáneo inmediatamente después de la finalización de la laminación de una temperatura por encima de (A₃-50) DEG C. y se temple a una temperatura inferior a A_{c1}. La densidad del agua de enfriamiento (W) para el enfriamiento rápido se determina mediante la siguiente ecuación (I) o (II) de acuerdo con el espesor de la placa (t): (I) para la placa de más de 40 mm, espesor W = 0,7 a 1,5 m³/min·m² y (II) para la placa de más de 25 mm y menos de 40 mm, espesor W = 0,7 a (8,5 - 0,1 t)/3 m³/min·m².

El documento US 4.946.516 se refiere a un proceso para producir acero que posee un alto nivel de tenacidad y resistencia libre de anisotropía y que tiene buena resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión en condiciones de agua marina. El proceso comprende las etapas de: preparar una placa de acero compuesta por 0,02 a 0,10 % en peso de C, 0,50 % en peso o menos de Si, 0,4 a 1,5 % en peso de Mn, 1,0 a 8,0 % en peso de Ni, 0,1 a 1,5 % en peso de Mo, 0,8 % en peso % o menos Cr, 0,01 a 0,08 % en peso de sol. Al, con el resto de Fe y las impurezas inevitables; el calentamiento de la placa a una temperatura de 1000 °C a 1250 °C; laminado del acero en caliente a una tasa de reducción de 20 a 60 % a una región de temperatura de recristalización de austenita y luego a una tasa de reducción de 30 a 70 % a una región de temperatura de no recristalización de austenita y terminando el laminado a una temperatura de 650 °C o más; enfriamiento rápido del acero iniciando el enfriamiento con agua a una temperatura o por encima del punto Ar₃ del mismo y terminación de la refrigeración con agua a una temperatura de 150 °C o inferior; enfriamiento del acero después de recalentar el acero a una temperatura entre el punto Ac₃ y el punto Ac₃ + 100 °C del mismo; y templado del acero a una temperatura en o por debajo del punto Ac₁ del mismo .

La combinación de una excelente resistencia y tenacidad al choque de aceros de resistencia ultra alta conocidos, obtenidos por laminado termomecánico y enfriamiento directo, se debilita en la HAZ, debido al ciclo térmico causado por la soldadura.

Por lo tanto, el problema de las soluciones conocidas es especialmente que no se conoce un acero estructural laminado en caliente de resistencia ultra alta, en el que, al mismo tiempo junto con alta resistencia al choque HAZ y resistencia a la intemperie del metal de base, se consiga una tenacidad elevada.

Breve descripción de la invención.

El objeto de esta invención es resolver los problemas de la técnica conocida y proporcionar un excelente acero estructural de resistencia ultra alta, en el que la tenacidad al choque de la HAZ de una unión de soldadura proporcionada en este acero es excelente. En este caso, el acero se puede usar en aplicaciones soldadas que requieren resistencia al choque, tales como en estructuras de pluma soldadas.

La invención proporciona un acero estructural de resistencia ultra alta, en el que la resistencia al choque de la HAZ de una soldadura proporcionada en este acero, medida transversalmente en relación con la dirección de laminación a una temperatura de -40 °C, es superior a 34 J/cm², es decir, expresado de otra manera

Charpy V -40 °C T (FL, ICHAZ, CGHAZ) > 34 J/cm²

El segundo objeto de la invención es proporcionar un nuevo método para producir un acero estructural de resistencia ultra alta a partir de un acero cuya composición comprende dicho contenido del elemento.

Para implementar esto, un acero estructural de resistencia ultra alta según la invención se caracteriza por lo que se afirma en la parte de caracterización de la reivindicación 1.

Un método según la invención se caracteriza por lo que se dice en la parte de caracterización de la reivindicación 11.

En las reivindicaciones independientes se presentan realizaciones ventajosas de la invención, así como en la descripción.

5 Los objetos de la invención se consiguen aleando la composición del acero de acuerdo con la invención y, preferible pero no necesariamente, enfriando directamente el acero que tiene la composición aleada después del laminado en caliente. En otras palabras, la presente invención se implementa, preferible pero no necesariamente, usando una combinación única de la composición del acero y el enfriamiento directo.

10 De acuerdo con la invención, se encuentra sorprendentemente que mediante dicha composición y, preferiblemente pero no necesariamente, mediante el enfriamiento rápido de un acero de acuerdo con dicha composición, se logra un acero de resistencia ultra alta que posee, al mismo tiempo, buenas propiedades de tenacidad al choque HAZ y que tiene excelentes propiedades de resistencia a la intemperie y soldabilidad. Específicamente, en la invención se encuentra sorprendentemente que un acero altamente aleado con níquel y/o cobre, así como con, como máximo, una pequeña cantidad de acero aleado con titanio, logra un acero de resistencia ultra alta, cuyo metal de base y la resistencia de soldadura HAZ y resistencia al choque, están en un nivel excelente.

15 Las mayores ventajas de un acero estructural de resistencia ultra alta de acuerdo con la invención son que tiene una resistencia ultra alta combinada con una buena tenacidad al choque y puede soldarse de manera excelente de forma que las propiedades mecánicas de la HAZ sean excelentes. La soldadura puede realizarse incluso sin precalentamiento. Durante la soldadura, se pueden evitar los problemas relacionados con el agrietamiento por el hidrógeno y, por lo tanto, para tal acero estructural templado directamente se puede usar, un aporte de calor razonablemente grande, en donde la capacidad de carga de la soldadura permanece en un nivel excelente y la eficiencia del trabajo de soldadura puede mantenerse alta. Además, un acero estructural según la invención tiene buenas propiedades en relación con la tenacidad a la fractura, lo que es ventajoso especialmente en situaciones de tensión extrema. Como ventaja significativa está la alta resistencia al choque de la HAZ, especialmente de la línea de fusión, en un acero estructural tan fuerte también a temperaturas desusadamente bajas.

25 Además, el acero también es muy resistente a la intemperie, en la que también puede usarse cuando una superficie de acero con una pátina de marrón oscuro es un objetivo de diseño. Un acero según la invención es capaz de ralentizar la corrosión que progresa debajo de la superficie de la pintura, lo que aumenta la seguridad de la estructura contra la corrosión, por ejemplo en lugares que son difíciles de inspeccionar visualmente o cuyo recubrimiento para evitar la corrosión es difícil o imposible. Del mismo modo, se pueden aumentar los intervalos de inspección estructural y los intervalos entre las actuaciones de reparaciones de pintura. Además, cuando está adecuadamente aleado, el acero soporta condiciones marinas más de lo normal, incluso sin revestimiento. Cuando está recubierto, el acero resiste espléndidamente incluso en un ambiente relativamente muy corrosivo, en donde la adhesión del recubrimiento mejora y la necesidad de renovar el recubrimiento se reduce debido a un acero de acuerdo con la invención.

30 La buena seguridad contra la corrosión y la forma suave de las costuras de soldadura para evitar grietas por fatiga aumentan el ciclo de vida del producto final que se producirá a partir de un acero estructural de resistencia ultra alta de acuerdo con la invención.

40 Las mayores ventajas de un método de acuerdo con la invención son que permite un acero estructural que tiene dichas ventajas anteriores. Debido al enfriamiento directo, no es necesario realizar un calentamiento por separado para el endurecimiento y no necesita realizarse el endurecimiento, lo que significa un importante ahorro de energía. Además, el enfriamiento directo a baja temperatura acelera la capacidad de producción, cuando no hay necesidad de esperar a que el producto de acero se enfríe.

Breve descripción de las figuras.

En lo que sigue, la presente invención se describe con más detalle con referencia a las figuras adjuntas, en las que:

La figura 1 muestra las principales etapas del método de acuerdo con la invención.

La figura 1 muestra un método, que tiene además templado.

45 La figura 3 muestra con más detalle la primera realización preferida del método de acuerdo con la invención, y

La figura 4 muestra con más detalle la segunda realización preferida del método de acuerdo con la invención.

En las figuras, una línea discontinua significa que la siguiente etapa es una etapa del método preferida, pero no imperativa.

Descripción de los números de referencia.

