

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 885 758**

51 Int. Cl.:

C21D 1/42	(2006.01)	C22C 38/44	(2006.01)
C21D 6/00	(2006.01)	C22C 38/58	(2006.01)
C21D 8/02	(2006.01)	C21D 7/02	(2006.01)
C21D 9/46	(2006.01)	C21D 8/00	(2006.01)
C21D 9/52	(2006.01)	C21D 8/06	(2006.01)
C22C 38/40	(2006.01)		
C22C 38/00	(2006.01)		
C22C 38/02	(2006.01)		
C22C 38/34	(2006.01)		
C22C 38/42	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.01.2012 PCT/FI2012/050051**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **25.07.2013 WO13107922**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.01.2012 E 12705893 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.06.2021 EP 2804962**

54 Título: **Procedimiento para la fabricación de un producto de acero inoxidable austenítico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.12.2021

73 Titular/es:
**SOLU STAINLESS OY (100.0%)
Lapinlahdenkatu 16
00180 Helsinki, FI**

72 Inventor/es:
LEINONEN, JOUKO

74 Agente/Representante:
DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 885 758 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la fabricación de un producto de acero inoxidable austenítico

5 Estado de la técnica anterior

El objetivo de la presente invención es un procedimiento, tal como se define en el preámbulo de la reivindicación 1, para la fabricación de un producto de acero inoxidable austenítico.

10 La presente invención se refiere, en general, a aceros inoxidables austeníticos y a los productos fabricados a partir de ellos, tales como tiras, placas, barras, cable, etcétera. La presente invención también se refiere a un procedimiento para elevar la resistencia de un producto de acero inoxidable austenítico mediante la disminución del tamaño de grano, conservando, no obstante, las buenas propiedades de tenacidad características del acero inoxidable austenítico. Los aceros inoxidables se dividen normalmente en cuatro tipos principales: aceros inoxidables austeníticos, ferríticos, austeníticos-ferríticos (dúplex) y martensíticos. Los aceros inoxidables austeníticos, que habitualmente contienen, como mínimo, el 16 % de Cr (cromo) y habitualmente un 8-14 % de Ni (níquel), son muy adecuados para aplicaciones en las que se requieren una alta resistencia a la tracción, capacidad de conformación, capacidad de ser soldado y buena resistencia a la corrosión.

20 Los aceros inoxidables austeníticos pueden clasificarse en un conjunto de subtipos, de los cuales los dos principales tipos más importantes son AISI 304 y AISI 316, así como los correspondientes grados de acero bajo en carbono AISI 304L y AISI 316L. Una diferencia importante en éstos es su composición química con respecto al molibdeno. AISI 316 y AISI 316L contienen aproximadamente el 2-3 por ciento en peso de molibdeno, mientras que el molibdeno, en general, no se añade de forma deliberada a los aceros AISI 304 y AISI 304L. Más en particular, la resistencia a la corrosión por picadura es esencialmente mejor con los aceros AISI 316 y AISI 316L que con los aceros AISI 304 y AISI 304L. El contenido de níquel en los aceros de Cr-Ni-Mo mencionados anteriormente está habitualmente entre el 10-14 % y en los aceros de Cr-Ni habitualmente entre el 8-12 %.

30 La mayor parte del acero inoxidable del mundo se fabrica a partir de acero en bruto y ferrocromo con el procedimiento AOD. La carga se funde en un horno de arco (unidad de fundición) y la masa fundida se trata en un convertidor (unidad metalúrgica). La descarburación en el convertidor AOD se produce al soplar una mezcla de oxígeno y un gas inerte (argón) en la masa fundida. La descarburación de la masa fundida se produce en etapas, de tal manera que al reducir el contenido de carbono, la proporción de argón inerte aumenta durante el soplado. Las fases de tratamiento comprenden, además de la descarburación, la reducción de escoria con silicio, desulfuración y aleación. Después del proceso AOD, la masa fundida se vierte en una cuchara de fundición, cuchara en la que se realiza el tratamiento. El propósito de esto es terminar la composición del acero y ajustar la temperatura de la masa fundida para la colada. El acero líquido se suela con una máquina de colada continua.

40 Los bloques fabricados con colada continua se laminan en caliente en tiras, que se tratan térmicamente y se decapan en líneas de acción continua. La tira caliente decapada, en general, se sigue laminando en frío para hacerla más delgada y finalmente se recuece y decapa. El tratamiento con ácido elimina las incrustaciones de óxido producidas en la superficie del acero en el tratamiento térmico.

45 La superficie de la tira decapada es de tipo mate. La superficie de la tira todavía se puede laminar ligeramente para endurecimiento ("skin-pass"), cepillar o pulir para conseguir una apariencia de superficie diferente.

50 Además de la tira, también se fabrican otros productos, tales como productos en placas, chapas finas, cable, barras, etcétera, a partir de acero inoxidable de una manera que es conocida *per se* en la técnica. La fabricación de productos en placas, la fabricación de chapas finas, la fabricación de barras y la fabricación de cables tienen sus propias fases de proceso, a diferencia de la fabricación de tiras, fases que son conocidas *per se* por un experto en la materia, y no se describen con más detalle en este contexto.