50	Aleación	2
	Pre-laminado	4

	Laminado	5
	Enfriamiento directo	8
	Giro de la lámina 90°	9
5	Bovinado	10
	Templado	12

Descripción detallada de la invención.

La composición de un acero estructural de resistencia ultra alta según la invención comprende, como porcentajes en peso, los elementos citados en la reivindicación 1.

10 La Tabla 1 muestra ejemplos de la composición de un acero de acuerdo con la invención, cuya composición se describe a continuación con más detalle. La tabla tiene además una composición de referencia R1.

Tabla 1. Ejemplos. Contenidos como porcentajes en peso.

acero	C	Si	Mn	Al	Cr	Ni	Cu	Mo	B	Ti	Nb	V	CEV
1372	0.10	0.2	1.1	0.04	1.1	3.6	0.4	0.15		0.012			0.8
1371	0.10	0.2	1.1	0.04	1.1	1.6	2.4	0.15		0.012			0.8
1370	0.10	0.2	1.1	0.04	1.5	1.6	2.4	0.60		0.012			1.0
1369	0.11	0.6	1.4	0.04	1.5	3.6	2.4	0.60		0.012			1.2
R1	0.14	0.2	1.1	0.03	0.7	0.05		0.20	0.0019	0.031	0.003	0.009	0.5

Carbono C.

15 En relación con su nivel de resistencia, el acero tiene un contenido de carbono algo bajo C: 0,07 – 0,12 %, lo cual es útil para la tenacidad al choque y la soldabilidad del material, en donde el propio CEV equivalente de carbono puede ser algo alto. Se necesita carbono C al menos 0,07 %, para que el endurecimiento tenga éxito y se proporcione una resistencia ultra alta. Preferiblemente, el contenido de carbono C del acero es 0,08 - 0,12 %, lo que mejora aún más dichas propiedades. Lo más preferiblemente, el contenido de carbono está en el intervalo de 0,08 a 0,10 %. Un bajo contenido de carbono también dificulta la formación de austenita retenida entre los listones de martensita, con lo que se reduce el riesgo de grietas por hidrógeno.

25 Sorprendentemente, un equivalente de carbono algo elevado $CEV = (C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu) /15)$ en un acero estructural de resistencia ultra alta de acuerdo con la invención influye positivamente en el suministro de una combinación de buena tenacidad y resistencia al choque en una soldadura. De la Tabla 1 se observa que, para un ejemplo de acero de acuerdo con la invención, el equivalente de carbono $CEV > 0,50$. Entonces, durante la soldadura, la zona re-austenitada se endurece adecuadamente, con lo que se consigue una alta resistencia combinada con una buena tenacidad al choque. Más preferiblemente, el equivalente de carbono del acero es $0,5 < CEV < 1,2$, lo más preferiblemente $0,65 < CEV < 1,00$.

Silicio Si.

30 El contenido de Si del acero es 0,1 - 0,7 %, especialmente para lograr resistencia. No se utilizan contenidos de Si inferiores a 0,1%, por la desulfuración y el control de forma de las inclusiones del acero es más fácil cuando el acero contiene un poco de silicio. Además, el silicio Si contribuye a mejorar la resistencia a la intemperie de un acero. Por otro lado, un contenido excesivo de Si puede debilitar la resistencia al choque y afectar a la calidad de la superficie. Por esta razón, el contenido de Si es preferiblemente del 0,15 - 0,4 % y lo más preferiblemente del 0,15 - 0,25 %, en el que se asegura la excelente calidad de la superficie así como la excelente resistencia al choque de un acero en forma de lámina.

Manganeso Mn.

40 El contenido de Mn del acero es 0,5 - 2,0 %, porque con el manganeso aumenta la templabilidad del acero. Sin embargo, el contenido de Mn del acero es preferiblemente moderado, porque el manganeso Mn puede infiltrarse en una colada continua y puede debilitar desfavorablemente el alargamiento de un acero enfriado directamente, así como debilitar también la tenacidad a la rotura. Por esta razón, en los espesores de acero estructural el manganeso se usa preferiblemente 0,5 - 1,5 %. De acuerdo con una realización preferida, el manganeso Mn se alea al menos un 0,7 %, especialmente cuando el espesor del acero estructural es $Th (Thickness) \cdot 5$ mm. De acuerdo con la realización más preferible, el manganeso se alea al menos al 0,9 %, especialmente cuando el espesor del acero estructural $Th \cdot 6$ mm.

Níquel Ni.

5 El contenido de Ni del acero es 0,8 - 4,5 %; preferiblemente 1,5 % - 4,5 %, que es un alto contenido en comparación con un acero estructural típico de esta clase de resistencia. Sin embargo, con un alto contenido de Ni se consigue sobre todo una alta resistencia debido a una mayor capacidad de endurecimiento sin riesgo significativo de grietas por hidrógeno, en donde puede reducirse la necesidad de precalentamiento durante la soldadura. Además, se logra una mejor tenacidad al choque tanto del metal de base como del HAZ, cuando se desea mantener alto el nivel de resistencia en ambos. Además, el níquel Ni permite excelentes propiedades de resistencia a la intemperie, que, según el contenido de la invención, mejoran la resistencia del acero incluso a la corrosión del agua salada. Por esta razón, el contenido de Ni del acero es más preferiblemente 2,6 - 4,0%, en donde, para el acero, se logra una excelente resistencia al agua salada.

10 Cobre Cu.

A la manera del níquel Ni, el contenido de Cu del acero aumenta su resistencia. Además, el cobre Cu aumenta especialmente la resistencia a la intemperie del acero y se usa de 0,25 a 3,0 %. En la invención, el bajo contenido de carbono del acero de resistencia ultra alta se hace posible especialmente aleando Cu y Ni, lo que es preferible para la soldabilidad.

15 El contenido combinado de cobre Cu y níquel Ni es, como porcentajes en peso, preferible pero no necesariamente, al menos 2,5%, de acuerdo con la siguiente condición $Cu (\%) + Ni (\%) \geq 2,5 \%$. En este caso, para el acero, se logra una alta resistencia con un bajo contenido de carbono, lo que asegura una buena soldabilidad y el logro de una combinación de resistencia al choque y resistencia en la HAZ de una soldadura excelentes. Preferiblemente, $Cu (\%) + Ni (\%) \geq 3,0 \%$, más preferiblemente $Cu (\%) + Ni (\%) \geq 3,5\%$. Sin embargo, la suma de níquel y cobre es preferiblemente no más del 6 %.

20 Preferiblemente, el contenido de Cu es 2 - 3 %, en donde, para una costura de soldadura provista en un acero de acuerdo con la invención, se proporciona alta resistencia y tenacidad al choque. En este caso, especialmente el contenido de Ni puede mantenerse más bajo, como Ni 0,8 - 2 %.

25 De acuerdo con una realización, el contenido de Cu es de 0,25 - 2 %, en el que, con contenidos razonables de carbono y níquel, se logran buenas propiedades de soldabilidad y resistencia en relación con las propiedades de resistencia del acero con costes razonables de elementos de aleación.

Cromo Cr.

30 El contenido de Cr del acero es 0,5 - 1,6%. El cromo se alea al menos al 0,5 %, porque el cromo Cr aumenta la templabilidad y la resistencia del acero y mejora la resistencia a la intemperie. Sin embargo, un contenido de Cr excesivamente alto es innecesario para asegurar la templabilidad, cuando el acero es acorde con la invención por parte de los otros elementos de aleación. Preferiblemente, el contenido de Cr es 0,7 - 1,6 %, lo más preferiblemente 0,9 - 1,4 %, en donde se aseguran especialmente las excelentes propiedades de resistencia a la intemperie del acero.

35 Por ejemplo, la resistencia a la intemperie del acero, son elementos de aleación excepcionalmente esenciales de un acero estructural según la invención el níquel Ni, cobre Cu, cromo Cr y silicio Si. Para asegurar la resistencia a la intemperie, el contenido de la suma de estos elementos de aleación, como porcentajes en peso, es preferiblemente de al menos 3,0 %, es decir

$$Cu (\%) + Cr (\%) + Ni (\%) + Si (\%) \geq 3,0 \%$$

Preferiblemente, para asegurar la templabilidad, el contenido de la suma de cromo Cr y manganeso Mn, como porcentajes en peso, es al menos 1,8, es decir

40 $Mn (\%) + Cr (\%) \geq 1,8 \%$

Molibdeno Mo.

45 El contenido de Mo del acero es < 0,8 %, porque el molibdeno Mo hace aumentar la resistencia del acero pero, para contenidos excesivamente altos, puede debilitar las propiedades de trabajo en frío de un acero estructural de acuerdo con la invención, como la expandibilidad y, además, el Mo aumenta los costes del elemento de aleación. Preferiblemente, el contenido de Mo es de 0,1 - 0,8 %, porque el molibdeno hace aumentar la resistencia y la tenacidad al choque evitando eficazmente la recristalización durante el laminado en caliente, en el que los granos de austenita se aplanan y se proporciona una microestructura de enfriamiento directo de grano fino.

50 Lo más preferiblemente, el contenido de Mo es 0,1 - 0,25 %, porque al menos puede ser necesario un 0,1 % por razones de resistencia, pero, por otro lado, los contenidos de Mo de menos de 0,25% contribuyen a la expandibilidad del acero.

Titanio Ti.

- El contenido de Ti del acero es limitado $Ti \leq 0,04 \%$, porque los altos contenidos de Ti pueden dificultar el éxito del enfriamiento directo y aumentar la cantidad de nitruros de titanio (TiN) en el acero, lo que puede tener una influencia perjudicial, entre otros, en la tenacidad al choque, tenacidad a la rotura y el alargamiento. Sin embargo, el titanio Ti se alea preferiblemente al menos en un $0,005 \%$, porque el titanio Ti mejora las propiedades de soldadura del acero al dificultar el crecimiento de granos en el área HAZ, en donde se puede usar un mayor aporte de calor, lo que proporciona un punto de unión suave del cordón de soldadura y el metal de base. Como resultado, debido a una pequeña cantidad de aleación de Ti ($0,005 - 0,04 \%$), las costuras de soldadura se vuelven lo más resistentes al choque posible, y a partir de un acero estructural de acuerdo con la invención pueden producirse soldando estructuras excepcionalmente confiables, y también se puede aumentar la eficiencia del trabajo de soldadura.
- 5
- Preferiblemente, el contenido de Ti es $\leq 0,02 \%$, particularmente a espesores mayores $Th \geq 5 \text{ mm}$, para asegurar la resistencia al choque. Lo más preferiblemente, el titanio Ti se alea así del $0,005$ al $0,02 \%$.
- 10
- Aluminio Al.
- El aluminio Al puede usarse para condensar el acero a contenidos de $0,01 - 0,15 \%$. Un acero estructural de acuerdo con la invención puede conseguir excelentes propiedades de soldadura por resistencia, cuando el contenido de Al es $Al \leq 0,045 \%$.
- 15
- Calcio Ca.
- El calcio se puede usar típicamente de $0,0005$ a $0,005 \%$, por ejemplo, para la eliminación de la influencia perjudicial de los compuestos creados en relación con la desulfuración y/o en la condensación.
- 20
- Preferiblemente, un acero estructural de resistencia ultra alta de acuerdo con la invención consiste en solamente dichos elementos, siendo el resto hierro e impurezas inevitables. Las impurezas inevitables pueden ser, por ejemplo, nitrógeno N, fósforo P y azufre S. El contenido de nitrógeno N es limitado $N: \leq 0,01 \%$, preferiblemente $N: \leq 0,005 \%$. Un bajo contenido de nitrógeno también hace posible mantener bajo el nivel de Ti.
- 25
- Debido a sus propiedades perjudiciales, se intenta mantener el contenido de fósforo P y azufre S tan bajo como sea posible, por ejemplo, $P < 0,02 \%$ y $S < 0,04 \%$. Preferiblemente, el contenido de S es $< 0,005 \%$ para proporcionar la mejor expandibilidad y resistencia al choque. Sin embargo, aunque un alto contenido de fósforo P podría ser ventajoso debido a las propiedades de resistencia a la intemperie, su influencia en el debilitamiento de la tenacidad al choque es tan drástica en un acero tan fuerte, que no puede ser aleado a propósito y es deseable su contenido lo más bajo posible.
- 30
- No es necesario alea vanadio V en un acero estructural de acuerdo con la invención porque, en un acero estructural de acuerdo con la invención, puede debilitar la tenacidad al choque y la soldabilidad, especialmente en soldadura multi-pasada. Debido a lo dicho, el contenido de vanadio V es, preferiblemente pero no necesariamente, limitado $V < 0,1 \%$, lo más preferiblemente $V \leq 0,05 \%$.
- 35
- El niobio Nb puede, en algunos casos, ser aleado al $0,008 - 0,08\%$ para aumentar la tenacidad. Sin embargo, el uso de niobio no es imprescindible. Preferiblemente, cuando el acero estructural de resistencia ultra alta es un acero de fleje, es decir, un producto de acero producido en una línea de laminación de fleje, no se alea niobio Nb para asegurar propiedades de expansibilidad, en donde su contenido es menor que $0,008\%$, lo más preferiblemente menor que $0,005\%$.
- 40
- Es innecesario alea el Boro B en un acero estructural de acuerdo con la invención, porque se logra una templabilidad adecuada mediante otros elementos de aleación. Además, dejar de lado la aleación de boro permite reducir el nivel de Ti hasta un nivel de acuerdo con la invención, porque el titanio no necesita ser aleado en una cantidad adecuada para asegurar la función del boro. Preferiblemente, el contenido de boro del acero es por tanto inferior al $0,0003 \%$.
- 45
- Sin embargo, especialmente a espesores mayores $Th 9 - 40 \text{ mm}$, el boro B puede ser aleado $0,0005 - 0,003 \%$, si no se puede asegurar adecuadamente la templabilidad sin él. Sin embargo, en este caso, el contenido de Ti del acero debe estar en el margen de $0,02 - 0,04 \%$ o tal que $Ti (\%) > 3 * N (\%)$ pero, sin embargo, $Ti \leq 0,04 \%$.
- 50
- La composición del acero proporcionada en la etapa de aleación 2 hace que el acero sea endurecible, en donde, en el enfriamiento directo 8, el acero se endurece sustancialmente como martensita. La microestructura de un producto de acero de acuerdo con la invención también puede consistir en martensita auto-templada. Hay más del 80% , preferiblemente más del 90% , como porcentajes en volumen, de martensita y/o martensita templada. El resto de la microestructura puede comprender pequeñas cantidades de estructuras de bainita, como la bainita superior o inferior.
- Según la realización preferida, la planicidad (relación de aspecto) de la estructura de austenita anterior de un acero estructural de resistencia ultra alta de acuerdo con la invención es al menos $1,5$ y la MLI (intercepción lineal media) de la estructura de austenita anterior es inferior a 20 micrómetros.

La definición de MLI se basa en la raíz cúbica del producto de la sección transversal de las tres direcciones principales diferentes de la estructura previa del grano de austenita. El cálculo de la MLI y la planicidad de la estructura de austenita anterior se describe con más detalle, por ejemplo, en la fuente: "*Worked Examples on Quantitative Metallography, The Institute of Materials, Minerals and Mining, London, UK*" (2003), p1, ISBN 978 1 902653 80 8".

5 Además, es típico de un producto de acero de acuerdo con la invención que la planicidad (relación de aspecto) y preferiblemente también la MLI (intersección lineal media), medidas desde diferentes sitios del producto de acero, sean sustancialmente del mismo valor, lo cual es típico para un producto laminado en caliente a diferencia, por ejemplo, de un producto de acero que tiene formas forjadas en caliente. En otras palabras, la desviación de estas cantidades es baja en un producto de acero de acuerdo con la invención. Como resultado, las propiedades del producto de acero
10 son uniformes en diferentes puntos.

De acuerdo con una realización, el acero se ha templado 12 después del enfriamiento directo, en el que el acero es martensítico templado. En esta realización, es excepcionalmente importante alear cobre Cu en el acero, que precipita durante el templado, aumentando la resistencia del acero.