55 Se considera que una propiedad desventajosa de los aceros inoxidables austeníticos es su baja resistencia, lo que ha limitado su utilización como material estructural. El límite elástico ($R_{p0,2}$) de los aceros inoxidables austeníticos a temperatura ambiente suele estar entre 230-300 MPa, mientras que el límite elástico de los aceros de baja aleación y alta resistencia (aceros no inoxidables) puede ser el doble o incluso el cuádruple. La resistencia del acero inoxidable se puede aumentar mediante la laminación en frío, pero al utilizarlo se pierde una parte significativa de la capacidad de conformación del material. Hoy en día, en la fabricación industrial de aceros inoxidables, se utiliza una temperatura elevada, que está, por ejemplo, en la región de 1.050 °C, como temperatura de recocido del tratamiento térmico después de la laminación en frío. En este caso se alcanza un tamaño de grano de aproximadamente 20 μm , como resultado del tratamiento térmico. A partir de esto se deriva un límite elástico bastante bajo, que habitualmente es inferior a 300 MPa.

65 Un procedimiento deseado para aumentar la resistencia de los aceros inoxidables es reducir de manera metalúrgica el tamaño promedio de grano del metal. El tamaño de grano convencional es de aproximadamente 20 μm , pero reduciendo el tamaño de grano, por ejemplo, a aproximadamente una décima parte, el límite elástico podría

duplicarse. La razón es que se ha demostrado que el límite elástico de los metales aumenta de manera lineal en función del valor inverso de la raíz cuadrada del tamaño de grano. Ha sido posible fabricar estos tipos de aceros denominados de "grano ultrafino" (UFG) que poseen un tamaño de grano pequeño en condiciones de laboratorio, pero no se ha encontrado un procedimiento de fabricación viable y económico para estos aceros.

5 Se conocen soluciones en las que el acero inoxidable austenítico se lamina en frío, en cuyo caso, en especial cuando se utilizan grados de acero que contienen austenita inestable, la mayor parte se transforma, en la conformación en frío, en martensita extremadamente dura. Después de esto, se realiza un tratamiento térmico sobre el acero para formar una microestructura que contiene principalmente austenita de grano muy fino producida con el llamado mecanismo de inversión de martensita y, a menudo, también de austenita no recristalizada en el estado conformado en frío. Se conoce por la Patente EP1899490 una tira que consiste en acero inoxidable austenítico, teniendo dicha tira una determinada composición química, y en la fabricación de la cual, la alfa martensita (α' -martensita), producida en la deformación de la forma, forma el 50-90 por ciento en volumen, siendo la proporción de reducción en la laminación en frío del 55-85 %. Según la publicación, es esencial que la proporción de reducción sea suficientemente elevada para que la cantidad de martensita formada sea suficiente para producir las propiedades requeridas. En la publicación en cuestión, a continuación, se utiliza el recocido de inversión para transformar la martensita en austenita de estructura muy fina. Sin embargo, la martensita producida en la conformación en frío tiene propiedades que la hacen indeseable. Es dura y quebradiza, en cuyo caso, en especial cuando se conforma en frío una tira de acero mediante laminación, las propiedades de la martensita establecen límites a la proporción de reducción y, por otro lado, a la durabilidad del equipo de laminación utilizado. Las Patentes FR2864108A1 y EP2072631A1 y Schino Di A et al: "Effects of the grain size on the corrosion behavior of refined AISI 304 austenitic stainless steels", Journal of materials science letters, Chapman and Hall Ltd. Londres GB, volumen 21, número 20, 15 de octubre de 2002, páginas 1631-1634, muestran soluciones conocidas.

25 Un objetivo de la presente invención es conseguir un tipo completamente nuevo de producto de acero inoxidable austenítico, mediante el cual se pueden mejorar los puntos débiles de los productos de acero inoxidable actuales. Otro objetivo de la presente invención es conseguir un procedimiento para elevar la resistencia de un producto de acero inoxidable austenítico mediante la disminución de su tamaño de grano, mientras que al mismo tiempo se conserva bien la característica de buena tenacidad del acero inoxidable austenítico. Otro objetivo adicional es conseguir una solución mediante la cual se eviten los inconvenientes de la técnica anterior.

Descripción breve de la invención

35 El procedimiento, según la presente invención, se caracteriza por lo que se da a conocer en la parte de caracterización de la reivindicación 1.

El procedimiento, según la presente invención, también se caracteriza por lo que se afirma en las reivindicaciones 2 - 6.

40 Un acero aplicable para utilizar en la presente invención es tal que contiene austenita suficientemente estable, que no se transforma fácilmente en martensita en la conformación en frío, siendo la martensita desventajosa desde el punto de vista de la presente invención. Se realiza una conformación en frío suficientemente robusta sobre un acero adecuado y se selecciona una temperatura de recocido más baja adecuada que la temperatura de recocido utilizada actualmente en la industria, en cuyo caso se consiguen el tamaño de grano pequeño deseado y las propiedades mecánicas ventajosas deseadas.