15 En un método de acuerdo con la invención, de acuerdo con la Fig. 1, se lamina 5 una placa de acero en un molino de manera que, en el último paso, la temperatura de laminación del acero es 720 - 950 °C, método en el cual, después del último paso realizado en el molino, el acero se enfría directamente (8) a una velocidad de enfriamiento de 20 - 150 °C/s a una temperatura no superior a 450 °C.

En lo que sigue se describen los pasos de un método de acuerdo con la invención:

20 La aleación 2 del acero se realiza mediante formas conocidas de añadir elementos de aleación, por ejemplo, en la estación de manipulación de acero de CAS-OB. Los elementos de aleación a añadir al acero y su contenido son, para la invención, la cuestión más importante de la etapa 2 del método. En esta etapa, el acero se alea 2 de manera que la composición del acero comprenda, como porcentajes en peso, los elementos citados en la reivindicación 11.

25 Posteriormente, el acero se cuele en continuo de una manera conocida como una losa de acero, que se transfiere aún más, por ejemplo, después de austenizar el recocido (900 - 1350 °C) que se produce en un horno de vigas galopantes, para ser laminado en caliente, en el cuya etapa de laminado en caliente 5 la placa de acero se lamina al espesor deseado como un producto de acero en forma de lámina y se enfría directamente 8 inmediatamente después del laminado 5. En otras palabras, después del último paso del laminado 5, se realiza el enfriamiento directo 8.

30 Específicamente cuando se necesita un gran alargamiento, puede hacerse un templado 12 para el acero, en el que el acero es calentado y a continuación se deja enfriar. El templado puede realizarse, por ejemplo, en el rango de temperatura de 500 - 600 °C, típicamente durante aproximadamente 0,2 - 2 horas. A temperaturas más altas, se puede usar un tiempo de templado más corto. La temperatura de temple más alta es de 700 °C, porque un acero estructural de resistencia ultra alta según la invención es muy difícil de alcanzar por encima de esta temperatura, incluso usando una temperatura de templado muy corta.

35 Preferiblemente, el procesamiento del acero es, sin embargo, meramente termomecánico, en el que, después del enfriamiento directo rápido 8, no se realizan tratamientos térmicos posteriores, tales como templado 12. Por el método, se pueden obtener productos de acero, cuyas propiedades mecánicas son buenas sin necesidad de realizar en el producto un tratamiento térmico posterior a la soldadura, que incrementa los costes. El templado 12 no es imperativo para mejorar las propiedades mecánicas de un acero estructural de acuerdo con la invención, porque, según la
40 invención, se logra una martensita resistente. Además, la relación de rendimiento del acero estructural puede aumentar con un templado demasiado próximo al valor 1, lo que puede ser desventajoso en algunas aplicaciones.

La ventaja de un templado directo de acero 8 inmediatamente del laminado en caliente es que los elementos de aleación que aumentan la templabilidad están bien disueltos y, por lo tanto, aumentan de manera eficiente la templabilidad, porque el recocido de austenización se ha producido a una temperatura elevada (1000 - 1350 °C). El tamaño de grano del acero aumenta a una temperatura de recalentamiento alta pero, en el laminado en caliente 5, de
45 nuevo el tamaño de grano puede triturarse fino mediante la recristalización repetida de la estructura de grano. Cuando el laminado en caliente 5 continúa por debajo de la temperatura de recristalización, se puede hacer que la austenita se aplane incluso más, en donde el tamaño del paquete de la martensita disminuye y la densidad de desplazamiento de la martensita aumenta. En este caso, la tenacidad al choque de la martensita formada aumenta, y especialmente aumenta el límite elástico. Por tanto, también la resistencia a la tracción y la dureza pueden aumentar ligeramente. El
50 resultado es la resistente microestructura martensítica de un acero estructural de resistencia ultra alta según la invención.

La presente invención permite una estructura resistente también en una junta de soldadura proporcionada en el acero.

En el endurecimiento en horno tradicional, el recocido de austenización no se puede realizar a una temperatura tan alta debido al crecimiento del grano, porque el tamaño de grano de la austenita se mantendría grande y el tamaño del

paquete de listones de la martensita se formaría tan grande, lo que nuevamente debilitaría la tenacidad al choque del metal de base.

5 Preferiblemente, con un acero estructural de resistencia ultra alta de acuerdo con la invención, que se ha de producir mediante enfriamiento directo 8, se logra una mayor resistencia con la misma composición química en comparación con el acero producido tradicionalmente por endurecimiento en horno. Esto significa que, mediante un método acorde con la invención, puede reducirse la cantidad y el contenido de los elementos de aleación, lo que de nuevo permite la reducción de los costes del elemento de aleación.

De acuerdo con la primera realización del método, el acero estructural se produce como un acero de fleje, cuyos pasos específicos, para una invención según la primera realización, se muestran en la figura 3.

10 La figura 3 muestra con más detalle la producción de una tira de acero de resistencia ultra alta de acuerdo con la primera realización. Después de la etapa de aleación 2 y el recocido de austenización (1200 - 1350 °C), la placa de acero se lamina de acuerdo con la etapa 4 de la Fig. 3. El laminado 4 se realiza, por ejemplo, de modo que, en la etapa 4, se realiza el laminado en caliente a una temperatura de 950 - 1280 °C hasta un espesor de 25 a 50 mm, desde el cual se transfiere inmediatamente al laminador de banda de la etapa 5, en el que se enrolla como una tira
15 cuyo espesor final es 4 - 12 mm. Según las recomendaciones, el grosor final de la tira de acero es de al menos 5 mm. También se recomienda que el grosor final no sea superior a 10 mm.

El número de pasadas en el laminador de banda es típicamente de 5 a 7. El último pase en el laminador de banda se realiza en el margen de temperatura de 760 - 950 °C, de acuerdo con las recomendaciones en el margen de temperatura de 850 - 920 °C, especialmente si la banda es relativamente delgada, en donde las fuerzas de laminado
20 permanecen más bajas.

Después de la última pasada del laminado 5, se inicia en 15 segundos el enfriamiento directo 8 del acero de fleje. Cuando comienza el enfriamiento directo 8, la temperatura del acero de fleje debe ser de al menos 700 °C. El enfriamiento directo 8 se realiza como enfriamiento con agua de forma que la velocidad de enfriamiento es 30 - 150 °C/s, según las recomendaciones, el límite superior no es más de 120 °C/s. El enfriamiento directo 8 se realiza a una
25 temperatura de no más de 300 °C, de acuerdo con las recomendaciones no más de 100 °C. Inmediatamente después del enfriamiento directo 8, el acero de fleje puede enrollarse en la etapa 10. La temperatura de enrollamiento puede ocurrir en el margen de temperatura de 30 - 300 °C. De acuerdo con las recomendaciones, la temperatura de inicio del bobinado 10 no es superior a 100 °C porque, cuando se bobina un acero a una temperatura superior a 100 °C, se puede formar un colchón de vapor discontinuo en la superficie del acero, lo que complica el proceso y causa debilitamiento de la planicidad.
30

Preferiblemente, la temperatura final del enfriamiento directo 8 no es superior a 100 °C, porque, en este caso, después del enfriamiento rápido, se obtiene una tira plana, en la que los bordes también son uniformes y planos.

Preferiblemente, el acero se enfría directamente 8 a la temperatura ambiente.

35 Si es necesario, el tratamiento de templado 12 se puede hacer al acero, en donde el acero se calienta y, después, se deja enfriar. El temple 12 se puede hacer, por ejemplo, en el rango de temperatura de 500 - 600 °C, por ejemplo, durante menos de aproximadamente dos horas.

Por ejemplo, también es concebible una solución implementada con calentamiento acelerado, en el que se realiza el posible templado 12 antes del bobinado 10.

40 De acuerdo con la segunda realización del método, el acero estructural de resistencia ultra alta se produce como una lámina de acero, más específicamente una denominada chapa cuarto, donde las etapas esenciales para la segunda realización se muestran en la Fig. 4.