50 La solución, según la presente invención, presenta varias ventajas importantes. Se consigue una estructura para el producto de acero, según la presente invención, con un tratamiento, según la presente invención, cuyo tamaño de grano del acero inoxidable es ventajoso, de manera que se consiguen un límite elástico más elevado que los grados comerciales actuales y una buena conservación de la tenacidad. El límite elástico se obtiene al nivel deseado cuando se seleccionan los parámetros adecuados para la conformación en frío y para el recocido posterior. Con respecto al producto de acero, según la presente invención, se utiliza un acero que tiene austenita suficientemente estable, que no se transforma fácilmente en martensita dura en la conformación en frío, en cuyo caso la fase de conformación en frío es, con respecto al material, ventajosa para el equipo de conformación en frío utilizado y para la durabilidad de dicho equipo. El tratamiento térmico después de la conformación en frío, es decir, el recocido que se realizará para conseguir la recristalización, se realiza a una temperatura esencialmente más baja que la actual. El tamaño de grano que se conseguirá con este procedimiento es de solo aproximadamente una décima parte del tamaño de grano de los aceros inoxidables austeníticos comerciales actuales. Además, una temperatura de recocido baja significa una capa de óxido más delgada (incrustaciones) en la superficie del acero. En este caso, un tratamiento con ácido más suave/más rápido que el actual es suficiente para el tratamiento posterior, lo que significa un ahorro de costes y es ventajoso desde el punto de vista del medio ambiente. Además, una temperatura de recocido baja ahorra energía y las estructuras del horno.

65 La solución, según la presente invención, presenta varias ventajas importantes también en muchas aplicaciones, por ejemplo, en la industria de la automoción y el transporte, en la construcción naval, en el sector de fabricación de equipos a presión de la industria de la ingeniería y también como acero estructural, por ejemplo, en las estructuras

de soporte de puentes y edificios y en otros sitios donde se requiere un material con resistencia y buena resistencia a la corrosión. En la industria del automóvil, estos tipos de aceros se pueden utilizar en estructuras de soporte que se conformarán, en las que se necesitan tanto resistencia como resistencia a la corrosión. Cuando se utiliza en las estructuras de un automóvil que requieren resistencia a la corrosión y resistencia, la solución, según la presente invención, da lugar a una estructura ligera y resistente a la corrosión y, por lo tanto, una economía de combustible mejorada del automóvil, así como una vida útil más larga de las piezas. La solución, según la presente invención, es más respetuosa con el medio ambiente que las soluciones actuales y reduce los costes de fabricación porque elimina la necesidad de utilizar productos químicos anticorrosivos que son nocivos para el medio ambiente en los revestimientos de estructuras y también reduce las fases de trabajo en la fabricación y reduce de manera significativa el desgaste de las herramientas utilizadas en la conformación. En los dispositivos de presión, a menudo se necesitan resistencia a la corrosión, capacidad de conformación y capacidad de ser soldado excelentes, además de resistencia. Los aceros, según la presente invención, reducen los costes de fabricación de los dispositivos de presión, permiten la fabricación de dispositivos de presión más delgados y, por tanto, más ligeros, también en estructuras que requieren resistencia a la corrosión, produciendo, de esta manera, un ahorro en materiales, peso y, con respecto a los dispositivos de presión utilizados en vehículos, también en el consumo de combustible y mayor carga útil. Los aceros, según la presente invención, también permiten la utilización de acero inoxidable en las estructuras de soporte de la industria de la construcción, produciendo un ahorro debido a su mayor vida útil, en particular en sitios susceptibles de corrosión. En la construcción naval, con la solución, según la presente invención, se reduce de manera significativa la necesidad de utilizar revestimientos nocivos para el medio ambiente. Como resultado de estructuras más ligeras que las actuales, también aumenta la capacidad de transporte de los barcos, disminuye el consumo de combustible y disminuyen las emisiones al medio ambiente por tonelada de carga transportada. Además, los aceros inoxidables austeníticos resistentes, según la presente invención, proporcionan a los diseñadores la posibilidad de crear estructuras más ligeras que antes en cualquier sitio allá donde quiera que esté, además de la resistencia del material, son útiles las propiedades de buena capacidad de conformación y buena resistencia a la corrosión.

Descripción breve de las figuras

A continuación, se describirá la presente invención con más detalle con la ayuda de algunas realizaciones con referencia al dibujo adjunto, en el que la figura 1 presenta un diagrama de DeLong, que es conocido *per se* en la técnica.

Descripción detallada de la invención

En la presente invención, la conformación en frío y el tratamiento térmico a continuación se examinan en relación con la fabricación de un producto de acero inoxidable austenítico, tal como una tira, placa, cable o barra. A continuación, se utiliza principalmente el término "tira", que incluye también en la medida en que sea aplicable a otros productos de acero como objetivo de la presente invención. Los bloques fabricados con colada continua se laminan en caliente en tiras, que se tratan térmicamente y se decapan habitualmente en líneas de acción continua. La tira caliente decapada, en general, se conforma en frío para hacerla más delgada y finalmente se recuece y se decapa.

El procedimiento, según la presente invención, es adecuado para aceros laminados en caliente y laminados en frío.

Un acero aplicable para la utilización en la presente invención es tal que contiene austenita suficientemente estable, que no se transforma fácilmente en martensita en la conformación en frío. La cantidad de martensita después de la conformación en frío es inferior al 50 %, de manera más adecuada, inferior al 30 %. Una gran cantidad de martensita daría lugar a propiedades desventajosas, tales como la lenta recristalización de la austenita conformada en frío, la microestructura heterogénea del producto final y la escasa tenacidad del producto final. Además, debido a su dureza, la martensita que se conforma durante la conformación en frío sería desventajosa para los trenes de laminación que se utilizarían en la conformación en frío, la gran cantidad de martensita afectaría de manera negativa a la durabilidad y etapa de conformación en frío de los trenes de laminación.