Después de la etapa de aleación 2 y el recocido de austenización (1000 - 1300 °C), la placa de acero se lamina de acuerdo con la etapa 5 de la Fig. 4. El laminado de la placa se realiza, por ejemplo, en un denominado molino cuatro reversible, en el que la placa de acero se lamina entre los molinos en movimientos de atrás a adelante a una
45 temperatura de 750 - 1300 °C. En la etapa 5, la lámina se enrolla parcial o totalmente a su ancho final y, a continuación, se realiza un giro de 90° 9 en el plano de la hoja. A continuación, la laminación 5 continúa hasta que se alcanza el grosor deseado. Alternativamente, el giro 9 se puede realizar más de una vez entre las etapas de laminación 5 y la laminación se puede realizar en diferentes direcciones más de una vez. Para la invención es esencial que, en el último paso del laminado, la temperatura en la laminación de la hoja sea inferior a 950 °C, según las recomendaciones inferior a 900 °C. Después de la última pasada del laminado 5, el enfriamiento directo 8 de la lámina de acero se inicia en 30 segundos, preferiblemente en 15 segundos. Cuando comienza el enfriamiento directo 8, la temperatura de la chapa de acero debe ser de al menos 700 °C. El enfriamiento directo 8 se realiza como enfriamiento en agua, de forma que la velocidad de enfriamiento sea de 20 - 150 °C/s. El enfriamiento directo 8 se realiza a una temperatura no superior a 450 °C, de acuerdo con las recomendaciones no superior a 200 °C.
50

De acuerdo con una realización, en un acero estructural, que se produce en la etapa de laminación en caliente de la invención como una lámina de acero, se alea niobio Nb 0,008 - 0,08% para aumentar la tenacidad.

5 Por producto de acero en forma de lámina se entiende un producto de acero de este tipo, cuya longitud y anchura son notablemente mayores que el grosor del laminado, es decir, por producto de acero en forma de lámina se entiende una lámina de acero o una tira de acero. Cabe afirmar a título de ejemplo que el ancho de un producto de acero en forma de lámina puede ser de 1500 mm, mientras que su grosor es de 5 mm.

Preferiblemente, el producto de acero en forma de lámina es un fleje de acero, ya que mediante el laminado de fleje se consiguen los costes de producción más bajos y la estructura de grano del acero puede rectificarse fina y rápida mientras se lamina en caliente 5.

10 El grosor de un acero estructural de resistencia ultra alta de acuerdo con la invención, Th, es de al menos 2 mm y preferiblemente de al menos 4 mm. En el caso de los flejes de acero, el espesor es preferiblemente Th = 5 - 12 mm, y lo más preferiblemente Th = 6 - 10 mm, en donde la buena resistencia al choque del acero se utiliza bien en el dimensionamiento de estructuras prácticas y el acero de fleje sigue siendo técnicamente fácil de enrollar como un carrete de acero.

15 En el caso de la placa cuarto, el grosor del producto de acero puede ser incluso de 10 a 40 mm, en donde, incluso a un grosor de 40 mm, se logra una profundidad de endurecimiento adecuada según la invención. Preferiblemente, el grosor de la placa de cuarto es de 12 - 30 mm. Si la estructura de grano aplanada es, en este caso, un objetivo específico, es preferible alear niobio Nb: 0,008 - 0,08%.

Ejemplos.

20 A continuación, la invención se ilustra por medio de ejemplos realizados en laboratorio.

Las fundiciones en miniatura de 55 mm de espesor de acuerdo con lo que se muestra en la Tabla 1, 1372, 1371, 1370 y 1369, se laminaron 5 a un espesor de 6 mm utilizando una serie de seis pasadas de laminación. Las placas se calentaron en un horno a una temperatura de 1225 °C. Después de la última pasada, se realizó un enfriamiento directo en las hojas. Las dimensiones finales del acero laminado fueron 1120 x 95 x 6 mm. Los resultados de la prueba de tracción se muestran en la Tabla 2 adjunta.

25 Las pruebas de soldadura se realizaron utilizando una soldadura a tope MAG como una soldadura de dos carreras en la ranura sin cara raíz, en la que el ángulo de la ranura era de 50 grados, la cara raíz de 0,5 mm y el huelgo de aire de 1,5 mm. La entrada de calor utilizada fue, tanto en la primera como en la segunda ejecución de soldadura, aproximadamente 0,6 kJ/m. En la soldadura se utilizó alambre sólido MAG, que se clasifica como G 89 5 M Mn4Ni2,5CrMo según la norma EN 12534 y ER120S-G según la norma AWS A 5.28. Las costuras de la soldadura estaban en la misma dirección con la dirección de rodadura. La resistencia al choque Charpy V de las soldaduras se probó utilizando barras de prueba de 5 X 10 mm transversales en relación con la costura de la soldadura, y los resultados se muestran en la Tabla 2. Los resultados de las pruebas de soldadura son comparables cuando la soldadura se realiza de acuerdo con la disposición de dicha prueba de soldadura anterior.

35 La línea de fusión FL significa el punto medio de la unión de soldadura en el plano de la lámina en dirección transversal en relación con la dirección longitudinal de la costura de soldadura. La zona afectada por el calor de grano grueso CGHAZ de soldadura se define desde el sitio FL + 1 mm e ICHAZ desde el sitio FL + 3 mm.

La tabla presenta como referencia una prueba R1 a tamaño real, que se implementa termomecánicamente mediante laminado en caliente hasta un espesor de 6 mm y mediante enfriamiento directo.

40 Como es sabido, las propiedades de los aceros proporcionados en tamaño real son más altas por parte de la resistencia y la tenacidad al choque que las propiedades del acero proporcionadas en las pruebas de laboratorio, debido al mayor grado de deformación y al menor tamaño de grano de la austenita anterior en el escala completa resultante de esto. Por lo tanto, las propiedades de un producto de acero según la invención son, a escala industrial, presumiblemente incluso mejores de lo que se ha demostrado a este respecto. En cambio, en las propiedades de la junta de soldadura en la HAZ esto carece de influencia real.

45

Tabla 2. Pruebas de ejemplo.

Composición	ACERO						SOLDADURA											
	Rp0.2 (MPa)			Rm (MPa)			A través de la costura (T)			FL			CGHAZ			ICHAZ		
	957	1259	0.76	11.7	A5 (%)	CV -40°C L (J/cm2)	CV -40°C T (J/cm2)	1035	1183	4.5	44	50	50	50	42	48	52	52
1371	968	1274	0.76	12.5	108	50	1045	1210	5.8	50	50	52	52	38	52	52	52	52
1370	1003	1316	0.76	10.1	75	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1369	1035	1393	0.74	11.8	69	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R1	1102	1279	0.86	11.7	-	44	932	1023	3.3	22	40	40	40	-	-	-	-	-

FL = línea de fusión
 CG HAZ = Coarse Grained Heat Affected Zone (zona de grano grueso afectada por el calor)
 ICHAZ = Inter Critical Heat Affected Zone (zona intercrítica afectada por el calor)
 CV = Charpy V
 L = longitudinal en la dirección de la laminación

ES 2 761 839 T3

En la Tabla 2, se observa que en los ejemplos 1372 y 1371 se logra un acero de resistencia ultra alta, cuya tenacidad al choque de la HAZ, medida transversalmente en relación con la dirección de laminación a una temperatura de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, es más de 34 J/cm^2 , es decir, expresado de otra forma:

$$\text{Charpy V } -40\text{ }^{\circ}\text{C T (FL, ICHAZ, CGHAZ)} > 34\text{ J/cm}^2$$

- 5 En la Tabla 2, se observa también que, en los ejemplos 1372 y 1371, se logra un acero de resistencia ultra alta, cuya tenacidad al choque de la zona afectada por el calor de grano grueso de la soldadura, medida transversalmente en la dirección de laminación a una temperatura de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, es más de 40 J/cm^2 , es decir, expresado de otra forma:

$$\text{Charpy V } -40\text{ }^{\circ}\text{C T (CGHAZ)} > 40\text{ J/cm}^2.$$

- 10 En la Tabla 2, también se observa que, en los ejemplos 1372 y 1371, se consigue un acero de resistencia ultra alta, cuya tenacidad al choque de la zona afectada por el calor de la soldadura, medida desde la línea de fusión transversalmente en la dirección de laminación a una temperatura de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, es más de 35 J/cm^2 , es decir, expresado de otra forma

$$\text{Charpy V } -40\text{ }^{\circ}\text{C T (FL)} > 35\text{ J/cm}^2.$$

- 15 Preferiblemente, un acero según la invención cumple los requisitos de tenacidad al choque correspondientes también a una temperatura de $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En la Tabla 2, se observa especialmente que el acero estructural R1 de resistencia ultra alta, que está fuera de la invención, es más frágil en la zona afectada por el calor de la soldadura que los aceros 1372 y 1371 de resistencia ultra alta según la invención.