La presente invención se basa en la recristalización, que es tan amplia como sea posible, de acero inoxidable austenítico laminado en frío. Cuando se utiliza un grado de acero adecuado, sobre el que se realizan una conformación en frío adecuado y un recocido apropiado utilizando una temperatura de recocido adecuadamente baja, se consigue un producto de acero con propiedades ventajosas.

La presente invención se define en la reivindicación independiente. Las realizaciones ventajosas de la presente invención se especifican en las reivindicaciones dependientes.

La presente invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de un producto de acero inoxidable austenítico muy resistente, tal como una placa de acero, una tira de acero, una barra de acero o un cable de acero, procedimiento en el que la placa de acero, la tira de acero, la barra de acero o el cable de acero se conforman en frío y se tratan térmicamente. En el procedimiento

- a - el acero está conformado en frío
- b - la proporción de reducción total de la conformación en frío es del 65-93 %
- c - como máximo, el 30 % del volumen del acero inoxidable austenítico se transforma en martensita durante la conformación en frío
- d - el producto de acero conformado en frío se trata térmicamente para recrystalizar su estructura, en cuyo caso la temperatura de recocido es de 650-900 °C y el tiempo de recocido (es decir, el tiempo de mantenimiento) es de 20 segundos - 30 minutos.

El acero inoxidable austenítico es acero inoxidable austenítico bajo en carbono del tipo AISI 304L o acero inoxidable austenítico bajo en carbono del tipo AISI 316L, por la composición química.

Según una realización, el producto de acero conformado en frío se trata térmicamente es para recrystalizar su estructura, de manera que la temperatura de recocido es, de manera preferente, de 700-890 °C.

Según una realización, el acero se calienta hasta la temperatura de recocido, o cerca de la misma, a una velocidad de calentamiento que es superior a 10 °C/s, de manera preferente, superior a 100 °C/s, por ejemplo, utilizando calentamiento por inducción. Por tanto, la velocidad de calentamiento puede ser considerablemente superior a 10 °C/s, tal como, por ejemplo 100 °C/s o 200 °C/s, o incluso superior a éstas.

Según una realización, la conformación en frío es la laminación en frío, más en particular, cuando se fabrican una tira de acero, placa de acero, y estirado en frío, más en particular cuando se fabrica un cable.

Según una realización, se utiliza un procedimiento, según cualquiera de las realizaciones mencionadas anteriormente, en la fabricación del producto de acero.

Los elementos de aleación del producto de acero que se utiliza en la presente invención se pueden evaluar, por ejemplo, mediante el diagrama de DeLong presentado en la figura 1, en el que el eje X muestra el llamado equivalente de cromo (equiv. de Cr) y el eje Y el llamado equivalente de níquel (equiv. de Ni). Con el diagrama de DeLong es posible pronosticar el efecto de la composición química sobre la microestructura del acero inoxidable. El equivalente de níquel tiene en cuenta el efecto de los elementos de aleación que estabilizan la austenita y el equivalente de cromo tiene en cuenta el efecto de los elementos de aleación que favorecen la ferrita sobre la estructura.

En la figura 1:

$$\text{Equiv. de Ni} = \% \text{ Ni} + 30 \times \% \text{ C} + 30 \times \% \text{ N} + 0,5 \times \% \text{ Mn}$$

$$\text{Equiv. de Cr} = \% \text{ Cr} + \% \text{ Mo} + 1,5 \times \% \text{ Si} + 0,5 \% \text{ Nb}$$

Se puede tomar, a modo de ejemplo, un acero para el que el contenido es el siguiente: para el equivalente de cromo 18 % de Cr - 0,5 % de Si - 0,2 % de Mo - (0,0 % de Nb), en cuyo caso el equivalente de Cr es $18 + 0,2 + 1,5 \times 0,5 + 0,5 \times 0,0 = 18,95$ es decir, aproximadamente 19; y el contenido para el equivalente de níquel es 10 % de Ni - 0,04 % de C - 0,03 % de N - 1,8 % de Mn, en cuyo caso el equivalente de Ni es $10 + 30 \times 0,04 + 30 \times 0,03 + 0,5 \times 1,8 = 13,0$ es decir, el equivalente de Ni es 13. A partir del diagrama puede observarse que si el valor del equivalente de cromo (equiv. de Cr) es aproximadamente 19 y el valor del equivalente de níquel (equiv. de Ni) es de aproximadamente 13, entonces cuando el acero fundido se ha solidificado, la estructura es austenita, que contiene aproximadamente ferrita al 3,5 %.

Mediante el diagrama de DeLong, por lo tanto, los intervalos de composición de un acero se pueden definir con bastante precisión y de una manera generalmente aceptada. El diagrama también tiene en cuenta los tipos de situaciones en las que el níquel se sustituye total o parcialmente por manganeso o nitrógeno en el contenido de un acero. El diagrama de DeLong se desarrolló originalmente para describir la estructura de solidificación de un baño de soldadura fundida, pero también es adecuado para la utilización en la producción de acero.

El objetivo de una realización de la presente invención es que hubiera, como máximo, en la región del 15 % de ferrita en el acero solidificado. Es posible eliminar dicha cantidad de ferrita en tratamientos posteriores en la acería. La estructura del producto de acero, tal como tira de acero/placa de acero, que se vende es, en general, casi exclusivamente austenita (no magnética) con un contenido de ferrita, como máximo, en la región del 1 %. Otro objetivo es que el contenido de la composición química del producto de acero no descienda por debajo de la línea A + M (austenita + martensita) del diagrama de DeLong de la figura 1 porque ahí comienza a formarse martensita dura y quebradiza.

Según una realización de la presente invención, el límite inferior para el equivalente de cromo (equiv. de Cr) es, por ejemplo, 17,0 y el límite inferior para el equivalente de níquel (equiv. de Ni) es 9,0 (es decir, como por la graduación en la figura 1, a continuación).

Es posible que en el futuro, por ejemplo, el níquel no se utilice en absoluto, o que se utilice muy poco, por ejemplo, debido a su coste. En este caso, por ejemplo, un ajuste del 6-15 % para el contenido de níquel en la especificación del acero inoxidable austenítico que se utilizará en la presente invención es, desde el punto de vista de la presente invención, una especificación inadecuada. La cantidad de cromo (contenido de Cr) *per se* se puede controlar mejor, porque la resistencia a la corrosión a menudo se determina casi exclusivamente según el contenido de cromo. En vista de esto, mediante el equivalente de níquel del diagrama de DeLong se puede determinar un valor límite adecuado también para un tipo de acero inoxidable austenítico en el que la cantidad de níquel sea menor que el contenido actual. Los valores calculados de equivalente de cromo y equivalente de níquel de los grados de acero utilizados en las realizaciones de la presente invención se presentan en la tabla 4.1.

La proporción de reducción de la conformación en frío, según la presente invención, es habitualmente bastante elevada, en cuyo caso cuando se trata de la conformación en frío de una tira continua, la conformación en frío se puede realizar en producción práctica con un tren de laminación Sendzimir (Z-mill) o con varios trenes de laminación consecutivos de la línea de fabricación (tren en tándem en frío).

Se utiliza una laminación más robusta en comparación con la laminación en frío del acero inoxidable ordinario y habitualmente una temperatura de recocido sensiblemente inferior en comparación con la ordinaria. Además, se puede utilizar un calentamiento extremadamente rápido en el recocido (habitualmente una velocidad de calentamiento que es superior a 10 °C/s, de manera preferente, superior a 100 °C/s), tal como calentamiento por inducción, como resultado de lo cual se puede mejorar la precisión del tratamiento térmico con respecto al tiempo de recocido y a la temperatura de recocido.

Ejemplo 1

Se trató una tira fabricada de acero inoxidable austenítico SS 18/10 (304L), cuyo grosor inicial es de 4 mm, que contiene una composición química según la composición indicada en la tabla 1.1, además de hierro e impurezas no especificadas, según la presente invención para conseguir una capacidad de conformación mejorada y una alta resistencia. La tira austenítica se conformó en frío mediante laminación en frío utilizando los grados de reducción de la tabla 1.2. Al mismo tiempo, se determinó la cantidad de martensita formada utilizando un dispositivo de medición Feritscope MP30 (Fischer Instrumentation (GB) Ltd.) pensado para medir el contenido de ferrita. Las lecturas obtenidas en la medición se multiplicaron por 1,7, lo cual se verifica para ver si ha proporcionado el contenido correcto de martensita. Se puede afirmar que, incluso con una proporción de reducción grande, la cantidad de martensita formada es bastante baja.

A continuación, se realizó el tratamiento térmico para las piezas de ensayo con una proporción de reducción del 75 %. El tratamiento térmico se realizó a cinco temperaturas diferentes: 670 °C, 700 °C, 750 °C, 800 °C y 950 °C. A partir de la tabla 1.3 se observa que con la velocidad de calentamiento de 200 °C/s utilizada y con todas las temperaturas de recocido de 800 °C e inferior, siendo el tiempo de recocido, es decir, el tiempo de mantenimiento, de 10 min, todas las muestras cumplieron los valores fijados como objetivo de la presente invención en relación con el límite elástico, la resistencia a la tracción, el tamaño de grano y el alargamiento a la rotura. Cuando la temperatura de recocido era más elevada, 950 °C, se podía observar que el tamaño de grano crecía y el acero solía ser más grande de lo deseado y no se conseguían propiedades del todo óptimas.

La tabla 1.4 presenta, además, el calentamiento del mismo acero inoxidable austenítico a velocidades de calentamiento diferentes 10, 30, 50, 100, 200 °C/s hasta una temperatura de recocido de 750 °C, siendo el tiempo de recocido, es decir, el tiempo de mantenimiento, de 2 minutos. Se observó que con una velocidad de calentamiento más elevada, el tamaño de grano formado era ligeramente más pequeño, y siendo este el caso más ventajoso, que con una velocidad de calentamiento más lenta. Además, al comparar los resultados presentados en la tabla 1.4 con los resultados en la tabla 1.3, en la que el tiempo de mantenimiento fue de 10 minutos, se observó que un tiempo de mantenimiento más corto reducía el tamaño de grano hasta cierto punto y mejoraba el límite elástico.

Se observó en los ensayos de que una proporción de reducción más grande (75 > 85 %) proporciona un tamaño de grano más pequeño (2,5 -> 2 μm) y un límite elástico más elevado (aproximadamente 530 -> aproximadamente 600 MPa). La temperatura de recocido fue en este caso de 750 °C. Por tanto, también con las piezas de mayor proporción de reducción se consiguieron bien las propiedades mecánicas que son el objetivo de la presente invención. Los tamaños de grano fueron ligeramente más pequeños y el límite elástico hasta cierto punto más elevado que en el caso de una proporción de reducción más pequeña (75 %).