- 20 Además, de la Tabla 2 se observa que, en el ejemplo 1372, se logra un acero de resistencia ultra alta, cuyo límite de elasticidad $R_{p0.2}$ es aproximadamente 957 MPa y Charpy V $-40\text{ }^{\circ}\text{C} > 50\text{ J/cm}^2$, medido longitudinalmente en relación con la dirección del laminado. Haciendo referencia a lo dicho anteriormente, haciendo lo mismo a escala industrial, se puede lograr con seguridad un límite elástico de al menos 960 MPa .

- 25 Además, de la Tabla 2 se observa que, en los ejemplos, el límite elástico $R_{p0.2}$ de la HAZ es al menos tan grande como el límite elástico $R_{p0.2}$ del metal de base. A escala industrial, el límite elástico $R_{p0.2}$ de la HAZ puede alcanzarse sustancialmente tan grande como el límite elástico del metal de base $R_{p0.2}$, de forma tal que el límite elástico $R_{p0.2}$ de la HAZ es al menos el 85% , preferiblemente al menos el 90% del límite elástico $R_{p0.2}$ del metal de base o mayor.

Además, de la Tabla 2, se observa que, en el ejemplo 1371, se logra un acero de resistencia ultra alta, cuyo límite elástico $R_{p0.2}$ es al menos 960 MPa y Charpy V del metal base $-40\text{ }^{\circ}\text{C} > 50\text{ J/cm}^2$, medido longitudinalmente en relación con la dirección de la laminación.

- 30 Por la invención, se puede proporcionar un acero estructural que tiene las siguientes propiedades mecánicas superiores:

- límite elástico $R_{p0.2} = 960 - 1250\text{ MPa}$, tal como incluso $R_{p0.2} = 1100 - 1250\text{ MPa}^*$
- resistencia a la tracción $R_m 980 - 1500\text{ MPa}$, tal como incluso $1120 - 1500\text{ MPa}^*$
- relación de rendimiento $(R_{p0.2}/R_m) > 0,7$, tales como $(R_{p0.2}/R_m) > 0,8$. *
- 35 - alargamiento a la rotura $A_5 > 7\%$, como incluso $A_5 > 8\%$. *
- cuando se temple 12 tratado térmicamente, el alargamiento en la rotura $A_5 > 8\%$, como incluso $A_5 > 10\%$. *
- resistencia al choque del metal de base Charpy V $-20\text{ }^{\circ}\text{C} > 50\text{ J/cm}^2$,
tal como incluso Charpy V $-40\text{ }^{\circ}\text{C} > 50\text{ J/cm}^2$
- 40 - tal como especialmente incluso Charpy V $-60\text{ }^{\circ}\text{C} > 50\text{ J/cm}^2$, * **

* como se mide mediante una varilla longitudinal en relación con la dirección de laminación,

** se mide mediante una varilla que tiene el grosor de la lámina, pero por una varilla de 10 mm máx.

- 45 Cuando se suelda un acero estructural de resistencia ultra alta de acuerdo con la invención, los métodos de soldadura típicamente usados en la soldadura de aceros de alta resistencia se pueden usar sin problemas y la soldadura se puede hacer desde una resistencia ultra alta, sin problemas, por los aportes de calor normales utilizados en la soldadura de aceros de alta resistencia. Naturalmente, las energías de soldadura extremadamente grandes intentan reducir la resistencia de la unión de soldadura en relación con las energías pequeñas. Un acero adecuadamente aleado con Ti de acuerdo con la invención es capaz de resistir bien el crecimiento del grano en la zona afectada por el calor (HAZ) creada durante la soldadura, lo que tiene una influencia ventajosa sobre la tenacidad al choque de la denominada zona de grano grueso. Además, un acero estructural de acuerdo con la invención se endurece eficientemente durante la soldadura sobre la zona re-austenitizada, en donde la resistencia de la soldadura se hace
- 50

- elevada. Debido al ventajoso tamaño de grano de la zona y la martensita creada debido al bajo contenido de carbono, las propiedades de resistencia al choque son excepcionalmente buenas para un acero estructural tan fuerte, aunque el equivalente de carbono es algo alto. En la soldadura multi-carrera también se logran buenas propiedades de tenacidad y resistencia debido a una composición adecuada, por ejemplo, limitando el contenido de vanadio.
- 5 Preferiblemente, también en la soldadura realizada de manera ortodoxa, el límite elástico de la soldadura a lograr en una prueba de tracción transversal a través de la costura de soldadura es de al menos 960 MPa, como se ha demostrado anteriormente.
- Además, se prefiere el comportamiento de tenacidad a la rotura de un acero estructural producido por el método de acuerdo con la invención, debido a su bajo contenido de C y alto contenido de Ni, es decir, la energía necesaria para la nucleación y progresión de la distorsión es grande considerando la resistencia y la manera de producción del acero y las roturas del acero persistentemente, especialmente en el estado de enfriamiento directo 8. Esta es una propiedad especialmente preferida y con frecuencia imperativa para un acero estructural tan fuerte, La propiedad se puede evaluar de forma aproximada a través de la tenacidad al choque que, en un acero estructural de resistencia ultra alta producido por un método de acuerdo con la invención, es excelente.
- 10
- 15 La invención se describe en lo anterior por medio de las realizaciones preferidas y es obvio que la invención se puede implementar en sus detalles de muchas maneras diferentes dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un acero estructural de resistencia ultra alta laminado en caliente, cuyo límite elástico $R_{p0.2}$ es de al menos 960 MPa, en donde la estructura del acero estructural es, como porcentaje en volumen, más del 80 % martensítico y/o martensítico auto-templado, caracterizado por que la composición del acero estructural comprende, como porcentajes en peso:
- 5
- C: 0,07 - 0,12 %,
Si: 0,1 - 0,7 %,
Mn: 0,5 - 2,0 %,
Ni: 0,8 - 4,5 %,
10 Cu: 0,25 - 3,0 %,
Cr: 0,5 - 1,6 %,
Mo: 0,1 - 0,8 %,
Ti: 0,005 - 0,04 %,
Al: 0,01 - 0,15 %
- 15 siendo el resto hierro (Fe), impurezas inevitables tales como $N \leq 0,01$ %, $P < 0,02$ %, $S < 0,04$ %
- y opcionalmente uno o más de lo siguiente
- V: menor que 0,1 %
B: menor que 0,0003 % o B: 0,0005 - 0,003% combinado con Ti (%) mayor que $3 \cdot N$ (%) o Ti: 0,02 - 0,04 %
20 Nb: 0,008 - 0,08 % o menos de 0,008 %,
Ca: 0,0005 - 0,005 %,
- y por que el equivalente de carbono CEV del acero estructural, calculado mediante la fórmula $CEV = (C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15)$ está en el intervalo de 0,5 a 1,2.
2. Un acero estructural de resistencia ultra alta laminado en caliente según la reivindicación 1, caracterizado por que el contenido de C, como porcentajes en peso, es C: 0,08 - 0,12 %, más preferiblemente 0,08 - 0,10 %.
- 25 3. Un acero estructural de resistencia ultra alta laminado en caliente de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el contenido de Ni, como porcentajes en peso, es Ni: 1,5 - 4,5 %, preferiblemente 2,6 - 4,0 %.
4. Un acero estructural de resistencia ultra alta laminado en caliente según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que el contenido de Mo, como porcentajes en peso, es Mo: 0,1 - 0,80 %, preferiblemente 0,1 - 0,25 %.
- 30 5. Un acero estructural de resistencia ultra alta laminado en caliente según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que el contenido de Ti, como porcentaje en peso, es 0,005 - 0,02 %.
6. Un acero estructural de resistencia ultra alta laminado en caliente según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que el equivalente de carbono CEV del acero estructural, calculado por la fórmula $CEV = (C + Mn/6 + (Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15)$, está en el intervalo de 0,65 - 1,0, incluso lo más preferiblemente en el intervalo de 0,65 - 0,9 para asegurar la templabilidad de la zona re-austenitizada de la soldadura.
- 35 7. Un acero estructural de resistencia ultra alta laminado en caliente según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que la planicidad (relación de aspecto) de la estructura granular de la austenita anterior del acero estructural de resistencia ultra alta es al menos 1,5 y la MLI (intersección lineal media) de la estructura de austenita previa menor de 20 micrómetros.
- 40 8. Un acero estructural de resistencia ultra alta laminado en caliente según una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 7, caracterizado por que el acero estructural de resistencia ultra alta es un acero de fleje, cuyo espesor $Th = 2 - 12$ mm, preferiblemente 4 - 12 mm.
9. Un acero estructural de resistencia ultra alta laminado en caliente según una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 8, caracterizado por que el acero estructural de resistencia ultra alta se produce mediante enfriamiento directo (8) del acero directamente a partir del laminado de fleje (5).
- 45 10. Un acero estructural de resistencia ultra alta laminado en caliente según una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 9, caracterizado por que la tenacidad al choque de la HAZ de una soldadura proporcionada en el acero estructural de resistencia ultra alta, medido transversalmente en relación con la dirección de laminado a una temperatura de -40 °C es mayor que 34 J/cm².

11. Un método para producir un acero estructural de resistencia ultra alta, en el que el límite elástico $R_{p0.2}$ del acero estructural de resistencia ultra alta es al menos 960 MPa, en cuyo método la placa de acero se lamina (5) en un molino de tal modo que, en la última pasada, la temperatura de laminación de la placa de acero es 720 - 950 °C, método en el cual, después de la última pasada realizada en el molino, la placa de acero es enfriada directamente (8) a una velocidad de enfriamiento de 20 - 150 °C/s a una temperatura no superior a 450 °C para obtener acero estructural de resistencia ultra alta, en donde el procesamiento del acero es meramente termomecánico, en donde después del enfriamiento directo (8) no se realizan más tratamientos térmicos, caracterizado por que el acero es aleado (2) para una placa de acero tal que la composición del acero comprende, como porcentajes en peso, los siguientes contenidos de elementos:
- 10 C: 0,07 - 0,12 %,
Si: 0,1 - 0,7 %,
Mn: 0,5 - 2,0 %,
Ni: 0,8 - 4,5 %,
Cu: 0,25 - 3,0 %,

15 Cr: 0,5 - 1,6 %,
Mo: 0,1 - 0,8 %,
Ti: 0,005 - 0,04 %,
Al: 0,01 - 0,15 %
- siendo el resto hierro (Fe), impurezas inevitables tales como $N \leq 0,01$ %, $P < 0,02$ %, $S < 0,04$ %
- 20 y opcionalmente uno o más de lo siguiente
- V: menor que 0,1 %
B: menor que 0,0003 % o B: 0,0005 - 0,003% combinado con Ti (%) mayor que 3*N (%) o Ti: 0,02 - 0,04 %
Nb: 0,008 - 0,08 % o menos de 0,008 %,
Ca: 0,0005 - 0,005 %,
- 25 y por que el equivalente de carbono CEV del acero estructural, calculado mediante la fórmula $CEV = (C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15)$ está en el intervalo de 0,5 a 1,2.
12. Un método según la reivindicación 11, caracterizado por que el acero es aleado (2) de tal manera que el contenido de C, como porcentajes en peso, es 0,08 - 0,12 %, más preferiblemente 0,08 - 0,10 %.
13. Un método de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, caracterizado por que el acero es aleado (2) de tal manera que el contenido de Ni, como porcentajes en peso, es Ni: 1,5 - 4,5 %, más preferiblemente 2,6 - 4,0 %.
- 30 14. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, caracterizado por que el acero es aleado (2) de forma que el contenido de Ti, como porcentaje en peso, es 0,005 - 0,02 %.
15. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, caracterizado por que el acero es aleado (2) de forma que el equivalente de carbono del acero, calculado por la fórmula $CEV = (C + Mn/6 + (Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15)$, está en el intervalo de 0,65 - 1,0, incluso más preferiblemente en el intervalo de 0,65 - 0,9 para asegurar la templabilidad de la zona re-austenitizada de la soldadura.
- 35