Se examinó posteriormente el efecto de la proporción de reducción sobre el resultado final. Puede observarse en la tabla 1.5, en la columna del lado derecho de la misma, que con una proporción de reducción total inferior al 50 %, la recristalización no se produce de forma suficiente o no se produce en absoluto. Con una proporción de reducción total del 30 %, la estructura no recristalizada es del 99 %. Con una proporción de reducción total del 50 %, la estructura no recristalizada es el 50 % de la estructura. Con una reducción total del 75 %, la estructura no recristalizada es solo el 3 % de la estructura, es decir, casi toda la estructura está recristalizada.

El grado de recristalización y el tamaño de grano se determinaron utilizando un microscopio óptico. Para definir la

ES 2 885 758 T3

proporción de no recristalización, se comparó el área superficial no recristalizada con el área superficial de todo el campo de visión del microscopio. El tamaño de grano promedio se determinó con el procedimiento de intersección lineal media.

- 5 **Tabla 1.1.** Composición (% en peso) del acero SS18/10 (piezas de ensayo A304 y LK304). Tamaño de grano original de aproximadamente 25 μm .

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,024	0,72	1,60	0,027	0,002	18,2	10,2

- Tabla 1.2.** Efecto de la proporción de reducción de la conformación en frío sobre la formación de martensita

Proporción de reducción (%)	Grosor (mm)	Martensita (%)
0	4,0	0
30	2,8	1,3
50	2,0	2,9
75	1,0	5,9
85	0,6	14,0

Tabla 1.3. Efecto de la temperatura de recocido sobre las propiedades mecánicas de las piezas de prueba, sobre el tamaño de grano promedio de la estructura recristalizada y sobre la cantidad de austenita no recristalizada. La proporción de reducción total de laminado en frío antes del recocido fue del 75 %.

Muestra	Velocidad de calentamiento, [°C/s]	Temperatura de recocido [°C]	Tiempo de mantenimiento [min]	Límite elástico, Rp0,2 [MPa]	Resistencia a la tracción, Rm [MPa]	Alargamiento uniforme Ag [%]	Alargamiento a la rotura At [%]	Tamaño de grano [µm]	No recristalizado, %
A304 1B	200	670	10	870	1.019	10	23		
A304 2A	"	700	"	692	858	23	34	1,5	10
A304 2B	"	700	"	608	838	27	37		
A304 3A	"	750	"	468	752	37	48	2,9	2
A304 3B	"	750	"	474	751	39	49		
A304 4A	"	800	"	421	728	41	52	5,0	-
A304 4B	"	800	"	410	729	42	53		
A304 5A	8	950	1	314	677	46	58	10,4	-
A304 5B	"	950	"	315	681	47	58		

Tabla 1.4. Efecto de la velocidad de calentamiento utilizada en el recocido sobre las propiedades del producto final.

Muestra	Velocidad de calentamiento, [°C/s]	Temperatura de recocido [°C]	Tiempo de mantenimiento [min]	Límite elástico, Rp0,2 [MPa]	Resistencia a la tracción, Rm [MPa]	Alargamiento uniforme Ag [%]	Alargamiento a la rotura At [%]	Tamaño de grano [µm]	No recristalizado, %
LK304 1B	10	750	2	512	774	36	48	3,1	6
LK304 1C	10	"	"	532	801	33	44		
LK304 2A	30	"	"	558	832	36	49		
LK304 2B	30	"	"	521	792	35	47	2,5	8
LK304 3A	50	"	"	534	791	36	47		
LK304 3B	50	"	"	536	789	35	48	2,8	7
LK304 4A	100	"	"	538	785	34	47		
LK304 4B	100	"	"	529	785	35	47	2,5	6
LK304 5A	200	"	"	525	775	36	48		
LK304 5B	200	"	"	540	796	36	48	2,5	3

Tabla 1.5. Efecto de la proporción de reducción sobre el producto final. Velocidad de calentamiento de 200 °C/s

Muestra	Proporción de reducción total [%]	Temperatura de recocido [°C]	Tiempo de mantenimiento [min]	Límite elástico, Rp0,2 [MPa]	Resistencia a la tracción, Rm [MPa]	Alargamiento uniforme Ag [%]	Alargamiento a la rotura At [%]	Tamaño de grano [µm]	No recristalizado, %
LK304 8A	30	750	2	687	850	19	43		
LK304 8B	30	"	"	684	849	19	43	-	99
LK304 7A	50	"	"	624	851	22	43		
LK304 7B	50	"	"	650	866	22	43	3,5	50
LK304 5A	75	"	"	525	775	36	48		
LK304 5B	75	"	"	540	796	36	48	2,5	3

Ejemplo 2

5 Se probó la idoneidad del acero inoxidable austenítico SS18/8 (AISI 304L) para el tratamiento, según la presente invención. El acero inoxidable austenítico, que contenía el 18,2 % en peso de cromo, el 8,2 % en peso de níquel, el 1,65 % en peso de manganeso, el 0,40 % en peso de silicio, el 0,45 % en peso de cobre, el 0,050 % en peso de nitrógeno y el 0,022 % en peso de carbono, además de hierro e impurezas no especificadas, se conformó en frío mediante laminación hasta una proporción de reducción total del 80 %. Después de esto, la pieza de ensayo se trató térmicamente, siendo la velocidad de calentamiento de 200 °C/s, la temperatura de recocido de 800 °C y el tiempo de recocido, es decir, el tiempo de mantenimiento, de 2 minutos. Después del tratamiento, se obtuvieron 539 MPa para el límite elástico ($R_{p0,2}$) y 784 MPa para la resistencia a la tracción (R_m). La tenacidad del material medida con alargamiento uniforme (A_g) fue del 34 % y el alargamiento a la rotura (A_t) fue del 50 %. El tamaño de grano fue de 2,5 μm y la proporción de no recristalización fue del 2 %. Se puede afirmar que se obtuvo un producto de acero que cumplía con las propiedades deseadas.