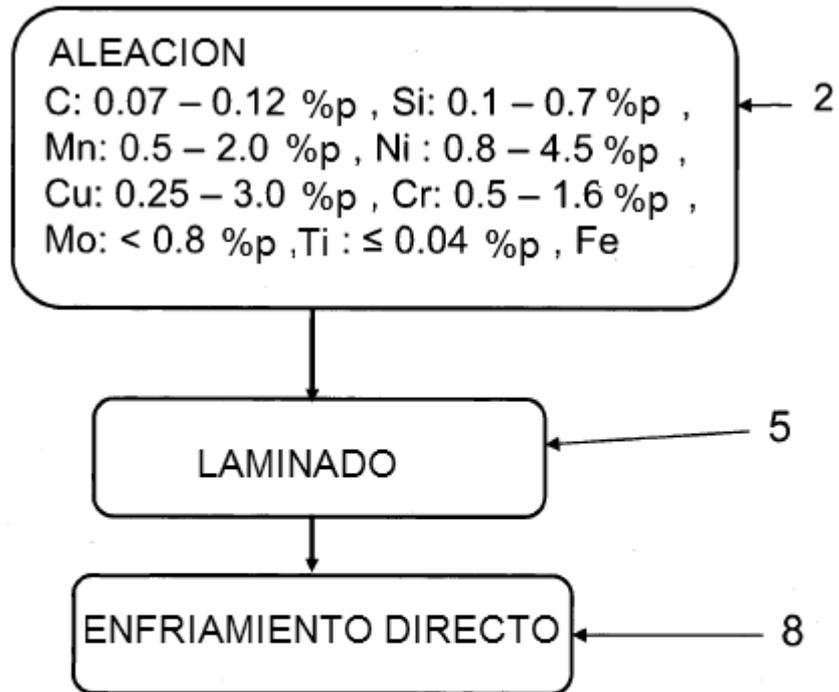


Fig. 1

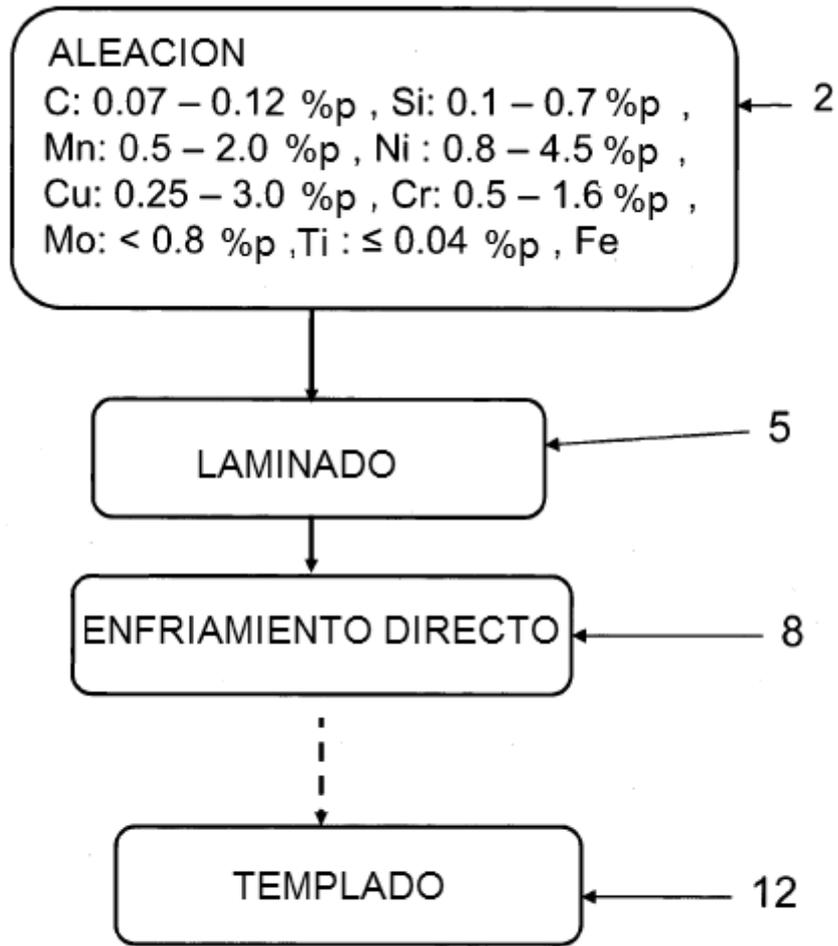
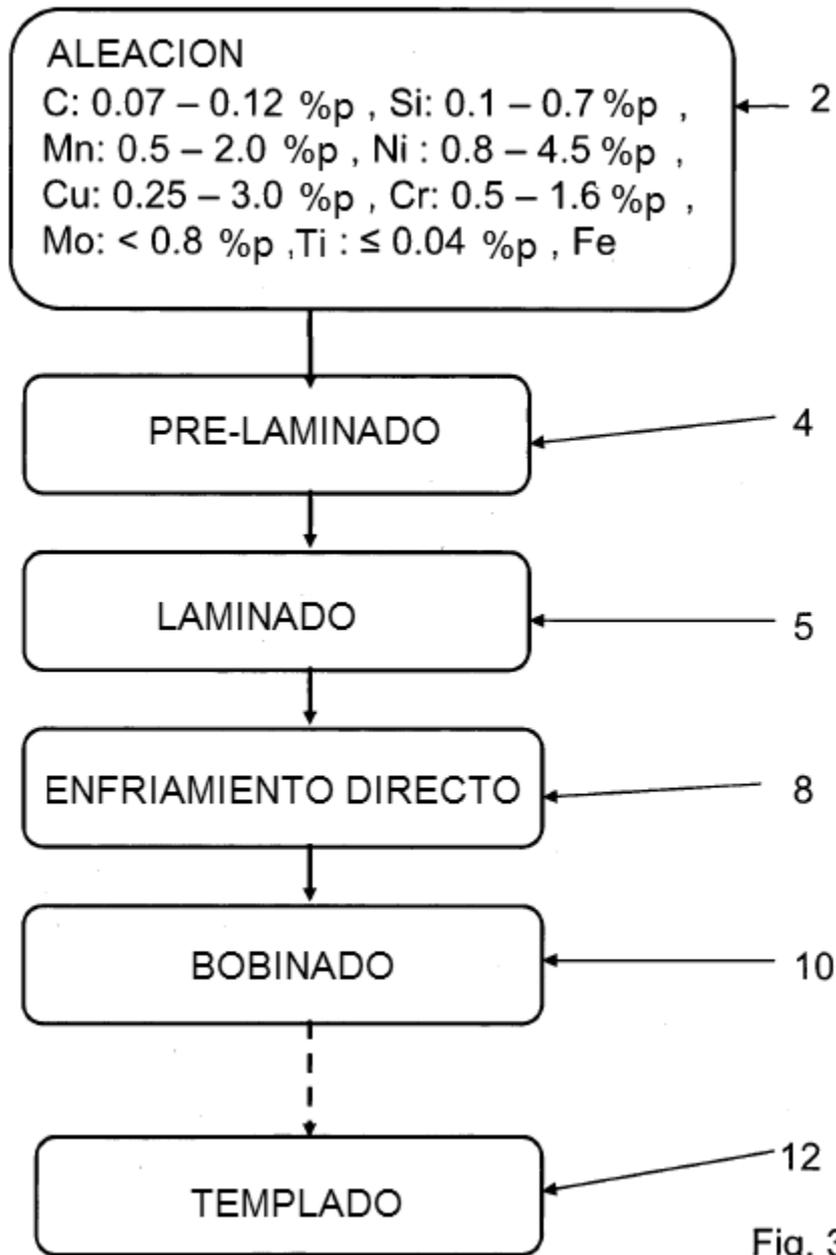


Fig. 2



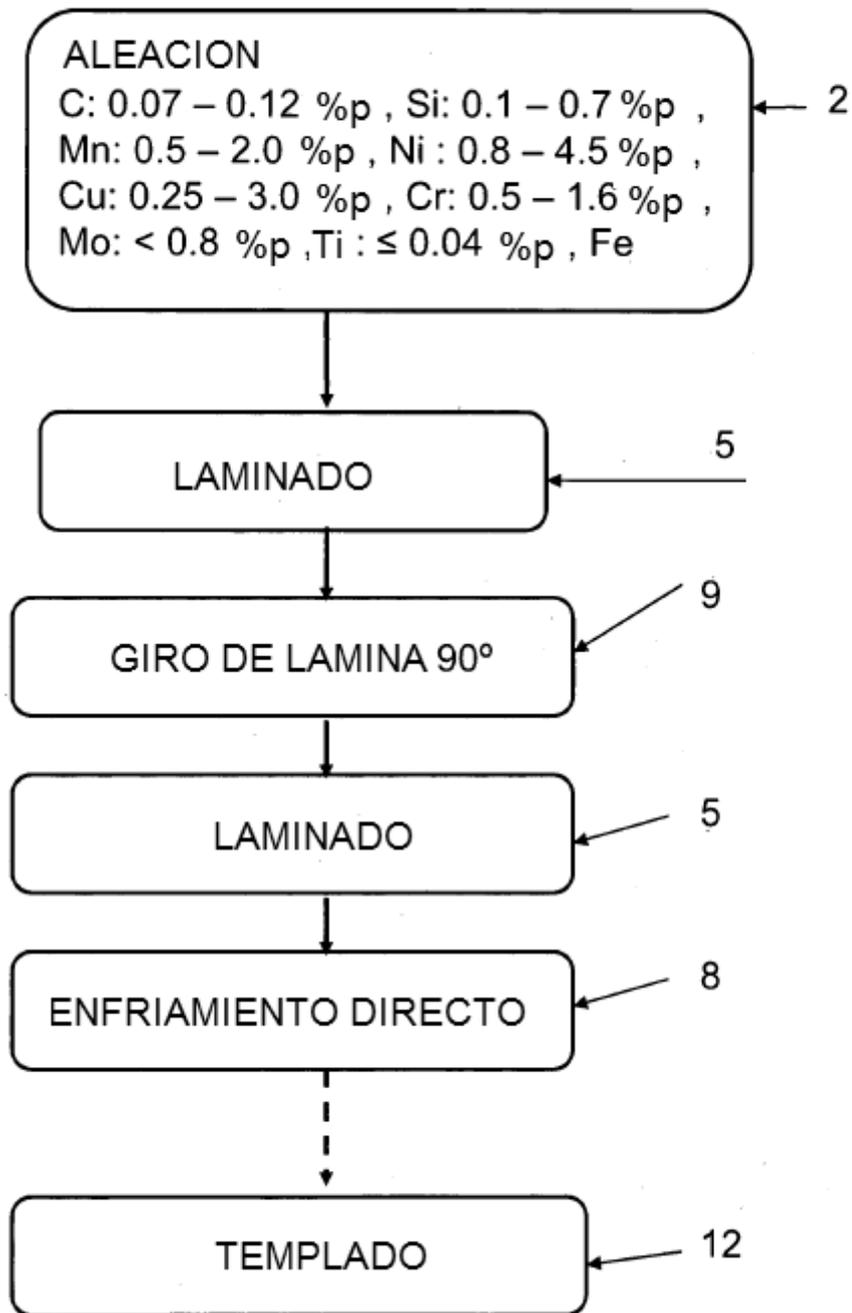


Fig. 4