15 La austenita de este acero era más inestable que con el acero 18/10 según el ejemplo 1, y en la laminación en frío una parte significativa (28 %) de la austenita se transforma en martensita. Cuando la temperatura de recocido era inferior a 800 °C, la austenita de acero SS 18/8 conformada en frío recristalizó más lentamente que la austenita de acero SS 18/10 conformada en frío. Al mismo tiempo, aumenta la proporción de austenita no recristalizada en la estructura final del acero SS 18/8 y aumenta la heterogeneidad de la microestructura. Por tanto, este acero requiere una temperatura de recocido más elevada que el acero SS 18/10 para conseguir una buena combinación de resistencia/tenacidad.

Ejemplo 3

25 Se probó la idoneidad del acero inoxidable austenítico SS17/2/3 (AISI 316L) para el tratamiento, según la presente invención. La tira de acero inoxidable austenítico, que contenía el 17,3 % en peso de cromo, el 11,8 % en peso de níquel, el 2,67 % en peso de molibdeno, el 1,74 % en peso de manganeso, el 0,42 % en peso de silicio, el 0,28 % en peso de cobre, el 0,032 % en peso de nitrógeno y el 0,022 % en peso de carbono, además de hierro e impurezas no especificadas, se conformó en frío mediante laminación hasta una proporción de reducción total del 80 %. Después de esto, la pieza de ensayo se trató térmicamente, siendo la velocidad de calentamiento de 200 °C/s, la temperatura de recocido de 840 °C y el tiempo de recocido, es decir, el tiempo de mantenimiento, de 2 minutos. Después del tratamiento, se obtuvieron 571 MPa para el límite elástico $R_{p0,2}$, 814 MPa para la resistencia a la tracción R_m . La tenacidad del material medida con alargamiento uniforme (A_g) antes de la reducción fue del 41 % y el alargamiento a la rotura en el momento de la rotura de una varilla de ensayo (A_t) fue del 56 %. El tamaño de grano fue de 2,5 μm y la proporción de no recristalización fue del 10 %. Se podría afirmar que los resultados obtenidos indican que se obtuvo un producto de acero que cumplía con las propiedades deseadas.

40 Según los ensayos y mediciones, aproximadamente la mitad de la austenita laminada en frío tuvo tiempo para recristalizar durante el recocido realizado a 800 °C. En consecuencia, la recristalización del acero SS18/10 es completa a esa temperatura y casi completa a una temperatura de recocido de 750 °C.

Ejemplo 4

45 Se hace referencia aquí a la tabla 4.1, en la que los equivalentes de cromo (equiv. de Cr) y los equivalentes de níquel (equiv. de Ni) del diagrama de DeLong se calculan para los aceros utilizados en los ensayos.

$$\text{Equiv. de Ni} = 1 \times \% \text{ Ni} + 30 \times \% \text{ C} + 30 \times \% \text{ N} + 0,5 \times \% \text{ Mn}$$

50
$$\text{Equiv. de Cr} = 1 \times \% \text{ Cr} + 1 \times \% \text{ Mo} + 1,5 \times \% \text{ Si} + 0,5 \times \% \text{ Nb}$$

Tabla 4.1. Valores de equivalentes de cromo y valores de equivalentes de níquel según el diagrama de DeLong de grados de acero utilizados en los ensayos

Acero	Equiv. de Ni	Equiv. de Cr
SS18/10 (AISI 304L)	12,8	19,4
SS18/8 (AISI 304L)	11,2	18,8
SS17/12/3 (AISI 316L)	14,3	20,6

55 En los ejemplos se utilizaron ajustes del ensayo en los que la chapa fina de acero original se adelgazó con un tren de laminación de laboratorio a temperatura ambiente a la proporción de reducción deseada.

60 Se separaron piezas de ensayo de 20 x 160 mm de tamaño de la chapa fina laminada en frío mediante corte en la dirección de la laminación en frío de la chapa fina. El área central de las piezas de ensayo se calentó y recoció de forma resistiva con un simulador termomecánico Gleeble®1500 utilizando los parámetros de ensayo indicados. La

velocidad de enfriamiento fue de aproximadamente 100 °C/s.

5 Se fabricaron muestras para ensayo de tracción a partir de chapas finas de forma rectangular, siendo la longitud de dichas muestras de ensayo de 15 mm, siendo la longitud de referencia original de 10 mm, la anchura de 6 mm y el radio de la esquina del hombro de 12 mm. Los ensayos de tracción se realizaron con una máquina de ensayos de tracción Zwick/Z100.

10 Es obvio para el experto en la materia que la presente invención no se limita a las realizaciones presentadas anteriormente, sino que puede variar dentro del alcance de las reivindicaciones presentadas a continuación.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la fabricación de un producto de acero inoxidable austenítico muy resistente, de una placa de acero, de una tira de acero, de una barra de acero o de un cable de acero, procedimiento en el que se conforman en frío la placa de acero, la tira de acero, la barra de acero o el cable de acero y se tratan térmicamente, caracterizado por que en el procedimiento
- 10 a - el acero está conformado en frío
 b - la proporción de reducción total de la conformación en frío es del 65-93 %, en el que
 c - como máximo, el 30 % del volumen de la austenita se transforma en martensita durante la conformación en frío, y que
 d - el producto de acero conformado en frío se trata térmicamente para recrystalizar su estructura, en cuyo caso la temperatura de recocido es de 650-900 °C y el tiempo de recocido es de 20 segundos - 30 minutos,
- 15 y que el acero inoxidable austenítico es acero inoxidable austenítico bajo en carbono del tipo AISI 304L o acero inoxidable austenítico bajo en carbono del tipo AISI 316L, por la composición química
- 20 2. Procedimiento, según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el producto de acero conformado en frío se trata térmicamente para recrystalizar su estructura, de manera que la temperatura de recocido es de 700-890 °C.
3. Procedimiento, según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado por que** el tiempo de recocido es de 20 segundos - 3 minutos.
- 25 4. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** el acero se calienta hasta la temperatura de recocido a una velocidad de calentamiento superior a 10 °C/s, de manera preferente, superior a 100 °C/s, utilizando calentamiento por inducción.
- 30 5. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** la conformación en frío es la laminación en frío, más en particular, cuando se fabrican una tira de acero, una placa de acero, y estirado en frío, más en particular, cuando se fabrica un cable.
6. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** la composición química del acero cumple la siguiente relación:
- 35
$$\text{Equiv. de Ni} = 1 \times \% \text{ Ni} + 30 \times \% \text{ C} + 30 \times \% \text{ N} + 0,5 \times \% \text{ Mn} \geq 9,0$$
- y
- 40
$$\text{Equiv. de Cr} = 1 \times \% \text{ Cr} + 1 \times \% \text{ Mo} + 1,5 \times \% \text{ Si} + 0,5 \% \text{ Nb} \geq 17,0.$$

$$\text{Equiv. de Ni} = \% \text{ Ni} + 30 \times \% \text{ C} + 30 \times \% \text{ N} + 0,5 \times \% \text{ Mn}$$

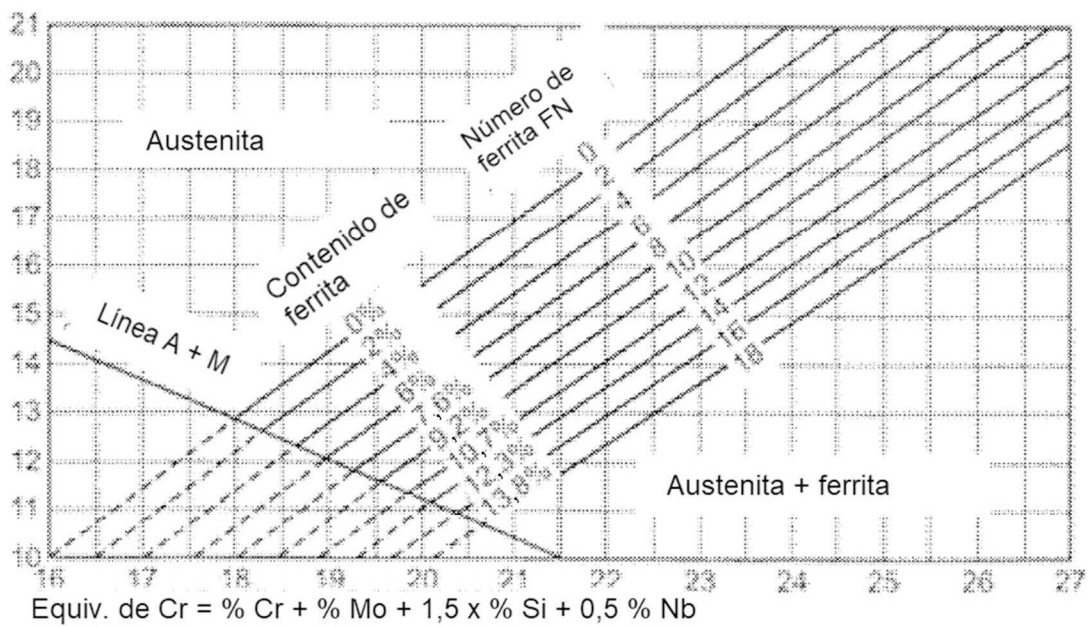


Fig. 1

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de referencias citada por el solicitante es únicamente para mayor comodidad del lector. No forman parte del documento de la Patente Europea. Incluso teniendo en cuenta que la compilación de las referencias se ha efectuado con gran cuidado, los errores u omisiones no pueden descartarse; la EPO se exime de toda responsabilidad al respecto.

Documentos de patentes citados en la descripción

- EP 1899490 A
- FR 2864108 A1
- EP 2072631 A1

Literatura no patente citada en la descripción

- Effects of the grainsize on the corrosion behavior of refined AISI 304 austenitic stainless steels. **SCHINO DI A et al.** Journal of materials science letters. Chapman and Hall ltd, 15 October 2002, vol. 21, 1631-1634